



La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective

Rapport d'étude

Denis Lacroix, Olivier Mora, Nicolas de Menthère, Audrey Béthinger

Avec la contribution de Christophe Didier et Murielle Lafaye

Octobre 2019



Alliance nationale de recherche
pour l'Environnement

SOMMAIRE

1.	CADRAGE ET PROBLEMATIQUE.....	5
2.	ENJEUX POUR ALL'ENVI	7
3.	ENJEUX DE CETTE PROSPECTIVE	8
1.	METHODOLOGIE	10
1.1.	CONSTITUTION D'UNE EQUIPE PROJET ET DU GROUPE D'EXPERTS	10
1.2.	REFORMULATION DE LA QUESTION DE PROSPECTIVE	12
1.3.	ORGANISATION DES TRAVAUX	13
1.4.	BIBLIOGRAPHIE	13
1.5.	ETAPES DE LA CONSTRUCTION DES SCENARIOS	16
1.6.	DEFINITION DU SYSTEME.....	19
1.7.	LES CONTEXTES PHYSIQUES D'ELEVATION DU NIVEAU DES MERS	20
1.8.	RETROSPECTIVE ET PROSPECTIVE DES COMPOSANTES DU SYSTEME.....	23
1.8.1.	POPULATION LITTORALE	23
1.8.2.	URBANISATION ET INFRASTRUCTURES LITTORALES.....	31
1.8.3.	ENVIRONNEMENT ET RESSOURCES NATURELLES	39
1.8.4.	AGRICULTURE ET ALIMENTATION	43
1.8.5.	ECONOMIE LITTORALE	50
1.8.6.	GOVERNANCE LITTORALE	55
1.8.7.	CONTEXTE GLOBAL	59
2.	LES SCENARIOS D'EVOLUTION A 2050.....	63
2.1.	TABLEAU MORPHOLOGIQUE DE LA PROSPECTIVE	63
2.2.	PRESENTATION DES SCENARIOS	65
2.2.1.	LES SCENARIOS DU DENI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE OU DU DENI DE L'ELEVATION DU NIVEAU DE LA MER	65
2.2.2.	SCENARIO DE LA FRAGMENTATION DE LA GOUVERNANCE INTERNATIONALE	69
2.2.3.	SCENARIOS DE L'ADAPTATION DE LA ZONE LITTORALE	70
3.	FOCUS TERRITORIAUX	75
3.1.	NOUVELLE-AQUITAINE	75
3.2.	PAYS-BAS.....	82
3.3.	VIETNAM.....	89
3.4.	SYNTHESE DES TROIS ETUDES DE CAS : LES ENJEUX POUR LA REFLEXION PROSPECTIVE	96
4.	SYNTHESE DES SCENARIOS.....	99
4.1.	SCHEMA DE POSITIONNEMENT DES SCENARIOS	99
4.2.	CONSEQUENCES POTENTIELLES POUR LA RECHERCHE	104
	CONCLUSION	108
	BIBLIOGRAPHIE GENERALE	111
	ANNEXE 1 : NOTE DE CADRAGE	122
	ANNEXE 2 : DATES ET LIEUX DES ATELIERS.....	128
	ANNEXE 3 : EXPOSES EN ATELIER	129
	ANNEXE 4 : AUDITIONS.....	147
	ANNEXE 5 : TABLEAUX MORPHOLOGIQUES.....	158
	ANNEXE 6 : TABLEAUX DES CONSEQUENCES POUR LA RECHERCHE	166

Résumé

L'interface terre-mer, prise au sens large, est un espace fragile, convoité et soumis à de multiples pressions sans qu'il n'y ait de vision d'ensemble des populations et des activités qui s'y développent, ni de maîtrise globale des multiples décisions concernant ce milieu. Or la montée du niveau de l'océan apparaît comme une des pressions majeures de ce siècle. Son ampleur et ses effets à long terme sont difficiles à identifier, et donc, à anticiper. Toutefois, si les causes sont encore incomplètement analysées et comprises, les premiers effets sont déjà observables sous diverses formes et sur de nombreux sites. Les impacts de cette élévation sont encore faibles aujourd'hui, mais les projections portent à penser que l'élévation du niveau de la mer va s'accroître et que ses conséquences risquent d'être à terme considérables en matière de changement du trait de côte, d'habitat, d'infrastructures, d'agriculture, de tourisme... Ce changement global en accélération et encore mal quantifié, impacte aussi déjà des écosystèmes littoraux même si ses conséquences restent encore mal connues.

La prospective fournit des outils de projection et de construction de scénarios envisageant divers futurs possibles. Son usage dans cette problématique facilite (1) la prise de conscience des enjeux, (2) la représentation des options stratégiques et (3) l'évaluation des conséquences des choix. Elle permet ainsi d'éclairer les acteurs de la recherche française impliqués dans les enjeux scientifiques liés à cette montée du niveau de l'océan. De juin 2017 à décembre 2018, le groupe de travail de Prospective d'AllEnvi a conduit un travail collectif d'analyse des tendances passées, et des possibles ruptures, afin de construire des scénarios balayant la diversité des possibles sous diverses hypothèses de contextes physiques d'élévation du niveau des mers. Les résultats dessinent trois grandes trajectoires liées aux orientations de gouvernance résultant de politiques d'adaptation et d'atténuation du changement climatique. Les 8 scénarios identifiés montrent qu'il est rationnel de se préparer à des élévations moyennes de l'ordre de 1 à 2 mètres à l'horizon 2100 et que même des politiques déterminées et continues d'adaptation n'ont de sens à moyen et surtout long terme (2100 et au-delà) que couplées avec d'ambitieuses politiques d'atténuation engagées aussi précocement que possible.

Mots-clefs : montée du niveau de la mer, subsidence, deltas, inondation, littoral, risques côtiers

Introduction

L'Alliance nationale de recherche pour l'environnement (AllEnvi) fédère les forces de recherche publique pour programmer et coordonner la stratégie scientifique environnementale française. Elle réunit actuellement vingt-huit partenaires et est gouvernée par un Conseil rassemblant autour des présidents ou directeurs généraux de ses douze membres fondateurs¹, deux représentants de ses seize membres associés. Pour éclairer ses choix, et ceux de ses membres, l'alliance s'est dotée d'un groupe transversal de prospective (GT Prospective) constitué de représentants mandatés par chacun des organismes de l'alliance. A la demande du Conseil d'Allenvi le GT prospective a, dans un passé récent, effectué une méta-analyse des grandes prospectives internationales sur l'environnement dans le cadre de l'étude ScénEnvi. Cette étude a montré que d'une part, quelle que soit la priorité accordée à l'environnement dans ces scénarios, les risques environnementaux étaient croissants et d'autre part que certains compartiments de l'environnement, comme la mer ou la forêt, étaient peu embarqués dans la conception de ces scénarios. A la suite de cette étude le GT prospective a proposé au Conseil de l'alliance plusieurs thèmes transversaux sur lesquels mobiliser l'éclairage de la prospective. Parmi eux c'est la question des risques et des conséquences liées à la montée du niveau de la mer qui a été retenue. Lors de sa réunion du 23 février 2017 le Conseil a ainsi mandaté le groupe transversal prospective pour conduire, selon la proposition qu'il lui avait remise, cette étude intitulée :

« La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100, l'éclairage de la prospective »

L'élévation du niveau de la mer, qui s'accélère notamment sous l'effet du réchauffement climatique, va affecter directement le littoral et les zones côtières où se concentrent de nombreuses populations et les activités économiques à l'échelle mondiale. La vulnérabilité de cette interface entre la mer et la terre aux risques de submersions périodiques lors de tempêtes ou de recul du trait de côte est donc très forte. L'anticipation de ces risques constitue un enjeu majeur des politiques publiques compte tenu des investissements considérables nécessaires à l'adaptation des territoires littoraux et de leurs populations et à leur sécurisation, et dans le contexte de la mise en place de plans de prévention des risques et d'une réglementation favorisant l'adaptation (SRADETS etc.). La recherche en sciences de l'environnement se doit à la fois d'exercer son devoir d'alerte et d'anticiper en contribuant à préparer les solutions pour gérer ces risques.

1. Cadrage et problématique

A l'échelle mondiale, la première tendance lourde dans l'espace littoral est **l'accroissement continu de la population qui y réside**. Elle se traduit par une artificialisation souvent mal contrôlée des zones littorales et entraîne aussi des pressions sur les ressources, qu'elles soient minérales (granulats, par ex.), énergétiques (pétrole et gaz) ou vivantes (pêche, biodiversité). Or, la mer et les zones humides côtières fournissent une grande diversité de services écosystémiques non marchands (nurseries d'espèces marines, puits de carbone, filtration ou absorption de composés toxiques, recyclage...), ce qui contribue à la durabilité des écosystèmes productifs et à la qualité générale de l'environnement. Ces services sont vitaux pour nombre d'activités comme le tourisme, l'aquaculture et la pêche (source de 16 % des protéines dans le monde), mais ils sont menacés et risquent de l'être encore plus à l'avenir.

¹ BRGM, CEA, Cirad, CNRS, CGE, Ifremer, Ifsttar, INRA, IRD, Irstea, Météo France, MNHN

La seconde tendance lourde est **la montée du niveau de la mer**. La mesure de celle-ci et l'étude des phénomènes qui sont impliqués dans son équilibre dynamique n'ont cessé de se développer depuis un siècle en complément des études sur la température (Hansen and Lebedeff, 1988). Des outils de mesure de plus en plus précis ont été mis au point, des satellites aux flotteurs *in situ*. En parallèle, des programmes de traitement des données et de modélisation ont permis d'intégrer des masses croissantes d'informations et de faire des projections sur les décennies à venir avec les marges d'incertitude acceptables pour les décideurs.

Cette mondialisation des efforts de compréhension de la machinerie climatique et océanique, avec une responsabilité particulière confiée au GIEC depuis 1989, a permis d'aboutir à des trajectoires de forçage climatique et à des scénarisations de leurs causes et conséquences (GIEC, 2013). Celles-ci ont été longtemps négligées par la plupart des pays pour des raisons d'inertie sociétale et d'intérêts économiques. Mais, elles ont été peu à peu prises au sérieux au fil des conférences internationales sur le climat et des observations des dérèglements climatiques. Selon les hypothèses d'accroissement des émissions anthropiques de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, **les scénarios envisagent une augmentation de 44 à 74 cm du niveau moyen de la mer à l'horizon 2100. Cette élévation pourrait même atteindre 2 à 7 m (Bamber *et al*, 2019)** pour des scénarios défavorables prévoyant une stabilisation du CO₂ atmosphérique entre 500 et 700 ppm et la mise en place d'un régime de fonte accélérée d'une partie significative des calottes polaires (Labeyrie, 2015).

Les modifications de l'environnement littoral s'accroissent ainsi sous la double pression de l'anthropisation de cet espace et de l'élévation du niveau de la mer (Bonneil et Fressoz, 2013). L'interface Terre-Mer est donc « en première ligne » des changements globaux. Cette problématique concerne notamment l'Europe où nombre de plaines basses et grands deltas sont concernés : Rhin, Meuse, Escaut, Rhône, Somme, Pô, Ebre... (Chaumillon *et al*, 2014).

L'augmentation des occurrences de situations météorologiques extrêmes fait aussi craindre une augmentation des risques de submersion dus aux effets conjugués de l'apport massifs d'eau douce (liés à des pluies intenses) et des états de la mer (montée du niveau et tempête). Les risques liés à la montée du niveau de la mer sont si considérables, qu'ils deviennent de plus en plus difficilement mesurables. De fait, leur échelle spatiale est mal maîtrisée et ils ne sont pas compensables en cas de dégâts irréversibles liés par exemple à des effets de seuil ou la disparition d'espèces... (Beck, 1986). L'ampleur des phénomènes en cause est telle qu'il est illusoire de penser réduire le futur, et ses risques, à des probabilités issues d'une logique analytique. Il faut aussi éviter l'extrême inverse, c'est-à-dire la condamnation par avance de tout énoncé sur le futur. Le juste milieu est un dialogue permanent entre l'expérience, lucidement analysée, et les visions du futur, sans cesse actualisées (Bourg *et al*, 2016).

Les effets de l'élévation annoncée du niveau des mers, *Sea Level Rise* en anglais (SLR), ne se limiteront pas à la déjà vaste frange littorale. Ils se feront également sentir plus loin à l'intérieur des terres. Ainsi, une difficulté accrue d'écoulement des eaux en aval augmente les surfaces inondées et donc les dégâts lors des crues. Les Pays-Bas consacrent 90% de leur budget annuel de gestion des réseaux de fleuves et barrages aux menaces venant de l'intérieur des terres. En effet, en crue, le Rhin et la Meuse peuvent débiter jusqu'à 24.000 m³ par seconde dans un pays où le point bas est à moins 7 m.

Si des risques classiques, comme par exemple celui des pandémies, peuvent être maîtrisées *via* des outils internationaux pragmatiques et efficaces, le risque climatique et, avec lui, **la montée de la mer présente un caractère d'exception parce que les phénomènes sont globaux et irréversibles** et que leur maîtrise exigerait une sorte de « nouveau contrat social » à l'échelle mondiale.

Des centaines de millions de personnes ainsi que toute l'économie littorale associée sont déjà concernées par la montée du niveau marin. Cependant, les contrastes sont forts entre des pays riches, comme les Pays-Bas, et les pays pauvres, comme le Bangladesh, ce qui sera une source supplémentaire de migrations massives si cela n'est pas anticipé. Il n'est cependant pas simple d'élaborer une stratégie cohérente de long terme face à ce phénomène car toute la gamme des réactions humaines peut être observée dans les débats qui croisent des intérêts de court terme et des tendances de long terme : déni du problème, indifférence, acceptation fataliste, résistance au changement climatique, réaction pragmatique, volonté d'anticipation de long terme. Dans la pratique, le plus souvent, au-delà de la tentation de construire une digue, il s'agit de chercher à conserver une interface vivante avec la mer et de restructurer les espaces côtiers dans la profondeur. A l'échelle d'une commune comme à celle d'un État et des organisations internationales, les décisions finales relèvent de compromis, avec une grande difficulté d'estimation du ratio coûts/bénéfices sur le long terme. De fait, même s'il existe déjà plusieurs conventions internationales traitant divers aspects de ce problème global (Ramsar 1971, Barcelone 1976, Oskar 1998...), les principes consistant à éviter les perturbations les plus graves, et à réduire et à compenser leurs effets, sont toujours difficiles à traduire en actions concrètes et efficaces (Aronson *et al*, 2007).

Les conséquences environnementales, sociales et économiques de la montée du niveau de la mer vont dépendre de l'ampleur de cette montée, des caractéristiques initiales et des usages actuels et futurs des espaces littoraux considérés et surtout de la capacité de réaction / anticipation des instances de gouvernance actuellement en place. La combinaison de ces trois dimensions complexes, et, pour une large part incertaine, nécessite d'explorer plusieurs futurs possibles aux conséquences contrastées.

2. Enjeux pour AllEnvi

L'enjeu majeur pour AllEnvi est l'aide à la définition des priorités d'études pour la recherche publique française dans le domaine de l'environnement. La recherche doit acquérir et construire des connaissances et des méthodes pour répondre aux questions qui se poseront dans le futur. En conséquence, de nombreux programmes de recherche à l'échelle d'un laboratoire, d'un département, d'un institut ou d'un ministère intègrent une certaine vision du futur de ceux qui les définissent. Mais la tendance naturelle, au sein d'un travail de prospective, est de ne raisonner qu'en tendances dites « lourdes », donc peu contestables, sur des situations projetées « médianes », c'est à dire en évitant les scénarios pessimistes ou les ruptures. Or, pour montrer l'intérêt d'un programme de recherche, il peut être utile d'appuyer l'argumentation sur une ou des visions globales de futurs « de référence » à l'horizon 2030 ou 2050 car il n'est pas rare qu'une technique arrive à maturité en 30 ans et plus (ex. l'informatique) dans un environnement économique et technologique largement mondialisé (Dupuy, 2002).

De nombreuses méthodes de prospective ont été développées depuis 1945. Elles ont été souvent classées en diverses « écoles » : américaine (Cornish, 2004; Schwartz, 2007...), anglo-saxonne (Van der Heijden, 1996...), française (Godet, 1997 ; Jouvenel 2004...). Avec le recul de plus de 60 ans d'études, il s'avère que le choix d'une méthode est d'autant plus pertinent qu'il est fait en fonction de la problématique posée, du cadre spatio-temporel, des moyens affectés et du délai de restitution des résultats (Mermet, 2005).

Dans le cas d'une réflexion prospective sur la programmation de la recherche, l'effort d'intelligence collective doit porter sur les objectifs, les programmes et les partenariats à lancer ou soutenir en priorité.

L'analyse de nombreuses études de prospective montre qu'une des méthodes les plus robustes et les plus polyvalentes pour traiter une problématique complexe est celle des scénarios (Bishop *et al*, 2007). Le nombre

des variables motrices et le degré de variabilité des hypothèses jouent un rôle important pour obtenir des scénarios diversifiés et féconds (Grienitz *et al*, 2014). Ce terme de scénario, est employé dans toute l'étude dans son acception la plus courante : « une représentation du futur, basée sur des jeux d'hypothèses et de conséquences (si..., alors...), issue d'une situation initiale et travaillée par des forces et des changements » (Alcamo, 2009). Il s'agit en dernier ressort d'un compromis entre complexité et incertitude, équilibrant approche normative et foisonnement des hypothèses, précision des variables motrices et approximation itérative et enfin expertise des sources et participation ouverte (Eriksson et Weber, 2008).

Ainsi, pour chaque programme de recherche ou thème d'appel à projets, envisagé à diverses échelles (laboratoire, département, institution impliquée dans la recherche), il peut être intéressant de voir dans quel(s) futur(s) il ou elle s'inscrit le mieux ou s'il (elle) reste pertinent(e) dans d'autres scénarios voire tous, ce qui en ce cas lui confère une plus grande robustesse. De fait, certains programmes peuvent rester très dépendants d'un scénario particulier, d'autres, de type « choix sans regret », peuvent s'inscrire de manière acceptable dans tous les scénarios proposés. Il est donc utile de préparer une synthèse de grands scénarios de contexte à plusieurs horizons afin de disposer de cadres d'analyse prospective mobilisables pour n'importe quelle problématique de recherche (Marris, 2001). Il s'agit donc ici d'une forme de parangonnage (*benchmarking*) d'un programme permettant d'éprouver la force de sa justification. Une autre forme d'utilisation serait possible : partir des scénarios et construire le programme de recherche le mieux adapté dans le contexte choisi : le plus probable, le plus plausible, le plus global...

Ces scénarios et récits associés pourraient ainsi servir de « banc d'essai » systématique pour diverses projections de priorités. Ce dispositif éviterait d'avoir à reconstruire toute une méthodologie pour chaque nouvelle programmation. Certes, il perdrait en précision mais gagnerait en réactivité. Il serait alors possible d'actualiser régulièrement ces « scénarios de contexte » de référence, en les nourrissant par une veille en prospective ou en les renouvelant tous les 5 à 10 ans, durée d'obsolescence moyenne des études.

3. Enjeux de cette prospective

Comment concevoir le littoral anthropisé sur le long terme sous contrainte de montée du niveau de la mer, au moins jusqu'à 2100, en prenant en compte les risques de « tempête parfaite » (« *perfect storm* ») ou conjonction de toutes les menaces potentielles, sur au moins certains points du littoral ? Comment garder compatibles l'expansion des activités maritimes et la sécurité et la pérennité des milieux ? Les échelles de perturbation de l'environnement liées à la montée de la mer sont si considérables qu'elles font apparaître des besoins en connaissances forts dans de nombreux compartiments de recherche. Le phénomène d'élévation du niveau de la mer se poursuivra au-delà de 2100, sur plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires (Clark *et al*, 2016). Se projeter à 2100 dans un domaine aussi lourd de conséquences est nécessaire pour décider de manière pertinente à l'horizon 2030.

La gestion durable du littoral et de ses activités nécessite une démarche collaborative alliant disciplines et technologies dans de nombreux domaines : environnement, société, économie, urbanisation, gouvernance, en croisant leurs apports. De fait, l'adaptation aux changements globaux est déjà la plus importante thématique de recherche dans les 130 programmes portés par les 17 UMR travaillant sur le littoral (Duvat et Mossot, 2012).

La prospective offre donc une forme de « modélisation » des choix stratégiques et d'estimation de leurs conséquences. Elle contribue à faciliter les débats entre porteurs d'enjeux, à la sélection collective de mesures

sans regret et, enfin, à l'appropriation par toutes les parties des actions nécessaires à mener à l'échelle régionale, quand ce n'est pas encore possible à l'échelle mondiale.

1. Méthodologie

Dans le cas de la demande du Conseil d'AllEnvi, il est important de baliser le champ conceptuel, avant toute proposition de méthode, afin d'utiliser l'outil de l'analyse prospective de manière pertinente et utile. Pour éviter la dispersion des concepts, l'analyse prospective du sujet demandé par AllEnvi emprunte délibérément la méthode des scénarios.

Le large éventail des vitesses de montée du niveau de la mer et la variété des conséquences et des réactions possibles justifient le recours à la méthode des scénarios. Cette méthode classique et éprouvée en matière de prospective est particulièrement bien adaptée à la fois à la complexité de la question posée et à la fonction d'initiation ou de formation à la prospective que revêt ce premier exercice de prospective conduit au sein de l'alliance AllEnvi et qui a impliqué des experts appartenant aux groupes thématiques. En effet, les travaux précédents du GT Prospective consistaient en une méta-analyse des prospectives internationales sur l'environnement, étude ScénEnvi, et non en la réalisation d'une prospective propre.

Une fois la question bien posée, et l'horizon temporel ainsi que le périmètre territorial bien définis, la première étape consiste à identifier les variables qui vont influencer sur l'évolution dans le temps de cette question. L'ensemble de ces variables, éventuellement organisées en composantes, lorsqu'elles sont nombreuses, constitue le « système prospectif ». L'analyse de l'évolution rétrospective de chacune de ces variables, notamment à partir de la bibliographie, précède la formulation d'hypothèses contrastées sur leurs évolutions futures possibles. La matrice des variables (regroupées en composantes) et de leurs hypothèses d'évolution constitue le tableau morphologique. C'est à partir de ce tableau que sont élaborés les scénarios en sélectionnant une hypothèse pour chacune des variables pour construire un récit cohérent d'un futur possible.

Les différentes étapes des travaux sont donc les suivantes :

- Constitution d'une équipe projet et du groupe d'experts
- Reformulation de la question posée à la prospective, définition de l'horizon temporel et spatial
- Bibliographie
- Identification des variables et regroupement en composante (système prospectif)
- Analyse rétrospective des variables et élaboration des hypothèses
- Construction du tableau morphologique
- Elaboration des scénarios
- Ecriture des récits de chaque scénario
- Analyse des enjeux du jeu de scénarios construit

1.1. Constitution d'une équipe projet et du groupe d'experts

Dès la confirmation de la commande du Conseil d'AllEnvi lors de sa réunion du 23 février 2017, la première tâche pour le Groupe transversal Prospective a été de constituer une équipe d'animation en charge de proposer la méthodologie, de conduire les travaux, notamment en animant les ateliers et en synthétisant

leurs productions. Cette équipe d'animation est composée des trois co-animateurs du Groupe transversal, Nicolas de Menthère (Irstea), Denis Lacroix (Ifremer) et Olivier Mora (INRA), de deux membres du GT Prospective, Christophe Didier (INERIS) et Murielle Lafaye (CNES), et d'Audrey Béthinger (INRA), cheffe de projet.

Une équipe inter-organisme de professionnelles de l'IST composée de Marie-Hélène Pépin (Météo France), Morgane Le Gall (Ifremer) et Pascale Hénaut (Irstea) a également été mise en place pour gérer l'ensemble des recherches et ressources bibliographiques sur le sujet.

Enfin, un groupe d'experts inter-organisme et interdisciplinaire a été constitué spécifiquement pour mener cette étude. Dans un premier temps, les Groupes thématiques d'AllEnvi concernés ont été sollicités pour proposer des experts, puis la recherche a été élargie auprès d'autres établissements de recherche ou d'enseignement supérieur ou centres techniques concernés par le sujet ainsi que des gestionnaires d'espaces littoraux (conservatoire national du littoral). A la fin des consultations, un groupe d'experts du climat, hydrologues, géographes, océanographes, écologues, agronomes, sociologues, politologues, juristes (...) volontaires inter organismes et interdisciplinaires de 20 personnes a été constitué. Il est composé des personnes suivantes :

Bernardot Marc (Univ. Le Havre)	Le Cozannet Gonéri (BRGM)
Bertin Xavier (Labo LIENSs/GT Mer)	Lobry Jérémy (IRSTEA)
Carnus François (BRL Ingénierie)	Meerpoel Matthieu (ICL)
Cattaneo Antonio (Ifremer/GT Risques)	Meyssignac Benoit (Legos)
Devès Maud (AFPCN/IPGP)	Petit Sylvain (Cerema)
Dörfliger Nathalie (BRGM)	Rocle Nicolas (Irstea)
Durand Gaël (Univ. Grenoble Alpes)	de Rouw Anneke (IRD)
Duval Anne-Marie (Cerema)	Salas y Melia David (Météo France)
Guedon Sylvine (Ifsttar)	Vagner Marie (LIENSs équipe Biofeel)
Hérivaux Cécile (BRGM)	Valentin Christian (IRD/GT Sols)

Entre chaque atelier l'équipe d'animation s'est réunie pour préparer les ateliers suivants et rédiger les conclusions partielles à chaque étape, afin de les soumettre au groupe d'experts à l'atelier suivant.

La plupart des ateliers ont été introduits par des exposés spécialisés permettant d'apporter un éclairage particulier sur la question (la liste et la synthèse de ces exposés figure en annexe 3). Quelques auditions complémentaires ont été effectuées en dehors de ateliers (la liste et la synthèse de ces auditions figure en annexe 4).

Liste des intervenants en atelier :

- Anny Cazenave, CNES : Le niveau de la mer : du global au local, observations et causes.
- Gaël Durand, Université Grenoble-Alpes, CNRS : la contribution de la cryosphère à la SLR.

- David Salas y Mélia, Météo France : les projections du niveau de la mer.
- Claire Jolly, OCDE, Chef d'unité, IPSO, Direction de la science, de la technologie et de l'industrie : la montée des eaux : quelles conséquences socio-économiques ?
- Jacques Rougerie : urbaniste, architecte, océanographe, membre de l'Institut de France : la montée des eaux : quelles conséquences urbaines et en aménagement côtier ?
- Alexandre K. Magnan, géographe à l'IDDRI : des « trajectoires de vulnérabilité » aux « trajectoires d'adaptation ».
- Manh Largemain (Dir. de la stratégie) et Jérôme Chardon (Bur. Pacifique), Ministère des armées : les grands enjeux et les conséquences « défense » de la hausse du niveau des mers.
- François Gemenne, chercheur qualifié du FNRS à l'Université de Liège (CEDEM) et à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (CEARC) : la hausse du niveau des mers et les migrations des populations.
- Robert J. Nicholls, Université de Southampton : l'aménagement des deltas face au changement climatique.

Liste des intervenants en audition

- Audition 1 : Jean Louis Oliver (Académie des Sciences d'outre-mer et Académie de l'eau)
- Audition 2 : Stéphanie Penet (Fédération française de l'Assurance)
- Audition 3 : Jean-Paul Billaud (CNRS, Université Paris-Nanterre ; Laboratoire des dynamiques sociales et recomposition des espaces LADYSS)
- Audition 4 : Jean -Louis Valantin (Consultant en géopolitique, auteur de « Géopolitique d'une planète dérégulée », Seuil, 2017)

1.2. Reformulation de la question de prospective

Pour une bonne compréhension par tous de la problématique soumise à cette prospective il était essentiel de bien reformuler la question posée. En effet, il ne s'agit ni d'une prospective sur des scénarios de changement climatique, ni d'une prospective générale sur la mer, ni d'une prospective sur l'élévation du niveau de la mer en 2100 mais d'une prospective sur les conséquences de la hausse prévu d'élévation du niveau de la mer et les possibilités d'anticipation. Elle concerne donc essentiellement l'interfacer terre-mer. La question soumise à la prospective a été formulée ainsi : Quelles conséquences et quelles anticipations possibles de l'élévation du niveau des mers d'ici 2100 ? Cette formulation souligne qu'il se n'agit pas ici de produire des scénarios sur les diverses hypothèses d'élévation de la mer, ou sur le changement climatique, mais plutôt de produire des scénarios sur les différentes conséquences et d'analyser les possibilités d'anticipation de ce phénomène afin d'éclairer les acteurs et les décideurs sur leurs choix quotidiens de moyens et long terme.

L'horizon temporel 2100 a été retenu afin de disposer de la profondeur suffisante pour la pleine visibilité des conséquences d'un phénomène lent, mais cumulatif. Il convient également de noter que la question n'est pas posée « en 2100 » mais bien « d'ici 2100 » car il ne s'agit pas seulement de produire une photographie des situations possibles en 2100 mais bien de décrire les dynamiques à l'œuvre depuis aujourd'hui jusqu'en 2100, ainsi que les tendances d'évolution au-delà de 2100.

Enfin, le choix a été fait de produire des scénarios globaux tout en tenant compte de la variabilité des situations à travers le monde et de compléter ces scénarios globaux par des focus territoriaux sur la Nouvelle-Aquitaine, les Pays-Bas et le Vietnam. Ces exemples permettent à la fois d'enrichir les scénarios globaux et de les tester sur des contextes géographiques et socioéconomiques contrastés.

Cette étude prospective à horizon assez lointain (2100) vise donc à élaborer des représentations contrastées des futurs possibles, en articulant échelle mondiale à laquelle se déroule le phénomène étudié et cas-types « locaux » permettant d'illustrer les réactions et les conséquences spécifiques au territoire littoral étudié.

1.3. Organisation des travaux

Les travaux ont été menés sur neuf ateliers d'une journée. La préparation des ateliers et leur coordination ont été assurées par l'équipe d'animation, depuis le séminaire de lancement le 16 juin 2017 jusqu'à l'atelier de réflexion sur les questions posées à la recherche, le 30 novembre 2018, selon le programme suivant :

- Atelier 1 : identification des conséquences potentielles de la hausse du niveau de la mer
- Atelier 2 : identification des variables influentes
- Atelier 3 : hypothèses d'évolution des variables à 2100 (1/2)
- Atelier 4 : hypothèses d'évolution des variables à 2100 (2/2)
- Atelier 5 : scénarios d'évolution à 2100 (1/3)
- Atelier 6 : scénarios (2/3)
- Atelier 7 : scénarios (3/3)
- Atelier 8 : focus territoriaux
- Atelier 9 : enjeux pour la recherche

1.4. Bibliographie

Afin de constituer le corpus bibliographique, l'équipe IST du groupe prospective (Pascale Hénault, Morgane Le Gall, Marie-Hélène Pépin) est sollicitée en mars 2017, pour réaliser une recherche documentaire, sur le thème des conséquences de la montée des eaux (et/ou baisse des terres) à l'interface terre-mer à l'échelle du monde, en sélectionnant d'une part, les articles scientifiques parus depuis moins de 10 ans et, d'autre part, les articles de presse, française ou anglo-saxonne, parus depuis le 1er janvier 2017.

Les résultats de cette première recherche ont été présentés soumis aux animateurs du groupe en juin 2017 afin de préparer le premier atelier du 16 juin 2017.

Après une 1ère exploration bibliographique sur l'outil de découverte EDS d'Ebsco, l'équipe a choisi d'utiliser l'outil Zotero pour centraliser les données bibliographiques : (https://www.zotero.org/groups/1289593/la_mer_monte/items/). Les articles scientifiques ou ceux issus des revues de presse ont été répartis dans les thématiques, validées en mars 2017 :

- **Agriculture côtière** : salinisation des terres, altération des sols / salinisation des aquifères / évolution des productions agricoles / adaptation des plantes
- **Déplacement de population**, migration climatique
- **Economie côtière** : activités sur la mer (pêche, aquaculture, énergie...) / tourisme
- **Habitats écologiques** : invasions biologiques / services écosystémiques / biodiversité (altération - résilience) / hydrogéologie
- **Infrastructures** : défenses et prévention / routes / énergie / eau potable / déchets / télécom / problèmes assuranciers
- **Risques sanitaires** : maladies liées à l'eau sale ou saumâtre, maladies émergentes
- **Urbanisme** : architecture / gestion du risque et mémoire du risque / concentration démographique sur les côtes / problèmes assuranciers / équité de traitements entre les zones d'habitation / gouvernance et lien société-individus

Pour ce qui concerne la revue de presse, il a été décidé ne pas se limiter aux seules conséquences de la montée de la mer mais d'y inclure également des articles traitant du sujet comme celui de S.Foucart dans *le Monde* du 30 avril 2018 intitulé : « Le rythme d'élévation du niveau des mers s'accélère », l'objectif étant d'estimer l'importance médiatique portée à ce sujet.

Les sources Web Of Sciences, Scopus, EDS - Ebsco, Europresse, Scholar, Revues.org, OpenEdition, ONU, FAO, Banque mondiale, sites de l'Union Européenne, ont été interrogées, de même que la recherche par mots clés dans les différents corpus existants dans nos institutions :

Tableau 1 : Mots-clefs utilisés pour la recherche bibliographique, en français et en anglais

Français	Anglais
élévation niveau mer / marin / submersion / inondation côtière	sea level (variation OR rise OR changes) / marine ingression
montée eau / mer / océan / delta / avancée mer	vertical land / ground / soil (movements OR motions)
côte / zone côtière / littoral / plage / dune / trait de côte	shoreline / coastline / coast / beach (management OR erosion OR evolution OR changes OR submersion OR subsidence OR retreat)
érosion / affaissement / recul / diminution	submersion OR submerged areas / saltwater intrusion
climat / changement climatique	low lying zones / low lying coastal areas / deltas
conséquences / impacts / effets / menaces / risques / altération / résilience	sand OR pebble beaches
économ* / gouvernance / politique / tourisme	climate change / impact* / effect* / consequenc* / threat* / risk* / resilience / vulnerability /
biodiversité / écologie / écosystème / adaptation	population / migration / habitat / demograph*
Invasion biologique / ressource vivante / ressource biologique / pêche / aquaculture / énergie	land use / husbandry / farming / agriculture
agriculture côtière / sol / terre	urbanism / architectur* / cit* / inhabitant* / flood
urbanisme / architecture / construction / aménagement littoral / infrastructure	insuranc* / infrastructure
habitat / migration / flux migratoire / population / démographie	economy / economic activit* / governance / policy /

risques sanitaires / maladies	tourism fish* OR aquatic resource* / aquaculture / fisheries / ecosystem* / ecology / biologic* invasion* health / sanitary risk* / disease
-------------------------------	--

Cette première recherche a permis de définir un premier corpus de documents. Plusieurs chercheurs ont alors spontanément proposé de nouveaux articles qui n'avaient pas été repérés lors de la première recherche et ont régulièrement transmis à l'équipe IST les références d'articles qui pouvaient entrer dans le corpus. Lors de l'atelier, il a également été décidé de faire trois focus territoriaux : Nouvelle-Aquitaine, Pays-Bas, Vietnam.

Suite au travail mené sur les variables, les thématiques initiales ont été modifiées ce qui a conduit à reclasser les documents dans les catégories suivantes :

- Environnement et ressources naturelles (y compris écosystèmes et services écosystémiques)
- Agriculture et alimentation
- Population (densité côtière ; migrations internes et externes ; santé)
- Gouvernance (dont valeurs ; échelle locale, nationale et internationale)
- Urbanisation et infrastructures (ex. aménagement), pour cette composante le noyau note son ambiguïté ces items pouvant être vus sous l'angle de l'impact qu'ils vont subir ou sous l'angle de la gouvernance
- Économie (Tourisme, énergie, Agriculture, commerce international, répartition des richesses...)

Finalement, 414 références ont été identifiées entre mai 2017 et mai 2018. Elles se répartissent comme suit :

Articles	: 188	Articles de presse	: 65
Rapports	: 79	Ouvrages / Chapitres	: 47
Images animées / vidéos	: 22	Thèses	: 6
Interviews	: 4	Billets de blog	: 3

A cela s'ajoutent deux revues de presse (Europresse) de 67 articles permettant d'apprécier comment les médias traitent de la question de la hausse du niveau des mers.

Enfin, les articles liés au focus territoriaux se répartissent comme suit :

Nouvelle Aquitaine : 56

Pays Bas : 21

Vietnam : 52

En Nouvelle Aquitaine, les ressources sont très nombreuses raison de l'attention que porte le ministère de la transition écologique et les élus locaux à ce phénomène. De nombreuses réunions avec les populations des bords de mer ont été organisées, générant un nombre d'articles impressionnant dans la presse régionale. Ils

n'ont pas été pris en compte dans le corpus, dans la mesure où il s'agissait d'annoncer ou de commenter les réunions.

La répartition temporelle des articles scientifiques mobilisés dans cette étude (cf. figure 1) montre une augmentation du nombre de publications à partir de 2014, ce qui traduit bien l'intérêt croissant de la recherche pour ce sujet.

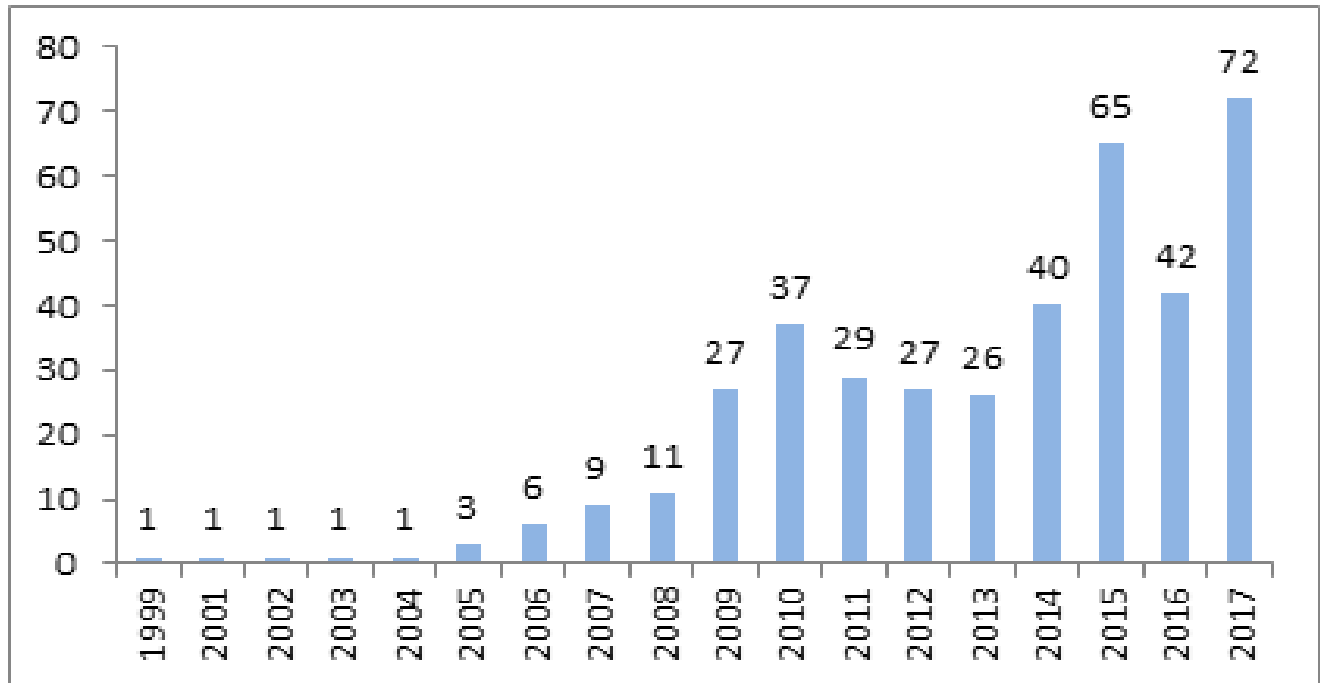


Figure 1 : Distribution des références mobilisées par l'étude de 1999 à 2017 (Source bibliométrique : Bibliothèque La Pérouse)

1.5. Etapes de la construction des scénarios

La construction des scénarios, en réponse à la question : « Quelles conséquences et quelles anticipations possibles de l'élévation du niveau des mers d'ici 2100 ? », a nécessité les étapes suivantes :

- a) **La construction du « système prospectif »** qui comprend l'identification des variables les plus influentes sur l'évolution de la question posée et leur regroupement en quelques grandes « composantes »

Lors de l'atelier 1 du groupe d'experts, une séance de *brainstorming* a mis en évidence le nombre et la diversité des conséquences de la hausse du niveau de la mer. Le groupe projet a proposé, sur cette base, un regroupement de ces éléments en composantes et cette proposition a été mise en débat lors de l'atelier 2 au cours duquel différentes variables ont été identifiées pour chacune des composantes.

- b) **L'analyse rétrospective de l'évolution de chacune des variables et composantes retenues** en s'appuyant notamment sur la bibliographie

Le groupe projet s'est réparti le travail d'analyse rétrospective de chacune des variables et composantes sur la base de la bibliographie, puis ces rétrospectives ont été discutées avec le groupe d'experts.

- c) **La formulation d'hypothèses contrastées d'évolution à 2100 pour chacune des variables retenues,**

Les ateliers 3 et 4 ont été consacrés à l'élaboration des hypothèses sur les variables. Toutes les variables des six composantes ont été traitées successivement lors de ces deux ateliers. Après une présentation de la synthèse de l'analyse rétrospective chacune des variables de la composante à traiter lors de l'atelier, le groupe d'experts a été scindé en trois sous-groupes chargés chacun de proposer des hypothèses d'évolution à 2100 des variables. Les hypothèses proposées par chaque sous-groupe ont été présentées au groupe d'experts en plénière et mises en discussion. Le groupe projet a retravaillé la formulation synthétique des hypothèses. Celles-ci ont été présentées, éventuellement amendées, puis validées par le groupe d'experts en plénière lors de l'atelier suivant.

- d) La construction du « tableau morphologique »,** matrice regroupant l'ensemble des hypothèses formulées pour chacune des variables regroupées en composantes

Sur la base des travaux précédents, le groupe projet a élaboré le tableau morphologique en positionnant les formulations synthétiques des hypothèses retenues dans les cases de la matrice croisant les variables, regroupées en composantes, et les hypothèses. Cette matrice constitue l'outil de travail pour la construction proprement dite des scénarios en atelier.

- e) La construction proprement dite des scénarios** en sélectionnant dans le tableau morphologique une hypothèse pour chacune des variables afin de construire des récits cohérents, plausibles et contrastés du futur

La construction des scénarios à partir du tableau morphologique a été l'objet des ateliers 5, 6 et 7. Deux méthodes de construction des scénarios ont été menées en parallèle par deux sous-groupes du groupe d'experts :

Dans la première méthode, le choix préalable d'un des quatre contextes physiques d'élévation du niveau des mers en 2100 (cf. II.2) constitue l'élément initiateur et structurant d'un scénario. On cherche alors à lui associer des hypothèses cohérentes pour chaque variable de chaque composante. L'ensemble de ces hypothèses sélectionnées construisent un scénario cohérent avec le contexte physique initialement choisi. Ce travail est répété pour chaque contexte. Plusieurs scénarios peuvent être construits pour un même contexte.

Dans la seconde méthode, le choix d'une hypothèse du tableau morphologique considérée comme motrice, et ce quelle que soit sa place dans ce tableau, constitue cette fois l'élément structurant et la base du récit. On s'attache alors à rechercher dans le tableau des hypothèses cohérentes avec cette hypothèse motrice initiale. On construit ainsi un scénario du système « littoral » cohérent et plausible. Puis on détermine, à la lumière du récit construit, lequel des quatre contextes physiques (cf. II.2) correspond le mieux au scénario ainsi bâti.

Les scénarios produits par chacun des deux sous-groupes ont été présentés et discutés au sein du groupe d'experts plénier.

Parmi la quinzaine de scénarios initialement produits, les scénarios proches ont été fusionnés ou contrastés afin d'arriver à un ensemble de scénarios qui, sans être nécessairement exhaustifs, couvrent bien le champ des futurs possibles.

Entre les ateliers 6 et 7 le groupe projet a rédigé un premier jet du récit de chacun des scénarios en une ou deux pages. Ces premières rédactions ont été transmises au groupe d'experts et amendées en plénière lors des ateliers 7 et 8, en tenant compte des enseignements des trois focus territoriaux. Ces trois cas d'étude ont été traités chacun par un binôme. L'analyse a été faite sur une base essentiellement bibliographique pour le

Vietnam, à partir de la bibliographie et d'une expertise locale pour la Nouvelle-Aquitaine et les Pays-Bas et complétée par une visite collective de deux jours à sur le terrain pour les Pays-Bas.

f) Structuration de la présentation et schéma de positionnement des scénarios sur un plan

Le nombre de scénarios finalement retenus (8) a conduit le groupe projet à proposer une structuration de leur présentation en les regroupant en familles.

En outre, pour faciliter leur présentation, un schéma de positionnement de l'ensemble des scénarios sur un plan selon deux axes a été recherché. Plusieurs jeux d'axes et modes de représentation ont été proposés et discutés lors de l'atelier 8, puis au sein du groupe projet, avant d'aboutir au schéma de positionnement finalement retenue pour une présentation synthétique de l'ensemble des scénarios faisant apparaître, pour chaque scénario, à la fois la trajectoire suivie et ses inflexions éventuelles et le contexte physique d'élévation des mers (*cf.* II.2) auquel il conduit.

Construction et analyse du système prospectif

1.6. Définition du système

La prospective est une approche systémique, qui s'intéresse aux dynamiques d'un système et à la manière dont les interrelations entre les composantes d'un système évoluent dans le temps. Aussi la définition du système de la prospective est une étape cruciale de la démarche car elle caractérise les dynamiques qui sont prises en compte. Pour mémoire, et pour comprendre la structuration du système qui a été définie, l'étude prospective sur les conséquences de la hausse du niveau des mers à l'horizon 2100 se situe à une échelle globale. Cela signifie que nous nous intéressons à l'ensemble des zones littorales qui, à l'échelle mondiale, pourraient être impactées par les effets de la hausse du niveau des mers. Mais cela implique de s'intéresser également aux dynamiques qui vont engendrer un changement climatique plus ou moins important, étant entendu que ces dynamiques ne dépendent pas seulement de l'évolution des zones littorales.

C'est pourquoi le système de la prospective a été divisé en deux grands blocs : d'un côté, le système littoral qui est constitué par les populations, les habitats, les activités et les écosystèmes des zones littorales ; de l'autre, un contexte global qui regroupe les déterminants majeurs externe à la zone littorale mais qui vont influencer son avenir. De façon plus précise, le système littoral se définit par la population littorale, l'urbanisme et les infrastructures dans les zones littorales, l'économie des zones littorales, l'environnement littoral et les ressources naturelles, l'agriculture littorale et la manière dont elle participe à l'alimentation des populations qui y résident (ou qui résident en dehors) et la gouvernance des espaces littoraux.

Le contexte global est caractérisé principalement par les facteurs qui déterminent les émissions de gaz à effet de serre (mais aussi la capacité des zones littorales à mettre en œuvre des politiques d'adaptation) à l'échelle globale tels que la croissance économique mondiale, l'évolution du bouquet des énergies et la place qu'y occupent respectivement les énergies fossiles et renouvelables, la prise de conscience de l'enjeu climatique et les modalités d'une gouvernance globale, en particulier pour mettre en place des politiques d'atténuation.

Chaque composante du système se définit par un ensemble de variables. Le tableau ci-dessous présente le découpage en composantes (en gras) et variables de l'ensemble du système.

Les **composantes** et variables du système de la prospective sont les suivantes :

Population

P1 - Part de la population exposée

P2 - Migrations internes et internationales

P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations

Urbanisme et infrastructures

U1 - Dynamiques urbaines

U2 - Niveau de résilience des infrastructures

U3 - Adaptations des zones littorales exposées

Environnement et ressources naturelles

EN1 - État de la ressource en eau douce (quantité et qualité)

EN2 - État des sols (salinisation, érosion...)

EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)

EN4 - Modification du trait de côte

Agriculture et alimentation

A1 - Disponibilité en terres agricoles

A2- Systèmes de production agricole

A3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche dans l'alimentation

A4 - Sécurité alimentaire (disponibilité, accès, utilisation, stabilité)

Economie littorale

EC1 - Economie littorale (poids, capacité de transformation, degré de dépendance aux écosystèmes de l'économie)

EC2 - Solidarités et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)

Gouvernance littorale

G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)

G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)

G3 - Niveau de coordination et mutualisation (échelles locale et globale)

Contexte global

C1 - Croissance économique mondiale

C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et au commerce international)

C3 – Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)

G4 - Gouvernance géopolitique globale

1.7. Les contextes physiques d'élévation du niveau des mers

La problématique de la projection du niveau de la mer à moyen et long terme mobilise de nombreuses disciplines comme la géomorphologie (notamment les phénomènes de subsidence), la paléoclimatologie, la glaciologie, la physique de l'atmosphère, l'océanographie physique, chimique et biologique, l'hydrologie, l'écologie (...), et aussi diverses sciences sociales et économiques comme la géopolitique, la sociologie,

l'économie, etc. Ce phénomène de hausse de la mer est étudié depuis des décennies et les moyens alloués à la recherche ont été accrus depuis que les estimations ont donné des chiffres inquiétants en termes de conséquences sur les activités humaines.

Si cette étude prospective ne porte à proprement parler pas sur le phénomène d'élévation du niveau de la mer lui-même mais bien sur les conséquences de ce dernier, il n'en demeure pas moins un élément structurant de la construction des scénarios.

Les questions suivantes gouvernent la description de la hausse du niveau marin et de fait du contexte physique qui décrit l'environnement à 2100 : quelle est son amplitude ? sa vitesse d'évolution ? comment a-t-il évolué par le passé ? quelles sont ses causes et quelle est son hétérogénéité selon les différentes localisations géographiques dans le monde ?

La bibliographie sur ces points a été complétée par les exposés d'Anny Cazenave (CNES) et de David Salas Y Melia (Météo France) lors de l'atelier 1 puis celui de Gaël Durand (CNRS / Université de Grenoble Alpes) sur la contribution potentielle des calottes polaires à l'élévation du niveau de la mer lors de l'atelier 2 (voir compte-rendu en annexe 3). L'objectif était de mieux comprendre le phénomène dont on cherche à analyser les conséquences à 2100 et de définir les contextes physiques possibles d'élévation des mers à l'horizon 2100 les plus représentatifs et plausibles.

L'accumulation des connaissances à ce jour permet d'établir plusieurs assertions bien documentées même si des controverses subsistent sur divers points notamment en matière de vitesse d'évolution et de chaînes de causalité :

- La mer monte en moyenne de 3 mm/an depuis 1993
- Ce phénomène est en accélération
- Ce mouvement n'est pas uniforme, ni dans le temps, ni dans l'espace
- On identifie assez bien les causes et leur importance respective
- Mais on ne sait pas bien ce qui se passe à l'échelle locale.

La paléoclimatologie montre que le niveau de la mer a beaucoup varié dans le passé et à des vitesses parfois élevées ; mais l'activité anthropique actuelle ne peut être rapprochée d'aucun processus antérieur en raison de la pluralité et de la simultanéité de ses actions : épuisement de ressources, artificialisation de grands espaces, érosion de la biodiversité et destruction d'écosystèmes à forte capacité de résilience...

L'analyse des composantes de la montée du niveau de la mer actuelle établit que, grosso modo, trois facteurs jouent un rôle majeur, soit :

- la fonte des glaces des calottes polaires, notamment au Groenland (contribution multipliée par 3 en 20 ans),
- le gonflement dû à la dilatation de l'eau des océans (effet stérique),
- et la fonte des glaciers terrestres.

Le bilan global, construit par le GIEC à partir de la compilation des travaux des grands centres de recherche mondiaux et de nombreux modèles, est celui d'une courbe nette d'accroissement du niveau de la mer avec des périodes inexpliquées de pause (par ex., 1984-1989) et d'accélération (par ex., 1994-2004) et des projections d'environ 44 à 74 cm de hausse pour la fin du siècle. Mais si l'on essaye de prendre en compte les facteurs mal documentés, comme le rôle de la couverture nuageuse, les marges d'incertitude et l'accélération en cours du phénomène (de plus en plus observable notamment sur la cryosphère polaire), ainsi que la probabilité élevée de suivre une trajectoire de type RCP 6.0 ou RCP 8.5 dans les trois prochaines décennies au moins, les hypothèses de montée du niveau de la mer doivent être réévaluées à la hausse.

Par ailleurs, la valeur absolue de la SLR en 2100 compte moins que la dynamique en cours. Ainsi une valeur de + 2 m en 2100 mais avec une dynamique stabilisée en palier ou en décélération est moins alarmante qu'une valeur de + 1,5 m mais avec une dynamique de croissance forte, ou pire, toujours en accélération.

Les hypothèses d'élévation du niveau des mers sont logiquement corrélées aux scénarios de forçage radiatif issus des travaux du GIEC. On considère ici que l'état physique de type « modéré » n'est compatible qu'avec des RCP de 2,6 ou 4,5. Celui de type « sérieux » devrait être observé pour des RCP de 4,5 ou 6,0. Les conséquences du forçage de 4,5 sont difficiles à catégoriser car la réactivité des sociétés et des gouvernants va jouer un rôle majeur dans ce scénario. Enfin, les états physiques qualifiés de « grave » ou « extrême » ne peuvent émerger que dans le RCP 4.5 (DeConto & Pollard, 2016) ou le RCP 8,5. Il faut bien sûr nuancer cette répartition car tous les niveaux intermédiaires peuvent être projetés, et observés. Mais le choix de contextes physiques contrastés est indispensable pour mener à bien l'analyse morphologique.

Dernier élément important à prendre en compte, la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes (EvEx) sont liées à l'évolution globale du climat avec des quantités croissantes d'énergie thermique à dissiper notamment en mer (vents, vagues, tempêtes, cyclones...) et sur les côtes. Le littoral est donc potentiellement de plus en plus exposé alors même que l'on observe à l'échelle mondiale une anthropisation croissante des régions côtières. La vulnérabilité des habitats, des infrastructures et des ressources s'accroît donc en proportion de cette évolution.

Le choix a donc été fait de définir quatre contextes physiques en 2100 sur la base de trois paramètres : la hausse moyenne du niveau de la mer par rapport au niveau actuel, la vitesse d'élévation du niveau de la mer en 2100 (forte ou faible) et enfin l'intensité et la fréquence des événements météorologiques extrêmes (EvEx).

Tableau 2 : Caractéristiques des quatre états physiques potentiels concernant le niveau de la mer à 2100

Vitesse d'élévation du niveau de la mer en 2100 Hausse du niveau de la mer (ordre de grandeur, en cm)	Faible	Forte
50	MODÉRÉ (EvEx +) (RCP 2,6- 4,5)	SÉRIEUX (EvEx +) (RCP 4,5-6,0)
100		GRAVE (EvEx ++) (RCP 8,5)
200		EXTREME (EvEx ++) (RCP 8,5)

Il est peu plausible que l'on atteigne un ou deux mètres de hausse si la vitesse d'élévation du niveau de la mer est faible en 2100. Cette situation est trop peu vraisemblable pour que l'on prévoie des états physiques dans ces deux cas. De même la stabilisation du niveau de la mer en 2100 n'a pas été envisagée comme une hypothèse plausible (Clark et Hansen, 1988).

1.8. Rétrospective et prospective des composantes du système

1.8.1. Population littorale

La composante « Population littorale » regroupe à la fois les aspects démographiques, la question de la vulnérabilité de ces populations et les phénomènes migratoires.

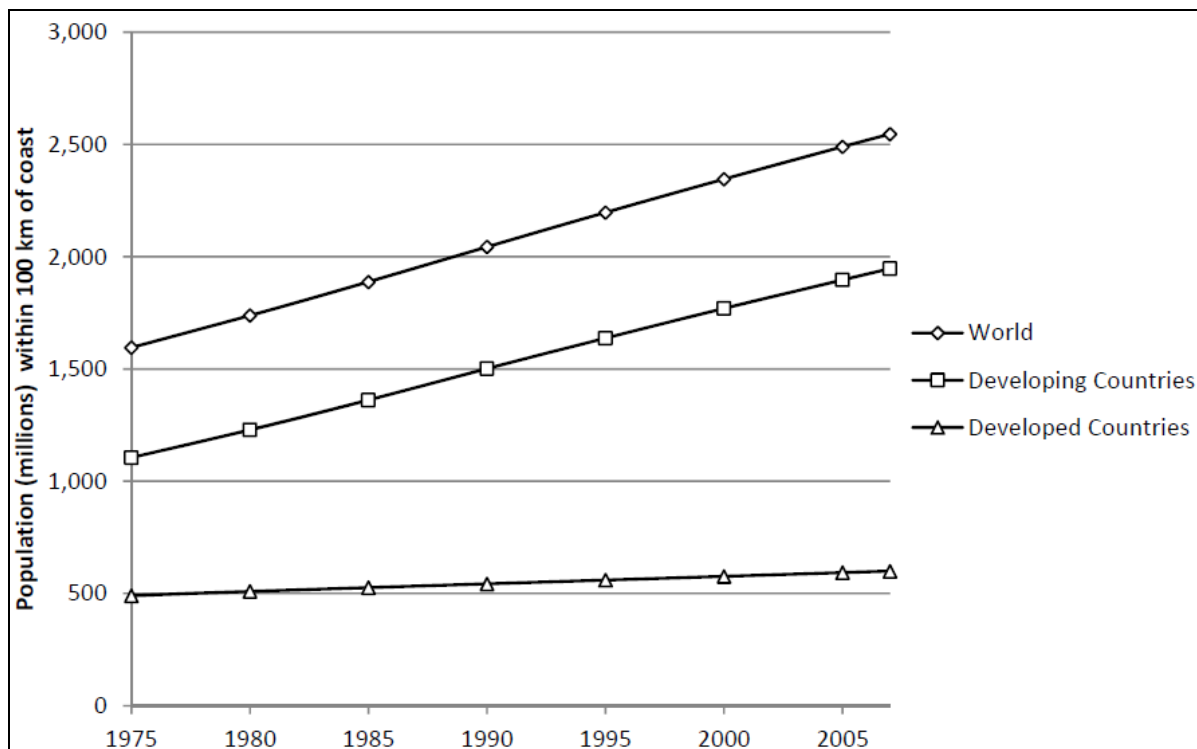
Les zones côtières sont très attractives du fait de leurs ressources, en tant que lieux d'interface, et pour des raisons logistiques (transport et commerce). Du fait de l'urbanisation et du développement, ces zones connaissent de **très importants changements socio-économiques et environnementaux**, conséquences de la densité élevée de population, des changements d'usage des sols (ex. artificialisation), d'une utilisation massive des ressources comme le sable et l'eau (le pompage aquifère souterrain entraîne une subsidence du sol), et des impacts des activités sur les écosystèmes (ex. mangroves, marais, récifs coralliens, qui sont des protections naturelles contre les vagues associées aux tempêtes).

a) La population exposée

Population en zone côtière

Sur les trois dernières décennies, la population littorale (vivant à moins de 100 km de la côte) est passée de 1,6 milliards en 1975 à 2,5 milliards en 2005, dont 1,8 milliards vivent dans les pays en développement (Barbier, 2015).

Figure 2 : Population en zone côtière (jusqu'à 100 km), 1975-2007



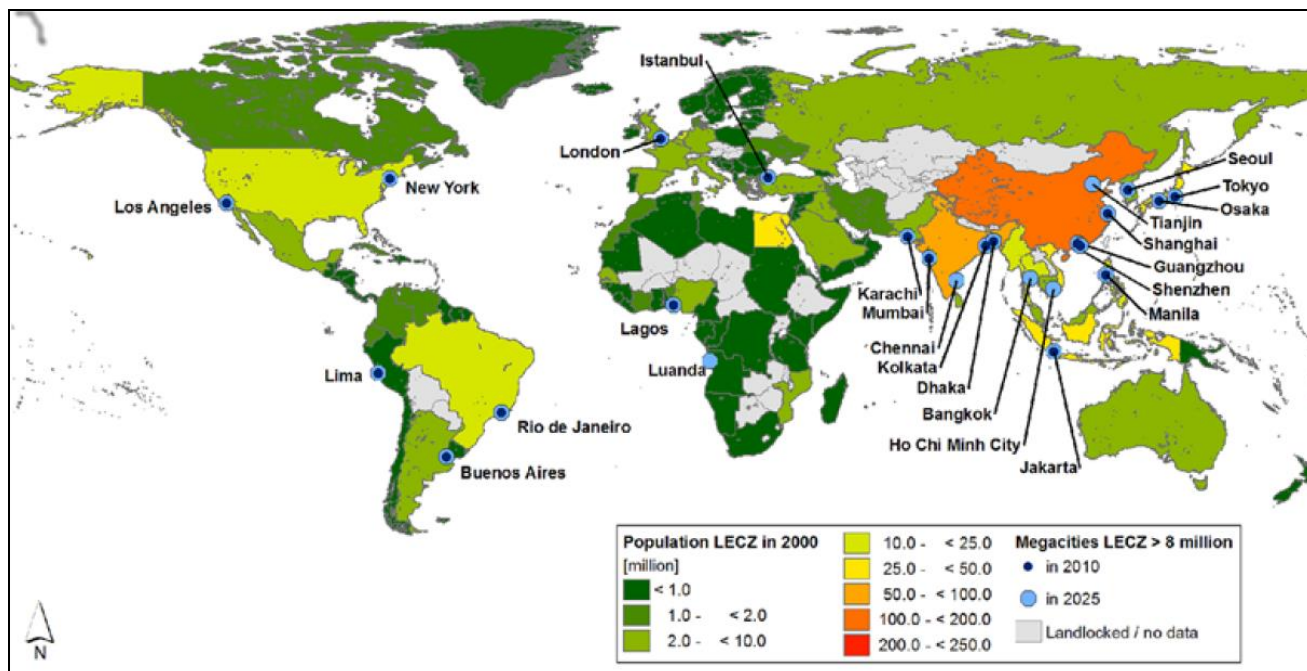
Source: United Nations Environment Programme (UNEP), 2014

Population littorale dans les zones côtières basses (LECZ)

La zone côtière basse (*Low Elevation Coastal Zone, LECZ*) est la zone littorale continue qui est à moins de 10 mètres au-dessus du niveau des mers.

Les populations localisées dans les zones côtières basses sont particulièrement exposées aux risques d'inondation. En 1990, 528 millions de personnes vivaient en zones côtières basses, en 2000 cette valeur atteint 625 millions de personnes (soit 27,5% de la population littorale). En 2010 ce nombre s'est encore accru pour atteindre 704 millions, principalement dans les pays en voie de développement qui en totalisent 578 millions (Barbier, 2015).

En 2000 les zones côtières basses comprenaient 2,3% des terres de tous les pays côtiers et 10,9% de leur population, dont 360 millions d'urbains.



Carte 1 : Répartition de la population mondiale (source : Neuman *et al*, 2015)

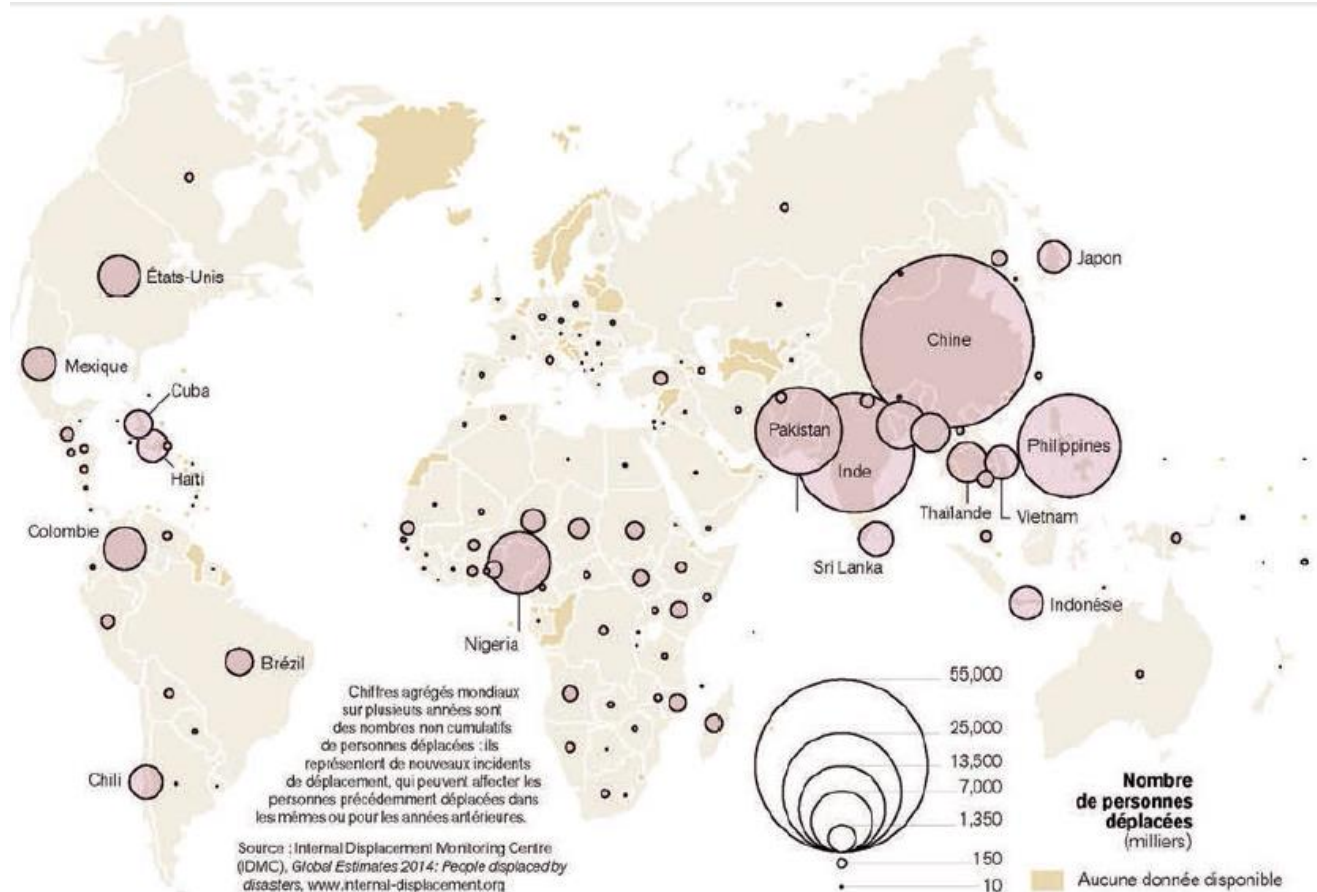
b) Les migrations internes et internationales

La hausse des mers est déjà une réalité dans certaines zones comme dans les États insulaires (mais pas seulement, par exemple, au Bénin, un recul significatif du trait de côte est déjà observable) où elle entraîne un processus déplacement voire de relocalisation des populations. Ces petits États insulaires sont aussi déjà confrontés au problème de la salinisation des terres, avant même les risques de submersion (Source : Rapport IPCC AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part B). La salinisation et, dans une moindre mesure pour l'instant, le recul du trait de côte, ont pour conséquence la réduction des terres arables, s'accompagnant souvent d'un accaparement des terres (ex. de ventes et locations par les pays africains et asiatiques à d'autres pays ou compagnies privées).

Or il existe un lien fort entre État, territoire et souveraineté. La Nouvelle Zélande a choisi de créer un statut de réfugié climatique (visa) mais des difficultés de relocalisation des populations subsistent, en raison du lien culturel fort entre les habitants et leur île même si un désir d'Occident se fait ressentir chez les jeunes, Il s'agit alors d'une stratégie choisie d'éducation pour préparer à l'exil (Gemenne, 2019). On peut alors s'interroger sur une redéfinition de la souveraineté face à des frontières changeantes.

Le déplacement des populations engage donc des enjeux sociaux, culturels et politiques. L'espace, la population, et l'organisation politique sont trois strates d'un système et toute migration liée à un changement de l'espace bouleverse les interfaces de ces trois strates. On distingue en théorie les migrants environnementaux, économiques ou politiques mais en réalité se mêlent facteurs environnementaux, contexte socio-économique et facteurs politiques et culturels. La migration est donc un phénomène complexe et multi-causal. Par ailleurs les liens entre CC et migration sont encore controversés (Buhaug, 2014).

Selon les statistiques de migrations intra-étatiques, 25 millions de personnes/an sont déplacées par des événements climatiques extrêmes (trois fois plus que par les conflits), dont 86% suite à des catastrophes naturelles hydro-climatiques (l'Asie étant le continent le plus concerné). (Source : Internal Displacement Monitoring Centre (IDMC), 2014)



Carte 2 : Déplacements dans le monde causés par des catastrophes, 2008-2013

Le changement climatique diminue les ressources des populations les plus touchées qui n'ont pas toujours les ressources nécessaires à la migration. En effet, il existe bien un flux financier Nord-Sud par remise d'épargne, mais pas de mise en collectivité pour financer l'adaptation au changement climatique, à l'exception, (assez mineure en termes de volumes financiers) du Fonds vert pour le climat et d'autres fonds multilatéraux de même type.

La propension à la migration étant corrélée au niveau de vie, l'aide au développement ne va pas nécessairement fixer les gens. La création d'un statut de réfugié climatique est envisagée pour accompagner les migrations internationales face au CC, sinon de fortes migrations internes seront à gérer par les États.

Il existe des tensions entre certaines politiques environnementales qui envisagent la migration comme une manière pour les populations de s'adapter aux effets du changement climatique et des politiques migratoires qui de manière générale visent à les limiter, laissant présager de fortes tensions d'ici à 2050.

c) Le degré de vulnérabilité sanitaire des populations

La population rurale dans les zones côtières basses (LECZ) des pays en voie de développement continue à s'accroître et elle est particulièrement importante dans les économies pauvres (85% en Asie du Sud-Est et Pacifique).

En utilisant des ensembles de données référencées spatialement pour la mortalité infantile (nombre de décès d'enfants de moins de 1 an pour 1000 naissances sauf morts nés en une année donnée) et la malnutrition chez les enfants, qui sont disponibles pour l'an 2000, il est possible d'estimer l'ampleur de la pauvreté parmi les populations côtières, y compris celles dans les zones côtières basses. En l'absence de séries de données maillées, globalement basées sur le revenu et la consommation, le taux de mortalité infantile et le taux de malnutrition des enfants constituent de puissants indicateurs de la pauvreté parce qu'ils sont fortement corrélés avec de nombreux marqueurs de la pauvreté, tels que le revenu, le niveau d'instruction et l'état de santé.

Tableau 3 : Pauvreté en zone littorale, 2000

	Population in Areas with High Infant Mortality (millions)			Rural Share (%)	Population in Areas with Malnourished Children (millions)			Rural Share (%)	Share (%) of Rural Coastal Population in Areas with High Infant Mortality	Share (%) of Rural Coastal Population in Areas with Malnourished Children
	Total	Rural			Total	Rural				
Developing Country	408.5	235.5	57.6%		339.9	205.6	60.5%		28.4%	24.8%
<i>By Income:</i>										
Low Income	117.7	80.3	68.2%		62.5	45.1	72.1%		66.5%	37.4%
Lower Middle Income	249.2	136.5	54.8%		243.3	147.2	60.5%		28.1%	30.3%
Upper Middle Income	41.6	18.7	44.9%		34.0	13.3	39.0%		8.4%	6.0%
<i>By Region:</i>										
East Asia & Pacific	39.3	29.5	75.1%		123.3	79.8	64.7%		7.9%	21.4%
Europe & Central Asia	0.0	0.0	--		3.2	1.4	43.1%		0.0%	5.3%
Latin America & Caribbean	24.3	14.5	59.7%		17.4	7.6	43.5%		17.7%	9.2%
Middle East & North Africa	22.3	14.7	66.0%		9.8	5.7	58.6%		25.0%	9.7%
South Asia	204.0	113.3	55.5%		158.2	95.2	60.2%		50.4%	42.4%
Sub-Saharan Africa	118.5	63.4	53.5%		28.0	15.8	56.7%		97.4%	24.3%
Developed Country	0.3	0.3	76.9%		3.4	0.7	20.9%		0.2%	0.6%
World	408.9	235.7	57.7%		343.3	206.3	60.1%		24.9%	21.8%

Source: Barbier, 2015

En 2000, 408 millions de personnes en zone littorale sont concernées par une forte mortalité infantile, dont 58% en zone rurale (soit 28% de la population littorale rurale totale) ; 340 millions de personnes en zone littorale sont concernées par la malnutrition infantile, dont 61% en zone rurale (soit ¼ de la population littorale rurale des pays en voie de développement) ; 97% de la population rurale littorale en Afrique subsaharienne est touchée par une forte mortalité infantile et plus de 50% en Asie du Sud.

Tableau 4 : Pauvreté en zone côtière basse, 2000

	Population in Areas with High Infant Mortality (millions)			Population in Areas with Malnourished Children (millions)			Share (%) of Rural LECZ Population in Areas with High Infant Mortality	Share (%) of Rural LECZ Population in Areas with Malnourished Children
	Total	Rural	Rural Share (%)	Total	Rural	Rural Share (%)		
Developing Country	119.3	64.3	53.9%	106.8	62.4	58.4%	27.2%	26.4%
<i>By Income:</i>								
Low Income	50.8	34.3	67.5%	33.5	25.0	74.6%	59.2%	43.1%
Lower Middle Income	61.0	26.8	43.9%	63.7	34.2	53.6%	23.8%	30.3%
Upper Middle Income	7.6	3.3	43.2%	9.6	3.2	33.6%	5.0%	4.9%
<i>By Region:</i>								
East Asia & Pacific	18.4	12.9	70.3%	41.0	24.0	58.5%	10.5%	19.5%
Europe & Central Asia	0.0	0.0	--	0.2	0.1	36.2%	0.0%	6.0%
Latin America & Caribbean	2.9	1.2	41.3%	1.9	0.6	31.0%	16.1%	7.9%
Middle East & North Africa	4.0	1.9	47.4%	1.7	0.8	49.8%	11.4%	4.9%
South Asia	71.1	40.3	56.6%	56.8	34.9	61.4%	50.8%	44.1%
Sub-Saharan Africa	22.9	8.0	35.1%	5.2	2.0	38.1%	98.4%	24.1%
Developed Country	0.02	0.02	86.1%	0.7	0.1	14.5%	0.2%	0.6%
World	119.4	64.4	53.9%	107.5	62.5	58.1%	25.5%	24.7%

Source: Barbier, 2015

On observe des profils similaires dans les zones côtières basses des pays en voie de développement :

119 millions de personnes sont touchées par une forte mortalité infantile, dont 54% (64 M) en zone rurale ; 107 millions de personnes sont touchées par la malnutrition infantile, dont 58% (62M) en zone rurale ; 98% de la population rurale littorale d'Afrique subsaharienne est touchée par la mortalité infantile, 51% en Asie du Sud ; 44% de la population rurale littorale d'Asie du Sud est touchée par la malnutrition infantile, 24% en Afrique subsaharienne et 20% pour la zone Pacifique.

Globalement (en 2000), dans les pays en voie de développement., les zones côtières de basse altitude (LECZ) rassemblent 5% de la population rurale soumise à une forte mortalité infantile, et 9% de celle soumise à la malnutrition infantile mais avec de fortes différences selon les régions et les niveaux de revenus.

Ces populations sont les plus susceptibles d'être exposées à des maladies transmissibles (population plus dispersée, moins d'infrastructures et de services en zone rurale).

d) Les hypothèses d'évolution des variables de la composante « Population littorale » à l'horizon 2100

P1 : Part de la population exposée

Tableau 5 : Rappel sur la population mondiale projetée à 2100

Region	Population (millions)			
	2017	2030	2050	2100
World	7 550	8 551	9 772	11 184
Africa	1 256	1 704	2 528	4 468
Asia	4 504	4 947	5 257	4 780
Europe	742	739	716	653
Latin America and the Caribbean	646	718	780	712
Northern America	361	395	435	499
Oceania	41	48	57	72

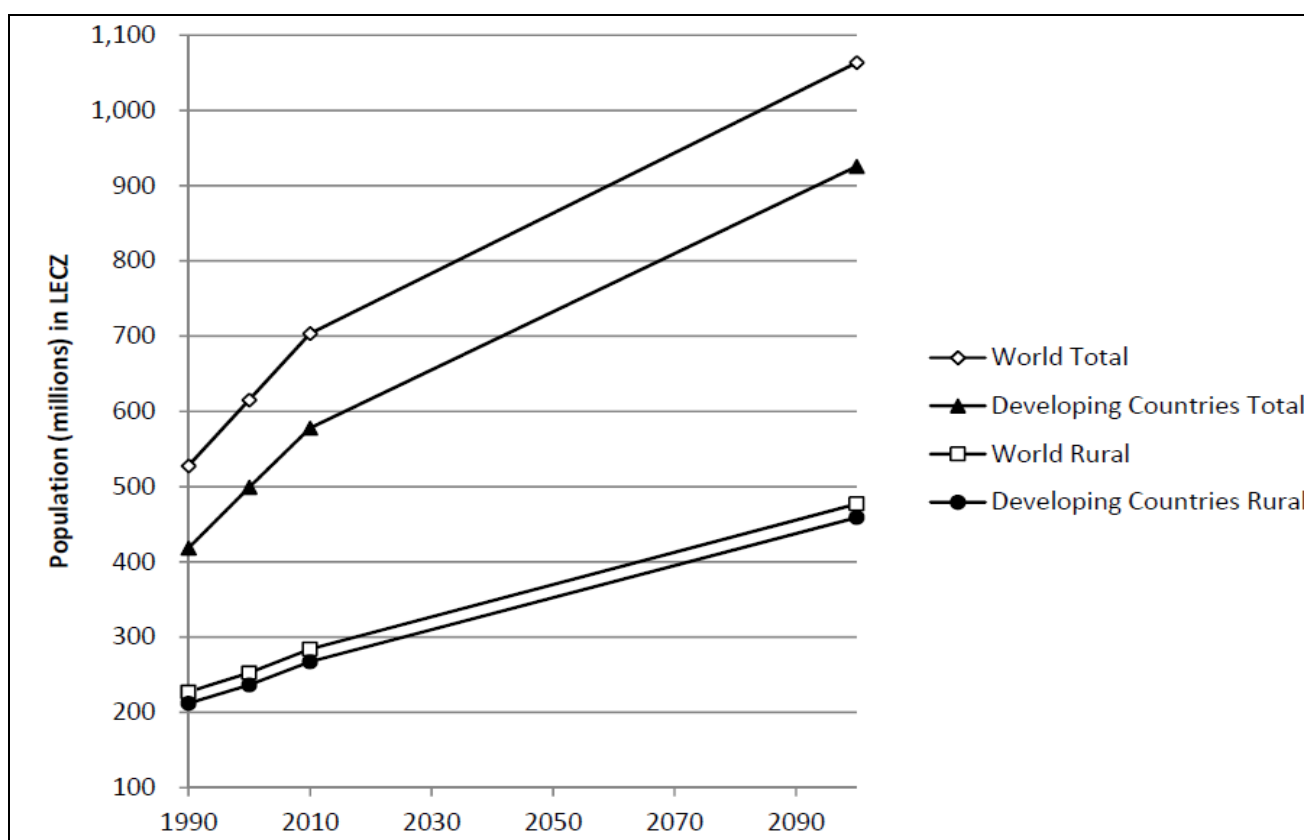
Source: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017).
World Population Prospects: The 2017 Revision. New York: United Nations.

Projections à 2100 de la population des LECZ

La population dans les zones côtières basses passe de 625 millions en 2000 à environ 900 millions (880-950 millions) en 2030, puis à plus de 1 milliard d'habitants en 2060 (1-1,4 milliards) : on reste à 10% de la population totale (Neumann *et al.*, 2015).

En 2100 la population vivant dans les LECZ serait de 1,06 milliards (dont 583 millions dans des zones urbaines).

Figure 3 : Population dans les LECZ, 1990-2100



Source: Barbier, 2015

Si on considère les cinq trajectoires socio-économiques (SSP : *Shared Socioeconomic Pathways*) du GIEC, on constate une forte incertitude concernant la croissance de la population en zones côtières basses qui pourrait augmenter de 33% à 86% à l'horizon 2100 selon les scénarios (Merkens *et al.*, 2016).

		GRUMP	SSP1		SSP2		SSP3		SSP4		SSP5	
			Green Coast		No Wind of Change		Troubled Waters		Fragmented Coast		Coast Rush	
		2000	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Africa	Count	54	140	149	144	162	172	265	159	220	137	130
	Share	6.7%	7.9%	8.0%	7.1%	6.2%	7.4%	6.7%	7.1%	6.1%	7.9%	7.2%
	growth		159%	175%	165%	200%	218%	390%	194%	307%	153%	141%
Asia	Count	472	754	555	710	555	732	784	730	487	776	545
	Share	12.8%	15.9%	16.9%	13.8%	12.6%	13.0%	11.7%	14.7%	12.0%	16.4%	16.5%
	growth		60%	18%	51%	18%	55%	66%	55%	3%	64%	16%
Europe	Count	49	60	56	57	57	49	35	55	45	72	96
	Share	6.8%	7.7%	8.6%	7.5%	8.1%	7.2%	6.5%	7.7%	8.4%	8.5%	10.5%
	growth		21%	15%	16%	15%	0%	-28%	12%	-9%	46%	96%
Latin America and the Caribbean	Count	34	48	34	50	44	57	69	48	35	50	38
	Share	6.5%	7.1%	7.0%	6.7%	6.6%	6.7%	6.4%	6.8%	6.1%	7.6%	8.4%
	growth		42%	1%	49%	31%	69%	105%	42%	3%	48%	12%
Northern America	Count	25	38	44	37	43	31	25	36	36	49	82
	Share	8.0%	8.2%	8.5%	8.2%	8.4%	8.3%	8.5%	8.4%	8.8%	9.1%	10.3%
	growth		50%	76%	47%	72%	23%	-2%	41%	42%	93%	228%
Oceania	Count	3.4	6.6	7.3	7.0	8.9	5.7	5.4	7.0	8.1	9.1	15.4
	Share	11.0%	11.8%	12.4%	12.3%	13.7%	11.3%	10.9%	12.5%	13.3%	14.1%	17.7%
	growth		95%	115%	108%	162%	70%	60%	108%	141%	170%	355%
World	Count	637	1046	845	1005	870	1047	1184	1034	830	1091	907
	Share	10.5%	12.4%	12.3%	11.0%	9.7%	10.5%	9.4%	11.3%	9.0%	12.8%	12.3%
	growth		64%	33%	58%	37%	64%	86%	62%	30%	71%	42%

Source: Merkens *et al.*, 2016

Projections à 2060 des populations exposées dans les LECZ (Neumann *et al.*, 2015)

Neumann *et al* estiment que la population exposée dans la plaine inondable à l'onde de tempête centennale (+1 m) s'élève à 189 millions de personnes en 2000.

L'estimation de la population exposée dans la plaine inondable de l'onde de tempête centennale (+ 1 m) avec une élévation du niveau des mers de + 10 cm en 2030 et + 21 cm en 2060 (correspondant à notre contexte physique modéré) est la suivante :

- 30% de la population des LECZ est affecté à 2030 : entre 268 et 286 millions
- 30% de la population des LECZ est affecté à 2060 : entre 340 et 411 millions
- 5 pays d'Asie comptent pour la moitié de la population des LECZ : Chine, Inde, Bangladesh, Indonésie et Vietnam.

Quatre hypothèses ont alors été formulées à 2100 dans l'étude, en concordance mais également en disruption par rapport aux projections ci-dessus :

- H1 : Retrait progressif des zones côtières. Evacuation préventive ou curative de secteurs à risque.
- H2 : La part en zone côtière reste stable malgré une population mondiale en croissance. Il s'agit de l'hypothèse tendancielle.
- H3 : Accroissement progressif de la population en zone côtière.
- H4 : Forte croissance démographique conjuguée à des migrations au sein des - ou vers les - mégapoles côtières.

P2 : Migrations internes et internationales

- H1 : Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux. C'est l'hypothèse tendancielle (20 à 30 millions de personnes /an). Les déplacements se font principalement à l'échelle locale.

- H2 : Les évacuations s'accélèrent, certaines villes importantes sont touchées. C'est une hypothèse haute : autour de 50 M pers./an migrent, avec principalement des déplacements internes de population.
- H3 : Crises répétées engendrant des exodes massifs. C'est une hypothèse très haute (de l'ordre de 100 M pers./an ou plus). Les relogements ne sont plus envisageables aux seules échelles infranationale ou infra-continentale, de nouvelles routes de migration s'ouvrent.

P3 : Degré de vulnérabilité sanitaire des populations

- H1 : L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations. Le développement maîtrisé des villes permet un accès à des infrastructures d'assainissement et de désalinisation, de soin et de prévention...
- H2 : Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire. C'est l'hypothèse tendancielle : forte densité de population, phénomènes de salinisation des eaux, présence de pathogènes...
- H3 : Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire par le développement de pathologies liées à la montée des eaux (refoulement des eaux usées, déversement de polluants lors d'événements climatiques extrêmes, développement des bassins d'eaux stagnantes, prolifération de pathogènes et leurs vecteurs). Cette situation, couplée à une promiscuité croissante des populations vulnérables, engendre des épidémies.

1.8.2. Urbanisation et infrastructures littorales

La frange littorale est un espace complexe, sous tension, où coexistent différents milieux naturels, des implantations humaines anciennes et des activités économiques particulièrement intenses. Les dynamiques d'urbanisation en zone littorale accroissent la densité de population sur ces espaces et génèrent des changements d'usage des sols, en particulier d'artificialisation des sols. De plus les activités économiques qui ont tendance à se concentrer dans les zones urbaines engendrent une utilisation massive des ressources (ex. sable, eau) et ont des impacts majeurs sur les écosystèmes littoraux et côtiers (mangroves, marais, récifs coralliens).

a) Dynamique de la population urbaine littorale

La transition urbaine et la population urbaine littorale

La littoralisation de la population urbaine est un phénomène ancien et qui perdure. Depuis l'époque antique ou médiévale, les populations se sont concentrées dans des villes portuaires aussi bien en Extrême-Orient que dans le bassin méditerranéen ou en mer du Nord. A l'époque coloniale, les villes littorales se sont développées grâce à l'accroissement du commerce portuaire. La plupart des métropoles littorales mondiales telle Londres, New York et Tokyo doivent leur puissance au commerce maritime passé (Béchet *et al*, 2017). Dans 60% des pays ayant une façade maritime, les principales villes sont dans la zone littorale et regroupent 70% de la population urbaine (Noin, 1999).

La transition urbaine est le passage d'une phase où la population d'un pays est majoritairement rurale à un stade où elle est majoritairement urbaine. Ce phénomène global est nourri par les différences de solde naturel entre zones urbaines et zones rurales, par les migrations internes du rural vers l'urbain, par les

migrations internationales, ainsi que par l'expansion des zones urbaines par annexion des zones rurales à proximité. Ainsi en 2018, 55% de la population mondiale réside dans des villes, alors que seulement 30% de la population mondiale vivait en ville en 1950 (WUP, 2018). Pour autant les niveaux d'urbanisation (rapport de la population urbaine sur la population totale) diffèrent fortement d'une région à l'autre, atteignant 82% en Amérique du Nord, 74% en Europe et 50% en Asie. L'Afrique reste essentiellement rurale avec un taux d'urbanisation de 43%. Cependant l'urbanisation croît à un rythme élevé en Asie et en Afrique (autour de +1% par an).

La population urbaine s'élève à 4,1 milliards de personnes en 2018. A l'échelle mondiale, en 2018, un urbain sur huit vit dans 33 mégavilles (de plus de dix millions d'habitants). Et le *World Urbanization Prospect* (2018) estime qu'en 2030 il y aura 43 mégavilles, et qu'elles seront principalement situées dans les pays en développement. Les mégavilles sont devenues des lieux centraux d'une économie globale d'archipel, constituée de métropoles connectées entre elles et organisées en réseau (Veltz, 2014).

La transition urbaine affecte particulièrement les zones littorales qui sont particulièrement attractives et connaissent une croissance de leur population dans le monde entier. Celle-ci se traduit notamment par le développement de grandes métropoles dans les zones littorales, mais aussi par le développement d'une urbanisation diffuse sur les littoraux.

Caractériser la population urbaine littorale

L'estimation de la population urbaine littorale varie fortement suivant les auteurs, mais surtout suivant la définition que l'on se donne de la zone littorale. Pour autant toutes les analyses relèvent que le taux d'urbanisation dans les zones littorales reste plus élevé que dans le reste des territoires.

Très tôt un phénomène de littoralisation de la population a été analysé et discuté. En 1990, les travaux de Noin (1999) estimaient que sur la bande littorale, définie comme la zone terrestre à moins de 15 km des côtes, vivait 16% de la population mondiale, soit 720 millions de personnes, et estimait le niveau d'urbanisation de la bande littorale à 85%. Cependant des observations menées sur la période récente notent une stagnation de l'urbanisation littorale dans les zones à proximité des côtes (moins de 20 km) (Kummu *et al*, 2016).

L'étude menée par Kummu *et al* (2016) montre qu'en 2010, **27% de la population mondiale, soit 1,9 milliards de personnes**, vivent sur une bande littorale étendue (définie comme la zone à moins de 100 km des côtes et à moins de 100 m d'altitude), où 63% de la population vit dans des villes (contre 51% à l'échelle mondiale). Cette bande s'étend sur 12,3 millions de km² et recouvre 9% de la surface totale émergée. La zone littorale concentre aussi les activités économiques : 42 % du PIB mondial est produit sur la bande littorale (à moins de 100 km des côtes).

Il y a des différences importantes d'urbanisation et de densité de population au sein de la bande littorale. A proximité de la côte (à moins de 20km des côtes et à moins de 20 d'altitude), le niveau d'urbanisation est de 69% soit quatorze points au-dessus de la moyenne mondiale. Dans l'arrière-pays (à plus de 20 km et à moins de 100km des côtes), le niveau d'urbanisation, de 59%, reste plus élevé que la moyenne mondiale.

Cette étude révèle également qu'à l'échelle globale, les villes se concentrent sur la bande littorale à proximité des côtes. Ainsi, 17 des 30 plus grandes villes du monde (avec une population supérieure à 5 millions d'habitants), sont localisées à moins de 20 km des côtes. Plus d'un tiers des villes de plus d'un million d'habitants (88 sur 226) y sont également localisées sur la bande littorale.

Les populations urbaines localisées dans les zones littorales sont particulièrement exposées aux risques liés à l'élévation du niveau des mers, aux impacts des tempêtes, aux inondations et à la submersion marine. De plus, dans ces zones urbaines littorales, les déstabilisations des écosystèmes et les phénomènes de subsidence des sols notamment en lien avec l'expansion urbaine (prélèvement de matériaux, artificialisation des sols) diminuent d'autant la protection contre les désastres naturels (inondations et vagues décennales), et accentuent les effets de long terme du changement climatique (intrusion saline, érosion).

Mais c'est aussi la population urbaine des zones littorales qui va s'accroître d'ici 2100. Kummu *et al* (2016) estiment la population sur la bande littorale étendue (à moins de 100 km des côtes et à moins de 100 m d'altitude) à 2,4 milliards en 2050, dont 80% vivront dans les villes (soit 1,9 milliards d'urbains). Ceci, alors que les projections du WUP (2018) estiment à 66% le niveau moyen mondial d'urbanisation en 2050. Ainsi dans ces projections, le niveau d'urbanisation reste très supérieur sur la bande littorale par rapport au reste des territoires.

- Dans les zones littorales, les populations les plus exposées sont **situées à moins de 5 m d'altitude**. Bien que stable en proportion de la population globale (5,6%) cette part de population devrait croître de 383 millions en 2010 à 495 millions en 2050 (Dasgupta *et al*, 2009 ; Kummu *et al* 2016). A l'horizon 2100, on peut faire une estimation de la population urbaine littorale basée sur les données suivantes : une population mondiale de 11,18 milliards d'habitants (WPP, 2017), une stabilité de la proportion de population sur les littoraux à moins de 5 m d'altitude (5,6%), un niveau d'urbanisation littorale à 80% ; on estime ainsi que la population urbaine littorale dans les zones littorales les plus exposées s'élèverait à 626 millions, dont **500 millions d'urbains**.
- Un autre zonage est utilisé pour estimer les populations les plus exposées au risque de submersion : les **zones littorales ayant une altitude inférieure à 10m** (Low Elevation Coastal Zones). Les LECZ concentrent 13% de la population urbaine mondiale (Barbier, 2015). La plupart des pays inclus dans les LECZ sont des petites îles mais aussi des zones de delta densément peuplées. L'Asie contient les trois quarts de la population totale des LECZ (principalement Chine, Inde, Bangladesh, Indonésie et Vietnam), et les deux tiers de la population urbaine des LECZ. La concentration de la population dans les LECZ est forte en Afrique où 7% de la population totale et 12% de la population urbaine sont localisées sur 1% du territoire (McGranahan 2007). Or on sait que l'Afrique va connaître une très forte urbanisation d'ici 2050, et les populations les plus exposées seront en Afrique de l'est et de l'ouest et en Egypte.

A l'échelle globale, Neuman *et al* (2016) estiment que la population dans les LECZ passera de 625 millions en 2000 à près 880 millions (880-950) en 2030, puis à plus de 1 milliard en 2060. Si on prend comme référence un niveau d'urbanisation de 80% dans les zones littorales en 2100 et une stabilisation de la population littorale entre 2060 et 2100, **plus de 800 millions d'urbains** seraient localisés dans des zones potentiellement affectées par des submersions marines.

b) L'exposition des villes au risque de submersion

L'extension des espaces bâtis et artificialisés dans les zones littorales accélère et accroît les risques d'inondation et de submersion marine. En effet, le drainage des marais pour le développement urbain détruit des zones de protections contre les tempêtes et la submersion marine, et favorise les phénomènes de subsidence (enfouissement du sol). Dans les régions de delta fortement urbanisées en particulier, la

compaction des sols, les effets de subsidence liés au pompage de l'eau et la diminution des dépôts de sédiments (notamment du fait de prélèvements pour la construction) peuvent accroître les risques d'inondation et de montée des eaux (McGranahan *et al* 2007).

Dans l'hypothèse d'une élévation d'un mètre du niveau des mers à 2100 accompagné par une intensification de 10% des ondes de tempêtes, l'étendue des zones littorales urbanisées exposées au risque passerait en moyenne de 7% à 13% du total des espaces urbains littoraux (Dasgupta *et al* 2011). A population urbaine constante, les populations urbaines les plus exposées sont principalement localisées dans les pays en développement ainsi qu'aux États-Unis, au Japon et aux Pays-Bas. Les pays en développement d'Asie sont fortement concernés, en particulier la Chine, l'Indonésie, et le Vietnam. Deux pays d'Afrique figurent parmi les quinze pays les plus exposés : l'Égypte et le Nigeria ; et un seul pays d'Amérique latine, le Brésil. A noter qu'en termes de surfaces urbaines affectées, la région Moyen-Orient et Afrique du nord serait particulièrement touchée avec en moyenne 20% des espaces urbains littoraux exposés aux risques (Tunisie 31%, Yémen 39%, Arabie Saoudite 26%) (ibid.).

Des travaux plus récents prennent en compte les dynamiques d'urbanisation à l'échelle globale. En 2070, la population exposée au risque d'inondation et de submersion marine dans les grandes villes pourrait être multipliée par **trois** du fait des effets combinés de l'élévation du niveau des mers, de la subsidence, de la croissance de la population et de l'urbanisation (Hanson *et al*, 2011). L'exposition au risque se concentre sur un petit nombre de villes, principalement localisées en Asie. Ainsi, en 2070, 15 des 20 villes en termes de population les plus exposées au risque de submersion seront en Asie (ibid.). A l'échelle mondiale, les très grandes villes, fréquemment localisées sur les littoraux, sont fortement affectées par les risques d'inondation et de submersion. Clark estime qu'en 2070, 25 mégavilles (i.e. de plus de dix millions d'habitants) auront plus de 50% de leur population urbaine potentiellement affectée par des phénomènes de submersion marine (Clark *et al*, 2016).

Tableau 6 : 20 premières villes classées en termes de population exposées à la submersion marine en 2070 (incluant les changements climatique et socio-économique). (Hanson *et al*, 2011)

Rank	Country	Urban agglomeration	Exposed population— current (C)	Exposed population— future (FAC)
1	India	Kolkata (Calcutta)	1,929,000	14,014,000
2	India	Mumbai (Bombay)	2,787,000	11,418,000
3	Bangladesh	Dhaka	844,000	11,135,000
4	China	Guangzhou	2,718,000	10,333,000
5	Vietnam	Ho Chi Minh City	1,931,000	9,216,000
6	China	Shanghai	2,353,000	5,451,000
7	Thailand	Bangkok	907,000	5,138,000
8	Myanmar	Rangoon	510,000	4,965,000
9	USA	Miami	2,003	4,795,000
10	Vietnam	Hai Phòng	794,000	4,711,000
11	Egypt	Alexandria	1,330	4,375,000
12	China	Tianjin	956,000	3,790,000
13	Bangladesh	Khulna	441,000	3,641,000
14	China	Ningbo	299,000	3,305,000
15	Nigeria	Lagos	357,000	3,229,000
16	Côte d'Ivoire	Abidjan	519,000	3,110,000
17	USA	New York-Newark	1,540,000	2,931,000
18	Bangladesh	Chittagong	255,000	2,866,000
19	Japan	Tokyo	1,110,000	2,521,000
20	Indonesia	Jakarta	513,000	2,248,000

Les travaux de Brecht *et al* (2012) confirment les résultats précédents et estiment que 67% des populations urbaines littorales exposées au risque d'élévation du niveau des mers et de submersion marine se concentrent dans 10 villes. Elles sont situées dans les pays en développement, en Asie principalement (Chine, Inde Bangladesh, Japon, Indonésie Thaïlande, Vietnam).

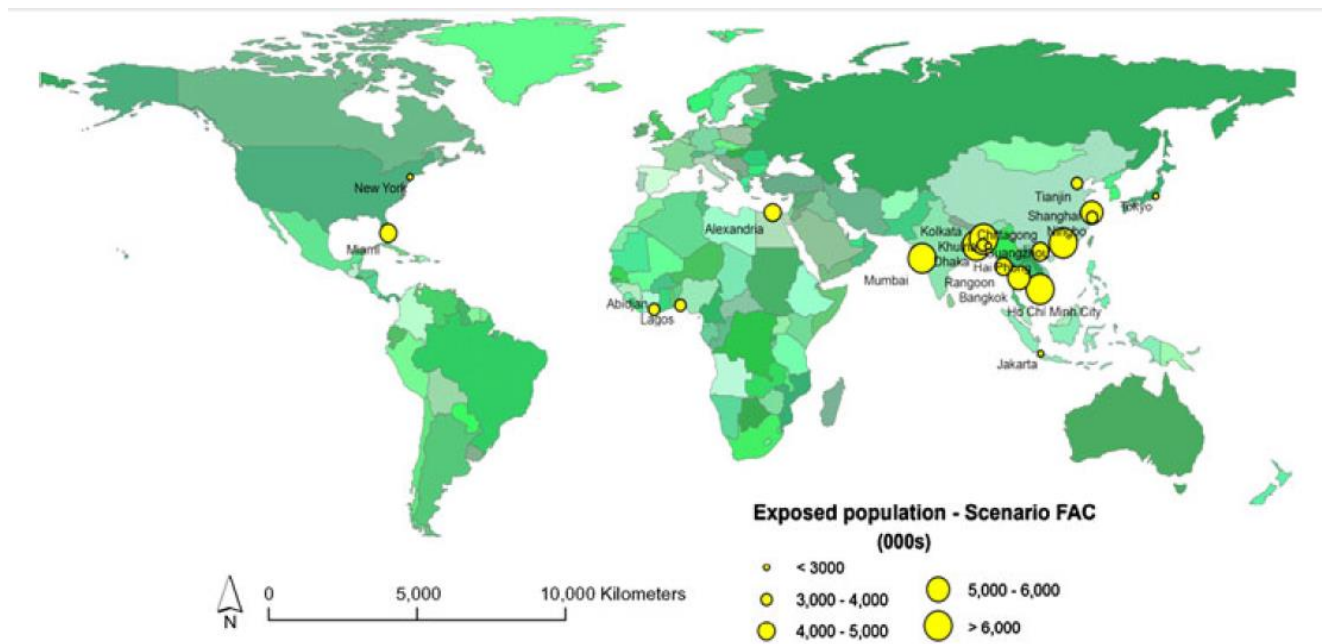


Fig. 4 : Carte montrant les 10 premières villes classées en termes de population exposée dans un scénario de changement climatique en 2070 (+0,5 m de SLR). (Hanson *et al*, 2011)

En termes économiques, l'étude sur l'exposition au risque des villes portuaires mondiales, de plus d'un million d'habitants, montre que les villes les plus exposées aujourd'hui à un risque centennal de submersion marine se situent aux USA, au Japon et aux Pays-Bas (Hanson *et al*, 2011). Le classement final des villes les plus exposées est cependant à considérer avec précaution car certaines hypothèses de modélisation de l'aléa ou de mesure de la subsidence peuvent introduire des biais importants.

Une étude récente prenant en compte les dynamiques d'urbanisation montre que les 20 villes les plus vulnérables à l'horizon 2050, en termes de pertes économiques seront localisées dans les pays en développement (Hallegatte *et al*, 2013). Parmi elles, seulement trois villes seront situées dans les pays développées : Miami, La Nouvelle Orléans, Boston. Les pertes globales liées au phénomène de submersion marine, estimées à 6 milliards de dollars par an en 2005, atteindraient, sous l'effet de mécanismes de subsidence et d'élévation du niveau des mers, 60-63 milliards par an en 2050 (ibid.). Aussi, même si les risques environnementaux et les changements socio-économiques étaient moindres que prévu, les effets économiques de l'élévation du niveau des mers sur les activités économiques resteraient importants.

c) Les infrastructures littorales et leur vulnérabilité

L'impact de la hausse du niveau des mers sur les infrastructures littorales

Les infrastructures littorales sont particulièrement sensibles aux submersions marines et aux inondations. Ces effets vont s'intensifier en conséquence de l'élévation du niveau des mers. Les infrastructures littorales seront affectées de manières multiples par des événements extrêmes : par une dégradation accélérée des réseaux, par une exposition croissante des infrastructures à des événements climatiques extrêmes, ainsi que par des disfonctionnements en cascade en cas de catastrophe du fait de l'interdépendance croissante des réseaux.

Les réseaux et les infrastructures matérielles qui sous-tendent les secteurs du transport, de l'énergie, des communications, de l'approvisionnement en eau potable, des services, et des banques sont de plus en plus liés entre eux. Ce sont par exemples les infrastructures de communication et les infrastructures de l'énergie électrique qui sont cruciales pour l'ensemble des secteurs évoqués (Azevedo et Mostafavi, 2016).

Des catastrophes naturelles peuvent engendrer la défaillance ou la destruction d'infrastructures critiques, immobilisant le système de transport, provoquant des coupures d'électricité, et engendrant une contamination par l'eau de mer de l'approvisionnement en eau potable. Une étude récente sur l'impact du SLR sur les infrastructures au Royaume-Uni montre ainsi que l'ensemble des infrastructures (le transport ferroviaire, routier, maritime, l'approvisionnement en eau potable, les installations sanitaires et le réseau d'assainissement, les centrales électriques et les réseaux électriques de distribution) serait impacté par une submersion marine (Dawson *et al*, 2015).

Les enjeux pour renforcer la résilience des infrastructures face à la hausse du niveau des mers

Azevedo et Mostafavi (2016) font une revue de la littérature sur les impacts du SLR sur les réseaux de transports, d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement, et sur les infrastructures de l'énergie. Sans entrer dans le détail des impacts spécifiques qu'ils répertorient pour chaque type d'infrastructures (transport, eau, électricité), rappelons ici les quatre enjeux que les auteurs identifient pour accroître la résilience des infrastructures. Le premier concerne la capacité des acteurs à investir pour la maintenance, la réhabilitation et l'adaptation des infrastructures face au SLR. Un second enjeu a trait à l'évaluation et l'anticipation des risques, et à la collecte des informations permettant d'évaluer de façon fiable et en continu la situation (par exemple concernant la subsidence d'infrastructures côtières ou de remblais (Poitevin *et al*, 2019)). Le troisième enjeu est le nécessaire engagement des communautés locales et l'éducation pour développer une culture et une mémoire du risque, afin de réduire les vulnérabilités et d'agir de manière adéquate. Le quatrième et dernier enjeu consiste à réduire les coûts et les risques de la mal-adaptation. Il s'agit de faire en sorte que les investissements dans les infrastructures soient faits au bon moment, qu'ils ne soient pas mal dimensionnés, et qu'ils ne deviennent pas trop rapidement obsolètes sous l'effet de l'accroissement du niveau des mers.

Magnan et Duvat (2015), comparant différentes catastrophes récentes en s'intéressant aux « trajectoires de vulnérabilité », identifient un mythe du « développement sûr », « maîtrisé » qui accroît la vulnérabilité des sociétés aux aléas naturels. Ce mythe correspond à une confiance trop importante dans une culture d'ingénierie et dans des solutions techniques lourdes (digues, barrages) ; cette croyance en la maîtrise technique nourrit un affaiblissement progressif des systèmes de prévention et d'anticipation du risque. C'est ainsi que la confiance abusive en des dispositifs techniques de protection peut conduire à des catastrophes d'une ampleur bien plus grande que d'autres stratégies d'adaptation (telles que par exemple des options de retrait du littoral), comme en témoigne la catastrophe engendrée en Charente maritime en amont de la tempête Xynthia ou les conséquences du cyclone Katrina sur la Nouvelle Orléans (*ibid.*)

d) Les stratégies d'adaptation et de protection des zones urbaines littorales

Les stratégies d'adaptation des zones urbaines littorales face aux risques de submersion peuvent schématiquement se diviser en des stratégies d'interventions pour la protection des littoraux d'une part, et d'autre part en des mesures plus générales de gestion des zones littorales (Dasgupta *et al*, 2011 ; Hanson *et al*, 2011 ; Hallegatte *et al*, 2013 ; Geisler et Currens, 2017)

Une première catégorie de mesures de protection des zones urbaines littorales concerne la construction de digues côtières, d'épis, de polders, de barrières fixes contre les ondes de tempête. Une seconde catégorie vise à développer des « zones tampons » en renforçant la résilience des écosystèmes littoraux et côtiers : restauration à grande échelle des zones humides du littoral (marais), renforcement et replantation des mangroves, protection des récifs coralliens, renforcement du cordon dunaire. De telles stratégies peuvent également consister à libérer de l'espace pour les processus sédimentaires et s'affranchir de la nécessité de mener des interventions (www.eurosion.org).

Les mesures de gestion des zones littorales regroupent entre autres des actions contre la subsidence, des réglementations urbaines, des mesures de relocalisation et des politiques d'aménagement de l'espace. Les mesures à mettre en œuvre pour freiner la subsidence, particulièrement importante dans les zones de deltas, incluent la réduction du dragage et des prélèvements de sables, le maintien des apports des sédiments dans les zones aval (ex. en limitant les barrages construits en amont) et la régulation des prélèvements d'eau pour l'irrigation. Un autre type d'action vise à réduire le coût et l'impact des tempêtes sur les littoraux en développant des systèmes d'anticipation d'alerte précoce et des systèmes d'évacuation. Il peut également s'agir de développer ou de réformer des systèmes d'assurance et d'indemnisation des dommages aux biens (tout en palliant aux fortes inégalités face à la catastrophe, qui ont été manifestes lors de la catastrophe liée à Katrina par exemple) en repensant les principes et les règles de fonctionnement de ces dispositifs assuranciers face à l'accroissement des dégâts et des dommages liés au changement climatique. D'autres actions s'appuient sur le code de la construction, afin de le rendre plus restrictif, et la transformation des bâtiments afin qu'ils soient adaptés au risque d'inondation.

L'adaptation des zones urbaines littorales peut également passer par une relocalisation des activités et/ou des populations. Il s'agit alors de retirer les activités et les habitats les plus exposés sur le trait de côte, pour les relocaliser dans des zones non exposées à moyen ou long terme. Ainsi, les instruments de planification urbaine peuvent être mobilisés pour réduire l'exposition au risque en zone intra-urbaine, et à une échelle territoriale plus large, il s'agit de mettre en œuvre un aménagement intégré des espaces urbains littoraux et ruraux, dans une perspective de recomposition territoriale face aux risques liés à l'élévation du niveau de la mer (MEDDE, 2012).

De manière générale, l'adaptation des littoraux urbanisés nécessitera des investissements importants (publics et/ou privés, nouveaux ou issus d'investissements existants à réorienter...) et une forte capacité d'intervention des administrations locales et nationales. Cela nécessite de développer des partenariats locaux ou nationaux et des formes élargies de gouvernement urbain. La définition et la mise en place des mesures d'adaptation demanderont par ailleurs d'impliquer les populations locales dans ces dispositifs afin de développer une compréhension commune des enjeux et des risques associés, ainsi qu'une appropriation continue pour des politiques à implémenter sur plusieurs années et décennies.

e) Hypothèses d'évolution des variables de la composante Urbanisme et Infrastructures à l'horizon 2100

Les dynamiques d'urbanisation

L'évolution tendancielle de long terme correspond à la forte croissance de la population urbaine (85% de la population mondiale en 2100) et une concentration de la population urbaine sur les littoraux.

Trois hypothèses d'évolution ont été formulées pour 2100 à partir des scénarios d'urbanisation et de relation rural-urbain élaborés dans Agrimonde-Terra (Mora *et al*, 2018) en fonction des formes que pourrait prendre l'urbanisation littorale :

- **H1 : Mégavilles et forte urbanisation littorale :** Des mégavilles littorales dominent la structure urbaine (forte polarisation), et 85% de la population littorale vit dans les zones urbaines. L'attractivité des zones urbaines littorales reste forte.
- **H2 : Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays :** En réaction aux impacts des inondations et des événements climatiques sur les mégavilles littorales, les littoraux deviennent de moins en moins attractifs pour de nouvelles populations. En conséquence, le niveau d'urbanisation des littoraux évolue peu et en 2100, 60% de la population littorale vit dans des zones urbaines. Ces villes littorales planifient leur développement spatial (protégeant des zones agricoles ou naturelles de l'urbanisation). Des villes reliant villes littorales et villes de l'arrière-pays se structurent afin de favoriser les synergies.
- **H3 : Fragmentation et étalement urbain dans un contexte de forte urbanisation littorale :** De manière tendancielle, la forte croissance de la population urbaine touche aussi les littoraux, où 85% de la population vit dans des villes. Cependant le processus d'urbanisation s'effectue de manière diffuse sur la base des petites villes et des villes moyennes ; en effet les mégavilles deviennent moins attractives du fait des difficultés d'accès à l'emploi (contexte économique de crise) et d'insécurité d'un faible niveau de services qu'elles offrent. Les structures urbaines des littoraux sont fragmentées et dispersées, sans planification urbaine.

La vulnérabilité des villes et infrastructures

La vulnérabilité à un événement extrême est difficile à appréhender à une échelle mondiale puisqu'elle est spécifique aux territoires et liée aux stratégies d'adaptation qui sont ou non mises en œuvre.

Trois hypothèses de vulnérabilité ont été élaborées :

- **H1 : Vulnérabilité forte :** peu d'adaptation des infrastructures à la hausse du niveau des mers, et en conséquence, une forte sensibilité des villes et des infrastructures à des aléas faibles.
- **H2 : Vulnérabilité moyenne :** la réorganisation urbaine, par relocalisation des infrastructures les plus exposées.
- **H3 : Vulnérabilité maîtrisée (résilience) :** systèmes d'alerte et de surveillance (anticipation de l'aléa), systèmes d'évacuation de l'eau et de gestion des déchets adaptés, diversification des sources et des réseaux d'énergie (pour une plus grande résilience de l'approvisionnement énergétique). La planification spatiale permet de réduire l'exposition aux aléas climatiques des villes et des infrastructures.

Les stratégies d'adaptation

Quatre hypothèses d'évolution des stratégies d'adaptation des zones urbaines littorales ont été envisagées à l'horizon 2100 :

- **H1 : Résister à l'élévation du niveau des mers** : une généralisation des digues pour faire face à l'élévation du niveau des mers, une action publique qui varie selon les capacités d'investissement, un risque d'obsolescence de cette stratégie à long terme en cas de forte élévation du niveau des mers.
- **H2 : Faire avec l'élévation, une adaptation progressive** : un changement incrémental des villes, de nouvelles normes de construction, une re-localisation des constructions en première ligne, une restauration des zones humides (protection contre les inondations).
- **H3 : Organiser le retrait, un changement transformationnel** : une relocalisation complète des villes littorales soumises au risque, qui dépend fortement des capacités d'investissement à l'échelle nationale, d'une coordination entre les différents niveaux de gouvernance et du niveau d'éducation des populations.
- **H4 : Absence de stratégie** : pas ou peu d'anticipation et d'adaptation du fait d'un faible investissement et d'une faible coordination en termes d'action publique ; un repli sur des stratégies individuelles et communautaires.

1.8.3. Environnement et ressources naturelles

La composante « Environnement et ressources naturelles » regroupe à la fois les écosystèmes littoraux et côtiers, les services écosystémiques et les ressources naturelles.

Les écosystèmes littoraux et côtiers présentent une grande diversité :

- l'estran, c'est-à-dire la zone de plage (de sable ou de galets) et les vasières qui sont soumises à l'influence des marées ;
- les côtes et falaises rocheuses ;
- les pelouses aérohalines ;
- les cordons dunaires et les zones humides intra-dunaires ;
- les marais maritimes (parmi lesquels les prés-salés, marais salés endigués, ainsi que les forêts de mangroves tropicales) ;
- les lagunes côtières ;
- les estuaires des cours d'eau ;
- les lagons récifaux.

Ils abritent une biodiversité très riche tant sur terre qu'en mer et dans les airs et sont plus ou moins sensibles aux conséquences de l'élévation du niveau de la mer.

L'élévation du niveau de la mer n'est qu'un des forçages auxquels sont soumis ces écosystèmes du fait du changement climatique. Il s'ajoute notamment au réchauffement et à l'acidification des eaux, et aux conséquences de l'artificialisation croissante des littoraux sous la pression de l'urbanisation (cf. VI.3.b) et du développement des activités économiques (industrie, agriculture, pêche et aquaculture, tourisme) et des infrastructures qui y sont liées. De ce fait il est difficile de déterminer la part due spécifiquement à l'élévation du niveau des mers dans la dégradation des écosystèmes littoraux et côtiers. On peut dire qu'elle est parfois secondaire en comparaison des effets du réchauffement de l'océan et des interventions humaines diverses (Gattuso *et al*, 2015) . Cependant les pollutions par lessivages des zones urbaines et industrielles et la salinisation lors des épisodes de submersion réduisent la biodiversité et favorisent les espèces halophytes.

L'évolution du trait de côte est par contre une traduction directe de l'élévation relative du niveau des mers, de la fréquence et de l'intensité des tempêtes, et de la disponibilité sédimentaire du système littoral. Elle est parfois accentuée par certains prélèvements (sable, galets...) ou ouvrages de protection qui modifient les transports des sédiments par charriage, saltation ou suspension et leurs dépôts. La vulnérabilité du trait de côte dépend du contexte géologique et topographique. Cette vulnérabilité est accrue par la dégradation, voire la disparition, d'écosystèmes qui constituent une protection naturelle, tels que les mangroves tropicales ou les récifs coralliens.

Au-delà de la biodiversité, deux ressources naturelles majeures sont directement impactées par l'élévation du niveau des mers : l'eau douce et le sol. Toutes deux sont susceptibles d'être dégradées par la conjonction de phénomènes de salinisation ou de pollution des nappes phréatiques et des sols côtiers. Les sols sont également soumis à l'érosion et au lessivage lors des épisodes de submersion suite aux tempêtes.

Analyse rétrospective

Les récifs coralliens sont, avec les forêts tropicales, les écosystèmes les plus riches de la planète. Sur 600 000 km², soit 0,2% de la surface des océans seulement, ils abritent le quart de toutes les espèces marines aujourd'hui connues dans le monde (environ 100 000 espèces : coraux, poissons, mollusques, tortues, requins, etc.). Les récifs coralliens, qui dissipent 97% de l'énergie des vagues, sont menacés par les conséquences du changement climatique (réchauffement et acidification des océans) et l'élévation du niveau de la mer à un rythme supérieur à l'accrétion du corail. 20% des récifs coralliens sont d'ores et déjà perdus et 25% gravement menacés (Burke *et al.*, 2011). En Australie, la Grande Barrière de corail connaît par endroits un taux de mortalité de 60%. Cependant certains travaux récents indiquent la possibilité d'une adaptation des coraux à la montée du niveau de la mer (Duvat, 2018). Les mangroves tropicales sont également des écosystèmes très riches et constituent des zones nourricières. Pourtant, leur surface recule dans le monde : entre 1980 et 2005, 19% des mangroves ont disparu dans le monde, entraînant une exposition et une vulnérabilité croissante aux aléas côtiers du fait de la disparition des protections naturelles des côtes. Outre la promotion immobilière une cause importante est le développement de l'élevage de crevettes à grande échelle par exemple en Indonésie, en Malaisie ou aux Philippines. Dans certaines régions, la mangrove est remplacée à 80% par des bassins à crevettes. La mangrove peut également être remplacée par de la riziculture ou les palétuviers coupés pour en faire du bois de chauffage ou de construction. Avec la montée du niveau de la mer, certains arbres ne pourront subsister alors que les ouragans et les cyclones devenant plus puissants à l'avenir, leur protection est d'autant plus indispensable.

Avec près de 60 000 km² de récifs coralliens et lagons, répartis dans la zone intertropicale des trois océans, la France outre-mer compte 10% de la surface des récifs du monde. S'y ajoutent les écosystèmes associés, mangroves (1000 km²) et herbiers de phanérogames (plus de 1200 km²).

Dans les estuaires l'élévation du niveau marin est retranscrite intégralement, voire amplifiée, sur l'ensemble du linéaire de l'estuaire et se traduit par un déplacement des zones de nourriceries des espèces marines migratrices vers l'amont sous l'effet de la remontée de la salinité dans l'estuaire. L'amortissement de la propagation de l'élévation du niveau marin en estuaire est principalement régi par le débit : plus le débit est important moins le niveau marin se propage dans l'estuaire.

Le trait de côte est aussi profondément modifié. Le trait de côte évolue sous l'effet de processus marins (houle, marées, courants), climatiques (vent, gel, précipitations) et anthropiques (prélèvement de galets ou granulats, barrages...). Ceci est particulièrement visible sur la côte atlantique où les blockhaus du mur de l'Atlantique ou certains immeubles construits en bord de mer, tel que Le Signal à Soulac-sur-Mer (33),

constituent de bons marqueurs de l'avancée de la mer. Les tempêtes fragilisent également les dunes littorales et les falaises. Ainsi, 24% du littoral français métropolitain recule chaque année, quand 45% est stable, 11% gagne des terres, et les 20% restant sont des terres artificialisées donc fixées (IFEN, 2006). L'action originale mise en place en France au travers du Conservatoire du Littoral permet de sauvegarder certains écosystèmes littoraux des pressions anthropiques et facilite la mise en œuvre d'une gestion adaptée aux évolutions « naturelles ».

Si la quantité d'eau sur Terre est importante, celle-ci est composée à 97,5% d'eau salée et de seulement 2,5% d'eau douce, qui se décompose en 1,8% d'eau douce contenue dans la glace et la neige et 0,7% d'eaux douces de surface ou souterraine. L'eau douce est donc une ressource naturelle rare d'autant qu'elle est très inégalement répartie et que sa disponibilité a tendance à se réduire à la fois du fait du réchauffement climatique et des pollutions (agricoles, industrielles ou urbaines) qui la rendent impropre à certains usages tels que l'eau potable ou l'agriculture. Dans le même temps les besoins augmentent du fait de l'accroissement de la population mondiale. Les prélèvements d'eau annuels au niveau mondial ont été multipliés par plus de 7 entre 1900 et 2000 pour atteindre 4000 km³. Ils devraient atteindre 10 000 km³ avant la fin du siècle. Le volume d'eau douce de qualité disponible par habitant diminue régulièrement. Selon les normes de l'OMS le Maghreb, l'Afrique saharienne, l'Afrique Australe et le Moyen-Orient sont d'ores et déjà en situation de pénurie (< 1000m³/ha/an), l'Inde, l'Iran et l'Europe centrale sont en situation de stress (< 1700m³/hab/an) et la Chine en situation de vulnérabilité. La Californie ou l'Australie sont déjà soumises à des sécheresses de plus en plus fréquentes.

Ceci est particulièrement vrai dans la grande zone côtière où se concentre 60% de la population mondiale, avec parfois de fortes variations saisonnières, la population pouvant être multipliée par 10 l'été dans certaines stations balnéaires, faisant coïncider les plus forts besoins en eau avec la disponibilité de la ressource la plus faible. En France, les communes littorales accueillent un peu plus de 10% de la population sur seulement 4% du territoire et disposent d'une capacité totale d'accueil de près de 8 millions. Les efforts de sobriété et de recyclage engagés par l'industrie et par l'agriculture, premier secteur de consommation d'eau, n'empêchent pas le développement de conflits d'usage.

Sur les littoraux cette ressource est souvent polluée par les activités économiques et les fleuves qui charrient les pollutions diffuses agricoles (nitrates, phosphore, pesticides...) et urbaines, conduisant à des proliférations d'algues, et les polluants émergents qui ne sont pas traités par les stations d'épuration. Les tempêtes de plus en plus fréquentes et violentes sont également à l'origine de submersions de la zone littorale qui entraînent des pollutions par lessivage. La pénétration du biseau salé dans les nappes phréatiques côtières et dans les estuaires, accentuée par l'intensité des prélèvements et la réduction des débits d'étiage, conduit à une salinisation croissante, dont le coût a été estimé à 12 milliards de dollars US par an en 1995, soit 20 milliards de dollars par an en 2019 (Ghassemi *et al.*, 1995)

Les sols sont une ressource naturelle dont la qualité est susceptible d'être directement impactée par l'élévation du niveau des mers du fait des phénomènes de salinisation, de pollution par lessivage et d'érosion liés aux épisodes de submersion périodiques à l'occasion des tempêtes.

La pression démographique croissante sur les littoraux, et le développement des activités économiques (infrastructures portuaires, zones industrielles ou équipements touristiques) conduit par ailleurs à une artificialisation et une imperméabilisation croissante des sols qui présente des conséquences en termes de fréquence et d'importance des inondations notamment lors de la coïncidence de marées de fort coefficient avec des précipitations importantes.

Les hypothèses d'évolution des variables de la composante « Environnement et ressources naturelles »

EN1- État de la ressource en eau douce (qualité et quantité)

Un accroissement de 2°C conduirait à passer de 2% à 10% de la population mondiale sous le seuil de 500 m³ d'eau douce disponible/an. La concentration des populations et des activités sur les côtes accroît fortement les besoins en eau douce dans la zone côtière et littorale. La mobilisation de toutes les technologies et l'adaptation des comportements pour optimiser l'utilisation de cette ressource et son efficacité s'y imposent plus qu'ailleurs.

Il est certes possible d'accroître la ressource en eau douce sur le littoral par dessalement de l'eau de mer. Les technologies existent (osmose inverse, distillation, électrodialyse, condensation) mais restent très coûteuses et consommatrices en énergie (2 à 5 kWh/m³). Les capacités s'accroissent néanmoins de 10% par an, pour moitié en osmose inverse avec un coût moyen de 0,5 \$/m³. La sobriété, la récupération des eaux de pluie et leur stockage et le recyclage et la réutilisation des eaux usées sont autant de moyens de limiter la tension sur la ressource.

Il est également possible d'envisager d'approvisionner les zones littorales en eau douce par transfert de ressources provenant de l'intérieur des terres par bateaux ou via des canalisations en dérivant des fleuves, mais cela ne va pas sans impacts écologiques forts sur les régions concernées et crée parfois des tensions géopolitiques.

- H1 : Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources par solutions technologiques et comportements : recyclage maximum, désalinisation massive, repli stratégiques des zones vulnérables, optimisation des usages domestiques et agricoles, réduction des fuites, économies d'eau...
- H2 : Dégradation (salinisation, pollution), altération des fonctions écologiques
- H3 : Transferts de ressources hydriques extérieures vers les zones littorales (nappes fossiles, dérivation de fleuves, pipelines, supertankers d'eau douce...)

EN2- État des sols

Cette variable est reliée à la variable A1 « disponibilité des terres agricoles » (cf. 2.3.4). En effet la dégradation de la qualité des sols liée à leur salinisation, à leur pollution, à leur lessivage ou leur érosion s'ajoute à la pression foncière liée et à leur artificialisation due à la concentration des populations et au développement du tourisme pour réduire la disponibilité des sols pour l'agriculture en zone littorale.

Les hypothèses d'évolution dépendent fortement des actions d'anticipation et de prévention entreprises pour éviter ou réduire les submersions et limiter les pollutions grâce à la dépollution préalable des sites inondables lors des tempêtes.

- H1 : Salinisation et pollution réduites grâce à anticipation et prévention (aménagements pour éviter la stagnation, dépollution des sites soumis aux événements extrêmes...)
- H2 : Salinisation et pollution modérées (inondations épisodiques courtes)
- H3 : Salinisation et pollution fortes (inondations régulières et/ou prolongées accentuées par l'imperméabilisation des sols ; pollutions par remobilisation des polluants par l'inondation ; progression du biseau salé par pompage excessif en zone basse côtière)

EN3- Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers

La dynamique d'évolution des écosystèmes littoraux et côtiers va dépendre à la fois de la vitesse des changements permettant ou non leur adaptation et dans certains cas de leur situation géographique permettant ou non leur déplacement en conservant les services écosystémiques qu'ils rendent tels que la fixation de CO₂, le filtrage des sédiments, les habitats, la biodiversité et la protection des côtes. Lorsque cette adaptation ou cette translation ne sera pas possible les écosystèmes seront modifiés et leurs fonctions écosystémiques altérées voire disparaîtront purement et simplement. Dans ce cas leur rôle dans la protection du littoral disparaîtra également augmentant sa vulnérabilité.

- H1 : Translation et/ou adaptation des écosystèmes sans altération fonctions écosystémiques : adaptation rapide des écosystèmes car la dynamique de montée des eaux est lente et il existe des zones d'accueil
- H2 : Adaptation/Modification *in situ* mais altération fonctions écosystémiques : changements d'écosystèmes
- H3 : Disparition d'écosystèmes : les changements sont trop rapides ou il n'y a pas de zones refuges (perte de zones de protection type mangrove)

EN4- Modification du trait de côte

En ex Nouvelle Aquitaine le trait de côte devrait reculer de 50 m/an en cote sableuse et de 27 m en côte rocheuse d'ici 2050 (Bernon *et al.*, 2016). Le Conservatoire national du littoral estime que 2% des espaces qu'il gère vont disparaître, 78% rester stables et 20% seront soumis à une submersion temporaire. Plusieurs stratégies sont possibles : suivre l'évolution naturelle, accompagner le processus naturel avec des aménagements légers, organiser le repli sur une nouvelle ligne de cote ; maintenir à tout prix le trait de côte par des ouvrages de génie civil (défense). Elles dépendent cependant de l'intensité et de l'étendue du phénomène et des connaissances permettant de les prévoir et anticiper suffisamment à l'avance.

- H1 : Erosion modérée ; processus aisément mesurables, prévisibles, maîtrisables
- H2 : Recul marqué localisé, qui reste prévisible (sur des zones d'estuaire, de delta)
- H3 : Recul localisé imprévisible, lié à des événements extrêmes et phénomènes imprévisibles (courants)
- H4 : Recul marqué généralisé sur de vastes régions

1.8.4. Agriculture et alimentation

L'agriculture et l'alimentation dans les zones littorales

Cette section s'intéresse aux conséquences potentielles de la hausse du niveau de la mer sur l'agriculture et l'alimentation dans les zones littorales. Elle examine les dynamiques passées d'évolution des terres agricoles en zone littorale, les projections mesurant les impacts de la hausse du niveau des mers sur les terres agricoles, les évolutions de la pêche et de l'aquaculture, et se conclue par une analyse des enjeux de sécurité alimentaire que pose la hausse du niveau des mers aux populations littorales.

L'agriculture et les terres agricoles dans les zones littorales

Alors que la population est fortement concentrée sur les zones littorales, l'agriculture est plus dispersée dans l'espace. Ainsi, la zone littorale étendue (à moins de 100 km de la côte et à moins de 100m d'altitude) où réside 27% de la population mondiale ne concentre que 12% des terres arables (187 millions d'hectares) et 5% des pâtures mondiales (167 millions d'hectares) (Kummu *et al*, 2016). En revanche les terres arables localisées dans les zones littorales sont fortement irriguées. Ainsi la zone littorale étendue concentre près de 20% des terres irriguées à l'échelle mondiale (61 millions d'hectares), et plus de 30% des terres arables littorales sont équipées pour l'irrigation. Au sein des zones littorales, les deltas sont des espaces de production agricole très intensive, qui sont déterminants pour l'approvisionnement alimentaire des pays, notamment en ce qui concerne le delta du Gange et du Brahmapoutre au Bangladesh, le delta de la Volta Ghana, le delta du Mahanadi en Inde, le delta du Nil en Egypte.

Si on adopte une définition beaucoup plus restrictive de la bande littorale (correspondant aux surfaces émergées à une altitude inférieure à 5 m), les terres arables littorales représentent 40 millions d'hectares, et occupent 26% de la surface littorale ainsi définie (Dasgupta *et al*, 2011).

Les travaux sur l'évolution des surfaces agricoles littorales à l'échelle globale sur le siècle passé montrent deux tendances distinctes (Kummu *et al*, 2016). D'une part, on observe une réduction tendancielle des terres arables sur les zones littorales (par rapport à la moyenne mondiale) tandis qu'elles augmentent dans presque toutes les autres zones. Cette réduction résulte principalement de l'artificialisation des sols liée aux dynamiques d'urbanisation littorale et des processus de salinisation de sols. Pour autant, l'intensification de la production agricole semble s'être accrue plus rapidement dans les zones littorales que dans les autres zones. Les travaux de Neumann *et al* (2011) montrent que les fortes densités de population coïncident avec le développement de terres irriguées ; l'intensification agricole résulte alors d'une pression foncière accrue du fait des concurrences pour l'usage des terres. D'autre part, on observe un découplage croissant entre la localisation de la production agricole et la concentration des populations sur les littoraux. Cela correspond à un développement rapide du commerce international et à la dépendance croissante des Etats au commerce pour assurer leur approvisionnement alimentaire (Porkka *et al*, 2013).

Les terres agricoles littorales sont affectées par différents phénomènes de salinisation et d'artificialisation des sols et l'activité agricole conduit à accélérer les processus de subsidence.

La salinisation est un facteur de diminution de la disponibilité des terres, qui deviennent impropres à l'agriculture. La salinisation s'effectue par la submersion marine des zones cultivées mais aussi par l'avancée du biseau salé. Ce phénomène de salinisation des terres est accéléré par le pompage excessif des nappes phréatiques pour les besoins de l'irrigation en zone littorale. De plus, le développement de l'irrigation conduit à une salinisation des nappes phréatiques qui affecte aussi la potabilité de l'eau.

L'irrigation est un facteur majeur de subsidence des sols en particulier dans les zones de delta. La subsidence est liée à deux facteurs majeurs : la compaction des sols, notamment sous l'effet du pompage des eaux souterraines par l'agriculture, et la réduction des apports de sédiments du fait de prélèvements accrus de matériaux (sables surtout) pour la construction et d'un moindre apport des fleuves, notamment de la construction de barrages en amont. La compaction est aussi liée à l'extraction de ressources énergétiques comme le gaz ou le pétrole, dans plusieurs grands deltas comme celui du Mékong (Dang *et al*, 2018). Dans le cas du delta du Mékong, la subsidence est quatre fois plus rapide que la montée du niveau de la mer. Plus des deux tiers (71%) des deltas sont affectés par ce phénomène (Syvitski *et al*., 2009). C'est donc un enjeu majeur pour l'évolution des surfaces agricoles sur les zones littorales.

Le troisième facteur de diminution des terres agricoles littorales est l'artificialisation des sols. Les fortes dynamiques d'urbanisation dans les zones littorales génèrent une demande croissante de terres pour implanter des infrastructures de transport, des zones d'activités économiques et les logements, au détriment des terres agricoles existantes.

Les projections sur l'évolution de la disponibilité des terres agricoles littorales sous l'influence d'une hausse du niveau des mers

Les travaux de Dasgupta *et al* (2009), réalisé sur une base correspondant à 87 pays en développement, évaluent les pertes de terres agricoles littorales sous la double contrainte d'une élévation du niveau de la mer de 1 m et d'une surcote liée à l'intensification des cyclones et des tempêtes. Dans une hypothèse haute près de 20 millions d'hectares de terres arables pourraient être affecté, soit la moitié des terres littorales (*cf.* tableau 7).

Contexte d'élévation et de surcote	Surface agricole impactée (Mha)	% des surfaces agricoles littorales (Total : 40 millions ha)	% des surfaces agricoles totales
SLR 0,5m + 1m surcote	10	25	0,5
SLR 1m + 1m surcote	12	30	0,7
SLR 2m + 1m surcote	20	50	1,1

Tableau 7 : surfaces agricoles mondiales affectées par une élévation du niveau de la mer et d'une surcote [Estimation d'après table 2 dans Dasgupta *et al* (2009)]

Les régions du monde dont les terres agricoles littorales sont les plus exposées sont l'Asie du sud, l'Asie de l'est et le Pacifique, l'Afrique de l'ouest et l'Amérique du sud, où plus de 10% des terres agricoles littorales sont exposées à une submersion marine (Dasgupta *et al*, 2011 ; Chen *et al*, 2012). Spécifiquement, certains pays pourraient voir leur surface agricole totale se réduire de 4% à 24%. En particulier le Bangladesh, l'Égypte, le Japon, le Myanmar, le Vietnam pourraient subir une perte de terres agricoles supérieure à 10% (*cf.* figure 4 ; Chen *et al*, 2012). La hausse du niveau de la mer pourrait avoir un impact important sur l'agriculture dans les zones de delta comme le delta du Mékong au Vietnam. En Égypte, un accroissement du niveau de la mer d'1 m inonderait 25% du delta du Nil et 13% des terres agricoles (Dasgupta *et al*, 2009). Les terres agricoles d'Indonésie et de Thaïlande seraient également très impactées. Chen *et al* (2012) évaluent la baisse consécutive de la production de riz entre 1,6% à 2,7%.

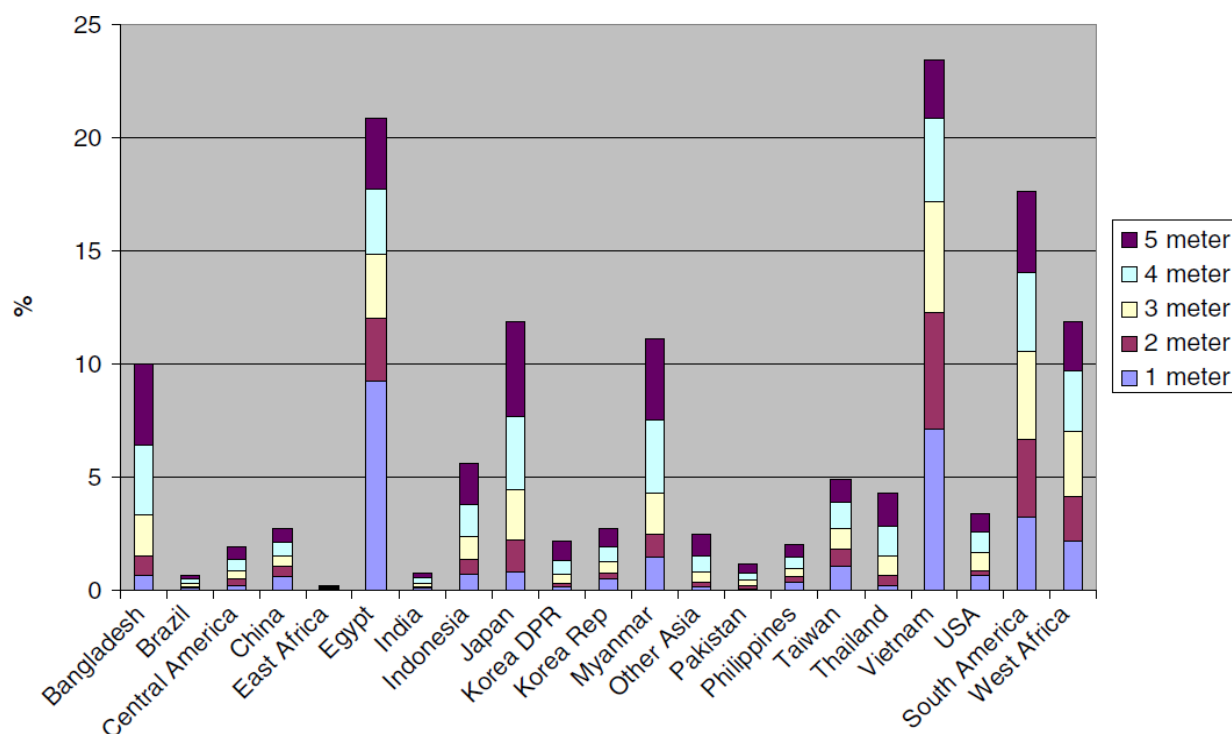


Figure 4 : Impact potentiel du SLR sur les terres agricoles inondées (en % de terres inondées par rapport à la surface agricole totale du pays) (Chen *et al*, 2012)

Pour estimer les surfaces futures des terres agricoles en zones littorales, il faut prendre également en compte la diminution des terres agricoles liée à l'urbanisation. Selon Bren D'Amour *et al* (2016), 27 à 35 millions d'ha de terres agricoles pourraient être urbanisés d'ici 2030, dont la moitié sont en Asie et le reste en Afrique et en Amérique. Plus de 50% de cette urbanisation globale pourrait avoir lieu dans les zones littorales où sont localisées les *Megacities Regions* (Gange-Brahmapoutre, Perle, Jangtze, Bohai, Hokkaïdo, Java, Washington-NY-Boston, Accra-Lagos, delta du Nil). Cela pourrait impacter principalement des zones de productions de riz, particulièrement en Asie, mais aussi des zones de production de maïs et de blé.

La réduction des terres agricoles sur les littoraux pourrait engendrer différents types de compensation et de substitution pour garantir l'approvisionnement alimentaire des zones littorales :

- un repli de l'agriculture vers l'hinterland lorsqu'il reste des surfaces disponibles potentiellement cultivables à l'échelle nationale ;
- l'accélération des processus d'accaparement des terres (*land grabbing*) dans d'autres régions du monde où des terres sont accessibles (de Koning, 2009) ;
- une dépendance accrue des zones littorales au commerce international avec un recours à l'importation de produits agricoles via les marchés internationaux pour assurer l'approvisionnement alimentaire (importations du Brésil, d'Argentine, des Etats-Unis).

La place de la pêche et de l'aquaculture

Les produits de la pêche et de l'aquaculture constituent 15 à 20% des apports globaux en protéines mais 2% des apports en calories. Cependant pour certains pays (comme le Bangladesh ou le Ghana), 50% de l'apport protéique est issu des produits de la pêche. On observe une croissance rapide de la demande qui est passé dans les 40 dernières années de 14 kg/cap/an à 20 kg/cap/an. Ces évolutions sont liées à des facteurs

mondiaux comme le changement des styles de vie via l'urbanisation, la transition nutritionnelle et le développement de classes moyennes dans les pays émergents (Chine, Inde, pays Asean...).

Les activités de pêche et d'aquaculture sont également des sources d'emploi et de revenus pour les populations littorales, en particulier pour les ménages pauvres. Ainsi au Bangladesh, en Tanzanie ou en Thaïlande, plus de la moitié des ménages en zone littorale dépendent à titre principal ou secondaire d'activités de pêches et d'aquaculture (Barbier, 2015).

En termes de production, on observe une stagnation des pêches depuis 15 ans à environ 100 Mt/an. Cela est lié à une inertie de la surexploitation qui impacte les trois quarts des stocks existants, à une érosion de la biodiversité marine, à une dégradation des habitats, à une pollution accrue (notamment par les plastiques), et globalement, à une réduction de la résilience des écosystèmes marins. On observe ainsi depuis une trentaine d'années une substitution progressive de la pêche par l'aquaculture. Celle-ci continue à se développer rapidement, quoiqu'avec un certain ralentissement dans plusieurs filières comme la crevette ou le saumon. Sa production a dépassé les 70 Mt/an. L'aquaculture est en forte progression dans les zones deltaïques (tilapia, mulot, crevettes) et dans les élevages en cage au large (salmonidés, bar, daurade...). Deux des grands enjeux du développement de l'aquaculture sont, d'abord de réduire sa dépendance à l'usage de farines et huiles animales (en privilégiant notamment la culture d'espèces herbivores), et ensuite de réduire son impact sur les écosystèmes.

Les tendances d'évolution de long terme de ce domaine sont :

- une dégradation des écosystèmes littoraux tels que mangroves et récifs coralliens (qui représentent 20-25% des prises dans les pays insulaires en développement) du fait du changement climatique (hausse température, acidification) et du SLR ;
- un impact croissant des pollutions marines sur les écosystèmes côtiers des mers ;
- une surexploitation des ressources, liée à la surpêche ;
- un développement de l'aquaculture avec des élevages d'espèces de poissons plus résilientes à l'acidification et en bas de la chaîne trophique, permettant de se passer de farines animales, et avec des impacts réduits sur les milieux. L'aquaculture pourrait tirer bénéfice de la salinisation des terres basses pour se développer sur d'anciennes terres agricoles, comme dans le delta du Nil en Egypte.

Sécurité alimentaire

La sous-nutrition est un phénomène persistant qui touche 800 millions d'individus, tandis on observe plus récemment une explosion de la malnutrition avec deux milliards d'individus en surpoids et obèses, et une croissance des maladies liées à l'alimentation (diabète, maladies cardio-vasculaire, certains cancers) (Mora, 2018). De plus, les difficultés d'accès des ménages à l'alimentation, du fait de la faiblesse de leurs ressources financières, restent une cause majeure d'insécurité alimentaire dans le monde.

La sécurité alimentaire est un phénomène complexe qui dépend de quatre facteurs : la disponibilité alimentaire, l'accès à l'alimentation des populations, la stabilité de cet accès dans le temps, la nutrition et l'usage des aliments. Pour analyser comment la sécurité alimentaire pourrait être impactée par la hausse du niveau de la mer, nous allons examiner dans quelle mesure les quatre facteurs qui la définissent pourraient être affectés.

Dans une région donnée, la disponibilité alimentaire résulte à la fois des terres cultivées, des rendements des systèmes agricoles, des pertes et gaspillages et des produits importés. Sous l'effet de la hausse du niveau des

mers, la disponibilité en terres par habitant devrait se réduire sous les effets conjugués de l'augmentation de la population, de la diminution des surfaces arables, de la réduction des rendements agricoles sous l'effet du changement climatique dans un grand nombre de régions. Les régions dont les littoraux sont affectés par le SLR et qui ont peu de réserves de terres cultivables, comme l'Afrique du nord et le Moyen-Orient, risquent d'accroître leur dépendance vis à vis du commerce international pour leur approvisionnement alimentaire (Le Mouél et Schmitt, 2017). Le maintien de la disponibilité alimentaire dans les zones littorales dépendra également de la capacité des systèmes agricoles à stabiliser leur production dans un contexte de forte instabilité climatique et une dégradation des sols. Dans ces conditions, il s'agira de favoriser l'adaptation des espèces cultivées, de réduire le recours à l'irrigation et de développer des systèmes agricoles plus résilients, c'est-à-dire des systèmes plus autonomes s'appuyant sur des rotations longues incluant des légumineuses, développant une complémentarité entre culture et élevage pour boucler le cycle de l'azote, et mettant en pratique des techniques d'agroécologie (protection des sols contre l'érosion, haies, renforcement des structures paysagères).

L'accès à l'alimentation pourrait être affecté par la hausse du niveau des mers de plusieurs manières. En effet, dans les pays en développement, les activités d'agriculture, de pêche et d'aquaculture contribuent à 50% voire à 70% des revenus des ménages pauvres localisés dans les zones littorales. Or ces ménages seront particulièrement vulnérables à la croissance des risques littoraux liés au changement climatique que ce soit directement par leurs effets sur les conditions de vie, ou indirectement parce que ces changements affectent les écosystèmes littoraux dont ces ménages dépendent (Barbier, 2015). Tout d'abord, les ménages situés sur les littoraux seront affectés directement par des catastrophes naturelles liées à des inondations ou des submersions marines. Ils risquent de générer des dommages sur leurs propriétés, leurs activités d'élevage ou agricoles, et de réduire leurs revenus tout accroissant leur vulnérabilité. Or on sait qu'en zone littorale, les ménages pauvres dépendent pour leur protection de manière exclusive des barrières naturelles, comme les mangroves; et ces zones naturelles qui ont un rôle de tampon sont fréquemment surexploitées et risquent d'être négativement affecté par le changement climatique. Indirectement, les ménages situés sur les littoraux vont subir les effets de long terme du changement climatique et de la hausse du niveau de la mer sur les milieux (salinisation et érosion). Par exemple, les effets de l'intrusion saline sur l'agriculture ont été documentés dans une région littorale au sud-ouest du Bangladesh. En 10 ans, 70% des agriculteurs ont partiellement ou totalement abandonné l'agriculture du fait de la salinisation des sols et ont soit convertis leurs terres en élevage de crevettes, soit ont vendu leurs terres ; 75% des ménages ont également arrêté l'élevage du fait de l'absence d'alimentation animale, la production de fourrage étant elle-aussi impact par les processus de salinisation (Shameen *et al*, 2014). Il faut noter que cette salinisation des terres basses de certains deltas peut donner lieu au développement d'aquaculture d'eau saumâtre même avec des moyens rudimentaires : prélèvement d'alevins dans le milieu naturel et ensemencement dans d'anciennes rizières salinisées, alimentation avec des sous-produits agricoles, polyculture extensive d'espèces, marchés locaux de proximité (Hereher, 2010 ; Goulding and Kamel, 2013). Avec ces principes, l'aquaculture égyptienne est ainsi passée de 100 000 tonnes de production aquacole dans les années 1990 à plus d'un million de tonnes à partir de 2100 (Kara *et al*, 2016). Consommée localement, cette production a conduit au doublement de la consommation des produits aquatiques en 30 ans soit un passage de 9 kg/capita/an à 20 kg/capita/an (ce qui correspond à la moyenne mondiale).

Par ailleurs, les revenus des ménages pauvres liés à l'agriculture sont durablement réduits par des événements ponctuels comme des submersions marines à l'occasion de cyclone, par exemple (Rabani *et al*, 2013). Les activités de pêche des ménages pauvres en zone littorale sont également affectées par le changement climatique de deux manières : d'une part les changements physiques dans les écosystèmes marins (température, acidité, circulation marine) vont modifier la structure des communautés biotiques et donc les zones de pêche ; d'autre part, les changements climatiques vont altérer certains écosystèmes

littoraux tels que les zones humides, les mangroves, les récifs coralliens, qui sont des habitats vitaux pour la reproduction des espèces (Rodwell *et al*, 2003). Ainsi les ressources et les revenus des ménages littoraux risquent d'être négativement impactés par le changement climatique et la SLR.

L'accès à l'alimentation est rendu instable par la survenance d'inondations à répétition ou d'évènements extrêmes, occasionnant :

- des destructions de cultures, du bétail, des infrastructures aquacoles : qui peuvent avoir un effet local sur la production alimentaire et sur les revenus des populations dépendant de ces activités ;
- des dégâts ponctuels sur les infrastructures logistiques nécessaires au transport et à la distribution, mettant en péril l'approvisionnement alimentaire ;
- une réduction de l'apport alimentaire en produits frais, en particulier en fruits et légumes (qui dépendent d'un approvisionnement de proximité) ;
- une dégradation de la qualité et de la potabilité de l'eau.

Enfin, les usages alimentaires pourraient être transformés à la suite de catastrophes climatiques. Les crises et l'aide alimentaire peuvent engendrer une substitution de la consommation de produits traditionnels par des céréales importées, et une modification des régimes alimentaires à long terme (vers des régimes déséquilibrés, voire carencés).

De manière générale, il y a un risque important que les impacts du changement climatique sur les littoraux renforcent un « piège de la pauvreté » pour les ménages pauvres des zones littorales en leur infligeant des pertes économiques directes et en dégradant les écosystèmes littoraux ou marins dont ils dépendent, générant des situations chroniques d'insécurité alimentaire (Barbier, 2015).

Hypothèses d'évolution de l'agriculture et l'alimentation

Trois hypothèses d'évolution ont été formulées pour la **disponibilité en terres agricoles** des zones littorales :

- H1 : une réduction de moitié de terres agricoles, et une perte limitée de productivité des sols liée à une salinisation partielle. Des mesures de réduction de l'irrigation et de limitation de l'urbanisation ont permis respectivement de réduire l'avancée du processus de salinisation et de conserver une partie des terres agricoles en zones littorales.
- H2 : une protection efficace des terres agricoles. Des politiques d'aménagement de l'espace, combinant une poldérisation massive des espaces littoraux et une limitation de l'artificialisation des sols, ont permis de conserver la majeure part des sols agricoles dans les zones littorales.
- H3 : une disparition des terres agricoles littorales sous les effets conjugués d'un SLR à 2m, de phénomène de surcote (+1m) lié à des tempêtes à répétition, d'une intrusion saline, d'une rapide artificialisation des sols sous l'effet de l'urbanisation, et de subsidence. Les activités agricoles se délocalisent ou s'installent sur des terres marginales dans l'hinterland.

Trois hypothèses de transformation des **systèmes de production agricole** ont été définies :

- H1 : une adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques (agroécologie) aux conditions pédoclimatiques.
- H2 : une substitution des cultures par l'élevage (de ruminants et d'espèces d'aquaculture).
- H3 : une synergie entre des systèmes agricoles et aquacoles.

Trois hypothèses concernant le **poids de la pêche et aquaculture** ont été élaborées :

- H1 : un maintien des apports de la pêche et de l'aquaculture. La pêche diminue progressivement mais ce déclin est compensé par une aquaculture conçue pour être durable (espèces herbivores élevées en priorité).
- H2 : une diminution des apports de la pêche sous l'effet de l'intensification de la surpêche et de la dégradation des écosystèmes (acidification, hausse des températures, destruction d'écosystèmes côtiers vitaux), sans compensation par l'aquaculture.
- H3 : une augmentation des apports de la pêche et de l'aquaculture. La réduction relative de la pêche se combine avec le développement massif d'une aquaculture diversifiée (cages flottantes, nouvelles farines à base d'insectes et d'algues).

Trois hypothèses d'évolution de la **sécurité alimentaire et nutritionnelle** ont été construites, qui toutes trois considèrent que l'accès à l'alimentation des populations littorales sera significativement impacté par la hausse du niveau de la mer :

- H1 : une réduction de l'accès économique aux productions agricoles des populations littorales. C'est un effet de long terme qui considère à la fois une réduction des ressources économiques des ménages dans les littoraux et une augmentation des prix des produits agricoles.
- H2 : des perturbations ou des ruptures ponctuelles dans l'accès à l'alimentation (impact des événements climatiques extrêmes sur l'approvisionnement alimentaire des zones littorales).
- H3 : une réduction de la diversité de l'alimentation liée à une diminution des apports en produits frais (fruits et légumes) et aquacoles, qui génèrent des carences nutritionnelles.

1.8.5. Economie littorale

Grand domaine de variables importantes, l'économie est répartie dans deux composantes. La première est celle de l'**économie littorale** au sens courant, avec toutes les activités directement liées à la localisation près de la mer (noté « EC » dans les hypothèses). La seconde composante est celle du **contexte économique mondial** car l'économie dite « littorale » est difficilement dissociable de la dimension d'économie globale. L'économie maritime rassemble les secteurs d'activités liés à la mer (Kalaydjian et Girard, 2017), c'est-à-dire :

- l'extraction des ressources marines que constituent les matières premières (ressources vivantes, minérales et énergétiques),
- l'exploitation des espaces et des propriétés physiques des eaux et des fonds marins qui sont aussi des ressources (énergies renouvelables et électronucléaire, pose de câbles sous-marins, construction d'infrastructures maritimes et côtières, transport maritime, Marine nationale),
- l'exploitation des sites maritimes et côtiers remarquables (tourisme, loisirs, plaisance),
- les industries utilisatrices et transformatrices des ressources biologiques (produits de la mer, algues),
- les secteurs manufacturiers et les services qui interviennent en amont de l'exploitation de la mer : construction et réparation navale, construction nautique, services à l'énergie offshore, services financiers au transport et à la plaisance,
- l'intervention de l'État en mer : défense, sûreté, sécurité, soutien aux activités maritimes et aux gens de mer, protection de l'environnement marin et côtier, recherche marine et océanographie opérationnelle.

Il est parfois difficile d'isoler ce qui est spécifiquement littoral dans ces activités. Ainsi, jusqu'à quelle distance dans l'arrière-pays peut-on considérer l'économie touristique comme liée à la proximité du littoral ? La réponse ne va pas de soi selon que l'on se situe sur une côte basse comme le Languedoc ou sur une côte rocheuse comme la Provence, dans la plaine du Pô ou sur la côte dalmate, pourtant voisines. Par ailleurs plusieurs classes d'activités maritimes ne sont pas renseignées dans les statistiques officielles mais intégrées à des catégories plus larges. Celles-ci sont quantifiées mais incluent des activités maritimes et non-maritimes (ex. fabrication de câbles, extraction de granulats...). L'évaluation de la partie purement maritime requiert donc des corrections et des estimations.

Les indicateurs de ces activités maritimes sont classiques : chiffre d'affaires, valeur ajoutée, emploi, nombre d'entreprises, exportations. Le secteur public est décrit par les budgets, les effectifs et les coûts de personnel. Les sources de données sont les suivantes:

- Les indicateurs sectoriels de l'INSEE selon la nomenclature des activités françaises (NAF) cohérente avec celle de l'UE (Eurostat), ce qui facilite les comparaisons internationales.
- Les comptes satellites, comme ceux des transports, du tourisme et de l'environnement
- Les associations et syndicats professionnels
- Dans le domaine public, l'état-major de la Marine, la direction des Affaires maritimes et les organismes de recherche scientifique. L'approche est similaire dans la plupart des pays.

Le niveau de précision requis par l'analyse morphologique permet de se contenter de chiffres globaux. Les sources principales sont celles de l'OCDE (2016), de Futuribles (2017) et de Mc Kinsey (2013) pour la partie marine, British Petroleum (2013) et IEA (2017) pour la partie énergétique. Les estimations données ci-dessous donnent les chiffres pour 2015 et pour 2030, en cohérence avec les données françaises.

Analyse rétrospective

Si l'on examine les grands secteurs de l'économie littorale tels que résumés dans le tableau suivant, on observe que tous ces secteurs ont connu une forte croissance sur les 40 dernières années. On pourrait aller jusqu'à dire que la mondialisation des économies est corrélative d'une véritable « maritimisation » des échanges. Un chiffre résume bien cela : aujourd'hui, 80% de biens consommés dans le monde transitent par la mer et ce pourcentage est en augmentation depuis des décennies. Cette évolution a stimulé fortement le dynamisme des régions côtières au point d'entraîner des déséquilibres dans de grands pays continentaux comme la Chine ou l'Inde. Le secteur des hydrocarbures a été longtemps le symbole de cette expansion avec la course au gigantisme des navires, dont le facteur limitant est devenu celui des grands canaux (Suez, Panama). Avec la perspective d'une décarbonation nécessaire à terme de l'économie, ce secteur commence à décliner. Autre secteur en déclin, celui de la pêche car, même s'il s'agit de ressources vivantes renouvelables, la pression mondiale d'exploitation a conduit à des situations de surexploitation de nombreux stocks dans le monde, au point de menacer aussi d'autres populations naturellement prédatrices des poissons comme certaines espèces d'oiseaux. Mais de nombreux autres secteurs maritimes connaissent des taux de croissance supérieurs à celui de la croissance économique moyenne mondiale, comme l'aquaculture (qui a dépassé la pêche en 2017 en tonnage comme en valeur), les biotechnologies, les énergies marines renouvelables...

L'expansion du tourisme balnéaire et de croisière est aussi une des caractéristiques sociétales du 20^e siècle. Cela a entraîné un développement considérable de l'économie littorale, avec des effets secondaires souvent négatifs comme l'artificialisation des côtes via l'habitat, l'industrie ou les infrastructures (autoroute sur le littoral au Japon, en Turquie, à la Réunion...) l'érosion de la biodiversité des espaces humides ou encore

l'accroissement de pollutions de tout type. Si l'on se place dans une perspective longue, on peut dire qu'après l'expansion sans frein des activités maritimes après-guerre et un soutien fort à l'économie mondiale, ce domaine d'activité connaît une évolution lente mais à fort impact potentiel à terme: la mer ne continuera à rendre des services que si l'on prend en compte les conditions de son équilibre. L'exemple de la pollution marine aux plastiques (qui finissent en particules si petites qu'elles sont ingérées par les organismes vivants le long des chaînes trophiques) montre bien que la prise de conscience est plus rapide que celle sur les risques des marées noires des années 1970. Enfin, le rôle majeur de l'océan dans de nombreux processus vitaux pour l'équilibre des écosystèmes mondiaux (« puits » de carbone, émission d'oxygène, biodiversité source de multiples usages...) commence à être mieux connu et reconnu. L'économie littorale pourrait bénéficier un jour d'une « industrie de la durabilité marine ».

Tableau 8 : Estimations de l'évolution de l'économie maritime mondiale et du mix énergétique en consommation finale de 2015 à 2030 (*Sources croisées : McKinsey 2013, BP 2015, OCDE 2016, Futuribles 2017, IEA, 2017*)

Année <i>[% de la valeur ajoutée brute dans l'économie maritime (VABEC)]</i>	2015	2030	Observations
Valeur ajoutée mondiale (Milliards \$)	1500	3000	sauf blocage grave et durable de la navigation
Emploi (millions ETP)	31	40	soit 1% de l'emploi mondial
Pétrole & Gaz au large (%)	30	20	décroissance due aux efforts de décarbonation et aux coûts croissants
Tourisme maritime & côtier (%)	26	30	forte croissance du tourisme d'origine asiatique
Transports et ports (%)	13	15	ouverture de la voie arctique (passage du Nord-Est)
Équipement maritime (dont Énergies marines renouvelables) (%)	11	13	fort développement de l'industrie offshore dont les technos d'EMR
Autre : pêche, aquaculture, biotechnologies (%)	20	22	pêche en déclin, aquaculture (x2) et biotechnologies en croissance
Secteur de l'énergie (part en % dans la consommation finale mondiale)			
Energies fossiles			
Pétrole	31	28	décroissance lente à cet horizon
Charbon	28	26	décroissance lente car coût bas
Gaz	21	26	croissance car nouveaux gisements (dont l'Arctique) et praticité du gaz
Nucléaire	5	4	déclin car défiance
Energies renouvelables			
Biocarburants et déchets	10	12	croissance régulière
Hydraulique	2.5	6	fort développement surtout en Afrique

Autres (dont solaire et EMR)	2.5	8	fort développement multi-technologies dont les EMR
------------------------------	-----	---	--

L'hypothèse globale pour ce tableau « de référence » pour l'économie est une tendance lourde, sans crise économique ou financière majeure la déstabilisant gravement et durablement. Le terrorisme reste contenu. L'Asie ralentit sa croissance même si les problèmes d'environnement sont de plus en plus préoccupants. Les BRICS décollent mais sans boom. L'Afrique poursuit sa croissance démographique mais sans désastre humanitaire de grande échelle. La population s'est accrue d'environ 1,5 milliard d'habitants. La consommation énergétique a augmenté de 35% par rapport à 2015 mais avec un meilleur rendement énergétique. Les énergies fossiles représentent encore 74% de la consommation contre 85% en 2015. Le taux de la taxe carbone monte un peu plus vite que la teneur en CO₂ en haute atmosphère.

Il est utile d'énumérer ici les principaux facteurs qui vont peser sur les choix des hypothèses.

L'évolution de l'économie littorale est liée aux évolutions de nombreux autres facteurs : dynamisme général du commerce mondial, changements et/ou mutations de la gouvernance mondiale ou régionale vers la décarbonation de l'économie, appui aux énergies renouvelables, atténuation du changement climatique, planification des replis stratégiques dans les zones littorales menacées, politiques d'adaptation des zones côtières, protection de la biodiversité et des services écosystémiques... Ainsi, de nouveaux gisements de ressources économiques apparaissent, notamment dans le tourisme en profondeur et pas seulement sur la bande côtière, la construction de navires moins polluants, le repli des infrastructures et des villes vulnérables à la montée du niveau de la mer et aux événements extrêmes, l'observation de la mer via les sciences participatives, l'aquaculture durable, les énergies marines renouvelables et les multiples formes de synergies afférentes... Ces potentiels économiques sont cependant vulnérables à divers freins et risques : criticité croissante des énergies fossiles, technologies de remplacement pas assez matures, tensions internationales récurrentes, ruptures et pertes d'écosystèmes (productifs ou rendant des services), coûts cachés de certaines technologies « vertes » de plus en plus visibles (terres rares extraites en Chine par ex.)...

Il est certain que la zone côtière est appelée à se transformer, ce qui crée des opportunités d'activités dans de nombreux secteurs, du plus traditionnel (la pêche par ex.) au plus moderne (biotechnologies marines par ex.). Les besoins en recherche (modélisation des changements, connaissances des abysses...) continuent à croître. Dans certaines régions, les changements de mentalités poussent aux changements politiques ce qui facilite le démarrage de la transition carbonée et stimule l'éducation, la formation, la recherche et l'innovation dans tous les domaines à faire évoluer.

Mais si le changement climatique et la montée du niveau de la mer sont plus rapides que prévus, les effets sur les littoraux risquent d'être vite dévastateurs, et de nombreux secteurs d'activité risquent d'être pris de court. Les dégâts humains, matériels, économiques et financiers pourraient être si élevés que l'économie mondiale en serait ralentie (OCDE, 2019). Le risque majeur serait alors celui de choix politiques de type « chacun pour soi » ce qui aboutirait inévitablement à la fragmentation des pays selon leurs atouts et/ou vulnérabilités. Les politiques communes de gestion des biens communs dont le premier est le climat et le second, l'océan, passeraient au second plan des États. Cette évolution serait à long terme préjudiciable pour tous mais à des degrés si divers que ces inégalités pourraient perdurer longtemps.

Les hypothèses d'évolution des variables de la composante « Economie littorale »

Variable EC1-Economie littorale (= située sur le littoral)

- H1-Multiplication des formes de valorisation de la mer en intégrant les expositions aux risques et en tirant partie des reconfigurations de la côte : aquaculture marine, marinas *inland*...
- H2-Repli non-stratégique contraint et anarchique des activités économiques littorales sous la pression des événements climatiques extrêmes, des migrations massives, des pertes répétées (fréquence accrue des cyclones par ex.).
- H3-Repli stratégique planifié et relance de l'économie via l'aménagement en profondeur de l'*hinterland* ; nombreux chantiers de destruction/reconstruction / déplacement d'infrastructures, d'habitats de voies de communication...
- H4-Economie du flottant : « *offshorisation* », extra-territorialité, aéroports, usines et villes flottants... La surface et la colonne d'eau voire les petits fonds sont colonisés pour l'industrie, les services et le tourisme.
- H5-Economie déplacée pour s'assurer des ressources ailleurs (notamment via la location de terres de longue durée ou *land grabbing*) ; les coûts de protection ou d'aménagement de la zone côtière sont estimés comme trop élevés; les pays qui ont les moyens relocalisent leurs sources d'approvisionnement au moindre coût.

Variable EC2-Solidarité et mutualisation

- H1-Brutalisation des rapports sociaux, exclusions, tensions extrêmes, mafias, piraterie... La méfiance généralisée, les impasses répétées des négociations internationales (y compris sous les pressions des lobbys de l'armement et de la sécurité) conduisent à des crises chroniques de vaste ampleur et à l'égoïsme des États puis aux justifications de conflits et de dictatures.
- H2-Solidarités à tous niveaux de l'association locale à l'ONU. Cette évolution doit beaucoup à l'émergence des réseaux sociaux et à la valorisation rapide des « solutions qui marchent » via Internet. L'alphabétisation, notamment des filles, et des formations poussées jusqu'à leur terme permettent l'émergence d'une société plus consciente de ses responsabilités dans la durabilité du monde. La solidarité intergénérationnelle naît.
- H3-Gradations entre deux situations extrêmes : « Cartel des riches » et « Solidarité des pauvres » ; cette vaste gamme de situations politiques, économiques et sociales évolue sans cesse dans le temps, ce qui en évite l'explosion ou la coupure irrémédiable en les deux extrêmes.
- H4-Chacun pour soi en minimisant les tensions sociales par la redistribution et l'humanitaire ; ces deux canaux permettent d'atténuer les tensions entre provinces, pays, et blocs régionaux ; mais les problèmes liés aux biens communs dont l'océan risquent de s'aggraver en raison de l'absence de vision globale à l'échelle de la Terre.
- H5-Financiarisation assurancielle et judiciarisation de tous les risques, dégâts, et responsabilités au moyen du transfert des risques des États aux systèmes financiers privés... La « main invisible du marché » est présentée comme la panacée et l'individu est « responsabilisé » par ses choix personnels. Les systèmes de mutualisation régressent (retraite, assurances, taxes de solidarité à large assiette...) au profit de systèmes d'assurance ciblés et pilotés par les méga données.

1.8.6. Gouvernance littorale

Ce grand domaine de variables est réparti en deux composantes. La première est celle de la gouvernance littorale avec des variables notées « G1 » à « G3 ». Elles sont traitées dans cette partie (f). La seconde composante est celle du contexte global avec une dimension à l'échelle mondiale ; les variables, notées « C3 » et « C4 », sont les dernières du tableau. Elles sont traitées dans la partie suivante (g).

Un concept à géométrie variable

Il est utile de rappeler que la gouvernance est un concept général dont les fondements sont souvent reliés à la gestion de la cité grecque (*Polis*, qui donnera « Politique ») à partir du 5^e s. avant JC. Ce mot est issu de la racine grecque *kubernao*, qui signifie « gouvernail ». Il a été rendu courant via son expression en langue anglaise (*governance*) puis à l'échelle mondiale, notamment en sciences économiques et en géopolitique. Il désigne l'ensemble des fonctions d'organisation, de gestion et de choix stratégiques pour un État et toutes les variantes de représentation politique, en amont (organisations internationales par ex.) comme en aval (province, ville, village...). Le même mot est utilisé dans un sens similaire dans le domaine économique (entreprises) et sociétal (associations, réseaux...). Il est associé à des valeurs, explicites comme les lois, chartes, règlements... ou implicites comme ce qui « se fait » ou ne « se fait pas » dans une société et à une époque données.

La « bonne gouvernance », dans son acception la plus courante, est caractérisée par un usage équitable, durable et efficace des ressources et des fonctions (sécurité, santé, justice...) au service du bien commun. Ce dernier est choisi selon le système politique en vigueur, depuis le droit coutumier jusqu'aux règles du droit international, avec un grand nombre de variantes liées aux cultures et aux élites en place. La gouvernance résulterait ainsi des interactions entre trois forces majeures : les ressources, les institutions et les idées. En matière de littoral et de modifications liées au changement climatique, les éléments de gouvernance que l'on évoque spontanément pourraient être répartis à grands traits comme suit :

Ressources (notamment en espaces, en minéraux, en espèces vivantes)

- Mobilisation des connaissances et des moyens pour conserver au mieux les espaces, les ressources, les fonctions écosystémiques ; ou comment s'adapter ou atténuer les phénomènes en cours face au changement climatique, ou faire les deux
- Valeur du patrimoine foncier côtier jusqu'à sa disparition complète possible
- Nouveaux rapports et flux physiques et biologiques entre la côte et l'arrière-pays

Institutions

- Décision de repli stratégique ou de défense statique aux niveaux pertinents d'information et de concertation
- Organisation cohérente des services en proportion des menaces directes ou les risques potentiels : alerte, information, transport, logement, alimentation, services, sécurité...
- Arbitrages de responsabilités et conséquences sociales, financières, économiques, juridiques...
- Gestion des risques et des inégalités face aux risques

Idées

- Préoccupations de moyen et long terme et pondérations associées
- Tensions et débats autour des responsabilités du changement climatique et de la subsidence d'origine anthropique (pompage de ressources dans des deltas par ex), des risques de disparition d'États insulaire, des migrations d'éco-réfugiés, etc.
- Rapports de l'homme à la nature et degré d'acceptabilité des risques
- Perceptions de la mer par les riverains, les personnes en transit, les touristes, les utilisateurs (plaisir, danger, opportunités...)
- Vitesse d'appropriation des phénomènes en cours et des projections à 10, 30, 100 ans
- Rôle de l'information et de la formation, de l'école aux responsables à tout niveau
- Nouveaux usages sur des territoires modifiés ou submergés (aquaculture par ex.)

Les contextes de la gouvernance

Ces contextes sont très variables selon le niveau de gouvernance considéré et les cadres spatiaux et temporels. Schématiquement, on peut distinguer cinq niveaux d'exercice de la gouvernance, avec de fortes interactions entre eux. Ce nombre élevé de niveaux s'explique notamment par le grand nombre d'acteurs impliqués et par le fait que les processus de gouvernance mis en place après 1945 dans les pays démocratiques sont mal adaptés à des problématiques complexes comme le changement climatique, ou la perte de biodiversité. En conséquence, il est difficile de faire prendre en compte ce phénomène par les États, comme par nombre de décideurs, même s'ils sont bien informés.

On peut résumer ces cinq niveaux de gouvernance en quelques mots-clefs :

1/5 Au niveau national, un contexte incitatif

Un ministère spécifique à l'environnement apparaît en 1971 et ce portefeuille se généralisera en 20 ans dans la quasi-totalité des gouvernements du monde. Les gouvernants deviennent globalement plus conscients des enjeux climatiques. En France, on passe du Ministère français de l'Environnement, puis « du Développement Durable et de l'Ecologie » au Ministère de la « Transition Ecologique et Solidaire ».

Les groupes d'experts se multiplient: GIEC, ONERC, IPBES... et se nourrissent de travaux en nombre croissant des organismes de recherche scientifique : Météo France, IRSTEA, INRA, AFB, CNRS, Ifremer.... Des agences de l'environnement et de gestion des risques prennent de l'ampleur : INERIS, ONEMA, ANSES... Les sources d'observation et d'expertise viennent aussi souvent du domaine spatial : CNES, ESA...

2/5 Au niveau local, une déclinaison pour une action opérationnelle

Services « Environnement » des collectivités territoriales

Schémas régionaux Climat - Air - Energie (issus du Grenelle de l'environnement) en lien avec les plans locaux d'aménagement (SCOT, PLU, PCAET, SRADDET...)

Méthode « Bilan Carbone » (ADEME) et des outils de collecte d'informations

Des efforts de pédagogie comme la diffusion d'une « Climat Box » aux habitants de l'agglomération de Mulhouse

3/5 Le poids grandissant des ONG

Elles sont nombreuses au niveau international, national et local mais elles mènent souvent des actions dispersées au plan géographique comme au plan des secteurs ciblés : environnement, développement durable, santé, gestion des risques, éducation, formation...

4/5 Les réseaux sociaux

Ils relaient les informations et aussi les opinions de façon virale, de manière très rapide mais sans contrôle de la qualité des contenus. En conséquence, il se répand un relativisme croissant de la parole des scientifiques, attitude qui peut aller jusqu'au déni du « fait scientifique », critiqué selon des postures diverses : idéologique, d'intérêt court-termiste, coutumière, religieuse...

Ils présentent cependant l'avantage de faciliter l'implication des internautes lors de catastrophes environnementales, de la phase d'alerte jusqu'à la partie reconstruction (via le *crowdsourcing*)

5/5 Les grands groupes industriels, de la prise de conscience affichée à l'action

Ils sont nombreux à afficher des professions de foi ou des chartes riches de bonnes intentions et d'objectifs aussi vertueux qu'ambitieux (ex. Engie, Suez, Véolia, L'Oréal, Danone...). Ils ont mis en place des services dédiés et sont présents et visibles à toutes les COP. Mais leurs stratégies d'implication en matière de « bonne gouvernance » d'innovation et de mise en œuvre ne sont pas toujours lisibles, ni prouvées.

Par définition, la gouvernance oriente les choix stratégiques. Mais la combinatoire des nombreux facteurs en jeu dans la gouvernance n'aboutit pas nécessairement à des résultats rationnels prévisibles même si « gouverner, c'est prévoir » (E. de Girardin, 1852). En dernier ressort, « gouverner, c'est choisir, si difficiles que soient les choix » (P. Mendès-France, 1953). Une gouvernance lucide et consciente de ses responsabilités, notamment vis-à-vis des générations futures, peut jouer un rôle déterminant dans le choix de politiques courageuses et continues sur le long terme. On peut citer en exemple la politique du Kenya en matière de reforestation (à l'initiative de Wangari Mathai, futur prix Nobel de la paix) ou le Costa Rica, pionnier de la protection de l'environnement qui a fait de sa biodiversité exceptionnelle un atout en termes d'économie, de tourisme et d'image. La gouvernance éclairée peut anticiper de nombreuses évolutions comme le changement climatique, la décarbonation de l'économie, l'appui au développement des énergies renouvelables, la planification des replis stratégiques dans les zones littorales menacées par la montée du niveau de la mer, les politiques d'adaptation des zones côtières, la protection des services écosystémiques...

Cette capacité d'anticipation se traduira à terme par des économies considérables (Stern, 2006) et par une activité soutenue sur l'ensemble de la zone côtière et indirectement sur l'arrière-pays. Le bénéfice politique à l'échelle régionale comme à l'échelle mondiale ne doit pas être sous-estimé. La co-responsabilisation des citoyens à tout niveau de responsabilité a aussi des avantages indirects potentiels forts en matière de santé, de comportements individuels et collectifs, de prise de responsabilités en sciences participatives, en association de protection de la nature... Mais l'accès à la connaissance et la mobilisation de celle-ci pour servir la décision politique dépend du degré de « lucidité » et d'acceptabilité du pouvoir vis à vis des données scientifiques. L'acceptation des faits ne va pas de soi comme le montre ce qui se passe aux États-Unis depuis l'élection de D. Trump comme président. Ensuite, même si la véracité des tendances décrites par la science est acceptée, il faut passer à l'action, à l'échelle pertinente, souvent vaste, sans tarder, et de manière continue, ce qui implique une volonté politique stable. C'est précisément dans cette phase de mise en œuvre qu'apparaissent les plus grands risques d'inertie ou d'inaction. D'autres menaces pèsent sur la « bonne

gouvernance climatique » et sur la gestion durable des littoraux : déni, mesures insuffisantes ou trop tardives, clivages politiques, économiques et sociétaux, prise de risque excessif pour les infrastructures, les ressources, la biodiversité, les populations... La gouvernance reste le premier facteur moteur d'évolution des scénarios d'environnement à l'échelle mondiale et quel que soit l'horizon choisi (2030, 2050, 2100) comme l'a montré l'étude AllEnvi sur les grands scénarios mondiaux d'environnement (AllEnvi, 2017). En conséquence, une mauvaise gouvernance en matière de climat fait peser des menaces de moyen et long terme sur l'ensemble des enjeux du littoral.

A contrario, une gouvernance « éclairée » sur l'avenir et assez constante pour démontrer le bien-fondé de ses choix peut gagner en stabilité et en reconnaissance nationale et internationale. Elle influe positivement sur l'économie par de nombreuses voies (économie « verte » ou « bleue »), de la restructuration du territoire côtier à la recherche en modélisation des changements. Les changements de mentalités peuvent contribuer aux évolutions politiques, à la prise de conscience de la nécessité de la transition énergétique et à la stimulation de tous les secteurs de l'éducation, la formation, la recherche et l'innovation.

Les hypothèses d'évolution des variables de la composante « Gouvernance littorale »

Variable G1- Prise de conscience des risques

- H1 : ONU du climat ; appropriation des enjeux du CC et du SLR par tous les acteurs ; si cette hypothèse paraît « idéale » et très peu plausible à court terme (moins de 10 ans), elle le devient s'il se produit assez tôt une prise de conscience globale de la gravité des phénomènes.
- H2 : Déni et fuite ; triomphe des climato-sceptiques. Si le CC et la SLR sont plus lents que prévu, ou marquent des pauses dans leur évolution, il apparaît le risque du renforcement du déni des phénomènes ou au moins l'opportunité de les minimiser.
- H3 : Prise de conscience de façade. Cette attitude est si courante qu'elle est devenue banale dans la plupart des démocraties. La puissance des médias modernes permet de faire accroire auprès du grand public, et des électeurs, que ce qui est décidé va nécessairement être réalisé (« l'effet d'annonce »). L'obsolescence rapide des informations ne facilite pas la mise en perspective longue des politiques de moyen et long terme.
- H4 : Les personnes lucides, les « obscurantistes » et la masse des indécis : ces classes de personnes vis-à-vis d'un phénomène nouveau et difficile à comprendre et à interpréter sont classiques. Elles peuvent rester stables durant des années, quelle que soit la qualité des débats car elles sont plus fondées sur des croyances que sur des jugements critiques alimentés par des arguments rationnels.

Variable G2- Réactivité et degré d'implication

- H1 : Passif (on laisse faire quoi qu'il arrive)
- H2 : Actif (on se prépare au changement)
- H3 : Réactif (on agit quand les problèmes commencent à se poser)
- H4 : Proactif (on cherche à réduire les problèmes à venir en s'attaquant à leurs causes)

Variable G3- Niveau de mutualisation et coordination

- H1 : « Plan Marshall mondial » : gestion type Catastrophe naturelle (CatNat), et via plate-forme pour migrants climatiques. Une prise de conscience mondiale devrait aboutir à terme à des mesures d'envergure mondiale pour traiter les problèmes liés au changement global.
- H2 : « Sauve qui peut, chacun pour soi ! » : cette réaction si fréquente à l'échelle d'un individu, ou d'un groupe confronté à une menace qui le dépasse, est plausible à l'échelle d'une région ou d'un État, surtout quand cet État peut exciper d'une menace extérieure pour renforcer son pouvoir ou exiger des sacrifices de sa population.
- H3 : « Villes côtières en réseau » : si 80% de la population mondiale devient urbaine à l'horizon 2050, il est politiquement prioritaire de protéger les villes et de les faire bénéficier des innovations technologiques leur permettant de s'adapter au mieux aux changements à venir.
- H4 : « Les GAFAM prennent la main » : la concentration des données dans tous les domaines, la puissance de calcul et la force de frappe financière des GAFAM placent ces multinationales en position de force pour mesurer, modéliser, évaluer presque toutes les formes de changement. Les États sont trop peu organisés et trop peu déterminés pour contrebalancer efficacement cet oligopole.
- H5 : « Les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région » : le monde est devenu si complexe et si conflictuel, et les solutions pour faire face aux changements sont si différentes, voire antagonistes, que les pays se regroupent à l'échelle d'une « grande région » connaissant les mêmes problèmes. Il y a alors plus facilement une convergence des analyses politiques sur les menaces, les urgences et les politiques à mener. Ainsi, les pays de l'arc Caraïbe peuvent se concerter pour traiter ensemble leurs problèmes communs : cyclones, sargasses, sécurité alimentaire, maladies tropicales...

1.8.7. Contexte global

Le cadrage de cette composante, l'analyse rétrospective et la description des forces en jeu dans le système de la composante sont déjà traités dans la partie (e) de l'économie littorale et la partie (f) de la gouvernance littorale. Il reste donc à décrire les hypothèses des quatre variables de cette composante.

Sélection des hypothèses par variable pour la composante « Contexte global »

Variable C1-Croissance économique globale

Elle est conçue en lien avec l'énergie, la stabilité monétaire et la démographie. Les indicateurs (PIB, VAM...) évolueront probablement mais les hypothèses sont raisonnées en termes de dynamique mondiale.

- H1-Décroissance choisie : changement du modèle dominant actuel vers la « sobriété heureuse ». refus du consumérisme, décarbonation des activités humaines comme objectif collectif pour la majorité des pays; l'économie de l'usage prend le pas sur l'économie de la propriété.
- H2-Economie duale avec de fortes tensions entre des zones de forte croissance pour une caste d'hyper-riches créateurs de richesses et des zones de faible croissance pour la majorité de l'humanité; classes moyennes paupérisées et société « liquide » du « *bottom billion* » (= 2 milliards de personnes à moins de 10\$/jour).
- H3-Croissance en stop & go, impossible à réguler; fréquence des crises liée au rythme des catastrophes climatiques, financières, économiques, sociales et humanitaires.

- H4-Décroissance subie en raison d'une succession d'effondrements, d'abord régionaux, puis mondiaux. Tous les secteurs économiques et réseaux de pouvoir sont touchés à divers degrés. Même les riches souffrent...

Variable C2-Mix énergétique

Il est désormais établi que le premier déterminant du changement climatique est la politique énergétique des États. La clef est celle de la consommation des énergies fossiles avec l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Comme cet enjeu croise de nombreuses contraintes spécifiques à chaque pays, la définition même d'une politique cohérente et coordonnée à l'échelle mondiale, la seule échelle pertinente, se révèle de facto très compliquée. Si les travaux scientifiques et les conférences internationales permettent de progresser dans la connaissance des phénomènes en cours et des solutions à mettre en œuvre, la « realpolitik » des États, les intérêts de court terme des entreprises et les habitudes même des consommateurs conduisent à une grande variété de choix en matière énergétique à toute échelle de décision.

- H1-Synergies de tous les acteurs pour préparer la décarbonation de l'économie, développer les technologies du renouvelable, faire des économies d'énergie (sobriété).
- H2-Fragmentation de la production et de la consommation d'énergie : vision de court terme et mélange des technologies / ressources dont les renouvelables, sans politique mondiale intégrée.
- H3-Chaos énergétique : consommation accélérée des ressources énergétiques locales, y compris fossiles, sous contrainte de pressions démographiques, économiques et politiques (priorité à la sécurité énergétique nationale).
- H4-Priorité à l'autonomie énergétique systématique en privilégiant les économies d'énergie, les sources locales (en les diversifiant pour réduire la dépendance des conditions météo), le partage des savoir-faire locaux, la mutualisation des ressources (transports, valorisation des déchets...).

Variable C3- Prise de conscience des enjeux climatiques à l'échelle globale

Elle est difficile à appréhender car les niveaux de prise de conscience des enjeux climatiques sont très disparates selon le pays et les régions. On peut quand même tracer des visions différentes au regard de l'évolution des mentalités dans les grandes ONG et aussi des positions politiques exprimés publiquement lors des Conférences des Parties successives sur le climat.

- H1 : Appropriation des enjeux du CC: il s'agit d'une vision idéale sans crédibilité forte auprès des personnes qui se présentent pourtant comme « réalistes ». Mais cette vision pourrait devenir plus répandue si des catastrophes climatiques récurrentes, touchant un nombre croissant de pays, devenaient fréquentes. Cette hypothèse est d'autant plus plausible que l'on recule l'horizon de modélisation ou de projection politique.
- H2 : Déni: cette tendance psychologique est courante et s'explique aisément. Cette position risque cependant de devenir intenable à long terme quand le changement climatique ne pourra plus être contesté sans que ce déni passe pour de l'irresponsabilité.
- H3 : Prise de conscience de façade: cette position, confortable, permet de gagner du temps. C'est la solution de facilité pour des gouvernements faibles, mal informés ou indécis.
- H4 : Clivages: l'accès libre à l'information ne conduit pas nécessairement à l'émergence d'une conscience mondiale, nourrie de faits scientifiquement prouvés. Au contraire, on observe des risques

croissants de relativisation des faits observés, y compris dans le domaine scientifique, et la multiplication des points de vue. Cette évolution peut être source de divergences croissantes, voire de clivages politiques et sociétaux graves et difficilement réversibles.

Variable C4- Gouvernance géopolitique globale

Il est utile de commencer par une rétrospective au niveau mondial. Elle pourrait être résumée par la formule, « une prise de conscience progressive ».

Rappel : avant les années 1990, pas de gouvernance mondiale du changement climatique et de l'environnement

1992 : Sommet de la terre à Rio et médiatisation d'une urgence climatique.

1995 : COP1 à Berlin centrée sur des engagements politiques, des mesures et des objectifs chiffrés en matière de réduction de gaz à effet de serre (GES).

1997 : la COP3 à Kyoto aboutit à un protocole contraignant de réduction des GES (année de référence : 1990). Objectif pour l'UE: moins 8% d'ici 2020 ; plus de 100 pays sont concernés.

2015 : COP21 et Accord de Paris : sont fixées les bases d'une gouvernance mondiale du climat, en partie sous la pression d'états insulaires, afin de contenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C, voire le limiter à 1,5°C.

2017 : le changement de cap des USA avec un président et une administration fédérale ouvertement climato-sceptiques, voire hostiles à la réalité du changement climatique.

2018 : *One Planet Summit*, La Chine et la France sont moteurs pour réagir de manière plus active notamment pour mettre en place une actualisation régulière de la convention Climat à l'ONU

On observe donc depuis une dizaine d'année la prise en compte du changement climatique et de la hausse du niveau de la mer par un nombre croissant d'agences ONU comme le PNUE, le PNUD, la FAO (...) et les ONG comme l'UICN (qui gère la liste rouge des espèces en danger). Cette variable va bien au-delà des critères maritimes même si certaines confrontations ont des enjeux océaniques comme les tensions entre les USA et la Chine dans l'océan Pacifique, entre l'Inde et la Chine dans l'océan Indien ou entre tous les pays riverains dans l'océan Arctique. La dépendance élevée des échanges mondiaux à la fluidité du transport maritime est un enjeu majeur avec de nombreuses sources de risques: vulnérabilité de certains passages comme Malacca, Ormuz ou Aden, guerres régionales dans des zones sensibles, piraterie, trafics, pollutions... Le droit international maritime, via principalement la convention de *Montego Bay*, et surtout les moyens de contrôle, sont en retard par rapport aux pratiques existantes notamment en matière d'exploitation des ressources profondes, ce qui laisse la porte ouverte à des formes ni durables ni équitables d'exploitation. La montée du niveau de la mer posera aussi d'épineux problèmes de souveraineté, de sécurité des populations très côtières, de sécurité alimentaire, de bouleversements d'écosystèmes, de migrations pour de nombreux pays dont de grands pays vulnérables comme le Vietnam, le Nigéria ou l'Egypte.

- H1 : Chaos généralisé, guerres locales et générales ; conflits de « tous contre tous », mafias opportunistes, « démocraties » belliqueuses...
- H2 : Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent.

- H3 : Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'Intelligence Artificielle (IA) : l'IA impose la stabilité et sa puissance inégalable de calcul. Les robots plus ou moins contrôlés prennent le pouvoir parce que les humains sont trop faillibles. Les GAFAM démontrent que les algorithmes optimisent nos choix mieux que nous-mêmes; il faut donc leur déléguer les pouvoirs de décision.
- H4 : Domination par les deux superpuissances : logique de compétition / domination des cinq pouvoirs : ressources, force militaire, capacité financière, science et technologie, perceptions des sociétés (*soft power*).
- H5 : Gouvernance polycentrique pour la gestion des biens communs : une utopie qui a de plus en plus de fondements théoriques (Orström, Rawls, Rosa...) et a la faveur d'un nombre croissant de mouvements alternatifs. Les choix politiques traditionnels ayant tous échoués, les décideurs prennent le risque d'une utopie salvatrice.

2. Les scénarios d'évolution à 2050

2.1. Tableau morphologique de la prospective

Le tableau morphologique présenté sur la page suivante reprend le découpage du système prospectif en un système littoral et un contexte global décrit dans la partie 2.1, auquel s'ajoute un contexte physique d'élévation du niveau des mers.

Ce tableau est composé de la manière suivante : chaque ligne correspond à une variable d'une composante et décrit l'ensemble des hypothèses d'évolution à l'horizon 2100 qui ont été construites par le groupe d'experts et présentées dans la partie 2.3. Par exemple pour la composante « Population », la première ligne de la composante correspond à la variable « Part de la population exposée au risque de submersion marine » ; cette variable a quatre hypothèses alternatives d'évolution à l'horizon 2100 : un retrait progressif de la population des zones côtières ; la part de la population en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance) ; un accroissement progressif de la population en zone côtière ; une forte croissance démographique conjuguée à des migrations au sein et vers des mégapoles côtières.

Le tableau morphologique a servi à construire les huit scénarios qui sont décrits dans la partie suivante. Chaque scénario se définit par une combinaison d'hypothèses d'évolution des variables, cette combinaison décrivant un état du système en 2100. Pour cela, on sélectionne pour chaque variable une hypothèse d'évolution, puis l'on recherche, pour toutes les autres variables des hypothèses cohérentes entre elles, en privilégiant le sens général de la combinaison et sa plausibilité.

La construction des scénarios a été faite selon deux approches. La première approche est de choisir d'abord un contexte physique global, puis d'identifier, variable après variable, les hypothèses les plus cohérentes entre elles, selon diverses combinaisons de choix successifs. La seconde approche est de choisir les hypothèses par variable en commençant par les composantes jugées les plus importantes (contexte global, gouvernance littorale...) et en terminant par les composantes jugées les moins déterminantes. Cet ordre est conservé jusqu'à la fin de la sélection des scénarios.

Ces deux approches, menées par deux groupes d'experts distincts, a conduit à élaborer 17 scénarios. Leur mise en parallèle a montré d'évidentes, et logiques, similitudes de certains d'entre eux. Après la synthèse des scénarios très proches, il a résulté du croisement des approches 8 scénarios bien contrastés. La cohérence interne de chacun a été vérifiée ; puis un nom définitif a été choisi pour en faciliter l'usage.

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1 - Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Forte croissance démographique conjuguée à migrations au sein/vers des mégaloïles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégaloïles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de cote	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartel des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciaire
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi!	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorisé à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Interdépendance polycentrique "ostromienne" planétaire
Contexte physique de hausse du niveau des mers		MODERE +0,5m pente faible EV EX1	SERIEUX +0,5m pente forte EV EX1	GRAVE +1m pente forte EV EX2	EXTREME +2m pente forte EV EX2	

2.2. Présentation des scénarios

L'analyse morphologique, après croisement des deux méthodes d'analyse, donne finalement huit scénarios bien contrastés. Ils sont présentés ci-après. Au-delà des choix de variables majeures, dans diverses composantes, leur analyse panoptique fait émerger trois « familles » de scénarios dont la ligne de partage, tient avant tout à la position de la gouvernance, première variable motrice en matière d'environnement (Lacroix *et al*, 2019).

La première famille est celle du « déni » initial conscient ou inconscient du changement global en cours. La persistance de cette attitude conduit au scénario de la passivité (D3) ; le choix d'une adaptation tardive, sans coordination, et sous la seule contrainte climatique, conduit à l'abandon progressif du littoral (D2); enfin, la dominance de cette attitude pendant des décennies peut conduire à une réaction forte mais trop tardive pour être efficace (D1).

La deuxième famille est celle d'une volonté d'adaptation, parfois tardive, plus ou moins couplée à une politique d'atténuation. Le premier scénario est celui d'une politique d'atténuation ambitieuse coordonnée à l'échelle mondiale ce qui permet d'aboutir à un scénario de maîtrise climatique (A1) ; le réalisme conduit à penser que les États, les entreprises, les sociétés ont besoin d'un peu de temps pour prendre la mesure des changements en cours et de leurs causes, ce qui justifie un deuxième scénario visant la sobriété et anticipant assez bien les risques de la non-action pour réagir à temps (A3). On peut aussi considérer que la variété des situations sur les zones côtières, des niveaux de conscience des enjeux et enfin de moyens économiques conduisent à une réaction en termes d'atténuation plus tard au cours du siècle et à la préservation prioritaire des villes (A2) ; enfin, les logiques d'adaptation peuvent rester longtemps prédominantes et assez efficaces pour différer tout effort sérieux d'atténuation jusqu'à ce que les priorités changent sous la contrainte des phénomènes et des changements effectifs, mais trop tardivement pour avoir de l'effet (A4).

La troisième famille est celle de l'absence de coordination à toute échelle territoriale et surtout à l'échelle mondiale, malgré l'ampleur croissante des menaces. Les adaptations, ou même les politiques d'atténuation, restent à l'échelle des États ou des alliances régionales, ce qui est insuffisant pour freiner le changement. Des politiques fragmentées, même si elles sont réactives, ne peuvent répondre efficacement à des enjeux mondiaux et urgents (F).

2.2.1. Les scénarios du déni du changement climatique ou du déni de l'élévation du niveau de la mer

D1 : Du déni à la réaction

Dans ce scénario, sous la pression de la réalité le déni initial cède progressivement la place vers le milieu du siècle à des stratégies simultanées d'adaptation littorale et d'atténuation du changement climatique, mais bien tardives, qui limitent la vulnérabilité littorale à un état physique « grave » en 2100.

Les enjeux du changement climatique et les risques liés à l'élévation du niveau de la mer font l'objet dans un premier temps d'un déni de la part de la société et des gouvernants qui conduit à une passivité générale et à une absence complète d'anticipation et d'implication sur ces enjeux.

L'urbanisation du littoral se poursuit et la population continue de s'accroître dans la zone côtière en se concentrant dans des mégapoles qui se développent. L'absence de stratégie d'adaptation des zones littorales les plus exposées, où règne le « chacun pour soi », accroît progressivement la vulnérabilité des infrastructures et des réseaux qui n'ont pas été conçus en tenant compte de ces nouveaux risques.

Les ressources en eau douce se dégradent dans les zones côtières sous l'effet cumulé d'une salinisation progressive des nappes phréatiques et des pollutions lors des événements extrêmes de submersion, de plus en plus fréquents et violents, alors même que les besoins augmentent fortement. Ceci accroît les conflits d'usage.

Les services écosystémiques sont altérés et des écosystèmes côtiers entiers disparaissent sous la pression de l'urbanisation du littoral et de l'élévation du niveau de la mer, ce qui augmente encore la vulnérabilité des côtes. Le trait de côte recule dès que le terrain est sédimentaire ou que la côte rocheuse est basse, conduisant à un repli contraint, anarchique et par à-coups de l'économie littorale.

Les sols agricoles disparaissent progressivement en zone côtière sous les effets cumulés de la salinisation, de l'imperméabilisation et de la pollution croissante des sols. Ceci conduit à la substitution des cultures par l'élevage hors sol et l'aquaculture. Les apports de la pêche et de l'aquaculture augmentent, mais la diversité de l'alimentation se réduit.

La croissance économique globale en dents de scie dans un monde multipolaire turbulent se traduit par une politique énergétique de court terme et fluctuante. Celle-ci a parfois recours aux technologies et aux ressources renouvelables mais sans politique mondiale intégrée. La production et la consommation énergétique restent fragmentées.

Au milieu du siècle, face à la constatation de la réalité de l'élévation du niveau de la mer, d'événements extrêmes plus fréquents et plus violents et de leurs conséquences, s'amorce un retrait progressif de la population des zones côtières, en raison de leur forte vulnérabilité sanitaire. On assiste à des départs échelonnés au fil de la montée progressive des eaux. Ces phénomènes de migrations et les conflits qu'ils génèrent contraignent les États à réagir et à s'impliquer même tardivement. Ils mettent alors en place des mécanismes de redistribution humanitaire de plus en plus coûteux. Ceci conduit à une prise de conscience progressive de la société et des décideurs de la réalité des phénomènes en cours. Les scientifiques sont de plus en plus écoutés et suivis par une opinion publique qui prend conscience de la nécessité d'une réaction collective face aux risques. Les pouvoirs publics sont poussés à agir à la fois sur les effets et sur les causes et mettent en place des stratégies d'adaptation littorale et d'atténuation du changement climatique planifiées, mais bien tardives. Les premiers effets réellement perceptibles d'atténuation ne sont pas attendus avant le milieu du siècle suivant.

D2 : Abandon progressif du littoral

Dans ce scénario la zone littorale est progressivement abandonnée par les acteurs économiques dominants et les pouvoirs publics qui ne consentent que très tardivement (vers 2080) à défendre les zones côtières les plus sensibles abandonnés aux populations pauvres pour prévenir les migrations de populations sans agir sur l'atténuation du changement climatique ce qui aboutit à un état physique « extrême » en 2100.

Dominé par quelques superpuissances, le monde connaît une croissance économique duale, en tension entre une forte croissance économique pour quelques oligopoles créateurs de richesses, et une faible croissance pour la majorité de l'humanité (le « *bottom billion* » ne cesse d'augmenter). Entre ces deux extrêmes, on observe la paupérisation progressive des classes moyennes. Globalement, la richesse mondiale augmente mais cet enrichissement est capté au profit des classes les plus aisées. Le désordre énergétique qui accompagne ces disparités conduit au repli sur la sécurité énergétique et l'utilisation en priorité des ressources énergétiques locales, y compris fossiles, plutôt que la recherche d'énergies propres.

La montée progressive du niveau de la mer provoque une dégradation des écosystèmes littoraux avec salinisation et pollution des sols. Face au recul marqué et prévisible du trait de côte et à la disparition de plus de la moitié des sols agricoles en zone littorale, la classe économique dominante, lucide sur les évolutions climatiques et littorales à venir, organise le repli stratégique des activités économiques vers l'arrière-pays et abandonne la zone côtière aux pauvres, mal informés, sceptiques ou indécis, qui y développent des activités, un élevage et une aquaculture de subsistance. De fréquentes perturbations, voire des ruptures ponctuelles, des approvisionnements alimentaires apparaissent malgré l'accroissement des apports de l'aquaculture. La salinisation des nappes impose de recourir à un transfert massif de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale accroissant encore la dépendance des populations littorales. Malgré une urbanisation littorale limitée, mais anarchique, l'imperméabilisation des sols reste importante et les écosystèmes littoraux qui peinent à s'adapter aux évolutions rapides continuent à se dégrader fortement entraînant la perte des services écosystémiques qui leur sont associés.

Face au manque d'anticipation et à la défaillance des services publics locaux et nationaux chacun s'organise et s'adapte comme il peut. Ceux qui en ont les moyens fuient la zone littorale et rejoignent l'arrière-pays. On assiste à un retrait progressif des zones côtières réduisant leur vulnérabilité. Les évacuations s'accroissent après chaque événement climatique extrême créant des conflits de plus en plus violents et des rejets, mais également des actions humanitaires ponctuelles soutenues à la fois par l'État et les acteurs économiques dominants pour maintenir les populations pauvres en place sur le littoral. A la fin du siècle, certaines villes côtières importantes sont gravement affectées. Ceux qui restent s'organisent et se mobilisent, mais peinent à sensibiliser au-delà des régions qui partagent les mêmes épreuves dans une communauté de destin. Ils se coordonnent et portent à leur tête des élus ou des despotes qui parviennent à convaincre l'État, les régions et les acteurs économiques dominants de la nécessité d'agir pour sauver ce qui peut l'être et d'éviter les désastres humains et les migrations massives vers les villes de l'intérieur. Ils organisent une forme de redistribution via l'État afin de maintenir les populations pauvres dans les seules zones littorales défendables dans des conditions économiques acceptables et limitent la vulnérabilité sanitaire des populations grâce à l'adaptation minimale des infrastructures dans ces zones. Cette solution apparaît moins coûteuse et susceptible de produire plus rapidement des effets que d'agir sur l'atténuation du changement climatique à l'origine des phénomènes d'élévation du niveau des mers et de submersion constatées.

D3 : Passivité

Le fil conducteur de ce scénario est la persévérance dans le déni des enjeux du changement climatique et de l'impact de la montée du niveau des mers. La passivité et l'absence d'anticipation qu'engendre ce déni conduit à une forte vulnérabilité littorale face à un contexte physique « extrême ».

Le point de départ de ce scénario est celui du « déni » dans la prise de conscience de l'enjeu climatique et de ses conséquences à l'échelle globale. Ce refus de prise de conscience autour du contexte global se traduit directement par une passivité au niveau de la gouvernance qui conduit à terme à une forte vulnérabilité littorale.

Les gouvernants sont eux aussi dans le déni, encouragés par les positions idéologiques défendues par des États dont la puissance économique pèse au niveau mondial. Ces États dominants freinent le petit nombre d'États qui souhaiteraient mettre en œuvre des solutions d'atténuation, les jeux économiques les mettant en défaut de moyens, voire en faillite. Le reste des États n'a pas de vision d'avenir et les gouvernants gèrent le quotidien et les urgences. Face à l'absence de décision, à la passivité quasi générale et à un niveau de coordination inexistant entre les acteurs et entre les pays, c'est le règne du « chacun pour soi ». La décroissance et le chaos énergétique qui en résulte conduisent au repli de chaque État sur sa propre sécurité énergétique et à l'utilisation en priorité des ressources énergétiques locales, y compris fossiles, plutôt que la recherche d'énergies propres.

Sans stratégie ni coordination, l'accroissement des populations dans les zones urbaines littorales, et dans les zones côtières globalement, se poursuit. Du fait de la répétition des crises liées aux conséquences des événements climatiques extrêmes de plus en plus violents, on assiste localement et par à-coups à des exodes massifs. Ainsi, après une période d'accroissement des populations en zone côtière et un développement non maîtrisé des mégapoles littorales, qui concourent à une augmentation de la vulnérabilité sanitaire des populations, on peut assister à un phénomène inverse et à un retrait des populations en zone littorale.

En matière d'urbanisation et d'infrastructures, l'absence d'anticipation et de stratégie d'adaptation à la montée du niveau de la mer et la forte urbanisation littorale du fait du développement de « mégapoles littorales » ou de la fragmentation urbaine le long du littoral créent les conditions d'une forte vulnérabilité pour les infrastructures.

L'économie littorale s'en trouve perturbée et doit entamer un repli contraint, anarchique et par à-coups au gré des événements climatiques extrêmes de plus en plus fréquents et des dégâts qu'ils provoquent. Les classes pauvres ne pouvant compter sur aucune solidarité, ni aucune forme de mutualisation, on assiste à une brutalisation des rapports sociaux.

Cette anarchie urbaine littorale et l'imperméabilisation forte des sols qui l'accompagne se traduisent sur l'environnement et les ressources par (1) une dégradation progressive des écosystèmes littoraux et de leurs fonctions écologiques, (2) un phénomène de salinisation et/ou de pollution des ressources en eau douce et des sols liée aux submersions de plus en plus fréquentes et étendues. On assiste à la disparition complète de certains écosystèmes littoraux, ce qui accélère le recul du trait de côte.

L'agriculture et l'alimentation paient le prix de ce déni et du laisser-faire avec une réduction de moitié des terres agricoles dans les régions côtières, voire leur disparition progressive en zone littorale. L'élevage hors-sol remplace les cultures. Le poids de la pêche est irrégulier et peut varier fortement selon des conditions environnementales difficiles à modéliser (instabilité des *upwellings* notamment). L'aquaculture se diversifie, notamment en eau saumâtre à l'intérieur des terres. Dans tous les cas, la sécurité alimentaire des populations est en jeu et rend plus vulnérables et dépendantes les populations des zones côtières soumise à des perturbations ou des ruptures ponctuelles de l'accès aux productions agricoles, ainsi qu'à une réduction de la diversité de l'alimentation.

Cette posture de déni mène à terme à des situations de crise dans tous les domaines de la gestion territoriale comme de la sécurité des biens et des personnes. Les États sont défaillants et perdent toute crédibilité vis-à-vis des populations dont ils sont censés assurer la sécurité et favoriser le développement. Ceci ouvre la voie à tous les extrêmes en matière de gouvernance.

2.2.2. Scénario de la fragmentation de la gouvernance internationale

F : Fragmentation persistante

Le « moteur » de ce scénario est la stratégie d'autonomie nationale des États face à une dégradation globale de l'environnement et notamment des littoraux et des fonctions écologiques associées. Les différences de moyens financiers et technologiques entre pays et l'absence de solidarité internationale conduisent à de fortes divergences entre grandes régions mondiales, pays, voire entre provinces d'un même pays quand leurs situations sont contrastées. La logique politique dominante, stable au sein de régimes souvent peu démocratiques, est celle de la « défense de ses propres intérêts ». Ce monde, fragmenté et turbulent, fait coexister une grande variété de situations avec, à l'extrême d'un côté, des États riches disposant de ressources et de technologies suffisantes pour leur permettre de se protéger de la montée des eaux afin de sécuriser patrimoine et ressources et, à l'extrême de l'autre côté, des États pauvres ou faillis qui subissent les contraintes du changement global sans capacité de remédiation ni d'anticipation des conséquences.

Ces trajectoires différentes, voire opposées, ne font que renforcer une évolution vers un fonctionnement quasi « bipolaire » de la planète, certains États renforçant leur protection au regard de la montée des eaux en premier lieu mais également des mouvements de populations qui en résultent, les autres, à l'inverse, subissant les risques climatiques et abandonnant les territoires devenus trop inhospitaliers en termes de sécurité et d'accès aux ressources.

La situation ne laisse que peu de place à la collaboration internationale et en particulier la prévention collective du changement climatique. Par conséquent, le contexte physique, déjà sérieux en 2050, ne fera qu'empirer dans les décennies qui suivront, justifiant de plus en plus les politiques de repli et d'individualisme des États.

Les politiques touchant à l'urbanisation du littoral en constituent un exemple emblématique. Ainsi, les États les plus développés mènent de front une politique de lutte contre l'invasion marine (construction et/ou élévation de digues) tout en réduisant l'urbanisation des zones littorales, les villes restantes s'adaptant aux contraintes

en privilégiant les systèmes de gestion (alarmes, évacuations préventives...). A l'inverse, les États les plus pauvres ne peuvent s'opposer à l'essor de mégalo-poles situées en zones littorales, recueillant notamment les populations rurales chassées par la perte de leurs terres agricoles (causes : salinisation, submersion, érosion...). Cette évolution accroît la vulnérabilité des populations aux phénomènes naturels et aux crises sanitaires.

Il en va de même en matière de gestion de l'environnement et des ressources (limitation des dégâts d'un côté et dégradation marquée de l'autre) ou de l'accès aux ressources alimentaires : diversification des pratiques et des sources d'approvisionnement d'un côté contre dégradation des terres et crises alimentaires chroniques de l'autre.

L'occurrence croissante d'événements climatiques extrêmes entraîne une augmentation des évacuations. Certaines villes importantes, voire des capitales comme Bangkok ou Manille, sont touchées. Au regard des disparités extrêmes et de crises alimentaires répétées, ces déplacements de population finissent par évoluer en migrations massives chroniques très difficiles à gérer à l'échelle internationale. Dans un tel contexte, la montée de foyers de violence n'est pas à exclure. En lieu et place d'une prise de conscience à l'échelle planétaire, ces signaux d'alerte contribuent à renforcer la logique de repli des États cherchant à se protéger de toutes « agressions extérieures ».

Si, pour les États les plus riches, la politique littorale devient une démarche prioritaire et structurante, incluant la recherche d'opportunités (aquaculture sur les terres gagnées par la mer par ex.), pour la majorité des pays vulnérables, elle se traduit d'abord par un repli anarchique et subi.

Même si certains réussissent à « limiter la casse » (mais jusqu'à quand ?), le scénario reste bien sombre à l'échelle mondiale. Il illustre que, sans approche concernée et globale, il ne semble guère possible d'envisager des perspectives durables pour la planète et l'ensemble de ses habitants.

2.2.3. Scénarios de l'adaptation de la zone littorale

A1 : Maîtrise climatique

Dans ce scénario, l'atténuation du changement climatique a été précoce et massive, limitant l'élévation du niveau des mers. Les acteurs nationaux se sont coordonnés à l'échelle internationale pour une gestion globale des biens communs et surtout ont mis en place des mesures proactives pour arriver à la neutralité carbone, d'une part, en mettant en œuvre une décarbonation de l'économie, incluant une transition énergétique basée sur une sortie des énergies fossiles et leur substitution par des énergies renouvelables, et des fortes mesures d'efficacité énergétique et, d'autre part, par un captage et un stockage accru du carbone par des technologies de séquestration dans les couches géologiques (technologies CCS) mais aussi par un accroissement du carbone organique des sols.

Face à un changement climatique limité engendrant une faible hausse du niveau de la mer, les stratégies d'adaptation du littoral mise en œuvre sont des mesures incrémentales basées sur la transformation de la ville

sans remise en cause du développement urbain. Pour autant, la hausse du niveau de la mer et les événements extrêmes ont ponctuellement des impacts importants sur certains littoraux plus exposés aux aléas.

En 2100, l'élévation du niveau des mers est restée un phénomène limité en comparaison à ce qui était envisagé et attendu à la fin des années 2010. S'appuyant sur une perception similaire parmi tous les acteurs de l'importance des changements globaux, des politiques globales d'atténuation du changement climatique ont été mises en place de manière précoce (dès 2025) et massive, et ont limité le changement climatique et ses conséquences sur la hausse du niveau de la mer.

Face à un changement climatique limité, les aléas sur les zones littorales ont été relativement limités. Cependant, les espaces littoraux ont connu une croissance de leur population et un développement rapide de l'urbanisation et de méga-villes qui a augmenté la vulnérabilité de ces espaces. Il en résulte une croissance du risque dans certaines zones pourtant exposées à un aléa modéré. Les aménagements du littoral qui ont été mis en œuvre pour faire face à la montée du niveau de la mer correspondent généralement à des stratégies incrémentales et à une transformation de la ville sur elle-même. Cependant, dans certaines zones particulièrement exposées (telles que les deltas) où les phénomènes de subsidence des sols sont particulièrement marqués, des politiques d'aménagement et de planification urbaines visant un changement transformationnel ont été nécessaires afin de déplacer les populations et les infrastructures urbaines vers des zones d'arrière-pays moins exposées aux aléas.

Les espaces agricoles littoraux ont été fortement réduits en conséquence de la forte urbanisation. Cependant il y a eu une diversification des ressources alimentaires, grâce au développement de l'aquaculture durable, des échanges avec l'arrière-pays et d'autres territoires plus éloignés, et de nouvelles formes d'agriculture, plus durables et moins consommatrices d'eau. Cela a permis de maintenir un haut niveau de sécurité alimentaire malgré une salinisation progressive d'une partie des terres agricoles.

En matière de gestion des écosystèmes littoraux et de ressources naturelles, la bonne connaissance des mécanismes en jeu, la concertation permanente entre les acteurs usagers de l'espace et l'implication de tous les acteurs dans la décision ont permis de maintenir un bon état des milieux et des ressources afférentes. Cependant, un développement urbain mal régulé a pu entraîner ponctuellement des modifications et des altérations des écosystèmes servant de zones tampons.

A2 Villes résilientes

Les grandes villes et les mégapoles, devenues le cœur de l'économie mondiale, jouent un rôle crucial dans l'adaptation à la hausse du niveau de la mer et l'atténuation du changement climatique. La coordination des grandes villes à l'échelle mondiale, secondées par les États, a permis la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions, qui ont eu pour effet de limiter le changement climatique et ses conséquences sur la hausse du niveau de la mer. L'adaptation du littoral s'est focalisée sur les villes, délaissant les zones littorales de faible densité. Les grandes villes organisées en réseaux d'expérimentation et de recherche sur l'adaptation ont renforcé leur résilience face aux effets du changement climatique : vagues de chaleur, événements météo extrêmes et hausse du niveau de la mer, grâce d'abord à des protections artificielles et naturelles. Elles ont aussi, en s'appuyant sur des technologies numériques d'anticipation (données massives, Intelligence

Artificielle), travaillé à freiner les mécanismes de subsidence (réduction des prélèvements et accroissements des apports sédimentaires), à renforcer la sécurité nutritionnelle et alimentaire et à accroître la résilience des infrastructures énergétiques, de communication et de transport.

L'atténuation du changement climatique qui s'est organisé tardivement (entre 2030 et 2050) à l'initiative des grandes métropoles mondiales, qui ont mis en œuvre de forts investissements pour la transition énergétique et la réduction des émissions des GES, conduit à une hausse importante du niveau de la mer (1 m) en 2100.

La croissance de la population a été importante dans les zones littorales mais elle s'est concentrée dans des méga-villes côtières. Ces dernières sont restées des pôles d'attraction pour les populations, tandis que les autres zones littorales, peu densément peuplées, ont été délaissées. Des catastrophes à répétition ont conduit à un repli des populations littorales non-métropolitaines soit vers des zones d'arrière-pays moins exposées aux aléas, soit vers les métropoles.

Les grandes villes littorales organisées en réseaux globaux d'expérimentation et de recherche sur l'adaptation ont échangé des savoirs et leurs expériences pour renforcer leur résilience face à la hausse rapide du niveau des mers. Les méga-villes ont aménagé des ouvrages artificiels de protection et les combinent avec des écosystèmes côtiers qui constituent des zones tampons contre les inondations et les tempêtes (ex. mangroves, récifs coralliens). Les villes ont développé des infrastructures résilientes et des capacités d'anticipation, grâce à l'analyse de données et aux technologies de l'intelligence artificielle. Les méga-villes garantissent une sécurité alimentaire à leurs habitants grâce à la stabilité de leurs relations avec des sites éloignés (dans le même pays ou à l'étranger). De plus, ces métropoles ont appris à aménager des espaces économiques offshore pour assurer leur développement économique.

En dehors des méga-villes, les zones littorales se sont trouvées dans une situation de forte vulnérabilité face aux aléas. En conséquence, les populations, les activités et les infrastructures se sont repliées sur les arrière-pays. L'agriculture reste présente mais les terres agricoles littorales se réduisent sous l'effet conjoint de la salinisation et de l'artificialisation des sols à la périphérie des métropoles. Le trait de côte connaît de fortes modifications. De manière générale, les impacts négatifs sur les écosystèmes littoraux et côtiers sont importants dans ce scénario à la fois du fait de l'élévation du niveau des mers, des fortes variations du trait de côte et des pollutions urbaines.

A3 : Sobriété et anticipation

Le fil conducteur de ce scénario est l'intelligence collective des hommes face à l'élévation du niveau de la mer. Le choix de la sobriété des modes de vie à l'échelle mondiale a permis de réduire les émissions de GES, donc de limiter le changement climatique (CC moyen). Cependant, du fait des dynamiques amorcées et des émissions qui subsistent, l'élévation du niveau des mers est moyenne dans ce scénario bien que réduite par rapport à ce qui était projeté en 2018. Unis et coordonnés, les États ont été plus efficaces pour minimiser les effets négatifs de l'élévation, en adaptant les littoraux, et maximiser les éventuels effets positifs de ce phénomène. La priorité a été à la restructuration progressive de l'économie littorale afin de planifier le repli stratégique en redéployant les activités sur l'arrière-pays.

La gouvernance mondiale, bien que l'on observe de fortes disparités d'évolution d'une région à l'autre, a fait le choix de la décroissance économique, par la mise en œuvre d'une sobriété volontaire des modes de vie s'appuyant sur des mouvements de citoyens. Les investissements se sont concentrés alors dans les domaines de la recherche et de l'innovation technologique en vue de l'adaptation littorale. Les sources locales d'énergie ont été privilégiées en vue d'une autonomie énergétique, rendue possible dans ce contexte de sobriété. Face aux menaces liées au changement climatique et à la hausse du niveau des mers, une gouvernance impliquant les citoyens et les acteurs privés a joué un rôle clef dans l'équilibre des ressources et des sociétés.

Si le choix de la sobriété a fortement limité la hausse des émissions, le changement climatique reste important, du fait des dynamiques amorcées et des émissions résiduelles, entraînant une hausse moyenne du niveau de la mer. Cependant la vitesse modérée d'élévation du niveau de la mer a permis l'accumulation de données scientifiques pertinentes, conduisant à un changement des mentalités et des modes de vie, dont l'appropriation générale de l'idée que, dans les zones littorales, le repli stratégique coordonné à grande échelle est la meilleure solution.

La population littorale reste stable dans une première phase avant d'accepter le déplacement vers des zones sûres. En matière d'urbanisation et d'infrastructures, on retrouve ce passage progressif d'une politique d'ouvrages de protection dans un premier temps vers l'organisation du repli complet dans un second temps.

L'agriculture et l'alimentation suivent à terme cette lente évacuation, même si, au départ, la protection permet de protéger efficacement les terres agricoles. Ensuite, la diversification des sources d'approvisionnement et les synergies suscitées par les nouvelles contraintes (adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques, développement d'une aquaculture durable) permettent de sécuriser l'accès à l'alimentation.

En matière d'environnement, une bonne connaissance des mécanismes en jeu, la concertation permanente à tous les niveaux décisionnels et la détermination des acteurs à diminuer l'exploitation et l'usage des ressources permettent de conserver une certaine maîtrise des milieux et des ressources afférentes, notamment l'eau. La salinisation et la pollution des sols, l'érosion et le recul du trait de côte restent ainsi modérés.

A4 : Adaptation prioritaire et atténuation tardive

Dans ce scénario, l'adaptation à la hausse du niveau de la mer a été précoce dans toutes les régions littorales du monde, mais les actions en faveur de l'atténuation du changement climatique, tardives, ne se sont développées qu'après 2050. Il en résulte un fort changement climatique et une hausse importante du niveau des mers. Après 2050, la mise en place de mesures globales de lutte contre le changement climatique (en commençant par la décarbonation de l'économie dans chaque État) permet d'éviter le pire en termes de hausse du niveau de la mer, en limitant la hausse à 1 m.

Jusqu'à la moitié du siècle, les politiques étatiques poursuivent les tendances observées aujourd'hui (*business as usual*). On se situe dans un monde fragmenté, en mosaïque, avec une instabilité géopolitique, une croissance économique en *stop and go*, une prise de conscience de façade des enjeux du changement

climatique et une fragmentation de la production et de la consommation énergétique. A l'horizon 2050 l'emballement du changement climatique est tel qu'il devient urgent d'agir pour le limiter dans l'optique de pouvoir continuer à s'adapter en limitant les coûts. Cette prise de conscience débouche après 2050 sur la mise en place d'une coopération mondiale pour la gestion des biens communs et sur une transition énergétique vers la décarbonation de l'économie.

Anticipant le recul prévisible de leurs traits de côte, les régions ont mis en place très tôt des stratégies d'adaptation qui permettent de limiter l'impact de la hausse du niveau de la mer. Elles agissent, d'une part, en contrôlant le développement urbain et en stabilisant leur croissance démographique, et, d'autre part, en s'adaptant progressivement au risque par des innovations incrémentales ainsi que par le déplacement des habitations et des populations les plus exposées. L'implication de tous les acteurs et la solidarité à tous les niveaux en situation de crise permettent également aux villes d'augmenter leur résilience dans un contexte d'accroissement des aléas.

Dans le même temps, la production alimentaire sur les terres littorales s'est réorganisée. Malgré une disparition significative des surfaces agricoles, la salinisation et la pollution modérées des terres a contribué, avec la diversification des sources, au maintien de l'approvisionnement alimentaire, grâce, notamment, à la mise en œuvre de synergies entre systèmes aquacoles et agricoles. L'appropriation des enjeux de la hausse du niveau de la mer par les gouvernants et la société a conduit à la multiplication des formes de valorisation économique des littoraux.

L'adaptation par la protection des milieux littoraux a permis l'adaptation *in situ* des écosystèmes bien que les services écosystémiques en soient souvent altérés. Pour autant, dans un contexte de fort changement climatique, les dégâts sur les littoraux peuvent être localement importants à l'occasion d'évènements extrêmes dont l'intensité s'est accrue.

3. Focus territoriaux

Le choix a été fait de compléter l'élaboration de scénarios globaux par l'étude de certains territoires emblématiques des enjeux traités. Il s'agit à la fois à consolider les scénarios globaux et à vérifier leur pertinence dans des contextes géographiques et socio-économiques variés. Le choix de ces focus a porté sur des régions particulièrement sensibles à la hausse du niveau de la mer mais présentant des situations socio-économiques et un développement technologique différenciés notamment en matière d'ingénierie hydraulique.

Trois focus territoriaux ont été sélectionnés : (1) une région française vulnérable sur laquelle de nombreux travaux ont déjà été menés, la Nouvelle-Aquitaine, (2) un cas européen particulièrement sensible, les Pays-Bas, et (3) un cas potentiellement critique en Asie, le Vietnam. Les résultats devraient aider les partenaires de l'Alliance à prendre la mesure des enjeux mondiaux liés à cette question majeure et à en tirer les enseignements pour leurs priorités de recherche et de partenariat à moyen et long terme.

Les scénarios présentés ci-après ont été préparés par des binômes responsables de chaque focus, puis discutés en atelier d'experts, et enfin ajustés lors de la rédaction finale par les responsables. De plus, le chapitre sur les Pays-Bas a bénéficié des informations et des débats issus d'un voyage d'étude aux Pays-Bas de deux jours (les 27 et 28 juin 2018) réalisé avec le concours actif de l'Ambassade de France et du Ministère néerlandais de l'eau.

3.1. Nouvelle-Aquitaine

(Nicolas Rocle et Nicolas de Menthère)

Le littoral en Nouvelle-Aquitaine : diversifié, dynamique et attractif

La région Nouvelle-Aquitaine est issue de la fusion, en 2015, des trois anciennes régions Aquitaine, Limousin et Poitou-Charentes. Avec 12 départements totalisant 84 000 km² sur ce grand ensemble Sud-Ouest, elle est la région la plus vaste de France. En dehors de la métropole bordelaise (avec 900 000 habitants environ) et des principales aires urbaines (Limoges, Poitiers, Pau, La Rochelle, Angoulême...), sa population globale, d'environ 5,9 millions d'habitants, se répartit principalement dans des villes moyennes ou des petites agglomérations. Le caractère rural de la région est notamment lié à une grande superficie forestière (environ le tiers du territoire) et une production agricole importante et diversifiée. Le dynamisme démographique, touristique et économique de la région est fort et tout semble indiquer que ces dynamiques vont se poursuivre : la richesse de ses patrimoines naturels et culturels, la démographie en constante progression (notamment sur le littoral), le poids de certaines industries et des secteurs agricoles et touristiques en font un des territoires les plus attractifs au niveau national.

En Nouvelle-Aquitaine (selon l'acception du décret du 29 sept. 2019; et pour la suite du texte), le linéaire côtier de 970 km (dont 4 îles) est très diversifié, autant en termes d'occupation et d'activités humaines qu'au niveau des milieux et des écosystèmes qui le composent : côtes rocheuses, plages et barres sédimentaires, estuaires (dont celui de la Gironde, plus grand estuaire non endigué d'Europe), baies et estrans tidaux ainsi

que plaines côtières de faible altitude par rapport au niveau des plus hautes mers. De larges portions de littoraux naturels sont entrecoupées par une dizaine de stations balnéaires réparties le long de la côte, avec des pôles ou des aires urbaines comme La Rochelle, Arcachon et la communauté d'agglomération Pays Basque. La fréquentation en hausse et la diversification des activités touristiques et récréatives caractérisent ce littoral riche et varié, mais les phénomènes d'érosion et de submersion marine (très hétérogènes dans le temps et dans l'espace) en font aussi un littoral particulièrement vulnérable aux changements environnementaux globaux. Ce littoral fait l'objet d'une prise en charge scientifique et politique singulière, en particulier du fait d'un important potentiel de recherche et d'expertise, mais aussi des modes de coordination institutionnelle, notamment sous l'égide du Groupement d'Intérêt Public (GIP) Littoral aquitain, dont le périmètre d'action couvre désormais l'ensemble du littoral néo-aquitain.

Dynamiques démographiques et économiques

Par rapport à l'ensemble régional, le littoral de Nouvelle-Aquitaine est davantage polarisé par des agglomérations et en premier lieu par la métropole bordelaise. Il constitue ainsi un moteur essentiel de la démographie avec 50 % de la population régionale habitant à moins de 60 km de l'océan. Le solde migratoire positif est combiné à une économie touristique importante, avec une augmentation des capacités d'accueil de 16,5% entre 2000 et 2012, dont 70% sont représentées par les résidences secondaires. L'emploi saisonnier se développe concomitamment à cette économie littorale et maritime, dont les principaux vecteurs d'identité sont la plaisance et les loisirs nautiques (La Rochelle est le 1^{er} port de plaisance avec 5100 places), la pêche professionnelle et l'aquaculture (conchyliculture et mytiliculture), les industries navales et nautiques, les ports de commerce (La Rochelle, Bordeaux, Bayonne, Tonnay-Charente), ainsi que l'industrie de la glisse avec des entreprises de renommée internationale. La centrale nucléaire du Blayais, située au bord de l'estuaire de Gironde près de la commune de Blaye, a été mise en service en 1981 et produit environ 25 TWh par an. L'économie dynamique du littoral néo-aquitain se caractérise ainsi par la diversité des formes productives, industrielles et de services même si certaines activités primaires diminuent au profit d'activités tertiaires orientées notamment vers le tourisme et les loisirs de plein air.

Dynamiques physiques et risques associés

Suite aux tempêtes de l'hiver 2013-2014, une actualisation des projections de recul du trait de côte à l'horizon 2050 a été réalisée par l'Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine (Bernon *et al*, 2016). Le recul moyen estimé pour le littoral aquitain à 2050 est ainsi de 50 m sur la côte sableuse et de 27 m sur la côte rocheuse. A ceci peuvent s'ajouter des reculs brutaux lors de tempêtes ou d'événements pouvant intervenir à tout moment, de l'ordre de 25 m pour la côte sableuse comme pour la côte rocheuse. L'augmentation de l'élévation du niveau de la mer est actuellement, au droit du littoral de la Nouvelle-Aquitaine, de l'ordre de 3 mm/an. Dans l'état des connaissances actuelles, on retient que le climat affectera les zones littorales d'une part, du fait de l'élévation du niveau de la mer, d'autre part, du fait de la réduction des débits solides et liquides des bassins versants, ce qui affectera notamment la Gironde. En revanche, les effets liés à d'autres facteurs de forçage sur la côte (intensité et fréquence des événements extrêmes, orientations principales de la houle et évolution des régimes de tempêtes) seront d'un ordre de grandeur inférieur. Parmi les conséquences de cet ensemble de phénomènes figurent, dans un premier temps, une aggravation perceptible des phénomènes de submersion marine, puis, ultérieurement, des transformations graduelles des paysages et des milieux littoraux et une accentuation des phénomènes d'érosion. Les effets sur les estuaires, les milieux

limono-vaseux ainsi que les coûts et dommages associés demeurent aujourd'hui peu connus. Ces évolutions sont examinées dans le chapitre « littoral » d'un récent rapport du groupe scientifique régional sur le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine (AcclimaTerra, Le Treut (dir.), 2018).

Institutions et gouvernance du littoral

Les dynamiques à l'œuvre en Nouvelle-Aquitaine sont souvent présentées comme particulièrement abouties aux niveaux institutionnels et organisationnels. Ce constat provient d'un ensemble de facteurs historiques et d'une dynamique collective depuis les années 2000 qui s'est concrétisée par différentes orientations politiques en termes d'urbanisation et d'aménagement du littoral. Ce cas d'étude fait en outre apparaître des différences notables entre le littoral de l'ex Aquitaine et le littoral du département de Charente-Maritime, tant vis-à-vis des vulnérabilités liées au changement climatique que des logiques d'action en cours.

Au plan historique, les principes d'aménagement posés par la Mission Interministérielle d'Aménagement de la Côte Aquitaine (MIACA) ont conduit à une urbanisation relativement concentrée sur les stations balnéaires et leur rétro-littoral, afin de maintenir de larges « secteurs d'espaces naturels ». L'observation et le suivi des dynamiques côtières, sur ce linéaire particulièrement mobile depuis sa formation géologique, ont également conduit à de très nombreux travaux de recherche et d'expertise, et à la création de l'Observatoire de la Côte Nouvelle Aquitaine en 1996. Enfin, la volonté de pérenniser une action collective à l'échelle régionale s'est traduite par la création, en 2006, du Groupement d'Intérêt Public (GIP) Littoral Aquitain, réunissant l'ensemble des collectivités territoriales du littoral de l'ex Aquitaine et des services de l'État. Ce groupement est défini comme « *un lieu de production d'études à caractère prospectif mais aussi un outil de concertation, de mise en cohérence des projets, d'échanges d'expériences et de diffusion de bonnes pratiques entre ses membres et partenaires [dans] trois domaines principaux : l'organisation de l'espace littoral, la gestion de la bande côtière et l'aménagement touristique durable* » (<http://www.littoral-aquitain.fr/>).

A partir des travaux de l'Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine sur les dynamiques d'érosion et de recul du trait de côte, et dans le cadre du partenariat conduit par le GIP Littoral Aquitain, une stratégie régionale de gestion de la bande côtière a été validée en 2012. Elle vise à encadrer et à accompagner les collectivités dans la mise en place de « stratégies locales de gestion de la bande côtière » sur les principales zones de vulnérabilité. Ces stratégies ne se substituent pas aux dispositifs réglementaires tels que les plans de prévention des risques littoraux (PPRL), mais comportent divers actions depuis l'amélioration et la consolidation des connaissances jusqu'à l'adoption de stratégies à moyen-long terme pour répondre aux tensions entre attractivité des stations, vulnérabilités liées à l'érosion, et protection des biens et des personnes². De même, d'autres dispositifs prospectifs et d'ingénierie en partenariat avec les collectivités sont proposés, tels que la démarche « Aménagement durable des stations », et le futur schéma d'organisation de l'espace du littoral aquitain. Ces dispositifs récents visent ainsi à s'adapter aux dynamiques littorales et aux risques associés, tout en intégrant les nécessités de rénovation des stations balnéaires et de réflexions

² Le linéaire sableux important de ce littoral soulève en particulier des questions juridiques liées aux mécanismes d'acquisition et d'indemnisation des biens menacés par l'érosion marine : c'est le cas emblématique de l'immeuble Le Signal, situé à Soulac-sur-Mer, dont les propriétaires ont fait l'objet d'une expropriation du fait des menaces d'effondrement du bâtiment situé à une vingtaine de mètres du trait de côte, sans avoir bénéficié jusqu'à présent d'une indemnisation au titre du Fonds de prévention des risques naturels majeurs (dit Fonds Barnier), l'érosion marine en côte sableuse étant jugée non éligible au titre de ce fonds de prévention.

prospectives en termes d'urbanisme, de mobilités et d'organisation de l'espace sur la frange terrestre du littoral (incluant la préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers).

LITTORAL AQUITAIN *
DÉPARTEMENT D'INTERET PUBLIC

Stratégies locales de gestion de la bande côtière
Avancement au 1^{er} septembre 2018

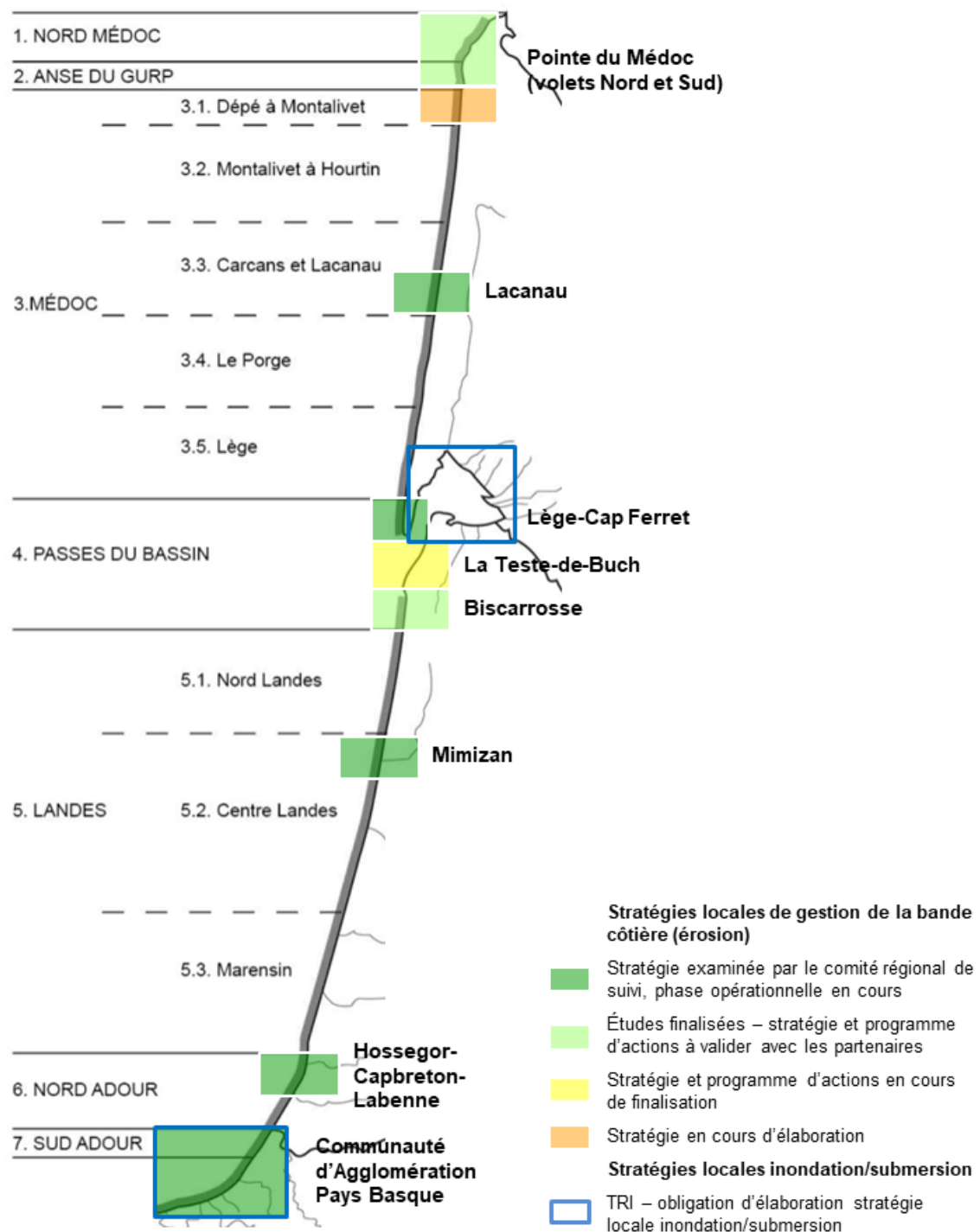


Figure 5 : Cartographie de l'état d'avancement, au 1^{er} septembre 2018, des stratégies locales de gestion de la bande côtière sur le littoral aquitain (source : GIP Littoral Aquitain)

Trois scénarios plausibles

Les trois scénarios suivants partent d'une même évolution climatique mondiale « de référence », caractérisée par une élévation moyenne du niveau de la mer de 30 cm en 2050 et de 100 cm en 2100, avec une pente d'évolution toujours positive à la fin du siècle et des événements climatiques extrêmes plus fréquents et plus forts.

Scénario 1 : Des stratégies de gestion à la dérive

La croissance démographique n'ayant pu être freinée sur le littoral de Nouvelle-Aquitaine avant 2050, la plupart des stations balnéaires ont accueilli de nouveaux résidents et ont fait l'objet d'une rénovation importante en termes de logements, d'infrastructures et de cadre de vie. Cette attractivité a incité nombre d'élus locaux à décider (avec l'aide de différentes expertises) le renfort des mesures de protection, parfois avec des ouvrages massifs et dont les coûts associés ont endetté les collectivités sur plusieurs décennies.

Cependant, malgré le foisonnement d'initiatives locales ayant cherché à contrecarrer les effets de l'érosion et des submersions (de plus en plus violentes à chaque tempête), les collectivités peinent à s'adapter au rythme des dégâts et des dommages sur le littoral. Ceci est encore plus exacerbé en Charente-Maritime, où les submersions couvrent à chaque fois de plus grandes étendues de marais mais aussi d'habitations. Le pôle de La Rochelle est particulièrement déstabilisé, notamment au niveau des ports de plaisance et des aménagements en front de mer.

Les stratégies locales de gestion de la bande côtière, initiées dans les années 2010, n'ont donc pas entraîné de changements importants dans la manière de penser et de vivre sur le littoral, tout juste ont-elles permis de renforcer les connaissances sur les phénomènes et de limiter les risques d'une non-conformité aux exigences européennes parues dans les années 2030. Il faut dire que les intercommunalités, qui avaient repris toutes les compétences et prérogatives en matière de « défense contre la mer », se sont difficilement entendues sur des actions coordonnées qui ne reportent pas les effets de l'érosion en aval de la dérive sédimentaire.

Un sursaut est cependant intervenu en 2045, alors que les taux de recul du trait de côte se faisaient de plus en plus importants à chaque hiver, et que les coups de boutoir lors des tempêtes commençaient à faire vaciller le système d'indemnisation des catastrophes naturelles mis en place en France en 1982. L'État entreprit alors une révision de ce système assurantiel, conditionnant en particulier la reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles à de nouvelles mesures de prévention et de gestion de crise. De même, l'érosion en côte sableuse et en côte rocheuse a donné lieu à la création d'un Fonds d'aide pour la recomposition littorale, permettant des acquisitions et des indemnisations par anticipation et prévention de risques pour les personnes et les biens. Mais cette adaptation par réaction et par ajustement n'était déjà plus à la hauteur de la « *preparedness* » qu'appelaient de leurs vœux des scientifiques, des organisations non gouvernementales et des mouvements citoyens à la suite du Sommet d'Abidjan en 2025...

Les conséquences de cette course contre les événements météo-marins commencent alors à être de plus en plus lourdes pour la région. Parmi les territoires les plus touchés par la montée du niveau de la mer, le bassin

d'Arcachon a lui aussi une toute autre morphologie, et les infrastructures du pourtour de cette lagune (ports, routes, habitations, réseaux d'eau et d'assainissement...) sont progressivement fragilisées. Des phénomènes de pollution des eaux de plus en plus chroniques mettent à mal les filières conchylicoles, de même que la fréquentation touristique au regard des interdictions de baignade et des épisodes de submersion.

C'est donc un abandon progressif, peu ordonné et forcé que vivent les édiles locaux dans la seconde moitié du 21^e siècle. Les ruines accumulées au pied des falaises rocheuses et la presqu'île disparue du Cap Ferret constituent en 2050 les marqueurs d'une modification profonde des paysages qui étaient tant recherchés par les touristes et les amateurs de sentiers littoraux au début du siècle. Cet « exode littoral » entraîne une augmentation rapide de la population dans l'aire métropolitaine bordelaise, qui révisé alors ses schémas d'aménagement tous les 3 à 5 ans, aussi bien pour intégrer cette urbanisation galopante que vis-à-vis des soubresauts de l'estuaire dont on ne sait plus très bien appréhender la dynamique d'évolution en 2100.

Scénario 2 : Aquitania ou la dépoldérisation du bassin aquitain

« Vivre avec le risque » : ce mot d'ordre était apparu dans les années 2010 alors que les gouvernements européens voyaient poindre de sérieux problèmes quant aux effets du changement climatique sur les littoraux. Il est finalement devenu le paradigme de la gestion des risques dans les années 2020, et a été particulièrement moteur en Nouvelle-Aquitaine, parallèlement aux efforts importants d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

Ainsi, dès 2021 avec les nouveaux « fonds européens de développement régional et de résilience territoriale », la Région et l'État ont-ils affirmé plus nettement encore que les aménagements et les modes d'occupation du littoral devaient être rendus compatibles avec un accompagnement des processus naturels, une libre évolution des cours d'eau et des estuaires, ainsi que les dépoldérisations provoquées par les tempêtes et l'élévation du niveau de la mer. Ces sources de financement étant devenues incontournables pour les collectivités, ces dernières ont tout mis en œuvre pour satisfaire aux nouvelles exigences et, de contraintes au départ, ces exigences sont devenues de véritables principes directeurs pour nombre d'acteurs du littoral.

Des collaborations avec les Pays-Bas et certains pays d'Asie du Sud-Est ont notamment permis, par le biais de réseaux scientifiques, d'associations, de collectifs d'architectes-urbanistes et d'aménageurs, de développer des formes innovantes d'habitat modulable, réversible et pour certains flottants, afin de les déployer dans les zones rétro-littorales. Cela n'a pu être possible qu'à partir du moment où de nouvelles modalités de gestion souple du trait de côte ont été mises en œuvre, en écho à certains programmes d'expérimentation et de démonstration portés par le Conservatoire du Littoral, l'Agence Française pour la Biodiversité, des syndicats mixtes... Le concept de « solutions fondées sur la nature » a fait florès, d'abord porté par quelques associations d'environnement mais rapidement approprié dans de nombreux secteurs d'activités : nouvelles formes d'élevage dans les marais et plaines côtières, aquaculture durable, agriculture diversifiée et vivrière, bois-énergie, valorisation des espaces ennoyés par de nouvelles activités récréatives et sportives (engins et sports de glisse, tourisme flottant, etc.).

La tempête de 2047 a alors eu un tout autre retentissement que ce que les villes littorales avaient eu l'habitude de vivre : on ne déplorait plus les dégâts à la côte, on observait plutôt les effets sur la morphologie littorale afin de s'en inspirer et d'innover toujours plus dans les formes d'occupation et de valorisation (qui n'était plus une valorisation patrimoniale mais une valorisation plus éphémère, sensible et artistique). La

moitié des métiers du littoral ont ainsi été créés à partir de ces nouvelles relations aux lieux et aux paysages, le littoral n'étant plus le lieu de villégiature de naguère mais un gisement de ressources alimentaires, économiques, symboliques...

A partir de 2060-2070, l'élévation du niveau de la mer a induit une profonde modification du linéaire côtier, des dunes, des estrans, des marais et des landes. La vigne n'est plus cultivée sur la rive gauche de l'estuaire, et le démantèlement de la centrale du Blayais a été anticipé par la mise en place de turbines hydro-électriques et d'éoliennes. Lacs, marais, étangs et autres milieux humides composent désormais une mosaïque bleue, verte et saumâtre à l'échelle du bassin aquitain. Les écosystèmes, recomposés ou émergents, limitent sensiblement la vulnérabilité sanitaire des populations, bien que des comités de vigilance et d'alerte aient été constitués le long de l'estuaire de la Gironde.

A la fin du siècle, le visage de la Nouvelle-Aquitaine est totalement différent de ce qu'il était 100 ans auparavant : les métiers, les filières, les pratiques de loisirs constituent en grande majorité une économie bleue où l'eau est au cœur des efforts de préservation et de développement soutenable. L'élévation du niveau de la mer, qui se profile encore pour plusieurs siècles, est ainsi accompagnée, appropriée et mobilisée comme vecteur déterminant du devenir de la région.

Scénario 3 : Les métropoles et leurs presqu'îles

Le renforcement des politiques de prévention et de précaution face aux risques littoraux, en France et en Europe plus généralement, a progressivement conduit entre 2020 et 2050 à freiner les mobilités démographiques vers les zones côtières, au profit d'une densification des arrière-pays mais aussi des métropoles proches de la mer. En Nouvelle-Aquitaine, les politiques d'aménagement ont ainsi cherché (et pour partie réussi) à diminuer l'urbanisation sur la bande littorale, tandis que la métropolisation sur les pôles bordelais et rochelais s'est poursuivie selon un rythme soutenu.

Parallèlement, les mesures de protection se sont renforcées là où les enjeux socioéconomiques étaient les plus forts, c'est-à-dire sur la plupart des stations balnéaires, le Pays Basque et la métropole de La Rochelle, exception faite du bassin d'Arcachon où les niveaux d'eau ont conduit à des mesures diversifiées (protection, dépoldérisation et relocalisation selon les sites à enjeux) afin d'atténuer au mieux les effets de l'élévation des niveaux marins. Les coûts très élevés de ces actions de protection ont été supportés par des mécanismes nouveaux que les métropoles ont décidé de piloter afin d'investir dans de nouvelles offres de biens et de services à destination de leurs populations.

Les stations littorales, devenues des antenne-relais des métropoles grossissantes, évoluent alors sur le plan de leur aménagement comme de leur fonctionnement : les réseaux de transport intelligent se sont développés pour accompagner des mobilités quotidiennes et des excursions de plus en plus nombreuses depuis les métropoles, participant d'un modèle économique où les stations balnéaires doivent constamment s'adapter à une demande particulièrement labile en termes de fréquentation touristique et récréative.

Au-delà des stations balnéaires, ayant été identifiées comme prioritaires au plan de la sécurité et de la diminution des vulnérabilités, ce sont davantage la gestion souple et l'accompagnement des processus qui priment dans les zones à plus faibles enjeux, principalement du fait de cette hiérarchisation des territoires qui se traduit par un manque de moyens destinés à ces nouveaux « territoires du vide ». Les marais et les dunes

sont ainsi laissés en libre évolution et montrent des taux d'évolution et de recul de la côte importants à partir de la moitié du 21^e siècle, notamment en Charente.

Ces deux mécanismes (protection au droit des stations, et « laisser-faire » ailleurs) composent progressivement un linéaire côtier très disparate, marquant une alternance forte entre les secteurs urbanisés et les anciens « secteurs d'espaces naturels ». Un littoral « en pointillés », dessinant une suite de « presqu'îles » sur la côte sableuse de la Gironde aux Landes. Le Pays Basque investit massivement dans la protection des côtes rocheuses, mais le niveau de la mer et les modifications de courants et de houle transforment la morphologie des plages et des barres sous-marines : des conflits avec les surfeurs, les pêcheurs et autres « gens de mer » se font alors de plus en plus réguliers...

Sur la fin du siècle, la divergence entre les principales aires urbaines et les zones en libre évolution est de plus en plus exacerbée. Ces transformations dessinent un maillage très dense de réseaux de transport et d'infrastructures entre les métropoles et les presqu'îles du littoral aquitain : les interdépendances économiques et écologiques entre ces pôles sont de plus en plus fortes mais sont principalement gouvernées par les métropoles. Ces évolutions s'accompagnent enfin d'une diminution des surfaces agricoles et forestières dans l'arrière-pays, ce dernier étant désormais marqué par un mitage et une artificialisation difficilement contrôlée, obérant les capacités de résilience et d'adaptation des espaces naturels, agricoles et forestiers d'une partie de la région.

3.2. Pays-Bas

(Olivier Mora et Audrey Bethinger)

Le Delta Rhin-Meuse-Escaut

Les Pays-Bas accueillent le delta de trois fleuves (Rhin-Meuse-Escaut) qui se jettent dans la mer du Nord et sont traversés de plus par 600 km de rivières.

Les zones inondables représentent 60% de la superficie du pays soit une menace pour 9 millions d'habitants, dont les grandes métropoles d'Utrecht, Amsterdam, La Haye et Rotterdam (qui forment la conurbation de Randstad).

Dans ce contexte hydrologique, les Pays-Bas se sont dotés de 3700 km de défense primaire contre les inondations et de plus de 14 000 km de réseau secondaire. Il s'agit principalement de digues, traditionnellement construites en argile, et d'un renforcement des dunes naturelles.

La partie centrale du pays est particulièrement vulnérable aux risques d'inondation et de submersion marine, avec un point bas à presque 7 m au-dessous du niveau de la



mer, ce qui nécessite un pompage permanent en période de crue.

Les Pays-Bas consacrent 7 milliards d'euros par an pour la gestion de l'eau, principalement pour la prévention des inondations fluviales et la gestion de l'eau potable. Ce budget est alimenté par les taxes prélevées sur les propriétaires fonciers et les usagers de l'eau.

La stratégie de gestion du risque lié à l'eau sur les zones littorales combine plusieurs actions complémentaires menées en parallèle :

- Le renforcement des dunes par des apports de sable (tous les 2 ans)
- La construction et l'entretien de digues sur les fleuves
- La barrière amovible (*Maeslantkering*) destinée à protéger la ville et le port de Rotterdam contre les tempêtes exceptionnelles et contre les surcotes (fermée 2 fois depuis son inauguration en 1987)
- L'expérimentation d'un « *Zandmotor* » (ou « *sand engine* ») où l'apport de 21 millions m³ de sable vise à renforcer l'approvisionnement du cordon littoral en sable en utilisant le courant de dérive littorale comme moteur naturel de transport des sédiments

Gouvernance et gestion de l'eau

Il existe aux Pays-Bas une véritable gouvernance de l'eau, qui remonte au moyen-âge. « A la fin du XII^{ème} siècle ont commencé à se constituer des autorités régionales de l'eau ou *waterschappen*. Ces conseils de l'eau avaient trois grandes missions, coordonnées par un maître de digue : la gestion des digues, celle des systèmes de drainage, ainsi que l'arbitrage des conflits. Les *waterschappen* ont également introduit une taxe qui devint rapidement régulière et imposable à tout le monde, quel que soit son rang ou sa profession. En ceci, les *waterschappen* sont considérés comme un des premiers dispositifs territoriaux élaborés pour la gestion collective de l'espace » (Gueben-Venière, 2015).

On peut parler d'une « démocratie fonctionnelle » pour la gestion de l'eau. Celle-ci s'appuie aujourd'hui sur les « *regional water authorities* » dont les membres sont élus directement par les résidents et des représentants des usagers, et qui a une fiscalité propre. Il y a également une implication des différents pouvoirs territoriaux, des acteurs partie-prenantes et des instituts de recherche.

Les enjeux de la gestion de l'eau varient suivant les lieux et sont de trois ordres :

- Le risque de submersion marine (sur les côtes, impact de la montée de la mer)
- Le risque d'inondation par les rivières (dans l'intérieur du pays)
- Le risque de sécheresse en été (sur les hautes terres)

Le plan Delta

A l'échelle nationale la gouvernance de l'eau repose essentiellement sur le plan Delta. Celui-ci assure la coordination des différentes échelles (région / province / national) et a pour rôle de créer un alignement des différents acteurs autour d'objectifs communs.

Origine

Le plan Delta fut élaboré par la commission éponyme suite à la tempête catastrophique de 1953, qui causa presque 2000 morts, força l'évacuation de 70 000 personnes, et une perte de 5% du PIB (10 000 têtes de bétail se noyèrent et 4 500 bâtiments furent détruits). Ce plan consista à fermer tous les bras de mer, à l'exception de l'Escaut occidental et du *Nieuwe Waterweg*, par de solides barrages. Dix barrages furent construits en trente ans et les digues systématiquement rehaussées. Le projet fut achevé en 1996, soit 43 ans après la catastrophe. Une autre mesure de protection fut le développement de grands lacs d'eau douce pour la protection contre les inondations, ces lacs étant aussi utilisés pour l'agriculture. En réduisant le risque d'inondation à un faible niveau pour les habitants, « le plan Delta a largement conforté une vision techniciste de la gestion des eaux et du littoral, consistant à repousser la mer au-delà de digues et barrages et à continuer de conquérir de nouvelles terres pour ne plus jamais revivre un tel drame » (Gueben-Venière, 2015).

Le plan Delta est un plan stratégique à mettre en œuvre pour maintenir le niveau de protection souhaité. Il est adossé à un agenda d'investissements correspondant. Il comprend trois volets : l'aménagement de l'espace (en particulier urbain), la gestion de l'eau, la gestion des catastrophes et des inondations. La gestion d'un système aussi complexe exige de bien coordonner les différents acteurs au sein d'une gouvernance multi-échelle : nationale, régionale et locale.

De la protection des populations à l'anticipation et la gestion des risques

Un **changement de philosophie** a vu le jour dans les révisions successives du plan delta. En effet celui-ci a d'abord été construit avec l'objectif de **protéger les populations grâce à des solutions technologiques** consistant à repousser la mer au-delà de digues et de barrages et à continuer de conquérir de nouvelles terres. Mais récemment il a été l'objet de contestations économiques, environnementales et politiques de la part des populations. Il s'agit désormais de « vivre avec les aléas météo-marins plutôt que de s'y opposer ». « Le challenge des Pays-Bas pour le siècle à venir ne concerne pas une menace à combattre. [...] La question fondamentale, centrale dans ce rapport, est plutôt : 'Comment pouvons-nous nous assurer que notre pays sera toujours attractif, pour y travailler comme pour y investir et y vivre pour les générations futures ?' » (*Deltacommissie*, 2008).

L'idée directrice du plan Delta est désormais de protéger en réduisant le risque d'inondation mais aussi d'anticiper l'impact d'une inondation possible.

1. **Réduire la probabilité d'occurrence** d'une inondation par des mesures appropriées : ouvrages de protection
2. **Réduire les dommages** si l'inondation arrive par l'aménagement de l'espace (aménagement urbain ; architecture résiliente aux inondations). En effet, l'augmentation du niveau de protection ne résoudra pas tout. Par exemple, le programme « *Room for the river* » met en œuvre un déplacement d'habitations et de population pour créer une zone d'expansion des crues.
3. **Se préparer** (gérer la catastrophe) et anticiper des réponses (restauration, réhabilitation des zones affectées).

Aujourd'hui, les décideurs évoluent vers une gestion intégrée du territoire répondant simultanément à plusieurs enjeux : défensifs, environnementaux, économiques et récréatifs.

De plus, une solidarité territoriale existe entre les différentes *Regional Water Authorities* pour le financement des investissements.

Les principes du Delta Programme sont les suivants :

- Le risque individuel acceptable d'inondation est le même pour tous les habitants ;
- L'implication des différentes instances de décision ;
- Une stratégie adaptative : garder les choix ouverts, faire ce qui est nécessaire, combiner investissements de court terme et stratégies de long terme, travailler avec la nature (ex. rechargement des plages) ;
- Un arrangement institutionnel pour garantir la continuité de l'action et l'engagement budgétaire de l'État : une sanctuarisation d'un fond delta de 1 milliard d'euros par an, la continuité d'un responsable (*Delta programme commissioner*), un rapport annuel au parlement, une loi (*Delta act*) ;
- Une surveillance et une évaluation continue des stratégies : détection des signaux faibles et procédures de révision.

Le futur envisagé dans l'actuel Delta Programme identifie plusieurs tendances d'évolution auxquelles il convient de faire face à l'horizon de 100 ans :

- une hausse du niveau des mers comprise entre 20-100 cm,
- des tempêtes plus fortes,
- une érosion croissante,
- un accroissement du débit des fleuves de 10% en hiver en raison des pluies plus intenses à cette période,
- une diminution du débit de 80% en été, et donc plus de sécheresse en été,
- une subsidence de 10 cm (principalement liée aux sols tourbeux),
- un développement spatial et une artificialisation des sols, avec un million de maisons supplémentaires,
- une salinisation des terres.

Une révision en cours du plan Delta

Le plan Delta est actuellement en cours de révision. En effet, ce plan présente une certaine robustesse à l'horizon 2050, mais de nouveaux éléments et particulièrement une **accélération de la montée du niveau de la mer à 2100**, pourrait conduire à sa révision drastique.

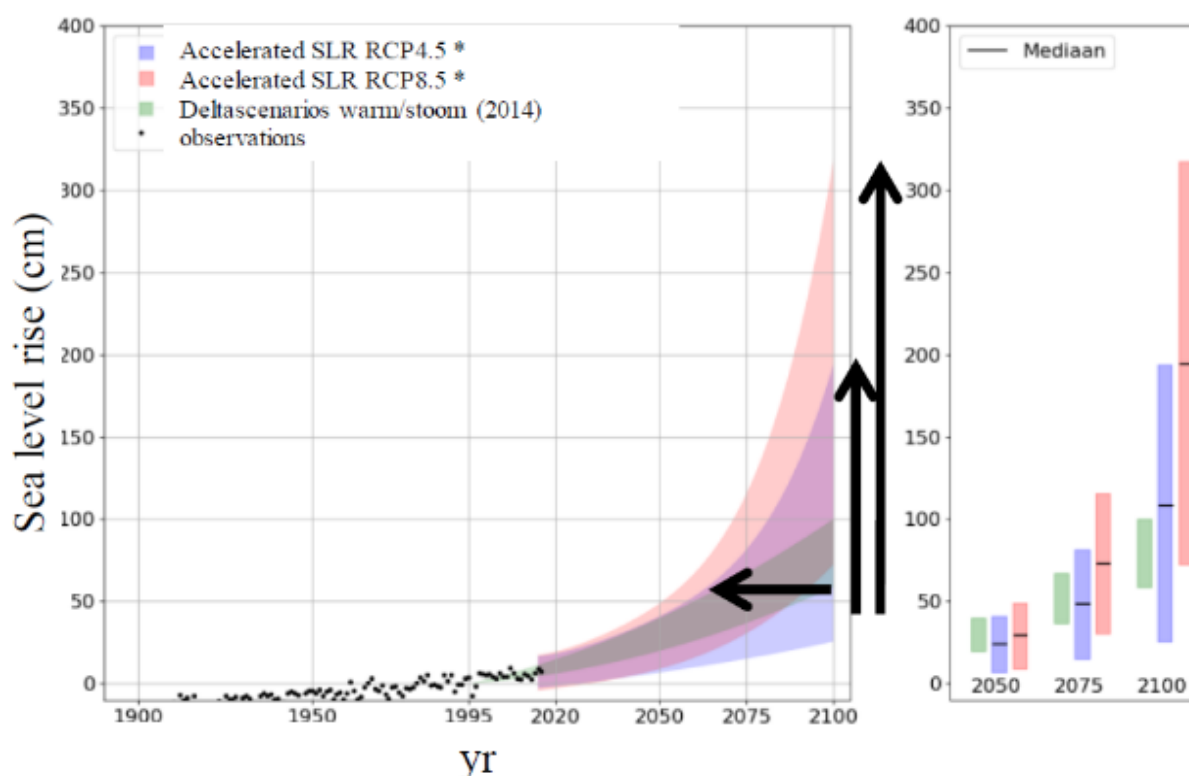


Figure 6 : Hypothèses d'évolution du niveau moyen de la mer (Le Bars *et al.*, 2017)

Actuellement les Pays-Bas font face à une élévation de 2 mm/an le long de la côte, mais on constate déjà une accélération du phénomène (signal donné par le système de surveillance et un rapport est en cours sur la fonte des glaciers de l'Antarctique). Un travail du *delta commissie* est en cours sur les conséquences d'une élévation des températures de 4°C en 2100. La hausse du niveau des mers passerait alors de 1 à 2m, voire 3 m sur les côtes néerlandaises.

En ce cas, la dynamique pourrait s'accélérer sur la période 2020-2100, et passer de +15mm/an en début de période, à +60 mm/an en milieu de période, pour finir à +100 mm/an en fin de période. Cette accélération pose la question des capacités d'adaptation à long terme du territoire néerlandais.

Ainsi, dans le pire cas de figure, l'efficacité des plans pourrait aller décroissant (cf. figure 7) :

- un plan pour juguler une élévation du niveau de la mer de 50 cm aurait une durée de vie (efficacité) de 60 ans,
- le plan suivant pour lutter contre une hausse de 1 m du niveau de la mer aurait une durée de vie de 20 ans,
- le plan suivant pour lutter contre une hausse de 1,5 m du niveau de la mer aurait une durée de vie de 10 ans.

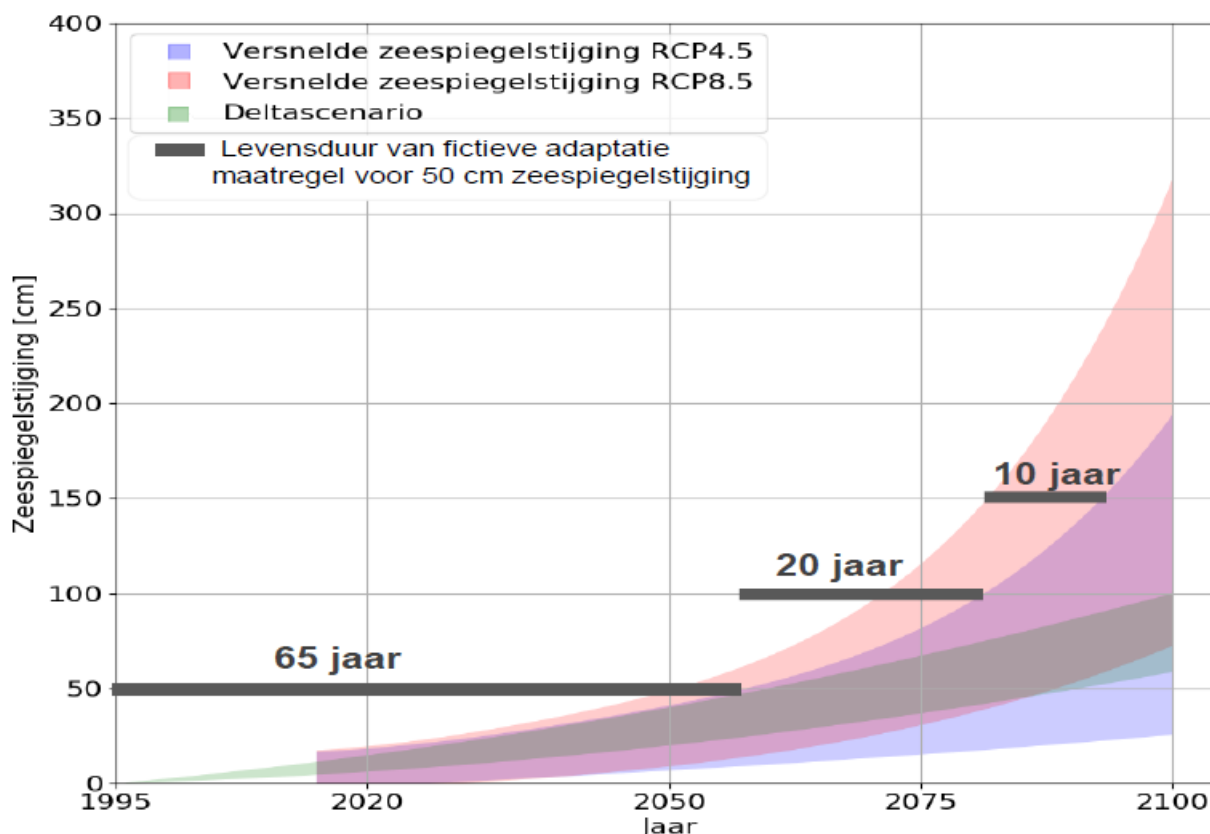


Figure7 : Délais potentiels de réaction face à une élévation de 50 cm (source : Jos van Alphen, Special advisor to Delta Program Commissioner, 2018)

Ces projections doivent être rapprochées du fait que le premier plan a mis 40 ans avant de réaliser tous les travaux planifiés.

De plus, une telle hausse entraînerait une très forte demande pour le rechargement des plages, et les coûts de rechargement risqueraient de croître jusqu'à devenir insoutenables.

Enfin, la barrière initialement prévue pour protéger le premier port d'Europe, actuellement fermée tous les 10 ans, devrait être fermée environ 30 fois par an, dans ce cas de figure. Il y a des doutes sur la capacité de cet équipement à répondre à de telles sollicitations sans compter les perturbations du trafic portuaire.

Les scénarios possibles : quelles trajectoires d'adaptation pour le « Dutch Delta » à l'horizon 2100 ?

La situation actuelle est marquée par une tension entre une faible atténuation du changement climatique et une forte adaptation aux inondations. La trajectoire actuelle des Pays-Bas est celle d'une forte adaptation à la hausse du niveau de la mer et aux inondations, à la fois du point de vue de la gouvernance et des technologies déployées. Cependant peu d'actions sont engagées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et le modèle de développement des Pays-Bas reste très émetteur. De ce point de vue, on reste sur une trajectoire conventionnelle de développement. Mais une telle trajectoire d'adaptation peut-elle être durable à l'horizon

2100, notamment s'il y a une accélération du changement climatique et une accélération forte de l'élévation du niveau de la mer ?

Scénario 1 : La technologie a ses limites

Le scénario envisage une trajectoire conventionnelle de développement : on maintient la logique actuelle, basée sur la confiance dans le « tout technologique », dont on renforce même le portage politique.

Les Pays-Bas ont mis en place une gestion adaptative du SLR s'appuyant sur les technologies et l'Intelligence Artificielle portée par une gouvernance de l'eau forte et intégrée. Ils cherchent à maintenir le trait de côte à tout prix mais en l'absence d'actions d'atténuation, le changement climatique s'emballe et les techniques de rechargement des plages sont progressivement mises en échec.

Après 2050, le plan Delta se révèle de moins en moins efficace, les tempêtes et la surcote qui leur est associée ne sont plus maîtrisables. Les populations sont contraintes à un retrait précipité. Les événements extrêmes de plus en plus fréquents s'accompagnent de forts dégâts.

Les Pays-Bas peinent à sortir d'une gouvernance « en silo » qui reste centrée sur l'eau, et à reconsidérer leur modèle de développement urbain et agricole. Ces deux secteurs ne sont pas intégrés à la gestion de la montée du niveau de la mer et sont donc particulièrement vulnérables.

Scénario 2 : Réaménagement du littoral

Les Pays-Bas s'impliquent fortement dans la lutte contre le changement climatique. L'adaptation au SLR repose sur une gouvernance démocratique de l'eau aux différentes échelles. L'Union européenne devient fer de lance de l'adaptation.

La stratégie adaptative a changé : retrait stratégique de la ligne de côte, constitution de zones-tampons sur les littoraux et renforcement d'infrastructures écologiques de protection et de barrages/digues plus en retrait. Cette adaptation se fait dans le cadre d'une coopération régionale avec la France, la Belgique, et l'Allemagne pour mieux réguler la gestion des débits des fleuves.

Le retrait des populations s'accompagne d'un réaménagement urbain afin de réduire la vulnérabilité de des grandes villes de la plaine basse centrale (principalement le triangle Rotterdam-La Haye-Amsterdam) au profit du développement des villes de petite taille, sur des plateaux surélevés.

Cette trajectoire s'appuie sur la forte culture démocratique de la gouvernance de l'eau qui est ici en capacité d'intégrer une diversité d'acteurs dans des changements radicaux de développement (ex. impact de la transition énergétique sur l'agriculture et les transports, acceptation du repli des habitations et infrastructures...), et d'inscrire la maintenance des infrastructures dans le long-terme en accord avec les populations.

3.3. Vietnam

(Denis Lacroix et Christian Valentin)

Grands traits du Vietnam

Le Vietnam est un pays du sud-est asiatique de 331.000 km² comptant quatre pays voisins, soit, du nord au sud, Chine, Laos, Thaïlande et Cambodge. Il s'étire sur 1500 km, la plaine côtière étroite étant adossée à la chaîne constituée de montagnes boisées d'accès malaisé, sauf au nord, dans le delta du fleuve Rouge (villes principales : Hanoï et Haïphong) et au sud, dans le delta du Mékong (ville principale : Ho-Chi-Minh ville). Il connaît un climat tropical à subtropical selon la latitude et est soumis à un régime de mousson, ce qui explique des précipitations abondantes variant de 1,2 à 3 m/an. C'est un pays riche d'histoire, constitué en royaume en 2500 avant notre ère. Dès l'indépendance du pays, après de longues guerres (1945 - 1975), le parti communiste structure la vie politique, économique et sociale. Le territoire est organisé en 58 provinces et 5 grandes municipalités.

La population compte 96,1 millions d'habitants (2017) répartis en 58 ethnies. Le taux de fertilité est de 1,81 enfant par femme et l'espérance de vie moyenne atteint 73,7 ans. La population, longtemps à dominante rurale, est de plus en plus urbaine (13,2% en 1995 à 34,1% en 2016).

L'économie « socialiste de marché » est en croissance assez rapide (6 à 7% par an) avec un PIB de 705 milliards \$ (35^e rang mondial, 2016). Le secteur majeur est constitué par les services (41%) suivi par l'industrie (33%) puis l'agriculture et la pêche. Le PIB/habitant a progressé de 600 à 2200 \$/an entre 1985 et 2016. Le pays est actif dans les structures internationales régionales comme l'APEC et l'ASEAN.

Les principaux axes d'analyse

Au plan environnemental

La plupart des documents consultés mentionnent le changement climatique comme composante de la montée du niveau de la mer, auquel s'ajoutent :

- la construction de 19 barrages en amont du pays dans le cas du delta du Mékong (« La mer des rivières » en laotien ; le 3^e du monde en taille, 4350 km de longueur). Parcours du fleuve : Chine, Myanmar, Thaïlande, Laos, Cambodge, Vietnam ;
- la réduction des apports en sédiments, en baisse de 2,5 à 1 milliard de tonnes/an, d'où le recul du delta, autrefois en extension ;
- les pompages dans les sols du delta à des fins agricoles (irrigation), urbaines (eau douce) ou énergétiques (gaz, pétrole) ;
- les extractions de sables et graviers pour le BTP (estimés *a minima* à 55 millions t/an, la Chine n'étant pas comptée) qui entraînent une érosion accrue des berges, le creusement des deux branches principales du fleuve (Mékong et Bassac) et le recul du trait de côte.

Une des conséquences majeures de cet ensemble de phénomènes est la dégradation de la biodiversité tout au long du fleuve et surtout en aval en raison des barrages qui bloquent toutes les espèces migratrices et « segmentent » artificiellement les populations. Les écosystèmes aquatiques d'eau douce deviennent plus pauvres, moins résilients aux changements et moins productifs.

La submersion est observée dans le delta du Mékong, dans certaines baies et lagunes de la côte centrale et dans la région nord Haïphong - Hanoï. Le plus grand enjeu toutefois est celui du Mékong en raison de la densité urbaine et de l'importance économique de cette région, notamment au plan agricole (riz).

Les estimations de la hausse du niveau de la mer varient beaucoup selon les études et les années de publication (elles croissent avec le temps). La hausse relative annuelle varie de 0,3 à 2,2 cm par an dans le delta (**soit une fourchette de 30 cm à 220 cm en 2100**) mais la subsidence compterait pour **80 à 90% dans ce bilan**. Sur la période 1995- 2010 et à partir de 106 puits distribués dans tout le delta, on observe une baisse moyenne du niveau supérieur des nappes phréatiques de 30 cm par an et une subsidence moyenne de 1,6 cm/an (de 1 à 4 cm selon sites) selon les mesures par satellite (Erban *et al*, 2014).

Même une hausse limitée à 1 m en 2100 entraînerait une submersion de la moitié du delta et concernerait directement 17 millions de personnes (sur une population supposée stable autour de 100 millions de personnes).

Ces phénomènes s'observent dans tous les deltas du monde. Les 26.000 km² de deltas déjà situés sous le niveau de la mer et les 96.000 km² situés à moins de 2 m d'altitude devraient doubler en surface d'ici 2100. Le déficit d'apport de sédiments à la côte s'aggraverait avec une série de conséquences négatives pour les écosystèmes comme les sociétés humaines (Syvitsky *et al*, 2009).

Le cas du delta du Mékong ne doit pas occulter celui du fleuve Rouge, au nord du pays, où la situation est tout aussi préoccupante, même si l'échelle géographique est moins grande (Neumann *et al*, 2015). Enfin, il faut souligner qu'une grande partie des infrastructures (routes, rail, lignes électriques) de la mince bande côtière qui va du nord au sud (ex- « Annam ») devra tôt ou tard être déplacée, et ce, bien avant un impact direct de la hausse du niveau de la mer. En effet, il est probable que les menaces viendront d'abord des événements climatiques extrêmes.

Au plan politique (gouvernance), sociétal et de l'urbanisme

Il apparaît une prise de conscience progressive des enjeux multiples induits par l'élévation du niveau de la mer et surtout par les événements météorologiques extrêmes dont la puissance et la fréquence devraient s'accroître (tempêtes, mousson...). Les villes et les infrastructures du delta devraient être inondées plus fortement (+10 à +70 cm de 2030 à 2050) et plus fréquemment (de 72 jours à 365 jours de 2030 à 2050) y compris dans des grandes villes comme Can Thô (1,1 million d'habitants à 0,8 m d'altitude).

Dans la région de Hai Hau (côte S-O du delta), les 33 km de digues de protection ne devraient pas pouvoir tenir au-delà de 2060, quel que soit le scénario RCP, la menace venant surtout de l'érosion. Celle-ci s'accroît en raison de la disparition progressive des mangroves sur la quasi-totalité du littoral vietnamien.

La modélisation de la fréquence d'un « *perfect storm* » à + 5 m, théoriquement centennal, donne une réduction de cette fréquence d'occurrence à 49 ans d'ici 2050 (Neumann *et al*, 2015).

Cependant, selon les sites, les interlocuteurs et le contexte, les autorités oscillent entre :

- **le déni** : « les observations restant dans la variabilité globale ; il n'y a pas de tendance alarmante » ;
- **la discrétion** : « on sait qu'il se passe quelque chose, mais il ne faut pas inquiéter les populations » ;
- **la modération** : « il y aura des impacts de la hausse du niveau de la mer mais quelques ouvrages adaptés et une bonne information de la population devraient permettre de gérer ce problème » ;
- **la planification d'actions d'ampleur** comme la « fermeture » de deux bras du Mékong afin de recharger en eau douce les bras restants, au nord (Ho-Chi-Minh ville) et vers le sud (Can Thô) ;
- **la préoccupation sérieuse** : il faudrait se préparer à des migrations internes importantes de population, voire à de l'émigration car les impacts de la hausse du niveau de la mer pourraient être multipliés par dix d'ici 2100, et les populations pauvres, les plus exposées, finiront par partir.

Au plan économique

Le plus grand impact potentiel concerne la riziculture dans le delta car la production de riz y représente 50% du total national et la salinisation pourrait réduire cette production de 25% à 2050. Cette région produit aussi 60% de l'aquaculture (poisson et crevette). Dans ce secteur, la salinisation pourrait constituer alors une opportunité plutôt qu'une menace avec le remplacement de rizières en bassins d'élevage de crevettes et d'espèces euryhalines par exemple comme cela s'est fait en Egypte avec des contraintes similaires (Sadek, 2013).

Si la hausse était relativement sévère (1 m), les impacts toucheraient la plupart des activités du delta et il faudrait restructurer en profondeur les villes, les infrastructures et les activités.

Une analyse multicritère de vulnérabilité socio-économique à la hausse de 7 districts de la côte Ouest du delta (8 composantes et 22 variables), conclut à des niveaux globaux de risque « modérés à relativement hauts » selon les districts, et plusieurs points critiques (Nguyen *et al*, 2016).

Synthèse des 41 études

La variété des études sur les 12 dernières années (21 des premiers auteurs d'articles ne sont pas vietnamiens, soit 50% du total des 41 documents) permet d'éviter une polarisation sur la perception nationale des enjeux. Les conclusions des analyses sont très diverses et reflètent bien l'ambivalence des approches, entre volonté de lucidité et préférence d'aménagement minimal.

La plupart des études visent un horizon assez court (2030, 2050) pour un pays de près de 100 millions d'habitants et d'une densité de 291 hab/km². Il n'est jamais envisagé un horizon au-delà de 2100 alors que la hausse devrait logiquement rester significative après 2100.

Peu d'études prospectives sur ce phénomène au Vietnam assument que préparer l'avenir implique des restructurations profondes et coûteuses. Le sujet est considéré comme « politiquement sensible » (Bravard *et al*, 2013). La priorité est donnée à la gestion « au quotidien » des problèmes et des crises, au rehaussement des digues existantes, au passage progressif de la riziculture à l'aquaculture en eau saumâtre, à l'adaptation locale et conjoncturelle aux inondations chroniques. Ni dans les sphères dirigeantes, ni au niveau des populations vulnérables, les mentalités ne semblent préparées à un repli stratégique d'ampleur. Au plan de la coopération internationale, il existe un organisme inter-gouvernemental chargé de proposer des solutions pérennes à tous les problèmes liés au fleuve : la *Mekong River Commission* (MRC). Mais il n'a aucun pouvoir contraignant et peu de moyens. Et la Chine, qui représente la plus grave menace pour le fleuve, refuse d'en faire partie.

Trois scénarios plausibles

Les trois scénarios partent d'une même évolution climatique mondiale « modérée » soit une hausse de 30 cm en 2050 (hors subsidence locale) et de 100 cm en 2100, avec une pente d'évolution positive à la fin du siècle et des événements climatiques extrêmes (dit « EvEx ») plus fréquents et plus forts. La vitesse de subsidence dans les deux deltas du pays est variable selon les choix politiques et stratégiques faits dans les scénarios ci-dessous par les pays des deux bassins versants du Mékong et du fleuve Rouge.

Scénario 1 : Prise de conscience et pro-action

La prise de conscience de la vulnérabilité croissante du sud-est asiatique (SEA) à la submersion marine progresse dans tous les pays de la région, y compris en Chine. Les pays riches et peu vulnérables à cette menace, notamment les puissances régionales (Australie, Nouvelle-Zélande, France via la Nouvelle-Calédonie, Singapour, Brunei...) réalisent qu'une déstabilisation de toute la zone SEA par une submersion massive des zones basses (notamment lors d'EvEx) auraient des conséquences graves pour leur propre économie et leur sécurité : exodes massifs de population, pertes d'infrastructures, notamment portuaires, déstructuration de l'agriculture régionale et du tissu urbain sur la côte, menaces sur la sécurité alimentaire à grande échelle...

Coopération internationale et concertation anti-subsidence : cette prise de conscience des menaces multiples liées à la hausse du niveau de la mer et au moins autant à la subsidence des deltas conduit à une nouvelle impulsion dans la coopération internationale, notamment à l'échelle des pays impliqués dans la gestion du bassin du Mékong et du Fleuve rouge. La *Mekong River Commission*, que la Chine rejoint, est active, reconnue, et dotée de moyens de contrôle et d'incitation. Une politique commune en matière de prélèvement de tout type (eau, sables, graviers, gaz, pétrole, minerais...), d'aménagement des fleuves (barrages, débits réservés...) et d'usage des terres (déforestation vs reforestation, agriculture, élevage, urbanisation, réseaux routiers...) permet de freiner la subsidence et de l'annuler à l'échelle du siècle.

Repli stratégique et émigration négociée : même freinée, la hausse apparente reste toutefois trop forte pour maintenir un statu quo des activités et des habitats. Mais la concertation internationale mise en place et l'information des populations facilitent la planification d'un repli stratégique progressif, voire d'une émigration négociée avec les pays voisins et co-responsables de la situation. Les provinces Est du Cambodge et de la Thaïlande, ainsi que les provinces Sud du Laos et de la Chine (Guangxi, Guangdong, Hainan) accueillent des millions de migrants sous statut d'« éco-réfugiés », nouveau statut élaboré par les Nations Unies pour réduire

les risques de rejet, marquer le caractère exceptionnel et potentiellement réversible de la situation et soutenir financièrement les pays d'accueil.

Technologies de tous pays bienvenues pour atténuer les impacts : Le caractère exemplaire et multinational de ce repli stratégique justifie de grands efforts de recherche et d'innovation technologique pour mieux mesurer, modéliser et anticiper les changements à venir et proposer les meilleures stratégies d'adaptation. De nombreux pays sont ainsi sollicités comme les Pays-Bas (et les pays de l'UE vulnérables aux mêmes risques, dont la France), l'Australie, les EUA... Une forme de solidarité régionale émerge avec des leçons utiles et partagées localement ainsi qu'à l'échelle mondiale pour des régions également vulnérables : Golfe du Mexique et de Guinée, Méditerranée, Baltique... Cette évolution « vertueuse » n'est compatible qu'avec la mise en place d'une gouvernance mondiale éclairée.

Scénario 2 : Crises récurrentes et adaptation incrémentale

La lenteur de la prise de conscience que la combinaison du SLR et de la subsidence d'origine anthropique constitue une forte menace pour une grande partie de la population vietnamienne conduit à des situations de plus en plus critiques pour un nombre croissant de régions côtières dans le pays. Les autorités passent peu à peu du déni à l'acceptation des dangers liés à la submersion marine et à la salinisation des terres. Les pressions viennent à la fois des populations concernées et des organisations internationales confrontées à des problèmes identiques dans d'autres pays, y compris dans la région : Cambodge, Indonésie, Philippines...

Mesures conjoncturelles et EvEx « prise de conscience » : plusieurs EvEx conduisent à des situations graves, soit à l'échelle locale (perte complète d'une ou plusieurs villes), soit à l'échelle de toute la côte (villages du littoral). Les autorités sont dans l'obligation de réagir. Elles prennent des mesures conjoncturelles comme la construction de digues ou le repli provisoire de populations. Mais les décisions les plus coûteuses, comme le repli stratégique à grande échelle de toutes les infrastructures et des populations concernées dans les zones les plus exposées, sont reportées régulièrement.

Réaction tardive type « plan Delta hollandais » avec l'aide internationale : une catastrophe d'ampleur finit par décider le gouvernement à lancer un équivalent du « plan Delta » hollandais (1953 - 2000), combinant tous les outils d'aménagement classiques : digues, barrages mobiles, réseaux de pompage massif, protection des littoraux par ré-ensablement, replantation de mangrove... L'aide internationale est sollicitée ainsi que tous les bailleurs de fonds internationaux dans un cadre bilatéral (avec les Pays-Bas par ex.) et/ou multilatéral : UE, Commissions des Nations-unies, grandes ONG spécialisées...). La réalisation d'un tel aménagement est source de conflits récurrents entre le gouvernement et les régions, pour l'accès aux fonds, dans les choix de repli définitif, dans la sélection des zones « sacrifiées », etc.

Repli et aménagement par vagues successives et négociations avec les pays en amont : même tardives, ces réactions finissent par porter certains fruits et des portions de zones côtières sont mises à l'abri des dangers les plus fréquents. Cependant, certaines régions sont abandonnées comme celles en aval des deux bras centraux du Mékong afin de répartir l'eau douce dans les zones les plus peuplées. Mais les plans d'urgence se succèdent sans solution de long terme. Il faut donc replanifier tous les 10 ou 15 ans des programmes de repli ou d'aménagement. Cette situation de précarité conduit à l'ouverture de négociations, difficiles, avec les pays situés en amont des deux deltas, notamment la Chine. De fait, les problématiques sont complexes et les intérêts souvent divergents. La lenteur de la prise de décision conduit à la poursuite de la subsidence, même si

sa vitesse ralentit. Cependant, la hausse nette du niveau de la mer prend une importance croissante à partir de 2040-2050. La surface des zones vulnérables s'est accrue et la fréquence des EvEx est plus élevée. Cette situation de vulnérabilité croissante et de relative impuissance politique finit par poser des problèmes de plus en plus graves sans solution de moyen terme.

Scénario 3 : Dénî persistant et catastrophes

La position de scepticisme des autorités en matière de risques de submersion marine persiste pendant plusieurs décennies. Le gouvernement tente de minimiser les phénomènes et les lanceurs d'alerte finissent par devoir quitter le pays. La population est partagée entre colère, inquiétude et résignation. Les coopérations internationales en appui aux programmes de protection et prévention sont limitées aux sites les plus exposés et les négociations sur la gestion des deux fleuves majeurs ne progressent pas ou peu.

Egoïsmes nationaux : Les États voisins cherchent d'abord leur intérêt, notamment la Chine qui poursuit sa politique régionale d'expansion territoriale via la mainmise sur les îles Paracel et Spratley. Le Cambodge et la Thaïlande ont aussi de sérieux problèmes de submersion et gèrent les apports du Mékong en fonction de leurs besoins. L'absence de forme efficace de dialogue régional, l'ASEAN et l'APEC fonctionnant mal, conduit à des stratégies politiques nationales, voire nationalistes. La *Mekong river Commission* constate la montée des menaces et des dysfonctionnements liés à la multiplication non coordonnée des barrages sur le fleuve mais elle reste impuissante. Face aux menaces d'ordre climatique, les pays de la région suivent leur logique propre de défense côtière et d'aménagement du littoral et des zones basses. Les entreprises étrangères (Bureaux d'études, BTP) proposent des solutions sur mesure pour chaque pays, voire chaque province et non des mesures structurelles coordonnées de long terme.

Pas de futur ici : fuite des classes supérieures et boat people : la situation s'aggravant au fil des années, les classes aisées et les jeunes diplômés partent à l'étranger tandis que les populations côtières les plus vulnérables s'exilent par la mer en cherchant refuge en Indonésie (notamment Bornéo, île haute peu peuplée), en Malaisie, en Papouasie et jusqu'en Australie. La bande côtière littorale est de plus en plus souvent impactée ce qui aboutit à couper fréquemment les échanges entre le nord et le sud (électricité, rail, route...).

Catastrophes d'ampleur croissante ; militarisation des secours et relocalisations forcées : le pays affronte alors une sorte de « tempête parfaite » (conjonction des pires hypothèses) des problèmes : la cécité de la plupart des décideurs, le manque de politique structurelle face aux menaces avérées, le retard des investissements vitaux, la paupérisation progressive du pays, la chute de la sécurité alimentaire due à la régression des surfaces rizicoles et la fuite des compétences. Le seul recours est l'armée qui doit gérer des situations de crise à répétition et finit par encadrer des relocalisations forcées. Ce repli généralisé mal préparé est source de tensions supplémentaires voire de violences à l'échelle locale.

Désastre politique, humanitaire et économique : cette évolution qui paraît inexorable conduit à une situation de survie du pays qui doit importer massivement du riz et d'autres denrées indispensables pour éviter des émeutes de la faim. Les populations côtières qui n'ont pu fuir par la mer tentent de passer les frontières pour trouver des refuges sûrs. Les Nations-Unies doivent créer et gérer des camps de réfugiés un peu partout dans le pays et notamment sur les zones frontalières de l'ouest, la frontière chinoise étant fermée et militarisée. Les pays d'accueil potentiels de la région comme l'Australie, ne veulent pas accueillir des millions de réfugiés

sachant qu'ils risquent de rester pour toujours. Sans rupture de paradigme politique, l'impasse paraît complète.

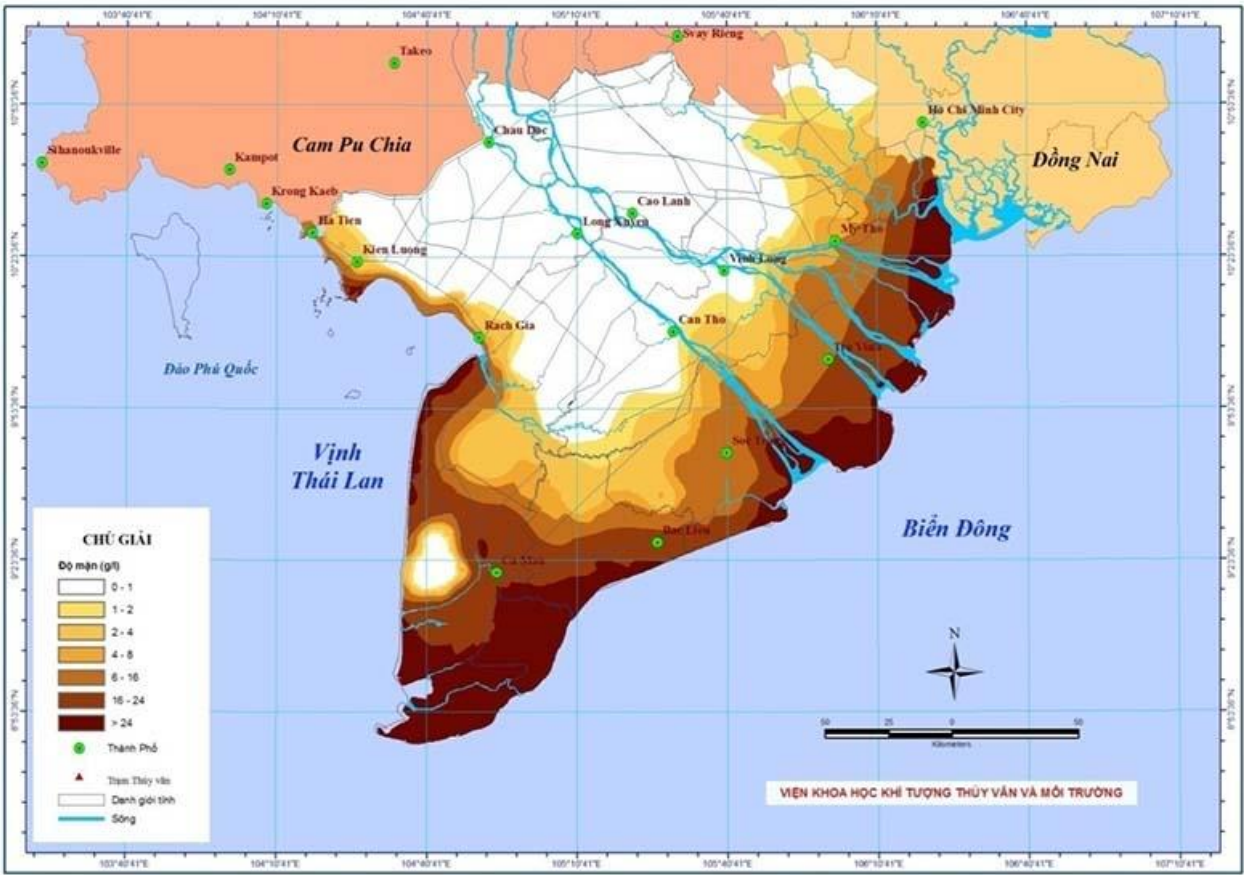


Figure 8 : Gradient de salinité de la nappe phréatique dans le bas delta du Mékong : 0 à 24 g/l (source : Vietnam Times)

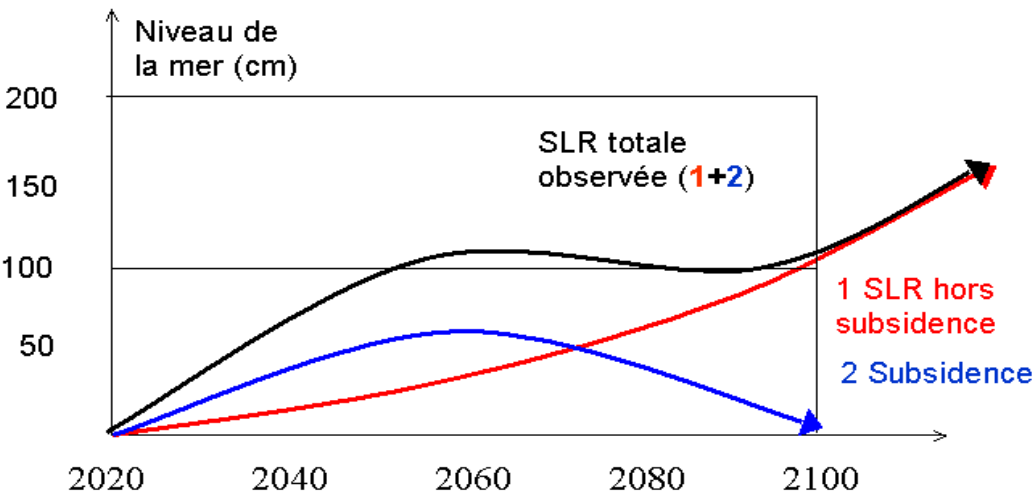


Figure 9 : Schéma d'évolution possible de la hausse du niveau de la mer (Sea level rise, SLR) observée dans les deltas vietnamiens sous les deux hypothèses (1) SLR moyen (+100 cm) et (2) subsidence maîtrisée en 2100

En admettant que les causes de la subsidence des deltas vietnamiens soient maîtrisées d'ici 2100, on devrait observer d'abord une aggravation de ce phénomène puis une diminution en fonction des progrès de la coopération internationale des pays concernés pour atteindre l'équilibre en 2100 (cf. figure 9). Cette évolution devrait prendre la forme d'une courbe en cloche, avec une assez forte pente au début (la bibliographie rapporte qu'elle est responsable de 80% de la SLR observée). Elle atteindrait son maximum vers 2060 pour diminuer jusqu'à s'annuler en 2100. A la fin du siècle, la SLR devrait retrouver approximativement la courbe de hausse générale moyenne du niveau de l'océan.

On observe que le cumul de la subsidence et de la SLR conduit à atteindre un mètre de SLR vers 2050-2060, soit 40 à 50 ans avant le reste du monde. En conséquence, même avec des hypothèses de SLR moyenne et de subsidence maîtrisée en 80 ans, le Vietnam devrait connaître des crises sévères dès les années 2030-2040, sans compter les événements climatiques extrêmes (rappel : une SLR de 1 m en 2100 entraînerait une submersion de la moitié du delta du Mékong et concernerait 17 millions de personnes).

L'hypothèse à 2 m de SLR en 2100, même en cas de subsidence maîtrisée en quelques décennies, aboutirait à des situations de catastrophe sur tous les plans. La majeure partie du pays serait alors à « repenser », surtout si les projections d'évolution climatique conservent des hypothèses de hausse au 22^e siècle.

Même une maîtrise rapide de la subsidence, soit en deux ou trois décennies, permettrait d'allonger le délai d'adaptation du pays mais pas de le mettre à l'abri d'une profonde restructuration qui s'avérerait, dans la majorité des combinaisons d'hypothèses, indispensable.

Le tableau 9 combine trois hypothèses de subsidence dans les deux grands deltas vietnamiens et trois hypothèses de SLR. Les cumuls font apparaître que la valeur considérée comme « critique » de 1 m de SLR observée serait atteinte, voire largement dépassée dans 7 cas sur 9.

Tableau 9 : Croisement de 3 hypothèses de subsidence et de 3 hypothèses de SLR (valeurs à 2100, sans préjuger de la pente. En gras sur fond rose, valeurs supérieures à 1 m)

SLR (cm)	50	100	200
Subsidence (cm)			
20	70	120	220
40	90	140	240
60	110	160	260

S'il est un pays où le principe de précaution devrait être pris au sérieux, et en urgence, en matière de montée du niveau de la mer et de ses conséquences, ce pourrait bien être le Vietnam.

3.4. Synthèse des trois études de cas : les enjeux pour la réflexion prospective

L'intérêt de développer ces trois focus est triple : d'abord, examiner les scénarios produits en les resituant dans des situations réelles de pays ou de régions particulièrement concernées ; explorer ensuite les similitudes

ou convergences éventuelles des scénarios malgré les disparités nationales et territoriales ; enfin, relier ces scénarios « concrets » et spécifiques à un territoire donné aux huit scénarios produits par l'étude.

L'acceptabilité des scénarios produits est liée au degré de prise de conscience au niveau politique : les Pays-Bas ont un Ministère de l'eau et des infrastructures spécifiques avec de vastes plans d'aménagement successifs depuis 1953 ; la Nouvelle-Aquitaine incite à des stratégies de gestion de la bande côtière et projette un schéma d'organisation et d'aménagement complet de cette zone ; le Vietnam reste indécis sur la conduite à tenir, hésitant entre déni du SLR en général et des décisions de repli échelonné, selon les situations locales. Les degrés de vulnérabilité ne sont pas aux mêmes échelles ni traités avec les mêmes niveaux de technologies dans les trois territoires envisagés. Les risques encourus ne sont pas de même nature, ni de même ampleur. Ainsi, le Vietnam est le pays le plus vulnérable avec une subsidence qui constitue les 3/4 de la hausse apparente et une zone impactée riche en ressources vitales pour le pays (riz) et densément peuplée. Les Pays-Bas font face à une situation préoccupante à long terme mais les risques d'inondation fluviale prévalent sur ceux de la submersion marine, et les moyens d'aménagement sont nombreux et permettent de réduire les risques à moyen terme.

Les scénarios développés présentent des similitudes : on retrouve dans les trois focus la proposition d'un retrait stratégique équilibré parce qu'anticipé ainsi qu'à l'opposé, une passivité plus ou moins marquée selon les cas, mais aboutissant à des risques croissants de crises, voire de catastrophes récurrentes. Le scénario intermédiaire, quand il y en a un, est soit celui d'une adaptation en fonction des crises (Vietnam), soit celui d'une protection ciblée des sites à forte occupation humaine et de laisser-faire ailleurs (Nouvelle-Aquitaine).

Si l'on essaye de positionner les huit scénarios illustratifs des focus territoriaux par rapport aux scénarios construits par la prospective, on observe que les deux scénarios les plus favorables (A1 Maîtrise climatique et A3 Sobriété et adaptation) n'ont pas été retenus, ni celui de la fragmentation. En revanche, les autres scénarios illustratifs se répartissent bien dans les cinq autres scénarios globaux.

Tableau 10 : Positionnement des scénarios des focus territoriaux dans les trois familles

Pays/Région Scénarios	Nouvelle-Aquitaine			Pays-Bas		Vietnam		
A1 Maîtrise climatique								
A2 Villes résilientes			Métropoles		Réaménagement littoral			
A3 Sobriété et anticipation								
A4 Adaptation prioritaire		Aquitania		Limites de la technologie		Prise de conscience et proaction		
F Fragmentation								
D1 Du déni à la réaction		Aquitania						
D2 Abandon progressif	Dérive						Crises récurrentes	
D3 Passivité								Déni et catastrophes

Ces comparaisons font apparaître deux enseignements, ceux-ci étant parfois difficiles à formuler par le pays pour lui-même. Le premier enseignement est que la technologie ne peut pas, et ne pourra pas à terme, résoudre tous les problèmes posés par la hausse du niveau de la mer, en raison de son ampleur dans le dernier tiers du siècle au moins. Et il faut rappeler que l'étude ne porte que jusqu'à 2100 alors qu'il est rationnel d'envisager des dynamiques encore plus contrastées sur plusieurs siècles. Même les experts du plus grand bureau d'études spécialisé des Pays-Bas, Deltares à Delft, en ont convenu : les dispositifs prévus dans ce pays face aux enjeux de submersion sont proportionnés jusqu'en 2075 ; après, il faudra changer de stratégie. Dans le cas du Vietnam, ceci est encore plus flagrant : aucune technologie ne peut lutter contre une subsidence accélérée à l'échelle d'un vaste delta (inondation, salinisation des terres), sauf à en supprimer radicalement les causes.

Le second enseignement est que la réponse pertinente devant ce type de phénomène doit être à l'échelle d'un socio-écosystème régional et non s'arrêter aux frontières d'un pays dont les limites sont presque toujours arbitraires. Ainsi la situation des Pays-Bas dépend de celle de la partie amont des bassins versants de la Meuse et du Rhin, dont la Basse-Saxe et la Rhénanie allemandes, ainsi que du nord et du littoral de la Belgique. De même, la situation du delta du Mékong est similaire au Cambodge et la maîtrise de la subsidence du delta dépend en grande partie des politiques de prélèvement de l'eau sur les 4900 km du fleuve qui concernent cinq pays, dont la Chine.

On notera que dans les deux cas, les évolutions décrites dans les scénarios dépendent plus de choix de géopolitique internationale que de stratégie nationale.

4. Synthèse des scénarios

Schéma de positionnement des scénarios

Les trajectoires des huit scénarios décrits dans le chapitre III ont été synthétisées dans un graphe où sont croisés l'atténuation du changement climatique à l'échelle globale et les efforts d'adaptation des littoraux à la hausse du niveau de la mer, consentis depuis 2018. Le centre du graphe représente l'origine en 2018, et l'extrémité de la flèche la situation en 2100. La trajectoire, de l'origine à l'extrémité de la flèche, décrit l'atténuation et les efforts d'adaptation mis en œuvre entre 2018 et 2100. Des points d'inflexion dans les trajectoires sont précisés. Sur l'axe des ordonnées, plus on va vers le haut et plus l'atténuation globale est importante dans le scénario considéré. Sur l'axe des abscisses, plus on va vers la droite et plus les efforts d'adaptation des littoraux sont importants. Sur le graphique, des efforts « négatifs » ont été envisagés, ils correspondent à des situations où les actions pour l'adaptation sont plus faibles que celles actuellement mises en œuvre, conduisant donc à une inadaptation croissante des littoraux. De même des atténuations « négatives » ont été envisagées qui correspondent à des situations d'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

L'état physique du niveau en 2100 est le résultat de l'impact du changement climatique sur le niveau des mers en 2100, qui est considéré pour partie comme la résultante de l'atténuation globale, et pour partie comme une conséquence des dynamiques propres de changement climatique (par ex. dans le cas d'un emballement).

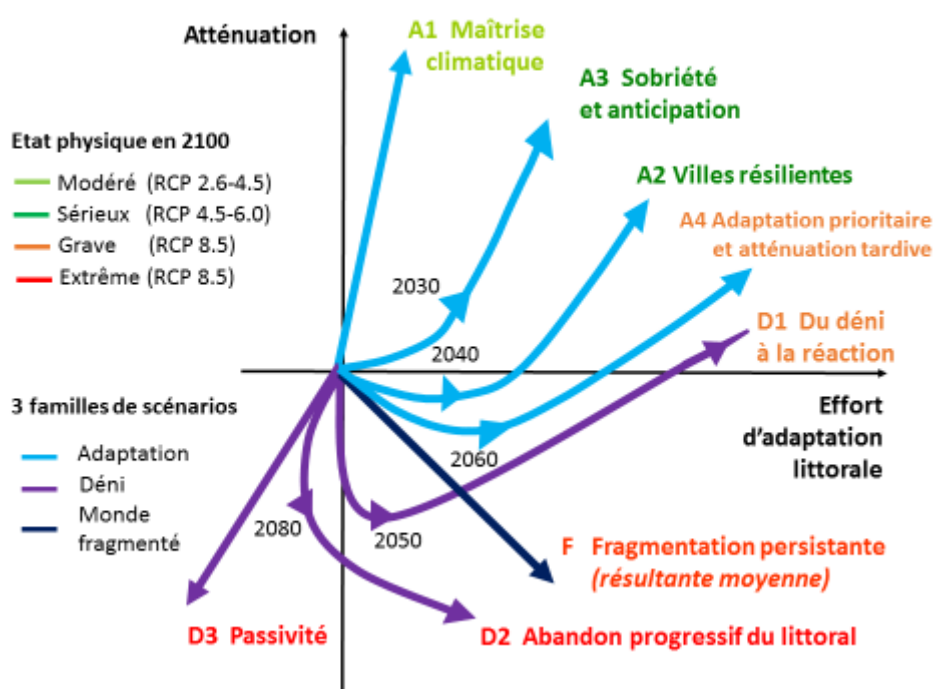


Figure 10 : Schéma de positionnement des huit scénarios selon l'effort d'adaptation littorale et l'atténuation globale

Pour chacune des familles définies précédemment (cf. 3.2), il s'agit de faire ressortir la trajectoire générale du scénario, ainsi que les stratégies mises en œuvre par les principaux acteurs, notamment en matière d'adaptation des zones littorales face aux évolutions projetées.

Famille « Adaptation littorale »

Cette famille regroupe quatre scénarios constituant un corpus globalement vertueux même si les capacités d'anticipation, les efforts de prévention et, dès lors, l'intensité des conséquences peuvent sensiblement différer. La famille se décompose en deux paires de trajectoires. La première, qui regroupe les trajectoires A1 et A3, correspond à des scénarios résolument proactifs, dans lesquels une prise de conscience rapide de la gravité de la situation et la mise en œuvre de mesures préventives efficaces d'atténuation limitent considérablement la gravité des conséquences (contexte modéré à sérieux). La seconde, qui regroupe les trajectoires A2 et A4, correspond à une « attitude de rebond », la prise de conscience et la mobilisation des politiques publiques pour l'atténuation intervenant plus tardivement dans le courant du siècle, et générant des conséquences sensiblement plus préoccupantes (contexte sérieux à grave) que celles caractérisant l'attitude proactive.

La trajectoire du scénario A1 - Maîtrise climatique conjugue de fortes politiques d'atténuation du changement climatique mises en place très précocement et des efforts d'adaptation des littoraux modérés, car répondant à une faible hausse du niveau des mers. En effet, la mise en œuvre, de façon très précoce, dès 2020, de fortes mesures de réduction des émissions de GES et de stockage du carbone (décarbonation de l'économie, efficacité énergétique, captage et stockage du carbone -carbone organique des sols, technologies CCS et BECCS) par les acteurs nationaux a permis de limiter l'élévation du niveau des mers. Les mesures d'adaptation des littoraux sont proportionnelles au risque existant de hausse du niveau des mers qui reste faible tout au long de la période (hausse limitée aux alentours de 50 cm).

Face à un changement climatique limité engendrant une faible hausse du niveau des mers, les stratégies d'adaptation du littoral mises en œuvre sont des mesures incrémentales de transformation de la ville sur elle-même ; le modèle conventionnel de développement urbain n'a pas été remis en cause. Cependant les événements extrêmes ont ponctuellement des impacts importants sur certains littoraux plus exposés aux aléas.

La trajectoire du scénario A3 - Sobriété et Anticipation conjugue une gouvernance littorale anticipant les conséquences du changement climatique sur les littoraux (la hausse du niveau des mers est plus importante que dans le premier scénario), et un basculement précoce, aux alentours de 2030, vers une économie de la sobriété, entraînant une forte réduction des émissions.

D'une part la mise en place progressive d'une gouvernance littorale de l'adaptation à la hausse du niveau des mers (anticipation sur urbanisme et infrastructures, concertation des acteurs) aboutit sur certains littoraux à la généralisation de stratégies de repli. D'autre part, le développement d'une culture de la sobriété dans l'ensemble des domaines d'activité économique conduit à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à limiter le changement climatique. Ainsi, l'effort d'adaptation est plus important dans ce scénario que dans le précédent car l'adaptation concerne l'ensemble du littoral. De plus, avec une pente d'élévation forte, il faut s'adapter à la hausse existante mais aussi à la future hausse à venir.

La trajectoire du scénario A2 - Villes résilientes voit les grandes villes, et en particulier les mégapoles littorales devenues le cœur de l'économie mondiale, avoir un rôle crucial dans l'adaptation littorale à la hausse du niveau des mers et l'atténuation du changement climatique. Très tôt, les grandes villes organisées en réseaux d'expérimentation et de recherche sur l'adaptation littorale renforcent leur résilience face à la hausse du niveau des mers. Puis après 2040, les grandes villes et les États se coordonnent à l'échelle mondiale pour

mettre en œuvre des mesures de réduction des émissions, ce qui a pour effet de limiter la hausse du niveau des mers dans la deuxième moitié du 21^e siècle.

Pour s'adapter à l'élévation du niveau de la mer, les villes mettent en place des barrières artificielles ou naturelles, s'appuient sur des technologies numériques d'anticipation (données massives, IA), régulent les mécanismes de subsidence (réduction des prélèvements et accroissements des apports sédimentaires), renforcent la sécurité sanitaire et alimentaire, et la résilience des infrastructures énergétiques, de communication et de transport face aux événements climatiques extrêmes (tempêtes, inondations). L'adaptation du littoral se concentre sur les villes littorales en délaissant les zones à faible densité.

La trajectoire du scénario A4 - Adaptation prioritaire et atténuation tardive combine une adaptation très précoce des littoraux à la hausse du niveau des mers et une quasi-absence de mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui ne sont mises en œuvre que tardivement après 2060. Si cette quatrième trajectoire suit initialement la deuxième trajectoire en termes d'adaptation littorale, l'accélération de la hausse du niveau des mers après 2050 oblige à constamment accroître les efforts d'adaptation littorale pour faire face à une situation grave (+ 1m).

De 2018 à 2060, chaque État, isolé et convaincu qu'il ne peut à lui-seul réduire le changement climatique, se concentre sur l'adaptation des littoraux. Mais, face à l'intensité des conséquences du changement climatique, les États mettent en œuvre après 2060 de fortes politiques coordonnées d'atténuation qui permettent de limiter la hausse du niveau des mers à +1m. L'adaptation littorale s'effectue en contrôlant l'urbanisation et la croissance démographique littorales, et en anticipant les reculs prévisibles du trait de côte par des retraits appropriés.

Famille du « Dénî »

Cette famille regroupe trois scénarios allant du « déni durable » à des situations de « réveils plus ou moins tardifs ». Le point commun qui rassemble ces différentes variantes relève de l'attitude consistant, durant au moins la première moitié du 21^e siècle, à refuser d'agir à la hauteur des changements climatiques et environnementaux. Durant cette période d'immobilisme, les initiatives de prévention, tant en termes climatiques que d'adaptation littorale, ne constituent pas des priorités pour la communauté internationale et seuls quelques pays, très exposés et dotés de moyens financiers et technologiques suffisants, prennent des initiatives isolées. Progressivement toutefois, sous l'effet principal de la recrudescence d'événements climatiques catastrophiques en lien avec la montée des eaux, une prise de conscience de la criticité de la situation finit, ou non, par émerger et contribuer à infléchir les politiques. Cependant, les situations résultantes en 2100 diffèrent très sensiblement en termes de conséquences sur l'intégrité des littoraux.

La trajectoire du scénario D1 - Du déni à la réaction commence par un déni à la fois du changement climatique (avec de émissions de GES qui s'intensifient) et de ses effets sur les littoraux, puis bascule, après 2050, vers des actions massives de réduction des émissions et d'adaptation des littoraux au prix d'efforts considérables. Si après 2050 les bénéfices des actions de d'adaptation littorale se font rapidement ressentir (diminution de la vulnérabilité humaine et environnementale des littoraux), les premiers effets réellement

perceptibles d'atténuation du changement climatique ne sont pas attendus avant le milieu du siècle suivant. Les mesures d'adaptation sont calibrées pour faire face à une importante montée du niveau des mers, plus élevé d'un mètre en 2100.

Après un demi-siècle de déni et de passivité générale ayant contribué à accroître la vulnérabilité de la zone côtière (mégalo-poles surpeuplées, compartiments environnementaux gravement affectés), la réalité de l'élévation du niveau marin et de ses conséquences (événements extrêmes plus fréquents et dévastateurs) finit par s'imposer. La prise de conscience est alors collective (décideurs, société civile, citoyens) et la lutte contre les conséquences du dérèglement climatique devient une priorité absolue et ce à différentes échelles (des initiatives locales aux collaborations internationales). Bien que tardives, des actions d'atténuation du changement climatique sont engagées de manière durable et d'ambitieuses stratégies d'adaptation littorales se développent à l'échelle du globe (misant parfois sur une protection active des enjeux et parfois sur un repli stratégique vers des zones plus sûres).

La trajectoire du scénario D2 - Abandon du littoral s'inscrit dans un déni du changement climatique et de ses impacts sur la hausse des mers, puis après 2080 se caractérise par une transformation radicale des littoraux, prenant majoritairement la forme d'un retrait généralisé, le tout dans un contexte extrême de hausse du niveau des mers (+1-2m). Après 2080 très peu d'actions d'atténuation des émissions de GES sont engagées car on estime qu'il est désormais trop tard pour enrayer le changement climatique et ses conséquences. A l'échelle internationale des investissements massifs sont consacrés à l'aménagement des littoraux et à l'organisation d'un repli stratégique sur les arrières-pays. Ces investissements visent à limiter les désastres humains mais surtout à prévenir les migrations massives susceptibles de mettre en péril un équilibre géopolitique déjà précaire. Les stratégies d'adaptation peinent à tempérer la forte exposition des littoraux aux risques de submersion et d'inondation, ce qui justifie leur abandon fréquent.

Suite à la survenue répétée de catastrophes humanitaires, environnementales et économiques majeures, les États finissent par prendre conscience de l'augmentation irréversible des risques engendrés sur les littoraux sensibles, mais très tardivement. Désormais conscients des conséquences inéluctables de l'emballement climatique, les États organisent un repli systématique des activités jugées les plus stratégiques (pôles économiques majeurs, lieux de résidence et de villégiature des citoyens les plus riches et les mieux informés) vers l'arrière-pays. Les franges littorales les plus vulnérables sont dès lors progressivement délaissées ; seules les populations les plus pauvres y demeurent, trop dépendantes des ressources locales et de l'accès aux terres (gentrification climatique).

La trajectoire du scénario D3 - Passivité se caractérise par un déni du changement climatique et une passivité assumée dans la gestion littorale dans un contexte « extrême » de hausse du niveau des mers (2 m). Malgré la recrudescence de signaux d'alerte et du fait de l'absence de moyens communs affectés aux efforts de prévention et d'adaptation, une attitude de déni durable aboutit à une politique court-termiste du « chacun pour soi ». En conséquence de l'absence de politiques d'atténuation, l'accélération de la hausse du niveau de la mer a été forte après 2050, provoquant des transformations majeures des littoraux à l'échelle globale. Aucune anticipation des effets de la hausse du niveau des mers n'a été faite dans la plupart des zones littorales qui connaissent alors des crises humanitaires, alimentaires et environnementales répétées à l'occasion

d'épisodes de submersion marine et/ou d'inondation. Cela conduit à une dégradation des écosystèmes, des flux migratoires qui s'intensifient entre mégalofoles, et une brutalisation des rapports sociaux.

Les flux migratoires massifs s'intensifient, notamment entre mégalofoles côtières de plus en plus vulnérables, au fur à mesure de l'élévation du niveau des mers. Sous l'effet de l'emballement du moteur climatique, les écosystèmes se dégradent de façon souvent irréversible et la vitesse de recul du trait de côte accélère progressivement (commençant par induire la disparition d'îles). Le tableau général qui résulte de ce scénario est en tout point catastrophique (conflits sociaux croissants, crises environnementales et humanitaires répétées).

Famille « monde fragmenté »

Cette famille est résolument atypique comparée aux deux autres. Elle est constituée d'un seul scénario qui rassemble une très large diversité de configurations. Il s'agit d'une trajectoire « hybride » qui regroupe des situations locales aux caractéristiques parfois opposées, certaines représentatives de la famille des scénarios du déni et d'autres de la famille des scénarios de l'adaptation. La cohabitation de caractères aussi contradictoires dans une seule et même trajectoire s'explique par le récit qui y est associé, à savoir celui d'un monde dual qui avance schématiquement à deux vitesses, selon la logique du « chacun pour soi ».

La trajectoire du scénario F - Fragmentation persistante est une trajectoire qui se caractérise par une absence d'atténuation globale du changement climatique et des efforts d'adaptation très variables d'une région du monde à l'autre. L'absence de mobilisation sur la politique climatique globale aboutit à des émissions importantes et un contexte physique d'élévation du niveau des mers « extrême » (2 m). Face à cela, on observe des situations aux caractéristiques opposées : les littoraux des pays riches font l'objet de travaux massifs et coûteux d'adaptation, tandis que les littoraux des pays pauvres voient leur vulnérabilité s'accroître. Le scénario de fragmentation présenté ici reste très sombre à l'échelle mondiale. En effet, même si certains États réussissent à « limiter la casse » sur leurs littoraux durant le siècle à venir (mais à quel prix ?), la principale question à se poser sur la pertinence des investissements colossaux consentis pour y parvenir est « jusqu'à quand » ?

Les États les plus riches mènent de front une politique de lutte contre l'élévation du niveau des mers (construction/élévation de digues) et un retrait stratégique progressif des zones littorales les plus vulnérables, les villes restantes, délicates à déplacer, s'adaptent tant bien que mal aux contraintes en privilégiant l'anticipation et la gestion des crises (alarmes, évacuations). À l'inverse, les États les plus pauvres, voient, en l'absence d'anticipation des changements littoraux, leur vulnérabilité s'accroître face à la hausse des mers (renforcement de la vulnérabilité aux phénomènes naturels, de l'insécurité alimentaire et crises sanitaires). Les mégalofoles situées en zone littorale continuent à proliférer, recueillant notamment les populations les plus défavorisées. La recrudescence d'événements climatiques extrêmes entraîne une augmentation marquée des évacuations mais renforce la logique de repli des États. Le maintien de la logique duale tout au long du siècle aboutit à un éloignement progressif de deux « pôles ». À une extrémité, les investissements colossaux consacrés à la défense « à tout prix » de certains territoires littoraux dans les pays développés tendent à rapprocher ceux-ci du scénario (A4) pour lequel la priorité est portée à l'adaptation. À l'autre extrémité, le manque de

moyens ou d'accès à la connaissance rapproche grandement la politique attentiste des pays les plus défavorisés des scénarios du déni (D3, D2, D1) pour lesquels le réveil n'intervient, au mieux, que trop tardivement pour sauvegarder espaces, habitats et activités.

4.2. Conséquences potentielles pour la recherche

Cette partie s'intéresse aux conséquences des huit scénarios sur les priorités de recherche à moyen et long terme (cf. annexe 6). Le groupe de travail a tenté d'identifier les besoins de recherche qu'appelle chaque scénario en précisant les échelles géographiques et institutionnelles prises en compte ainsi que les disciplines à mobiliser. Cette analyse générale doit être poursuivie et complétée par chacune des communautés scientifiques disciplinaires ou thématiques afin de préciser leurs contributions possibles pour chaque scénario et d'identifier celles qui, valables pour tous les scénarios, constituent des choix sans regret.

L'ampleur des problématiques de recherche soulevées par la question de la montée du niveau de la mer est telle qu'elle mobilise un grand nombre de disciplines. Avant le 20^e siècle, les dimensions de l'espace physique paraissaient immuables, des modifications de cet espace ne dépendaient que de catastrophes naturelles brutales et spectaculaires : raz-de-marée, activité volcanique, tremblements de terre...

A la fin du 20^e siècle apparaît le concept d'anthropocène (Crutzen et Stoermer, 2000), justifié selon ses auteurs par le fait que l'homme est devenu le premier facteur d'évolution de la terre. Il est donc logique que l'ensemble des disciplines de recherche soient concerné par une problématique à l'échelle mondiale, à forts impacts sur les sociétés humaines et leurs réalisations, dans une dynamique encore mal comprise, en accélération et sans horizon de stabilisation, telle que l'élévation du niveau de la mer.

On peut identifier quatre grands domaines de recherche concernant l'élévation du niveau de la mer, et les disciplines qu'ils mobilisent :

- (1) **la compréhension, la mesure et les projections** aussi objectives que possible du phénomène en cours mobilisent toutes les sciences dites « exactes » ou « dures » (physique, chimie, biologie, géologie, mathématiques) ainsi que les technologies qui conditionnent les capacités de calcul et de modélisation. Ce sont des outils essentiels pour améliorer la compréhension des phénomènes globaux, pour prévoir et anticiper des phénomènes de plus en plus incertains et non-linéaires et prévenir leurs impacts potentiels. On notera, à titre d'exemple, quelques verrous scientifiques relevant de cette catégorie sachant que les marges d'incertitude restent trop élevées pour convaincre les décideurs sceptiques ou indécis :
 - a. Développement de modèles prédictifs de comportement des calottes glaciaires, de survenue de phénomènes climatiques extrêmes, de retrait du trait de côte à l'échelle locale et régionale
 - b. Meilleure compréhension des phénomènes de subsidence d'origine naturelle et anthropique et de leurs conséquences
 - c. Impacts de l'éloignement au large (*offshore*) des activités sur les écosystèmes marins
 - d. Réseaux de mesures à l'échelle internationale

- e. Développement de systèmes d'alerte optimisés
 - f. Identification de « points limites de basculement » au-delà desquels certains phénomènes irréversibles (fontes des calottes polaires par exemple) ne peuvent plus être évités
- (2) **Les perceptions et représentations sociales** du phénomène par les sociétés humaines, les personnes, les entreprises, les structures locales, régionales, nationales et internationales. Cette masse énorme et dynamique d'informations de nature extrêmement diverse et leur interprétation participent de manière importante au processus de réflexivité individuelle et collective, de prise de conscience et de « construction sociale » des problèmes et des solutions, participant des décisions, et (in)actions afférentes. Il s'agit ici de philosophie, de sociologie, des sciences cognitives, de la psycho-sociologie, de l'anthropologie, des sciences de l'information et de la communication surtout à l'ère d'un Internet mondial, opportunité autant que menace pour les contenus et leurs interprétations.
- a. Comprendre les dynamiques de déni
 - b. Identification des leviers pour faire évoluer les mentalités
 - c. Investiguer les vecteurs de relais d'opinion pour sensibiliser les populations et notamment les plus jeunes
- (3) **La gouvernance** des situations locales, régionales, globales, pour le court, le moyen et le long terme dans les zones rurales et dans les zones urbaines. Il s'agit là des sciences politiques au sens large avec des influences multiples de tous les autres compartiments disciplinaires, l'économie mais aussi l'urbanisme, la sociologie, l'anthropologie, la géographie ; de fait, la question du coût de l'inaction en comparaison du coût de l'action est centrale mais elle est vulnérable à de nombreux biais, explicites et implicites.
- a. Politiques d'urbanisme et d'aménagement compatibles avec les contraintes pesant sur les littoraux
 - b. Modes de gouvernance inclusive pour l'adaptation des littoraux
 - c. Animation des initiatives citoyennes et des réseaux de villes pour promouvoir les bonnes pratiques
 - d. Pilotage de changements radicaux
 - e. Accompagnement des migrations de personnes sous l'effet de la submersion des terres
 - f. Gestion des apatrides climatiques
- (4) **Les leviers d'action** pour accompagner les transitions sociales via les sciences de l'ingénieur et de nombreuses disciplines dont l'économie, les sciences du territoire, et ses outils d'incitation en lien avec les décisions politiques (règles, normes, subventions, contrôles...), les technologies d'application au sens large comme par exemple l'urbanisme, l'architecture, mais aussi l'agronomie, l'hydrologie, la pédologie, la génétique et les sciences de la gestion pour faciliter l'adaptation du vivant aux changements d'environnement en région côtière, etc.
- a. Technologie de stockage ou réutilisation du carbone
 - b. Technologies adaptatives de protection du littoral (digues, barrières)

- c. Technologies innovantes de construction des villes et/ou d'implantation des infrastructures et des activités économiques sur la mer
- d. Développement de systèmes de culture adaptés aux mutations du milieu
- e. Amélioration de la résilience / limitation de la vulnérabilité des enjeux situés en zone côtière

L'articulation de ces quatre domaines est nécessaire pour anticiper et s'adapter au phénomène dans une approche systémique.

Les grands axes de recherche interdisciplinaires, communs à la majorité des scénarios, ont été identifiés :

- (1) Comprendre, mesurer et projeter le phénomène.
- (2) Développer la réflexion, la concertation et la mobilisation en vue d'un bien commun et d'un vivre ensemble humain et durable.
- (3) Evaluer les impacts (anticiper les évolutions tendanciennes), engager des transitions littorales et urbaines pour s'adapter à la montée du niveau des mers, et renforcer le rôle protecteur des écosystèmes littoraux.
- (4) Gérer les situations de crise dans toutes les composantes vitales des sociétés : migrations, sécurités multiples : espace, paix, eau, ressources alimentaires, soins primaires, équité, emploi.
- (5) Développer et mettre en œuvre les moyens de réduire ou compenser les effets de la montée du niveau des mers au niveau global et limiter les disparités excessives (justice environnementale), sources de tensions ou de conflit.

Les acteurs d'une recherche de telle ampleur sont très nombreux. Il faut souligner que, pour la plupart des scénarios, la réponse pertinente ne peut être traitée qu'avec l'ensemble des acteurs concernés, depuis l'association locale de terrain qui replante des mangroves jusqu'aux Nations-Unies qui gèrent les COP successives et les accords internationaux sur le changement climatique. Le rôle central reste aux structures « professionnelles » de recherche (universités, instituts, fondations, réseaux...) mais il est nécessaire d'associer les parties prenantes aux recherches sur la transformation de leur espace. Les villes, et en particulier les grandes métropoles mondiales qui concentrent populations et activités, deviennent alors des acteurs majeurs de la recherche sur les transformations à mettre en œuvre dans les dynamiques d'adaptation.

Le traitement national des problématiques de recherche n'est pas suffisant pour répondre aux enjeux. Ainsi, par exemple, le degré de submersion des grands deltas du monde, se joue dans la gestion des fleuves transnationaux qui les irriguent en amont, et donc des politiques des pays traversés par ces fleuves. Aussi est-il nécessaire de coordonner les recherches nationales et de développer la recherche sur les modalités de gouvernance internationales.

Enfin, il n'existe pas, ou pas encore, de méta-discipline capable d'intégrer la masse des connaissances produites sur une problématique aussi vaste et à une telle échelle de temps et d'espace. En conséquence, il apparaît nécessaire de conserver le principe de subsidiarité des enjeux en raisonnant avec les bons outils à la bonne échelle d'espace. Ainsi, travailler à l'échelle d'un bassin versant complet d'un fleuve est plus pertinent, et efficace à terme, que d'additionner les politiques nationales des pays traversés par le fleuve. Il s'agit

également de développer les sciences de l'interdisciplinarité et l'articulation des sciences sociales et des sciences de l'ingénieur afin de construire des stratégies d'adaptation en cohérence avec les contextes locaux.

Il apparaît aussi indispensable d'impliquer la société civile dans tous les aspects de recherche, développement et d'innovation afin, d'une part, de renouer un lien de confiance avec le monde de la recherche scientifique rigoureuse (via les sciences participatives par ex.) et d'autre part, d'accélérer la prise de conscience que les solutions pérennes et équitables face aux problèmes posés ne peuvent être fondées que sur une solidarité à tous les niveaux des sociétés humaines (Afriat et Theys, 2018).

Conclusion

Cette étude prospective à l'horizon du siècle vise à proposer des représentations contrastées des futurs possibles, en prenant comme cadre de réflexion quatre contextes physiques globaux de la situation de l'environnement, résumés en quatre adjectifs : modéré, sérieux, grave, extrême.

La méthode choisie est celle de l'analyse morphologique du tableau des hypothèses. Les vingt-trois variables réparties en sept composantes ont permis d'élaborer des scénarios en prenant deux points de départ différents : soit un contexte physique global, soit une composante jugée majeure. Fusionnées, les deux approches ont conduit à la construction de huit scénarios robustes et bien différenciés tout en tenant compte de la variabilité des situations dans le monde. Ils ont été enrichis par l'étude plus fine de plusieurs situations réelles sur des territoires vulnérables comme les Pays-Bas, la Nouvelle-Aquitaine et le Vietnam.

Les huit scénarios peuvent être positionnés sur un graphe selon deux axes majeurs : l'effort d'adaptation littorale et l'effort d'atténuation globale du changement climatique. Les quatre scénarios issus de différentes dynamiques d'adaptation conduisent à des situations à 2100 de type modéré ou sérieux, sauf si la réaction de correction du changement climatique est trop tardive, ce qui conduit alors à une situation grave en 2100. Les quatre autres scénarios (trois de « déni initial des phénomènes en cours » et un de fragmentation persistante des politiques des États) aboutissent à des situations extrêmes ou graves.

On observe que sur huit scénarios d'évolution, cinq d'entre elles mènent à des situations « extrême » ou « grave », même en tenant compte de changement profond de stratégie vers 2050-2060. Par ailleurs, la situation tendancielle actuelle (de type « Fragmentation persistante » comme représentation des politiques dans le monde) mène à une situation extrême, si elle devait perdurer.

Les situations positives en 2100 (états « modéré » et « sérieux ») issues de trajectoires plutôt stables sont l'aboutissement de conjonctures assez hypothétiques de politiques vertueuses, fermes et continues, à l'échelle mondiale. Comme ces conjonctures apparaissent comme des ruptures par rapport aux tendances lourdes actuelles, les probabilités d'occurrence de ces deux scénarios devraient être logiquement considérées comme faibles.

Il résulte des remarques précédentes qu'il est plausible d'envisager une hausse du niveau de la mer de l'ordre de 1 à 2 mètres d'ici 2100. Cela aurait des conséquences considérables sur la majeure partie des côtes basses habitées, pour la plupart des secteurs de l'activité humaine, y compris dans des domaines vitaux comme la sécurité des personnes, la stabilité des constructions de tout type, la production agricole ou l'accès à l'eau douce. La situation pourrait empirer au-delà de 2100 pour cinq scénarios sur huit, du fait de l'accélération de la hausse du niveau de la mer et des événements météorologiques extrêmes associés.

La réactivité des décideurs apparaît comme un facteur primordial de préservation de la situation à un état « modéré » ou « sérieux » en 2100. Compte-tenu de la trajectoire actuelle, le changement de politique doit être effectif et généralisé avant 2040 pour éviter des situations de type « grave » ou « extrême » en 2100.

Les scénarios mettent en scène les tensions exacerbées entre des échelles d'action mondiales et littorales. L'atténuation du changement climatique reste liée à une hypothétique gouvernance mondiale tandis que les

dynamiques d'adaptation littorale dépendent surtout d'autorités nationales, régionales ou urbaines. Or les acteurs des zones littorales n'ont qu'une faible capacité à agir sur la mise en œuvre à l'échelle mondiale de mécanismes d'atténuation, dont l'absence ou la présence déterminera pourtant leur avenir. Les mesures d'adaptation au risque d'élévation marine, telles que la construction de digues, le rechargement du cordon littoral, le renforcement des écosystèmes littoraux et côtiers, ou le repli stratégique, sont à concevoir en fonction des situations littorales (morphologie, population, urbanisation, infrastructures, écosystèmes) et des cultures locales du risque. Dans tous les cas, agir conjointement en limitant le changement climatique, et en anticipant la hausse du niveau marin permettra de réduire les coûts de l'adaptation littorale et de limiter l'ampleur et la fréquence des crises.

Ainsi, les huit scénarios sur la montée du niveau de la mer d'ici 2100 et leurs conséquences montrent que, si des politiques vigoureuses et pérennes d'atténuation du changement climatique ne sont pas mises en œuvre dans les années à venir, aucun effort d'adaptation du littoral ne permettra d'éviter des situations de type « grave » ou « extrême » d'ici la fin du siècle. Dans ce cas, les conséquences, notamment après 2050, seraient quasiment incalculables en raison de l'importance des zones côtières vulnérables sur tous les plans : écologique, géopolitique, humain, social, économique et culturel.

Ces scénarios montrent qu'un changement de cadre conceptuel est nécessaire dans les stratégies d'adaptation, du fait de l'irréversibilité des changements subis mais aussi de l'absence de solutions technologiques disponibles pour y faire face dans une situation d'emballement du changement climatique. Auparavant, il s'agissait de vivre dans un monde incertain, en tenant compte des incertitudes et en adaptant les stratégies d'actions pour maîtriser les situations. Dans le monde à venir, il pourrait s'agir dans certaines régions du monde de vivre dans un état de crise permanente, de vivre *avec* la catastrophe en tentant de l'anticiper, de faire face à ses conséquences, et d'en réduire l'impact.

Ce type de situation correspond à ce qu'Ulrich Beck a identifié en 1986 comme la conjonction des trois caractéristiques des risques globaux modernes qu'il nomme « transcendants » : la spatialisation de moins en moins maîtrisée (SRAS, Fukushima...) ce qui en fait des phénomènes à impact mondial mais inégalement réparti, l'incalculabilité des coûts économiques, sociaux et environnementaux et enfin la non-compensabilité complète, notamment en cas de dégâts irréversibles (perte de sols ou irradiation par ex.). De plus, ces évolutions exigent de grands efforts politiques, économiques et sociaux si l'on veut éviter d'accroître les inégalités face au risque. Le récent rapport de l'OCDE (2019) sur les risques liés à la submersion marine montre que, si la hausse du niveau de la mer reste de l'ordre du mètre, les conséquences en termes économiques pourraient être à peu près gérées à l'échelle de la majorité des pays concernés. En revanche, dans le cas de scénarios plus graves (1,3 à 2 m), la réponse pertinente devrait nécessairement changer d'échelle notamment en matière d'anticipation des phénomènes, d'adaptation des infrastructures et des villes côtières et d'organisation de la transition de l'économie côtière. Or la montée du niveau de la mer est actuellement sur une trajectoire globale de risques « transcendants », de moins en moins contrôlables si l'on diffère les mesures d'atténuation. Cette montée est donc susceptible d'impacter directement une partie importante de l'humanité et de déstabiliser gravement de nombreux secteurs d'activité, et cela avant la fin de ce siècle. Ces perspectives justifient d'accroître les efforts en matière de recherches interdisciplinaires en y associant tous les acteurs, depuis la société civile locale jusqu'aux Nations-Unies. Il s'agit de comprendre, mesurer et projeter le phénomène, évaluer ses impacts, engager les transitions littorales et urbaines, préciser et mettre en œuvre les moyens de réduire ou compenser les effets des submersions, limiter les inégalités face aux risques et se

préparer enfin à gérer les situations de crise. L'approche scientifique peut contribuer à cette prise de conscience, condition préalable à toute amélioration de trajectoire.

Bibliographie générale

- Afriat C. et J. Theys (Dir.), 2018. La grande transition de l'humanité. Coll. Prospectives. FYP ed. 270 p.
- Alcamo J., 2009. 'Environmental Futures: The Practice of Environmental Scenario Analysis (Chapter 6)', in *Environmental Futures*, 3 (Elsevier), pp. 122–50 <http://www.newwater.uni-osnabrueck.de/intern/sendfile.php?id=113>
- Allenvi GTP, 2014 : Contribution du Groupe transversal Prospective d'AllEnvi à la préparation de la note à l'ANR pour la programmation 2015. 20 mars 2014 ; 5p.
- AllEnvi GTP, 2016 : Visions du futur et Environnement : Les grandes familles de scénarios, analyse de perspectives internationales ; Volume 1 : Rapport final de l'étude ScénEnvi ; Coord. Menthère N. de, Lacroix D., Schmitt B., et Béthinger A. ; 73p.
- Azevedo de Almeida, B., & Mostafavi, A., 2016. Resilience of Infrastructure Systems to Sea-Level Rise in Coastal Areas: Impacts, Adaptation Measures, and Implementation Challenges. *Sustainability*, 8(11), 1115.
- Bamber, J. L., Oppenheimer, M., Kopp, R. E., Cooke, R. M., & Aspinall, W., 2019. Ice sheet contributions to future sea level rise from a structured expert judgement approach. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201817205; DOI: 10.1073/pnas.1817205116
- Barbier, E.B., 2015. Climate Change Impacts on Rural Poverty in Low Elevation Coastal Zones, Policy Research Working Paper 7475
- Bastien A. et F. Gemenne, 2016 : Impacts du changement climatique sur les flux migratoires à l'horizon 2030. Observatoire de enjeux géopolitiques de la démographie, Rapport n°1 ; 54p.
- Béchet B. (coord.), Le Bissonnais Y. (coord.), Ruas A. (coord.), Aguilera A., André M., Andrieu H., (...), Desrousseaux M, 2017. Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols, Déterminants, impacts et leviers d'action. INRA (France), 609 pages.
- Bezold C., 2010. 'Lessons from Using Scenarios for Strategic Foresight', *Technological Forecasting and Social Change*, Strategic Foresight, 77, 1513–18 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.012>
- Bilotta G.S., Milner A.M. et Boyd I., 2014. On the use of systematic reviews to inform environmental policies. *Environmental Science & Policy*, 42: 67-77.
- Bishop P., A. Hines, and T. Collins, 2007. 'The Current State of Scenario Development: An Overview of Techniques', *Foresight*, 9, 5–25 <http://dx.doi.org/10.1108/14636680710727516>
- Bonneuil C. et J.B. Fressoz, 2013. L'évènement Anthropocène; la Terre, l'histoire et nous. Coll. Anthropocène. Le Seuil. 308p.
- Bourg D, P. B. Joly et A. Kaufmann (dir.), 2013. Du risque à la menace : penser la catastrophe. Colloque de Cerisy. PUF. Coll. L'écologie en question. 374p.
- Bradfield R., G. Wright, G. Burt, G. Cairns, and K. Van Der Heijden, 2005. 'The Origins and Evolution of Scenario Techniques in Long Range Business Planning', *Futures*, 37, 795–812 <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2005.01.003>
- Brecht, H., Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S., & Wheeler, D., 2012. Sea-level rise and storm surges: High stakes for a small number of developing countries. *The Journal of Environment & Development*, 21(1), 120-138.

- Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G., Barthel, S., Güneralp, B., Erb, K. H., Haberl H., Crutzig F. & Seto, K. C., 2016. Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8939-8944.
- Brissaud D. (coord.) 2013. Futurprod : les systèmes de production du futur. Rapport ANR/ARP N°11Anim-01601. AIP-Primera / Gdr Macs / SFGP ; INP Grenoble. 60p.
- British Petroleum, 2015. BP Energy outlook 2035; 98p.<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html#BPstats>
- Burke L., Reynter K., Spalding M. and Perry A., 2011. Reefs at Risk Revisited, ISBN: 978-1-56973-762-0. <https://www.wri.org/publication/reefs-risk-revisited>
- Cash C., 2016. 'Good Governance and Strong Political Will: Are They Enough for Transformation?' *Land Use Policy*, 50, 301–11 <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.10.009>
- Cassier I., K. Maréchal et D. Méda (coord.), 2017. Vers une société post-croissance: intégrer les défis écologiques, économiques et sociaux. Ed. de l'aube. Coll. Bibliothèque des savoirs. 216p.
- Cassingena Harper J., K. Cuhls, L. Georghiou, and R. Johnston, 2008. 'Future-Oriented Technology Analysis as a Driver of Strategy and Policy', *Technology Analysis & Strategic Management*, 20, 267–69 <http://dx.doi.org/10.1080/09537320801997193>
- Cazes B., 1986. Histoire des futurs : les figures de l'avenir de saint Augustin au XXI^e siècle. Ed. L'Harmattan. Coll. Prospective : Essais et recherches. 508p.
- CESE, 2013. Quels moyens et quelle gouvernance pour une gestion durable des océans ? (Coord. C. Chabaud). Avis du Conseil économique, social et environnemental. N°15. NOR - CESL 240p.
- Chen, C. C., McCarl, B., & Chang, C. C., 2012. Climate change, sea level rise and rice: global market implications. *Climatic change*, 110(3-4), 543-560.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. & Unnikrishnan, A.S., 2013. Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf
- Cicin-Sain B., M. Balgos, J. Appiott, K. Wowk and G. Hamon, 2012: Oceans at Rio+20/ How well are we doing in meeting the commitments from the 1992 Earth summit and the 2002 World summit on sustainable development? Summary for decision makers. Global Ocean Forum.
- Clark, P. U., Shakun, J. D., Marcott, S. A., Mix, A. C., Eby, M., Kulp, S., (...) & Schrag, D. P., 2016. Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. *Nature climate change*, 6(4), 360.
- Collingridge D., 1980. The social control of technology. Pinter. London.
- Commission Océan mondial, 2016. L'avenir de notre océan mondial : prochaines étapes et priorités. 92p.

- Cook, Carly N., Sohail Inayatullah, Mark A. Burgman, William J. Sutherland, and Brendan A. Wintle, 2014. 'Strategic Foresight: How Planning for the Unpredictable Can Improve Environmental Decision-Making', *Trends in Ecology & Evolution*, 29, 531–41 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.005>
- Cornish E., 2004. *Futuring: the exploration of the future*. Bethesda; Md: World Future Soc. 313p.
- Coutançais C., 2012. *Géopolitique des océans*. Ellipses. 240p.
- Crutzen, P.J. and Stoermer, E.F., 2000. The "Anthropocene". *Global Change Newsletter*, 41, 17.
- Cuhls K., 2016. 'Comment on Harold A. Linstone: When Is a Need a Need? The Problem of Normative Forecasting in a Changing Environment, in: *Technological Forecasting and Social Change* 1 (1969), 55-71', *TFSC*, 102, 11–13 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.03.015>
- Dang, T. D., Cochrane, T. A., Arias, M. E., Tri V. P. D., 2018. Future hydrological alterations in the Mekong Delta under the impact of water resources development, land subsidence and sea level rise. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.002>
- Dasgupta S, Laplante B, Meisner C, Wheeler D, Yan J, 2009. The impact of sea level rise on developing countries: a comparative analysis. *Climatic Change*, 93, 379-388.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S., & Wheeler, D., 2011. Exposure of developing countries to sea-level rise and storm surges. *Climatic Change*, 106(4), 567-579.
- Dawson RJ (ed.), 2015. A Climate Change Report Card for Infrastructure. LWEC Report Card. Living with Environmental Change, www.nerc.ac.uk/research/partnerships/lwec/products/report-cards/infrastructure/report-card/
- DeConto R. M. & Pollard D, 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise, *Nature* volume 531, 591–597 <https://www.nature.com/articles/nature17145>
- Dupuy J. P., 2002. : Pour un catastrophisme éclairé ; Coll. La couleur des idées ; Seuil, 215p.
- Durance P., and M. Godet, 2010. 'Scenario Building: Uses and Abuses', *TFSCe*, Strategic Foresight, 77, 1488–92 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.007>
- Duvat V., 2018. A global assessment of atoll island planform changes over the past decades. *WIREs Climate Change*. <https://doi.org/10.1002/wcc.557>
- Ecorys, 2012. Blue growth: scenarios and drivers for sustainable growth from the oceans, seas and coasts. Study on mature, emerging and pre-development economic activities at sea in 2020. Rapport final pour la DG Mare (UE). 202p.
- Eriksson E., K. Anders and M. Weber, 2008: Adaptive Foresight: Navigating the Complex Landscape of Policy Strategies. *TFSC* 75, 462–482 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.02.006>
- European Environment Agency, 2013. Balancing the future of Europeans' coasts: Knowledge base for integrated management. A. Meiner et J. Reker (coord.) 64p. Doi: 10.2800/99116
- Fuller T. and K. Loogma, 2009. 'Constructing Futures: A Social Constructionist Perspective on Foresight Methodology', *Futures, Futures Methodologies*, 41, 71–79 <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2008.07.039>
- Futuribles international / Fondation Prospective et innovation, 2017. *Le monde à l'horizon 2050*. Gingko éditeur, Paris. 263p

- Futurs possibles 2030-2050 : Tendances lourdes, signaux faibles, incertitudes. *Futuribles* Nov-Dec 2016 N° 415. 183p.
- Gabriel J., 'A Scientific Enquiry into the Future', *European journal of futures research*, 2 (2013), 1–9
<http://dx.doi.org/10.1007/s40309-013-0031-4>
- Geisler, C., & Currens, B., 2017. Impediments to inland resettlement under conditions of accelerated sea level rise. *Land Use Policy*, 66, 322-330.
- Giorgini P., 2016. La fulgurante récréation. Bayard. Montrouge. 330p.
- Godet M., 1997. De l'anticipation à l'action. Manuel de prospective et de stratégie. Dunod 390p.
- Godet M., 2010. 'Future Memories', *Technological Forecasting and Social Change*, Strategic Foresight, 77, 1457–63. doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.008
- Goulding, I. and Kamel M., 2013. Institutional, Policy and Regulatory Framework for Sustainable Development of the Egyptian Aquaculture Sector. World Fish, Project report: 2013-39. 31 p.
- Grienitz V., M. Hausicke, and A-M. Schmidt, 'Scenario Development without Probabilities - Focusing on the Most Important Scenario', *European journal of futures research*, 2 (2013), 1–13
<http://dx.doi.org/10.1007/s40309-013-0027-0>
- Griggs D., M. Stafford-Smith, O. Gaffney, J. Rockström, M. C. Öhman, P. Shyamsundar, and others, 2013. 'Policy: Sustainable Development Goals for People and Planet', *Nature*, 495, 305–307.
doi.org/10.1038/495305a
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J., 2013. Future flood losses in major coastal cities. *Nature climate change*, 3(9), 802.
- Havas A., D. Schartinger, and M. Weber, 2010. 'The Impact of Foresight on Innovation Policy-Making: Recent Experiences and Future Perspectives', *Research Evaluation*, 19, 91–104
<http://dx.doi.org/10.3152/095820210X510133>
- Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N., Hallegatte, S., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., & Chateau, J., 2011. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic change*, 104(1), 89-111.
- Hereher M., 2010. Vulnerability of the Nile Delta to sea level rise: an assessment using remote Sensing. *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, 1, pp. 315–321
- Higgins J.P.T. et Green S. (eds), 2011. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration.
- Illitch Ivan, 1971. Libérer l'avenir. Paris Seuil
- International energy agency IEA, 2017. World energy outlook. ISBN 978-92-64-28230-8. 782p.
- Ionesco Dina, Mokhnacheva Daria et Gemenne François (dir.), 2016. Atlas des migrations environnementales, Paris, IOM-OIM-Sciences Po les presses, 152 p.
- Jouvenel H de, 2004. Invitation à la prospective. *Futuribles*. Coll. Perspectives. 89p.
- Kalaydjian R. et S. Girard, 2017. Données économiques maritimes françaises. Rapport Ifremer. 120 p.

- Kara, H., D. Lacroix, S. Sadek, J.P. Blancheton, H. Rey-Valette et M. Kraiem, 2016. Vingt ans d'aquaculture en Afrique du Nord : évolutions, bilan critique et avenir. *Cah. Agric.* 2016, 25, 160117. DOI : 10.1051/cagri/2016044
- Kearney A.T., 2010. Mutations économiques dans le domaine de la chimie, PIPAME. 135 p.
- de Koning, R., 2009. *Climate Change, Land and Security*. Stockholm, Sweden: Stockholm International Peace Research Institute. (<http://www.sipri.org/media/newsletter/essay/dec09>).
- Könnölä, T., F. Scapolo, P. Desruelle, and R. Mu, 2011. 'Foresight Tackling Societal Challenges: Impacts and Implications on Policy-Making', *Futures*, Special Issue: Future-oriented Technology Analysis, 43, 252–64 <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2010.11.004>
- Koschatzky K., 2005. 'Foresight as a Governance Concept at the Interface between Global Challenges and Regional Innovation Potentials', *European Planning Studies*, 13, 619–39 <<http://dx.doi.org/10.1080/09654310500107365>>
- Kummu, M., De Moel, H., Salvucci, G., Viviroli, D., Ward, P. J., & Varis, O., 2016. Over the hills and further away from coast: global geospatial patterns of human and environment over the 20th–21st centuries. *Environmental Research Letters*, 11(3), 034010.
- Kuusi O., K. Cuhls, and K. Steinmüller 2015. 'The Futures Map and Its Quality Criteria', *European journal of futures research* 3, 1–14 <<http://dx.doi.org/10.1007/s40309-015-0074-9>>
- Lacroix D., L. Laurent, N. de Menthère, B. Schmitt, A. Béthinger, B. David, C. Didier, et J. Parent du Châtelet, 2019. Multiple visions of the future and major environmental scenarios. Technological forecasting and social change. Accepted March 2019
- Le Galès, 2006. Gouvernement et gouvernance des territoires. In *Problèmes politiques* N°922
- Le Mouël, C., & Schmitt, B., 2017. *La dépendance alimentaire de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient à l'horizon 2050*. Editions Quae.
- Magnan, A., Duvat, V., & Garnier, E., 2012. Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique. *Natures Sciences Sociétés*, 20(1), 82-91
- Marris C., 2001. La perception des OGM par le public : remise en cause de quelques idées reçues; *Economie rurale* 266, pp. 58 – 79
- McGranahan G, Balk D, Anderson B. (2007). 'The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones', *Environment and Urbanization*, 19: 17–37.
- McKinsey global institute, 2013. *Disruptive technologies: advances that will transform life, business and the global economy*. McKinsey & Company; 280 p.
- Meissner P, Wulf T, 2013. Cognitive benefits of scenario planning: its impact on biases and decision quality. *Technol Forecast Soc Chang* 80(4): 801–814
- Merkens, J.L., Reimann, L., Hinkel, J., Vafeidis, A. T., 2016. Gridded population projections for the coastal zone under the Shared Socioeconomic Pathways. *Global and Planetary Change* 145, p.57–66, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.009>

- Mietzner D., and G. Reger, 2005. 'Advantages and Disadvantages of Scenario Approaches for Strategic Foresight', *International Journal of Technology Intelligence and Planning*, 1, 220 <http://dx.doi.org/10.1504/IJTIP.2005.006516>
- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Nairobi. UNEP.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012. Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/sngitc_20120301_cle211b7c.pdf
- Mora O., 2018. Dietary changes, nutrition transition and the future of global diets (chap. 8). In: Le Mouél C., Lattre-Gasquet M., Mora O. (eds), *Land use and food security in 2050: a narrow road*. Edition Quae, 113-137.
- Morin E., 2011. La voie Pour l'avenir de l'humanité. Paris. Fayard
- NISTEP, 2015. Foresight: its impact and its contribution for Policymaking. Sixth international conference on foresight. Coord.: Y. Sakakibara (NISTEP), T. Shiraishi (GRIPS). 110p.
- Neumann, K., Stehfest, E., Verburg, P. H., Siebert, S., Müller, C., & Veldkamp, T., 2011. Exploring global irrigation patterns: A multilevel modelling approach. *Agricultural Systems*, 104(9), 703-713.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., Nicholls, R.J., 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding—a global assessment. *PLoS ONE* 10 (3), p. e0118571, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>.
- Noin, D., 1999. La population des littoraux du monde. *L'information géographique*, 63(2), 65-73.
- Nowack, Martin, Jan Endrikat, and Edeltraud Guenther, 2011. 'Review of Delphi-Based Scenario Studies: Quality and Design Considerations', *TFSC*, 78, 1603–1615 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.006>
- Nurse, L.A., R.F. McLean, J. Agard, L.P. Briguglio, V. Duvat-Magnan, N. Pelesikoti, E. Tompkins, and A. Webb, 2014. Small islands. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1613-1654.
- OECD, 2016: The Ocean Economy in 2030, OECD Publ. [doi.org/10.1787/9789264251724](http://dx.doi.org/10.1787/9789264251724)
- OECD Environmental Outlook to 2050. The consequences of inaction, 2012. OCDE Publishing. 350p
- OECD, 2019. Responding to rising seas: OECD country approaches to tackling coastal risks. Col Policy highlights. CECD Paris. 180p.
- Passet R., 1979. L'économie et le vivant. Paris; Payot
- Porkka, M., Kummu, M., Siebert, S., & Varis, O., 2013. From food insufficiency towards trade dependency: a historical analysis of global food availability. *PLoS one*, 8(12), e82714.
- Rabanni, G., Rahman, A., Minuddin, K., 2013. Salinity-induced loss and damage to farming households in coastal Bangladesh. *International Journal of Global Warming*, 5, 400-415.

- Rodwell, L.D., Barbier, E.B., Roberts, C.M., McClanahan, T.R., 2003. The Importance of Habitat Quality for Marine Reserve-Fishery Linkages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60, 171-181.
- Rossetti di Valadalbero D. (Coord.), 2011. Global Europe 2050. Etude prospective DG Recherche / SSH / Prospective. 150p.
- Rounsevell, Mark D. A., and Marc J. Metzger, 2010. 'Developing Qualitative Scenario Storylines for Environmental Change Assessment', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1, 606–19 <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.63>
- Sadek S., 2013. Aquaculture site selection and carrying capacity estimates for inland and coastal aquaculture in the Arab Republic of Egypt. In: Ross L.G., Telfer T.C., Falconer L., Soto D., Aguilar- Manjarrez J., eds. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. FAO/IoA, University of Stirling, Expert Workshop, 6–8 Dec. 2010. UK. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 21, pp. 183–196.
- Shameen, M.I.M., Momtaz, M. and Rauscher, R., 2014. Vulnerability of rural livelihoods to multiple stressors: A case study from the southwest coastal region of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 102, 79-87.
- Schwartz P., 1997. The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World. Ed. John Wiley & sons. Chichester. 292p.
- Sénat, 2012. Rapport d'information sur la Maritimisation. N° 674. Groupe de travail et commission ad hoc. Animation : Jeanny Lorgeoux et André Trillard ; 226p.
- Stern N. (Coord.), 2006. Stern review: the economics of climate change. HM Treasury London. UK.
- Syvitski, J. P., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., ... & Nicholls, R. J., 2009. Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, 2(10), 681.
- Tapinos, Efsthios, 2012. 'Perceived Environmental Uncertainty in Scenario Planning', *Futures*, 44, 338–45 <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2011.11.002>
- Olivier Thébaud, Jason S. Link, Bas Kohler, Marloes Kraan, Romain López, Jan Jaap Poos, Jörn O. Schmidt, David C. Smith, Howard Browman, Managing marine socio-ecological systems: picturing the future, *ICES Journal of Marine Science*, Volume 74, Issue 7, September-October 2017, Pages 1965–1980, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw252>
- Treyer S., 2009. 'Changing Perspectives on Foresight and Strategy: From Foresight Project Management to the Management of Change in Collective Strategic Elaboration Processes', *Technology Analysis & Strategic Management*, 21, 353–62 <http://dx.doi.org/10.1080/09537320902750699>
- United Nations, 2017, World Population Prospects: The 2017 Revision. New York, United Nations. Mermet L. (dir.), 2005 : Etudier les écologies futures : un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales. Ed. PIE Peter Lang. Ecopolis N° 5. 409 p.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2018. World Urbanization Prospects (WUP): The 2018 Revision.
- United Nations Environment Programme (UNEP), 2014. The UNEP Environmental Data Explorer, as compiled from UNEP/DEWA/GRID-Geneva. UNEP, Geneva

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2008. EPA's 2008 Report on the Environment. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC; EPA/600/R-07/045F
- Van der Heijden K., 1996. Scenarios, the art of strategic conversation. John Wiley and sons Ltd. Chichester. UK. 299p.
- Vecchiato R., 2012. 'Environmental Uncertainty, Foresight and Strategic Decision Making: An Integrated Study', *TFSCe*, 79, 436–447 <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2011.07.010>
- Veltz, P., 2014. *Mondialisation, villes et territoires. L'économie d'archipel*.
- Visbeck M., Kronfeld-Goharani U., Neumann B., Rickels W., Schmidt J., van Doorn E., Matz-Lück N., Ott, K. und Quaas M., 2014. Securing Blue Wealth: The Need for a Special Sustainable Development Goal for the Ocean and Coasts. *Marine Policy*, 48. pp. 184-191. doi.[10.1016/j.marpol.2014.03.005](https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.03.005)
- Viveret P., 2002. Reconsidérer la richesse. Paris Ed. De l'Aube

Bibliographie spécifique à la Nouvelle-Aquitaine

- Bernon N., Mallet C., Belon R., avec la collaboration de Hoareau A., Bulteau T. et Garnier C., 2016. *Caractérisation de l'aléa recul du trait de côte sur le littoral de la côte Nouvelle Aquitaine aux horizons 2025 et 2050*. Rapport final. BRGM/RP-66277-FR, 99 p. + annexes.
- GIP Littoral Aquitain, 2012. Stratégie régionale de gestion de la bande côtière, <http://www.littoral-aquitain.fr/gestion-bande-cotiere/strategie-regionale>.
- Le Cozannet G., Bulteau T., Baills A., Garcin M., 2016. *Conséquences du changement climatique sur les risques côtiers en Nouvelle-Nouvelle Aquitaine : état des connaissances*. Rapport final, BRGM/RP-66465-FR, 74 p.
- Le Treut H. (dir.), 2018. *Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Nouvelle Aquitaine. Pour agir dans les territoires*, AcclimaTerra, Editions Région Nouvelle-Nouvelle Aquitaine, 488 p.
- Rocle N., 2017. *L'adaptation des littoraux aux changements climatiques : une gouvernance performative par expérimentations et stratégies d'action publique*. Thèse de doctorat en sociologie, Université de Bordeaux

Bibliographie spécifique aux Pays-Bas

- Alphen van J., 2018. 'The Delta programme challenges for the Netherlands on climate change', Deltacommissaris, presentation, Den Haag
- Boezeman, D., M. Vink and P. Leroy, 2013. The Dutch Delta Committee as a boundary organisation, *Environmental Science & Policy*, 27:162–171.
- Deltacommissie, 2008. *Working together with water. A living land builds for its future*, Wilfried ten Brinke (Ed.), p.134.
- Gueben-Venière S., 2015. De l'équipement à la gestion du littoral, ou comment vivre avec les aléas météo-marins aux Pays-Bas ?, *Géoconfluences*, mis en ligne le 14 décembre 2015. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/risques-et-societes/articles-scientifiques/littoral-pays-bas>

- Haasnoot, M., Schellekens, J., Beersma, J. J., Middelkoop, H., & Kwadijk, J. C. J., 2015. Transient scenarios for robust climate change adaptation illustrated for water management in The Netherlands. *Environmental research letters*, 10(10), 105008.
- Jeuken, A., Haasnoot, M., Reeder, T., & Ward, P., 2015. Lessons learnt from adaptation planning in four deltas and coastal cities. *Journal of Water and Climate Change*, 6(4), 711-728.
- Katsman C.A., Sterl A., Beersma H.W., Brink H.W. van den, Church J.A., Hazeleger W., Kopp R.E., Kroon D., Kwadijk J., Lammersen R., Lowe J., Oppenheimer M., Plag H.P., Ridley J., Storch H. von, Vaughan D.G., Vellinga P., Vermeersen L.L.A., Wal R.S.W., Weise R., 2011. Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a lowlying delta-the Netherlands as an example. *Climatic Change*, 109: 3-4.
- Kuik O., Scussolini P., Mechler R., Mochizuki J., Hunt A., Wellman J., 2016. Assessing the economic case for adaptation to extreme events at different scales. Project ECONADAPT, 57p.
- Le Bars, D., Drijfhout, S., & de Vries, H., 2017. A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044013.
- Loon-Steensma van, J. M., & Schelfhout, H. A., 2017. Wide Green Dikes: A sustainable adaptation option with benefits for both nature and landscape values? *Land Use Policy*, 63, 528-538.
- Mulder J. P. M., Tonnon P. K., 2010. "Sand Engine: background and design of a meganourishment pilot in the Netherlands", Coastal Engineering Proceedings, n°32, 10p.

Bibliographie spécifique au Vietnam

- Bravard J-P., M. Goichot et S. Gaillot, 2013. Geography of Sand and Gravel Mining in the Lower Mekong River. In *EchoGéo*; <http://journals.openedition.org/echogeo/13659>; DOI: 10.4000/echogeo.13659
- Brunier G., E. J. Anthony, M. Goichot, M. Provansal, P. Dussouillez, 2014. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation. *Geomorphology* 224 (2014) 177–191
- Dang T. D., T. A. Cochrane, M. E. Arias, V. P. D. Tri, 2018. Future hydrological alterations in the Mekong Delta under the impact of water resources development, land subsidence and sea level rise. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.002>
- Duc, D.M., Yasuhara, K., Hieu, N.M. et al. *J Coast Conserv* (2017) 21: 47. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0471-7>
- Erban L. E, S. M Gorelick and H. A Zebker, 2014. Groundwater extraction, land subsidence, and sea-level rise in the Mekong Delta, Vietnam. In *Environ. Res. Lett.* 9 (2014) 084010 (6pp) doi:10.1088/1748-9326/9/8/084010
- Giosan L., J. Syvitski, S. Constantinescu, J. Day, 2014. Protect the world's deltas: sea level rise and river engineering spell disaster. In *Nature*, Vol 516. 4 dec 2014
- Huong H. T. L. and A. Pathirana, 2013. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrol. Earth Syst.* <https://doi.org/10.5194/hess-17-379-2013>

- Huynh T. L. H., T. Tran, X. H. Nguyen, 2017. Estimating sea level rise for Vietnam East Sea. In Vietnam journal of science, technology and engineering. www.vietnamscience.vn/index.php/vistech/article/view/29
- Lovelock C. E., D. R. Cahoon, D. A. Friess, G. R. Guntenspergen, K. W. Krauss, R. Reef, K. Rogers, M. L. Saunders, F. Sidik, A. Swales, N. Saintilan, L. X. Thuyen & Tran T., 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*. <https://dx.doi.org/10.1038/nature15538>
- McElwee P., T. Nghiem, H. Le, H. Vu, 2017. Flood vulnerability among rural households in the Red River Delta of Vietnam: implications for future climate change risk and adaptation. In *Natural Hazards*. <https://dx.doi.org/10.1007/s11069-016-2701-6>
- Minderhoud P. S. J., G. Erkens, V. H. Pham, V. T. Bui, L. Erban, H. Kooi and E. Stouthamer, 2017. Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. In *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>
- Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE), 2009. Climate change, sea level rise scenarios for Vietnam. UR - http://www.preventionweb.net/files/11348_ClimateChangeSeaLevelScenariosforVi.pdf
- Mook B., A. Smith, T. Veldkamp, 2017. Exposure to Floods, Climate Change, and Poverty in Vietnam in *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-100>
- Neumann J. E., K. A. Emanuel, S. Ravela, L. C. Ludwig and C. Verly, 2015. Risks of Coastal Storm Surge and the Effect of Sea Level Rise in the Red River Delta, Vietnam. <http://dx.doi.org/10.3390/su7066553>
- Nguyen D. T., H. Takagi and M. Esteban, 2014. Coastal Disasters and Climate Change in Vietnam. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780128000076>
- Nguyen H. N., 2016. Tidal regime deformation by sea level rise along the coast of the Mekong Delta. In *Estuarine, Coastal and Shelf Science Volume 183, Part B*. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.07.004>
- Nguyen T. & Woodroffe C., 2016. Assessing relative vulnerability to sea-level rise in the western part of the Mekong River Delta in Vietnam. *Sustainability Science*. 11. [10.1007/s11625-015-0336-2](https://doi.org/10.1007/s11625-015-0336-2).
- Redfern S. K., N. Azzu and J. S. Binamira, 2012. Rice in Southeast Asia: facing risks and vulnerabilities to respond to climate change. *FAO Docs Climate & rice*
- Roche Y. et Pham V. C., 2015. Les mangroves face aux changements climatiques : Le cas à la fois typique et particulier du Vietnam. *Vertigo* .Vol Hors-série 23.
- Sadek S. 2013. Aquaculture site selection and carrying capacity estimates for inland and coastal aquaculture in the Arab Republic of Egypt. In: Ross L.G. et al eds. Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture. FAO/IoA, Univ. of Stirling, Expert Workshop, 6–8 Dec. 2010. UK. FAO Fisheries & Aquaculture Proc. N° 21, 183–196.
- Schmidt-Thome P., Nguyen H., Pham L., Jarva J., Nuottimäki K., 2015. Climate Change Adaptation Measures in Vietnam. *Springer Briefs in Earth Sciences*. <https://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-12346-2>
- Scussolini P., T. V. T. Tran, E. Koks, A. Diaz-Loaiza, P. L. Ho, and R. Lasage, 2017. Adaptation to Sea Level Rise: A Multidisciplinary Analysis for Ho Chi Minh City, Vietnam. <http://dx.doi.org/10.1002/2017WR021344>
- Smajgl A, T. Q. Toan, D. K. Nhan, J. Ward, N. H. Trung, L. Q. Tri, V. P. D. Tri, & P. T. Vu, 2015: Responding to rising sea levels in the Mekong Delta. *Nature Climate Change*. <https://dx.doi.org/10.1038/nclimate2469>

- Syvitski J. P.M., A. J. Kettner, I. Overeem, E. W.H. Hutton, M. T. Hannon, G. R. Brakenridge, J. Day, C. Vörösmarty, Y. Saito, L. Giosan, R. J. Nicholls, 2009. Sinking deltas. In *Nature Geoscience* 2. 681-686.
- Tran H., Q. Nguyen, M Kervyn, 2017. Household social vulnerability to natural hazards in the coastal Tran Van Thoi District, Ca Mau Province, Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Coastal Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0522-8>
- Vu T. T., O. Batelaan, I. Beyen, 2016. Impact assessment of climate change on a coastal groundwater system, Central Vietnam. In *Environmental Earth Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5718-y>

Annexe 1 : Note de cadrage

Résumé

L'interface terre-mer, pris au sens large, est un espace fragile, de plus en plus convoitée et soumis à de multiples pressions sans qu'il n'y ait de vision d'ensemble des populations nombreuses et des sociétés qui s'y développent, ni de maîtrise globale des multiples décisions concernant ce milieu.

La montée généralisée du niveau de l'océan apparaît aujourd'hui comme une des pressions majeures dont l'ampleur et les effets à terme sont difficiles à anticiper. Si les causes sont encore incomplètement analysées et comprises, les effets sont déjà observables sous diverses formes. Les impacts de cette élévation sont encore faibles aujourd'hui, mais les projections portent à penser que, d'une part, l'accroissement du niveau de la mer va s'accroître et que, d'autre part, ses conséquences risquent d'être bientôt considérables dans de nombreux domaines, comme le trait de côte, l'habitat, les infrastructures, l'agriculture, le tourisme (...) dans un contexte de changements globaux, et encore largement imprévisibles, des écosystèmes aquatiques et littoraux.

La prospective ouvre dans ce domaine incertain des perspectives de réflexions et d'actions communes à tous les acteurs de la recherche française impliqués dans les problématiques liées à l'environnement et notamment à la montée généralisée du niveau de la mer. Ce phénomène inexorable et en accélération reste encore mal quantifié et peu anticipé. Le GT Prospective d'AllEnvi pourrait animer une telle prospective associant la plupart des groupes thématiques de l'Alliance qui trouveraient ainsi matière à partager débats et projets de recherche concertés.

Cadrage du sujet

Depuis 1945, les activités humaines se sont développées plus rapidement en zone côtière qu'ailleurs et dans tous les domaines : habitat, exploitation de ressources vivantes, minérales, énergétiques, commerce, activités récréatives, sécurité, à des échelles souvent intensives. Dans de nombreux pays, le littoral concentre un ensemble vaste de secteurs d'activité, ce qui finit par représenter plus de risques que de bénéfices, notamment en termes de valorisation durable des flux de ressources (Benoît et Comeau, 2006, Marine Board, 2013, UNWTO, 2011). Le progrès des connaissances et la diffusion massive de l'information suscitent une attention grandissante à la mer et à son interface avec la terre ainsi qu'à leurs évolutions possibles en fonction des scénarios de changements globaux (Sénat, 2012.). Ces espaces apparaissent aussi comme des opportunités de croissance dite « bleue » sous réserve d'une approche plus « patrimoniale » de valorisation notamment des ressources naturelles renouvelables (Plan Bleu, 2008, Ecorys, 2012). Enfin, les dimensions sociétales émergent de manière multiforme *via* des demandes croissantes ou nouvelles d'un public mieux informé et soucieux de sécurité alimentaire, de santé, de sûreté, d'éthique, et plus globalement d'une gouvernance intégrant le moyen terme (Rossetti, 2011).

Depuis deux décennies, en matière de changements globaux, apparaît un phénomène majeur, généralisé et en accélération, qui concerne une majorité de pays : **le niveau de la mer monte, lentement pour le moment, mais inéluctablement**. On observe déjà des dégâts considérables sur les côtes et parfois des catastrophes comme à La Faute-sur-mer. Qu'en sera-t-il dans un siècle, quand le niveau moyen aura considérablement monté (d'un mètre au moins, et plus encore) ?

Cet espace côtier au sens large, caractérisé par une forte concentration de population et une croissance urbaine et économique rapide concentre aussi les incertitudes et les risques. En effet, la zone côtière vulnérable aux inondations à l'échelle centennale (cote inférieure à 10 m) devrait voir sa population augmenter de 50 % entre 2000 et 2030 pour dépasser le milliard de personnes en 2060 (Neumann *et al*, 2015). Associée à la réduction des apports en eaux douce, notamment dans de nombreux pays subtropicaux, la submersion des terres basses s'accompagne d'une salinisation croissante des sols et des nappes phréatiques (Goda, 2008; Hereher, 2010; CGDD, 2011). Ainsi, ce phénomène, observé depuis 30 ans dans le bas delta du Nil en Egypte, a fait disparaître de vastes zones de production agricole (riziculture principalement); mais il a permis à l'aquaculture en eau saumâtre de développer considérablement avec une progression sur la période de cent mille à un million de tonnes.

Il y a donc un besoin d'analyse approfondie des menaces comme des opportunités liées à ce phénomène afin de préparer l'avenir plutôt que de le subir. La prospective peut y contribuer.

Problématique

La première tendance lourde dans cet espace est **l'accroissement continu de la population littorale**, qui se traduit par une artificialisation souvent mal contrôlée des zones littorales et entraîne aussi des pressions sur les ressources, qu'elles soient minérales (granulats, par ex.), énergétiques (pétrole et gaz) et vivantes (pêche, biodiversité). Or, la mer côtière et les zones humides à la côte fournissent une grande diversité de services écosystémiques non marchands (nurseries d'espèces marines, puits de carbone, filtration ou absorption de composés toxiques, recyclage...), ce qui contribue à la durabilité des écosystèmes productifs et à la qualité générale de l'environnement. Ces services sont vitaux pour nombre d'activités comme le tourisme, l'aquaculture (source de 16 % des protéines dans le monde, hors pêche), mais ils sont menacés et risquent de l'être encore plus à l'avenir.

La seconde tendance lourde est **la montée du niveau de la mer**. La mesure de celui-ci, et surtout l'étude des phénomènes qui sont impliqués dans son équilibre dynamique n'ont cessé de se développer depuis un siècle. Des outils perfectionnés ont été mis au point, des satellites aux flotteurs *in situ*. En parallèle, des programmes de traitement des données et de modélisation, en progrès rapide, ont permis d'intégrer des masses d'informations en synthèses assez précises et de faire des projections sur les décennies à venir avec les marges d'incertitude acceptables pour les décideurs.

Cette mondialisation des efforts de compréhension de la machinerie climatique et océanique, avec une responsabilité particulière confiée au GIEC depuis 1989, a permis d'aboutir à des trajectoires de forçage climatique et à des scénarisations de leurs causes et conséquences (GIEC, 2013). Celles-ci ont été longtemps négligées par la plupart des pays pour des raisons d'inertie sociétale et d'intérêts économiques. Mais, elles ont été peu à peu prises au sérieux au fil des conférences internationales sur le climat et des observations des dérèglements climatiques. Selon les hypothèses d'accroissement des émissions anthropiques de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, **les scénarios envisagent une augmentation de 44 à 74 cm du niveau moyen des mers à l'horizon 2100 (GIEC, 2013).**

Ces problèmes concernent directement l'Europe car nombre de plaines basses et grands deltas sont concernés : Rhône, Somme, Pô, Ebre, Escaut, Rhin-Meuse... (Chaumillon *et al*, 2014).

Les modifications de l'environnement littoral s'accroissent ainsi sous la double pression de l'anthropisation de cet espace et de l'élévation du niveau de la mer littoral (Bonnel et Frescoz, 2013). L'interface Terre-Mer est donc « en première ligne » des changements globaux. L'augmentation des occurrences de situations

météorologiques extrêmes fait aussi craindre une augmentation des risques de submersion dus aux effets conjugués de l'hydrologie et des états de mer. Les risques liés à la montée du niveau de la mer sont si considérables, qu'ils ne sont même plus mesurables mais « transcendants » comme le montre l'exemple de la catastrophe de Fukushima (Bourg *et al*, 2016). De fait, leur échelle spatiale est mal maîtrisée et ils ne sont pas compensables en cas de dégâts irréversibles liés par exemple à des effets de seuil ou la disparition d'espèces... (Beck, 1986). L'ampleur des phénomènes en cause est telle qu'il est illusoire de penser réduire le futur, et ses risques, à des probabilités issues d'une logique analytique. Il faut aussi éviter l'extrême inverse, c'est-à-dire la condamnation par avance de tout énoncé sur le futur. Le juste milieu est le dialogue permanent entre l'expérience, lucidement analysée, et les visions du futur, sans cesse actualisées (Bourg *et al*, 2016).

Les effets de l'élévation annoncée du niveau des mers ne se limiteront pas à la déjà vaste frange littorale. Ils se feront également sentir plus loin à l'intérieur des terres par exemple par une difficulté accrue d'écoulement des eaux augmentant fortement les surfaces inondées et donc les dégâts lors des crues ou une modification de l'hydro-morphologie des fleuves dont le profil en long sera recalé par des dépôts de sédiments modifiant les écosystèmes aquatiques et la sécurité de certains ouvrages hydrauliques. De même, l'apparition de vastes zones humides, voire de lagunes ou lacs saumâtres de plus en plus à l'intérieur des terres pourrait avoir des conséquences en termes de pathologie humaine notamment en matière de maladies à vecteur comme les moustiques.

Si des risques classiques, comme par exemple des pandémies, peuvent être maîtrisées *via* des outils internationaux pragmatiques et efficaces, le risque climatique et, avec lui, **la montée de la mer, présentent un caractère d'exception parce qu'ils sont globaux, irréversibles**, et que leur maîtrise exigerait un « nouveau contrat social » à l'échelle mondiale.

Des centaines de millions de personnes ainsi que toute l'économie littorale associée sont déjà concernées par la montée du niveau marin. Cependant, les contrastes sont forts entre des pays riches, comme les Pays-Bas, et les pays pauvres, comme le Bangladesh, ce qui sera une source supplémentaire de migrations massives si cela n'est pas anticipé. Il n'est cependant pas simple d'élaborer une stratégie cohérente de long terme face à ce phénomène car toute la gamme des réactions humaines peut être observée dans les débats qui croisent des intérêts de court terme et des tendances de long terme : déni du problème, indifférence, acceptation fataliste, résistance au changement climatique, réaction pragmatique, volonté d'anticipation de long terme. Dans la pratique, le plus souvent, il ne s'agit pas de dresser un mur mais de conserver une interface vivante avec la mer et de restructurer les espaces côtiers dans la profondeur. A l'échelle d'une commune comme à celle d'un État et des organisations internationales, les décisions finales sont des compromis, avec une grande difficulté d'estimation du ratio coûts/bénéfices sur le long terme. De fait, même s'il existe déjà plusieurs conventions internationales traitant divers aspects de ce problème global (Ramsar 1971, Barcelone 1976, Oskar 1998...), les principes d'éviter les perturbations les plus graves, de réduire et de compenser leurs effets sont toujours difficiles à traduire en actions concrètes et efficaces (Aronson *et al*, 2007).

Les conséquences environnementales, sociales et économiques de la montée du niveau de la mer vont dépendre de l'ampleur de cette montée, des caractéristiques initiales et des usages actuels et futurs des espaces littoraux considérés et surtout de la capacité de réaction / anticipation des instances de gouvernance actuellement en place. La combinaison de ces trois dimensions complexes et pour une large partie incertaine nécessite d'explorer plusieurs futurs possibles aux conséquences contrastées.

Enjeux d'une prospective ALLEnvi

Comment concevoir le littoral anthropisé sur le long terme sous contrainte de montée du niveau de la mer, au moins jusqu'à 2100, en prenant en compte les risques de « tempête parfaite » (conjonction de toutes les menaces potentielles, hypothèse qui ne peut être écartée, dite « *perfect storm* ») sur au moins certains points du littoral ? Comment garder compatibles l'expansion des activités maritimes et la sécurité et la pérennité des milieux ? Les échelles de perturbation de l'environnement liées à la montée de la mer sont si considérables qu'elles font apparaître de forts besoins en connaissances dans de nombreux compartiments de recherche. **Se projeter à 2100 est donc devenu nécessaire pour décider de manière pertinente à l'horizon 2030.**

La prospective irrigue déjà la planification à moyen terme de diverses activités maritimes. Mais la gestion durable du littoral face à un changement aussi global que la montée du niveau de la mer ne pourra émerger sans démarche collaborative alliant sciences et technologies dans de nombreux domaines : environnement, société, économie, urbanisation, industries, tourisme, gouvernance, en croisant les apports des diverses disciplines. De fait, l'adaptation aux changements globaux constitue déjà la plus importante thématique de recherche parmi les 130 programmes portés par les 17 UMR référentes travaillant sur le littoral (Duvat et Mossot, 2012). Le changement global impose donc de restructurer à un horizon au moins de moyen terme les activités humaines sur les terres basses côtières (Pioch, 2017). Cette évolution sera d'autant plus durable et sûre qu'elle sera anticipée, planifiée et accompagnée.

Outil assez récent au service de la gouvernance, avec l'intérêt d'une sorte de « modélisation » des choix stratégiques et d'estimation de leurs conséquences (Godet et Durance, 2008), l'analyse prospective contribue à faciliter les débats entre porteurs d'enjeux, à la sélection collective de mesures sans regret et, enfin, à l'appropriation par toutes les parties des actions nécessaires à mener à l'échelle régionale, quand ce n'est pas encore possible à l'échelle mondiale. Une telle démarche aurait sa place, sa légitimité et une valeur ajoutée certaine au sein d'ALLEnvi sur un sujet d'une telle envergure.

Méthode proposée

Le large éventail des vitesses de montée du niveau de la mer et la variété des conséquences et des réactions possibles justifient le recours à la méthode des scénarios. Il est donc proposé de mener une prospective à horizon potentiellement lointain (type 2100) visant à élaborer des représentations contrastées des futurs possibles, en articulant échelle mondiale à laquelle se déroule le phénomène étudié, et cas-types locaux permettant d'illustrer efficacement les conséquences et réactions possibles en fonction des configurations locales des littoraux potentiellement concernés. Les cas-types locaux illustratifs des futurs possibles seraient choisis par le Groupe d'experts scientifiques avec les responsables d'ALLEnvi. Ils pourraient concerner *a minima* un cas européen particulièrement sensible, comme les Pays-Bas, et un cas méditerranéen non européen, comme l'Égypte. D'autres cas de figures très sensibles en Asie, comme le Bangladesh, pourraient également être analysés. Les résultats devraient aider les partenaires de l'Alliance à prendre la mesure des enjeux mondiaux liés à cette question majeure et à en tirer les enseignements pour leurs priorités de recherche et de partenariat à moyen et long terme.

Le mode opératoire serait classique :

- **Constitution d'un groupe d'experts spécifique** : experts volontaires de tous les Groupes thématiques pertinents de l'Alliance, experts du climat, hydrologues, géographes, océanographes, écologues, agronomes, sociologues, politologues, juristes... Animation et coordination par le GT Prospective, garant de la méthodologie. Bibliographie internationale sur le sujet *via* une équipe IST inter-organisme *ad hoc*. Y

inclure la valorisation des travaux inter-instituts comme le projet ANR Vulcain (BRGM, BRL, Irstea...) et l'Eranet Aquimed (BRGM, Cirad, Irstea...)

- **Séminaire de lancement** au 2^e trimestre 2017, puis travaux de groupe sur une année (6 à 8 réunions) ; des cas-types d'impact déjà visibles (comme en Egypte) seront plus finement analysés pour appuyer la prospective sur des signaux de terrain, forts ou faibles.
- **Restitution et valorisation en fin 2018 : rapport, présentations** aux séminaires des réseaux thématiques et aux rencontres scientifiques d'Allenvi, **publications**.

Un point d'avancement sera programmé avec le Conseil et le CPS à mi-parcours.

La mise en œuvre de l'étude, en sus du temps passé par les experts des divers groupes impliqués, dont l'équipe IST, nécessite la mobilisation **d'un ingénieur chef de projet** et d'un budget de fonctionnement de **20 k€** pour l'organisation du séminaire de lancement, des réunions de travail et de la production des documents.

Bibliographie citée

Aquimed, http://aquimed.cirad.fr/activites_et_resultats/publications_liees_au_projet

Aronson J., S.J. Milton and J. Blignaut (Eds), 2007: Restoring natural capital; Science, business and practice. Island Press. Washington D.C.

Beck U., 2001 (1986) : La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité, trad. de l'allemand par L. Bernardi. Paris, Aubier, 2001, 521 p.

Benoît G. et A. Comeau ; 2006: Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. 427 p.

Bonneuil C. et J. B. Fresco, 2013 : L'évènement Anthropocène : la terre, l'histoire et nous. Le Seuil. 310 p.

Bourg D, P. B. Joly et A. Kaufmann (dir.), 2013 : Du risque à la menace : penser la catastrophe. Colloque de Cerisy. PUF. Coll. L'écologie en question. 374 p.

Duvat V. et G. Mossot, 2012: Réseau thématique pluridisciplinaire Littoral: état de la recherche. Rapport CNRS-INEE / Liens. 65 p.

CGDD - Commissariat général au développement durable, 2011 b : Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain. Min. de l'environnement, du développement durable, des transports et du logement. Coll. Prospective N° 55. Oct. 2011. 70 p.

Chaumillon E., E. Garnier et T. Sauzeau (Coord.) 2014: Les littoraux à l'heure du changement climatique. Colloque 18-20 nov. 2010; Rochefort, Brouage, La Rochelle. Ed. les Indes savantes. Coll. Rivages des Xantons. 264 p.

Ecorys, 2012: Blue growth: scenarios and drivers for sustainable growth from the oceans, seas and coasts. Study on mature, emerging and pre-development economic activities at sea in 2020. Rapport final pour la DG Mare (UE). 202 p.

GIEC, 2013 : Changement climatique 2013 : les éléments scientifiques. Volume 1 du 5^e rapport d'évaluation. 140 p.

- Goda A. M. A., 2008: Small-Scale fish culture: Guiding models of aquaponics and net-enclosures fish farming in Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 1687-4285 01/2008; 34(3):320-337.
- Godet M. et P. Durance, 2008 : La prospective stratégique pour les entreprises et les territoires. Dunod. Paris. 144 p.
- Hereher M., 2010: Vulnerability of the Nile Delta to sea level rise: an assessment using remote Sensing. *Geomatics, Nat. Hazards Risk*, 1 (2010), pp. 315–321
- Labeyrie L., 2015: Submersion: comment gérer la montée du niveau des mers. Ed. Odile Jacob / Sciences. 164 p
- Marine Board, 2013: Navigating the future IV; EU / DG RTD. 170 p.
- Neumann B., Vafeidis A.T., Zimmermann J., Nicholls R.J. (2015): Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *Plos One* 10(3): 0118571. doi: 10.1371/journal.pone0118571
- Pioch S., 2017: Gouvernance environnementale des milieux marins. Mémoire d'HDR; Univ. Montpellier 3. 320 p.
- Plan Bleu, 2008: Changement climatique et énergie en Méditerranée. BEI/EuroMed. 578 p.
- Rossetti di Valdalbero D. (Coord.), 2011: Global Europe 2050. Etude prospective DG Recherche / SSH / Prospective. 170 p.
- Sénat, 2012 : Rapport d'information sur la maritimisation. N° 674. Groupe de travail et commission ad hoc. Coord. J. Lorgeoux et A. Trillard ; 226 p.
- UNWTO, 2011: Tourism towards 2030: Global overview. 57 p.
- Vulcain <http://www.brgm.fr/projet/vulcain-vulnerabilite-hydrosystemes-soumis-changement-global-zone-mediterraneenne>

Annexe 2 : Dates et lieux des ateliers

N° atelier	Date	Organisme d'accueil
1	16 juin 2017	Cirad
2	6 octobre	Anses
3	1er décembre	Météo France
4	25 janvier 2018	BRGM
5	22 mars	INRA
6	17 mai	CNES
7	13 juin	INRA
8	6 juillet	CNES
9	30 novembre 2018	INRA

Annexe 3 : Exposés en atelier

Atelier 1 (16 juin 2017)

Le niveau de la mer : du global au local, observations et causes (Anny Cazenave, CNES)

Ce que l'on sait :

- La mer monte de 3 mm/an depuis 1993 (haute précision)
- Le phénomène s'accélère
- Ce mouvement n'est pas uniforme
- On identifie bien ses causes.
- Mais on ne sait pas bien ce qui se passe à l'échelle locale.

La cause : un bilan énergétique déséquilibré de la terre (énergie reçue et énergie réémise) de + 0,5 à 1 watt par m², lié à l'effet de serre. Cet excès de chaleur anthropique est accumulé dans l'océan (93,5%). Une partie de l'énergie contribue à la fonte des glaces. Depuis 1900, la **hausse observée varie de 1,2 à 1,9 mm/an** mais les marégraphes (qui mesurent des valeurs relatives par rapport au socle rocheux) ont des positions irrégulières le long des côtes.

Les mesures altimétriques, qui calculent le niveau marin absolu de l'océan par satellite, sont plus précises (précision instantanée de 1-2 cm, précision de 0,4 mm sur 10 jours) et donnent 3,0 mm/an avec +/- 0,4 mm/an. On peut faire diverses estimations (depuis Topex Poséidon en 1992, 4 satellites aujourd'hui).

La moyenne d'élévation est assez stable depuis 20 ans. La hausse est plus rapide dans certains océans. En France métropolitaine, on est plutôt en dessous ; outre-mer, c'est plutôt dans la moyenne.

Les composantes de l'élévation du niveau de la mer : l'expansion thermique + les variations de masse (Glaciers + Calottes polaires) - Vapeur d'eau atmosphérique + Neige (négligeable).

- Depuis 2005, le système Argo (3000 flotteurs) permet d'affiner les estimations de l'expansion thermique.

- Les glaciers fondent, c'est de mieux en mieux documenté.

- Les calottes polaires (Groenland et Antarctique) : longtemps mal connu. Grâce aux mesures d'altimétrie, à l'interférométrie radar et la gravimétrie spatiale, on peut affiner les mesures. Les résultats montrent que le Groenland perd de la masse plus vite que l'Antarctique et que cela s'est accéléré depuis les années 90. De plus, l'océan périphérique se réchauffant, les glaces périphériques fondent plus rapidement.

- Les stocks d'eau sur les continents varient aussi (pompage dans les aquifères vs barrage sur les fleuves). La variabilité est élevée mais il n'y a pas de tendance haussière ou baissière.

Bilan final : une courbe nette d'accroissement. Accélération nette aussi entre 1994-2004 et 2004-2015. Cinq centres de recherche distincts donnent tous des résultats similaires. Les causes par ordre décroissant d'importance : la fonte des glaces du Groenland (contribution x3 en 20 ans), le gonflement dû à la dilatation de l'eau des océans, la fonte des glaciers. Les intérêts de ces études : vérifier les mesures, inter-calibrer, déterminer les composantes manquantes, valider les modèles, mieux comprendre les processus en jeu.

On n'observe pas encore un réchauffement de l'océan profond.

Peut-on mesurer la variabilité interannuelle et régionale ? Oui, comme avec des phénomènes comme El Niño et La Niña dans le Pacifique. L'océan ne stocke pas l'énergie de manière homogène et les vents influent également sur les niveaux régionaux.

Nouveaux défis :

Que se passe-t-il à la côte ?

70% des plages sont en érosion, mais on ne sait pas très bien les causes. Ce qui compte c'est la combinaison de nombreux facteurs car la hausse des mers à la côte n'est pas nécessairement celle qui est observée au large.

Hausse à la côte : hausse moyenne générale + variabilité régionale + effets des vagues et vents + mouvements de la croûte terrestre (subsidence / émergence).

Les signaux de l'altimétrie spatiale sont perturbés par les vagues près des côtes. Il faut donc « retraiter » les données ou utiliser de nouveaux matériels plus précis. Mais ces retraitements sont encore peu répandus.

Les effets dus aux vagues peuvent être importants (*wave run-up*) et accroître significativement la hauteur ponctuelle du niveau de la mer.

La subsidence joue aussi un rôle important avec des causes multiples, dont le pompage, cela peut aller jusqu'à 4 m.

Conclusion en forme de questions

Peut-on être plus précis ? Oui, le système altimétrique semble pérenne.

Sait-on correctement expliquer la hausse ? Oui.

Le niveau de la mer à la côte est-il comparable à ce qui se passe au large ? On ne sait pas...

Il reste de nombreux défis, notamment au plan technologique afin de gagner en précision et fiabilité.

Questions

- Les barrages freinent-ils aussi la sédimentation donc le remblaiement des côtes ?

Oui, mais c'est mineur par rapport aux phénomènes de subsidence.

- Peut-on s'attendre à des différences fortes entre le large et la côte ?

Il n'y aura pas de changement révolutionnaire entre ces deux mesures (estimations de 10-20%).

- Ne faut-il pas combiner avec des événements extrêmes dont on sait que la fréquence va s'accroître et non raisonner seulement en élévation « stable » ?

Les événements extrêmes peuvent être modélisés (scénarios à +20 et +70 cm) mais on n'a pas de suivi fin par satellite de ce type d'événements assez courts.

Exposé sur les projections du niveau de la mer (David Salas y Méliá, Météo France)

Le passé est utile pour comprendre ce que pourrait être le futur. Actuellement la hausse du CO2 est modeste et la hausse de température aussi mais nous sommes dans une phase dynamique.

Si le climat monte d'un degré, comme au dernier interglaciaire et se maintient très longtemps à ce niveau, il faut ajouter 6-9 m au niveau actuel (*cf.* il y a 125 000 ans, avec des contributions des pôles, car même une

fonte de toute la calotte du Groenland seul n'expliquerait que +6 m, une contribution du Groenland de 3-5 m est plus probable).

Si l'on revient au Pliocène (-3 millions d'années), 2 à 3 degrés de plus et de 6 à 40 m d'élévation. Mais il faut que le réchauffement se maintienne sur une longue période pour atteindre de tels états stabilisés.

Quelles tendances et incertitudes ? Pour les seuls effets stériques océaniques (dilatation) :

- Le RCP2.6 serait le scénario de la stabilité (très peu probable), il donnerait 13 cm en 2100 et 21 cm en 2300
- Le RCP4.5 donnerait 18 cm en 2100 et 52 cm en 2300
- Le RCP8.5 donnerait 28 cm en 2100 et 119 cm en 2300

Régionalement, il y aurait de grosses variations (+ ou - 30 cm) selon une moyenne de 34 modèles CMIP5. Notamment dans les océans polaires et en Atlantique nord.

Noter que, pour +1°C, les eaux chaudes se dilatent plus que les eaux froides.

Le programme FAFMIP (CMIP6) travaille sur la compréhension des incertitudes des simulations futures en mettant en œuvre des modèles climatiques couplés océan-atmosphère.

- Les petites calottes et les glaciers donnent une contribution de 15 à 30 cm à 2100 et de 25 à 50 cm en 2300 (Marzeion, 2012).

- Les estimations pour le Groenland (Fürst *et al*, 2015) donnent 4 à 10 cm à 2100, avec un changement de topographie : le Groenland s'élève au centre (+ 50 m) et s'amincit sur la zone périphérique (jusqu'à - 1000 m).

- En Antarctique, il fait beaucoup plus froid et la masse est énorme. Plus de précipitations signifie plus de neige ; pas ou peu de fonte sauf sur la péninsule antarctique. Au total cela impliquerait une baisse du niveau marin de quelques centimètres à 2100 (Ligtenberg, 2013). Mais à terme une déstabilisation de la partie ouest de la calotte pourrait élever le niveau marin de quelques dizaines de centimètres (GIEC, 2013). Une étude de 2016 estime que ces effets dynamiques pourraient contribuer à hauteur d'1 m en 2100, 6 m en 2200 et 15 m en 2500 (De Conto & Pollard, 2016) si l'on extrapole les phénomènes du Pliocène.

- Les changements de stocks d'eaux continentales contribueraient pour 6 à 10 cm à 2100 (Wada *et al*, 2012) à l'élévation du niveau de la mer.

- Les effets gravitationnels sont à prendre en compte. On a deux scénarios avec des baisses de niveaux dans les zones polaires et des hausses modérées, mais variables ailleurs. Les effets isostatiques sont à considérer aussi.

Bref, en agrégeant tout, on obtient finalement 2 scénarios à 2100, avec des marges d'incertitudes fortes :

- **Un scénario « moyen » (RCP 4.5) donnerait 54 cm**
- **Un scénario « fort » (RCP 8.5) donnerait de l'ordre de 71cm**

Il reste beaucoup de questions ouvertes. Ces chiffres ne sont pas des limites de la montée des eaux, celle-ci continuant dans les siècles suivants.

Questions

- C. Valentin demande si le Gulf stream va se ralentir.

Les études sont trop fragmentées pour répondre de manière claire car la variabilité dans le temps est élevée (15 à 30 millions de m³/s).

- Entre 50 et 70 cm, comment décider pour les populations côtières ?

Anny Cazenave rappelle que la plus grande incertitude vient des émissions de gaz à effet de serre. J. Parent du Châtelet pose la question des changements profonds sur le climat dans des mers fermées.

On connaît certains phénomènes régionaux mais les modèles globaux rendent mal compte de l'élévation ; il faut passer par des modèles spécifiques. On a vraiment besoin d'une meilleure résolution spatiale.

- C. Didier demande si l'on peut imaginer des scénarios « extrêmes » si les incertitudes restent très fortes, notamment en Antarctique.

On manque de recul pour répondre à cela, mais cela ne peut être écarté.

Atelier 2 (6 octobre 2017)

La montée des eaux : quelles conséquences socio-économiques ? (Claire Jolly, OCDE, Chef d'unité, IPSO, Direction de la science, de la technologie et de l'industrie)

Ses deux domaines d'activité : espace et océan sous l'angle de l'innovation et de la croissance économique.

Le rapport récent de l'OCDE sur l'économie de la mer en 2030 (tourisme, pêche, aquaculture, chantiers navals, AMP...) met l'accent sur le fort potentiel de développement de l'économie de la mer. Deux piliers principaux : l'industrie (biens et services marchands, capital physique des industries) et les écosystèmes marins (biens et services non-marchand, valeur du capital naturel)

En matière d'environnement, l'étude se penche sur l'acidification, la température, la montée du niveau de la mer, pollution, etc., et les conséquences sur les secteurs économiques.

L'aquaculture est un des secteurs les plus prometteurs en matière de potentiel de développement, notamment au large. Il apparaît des besoins en modélisation (cf. schéma de l'UNEP)

L'ampleur des populations impactées ? Estimations de 300 millions à ... beaucoup plus.

Il faut tenir compte aussi des élévations de température (le climat de Paris serait celui de Montpellier ; celui de Rome deviendra celui de Tunis, etc.)

Une élévation de 10 m aurait des impacts énormes : pertes territoriales, déplacements de personnes, disparition et changement d'écosystèmes, pertes culturelles et d'infrastructures. Plus d'impact que pour les autres facteurs : températures, pluies /inondations, avec des effets en cascade dont certains sont peu prévisibles et des interdépendances. Deux types d'impact :

- Impacts systémiques directs plus impacts différés indirects (abandon d'infrastructures à risques croissants), qui sont soudain en cas d'évènement extrêmes.

- Les impacts de long terme qui sont coûteux en termes d'adaptation. Les inondations constituent déjà le risque le plus coûteux dans l'OCDE (250 millions de personnes et 40 milliards de \$). Mais la conjonction d'évènements extrêmes pourrait aggraver le phénomène, et les risques associés.

Les risques de submersion récurrentes pour les méga villes d'Asie croissent : Mumbai, Guangzhou, Shenzhen, Ho-Chi-Minh ville (...) ; on passe de dizaines de milliards à des centaines de milliards de \$ en coûts. Ne pas oublier

les forts impacts attendus aussi en Amérique du Nord et en Amérique latine avec une cascade d'impacts sur les échanges mondiaux.

Il faudra donc relocaliser nombre d'infrastructures portuaires avec des possibilités de défaillances catastrophiques d'actifs et de réseaux, dès lors que l'on prend aussi en compte des événements extrêmes. Mais certains États (Caroline par ex.) refusent les études scientifiques sur le phénomène notamment pour éviter de déstructurer les systèmes d'assurance - réassurance.

Les impacts économiques globaux (part du PIB mondial) sont estimés dans une fourchette allant de 1 à 3,3% à 2060. Mais tous les points de basculement ne sont pas tous pris en compte : coraux, Gulf stream, Nino-Nina, capacité de fixation du carbone...

Beaucoup d'enjeux sont aussi abordés dans deux rapports récents : les conséquences économiques du changement climatique et *Climate change risks and adaptation*.

L'aquaculture industrielle se développe, avec la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer et des événements extrêmes sur les fermes.

Il faut aussi traiter la question de l'adaptation, de ses coûts et de son financement.

Programme SolTer (solidarité territoriale) en cours de développement.

Exposé sur la modélisation des calottes polaires (Gaël Durand, IGE, CNRS, modélisation des calottes polaires)

Il y a 20.000 ans, le niveau de la mer était à -150 m.

Le GIEC donne des chiffres de l'ordre de 1 mm/an pour l'expansion thermique, plus 1mm issu de la fonte des glaciers terrestres et 1 mm pour le reste.

Il est virtuellement certain que le niveau de la mer continuera à monter après 2100.

Les glaciers de montagne n'apporteraient que 40 cm s'ils fondaient tous. En 2100, cela représenterait environ + 25 cm

Au Groenland

La masse diminue à cause de la fonte (60%) et de la dynamique (40%). Il y a une forte variabilité régionale et aussi dans le temps de la dynamique d'un glacier. Le point clef en termes de contribution à l'élévation du niveau de la mer est le flux de glace au-delà de la ligne d'échouage. Il y a un effet d'arc boutant (*buttressing*) des glaces en aval qui retient l'écoulement en amont.

La fonte (via les « moulins », ou conduits d'évacuation de la glace fondue, qui canalisent l'eau vers le socle rocheux), favorise la lubrification du glissement des glaciers et accélère son écoulement vers la mer.

Les simulations donnent +15 cm sous RCP 8,5 à 2100 et +4 cm sous RCP 2,6.

Sur des échelles de temps longues, l'élévation de température conditionne trois états de stabilité, le volume passerait de 4 à 1 millions de km³. Au-delà de +1,6°C d'augmentation durable (+ de 30 ans consécutifs) de la température moyenne, le Groenland ne peut se maintenir dans un tel climat, sa fonte entraînerait jusqu'à 4 m d'élévation.

En Antarctique

On observe une évolution du front des plateformes en Péninsule d'une forme convexe vers des formes concaves (les plateformes Larsen en particulier). Le secteur d'Admundsen est le principal contributeur de l'élévation via le glacier de Pine Island.

L'essentiel de la calotte de l'Antarctique de l'ouest repose sur un socle se trouvant sous le niveau de la mer et s'enfonçant vers l'intérieur du continent. On suspecte que les glaciers dans une telle configuration topographique puissent être instables. Le flux lié au glissement est fortement accéléré par la déstabilisation des *ice shelves* et, au-delà de certains seuils, le retrait du glacier peut être irréversible. Mais cette instabilité est-elle généralisable ?

La modélisation donne des contributions à environ +30 cm à 95% de confiance avec des effets forts, notamment dans les glaciers Thwaites et Pine Island.

N'a-t-on pas oublié des processus ? On pense aux effets de fragmentation des plates-formes sur la mer ; cela peut conduire à des falaises de glace de plus de 100 m qui ne peuvent pas se maintenir mécaniquement ; d'où un risque d'accélération de la fonte, processus dit « *Marine ice cliffs instability* » ou MICI.

Résultats : + 1m en 2100 sous RCP 8,5. Mais beaucoup moins sous RCP 2,6.

Si l'on fait des itérations des modèles selon divers auteurs, cela donne 20 à 30 cm sous RCP 8,5 et plus d'un mètre si l'on rajoute le MICI.

Comment caler un scénario du pire ? C'est la recherche du cygne noir...

La courbe de probabilité donne un pic mais une longue queue.

Dans le passé, on a atteint 4 m/siècle (c'est probablement une valeur maximale).

Les deux calottes polaires approchent vraisemblablement de points de basculement plausibles...

Si l'on résume les contributions :

- Thermique : 35 cm
- Glaciers terrestres : 25 cm
- Groenland : 15 cm
- Antarctique : 30 à 105 cm +/- 30

TOTAL = de 120 à 210 cm

(Rappel capital : c'est un niveau de la mer moyen ! Il est très hétérogène selon les sites)

Questions

Et l'entrée de la neige ? Quand il fait plus chaud, ne va-t'on pas accumuler plus de neige ?

On va effectivement mettre plus de neige sur le plateau Antarctique dans un climat plus chaud, avec pour conséquence directe de diminuer le niveau des océans. Cependant cela n'impacte pas sa réponse dynamique car celle-ci est, pour beaucoup, contrôlée par la chaleur apportée par l'océan. La clef du changement reste d'être, ou pas, en deçà du point de basculement. D'où la métaphore du cycliste que l'on pousse doucement sur un plateau en montagne ; il va s'arrêter à cause du frottement. Mais si on le pousse un peu trop fort, il va partir dans la pente et on ne pourra plus l'arrêter.

En dernière analyse, le choix du scénario « du pire » dépend de l'échelle temporelle prise (2100, 2200...) et du degré d'aversion au risque des décideurs.

Atelier 3 (1^{er} décembre 2017)

La montée des eaux : quelles conséquences urbaines et en aménagement côtier ? (Jacques Rougerie : urbaniste, architecte, océanographe, membre de l'Institut de France)

Il a travaillé longtemps sur l'espace et le littoral. Il rappelle qu'en 1900, on était 3 milliards dont 20% sur le littoral. Actuellement, on est 7 milliards et 50% vit près des littoraux. En 2050, on sera 9 milliards dont 75% près du littoral. Il faut préparer cela.

Il a créé une fondation à l'Institut de France et un prix d'innovation pour les jeunes (espace, mer,) en incitant à prendre notamment en compte la montée du niveau de la mer. Résultats du concours : depuis 2011, 6500 candidats de 131 pays. Mais on ouvre la boîte de Pandore et dedans, c'est extrêmement complexe. Il faut pourtant agir. Le concours vise à susciter un « hub » d'idées plutôt que de trouver des solutions précises. Cette transversalité est essentielle. Il collabore avec l'Unesco, l'agence spatiale européenne, la NASA...

Il présente les cas « extrêmes » de pays, comme le Bangladesh (faire une ville sur pilotis ?) ou de villes, comme Cotonou (Bénin).

Les Nations Unies prévoient 200 millions de réfugiés climatiques d'ici la fin du siècle. Que faire ? Des structures flottantes avec de la terre à bord et on agrège des modules afin de rester sur des terres ancestrales (ex. Maldives ?). La montée des eaux est certes lente donc contrôlable mais il reste le problème de la force des phénomènes climatiques. Il faut réfléchir en termes d'aménagement naturel du littoral pour le protéger (ex. replantation de mangroves qui fixent les sols et ralentissent les courants) et non l'artificialiser (digue en béton par ex.). La fréquence plus élevée des événements extrêmes (EvEx) justifie de réfléchir à des aménagements nouveaux comme des récifs artificiels pour « casser » la houle. Autres idées : recycler du plastique récupéré dans les océans en îles artificielles, enrochements perpendiculaires au rivage... Il est utile de réfléchir aussi aux impacts sur des grandes villes comme New York (urbanisme adaptatif).

Il faut en tout cas éviter une vision catastrophiste qui décourage plutôt qu'elle ne stimule à l'action. Avant tout, créer les réseaux pertinents pour se préparer à un avenir qui est un défi avant d'être une menace. Il faut accepter des idées *a priori* farfelues, ne pas filtrer trop et trop tôt, et enfin oser partir sur d'autres paradigmes. Les jeunes le font plus facilement car ils ont plus confiance que les seniors sur les grands enjeux.

Débat

Quels avenir aux projets primés ?

J.R.: Les équipes gagnantes, avec 10 K€ et l'appui de l'Unesco, approfondissent leur projet pendant un an sur un site précis. Exemple récent d'une équipe qui travaille sur la lagune de Cotonou avec des habitats sur pilotis. Mais peu continuent tout de suite. La fondation est jeune; il faut lui laisser du temps.

Comment réagissent les agences de développement, les bailleurs de fonds traditionnels ? Ils ont besoin d'idées.

J.R. : on démarre; on ne s'est pas encore adressé à eux.

Comment réagissent les institutions ?

J.R. : les institutions sont plutôt dans une posture d'observation. En revanche, les jeunes sont très sensibles à nos propositions et participent à beaucoup de forums, réseaux, média...

Réfléchit-on sur les impacts des aménagements ?

J.R. : Il faut être très prudent. Les projets sont des déclencheurs d'idées. Il faut accepter une certaine naïveté afin de penser « hors de la boîte ». Le jury débat justement du cadre des projets et du second stade de réflexion. On butine d'abord; on filtre ensuite. Mais il ne faut pas commencer par des contraintes. Souvent, les solutions techniques viennent d'ailleurs. L'Unesco veut engager l'Afrique (30 pays impliqués) dans ce processus de réflexion sur les problèmes lagunaires sur des sites concrets (Cotonou, Abidjan...). De même, dans l'espace on garde cette approche en deux temps: créativité et faisabilité. Vous pourriez proposer un thème au concours selon vos priorités. Il faut cadrer un peu les jeunes pour qu'ils expriment leur créativité.

Que choisir : rester en se défendant, aménager pour vivre avec ou se retirer (repli stratégique) ?

J.R. : les jeunes cherchent des solutions sur place d'abord ; pas comme les aînés qui ont tendance à « s'éloigner » du problème. Les Hollandais ont déjà cette culture et la technologie et les moyens. Quand je travaillais à la Datar, on parlait de digues pour mettre le littoral à l'abri. Il faut éviter des solutions purement techniques.

Quelles sont les formes de résistance à vos idées et vos projets ?

J.R. : le refus de voir que cela ne va pas dure ! Le temps se contracte. Il va y avoir un basculement de générations. La nouvelle génération sait que jamais plus ce ne sera comme avant. Mais les maires à l'ancienne devront évoluer. De toute manière, il y aura de la casse !

Territoires et sociétés sous contrainte de changement climatique (Alexandre K. Magnan, géographe à l'IDDRI)

Comment intégrer les changements graduels inhérents au long terme (changement climatique, montée du niveau de la mer...) dans le développement durable des sociétés ? Quelle est la part de la nature dans l'augmentation des risques liés à la mer et quelle est la part de l'homme ? Ce dernier n'étant pas une victime innocente, il faut croiser deux problématiques : changement climatique et développement.

Le changement climatique va imposer des contraintes, notamment sur les ressources. Comment vont réagir les sociétés humaines ? En général, pour appréhender la vulnérabilité future, on fait une photographie de la vulnérabilité actuelle et on la projette dans l'avenir. Mais les sociétés évoluent. Il est donc nécessaire de réfléchir au cheminement, aux « trajectoires de vulnérabilité », plutôt qu'à la vulnérabilité à un instant donné.

Si l'on prend l'exemple du cordon de St Paul à la Réunion, il y a eu une explosion des constructions et des enjeux dans la bande des 100 m. Les zones tampons se contractent (plages, dunes, mangroves...). Les systèmes de gestion du risque présentent des forces (alerte cyclone fiable par ex.), mais aussi des dysfonctionnements.

En Charente-Maritime, les retraités de grandes villes notamment, sont venus s'installer sur des zones basses, exposées à des risques de submersion marine ; et un processus d'urbanisation continu s'est développé. Les aménageurs, décideurs et usagers, croient au mythe du « développement sûr » : meilleure résistance du bâti, drainage, digues... A court terme, cela réduit la vulnérabilité, mais cela crée une impression de sûreté et donc finalement renforce la densification de l'urbanisation, donc la vulnérabilité et le tout s'accompagne d'une perte de vigilance...

Les atolls du Pacifique sont menacés comme les Kiribati. L'atoll-capitale de Tarawa Sud (altitude max : 3,5 m) subit une explosion démographique avec 8000 hab/km², et une urbanisation anarchique sur les zones à risques notamment les flèches sableuses, par nature mobiles.

L'exemple de Katrina à la Nouvelle Orléans : la digue du lac Ponchartrain a donné à croire que la ville était protégée et que l'on pouvait continuer à densifier. Puis l'argent de l'entretien de la protection est allé à la lutte anti-terroriste (sous Bush), d'où des défaillances dans ces systèmes de défense.

Conclusion : 4 facteurs majeurs récurrents à l'œuvre :

- Occupation des zones à naturellement à risque
- Dégradation des écosystème tampon (qui atténuent les impacts des vagues par ex.)
- Mythe de développement sûr (foi excessive en la technologie, illusion de la protection)
- Affaiblissement de la conscience du risque et du lien à l'environnement

Si de nombreuses solutions restent à inventer, d'autres existent déjà. Il reste cependant des espaces d'innovation, sachant qu'il n'y a pas de solution miracle unique. Il faut penser en termes de trajectoires d'adaptation, c'est-à-dire penser de manière « dynamique » et ainsi contourner, au moins partiellement, le problème des incertitudes. On peut faire beaucoup de choses avant 2070 et ne pas attendre 2069 pour agir.

La meilleure approche ne serait-elle pas de faire des scénarios de trajectoires en tenant compte de leur potentiel de traitement du problème? L'enjeu consisterait alors à identifier un panel de solutions, et parmi elles, celles qui sont nécessaires maintenant mais risquent de devenir obsolètes dans quelques décennies (par ex. la restauration des récifs coralliens si l'acidification et le réchauffement de l'océan augmentent à des rythmes trop intenses), et celles qui seront probablement utiles dans le futur mais pas encore mûres pour être déployées.

Les voies de sortie possibles, et c'est dans leur combinaison qu'il faut chercher le développement de trajectoires d'adaptation :

1. Renforcer la capacité naturelle de protection des écosystèmes côtiers
2. Eviter la mal-adaptation (les fausses solutions de long terme)
3. Migrer localement, quand c'est possible (sur une autre île d'un atoll qui ne soit pas surpeuplée, dans l'arrière-pays, etc.)
4. Fortifier les littoraux sur lesquels les enjeux (bâti, infrastructures) ne sont pas déplaçables, car parfois la solution technologique qui être la bonne. Sur les îles basses, la fortification doit s'accompagner d'une surélévation.
5. Migrer au niveau international (« plan B » en cas de scénario trop intense d'élévation du niveau de la mer): vastes questions, notamment au plan juridique.

Débat

Quelles capacités de prévoir les risques (ex. des centrales nucléaires littorales)

A.M. : Nous sommes peu armés devant des problèmes aussi systémiques. Nos sociétés pensent que nous avons assez de technologie pour prendre en compte tous les risques dont ceux liés à la nature. C'est pour cela

que le discours des scientifiques aux décideurs est si difficile. Le fait de ne pas savoir apparaît comme une faiblesse.

On observe des défaillances de gouvernance pour Xynthia et Katrina. Moins de 10 ans après la catastrophe de Vaison (30 morts) on a recommencé à construire dans des zones à risques. Rôle des médias qui confortent les élus locaux dans l'idée d'un évènement extraordinaire alors que réalité d'une récurrence des évènements extrêmes. Que faire?

A.M. : On discute de cela dans les Commissions des Nations Unies. Mais les diplomates en charge du changement climatique ne sont pas ceux qui traitent des catastrophes naturelles... Il y a beaucoup de forces en jeu : élus, médias, promoteurs, retraités...

La génération future sera-t-elle la bonne pour traiter le problème à la bonne échelle? Quand passera-t-on le stade des solutions palliatives? La posture d'humilité serait-elle la bonne? Il semble qu'il y ait quand même une prise de conscience.

A.M. : On a fait des progrès depuis la COP21. Ce n'est pas suffisant mais on est en train de « retourner la chaussette » et les jeunes commencent à poser de bonnes questions. On ne parle plus de Gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) ni de développement durable comme si cela était acquis. On avance, et plutôt vite car une révision des engagements des pays tous les 5 ans est un très bon stimulant. La Chine a donné un exemple très positif sur les énergies renouvelables. La géo-ingénierie pourrait contribuer à une certaine atténuation mais ce n'est pas la solution miracle.

Atelier 4 (25 janvier 2018)

Les grands enjeux et les conséquences « défense » de la hausse du niveau des mers (Manh Largemain (Dir. de la stratégie) et Jérôme Chardon (Bur. Pacifique), Ministère des armées)

Est-ce un sujet pour les Armées ?

Oui parce que les bases aériennes ou aéroportuaires pourraient être concernées. Le ministre (Le Drian à l'époque) a considéré il y a quelques années que le changement climatique en général et la montée du niveau de la mer en particulier devaient être analysés dans une perspective de changements potentiels impliquant la sécurité de la France.

Un programme sur 4 ans a été construit avec divers experts en incluant notamment les sciences humaines.

L'objectif : « accroître la résilience des armées par rapport au changement climatique et à ses impacts sur les infrastructures de défense, les adaptations nécessaires des équipements aux conditions extrêmes et réduire la dépendance aux énergies fossiles ».

La région Asie Pacifique est particulièrement concernée par cette élévation. Elle a donc fait l'objet d'une étude spécifique. Les finalités du travail: contribuer à la prévention des crises, limiter la pression sur les forces armées et développer nos coopérations régionales.

Habituellement, les armées ne font que réagir aux catastrophes climatiques et appuient les autorités civiles. Les USA ne s'en préoccupent plus. La France considère que « c'est un atout d'anticiper les crises d'origine environnementale (cyclones, feux de forêt, tempêtes, pollutions d'origine naturelle ou anthropique) et d'évaluer les risques afférents de déstabilisation de la France comme des pays alliés ou amis ». Certains pays créent des « éco-gardes » pour protéger les parcs nationaux, vitaux pour la conservation de la biodiversité.

Premier exemple : L'oiseau migrateur la barge rousse: Comment cet oiseau migrateur évite-il les cyclones ? Convention entre les Armées, le MNHN et le Ministère de l'environnement pour étudier ce comportement Il a bien des applications potentielles notamment aux Antilles.

La France travaille avec les pays du Forum des pays du Pacifique sud sur ce sujet.

Second exemple : connaissance du capital naturel « critique » du SE Pacifique, zone vulnérable au changement climatique. Chaque acteur détient une part de la connaissance et de la problématique, donc la mutualisation des informations est utile pour tous. Il faudra renforcer la coopération internationale sur le sujet dans cette région.

Nous avons lancé aussi un cycle de conférences en Asie. A Ho-Chi-Minh ville, on s'est intéressés au delta du Mékong : forte vulnérabilité du Vietnam (risque de perte de 11% de la côte dans le scénario médian). De plus l'énergie de la mer est de moins en moins absorbée parce que les plages et les mangroves s'amointrissent.

Une politique volontariste de développement de la pêche a conduit les pêcheurs vietnamiens à aller de plus en plus au large (en raison des pressions de contrôle de la Chine et de l'Indonésie), notamment vers des zones protégées d'Australie, voire de Calédonie.

Mais Russie et Chine ne veulent pas de zones protégées de la pêche dans la région contrairement aux pays du Forum du Pacifique sud. Il faut donc un observatoire intégrant des scientifiques pour « objectiver » la situation et aider à proposer des solutions convaincantes pour tous les acteurs.

Nous surveillons les déstabilisations régionales comme au Bangladesh (risque de perte de 30% du territoire). Camps insalubres, migrants sécuritaires (ex. Rohingas), migrants sanitaires.... De fait, les risques migratoires peuvent entraîner des déstabilisations en chaîne dans les pays de l'ASEAN, notamment en Thaïlande. Nous suivons cette conjonction de facteurs, dont la montée de la mer. Les pays n'ont pas de stratégie concertée.

Nous observons avec intérêt les stratégies locales de développement de l'aquaculture des crevettes dans les terres inondées par la mer.

Débat

Qu'en est-il du déni de réalité du gouvernement vietnamien sur cette montée de la mer ?

Réponse : récemment, le gouvernement a reconnu le phénomène et sa responsabilité (notamment via les extractions de sable)

Jusqu'où les militaires sont autorisés à aller ?

R : tous les échanges avec les autres pays, et les programmes d'action éventuels, se font dans un cadre d'un renforcement de la concertation et la volonté de trouver des solutions communes.

Existe-il une « scénarisation » des risques croissants dans le SE Pacifique ?

R : il n'y a pas d'exercice de scénarisation sensu stricto. Mais le scénario tendanciel et d'optimiser les moyens existants en coordination avec AFB, IRD... Nous sommes le seul pays européen présent dans la zone. L'approche de l'UE est plutôt préventive que post-conflit. Nous cherchons donc des moyens de *capacity-building* notamment en matière de protection de la biodiversité.

Atelier 6 (17 mai 2018)

Géopolitique de l'environnement et changement climatique (François Gemenne, directeur exécutif du programme de recherche interdisciplinaire « Politiques de la Terre » à Sciences Po)

Ce spécialiste des questions de géopolitique de l'environnement, (Médialab). Il est par ailleurs chercheur qualifié du FNRS à l'Université de Liège (CEDEM) et à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (CEARC). Il enseigne également les politiques d'environnement et les migrations internationales à Sciences Po Paris et Grenoble, et à l'Université Libre de Bruxelles. Ses recherches sont consacrées aux migrations et aux déplacements de populations liés aux changements de l'environnement, (yc catastrophes naturelles), ainsi qu'aux politiques d'adaptation au changement climatique et aux conséquences humaines, sociales, politiques et géopolitiques des CC dont hausse niveau des mers.

Rappel : Sources du SLR = fonte des glaces + expansion thermique.

Difficulté : projections globales (hausse moyenne d'1m en 2100) mais pas à l'échelle locale donc pas d'action possible.

Mesures particulièrement insatisfaisantes dans régions sans doute les plus touchées (une seule jauge en Afrique de l'Est ! Pas une seule aux Tuvalu !) → défi scientifique d'augmentation du nombre des jauges et d'amélioration des mesures à l'échelle locale

2100 ne marque pas l'arrêt de la hausse du niveau des mers, accélération post 2100 probable.

En conséquence, les choix de planning urbain doivent se positionner à plus long terme. En 2200, on pourrait avoir 2 à 3 m. En 2300, on pourrait atteindre 5 m.

Impact sur les courants marins et aussi accélération de la fonte de la calotte polaire arctique qui elle-même accélère la hausse du niveau des mers (Hansen).

Deltas, cotes, îles les plus densément peuplées (difficultés de mise en place des infrastructures d'adaptation) et les plus touchées

Seuil de rupture envisagé, fonte totale de la calotte polaire arctique → 6-7m à 2100/2150, la géographie de l'UE changerait fortement. De nombreux pays investissent déjà dans des infrastructures lourdes selon une logique de protection.

Aux Pays-Bas plan Delta anti-inondation; en Angleterre, plan de renforcement des berges de la Tamise, à Venise, protection des bâtiments historiques, en Belgique, création d'une île. Logique européenne de protection infrastructures côtière même si elle est encore disparate.

Mais les impacts seraient infiniment plus forts en Asie avec la quasi disparition de pays comme le Bangladesh, la grande plaine chinoise entre Pékin et Shanghai, la côte est de l'Inde, le Cambodge et une bonne partie des îles des Philippines. La question centrale est celle du choix des territoires à protéger et de ceux que l'on abandonne, populations qui restent sur place vs populations déplacées. Exemple de 2 politiques en cours :

- Au Vietnam, programme « *Living with flood* », avec une relocalisation de nombreux village du delta du Mékong vers les collines à l'intérieur du pays.
- Entre le Bangladesh et l'Inde : construction d'une clôture de protection de la frontière (de 3500 km de long) pour empêcher migrations irrégulières massives des Bangladais vers l'Inde. La seule voie de sortie serait vers la Birmanie mais en fait 1 million de réfugiés Rohingas est venue dans l'autre sens !

La conséquence première est l'ampleur des migrations. Celles-ci sont progressives mais irréversibles, grande différence par rapport aux autres causes comme la sécheresse ou guerre.

On ne sait pas dire combien de personnes se déplacent réellement. Impossible à quantifier car les migrations sont progressives et multifactorielles. Hors évènement extrême, on estime qu'à **chaque centimètre d'élévation, un million de personnes doivent se déplacer**³.

Ainsi, les femmes des Tuvalu viennent accoucher en Nouvelle Zélande puis repartent pour garantir la nationalité néo-zélandaise à leur enfant si besoin pour l'avenir. Mais la question de la relocalisation déchaîne des débats passionnés. L'Indonésie réfléchit au déplacement de Djakarta vers une ville nouvelle !⁴

Echec de la relocalisation en Papouasie Nouvelle Guinée car on a laissé le choix à la population de se relocaliser ou non (d'îles menacées vers l'île Bougainville). Déchirement de la communauté, perte de cohésion communautaire. Fort attachement au territoire ancré dans la culture (prolongement du soi, partie de l'identité individuelle). Cela dépend aussi des cultures : en Mélanésie, il vaut mieux partir de son île pour aller à Auckland parce qu'aller sur une autre île serait une « trahison » de sa terre, dont le « moi » est un prolongement.

Grands débats aussi au plan international car il n'existe pas de statut de réfugié climatique. Ce statut pose problème par rapport au statut actuel du droit d'asile, et rencontre même l'opposition d'une série de pays en développement (connotation négative, solution un peu facile de la part des pays développés, nécessité d'accueillir les voisins...). Les pays occidentaux ne pourront pas ignorer le problème car ils seront eux-mêmes concernés (disparition possible de parties de la Belgique, des Pays-Bas, du Danemark...).

Or la population croît toujours dans les zones côtières exposées. Aveuglement de certains gouvernements. On construit encore des hôtels en bord de mer comme aux Maldives, mais les investissements sont calculés sur une rentabilité à 20 ans.

Il faut aussi tenir compte de l'érosion côtière liée aux barrages combinés à la hausse niveau des mers → recul très rapide du trait de côte (ex. le littoral de Cotonou au Bénin a déjà reculé de 150 m en 10 ans !). A 1m de SLR, le Vietnam perdrait 10% de son territoire.

Menace de disparition de petits territoires insulaires Maldives, Tuvalu, Kiribas, Marshall, Cook etc. Pour les États souverains, il se pose la question de conserver cette souveraineté si le territoire disparaît sous les eaux. Cette question du territoire sur laquelle est fondée l'ordre international se trouve remise en question.

De nombreuses îles sont menacées de voir disparaître leur territoire (Tuvalu, Maldives, Kiribas, Marshall, Cook...). Que faire alors des « souverainetés englouties » ? Un État souverain doit disposer d'une terre, d'une population stable, d'une autorité politique et d'une reconnaissance des autres États. Si le territoire n'est plus une condition, alors de nombreux demandeurs risquent d'apparaître (Kurdes, Roms, Milliardaires...). Peut-on penser à des États virtuels (comme l'ordre de Malte). C'est encore symboliquement difficile à imaginer. Kiribas prépare déjà son départ définitif programme « *Migration with dignity* » : son futur sera une diaspora (position « anti-sioniste »). Mais Tuvalu ne se projette qu'au plan territorial (plan dit « sioniste ») et a rejeté des accords de migration (300 immigrants/an). Finalement, Tuvalu n'a accepté que 75 émigrants/an.

³ On estime qu'il existe 20 à 30 millions de déplacés par an, toutes causes confondues

⁴ Si Ho-Chi-Minh ville n'est pas menacée (car à +20m), d'autres capitales sont vulnérables comme Bangkok, Dacca, Manille...)

L'adaptation s'envisage très différemment dans les pays industrialisés (infrastructures) et dans les pays du Sud (tentative des Maldives de rassemblement de la population sur une dizaine d'îles y compris artificielles; résultat: échec).

Difficulté d'évaluation des pays les plus vulnérables: Quelle part du territoire à évacuer ? Quelle fraction de population touchée ? Risque de compétition entre pays en développement. Difficulté de maintenir une unité pour obtenir un financement des pays développés.

Il faut aussi considérer les deltas vulnérables (Gange, Mékong, Nil, Amazone...)

L'Australie et la Nouvelle-Zélande ont des politiques migratoires opposées. Ainsi, l'Australie finance des camps de centralisation des demandeurs d'asile sur des îles, en bordure du continent australien alors que la Nouvelle-Zélande fait le pari de l'intégration sur son sol.

Reconduite des migrants expulsés depuis la France à Mayotte.

Vulnérabilité des bases militaires en zone côtière (52 bases US).

Pour réussir la relocalisation d'une population : nécessité **d'un consensus très fort, de compensations financières et de temps (1 génération)**.

Débat :

Quid de la subsidence qui peut aggraver les situations ?

Ces situations sont très diversifiées et enjeux de débats au niveau des Nations-Unies

Aide-t-on vraiment les migrants climatiques ?

Certains pays le font comme le Canada, et la France, qui est engagée dans des processus de relocalisation mais les choix sont adaptés surtout aux besoins du pays d'accueil (médecins chrétiens d'Irak pour la France, ouvriers sans diplôme pour travailler dans l'horticulture en NZ...)

Atelier 7 (13 juin 2018)

Aménagement des deltas face au changement climatique (Pr Robert J. Nicholls, Université de Southampton)

Il a travaillé sur de nombreux deltas comme celui du Bangladesh et celui du Nil. Un très grand nombre de facteurs doivent être pris en compte. Il a développé le programme « ESPA: *Ecosystem services for poverty alleviation* » (soutien de 4 millions £ de 2012 à 2016), et notamment le ESPA au Bangladesh sur « *Rural livelihoods in Rural Bangladesh* », mais aussi le projet DECCMA, Deltas, Vulnerability and Adaptation, Migration, sur les migrations et l'adaptation dans trois deltas.

Au Bangladesh, dans la province de Barisal, la plus exposée, 14 millions de personnes sont vulnérables aux inondations chroniques liées aux conjonctions de phénomènes dont la marée, la mousson, le débit des fleuves comme le Brahmapoutre et le Gange...

Le consortium ESPA Bangladesh compte 21 partenaires (100 personnes) et est lié au gouvernement de l'État. L'objectif du projet est de donner une vision, puis une politique, puis une feuille de route concrète (actions de terrain) en termes d'aménagement stratégique.

L'approche combine une approche participative pour impliquer les acteurs partie-prenante dans la construction des scénarios, une méthode pour développer des modèles prédictifs pour évaluer les scénarios,

une boucle d'apprentissage entre la construction des scénarios et les simulations numériques. R. Nichols présente le système complexe des interactions et le système de modélisation. La méthode vise à intégrer différentes formes de connaissances en lien avec des disciplines biophysiques, de gouvernance et socio-économiques, et des savoirs d'acteurs. Divers modèles sont mobilisés comme CropWat, ModFlow, Delft3D, FVCOM, GCOMS, INCA... intégrés dans un *Delta dynamic integrated emulator model* (Δ DIEM). Cet outil statistique permet d'intégrer les dimensions environnement, socio-économie, démographie et gouvernance. La base d'analyse est composée de 1486 foyers de référence visités 3 fois par an, ce qui a permis d'élaborer 30 « archétypes » de ménages ayant des stratégies socio-économiques différentes. Ce « méta-model » est à réactivité rapide.

En termes de CC, trois cadres globaux sont retenus : moins durable, BAU et plus durable. En parallèle, plusieurs scénarios sont construits et couplés à des modélisations différentes afin d'évaluer les impacts sur l'agriculture / aquaculture, les mangroves, les pêches, les zones humides, la forêt. Les cartes produites permettent de visualiser la vulnérabilité des communes en termes de rendements agricoles et de sécurité alimentaire, notamment. Il a été établi par exemple, que les pêches locales pourraient s'effondrer en 10 ans.

L'assemblée des acteurs a pu disposer rapidement d'un Delta Plan 2100 en 3 volets : identification des problèmes, scénarios de développement et politiques publiques. En 2016, un bilan global a pu être fait lors d'un colloque de restitution de l'étude. De nombreuses stratégies d'action « *hard and soft* » ont été identifiées : construction de barrages, renégociation du traité de Faraka, gestion du barrage sur le Gange, zonage d'habitation et de retrait, développement de polders, adaptation des cultures (surtout le riz), développement de l'aquaculture d'eau saumâtre...

L'étude a pu montrer la possibilité de **réduire la pauvreté de 30% à moins de 10% par une politique globale de « poldérisation stratégique de long terme »**. Le plus important a peut-être été de changer les mentalités et de montrer qu'il y avait des voies d'évolution positive.

La modélisation reste un outil mais il est puissant et objectif. Mais l'implication des acteurs partie-prenante et la mise en place d'une approche participative permettent

Conclusion

Avant 2050

Au Bangladesh, ce sont les choix humains et les interventions politiques qui vont déterminer le futur du territoire, plus que le CC. Jusqu'en 2050 l'impact de la subsidence reste plus important que celui lié à la hausse du niveau des mers.

Les événements météo extrêmes sont des freins potentiels forts à tout développement.

Les services écosystémiques ont tendance à diminuer de manière inexorable, notamment du fait de l'accroissement de la taille des structures agricoles et du développement économique mal maîtrisé. Il restera des poches importantes de pauvreté quel que soit le scénario.

Au-delà de 2050

L'impact du CC est beaucoup plus important après 2050 : hausse des températures, changement des régimes hydrologiques, hausse du niveau des mers et plus de cyclones. **Les effets du CC au-delà de 2050 ne pourront pas être toujours gérés.** L'adaptation stratégique est nécessaire pour traiter les effets après 2050.

Deux types d'innovation sont envisagées pour faire face à cette situation : un ralentissement de la subsidence par une gestion de la sédimentation (solutions techniques) et la création de mangroves ayant un rôle de zones tampons (solutions basées sur la nature).

Publication sur ce travail accessible sur le Net et en livre : « Ecosystem Services for Well-Being Deltas » (contact : r.j.nicholls@soton.ac.uk)

Addendum

R. Nicholls présente le projet DECCMA : *Deltas, Vulnerability and Adaptation, Migration*. Ce projet porte sur les deltas : delta du Volta, sur la côte Est de l'Inde, le Bangladesh.

Il est basé sur de la participation et de la modélisation, et vise à anticiper les dynamiques de migration interne. Le projet combine des questions d'environnement, d'économie, de gouvernance, d'agriculture, etc.

Les résultats doivent être pris avec une capacité de recul.

L'accroissement de température ($1,5^{\circ}/2^{\circ}/3^{\circ}\text{C}$) augmentera les risques d'inondation surtout s'il est couplé à des événements météo extrêmes de plus en plus fréquents. Or les deltas jouent un rôle économique fort dans l'économie mondiale, leur durabilité est donc un enjeu politique majeur.

La mobilité des populations est importante et fréquente dans les zones de deltas, et est liée aux relations rural-urbain. Les raisons des migrations locales sont d'abord des raisons économiques et la destination est toujours la ville. Le CC n'est pas une cause avérée et directe de la mobilité, ni une cause unique et systématique de migration (ceci est une vision « naïve »). **Les critères de décision de migration sont complexes, multifactoriels, et dépendent des décisions des ménages** ; et un peu différents selon les hommes et les femmes.

Il y a une difficulté d'impliquer les gouvernements sur les enjeux de migration interne dans les travaux menés actuellement au Bangladesh ou en Inde.

Débat

Quel poids de la subsidence dans les deltas ?

Nous avons des estimations de subsidence au Bangladesh à 2,5 mm/an, parfois beaucoup plus (10 mm/an). C'est un vrai problème, notamment lié au drainage, difficile à mesurer et souvent couplé à la salinisation. Celle-ci est un phénomène saisonnier, la mousson rechargeant fortement le delta chaque année.

Quid du remplacement de la riziculture par l'aquaculture ?

C'est une transformation effectivement active sur le terrain, surtout pour la culture de crevettes. C'est une transformation qui est liée à des motifs économiques (plus de valeur ajoutée). Mais ces cultures ne sont pas durables car elles suivent le front de salinisation et recherchent surtout des profits élevés.

Quels groupes sociaux peuvent gérer le changement sur le terrain ? Et quel sera le facteur déterminant du choix stratégique d'un repli ou d'une adaptation ?

Tout dépend de votre horizon et des politiques d'adaptation : si vous choisissez de faire des digues cela dépend d'une décision centrale, avec des coûts élevés, et des risques croissants en cas de rupture de digue. L'adaptation progressive sans ouvrage lourd est une autre option, moins coûteuse et pas forcément la pire à terme car c'est comme une migration lente. Le problème central est que les politiciens ne raisonnent qu'à court terme. Les enjeux économiques sont essentiels aussi. Chacun veut être payé à la fin du mois ! Le

problème n'est d'ailleurs pas seulement au Bangladesh mais partout dans le monde, même à New York, tant qu'il n'y a pas de prise de conscience à haut niveau et que tout est lié.

Il s'agit de travailler à long terme avec la nature, en régulant les sédiments ; or la diminution des sédiments est aujourd'hui rapide. Un échec des systèmes techniques, tels que des polders, est très plausible à long terme du fait de l'absence de maintenance des installations au Bangladesh, ce qui fait de la stratégie basée sur des infrastructures techniques une solution très risquée.

Vous parlez des migrations et de la prise de conscience des enjeux globaux à l'échelle régionale. Le lien entre ces deux phénomènes est-il fort ?

Le gouvernement considère que le danger de submersion menace environ 20 millions de personnes. Un plan de repli stratégique aurait trop de conséquences lourdes pour Dacca, la capitale. Même à Londres, il est difficile de faire de la planification urbaine à grande échelle. La population de Dacca s'accroît très rapidement, et la planification urbaine est très complexe à mettre en œuvre.

La démographie au Bangladesh n'est pas simple à gérer. La population doit accepter de migrer à terme mais tant qu'elle n'y est pas forcée « physiquement », elle a du mal à s'organiser en conséquence. Donc le gouvernement est un peu schizophrène, car il « sait » mais agit peu... parce que c'est cher, parce que cela concerne d'abord des pauvres, parce que cela semble réversible, et qu'il ne sait intégrer les enjeux de très long terme...

Or la catastrophe globale semble s'approcher : il y a un risque que nous ayons déjà dépassé les limites, et les seuils du changement climatique (« *tipping points* ») ; cela va affecter fortement les capacités de développement et d'adaptation de ces pays.

Quelle durabilité des grandes villes menacées de subsidence et d'inondation, et des cultures majeures menacées de salinisation ? Et quels effets sur la sécurité alimentaire ?

Ce sont des enjeux majeurs, de fait, au Vietnam, en Thaïlande, etc. L'approvisionnement alimentaire des populations se fait principalement par le marché. La clef des évolutions des grandes villes est la vitesse du SLR. La réponse peut être technique un certain temps comme aux Pays-Bas avec la construction de polders. Le contrôle de la sédimentation pourrait être un autre outil. Mais il faut, pour chaque choix stratégique, peser les coûts et les bénéfices. En tous les cas, les pertes de terres seront importantes.

Quels outils de protection naturelle sont les plus efficaces ?

Les mangroves sont très efficaces pour freiner la hausse du niveau des mers mais elles se réduisent, notamment dans la province sud du Sunderbar. Et les pressions d'usage sont fortes. Mais on manque encore d'expertise sur le sujet : quelle largeur doivent avoir ces ceintures naturelles pour être efficaces ? Quels gains peut-on en attendre pour la pêche ? Il y a eu beaucoup de travail sur les digues et on n'a pas l'expertise équivalente sur les mangroves, les récifs coralliens, les lagunes. Une stratégie intéressante pourrait être d'hybrider les deux : coupler une mangrove et une digue.

Quel SLR reprenez-vous ? Et qu'est-ce qui pourrait motiver les décideurs ?

Notre pire scénario retient 1,5 m au max.

Mais les décideurs raisonnent à 2050 max ! Et l'économie et la demande des ménages sont leur principale priorité. Or, on ne peut pas leur démontrer que les coûts seront plus forts si l'adaptation n'est pas rapide et d'envergure. Les gens voient des digues, cela les rassure. Alors que c'est multifactoriel !

Il y aura des modifications dans l'usage des terres et cela élèvera la densité de population. Quelles conséquences ?

La population migre déjà, par à-coups et selon les activités agricoles sur place. Les populations du delta vont s'installer sur les hautes terres où sont localisées des usines. Cela impacte l'agriculture : accroissement de la taille des fermes, mécanisation de l'agriculture, développement de cultures à haute valeur ajoutée (fruits et légumes, élevage).

La crevetticulture exige bien moins de personnes que la riziculture. Mais les investisseurs chinois détruisent les mangroves ! Les agriculteurs partent aussi pour cela et vont accroître la population pauvre des couronnes urbaines des grandes villes. Ce phénomène est général dans le monde et cette évolution va affecter les villes de plus en plus à l'intérieur des terres. Cependant les migrants restent très liés par un sentiment d'appartenance à leur village d'origine comme s'ils pouvaient y revenir un jour.

Annexe 4 : Auditions

Audition 1 : Jean Louis Oliver (Académie des Sciences d'outre-mer / Académie de l'eau)

Je suis de formation ingénieur des ponts. L'Académie des sciences d'Outre-mer regroupe des personnalités qui débattent de thèmes d'importance et produisent des avis. Le secrétaire perpétuel est un ancien du Cemagref et est sensible aux aspects d'aménagement hydrographiques. Elle a été créée après la 1ère guerre mondiale. De fait, les « découvreurs » (colonisateurs) commencent par explorer les nouveaux pays par le littoral et les rivières.

L'Académie de l'eau, dont je suis le secrétaire général, a été soutenue et animée par diverses personnalités dont Jean Dausset (prix Nobel de médecine, 1980). Nous constituons une sorte de *think tank* avec des compétences sectorielles et nous produisons des guides méthodologiques pour les Ministères, l'Unesco, d'autres académies, diverses fédérations. Cette académie compte de nombreux experts de pays francophones.

Notre relation à l'eau est ambivalente: la vie et la destruction à la fois. Le SLR s'accélère et se combine avec l'élévation de température. Ces phénomènes ont des impacts sur les systèmes aquifères, en sus des impacts des activités humaines (cf. travaux de Margat, Dörfliger...). La gestion de l'eau s'en trouve compliquée, surtout dans les zones densément peuplées, où la ressource devient vitale.

Il ne faut pas oublier les dimensions culturelles et symboliques de l'eau douce surtout quand elle cesse d'être considérée comme une ressource « infinie ». Les impacts potentiels de tout changement dans l'aquifère sont nombreux: quantité, qualité, modification des zones humides et du trait de côte, diminution de la biodiversité, dégradation des habitations et des infrastructures via la subsidence, pollution, modification de la dynamique d'évacuation des effluents, réduction des zones tampons comme les mangroves.

Les aspects qualitatifs sont également forts: potabilité, salinisation des nappes phréatiques, remontée des eaux marines (ex. les mascarets) ce qui perturbent les usages urbains, agricoles et industriels et aussi tous les écosystèmes à l'interface eau douce / mer.

L'augmentation de la température entraîne aussi des besoins supplémentaires en eau ce qui pose de sérieux problèmes de régulation des usages.

Les ressources transfrontalières riches en aquifères sont des sources de tensions considérables entre régions et entre pays. De nombreux deltas et zones basses sont concernés. « Dieu a créé le monde et nous (les Hollandais), on a créé notre pays » (dicton local). Les Britanniques ont dû faire un barrage sur la Tamise pour protéger Londres. De nombreux sites ou régions entières sont d'ores et déjà considérés comme vulnérables au SLR, notamment en Méditerranée, avec des sites emblématiques comme Venise, ou de vastes régions comme le Bangladesh, le Vietnam (dont les deux « angoisses » sont la Chine et le changement climatique), la Floride, la Californie. Il faut citer aussi le cas des îles coralliennes du Pacifique, menacées non seulement par le SLR mais aussi par la réduction des ressources en eau. La conséquence indirecte d'importance croissante est celle de l'accroissement des migrations.

Il faut des données pour mesurer et comprendre les phénomènes. Or les consommations d'eau sont souvent mal documentées notamment dans le secteur du tourisme avec des problèmes de surconsommation d'eau dans des régions pauvres en ressources hydriques. Mais presque tous les secteurs industriels sont concernés.

Il y a aussi un besoin de formation et de prise de conscience des générations actuelles pour prendre en compte ces problématiques. Des efforts sont faits au niveau des formations supérieures comme à Sciences Po.

Dans les années 1960, sous l'impulsion d'E. Pisani, ont été mises en place les agences financières de bassin permettant de la réalisation des grands ouvrages. Un même effort serait nécessaire aujourd'hui avec tous les acteurs impliqués. Ce mouvement est lancé en France mais il serait indispensable dans les pays émergents qui ont moins de ressources et financières et hydriques.

La prise de conscience de l'ampleur des enjeux n'est pas toujours acquise auprès des dirigeants, y compris au niveau international. En Europe, la politique de l'eau a progressé notamment sous l'impulsion de la France. En Afrique, il a été mis en place un conseil des ministres de l'eau. La France redevient active au sein du Conseil de l'eau à l'Unesco.

En conclusion, en matière d'impact du SLR sur les aquifères d'eau douce littoraux, il faut raisonner à l'échelle de grands bassins comme Helcom pour la Baltique, l'UPM pour la Méditerranée... La directive cadre sur l'eau est sortie en même temps que l'euro. L'eau est une ressource d'envergure politique forte.

Débat

Quelles priorités à 2100 ?

JLO : l'eau potable! Et le rôle des femmes (nous avons 10 stagiaires féminines à l'Académie pour 1 stagiaire masculin!) Qui va chercher l'eau en Afrique? Les fondamentaux que l'on partage : langage, accès à l'eau, l'argent. Le pharaon disposait d'un « nilomètre » qui lui permettait d'ajuster le niveau des impôts ! Les agences de bassin parlent de finances encore plus que de débit !

Le SLR va poser beaucoup de problèmes sur les nappes phréatiques alors que le grand public y est peu sensible. Qu'en est-il des Académies ?

JLO : Je regrette d'avoir à dire que, même dans ces deux académies, ces sujets liés à l'eau ne sont pas considérés comme importants.

On ne manque pas d'eau pourtant sur terre. On devrait pouvoir transporter cette eau. Quel rôle des énergies (désalinisation, transport...) et des technologies ?

JLO : De nombreux pays utilisent des techniques de désalinisation mais (1) il faut avoir accès à la mer, (2) les investissements sont coûteux et (3) c'est énergivore (5 €/M3 en osmose inverse)! A Singapour, l'eau vient de la réutilisation des eaux usées retraitées. D'autres pays ont des ressources pétrolières bon marché ce qui permet de financer les usines de désalinisation de l'eau de mer.

Pourquoi n'a-t-on pas développé la désalinisation via l'énergie solaire, notamment dans les pays du sud ?

JLO : ce sont des solutions classiques qui ont été privilégiées: barrages, désalinisation à partir d'énergies fossiles... Pourtant, il serait intéressant de développer d'autres technologies comme par exemple dans l'axe France, Maroc et Sénégal. Il faut passer au concret ! La voie solaire reste à développer.

L'agriculture reste le premier utilisateur de l'eau; or, de nombreux deltas sont vulnérables à la salinisation alors qu'ils sont à la fois très peuplés et très productifs au plan agricole. Cette évolution impliquera le déplacement de nombreuses zones agricoles. Comment croiser usages domestiques et usages agricoles ?

JLO : c'est un problème complexe qui exige que l'on traite à la fois de la ville « intelligente » et des périphéries agricoles. Ces deux zones doivent être en osmose, pas en opposition. D'où l'importance d'investir sur la jeunesse et sa formation ! La réponse ne peut être du « tout politique » ou « tout technologique ». Anticipation, dialogue, concertation, formation sont incontestablement les mots-clefs dans toute prospective sur ce sujet.

Audition 2 : Stéphanie Penet (Fédération française de l'Assurance)

Je suis directeur des assurances de dommages et de responsabilité à la fédération française de l'assurance. Je vais me concentrer sur la partie assurance et sur la France, dont l'Outre-mer.

La question centrale est celle de l'assurabilité du phénomène de SLR pour la France. Ce sujet était considéré comme accessoire pour les assureurs il y a 10 ans. Trois événements extrêmes majeurs ont entraîné la prise de conscience de la réalité du SLR et des conséquences potentielles :

1. Xynthia en 2010, premier coup de tonnerre
2. Soulac sur mer (diagnostic de la chute certaine à terme de l'immeuble « le Signal »; 2015)
3. Irma (en 2017) qui pose le problème de l'assurabilité de l'Outre-mer avec la combinaison d'ouragans de plus en plus puissants et le SLR

1. Xynthia : évènement inédit.

Techniquement, le phénomène est difficile à évaluer au plan de l'effet de l'eau de mer sur les bâtiments. On a sous-estimé les dommages. Le coût de l'impact direct de l'ouragan: 300 millions €; celui de la submersion, 1 milliard €. Enfin, les assureurs ont été mis sous les feux de la rampe. Pour la première fois, il a fallu parler d'expropriation car on ne pouvait pas reloger les gens !

Quelle serait la fréquence de revoir de tels phénomènes ?

En 2015, nous avons réfléchi à l'impact du SLR sur l'assurance. La mission Risques naturels du Ministère nous a aidé. La modélisation permet de se projeter à 2040. Résultats: les 25 dernières années 40 milliards et 92 milliards dans les 25 ans à venir. Les causes: surtout sécheresse et SLR. Jean Jouzel, climatologue, a prévenu que la modélisation resterait longtemps compliquée.

Environ 20 demandes sont enregistrées par an en dégâts directs du SLR sur des habitations. Mais si l'on rajoute un mètre, les enjeux deviennent colossaux: habitat, industrie, tourisme...

Nous avons une certitude : le phénomène est dynamique mais nous manquons de modèles précis (1 m en progression linéaire à 2100). Le monde de l'assurance commence à en prendre conscience.

2. L'immeuble de Soulac (le « Signal ») révèle l'imbroglio juridique.

L'assurance couvre l'aléa soudain, fort, imprévu. Mais quid d'une érosion prévisible et mesurable? Or la loi dit que l'érosion n'est pas assurable. Il existe un fonds contre les risques naturels majeurs (Loi Barnier) pour financer les expropriations devenues nécessaires. Il est financé par 12% des 12% des frais d'assurance sur les risques naturels. Mais ces 1,44% (200 millions / an) financent beaucoup d'autres choses. Il est prévu de scinder en deux ce fonds afin de préserver une réserve pour les expropriations.

Mme Claude Got, sénatrice, a proposé d'anticiper les risques en proposant un taux de rachat décroissant. Mais la proposition était compliquée et peu lisible politiquement.

Or, plus on s'y prend tôt, plus on pourra faire passer des dispositifs « progressifs » en provisionnant à temps et sur le long terme.

3. Irma a mis le projecteur sur l'outre-mer.

Cet ouragan a entraîné des taux de destruction inédits. (Rappel: vents jusqu'à 380 km/h). Aucune norme ne résiste au-dessus de 250 km/h. On a eu la double peine: la mer a fait autant de ravages que le vent.

Le problème est celui de l'assurabilité de l'Outre-mer. Les grands assureurs se sont retirés. Le coût total (2 milliards €) exige que l'on s'intéresse à la fréquence des ouragans de niveau 5 (Harvey, Irma et Maria). On a travaillé sur la résilience face à des ouragans plus fréquents, plus puissants, plus longs sur place (3 jours !), et il faut ajouter la submersion marine. Or toutes les activités de l'île sont liées au littoral. Et seul le bord de mer bâti est assuré ! Alors, quelles formes de construction résiliente peuvent être envisagées si l'on veut s'adapter aux contraintes prévisibles (eau qui va et vient). Les recherches actuelles doivent être développées car nous disposons déjà d'expertises nombreuses sur les dégâts sur le bâti (concept 3B: *Build Back Better*).

En conclusion, nous pouvons dire que **(1) la prise de conscience a commencé, (2) qu'il y a un besoin d'ingénierie financière sur la dynamique littorale, (3) qu'il faut développer une filière de la construction résiliente**

Débat

Quid des enjeux à plus long terme et plus graves (par ex. 2 m à 2100 et non 1 m) ?

SP : nous sommes intéressés par tous les modèles de prévisions mais on n'a qu'un mètre en prévisionnel pour le moment. L'échelle du monde est du domaine des réassureurs. Il n'y a pas de réflexion de fond sur le changement climatique et son impact à 2050. Les actuaires classiques (qui font des règles de 3) ont compris que l'échelle des enjeux a changé et qu'il faut raisonner différemment.

Les assureurs ont du mal à associer les revenus d'assurance pour développer des structures sur le littoral avec des contraintes croissantes de risques. Nos engagements vont d'abord aux assurés. Par exemple, nous soutenons collectivement la prévention routière mais l'assurance individuelle est notre métier.

Les assureurs ne sont pas des acteurs de la prévention car cela concerne tout le monde.

Ne peut-on penser à un système de zonage, comme en Australie ?

SP : le problème est celui de l'existant. Les maisons de front de mer doivent pouvoir compter sur la solidarité car pour quelle raison perdraient-elles leur assurabilité? Un assureur ne peut pas refuser d'assurer une maison sauf si l'État déclare la zone « inassurable ». Le fonds Barnier prévoit cela. Si l'on paie la maison au prix de marché, le propriétaire peut accepter de partir. C'est un peu court-termiste mais compréhensible. Il vaut mieux racheter une maison que de l'indemniser 4 fois.

Le SLR est continu et prévisible, donc non assurable; les événements extrêmes, eux, sont assurables ?

SP : si le niveau de la mer s'élève, les EvEx vont devenir plus fréquents; ceux-là, on les assure. Mais on est inquiet sur ce qu'il y a derrière la digue...

Peut-on assurer des services écosystémiques de zones humides ?

SP : On ne le fait pas sauf quand c'est ultra-local. L'assurance a ses limites; c'est de l'artisanat. **Pour assurer, il faut la trilogie suivante: un aléa, un préjudice mesurable** (appréciable par un historique, une similarité ou enfin une modélisation), **un lien entre aléa et préjudice**.

Un aléa certain n'est plus assurable; et un risque non mesurable non plus (ex : OGM, téléphones portables, nanomatériaux).

Comment évaluez-vous la prévention ?

SP : les assureurs peuvent agir en amont afin d'éviter de pousser au développement de ce qui aggrave des risques. Par exemple, nous ne finançons pas le cyber-risque car il y a encore trop d'irresponsabilité à tous niveaux.

Audition 3 : Jean-Paul Billaud (CNRS, Université Paris-Nanterre; Laboratoire des dynamiques sociales et recomposition des espaces LADYSS)

Je suis sociologue, initialement spécialiste de sociologie rurale (thèse avec Henri Mendras) et ai évolué vers les problématiques d'environnement. Mendras a parlé de « la fin des paysans » dès les années 70. La sociologie rurale a été assez pionnière au sein des SHS dans le traitement des questions d'environnement. En Allemagne, la sociologie de l'environnement s'est surtout structurée autour de la thématique du risque industriel. En France, on s'est intéressé très tôt à la gestion des ressources naturelles. Deux voies sont apparues :

- celle de Latour (sociologie des sciences; théorie de l'acteur-réseau, intégrant personnes et objets sans distinction : le sociologue ne sort pas de son champ mais y « importe » des sujets d'intérêt).
- celle de Jollivet (*et al*), dans un dispositif interdisciplinaire, vers la co-construction des questions.

J'ai travaillé sur l'eau, les zones humides, le marais poitevin, etc., mais je ne suis pas spécialiste du littoral. D'autres experts de valeur ont été sollicités (Mme Meur-Ferenc, B. Kalaora...) mais comme ils n'étaient pas disponibles, j'ai accepté d'analyser ce dossier.

La demande de votre GT s'inscrit dans une méthode précise mais il n'est pas facile de se positionner comme sociologue « en prospective ». Ma posture naturelle serait plutôt d'être un « historien du temps présent » (au sens de Marc Bloch). Ceci s'explique pour partie par mon expérience avec la DGRST. Un texte de Pierre Aigrain (Dir. CNRS) sur l'agriculture en 1969, décrit des usines végétales ou animales où tout sera contrôlé, notamment la dimension climatique : « en 2020, tout problème actuel pourra être résolu si des lois fondamentales ne s'y opposent pas » (*in* « Le progrès scientifique »). En prospective, toute projection se doit d'être située. Ainsi, la citation précédente s'inscrit dans un contexte de fin des 30 Glorieuses...

D'où ma posture de prudence vis-à-vis de la démarche prospective même s'il existe d'excellents experts dans le domaine. Sur le sujet abordé, les géographes sont les plus avancés (« Habiter le littoral » par ex.).

Alain Corbin, dans « La mer et l'émergence du désir du rivage » (1995), souligne la complexification croissante du littoral et la difficulté qui en résulte pour la prospective. Le cadrage de votre travail se fonde sur l'anticipation. **Les SHS ne peuvent pas être dans le « premier cercle » des experts, par nature, afin de conserver leur capacité critique.**

Mon exposé sera structuré en trois parties :

1. Les six constats de ce qu'est le littoral pour les SHS
2. La question du risque
3. La question de la « gouvernamentalité »

1. Les 6 constats

- Le littoral est **attractif**, convoité, vulnérable (les causes sont connues), signifiant (investissement symbolique : cf. les représentations dans l'art).
- Par essence, le littoral est une **interface** avec un déficit de connaissances sur la proche mer côtière (cf. Lefeuvre) et avec des dynamiques parfois fortes (polders, lagunes, estran soumis à marée...).
- C'est un gisement de connaissances un et réservoir d'**innovations** multiples (ex: énergies renouvelables).
- Il constitue un **enjeu foncier majeur** lié à l'urbanisation qui en fait un **espace de compétition** avec des acteurs très inégaux sur l'échelle sociale (similaire en montagne).
- Il apparaît comme un espace à gérer sous le regard des grandes **instances internationales** (GIZC, convention de Barcelone, de Madrid, Directives-cadres européennes...).
- C'est enfin un espace **investi par la recherche** (Liteau, Mistrals...).

Le littoral est donc un lieu singulier, à l'habitat pluriel, intégrant à la fois des résidents (habitant là et c'est tout) et des riverains (habitant là mais avec un historique de pratiques). Le changement climatique sera peut-être un moteur majeur d'évolution. **Le littoral pourrait-il devenir un « laboratoire du changement et d'une nouvelle gouvernance » ?**

Pour saisir la mise en politique d'un problème, les politistes parlent des 3 R : Réaliser (expérience de la catastrophe non prévue), Reprocher (prédictabilité de la catastrophe et donc qui est responsable), Réclamer (que font les autorités, les Pouvoirs publics ?). Ce moment du cadrage interprétatif est l'objet de luttes définitionnelles car est en jeu l'appropriation du problème par les groupes en présence. Ce moment-là est crucial en termes d'apport des SHS. A propos de la tempête Xynthia, on passe ainsi du registre du « désastreux » à celui du « scandaleux ». Il apparaît des controverses sur la définition même de l'objet, ce que reflète la sémantique (« zones à fort danger » puis « zones de solidarité », là où les locaux parlent de « zones noires »). La sémantique contribue à construire l'expertise (cf. B. Kalaora, Global expert : la religion des mots, *Ethnologie Française*, XXIX, 1999).

2. La question du risque

Le littoral est un lieu à risques, avec des approches variables de la vulnérabilité. L'approche sera plutôt « française » car les perceptions sont très dépendantes des cultures. Par exemple, des travaux dans les pays du sud montrent que l'érosion n'y est pas toujours perçue comme un risque.

L'appréhension du risque, comme celle de la vulnérabilité est très variable, car la vulnérabilité dépend de « ce à quoi on tient ». Il n'y a pas de vulnérabilité « en soi ». Prises de risque, dénis du risque, logiques assurancielles déclinent, face au même aléa, des positions spécifiques. Cette situation où l'on s'expose volontairement à un danger renvoie à la question des inégalités sociales et environnementales (qui construit en zone inondable par exemple...).

La territorialisation des risques est mise en avant par les experts et les politiques. Elle suppose de mettre en scène des controverses sans faux-fuyant. Or, l'identification exacte des enjeux et des risques est difficile à mener à bien en raison de la variabilité des perceptions.

3. La question de la « gouvernamentalité »

Elle renvoie évidemment à des outils juridiques (approche MAREl, Méthode d'Anticipation du Recul du littoral) ou économiques (services écosystémiques). On peut aussi s'interroger sur des choix stratégiques de protection vs aménagement (repli stratégique). De fait, le problème est plus politique que technique (choix des territoires à abandonner) avec des enjeux de gouvernance à des échelles géographiques croissantes.

Va-t-on vers une gouvernance de prévention (plutôt mur) ou de résilience (via des aménagements) ?

On sait que les instruments d'action publique ne sont pas neutres car ils incorporent des représentations des problèmes et les rapports gouvernants/gouvernés (cf. Le Gallès, Lascoumes...).

Dans le cas de Xynthia, Béatrice Quenault (La résilience comme injonction politique post-Xynthia, *Espacetemps.net*) analyse l'attitude de l'État comme une tentative de relégitimation de sa fonction protectrice par le biais de la délégitimation des acteurs locaux. Sa thèse est que la mobilisation de la résilience, « *praxis* de la mobilisation des risques », a pour objectif de créer des sujets adaptables où l'État dégage sa responsabilité de la gestion des risques pour mieux la contrôler à distance. Il s'ensuit une dépolitisation des inégalités structurelles qui sont alors interprétées comme des choix individuels, imprudents et irresponsables.

Sous effet du changement climatique, la gouvernance appelle une réorganisation des systèmes de gestion et décision, qu'il faut interroger du point de vue des SHS. L'enjeu d'un débat démocratique est premier, mais il exige de dépasser la seule expertise (la spatialisation des risques est trop souvent assimilée à une territorialisation des risques) pour mettre en son centre la question de « l'acceptabilité sociale du risque ».

En conclusion, on peut revenir à Corbin qui rappelle que le « désir de rivages », fort chez les Romains, a eu une éclipse d'un millénaire (une mer satanique, autant de vestiges du Déluge). Le regard porté sur les rivages (Michelet parle d'une « invention de la mer » à partir du 17^e siècle), au-delà des « fausses continuités » (Foucault), disqualifie certaines pratiques pour en qualifier d'autres (cf. la lecture des littoraux induite par la géologie : les séries stratigraphiques des falaises...). Le grand public accepte l'idée que la mer a modelé le trait de côte sur des millions d'années.

Faut-il donc s'attendre, à la faveur du changement climatique, à un nouveau basculement des représentations de la mer et du « désir de rivage » ?

Débat

Diverses études régionales sur les impacts du changement global citent la différence entre « les perceptions et les représentations sociales liées aux risques » d'une part, et « la gestion effective des risques » d'autre part. Avec une reconnaissance croissante du grand public de la réalité du changement climatique, est-ce que cet écart devrait tendre à se réduire ?

JPB : les épisodes de type Xynthia contribuent à réduire l'écart entre perception et gestion. Mais attention à ne pas cliver entre l'expertise « objective » et la perception locale, vernaculaire, des risques *in situ*. Il n'y a pas d'opposition mais plutôt des différences de statuts.

N'est-ce pas plutôt un lieu d'approches contradictoires, entre attentes d'usagers et attentes de responsables? La solution serait-elle à la fois dans des solidarités locales et une gouvernance de long terme fondée sur la recherche d'une meilleure résilience ?

JPB : je ne suis pas assez informé pour répondre à cela. Il faudrait plus d'études de terrain pour répondre correctement aux questions posées. Beaucoup d'analystes, comme Quenault, voient dans cette relation gouvernants/gouvernés un lieu d'expérimentation du néo-libéralisme au travers de la responsabilisation des individus (sous couvert de responsabilisation des communautés locales) et d'une prise de distance de l'État dans la gestion des risques. A discuter et vérifier.

Dans ces controverses, la prospective gagne en crédibilité à identifier ses propres limites et les conditions de son énonciation. Il faut faire attention au mécanisme de la peur (annonce de scénarios « catastrophe »), qui peut disqualifier la prospective quand elle prend une posture jugée trop négative.

L'humain à tendance à rejeter « l'inconcevable ». Il semble pourtant utile de signaler la possibilité d'une bascule de la perception de la mer, du loisir à la menace... châtement de l'irresponsabilité des hommes dans la gestion des activités sur terre.

JPB : Les lanceurs d'alerte risquent d'être les assureurs ! Mais la prise de conscience commence seulement... Il n'est pas facile de changer son regard quand cela a des conséquences lourdes en termes économiques comme en termes symboliques. Cette évolution rapide d'une mer considérée depuis des siècles comme intangible exige aussi d'accepter la responsabilité humaine (« anthropique » *sensu stricto*) dans cette transformation.

Audition 4 : Jean -Louis Valantin (Consultant en géopolitique, auteur de « Géopolitique d'une planète dérégulée », Seuil, 2017)

Je suis docteur en études stratégiques (spécialité: étude systématique des relations entre la politique et la violence armée). Dans le monde anglo-saxon, il a des milliers d'experts en études stratégiques, en France, pas plus d'une douzaine. La géopolitique française traite surtout des relations internationales. Ma thèse portait sur

la conception américaine de la menace. J'ai beaucoup travaillé aux USA et en GB avec le *think tank* « *Red team analysis society* ». En 2003, j'ai lu un rapport « fuité » du Pentagone sur les effets du climat sur la sécurité américaine, ce qui m'a amené à m'intéresser à ce domaine d'abord pour les USA, puis la Chine, la Russie, le Moyen Orient et l'Afrique. Ces domaines sont peu étudiés en France car on lit peu l'anglais.

Dans les documents de cadrage de votre étude, il n'est jamais fait mention de « violence » (au pire « brutalisation des rapports sociaux » et « millions de migrants »), ce qui est quand même surprenant.

Dans l'expression « changement climatique », le mot-clef est « changement ». La rencontre de l'aléa et de l'enjeu reste dans un cadre normé. Or on rentre dans une séquence temporelle de changement permanent. On sera 9 milliards d'humains en 2050 avec des transgressions des fondamentaux de vie.

La montée du niveau de la mer (SLR) est un processus dynamique qui affecte des zones vitales des sociétés (urbanisation, attraction, emploi, commerce international...). La SLR implique des situations de crises génératrices de violence, en plus de la violence atmosphérique. L'humanité entre dans une zone inconnue. Dans les faits, aujourd'hui, ce sont les États qui conservent la responsabilité de la sécurité en échange du « monopole de la violence légitime » (Max Weber).

Les études de cas ne manquent pas: Katrina en Louisiane (sept. 2005), ouragan puissant dont les vents entraînent la cassure des digues du lac Ponchartrain, mal entretenues, et transforme la ville basse en archipel. L'agence fédérale ne peut plus accéder à la Nouvelle Orléans où tous les services disparaissent : électricité, eau, alimentation, médicaments... La cohésion sociale explose en quelques jours. L'impuissance des autorités a été filmée par toutes les télé. Il a fallu recourir à la compagnie privée Blackwater (de sombre mémoire depuis la guerre d'Irak) pour rétablir un minimum d'ordre. D'où un choc politique et narcissique majeur pour le Pentagone, les agences de renseignement (NSA, CIA...) les forces de police (FBI...) les réseaux de coordination et de décision...

La prospective démarre alors à grande échelle sur le lien Climat-Océan. La question est celle de la conservation de la sécurité américaine sous contrainte de changement climatique.

A l'opposé, le Bangladesh (160 Millions) est extrêmement vulnérable, y compris via la salinisation des aquifères. Mais le premier problème du pays est la pollution industrielle, avec, en conséquence, des migrations massives. Et la réaction de l'Inde a consisté à construire un mur militarisé sur ses 4000 km de frontière.

Mais côté montagne (Himalaya), le Bangladesh n'a pas beaucoup plus d'espoir avec de fortes menaces de surexploitation des ressources terrestres... Le « nuage brun » de la pollution sino-indienne réduit l'albédo des glaciers de l'Asie comme, dans une moindre mesure, des Amériques (Rocheuses, chaîne andine). Ceci entraînera des fontes massives et réduira les disponibilités en eau douce et donc des déstabilisations en cascade, en commençant par l'Asie.

L'adaptation est souvent évoquée mais comment la mettre en œuvre si le changement est permanent et durable ? Il faut donc admettre une redistribution de la puissance au niveau international. Le clivage sera entre les pays qui sauront s'adapter, et ceux qui ne sauront pas ou ne pourront pas. L'US Navy multiplie les études sur ce sujet car la SLR impacte directement ses missions. Il faudra faire du béton ! La Navy entre en conflit avec les climato-sceptiques du Congrès. Or la Navy, c'est 7 flottes de combat qui s'appuient sur de nombreuses îles (comme Guam, qui va être submergé avant 2100).

Les Russes ont compris aussi que le réchauffement climatique favorisait l'ouverture vers l'Arctique et donc la remilitarisation du Nord, grâce à ses capacités logistiques. La route maritime du nord sera de plus en plus utilisée par les navires chinois qui visent Rotterdam, et les autres ports européens.

Il apparaît aussi le risque des « mésadaptations ». S'adapter à + 1 m est inopérant et gaspillé, s'il faut s'adapter à +2 m. Il faudrait donc avoir la lucidité de se préparer à la possibilité du scénario du pire, au moins jusqu'à 2100. Pour cela il faut accepter des choix durs. Mais si l'on ne l'anticipe pas, on aura la violence.

Débat

Mais le changement a toujours existé! Il faut donc une stratégie de long terme.

JMV : Oui, la vitesse du changement a changé. C'est vraiment une rupture qui exigera des décisions fermes et continues. Les climato-sceptiques ont fait perdre beaucoup de temps.

Pourra-t-on faire l'économie de la violence avant que la prise de conscience se fasse à une échelle efficace ?

JMV : qui est « on » ? Seule les catastrophes font réagir. La tempête Harvey a dévasté le Texas en 2017. Les inondations ont pollué les sols et dévalorisé les avoirs immobiliers. Plus tard, sous la menace d'Irma, la Floride a connu l'évacuation de 6 millions de personnes sans un mort ! Les supports de vie et de déplacement ont été conservés. Les États peuvent apprendre de leurs erreurs comme les USA mais d'autres n'en ont pas les moyens (Bangladesh, Vietnam, Egypte...) ou considèrent que cela ne les concernent pas (Europe...).

En fait, nous ne voulons pas prendre en compte le futur en Occident (« Nous ne voulons pas croire ce que nous savons » a répété JP Dupuy dans son livre « Pour un catastrophisme éclairé »).

Le département de la défense US pèse 650 milliards de dollars. Son chef, le général James Matthis, assume une double politique et finance la recherche sur le CC (et ses impacts dans le domaine militaire américain) en substitution partielle de la recherche académique classique. Instructif...

Dans notre étude, on fait des scénarios « mous » et quelques scénarios noirs. Qu'est-ce qui pourrait initier une révolution en France, en Europe, dans le monde ? Le nombre de morts, la perte de biens, la certitude de menaces plus grandes encore ?

JMV : mais pourquoi voulez-vous une gestion ? Ce sera des guerres civiles, ou internationales... La question est en fait optimiste dans le fond car elle sous-entend une capacité de réaction. Or les gens les plus révoltés contre le CC et la SLR sont les assureurs et réassureurs américains. Ils achètent des terrains sur les littoraux vulnérables pour ne pas prendre de risque de s'appauvrir. Leur discours est clair depuis le premier congrès des assureurs US (en 1993, coût de l'assurance des dégâts sur le littoral américain : 4 Milliards de \$; en 2000, 20 Milliards \$; en 2015, 40 Milliards \$...). Conséquence : les assureurs mettent en demeure l'État américain de prendre des mesures sinon, ils cesseront d'assurer des risques qu'ils jugent « inassurables ».

Les printemps arabes ont été vulnérables au prix du pain. De fait, la pénurie de céréales menace la plupart des pays du MENA (*Middle-East & North African countries*). Entre 1990 et 2010, le prix de la tonne de céréale a quadruplé (sur le marché spot de référence de Chicago). Or les pays MENA vont vers un « aberrant » climatique et agronomique croissant... La déduction sur le moyen terme n'est pas difficile.

En Egypte, le renversement du gouvernement Morsi a été suivi d'une vaste redistribution de farines sous l'autorité du maréchal Sissi dont la popularité s'est envolée.

Faut-il se préparer au pire et avoir le courage de tirer les conséquences du scénario le plus noir ?

JMV : Il faudrait interviewer les Erythréens qui se retrouvent dans un squat à St Denis et ont traversé d'innombrables épreuves. Il faut comprendre quels sont les facteurs déclenchants.

Le rapport US de 2003 (inadaptation de l'armée US au climat local) décrit bien ce qui se passe 15 ans plus tard. Les militaires savent mieux se préparer car ils ont l'habitude d'imaginer la pire des menaces.

Allez voir le film « Avengers » car le dictateur Tanos veut supprimer la moitié de la planète pour éviter le « crash » de sa planète, ce qu'il a déjà vécu auparavant ? Serait-ce un prospectiviste avisé ?

Les décideurs ont une répulsion naturelle aux courbes exponentielles (ou à progression géométrique), comme les zombies qui se multiplient, forme de menace systémique.

Comment faire accepter nos scénarios « noirs » par des décideurs plus souvent « technocrates » ?

JMV : on peut passer par le concept d'anthropocène qui explique l'accélération incontrôlée des grands cycles fondamentaux (carbone, phosphates, eau...). Cela devrait faciliter la compréhension des phénomènes à l'œuvre par les hauts fonctionnaires et les politiques.

Par ailleurs, les décideurs acceptent de porter des mauvaises politiques tant que leur vie personnelle n'est pas en jeu (*cf. Scheme in the game*, Nacim Taleb). On est encore à +1° C et les problèmes sont déjà aigus. James Howard Cansler a décrit cela dans un livre au titre évocateur: « *The long emergency* ».

Le mot « effondrement » est encore largement tabou, même dans les cercles de décision. Il faut que cela change, si possible pas trop tard pour réagir efficacement.

Annexe 5 : Tableaux morphologiques

Scénario D1 : du déni à la réaction

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Forte croissance démographique conjuguée à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2- Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3- Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1- Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2- Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3- Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshorisation"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartel des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciarisation
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi	Ciblée, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario D2 : abandon progressif du littoral

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Forte croissance démographique conjuguée à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone cotière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone cotière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshorisation"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartel des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciarisation
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi!	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario D3 : Passivité

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1 - Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Fortes croissances démographiques conjuguées à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartels des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciaire
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économique	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
	Contexte physique en 2100	MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario A1 : Maîtrise climatique

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1 - Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Fortes croissances démographiques conjuguées à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplification des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartels des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciarisation
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi!	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario A2 : Villes résilientes

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Forte croissance démographique conjuguée à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartel des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciaire
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi!	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario A3 : Sobriété et anticipation

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Fortes croissances démographiques conjuguées à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplication des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartels des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciaire
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce international)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario A4 : Adaptation prioritaire

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Forte croissance démographique conjuguée à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine - forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplification des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshorisation"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartel des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciarisation
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en <i>stop & go</i>	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce international)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économie 2	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique 1	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC 2	Déni	Prise de conscience de façade 1	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent 1	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Gouvernance pour la gestion des biens communs 2
Contexte physique en 2100		MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	

Scénario F : Fragmentation persistante

Composante	Variable	H1	H2	H3	H4	H5
Population	P1- Part de la population exposée	Retrait progressif (des zones côtières)	La part en zone côtière reste stable (malgré une population mondiale en croissance)	Accroissement progressif de la population (en zone côtière)	Fortes croissances démographiques conjuguées à migrations au sein/vers des mégapoles côtières	
	P2 - Migrations internes et internationales	Des départs échelonnés, au fil de la montée progressive des eaux	Les évacuations s'accroissent, certaines villes importantes sont touchées	Crises répétées engendrant des exodes massifs		
	P3 - Degré de vulnérabilité sanitaire des populations	L'accès aux infrastructures limite la vulnérabilité sanitaire des populations	Les zones côtières constituent des secteurs de forte vulnérabilité sanitaire	Le développement non maîtrisé de mégapoles côtières augmente encore la vulnérabilité sanitaire		
Urbanisme et infrastructures	U1 - Dynamiques urbaines	Mégavilles littorales et forte urbanisation littorale	Fragmentation des villes et dispersion urbaine forte urbanisation littorale	Faible urbanisation littorale et villes littorales en réseau avec arrière-pays		
	U2 - Niveau de résilience des infrastructures	Vulnérabilité forte	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité maîtrisée (résilience)		
	U3 - Adaptation des zones littorales exposées	Résister à l'élévation du niveau des mers	Faire avec l'élévation, une adaptation progressive (changement incrémental)	Organiser le retrait, un changement transformationnel	Absence de stratégie	
Environnement et ressources naturelles	EN1 - Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)	Maîtrise de l'exploitation et de l'usage des ressources	Dégradation progressive, altération des fonctions écologiques	Transfert de ressources hydriques extérieures vers la zone littorale		
	EN2 - Etat des sols (salinisation, érosion...)	Salinisation et pollution réduites	Salinisation et pollution modérées	Salinisation, pollution et imperméabilisation fortes		
	EN3 - Dynamiques des écosystèmes littoraux et côtiers (habitats, biodiversité)	Translation et/ou modification sans altération des fonctions écosystémiques	Adaptation/modification in situ, altération des fonctions écosystémiques	Disparition d'écosystèmes		
	EN4 - Modification du trait de côte	Erosion modérée et recul marginal	Recul marqué localisé prévisible	Recul localisé imprévisible	Recul marqué généralisé	
Agriculture et alimentation	AA1 - Disponibilité en terres agricoles	Réduction de plus de la moitié des terres agricoles en zone côtière	Protection efficace des terres agricoles	Disparition des terres agricoles en zone côtière		
	AA2 - Systèmes de production agricoles	Adaptation des espèces cultivées et des pratiques agronomiques	Substitution des cultures par l'élevage	Synergies des systèmes agricoles et aquacoles		
	AA3 - Poids de l'aquaculture et de la pêche	Maintien des apports (aquaculture durable)	Diminution des apports de la pêche	Accroissement des apports (aquaculture diversifiée)		
	AA4 - Sécurité alimentaire	Réduction de l'accès économique aux productions agricoles	Perturbations ou ruptures ponctuelles de l'accès	Réduction de la diversité de l'alimentation	Sécurisation de l'accès à l'alimentation par la diversification des sources d'approvisionnement	
Economie littorale	EC1 - Economie littorale	Multiplification des formes de valorisation	Repli stratégique contraint et anarchique	Repli stratégique planifié et relance via l'hinterland	Economie du flottant, "offshoring"	Economie déplacée, "land grabbing"
	EC2 - Solidarité et mutualisation (pour adaptation et gestion des crises)	Brutalisation des rapports sociaux	Solidarité à tous les niveaux	Gradation 2 extrêmes : cartels des riches et solidarité des pauvres	Chacun pour soi + redistribution et humanitaire	Financiarisation assurantielle et judiciarisation
Gouvernance littorale	G1 - Prise de conscience des risques littoraux (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du SLR	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	G2 - Réactivité et degré d'engagement (proactivité, acceptabilité, éducation)	Passivité sans implication	Implication minimale	Réactivité et mobilisation des acteurs concernés	Proactivité et implication de tous les acteurs	
	G3 - Niveau de coordination et mutualisation - échelles locale et globale	Elevée et mondiale	Inexistant, chacun pour soi	Ciblé, villes côtières en réseau	Entreprises multinationales, les GAFAM prennent la main	Régional, les communautés de destin et d'épreuves à l'échelle d'une région
Contexte global	C1 - Croissance économique globale	Décroissance choisie	Croissance duale	Croissance en stop & go	Décroissance subie, chaos	
	C2 - Mix énergétique (dépendance aux énergies fossiles et commerce interne)	Synergies de tous les acteurs --> décarbonation économique	Fragmentation de la production et de la consommation énergétique	Chaos énergétique priorité à la sécurité énergétique nationale	Priorité à l'autonomie énergétique (priorité sources locales)	
	C3 - Prise de conscience de l'enjeu climatique à l'échelle globale (gouvernants et société)	Appropriation des enjeux du CC	Déni	Prise de conscience de façade	Clivages	
	C4 - Gouvernance géopolitique globale	Chaos généralisé	Fragmentation, stabilité en mosaïque dans un monde multipolaire turbulent	Généralisation d'un ordre cybernétique fondé sur l'IA	Domination par les 2 super puissances	Interdépendance polycentrique "ostromienne" planétaire
	Contexte physique en 2100	MODERE	SERIEUX	GRAVE	EXTREME	
	hypothèse appartenant à une extrémité du scénario					
	hypothèse correspondant à l'autre extrémité du scénario					
	hypothèse commune aux 2 extrémités du scénario					

Annexe 6 : Tableaux des conséquences pour la recherche

SCENARIO A1 : Maîtrise climatique Questions à la recherche / objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Stockage du carbone : Capacité des écosystèmes et des villes à stocker le carbone. Développer des fonctions puits de carbone dans les villes et les écosystèmes - Transformation des centrales thermiques pour un stockage du graphite - Apport d'olivine dans les fonds marins pour stimuler la production de biomasse (et réduire le ph des océans = lutte contre l'acidification). Potentiel de stockage : 3 milliards de t par an. - Stockage du carbone dans la biomasse : biochars, bioénergie, forêts	Région, villes, Monde	Energéticiens, Océanographes, Biologistes, Ecologues
Réduction des émissions de carbone des villes : Planification des usages avec pour objectif de les concilier. Ex. protéger et conserver les marais et les zones humides en ville dans le cadre de mesures d'atténuation.	Villes, Région littorale	
Adaptation littorale des zones urbaines : Gestion de crise Techniques de défense des cotes qui permettent une adaptation progressive Rôle des éléments naturels comme espaces tampons dans les zones littorales : rôle des marais salés pour l'atténuation des vagues submersives (ex. où laisser faire plus efficace que si on construit une digue). Renforcer ces espaces en préservant la végétation sur les marais	Villes, Régions littorales	Ingénierie littorale ; Analyse des risque ; Ecologues ; Géographes
Prévision/ Projection : l'anticipation d'évènements extrêmes développement d'outils prédictifs	Monde, Réseaux int'x, GIEC	Océanographie et climatologie (IPSL, CNRS...) Observation spatiale et opérateurs (CNES...) Centres de calcul haut débit

SCENARIO A2 : villes résilientes Questions à la recherche / Objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Gouvernance géopolitique - Gestion des exodes et migrations - Déséquilibres et isolement - Sécurité géopolitique et militaire	Monde UE France dont l'outre-mer	Ministères concernés Géopolitique; Géographie; Démographie; Sociologie; Sciences de la communication
Aménagement des villes : - Capacité des villes à réduire les émissions de carbone : systèmes de transport peu émetteurs, végétalisation des toits Aménagement urbain pour réduire la vulnérabilité des villes et réduire la subsidence Amélioration des technologies de défense de côte : outils de prévision, solutions douces de protection basées sur les écosystèmes naturels	Villes, Régions	Architecture et urbanisme ; Economie, Sociologie ; Géographie ; Entreprises du BTP
Modélisation et impacts Comment modéliser la vulnérabilité face à la subsidence ? Impact de l'offshorisation sur les écosystèmes marins	Monde UE France dont l'outre-mer	Climatologie, Economie, Sociologie ; Géographie; Géologie, Hydrologie ; Ecologie
Sécurité - Sécurité alimentaire, sécurité sanitaire des ressources en eau, Gestion des déchets pour les villes îlots - Santé publique	Monde UE France dont l'outre-mer	Démographie ; Sociologie; Urbanisme, Hydrologie; Agronomie ; économie de l'alimentation ; Epidémiologie ; Assurances

SCENARIO A3 : sobriété et anticipation Questions à la recherche / Objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Gouvernance littorale et adaptation : • Mouvement de citoyens, démocratie participative, plate-forme de concertation des usages • Passer d'une politique sectorielle à politique intégrée • Gouvernance inclusive pour l'adaptation des littoraux	UE France Régions françaises	Politique; Ministères concernés; Géographie; Démographie; Sociologie; Sciences de la communication; SHS
Sobriété : • Comment adapter les indicateurs de développement à une trajectoire de sobriété ? • Développer outils de quantification des émissions de CO2, de bilan carbone • Comment concilier sobriété et développement économique ? Sobriété = économies d'énergies : • Mieux comprendre les usages de l'énergie, les pratiques énergétiques, afin de réduire les pertes • Comment les individus sont-ils prêts à remettre en cause leurs usages ? • Autoproduction d'énergies à des échelles plus petites, développer des circuits courts pour l'énergie	Monde Régions vulnérables UE France Régions françaises concernées	Politique; Ministères concernés; Economie; Géographie; Démographie; Sociologie; Ecologie; Sciences de la communication; Opérateurs industriels de production / distribution de l'énergie Commissions de l'ONU : PNUD, PNUE, FAO, UNESCO Organisations internat'les UICN, AIEA... ONG pertinentes
Anticipation d'évènements extrêmes • développement d'outils prédictifs	idem supra	Climatologie; Océanographie physique et spatiale; Supercalculateurs
Agriculture et alimentation • Quelles transitions des systèmes de culture pour s'adapter au contexte littoral ? • Est-ce que les systèmes d'aquaculture sont viables sur les littoraux, si submersion et SLR marquées ? • Quelles dynamiques des usages des territoires du littoral vers l'arrière-pays ?	idem supra	Politique; Ministères concernés; Agronomie; Economie; Géographie; Sociologie; Ecologie; Opérateurs de production en agriculture / aquaculture Commissions des Nations-Unies <i>ad hoc</i> : PNUE, FAO, UNESCO, Banque mondiale, Banques de devpt : AFD... Org. internat'les UICN, ONG pertinentes

SCENARIO A4 : adaptation prioritaire et atténuation tardive Questions à la recherche / Objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Outils et moyens de l'adaptation littorale Prise de conscience les limites de l'adaptation littorale Retournement de tendance et choix politiques drastiques	D'abord les États à l'échelle du monde; UE; France Régions françaises surtout l'outre-mer	Politique; Ministères; Economie; Géographie; Urbanisme; Sociologie; Ecologie; Sciences de la communication; BTP grands travaux Commissions ONU utiles : PNUE, GIEC, IPBES Org. internat'les type UICN Conseils régionaux façade ONG pertinentes
Changement de stratégie : - Outils et structures permettant de changer d'orientation - Pilotage du changement	idem supra	Mêmes disciplines; Mêmes opportunités d'interdisciplinarité Mêmes acteurs

SCENARIO F : Fragmentation persistante Questions à la recherche / Objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Protection du littoral, des villes, des infrastructures et autonomie en ressources (eau, électricité, carburant, alimentation...)	Les États en priorité; En 2e rang, certains ensembles géopolitiques (UE, Asean...)	Ministères compétents; Economie; Géographie; Urbanisme; Architecture; BTP grands travaux côtiers ou à la mer Labos de modélisation Opérateurs de services primaires et de production alimentaire Conseils régionaux façade
Gestion des risques géopolitiques et migratoires, y compris des évacuations d'urgence	idem supra	idem supra + Certaines Commissions de l'ONU (HCR), des ONG spécialisées
Agriculture et alimentation Quelles transitions des systèmes de culture pour s'adapter au contexte littoral ?	idem supra	Agronomie; Technologie; Ecologie prévisionnelle; Protection des cultures et des élevages

Scénario D1 : du déni à la réaction Questions à la recherche / objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Migrations provisoires et définitives de populations : • Prévision, impacts du SLR sur migrations • Accompagnement des déplacements	Monde; Grands États (Chine, Inde, USA...) et UE	Démographie, sociologues, politistes États, org. inter'les, Régions littorales
Alimentation et sécurité alimentaire : • Stabilité de l'approvisionnement alimentaire du littoral • Nouveaux usages agricoles: développement de cultures résistantes, de l'aquaculture, conversion vers élevage	Monde; État; Régions côtières	Commissions spécialisées de l'ONU: FAO, PNUE, PNUD Instituts de recherche spécialisés : Inra, Cirad, IRD, Ifremer
Gouvernance du littoral • Gestion intégrée des zones côtières • Comment développer des stratégies d'adaptation ? Coût des mesures d'adaptation : plus on s'y prend tard, plus c'est cher... • Quels impacts sur l'économie globale (risque de récession) des mesures d'atténuation et d'adaptation ? • Changement des modes d'habiter pour les adapter à la survenue d'évènements extrêmes	État; Régions côtières	Géographie; Economie; Urbanisme; Sciences politiques; Assurances; SHS Universités; Structures locales et régionales de R&D Instituts pluridisciplinaires type CNRS Instituts spécialisés Inra, Cirad, IRD, Irstea, Ifremer
Système climatique Effet rebond du système climatique chargé en CO2 (sols, océans) lorsque l'on extrait du CO2 (risque qu'océan, permafrost et sols réémettent du CO2) : • Etude globale du système climatique • Compréhension du système Terre • Quelle évolution des pluies extrêmes (ex. Andes) ? Améliorer la compréhension, la formation, la prévention pour l'adaptation à des évènements extrêmes ?	Mondial Grandes régions mondiales	Réseaux internationaux en géophysique, océanographie, observation spatiale, modélisation grande échelle Organismes int'x spécialisés : GIEC, IPBES Instituts sur les risques : Ineris, Anses...
Gouvernance globale du CC • Comprendre pourquoi le déni du CC. • Etudier comment cela se passe dans les régions déjà affectées par CC. • Quelles conditions d'émergence d'une gouvernance du CC qui ne dépendrait pas des États ?	Du mondial au local (tous concernés!)	Sciences politiques et de la communication ; SHS; Grandes municipalités et régions vulnérables Réseaux citoyens via sciences participatives
Financement de la recherche dans une situation de déni à l'échelle nationale	Du mondial au local (tous concernés!)	Recherche d'autres partenariats : Fondations, pouvoirs locaux, <i>crowdfunding</i> , acteurs privés

SCENARIO D2 : Abandon progressif du littoral Questions à la recherche / Objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Modélisation du retrait progressif des littoraux et aménagement des territoires dans l'arrière-pays (enjeux de zonage foncier)	Monde ; UE Régions vulnérables yc en France	Géophysique, géologie ; Modélisation ; Sciences politiques; Sociologie; Economie; Géographie
Devenir des constructions sur la zone littorale vulnérable et les villes littorales : • Habitat et services afférents (services, commerce...) • Aménagement pour un déplacement des villes vers l'arrière-pays • Infrastructures industrielles (raffineries, pétrochimie, chantiers navals...) • Infrastructures portuaires menacées et du commerce maritime (ex: Rotterdam)	Idem supra	Géographie ; Economie; Urbanisme; Sciences politiques; Assurances; SHS Universités et structures locales et régionales de R&D Instituts pluridisciplinaires comme le CNRS
Impacts sur la transition de la gouvernance territoriale (dont disparition de certaines îles : Ré, Rangiroa, St Martin...)	Idem supra	Droit international ; Géopolitique ; SHS
Impacts sur les écosystèmes littoraux déplacés	Idem supra	« Géo-écologie »
Agriculture et alimentation • Quelles transitions des systèmes de culture pour s'adapter au nouveau contexte littoral ? • Quels impacts en termes de sécurité alimentaire?	Idem supra	Commissions spécialisées de l'ONU: FAO, PNUE, PNUD... Instituts de recherche spécialisés : Inra, Cirad, Irstea, IRD, Ifremer...

SCENARIO D3 : Passivité Questions à la recherche / objets de recherche à privilégier	Echelle	Partenariats : interdisciplinaires, publics/privés
Déni du changement climatique et de ses effets : • Pourquoi les gens sont dans le déni ? • Quels leviers pourraient faire évoluer les mentalités	Monde; cultures	Psycho-sociologie; Philosophie; Instituts politiques; Instituts de sondage; ONG sociales
Alternative d'une « Planète B ». Terraformation (Mars)	Monde	Certaines agences spatiales Astrophysique, Planétologie, Biologie spatiale
Points limites : jusqu'où pourrait-on aller dans l'inaction ? • Montrer les points limites des évolutions en cours : effondrement des sociétés... Quand est-ce qu'il sera trop tard pour une bifurcation vers une transition ? • Quantifier les dommages (PIB) et les déplacements forcés de population • Mesurer l'évolution des inégalités: autonomisation d'un monde des riches, enjeux de la justice environnementale (les populations pauvres sont les plus affectées)	Monde	Sciences physiques, biologiques et humaines (dont surtout géopolitique, Economie et Polémologie (conflits armés) Commissions de l'ONU. Organisations internationales type GIEC, IPBES... Universités, Instituts spécialisés en géopolitique et économie
Organisations sociales de l'adaptation • Etudier les nouvelles formes d'organisation sociale et les expériences de communautés face à des transformations radicales de leur environnement	Locale	Sciences politiques, Ethnologie, Anthropologie; Psycho-sociologie
Alimentation • Réfléchir sur des systèmes de production de nourriture très décentralisés. Ex. de l'élevage de poissons lié à du maraîchage en permaculture.	Locale (mais en réseaux mondiaux)	Agronomie; Agroécologie; Génétique; Métrologie et robotisation des nouveaux systèmes de cultures; Bio-mimétisme