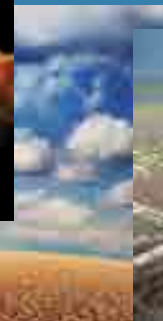


Pour imaginer un avenir commun Evrecy - 03/06/2024

Climat : Quelle Normandie en 2100 ?
Changement climatique
Une réalité normande

Laignel Benoit

Vice-Président Université Rouen Normandie
Co-Président du GIEC normand
Délégué du Ministère de l'ESR au GIEC
benoit.laignel@univ-rouen.fr



Contexte international : 6ème rapport du GIEC / IPCC



GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

GIEC = organisation intergouvernementale autonome

constituée de scientifiques apportant leur expertise et de représentants des États (195 États membres)

Créée en 1988

6ème rapport : plusieurs volumes + résumés pour décideurs

Vol. 1 : Les aspects physiques du changement climatique (aout 2021)

Vol. 2 : Les impacts, les risques, l'adaptation et la vulnérabilité au changement climatique (février 2022)

Vol. 3 : L'atténuation (avril 2022)

Rapport de synthèse : 20 mars 2023

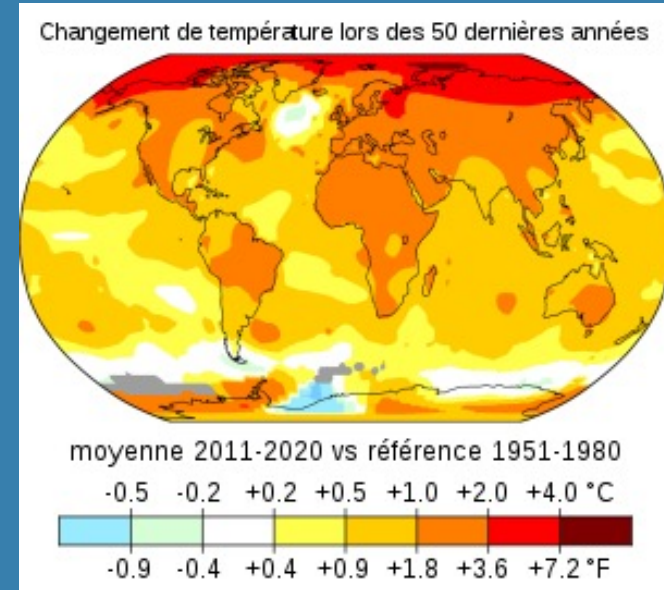


Augmentation de la température à l'échelle du globe

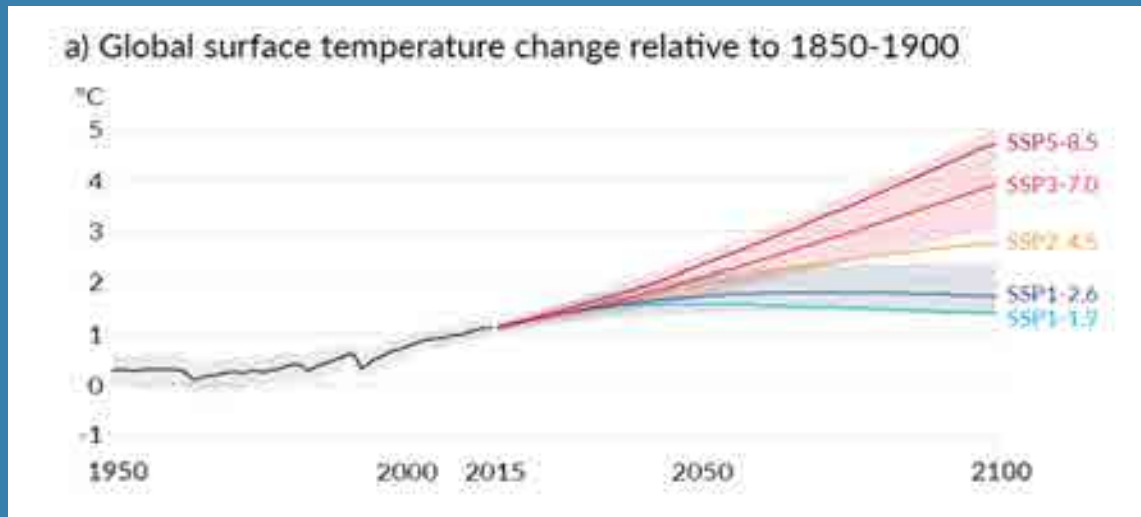
Elévation température moyenne du globe
(combinant terres émergées et océans)
Comparaison 2011-2020 / 1850-1900
(= période pré-industrielle)

+ 1,09 °C

Liée aux émissions de Gaz à effet de serre par les
activités humaines



NASA's Scientific
Visualization Studio



Elévation température moyenne du globe à
l'horizon 2100 :

Entre + 1,4 et + 4,4 °C (Moyennes des
modèles)

Entre +1 et + 5,7 °C (Modèles avec
incertitudes)

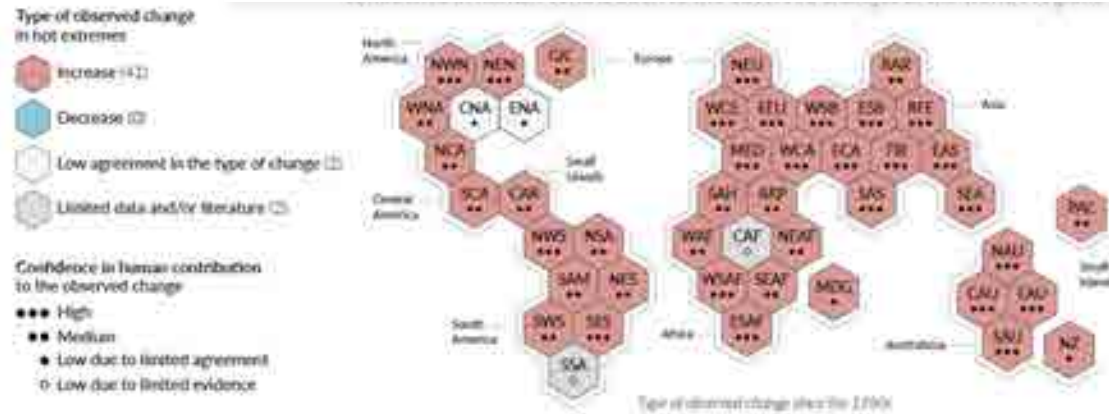
Au vue des émissions de gaz à effet de serre (GES) actuelles :

Objectif de la COP 21 de limiter le réchauffement à 1,5°C ne peut pas être atteint - trajectoire de + 2,8°C

Intensification des extrêmes météorologiques : Canicules, Sécheresses, Précipitations intenses, Inondations..



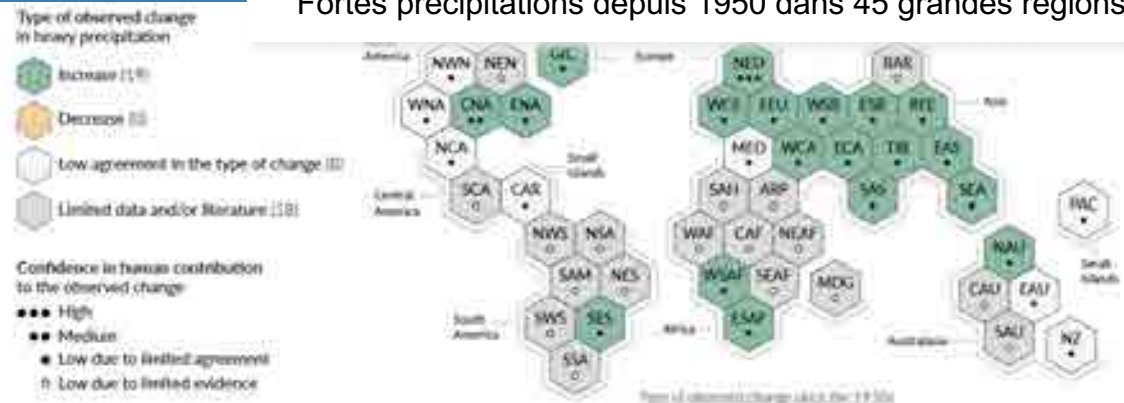
Vagues de chaleur depuis 1950 dans 45 grandes régions



Vagues de chaleur

- Fréquence des vagues de chaleur a augmenté dans la plupart des régions du monde (41/45)
- Projection 2100 : fréquence et durée devraient augmenter

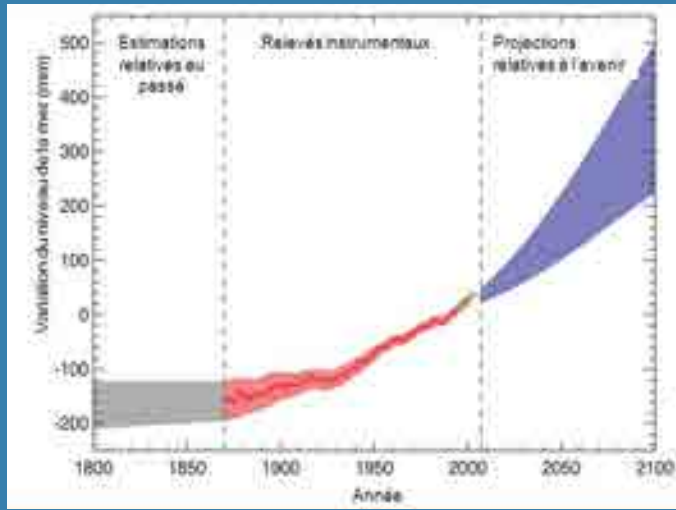
Fortes précipitations depuis 1950 dans 45 grandes régions



Episodes de fortes précipitations

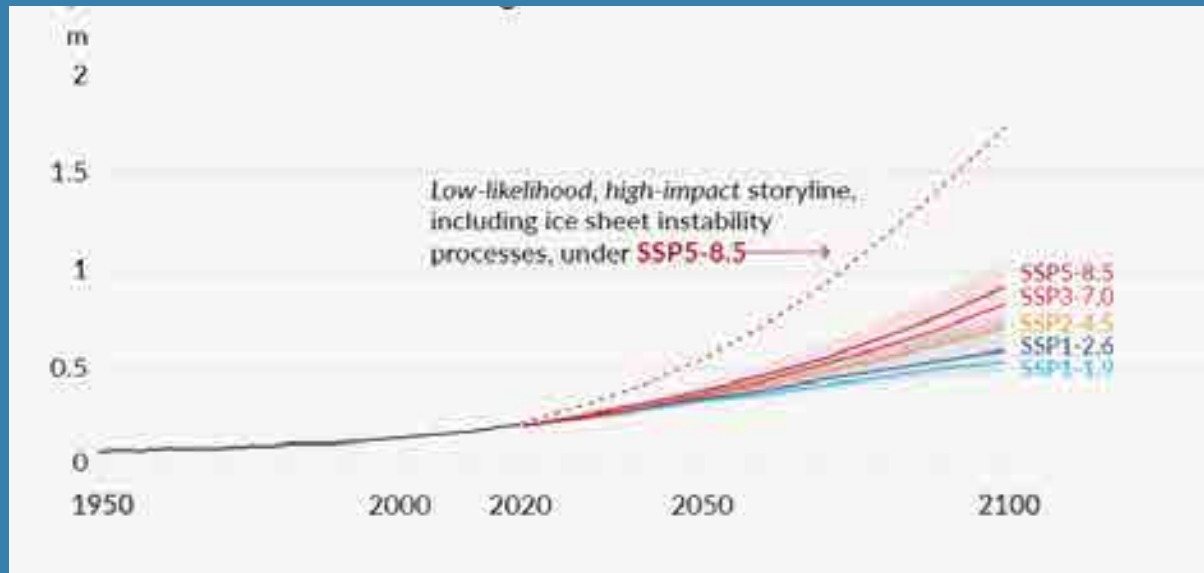
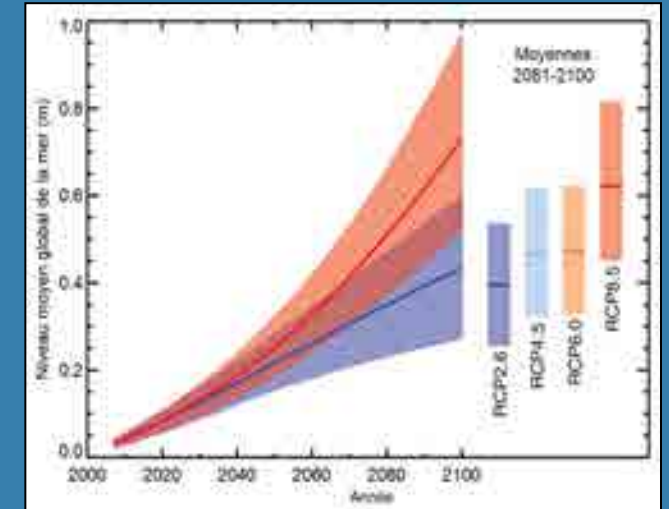
- Fréquence et intensité a augmenté dans de nombreuses régions du monde (19/45)
- Projection 2100 : Fréquence et intensité des épisodes de fortes précipitations devrait continuer à augmenter

Elévation moyenne du niveau de la mer : Projections du GIEC en 2100



4^{ème} rapport du GIEC
+ 0,18 à 0,42 m

5^{ème} rapport du GIEC
+ 0,26 à + 0,98 m



6^{ème} rapport du GIEC (Vol 1)
+ 0,40 à + 1,01 m
(+ 1,80 m)

Conséquences sur le zones côtières

Zones côtières = zones complexes

Multi-phénomènes

Elévation du niveau de la mer, Submersions de tempêtes, Grandes marées, Précipitations abondantes et crues des rivières



= Intensification des aléas et risques

- **Accélération du recul du trait de côte**
- **Augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations**
- **Dégradation de la qualité des eaux/Pollutions**

OCDE (2013) : dommages imputables aux inondations sur les 136 plus grandes villes côtières en 2005 estimés

à 6 milliards \$ / an

→ en 2050

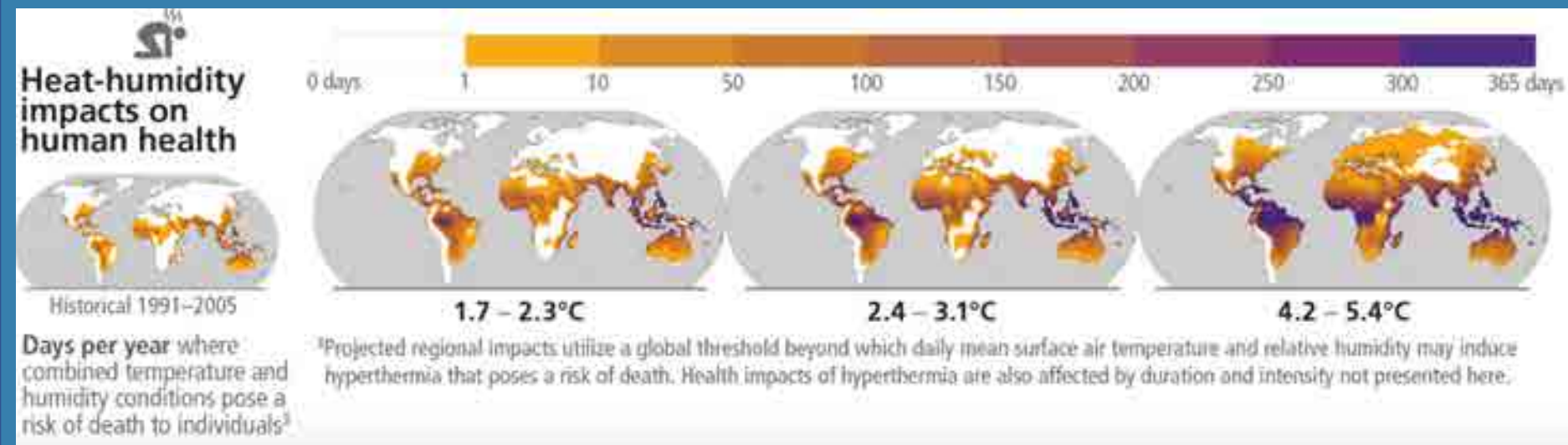
52 milliards \$ / an

63 milliards si aucune adaptation n'est réalisée

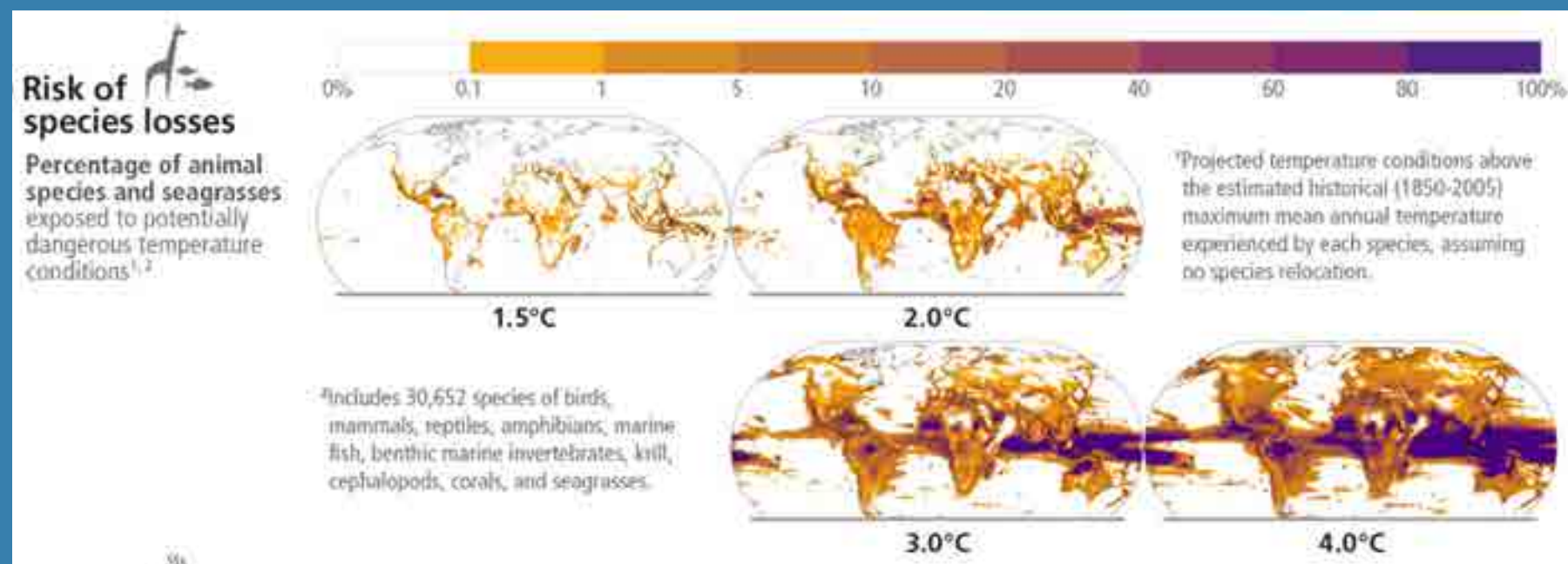


Risques sur la santé humaine et sur la biodiversité

Nombre de jours par an où la température et l'humidité expose la population à un risque de mortalité



Pourcentage d'espèces animales exposés à des conditions de température potentiellement dangereuses



An aerial photograph of the English Channel and the Normandy coastline. The water is dark blue, and the land is green with some white patches of snow or sand. The coastline is irregular with many small inlets and peninsulas.

Le changement climatique : Une réalité en Normandie

Synthèses :
GIEC normand
GIEC de la métropole de Rouen
Normandie



Réchauffement climatique : une réalité en Normandie

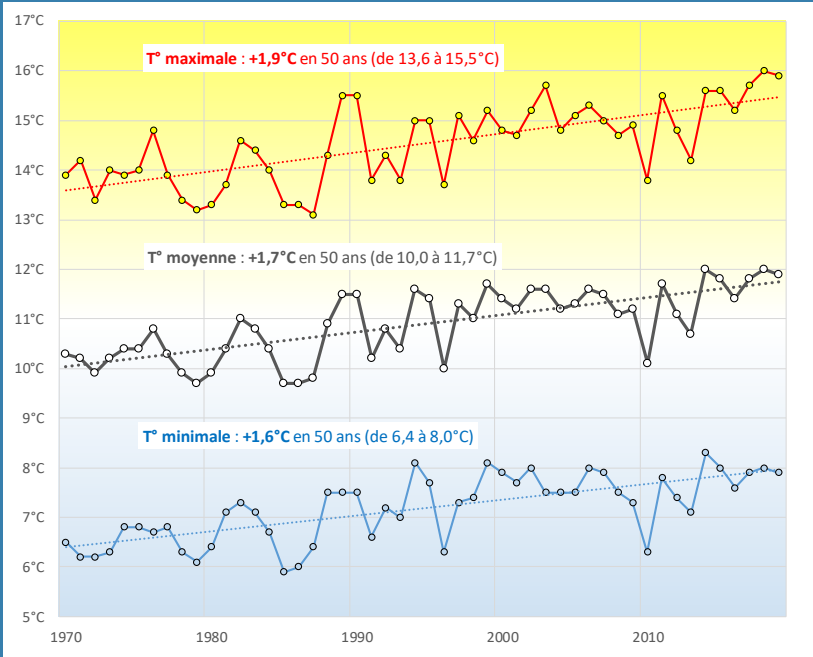
Evolution de la température
sur 8 stations normandes de référence



Anomalies de température
(Selon Méthode du GIEC)
période actuelle 1981-2010 et la
précédente 1951-1980
+ 0,6 à + 0,8 °C

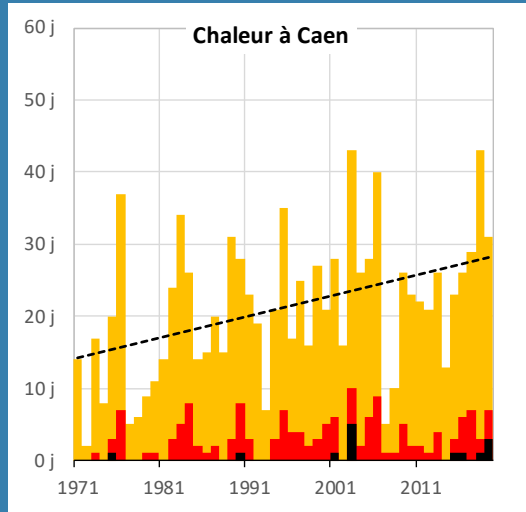
Tendance linéaire statistiquement
significative à l'augmentation
+ 1,2 à + 2 °C

	Caen	Rouen	Alençon	Evreux	Cherbourg	Préaux	Dieppe	La Hève	Région
moyenne 1970-2019	11.1°C	10.5°C	11.0°C	10.7°C	10.7°C	10.7°C	11.0°C	11.4°C	10.9°C
tendance linéaire	+1.2°C	+2.0°C	+1.4°C	+1.7°C	+1.8°C	+1.6°C	+1.4°C	+1.9°C	+1.7°C



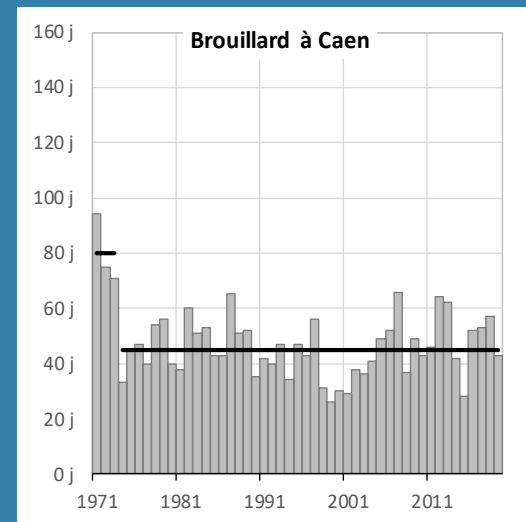
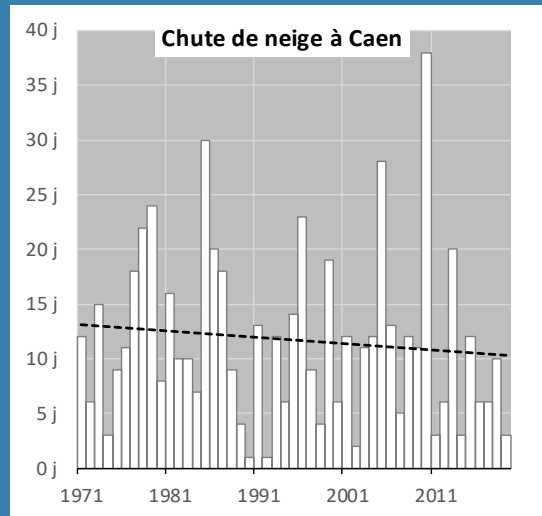
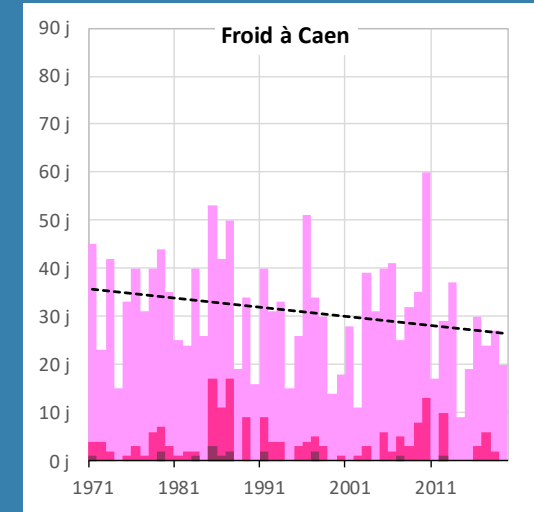
Température de l'air moyenne annuelle
et tendance entre 1970 et 2019

Occurrences des jours de chaleur, froid, neige et brouillard (1970 à 2019, ex : Caen)



$T_x \geq 25^{\circ}\text{C}$
Caen
15 à 28 jours

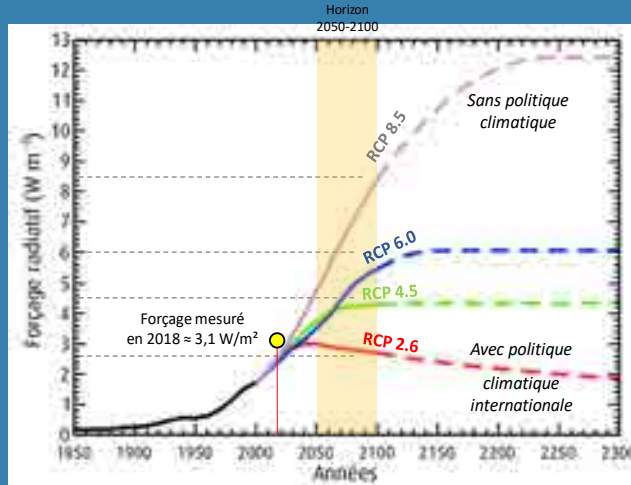
$T_n \leq 0^{\circ}\text{C}$
Caen
37 à 27 jours



Evolution plus complexe par
palier
- 2 paliers à Caen
80 jours, 45 jours

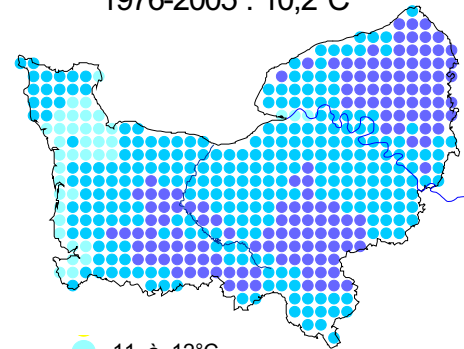
Tendance à la baisse
dans le cadre d'une forte
variabilité interannuelle
Ex 2010 : froid et humidité
ont occasionné une année
remarquablement neigeuse

Projection : Evolution des températures atmosphériques moyennes annuelles en Normandie – Horizons moyen et long terme



Ecart / T° moyenne
(valeur annuelle en $^\circ C$)

Situation de référence
1976-2005 : $10,2^\circ C$



Données Drias les futurs du climat

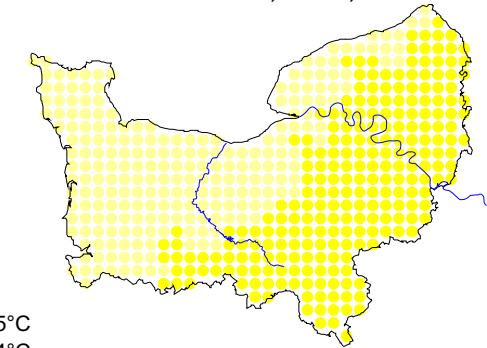
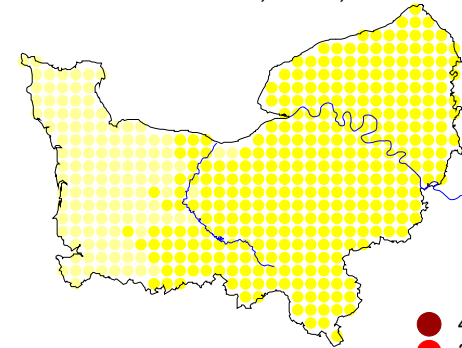
Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

Horizon moyen 2041-2070

Horizon lointain 2071-2100

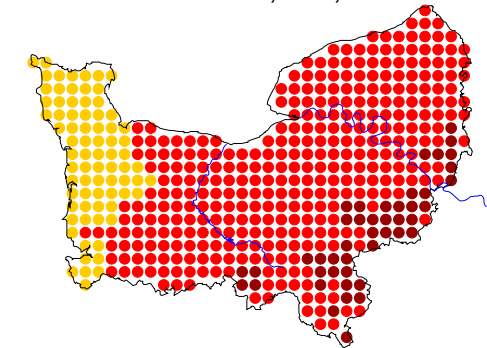
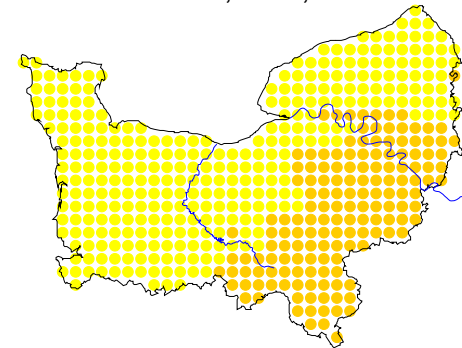
RCP 2.6 : de $+0,8$ à $+1,3^\circ C$

RCP 2.6 : de $+0,7$ à $+1,2^\circ C$



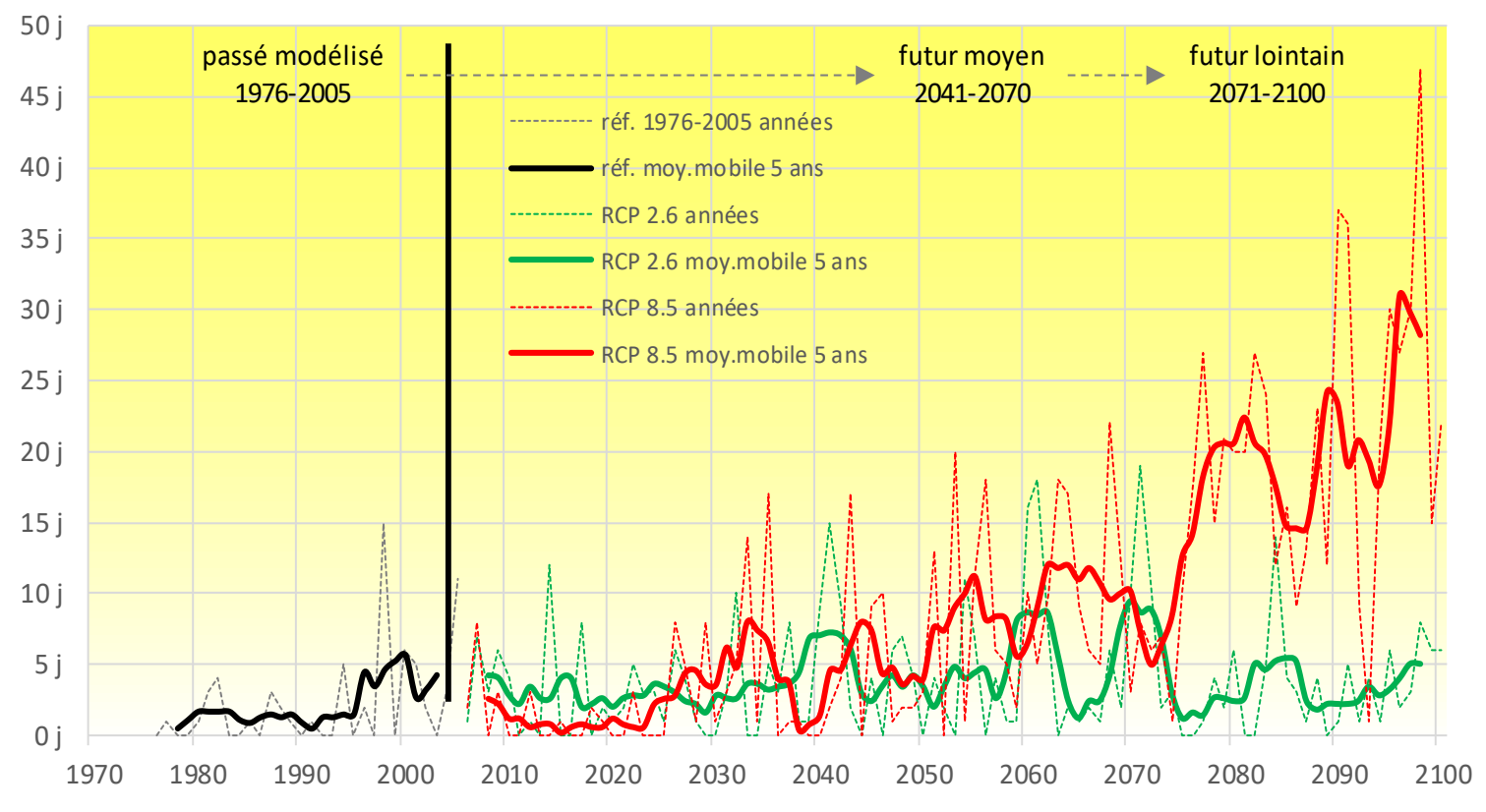
RCP 8.5 : $+1,4$ à $+2,2^\circ C$

RCP 8.5 : de $+2,6$ à $4,1^\circ C$



Evolution du nombre de jours de forte chaleur $T^{\circ} \geq 30^{\circ}\text{C}$ en Normandie à l'horizon 2100

Evolution du nombre de jours de forte chaleur en Normandie selon 2 scénarios du GIEC



Ecart devrait se creuser entre l'intérieur des terres qui subiront des vagues de chaleur plus intenses et plus durables (RCP 8.5 : + 30 à 40 j) que les espaces côtiers océanisés (RCP 8.5 : +4 à +11 j)

		jour forte chaleur ($\geq 30^{\circ}\text{C}$)		
		1976-2005	2071-2100	
		Réf.	RCP 2.6	RCP 8.5
littoral	Cherbourg	0.5	0.8	4.3
	Le Havre	2.8	2.8	10.7
	Dieppe	1.3	2.7	10.6
intermédiaire	Caen	2.6	3.9	18.2
	Rouen	3.7	6.3	26.6
continental	Evreux	5.1	9.1	34.9
	Alençon	5.5	10.9	36.2
	Préaux	5.8	11.9	39.2

Évolution annuelle et saisonnière de la pluviométrie en Normandie horizon lointain 2071-2100

Incertitude
sur les précipitations
moyennes annuelles

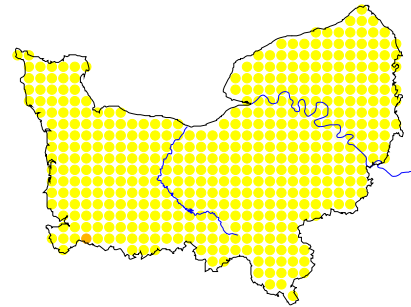
Scénarios 2014
Stabilité à -15 % (- 160mm)

Scénarios 2020
Jusqu'à + 8 %

Contraste entre les saisons
Hiver / été

Saisonnalité des précipitations

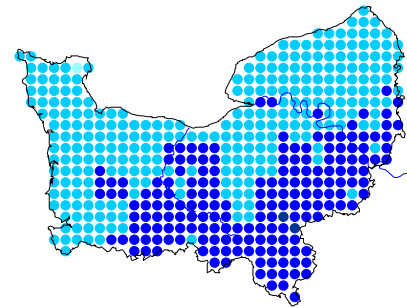
Evolution entre la période
référence 1976-2005 et la
projection 2071-2100 pour le
scénario RCP 8.5.



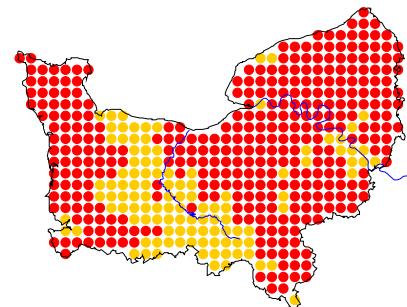
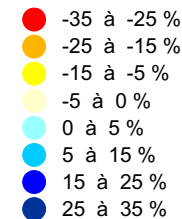
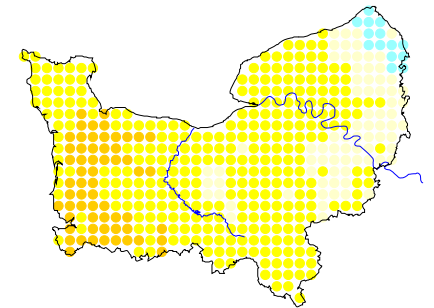
Année ≈ - 9,6 %
(entre -15,2 et -4,1 %)

Données Drias les futurs du climat
Réalisation O. Cantat, LETG, UNICAEN

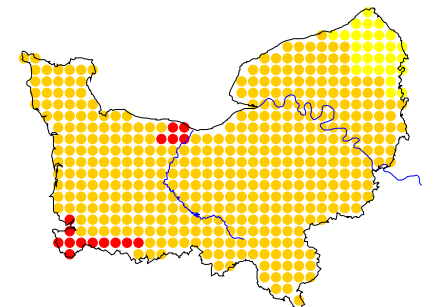
Hiver ≈ +13,6 %
(entre +4,6 et +26,6 %)



Printemps ≈ -9,1 %
(entre -21,0 et +3,9 %)



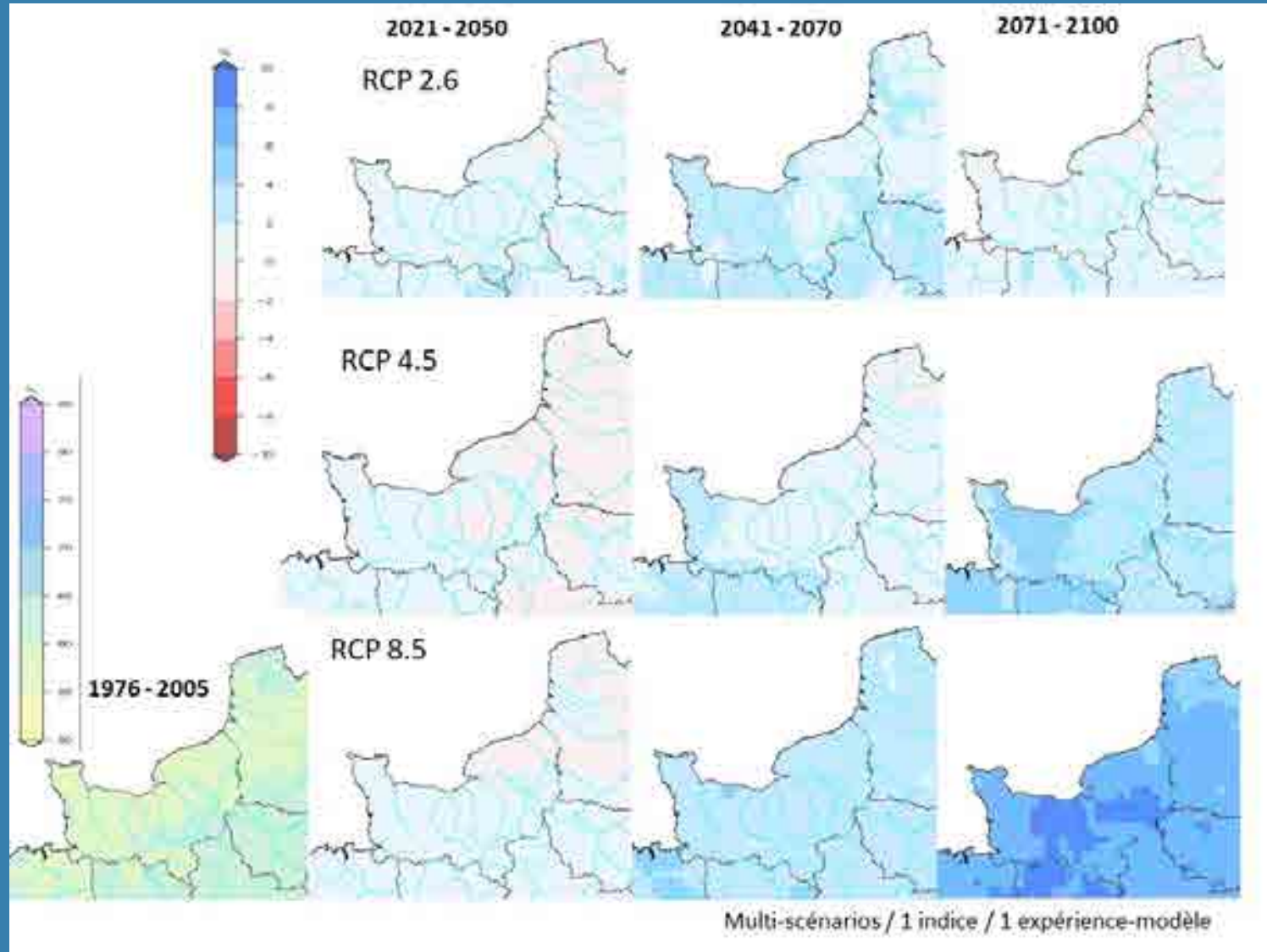
Été : ≈ -26,9 %
(entre -34,4 et -19,8 %)



Automne ≈ -20,2 %
(entre -27,3 et -17,9 %)

Evolution du pourcentage de précipitations extrêmes en Normandie Horizons moyen et long terme

Cumul dépassant 20 mm par jour, soit 20 litres/m²



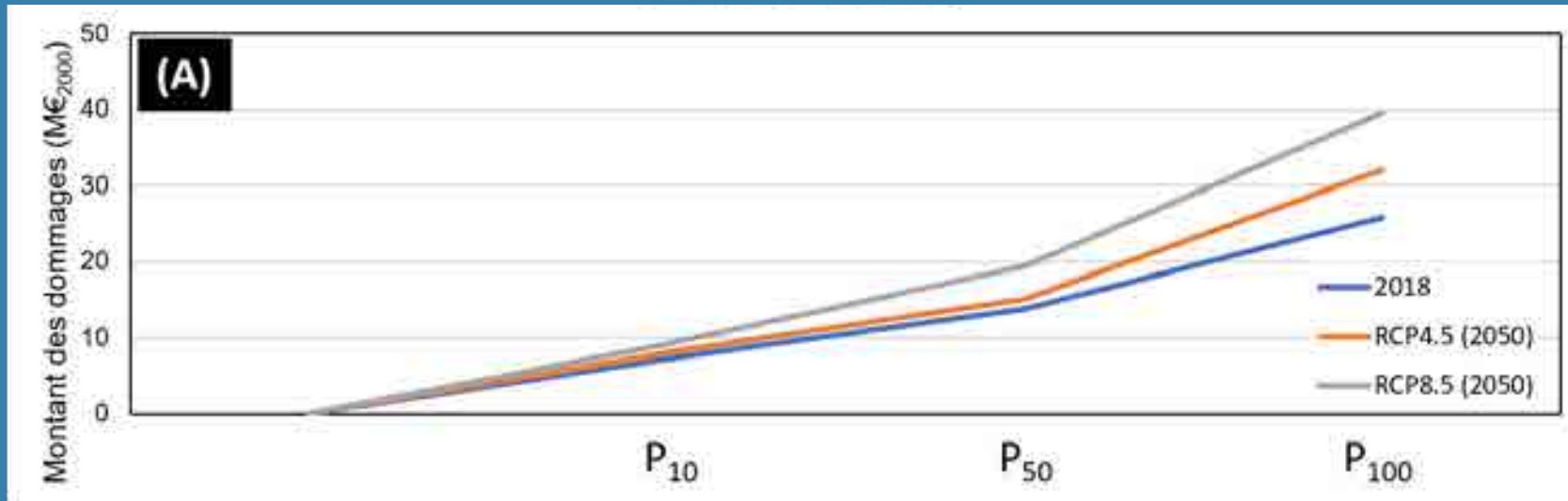
0 à + 2 %

+ 4 à + 10 %

Inondation et érosion

Augmentation des précipitations intenses +2 à +10 %
= Augmentation du ruissellement, des crues de rivières,
des remontées de nappe

= Augmentation de la fréquence et de l'intensité des
inondations de l'érosion des sols, de la turbidité des cours
d'eau, des coulées boueuses



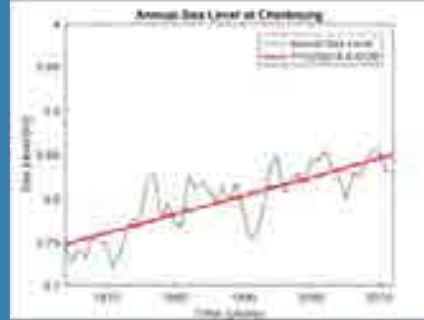
Simulation à 2050 sur le bassin versant de la
Lézarde (Patault et al., 2020)
+14 à +29% de dommages liés aux inondations en 2050

Elévation du niveau marin en Normandie et impacts sur les côtes

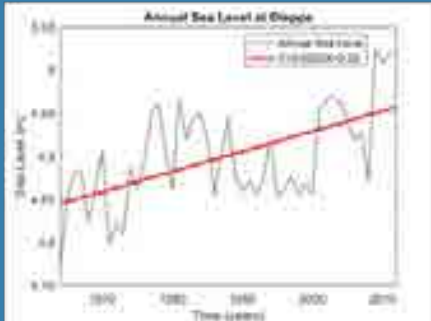


Elevation moy : $2,2 \pm 0,1$ mm/an

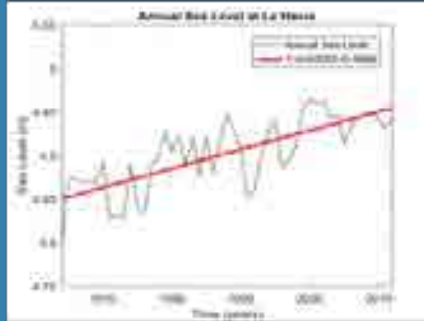
Cherbourg



Dieppe



Le Havre



Normandie
Moyenne : + 2,2
mm / an

Travaux Baulon, Turki,
Costa, Laignel, 2018

Zones côtières

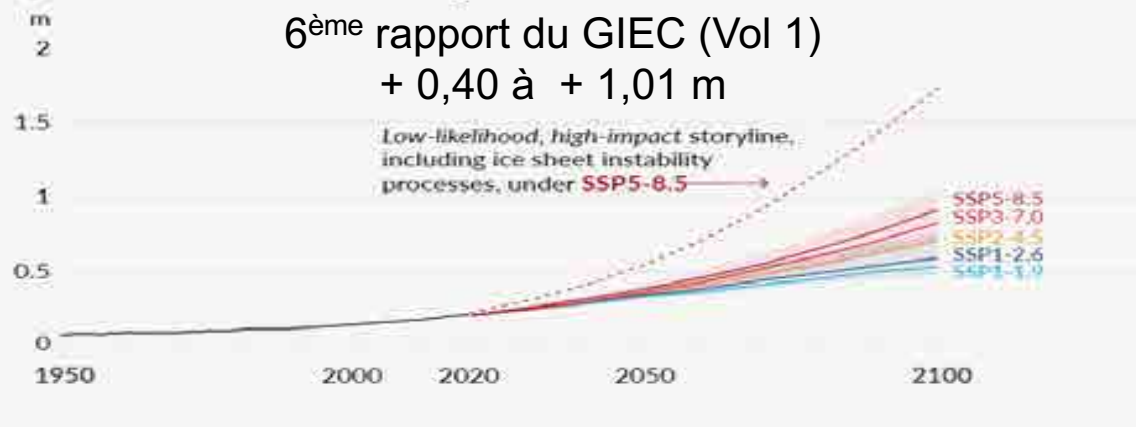
Elévation du niveau marin + Submersions de tempêtes + Précipitations abondantes et crues des rivières



= Intensification des aléas et risques

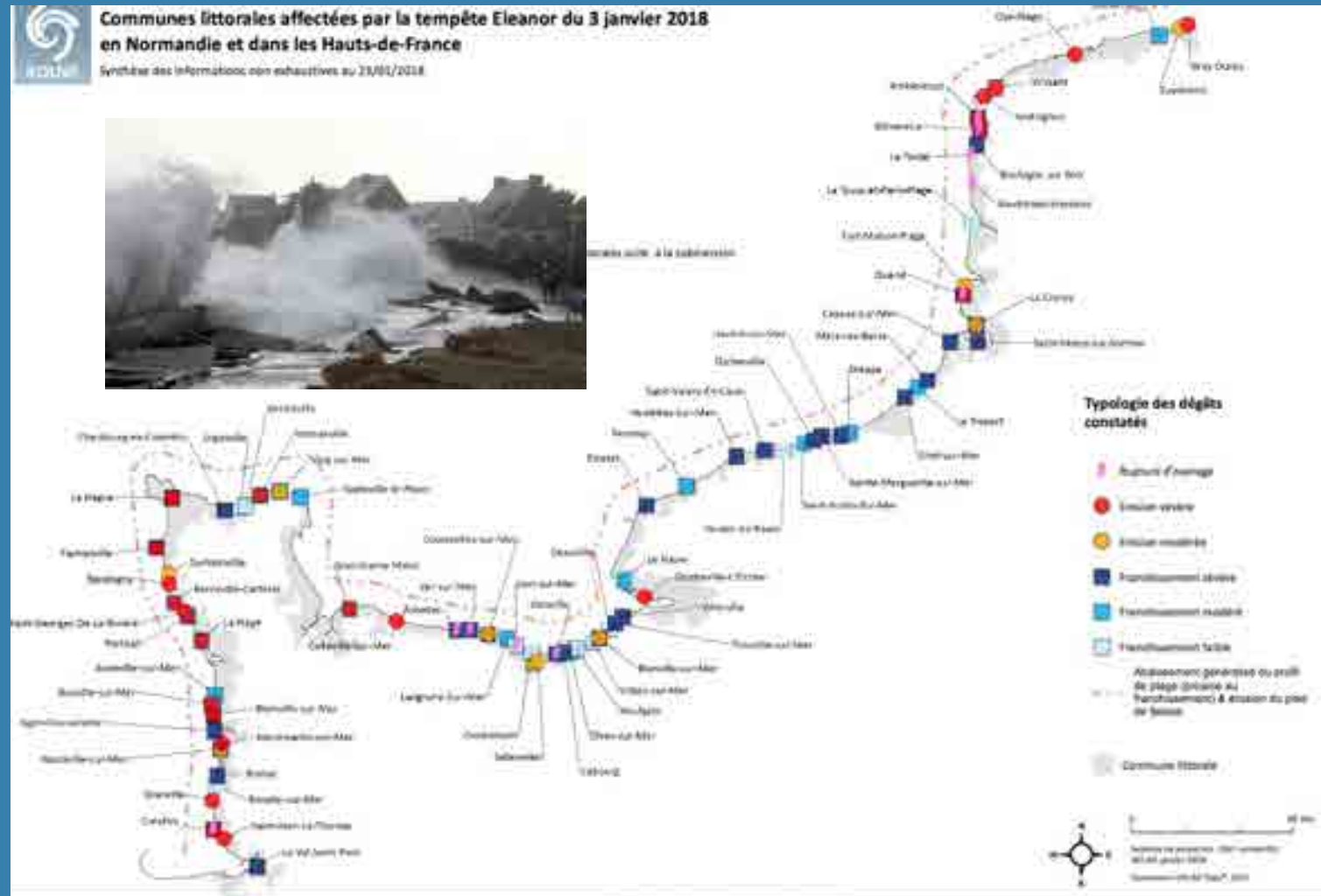
- Accélération du recul du trait de côte
- Augmentation de la fréquence et de l'intensité des inondations
- Salinisation des aquifères côtiers
- Dégradation de la qualité des eaux/Pollutions

6^{ème} rapport du GIEC (Vol 1)
+ 0,40 à + 1,01 m



Effets des tempêtes sur le littoral : recul du trait de côte/inondation

Ex : Eléanor 3 janvier 2018



Elévation du niveau marin + Augmentation intensité des tempêtes



Augmentation fréquence et intensité des submersions par franchissement/inondations

Projection de potentielles zones inondées en 2050 en Normandie (Climate Central)



Projection Climate central. *ClimateCentral.org*
(Kulp et al., 2019 ; Kopp et al., 2017)

Zones potentiellement immergées en 2050
combinant :

Elévation du niveau marin (scénario médian
RCP 4.5) + surcotes de tempêtes + marée

Travail à prendre avec précaution qui nécessite
d'être affiné avec des projections régionales
N'intègre pas les précipitations
et crues des rivières



Vidéo : Inondation par réalité virtuelle d'une rue d'Etretat

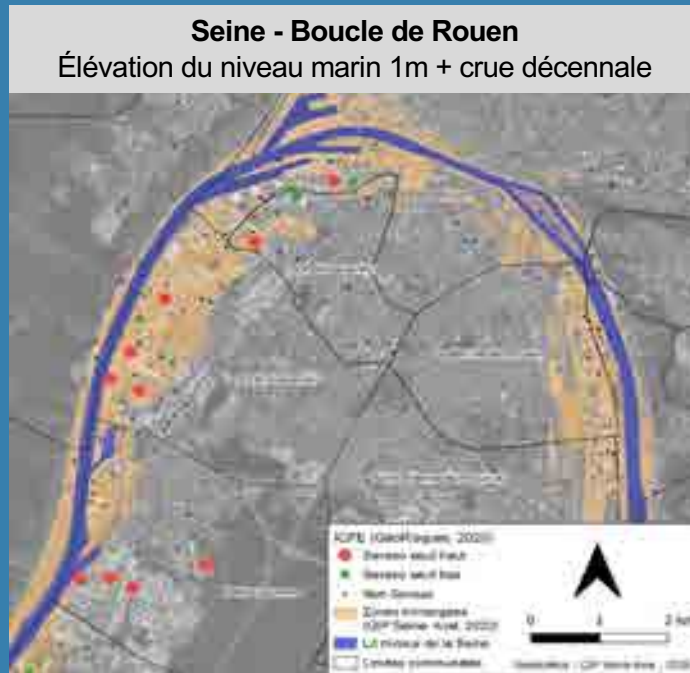
Laboratoire CIREVE, UMR IDEES, Université de Caen Normandie
(Projet Fondation de France et Région Normandie)

vitesse : 1,5 à 2m.s-1

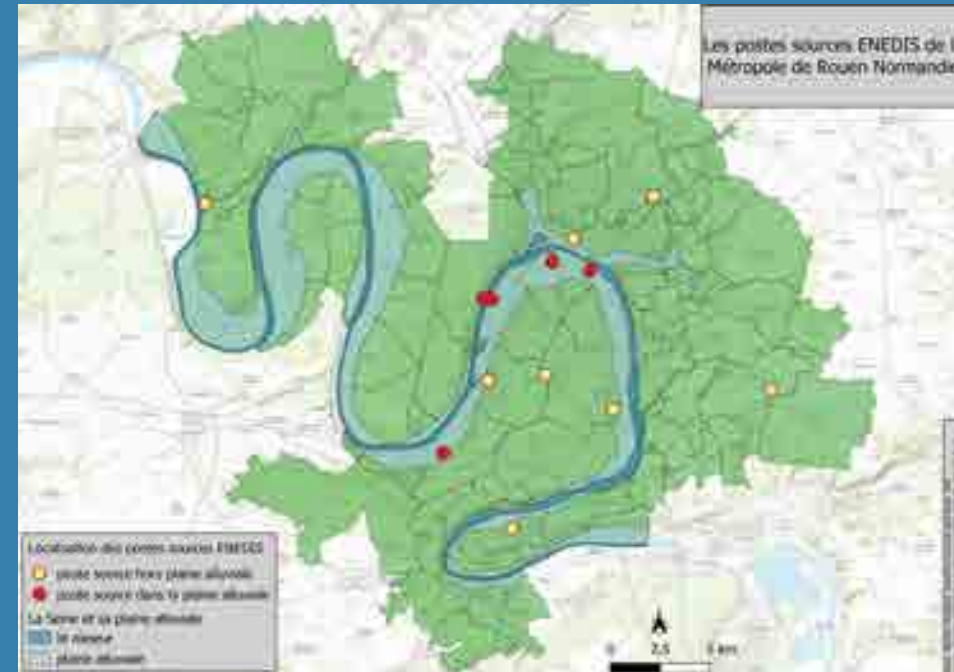


Inondation des vallées et Risque industriel/technologique

- Risque d'inondation des cours d'eau et sur le littoral dans le cadre du changement climatique (concomitance entre élévation du niveau marin et crue...)
 - = ➤ Risque industriel pour les ICPE (dont SEVESO) par effet cascade



Projection ARTELIA/GIP Seine, modifiée avec ajout des sites SEVESO



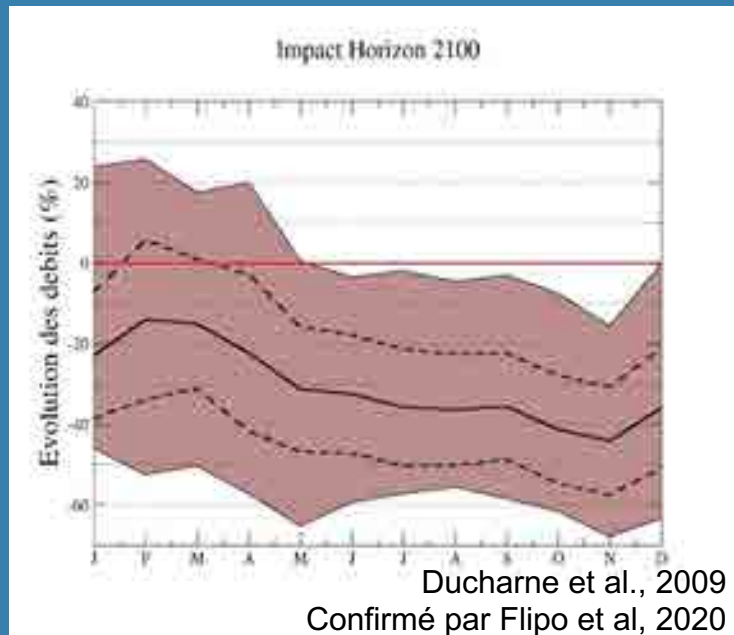
Changement climatique = Accélérateur du multi-risques
= Augmentation de l'intensité et de la fréquence des risques naturels
= Augmentation des risques industriels, sanitaires, économiques et sociétaux

Changement climatique et ressources en eau

Température des cours d'eau : +2°C en moyenne
Débit moyen annuel des cours d'eau : -10 à -30%

Recharge moyenne annuelle des nappes :
-15 à -30 %
Rabatement + de 5 m

Evolution du débit de la Seine à Poses en 2100



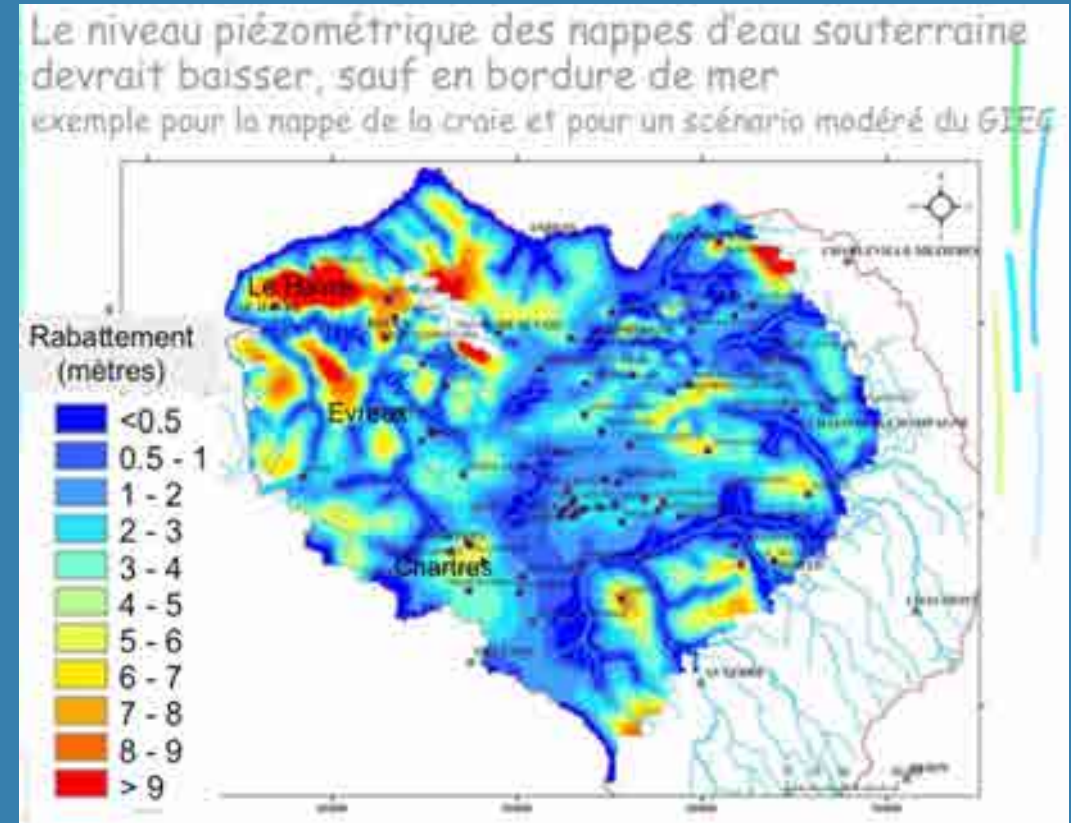
Projet RexHySS

↘ débit moyen annuel de la Seine

↘ - 29% (+/- 14%)

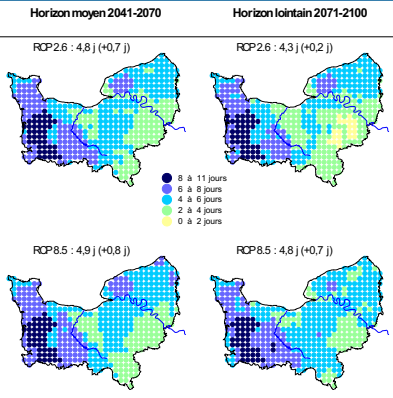
= Problème de disponibilité à certaines périodes (principalement l'été)

= Périodes d'économie et de restrictions plus nombreuses et plus longues



Rabatement du niveau de la nappe de la craie du bassin de la Seine à l'horizon 2100 pour un scénario modéré du GIEC (source : Explore 2070, Modèle MODCOU BRGM, Stollsteiner, 2012).

Hypothèse sur l'évolution de la qualité de l'eau

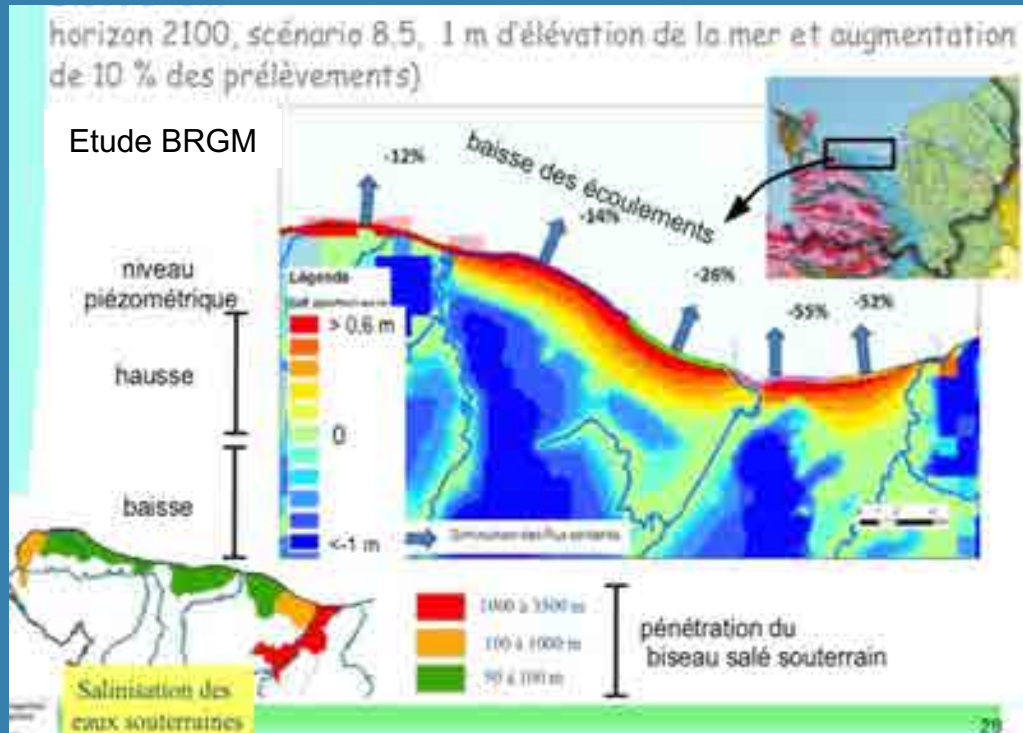
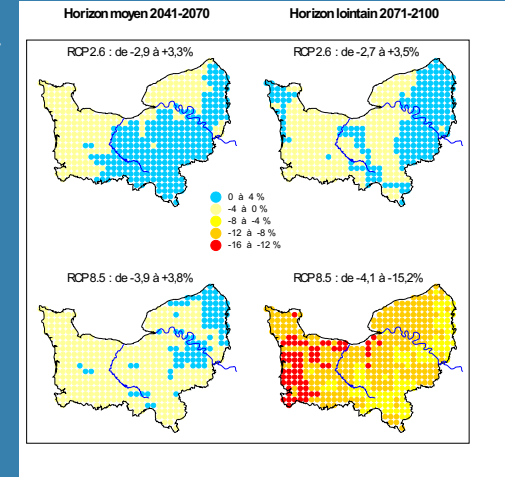


Augmentation des précipitations intenses +2 à +10 %
= Augmentation du ruissellement et de l'érosion

- Augmentation de la turbidité des cours d'eau et de la contamination associée
- Problème de turbidité aux captages dans les zones crayeuses karstiques

Déficit des précipitations jusqu'à -15 % (Sécheresse 2 à 7 jours)

- = Etiage des cours d'eau sévère
- = Problème d'oxygénation
- + Pollution potentielle par surconcentration d'éléments chimiques
- + Problème des rejets de stations d'épuration

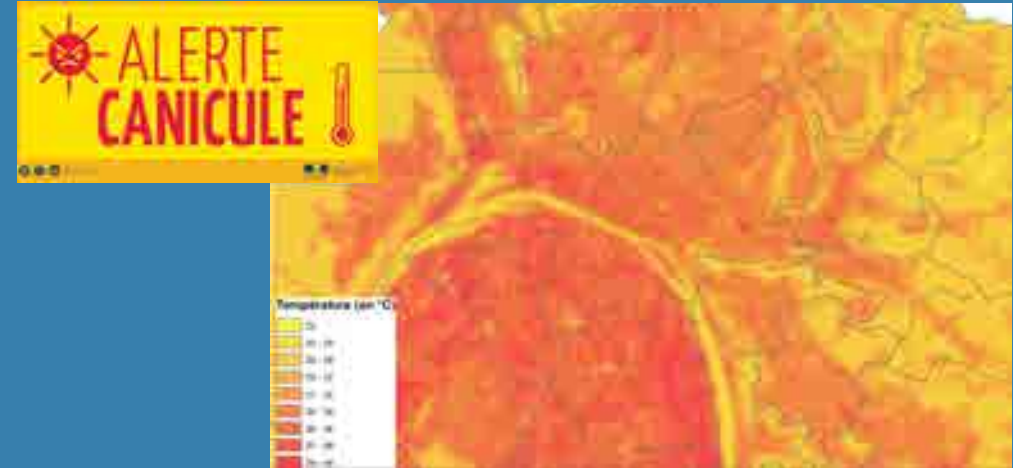
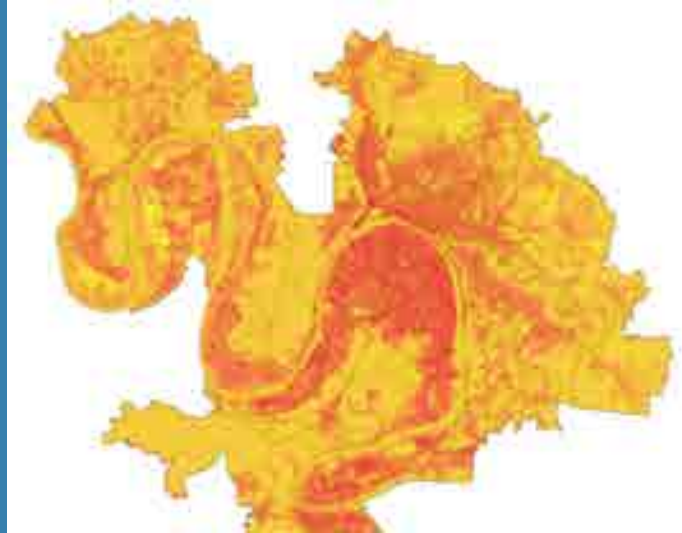


Salinisation des aquifères côtiers
Forages déjà impactés :
Vallées de l'Orne, de l'Aure
Côte Ouest de la Manche

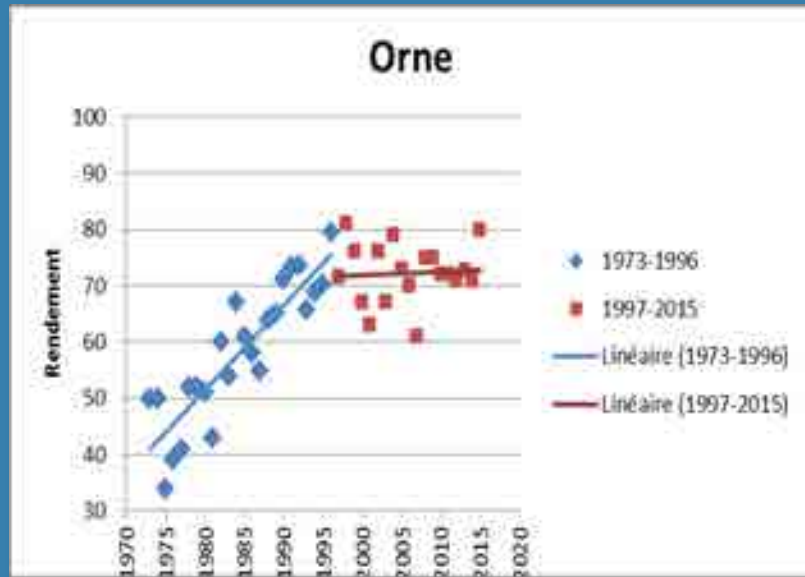
Changement climatique et Santé



Canicule et santé



Quelques exemples d'évolution de l'agriculture en lien en partie avec le changement climatique



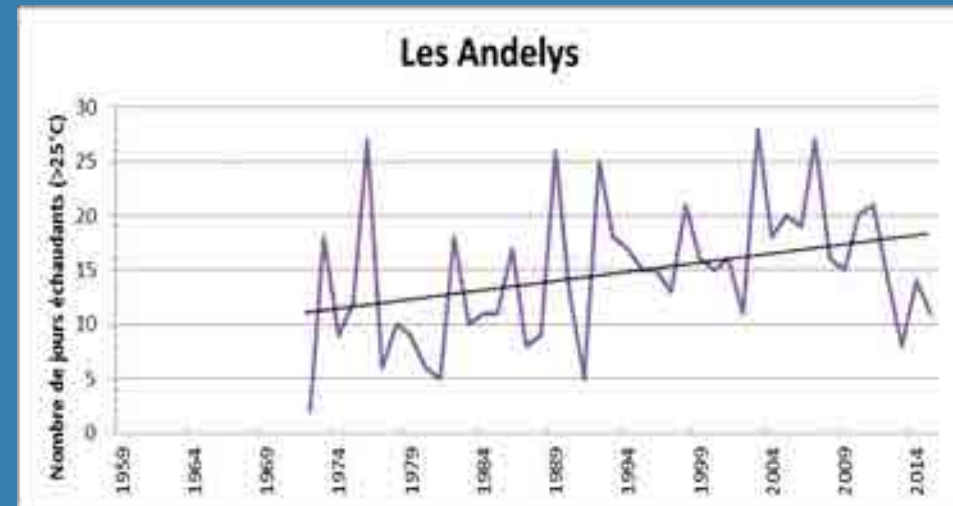
Plafonnement des rendements en blé tendre dans l'Orne et dans l'Eure depuis la fin des années 1990

Rôle changement climatique = 1/2

➔ stress hydrique et thermique en fin de cycle cultural

➔ Nombre de jours échaudants
= T° max journalière $\geq 25^{\circ}\text{C}$ (1^{er} Avril - 30 Juin)

➔ Augmentation des risques d'échaudage en phase de remplissage des grains pour les céréales
= altération de la maturation des grains, dessèchement



+ ➔ Pluies intenses = ➔ ruissellement et érosion des sols + dégradation des cultures

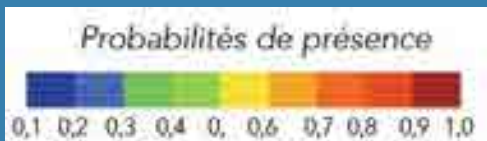
Changement climatique et biodiversité en Normandie

Jusqu'il y a peu :

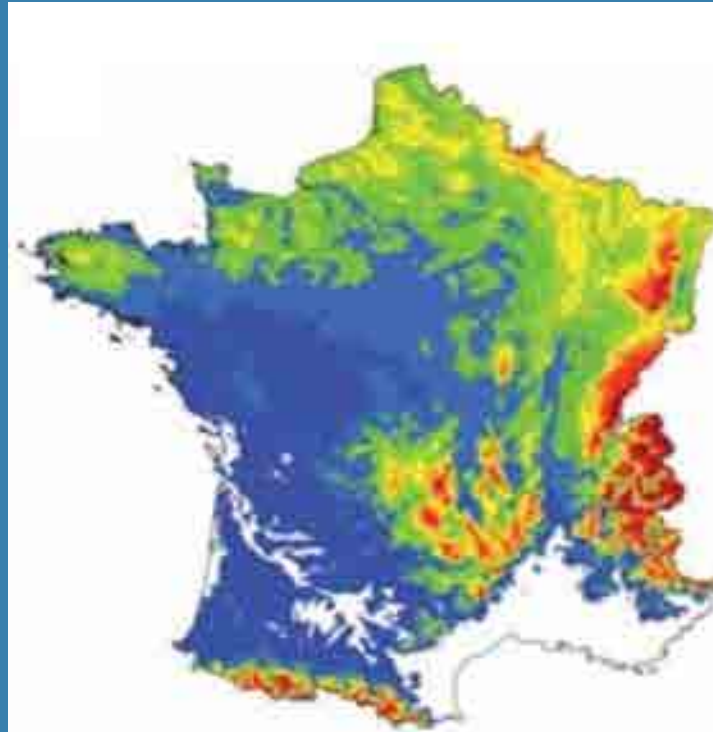
- Réduction, morcellement, disparition des habitats naturels et pollution = principaux responsables de la perte de biodiversité
- Réchauffement du climat pourrait devenir la principale cause d'ici la fin du 21^è siècle

Conséquences sur la biodiversité :

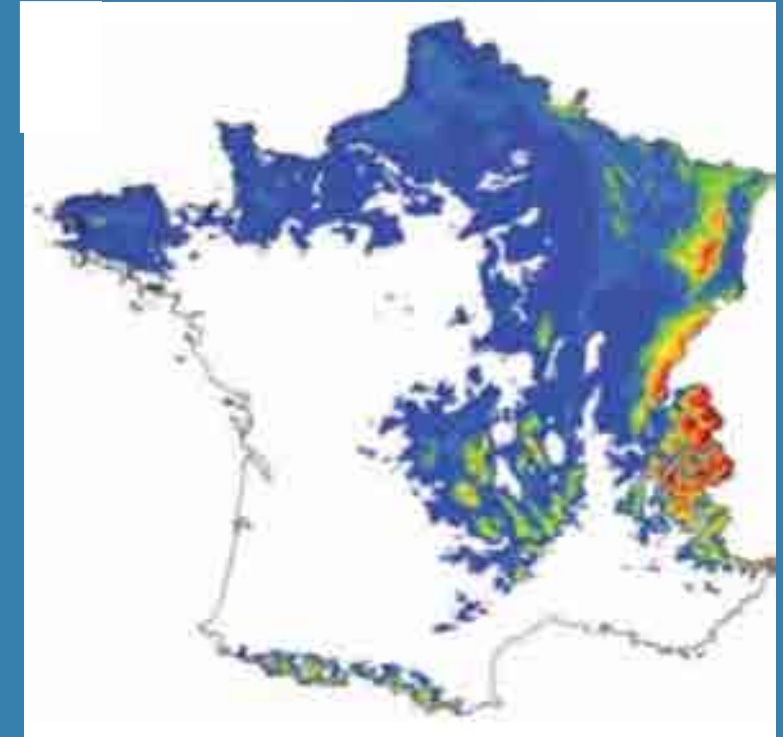
- Distribution des espèces
 - Phénologie des espèces
- = Perte de biodiversité



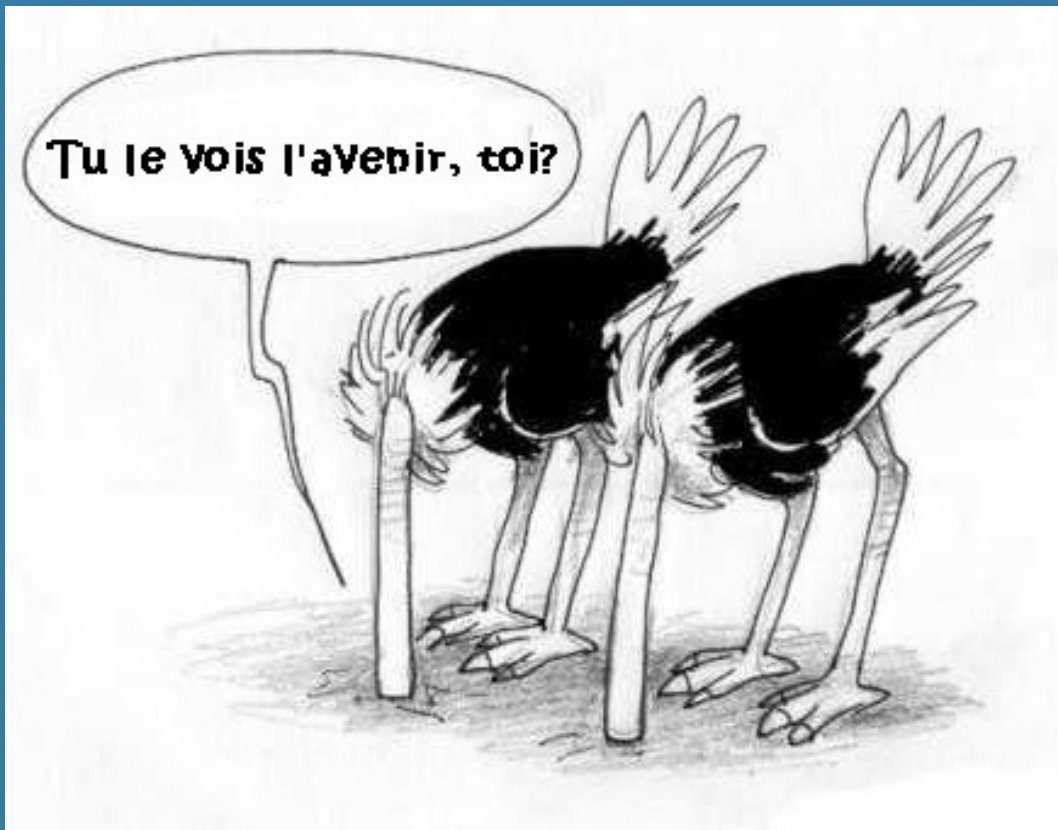
Modélisation de l'aire actuelle de répartition



Extrapolation de l'aire de répartition en 2100



L'urgence climatique : C'est maintenant



Il nous reste très peu de temps pour agir :

Pour atteindre l'objectif de 1,5°C = émissions de GES devront cesser d'augmenter au plus tard en 2025 et être réduites de moitié d'ici 2030 et atteindre le net zéro en 2050

(limiter à 2°C : réduction 25% en 2030 et net zéro en 2070)

Que fait-on ?

↳ Atténuation, Adaptation

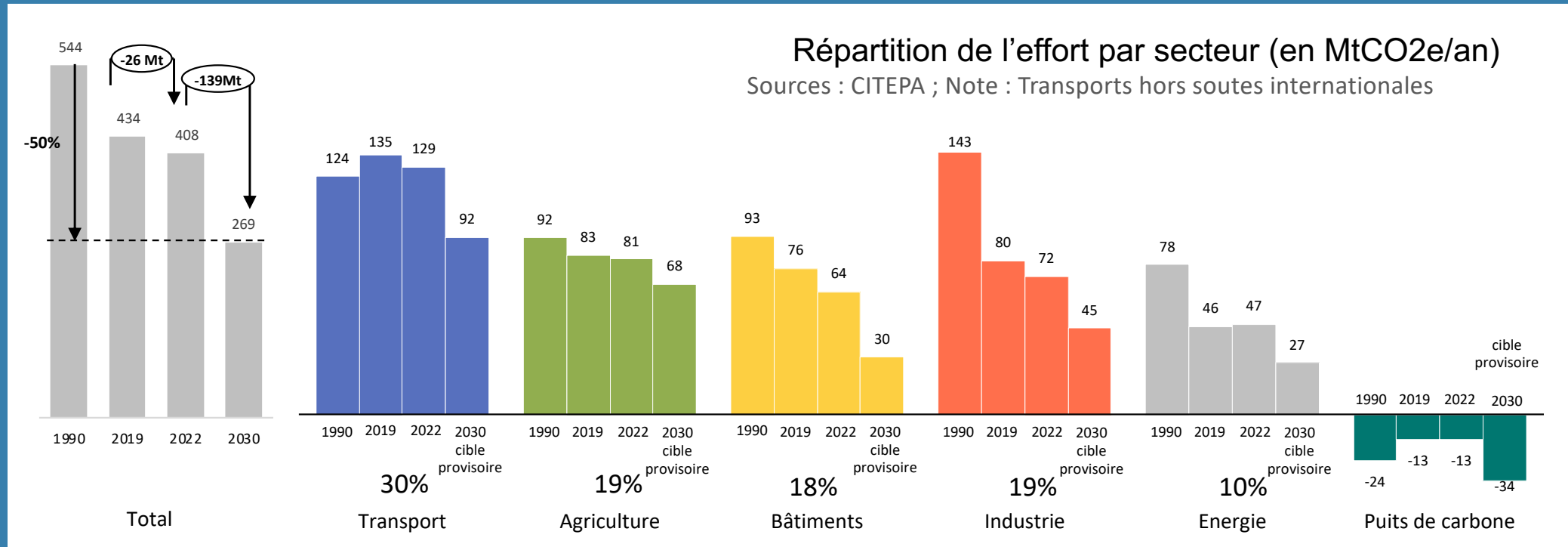
À l'échelle internationale, national, régionale, locale et du citoyen

Atténuer les effets du changement climatique en réduisant les émissions de gaz
à effet de serre
= une meilleure adaptation

Changement sans précédents pour limiter le réchauffement

Engagement de la France : diminuer de 55% les émissions de GES d'ici 2030, soit -5% par an

- Fortes baisses des émissions dans tous les secteurs d'activités



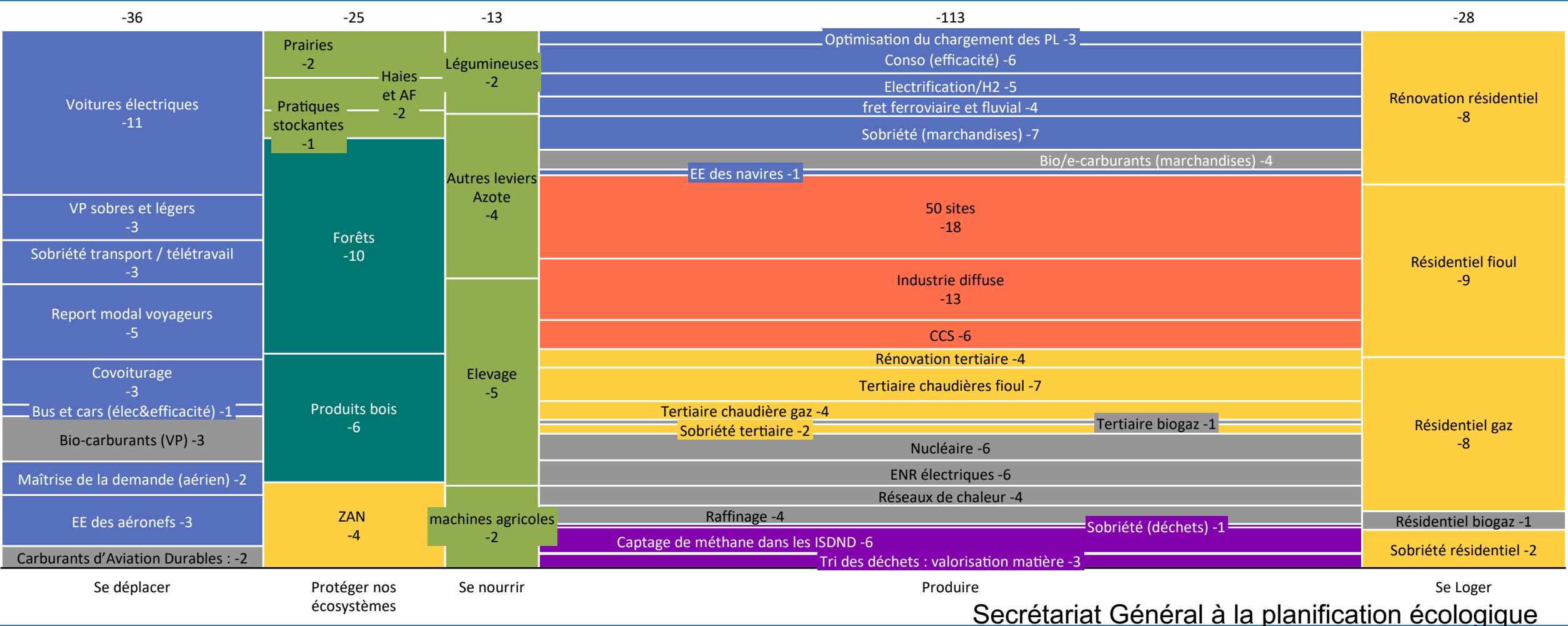
- Augmentation des investissements dans les options bas carbone et l'efficacité énergétique (x5 en 2050)

- 2050 : 50-85% de l'électricité en énergies renouvelables

→ S'appuyer sur le déploiement des solutions/technologies actuelles matures (63%) et sur les innovations technologiques et accélérer leur développement (18%)

+ Sobriété (Economie d'énergie, des ressources) = Changements de comportements (19%)

Plan d'actions collectif de 52 leviers pour atteindre nos objectifs 2030



Plan décliné à l'échelle régionale : COPs régionales

Des solutions existent à notre échelle



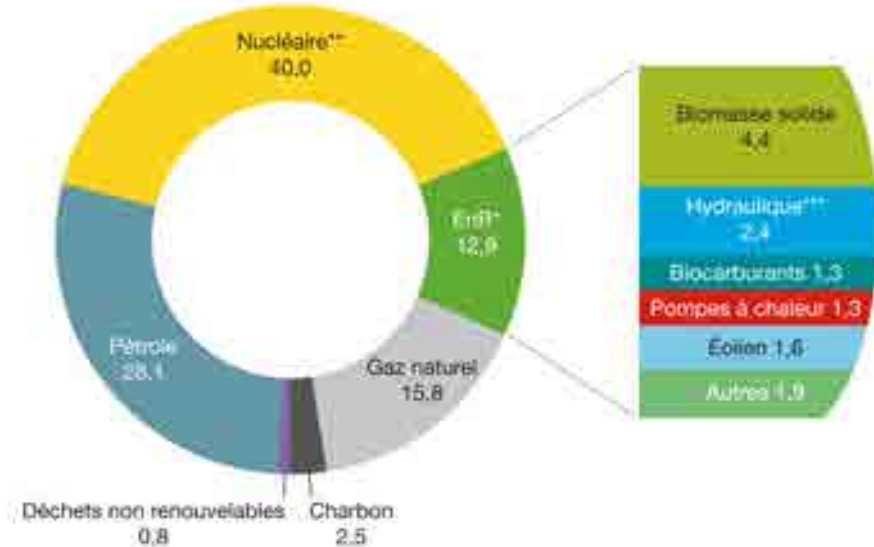
Atténuation / Décarbonation

- Proposer un mix énergétique et promouvoir davantage les énergies renouvelables (solaire, géothermie, éolien, hydraulique...)

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE

Total : 2 571 TWh en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)

En % (données non corrigées des variations climatiques)



La programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)



↓ Part des énergies fossiles

Des solutions existent à notre échelle



Bâtiments / Matériaux

Construction et rénovation dans le bâtiment public et privé s'appuyant sur :

- le recyclage des matériaux (préservation des ressources)
- des matériaux innovants performants (meilleure performance énergétique et diminuant les phénomènes d'îlots de chaleur...)

Mobilités

Décarbonation de tous les modes de transports, dont l'automobile

- Diversifié les énergies (électrique, hydrogène...)
- Allègement
- Meilleure performance (aérodynamisme, maîtrise des équipements consommateurs d'énergie, motorisation à haut rendement)
- Report modal de la voiture vers des modes moins carbonés (transports en commun, vélos, deux roues électriques, micro-voitures, train...) = accessible au plus grand nombre avec tarif raisonnable

Place de la nature en ville

capte le CO₂, îlots de fraîcheur, augmente l'infiltration = tampon pour les crues et les inondations...

Des solutions existent...

Exemple : les zones à risques

.... 3 questions se posent :

- . Accepter les dommages éventuels ?
- . Sur-dimensionner nos ouvrages ?
- . Recul stratégique/relocalisation ?

- Face aux inondations : utiliser des portions de territoires comme zones tampons d'expansion des crues ou de submersion par la mer



Efforts à consentir

Communication / Sensibilisation / Formation =

Prise de conscience et formation aux enjeux de tous les acteurs de la société et la population



Concertation et structuration entre acteurs et collectivités à l'échelle régionale

Mesures d'atténuation et d'adaptation doivent être réfléchies, partagées, engagées par tous les acteurs de manière concertée et structurée

- Initiatives existes, mais éparpillées et méconnues parfois
- En lien avec les contextes locaux = Tenir compte des spécificités du territoire

Ex : Adaptation ne sera pas la même sur le littoral (submersion, érosion...), qu'à l'intérieur des terres (vagues de chaleur, sécheresse...), en ville (îlots de chaleur)



Projet global de territoire intégrant les risques + les innovations + Sobriété =
Projet faisant des contraintes une opportunité de dynamisation ou redynamisation du territoire et soutenir son attractivité

Besoin d'un socle scientifique solide

Il ne suffit pas de dire qu'il faut s'adapter, mais s'adapter à quoi ?

Connaissance scientifique = socle qui doit servir à la formation et à la prise de conscience de chacun et aux mesures que nous devons et devront prendre



Merci de votre attention– Questions/Echanges

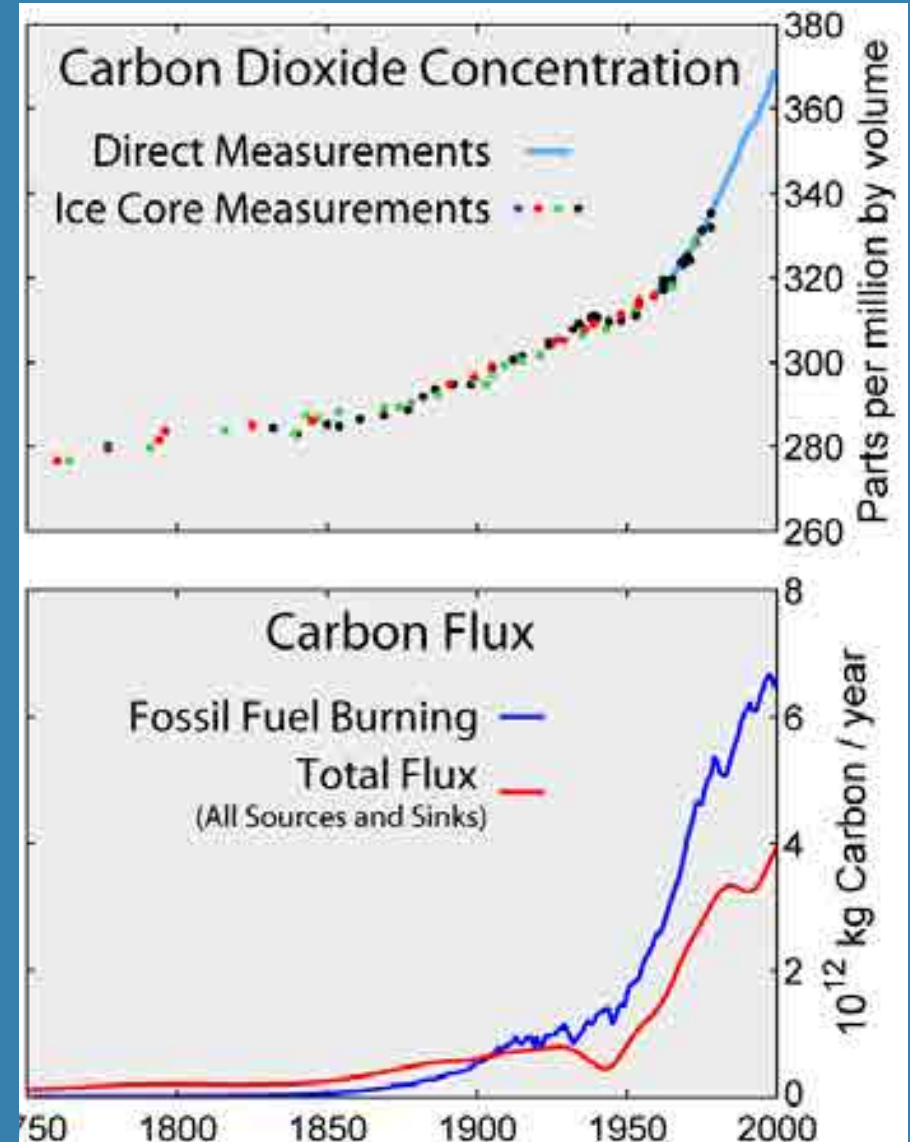
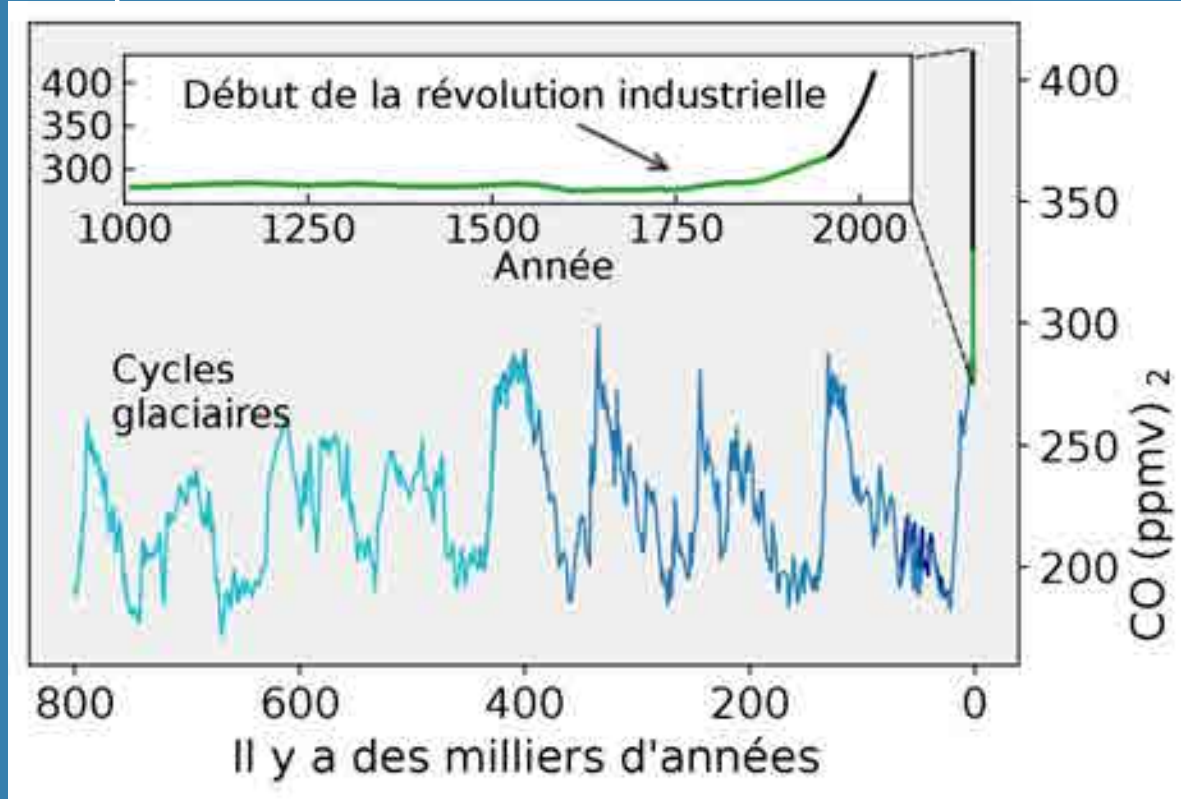


Synthèse des résultats
normandie.fr/giec-normand

Benoit Laignel, Professeur
Université Rouen Normandie
benoit.laignel@univ-rouen.fr

Augmentation du taux de CO₂ au cours du temps

Variations de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère au cours des 800 000 dernières années



Causes du réchauffement planétaire : Gaz à effet de serre

Gaz à effet de serre émis par l'homme

en excluant donc l'eau, H_2O , et l'ozone, O_3

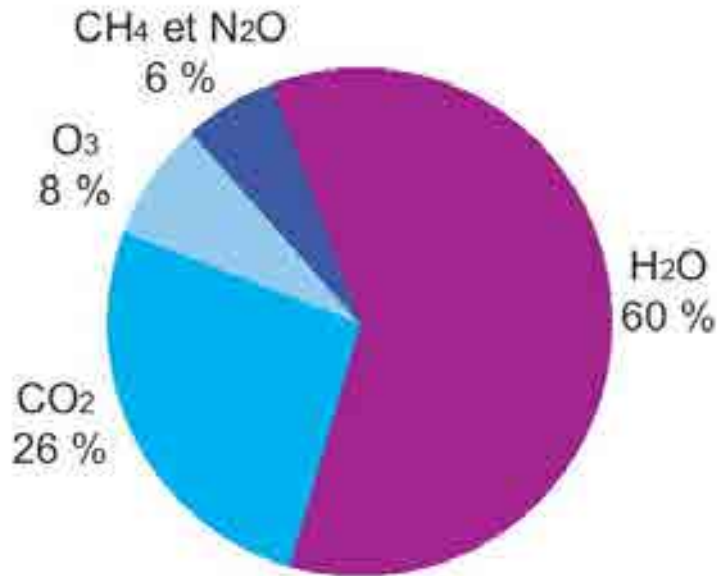
(pas vraiment dans notre intérêt de détruire la couche d'ozone !)

Principaux GES faisant l'objet du protocole de Kyoto sont au nombre de 6 :

- **dioxyde de carbone CO_2** , principalement issu de l'utilisation des combustibles fossiles
- **le méthane CH_4** , issu pour moitié de l'agriculture, pour un quart de la décomposition des déchets et pour un quart de "pertes" lors de l'extraction du pétrole, du gaz naturel ou du charbon
- **l'oxyde nitreux N_2O** , lié en majeure partie à l'agriculture (engrais et stockage du fumier)

Gaz fluorés de synthèse

- les hydrofluorocarbures (HFC), gaz fluorés de synthèse utilisés dans la réfrigération, dans les aérosols ou certaines mousses d'extincteurs
- les perfluorocarbures (PFC), gaz fluorés liés principalement à l'industrie des semi-conducteurs
- l'hexafluorure de soufre (SF_6), gaz fluoré utilisé notamment dans l'industrie électrique ou l'industrie des semi-conducteurs.



Source : Kiehl & Trenberth 1996, National Center for Atmospheric Research. N.B. : proportions en l'absence de nuages.

Gaz à effet de serre

GES n'ont pas la même durée de vie dans l'atmosphère du fait de réactivités chimiques différentes et n'interagissent pas de la même manière avec les rayonnements

Ex : la durée de séjour du méthane est de 12 ans et celle de l'oxyde nitreux de 114 ans,

Il faut disposer d'un étalon pour comparer leurs effets :

Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) à 100 ans

PRG à 100 ans est un nombre qui caractérise l'effet sur le climat d'1 kg d'un gaz, sur une durée de 100 ans, et en prenant comme référence la valeur 1 pour le CO₂.

Les PRG à 100 ans des principaux gaz à effet de serre sont donnés dans le tableau suivant :

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Pouvoir de réchauffement global	1	25	298	124 à 14 800	7300 à 12 200	22 800

Ainsi sur une durée de 100 ans, l'émission d'une tonne de méthane CH₄ aura le même effet que l'émission de 25 tonnes de CO₂
PRG à 100 ans du méthane est 25 fois plus élevé que celui du CO₂

Les pays émetteurs de GES

CO₂ : deux tiers des émissions ont lieu dans 10 pays

Part des pays (émissions nationales) dans les émissions mondiales de CO₂ en 2021, en %



Sources : Commission européenne, calculs Statista

statista

Les émissions de CO₂ par habitant à travers le monde

Émissions de CO₂ par habitant dans une sélection de pays en 2017 (en tonnes)

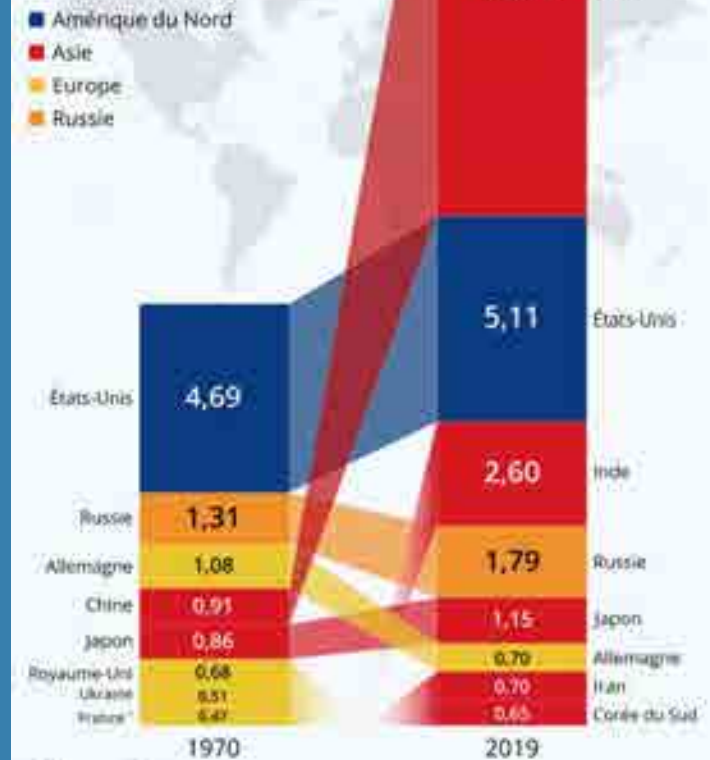


Source : Statista

statista

Émissions de CO₂ : l'envolée asiatique

Pays avec les plus grosses émissions de CO₂ en 1970 et 2019 (en milliards de tonnes)



* Adéquité incluse

Source : Commission européenne

statista

statista

France : 19^{ème} = 1 % des émissions de CO₂

Emissions cumulées de GES depuis 1750 :

France = 8^e pays le plus émetteur de CO₂ de l'Histoire