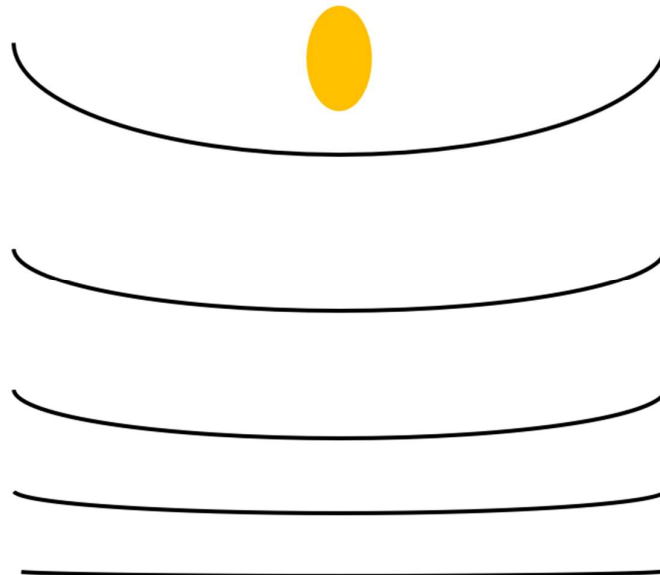


Mémoire

Mise en œuvre de la résilience des systèmes socio-écologiques face aux impacts de l'Anthropocène



Gilles Henry, master *Nature Inspired Design* 2020-2021.

Sous la direction de M. Adrien Payet, philosophe designer,

- enseignant à l'ENSCI, en master *Nature Inspired Design*, module « Formes de pensées »,
- enseignant à l'ENSCI, en master *Innovation by Design*, module « Invention, découverte, innovation »,
- enseignant à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, en master *Design, Arts, Médias*, module « Production de formes »,
- enseignant à l'ECV Digital, en L3, M1 et M2 *UX Design*, module « Design critique ».

Remerciements

Je tiens à remercier vivement mon directeur de mémoire, M. Adrien Payet, qui a bien voulu assurer l'accompagnement de ma réflexion au travers de son écoute bienveillante, ses remarques et conseils précieux, ainsi que le partage de son expérience face à mes questionnements et doutes.

Mes remerciements s'adressent également à Mme Fabienne Thomas-Joint qui a relu et corrigé les imperfections du texte avec rigueur et célérité.

Table des matières

Introduction	2
1 L'Anthropocène.....	5
1.1 L'histoire du concept	5
1.2 Les caractéristiques de l'Anthropocène.....	6
1.3 Le changement climatique	7
1.4 Le réchauffement climatique : la différence entre 1,5°C et 2°C	9
2 Résister ou s'adapter ?.....	12
2.1 Résister	12
2.2 La nécessité d'adapter ou de s'adapter	14
3 Le système socio-écologique	16
3.1 Définition.....	16
3.2 Les principaux critères et sous-systèmes	17
3.3 Le cas des ressources communes.....	17
4 La vulnérabilité	19
4.1 Les différents visages de la vulnérabilité	19
4.2 Quelques cadres analytiques et conceptuels de la vulnérabilité	23
4.2.1 Le cadre des changements environnementaux globaux	23
4.2.2 Le modèle intégré ENSURE	24
5 La résilience	26
5.1 L'origine du concept.....	26
5.2 La diffusion auprès du grand public.....	27
5.3 L'outil politique.....	29
5.4 Les principes de la résilience d'un système socio-écologique	30
5.4.1 Maintenir la diversité et la redondance	31
5.4.2 Gérer la connectivité	33
5.4.3 Gérer les variables lentes et les retours	35
5.4.4 Favoriser la pensée systémique adaptative complexe	36
5.4.5 Encourager l'apprentissage	37
5.4.6 Élargir la participation	38
5.4.7 Promouvoir une gouvernance polycentrique	39
5.5 L'adaptation	39
5.6 Le cycle adaptatif	42
5.7 La panarchie	44
6 Perspectives	46

Une instabilité grandissante

Le concept d'anthropocène, période géologique allant de l'avènement de la révolution industrielle occidentale basée sur les énergies fossiles de la fin du XIXe siècle à nos jours, fut présenté en 2000 par Paul Joseph Crutzen et Eugène F. Stoemer¹. Il qualifie la période géologique actuelle en ceci qu'elle est impactée principalement par les activités humaines sur l'ensemble de la planète ; pollution, déforestation, atteinte de la biodiversité, dérèglement climatique. Cette période est caractérisée par la perturbation et l'emballement d'un certain nombre d'indicateurs de suivi de la nature physique et biochimique de la planète, notamment l'augmentation du taux de CO2 dans l'air. Les scientifiques qui ont travaillé sur ces indicateurs après-guerre - dont le glaciologue français Claude Lorius², à l'initiative du programme européen EPICA - ont tenté d'alerter dès les années 80 sur les transformations induites par le réchauffement climatique.

La prise de conscience par les politiques de ces alertes débouchera sur la création par l'ONU en 1988 du GIEC - Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Pour autant, le début du XXIème siècle est le théâtre d'événements dévastateurs jusqu'ici considérés comme exceptionnels, comme la canicule d'août 2003 en France ou l'ouragan Katrina en Louisiane en août 2005. De l'émergence de la grippe aviaire en 1997 à la pandémie actuelle de SARS-Cov 2, la fréquence des épisodes épidémiques augmente. L'exceptionnel devient la norme. La récurrence de ce type d'événements s'installe, leur ampleur et leurs conséquences augmentent. Les populations doivent alors faire face à une instabilité grandissante et une augmentation de l'intensité des événements. Jusqu'à la période industrialo-sociale, le risque relevait souvent de la personne - on « prenait le risque » -, alors que celui devient dorénavant global et systémique, comme le rappelle Ulrich Beck³. Paradoxalement, les nuisances du passé perceptibles par nos sens ont laissé place à des risques plus grands qui se déroberont à notre perception. En 2016, le GIEC décrit ces risques globaux dans des scénarii comparatifs d'évolution de la température moyenne sur Terre, alors que le constat des limites atteintes dans les différents processus impactés de la biosphère - érosion de la biodiversité, changement climatique, perturbations des cycles biogéochimiques, etc. - était connu depuis 2009.

La résistance ou l'adaptation comme stratégie de persistance

Face à l'imprévisibilité et l'ampleur des événements, le premier réflexe à court terme réside dans la mise en œuvre des stratégies de résistance humaines ou technologiques - par exemple les digues anti tsunami au Japon⁴ - dont l'objet est de neutraliser l'événement. Faire face au danger dans une logique de confrontation et d'espérance de victoire par la maîtrise de l'environnement.

¹ Paul J. Crutzen et Eugene F. Stoemer, « The Anthropocene ».

² C. Lorius et al., « A 150.000-year climatic record from Antarctic ice ».

³ Ulrich Beck, *La société du risque*. p. 39-40.

⁴ Yohan Demeure, « Japon :des murs anti-tsunami toujours plus hauts et plus longs depuis 2011 ».

Le cas échéant, nous pourrions espérer de l'expérience acquise une meilleure résistance à un événement similaire dans le futur. Pour autant, l'imprévisibilité et l'ampleur de certains événements ⁵ à venir ne nous maintiennent-elles pas dans une incertitude paralysante ? La mise en œuvre de stratégies de résistance face aux circonstances extrêmes est-elle pour autant la seule piste à envisager ? Nous n'avons en effet ni l'assurance qu'elle parviendra à ses fins, ni si l'ampleur des moyens engagés ne sera pas préjudiciable par la suite au maintien d'une situation acceptable. Ne voyons-nous pas la résistance comme un idéal de transition vers de nouvelles stratégies ?

Se pose alors la question de l'adaptation de l'individu à la Grande Société industrielle qu'avaient abordée dès le XIX^e siècle des penseurs tels que Graham Wallas, Walter Lippmann ou bien encore John Dewey. La société humaine doit-elle devenir le sujet ou l'objet de cette adaptation ? Les interprétations seront responsables de tragiques politiques eugéniste du XX^e siècle. Si ce courant de pensée considère uniquement l'humain et la Grande Société comme domaine d'étude, d'autres chercheurs tels que Elinor Ostrom étendront, dans la seconde moitié du XX^e siècle, le domaine d'étude aux écosystèmes afin de redéfinir le système à considérer : le système socio-écologique.

Le système socio-écologique et sa vulnérabilité

Le système socio-écologique est un système complexe et ouvert, au sein duquel divers processus écologiques, politiques, économiques et socio-anthropologiques interagissent. La vulnérabilité du système face aux perturbations est tout aussi complexe et nécessite de mettre en place des cadres d'analyse afin d'être en mesure de la qualifier. Au sein du système, la notion de résistance aux perturbations se dérobe devant une notion plus complexe et relevant plus du processus que de la caractéristique : la résilience. Comment celle-ci

La résilience

Résistance et résilience sont souvent assimilées l'une à l'autre, une confusion qui peut être en partie imputable à l'émergence et à l'emploi répété du mot « résilience » dans le discours politique ou médiatique. Devenu élément de langage à destination d'un large public, notamment durant la période de pandémie actuelle, il tend à perdre de sa substance, mais aussi à générer des réactions d'opposition ⁶.

La notion de résilience au sein d'un système recouvre pourtant un besoin essentiel : être en mesure de revenir après la survenance d'un événement perturbant majeur à un état acceptable - c'est-à-dire remplissant les fonctions essentielles et/ou les services principaux de ce système. Le concept de résilience - re-salire (ressaut, résilier) - est employé dès le début du XX^e siècle dans le domaine de la psychanalyse (Freud, John Bowlby) et de la psychologie (Emmy Werner). En France, il sera popularisé par le psychologue Boris Cyrulnik ⁷ sous la notion de « renaître de la souffrance ». De nos jours, le concept de résilience est largement partagé, et ses définitions selon le domaine d'application - psychologie, physique, biologie, urbanisme, etc. - sont relativement similaires.

⁵ Julie Lacaze, « Californie : quand surviendra le Big One ? »

⁶ Sophie Coignard, « La « résilience » à toutes les sauces ! »

⁷ Boris Cyrulnik et Gérard Jorland, *Résilience*.

Elle met en œuvre, dans la vision humaniste de la Resilience Alliance⁸, sept principes applicables en termes d'actions et d'effets sur des échelles de temporalité, d'espace et de complexité - individu, groupe, écosystème - interconnectées et inter-agissantes :

- Maintenir la diversité et de la redondance, ou « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier » ; celles-ci permettent la diversité de la réponse aux changements et perturbations⁹.
- Gérer la connectivité : une forte connectivité entre acteurs améliore la résilience du système tout en augmentant le risque de propagation des risques, alors qu'une faible connectivité limite la propagation des risques mais diminue la résilience du système. Il s'agit alors de maintenir un niveau d'interconnectivité satisfaisant pour atteindre l'équilibre souhaité.
- Gérer les variables lentes et les rétroactions : maintenir opérationnel un système en gérant ses variables principales, par exemple les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'un lac maintenues afin de conserver ses capacités d'atténuation de pollutions localisées et sous un seuil limite au-delà duquel les capacités de résiliences ne sont plus opérationnelles.
- Favoriser la réflexion portant sur les systèmes adaptatifs complexes : partager la prise de conscience de la complexité des systèmes et de l'imprévisibilités de leurs liens et interdépendances.
- Encourager l'apprentissage : favoriser l'adaptation par la collaboration et l'expérimentation.
- Élargir la participation afin de consolider la confiance mutuelle et la légitimité des acteurs lors des prises de décisions.
- Promouvoir les systèmes de gouvernance polycentriques, c'est-à-dire des gouvernances permettant l'interaction de multiples organes directeurs et l'application de règles au bénéfice d'une action collective.

Comment ces principes s'articulent-ils avec les autres concepts participant de la résilience, tels que le cycle adaptatif, la panarchie et l'adaptation ?

Nous nous proposons donc, après un rappel sur l'Anthropocène et les impacts du changement climatique, d'explorer d'une part les principes de résilience bio-inspirés, leurs modalités de mise en œuvre et de maintien. Finalement, nous proposerons une perspective de partage de la connaissance acquise auprès du grand public dans le cadre des défis imposés par l'Anthropocène.

⁸ « Resilience Alliance - Key concepts - Resilience ».

⁹ « Applying resilience - Les 7 principes de la résilience ».

1 L'Anthropocène

1.1 L'histoire du concept

Nom masculin composé de deux racines grecques *ἄνθρωπος* / *anthrôpos*, « être humain » et *καινός* / *kainós*, « récent »¹⁰, l'Anthropocène caractérise la période bio-géologique actuelle depuis que des impacts observables et significatifs sur l'écosystème global de la Terre ont pu être attribués aux activités humaines. Le terme n'est à ce jour pas reconnu par le Groupe international de travail sur l'Anthropocène comme une période géologique à proprement parler ;¹¹, malgré son utilisation par les scientifiques.

Le terme d'Anthropocène apparaît publiquement pour la première fois en 1992 sous la forme d'un néologisme exprimé par le journaliste scientifique Américain Andrew Revkin :

« Les scientifiques du futur nommeront cette nouvelle période post-holocène en fonction de son élément causal - nous. Nous entrons dans une ère qui pourrait un jour être appelée, disons, l'Anthrocène (sic) »¹².

C'est le météorologue et chimiste néerlandais Paul Joseph Crutzen, colauréat du prix Nobel de chimie 1995 pour ses travaux sur le rôle de l'ozone dans l'atmosphère terrestre¹³ qui popularisera en 2000 le terme d'*Anthropocène*, précédemment décrit par le biologiste américain Eugène Filmore Stoermer¹⁴. Pour autant, le consensus actuel attribue la paternité du terme en 1922 au géologue soviétique Alexei Petrovich Pavlov¹⁵.

Pour autant, la notion d'impact de l'espèce humaine sur la Terre n'apparaît pas *ex-nihilo*, mais se construit dès le XVIIIème siècle au travers de « l'empreinte de la puissance de l'homme » du naturaliste Georges-Louis Leclerc de Buffon¹⁶, ou bien encore de « l'ère anthropozoïque » du géologue italien Antonio Stoppani (1873)¹⁷. Les prémices du concept d'anthropocène et la prise de conscience de l'impact de l'humain sur les écosystèmes apparaissent donc durant la première révolution industrielle européenne, à la fin du XVIIIème siècle. La notion évoluera encore avec le concept de « noosphère » (*νόσος* / *noûs*, « l'esprit » et *σφαῖρα* / *sphaira*, « sphère ») - incluant la Terre (la lithosphère), les êtres vivants (la biosphère), ainsi que les actions sociales et technologiques de l'Homme - développée par le chercheur jésuite Pierre Teilhard de Chardin :

« Eh bien, ce que nous proposons ici, malgré ce que cette vue peut avoir, au premier abord, de démesuré et de fantastique, c'est de regarder l'enveloppe pensante de la Biosphère comme étant de même ordre de grandeur zoologique (ou si l'on veut tellurique) que la Biosphère elle-

¹⁰ Éditions Larousse, « Définitions ».

¹¹ Joël Candau, « "Anthropocène", dans Anthropen.org ».

¹² Andrew Reskin, *Global Warming: Understanding the Forecast*.

¹³ « Academy of Europe: Crutzen Paul »; « The Nobel Prize in Chemistry 1995 ».

¹⁴ Eugene F. Stoermer et al., *Diatom taxonomy, ultrastructure, and ecology*.

¹⁵ *Great Soviet Encyclopedia*.

¹⁶ « L'Avènement du Monde », Michel Lussault... »

¹⁷ Grinevald Jacques, « Momentum Institut - Le concept d'Anthropocène et son contexte historique et scientifique ».

même. Plus on la considère, plus cette solution extrême paraît la seule sincère [...]. Et ceci revient, d'une façon ou d'une autre, à imaginer, au-dessus de la Biosphère animale, une sphère humaine, la sphère de la réflexion, de l'invention consciente, de l'union sentie des âmes (la Noosphère, si l'on veut). »¹⁸

1.2 Les caractéristiques de l'Anthropocène

Si la limite chronologique haute de l'époque Anthropocène n'est pas encore atteinte, la limite basse - encore appelée Point Stratotypique Mondial (PSM) - est sujet à discussion. Paul Crutzen propose l'année 1784 coïncidant avec la conception de la machine à vapeur par l'écosais James Watt ¹⁹.

La description de l'Anthropocène par la nature et l'ampleur des impacts de l'activité humaine sur la biosphère en tant qu'espace fini permet d'identifier et de quantifier les limites à ne pas dépasser sous peine de générer des changements non acceptables. C'est ce que présente le tableau proposé en 2009 dans la revue scientifique Nature par l'équipe de Johan Rockström ²⁰. Les lignes en rouge identifient les paramètres pour lesquels les limites acceptables sont d'ores et déjà dépassées.

PLANETARY BOUNDARIES				
Earth-system process	Parameters	Proposed boundary	Current status	Pre-industrial value
Climate change	(i) Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume)	350	387	280
	(ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0
Rate of biodiversity loss	Extinction rate (number of species per million species per year)	10	>100	0.1-1
Nitrogen cycle (part of a boundary with the phosphorus cycle)	Amount of N ₂ removed from the atmosphere for human use (millions of tonnes per year)	35	121	0
Phosphorus cycle (part of a boundary with the nitrogen cycle)	Quantity of P flowing into the oceans (millions of tonnes per year)	11	8.5-9.5	-1
Stratospheric ozone depletion	Concentration of ozone (Dobson unit)	276	283	290
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44
Global freshwater use	Consumption of freshwater by humans (km ³ per year)	4,000	2,600	415
Change in land use	Percentage of global land cover converted to cropland	15	11.7	Low
Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis		To be determined	
Chemical pollution	For example, amount emitted to, or concentration of persistent organic pollutants, plastics, endocrine disrupters, heavy metals and nuclear waste in, the global environment, or the effects on ecosystem and functioning of Earth system thereof		To be determined	

Boundaries for processes in red have been crossed. Data sources: ref. 10 and supplementary information

Figure 1 - Les limites planétaires²¹

¹⁸ Pierre Teilhard de Chardin, *L'Hominisation. Introduction à une étude scientifiques du phénomène humain*, pp. 91-92.

¹⁹ Paul J. Crutzen, « Geology of Mankind ».

²⁰ Johan Rockström et al., « A Safe Operating Space for Humanity ».

²¹ Johan Rockström et al.

La visualisation sous forme de « radar » permet de mieux comprendre pour quels sous-processus de la planète les limites de l'espace de fonctionnement sûr (représenté en vert) sont dépassées en 2009. Une fois ces limites dépassées, les conséquences pourraient s'avérer désastreuses pour les humains. C'est le cas du changement climatique, du taux de perte de la biodiversité et des interférences humaines avec le cycle de l'azote²².

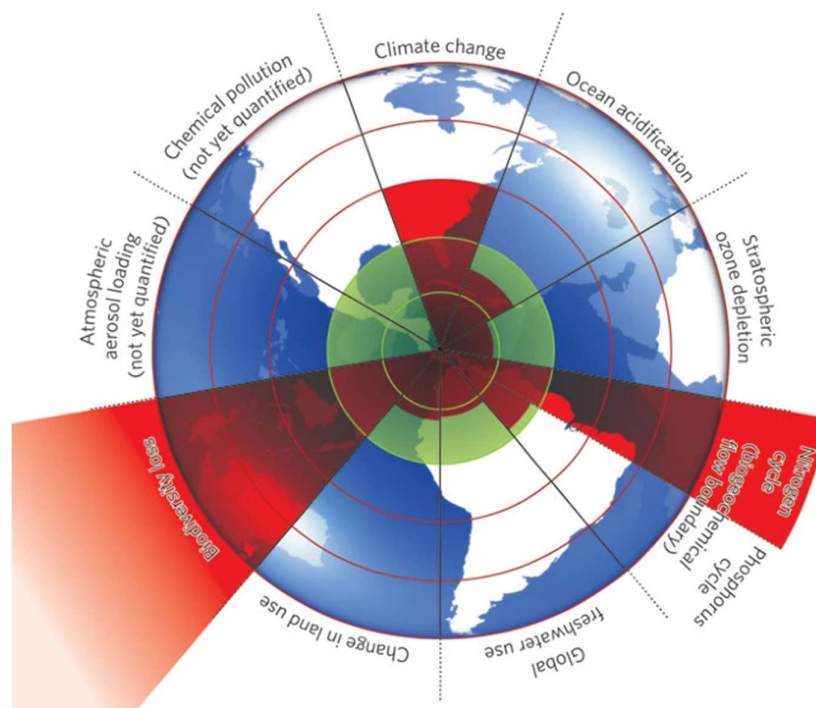


Figure 2 - Au-delà des limites²³.

1.3 Le changement climatique

L'origine humaine du changement climatique ne fait plus débat.

La corrélation entre l'augmentation des gaz à effet de serre - principalement le CO², méthane et vapeur d'eau - dans l'atmosphère et l'augmentation de la température moyenne sur le globe est mise en évidence par le European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA) initié en 1995 par Claude Lorius. Le programme EPICA a été rendu possible avec la mise en évidence par les glaciologues Claude Lorius et Jean Jouzel de la corrélation entre l'évolution du climat et les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère²⁴.

²² Johan Rockström et al.

²³ Johan Rockström et al.

²⁴ Claude Lorius, « Le deutérium, possibilités d'application aux problèmes de recherche concernant la neige, le névé et la glace dans l'Antarctique ».

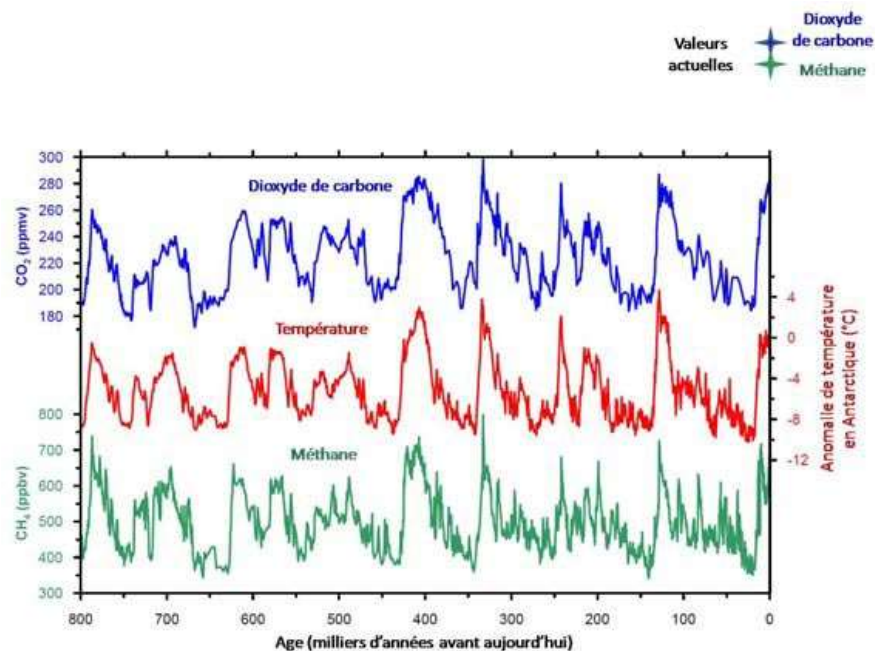


Figure 3 - Evolution des teneurs en dioxyde de carbone (courbe bleue) et en méthane (courbe verte), au cours des derniers 800 000 ans. La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace (Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C. (Université de Berne et LGGE)²⁵.

La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace (Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C. Crédit : Université de Berne et LGGE

L'évolution du climat est étudiée depuis 1988 par le GIEC sous l'égide de l'ONU²⁶. Ce dernier implique des experts de 195 pays et a pour objet d'apporter aux politiques les éléments scientifiques nécessaires aux réflexions et actions visant à limiter le réchauffement global moyen de la planète.

« À sa quarante-troisième session, en avril 2016, le GIEC est convenu que le rapport de synthèse afférent au sixième Rapport d'évaluation serait achevé en 2022, à temps pour le premier bilan mondial prévu au titre de la CCNUCC²⁷. Il s'agira pour les pays d'évaluer les progrès accomplis en vue de réaliser leur objectif qui est de contenir le réchauffement mondial bien en deçà de 2 °C, tout en poursuivant l'action menée pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C. Les contributions des trois groupes de travail seront prêtes en 2021. »²⁸

²⁵ « Les teneurs actuelles en gaz à effet de serre n'ont pas d'équivalent depuis 800 000 ans ».

²⁶ « Site de l'IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change ».

²⁷ « Qu'est-ce que la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques? | CCNUCC ».

²⁸ « Site de l'IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change ».

1.4 Le réchauffement climatique : la différence entre 1,5°C et 2°C

Dans son rapport spécial en octobre 2018, le GIEC fait le point sur l'évolution du climat et propose deux scénarii en fonction de la hausse de température moyenne sur le globe par rapport à la période préindustrielle ^{29 30 31} :

- un scénario avec un réchauffement de 1,5 °Celsius ;
- un scénario avec un réchauffement de 2 °Celsius.

En 2021, l'augmentation moyenne de la température est évaluée à + 1°C.

Le tableau suivant synthétise ³² les caractéristiques des principaux éléments des deux scénarios.

Impacts	Scénario 1 : + 1,5 °C entre 2030 et 2050	Scénario 2 : + 2 °C entre 2030 et 2050
Événements climatiques extrêmes	Augmentation des températures extrêmes, du nombre de journées caniculaires et des épisodes de sécheresse en fréquence et en intensité, fortes précipitations plus fréquentes.	
Journées de canicule	Température moyenne : + 3 °C	Température moyenne : + 4 °C
Risque de pénurie d'eau potable		Double du scénario 1
Terres exposées à des risques de crue	+	++
Risques d'inondation	Nombre de personnes impactées x 2 (par rapport à 1976-2005)	Nombre de personnes impactées x 2,7 (par rapport à 1976-2005)
Elévation du niveau de la mer	Entre 40 cm et 80 cm	Entre 50 cm et 90 cm en 2100, stabilisation à 1 m en 2300
Impact sur les populations côtières	Régions côtières, petites îles et deltas plus vulnérables Moins d'opportunités d'adaptation pour les écosystèmes et les humaines	+ 10 millions de personnes impactées
Perte de la biodiversité et dégradation des écosystèmes		Effets = 2 x effets du scénario 1
Banquise arctique	Un été sans glace par siècle	Un été sans glace par décennie
Réduction du permafrost	17-44% de réduction	28-53% de réduction
Froid extrême en Arctique	Réchauffement de 4,5 °C	Réchauffement de 8 °C
Risques pour les populations		Risques disproportionnellement plus élevés pour l'Arctique, les zones arides, les petits états insulaires et les pays les moins développés. Plusieurs centaines de millions de personnes à la fois exposées aux risques climatiques et de paupérisation

²⁹ Manson-Delmotte, « Réchauffement planétaire de 1.5°C ».

³⁰ Valérie Masson-Delmotte, « Changement climatique et arctique : points clés du rapport spécial du GIEC sur 1,5°C de réchauffement planétaire ».

³¹ « Les différences entre un réchauffement planétaire à 1,5°C et à 2°C ».

³² Valérie Masson-Delmotte, « Changement climatique et arctique : points clés du rapport spécial du GIEC sur 1,5°C de réchauffement planétaire ».

Les espèces animales et végétales endémiques seront confrontées aux limites de leurs capacités d'adaptation. Pour les populations humaines, quel que soit le scénario, elles devront faire preuve d'adaptation et gérer les risques accrus par le réchauffement climatique. Cette nécessité d'adaptation implique la disponibilité de financements dédiés, notamment pour les populations les plus fragiles.

Dans son rapport d'octobre 2018, le GIEC identifie par ailleurs cinq motifs de préoccupations liés au réchauffement climatique. Quel que soit le scénario, quatre d'entre eux présentent un niveau d'incidence ou de risque supplémentaire élevé nécessitant de mettre en œuvre des moyens d'adaptation.

Manière dont le niveau du réchauffement planétaire influe sur les incidences et/ou les risques associés aux motifs de préoccupation (MdP) et à un certain nombre de systèmes naturels, gérés et humains

Cinq motifs de préoccupation (MdP) illustrent les incidences et les risques associés à différents niveaux de réchauffement planétaire pour les personnes, les systèmes économiques et les écosystèmes selon les secteurs et les régions.

Incidences et risques associés aux motifs de préoccupation (MdP)

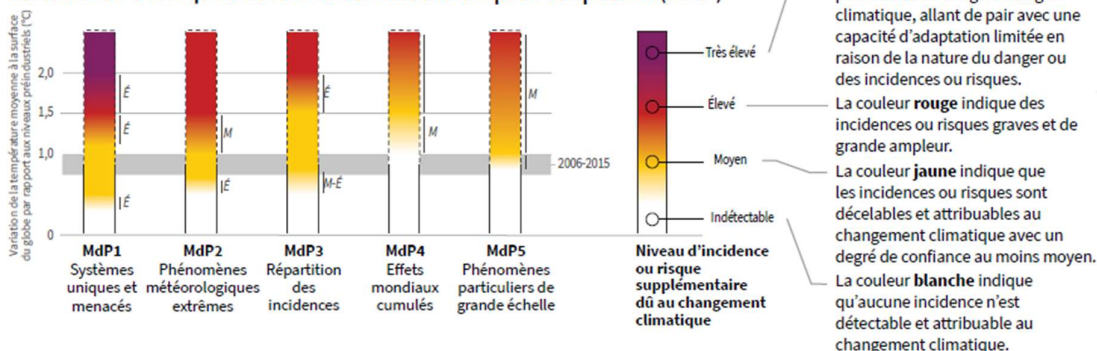


Figure 4 - Cinq motifs de préoccupation (MdP) intégrés fournissent un cadre pour un résumé des impacts et risques majeurs par secteur et par région³³.

MdP 1 (Systèmes uniques et menacés) : Systèmes écologiques et humains dont l'aire d'extension géographique a été restreinte par les conditions d'ordre climatique et qui ont un endémisme élevé ou d'autres propriétés distinctives. Ces systèmes comprennent les récifs coralliens, l'Arctique et ses peuples autochtones, les glaciers de montagne et les points chauds de la biodiversité.

MdP 2 (Phénomènes météorologiques extrêmes) : Risques ou impacts des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les fortes pluies, la sécheresse et les incendies de forêt connexes et les inondations côtières pour ce qui concerne la santé, les moyens de subsistance, les biens et les écosystèmes.

MdP 3 (Répartition des impacts) : Risques ou impacts qui touchent de façon disproportionnée des groupes particuliers en raison de la répartition inégale des dangers, de l'exposition et de la vulnérabilité à l'égard du changement climatique physique.

MdP 4 (Impacts mondiaux cumulés) : Préjudice monétaire mondial, dégradation et disparition à l'échelle du globe des écosystèmes et de la biodiversité.

MdP 5 (Phénomènes particuliers de grande échelle) : Changements systémiques d'ampleur relativement grande, soudains et parfois irréversibles qui sont causés par le réchauffement planétaire, tels que la désintégration des inlandsis du Groenland et de l'Antarctique.

³³ Manson-Delmotte, « Réchauffement planétaire de 1.5°C ». p. 13.

Le constat du GIEC quant aux impacts du réchauffement climatique est donc posé, aussi bien en termes de territoires, de typologies d'événements, de sévérité et de probabilité de survenance.

Comment y faire face ? Faut-il développer uniquement à petite échelle des stratégies de résistance basées sur l'augmentation de la robustesse des infrastructures et la technologie ? Cette idée de résister n'est-elle pas détournée de son sens ? Faut-il plutôt envisager de s'adapter ou d'adapter l'environnement afin de satisfaire à nos aspirations ? A quel prix ?

Enfin, ne faut-il pas aborder le problème d'une manière plus globale et systémique, en redéfinissant les territoires et les populations au travers du concept de *système socio-écologique vulnérable*, et mettre en œuvre d'autres principes permettant de faire face et de perdurer ?

2 Résister ou s'adapter ?

2.1 Résister

Du latin *resistere*, « s'arrêter, se tenir en faisant face »³⁴, de *re* - valeur contraire et intensive - et *sistere* - « se poser, se placer ». Si *résister* se dit d'une chose qui matériellement fait obstacle par la force à une autre force et ne cède pas face à un agent extérieur, mais conserve son intégrité sans subir de détérioration, *résister* signifie aussi psychologiquement le fait de s'opposer à des valeurs considérées comme contraire aux siennes ou bien encore la lutte pour ne pas succomber à ses propres inclinaisons.

Notons que la racine *sistere* est partagée par un ensemble de verbes dans la continuité du verbe résister ; exister - *exsistere*, « sortir de, se manifester » -, persister - *persistere*, « demeurer ferme dans sa position » -, consister - *consistere*, « se tenir ensemble, se maintenir, se tenir de manière solide », subsister - *subsistere*, « s'arrêter, tenir bon, continuer à être ».

Face aux désordres liés à l'anthropocène - sécheresse, épidémies, inondations, famines, etc. - ou non - événements naturels tels que la majorité des séismes et des raz de marées par exemple -, il existe « un idéal de maîtrise, selon lequel il n'existe aucun risque non maîtrisable et dont on ne saurait se protéger efficacement par l'innovation technique et technologique ».³⁵ De prime abord, résister est une démarche séduisante. Elle confirme l'humain dans son besoin sans concession « de dominer, de maîtriser, et de détruire - entendons par maîtriser : un acte de contrôle dans le pouvoir et l'abus de ses forces, et par détruire. Cette hypothèse, qui de prime abord, pourrait sembler simpliste voire excessive [...]. Derrière ces actes, mus entre autres par la peur, se cacherait un sentiment d'infériorité.[...] nous nous appuyerons entre autres sur l'argumentaire de Terrasson qui voit dans l'homme moderne, convaincu d'être une espèce supérieure, un drame caché : la peur de la Nature. Peur qui va entraîner plus qu'un détachement, un rejet, voire une destruction, et le déni d'une part de lui-même : sa part d'animalité. »³⁶.

Elle met en œuvre l'anticipation, la préparation, la volonté et l'effort. Elle est fédératrice. Préparée en amont d'un événement imprévisible, elle se mesure lors de la confrontation. L'espoir de subsister à l'événement est dépendant du succès ou non de la résistance.

L'ancrage de la résistance dans la conscience collective est ancien. On le retrouve ainsi dans le mythe de l'Arche de Noé³⁷, dans les chapitres 6 à 8 de la Genèse (Ancien Testament). Ayant constaté la nature violente de l'espèce humaine, Dieu décide d'éradiquer de la Terre l'ensemble des êtres vivants. Dieu ordonne alors à Noé de construire un navire afin de sauver un couple de chacune des créatures animales du Déluge, catastrophe entraînée par des pluies continues durant quarante jours. Au dix-septième jour du septième mois, l'Arche touche à nouveau la Terre, sur le mont Judy (mont arménien Arara), après que Noé a été informé de l'apaisement des flots par une colombe de retour, un rameau d'olivier dans son bec. Anticipation, technologie et information auront permis de sauver les animaux et de repeupler la Terre sur l'ordre de Dieu.

³⁴ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*. P. 8220.

³⁵ Chloë Voisin-Bormuth, « Derrière les mots : la résilience ».

³⁶ Stéphanie Chanvallon, « Anthropologie des relations de l'Homme à la Nature : la Nature vécue entre peur destructrice et communion intime ». p. 103.

³⁷ « Arche de Noé ».

De nos jours, la synergie de moyens face aux catastrophes profite des avancées technologiques et participe du renforcement de la mise en œuvre de la résistance. Elle devrait idéalement permettre de faire face aux perturbations afin d'aborder un futur sans renoncements à un mode de vie ou des valeurs.

Prenons par exemple, dans le domaine de la submersion évoquée dans le mythe de l'Arche de Noé, la construction des digues anti-tsunami sur les côtes japonaise, et plus particulièrement dans la région de Fukushima. Ravagée en 1896 et 1933 par des tsunamis, la ville de Mizusawa Taro³⁸ s'équipe dès 1934 de remparts en béton d'une hauteur de 10 mètres sur une longueur de 2,4 kilomètres, ainsi que d'un réseau routier d'évacuation d'urgence. Les habitants se sentent en sécurité derrière ces édifices. Pourtant le 11 mars 2011, le tsunami qui touche la région de Fukushima génère une vague de 16 mètres qui submerge les protections et entraîne la mort de 181 personnes. Les autorités lancent alors un projet décennal de construction de digues encore plus hautes, et Mizusawa Taro bénéficiera de digues de 14,7 mètres et de nouvelles voies d'évacuation d'urgences optimisées dont les caractéristiques sont élaborées par simulations informatiques.

Revers de la médaille, le panorama côtier est complètement occulté, et certaines communautés s'opposent à ces édifices de béton impopulaires, persuadés qu'ils ne peuvent assurer une sécurité totale des habitants. Ainsi, le village de pêcheurs de Mon a décidé de déménager à 40 mètres au-dessus du niveau de la mer afin d'améliorer la sécurité de ses habitants sans pour autant hypothéquer leur rapport à la mer. A la mise en œuvre d'une la technologie sans concession face à l'imprévisibilité des tsunamis a été préférée une approche plus douce, gestionnaire à la fois des populations humaines et de l'écosystème côtier. Ce choix affirme par ailleurs la primauté de la décision collective sur les intérêts individuels.

Par ailleurs, la résistance ancre sa légitimité dans le refus de perdurer au prix d'une résignation, d'un renoncement à une situation existante, un mode de vie ou de valeurs.

Elle peut refléter un absolu face au renoncement, exprimé dans des déclarations devenues célèbres telles que « Le socialisme ou la mort, la patrie ou la mort, nous vaincrons » de Fidel Castro (5 mars 1960)³⁹ ou bien encore la citation apocryphe de Cambronne à Waterloo « La Garde meurt mais ne se rend pas » (18 juin 1815)⁴⁰. Persister, continuer d'exister n'est envisageable qu'en l'absence de compromis.

La résistance peut aussi devenir un idéal de projet comme l'énonçait le politique François Bayrou en 2007 : « *La France ne sera bien, ne sera heureuse et équilibrée que si elle sait qu'elle porte un projet de société et non pas une résignation de société. Et ce projet n'est pas seulement pour nous, il est aussi pour qui dans le monde se trouvera en recherche du même idéal. Et il faut bien le comprendre : cet idéal est un idéal de résistance.* »⁴¹. Consister et subsister participent alors

³⁸ Le Figaro Immobilier, « Les murs anti-tsunami japonais sont désormais plus hauts que jamais ».

³⁹ « Les mots de Fidel Castro, un tribu emblématique ».

⁴⁰ « Waterloo ».

⁴¹ François Bayrou, « Cet idéal est un idéal de résistance ».

d'un projet collectif orienté vers l'avenir. En cela, la résistance pourrait participer de la *résilience*
42 .

Résister suffit-il à nos sociétés pour subsister, ou faut-il faire preuve d'adaptation ? Dans ce cas, que signifie s'adapter pour nos sociétés, et quelles en pourraient être les conséquences ?

2.2 La nécessité d'adapter ou de s'adapter

Dès 1910, le théoricien anglais en sciences politiques Graham Wallas⁴³ fait le constat que la révolution industrielle, posée par Paul Joseph Crutzen comme le début de l'anthropocène, que « notre espèce, jusque-là caractérisée comme toutes les autres par l'adaptation de ses dispositions intérieures aux stimulations extérieures de l'environnement, se découvre pour la première fois inadaptée à son milieu »⁴⁴. Contrairement à l'animal politique d'Aristote adapté à la taille de la Cité, l'homme-citoyen de la Grande Société⁴⁵ issue de la révolution industrielle est débordé par celle-ci. La lente et continue adaptation à son environnement théorisée par le naturaliste Charles Darwin⁴⁶ dans *L'origine des espèces*⁴⁷, et reprise par le philosophe anglais Herbert Spencer⁴⁸ dans la théorie du darwinisme social, est confrontée à l'évolution rapide d'un environnement que l'Homme a lui-même créé, et qu'il peine à reconnaître, comprendre, et même percevoir. De l'écart entre l'héritage biologique de l'espèce humaine issu d'une lente histoire évolutive et son environnement industriel en rapide transformation, naît une désadaptation à l'origine de crises profondes⁴⁹. L'intellectuel américain Walter Lippmann⁵⁰ soutiendra que la désadaptation est le résultat de l'impossibilité des capacités cognitives de l'humain à appréhender la nature mouvante de la réalité du fait de son histoire évolutive lente, induisant par conséquent un retard de l'espèce humaine sur les événements⁵¹.

A cette désadaptation, G. Wallas propose de répondre selon deux modes : un mode passif - modifier les dispositions de l'espèce humaine -, ou bien un mode actif - modifier l'environnement afin qu'il assure les meilleurs conditions de vie.

Le mode passif consiste soit à éduquer chaque nouvelle génération de l'espèce humaine afin qu'elle s'adapte à son environnement - au prix d'une répétition de l'effort à chaque génération du fait de l'absence d'hérédité des capacités acquises -, soit à mieux adapter l'espèce humaine au moyen d'une politique eugéniste. L'ensemble des individus est considéré comme un corps malléable devant répondre sans résistance aux exigences de la Grande Société⁵². Selon

⁴² Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p. 58.

⁴³ « Graham Wallas ».

⁴⁴ Barbara Stiegler, *Il faut s'adapter*. p. 38.

⁴⁵ Graham Wallas, *The Great Society*.

⁴⁶ « Charles Darwin ».

⁴⁷ Charles Darwin, Jean-Marc Drouin, et Daniel Becquemont, *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*.

⁴⁸ « Herbert Spencer ».

⁴⁹ Barbara Stiegler, *Il faut s'adapter*. p. 40-42

⁵⁰ « Walter Lippmann ».

⁵¹ Barbara Stiegler, *Il faut s'adapter*. p. 54.

⁵² « Lebensborn ».

Lippmann⁵³, le challenge de l'éducation consistera à transmettre aux nouvelles générations une « base rationnelle » afin de leur permettre d'appréhender les flux complexes, changeants et illimités de la Grande Société malgré les limites organiques de leur attention.

L'approche eugéniste au XX^{ème} siècle nous montrera quant à elle dramatiquement ses applications, que ce soit au travers de la promotion de « l'hygiène raciale » en Scandinavie, de l'idéologie nazie - extermination des « indésirables », programme des Lebensborn etc. - ou bien de programmes de stérilisation - Loi Protection Eugénique de 1948 aux Etats Unis⁵⁴⁵⁵, politique de l'enfant unique en Chine⁵⁶, etc.

Le mode actif consiste au contraire à transformer de manière créative l'environnement industriel afin qu'il réponde de manière idoine aux dispositions naturelles de l'espèce humaine. Les tailles des centres de pouvoirs (assemblées, conseils municipaux, ...) sont réduites afin de favoriser les interactions entre individus, la délibération démocratique, la coopération et l'expérimentation collectives dans un contexte de diminution des interactions orales et de création d'une opinion publique passive. Les processus de prise de décision sont partagés entre experts et non-experts. Ainsi, l'ensemble des individus n'est plus considéré comme un corps malléable s'adaptant passivement aux exigences de son environnement⁵⁷. Nous pourrions noter des similitudes avec des initiatives dans le contexte actuel français ; d'une part avec la « démocratie sans délégation »⁵⁸ du mouvement des gilets jaunes de 2018-2019, et d'autre part avec la mise en œuvre par les dirigeants de commissions de citoyens telles que la Convention Citoyenne pour le Climat^{59 60}.

On constate que le chemin de pensée du début du XX^e siècle exposé ici est encore anthropocentré, faisant abstraction des écosystèmes. La prise en compte de la société humaine et des écosystèmes interagissant entre eux, notamment grâce aux travaux collaboratifs d'Elinor Ostrom, donnera naissance à un concept plus large : le système socio-écologique.

⁵³ Barbara Stiegler, *Il faut s'adapter*. p. 78.

⁵⁴ Patrick Sabatier, « L'eugénisme hante encore les Etats-Unis. Plus de 60 000 stérilisations furent pratiquées de force de 1907 à 1960. »

⁵⁵ Michel Alberganti, « Le darwinisme conduit-il à l'eugénisme ? »

⁵⁶ Constance Baudry, « Histoire de l'eugénisme ».

⁵⁷ Barbara Stiegler, *Il faut s'adapter*. P. 40-41.

⁵⁸ « Les « gilets jaunes » et le malaise démocratique ».

⁵⁹ « Site officiel de la Convention Citoyenne pour le Climat ».

⁶⁰ « Convention climat ».

3 Le système socio-écologique

Système ⁶¹ : du latin *systema*, « assemblage, ensemble ». Au XVI^e siècle, son utilisation dans le vocabulaire scientifique désigne un ensemble de propositions ordonnées pour constituer une doctrine cohérente du monde.

Socio : emprunté au latin classique *societas*, « association, réunion, communauté ». Prend en compte les influences de la société ou des conditions sociales sur les comportements.

Ecologique : emprunté de l'allemand *Ökologie* (du zoologiste et biologiste E. H. Haeckel). Le mot est composé du préfixe éco- issu du grec *oikos*, initialement « maison, habitat » - et qui évoluera vers « milieu naturel, habitat » - et du suffixe -logie issu du grec *logos*, « le discours, la théorie ». Elle désigne initialement la science étudiant les milieux de vie des êtres vivants. Au début des années 19070, le terme évolue vers « une doctrine visant à une meilleure adaptation de l'homme à son environnement » et le courant politique défendant cette doctrine.

3.1 Définition

Berkes et Foke donnent des systèmes socio-écologiques (SSE) la définition suivante :

« Les systèmes socio-écologiques sont des systèmes complexes et intégrés dans lesquels les humains font partie de la nature » ⁶²

En une phrase simple, les auteurs soutiennent des notions fortes.

D'une part, ils soulignent que la séparation entre systèmes humains et systèmes non humains est arbitraire, et que l'humain est bien partie intégrante d'un système vivant global. La vision anthropocentrique⁶³ de la relation homme-nature d'inspiration occidentale et judéo-chrétienne, dans laquelle la nature est soumise à l'humain, laisse place à une vision écocentrique. Cette dernière s'appuie sur une approche du vivant au travers de systèmes à plusieurs échelles : espèces, groupes, écosystèmes. Elle se base sur les découvertes systémiques en écologie scientifique mettant en évidence les interactions entre les éléments vivants et les éléments non vivants. Elle promeut la préservation de la biodiversité comme enjeu majeur de maintien de l'équilibre des écosystèmes, notamment par l'éducation des populations sur les impacts écosystémiques des actions humaines.

D'autre part, les auteurs mettent en évidence la complexité des interactions entre éléments vivants humains, non humains, et non vivants du système. Ces interactions recouvrent des espaces, temporalités et organisations à plusieurs niveaux de granularité et s'intègrent dans des structures relevant tout autant de la hiérarchie que de l'imbrication inter-niveaux.

⁶¹ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*. p. 9510, 9015, 5289.

⁶² Fikret Berkes et Carl Folke, *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*.

⁶³ « La relation Homme-Nature ».

3.2 Les principaux critères et sous-systèmes

Charles L Redman, Morgan Groove et Lauren H. Kuby, décrivent le système socio-écologique selon quatre critères ⁶⁴ :

- un système cohérent composé d'éléments biophysiques et sociaux interagissant entre eux constamment, de manière résiliente ;
- un système comportant plusieurs niveaux de temporalité, d'espace et d'organisation ;
- un ensemble de ressources critiques (d'origines naturelles ou socio-culturelles) dont la production et l'utilisation sont régulées par les sous-systèmes écologiques et sociaux ;
- un système complexe et continuellement dynamique, avec une adaptation continue. La complexité est caractérisée par la présence de sous-systèmes d'échelles diverses, l'auto-organisation assurée par les mécanismes de rétroactions (cf. variables lentes, 5.4.3), l'incertitude qui nécessite que les interactions au sein du système évoluent en tenant compte du passé

Selon Elinor Ostrom ⁶⁵ dont les travaux de recherche collaboratifs ont posé un cadre conceptuel des systèmes socio-écologiques, le système socio-écologique se décompose en quatre sous-systèmes :

- un système écologique : c'est l'écosystème ⁶⁶, soit l'ensemble des espèces (biocénose) et les interactions qu'elles entretiennent entre elles au sein d'un territoire (biotope) ;
- un système économique : il gère la production et la consommation des biens et services ;
- un système politique : - il gère les relations de pouvoir à travers les centres de pouvoirs et assemblées représentatives au moyen du système législatif ;
- un système socio-anthropologique : il regroupe les valeurs, les représentations culturelles et les technologies.

La gestion du système socio-écologique nécessite la mise en œuvre de négociations et de compromis entre ces quatre sous-systèmes dans la mesure où ceux-ci sont impliqués.

3.3 Le cas des ressources communes

Parmi l'ensemble des ressources d'un système socio-écologique, Elinor Ostrom ⁶⁷ propose de considérer un groupe particulier de ressources nommé *ressources communes* ⁶⁸. Celles-ci sont l'objet d'une forte compétition (ou soustractibilité) entre les acteurs dont l'exclusion est particulièrement difficile.

⁶⁴ Redman, Grove, et Kuby, « Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network ». p. 163.

⁶⁵ « Elinor Ostrom ».

⁶⁶ Éditions Larousse, « Ecosystème - définition ».

⁶⁷ Ostrom, *Governing the commons*.

⁶⁸ Giangiacomo Bravo et Beatrice Marelli, « Ressources communes ».

Classification des biens selon Ostrom

	Soustraitibilité de l'usage haut	Soustraitibilité de l'usage bas
Forte difficulté d'exclure un bénéficiaire potentiel	Ressources communes (<i>common-pool resources</i>) : systèmes d'irrigation, pêcheries, forêts, etc.	Biens publics : paix et sécurité d'une communauté, défense nationale, connaissance, service contre les incendies, prévisions météo, etc.
Faible difficulté d'exclure un bénéficiaire potentiel	Biens privés : nourriture, vêtements, automobiles, etc.	Biens à barrière à l'entrée : théâtres, clubs privés, centre de soins de jour, etc.

Figure 5 - Classification générale des biens selon E. Ostrom⁶⁹.

Pour régler ce dilemme, E. Ostrom propose de mettre en œuvre un ensemble de huit règles dont l'objectif est d'assurer la durabilité de l'usage des ressources⁷⁰ :

1. l'objet de la communauté et ses membres doivent être énoncés clairement ;
2. l'ensemble des règles relatives à la ressource commune doit être cohérent avec la nature de celle-ci. Les règles d'exploitation et de mise à disposition doivent être claires et adaptées à la nature de la ressource partagée ;
3. la modification des règles opérationnelles concernant la ressource commune doit impliquer la participation des utilisateurs. Celle-ci permet d'assurer l'adaptation dans le temps de l'exploitation de la ressource et par conséquent sa pérennité ;
4. les acteurs en charge de la surveillance de l'exploitation de la ressource commune et du comportement de ses exploitants en sont responsables devant les exploitants ;
5. les sanctions pour non-respect des règles d'exploitation de la ressource commune doivent être graduelles. Les sanctions ayant d'abord pour objet de rappeler l'obligation de conformation aux règles, le degré initial de sanction est faible et adapté à l'intention supposée du transgresseur de s'y conformer à nouveau ;
6. l'accès à faibles coûts aux instances locales de résolution de conflits doit être rapide ;
7. l'auto-organisation doit être reconnue par les autorités gouvernementales externes ;
8. les activités d'appropriation, d'approvisionnement, de surveillance, de mise en application des lois, de résolution des conflits et de gouvernance sont organisées à plusieurs niveaux.

Les caractéristiques principales du système socio-écologique étant décrites, il est nécessaire de comprendre dans quelles mesures celui-ci peut être vulnérable, et quels outils d'analyse sont disponibles pour effectuer le diagnostic.

⁶⁹ Ostrom, « Beyond Markets and States ». p. 5.

⁷⁰ Ostrom, *Governing the commons*. p. 91-101.

4 La vulnérabilité

Du bas latin *vulnerabilis*⁷¹, « qui peut être blessé » et de *vulnerare*, « blesser » au propre comme au figuré, lui-même dérivé de *vulnus, vulneris*, « blessure, plaie, coup porté ».

Dans le rapport *Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ?* coordonné par la chercheuse en science économique Béatrice Quenault⁷², la vulnérabilité des systèmes socio-écologiques est décrite comme multidimensionnelle, multidisciplinaire, multisensorielle et dynamique, rendant ainsi son appréhension complexe. Nous en synthétiserons les idées principales dans ce chapitre.

L'aptitude à pouvoir apprécier les vulnérabilités des sociétés humaines - et par extension des écosystèmes socio-écologiques - relève d'une importance croissante dans l'optique de mieux appréhender les risques de catastrophes plus fréquentes liées au réchauffement climatique. Leur prise en compte permet de redéfinir les catastrophes non pas comme de simples aléas physiques face auxquels nous ferions principalement appel à la technologie, mais comme la conjonction d'événements potentiellement dangereux et de vulnérabilités d'un système - infrastructures, environnement, économie - en partie déterminées par des choix humains. Ce changement de prédicat - axer l'analyse non plus sur la seule quantification des risques, mais sur l'identification, l'évaluation et la classification des vulnérabilités - participe de la promotion de systèmes résilients face aux catastrophes. La qualification des vulnérabilités s'inscrivant dans une temporalité, et le futur étant par définition inconnu à l'instant t de la spécification d'une vulnérabilité, celle-ci comprend une part d'incertitude avant et pendant la survenance de l'aléa.

4.1 Les différents visages de la vulnérabilité

Les définitions de la vulnérabilité sont multiples selon l'angle choisi pour l'analyser. Malgré tout, celles-ci peuvent être distinguées en trois groupes :

- les définitions issues des sciences physiques ; le risque est abordé en termes de probabilité d'occurrence et d'impacts. Les dommages suite à un aléa sont évalués de manière quantifiable à partir d'éléments objectifs - capacité de résistance d'un matériau, densité de population, etc. Face à ce type de vulnérabilité, il est possible de répondre par des normes, des réglementations, des techniques ou de nouveaux matériaux. Cette vision présente néanmoins des limites car elle aborde la société uniquement comme un système passif et victime de défaillances techniques, éludant les aspects sociaux, culturels ou économiques qui rendent le risque plus complexe. Parmi les définitions de la vulnérabilité biophysique, nous en citerons quelques-unes⁷³ :

⁷¹ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*. P. 10575.

⁷² Béatrice Quenault, « Béatrice Quenault - Page personnelle et professionnelle ».

⁷³ weADAPT, « Vulnerability - Definitions ».

GIEC (1997)

« La vulnérabilité est définie comme la mesure dans laquelle un système naturel ou social est susceptible de subir des dommages dus au changement climatique. La vulnérabilité est une fonction de la sensibilité d'un système aux changements climatiques et de la capacité d'adaptation du système aux changements climatiques. Dans ce cadre, un système très vulnérable serait un système très sensible à des changements modestes du climat. »

Kates (1985)

« La vulnérabilité est la capacité à subir des dommages et à réagir négativement. »

Blaikie et al. (1994)

« Par vulnérabilité, nous entendons les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe en termes de capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se remettre de l'impact d'un risque naturel. Elle implique une combinaison de facteurs qui déterminent le degré auquel la vie et les moyens de subsistance d'une personne sont mis en danger par un événement discret et identifiable dans la nature ou dans la société. »

Dow (1992)

« La vulnérabilité est la capacité différentielle des groupes et des individus à faire face aux dangers en fonction de leur position dans les mondes physiques et sociaux. »

- les définitions issues des sciences humaines et sociales ; l'impact d'un aléa ne dépend plus seulement de l'exposition à celui-ci, mais est aussi conditionné par les propriétés sociales du système humain (ou propriétés inhérentes d'un écosystème). La vulnérabilité sociale est définie comme un manque de capacité de la société à faire face à l'aléa - que ce soit au niveau de l'individu ou du groupe -, à l'anticiper, à y résister et à subsister. Elle inclut divers éléments tels que la fragilité sociale (précarité, degré de protection sociale, ...), les inégalités sociales (revenus, éducation, ...), la vitalité économique, la culture, les institutions, ou bien encore le bien-être. Non spécifique à l'aléa, la vulnérabilité sociale est latente et peut être amenée à s'exprimer lors de la survenance de l'aléa. Enfin, les interactions entre vulnérabilité sociale et vulnérabilité biophysique permettent de définir une vulnérabilité globale telle que proposée par l'anthropologue française Sandrine Revet

Type de vulnérabilité	Facteurs de vulnérabilité	Indicateurs (liste non exhaustive)
Vulnérabilité biophysique ou technique	Aléas	Intensité Cinétique
	Résistance physique des enjeux matériels et humains [Données objectives et quantifiables]	Exposition Résistance
Vulnérabilité sociale	Culture/connaissance/conscience du risque	Information
		Participation au processus décisionnel
	Organisation institutionnelle et administrative du territoire exposé	Expérience antérieure du risque
		Participation/Implication des acteurs compétents
Capacité de la société à faire face et à se reconstruire [données subjectives]	Capacités économiques	Coordination des politiques publiques sur le territoire
		Organisation de la gestion de crise (surveillance, alerte, organisation des secours) Organisation de la reconstruction et de la réparation
		Niveau socio-économique des acteurs

Figure 6 - Récapitulatif et classifications des différents facteurs et indicateurs de vulnérabilité ⁷⁴.

Parmi les définitions de la vulnérabilité sociale, nous en citerons quelques-unes ⁷⁵ :

Blaikie et al., 1994 - Hewitt, 1997

« Terme utilisé pour définir la susceptibilité des groupes sociaux aux pertes potentielles dues aux aléas ou la résistance et la résilience de la société aux aléas. »

Wisner et al., 2004

« Les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe et leur situation qui influencent leur capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se rétablir de l'impact d'un risque naturel ... Il s'agit d'une combinaison de facteurs qui déterminent le degré auquel la vie, les moyens de subsistance, les biens et autres actifs d'une personne sont mis en danger par un événement discret et identifiable ... dans la nature et dans la société. »

Yarnal, 2007

« Émanent de facteurs sociaux qui placent les gens dans des zones fortement exposées, affectent la sensibilité des gens à cette exposition et influencent leur capacité de réponse et d'adaptation. »

- les définitions relevant d'une approche systémique ; elles tentent de faire la synthèse des vulnérabilités biophysiques et sociales évoquées dans les deux premiers groupes au sein d'un système global qualifié de système socio-écologique. La vulnérabilité globale n'est alors plus vue comme un état, mais comme un processus simultanément :
 - multidimensionnel (espaces physiques) et différentiel (variation au sein des groupes sociaux) ;

⁷⁴ Sandrine Revet, « La vulnérabilité, une notion problématique? Un regard d'anthropologue ».

⁷⁵ Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p. 95.

- dépendant des échelles de temps et d'espace et de la taille des entités analysées (individu, groupe, systèmes, etc.) ;
- dynamique (variation de la vulnérabilité dans le temps).

De la diversité des définitions de la vulnérabilité, on peut extraire une base commune fondée sur la « face interne du risque », c'est-à-dire la caractéristique intrinsèque de l'élément soumis au risque - structure physique, groupe social, écosystème, etc.

A cette extension commune est proposée une seconde extension centrée sur l'humain, et mettant l'accent sur la prédisposition à « *souffrir de blessures, décès, [...]* » plus ou moins importante en fonction de conditions extérieures. Une troisième extension élargit le concept à une vulnérabilité dualiste - capacités internes à faire face aux impacts versus caractéristiques externes de l'exposition aux risques- qui intègre à la fois la prédisposition à subir le risque (connotations négatives) et les facultés de se remettre de l'aléa (connotation positive).

Une quatrième extension englobe, en sus de l'exposition, de la prédisposition et de la capacité à faire face, les capacités adaptatives, l'adaptation et les interactions avec les perturbations (par exemple, le réchauffement climatique). La vulnérabilité est alors vue, dans une approche plus systémique, comme une structure multidimensionnelle complexe, mettant en interactions les diverses caractéristiques de la vulnérabilité et les aléas. Cette vision multi-facette de la vulnérabilité est connue au travers de l'analogie du diamant.

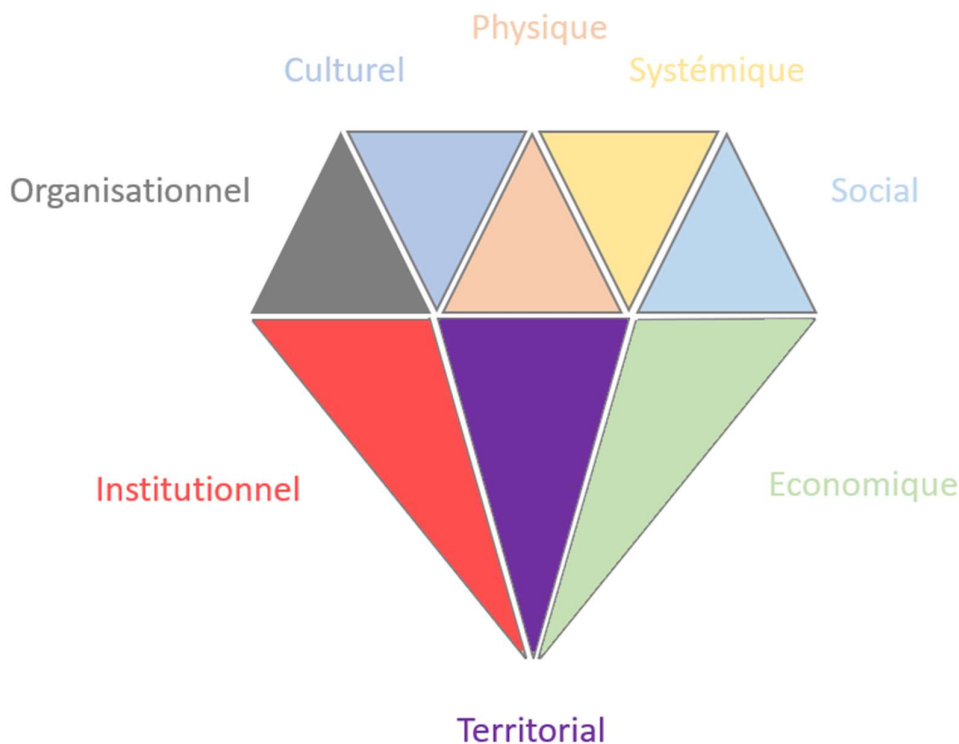


Figure 7 - Analogie du diamant et nature multifacette de la vulnérabilité (Parker et al.)⁷⁶.

⁷⁶ Parker et al., « Figure 2.1 ».

Description des facettes du diamant :

- Physique : potentialités de dommages structurels et sur les « lignes de vie » (eau, nourriture, chauffage) ;
- Systémique : lieux et modalités de diffusion d'une perturbation ;
- Culturel : potentialités de pertes de croyances, coutumes et habitudes ;
- Organisationnel : potentialités e pertes liées aux défauts organisationnels ;
- Institutionnel : potentialités de défauts des institutions et arrangements institutionnels ;
- Territorial : assemblage d'actifs, de capitaux et de dynamiques de cultures constituant un territoire ;
- Economique : potentialités de pertes économiques et de productivité ;
- Social : potentialités de vulnérabilités sociales (voir le chapitre précédent).

La définition multifacette de la vulnérabilité nécessite de mettre en place des cadres d'analyse de cette dernière en prenant en compte sa complexité au travers des aspects multidimensionnels, multidisciplinaires, ou bien encore multisensoriels.

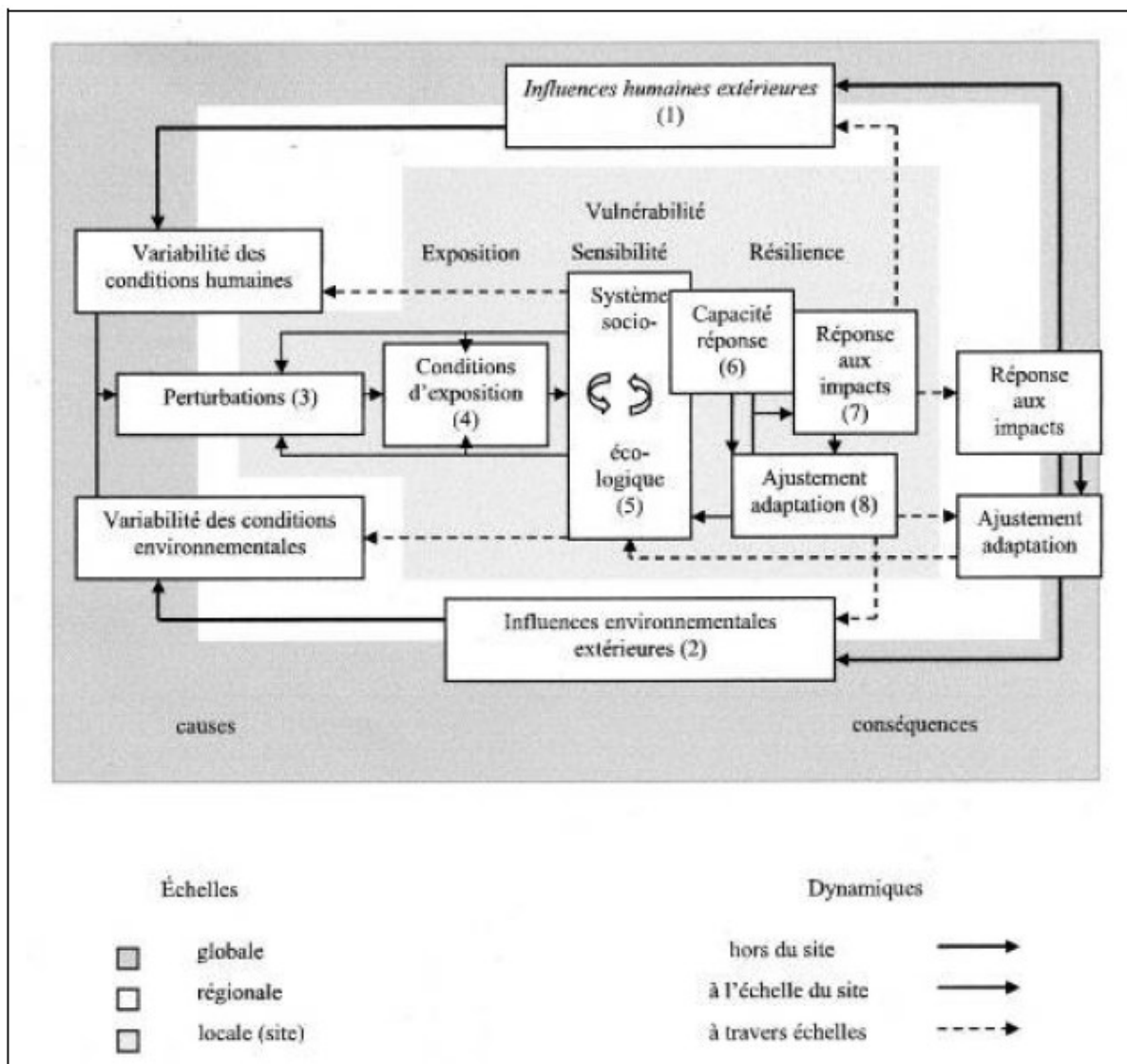
4.2 Quelques cadres analytiques et conceptuels de la vulnérabilité

La littérature propose plusieurs cadres conceptuels et d'analyse de la vulnérabilité. Nous nous focaliserons sur deux d'entre eux :

- le modèle de liaison des vulnérabilités et des changements environnementaux globaux ;
- le modèle européen ENSURE (Energy Savings in Urban Quarters through Rehabilitation and New Ways of Energy Supply)

4.2.1 *Le cadre des changements environnementaux globaux*

Ce cadre d'analyse décrit dans la figure ci-dessous indique comment les influences humaines extérieures (1) - par exemple l'emploi d'énergies fossiles - génèrent des perturbations (3) - telles que des vagues de chaleur exceptionnelles - dont les effets dépendent de l'exposition (4) à ces perturbations, de la sensibilité (5) et enfin de la résilience du système socio-écologique (6, 7 et 8). Il met par ailleurs en avant les interactions - causes, conséquences, actions - qui s'expriment à différentes échelles aussi bien au sein du système étudié qu'en dehors de celui-ci. Enfin, on peut noter que dans ce cadre conceptuel, la résilience intègre la notion de *réponse aux impacts (7)*, c'est-à-dire une démarche active d'actions sur les influences extérieures à l'origine des perturbations.



r et al.

Figure 8 - Liaisons entre vulnérabilité et changements environnementaux globaux (Décamps, 2007, 50, d'après Turner et al., 2003)⁷⁷.

4.2.2 Le modèle intégré ENSURE

Le modèle ENSURE ⁷⁸ envisage la vulnérabilité comme l'association des faiblesses et fragilités d'un système, le rendant incapable de résister au stress généré par une source extérieure. La résilience y est vue comme la capacité à réagir face aux perturbations, à récupérer en transformant les pertes subies en opportunités pour l'avenir.

En tant que processus dynamique, elle agit afin de diminuer la vulnérabilité préexistante à l'aléa qui l'a mis en branle. Le modèle dissocie par ailleurs plusieurs vulnérabilités déterminées par leur temporalité par rapport à l'aléa : les vulnérabilités physiques qui se transforment en dommages au moment de l'impact d'une part, et les vulnérabilités systémiques qui apparaissent plus tard durant la phase d'urgence et de retour à des conditions normales.

⁷⁷ Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p. 81.

⁷⁸ « ENSURE - European Sustainable Urbanisation through Port City REgeneration ».

Enfin, le modèle prend en compte l'étendue spatiale de l'impact d'un événement perturbateur. En effet, une perturbation locale peut impacter la vulnérabilité sur une échelle de grandeur plus large, du fait notamment des interactions systémiques qui existent entre un système local et un système global. L'exemple type cité concerne l'éruption en 2010 du volcan islandais Eyjafjöll qui a aussi bien impacté les populations locales que l'espace aérien mondial de l'hémisphère nord atlantique. Les échelles des aléas et des vulnérabilités sont par conséquent décorréliées dans le modèle.

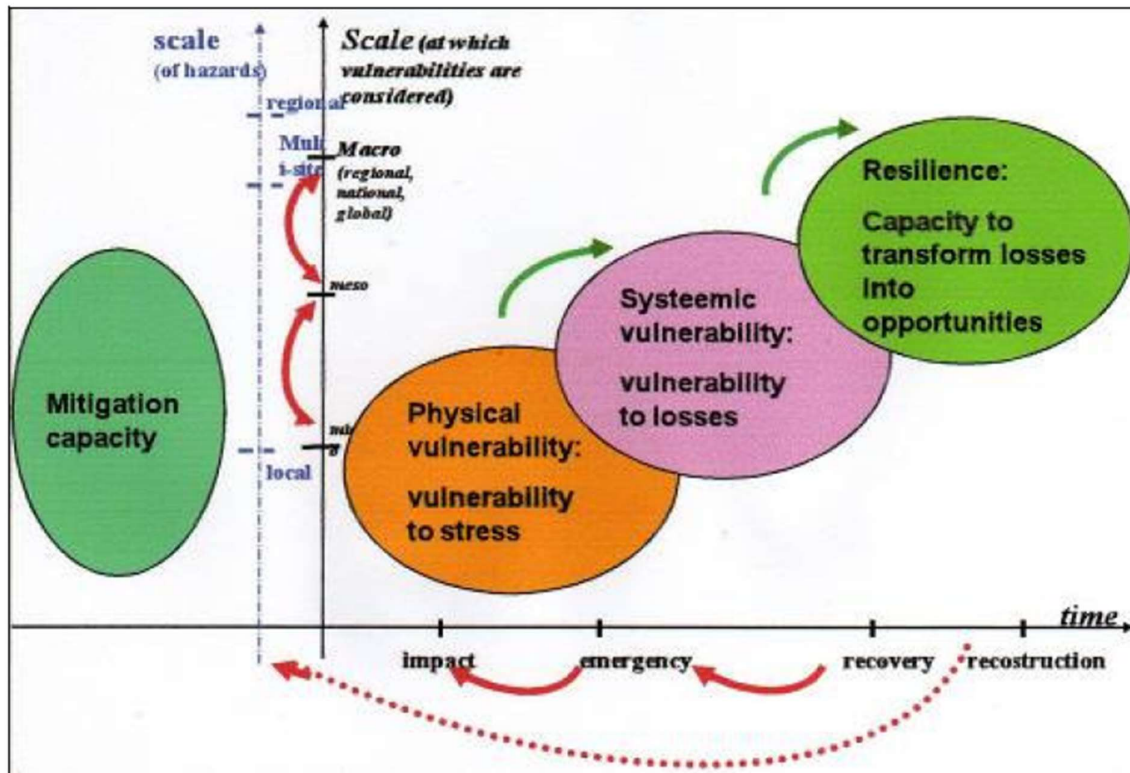


Figure 9 - Cadre intégré du modèle ENSURE pour l'évaluation de la vulnérabilité et de la résilience (Menoni, 2011)⁷⁹.

En conclusion, le modèle ENSURE met en avant la résilience comme le moteur à long terme non seulement du retour à des conditions normales après la survenue d'un aléa, mais aussi de l'amélioration des capacités d'atténuations en vue d'un prochain aléa exceptionnel. Aussi est-il indispensable de comprendre les principes qui participent de la mise en œuvre de la résilience dans les systèmes socio-écologiques.

⁷⁹ Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? » P. 91.

5 La résilience

5.1 L'origine du concept

Issu du latin *re-salire*⁸⁰ : « rebond », le mot résilience apparaît au Royaume Uni dès le XVII^e siècle chez les philosophes et écrivains au sujet de la détresse sociale et morale, dans le sens de « se lever à nouveau après avoir été déprimé »⁸¹. Certains textes actuels⁸², à destination du grand public, font souvent référence à la résilience psychologique comme un concept issu initialement du domaine de la physique et décrivant la capacité d'un matériau à résister au choc grâce à ses caractéristiques d'absorption de l'énergie du choc. Or, l'utilisation du mot résilience en physique semble lui-même avoir été inspiré par le Dr Young à l'ingénieur anglais Thomas Tredgold dans la rédaction de son ouvrage « Traité sur la solidité de la fonte et d'autres métaux » en 1824⁸³ pour définir la résistance physique des métaux.

Par analogie avec la physique, le terme est par la suite utilisé par le psychanalyste autrichien Freud pour « illustrer l'idée qu'un être humain peut résister à un trauma, tenir le coup, et redémarrer »⁸⁴.

Les bases modernes du concept seront définies par la psychologue américaine du développement Emmy E. Werner au cours des années 50, suite à son étude sur une population de 700 enfants en situation de grande précarité affective et sanitaire de l'île hawaïenne Kauai. L'étude montra qu'une fois adultes, un quart des individus avaient réussi à élaborer un chemin de vie - emploi, création d'un foyer familial - malgré les conditions difficiles de l'enfance, alors que les trois quarts présentaient toujours des carences héritées de l'enfance⁸⁵. Les résultats amenèrent Emmy E. Werner à explorer les conditions qui avaient permis à certains de se reconstruire malgré leur passé. Le psychiatre écossais John Bowlby expliquera cette capacité de résilience au travers de la théorie de l'attachement⁸⁶. Selon Bowlby, l'individu évolue au cours de sa vie - de la plus tendre enfance à l'âge adulte - dans un système d'attachement plus ou moins fort dans le temps, lui permettant de retrouver un sentiment de sécurité face aux dangers de son environnement. Une fois rassuré, l'individu est en mesure de se distancier de sa figure d'attachement - la (les) personne(s) participant au système d'attachement - afin d'explorer son environnement. Bowlby considère par ailleurs que l'application des concepts de l'éthologie - science de l'étude des comportements animaux, dont les comportements humains - à la psychanalyse - processus d'investigation des processus mentaux et de traitement des névroses - est avantageuse dans l'étude de la résilience.

Le neuropsychiatre Boris Cyrulnik, principal vulgarisateur de la résilience en France auprès du grand public, propose au regard de la proposition de Bowlby la définition suivante de la résilience :

⁸⁰ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*.

⁸¹ Cyrulnik et Jorland, *Résilience*, p.20.

⁸² « Wikipédia - Résilience ».

⁸³ Thomas Tredgold, *Practical Essay On The Strength Of Cast Iron And Other Metals: Containing Practical Rules, Tables, And Examples, Founded On A Series Of Experiments*.

⁸⁴ Cyrulnik et Jorland, *Résilience*, p. 8.

⁸⁵ Werner, *Through the eyes of innocents*.

⁸⁶ Anne-Sophie Barbey-Mintz et Romain Dugravier, « Origines et concepts de la théorie de l'attachement ».

« La définition de la résilience est donc très simple : c'est un processus biologique, psychoaffectif, social et culturel qui permet un nouveau développement après un traumatisme psychique. Il faut donc associer des chercheurs de disciplines différentes [...] »⁸⁷.

Au-delà du domaine de la psychologie, par abstraction, la définition de la résilience peut être définie comme *« la capacité d'un système, qu'il s'agisse d'une forêt, d'une ville ou d'une économie, de faire face au changement et de continuer à se développer. Il s'agit donc de la force de résistance et de l'adaptabilité d'un système donné mais aussi de son aptitude à transformer les chocs et les perturbations, comme par exemple une crise financière ou des modifications du climat, en possibilités de renouvellement et en pensée novatrice. La pensée de la résilience englobe l'acquisition des connaissances, la diversité et surtout la conviction que les êtres humains et la nature sont si étroitement liés qu'ils doivent être considérés comme constitutifs d'un seul et même système socio-écologique. »⁸⁸*

5.2 La diffusion auprès du grand public

Si, en France, le terme de résilience est indissociable du travail de popularisation effectué par le psychiatre Boris Cyrulnik auprès des chercheurs, professionnels et parents, il apparaît dans les articles de presse principalement à partir des années 2000. Dans les titres de dépêches de l'AFP, les occurrences du mot passent de 2 en 2000 à 24 en 2008.⁸⁹ Paradoxalement, l'intérêt pour le terme résilience aussi bien en France⁹⁰ qu'au niveau mondial⁹¹ semble stable sur la même période, jusqu'à l'apparition de la crise de la Covid-19 au printemps 2020. On constate en mars 2020, en effet, un fort intérêt pour le mot « résilience » dans les recherches du moteur Google issues principalement de France et des pays d'Afrique de l'Ouest francophones.

⁸⁷ Cyrulnik et Jorland, *Résilience*, p. 8.

⁸⁸ « Introduction ».

⁸⁹ Julien Damon, « Les mots qui comptent ».

⁹⁰ « Google Trends - Occurrences du mot "résilience" en France ».

⁹¹ « Google Trends - Occurrences du mot "résilience" dans le monde ».

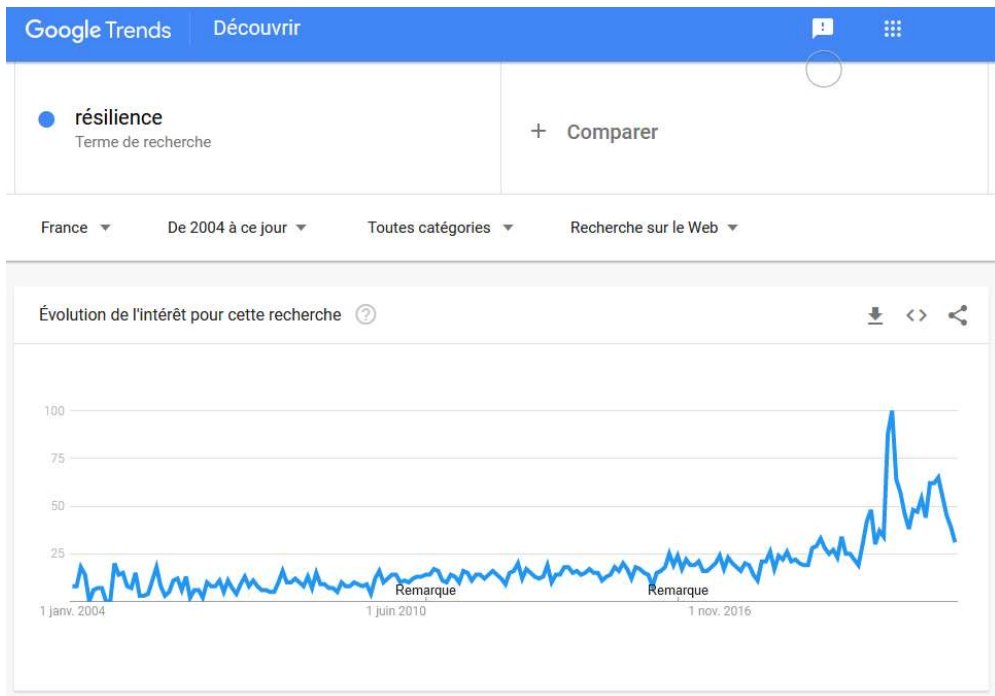


Figure 10 - Recherches Google du mot résilience en France.

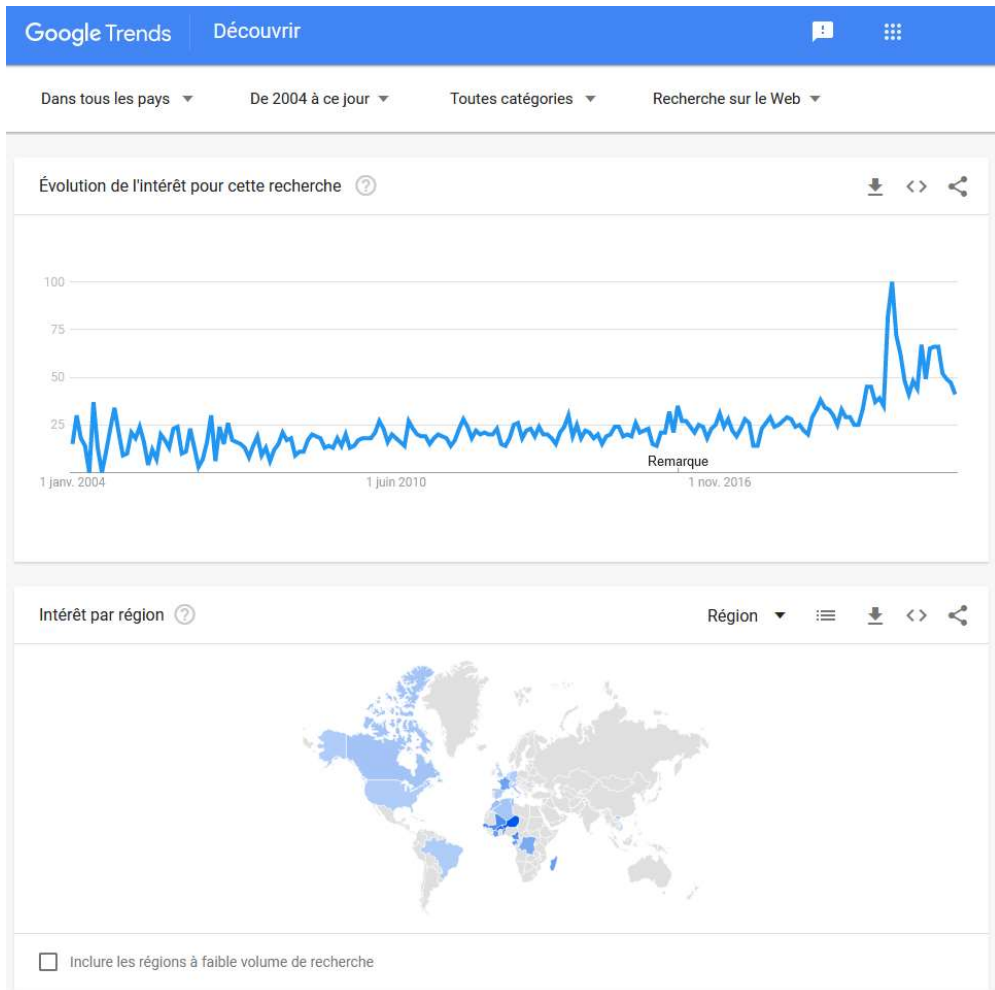


Figure 11 - Recherches Google du mot résilience dans le monde.

5.3 L'outil politique

En parallèle de sa diffusion auprès du grand public, la résilience s'installe dans la panoplie des outils des dirigeants européens.

Au lendemain des attentats du 11 septembre 2001, le Royaume-Uni se dote d'une équipe de spécialistes dénommée « The London Resilience Team » afin de d'améliorer ses capacités à apporter une réponse rapide et efficace aux catastrophes quelles que soient leurs natures ⁹². Cette équipe a pour objet de capitaliser sur le travail de mémoire des générations passées afin de renforcer les liens sociaux et améliorer les capacités face aux risques du futur. Son axe de travail s'inspire notamment de l'idée de « donner sens aux épreuves » proposée par le psychologue américain Julius Seagal, expert des traumatismes des prisonniers et otages, dans son livre « Winning Life's toughest Battles » ⁹³.

Le mot résilience entre dans le vocabulaire de communication. Aux Etats-Unis, Joseph Biden évoque la « résilience » de la Constitution américaine dans son discours d'investiture du 20 janvier 2021 ⁹⁴.

En France, Emmanuel Macron salue la mémoire du Général de Gaulle le 9 novembre 2020 en relevant son « esprit de résilience », alors que de prime abord l'image du Général de Gaulle est plus associée à la résistance. Néanmoins, le choix du mot résilience aurait pu être influencé par le résistancialisme ⁹⁵, récit national d'après-guerre mis en œuvre par le Général de Gaulle afin de réconcilier les composantes de la France. La « résilience » apparaît de nouveau régulièrement dans le contexte de la crise de la Covid-19 : E. Macron parle, le 19 février 2021 sur France Info, de « scénario de résilience » dans le cadre de l'allègement des mesures sanitaires liées à l'épidémie de Covid-19 ; opération militaire « Résilience » de lutte contre la propagation du virus en mars 2020 ⁹⁶ ; élaboration en février 2021 d'un projet de loi « portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets » ⁹⁷. La résilience se voit empreinte d'un positivisme influencé par sa définition anglo-saxonne « *des idées d'élasticité, de ressort, de ressource et de bonne humeur* » ⁹⁸.

Comme le résume Evelyne Pieiller dans le Monde diplomatique, « *Manifestement, être résilient, c'est bien. C'est peut-être même le bien.* » ⁹⁹

Il s'agit alors de faire accepter sa mise en œuvre auprès de populations diverses, sommes d'individualités et de profils différents. Comment, dans le respect des principes des démocraties européennes, faire adopter par le plus grand nombre des mesures qui peuvent s'avérer contraignantes ? Comment agir de manière non contrainte sur l'individu afin qu'il se conforme à l'intérêt général ? Miser sur la seule rationalité des individus s'avère insuffisant. Nombre de décisions sont prises de manière irrationnelle, systématique et rapide, selon un principe d'économie d'énergie dans la prise de décision hérité de la préhistoire. L'études par les

⁹² Serge Tisseron, « Du bon usage de la "résilience" ».

⁹³ Segal, *Winning Life's Toughest Battles*.

⁹⁴ « Discours d'investiture Du Président Joseph R. Biden ».

⁹⁵ Robin Uzan, « Le Mythe Résistancialiste ».

⁹⁶ « Opération Résilience ».

⁹⁷ Assemblée Nationale, « Projet de loi n° 3875 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets ».

⁹⁸ Serge Tisseron, « Du bon usage de la "résilience" ».

⁹⁹ Evelyne Pieiller, « Résilience partout, résistance nulle part ».

neurosciences de ces décisions irrationnelles - les biais cognitifs - a permis non seulement d'en cartographier environ 200, mais aussi de proposer des méthodes de « reprogrammation » des schémas émotionnels afin d'influencer de manière douce le comportement des individus . Ces méthodes, les *nudges* ou « coups de pouce »¹⁰⁰, sont proposées depuis dans le domaine du marketing par des cabinets de conseil spécialisés dans le but d'« accélérer l'adoption et la diffusion d'une offre de produits ou services, adopter un comportement vertueux [...], ré-enchanter l'expérience client, changer les habitudes de prescription, transformer les organisations... autant d'enjeux auxquels les entreprises et institutions font face chaque jour. »¹⁰¹ si l'on en croit la profession de foi de la BVA Nudge Unit accompagnant le gouvernement français dans la mise en œuvre des diverses mesures sanitaires face à la Covid-19. Les nudges peuvent ainsi participer de la « fabrique du consentement » des populations appelée par Lippmann en vue de réadapter la société humaine à la Grande Société.

Se pose alors la question de l'éthique de l'utilisation de méthodes qualifiées par la philosophe Barbara Stiegler de « modelage infra-conscient de nos comportements »¹⁰². Jusqu'où modeler « nos architectures de choix » ? Doit-on accepter au travers des *nudges* la mise en place dans nos modes de pensées d'une opposition binaire entre ce qui est *bien* - distanciation sociale, gestes barrières, etc. - et ce qui est *mal* - cluster, relâchement, etc. ? Ne risque-t-on pas une mise aux normes du *bien* dans nos sociétés démocratiques des individus vis-à-vis d'un intérêt général défini par ses représentants ? Le chercheur en sciences sociales Thierry Ribaut¹⁰³ décrit cette idée sous le nom « d'économie du consentement »¹⁰⁴. Selon lui, la résilience est un processus pseudo-thérapeutique consistant à substituer le consentement à ce qu'elle ne peut résoudre. L'objectif est de supprimer la peur du risque - attitude irrationnelle - à renfort de communication afin de faire accepter l'idée de vivre avec la catastrophe et ses nuisances. Les victimes deviennent alors cogestionnaires des dégâts subis, et le désastre devient le terrain d'expérimentation de leur résistance, la promesse d'un nouveau départ assuré par la résilience.

5.4 Les principes de la résilience d'un système socio-écologique

Suivant la littérature et les domaines d'études de chacun, le mot *résilience* évolue dans un nuage de concepts connexes résumé dans la figure suivante.

¹⁰⁰ « Théorie du nudge ».

¹⁰¹ BreakingWeb, « Nudge et comportement ».

¹⁰² Barbara Stiegler, *De la démocratie en pandémie*. P. 27.

¹⁰³ « Thierry Ribault ».

¹⁰⁴ Ribault, *Contre la résilience*. p. 297.

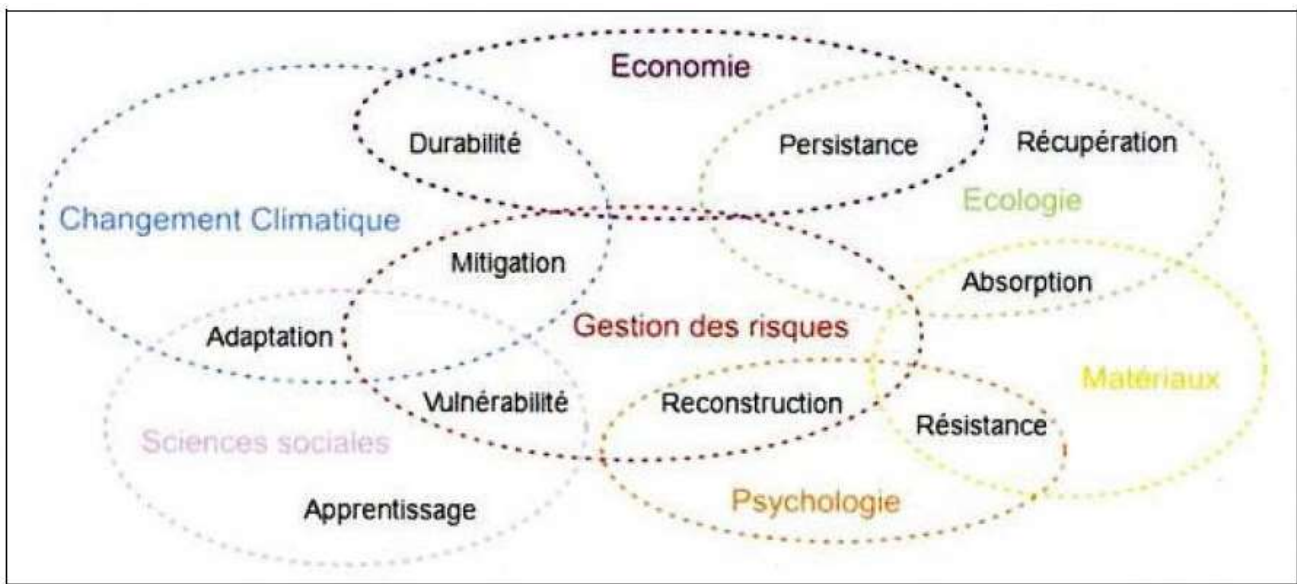


Figure 12- Nébuleuse de l'emploi du terme de résilience et les concepts afférents ¹⁰⁵

A partir de la définition de la résilience des systèmes socio-écologiques donnée par le Stockholm Resilience Centre de l'Université de Stockholm, nous décrivons d'une part dans les chapitres suivants chacun des sept principes de résilience, et nous nous efforcerons d'autre part d'illustrer chacun des principes par un exemple de mise en œuvre.

5.4.1 Maintenir la diversité et la redondance

Un système composé d'éléments diversifiés et multiples est généralement plus résilient qu'un système avec peu d'éléments. Par ailleurs, la diversité des réponses des éléments aux événements perturbateurs renforce la résilience liée à la diversité elle-même ¹⁰⁶.

La redondance fonctionnelle réside dans la capacité d'éléments différents à remplir une fonction identique ou similaire. Par exemple, une agriculture basée sur la culture parallèle de plusieurs espèces ou variétés de céréales ou de féculents permet d'apporter les mêmes apports nutritifs quand bien même certaines cultures subiraient un événement exceptionnel (sécheresse, inondation, maladie, ...). A contrario, la monoculture, basée sur une unique espèce/variété, augmente les risques de perte de la fonction. Une maladie par exemple est à même de détruire la totalité d'une monoculture, la fonction de nourrissage n'est alors plus assurée.

La redondance est améliorée si les différents éléments du système réagissent différemment à la même perturbation (taille et échelle de réponse dans l'espace et le temps). Par exemple, la dispersion de graines d'une espèce végétale peut être assurée par des animaux terrestres et volants de différentes tailles. Certaines espèces seront bloquées dans leur fonction par un événement local (tel qu'un feu de forêt), là où d'autres seront en mesure de s'échapper et d'assurer la dispersion des graines nécessaire à la survie de l'espèce végétale. Ce même principe peut s'appliquer aux organisations humaines.

¹⁰⁵ Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p. 97.

¹⁰⁶ « Principe un - Maintenir la diversité et la redondance | Appliquer la réflexion sur la résilience ».

Par ailleurs, la diversité des acteurs d'un système permet d'appréhender un changement selon plusieurs angles de vues. En fonction de l'opportunité ou du risque que le changement (évolution d'un écosystème ou d'un marché par exemple) représente pour chacun des acteurs, ces derniers mettront en œuvre des réponses différentes. C'est le cas par exemple de la Namibie, où les populations pauvres ont modifié leur réponse fonctionnelle en arrêtant le braconnage et en s'engageant dans l'éco-tourisme plus lucratif et durable ¹⁰⁷.

Si nous considérons le système hospitalier national face à la crise de la Covid-19¹⁰⁸, la fonction systémique « prévenir la contamination » a été assurée par la diversité de la réponse fonctionnelle : fourniture de masques et de gel désinfectant, mise en œuvre de gestes barrières et communication de ces derniers, mise en isolement de groupes (cas contacts), fermeture des frontières, confinement, et finalement prise en charge des malades les plus touchés à domicile ou en milieu médical. Ces différents moyens ont été mis en œuvre de manière imbriquée, sur des échelles chronologiques et des tailles de populations diverses afin de répondre à la contamination de la manière la plus adaptée. Gestes barrières de la responsabilité de l'individu et sur un temps long (par rapport à la durée de la pandémie), confinement sur un temps moyen de l'ensemble de la population avec l'appui coercitif des forces étatiques, isolement des cas contact sous la responsabilité des groupes concernés et pour des durées courtes (une dizaine de jours).

Quels moyens mettre en œuvre pour assurer la redondance et la diversité ? Le Stockholm Resilience Centre propose plusieurs pistes :

- Conserver et valoriser la redondance en identifiant les acteurs ou fonctions clés où la redondance est faible afin de l'améliorer. En management, ce sera par exemple la formation de personnel afin d'assurer le « backup », c'est-à-dire la continuité de service en l'absence de la personne en charge de fonctions clés.
- Maintenir la diversité écologique car celle-ci assure la redondance fonctionnelle et la diversité de réponses. Limiter la dépendance aux entrants extérieurs et favoriser les ressources déjà présentes dans le système. Il convient aussi de maintenir la complexité structurelle des écosystèmes, de protéger les sous-systèmes plus fragiles par la présence de sous-systèmes protecteurs, de créer de la connectivité et d'assurer la régulation des populations d'éléments extérieurs (ex : espèce invasives).
- Intégrer la diversité et la redondance dans les systèmes de gouvernance. Cela passe par la mise en place d'organisations plus agiles et transverses où la pluralité des points de vue et l'autonomie sont encouragées ¹⁰⁹, dans une logique de mise en balance des gains et des coûts associés (financiers, organisationnels, culturels).
- Privilégier une vision à long terme plus à même de faire face aux perturbations - même avec un coût plus important et une rentabilité moindre à court terme - à une vision à court terme plus efficace économiquement mais plus fragile face aux perturbations.

¹⁰⁷ Thomas Saintourens, « Namibie ».

¹⁰⁸ « COVID-19 ».

¹⁰⁹ Richard Fontaine, « Les pratiques concrètes d'une entreprise agile | L'Agiliste ».

5.4.2 Gérer la connectivité

La connectivité entre les acteurs, les espaces et les ressources d'un système socio-écologique ¹¹⁰ est un principe décrit par sa nature – échanges de ressources, culturels, brassage génétique, etc. –, son intensité – variable dans le temps –, et dont l'efficacité dépendra à la fois de la nature et de la valeur d'équilibre de l'intensité à un instant donné. Elle peut influencer la résilience en favorisant des interactions – connectivité de forte intensité –, ce qui permettra le rétablissement de tout ou partie d'un système, ou en limitant les interactions – connectivité de faible intensité –, ce qui protégera tout ou partie du système de la diffusion de perturbations (par exemple : incendies, pandémies). Il s'agit donc d'adapter constamment l'intensité de la connectivité en fonction de sa nature.

Le renforcement de la connectivité entre parcelles biologiques permettra par exemple la réinstallation de populations sur une parcelle ayant subi des perturbations à partir de populations présentes sur une parcelle refuge. A contrario, il peut favoriser la compétition entre espèces animales ou végétales pour l'accès aux ressources ¹¹¹.

Dans la sphère humaine, le transport aérien permet une meilleure réactivité lors d'opérations de secours internationales ¹¹², mais favorise aussi la diffusion des épidémies ¹¹³. La connectivité assurée par Internet permet à la fois de partager rapidement de l'information, de créer de la confiance et de la réciprocité entre les acteurs à travers la planète, mais favorise par ailleurs l'enfermement dans des schémas de pensées ¹¹⁴ – notamment sous l'effet de prescription de contenu par les algorithmes d'intelligence artificielle – et peut générer des situations conflictuelles ¹¹⁵.

Une connectivité de faible intensité peut aussi limiter le brassage génétique des populations – et donc hypothéquer sa survie à long terme en cas de perturbation de l'écosystème –, mais aussi favoriser la conservation d'une espèce ou d'un écosystème en limitant l'arrivée d'espèces concurrentes ¹¹⁶. Dans le domaine informatique, l'isolement de réseaux internes des organisations assuré notamment par les Demilitary Zones (DMZ) permet de diminuer la vulnérabilité des systèmes d'information. En contrepartie, il implique des contraintes plus fortes lors de l'accès à l'information externe (Internet).

Le projet de développement durable transnational « Yellowstone to Yukon » ¹¹⁷ lancé en 1993 est un exemple de la restauration et de la gestion de la connectivité au niveau systémique, aussi connu sous le concept des trames vertes et bleues, soit « un réseau d'échanges pour que les espèces animales et végétales puissent, comme l'homme, circuler, s'alimenter, se reproduire, se reposer, [...] et assurer ainsi leur cycle de vie un réseau d'échanges » ¹¹⁸. Grâce à la restauration de la connectivité entre des parcelles sauvages du parc Yellowstone (USA) et de la région du

¹¹⁰ « Principe deux - Gérer la connectivité | Penser la résilience ».

¹¹¹ « Le déplacement des espèces sous l'effet du réchauffement climatique menace l'Homme - Sciences et Avenir ».

¹¹² Hans, « Services aériens humanitaires ».

¹¹³ « Influences du transport aérien sur la santé – Académie nationale de médecine | Une institution dans son temps ».

¹¹⁴ « Comment les réseaux sociaux accentuent l'enfermement dans ses idées ».

¹¹⁵ « Pakistan ».

¹¹⁶ « Muséumédia : Le dodo, une espèce d'intérêt écologique ».

¹¹⁷ « Establishing Wildlife Corridors & Habitat Protections in US & CA | Y2Y ».

¹¹⁸ « Trame verte et bleue ».

Yukon (Canada) sur une longueur de 3200 kilomètres, le projet a permis en 20 ans de doubler la surface des zones protégées et d'améliorer la conservation de 30% d'entre elles. Ces parcelles correspondent soit à des zones d'habitat principal, soit à des zones de liaisons. L'augmentation de la connectivité entre parcelles a favorisé les brassages génétiques des populations animales - améliorant ainsi leur résilience à long terme -, favorisé la biodiversité, diminué les interactions fatales entre animaux et véhicules de 80%, pacifié la cohabitation avec les humains¹¹⁹. Enfin, le projet a permis de sensibiliser plus de 90 millions de personnes aux défis environnementaux.

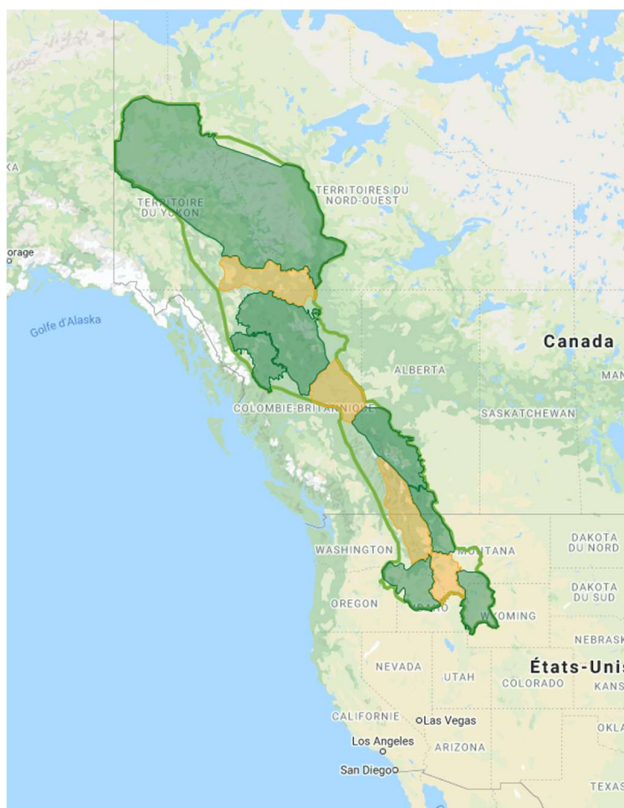


Figure 13 - Carte des parcelles socio-écologiques du projet "Yellowstone to Yukon".

La mise en œuvre de la connectivité est donc complexe et nécessite d'être contextualisée. Pour ce faire, le Stockholm Resilience Centre soumet des « lignes directrices » :

- Cartographier la connectivité sous forme d'un réseau composé d'éléments et d'interactions de différentes pertinences, natures, échelles et forces. Les outils mathématiques¹²⁰ et de datavisualisation¹²¹ peuvent alors apporter une compréhension plus intuitive des enjeux sous-jacents.
- Identifier les éléments et interactions clés afin d'identifier les réseaux isolés, les connexions les plus structurantes ou critiques d'un système.

¹¹⁹ « Our Impact on Habitats for Biodiversity ».

¹²⁰ « Kumu ».

¹²¹ « GRAPHERS.FR : Théorie des Graphes ».

- Restaurer la connectivité par l'ajout ou la suppression de connexions à travers un management dynamique de la connectivité. Par exemple, le projet Montégérie Connection au Québec étudie la gestion de la connectivité afin d'améliorer la fourniture de services écosystémiques par les différents paysages de la région est de Montréal dans le cadre de 4 scénarii à échéance 2045.
- Optimiser l'existant en modifiant la structure de la connectivité (augmentation ou réduction des connexions, modularisation en sous-réseaux) afin de rendre le système plus résilient.

5.4.3 Gérer les variables lentes et les retours

Ce principe consiste à maintenir la configuration (les caractéristiques) d'un système ¹²² afin qu'il reste opérationnel et puisse fournir les services écosystémiques essentiels attendus.

La configuration d'un système évolue avec une forte inertie dans le temps, et avec des plages de variations limitées. Si celles-ci venaient à être fortement perturbées, le retour du système à un état souhaitable peut s'avérer difficile, voire impossible. Le maintien de la configuration est assuré par des boucles de rétroactions (feedback loop) ; l'évolution d'une caractéristique va entraîner une action de correction (ou atténuante) ou d'amplification (ou renforçante) sur la caractéristique.

Dans le cas d'une boucle de rétroaction négative (correction), une fois la caractéristique revenue à une valeur acceptable, la boucle de rétroaction n'est plus sollicitée. Nous pouvons citer notamment la régulation de la glycémie ou la régulation de la température corporelle ¹²³.

Dans le cas d'une boucle de rétroaction positive (amplification), l'évolution d'une caractéristique va déclencher une boucle de rétroaction afin d'amplifier le phénomène. C'est par exemple le cas de la boucle de rétroaction de l'albédo ¹²⁴ : l'augmentation des surfaces réfléchissantes (banquise, glaciers) favorise la réflexion des rayons solaires et donc le refroidissement de l'air ambiant favorable à la croissance des surfaces réfléchissantes.

Les boucles de rétroaction sont opérationnelles tant que les perturbations n'ont pas dépassé les limites de tolérance du système. Ainsi, dans le cas d'un lac d'eau claire peu profond ¹²⁵, les plantes de fond sont en mesure d'absorber les excédents de ruissellement d'azote et de phosphore - variables lentes - issus de l'agriculture. Si les concentrations d'azote et de phosphore venaient à dépasser le seuil d'absorption des plantes, alors les boucles de rétroactions atténuantes présentes dans le lac seraient rompues. L'excès de nutriment favorise la prolifération des algues flottantes qui vont limiter la lumière disponible pour les plantes, et par conséquent leur capacité à assurer la photosynthèse. La population de plantes diminue, et la boucle de rétroaction atténuante disparaît. Une intervention humaine est alors nécessaire pour restaurer l'équilibre du lac : enlèvement massif des algues, oxygénation de l'eau, réduction du ruissellement des nutriments issus des zones agricoles.

¹²² « Principe trois - Gérer les variables lentes et les rétroactions | Penser la résilience ».

¹²³ « Sous le terme de rétroaction, désigne-t-on toujours la même chose ? »

¹²⁴ Yves Fouquart, « Climat ».

¹²⁵ « Principe trois - Gérer les variables lentes et les rétroactions | Penser la résilience ».

Maintenir les variables lentes et les rétroactions nécessite d'agir sur plusieurs domaines :

- Renforcer des rétroactions favorables aux services écosystémiques souhaités. Par exemple, la protection des populations de renard permettra de diminuer la prédation des rongeurs dans les champs agricoles d'une part, et de réguler les populations de tiques vectrices de la maladie de Lyme ¹²⁶.
- Eviter les actions masquant les rétroactions. Les rétroactions impliquant les humains et les ressources des écosystèmes font souvent appel à la réglementation afin d'assurer la pérennité des stocks (poissons, mammifères, etc.). Le non-respect des règlements par des acteurs non impliqués dans les boucles de rétroaction - par exemple le braconnage - leur permet de profiter des bénéfices de la boucle de rétroaction sans aucune implication en retour. Les exemples sont nombreux : pêches industrielles à la limite des zones d'exclusivité territoriale, trafic d'ivoire, etc. ¹²⁷
- Surveiller les variables lentes importantes dans le temps. L'évolution même lente de ces variables peut amener un système à se modifier de manière importante. Aussi, il est nécessaire de mettre en place un suivi sur le long terme afin d'identifier les risques liés aux variations des variables lentes et définir les actions correctives à temps.
- Etablir des structures de gouvernance en mesure d'appliquer les actions correctives nécessaires en réponse aux observations des variables lentes. Cela revient à mettre en place un pilotage du système à partir du suivi des indicateurs environnementaux (« data driven decisions »).

5.4.4 Favoriser la pensée systémique adaptative complexe

Pour favoriser le maintien et l'apparition de nouveaux services écosystémiques, il est nécessaire de comprendre les dynamiques et interactions en œuvre au sein d'un système. Cela revient à accepter d'une part la complexité au sein d'un système, et d'autre part la part d'incertitude et d'imprévisibilité liée à la complexité. Il faut alors aborder le système à travers la notion de SAC ¹²⁸ - Système Adaptatif Complexe. Celle-ci implique d'abandonner une méthodologie réductionniste occidentale classique pour aborder le système sous une approche holistique : le système est appréhendé comme un tout et non plus comme la somme de sous-systèmes. Effectuer ce changement de paradigme demande un effort afin de modifier le mode de pensée - les schémas mentaux - qui participe de la construction des personnes impliquées. Ainsi, peut-on espérer pouvoir « gérer » un système à moindre coût et avec le moins d'intervention possible.

La gestion du parc sud-africain Kruger est un exemple de la vision globale d'un système complexe ¹²⁹. L'usage de la télémétrie permet de comprendre les comportements des espèces sauvages, les pratiques d'élevage, les interactions entre espèces domestiques et sauvages. Les données collectées croisées avec les informations spatiales, les cartes de végétation et les enquêtes auprès des éleveurs, permettent de produire l'information nécessaire aux processus

¹²⁶ « Les renards, une arme efficace contre la maladie de Lyme ? - Sciences et Avenir ».

¹²⁷ « Hécatoombe. La plus grande réserve d'Afrique du Sud a perdu 70 % de ses rhinocéros en dix ans ».

¹²⁸ « Principe quatre - Favoriser la réflexion portant sur les systèmes adaptatifs complexes | Penser la résilience ».

¹²⁹ AGROPOLIS INTERNATIONAL, « SYSTÈMES COMPLEXES de la biologie aux territoires ».

de prise de décisions collective et de gestion. Au final, le processus de gestion participatif permet une meilleure gestion de l'interface entre la faune et la flore sauvage et les activités agricoles.

Comment favoriser la réflexion sur les systèmes adaptatifs complexes ?

- Adopter un cadre de systèmes. C'est-à-dire mettre en œuvre des méthodologies et outils afin de faciliter l'approche des SAC dans un souci de clarté et d'efficacité.
- Accepter et se préparer au changement et à l'incertitude par la réflexion collective et l'élaboration de scénarii prospectifs.
- Suivre les seuils critiques du système et les effets non linéaires, c'est-à-dire piloter de manière proactive et préventive les indicateurs du système sous peine de ne pas être en mesure d'appliquer les mesures correctives nécessaires.
- Favoriser la connexion entre acteurs de la gouvernance : proposer de nouvelles gouvernances et de nouveaux modes de gestion.
- Accompagner les personnes (« change ») impliquées dans le changement qu'implique une approche par les SAC afin d'acquiescer leur adhésion et limiter les phénomènes de résistance au changement. L'approche par SAC peut en effet remettre en cause des positions de pouvoir, des intérêts particuliers ou bien encore des convictions conscientes ou non.

5.4.5 Encourager l'apprentissage

Un système complexe héberge de l'incertitude, de la complexité. La connaissance que nous pourrions en avoir sera assurément incomplète et partielle. Il faut alors accepter que vouloir connaître un système implique une succession d'efforts, un apprentissage¹³⁰ constant, une démarche exploratoire et un processus de prise de décisions intégrant l'incertitude. La gestion adaptative inclura la démarche expérimentale et l'apprentissage. La cogestion adaptative favorisera le partage avec les décideurs et sponsors des connaissances issues de la gestion adaptative. Enfin, la gouvernance adaptative s'assurera de fournir un cadre propice à la démarche expérimentale et l'apprentissage aux différentes échelles de gouvernance. En cela, elle est garante du succès de la mise en œuvre de l'apprentissage et d'une vision commune fédératrice.

Le Stockholm Resilience Centre a identifié des lignes directrices afin d'encourager l'apprentissage :

- Soutenir le pilotage des composants sociaux et écologiques clés d'un système sur le long terme.
- Favoriser les opportunités d'interactions entre les acteurs afin d'en étendre et renforcer les engagements mutuels.
- Capter des acteurs aux profils diversifiés.

¹³⁰ « Principe cinq - Encourager l'apprentissage | Penser la résilience ».

- Créer un cadre social adapté pour le partage de connaissances.
- Être garant des ressources et moyens mis à disposition pour permettre la réalisation des processus d'apprentissage.
- Favoriser l'autonomie des acteurs dans la création de communautés d'intérêts et de pratiques au sein du projet.

5.4.6 *Élargir la participation*

Impliquer tous les acteurs concernés de manière engagée¹³¹ permet de fédérer les énergies, de créer de la confiance et de la légitimité dans les processus de prise de décisions. Elle favorise l'expression de points de vue divers permettant l'accroissement de la connaissance partagée et la réduction de l'incertitude. Elle facilite la compréhension et la validation des informations, et par conséquent la transparence dans le processus de prise de décision. Nous retrouvons dans cette description l'approche de la gestion adaptative¹³² dont l'objet est à la fois de faire évoluer le système, mais aussi d'apprendre davantage du système étudié - à partir de l'identification des incertitudes et l'application de méthodologies de test d'hypothèses appliquées à ces incertitudes.

Pour autant, l'élargissement de la participation peut aussi mettre en exergue des luttes d'influences et des phénomènes de blocage dans le processus de prise de décisions. Il convient de mettre en place un cadre de gouvernance clair - notamment en termes de responsabilités et d'autorités - afin que l'élargissement de la participation soit catalyseur de synergies et non de divergences.

Pour ce faire, nous noterons les démarches suivantes :

- Définir clairement les objectifs et attendus.
- Identifier et inclure les personnes ad-hoc dans les projets concernés. Cela permet de créer la synergie nécessaire en limitant les risques de divergence de la part de personnes non indispensables.
- Identifier et recruter les personnes fédératrices à même d'entretenir la dynamique nécessaire des communautés.
- Donner à l'ensemble des acteurs les moyens d'améliorer leurs capacités dans le cadre des projets. En valorisant l'expérience et les capacités d'une personne, la communauté bénéficie d'un engagement plus fort et bénéfique pour le projet.
- Identifier et neutraliser les jeux d'influences et les conflits potentiels qui pourraient nuire à l'action collective.
- Assurer les moyens opérationnels nécessaires à une participation efficace.

¹³¹ « Principe six - Élargir la participation | Penser la résilience ».

¹³² « Resilience Alliance - Gestion adaptative ».

5.4.7 Promouvoir une gouvernance polycentrique

A l'inverse d'un système hiérarchique pyramidal, la polycentricité consiste à multiplier les centres de pouvoirs applicables dans un périmètre défini.

Ainsi, le système de gouvernance collectif est plus résilient face aux perturbations. La polycentricité améliore la connectivité entre les centres de pouvoirs permettant une réactivité et une efficacité face aux perturbations. Ainsi, elle favorise des principes énumérés précédemment : redondance fonctionnelle en mesure de corriger des erreurs de gouvernance, diversité, apprentissage et expérimentation, promotion de la participation. La gouvernance polycentrique améliore le partage des connaissances et l'apprentissage à travers les cultures et les échelles. Elle permet également de préserver les spécificités de chacun des centres de pouvoirs.

La civilisation des habitants de l'Île de Pâques¹³³ est un bon exemple de gouvernance polycentrique. Au XIII^e siècle, sur une terre de 163 km², les 2000 à 3000 Pascuans ont réussi à préserver une diversité culturelle, limitant ainsi la perte des connaissances de chaque communauté. Les communautés d'une trentaine d'individus vivaient dans des espaces d'un rayon de 500 mètres. Cette polycentricité a permis l'émergence et la conservation de cultures, de technologies grâce à la redondance du savoir au sein de chaque communauté. L'un des éléments contributeurs majeurs est une connectivité faible entre les communautés. De nos jours, le résultat de cette organisation est toujours visible au travers des différents modèles de statues de pierre spécifiques à chacune des communautés de l'île.

Pour autant, la polycentricité semble difficile à maintenir du fait d'un manque de principes clairs. Son équilibre est mis au défi :

- Le maintien d'un équilibre entre la redondance et l'expérimentation au sein du centre de pouvoir et le coût de la participation à la gouvernance polycentrée reflétant des intérêts différents ;
- Le processus de négociation dans le partage des bénéfices des services écosystémiques ;
- Le traitement de résolution des conflits et des bénéfices des ressources communes, ainsi que les risques d'agrégation de centres de pouvoirs partageant les mêmes intérêts - au détriment de la structure polycentrique.

Nous verrons au travers des concepts d'adaptation, de cycle adaptatif et de panarchie comment la dynamique des systèmes socio-écologiques influence les principes de la résilience, soit en les accentuant, soit en les atténuant.

5.5 L'adaptation

Du latin médiéval *adaptatio*¹³⁴, signifiant « ajusté à » au propre comme au figuré. Au XVI^e siècle le mot évoluera dans le domaine de la rhétorique pour désigner la « *convenance (d'une œuvre)* »

¹³³ Carl P. Lipo et al., « Population Structure Drives Cultural Diversity in Finite Populations »; Valentin Rakovsky, « Ile de Pâques ».

¹³⁴ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*. p.424.

à une situation ». Le sens évoluera encore vers la fin du XIX^e siècle pour décrire la « *transformation (d'une œuvre) pour l'adapter à une forme nouvelle* ». A la même période, le terme prendra le sens de « *modification selon le milieu, la situation* » sous l'influence notamment des avancées de la physiologie. Le dictionnaire Larousse ¹³⁵ englobe dans le terme adaptation « *l'action d'adapter ou de s'adapter à quelque chose* », notion déjà évoquée par Graham au travers du concept de désadaptation à la Grande Société et des moyens d'y remédier (cf. s'adapter ou adapter, 2.2.). Par ailleurs, l'entrée du mot concernant le domaine de la biologie intègre non seulement l'action elle-même, mais aussi le résultat de l'action : « *Changement survenu chez un individu animal ou végétal, à une lignée ou à une espèce, et qui augmente leurs chances de survie et de reproduction dans le milieu où ils vivent* ».

La notion d'adaptation recouvre plusieurs caractéristiques.

Le biologiste suisse Jean Piaget ¹³⁶ synthétise en 1967 la dualité terminologique du mot adaptation en deux concepts : « l'adaptation-état » et « l'adaptation-processus ». L'adaptation-état évolue sous plusieurs occurrences, sous la dynamique de l'adaptation-processus continu dans le temps.

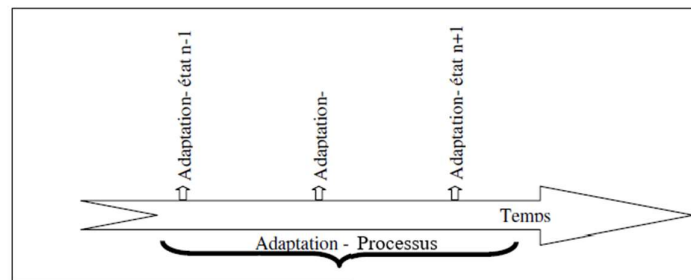


Figure 14 - Dualité sémantique de l'adaptation comme processus ou état ¹³⁷. Source : d'après Simonet, 2009, 394.

Dans le cadre du changement climatique, Smit et Wandel ¹³⁸ décrivent l'adaptation comme un « *processus, une action ou un résultat dans un système (foyer, communauté, groupe, secteur, région, pays) afin que le système puisse mieux faire face, gérer ou s'ajuster à des conditions changeantes, stress, dangers, risques ou opportunités* ».

La difficulté réside, pour un observateur humain, dans la perception des changements de l'adaptation-état sous l'action de l'adaptation-processus à travers une échelle de temps plus grande que l'échelle commune de perception. L'adaptation-état peut alors paraître alors statique alors qu'elle fait l'objet d'une évolution lente difficilement perceptible.

L'adaptation concerne par ailleurs plusieurs échelles de populations d'un système, qui vont de l'individu à un groupe ou bien encore un système entier ¹³⁹. En miroir des facettes de la vulnérabilité (cf. différents visages de la vulnérabilité, 4.1), elle comprend à la fois des

¹³⁵ Larousse, « Définitions ».

¹³⁶ « Jean Piaget ».

¹³⁷ Guillaume Simonet, « Le concept d'adaptation : polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques ». p. 392-401.

¹³⁸ Barry Smit et Johanna Wandel, « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability ». p. 1.

¹³⁹ Krimbas, « On Fitness ».

caractéristiques bio-physiques et des caractéristiques socio-culturelles ¹⁴⁰. Multiforme, elle peut relever d'ajustements technologiques, structurels ou comportementaux.

Les mesures d'adaptation évoluent selon la nature des perturbations - graduelles ou ponctuelles -, le moment de leur intervention (anticipation *avant* ou réaction *après* la survenance de l'aléa), leur portée (échelles de temporalité et d'espace), leur intentionnalité (veut-on s'adapter ?) et leur réversibilité (rapides et modifiables ou inertes non modifiables), et les acteurs des mesures (naturels ou humains, à différentes échelles) ¹⁴¹.

Les mesures anticipatrices ou réactives peuvent être le fruit d'une décision politique et donc planifiée selon un processus en quatre étapes : prise de conscience et partage de l'information, planification et conception, mise en œuvre, surveillance et évaluation. Si la planification des mesures anticipatrices est généralement plus efficace et moins coûteuse que les mesures réactives, la prise en compte de l'incertitude inhérente au futur peut amener à solliciter des ressources rendues alors indisponibles pour d'autres mesures concurrentes ¹⁴². On notera enfin que la multiplicité des acteurs et des actions à différentes échelles, si elle peut engendrer de la complexité dans la mise en œuvre, peut assurer un soutien plus solide.

On pourra distinguer les typologies de mesures d'adaptation selon la classification suivante ¹⁴³¹⁴⁴ :

- Supporter les pertes : mesures appliquées faute d'autres alternatives ou lorsque les mesures sont considérées comme trop coûteuses par rapport au risque ou aux objectifs.
- Partager les pertes : principe de mutualisation appliqué aussi bien dans des sociétés traditionnelles (partage par les groupes d'individus à différentes échelles) que dans des sociétés technologiquement avancées (secours et reconstruction assumés par les fonds publics).
- Modifier la menace : cela consiste à modifier/contrôler le degré du risque. Selon le risque, cela peut consister à mettre en œuvre des infrastructures, ou encore à atténuer les causes du risque (exemple : diminuer les facteurs du réchauffement climatique).
- Prévenir les effets : mesures fréquemment utilisées consistant à prévenir les effets (et non la cause). Elles nécessitent souvent une consommation accrue de ressources (eau, produits phytosanitaires, etc.).
- Changer les usages : face à un risque trop aléatoire, modifier l'usage des ressources (par exemple : réaffectation d'espaces agricoles à d'autres usages).

¹⁴⁰ Denevan, « ADAPTATION, VARIATION, AND CULTURAL GEOGRAPHY* ».

¹⁴¹ Dumas, « L'évaluation des dommages du changement climatique en situation d'incertitude ». p. 31-35.

¹⁴² Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p. 127.

¹⁴³ Neeraj Prasad et al., *Climate Resilient Cities : A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters*.

¹⁴⁴ Balbus et al., « Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies ».

- Favorise la diversification : mettre en œuvre des mix (énergies, terres, emplois, etc.) dans la logique du principe de résilience concernant le maintien la diversité et de la redondance (5.4.1).
- Mettre en réserve : cela consiste à partager les risques dans le temps, notamment l'accès aux ressources (eau, aliments, énergies, etc.) immédiatement après la survenue d'une catastrophe. On pourra faire le parallèle avec la connexion « souvenir » du modèle de la panarchie (5.7).
- Mettre en commun : ce sont des stratégies de solidarité visant à mutualiser des outils de production, des ressources, partager des revenus ou des financements, etc. Ce type de mesures permet de partager les risques collectivement. Le partage des ressources mises en commun rejoint le sujet précédemment abordé de la gestion des communs théorisée par E. Ostrom (3.3).
- Promouvoir l'échange : ces mesures, très importantes en zones urbaines, ont pour objet de favoriser le développement économique au travers de marchés formels ou informels améliorés et renouvelés par les populations. On pourra faire l'analogie avec le principe de résilience de gestion de la connectivité (5.4.2).
- Prendre des mesures de mobilité : ce type de mesure est couramment utilisé dans une logique réactive, comme par exemple la relocalisation d'activités économiques, ou de populations victimes de catastrophes naturelles ou de conflits armés. Les impacts sociaux et psychologiques de ce type de mesure (notamment la soustraction aux structures sociales traditionnelles) sont souvent dommageables et sollicitent les capacités de résilience psychologique des individus et des groupes.
- Encourage l'évolution des comportements : ce type de stratégie consiste à favoriser le partage de connaissances, ou encore à modifier le cadre réglementaire afin de faire évoluer les comportements. Ces mesures d'adaptations sont souvent appliquées sur le long terme et mal considérées faute d'en observer les résultats immédiats. On retrouvera ici le principe de résilience d'encouragement de l'apprentissage (5.4.5) et de la participation (5.4.6).

La capacité adaptative d'un système peut être vue comme l'aptitude à planifier et favoriser la mise en œuvre des mesures d'adaptation, et donc l'aptitude du système de faire face aux perturbations et aux changements. Les facteurs qui déterminent la capacité adaptative d'un système sont divers - économiques, sociaux, technologiques, informationnels, etc. Plus la capacité d'adaptation d'un système sera forte, plus sa vulnérabilité sera réduite.

5.6 Le cycle adaptatif

Le modèle du cycle adaptatif ¹⁴⁵ est un autre pilier de la compréhension de la résilience des systèmes socio-écologiques. Il est résolument axé sur une analyse de la dynamique des systèmes au travers des processus de destruction et de réorganisation, processus souvent supplantés par l'analyse des processus de croissance et de conservation. L'approche traditionnelle de l'écologie a en effet souvent décrit sous forme de succession lente, évolutive et en strates la transition entre

¹⁴⁵ « Resilience Alliance - Cycle adaptatif ».

le moment d'exploitation (r) - c'est-à-dire la colonisation rapide d'un espace - et le moment de conservation (K) - c'est-à-dire l'accumulation lente d'énergie et de biomasse. Le modèle du cycle adaptatif complète cette approche par des moments plus courts de désorganisation/libération et d'émergence d'opportunités/réorganisation.

Ainsi, le modèle peut être décrit par quatre moments/phases distincts :

1. Phase r - Croissance/exploitation.
Cette phase rapide correspond à la colonisation rapide d'un espace récemment perturbé.
2. Phase K - Conservation.
Cette phase lente correspond à l'accumulation de matière et d'énergie. Les espèces ayant colonisé l'espace pérennise leur présence.
3. Phase Ω - Libération/relâchement/désorganisation.
Cette phase rapide correspond à l'utilisation du potentiel accumulé en phase (K) afin de créer une fenêtre d'expérimentation de nouvelles combinaisons.
4. Phase α - Réorganisation/émergence des opportunités.
Cette phase lente ou rapide consiste à transformer les expérimentations de la phase (Ω) en opportunités susceptibles de se développer ensuite durant la phase (r).

La transition entre les phase de croissance (r) et de conservation (K), appelée aussi *boucle avant (foreloop)*, est lente. Elle permet de manière évolutive facilement prédictive. Durant cette transition, dans un système écologique, les processus de concurrence favorisent la domination de quelques espèces, alors que les espèces dominées sont sauvegardées dans des poches résiduelles de biodiversité. La résilience décroît du fait de l'accumulation de potentiel - qui devient alors indisponible pour les autres espèces durant la transition - et de la faible biodiversité qui en résulte. Dans un système socio-écologique, l'accumulation peut concerner aussi bien du capital ou des infrastructures (cf. vulnérabilité biophysique, 4.1), des réseaux de relations humaines (cf. connectivité, 5.4.2), des compétences ou de la confiance mutuelle (cf. vulnérabilité sociale, 4.1). L'accumulation de potentiel atteint son paroxysme en phase de conservation (K) et représente paradoxalement un potentiel disponible pour les phases de relâchement (Ω) et de réorganisation (α) en devenir.

La transition entre les phases de relâchement (Ω) et de réorganisation (α), appelée aussi *boucle arrière (backloop)*, est rapide. Elle permet, grâce au potentiel accumulé en phase de conservation (K) des recombinaisons, l'émergence de nouvelles opportunités, de « *fenêtres d'expérimentation* » qui seront à leur tour testées durant la lente transition de la *boucle avant*. La diversité s'accroît alors, favorisant ainsi la résilience du système par l'accroissement de sa capacité d'adaptation liée à la diversité écologique et sociale ¹⁴⁶.

¹⁴⁶ « Resilience Alliance - Capacité d'adaptation ».

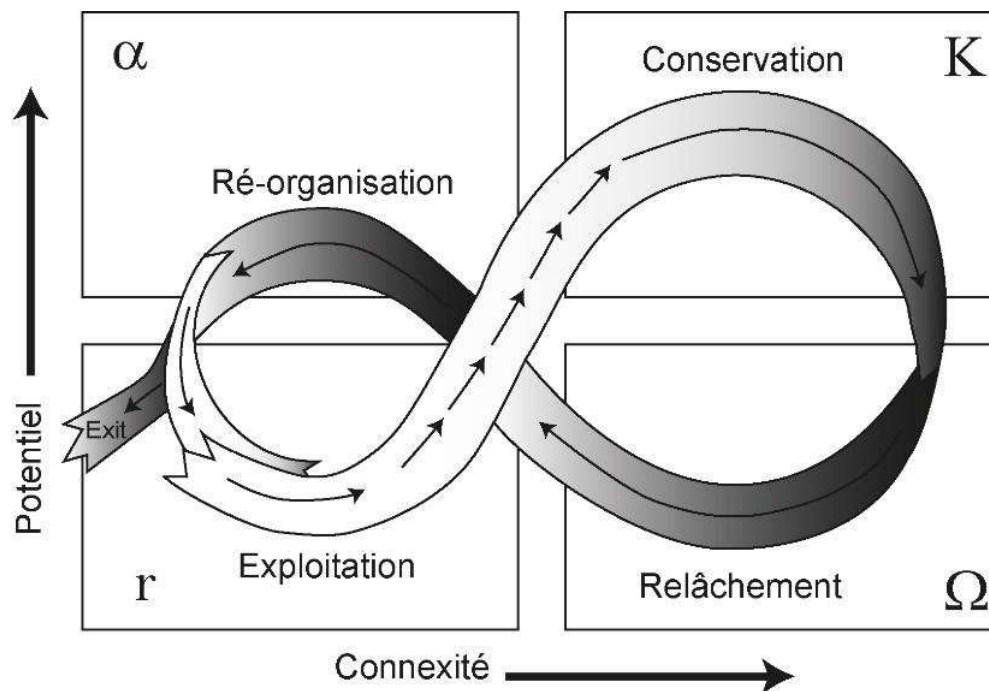


Figure 15 - Le cycle adaptatif (Gunderson et Holling, 2002).

Pour autant, la succession de lentes *boucles avant* et de rapides *boucles arrière* ne signifie pas systématiquement l'alternance d'un système régulé et d'un système chaotique. En effet, les transitions se succèdent dans des temporalités et des espaces d'échelles diverses au sein d'un même système, assurant ainsi la stabilité de ce dernier. Les cycles à plus grande échelle de temps et/ou d'espace assurent la stabilité et la mémoire passée du système (cf. variables lentes, 5.4.3), et permettent la récupération de cycles perturbateurs de plus petite échelle.

L'imbrication hiérarchique de l'ensemble des cycles à diverses échelles au sein d'un même système est définie sous le terme de *panarchie*.

5.7 La panarchie

Du grec *pân*, qui exprime l'idée de « multiplicité, de totalité, de globalité »¹⁴⁷, et du grec *árkhô* qui peut signifier « chef, théorie, régime politique ». Par ailleurs, le personnage mythologique grec de *Pan*¹⁴⁸, divinité de la nature, comporte plusieurs facettes. Il est à la fois protecteur des bergers et des troupeaux, et protecteur des chasseurs. Il est aussi générateur de peur, de panique collective et de désorganisation.

La panarchie¹⁴⁹ se distingue par deux caractéristiques majeures.

¹⁴⁷ Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé, *Dictionnaire historique de la langue française*. P. 6527.

¹⁴⁸ « Pan ».

¹⁴⁹ « Resilience Alliance - Panarchie ».

La première est l'importance accordée au cycle adaptatif, et plus particulièrement à la phase (α) qui porte en elle la production de la diversité/variété dans le système.

La deuxième concerne les interactions entre les différents niveaux d'échelle (temps et espace). Dans l'absolu, n'importe qu'elle phase d'un niveau peut être en connexion avec celle d'un autre niveau. Néanmoins, la panarchie privilégie deux connexions : la *révolte* (*Revolt*) et le *souvenir* (*Remember*). Les niveaux plus lents assurent la stabilité en conservant la mémoire des réussites ayant participé à la survie du système, alors que les niveaux plus rapides permettent les expérimentations.

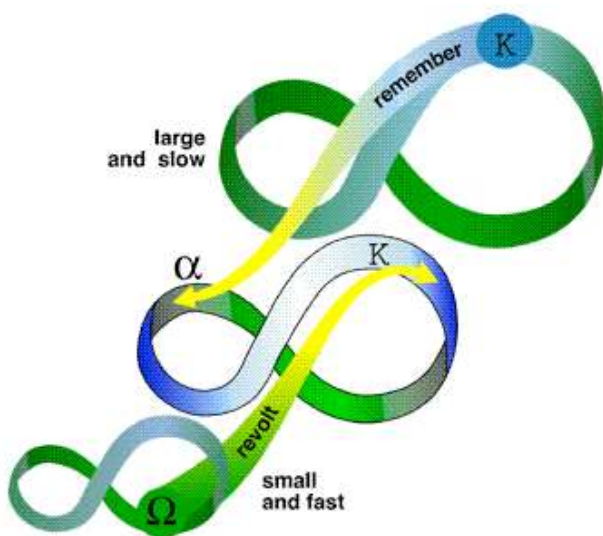


Figure 16 - Cycle adaptatif et panarchie des systèmes complexes (Gundersong et Holling, 2002).

La connexion *révolte* décrit comment la phase (Ω) de relâchement d'un niveau inférieur peut influencer sur la phase de conservation (K) d'un niveau supérieur en favorisant à plus grande échelle le *développement*, c'est-à-dire le « processus de création, de d'expérimentation et de maintien des opportunités »¹⁵⁰.

La connexion *souvenir* décrit comment la phase conservation (K) d'un niveau supérieur peut influencer sur la phase de réorganisation (α) d'un niveau inférieur en favorisant la *durabilité*, c'est-à-dire « la capacité de création, de test et de maintien de capacités adaptatives ». Elle permettra au SSE de se réorganiser suite à la survenance d'événements extrêmes, par le souvenir de pratiques, de valeurs sociales ou bien encore d'espèces épargnées.

Ainsi, les connexions entre les niveaux transforment les hiérarchies en structures dynamiques stabilisantes ou déstabilisantes au sein du système. La variété des mécanismes assure ainsi au système la possibilité de faire face aux aléas. Dans un système écologique, cette variété s'exprime notamment au travers de la redondance fonctionnelle (5.4.1), alors qu'elle pourra s'exprimer dans un système social par des modes de vie alternatifs ou une utilisation diversifiée des ressources disponibles.

¹⁵⁰ Béatrice Quenault (coord.) et al., « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? ». p.101.

6 Perspectives

Le travail de recherche qui a participé de l'élaboration de ce mémoire a permis progressivement de mettre en évidence plusieurs points.

D'une part, la littérature concernant les systèmes socio-écologiques, la vulnérabilité et la résilience est multidisciplinaire et florissante. Chaque lecture amène à la découverte de nouveaux concepts, de nouvelles références bibliographiques, de nouveaux auteurs, de nouvelles pistes à explorer. Si le cheminement exploratoire au sein des informations est exaltant, il est tout aussi insatisfaisant : il n'est pas possible de tout lire, d'en assimiler toute la complexité qui transparait, de tout restituer. D'autre part, l'abondance d'informations peut parfois elle-même être source d'appréhension. C'est l'occasion d'expérimenter et de comprendre dans le périmètre limité de ce mémoire le concept de *désadaptation* au sein de la *Great Society* de Graham Wallas (2.2), tout du moins concernant le flux informationnel.

Le travail de synthèse dans le temps imparti implique donc, pour paraphraser André Gide, de choisir, et par conséquent de renoncer.

Ce constat invite à une autre réflexion. A l'heure de l'urgence climatique et de la nécessité d'adaptation des systèmes socio-écologiques face aux événements extrêmes, comment sensibiliser le plus grand nombre à la mise en œuvre de la résilience ? Comment participer à l'éducation des jeunes générations - le *mode passif* énoncé par Graham Wallas (2.2) - quand celles-ci n'ont pas forcément l'opportunité d'appréhender ces problématiques durant leur cursus scolaire ou leur vie professionnelle ? Peut-on envisager de mettre en place des *nudges* éducatifs - ces « coups de pouce » tellement d'actualité durant la crise de la Covid-19 - afin non seulement de transmettre la connaissance aux enfants et aux adultes ? Des *nudges* éducatifs qui favoriseraient l'émancipation, l'apprentissage et l'exploration, et non le conditionnement de la pensée.

Certaines organisations effectuent déjà un travail important de sensibilisation. Parmi elles, l'association La fresque du Climat ¹⁵¹ propose depuis 2018 le jeu « La fresque du climat » afin de faire prendre conscience des défis du changement climatique. Le jeu comprend trois niveaux de complexité selon le public concerné : enfants, adultes, experts. De la même manière, le Ceebios ¹⁵² - Centre d'Études et d'expertises dédié au déploiement du biomimétisme en France - propose parmi ses ressources pédagogiques ¹⁵³ le « Jeu des Principes du vivant » présentant les grands principes du vivant, et le « Jeu du vivant » axé sur les espèces, leurs spécificités et adaptations.

Aussi m'est-il apparu intéressant de réfléchir à l'opportunité de suivre cette voie pédagogique ¹⁵⁴. D'une part parce que le jeu permet l'acquisition de concepts sans les contraintes courantes de l'enseignement : mémorisation, évaluation d'acquis, etc. D'autre part, parce que le jeu favorise l'apprentissage en acceptant les erreurs sans crainte de l'échec, en libérant de la pression liée aux attentes d'un tiers (parent, enseignant ou hiérarchique professionnel). Il permet

¹⁵¹ « La Fresque du Climat ».

¹⁵² « CEEBIOS – Centre d'études et d'expertises en biomimétisme ».

¹⁵³ « Ressources pédagogiques – CEEBIOS ».

¹⁵⁴ « Les avantages de l'apprentissage par le jeu | Le blog de la communauté de l'IB ».

au joueur d'orienter son apprentissage par la pratique, de résoudre des problèmes, et d'aiguiser son esprit critique. Il favorise l'échange et la collaboration entre les joueurs. Enfin, il encourage son engagement hors du temps de jeu sur les sujets abordés durant le jeu.

Pour pallier aux difficultés de l'enseignement par le jeu, il conviendra de respecter quelques règles :

- définir les objectifs du jeu et assurer que celui-ci les couvre bien ;
- accompagner les joueurs les plus créatifs ou autonomes afin de répondre à leurs besoins et éviter la frustration ;
- documenter l'apprentissage à travers des éléments visuels, audio ou physiques ;
- veiller à ce que l'encadrant du jeu assure son rôle dans une démarche positive et facilitatrice en phase avec les objectifs du jeu.

Dans cette optique, il est d'ores-et-déjà possible d'envisager les objectifs d'un tel jeu : acquérir les concepts clés du système socio-écologique, vulnérabilité et principes de résilience, au travers de la gestion d'un système réel ou imaginaire.

Plusieurs grands principes de jeu pouvant être mis en œuvre sont identifiés :

- Proposer des profils de joueurs inspirés des quatre sous-systèmes des systèmes socio-écologiques proposés par Elinor Ostrom : écologique, économique, politique, socio-anthropologique.
- Intégrer plusieurs niveaux de jeu pouvant être joués simultanément ou non afin de donner l'opportunité aux joueurs de comprendre les différents concepts à plusieurs échelles de jeu. Ces niveaux permettraient de faire jouer ensemble des personnes de profils et d'âges différents avec des niveaux de compréhension adaptés.
- Proposer des règles d'interactions entre joueurs mettant en exergue les grands principes de résilience à plusieurs échelles.
- Mettre en place un système de score favorisant la collaboration entre joueurs, plutôt que la concurrence.
- Intégrer un mécanisme d'incertitude afin de privilégier des logiques de jeu axées sur l'adaptation dynamique et non sur une logique déterministe et figée.
- Intégrer une démarche documentaire afin de permettre un retour d'expérience en fin de partie.

Enfin, dans un cadre professionnel, ce jeu pourrait être un outil d'exploration à même de faire émerger les propositions lors de phases d'idéation autour des problématiques de développement durable au sein des collectivités locales.

Bibliographie

- « Academy of Europe: Crutzen Paul », s. d. https://www.ae-info.org/ae/Member/Crutzen_Paul.
- AGROPOLIS INTERNATIONAL. « SYSTÈMES COMPLEXES de la biologie aux territoires », s. d. <http://www.agropolis.fr/pdf/publications/systemes-complexes-dossier-agropolis-international-br.pdf>.
- Alain Rey, Marianne Tomi, et Tristan Hordé. *Dictionnaire historique de la langue française: contenant les mots français en usage et quelques autres délaissés avec leur origine proche et lointaine : leur apparition datée dans l'usage, depuis l'an 842 jusqu'à nos jours ... Tome 1, Tome 1*, 2019.
- Andrew Reskin. *Global Warming: Understanding the Forecast*. American Museum of Natural History, Environmental Defense Fund, New York. Abbeville Press, 1992.
- Anne-Sophie Barbey-Mintz et Romain Dugravier. « Origines et concepts de la théorie de l'attachement ». *Enfances & Psy*, février 2015. <https://www.cairn.info/revue-enfances-et-psy-2015-2-page-14.htm>.
- « Applying resilience - Les 7 principes de la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/introduction/>.
- « Arche de Noé ». In *Wikipédia*, 28 mai 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Arche_de_No%C3%A9&oldid=183339032.
- Assemblée Nationale. « Projet de loi n° 3875 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets ». Assemblée nationale, s. d. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b3875_projet-loi.
- Balbus, John, Michael Brody, I. Burton, M. Campos, I. Carson, T.R. Carter, Stewart Cohen, et al. « Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies », 1998.
- Barbara Stiegler. *De la démocratie en pandémie: santé, recherche, éducation*, 2021.
- . « *Il faut s'adapter* »: sur un nouvel impératif politique. NRF essais. Paris: Gallimard, 2019.
- Barry Smit et Johanna Wandel. « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability ». Global Environmental Change. Department of Geography, University of Guelph, Guelph, Ont., Canada N1G 2W1, 2006. <https://www.uio.no/studier/emner/annet/sum/SUM4015/h08/Smit.pdf>.
- Béatrice Quenault. « Béatrice Quenault - Page personnelle et professionnelle ». Université de Rennes 2, s. d. <https://perso.univ-rennes2.fr/beatrice.quenault>.
- Béatrice Quenault (coord.), Patrick Pigeon, François Bertrand, et Nadège Blond. « Vulnérabilités et résilience au changement climatique en milieu urbain : vers de nouvelles stratégies de développement urbain durable ? » [Rapport de recherche] PIRVE 20-2051, Programme Interdisciplinaire de recherche Ville et Environnement (MEDDAT-CNRS). Maison des Sciences de l'Homme de Bretagne (MSHB), 2011. <https://hal-univ-tours.archives-ouvertes.fr/hal-01485926>.
- Boris Cyrulnik et Gérard Jorland, éd. *Résilience: connaissances de base*. Paris: Odile Jacob, 2012.
- BreakingWeb. « Nudge et comportement ». BVA Group, s. d. <https://www.bva-group.com/nudge-et-comportement/>.
- C. Lorius, J. Jouzel, C. Ritz, L. Merlivat, N.-I. Barkov, Y. S. Korotkevich, et V. M. Kotlyakov. « A 150.000-year climatic record from Antarctic ice » 316 (15 août 1985).
- Carl P. Lipo, Robert J. DiNapoli, Mark E. Madsen, et Terry L. Hunt. « Population Structure Drives Cultural Diversity in Finite Populations: A Hypothesis for Localized Community Patterns on Rapa Nui (Easter Island, Chile) ». *PLOS ONE* 16, n° 5 (12 mai 2021): e0250690. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250690>.
- Catherine Colliot-Télène. « Retour sur les rationalités chez Max Weber ». *CAIRN Info - Matières à réflexion* (blog), s. d. <https://www.cairn.info/revue-les-champs-de-mars-ldm-2011-2-page-13.htm>.
- « CEEBIOS - Centre d'études et d'expertises en biomimétisme », s. d. <https://ceebios.com/>.

- « Charles Darwin ». In *Wikipédia*, 15 juillet 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Darwin&oldid=184664404.
- Charles Darwin, Jean-Marc Drouin, et Daniel Becquemont. *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la préservation des races favorisées dans la lutte pour la vie*. Paris: Flammarion, 2008. <http://banq.prenumerique.ca/accueil/isbn/9782081351806>.
- Chloë Voisin-Bormuth. « Derrière les mots : la résilience ». La Fabrique de la Cité, 19 mai 2020. <https://www.lafabriquedelacite.com/publications/derriere-les-mots-en-crise-la-resilience/>.
- Claude Lorius. « Le deutérium, possibilités d'application aux problèmes de recherche concernant la neige, le névé et la glace dans l'Antarctique ». 1963. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00926566>.
- « Comment les réseaux sociaux accentuent l'enfermement dans ses idées ». *Le Monde.fr*, 24 avril 2018. https://www.lemonde.fr/pixels/article/2018/04/24/comment-les-reseaux-sociaux-accentuent-l-enfermement-dans-ses-idees_5289874_4408996.html.
- Constance Baudry. « Histoire de l'eugénisme ». *Le Monde.fr*, 10 février 2003. https://www.lemonde.fr/societe/article/2003/02/10/histoire-de-l-eugenisme_308747_3224.html.
- Natura Sciences. « Convention climat : "Macron a fabriqué 150 citoyens qui ne voteront pas pour lui en 2022" », 26 février 2021. <https://www.natura-sciences.com/environnement/convention-citoyenne-climat-citoyens-entretien-bilan.html>.
- « COVID-19 : notre action », s. d. <https://www.santepubliquefrance.fr/dossiers/coronavirus-covid-19/covid-19-notre-action>.
- Denevan, William M. « ADAPTATION, VARIATION, AND CULTURAL GEOGRAPHY* ». *The Professional Geographer* 35, n° 4 (novembre 1983): 399-407. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1983.00399.x>.
- United States Department of State. « Discours d'investiture Du Président Joseph R. Biden ». Consulté le 15 juillet 2021. <https://www.state.gov/translations/french/discours-dinvestiture-du-president-joseph-r-biden/>.
- Dumas, Patrice. « L'évaluation des dommages du changement climatique en situation d'incertitude : l'apport de la modélisation des coûts de l'adaptation ». These de doctorat, Paris, EHESS, 2006. <http://www.theses.fr/2006EHES0072>.
- Éditions Larousse. « Définitions : anthropocène - Dictionnaire de français Larousse », s. d. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/anthropoc%C3%A8ne/10911042>.
- . « Ecosystème - définition », s. d. <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/%C3%A9cosyst%C3%A8me/45649>.
- « Elinor Ostrom ». In *Wikipédia*, 27 juillet 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Elinor_Ostrom&oldid=184990666.
- ESPON. « ENSURE - European Sustainable Urbanisation through Port City REgeneration », 1 février 2019. <https://www.espon.eu/ENSURE>.
- Yellowstone to Yukon Conservation Initiative. « Establishing Wildlife Corridors & Habitat Protections in US & CA | Y2Y », s. d. <https://y2y.net/>.
- Eugene F. Stoermer, John Patrick Kociolek, Edward C. Theriot, et R. Jan Stevenson, éd. *Diatom taxonomy, ultrastructure, and ecology: modern methods and timeless questions: a tribute to Eugene F. Stoermer*. Nova Hedwigia. Beiheft 135. Berlin: J. Cramer, 2009.
- Evelyne Pieiller. « Résilience partout, résistance nulle part ». *Le MONDE diplomatique*, s. d. <https://www.monde-diplomatique.fr/2021/05/PIEILLER/63082>.
- Fikret Berkes et Carl Folke. *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge University Press, New York, 1998. <https://www.ecologyandsociety.org/vol4/iss2/art5/#BookInformation>.
- François Bayrou. « Cet idéal est un idéal de résistance ». *Le Monde.fr*, 8 mars 2007. https://www.lemonde.fr/societe/article/2007/03/08/cet-ideal-est-un-ideal-de-resistance_880618_3224.html.

- Giangiaco Bravo et Beatrice Marelli. « Ressources communes ». *Journal of Alpine Research / Revue de géographie alpine*, n° 96-3 (15 septembre 2008): 5-14. <https://doi.org/10.4000/rga.524>.
- Google Trends. « Google Trends - Occurrences du mot "résilience" dans le monde », s. d. <https://trends.google.fr/trends/explore?date=all&q=r%C3%A9silience>.
- Google Trends. « Google Trends - Occurrences du mot "résilience" en France », s. d. <https://trends.google.fr/trends/explore?date=all&geo=FR&q=r%C3%A9silience>.
- « Graham Wallas ». In *Wikipédia*, 26 avril 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Graham_Wallas&oldid=182296956.
- Graham Wallas. *The Great Society*. Johns Hopkins University, 1914.
- « GRAPHE.FR : Théorie des Graphes », s. d. <http://www.graphes.fr/>.
- Great Soviet Encyclopedia*. Prokhorov. Vol. 2, s. d.
- Grinevald Jacques. « Momentum Institut - Le concept d'Anthropocène et son contexte historique et scientifique ». 11 mai 2012. <https://www.institutmomentum.org/wp-content/uploads/2013/12/Le-concept-d%E2%80%99Anthropoc%C3%A8ne-et-son-contexte-historique-et-scientifique.pdf>.
- Guillaume Simonet. « Le concept d'adaptation : polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques ». *Nature, Sciences, Société*, avril 2009. <https://www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2009-4-page-392.htm>.
- Hans. « Services aériens humanitaires ». Text. Protection Civile et Operations d'Aide Humanitaire Européennes - European Commission, 8 mai 2019. https://ec.europa.eu/echo/what/humanitarian-aid/humanitarian-air-services_fr.
- Courrier international. « Hécatombe. La plus grande réserve d'Afrique du Sud a perdu 70 % de ses rhinocéros en dix ans », 13 février 2021. <https://www.courrierinternational.com/article/hecatombe-la-plus-grande-reserve-dafrique-du-sud-perdu-70-de-ses-rhinoceros-en-dix-ans>.
- « Herbert Spencer ». In *Wikipédia*, 8 juillet 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Herbert_Spencer&oldid=184463327.
- « Influences du transport aérien sur la santé - Académie nationale de médecine | Une institution dans son temps », s. d. <https://www.academie-medecine.fr/influences-du-transport-aerien-sur-la-sante/>.
- Stockholm Resilience Centre - Stockholm University. « Introduction: Qu'est-ce que la résilience ? », s. d. <https://whatisresilience.org/fr/introduction/>.
- « Jean Piaget ». In *Wikipédia*, 16 juillet 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Jean_Piaget&oldid=184697937.
- Joël Candau. « "Anthropocène", dans *Anthropen.org* ». Paris, 2018. <https://doi.org/10.17184/eac.anthropen.070>.
- Johan Rockström, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin, Eric F. Lambin, Timothy M. Lenton, et al. « A Safe Operating Space for Humanity ». *Nature* 461, n° 7263 (septembre 2009): 472-75. <https://doi.org/10.1038/461472a>.
- Julie Lacaze. « Californie : quand surviendra le Big One ? », janvier 2017, National Geographic édition. <https://www.nationalgeographic.fr/sciences/californie-quand-surviendra-le-big-one>.
- Julien Damon. « Les mots qui comptent: Résilience ». *Sciences Humaines*, s. d. https://www.scienceshumaines.com/les-mots-qui-comptent-resilience_fr_24370.html.
- Krimbas, Costas B. « On Fitness ». *Biology & Philosophy* 19, n° 2 (mars 2004): 185-203. <https://doi.org/10.1023/B:BIPH.0000024402.80835.a7>.
- « Kumu », s. d. <https://kumu.io/>.
- « La Fresque du Climat », s. d. <https://fresqueduclimat.org/>.
- écopsychologie. « La relation Homme-Nature », 29 mars 2015. <http://eco-psychologie.com/la-relation-homme-nature/>.

- Larousse, Éditions. « Définitions : adaptation - Dictionnaire de français Larousse ». Consulté le 29 juillet 2021. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/adaptation/1003>.
- « L'Avènement du Monde , Michel Lussault... », s. d. <https://www.seuil.com/ouvrage/l-avenement-du-monde-michel-lussault/9782020966641>.
- « Le déplacement des espèces sous l'effet du réchauffement climatique menace l'Homme - Sciences et Avenir », s. d. https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/le-deplacement-des-especes-sous-l-effet-du-rechauffement-climatique-menace-l-homme_112162.
- Le Figaro Immobilier. « Les murs anti-tsunami japonais sont désormais plus hauts que jamais ». Le Figaro, s. d. https://immobilier.lefigaro.fr/article/les-murs-anti-tsunami-japonais-sont-desormais-plus-hauts-que-jamais_a6f096ac-7da6-11eb-a05e-612901e21176/.
- « Lebensborn ». In *Wikipédia*, 8 avril 2021. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lebensborn&oldid=181704279>.
- « Les avantages de l'apprentissage par le jeu | Le blog de la communauté de l'IB », s. d. <https://blogs.ibo.org/blog/2020/03/03/les-avantages-de-lapprentissage-par-le-jeu/?lang=fr>.
- Université Paris-Saclay. « Les différences entre un réchauffement planétaire à 1,5°C et à 2°C », 8 juin 2020. <https://www.universite-paris-saclay.fr/les-differences-entre-un-rechauffement-planetaire-15degc-et-2degc>.
- Le Monde diplomatique. « Les « gilets jaunes » et le malaise démocratique », 2 février 2019. <https://blog.mondediplo.net/les-gilets-jaunes-et-le-malaise-democratique>.
- LEFIGARO. « Les mots de Fidel Castro, un tribun emblématique ». Consulté le 4 juillet 2021. <https://www.lefigaro.fr/international/2016/11/26/01003-20161126ARTFIG00111-les-mots-de-fidel-castro-un-tribun-emblematique.php>.
- « Les renards, une arme efficace contre la maladie de Lyme ? - Sciences et Avenir », s. d. https://www.sciencesetavenir.fr/sante/les-renards-une-arme-efficace-contre-la-maladie-de-lyme_115320.
- « Les teneurs actuelles en gaz à effet de serre n'ont pas d'équivalent depuis 800 000 ans ». Consulté le 29 juillet 2021. https://www.notre-planete.info/actualites/1661-evolution_gaz_effet_serre_800000_ans.
- Manson-Delmotte, Valérie. « Réchauffement planétaire de 1.5°C ». IPCC - GIEC, 2019.
- Michel Alberganti. « Le darwinisme conduit-il à l'eugénisme ? » *France Culture - Science publique*, 27 février 2009. <https://www.franceculture.fr/emissions/science-publique/le-darwinisme-conduit-il-leugenisme>.
- « Muséumédia : Le dodo, une espèce d'intérêt écologique », s. d. http://museumedia.mnhn.fr/index.php?urlaction=doc&id_doc=928&rang=19.
- Neeraj Prasad, Federica Raghieri, Fatima Shan, Zoe Trohanis, Earl Kessler, et Ravi Sinha. *Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters*. World Bank, 2009. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/11986>.
- « Opération Résilience », s. d. <https://www.defense.gouv.fr/actualites/operations/operation-resilience>.
- Ostrom, Elinor. « Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems ». *American Economic Review* 100, n° 3 (1 juin 2010): 641-72. <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641>.
- . *Governing the commons: the evolution of institutions for collective action*. Canto classics. Cambridge, United Kingdom: Cambridge Univ Press, 2015. <https://www.cambridge.org/core/books/governing-the-commons/A8BB63BC4A1433A50A3FB92EDBBB97D5>.
- Yellowstone to Yukon Conservation Initiative. « Our Impact on Habitats for Biodiversity », s. d. <https://y2y.net/work/impact/>.

- LEFIGARO. « Pakistan : première manifestation contre la Une de Charlie Hebdo, la colère enfle », s. d. <https://www.lefigaro.fr/international/pakistan-premiere-manifestation-contre-la-une-de-charlie-hebdo-la-colere-enfle-20200903>.
- « Pan ». In *Wikipédia*, 19 mai 2021. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pan&oldid=183051641>.
- Parker et al. « Figure 2.1: Diamond Analogy: One Illustration for Conceptualising The... » ResearchGate, s. d. https://www.researchgate.net/figure/Diamond-analogy-one-illustration-for-conceptualising-the-multifaceted-nature-of_fig2_228612637.
- Patrick Sabatier. « L'eugénisme hante encore les Etats-Unis. Plus de 60 000 stérilisations furent pratiquées de force de 1907 à 1960. » Libération, s. d. https://www.liberation.fr/planete/1997/08/28/l-eugenisme-hante-encore-les-etats-unis-plus-de-60-000-sterilisations-furent-pratiquees-de-force-de-_212291/.
- Paul J. Crutzen. « Geology of Mankind ». *Nature* 415, n° 6867 (janvier 2002): 23-23. <https://doi.org/10.1038/415023a>.
- Paul J. Crutzen et Eugene F. Stoemer. « The Anthropocene ». *Global Change*, mai 2000. <https://inters.org/files/crutzenstoerner2000.pdf>.
- Pierre Teilhard de Chardin. *L'Hominisation. Introduction à une étude scientifiques du phénomène humain*, pp. 91-92. Inédit. Vol. 3. In Oeuvres, 1945.
- « Principe cinq - Encourager l'apprentissage | Penser la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/principe-5/>.
- « Principe deux - Gérer la connectivité | Penser la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/principe-2/>.
- « Principe quatre - Favoriser la réflexion portant sur les systèmes adaptatifs complexes | Penser la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/principe-4/>.
- « Principe six - Élargir la participation | Penser la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/principe-6/>.
- « Principe trois - Gérer les variables lentes et les rétroactions | Penser la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/fr/principe-3/>.
- « Principe un - Maintenir la diversité et la redondance | Appliquer la réflexion sur la résilience », s. d. <https://applyingresilience.org/en/principle-1/>.
- « Qu'est-ce que la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques? | CCNUCC ». Consulté le 29 juillet 2021. <https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/la-convention/qu-est-ce-que-la-ccnucc-la-convention-cadre-des-nations-unies-sur-les-changements-climatiques>.
- Redman, Charles L., J. Morgan Grove, et Lauren H. Kuby. « Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change ». *Ecosystems* 7, n° 2 (mars 2004). <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0215-z>.
- « Resilience Alliance - Capacité d'adaptation », s. d. <https://www.resalliance.org/adaptive-capacity>.
- « Resilience Alliance - Cycle adaptatif », s. d. <https://www.resalliance.org/adaptive-cycle>.
- « Resilience Alliance - Gestion adaptative », s. d. <https://www.resalliance.org/adaptive-mgmt>.
- « Resilience Alliance - Key concepts - Resilience », s. d. <https://www.resalliance.org/resilience>.
- « Resilience Alliance - Panarchie », s. d. <https://www.resalliance.org/panarchy>.
- « Ressources pédagogiques - CEEBIOS », s. d. <https://ceebios.com/ressources-pedagogiques/>.
- Ribault, Thierry. *Contre la résilience: à Fukushima et ailleurs*, 2021.
- Richard Fontaine. « Les pratiques concrètes d'une entreprise agile | L'Agiliste ». <https://agiliste.fr/>, s. d. <https://agiliste.fr/les-pratiques-concretes-dune-entreprise-agile/>.
- Robin Uzan. « Le Mythe Résistancialiste : comment "toute la France" a été résistante ». *Cultea* (blog), 31 août 2020. <https://cultea.fr/le-mythe-resistancialiste-comment-toute-la-france-a-ete-resistante.html>.

- Sandrine Revet. « La vulnérabilité, une notion problématique? Un regard d'anthropologue ». Présenté à Colloque Vulnérabilités sociétales, risques et environnement, Toulouse, 14 mai 2008. <http://www.iheal.univ-paris3.fr/sites/www.iheal.univ-paris3.fr/files/Revet,%20La%20vulnerabilit%C3%A9.pdf>.
- Segal, Julius. *Winning Life's Toughest Battles: Roots of Human Resilience*. Random House Publishing Group, 1987.
- Serge Tisseron. « Du bon usage de la "résilience" ». *Le Monde.fr*, 30 juillet 2007. https://www.lemonde.fr/idees/article/2007/07/30/du-bon-usage-de-la-resilience-par-serge-tisseron_940342_3232.html.
- « Site de l'IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change », s. d. <https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/>.
- Convention Citoyenne pour le Climat. « Site officiel de la Convention Citoyenne pour le Climat », s. d. <https://www.conventioncitoyennepourleclimat.fr/>.
- Sophie Coignard. « La « résilience » à toutes les sauces! », 30 mars 2021, Le Point édition. https://www.lepoint.fr/editos-du-point/sophie-coignard/coignard-la-resilience-a-toutes-les-sauces-30-03-2021-2419911_2134.php.
- Planet-Vie. « Sous le terme de rétroaction, désigne-t-on toujours la même chose? », s. d. <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/sous-le-terme-de-retroaction-designe-t-toujours-la-meme-chose>.
- Stéphanie Chanvallon. « Anthropologie des relations de l'Homme à la Nature : la Nature vécue entre peur destructrice et communion intime ». Université Rennes 2; Université Européenne de Bretagne, 2009. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00458244/document>.
- NobelPrize.org. « The Nobel Prize in Chemistry 1995 », s. d. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/crutzen/facts/>.
- « Théorie du nudge ». In *Wikipédia*, 25 mai 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Th%C3%A9orie_du_nudge&oldid=183253930.
- France Culture. « Thierry Ribault : biographie, actualités et émissions France Culture ». Consulté le 30 juillet 2021. <https://www.franceculture.fr/personne-thierry-ribault>.
- Thomas Saintourens. « Namibie : les conservancies, des réserves modèles ». *Geo.fr*, 25 juin 2018. <https://www.geo.fr/environnement/namibie-les-conservancies-des-reserves-modeles-185921>.
- Thomas Tredgold. *Practical Essay On The Strength Of Cast Iron And Other Metals: Containing Practical Rules, Tables, And Examples, Founded On A Series Of Experiments*. Nabu Press., 2012.
- Ministère de la Transition écologique. « Trame verte et bleue ». Consulté le 22 juin 2021. <https://www.ecologie.gouv.fr/trame-verte-et-bleue>.
- Ulrich Beck. *La société du risque: sur la voie d'une autre modernité*, 2015.
- Valentin Rakovsky. « Ile de Pâques : comment une civilisation clairsemée a pu survivre durant des siècles ». *Le Parisien*, 12 mai 2021. <https://www.leparisien.fr/sciences/ile-de-paques-comment-une-civilisation-clairsemee-a-pu-survivre-durant-des-siecles-12-05-2021-GQDS23QIOBGTDKU4N5ZJJWRRSM.php>.
- Valérie Masson-Delmotte. « Changement climatique et arctique : points clés du rapport spécial du GIEC sur 1,5°C de réchauffement planétaire ». Conférence Pôles Actions - Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, 2019. <https://vimeo.com/338021246>.
- « Walter Lippmann ». In *Wikipédia*, 5 juillet 2021. https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Walter_Lippmann&oldid=184386115.
- L'Express.fr. « Waterloo: "La Garde meurt mais ne se rend pas!" », 18 juin 2015. https://www.lexpress.fr/styles/familles-royales/waterloo-la-garde-meurt-mais-ne-se-rend-pas_1690225.html.

weADAPT. « Vulnerability - Definitions ». weADAPT | Climate change adaptation planning, research and practice, s. d. <https://www.weadapt.org/knowledge-base/vulnerability/vulnerability-definitions>.

Werner, Emmy E. *Through the eyes of innocents: children witness World War II*. Boulder, CO: Westview Press, 2000.

« Wikipédia - Résilience », s. d. <https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9silience>.

Yohan Demeure. « Japon :des murs anti-tsunami toujours plus hauts et plus longs depuis 2011 ». *Science Post* (blog), 12 mars 2021. <https://sciencepost.fr/japon-des-murs-anti-tsunami-toujours-plus-hauts-et-longs-depuis-2011/>.

Yves Fouquart. « Climat : les rétroactions, question clé de la sensibilité climatique ». *Futura*, s. d. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/climatologie-climat-retroactions-question-cle-sensibilite-climatique-1436/>.

Figures

Figure 1 - Les limites planétaires	6
Figure 2 - Au-delà des limites	7
Figure 3 - Evolution des teneurs en dioxyde de carbone (courbe bleue) et en méthane (courbe verte), au cours des derniers 800 000 ans. La reconstitution de la température en Antarctique (courbe rouge) est issue des mesures des isotopes de l'eau constituant la glace. Les données de dioxyde de carbone proviennent de plusieurs carottes de glace(Vostok, Taylor Dome, EPICA Dôme C). Celles du méthane sont entièrement issues du forage EPICA Dôme C. (Université de Berne et LGGE)	8
Figure 4 - Cinq motifs de préoccupation (MdP) intégrés fournissent un cadre pour un résumé des impacts et risques majeurs par secteur et par région	10
Figure 5 - Classification générale des biens selon E. Ostrom	18
Figure 6 - Récapitulatif et classifications des différents facteurs et indicateurs de vulnérabilité	21
Figure 7 - Analogie du diamant et nature multifacette de la vulnérabilité (Parker et al.)	22
Figure 8 - Liaisons entre vulnérabilité et changements environnementaux globaux (Décamps, 2007, 50, d'après Turner et al., 2003)	24
Figure 9 - Cadre intégré du modèle ENSURE pour l'évaluation de la vulnérabilité et de la résilience (Menoni, 2011)	25
Figure 10 - Recherches Google du mot résilience en France	28
Figure 11 - Recherches Google du mot résilience dans le monde	28
Figure 12- Nébuleuse de l'emploi du terme de résilience et les concepts afférents	31
Figure 13 - Carte des parcelles socio-écologiques du projet "Yellowstone to Yukon"	34
Figure 14 - Dualité sémantique de l'adaptation comme processus ou état . Source : d'après Simonet, 2009, 394.	40
Figure 15 - Le-cycle-adaptatif (Gunderson et Holling, 2002)	44
Figure 16 - Cycle adaptatif et panarchie des systèmes complexes (Gundersong et Holling, 2002).	45