

BULLETIN 2024

LE CHANGEMENT

CLIMATIQUE

EN BRETAGNE

DOSSIER

**Le littoral breton
face aux défis
climatiques**

Sommaire

1# Retour sur le premier Forum « Climat et territoires » du HCBC p.04

2# Analyse comparée du niveau d'adaptation dans les PCAET bretons p.06

- › De quelle manière l'adaptation au changement climatique est prise en compte dans les PCAET?
- › L'analyse de la prise en compte des données scientifiques
- › Etude sur la cohérence des actions d'adaptation en Bretagne

DOSSIER

Le littoral breton face aux défis climatiques p.08

Le climat des littoraux bretons p.09

Les tempêtes en Bretagne: quelle évolution? p.11

Un littoral dynamique en recul p.14

Le niveau de la mer : à quand deux mètres de plus? p.18

S'adapter à un littoral en mouvement p.20

Encadré: Pour agir: la science citoyenne p.22

Les politiques du rivage: protection, gestion du risque... et dérogations p.23

Perception et rapport au temps pour l'action p.25

Pour en savoir plus... Le déclin du Gulf Stream peut-il refroidir les côtes Bretonnes? p.27

Acidification et réchauffement des eaux côtières p.28

Vers une « nouvelle économie bleue »? p.32

3# Atténuer le changement climatique et s'adapter: de jeunes chercheurs y travaillent en Bretagne p.33

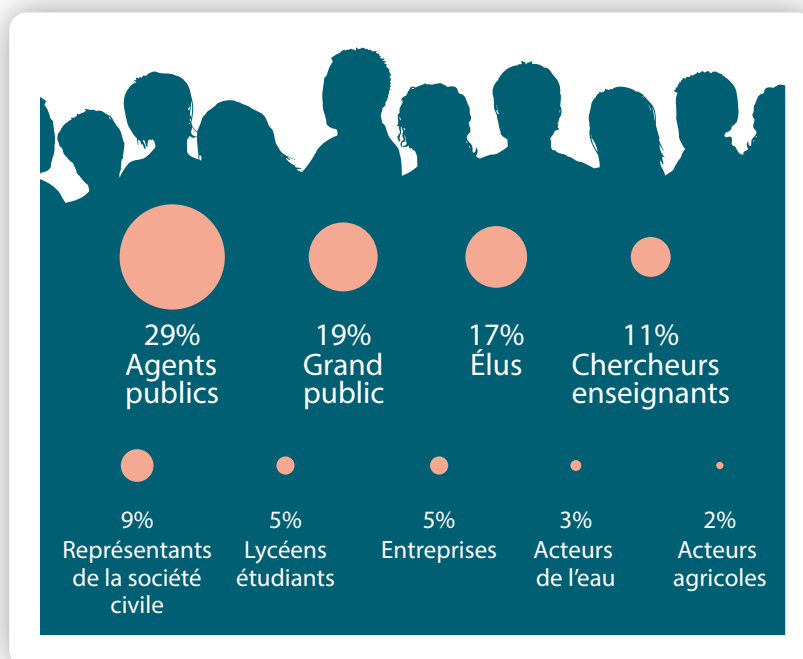
- › Atténuer les émissions des élevages par les paiements pour services environnementaux
- › L'environnement côtier face aux vagues de chaleur marines
- › Quelles vulnérabilités territoriales au regard de la santé publique et du changement climatique?
- › Une approche participative pour l'adaptation des territoires aux changements globaux

Après deux années d'existence, le Haut Conseil Breton pour le Climat (HCBC) a trouvé son rythme de croisière et lancé ses principaux chantiers. Le premier Forum Climat et Territoires organisé à Lorient en juin 2023 a été un succès et celui qui se profile à Brest au mois de mai s'inscrit déjà dans le calendrier des manifestations régionales incontournables sur la question du changement climatique. Le HCBC a également produit trois avis sur les politiques publiques régionales et sera prochainement doté d'un nouveau site web qui donnera plus de visibilité aux recherches sur le changement climatique en Bretagne.

En 2023, le HCBC a participé à 80 événements (conférences, tables rondes, articles de presse, ...) et permis de sensibiliser directement plus de 3000 personnes sur ces enjeux régionaux! Quatre groupes de travail sont désormais en place sur les questions de l'agriculture, des transformations sociales, des formations et du littoral. Ce dernier thème est un enjeu fondamental dans notre région tournée vers la mer. C'est donc le littoral, face aux défis du changement climatique (montée du niveau de la mer, érosion, acidification, ...) qui constitue le dossier central de ce deuxième bulletin annuel du HCBC.

L'année 2023 aura fait jeu égal avec 2022 en Bretagne en termes de température moyenne. Si l'été 2023 est resté dans les normes, des records de températures ont été battus en juin, septembre et octobre, montrant la diversité des formes que peut revêtir le changement climatique dans notre région: cœur de l'été plus intense comme en 2022 ou une saison chaude plus longue parce que plus précoce et plus tardive en 2023. Les tempêtes et les fortes pluies de l'automne sont venues rappeler la multiplicité des aléas (et pas seulement les vagues de chaleur) auxquels nous serons confrontés à l'avenir.

Pour faire face à tous ces changements, la mobilisation de tous les acteurs est plus que jamais une impérieuse nécessité!



Bonne lecture,
Les membres du HCBC.

📊 **Type de public rencontré par les membres du HCBC lors de leurs interventions en 2023.** Réalisation HCBC.

1 Retour sur le premier Forum « Climat et territoires » du HCBC

« Quelle adaptation aux risques climatiques en Bretagne ? ». C'était la question centrale du forum « Climat et territoires » du HCBC du vendredi 2 juin 2023, organisé en partenariat avec l'Université Bretagne Sud et Lorient Agglomération. Pour répondre aux nombreuses interrogations nées lors de l'été 2022, sans précédent pour la Bretagne (records de chaleur, sécheresse prolongée, incendies, pénurie d'eau...), le HCBC a souhaité proposer une journée aussi complète et interactive que possible. Les deux tables rondes de la matinée ont d'abord permis de débattre sur les risques climatiques présents et futurs ainsi que sur les moyens politiques pour aboutir à une adaptation proactive et transformatrice. Ensuite, les neuf ateliers de l'après-midi ont été consacrés à des réflexions plus opérationnelles sur les économies d'eau, la végétalisation des espaces publics, ou encore l'instauration d'une culture collective du risque.



© Nicolas Saint-Maur

Au total, ce sont plus de 300 personnes qui ont pu se rencontrer, apprendre et échanger tout au long de la journée. Grâce aux informations transmises lors des inscriptions ainsi qu'aux questionnaires distribués dans la journée, un portrait des participants a pu être établi (figure 1). L'objectif initial du HCBC a été rempli car les trois cibles principales du forum (les agents publics, les élus locaux et les acteurs du monde scientifique) se sont bien déplacées à l'évènement (environ 73% des participants). Une deuxième satisfaction du HCBC est la mobilisation du territoire, avec 44% des acteurs universitaires qui travaillaient à l'UBS, et 82% des élus locaux présents qui provenaient du Morbihan.

Au-delà d'une photographie des présents, les questionnaires ont permis d'identifier les attentes des participants envers le HCBC ainsi que l'avis de chacun vis-à-vis des différents temps de la journée. Un des constats majeurs est que **la raison principale de la présence au forum des participants était l'acquisition de connaissances scientifiques**. Or, le pari semble là encore réussi pour le HCBC car les retours des questionnaires ont souligné plusieurs éléments : la prise de conscience de la gravité et de l'ampleur des impacts de la sécheresse de 2022, la compréhension des enjeux d'acheminement de l'eau et d'interconnexion des réseaux d'eau potable, l'apprentissage du concept de résilience

transformatrice ou encore la nouvelle référence des +4°C en termes d'adaptation. Dans un contexte où les certitudes d'hier perdent de plus en plus de leur pertinence et où il est parfois difficile de faire le lien entre tous les bouleversements globaux à l'œuvre, le HCBC trouve encourageant le souhait des participants d'assister, à l'avenir, à davantage d'exposés scientifiques et de témoignages concrets sur la situation climatique bretonne.

Pour finir la journée, une conférence-débat grand-public était organisée sur le concept clé de sobriété mis en avant dans le 6^{ème} rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). Environ 80 personnes sont ainsi venues écouter Yamina Saheb, autrice du GIEC et spécialiste des politiques énergétiques européennes. Si la mobilisation du public local (Lorient et Morbihan) a été conforme aux attentes (figure 1), l'analyse sociologique a révélé la difficulté à s'adresser à toutes les catégories sociales. On a ainsi observé qu'environ 80% des participants à la conférence avaient au moins une licence, alors qu'on ne compte en France que 27,1% d'individus ayant un tel niveau de diplôme¹. Un tel constat n'est pas surprenant : de nombreux mécanismes d'auto-déshabilitation font que les individus les plus précarisés ne se sentent souvent pas assez légitimes ou compétents² pour s'intéresser à ce type de sujet et venir d'eux-mêmes à des conférences



© Nicolas Saint-Maur

dans un cadre universitaire. Au niveau de l'âge, on a également observé dans la salle une large surreprésentation des personnes âgées de 40 à 80 ans. Le format classique d'une conférence-débat en début de soirée correspondait-il véritablement aux habitudes et attentes des jeunes ? Trouver les façons de vulgariser autrement, de toucher, d'intéresser et de mobiliser une plus large partie de la population : voilà un autre défi de taille pour le HCBC et ses prochains forums!

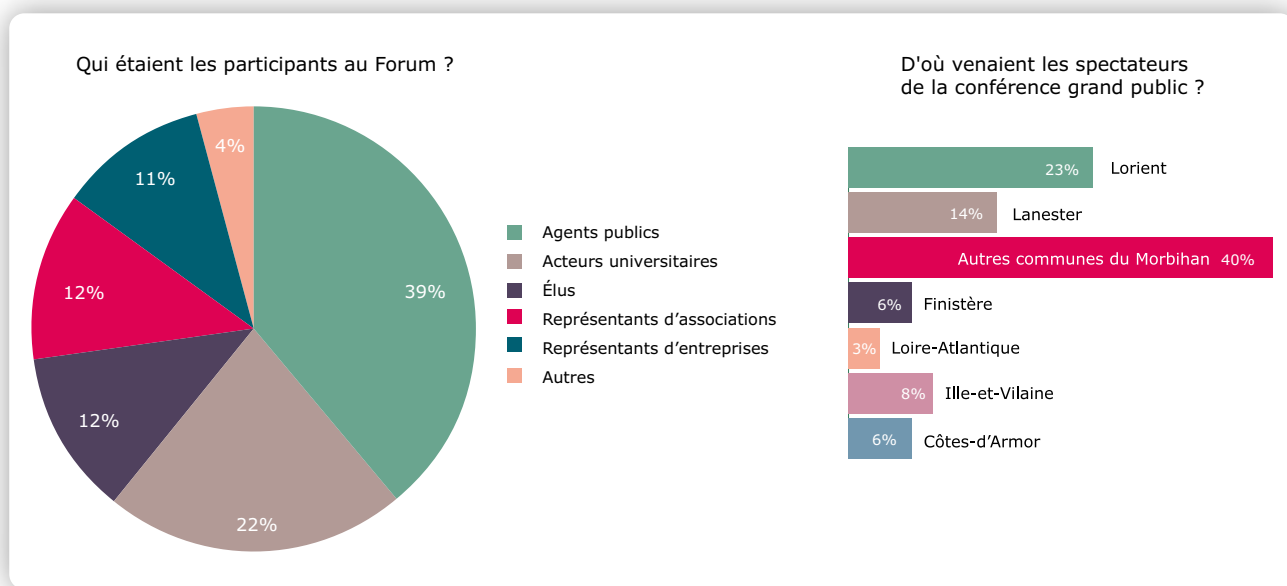


Figure 1 : Type d'acteurs participant au Forum et provenance des participants à la conférence «Quelle sobriété pour la Bretagne?». Réalisation HCBC.

1 / INSEE, 2022, "Enquête Emploi", https://www.insee.fr/fr/statistiques/2416872#tableau-figure1_radio1
 2 / Gaxie, Daniel. Le Cens caché. Inégalités culturelles et ségrégation politique. Le Seuil, 1978

2 Analyse comparée du niveau d'adaptation dans les PCAET bretons

Synthèse des travaux³ sur les Plans Climat Air-Energie Territoriaux (PCAET) menés dans le cadre d'un stage de fin d'études (Master 2) auprès du Haut Conseil Breton pour le Climat, par Servane Bonningues (UMR IODE et LETG) en partenariat avec Breizh Alec. La synthèse complète est à retrouver sur la page web du HCBC.

De quelle manière l'adaptation au changement climatique est-elle prise en compte dans les PCAET ?

Le PCAET est un outil de planification, à la fois stratégique et opérationnel, qui permet aux collectivités d'aborder l'ensemble de la problématique «air, énergie, climat» sur leur territoire. L'ensemble des intercommunalités (EPCI) de plus de 20.000 habitants doit adopter et mettre en œuvre un PCAET depuis le 1^{er} janvier 2019. En 2023, 30 EPCI sur 49 éligibles ont adopté leur PCAET sur l'ensemble de la région.

L'analyse a porté sur les PCAET bretons, notamment sur leurs diagnostics de vulnérabilité et programmes d'actions. Le recensement des actions d'adaptation dans les PCAET (figure 2) montre des mesures assez diversifiées avec une prise en compte très hétérogène de l'adaptation, allant de 3% dans certains programmes d'actions à 32% dans d'autres documents, bien en-deçà des mesures d'atténuation des émissions.

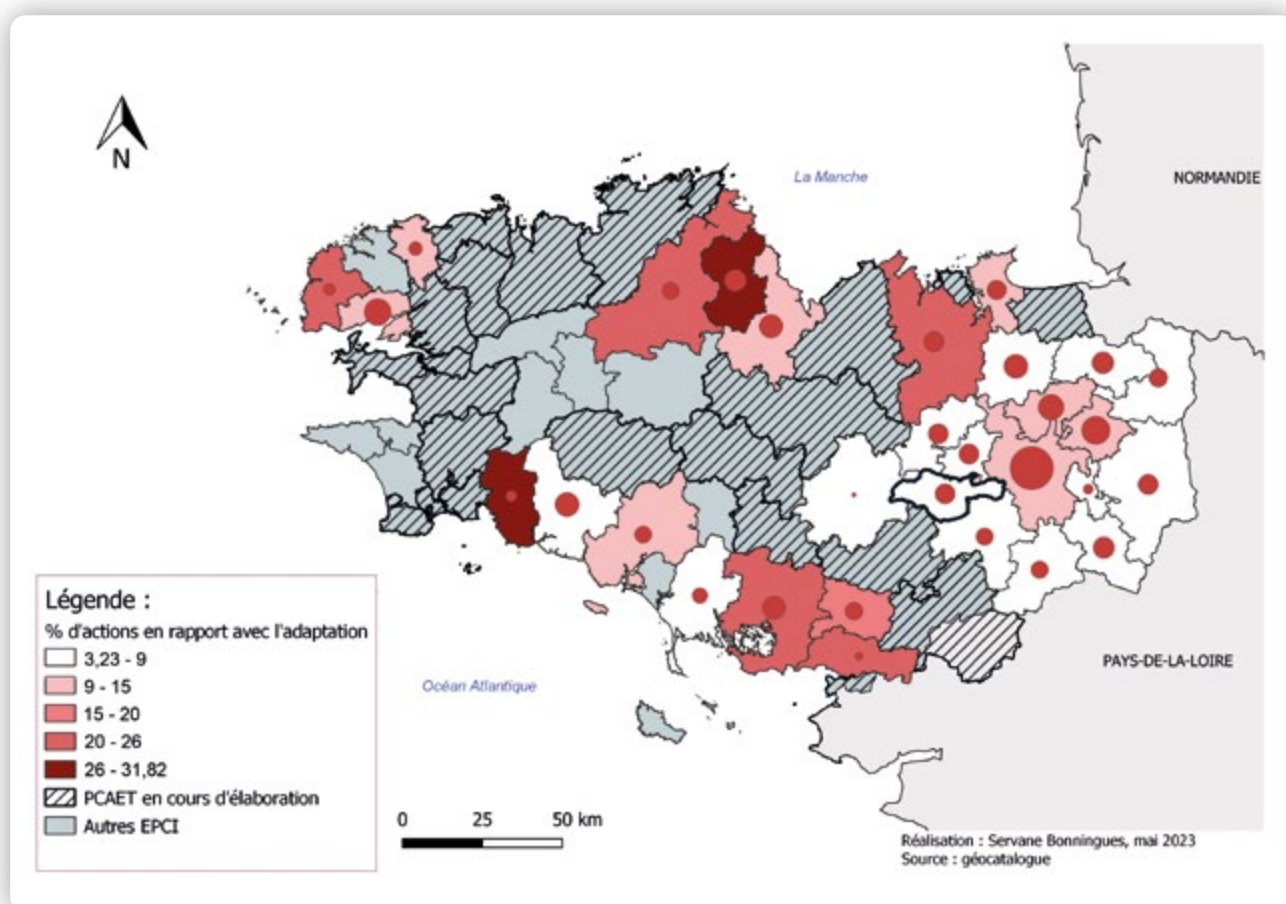


Figure 2 : Niveau d'adaptation dans les PCAET bretons adoptés jusqu'en 2023.

La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'actions en lien avec l'adaptation.

3 / BONNINGUES Servane, «Le volet adaptation au changement climatique dans les PCAET : conclusions d'une analyse portée à l'échelle de la Bretagne», Mémoire Master 2 : Université Rennes 2, novembre 2023, 103 p

L'analyse de la prise en compte des données scientifiques

L'étude a mis en évidence un niveau d'appropriation hétérogène des données scientifiques par les intercommunalités. Cette prise en compte passe généralement par la retranscription des définitions des rapports du GIEC ou la traduction des scénarios climatiques sur les territoires. Le choix des scénarios climatiques, des critères climatiques et des outils scientifiques (Drias, Climat HD) a également été étudié et montre que les données scientifiques ne sont pas toujours déclinées localement au niveau du territoire.

Etude sur la cohérence des actions d'adaptation en Bretagne

Afin de visualiser la cohérence des actions d'adaptation sur le territoire breton, l'étude croise les vulnérabilités établies dans les documents de diagnostics et les actions d'adaptation proposées au sein des programmes d'actions. Différentes cartes exposent cette analyse selon les thématiques principales retranscrites dans les PCAET bretons : l'agriculture, la biodiversité, les îlots de chaleur urbains, la ressource en eau et la submersion marine. Par exemple, ici, la carte montre la cohérence partielle des actions d'adaptation par rapport aux vulnérabilités établies dans le secteur agricole (figure 3).

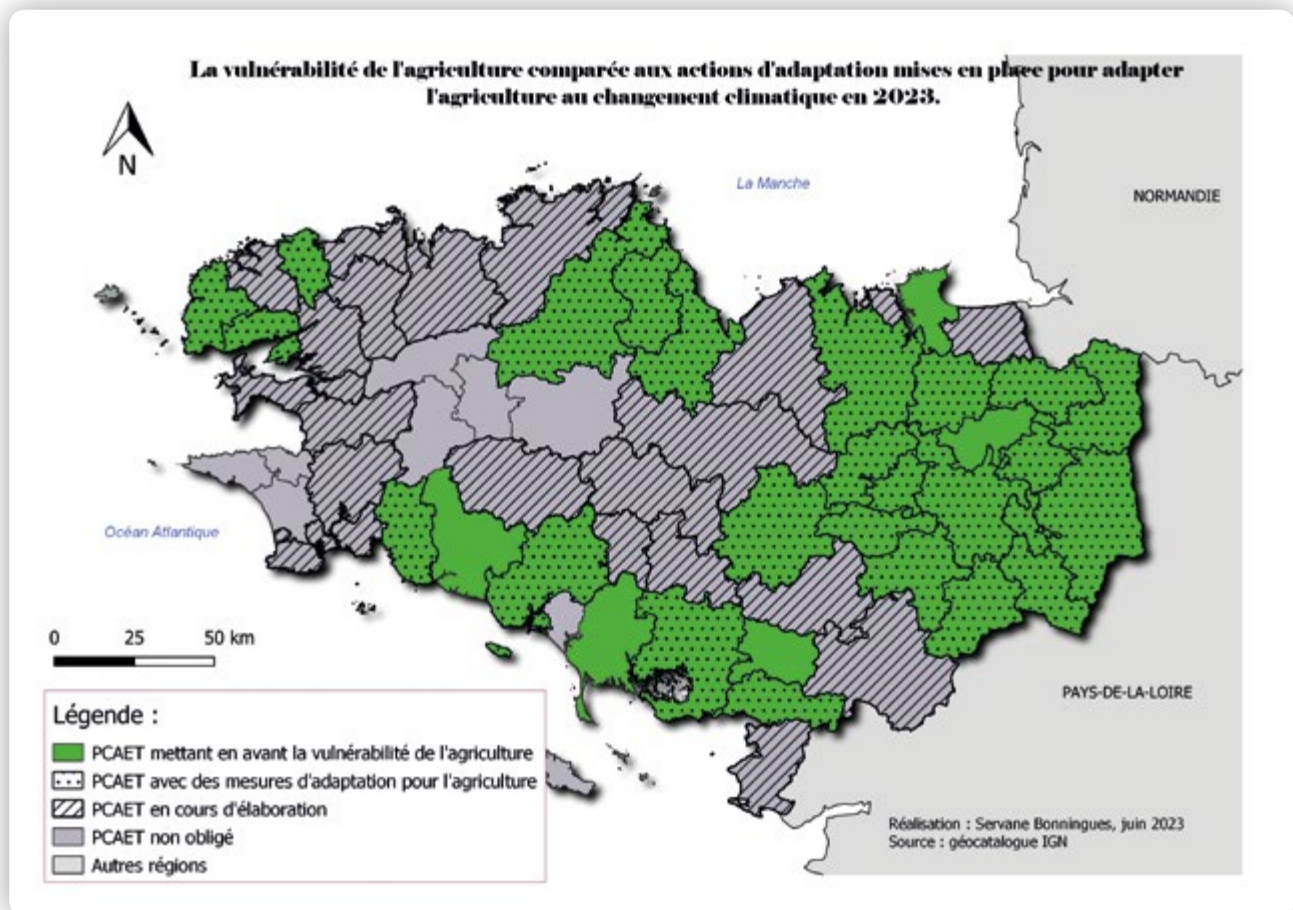


Figure 3 : Comparaison entre la vulnérabilité et les actions d'adaptation déployées pour l'agriculture au sein des PCAET en Bretagne en 2023.

Cette étude a mis en avant les nombreux freins auxquels les collectivités font face lors de l'élaboration et de la mise en œuvre de leurs politiques d'adaptation au changement climatique : des confusions qui persistent

entre adaptation et atténuation, le manque de moyens et de formation, des actions à mettre en place qui dépendent de niveaux territoriaux différents et l'insuffisance d'une ingénierie territoriale sur le sujet.

Le littoral breton face aux défis climatiques

Le littoral, où finit la terre et où commence la mer, est particulièrement menacé par le changement climatique. La montée des eaux et le recul du trait de côte en sont deux des manifestations évidentes : sur ce sujet, l'étude réalisée en 2020 par l'Observatoire de l'Environnement en Bretagne⁴ est toujours d'actualité. Dans les pages qui suivent, sans prétendre à l'exhaustivité, le HCBC présente quelques-unes de ses réflexions sur le climat et les événements météorologiques extrêmes, l'évolution du trait de côte, mais aussi les menaces que le réchauffement et l'acidification des océans font peser sur les littoraux, et les enjeux de l'adaptation à tous ces changements.

♥ Côte sud finistérienne



Le climat des littoraux bretons

Parler du climat des littoraux dans cette période de changement climatique pose d'abord des questions d'échelle et de terminologie liées à la conception classique selon laquelle la Bretagne est tout entière classée comme une région de climat tempéré « océanique », classement qui renvoie au grand domaine climatique des façades ouest des continents des latitudes moyennes. A l'échelle régionale, on parlera de climat maritime dont l'extension représente quelques dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres en fonction du relief. **Le climat « littoral » concerne l'échelle « locale », quelques centaines de mètres à quelques kilomètres, échelle à laquelle les gradients terre-mer sont les plus prononcés. Rappelons ici que, contrairement à une idée reçue, le climat littoral (même de telle ou telle plage) ne relève pas du « micro-climat » qui doit être réservé à une étendue plus réduite (métrique ou infra-métrique, par exemple à l'ombre d'un arbre).**

A l'approche du littoral, la première caractéristique observée du climat est **l'amortissement des contrastes de températures** par rapport aux régions intérieures (cf. tableau). Sur le littoral breton, le nombre moyen de jours de gel par an est inférieur à 10 (un seul à Ouessant) quand le nombre de jours chauds (température maximale supérieure ou égale à 25°C) est, lui, généralement inférieur à 20 (en moyenne sur la période 1991-2020). C'est donc ici que l'amplitude thermique moyenne annuelle (ATMA, différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid) est la plus faible, proche ou inférieure à 10 degrés. Il est même fréquent que sur les littoraux bretons le mois le plus froid soit février (et non pas janvier) et le plus chaud août plutôt que juillet du fait de l'inertie thermique de l'océan.

Bretagne Nord	Ouessant	Ploumanac'h	St-Brieuc	Plouguenast	Rennes
Distance à la mer en km	0,15	0,15	8	27	55
Nombre de jours de gel/an	0,7	4,1	17	24	30
Nombre de jours chauds (>25°C) /an	0,8	3,9	11	18	44
ATMA ⁵	8,5	9,8	11,1	12,0	13,0
Jours de vent fort/an (> 16m/s)	177	116	71	45	42
% pluie d'hiver/total	33	32	30	32	28
Bretagne Sud	Groix	Trégunc	Quimper	Bignan	Ploërmel
Distance à la mer en km	0,1	1,4	11	29	42
Nombre de jours de gel/an	5	15	16	32	33
Nombre de jours chauds (>25°C) /an	14	17	18	32	37
ATMA ⁵	10,6	10,7	10,7	11,8	12,5
Jours de vent fort/an (> 16m/s)	140	51	74	38	41
% pluie d'hiver/total	33	34	34	33	31

📍 Tableau : Données climatologiques représentatives sur la Bretagne, normales 1991-2020, Météo-France⁶.

5 / Amplitude Thermique Moyenne Annuelle

6 / https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=117&id_rubrique=39

Le climat du littoral est aussi moins arrosé que l'intérieur mais il est surtout beaucoup plus venté. Le nombre de jours de vent fort (rafales à plus de 16 m/s soit ~60 km/h) est divisé par deux entre Groix et Quimper et encore divisé par deux jusqu'au bassin de Rennes! La rugosité continentale est le mécanisme principal : elle freine le déplacement des masses d'air, réduisant considérablement le vent dès qu'on s'éloigne de la côte. Rugosité et relief vont aussi contraindre les masses d'air à s'élever, favorisant la condensation et le développement de la pluie, plus importante dans l'intérieur des terres. Par ailleurs, une autre distinction entre le littoral et l'intérieur peut s'observer par rapport à la distribution saisonnière des pluies en raison du plus fort échauffement continental en été : la part des pluies estivales (parfois orageuses) tend à augmenter vers l'intérieur de la région par rapport au littoral.

La nébulosité littorale est plus variable selon les situations météorologiques. Par définition,

les côtes sont davantage exposées aux entrées maritimes, l'air humide et le temps couvert débordent ainsi sur le continent proche. **Mais au printemps et en été, la couverture nuageuse sur le littoral devient plus faible.** Ceci résulte des propriétés et équilibres énergétiques différents entre la mer (qui se réchauffe et se refroidit moins vite) et la terre. Ainsi, en journée, surchauffé au contact du continent, l'air s'élève tandis que sur l'océan il reste plus frais et prend un caractère subsident. Ce gradient de pression relatif (hautes pressions au-dessus de l'océan et basses pressions au-dessus du continent) génère un vent appelé communément **brise de mer**, qui souffle plus ou moins perpendiculairement au trait de côte et qui dégage le ciel au-dessus des littoraux tandis que l'intérieur reste sous les cumulus (figure 4), image satellite). La nuit, le système s'inverse, le continent se refroidit plus vite, le gradient de pression s'inverse et la **brise de terre** souffle pendant la nuit de la terre vers la mer.



Figure 4 : Image Sentinel-2 du 11 juin 2023 en milieu de journée illustrant l'impact de la brise de mer en été. Sur le continent domine un ciel occupé par des petits cumulus du fait de l'échauffement de l'air. Sur les côtes et une étroite bande littorale, l'occurrence de la brise de mer dégage le ciel. Source : ESA <https://eoportal.eumetsat.int>

Le littoral breton ne sera pas épargné par le changement climatique comme en témoignent les fortes températures observées au cours de l'été 2022. Certes, il demeurera plus frais en été que l'in-

térieur de la région mais la hausse des températures sera sensible en toutes saisons et le contraste pluviométrique saisonnier (plus de pluies l'hiver, moins l'été) bien marqué⁷.

Les tempêtes en Bretagne : quelle évolution ?

Le passage des tempêtes Ciaran et Domingos début novembre 2023 sur l'ouest de l'Europe a posé la question de l'impact du changement climatique sur la fréquence de ce type d'événement. Rappelons que si des valeurs records de vitesse de vent ont été atteintes (163 km/h à Landivisiau par exemple), des valeurs proches ou supérieures avaient été observées en 1987. L'indice de sévérité national des tempêtes publié par Météo-France⁸ place ces deux événements en dessous des records de Martin et Lothar (décembre 1999) ou plus récemment Xynthia (février 2010). Les répercussions socio-économiques de Ciaran et Domingos ont tout de même été très importantes pour la Région, bien qu'inférieures à celles de « l'ouragan » (on ne donnait pas encore de prénom aux dépressions à l'époque...) de 1987. Début décembre 2023, la facture régionale des dégâts était estimée à plusieurs centaines de millions d'euros avec des dommages énormes sur les réseaux, les infrastructures, les bâtiments et les arbres. Mais d'où viennent les tempêtes qui frappent la Bretagne et comment a évolué et évoluera leur fréquence et leur intensité dans le contexte du changement climatique ?

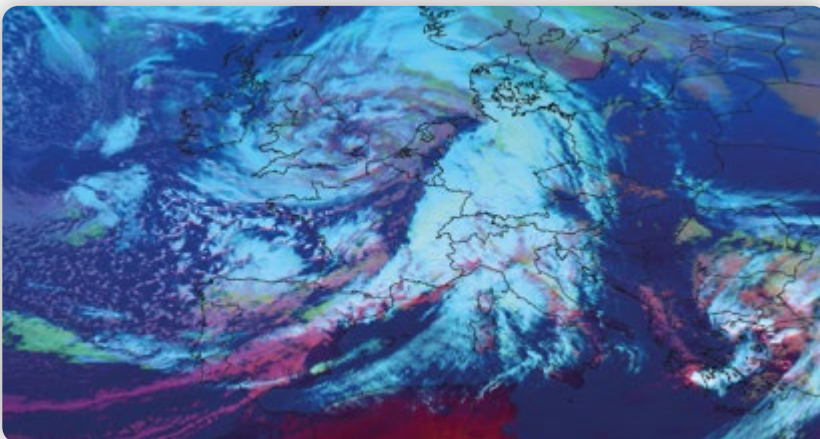
D'où viennent les tempêtes ?

Une tempête correspond au degré 10 sur l'échelle de Beaufort, c'est-à-dire des vitesses de vent supérieures à 89 km/h. Ces vents violents se forment avec le creusement des dépressions, la vitesse du vent étant proportionnelle au gradient de pression. Les tempêtes associées aux dépressions qui frappent la Bretagne prennent naissance sur l'Atlantique nord, au sud du Groenland, d'où le minimum dépressionnaire très souvent centré sur l'Islande.

Les dépressions tirent leur énergie de la rencontre d'air chaud venant des latitudes subtropicales et d'air froid descendant du pôle. La genèse des fronts et le tourbillonnement cyclonique des vents (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord) ont été décrits il y a un siècle par l'école norvégienne

de météorologie. Des observations plus récentes ont montré que le creusement d'une dépression dépend aussi beaucoup du phasage entre les tourbillons d'altitude et ceux de la basse atmosphère⁹, ces derniers correspondant parfois à d'anciens cyclones tropicaux repris par la circulation d'ouest.

Les conditions favorables (jet d'ouest rapide en altitude et fort contraste thermique en latitude) sont plus fréquentes en hiver ce qui explique la plus forte fréquence des tempêtes pendant cette saison... sans qu'elles soient impossibles en été comme lors du drame du Fastnet le 4 août 1979 ! Si d'énormes progrès ont été réalisés depuis plusieurs décennies grâce à la modélisation numérique et aux données satellites, il reste encore beaucoup à faire pour comprendre et anticiper l'évolution de ces phénomènes.



La tempête Ciaran vue par le satellite Meteosat le 2 novembre 2023 à 10h UTC.

Les nuages les plus froids et épais sont en blanc et cyan, les nuages bas en rose et vert. Le front météorologique principal est positionné de l'Espagne à l'est de la France, le centre de la dépression (vortex) sur la région de Londres. La Bretagne nord est encore sous couvert nuageux tandis que la Bretagne sud est passée dans le ciel de traîne. Source : <https://eoportal.eumetsat.int>

8 / <http://tempetes.meteo.fr/>

9 / <http://tempetes.meteo.fr/Contexte-favorable-a-leur-apparition.html>

Une forte variabilité interannuelle

Si les mécanismes généraux sont bien connus, chaque tempête présente ses particularités en termes d'intensité et de trajectoire : certaines se forment très proches de nos côtes, d'autres plus au large sur l'océan, certaines passent sur la région, d'autres restent à distance. Un inventaire détaillé a été réalisé par Météo-France dans son dossier « *Tempêtes et submersion marine : le projet VIMERS* »¹⁰ et des fiches sont également consultables sur le site de la DREAL¹¹. La figure 5 reprend quelques épisodes marquants ayant touché la région depuis 1987.

Au-delà de cette variabilité interannuelle, il est difficile d'établir des tendances significatives sur l'évolution passée des tempêtes. Sur l'Atlantique nord, la variabilité semble en partie pilotée par la NAO (Oscillation Nord Atlantique), c'est-à-dire le gradient de pression entre

l'Islande et les Açores (ou Gibraltar). Or, cet indice connaît une forte variabilité décennale entre des phases de haute et de plus faible intensité. En phase positive de la NAO comme dans les années 1980-1990 (figure 6), le régime d'ouest est plus marqué avec des hivers plus doux, pluvieux et venteux en Bretagne. Dans les années 2000, les phases négatives de la NAO se sont traduites par une moindre fréquence des tempêtes et il est trop tôt pour conclure sur la légère reprise observée depuis 2016.

Le changement observé le plus consistant concerne les trajectoires des tempêtes sur le secteur Atlantique Nord-Europe qui se sont déplacées vers le nord, ce qui est cohérent avec le déplacement constant vers les pôles des courants jets d'ouest d'altitude depuis 1979¹².

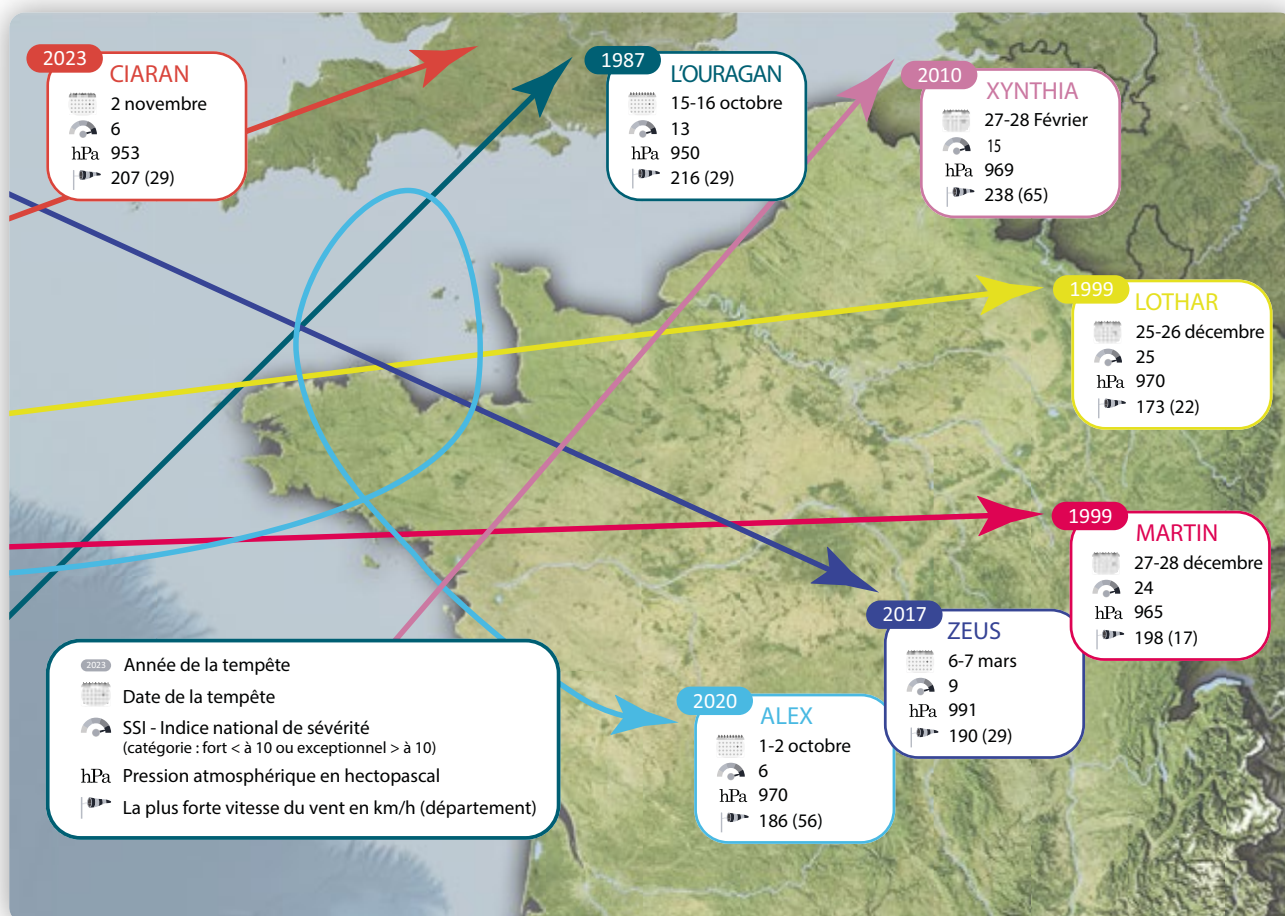


Figure 5: 7 tempêtes majeures ayant touché la Bretagne depuis 1987. Pour chaque tempête sont indiqués : sa trajectoire (flèche), l'indice de sévérité (SSI) de Météo-France, la pression atmosphérique la plus basse observée (en hectopascal) et la plus forte vitesse de vent mesurée en kilomètres heure (et le code du département concerné). Réalisation HCBC.

10 / <http://tempetes.meteo.fr/Tempetes-et-submersion-marine-le-projet-VIMERS.html>

11 / <https://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/etude-vimers-des-evenements-de-tempete-en-bretagne-a2705.html>

12 / IPCC(GIEC) 2021, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

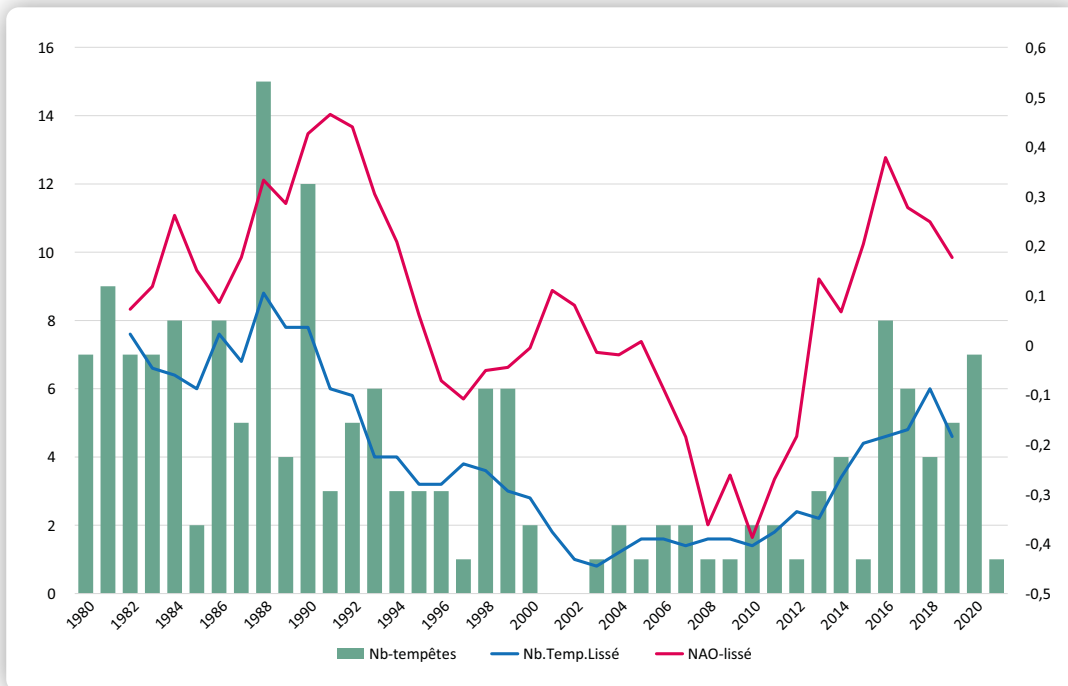


Figure 6: Tempêtes et NAO en Bretagne de 1980 à 2021. Les barres en vert représentent le nombre de tempêtes caractéristiques (Météo-France) ayant touché la Bretagne et la courbe en bleu la moyenne glissante sur 5 ans (échelle de gauche). En rouge la courbe lissée de l'indice NAO (Oscillation Nord Atlantique, échelle de droite) : l'indice positif signifie un fort gradient de pression entre l'Islande et Gibraltar et inversement. Sources : <http://tempetes.meteo.fr/> et <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao>

Une évolution future incertaine mais préoccupante

La diversité des événements, la forte variabilité interannuelle rendent difficiles de prévoir comment évolueront les tempêtes dans le futur. En première approche, on peut mettre en avant qu'une atmosphère plus chaude est une atmosphère qui peut contenir plus d'eau (très schématiquement +7% d'humidité en plus pour 1 degré supplémentaire), donc potentiellement plus instable et susceptible de générer des événements de plus forte intensité : ce mécanisme explique pourquoi on s'attend dans le domaine tropical, avec des océans plus chauds, à des cyclones de plus forte intensité.

Mais aux latitudes moyennes, l'intensité des systèmes dépressionnaires dépend d'un plus grand nombre de paramètres : gradients de pressions et de températures, position plus septentrionale et ralentissement du courant-jet, variabilité de la NAO sont autant de **facteurs qui rendent plus complexe l'établissement de liens entre réchauffement climatique et tempêtes sur la région.** Par ailleurs, la résolution des modèles est encore aujourd'hui insuffisante

pour comprendre tous les mécanismes favorables au déclenchement des tempêtes les plus intenses.

Enjeu régional majeur, les tempêtes sont un problème particulièrement préoccupant sur le littoral qui se trouve exposé aux vents les plus violents mais aussi au train de houle généré sur l'océan par les vents, les vagues de déferlement et les surcotes liées aux basses pressions. La conjonction avec de forts coefficients de marée (par exemple 1,5m de surcote à Brest lors du passage de Ciaran avec un coefficient de marée de 73) rend alors plus difficile, dans les estuaires, l'évacuation des eaux de crue consécutives aux fortes précipitations qui accompagnent généralement le passage des dépressions.

Au total, malgré les incertitudes qui pèsent sur l'évolution future de ces aléas tempétueux, la forte exposition et la forte vulnérabilité de nos littoraux au changement climatique sont bien établies et ces effets ne pourront donc que s'aggraver avec la remontée du niveau des mers.

Un littoral dynamique en recul

Le littoral est l'une des zones les plus mobiles de la planète où terre et mer jouent un "pas de tango" permanent avec des successions d'avancées et de reculs de la limite entre les deux. Le littoral est aussi un espace habité, et même très habité avec des densités de bâti et de population élevées¹³. Comment gérer un espace aussi naturellement mobile est une vraie question pour nos sociétés qui doit s'appréhender aussi à l'aune de notre connaissance sur la dynamique de ces milieux. Quelles sont les causes, les temporalités et les évolutions de ces dynamiques naturelles littorales et quelles sont les évolutions possibles associées au changement climatique ?

La limite naturelle entre la terre et la mer évolue :

Cette évolution dépend :

- du niveau de la mer,
- de la topographie terrestre,
- des apports en sédiments, généralement des sables qui proviennent de la mer ou des fleuves,
- de l'érosion de la terre par des agents marins ou terrestres.

Ces quatre phénomènes ont des causes et des vitesses différentes. Les deux premiers évoluent en moyenne plutôt lentement avec des variations verticales de l'ordre de quelques millimètres, voire centimètres, par an. La variation du niveau de la mer est induite par le stockage ou déstockage d'eau douce sur les continents (en particulier les glaces polaires) et par l'expansion ou la contraction thermique de l'océan. Après la sortie du dernier maximum glaciaire, le niveau de la mer est monté d'environ 100 mètres en moins de 10 000 ans. Depuis 8000 ans, le niveau s'est plus ou moins stabilisé avec des variations locales liées aux mouvements de la croûte terrestre. **Le changement climatique induit par les activités humaines a bouleversé ce scénario** et la mer remonte depuis l'ère industrielle à une vitesse de l'ordre de 1 à 4 millimètres par an, à des vitesses comparables aux phénomènes géologiques.

La terre elle-même monte, descend, voire avance, sous l'effet de trois grands phénomènes géologiques : la tectonique des plaques, les flexions induites par les variations des masses qui pèsent sur la croûte terrestre, notamment les variations des glaciers continentaux, et les effets de tassement induits par l'altération ou l'exploitation du sous-sol. La Bretagne n'est épargnée par aucun de ces trois phénomènes.

- Elle est tectoniquement active avec une sismicité certes modérée mais significative, notamment le long des grandes fractures qui traversent le Massif armoricain, ce qui induit des mouvements verticaux non négligeables de l'ordre du millimètre par an.
- Elle est aussi affectée par des mouvements verticaux causés par la fonte des calottes glaciaires qui s'étendaient jusqu'au milieu de l'Angleterre au dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans.¹⁴
- Enfin, elle n'est potentiellement pas épargnée par un tassement de son sous-sol. Ce dernier phénomène est local, principalement lié à l'exploitation du sous-sol par les mines ou les pompages d'eau souterraine. Même si on ne s'attend pas en Bretagne à rencontrer des subsidences d'une dizaine de mètres en une décennie comme il a été mesuré en Californie¹⁵, le phénomène peut être localement significatif en fonction de la nature du sous-sol et de son exploitation. A Brest, des valeurs de près d'1 mm par an ont été mesurées près du pont de Recouvrance.

13 / Douvinet, J., et al, 2011, <https://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2011-1-page-31.htm>

14 / Le rebond postglaciaire correspond à une remontée de la croûte terrestre après la fonte des glaces. A cause des propriétés élastiques de la croûte terrestre, cette déformation a la géométrie d'une ondulation centrée sur l'ex-calotte : la partie centrale monte et le pourtour descend ou monte en fonction de la distance au centre.

15 / <https://www.usgs.gov/centers/land-subsidence-in-california>

Ces phénomènes se traduisent par une variation relative de la terre par rapport à la mer. Sur le dernier million d'années, la partie de la Bretagne à l'Ouest de la ligne géologique qui va de Quessoy à Nort-sur-Erdre est en surrection (montée) de 0.1 à 1 mm par an, la partie orientale restant à peu près stable. Cette différence explique la topographie plus élevée à l'Ouest qu'à l'Est et l'existence de nombreuses falaises côtières, certaines culminant à 50 m. Les données de nivellement semblent montrer la même tendance dans le Finistère, avec des vitesses de surrection de l'ordre de 1 mm par an mais elles sont remises en question par les dernières analyses GPS et satellitaires qui semblent concorder avec les analyses effectuées au Sud de l'Angleterre :

la Bretagne pourrait être en subsidence (descente) d'une fraction de mm par an, ce qui accentue d'autant la montée du niveau de la mer.

Cette variation relative ne se fait pas sans conséquences sur la limite terre-mer. Aujourd'hui la mer progresse sur la terre presque partout, ce qui induit presque systématiquement une érosion de la côte. La manière dont ce phénomène va évoluer dépendra beaucoup de la nature géologique du littoral impacté. Les plages de sable, qui constituent 18 % du linéaire côtier breton, reculent sous l'effet de la montée (relative) de la mer. La règle de Bruun¹⁶ prédit un recul de la côte d'autant plus important que la pente de la plage est faible.



 **Erosion de dune (baie d'Audierne),** © Philippe Davy

16 / Per Moller Bruun avait observé que le sable se transférait de la partie émergée de la plage vers la partie immergée pour maintenir une hauteur d'eau constante près de la côte. Même si elle est très débattue, la règle de Bruun reste une référence scientifique pour l'évaluation du recul des côtes en lien avec la montée du niveau de la mer.

Érosion et recul du trait de côte

La question de l'érosion côtière ne se limite pas à une variation relative de la mer par rapport à la terre. L'océan est aussi le plus efficace des agents d'érosion, capable de :

- Déplacer très rapidement, en quelques épisodes de tempête, des masses de sable colossales et des blocs de granite de plusieurs dizaines de tonnes¹⁷ sur plusieurs dizaines de mètres.
- « *Grignoter* » le continent plus rapidement que l'érosion « *terrestre* », ce qui conduit à la formation de falaises verticales.
- Créer des plateformes d'abrasion marines plates sous une faible hauteur d'eau.

Ces phénomènes sont intenses mais épisodiques, leur énergie étant liée à la puissance des vagues qui s'intensifie pendant les tempêtes. La combinaison d'une tempête et d'une grande marée est un facteur démultiplicateur parce qu'elle cumule les deux moteurs les plus importants de l'érosion côtière : une avancée de la mer sur la terre et une énorme énergie érosive. Les vitesses d'érosion ou de transfert sédimentaires peuvent atteindre plusieurs mètres

en quelques heures, avec un bilan sur le long terme qu'il est toujours difficile d'évaluer mais dont les études montrent qu'il dépend énormément des conditions locales en termes de courants, de vagues, d'évolution des stocks sédimentaires, mais aussi d'aménagements du domaine côtier. En effet, lorsqu'ils se déposent, les sédiments protègent les zones érodées et diminuent l'érosion. Si le stock de sédiments diminue ou si les sédiments ne peuvent plus être déplacés, la conséquence sera une augmentation de l'érosion à l'endroit où ils auraient pu se déposer. Le problème a été identifié par de nombreuses études scientifiques qui pointent le rôle négatif des barrages sur les fleuves ou des protections littorales dans l'augmentation de l'érosion côtière.

Les côtes bretonnes n'échappent pas à l'érosion (*figure 7*) : sur 2000 km de côtes non artificialisées, 400 km sont en recul avec localement des vitesses supérieures à 0,5 m par an. Le phénomène n'est pas linéaire : on observe une alternance de périodes stables voire d'avancée du trait de côte, que les scientifiques relient aux mouvements de transferts de sédiments de la mer vers la terre si les stocks maritimes sont suffisants, et de périodes de reculs rapides liés à la fréquence des tempêtes.

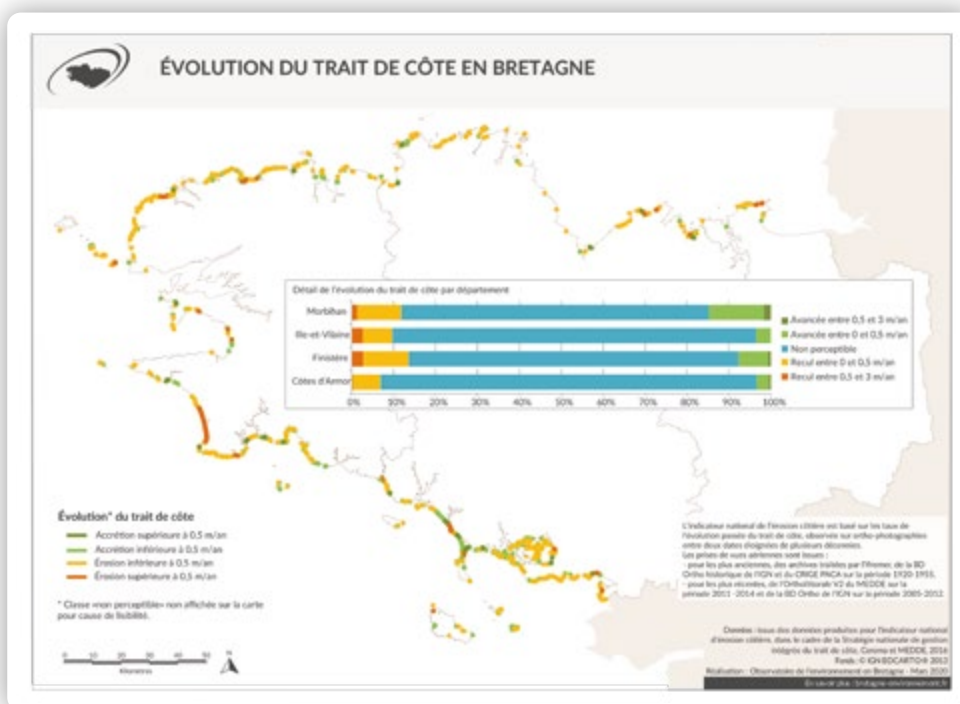


Figure 7: Évolution du trait de côte en Bretagne. Source : Cerema et MEDDE, 2016, <https://bretagne-environnement.fr/donnees-evolution-trait-cote-bretagne>

Le changement climatique, avec une montée du niveau de la mer et une possible augmentation de l'intensité des tempêtes, est bien évidemment un facteur important d'augmentation de l'érosion côtière. Le rapport du GIEC de 2022¹⁸ décrit le risque d'une érosion côtière accélérée comme avéré (high confidence) mais avec de nombreuses incertitudes. Contrairement aux évolutions du niveau de la mer qui sont bien documentées et modélisées, il est difficile d'avoir une vision globale et de long terme du phénomène d'érosion des côtes, d'une part parce qu'il est encore mal quantifié et d'autre part parce qu'il dépend de nombreux facteurs locaux d'ordre hydrodynamique (courants), aérodynamique (direction des vents)

mais aussi géologique (topographie du continent, vitesses de surrection ou de subsidence). Les rapports successifs du GIEC notent d'ailleurs qu'«*il est encore difficile d'attribuer l'évolution du littoral au changement climatique en raison des multiples facteurs naturels et anthropiques qui contribuent à l'érosion côtière*»¹⁸.

Cela dit, plus la mer montera, plus la terre reculera, c'est mathématique, et les conséquences du changement climatique sont à venir. Verra-t-on les plages de sable disparaître en Bretagne comme ailleurs? Cette question posée par la communauté scientifique illustre bien les enjeux non seulement à s'adapter aux conséquences du changement climatique mais aussi à en limiter l'amplitude.



Après le passage de Ciaran (Sarzeau).
© Florence Gourlay

18 / IPCC (GIEC), 6ème rapport volume 2, 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité.
19 / Vousdoukas, M. I., R. et al, 2020, <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0697-0>

Le niveau de la mer : à quand deux mètres de plus ?

Le niveau moyen de l'océan global a augmenté de 11 cm entre 1971 et 2018. En Bretagne, le niveau de la mer monte à peu près à la même vitesse (environ 20 cm mesuré au marégraphe de Brest depuis 1850, avec une hausse plus marquée de 13 cm environ depuis 1970).

La fonte des glaces polaires, grande cause d'incertitudes

Même quand nous cesserons d'émettre des gaz à effet de serre, le niveau de la mer continuera à monter pendant des siècles : c'est en quelque sorte un processus « à retardement ». Pour comprendre la lenteur de l'évolution du niveau de la mer, il faut s'intéresser aux causes principales de cette montée. Sur la période 1971-2018, elle est due à la fonte des glaciers de montagne (22%), à la fonte des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique (20%), mais surtout au réchauffement global de l'océan (50%)²⁰. En effet, quand l'océan se réchauffe, il se dilate et occupe davantage de volume, ce qui cause une montée du niveau de la mer. Or, les anomalies de chaleur générées à la surface de l'océan par le changement climatique pénètrent en profondeur de manière très lente : il faut des siècles pour propager ces anomalies chaudes dans tous les bassins océaniques. Si nous respectons l'accord de Paris, et limitons la hausse de la température de surface à 2°C, l'océan profond ne sera pas immédiatement à l'équilibre : il continuera à se réchauffer en profondeur et à se dilater pendant des siècles, voire des millénaires, entraînant la poursuite de la montée du niveau de la mer.

Dans les prochaines décennies, le volume des glaciers de montagne ayant déjà considéra-

blement diminué, la fonte des calottes glaciaires deviendra encore plus déterminante pour la montée du niveau de la mer. C'est un processus très progressif, et encore mal quantifié pour les glaces profondes (qui réagissent à plus long terme), mais les observations récentes montrent une accélération de l'écoulement des glaciers périphériques vers l'océan (figure 8). Si leur écoulement est principalement freiné par leur frottement sur la base rocheuse, une partie des glaciers est au contact à sa base avec de l'eau de mer : or les eaux océaniques de plus en plus chaudes participent à la fusion des glaces basales, et l'écoulement et la fonte s'accélèrent en conséquence.

Les données paléoclimatiques permettent de mettre en perspective les évolutions en cours. Ainsi, il faut remonter à 3 millions d'années pour avoir une température globale de 3°C de plus que l'actuelle et une teneur en CO₂ atmosphérique supérieure à 400 ppmv : le niveau de la mer était alors 5 à 25 mètres plus élevé que maintenant²¹. La fonte de toutes les glaces continentales permanentes correspondrait, quant à elle, à une montée du niveau de la mer de 65 mètres²², comme il y a 100 millions d'années, au temps des dinosaures.

20 / IPCC(GIEC), 2021 chapitre 9, table 9.5. Les 8% restants sont dus à la diminution du stockage d'eau sur les continents (baisse des niveaux des nappes phréatiques et barrages)

21 / IPCC (GIEC) 2021, Chapitre 1, FAQ 1.3

22 / Ce chiffre de 65 m concerne uniquement l'effet du volume d'eau ajouté à l'océan, sans compter la dilatation et autres facteurs (IPCC 2021, chapitre 9, FAQ 9.1)

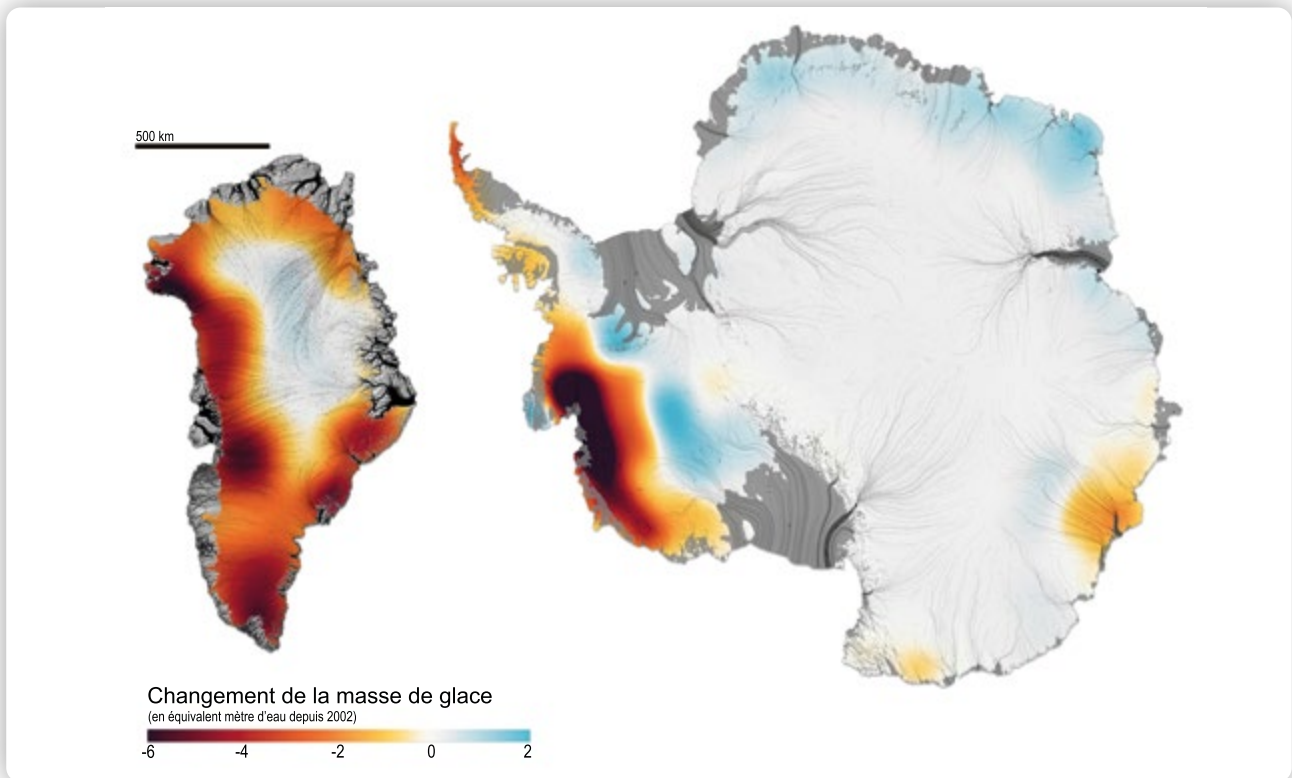


Figure 8: La masse des calottes glaciaires mesurée précisément par satellite entre 2002 et 2020. La perte de masse de glace est la plus forte sur le pourtour du Groenland et de l'Antarctique. La fonte s'accélère : sur 2006-2018 elle a contribué pour 27% à la montée du niveau de la mer global²³. Source : NASA and JPL/Caltech, U.S.A.

Le niveau de la mer va monter dans le futur, c'est inéluctable

Avec un réchauffement limité à 2°C, le niveau de la mer augmentera de 2 à 6 m sur un temps long (2000 ans) et continuera à monter lentement pendant les milliers d'années qui suivront, jusqu'à environ 10 m. Si le réchauffement global se stabilise à 4°C, le niveau de la mer augmentera de 12 à 16 m en 2000 ans et jusqu'à plus de 20 m dans les millénaires qui suivront.

La question n'est donc pas de savoir si le niveau de la mer montera de 2 m par rapport au niveau actuel (c'est une certitude), mais quand ce niveau sera atteint : au cours du siècle prochain ou au cours du suivant ? Ce rythme de montée dépend fondamentalement de nos émissions de gaz à effet de serre, et donc de nos choix de société.

Le respect de l'accord de Paris permettrait de retarder l'échéance des 2 m au-delà de l'an 2300, dans trois siècles ou plus. Un tel rythme de montée du niveau de la mer laisserait aux sociétés le temps de se replier peu à peu vers l'intérieur, et permettrait d'utiliser la plupart des infrastructures installées sur le littoral jusqu'à la fin de leur durée de vie. Par contre, dans

un scénario où les émissions continueraient à augmenter rapidement, ce niveau de 2 m pourrait être atteint peu après 2150. Dans son dernier rapport, le GIEC rappelle même qu'on ne peut exclure une fonte encore plus accélérée, un scénario incertain mais physiquement plausible qui conduirait à une hausse de 2 m dès 2100 !

Une réduction rapide des émissions de gaz à effet de serre est donc nécessaire pour laisser le temps au littoral breton et à ses habitants de s'adapter très progressivement et sur plusieurs générations à la montée inéluctable du niveau de la mer et « éviter l'ingérable ». Toutefois, comme les émissions de gaz à effet de serre ne dépendent pas que des décisions régionales et nationales (la COP28 a montré la volonté des pays producteurs de gaz et pétrole de poursuivre leurs activités), il est également nécessaire d'adapter nos ports et infrastructures littorales à des hypothèses réalistes de montée du niveau de la mer, en intégrant de surcroît les impacts d'événements extrêmes de type Xynthia (surcote de plus d'un mètre sur les côtes vendéennes), qui deviendront eux-mêmes plus fréquents.

S'adapter

à un littoral en mouvement

Les stratégies d'adaptation sont de plusieurs natures et traduisent trois grandes postures en termes d'aménagement du littoral: défendre, subir ou reculer.

Défendre consiste à vouloir renforcer en certains endroits les protections contre l'aléa marin. Héritée d'une vision fixiste du trait de côte et d'une culture du «*génie civil*», elle se traduit par des infrastructures en dur qui ne font que renforcer le problème d'érosion et donc la vulnérabilité des littoraux. Des méthodes de protection du littoral dites «*douces*» existent aussi, qu'il s'agisse de la protection et la restauration des dunes côtières (premier écran protecteur du territoire), du rechargement artificiel des plages, de l'installation de drains sous la plage pour limiter la reprise de sable par la mer, ou encore, comme à Gâvres (Morbihan), l'installation de pieux perpendiculaires au trait de côte pour freiner le déplacement de sable et stabiliser la plage.

Outre le fait que le déploiement de cette ingénierie côtière coûte cher et n'est pas infaillible, ses effets ne peuvent être que limités dans un contexte de récurrence des tempêtes et d'élévation du niveau de la mer. C'est donc aujourd'hui une posture qui doit devenir marginale.

Subir l'élévation du niveau de la mer peut signifier composer et vivre avec le risque, s'y préparer en adaptant le bâti, accepter que des aménagements ne soient pas pérennes. C'est ce que la loi climat et résilience votée en 2021 valide d'une certaine façon, avec la mise en place du bail réel d'adaptation au recul du trait de côte qui n'exclut pas certaines installations sur un littoral vulnérable mais encadre la gestion et l'exploitation de biens situés dans les zones exposées au recul du trait de côte, dans le temps précédant leur disparition programmée.

Les exemples de dépoldérisation, qu'ils soient plus ou moins anciens, accidentels ou programmés, témoignent aussi de cette posture. En Bretagne, on connaît les exemples de dépoldérisation sur les communes de Lancieux, de Plurien ou encore celui de l'Aber en Crozon²⁴.

Reculer signifie penser le repli des activités et des aménagements vers l'intérieur du territoire. Cela suppose pour les populations d'accepter la «*perte*»



➤ **Enrochement installé en 2017 le long de la Plage de la Grève Rose à Trégastel, suite aux dégâts causés par la tempête en 2008.**

Ce type d'enrochement ne stoppe pas définitivement l'érosion et ne constitue pas une solution d'adaptation à long terme.

©Serge Suanez

de terres, de biens ; là où parfois la défense du trait de côte est un élément historique et structurant (par exemple avec la poldérisation pour gagner des terres agricoles et se protéger). En outre, reculer signifie aussi la mobilisation de ressources foncières dans la zone rétro-littorale pour relocaliser les activités (campings, hôtels, commerces, ...). Dans cette perspective, tous les territoires sont concernés, même ceux qui ne sont pas en première ligne côtière. Ainsi, élaborer une stratégie foncière va être plus que jamais essentiel pour les intercommunalités qui comptent en leur sein des communes littorales. Pour ces dernières, dans un contexte où la mise en place du zéro artificialisation nette (ZAN) se profile à l'horizon 2050, c'est un peu la double peine : elles perdent d'une part du foncier du fait de l'érosion du trait de côte et voient d'autre part leur enveloppe foncière réglementaire être restreinte par le ZAN afin de protéger la biodiversité. La question se pose également pour la reconstitution d'espaces naturels protégés, qui eux aussi peuvent se trouver diminués du fait de l'évolution du trait de côte (exemple de réserves naturelles littorales, des terrains du conservatoire du littoral, etc.).

En termes d'aménagements du littoral face au changement climatique, on peut définir **la maladaptation** comme un ensemble de fausses bonnes idées. Par exemple, construire une digue pour protéger des habitations ne fait finalement qu'accroître le niveau de vulnérabilité des populations installées à l'arrière. Ce type d'aménagement

peut en outre interagir avec la dynamique côtière en perturbant le transit sédimentaire et en accentuant par endroit le pouvoir d'érosion des vagues. Ainsi, la protection générée par la construction ou le renforcement d'une digue n'est que passagère et le bénéfice à moyen terme est nul. Pire, l'érosion littorale sera accentuée sur la zone ou à proximité, déplaçant ainsi le niveau de vulnérabilité sur les territoires voisins. C'est l'exemple le plus commun de maladaptation au changement climatique sur les littoraux : non seulement le remède ne soigne pas le mal mais il l'accroît.

Ces trois postures, défendre, subir, reculer coexistent le plus souvent sur un même territoire : il s'agit aujourd'hui pour les décideurs de hiérarchiser les priorités. Ils peuvent s'appuyer sur des recherches scientifiques pour appréhender l'imbrication complexe des différentes composantes des risques. Par exemple, la vision systémique de la vulnérabilité²⁵ croise l'aléa naturel (érosion ou montée du niveau de la mer) avec les enjeux croissants résultant de la concentration des activités humaines sur le littoral, ainsi qu'avec les représentations (« *désir de rivage* »²⁶), et enfin les mesures de gestion qui peuvent atténuer ou exacerber cette vulnérabilité (figure 9). Ces travaux de recherche ont permis de proposer aux collectivités un accompagnement méthodologique dans le cadre du partenariat Litto'Risques²⁷. Ces actions vont s'étendre dans les trois prochaines années grâce à un soutien de la Région Bretagne.

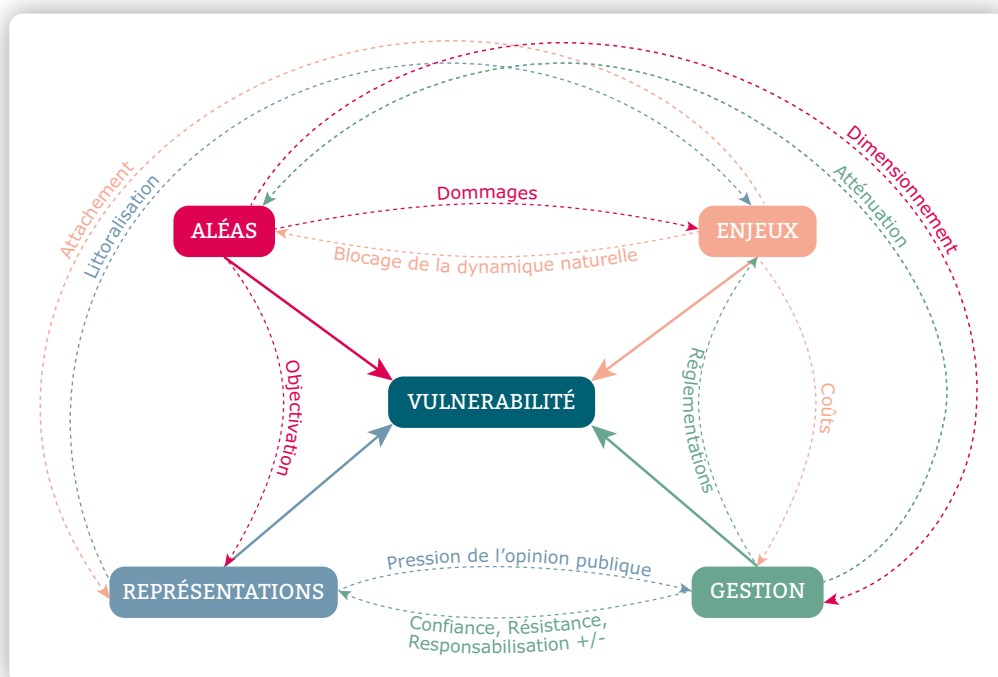


Figure 9 :
Description de la vulnérabilité systémique.
Source :
Meur-Ferrec²⁵

25 / Meur-Ferrec et al., 2020, <https://journals.openedition.org/developpementdurable/16731>

26 / Thèse de Eugénie Cazaux, 2022, <https://www.theses.fr/2022BRES0062>

27 / <https://www.finistere.fr/aides-et-services/environnement/les-risques-littoraux-et-fluviaux-en-finistere/littorisques-assistance-technique-des-collectivites-littorales/>



📍 **Dispositif photographique de suivi du trait de côte par les citoyens (CoastSnap), prise de vue depuis l'est de la plage de la Falaise à Guidel Plage.**
© Laboratoire Geo-Ocean - Université Bretagne Sud

Pour agir

La science citoyenne

Les sciences participatives sont « *des formes de production de connaissances scientifiques auxquelles des acteurs non-scientifiques-professionnels participent de façon active et délibérée* »²⁸. Ces approches se multiplient en lien avec l'accélération du numérique qui permet d'utiliser les smartphones comme capteurs physiques, outils de géolocalisation et terminaux de saisie. La participation va de l'acquisition décuplée de données (crowdsourcing), à l'intelligence distribuée, la participation, et la collaboration lorsque les citoyens contribuent respectivement à l'interprétation, à la définition du problème, et à l'ensemble de la démarche. Les protocoles d'observation sont conçus pour être accessibles à des non-spécialistes, peu onéreux et robustes. La densité des observations dans le temps et dans l'espace, et l'intégration de connaissances de terrain sont d'un grand intérêt scientifique. Dans le domaine de l'environnement, la partici-

pation est souvent structurée par des associations et des animations scolaires. Elle permet aux citoyens de satisfaire une curiosité naturaliste, d'être plus conscient des enjeux et des changements, de changer de comportement, d'être pro-actifs et vigilants²⁹. **Les problématiques du littoral sont propices aux sciences participatives.** Ainsi, les citoyens participent au suivi du trait de côte grâce à l'observatoire morbihannais OCLIM³⁰ qui intègre le dispositif photographique international CoastSnap et l'application de tracés GPS et photographiques Rivages du CEREMA³¹. De même, CoastAppli³² a permis des suivis du trait de côte par des scolaires. D'autres exemples concernent la qualité des eaux côtières : plateforme de signalement Phenomer de phénomènes d'eaux colorées dus aux proliférations de microalgues, ou suivi participatif Ecoflux³⁴ de la qualité chimique et biologique de quelques cours d'eau du continuum terre-mer.

28 / Houllier F., Merilhou-Goudard J.B., 2016. <https://hal.science/hal-02801940/>

29 / Nardi F. et al., (2022), <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1849707>

30 / <https://observatoire-littoral-morbihan.fr>

31 / <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/applications/appli-mobile-rivages>

32 / <https://www-ium.univ-brest.fr/observation/suivis-participatifs/coastappli>

33 / <https://www.phenomer.org>

34 / <https://www-ium.univ-brest.fr/observation/suivis-participatifs/ecoflux-bretagne>

Les politiques du rivage : protection, gestion du risque... et dérogations

Longtemps « territoire du vide »³⁵, le littoral attire dès le XIX^e siècle les populations et les activités économiques, qui vont coloniser de façon croissante le bord de mer. L'urbanisation accélérée de l'après-guerre et ses ravages engendrent cependant une prise de conscience et, en réponse, des efforts de régulation. Première forme d'intervention, le Conservatoire du Littoral, créé en 1975, met en œuvre une politique d'acquisition foncière et de préservation des espaces côtiers. Dans son sillage, la Loi littoral du 3 janvier 1986, votée à l'unanimité des parlementaires, instaure la mesure forte d'une inconstructibilité de la bande des 100 mètres. S'appliquant à 1212 communes riveraines des mers et eaux intérieures, elle y protège les espaces naturels. Mais elle laisse aussi la porte ouverte, dès l'origine, à des projets de développement urbanistique: la loi confère aux décideurs locaux un pouvoir d'arbitrage entre intérêts d'aménagement et de préservation de la nature, non sans engendrer un contentieux contestant leurs choix³⁶.

Cette réglementation et ce contentieux protègent une partie des côtes bretonnes de l'urbanisation galopante observée ailleurs, mais font aussi l'objet de remises en cause récurrentes face à une contrainte normative jugée trop lourde³⁷. Produit de cette contestation, la loi ELAN de 2018 (évolution du logement, de l'aménagement et du numérique) prévoit des dérogations pour des constructions en discontinuité avec les zones urbanisées: logements sociaux, production d'énergie solaire photovoltaïque ou thermique. Exemple récent de ce régime dérogatoire, un décret du 29 décembre 2023 établit une liste de 22 friches soustraites aux obligations de la Loi littoral, dont plusieurs en Bretagne, de Sarzeau à Plestin-les-Grèves.

Au fil des années, d'autres régulations vont venir s'ajouter à ce socle initial. Les schémas de mise en valeur de la mer visent à affiner la gestion côtière par territoire, mais restent cantonnés en Bretagne à deux zones: Golfe du Morbihan (1998), Trégor-Goëlo (2006). A partir des années 2010, la prévention du risque de submersion devient une priorité après les dévastations de la tempête Xynthia et engendre un corpus réglementaire spécifique. Dans la même décennie, les politiques d'adaptation au changement climatique introduisent des outils de lutte contre l'érosion et de gestion du trait de côte (Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, 2012). Certaines de ces réglementations convergent vers une plus grande protection des espaces littoraux. La territorialisation des risques côtiers freine alors l'urbanisation: la prise en compte de ces dangers s'opère dans les documents

d'urbanisme et dans les Chartes des Parcs naturels et peut se traduire par des annulations de permis de construire, comme dans le cas récent d'une habitation à Larmor-Plage (Morbihan)³⁸. Par définition, les politiques des risques donnent aux services de l'Etat une place prépondérante et font prévaloir la sécurité des populations et la préservation du patrimoine commun qu'est le littoral³⁹. Mais la portée des leçons tirées de Xynthia se révèle aussi limitée, dix ans plus tard⁴⁰: la mise en œuvre de ces politiques reste négociée avec des pouvoirs locaux attentifs au développement de leur territoire. L'affaiblissement global des moyens de l'Etat donne aussi une place croissante à l'ingénierie privée dans la fabrication de l'action publique⁴¹.

Dernière strate de régulation en date, la politique nationale du trait de côte débouche en 2021 sur la loi Climat et Résilience, qui introduit une obligation de cartographie pour les communes concernées, des outils d'aide à la relocalisation (baux réels d'adaptation au changement climatique), auxquels s'ajoutent les contraintes liées aux objectifs dits ZAN (Zéro artificialisation nette). L'usage concret de ces dispositions reste cependant encore incertain, au vu des effets de substitution entre des corpus réglementaires, plus ou moins contraignants. Les procédures de la loi Climat et Résilience laissent ainsi plus de marges dans la mesure de l'aléa que les Plans de Prévention des Risques Inondation (PPRI), et donc plus de liberté de manœuvre aux communes et intercommunalités dans la délimitation des zones d'aléa fort, inconstructibles.

35 / Corbin A., «Le Territoire du vide: l'Occident et le désir du rivage (1750-1840)», Ed. Aubier, 1988

36 / Lascombes P. 1995, https://www.persee.fr/doc/rfsp_0035-2950_1995_num_45_3_403538

37 / Sénat, 2014 «Plaidoyer pour une décentralisation de la loi Littoral: un retour aux origines», rapport d'information du Sénat, n° 297 (2013-2014), 21 janvier 2014

38 / jugement du TA Rennes, 2 février 2024

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/permis-de-construire-refus-annulation-risque-submersion-marine-43431.php4>

39 / Mineo-Kleiner L, et al, 2021, <https://www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2021-2-page-50.htm>

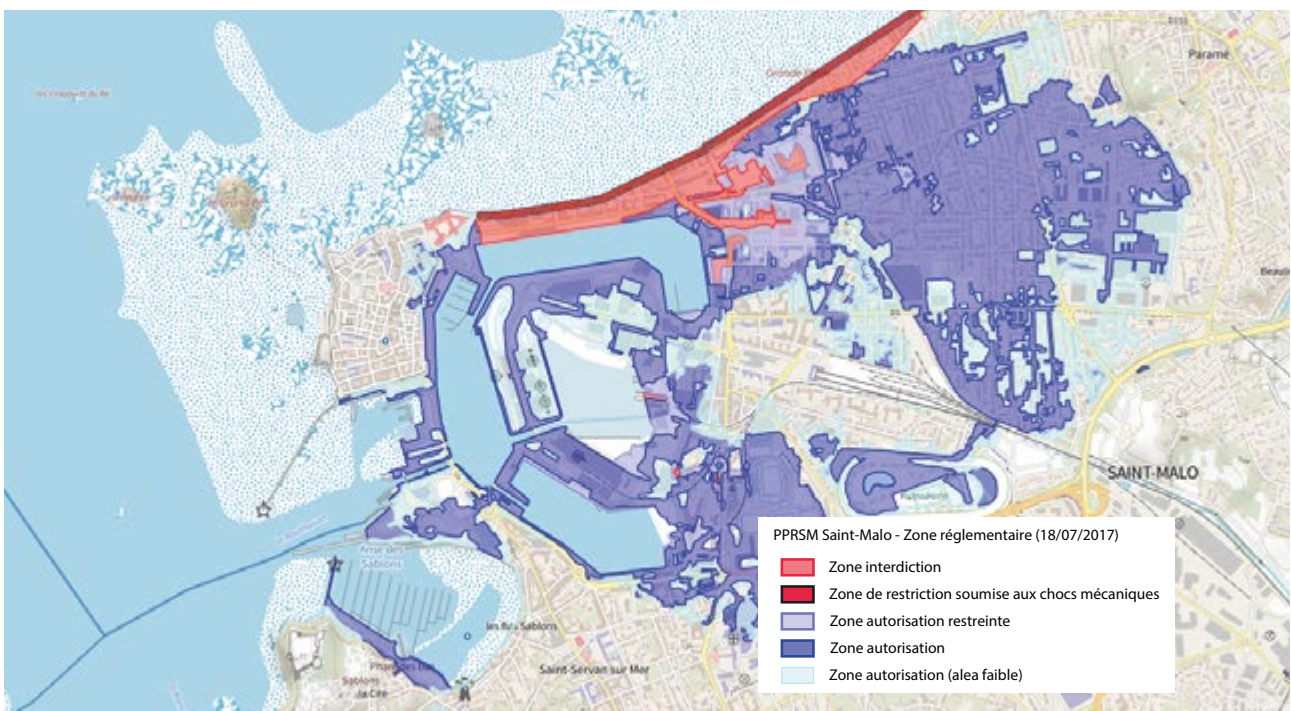
40 / Rouhaud E, Vanderlinden J-P. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100413>

41 / Mazeaud A, Rieu G. 2021, <https://www.cairn.info/revue-francaise-d-administration-publique-2021-1-page-153.htm>

Dans le face à face, autour du littoral, entre le pouvoir central de l'Etat et le pouvoir local des communes et de leurs groupements, la Région Bretagne reste dans un rôle d'accompagnement et de facilitation des évolutions. La collectivité régionale a précisé ce positionnement en février 2024⁴², par un document d'orientation stratégique sur l'adaptation des territoires au recul du trait de côte⁴³. Celui-ci actualise sa politique «*Mer et Littoral*» qui abordait très peu jusqu'alors le changement climatique. La Région complète la règle du Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) relative à l'adaptation (III-7), qui s'impose aux documents de planification locaux : elle y introduit la nécessaire référence à un horizon de 30 ans et 100 ans pour identifier les espaces littoraux exposés au recul du trait de côte via la submersion ou l'érosion. L'objectif imposé aux communes est d'anticiper ces évolutions, avec des relocalisations à l'échelle intercommunale, des solutions d'aménagement fondées sur la nature et une défense du territoire par des ouvrages «*de manière exceptionnelle et lorsque les enjeux socio-économiques le justifient*» (p.7). La Région, pour sa part, affiche

sa volonté de protéger les 22 ports qui sont sous sa responsabilité de gestionnaire d'infrastructures et d'y concentrer ses financements. Ailleurs, elle reconnaît la prévalence des intercommunalités dans le choix des stratégies locales, celles-ci pouvant mobiliser les taxes affectées à la compétence GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations). Agissant à distance, la Région privilégie dans ces cas, un «*accompagnement*» par la diffusion, le partage d'expérience, la mobilisation de fonds européens, le soutien à la définition de stratégies locales intégrées ou de prévention des inondations.

Au total, les politiques antérieures du littoral sont marquées par une forte continuité, entre affirmation de principes généraux - protection du rivage, prévention des risques et aujourd'hui adaptation – et exceptions dérogatoires au cas par cas, quand «*les enjeux socio-économiques le justifient*». En l'absence de précisions sur ce critère clé, le risque est grand de laisser s'exprimer les intérêts et des enjeux de court terme, ignorant les coûts socio-économiques supérieurs, à long terme, d'un défaut d'adaptation ou de mal-adaptation.



📍 **Carte réglementaire du Plan de prévention des risques de submersion (PPRSM) de Saint-Malo, approuvé le 8 juillet 2017.** La «zone d'autorisation restreinte» est un zonage dérogatoire à la règle d'inconstructibilité ("Zone d'intérêt stratégique", annulée par l'Etat en 2022). Source : <https://carto2.geo-ide.din.developpement-durable.gouv.fr>

42 / Conseil régional, Délibération «*Politique régionale Mer et Littoral. Orientations pour l'adaptation des territoires au recul du trait de côte*», 16 février 2024.

43 / Une récente publication de la Cour des comptes livre une analyse très complète de ces enjeux et de la mise en œuvre des politiques : «*La gestion du trait de côte en période de changement climatique*», Rapport public annuel, 2024, consultable sur : <https://www.ccomptes.fr/fr/documents/68855>

Perception

et rapport au temps pour l'action

La montée du niveau de la mer est un fait avéré pour les scientifiques et est déjà traduit dans les documents réglementaires territoriaux. L'appropriation et la compréhension de ce fait par l'ensemble social se révèle un enjeu majeur pour permettre la mise en œuvre d'actions concrètes et de pratiques adaptées.

Cet enjeu se perçoit à travers les échanges entre acteurs (élus, habitants, techniciens des collectivités, agents de l'État...) qui peuvent se cristalliser autour de postures conflictuelles. Chacun essaie de défendre le point de vue lié à sa position sociale sur des registres différents, les uns défendant un intérêt particulier bien compréhensible (sa liberté individuelle, sa propriété, son bien immobilier, son travail, par exemple), les autres mobilisant l'intérêt général difficilement appréhendable et qui se dilue dans des propos divers : la sécurité des personnes, la protection de l'environnement, la limitation des dépenses publiques, etc.

Un des paris sociétaux qui est fait, en plus des règlements, des lois et des contraintes, est celui de la pédagogie, de l'explication, de la diffusion des informations afin de permettre les prises de décisions les plus adaptées et acceptables par toutes et tous. Cette idée renforce l'intérêt scientifique de prendre le temps de mesurer en amont les degrés de compréhension des phénomènes liés au changement climatique par les différents acteurs dont

celui de la montée du niveau de la mer. Comment les différentes représentations sociales, articulant perception et compréhension, génèrent un rapport positif ou négatif aux décisions de l'action publique ? Où se situent les points de blocage qui peuvent rendre l'échange et le débat presque impossible ?

Une des dimensions explicatives porte sur le fait que les acteurs ne raisonnent pas sur les mêmes échelles temporelles. La dimension du temps (chronos) est classique en sciences sociales et incontournable sur une thématique comme celle du changement climatique. Les acteurs sociaux interrogés sur leurs représentations et leurs pratiques font émerger leurs différents rapports au temps. Certains racontent l'érosion, les submersions ou le sentier littoral observés dans la période vécue sur une ou deux générations. D'autres mobilisent la temporalité des analyses scientifiques, en particulier les échelles de temps géologiques avec par exemple la médiatisation de la notion d'Anthropocène. Et enfin il y a également la temporalité de l'action dans le présent en prévision d'un futur plus ou moins proche.



Les menhirs nord-ouest du cromlech d'Er Lannic, aujourd'hui à moitié immergés, nous rappellent la longue échelle de temps des variations du niveau marin.

© Sémhur Wikimedia

Le temps passé pour comprendre le présent

Le temps rétrospectif s'impose en géomorphologie : ainsi pour comprendre l'évolution du trait de côte, il est nécessaire de mobiliser des données temporelles pour clarifier ce qui est du registre d'une évolution naturelle et ce qui est en lien avec le changement climatique causé par l'activité humaine. Ce positionnement initialement porté par les scientifiques peut être repris par l'ensemble des acteurs sociaux avec plus ou moins de confusions car certaines échelles

de temps utilisées dans les disciplines scientifiques ne sont pas familières. L'Holocène ça commence quand ? Et le quaternaire ? Qui ne se mélange pas entre les dates de début et de fin de siècle ? Le XXI^e siècle commence-t-il bien en 2001 ? Les acteurs confrontés aux événements du temps présent appréhendent difficilement ceux qui se déclenchent après un long processus à bas bruit et qui apparaissent comme révélateur, à un instant T, d'une dynamique enclenchée bien en amont.

Le temps de l'action...

...est souvent articulé autour de l'immédiateté, en réponse à des besoins ou demandes citoyennes auxquelles les élus doivent répondre rapidement : « *c'est toujours dans l'immédiat, il faut qu'on arrive toujours à trouver la solution dans l'urgence* » (parole d'un élu⁴³). Les élus insistent sur le fait que dans leur quotidien, le changement climatique n'est pas une préoccupation prioritaire et qu'il est dès lors difficile de mobiliser sur ce sujet. Une seconde dimension interroge l'action,

l'intervention pour laquelle les élus et techniciens pensent qu'il faudrait la mettre en œuvre dès à présent pour le futur, alors que celle-ci n'aurait d'effets visibles, « *concrets* » que dans plusieurs années, voire décennies. Cette dimension, comme celle de l'inaction qui consiste à renoncer à un enrochement détruit lors d'une tempête par exemple, pose un problème à certains élus souhaitant que leurs décisions soient visibles et palpables par leurs concitoyens sur le temps du mandat.

Le temps vécu pour penser l'avenir

Le temps du vécu correspond à ce que les participants observent à travers les pratiques et qu'ils inscrivent plus ou moins dans un temps court : par exemple, des acteurs qui ne voient pas les changements qui ont lieu sur une flèche littorale et qui ne les prennent pas en compte alors que les observations scientifiques prouvent l'inverse et invitent à l'anticipation. Il y a également ceux qui prennent en considération les effets de nouvelles pratiques, par exemple, le piétinement sur les sentiers côtiers dont ils pensent qu'il accélérerait l'érosion, mais dont la quantification précise n'est pas toujours évidente au regard des autres processus. Le temps du vécu, c'est aussi l'attention portée aux pratiques du citoyen qui met en place des gestes dans son quotidien pour limiter son empreinte carbone et que les pouvoirs publics accompagnent ou incitent (aire

de covoiturage, aide financière à l'isolation des logements, consommation alimentaire...). Et dans les pratiques professionnelles, le tourisme ou la conchyliculture par exemple, les habitants se réfèrent à des cycles du temps de l'exploitation des ressources et de la production, qui ne sont pas les mêmes pour tous et les inscrivent dans des temporalités différentes.

Ces dernières années sont marquées par la perception d'une forme d'accélération des processus et peut-être du changement⁴⁴, lisible à travers toutes sortes d'actions d'adaptation des pratiques de culture, de choix d'espèces, de renouvellement ou pas des équipements côtiers, ... Mais à ce stade les discussions se terminent souvent en points de suspension devant la difficulté à hiérarchiser ce qu'il convient de faire.

43 / Les propos cités dans cet article ont été recueillis lors de visites du HCBC dans des communes littorales.
44 / H. Rosa, Accélération. Éditions la découverte, 2010

Le temps du futur ...

...s'appuie sur des modèles et projections scientifiques basés sur les données connues du passé. Les projections comportent par définition des incertitudes qu'il est nécessaire de comprendre, et d'accepter. « On ne peut pas savoir, on dit toujours c'est le mois le plus chaud depuis telle année, en fait, ça dédramatise la chose parce qu'on se dit que cela a déjà existé, peut-être que c'est un cycle, on n'en sait rien » (parole d'élu). En effet, les projections ne sont pas la comparaison d'une situation présente à un instant T à un équivalent au passé mais bien le résultat de calculs qui utilisent les lois de la physique

et de la chimie pour simuler une évolution sans cesse testée, validée et réévaluée.

La question du changement climatique s'inscrit sur une échelle temporelle multiséculaire. Les échanges entre acteurs sociaux montrent une grande variation entre leur perception de la montée du niveau de la mer et les échelles de temps qu'ils mobilisent pour se l'expliquer. Cet écart nécessite, en amont des discussions, des ajustements pour situer, cadrer l'échange dans un registre temporel commun quand il s'agit de prendre une décision pour l'action.

Pour en savoir plus...

Le déclin du Gulf Stream peut-il refroidir les côtes Bretonnes ?

Qui n'a pas entendu évoquer un risque de refroidissement du climat en Bretagne qui serait lié à un « arrêt du Gulf Stream » ? La première chose à savoir est que le Gulf Stream est un courant marin chaud de surface qui s'écoule le long des côtes sud-est américaines, et qui ne va pas s'arrêter : ce courant fait partie d'une boucle de circulation océanique poussée par les vents d'ouest à nos latitudes et les alizés dans les tropiques (figure 10). Le changement climatique a une influence sur une autre boucle de circulation, qu'on appelle la circulation thermohaline méridienne. C'est cette circulation, moins intense que le Gulf Stream, qui amène des eaux chaudes depuis l'Atlantique Tropical jusqu'aux côtes de Norvège et en Arctique (la branche de ce courant qui passe au large de la Bretagne s'appelle la « dérive nord-Atlantique » et pas le Gulf Stream). Les eaux se refroidissent ensuite dans les régions polaires, deviennent plus denses

et plongent pour revenir vers le Sud en profondeur. Avec le réchauffement climatique, les scénarios futurs prévoient une diminution de cette circulation thermohaline méridienne, principalement parce que, dans les zones polaires et subpolaires, l'eau de mer sera moins salée en surface et donc moins dense, à cause de la fonte des glaces et de l'augmentation des pluies. La diminution de la densité sera également amplifiée par le réchauffement accru aux hautes latitudes, limitant ainsi la plongée des eaux denses. La baisse des flux impliqués serait de 24 à 39% d'ici 2100 selon les scénarios. **La circulation thermohaline méridienne est bien prise en compte dans les projections du climat futur, qui montrent que son ralentissement n'est pas suffisant pour enrayer le réchauffement sur l'Europe de l'Ouest.** Certes, les projections sont incertaines, parce que certains effets ne sont pas bien pris en compte (le rythme rapide de la fonte des glaces du Groenland, par exemple) ; cependant les incertitudes influent surtout sur les siècles à venir, car la circulation thermohaline méridienne varie lentement. Pendant le siècle en cours, le débit de la circulation méridienne va diminuer et l'Europe va continuer à se réchauffer, avec un niveau de réchauffement en 2100 qui dépendra surtout de nos émissions de gaz à effet de serre.



Figure 10: Schéma de la circulation thermohaline méridienne, montrant la boucle du Gulf Stream et la dérive Nord Atlantique (courants chauds) ainsi que les courants de retour froids. Source : GIEC.

Acidification

et réchauffement des eaux côtières

Les milieux côtiers sont des zones très productives, abritant une grande diversité d'organismes vivants. Ces espaces constituent des zones de reproduction de nombreuses espèces de poissons et de mollusques, et des zones importantes de nourrissage pour de nombreuses espèces d'oiseaux et de mammifères. Dans le contexte du changement climatique global, ces habitats très divers sont soumis à une acidification et à un réchauffement de l'eau de mer plus ou moins marqués selon le scénario vers lequel nous nous orienterons. Ces effets majeurs seront accompagnés par d'autres phénomènes, comme une diminution de l'oxygène de l'eau de mer et une accentuation de la houle. Les eaux côtières, qui connaissent déjà de fortes variations de pH et de température en raison de l'hydrogéologie et des activités humaines, verront ces variations amplifiées par le changement climatique.

L'acidification impacte les organismes calcifiants, en particulier les jeunes stades

L'acidification des océans est liée à la dissolution du CO₂ atmosphérique dans les océans. Sur la dernière décennie, 29% des émissions totales de CO₂ ont été absorbées par les océans⁴⁵. Cependant, ce mécanisme n'est pas sans conséquence pour le milieu marin puisqu'il entraîne un déséquilibre dans la chimie des carbonates et une acidification progressive de l'eau de mer. En fonction du scénario climatique, une diminution du pH de l'eau de mer de 0,1 à 0,3 serait observée d'ici 2100, correspondant à une augmentation de l'acidité de l'eau de mer de 30% à 200%. Les conséquences les plus importantes seront probablement observées pour les organismes calcifiants qui élaborent

leur structure calcaire (coquille ou squelette) à partir des carbonates présents dans l'eau de mer, se déplaçant peu et ayant un cycle de vie long, comme les huîtres plates ou les ormeaux vivants en milieu côtier breton. Pour ces animaux, une dégradation de la coquille a été mise en évidence au stade adulte, les rendant potentiellement plus fragiles lors des attaques de prédateurs, ainsi qu'une baisse de l'investissement dans la reproduction. **Les conséquences les plus préjudiciables pour ces organismes calcifiants sont cependant observées pour le stade larvaire, avec des déformations importantes et une forte mortalité** (figure 11).

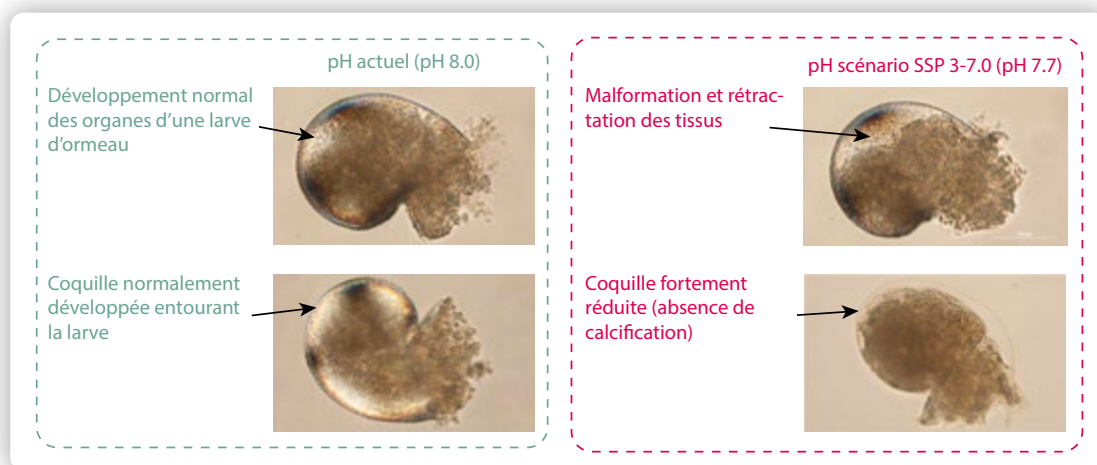


Figure 11 : Déformation des larves soumises à un pH de l'eau de mer inférieur de 0,3 unité par rapport au pH actuel. Cette diminution du pH correspond à la diminution observée d'ici 2100 si les émissions de gaz à effet de serre continuent sur la même pente d'émission qu'actuellement. Source: MNHN Station marine Concarneau.

Un réchauffement pouvant impacter les espèces situées en limite de résistance thermique

Plus de 90% de l'énergie thermique excédentaire liée à l'effet de serre additionnel dans l'atmosphère a été absorbée par les océans depuis 1970. Par rapport à la période 1986-2005, une augmentation de presque 3°C de la température moyenne de la mer pourrait être observée d'ici 2100 si nous continuons sur la même pente d'émissions qu'actuellement⁴⁶. En plus de cette augmentation de la température moyenne de l'eau, des vagues de chaleur marines comparables ou supérieures à celles de 2023 seront aussi observées de plus en plus fréquemment. Les conséquences des vagues de chaleur sont déjà observées à travers le monde pour les organismes se trouvant en limite de tolérance physiologique, entraînant de fortes mortalités d'organismes marins et une modification des aires de répartition. Par exemple en Bretagne, une grande algue brune très courante sur la côte, caractérisée par un crampon très épais, *Saccorhiza polyschides*, pourrait voir son aire de répartition très fortement réduite si les émissions actuelles de CO₂ n'étaient pas fortement diminuées⁴⁷. Elle serait probablement remplacée en milieu intertidal par une algue moins sensible à la chaleur comme *Laminaria ochroleuca*⁴⁸. En plus de ces effets directs, **l'augmentation de la température de l'eau de mer favorise le développement de certaines maladies en modifiant les relations hôte-pathogène-environnement.** Des mortalités allant jusque 80% pour l'ormeau ont été observées dès la fin des années 1990 entre St Malo et de St Brieuc avec le développement d'une bactérie *Vibrio harveyi* lorsque la température de l'eau a dépassé 18°C. Les populations des zones du Finistère, pour l'instant épargnées, pourraient être touchées si la température estivale de l'eau dépassait ces 18°C.



Plongeur du LEMAR (Laboratoire des sciences de l'environnement marin) sous la filière de *Saccharina latissima* située à l'Aber Wrach positionnant une sonde pour effectuer un suivi de conditions physico-chimiques. © Erwan Amice

Des effets combinés peu connus

En l'état actuel des connaissances, il est difficile de savoir si la température et le pH vont agir sur les organismes marins de manière additive (effets négatifs cumulés), synergétique (effets négatifs cumulés plus forts que l'addition de chaque effet) ou antagoniste (effet d'un agent stressant réduisant partiellement l'effet d'un autre agent stressant), ou en lien avec d'autres facteurs environnementaux (épisodes de chute en oxygène, la pollution ou les variations de salinité, fréquemment rencontrés en milieu côtier). Les recherches actuelles permettent de tester un ou deux facteurs environnementaux en condition de laboratoire, mais

l'évaluation devient très vite complexe pour un nombre plus important de facteurs. De plus, les approches sont souvent centrées sur un seul organisme vivant. L'évaluation des effets des changements climatiques à l'échelle des communautés et des écosystèmes et de la complexité des systèmes naturels, est très rarement conduite en laboratoire car elle demande des moyens considérables. Pour l'instant, les scientifiques ont peu de recul, mais la dégradation de la biodiversité marine observée depuis plusieurs décennies suggère que cette érosion de la biodiversité devrait s'accroître si le changement climatique se poursuit.

46 / IPCC (GIEC), SROCC, rapport spécial sur l'océan et les glaces, 2019

47 / Fernandez de la Hoz et al, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.04.012>

48 / Pereira et al, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.02.006>

Un impact direct sur l'économie locale

Des activités économiques importantes se déroulent également dans la zone côtière : conchyliculture, pêche artisanale, récolte des algues à pied ou par bateau, ainsi que le tourisme. La pêche à pied récréative fait partie de la culture traditionnelle bretonne et de nombreuses personnes se rendent sur l'estran au moment des grandes marées pour pêcher les ormeaux, les coques ou les bigorneaux, ou

pour collecter les algues. De par les effets observés sur les principales espèces calcifiantes et la faible tolérance à de fortes températures de nombreuses espèces d'algues en Bretagne, il est probable que le changement climatique impactera le milieu économique dépendant de ces ressources, ainsi que la pêche récréative et les activités touristiques associées.

De multiples répercussions sur la santé humaine (physique et mentale)

L'impact de l'acidification sur la santé humaine n'est peut-être pas celui auquel on pense en premier lieu mais il est pourtant bien réel et de plus en plus documenté dans la littérature scientifique⁴⁹. Les océans fournissent en effet de nombreux services écosystémiques, tels que la nutrition, les médicaments et les bienfaits sur la santé physique et mentale. L'acidification des océans pourrait affecter la santé humaine selon quatre voies principales : la malnutrition et l'intoxication par altération de la quantité et de la qualité des produits de la mer, les troubles

respiratoires dus à la détérioration de la qualité de l'air⁵⁰, les impacts sur la santé mentale par la modification des espaces naturels et la diminution des possibilités de développer et d'obtenir des ressources médicales du fait de la perte de biodiversité. Au fur et à mesure que les effets de l'acidification des océans se manifesteront, il est peu probable que les individus ressentiront l'un ou l'autre de ses effets de manière isolée. Les impacts négatifs sur la santé humaine résulteront plutôt de relations complexes et interdépendantes liées à ces modifications.

Quelles solutions dans un contexte de changement climatique ?

Si les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas fortement réduites, une chute drastique de la biodiversité marine risque de se produire, laquelle est déjà mise à mal par la surexploitation des espèces, la destruction des habitats, le développement des espèces invasives et le rejet de polluants provenant du milieu terrestre. Il est parfois envisagé d'avoir recours à des programmes de repeuplement lorsque des populations marines disparaissent, comme pour l'huître plate en rade de Brest. Cependant, ces programmes sont complexes, coûteux et longs à mettre en place. De plus, seules quelques espèces dont la reproduction est maîtrisée pourront bénéficier de ce type de solution par repeuplement. Pour anticiper ce déclin qui risque de s'accroître, **il est important de promouvoir des zones avec un fort niveau de protection (zone refuge) et de réduire les autres facteurs environnementaux aggra-**

vants. D'autres pistes sont actuellement en étude, se basant sur des solutions fondées sur la nature, pour anticiper et amortir les effets des changements climatiques. Par exemple, l'aquaculture de plusieurs niveaux trophiques (algues et consommateurs primaires et secondaires) pourrait être une solution pour produire des ressources marines de manière durable. Il faut cependant que ce type d'aquaculture soit suffisamment rentable pour permettre le développement d'une activité économique pérenne. Les algues captant du CO₂ et augmentant le pH de l'eau de mer, le développement d'une algoculture à proximité des élevages d'organismes calcifiants pourrait aussi être une piste de bioremédiation pour diminuer l'impact de l'acidification sur les organismes. Cependant, ces solutions de bioremédiation n'en sont qu'à leur balbutiement, et ne pourront compenser que partiellement les effets des changements globaux.

49 / Falkenberg et al, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124563>

50 / Des problèmes respiratoires peuvent être déclenchés par les efflorescences d'algues toxiques, lesquelles peuvent varier en composition ou en fréquence à cause du changement climatique (Falkenberg, 2020)

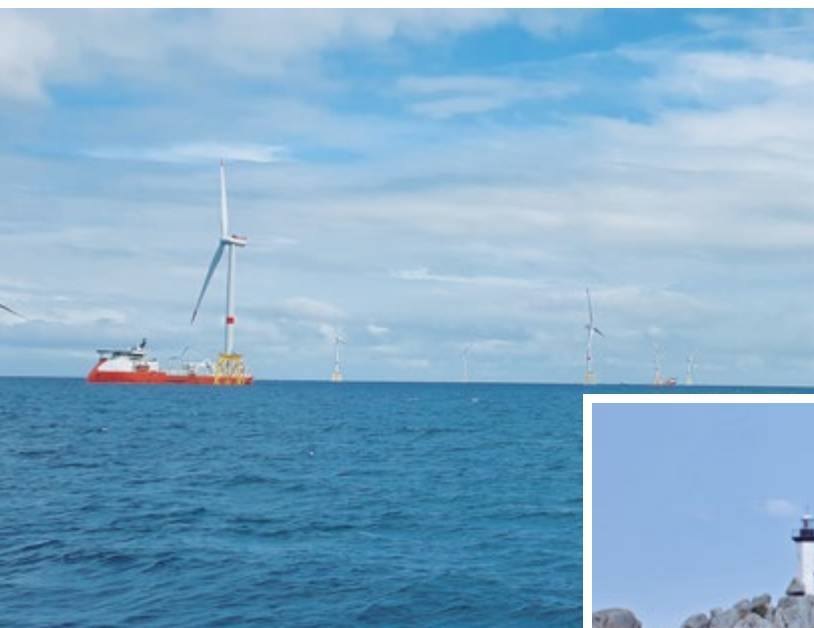


🌿 Culture de *Saccharina latissima* sur filière en Finistère Nord.

L'algoculture, encore peu développée en France, est une piste étudiée pour réduire les effets de l'acidification sur les organismes marins. En captant le CO₂ lors de leur croissance, les algues permettent d'élever le niveau du pH. Les champs de macroalgues poussant naturellement sur les fonds rocheux bretons représentent aussi potentiellement des espaces réduisant les effets de l'acidification pour les organismes marins. Cependant, seuls les organismes situés à très faible distance de ces algues provenant du milieu naturel ou de culture bénéficieront de cet effet positif. © Titouan Larose

Vers une « nouvelle économie bleue » ?

L'adaptation du littoral breton aux impacts du changement climatique représente un défi majeur pour la résilience de son économie. La contrainte climatique incite à passer, comme l'a fait le niveau européen, d'une stratégie de « la croissance bleue » à celle d'une « économie bleue durable⁵¹ ». Une telle économie bleue renouvelée vise à rompre avec la logique de croissance conduisant à la surexploitation des ressources (naturelles, foncières, etc.), l'artificialisation des sols et la dégradation des écosystèmes terrestres et maritimes. Dans une perspective de développement local durable fondé sur l'économie régénérative, il s'agit de promouvoir la généralisation de pratiques alternatives – permaculture, agroécologie, etc. Cela passe également par la priorité donnée au développement de certains secteurs et activités essentiels de la maritimité bretonne comme ceux des énergies renouvelables et de récupération, privilégiant un modèle énergétique territorialisé et décentralisé, une agriculture et aquaculture durables, les bioproduits marins et biotechnologies marines, l'écotourisme ou un tourisme alternatif, équitable et solidaire. Reste que les conditions de la mise en place de cette mutation économique d'ampleur sont loin d'être réunies. **Elles demanderont des incitations fortes, appuyées sur des outils de suivi et de connaissance via le développement de la recherche scientifique et de l'innovation, l'observation et la surveillance des milieux marins et littoraux, la sensibilisation et l'éducation.**



📍 Parc éolien en baie de Saint-Brieuc. © Région Bretagne



📍 Phare de Pontusval, Brignogan. Source : Office de tourisme Lesneven - Côte des Légendes, Flickr, © Torset Pierre

51 / Council of the European Union, 2021, « Council conclusions on a sustainable blue economy : health, knowledge, prosperity, social equity », May 26th Brussels, 9153/21

3 Atténuer le changement climatique et s'adapter : de jeunes chercheurs y travaillent en Bretagne

Quatre thèses soutenues en 2023 ont retenu l'attention du Haut Conseil Breton pour le Climat. Toutes nos félicitations à ces jeunes docteur(e)s qui contribuent à préparer notre société aux enjeux du climat futur!

Atténuer les émissions des élevages par les paiements pour services environnementaux

Thèse de Fanny LE GLOUX : Analyse économique des paiements pour services environnementaux, entre label et mesure agro-environnementale

Ma thèse porte sur l'efficacité des dispositifs de paiements pour services environnementaux (PSE) pour les agriculteurs, notamment ceux visant la réduction des émissions de méthane entérique des vaches laitières. J'ai montré le rôle de la précision de l'indicateur d'émission, nécessairement issu d'un modèle car les émissions ne peuvent pas être mesurées en routine dans les élevages. J'ai estimé les coûts d'atténuation des différents systèmes laitiers

et montré comment leur hétérogénéité doit être prise en compte pour définir des niveaux de paiement différenciés, suffisamment incitatifs et ciblés pour atteindre un niveau d'atténuation significatif. J'ai démontré que les préoccupations de santé des consommateurs peuvent financer efficacement la réduction des émissions entériques quand une complémentarité existe entre l'amélioration de la ration des vaches pour ce faire et l'amélioration de la qualité nutritionnelle du lait. Ces résultats sont importants pour l'élaboration de PSE, dont le financement peut être assuré de manière optimale par le contribuable et/ou les consommateurs directement, selon les situations.



🏠 Vaches bretonnes « Pie Noir » dans le Morbihan. © Gaëlle Diabaté, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vaches_Bretonnes_Pie_Noir.JPG?uselang=fr

L'environnement côtier face aux vagues de chaleur marines

Thèse de Coline POPPESCHI: Vers la compréhension des réponses de l'environnement côtier aux événements extrêmes dans un contexte de changement climatique

Le changement climatique induit une modification de la dynamique des événements hydro-météorologiques extrêmes le long de nos côtes sur les façades Manche et Atlantique. Ces événements extrêmes qui provoquent d'importants impacts dans l'océan côtier, sont-ils tous plus nombreux, plus intenses, plus longs, voire spatialement homogènes sur les côtes françaises

ces dernières décennies? J'ai développé des méthodes innovantes de détection de ces extrêmes qui m'ont permis de mieux les caractériser. J'ai aussi mis en évidence l'intensification de la fréquence et de la durée des extrêmes de température (vagues de chaleur marines) et de salinité (dessalures extrêmes). Mes études vont permettre de développer de nouveaux indicateurs de conditions environnementales sensibles à la dynamique de ces événements extrêmes. Par la suite, de nouvelles stratégies de détection voire de prédiction des événements extrêmes et de leurs impacts pourront également être mises en place.

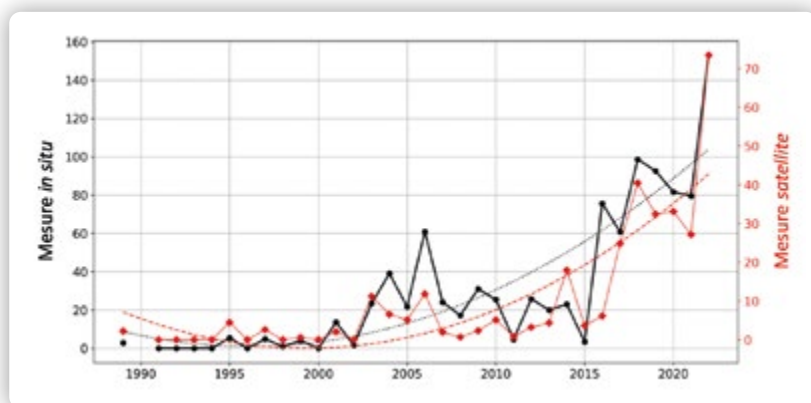


Figure 12: Intensification des vagues de chaleur marines en été dans le Golfe de Gascogne et la Manche, exprimées comme le produit d'une anomalie de température par sa durée (°C.jours). On note la cohérence de cette intensification observée par mesures in situ (en noir) et satellite (en rouge).

Une approche participative pour l'adaptation des territoires aux changements globaux

Thèse de Elias GANIVET: Eau, territoires et changements globaux : vers une approche systémique et participative de modélisation pour concevoir et agir en complexité.

Cette thèse visait à répondre au besoin des territoires de pouvoir mieux prendre en compte localement les pressions climatiques et anthropiques futures (changements globaux), à travers la mise en place d'approches plus transversales. Dans ce but, j'ai développé une démarche prospective et participative – nommée «Eau et Territoire» – au sein de laquelle l'eau a été utilisée comme élément permettant de faire le lien entre climat, écosystèmes et activités humaines à une échelle locale (Lorient Agglomération et bassins versants du Scorff et du Blavet). Ce travail a permis à un ensemble varié d'acteurs du territoire (élu, gestionnaires, citoyens, scientifiques) de partager leurs connaissances sur l'eau et les changements globaux, pour ensuite se projeter dans les futurs possibles de leur territoire à l'aide d'outils de modélisation. Cette démarche permet ainsi de mieux comprendre les enjeux et d'identifier collectivement des leviers d'adaptation propres à chaque territoire face au changement climatique.



Exemple d'interactions entre eau, activités humaines et milieux naturels à l'échelle d'un paysage breton, Dinan traversé par la Rance, © Unsplash

Quelles vulnérabilités territoriales au regard de la santé publique et du changement climatique ?

Thèse de Hiago PEREIRA BARBOSA: Estimer la vulnérabilité des territoires aux impacts potentiels des changements climatiques sur la santé des populations. Développement et application d'un modèle d'aide multicritère à la décision à la région Bretagne, France

Pendant ma thèse, j'ai développé un modèle multicritère pour estimer la vulnérabilité de 59 territoires bretons au changement climatique et ses impacts potentiels sur la santé. Le modèle intègre 24 critères de vulnérabilité, répartis en trois catégories : climatique (6 critères), environnementale (10) et socioéconomique (8).

Les 59 territoires pilotes de l'étude, communes sièges des 59 établissements publics de coopération inter-

communale (EPCI) de Bretagne, ont été classés du plus au moins vulnérable. J'ai trouvé que les territoires intérieurs sont classés comme les plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes, les territoires urbains sont classés comme les plus vulnérables d'un point de vue environnemental, alors que les territoires ruraux sont classés comme les plus vulnérables d'un point de vue socio-économique.

Le modèle développé permet également d'identifier les critères qui contribuent le plus à la vulnérabilité d'un territoire. Ces informations peuvent guider les décideurs locaux dans la mise en œuvre de réponses politiques visant à protéger la santé publique et à faire face au changement climatique, tout en réduisant la vulnérabilité des territoires.

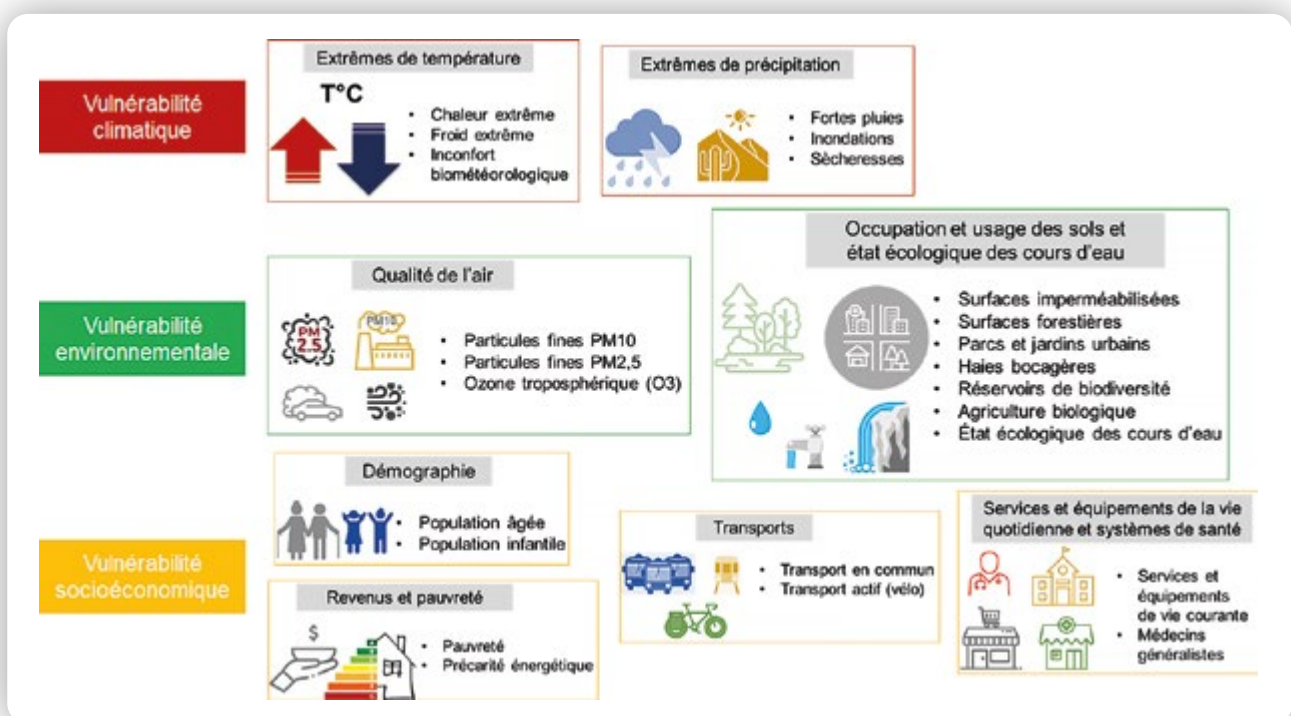


Figure 13: Résumé graphique des 24 critères de vulnérabilité qui composent le modèle multicritère développé.

Les membres du Haut Conseil Breton pour le Climat en 2024 :

- Anne Marie Treguier, co-présidente. Océanographie (LOPS-CNRS – IUEM)
- Vincent Dubreuil, co-président. Géographie et climatologie (LETG-CNRS – Université Rennes 2)
- Benjamin Bergerot. Ecologie (ECOBIO-CNRS – Université de Rennes)
- Valérie Bonnardot. Géographie et climatologie (LETG-CNRS – Université Rennes 2)
- Christophe Cudennec. Agronomie, hydroclimatologie (UMR-SAS – L'Institut Agro)
- Philippe Davy. Géophysique, hydrologie (OSUR-CNRS – Université de Rennes)
- Florence Gourlay. Géographie (Géoarchitecture – Université Bretagne Sud)
- Gérard Gruau. Biogéochimie (Géosciences-CNRS – Université de Rennes)
- Laurent Labeyrie. Géochimie (LGO-CNRS – Université Bretagne Sud)
- Jean-Pierre Le Bourhis. Sciences politiques (Arènes-CNRS – Université de Rennes)
- Thibaut Lecompte. Génie civil (IRDS-CNRS – Université Bretagne Sud)
- Marion Lemoine-Schonne. Droit (IODE-CNRS – Université de Rennes)
- Manuel Plantegenest. Ecologie (IGEPP – L'Institut Agro)
- Béatrice Quenault. Economie (ESO-CNRS – Université Rennes 2)
- Anne Roué Le Gall. Santé-environnement (EHESP)
- Sabine Roussel. Biologie marine, agronomie (LEMAR – IUEM)
- Nicole Roux. Sociologie (LABERS – Université de Bretagne Occidentale)
- Alain Somat. Psychologie cognitive (LP3C – Université Rennes 2)
- Joan Van Baaren. Ecologie (ECOBIO – Université de Rennes)

Animation : Pôle d'animation scientifique, Région Bretagne.

Contactez le Haut Conseil Breton pour le Climat :

hcbc@bretagne.bzh

www.bretagne.bzh/le-haut-conseil-breton-pour-le-climat/

Éditeur : Haut Conseil Breton pour le Climat (HCBC)

Région Bretagne - 283 avenue du Général Patton

CS 21101 – 35 711 Rennes CEDEX 7

Directeurs de publication : Anne-Marie TREGUIER & Vincent DUBREUIL,
co-présidents du HCBC

Réalisation graphique : Agence Gosselin Design & Digital

Imprimeur : Atelier de reprographie – Région Bretagne

Dépôt légal et ISSN : en cours d'obtention

Périodicité annuelle - n° 2, Avril 2024.

© **photo couverture** l'Île-Tudy et dossier littoral : © Adobe stock



Une instance indépendante, initiée par

