

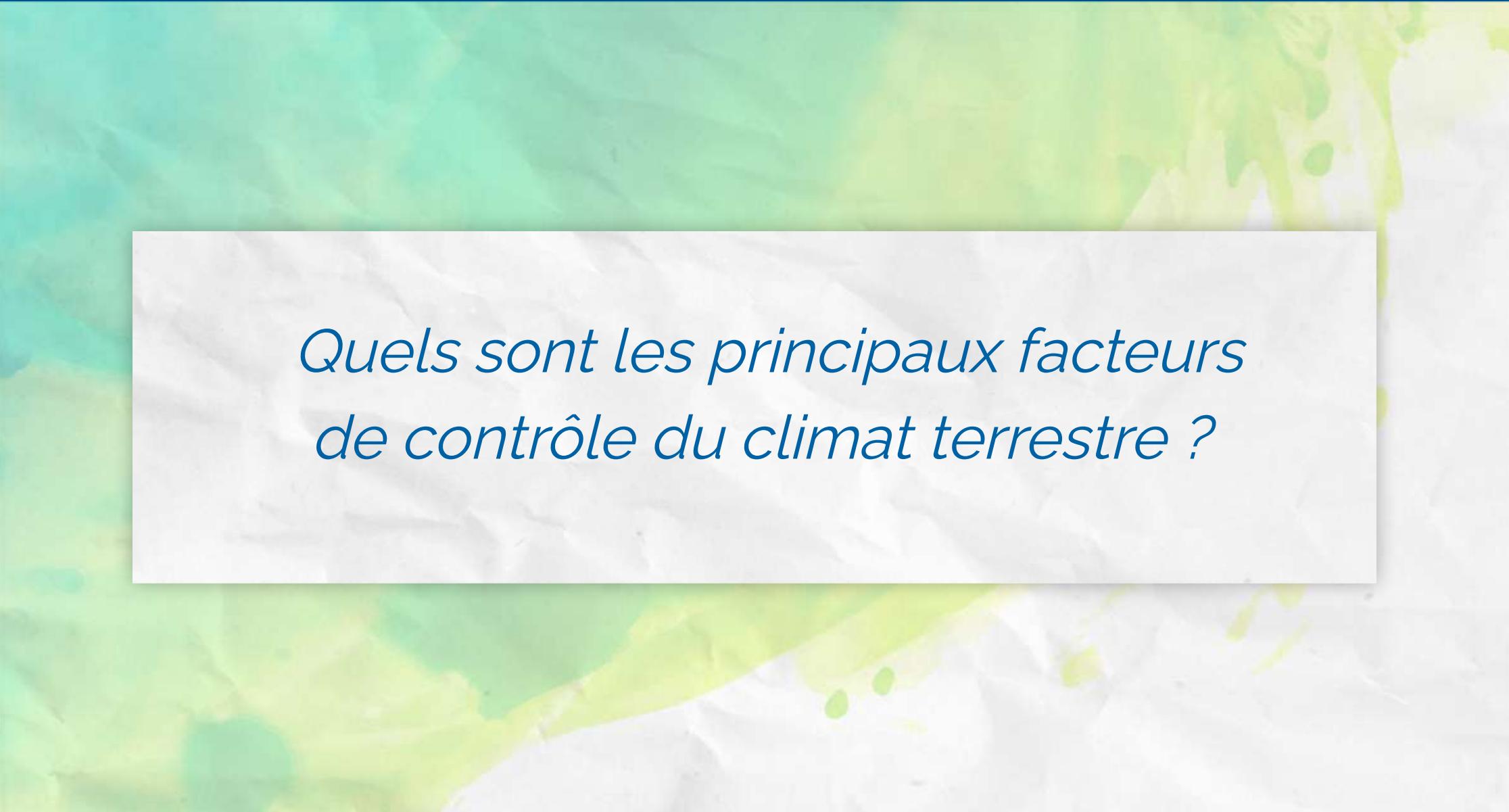
Le changement climatique et ses impacts en Normandie



Tout le monde a mis sa ceinture et pris son traxène, c'est parti !

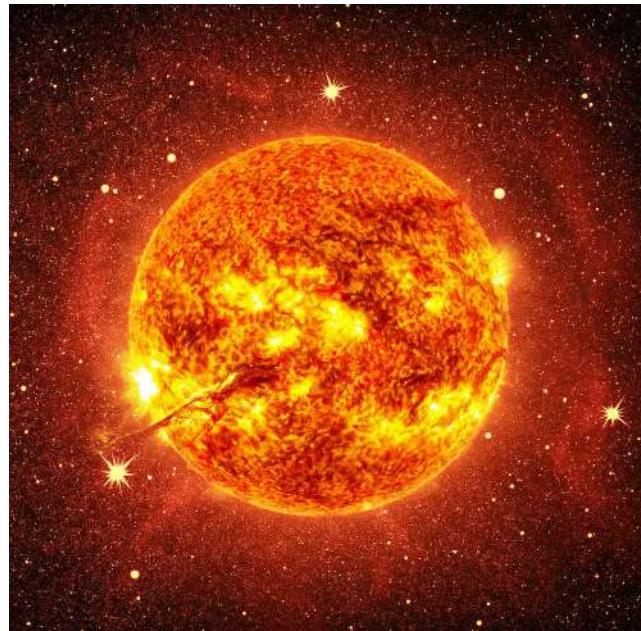
1

Climat, changement climatique et gaz à effet de serre : quelques principes

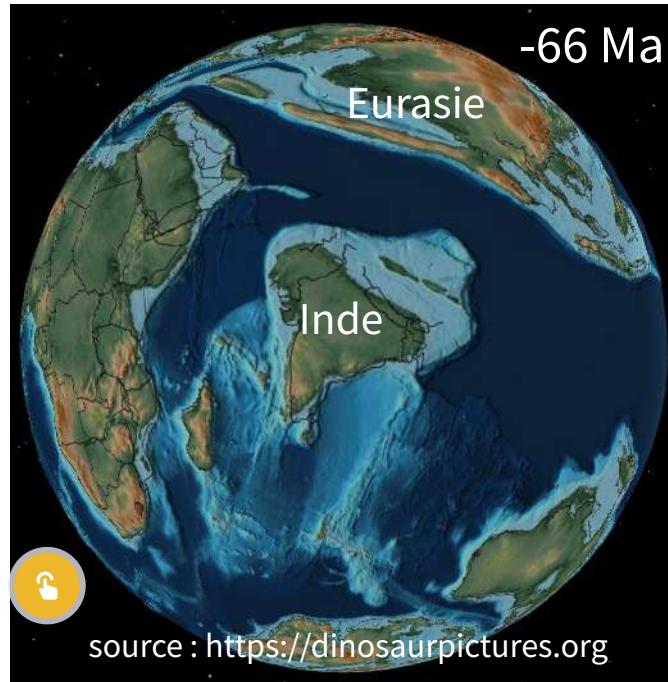


*Quels sont les principaux facteurs
de contrôle du climat terrestre ?*

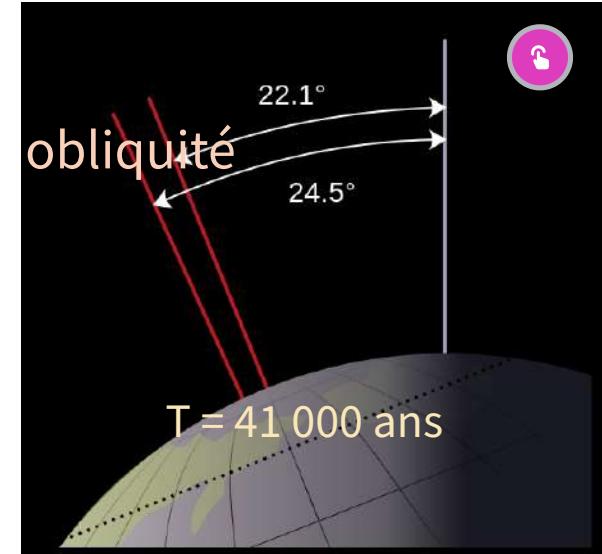
Le climat est contrôlé par de très nombreux facteurs au premier rang desquels le rayonnement solaire. La géodynamique terrestre, les variations de l'orbite terrestre, la biodiversité et de nombreux processus physico-chimiques contribuent aux variations climatiques intervenant sur Terre.



Le climat est avant tout lié à l'énergie solaire reçue par la Terre



La tectonique des plaques influence le climat de même que l'altération de certaines roches



Les variations cycliques de l'orbite terrestre : obliquité, $T = 41\ 000$ ans ; précession, $T=26\ 000$ ans ; excentricité $T =100\ 000$ ans)

Le climat dépend aussi de l'intensité de l'effet de serre



Sous l'effet du rayonnement solaire, la Terre émet des infrarouges (chaleur). Ces derniers excitent certains gaz de l'atmosphère qui, à leur tour réemettent de l'énergie en direction de la Terre. C'est l'effet de serre

Gaz à effet de serre

H_2O vapeur d'eau
 CO_2 dioxyde de carbone
 CH_4 méthane
 N_2O protoxyde d'azote
 O_3 ozone
HFC hydrofluorocarbures
CFC chlorofluorocarbures
 CF_4 tétrafluorométhane
 SF_6 hexafluorure de soufre



origines naturelle et humaine



strictement artificiels

Plus il y a de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, plus la Terre reçoit d'énergie

L'effet de serre est accentué ou pondéré par des facteurs secondaires dénommés "boucles de rétroaction"

- Une rétroaction climatique est le phénomène par lequel un effet sur le climat agit en retour sur ses causes d'une manière qui peut le stabiliser ou au contraire l'amplifier.
- Une boucle de rétroaction est dite positive, quand elle contribue à accentuer l'effet de serre au fur et à mesure qu'il s'intensifie. Dans cas contraire, elle est dite négative.



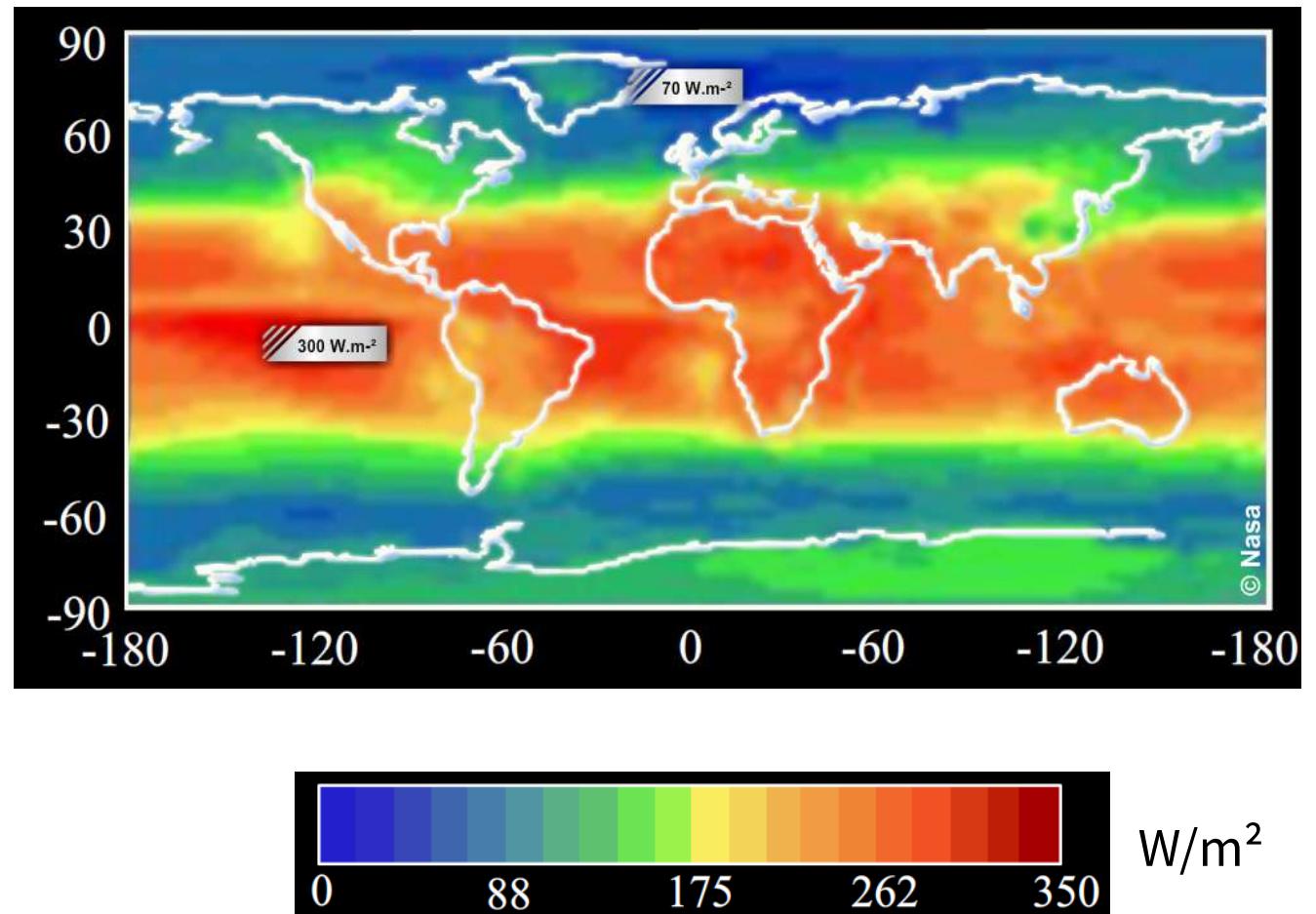
Une augmentation de la température favorise la croissance des plantes ce qui, par photoynthèse, entraîne une diminution de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère. Il en résulte une atténuation de l'effet de serre et une baisse de la température. Il s'agit d'une "boucle de rétroaction négative"



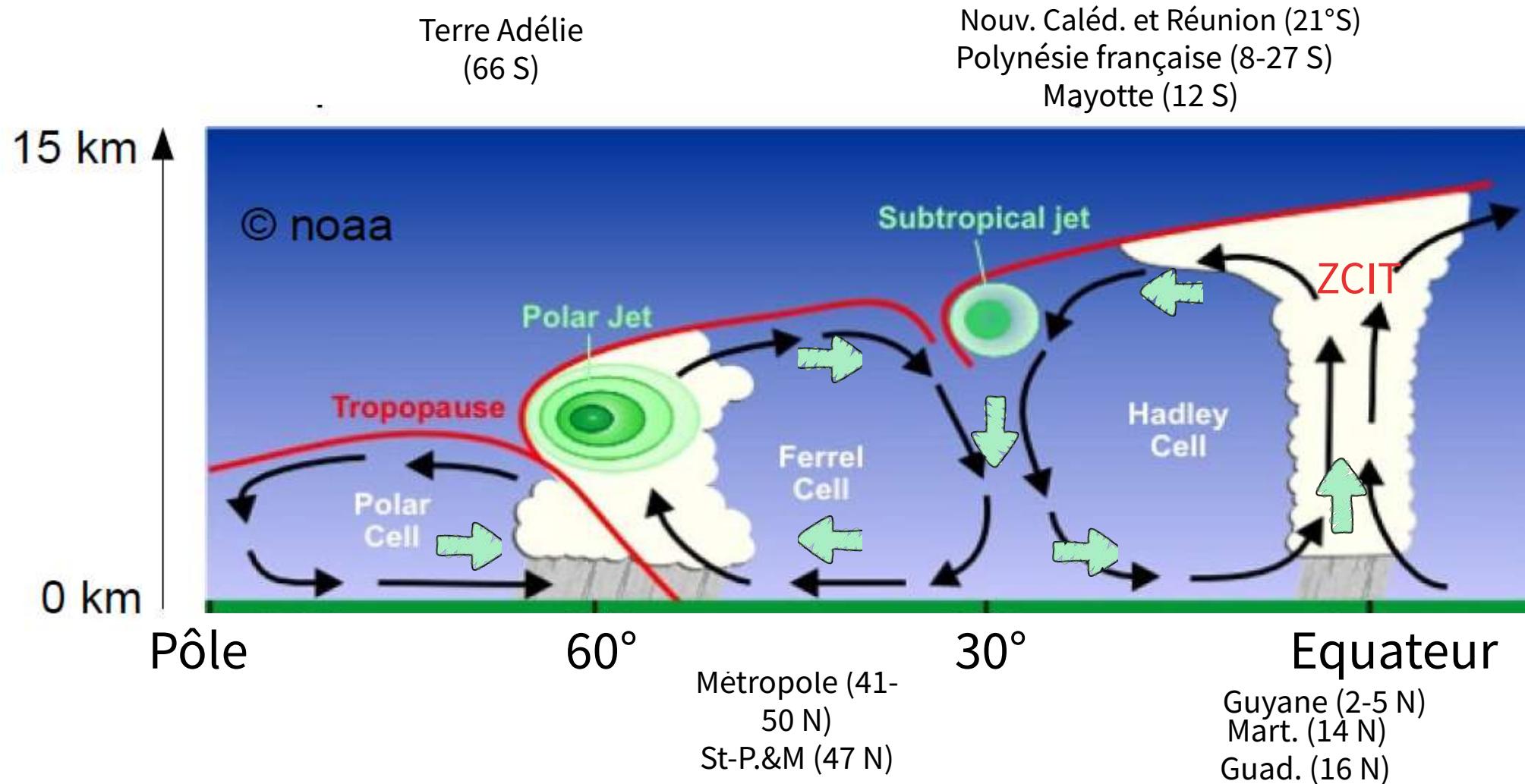
Plus la température atmosphérique s'élève, plus le risque de feu de forêt augmente. Les feux de végétation relarguent du CO_2 ce qui favorise l'effet de serre et donc l'élévation de la température. Il s'agit d'une boucle de rétroaction positive

Le climat est aussi influencé par les circulations atmosphérique et océanique et, localement, par de très nombreux facteurs secondaires

- La zone intertropicale reçoit plus d'énergie que les pôles
- Deux fluides (l'air et l'eau) sont mis en mouvement par le contraste thermique qui en résulte
- Leur mouvement respectif permet de redistribuer l'énergie entre l'équateur et les pôles et explique les principales caractéristiques du climat mondial
- De nombreux autres phénomènes interviennent

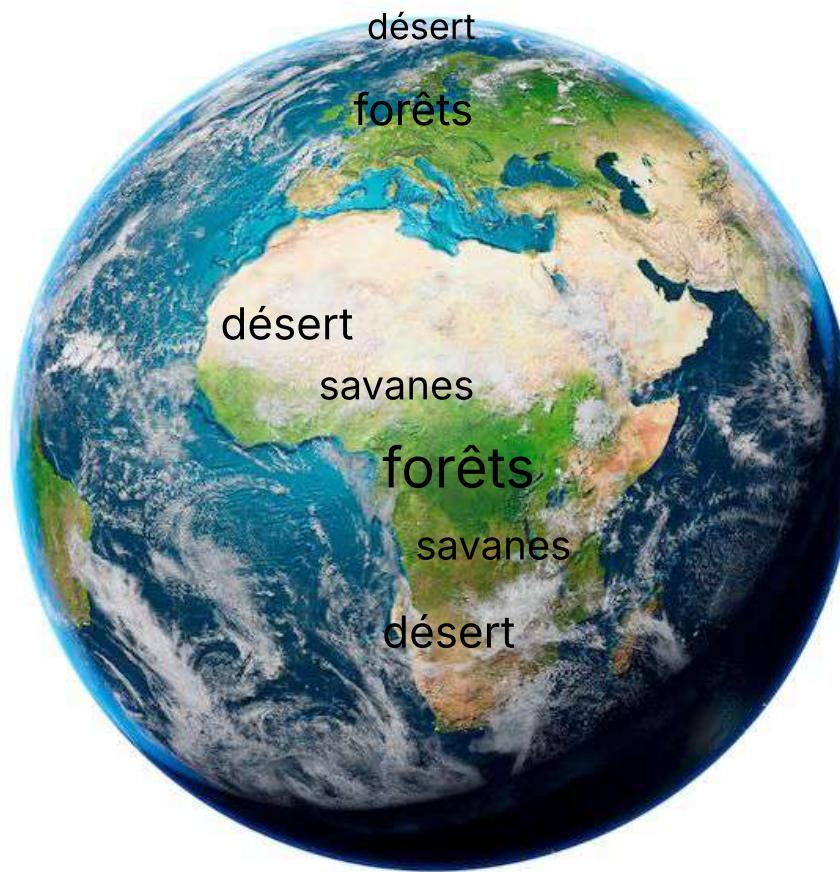
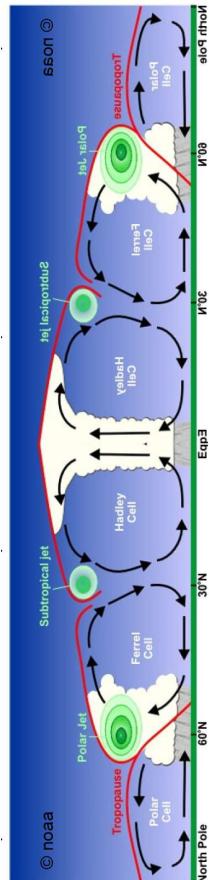


La circulation atmosphérique joue un rôle majeur dans la redistribution de la chaleur de l'équateur aux pôles



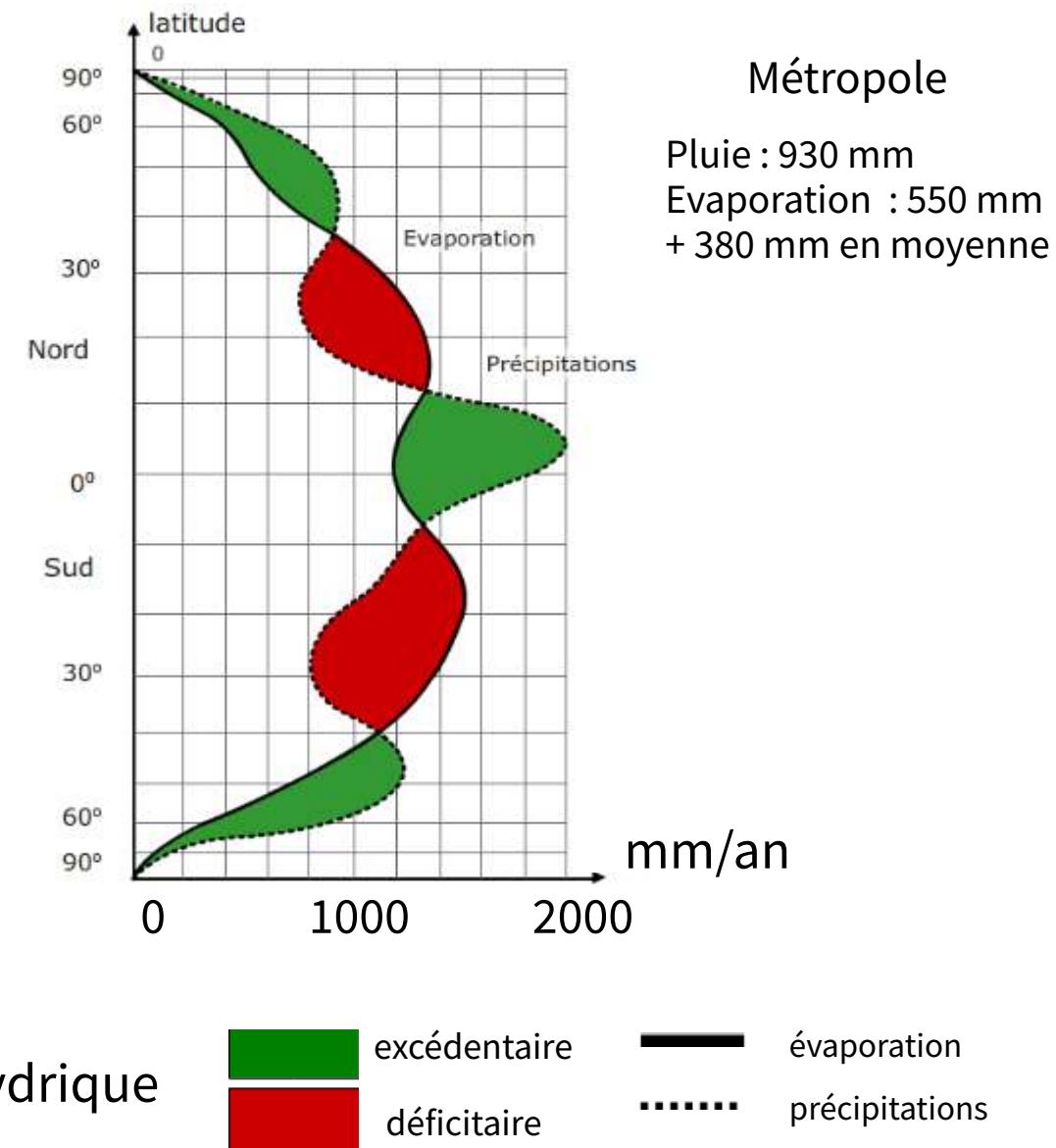
Le climat contrôle la distribution des écosystèmes terrestres

Le bilan hydrique positif des territoires français est un de leurs atouts majeurs

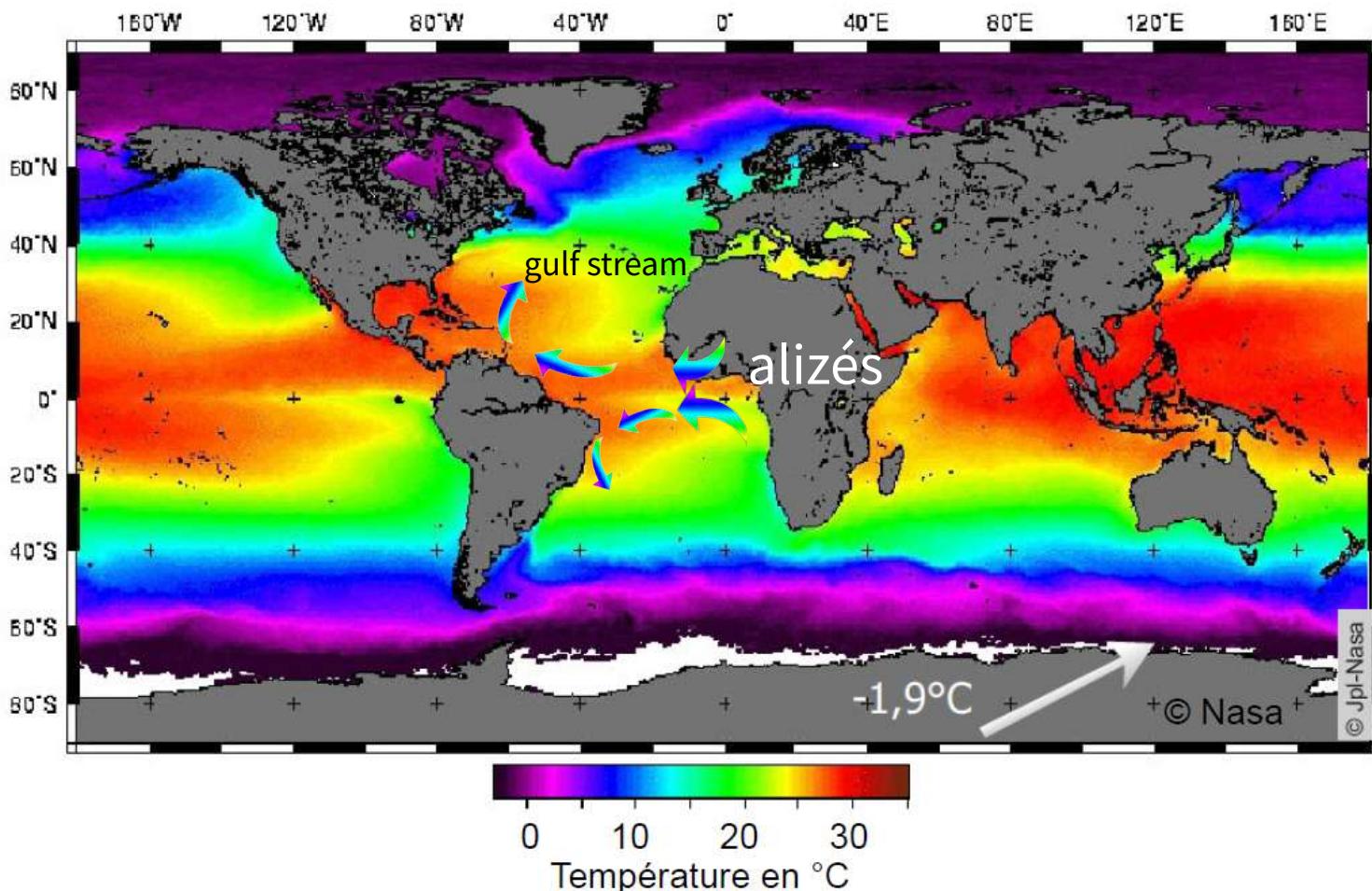
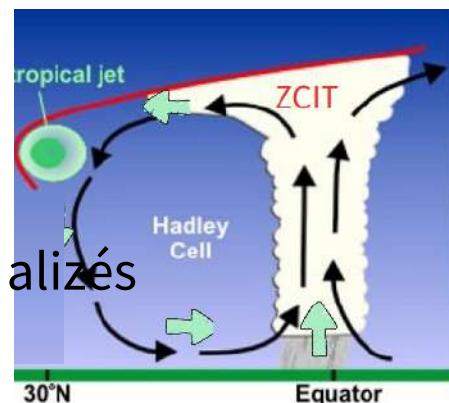


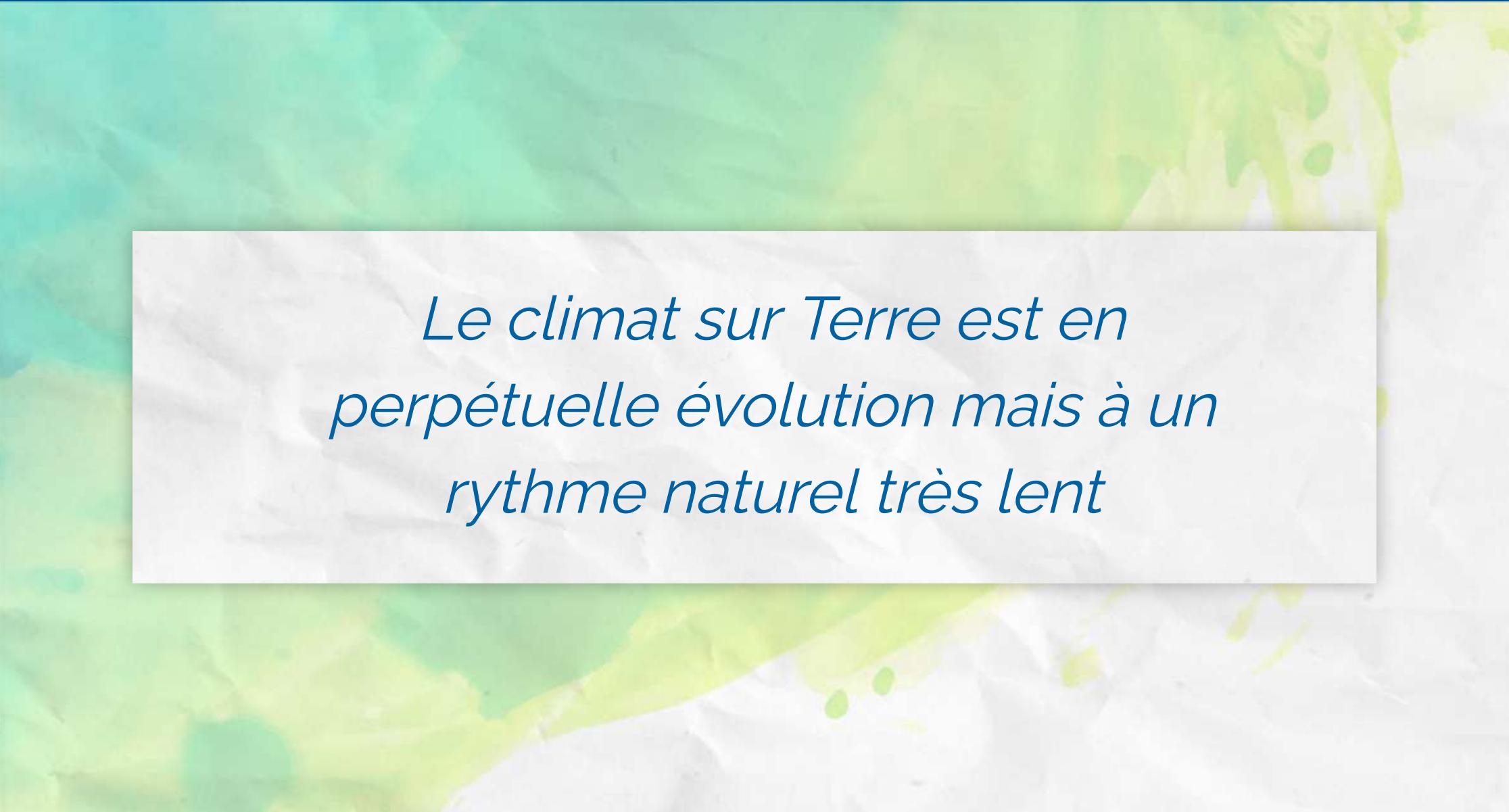
source : Sellers, 1996

Bilan hydrique



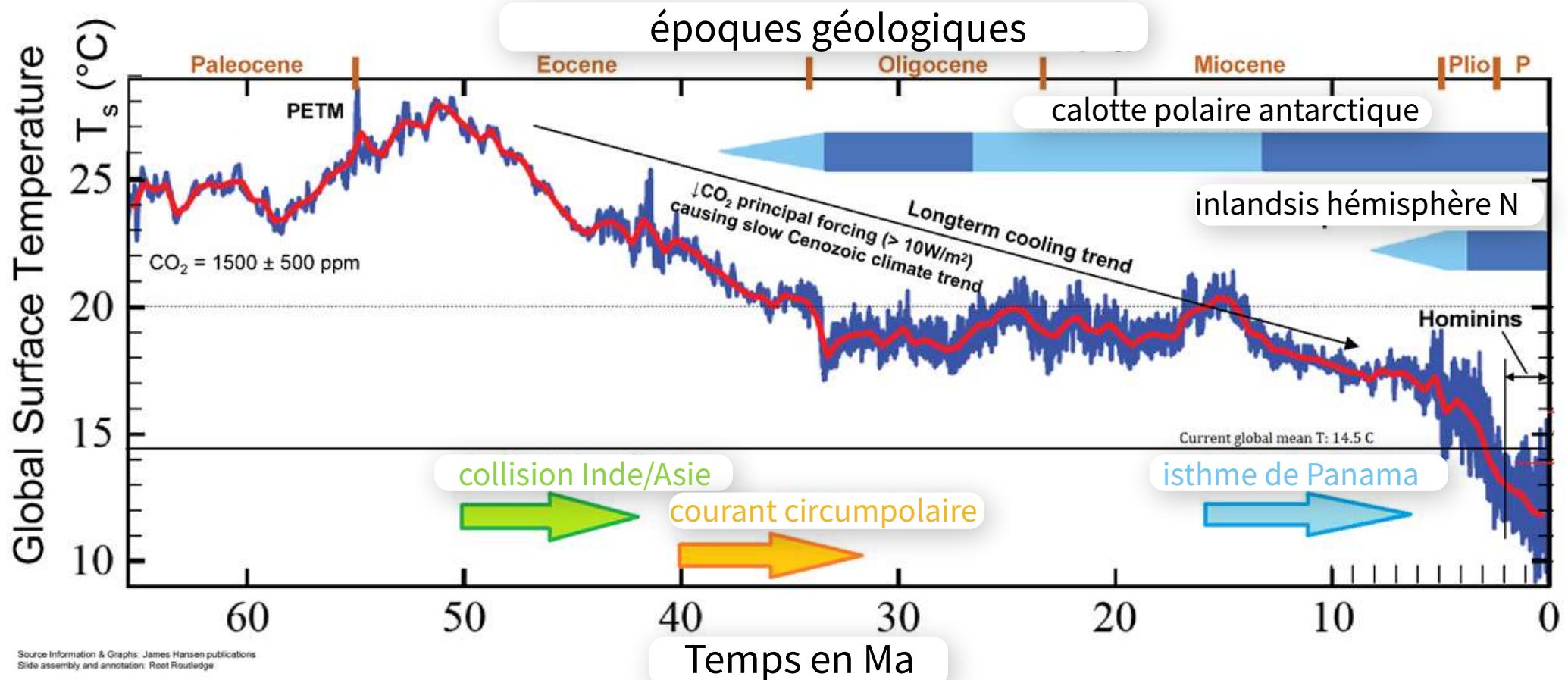
Notre climat est océanique tempéré. Il est aussi fortement influencé par le Gulf stream



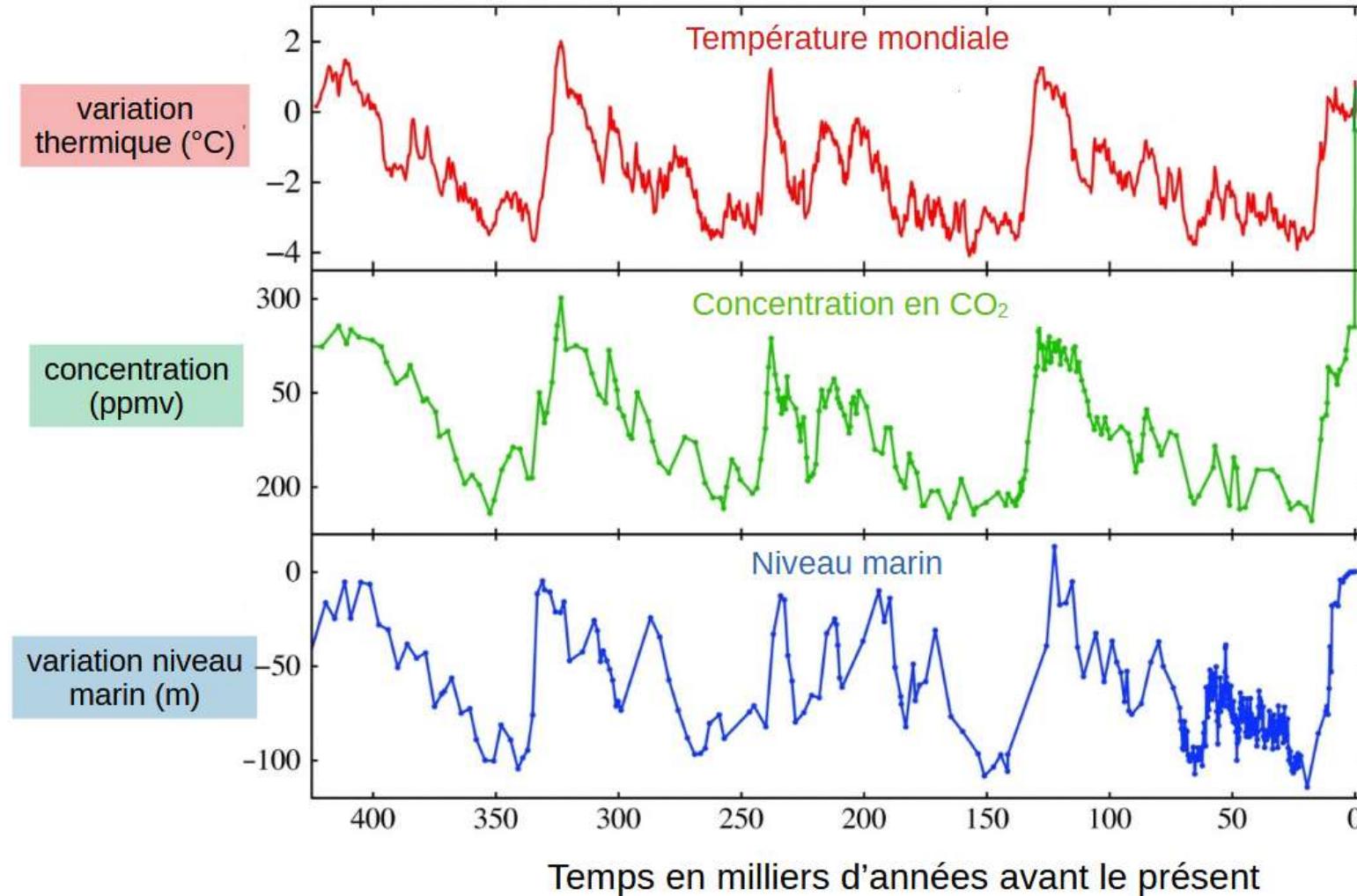


*Le climat sur Terre est en
perpétuelle évolution mais à un
rythme naturel très lent*

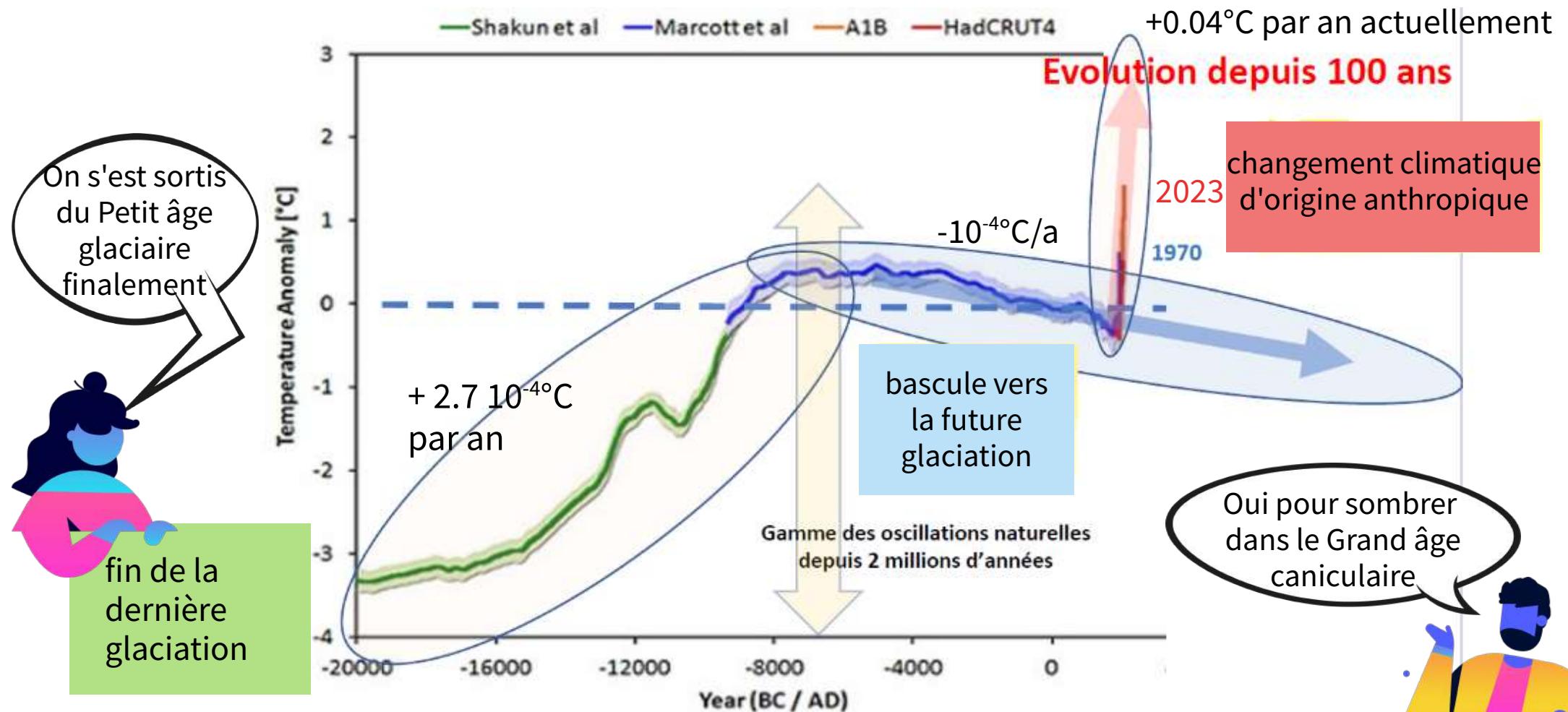
La Terre se refroidit depuis 50 millions d'années
 (-12 °C depuis le pic thermique de la fin du Paléocène soit
 $2,4 \cdot 10^{-7} \text{°C par an}$)

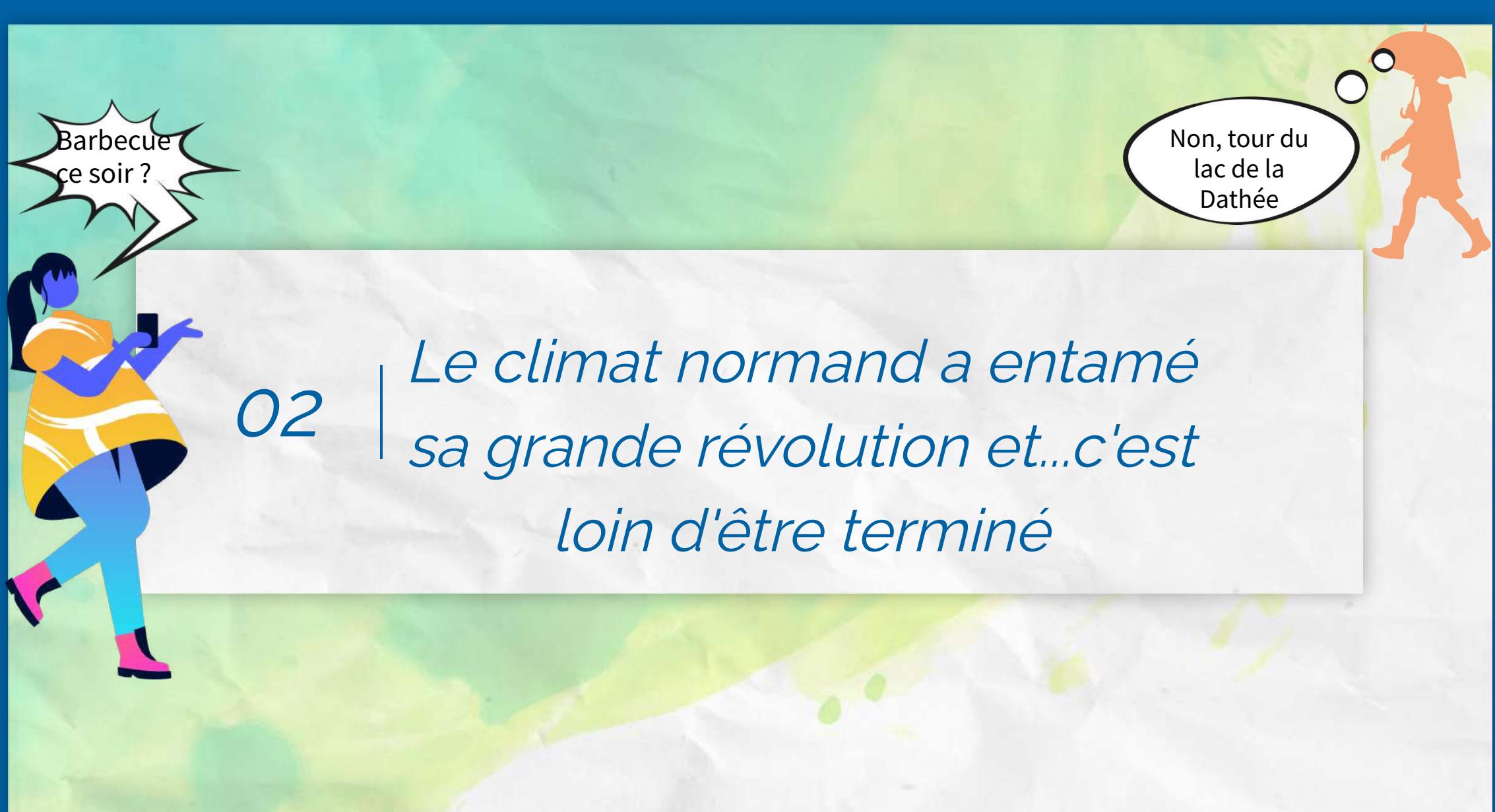


Les variations climatiques sont cycliques déterminant, au Quaternaire, des alternances entre périodes glaciaires et périodes interglaciaires



Les évolutions climatiques naturelles sont lentes. Les changements climatiques induits par nos activités sont brutaux, prenant de vitesse les processus naturels impliqués dans les boucles de rétroaction





La température de l'air s'est fortement élevée en quelques décennies

T°C maxi
(moy. juin juillet août)

tendance +2.6°
en 75 ans

+2.5°

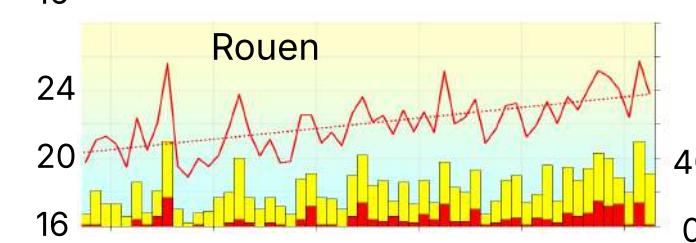
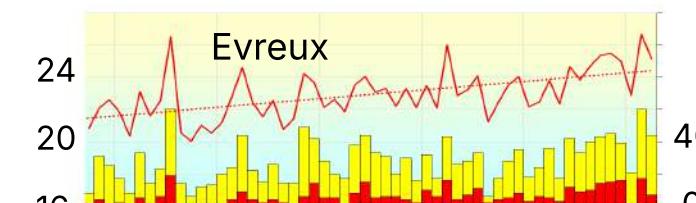
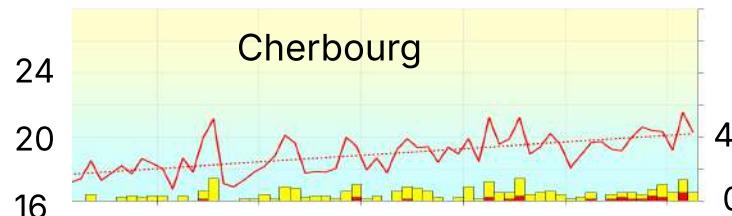
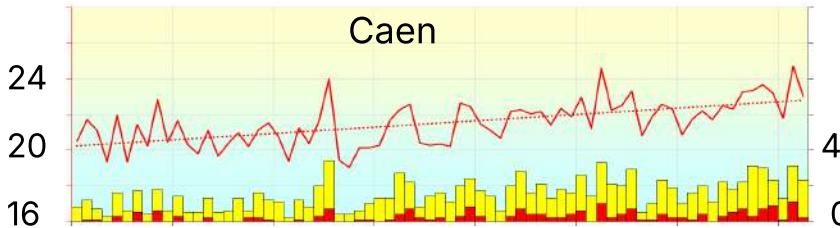
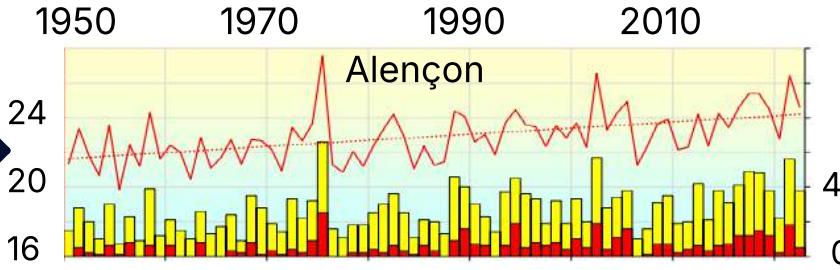


+2.4°

+2.8°

+3.7°

Y va faire chiot...

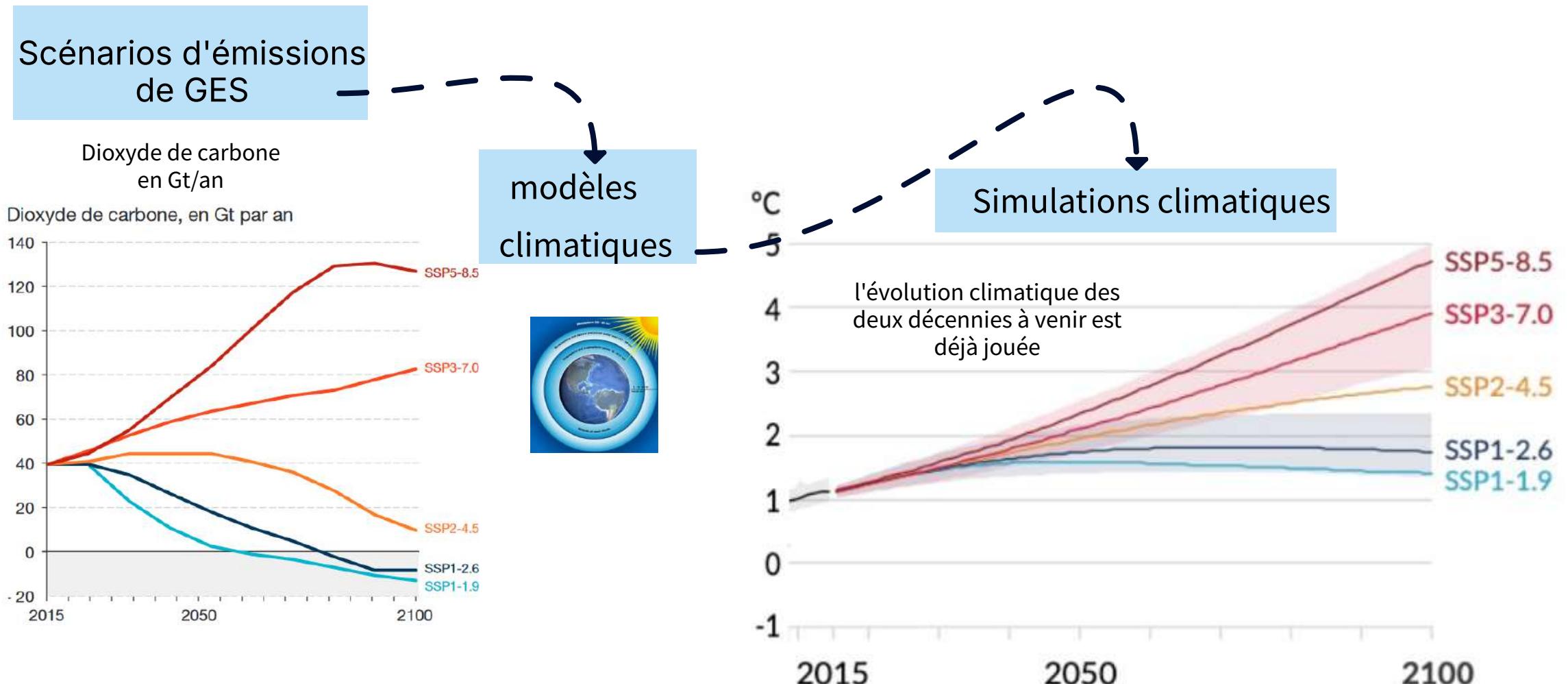


Nombre de jours
de chaleur (jaune) et
très forte chaleur (rouge)

Tous les indicateurs
sont au beau fixe,
sauf le Gulf stream



Les évolutions à venir dépendent de nous et de notre consentement à agir.



Les modèles sont re-calibrés au fur et à mesure des progrès scientifiques
source : Chiffres clés du climat, Datalab 2022, GIEC 2021 1er groupe de travail

L'hypothèse la plus crédible est celle d'une élévation de la température de 3°C d'ici à la fin du siècle en Normandie

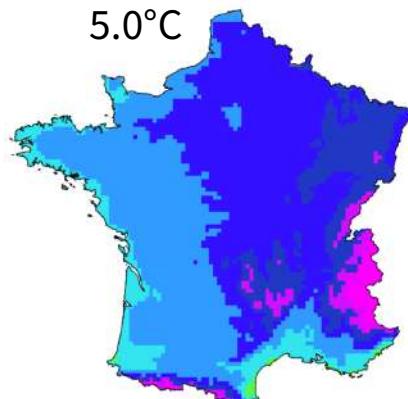
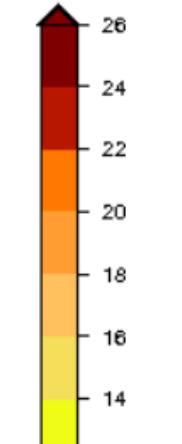


Simulation des écarts à l'horizon 2070-2100 de la température de l'air par rapport à la période de référence (1976-2005). Scénario 8.5

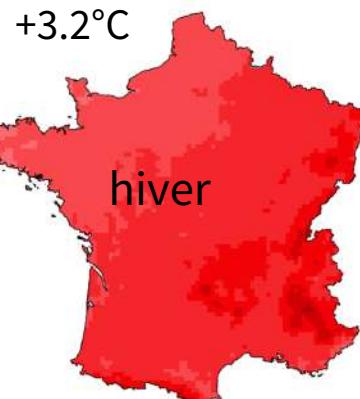
Moyenne
1976-2005

°C

5.0°C



+3.2°C

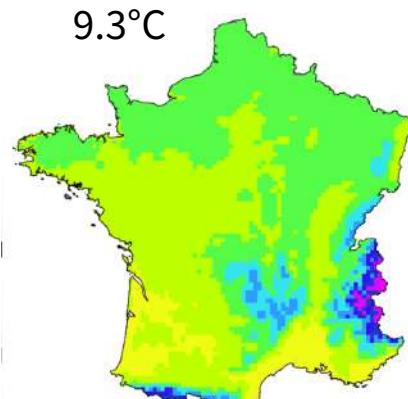


Scénario 8.5

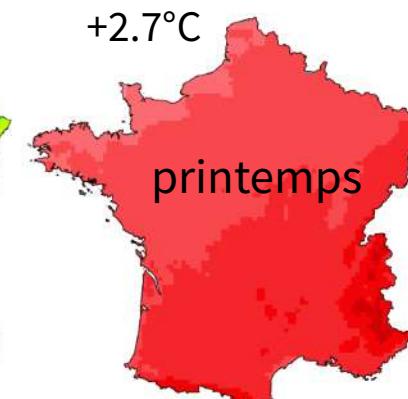
DRIAS les **futurs** du **climat**

Evolution
prévue

9.3°C

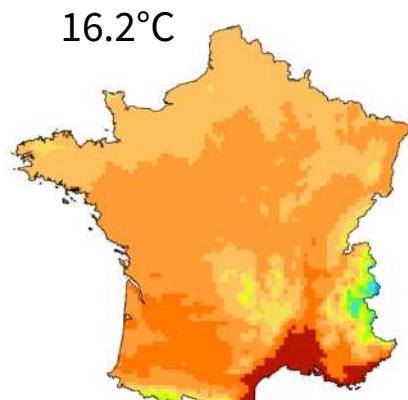
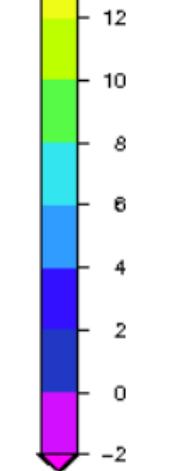


+2.7°C



printemps

16.2°C

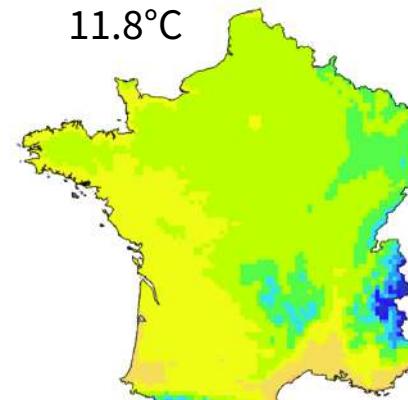


+3.0°C

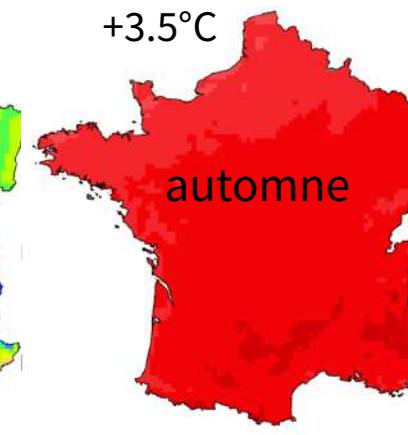


été

11.8°C



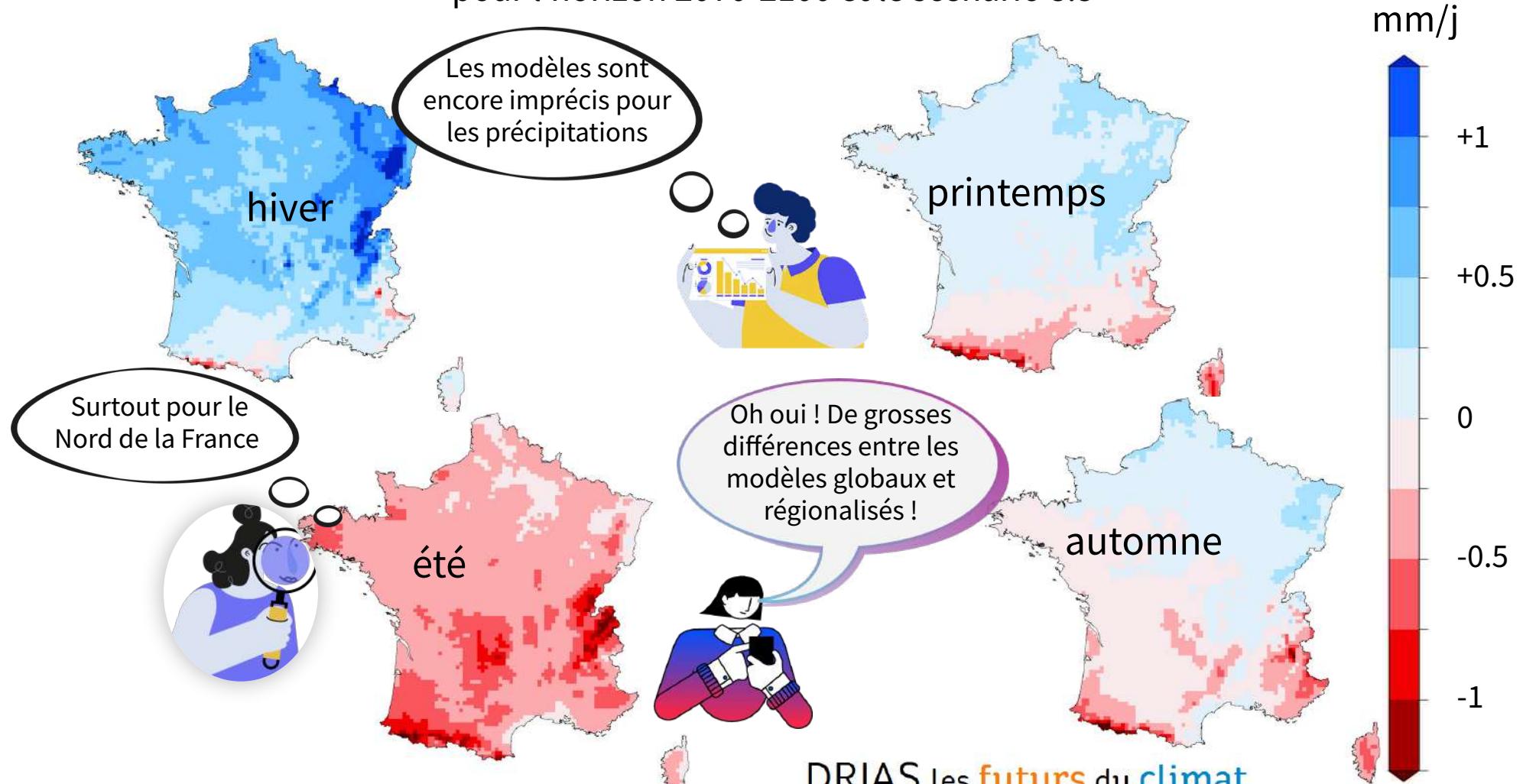
+3.5°C



automne

Les cumuls pluviométriques devraient évoluer à la hausse en hiver et à la baisse en été

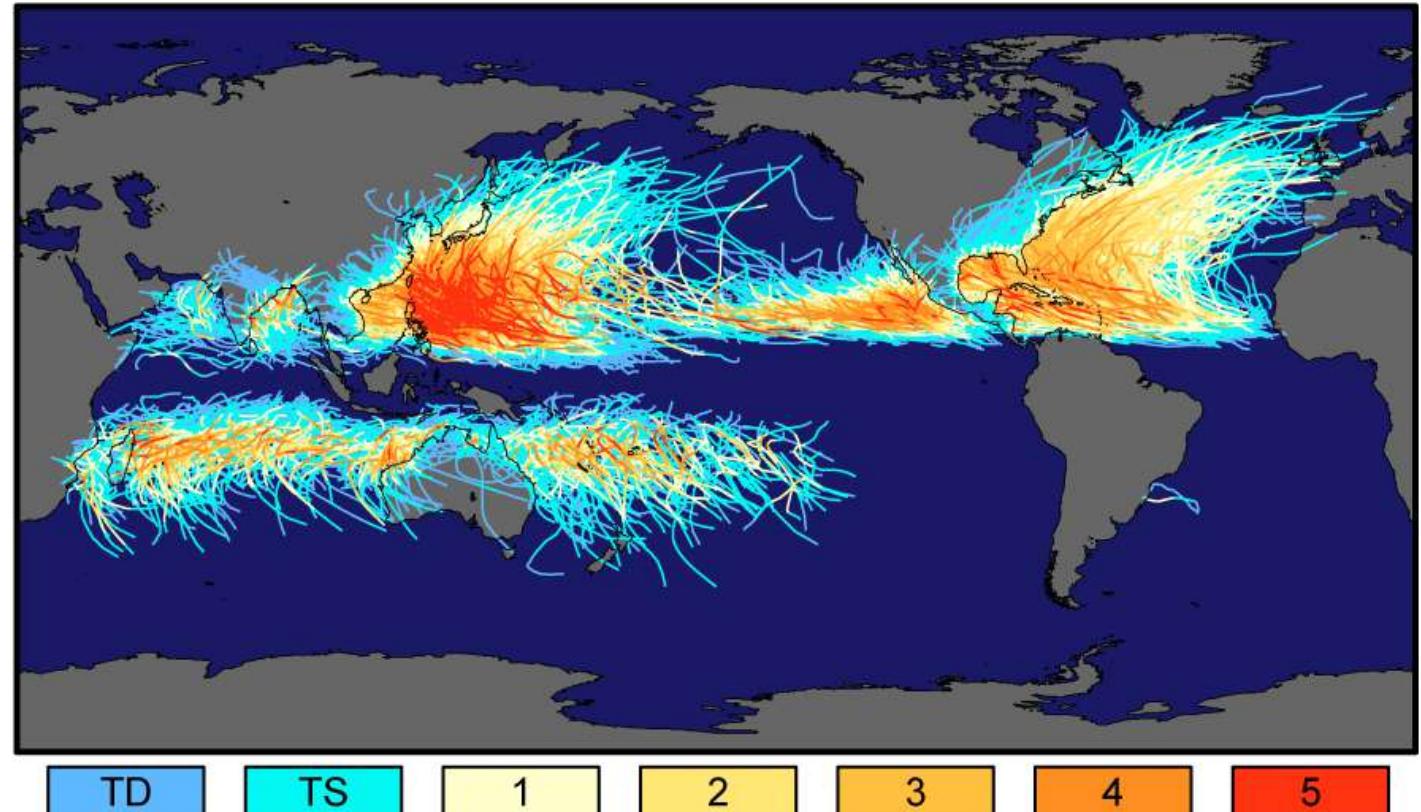
Simulation d'évolution des précipitations. Ecart à la moyenne de la période de référence 1976-2005 pour l'horizon 2070-2100 et le scénario 8.5



Une faible évolution possible à la hausse de l'intensité des tempêtes



Trajets et intensités des cyclones tropicaux

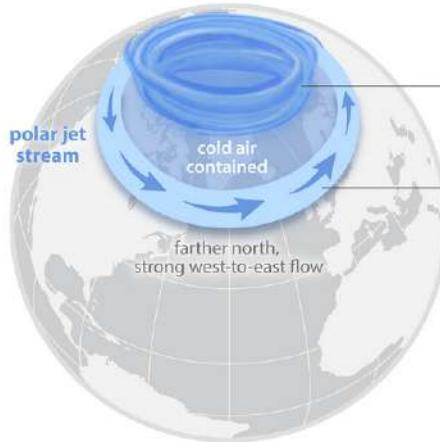


Echelle d'intensité des cyclones de Saffir-Simpson

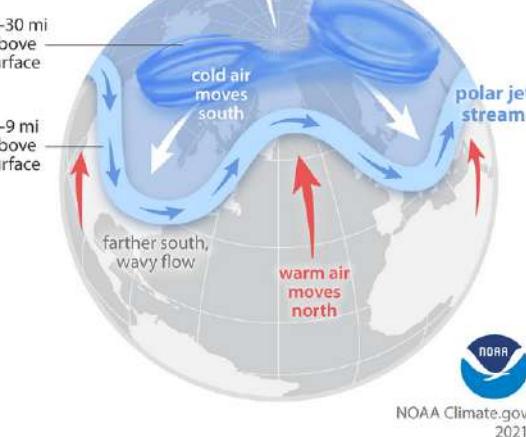
Tracés des ouragans dans le monde entre 1985 et 2005 - via Wikipedia

La variabilité climatique s'accentue du fait de la perturbation de la trajectoire du vortex polaire par l'élévation de la température du pôle nord

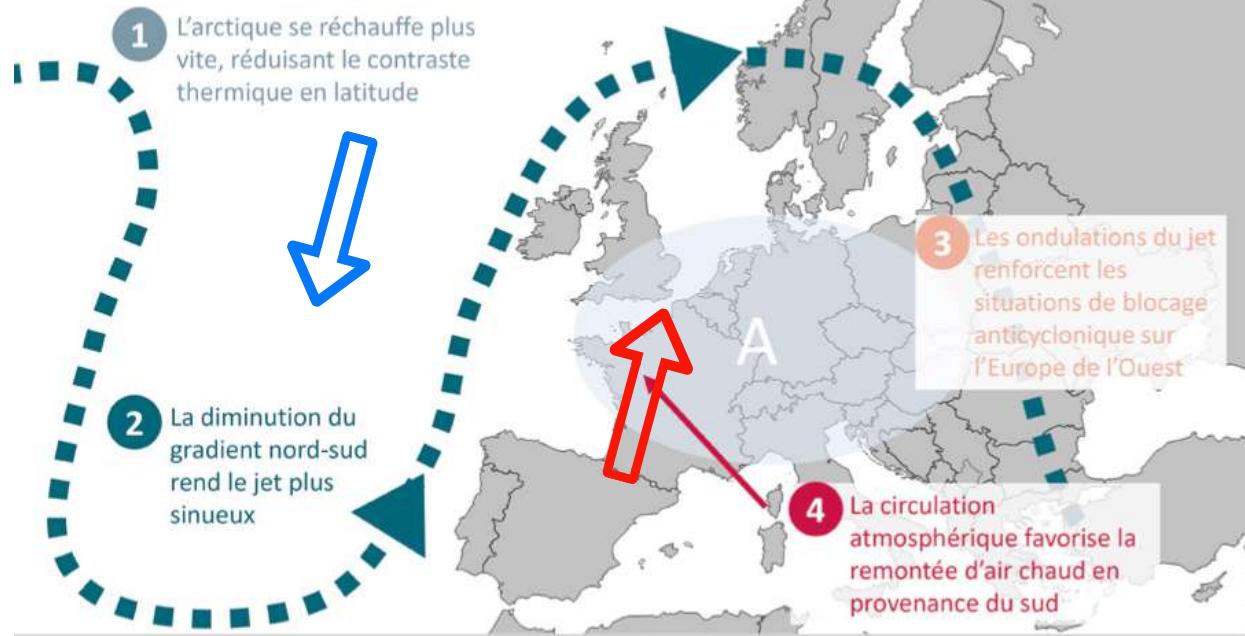
vortex polaire stable



vortex polaire perturbé



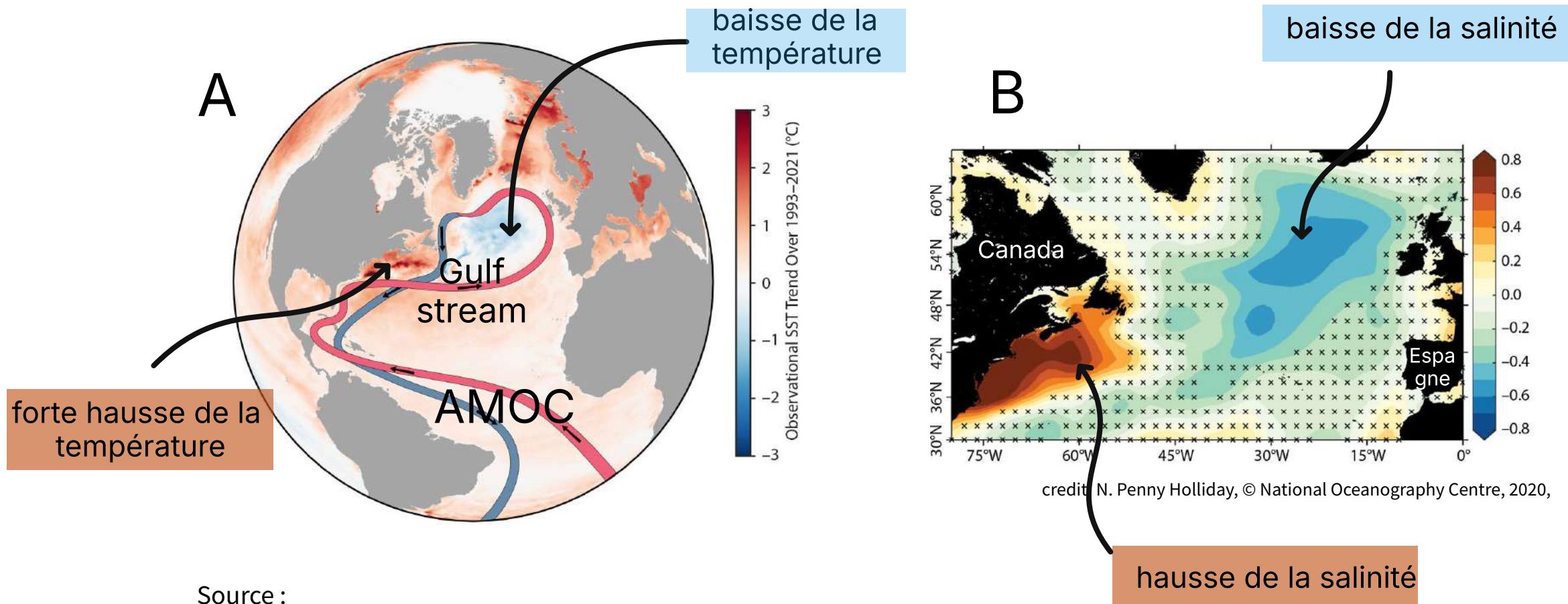
ondulation du polar jet



source HCBC

Perturbée par le changement climatique, la trajectoire du polar jet devrait onduler davantage dans le futur et entraîner une plus grande variabilité du climat normand impulsant des alternances entre descente d'air polaire et remontée d'air tropical

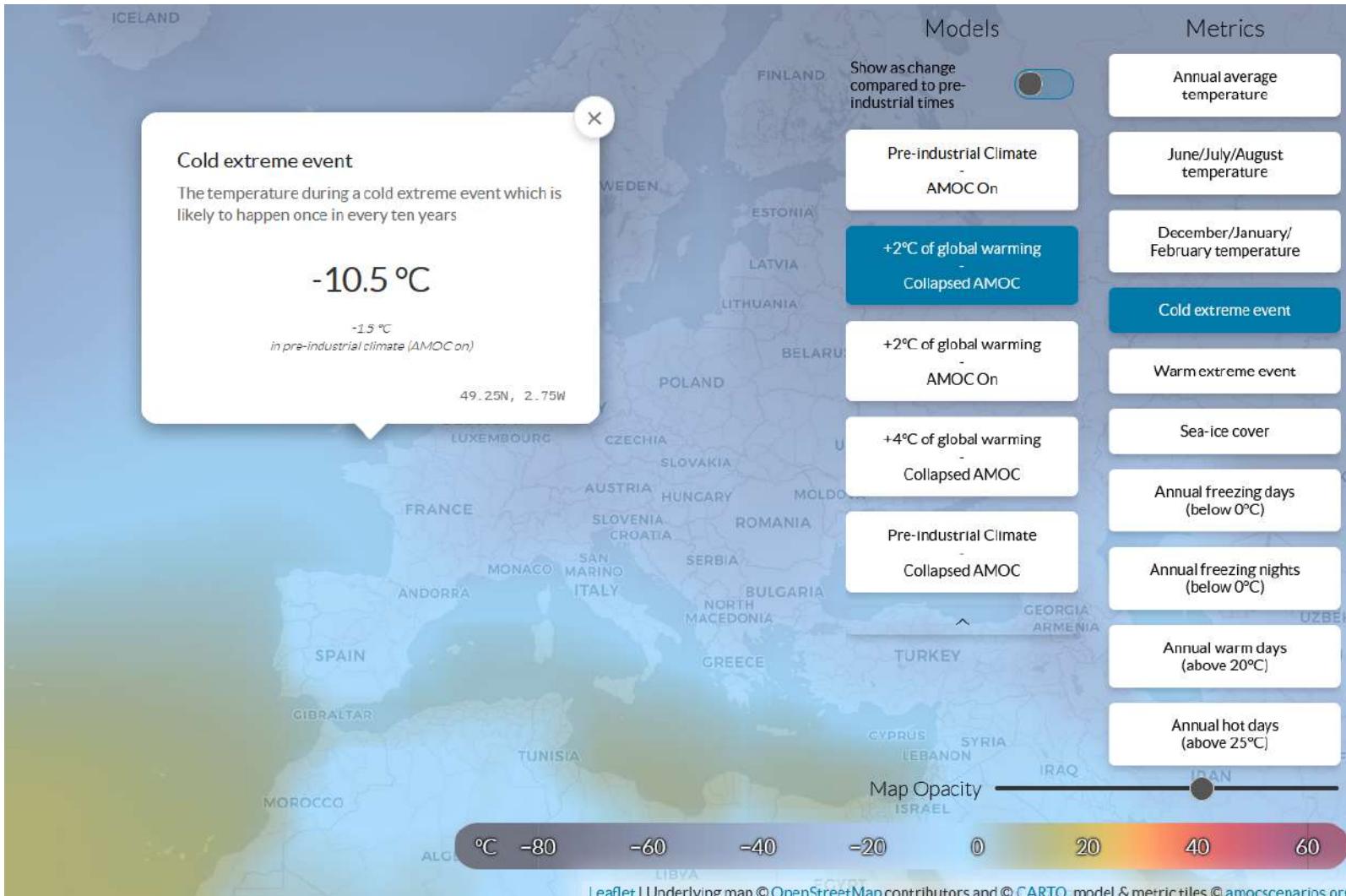
Ces hypothèses n'intègrent pas les perturbations en cours du Gulf stream et le risque de voir la température de l'Europe du Nord baisser



Source:
S. Rahmstorf 2024
Liu et al. ,2017

Tendance d'évolution de la température (A) et de la salinité (B) des océans de 1993 à 2021

L'hypothèse la plus défavorable en hiver serait pour nous un effondrement du Gulf stream induit par un réchauffement global de +2 °C



03 |

Quels enjeux et impacts en Normandie ?

- 1. Santé
- 2. Agriculture
- 3. Ressource en eau
- 4. Biodiversité
- 5. Risques naturels
- 6. Mer et littoral



3-1

L'impact du changement climatique sur la santé



- 1. Santé
- 2. Agriculture
- 3. Ressource en eau
- 4. Biodiversité
- 5. Risques naturels
- 6. Mer et littoral

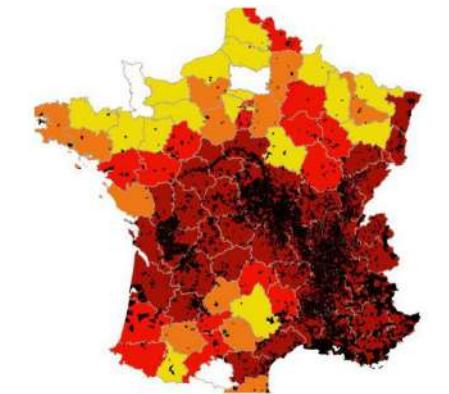


Intensification de risques déjà existants

Problèmes respiratoires et cardio-vasculaires liés à la dégradation de la qualité de l'air : particules fines, ozone et pollens

Problèmes d'allergies cutanées et de cancer de la peau

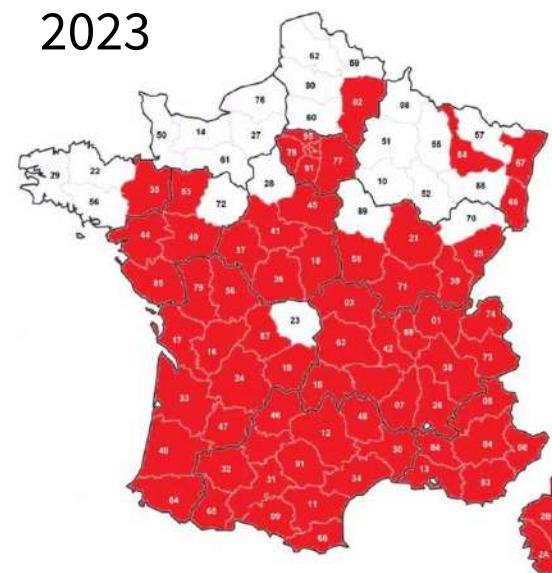
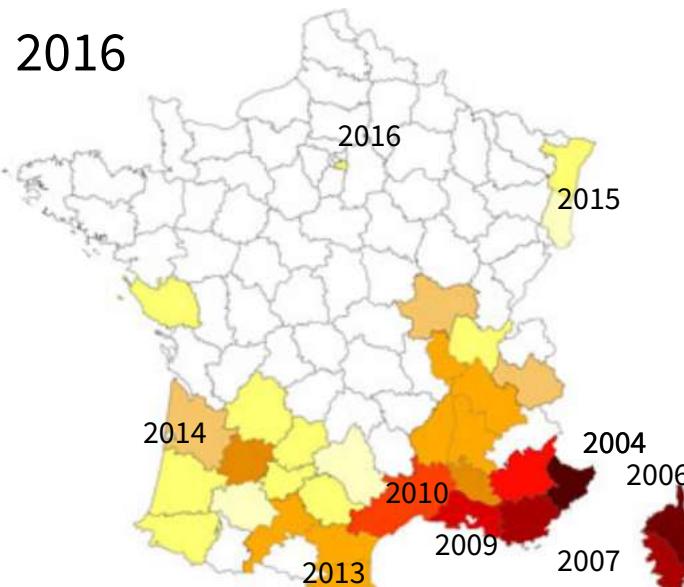
Différentes maladies infectieuses transmises par des animaux dont le cycle est modifié par le changement climatique, telles les tiques



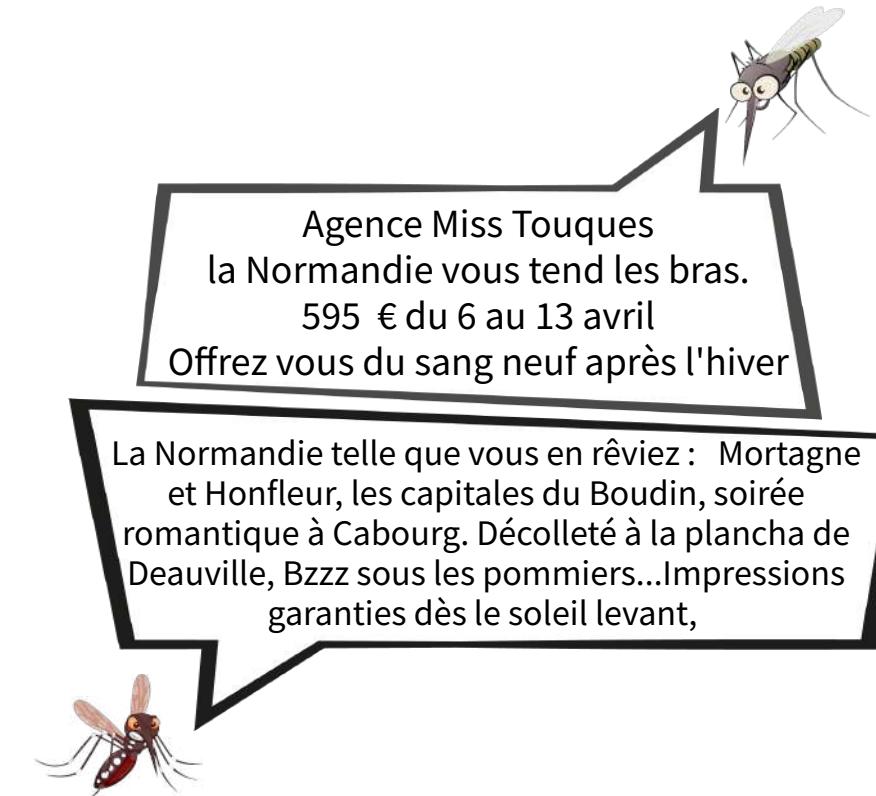
Risques émergents : des maladies tropicales, principalement transmises par les moustiques



aire de répartition du moustique tigre, vecteur potentiel de la dengue, de Zika et du Chikungunya

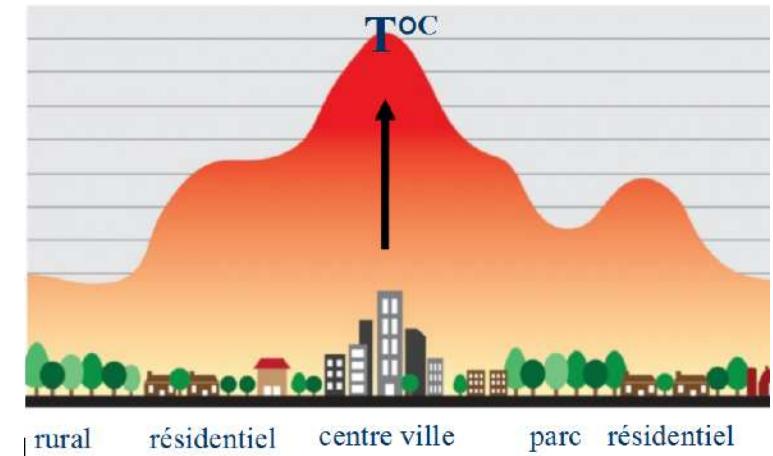
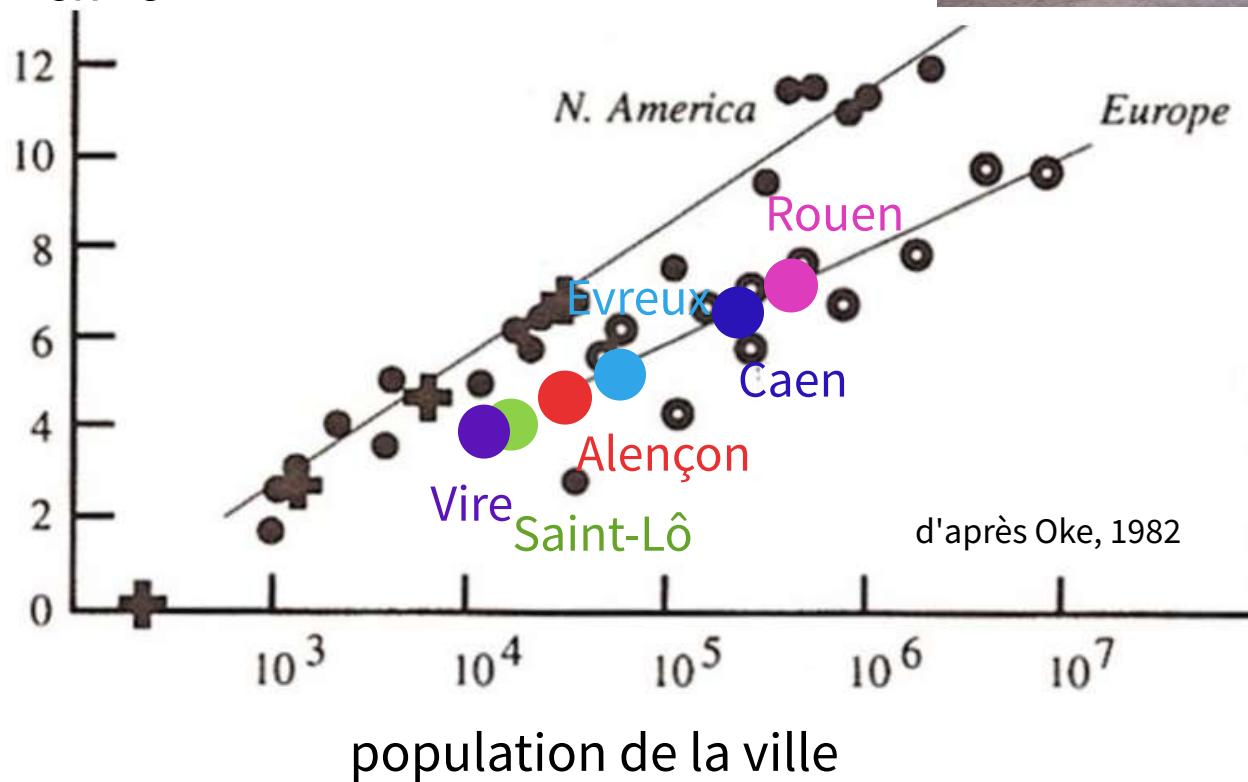


- Dengue
- Chikungunya
- Zika
- Paludisme
- Virus du Nil occidental...

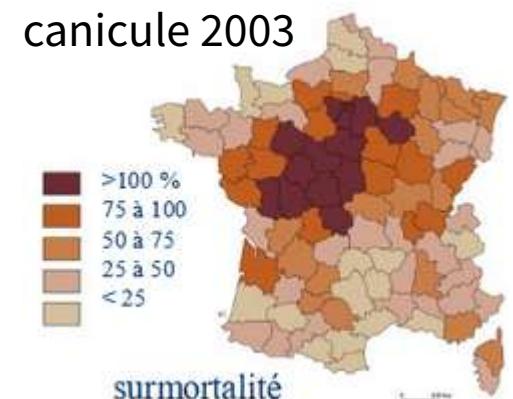


L'îlot de chaleur urbain impacte la qualité de vie des citadins normands et leur santé

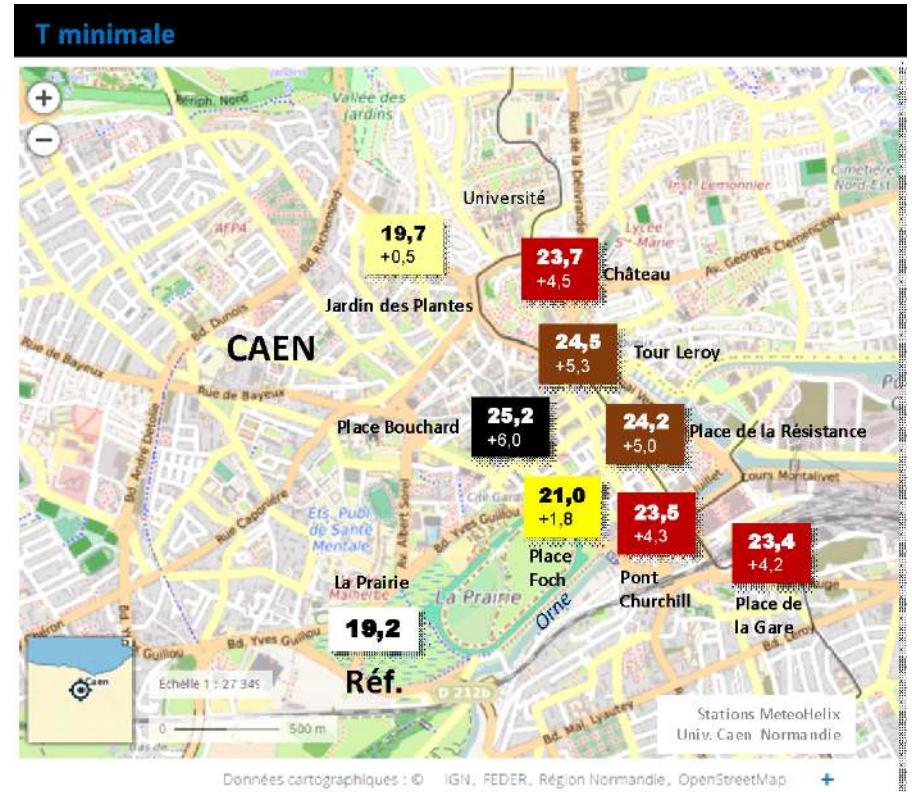
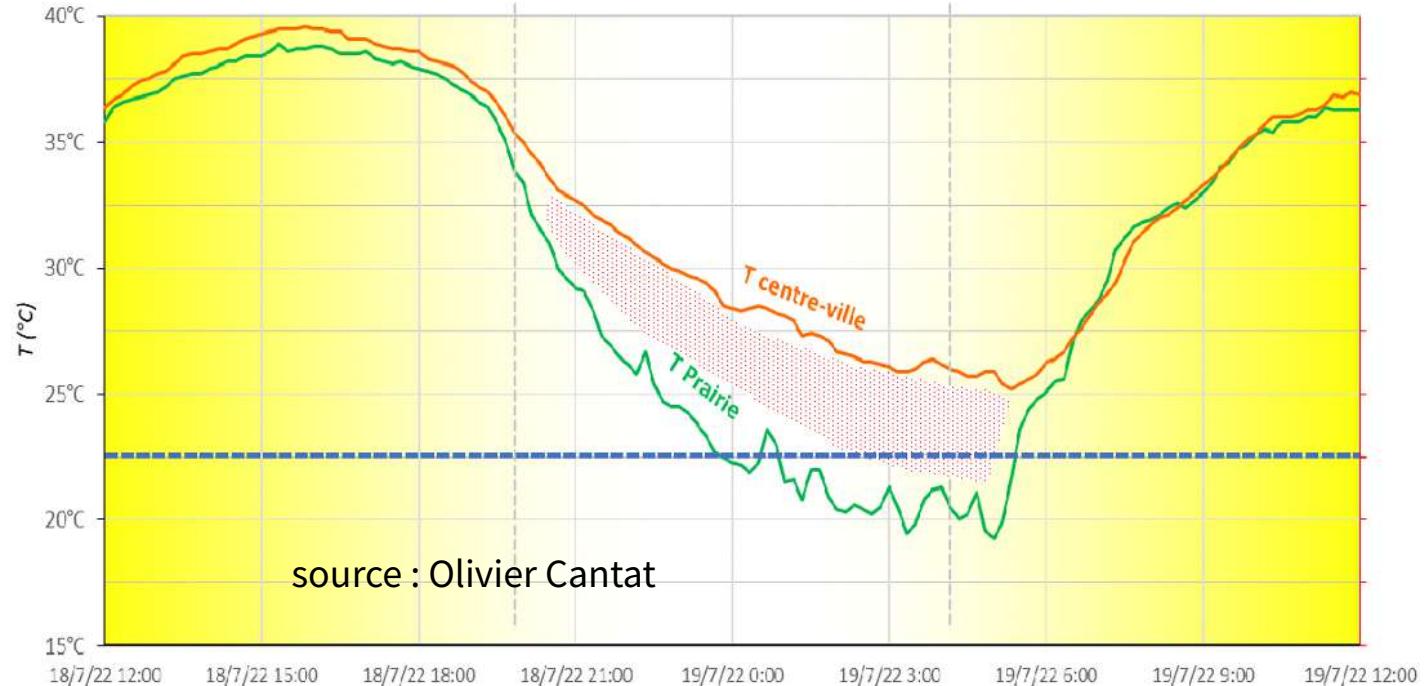
Effet thermique en °C



thermographie d'une ville



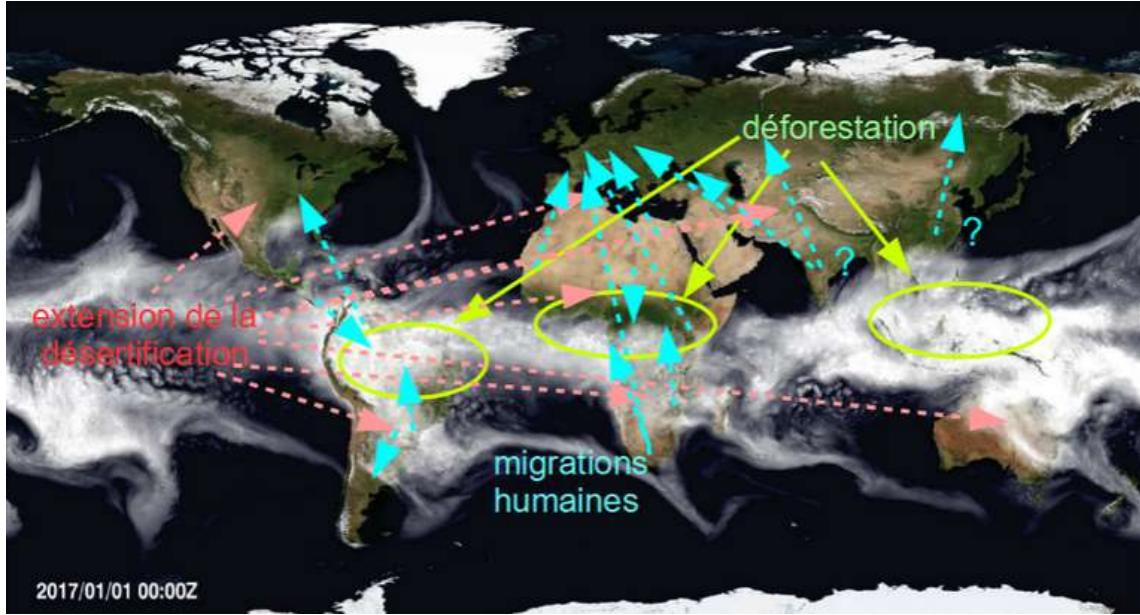
Le rôle de la température de la nappe des alluvions de l'Orne dans la pondération de l'effet d'îlot de chaleur urbain dans Caen. Canicule de juillet 2022



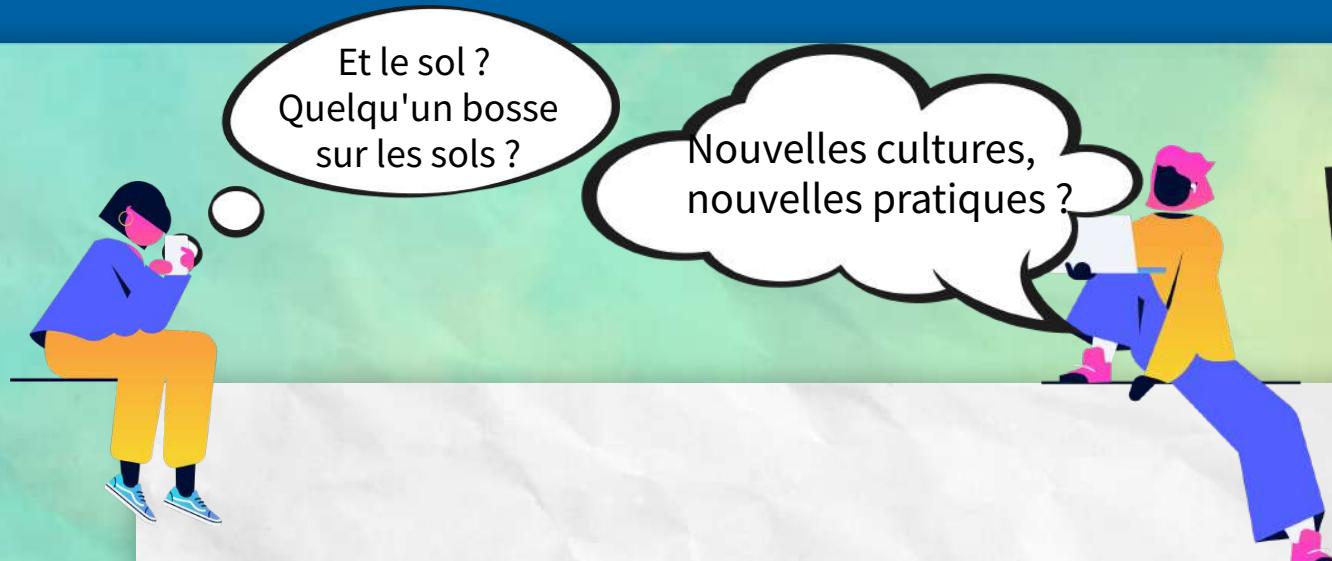
Pas de réseau thermique intra-urbain à Saint-Lô, donc pas d'info sur le rôle joué par la Vire ou la Dollée

Du stress, des risques sociaux, des conflits, de la spéculation boursière, des opportunités mafieuses...

C'est bon, n'en jetez plus.
On a compris !



3-2



L'impact du changement climatique sur l'agriculture

- 1. Santé
- 2. **Agriculture**
- 3. Ressource en eau
- 4. Biodiversité
- 5. Risques naturels
- 6. Mer et littoral



Les sols stockent du carbone mais la dynamique est lente. Elle est fortement perturbée par les activités humaines.

La vitesse de formation des sols

0.1 mm par an pour les sols les plus profonds formés sur limon
moins de 0.005 mm par an pour les sols les plus squelettiques

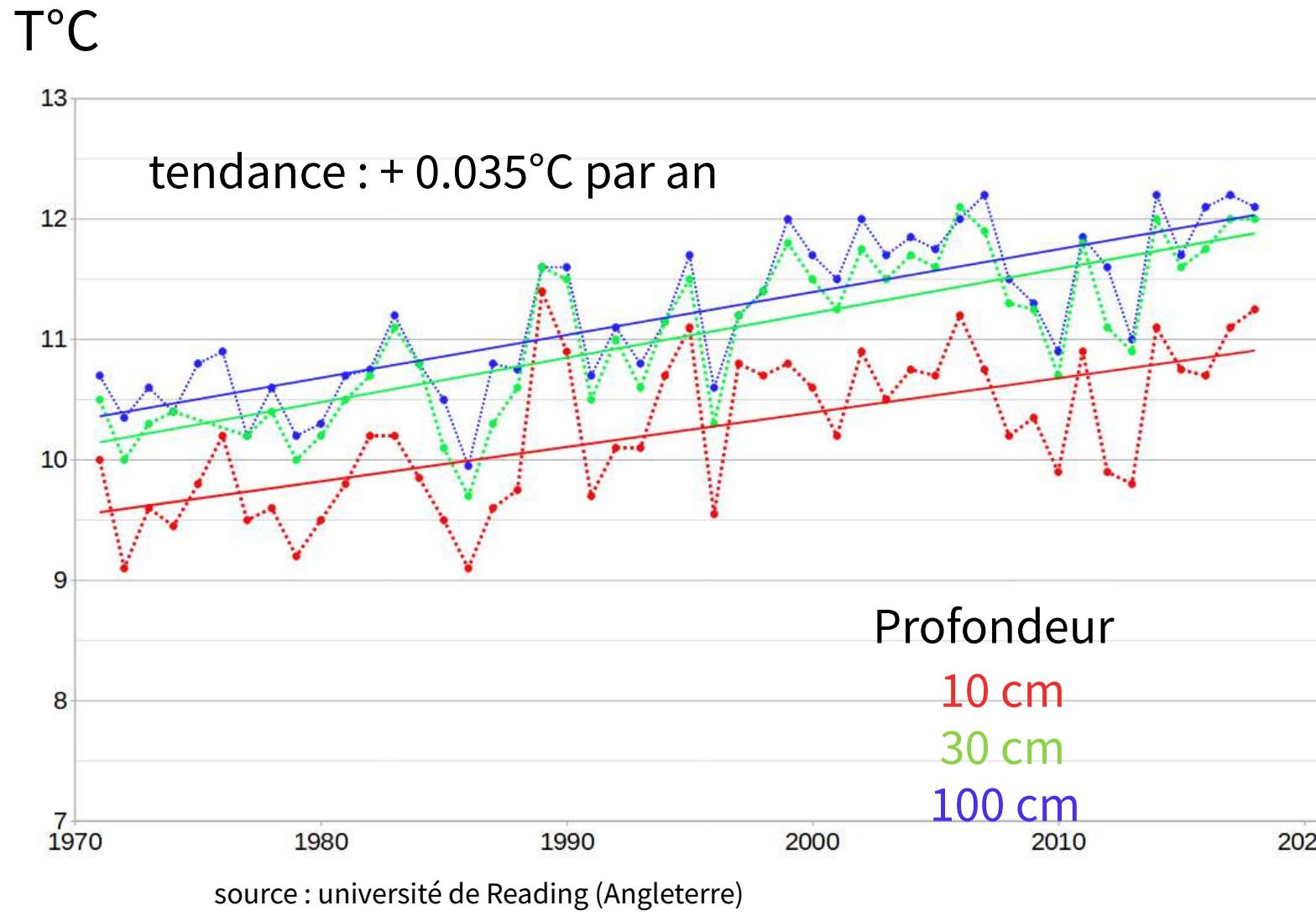
La vitesse d'érosion des sols

Elle est évaluée en France à environ 0.1 mm par an actuellement soit 1.5 T de terre par hectare

Stocker 4 % de carbone de plus par an dans les terres agricoles pour compenser nos émissions de gaz à effet de serre : illusoire probablement !



Evolution de la température moyenne annuelle des sols depuis les années 1970



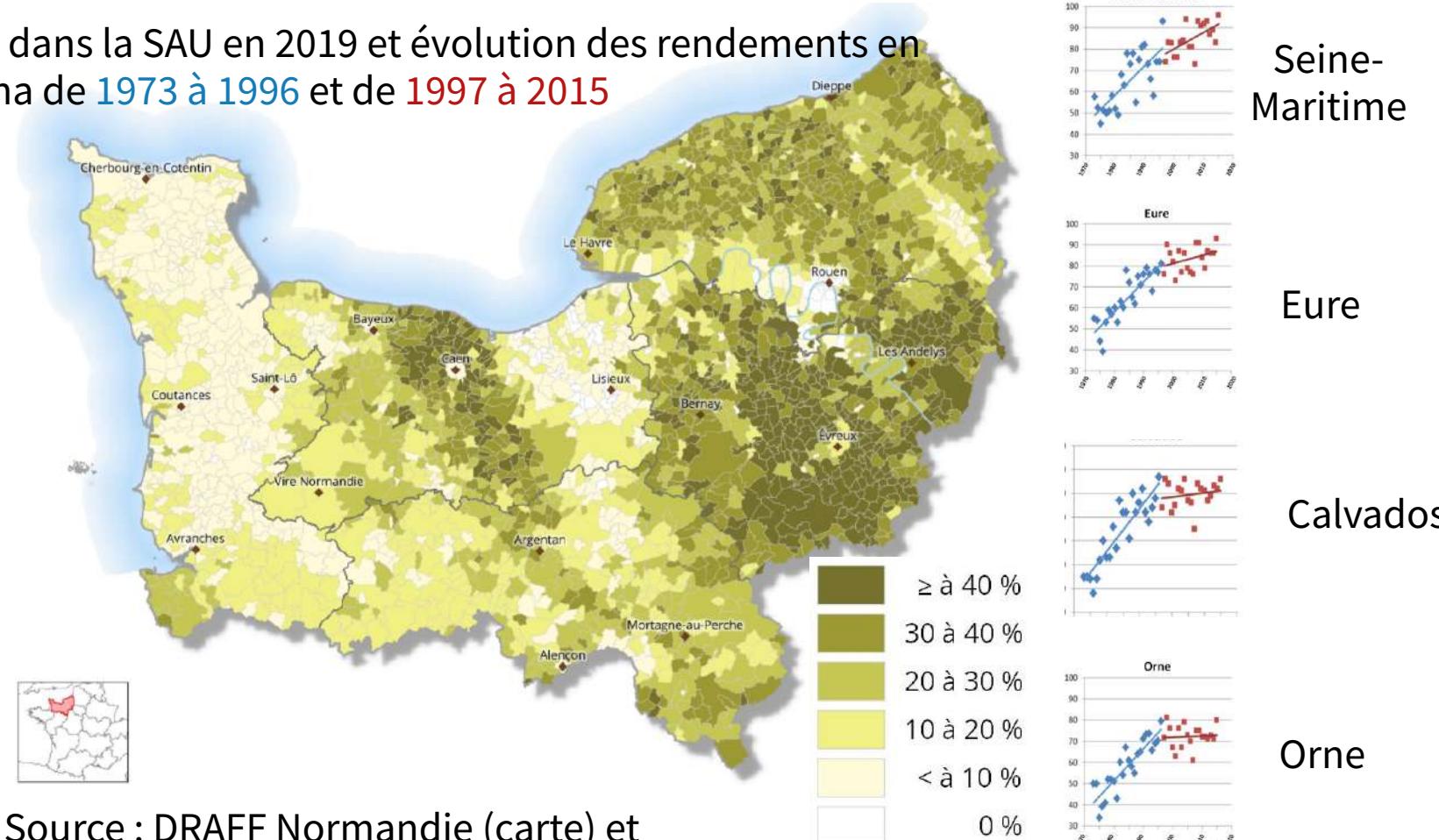
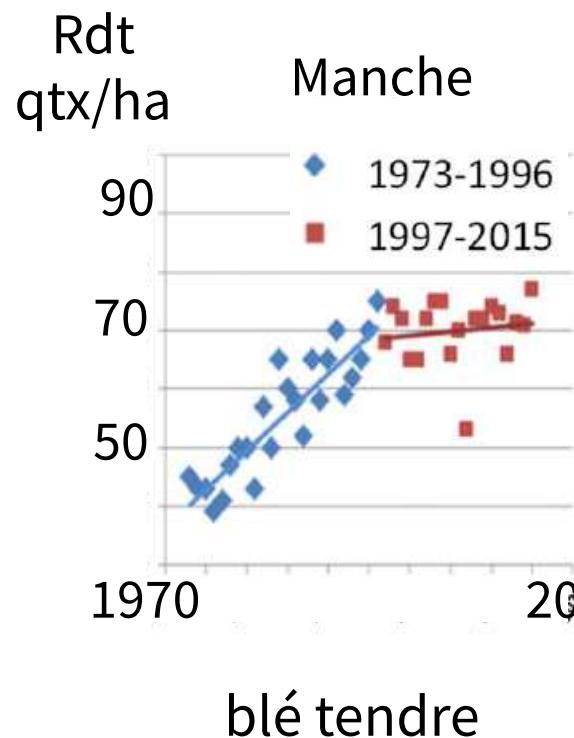
Les besoins en eau de l'agriculture pourraient considérablement augmenter et générer conflits d'usage et impacts majeurs sur les milieux aquatiques

- baisse du niveau des nappes et modification des relations nappes / rivières / zones humides
- Risque de pénétration du biseau salé

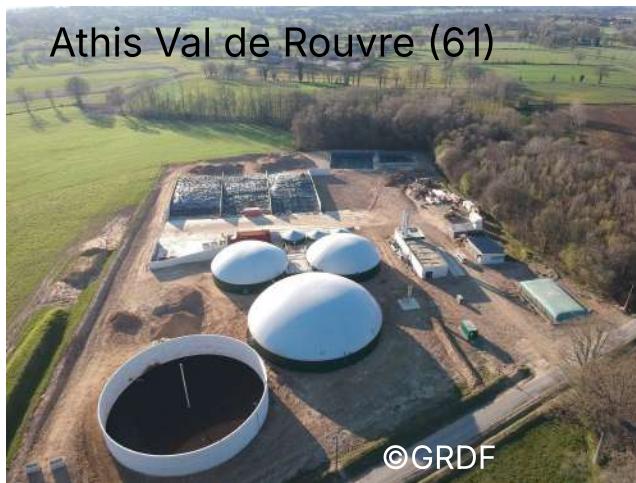


Les rendements de certaines cultures commencent à stagner (blé tendre) là où d'autres augmentent encore (betterave sucrière)

Part des surfaces de blé tendre dans la SAU en 2019 et évolution des rendements en quintaux par ha de 1973 à 1996 et de 1997 à 2015



Des paysages agraires en mutation : nouvelles cultures, disparition des prairies et des haies, développement des énergies renouvelables



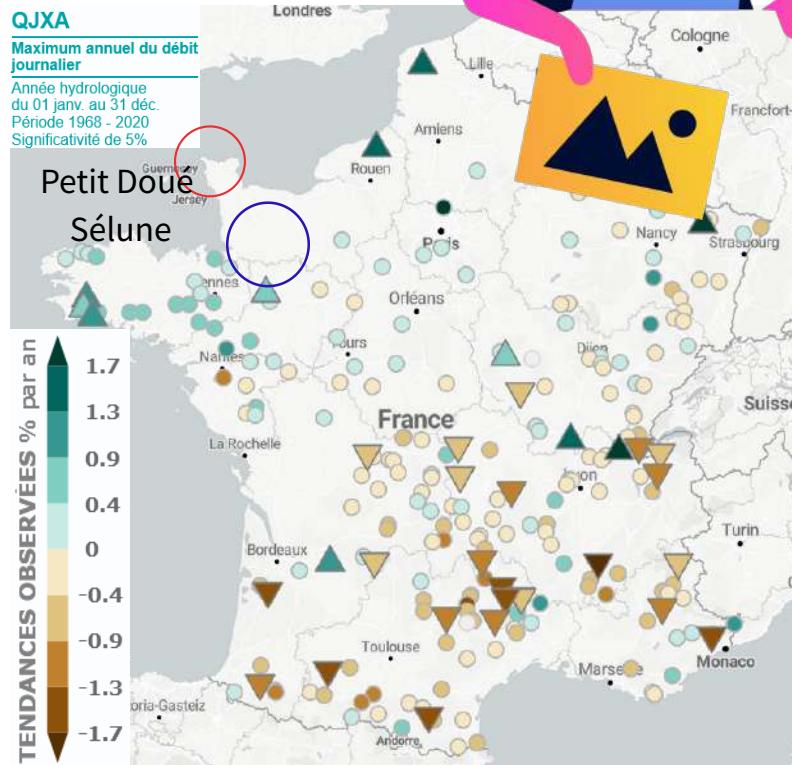


Certains ont déjà
décroché à ce que je
vois !

3-3 | *Impact du changement climatique sur les ressources en eau*

- 1. Santé
- 2. Agriculture
- 3. **Ressource en eau**
- 4. Biodiversité
- 5. Risques naturels
- 6. Mer et littoral

Augmentation du débit maximum journalier annuel des rivières du Nord-Ouest de la France

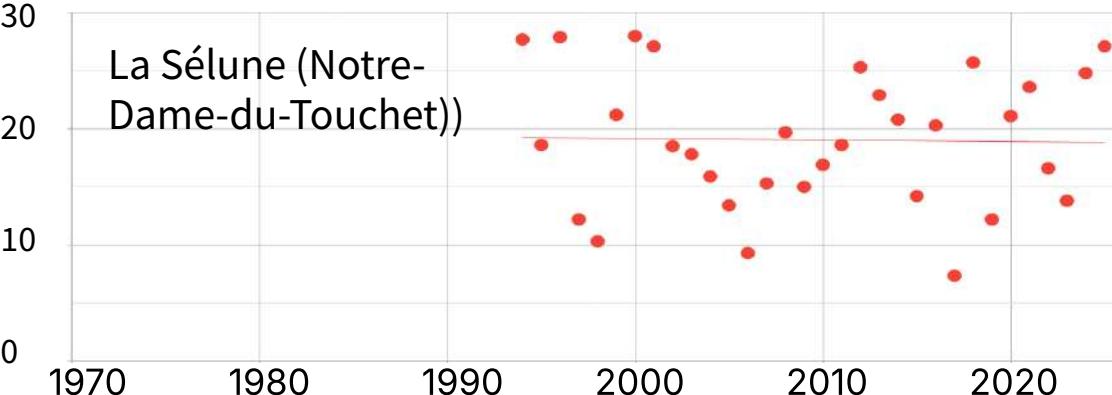
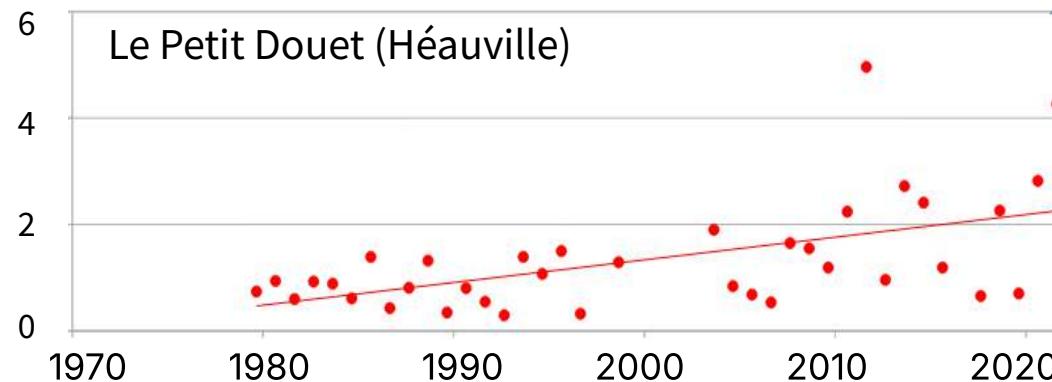


source : <https://makaho.sk8.inrae.fr/>
et DREAL Normandie/SRN/B2HPC

Les débits des rivières du Nord de la France semblent s'orienter à la hausse en hiver

Attention, chaque rivière répond différemment aux effets du changement climatique

$Q \text{ m}^3/\text{s}$





Probable : vers des hivers plus pluvieux et des pluies plus intenses donc une accentuation des risques d'érosion, de ruissellement, d'inondation et de dégradation de la qualité des milieux aquatiques

- Impact sur la productivité des sols (perte en matière organique) : baisse de rendement
- Augmentation de la charge en nutriments (azote et phosphore) et en sédiments des eaux ruisselées avec augmentation de la turbidité des cours d'eau : impact sur la biodiversité et la production d'eau potable (eau de surface et karst)
- Effets sur l'eutrophisation y compris littorale en lien avec les apports en nutriments : impacts sur la biodiversité, la pêche, la conchyliculture, les activités balnéaires...
- Augmentation du risque d'inondation



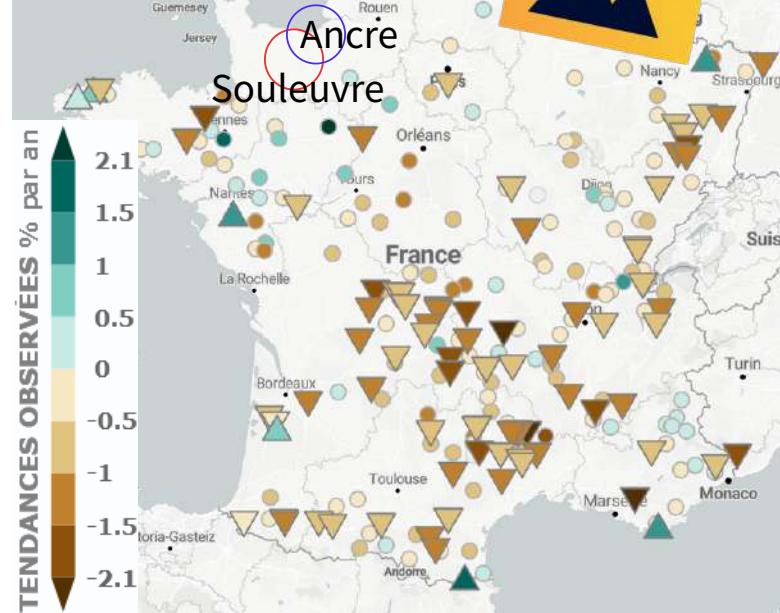
Le débit moyen minimal sur 10 jours consécutifs orienté à la baisse ou à la hausse selon l'importance des capacités aquifères du bassin versant et de multiples autres paramètres



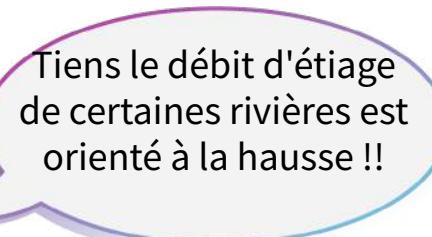
VCN10

Minimum annuel de la moyenne sur 10 jours du débit journalier

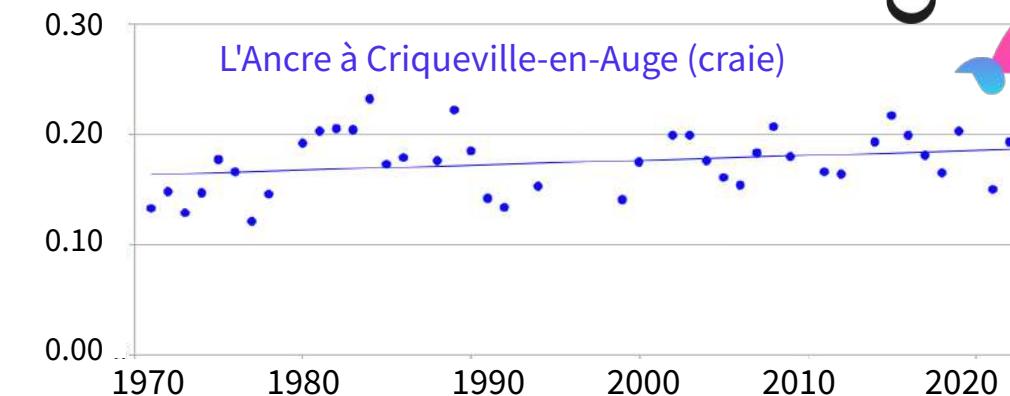
Année hydrologique du 01 janv. au 31 déc.
Période 1968 - 2020
Significativité de 10%



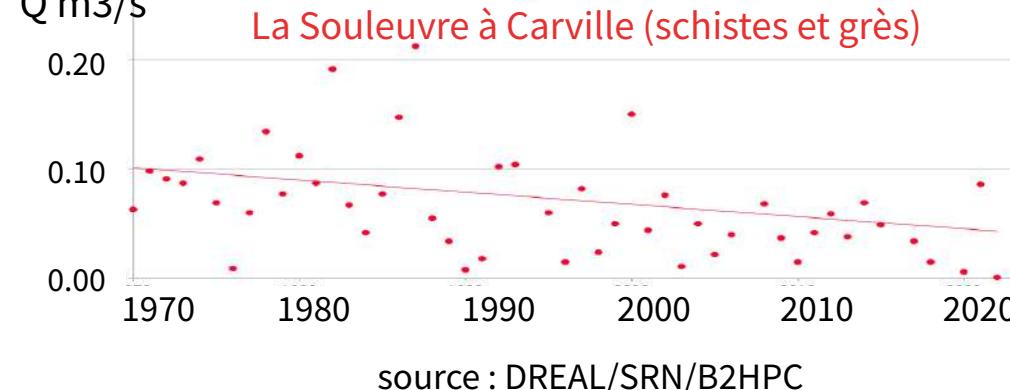
source : <https://makaho.sk8.inrae.fr/>



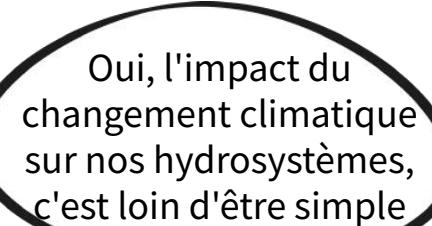
$Q \text{ m}^3/\text{s}$



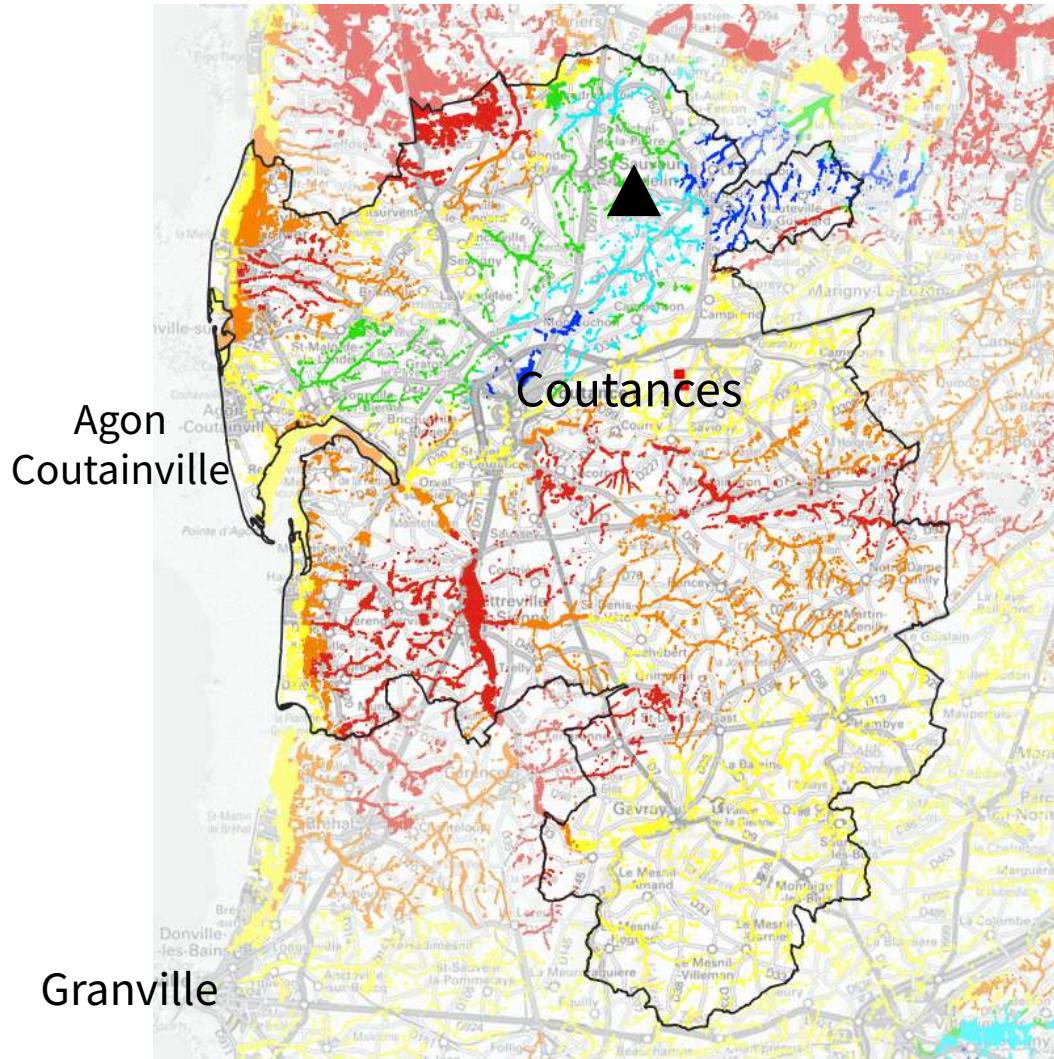
$Q \text{ m}^3/\text{s}$



source : DREAL/SRN/B2HPC



De l'eau mais pas trop !



Productivité aquifère en étiage

 faible
 modérée
 bonne

 station pompage Taute à
Saint-Sauveur-Lendelin

Probable : vers des étés plus secs, plus chauds et plus longs

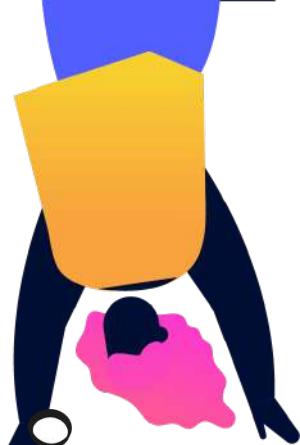


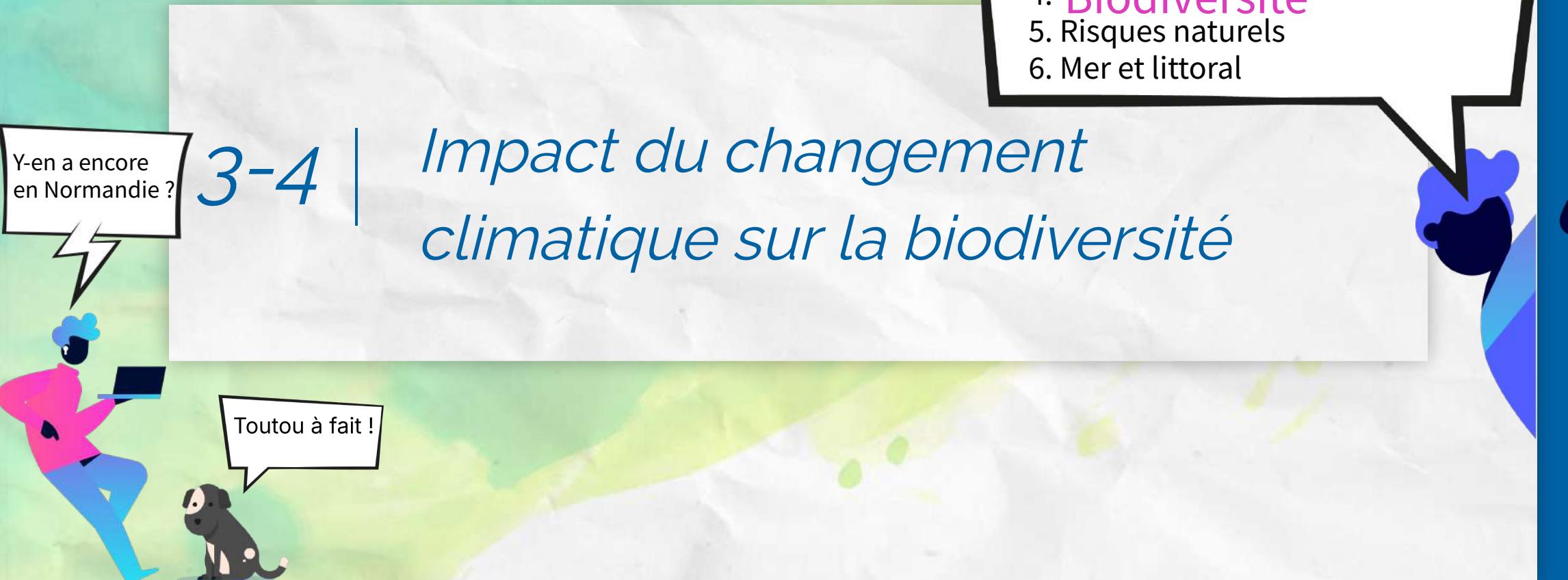
©Roland Godefroy, CC-BY-SA – Wikimanche.fr
La Sienne au Pont-de-la-Roche

- diminution des débits d'étiage notamment sur la Sienne et ses affluents avec sur-concentration des polluants
- accroissement des contraintes de libre circulation pour les poissons
- élévation de la température des rivières avec baisse de la concentration en oxygène dissous
- développement d'algues (macrophytes et micro-algues) avec libération possible de toxines
- les étés de type 2022 deviennent la norme à partir de 2050

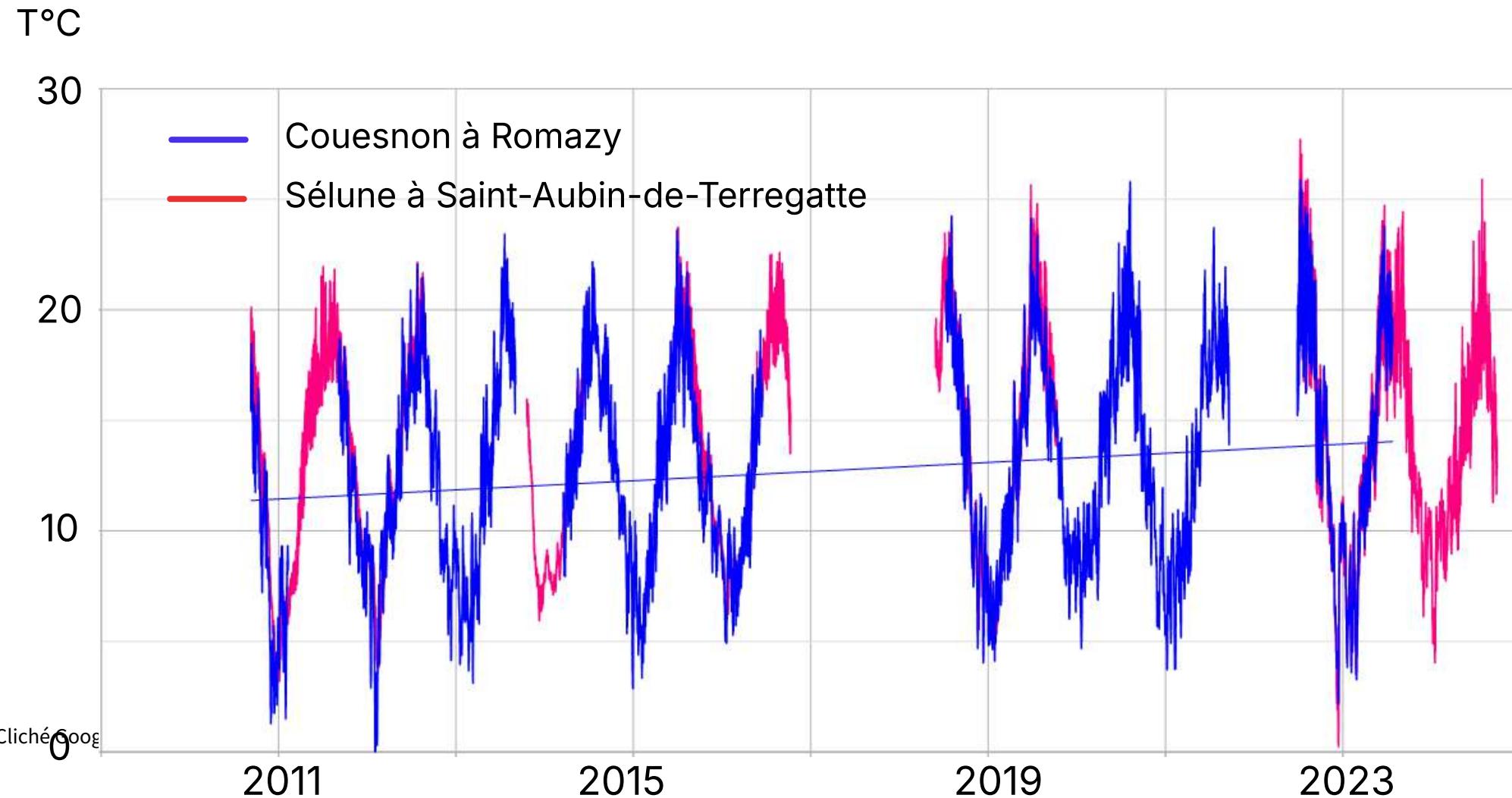
On peut craindre des assecs dans le futur?

Oui pour certains petits affluents de la Sienne probablement





Une forte hausse de la température des cours d'eau



Des milieux aquatiques continentaux et littoraux soumis à un stress croissant

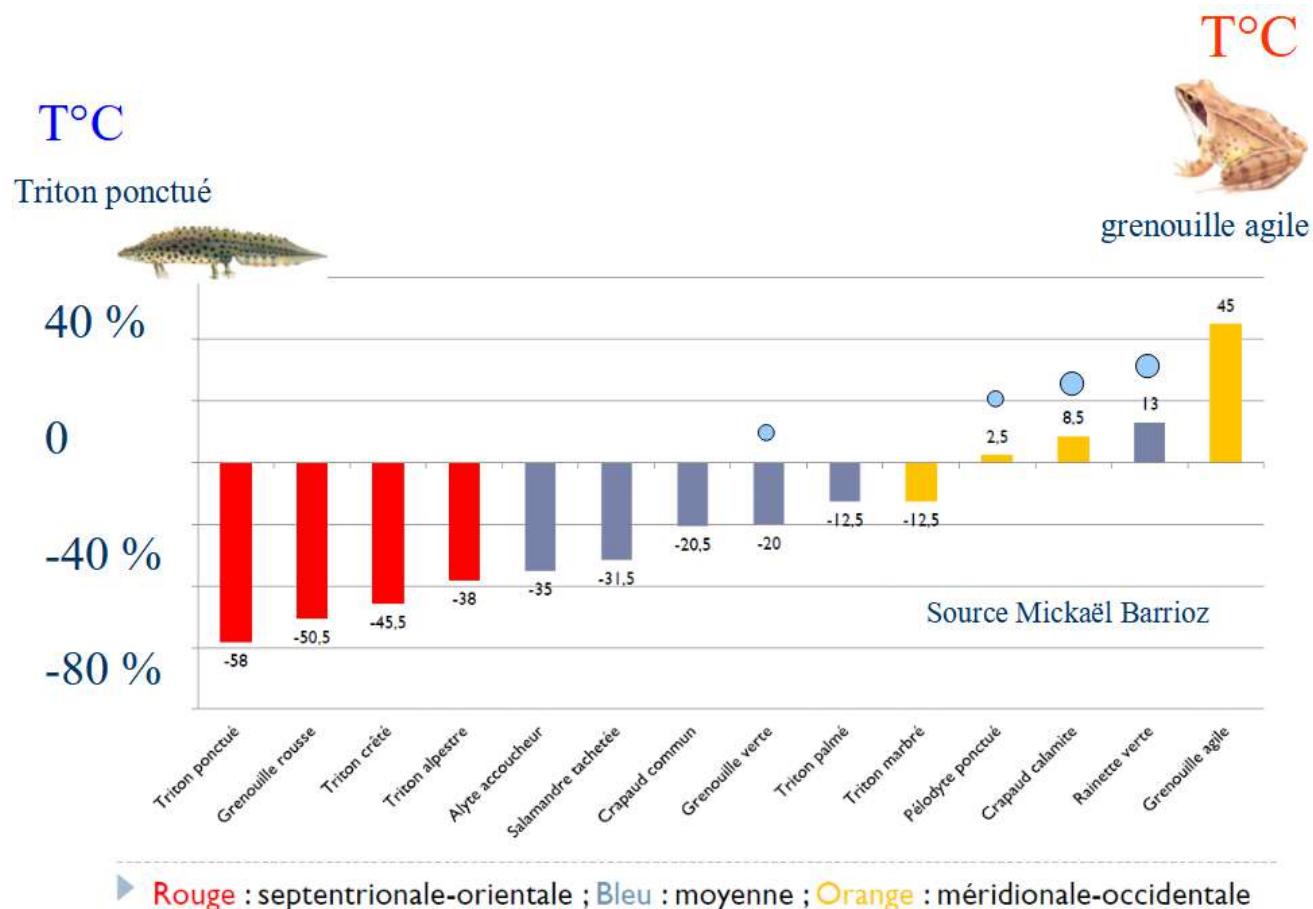


Emergence d'eau souterraine sur
une plage du Bessin
s'accompagnant d'eutrophisation



- sur-concentration des polluants
- difficulté d'accès aux refuges thermiques pour les poissons en période caniculaire (faible niveau d'eau, problème de libre-circulation)
- baisse de la concentration en oxygène dissous, indispensable à la respiration de nombreux organismes aquatiques
- développement d'algues (macrophytes et micro-algues) avec libération possible de toxines
- problème de recyclage de la matière organique et des nutriments
- migration / remplacement des espèces d'eau fraîche par des espèces thermotolérantes

Un turn over biologique se met en place. Exemple chez les batraciens normands

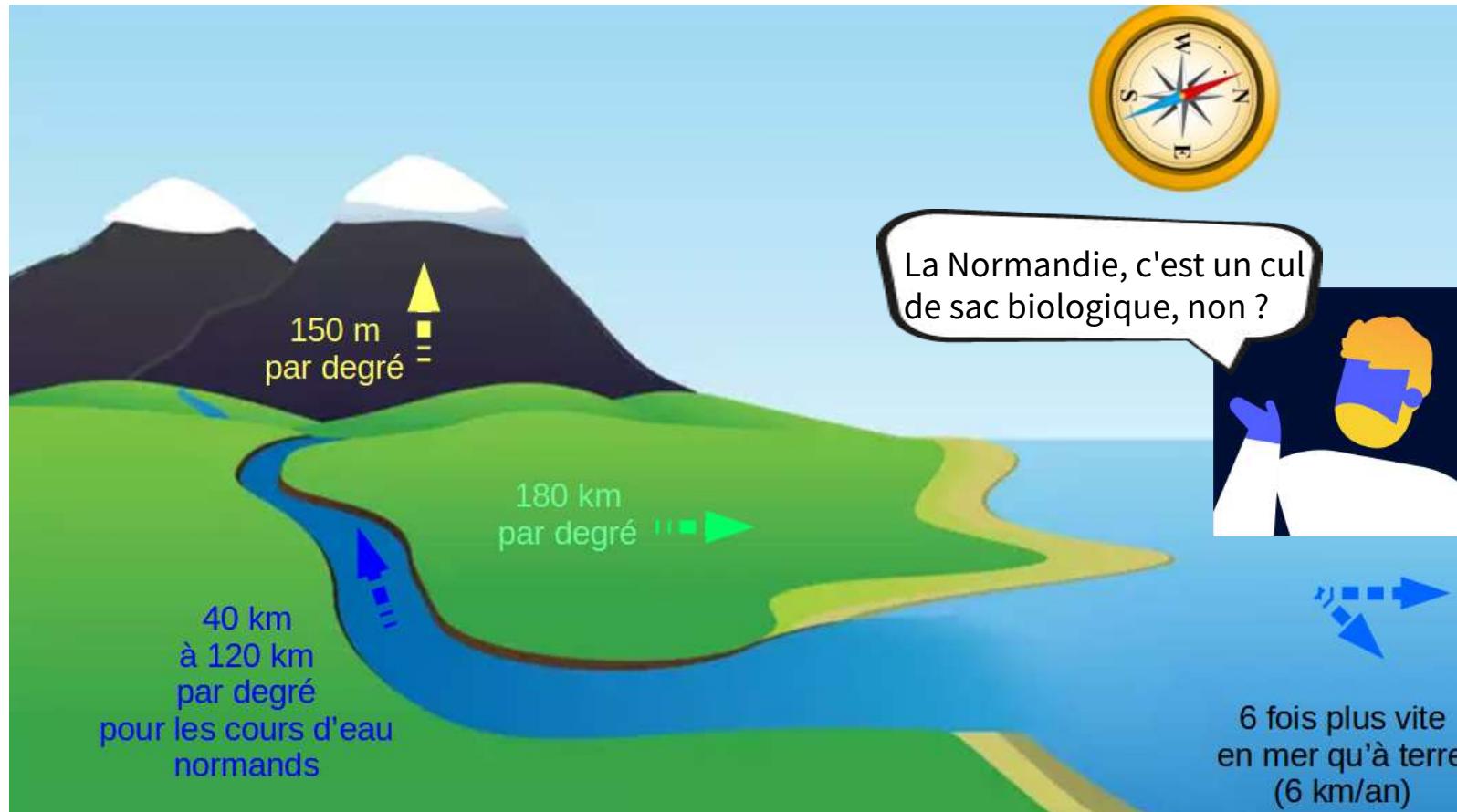


source : M. Barrioz

- La majorité des populations du réseau de suivi des batraciens normands est en baisse
- Celle-ci est liée aux activités humaines en général (suppression ou détérioration des habitats)
- Les espèces thermo-tolérantes sont en augmentation
- Les espèces s'accommodant du sel déclinent peu ou progressent
- Des biais possibles liés à la distribution / densité des mares suivies lors des inventaires



Chaque espèce doit trouver un nouvel habitat en accord avec ses exigences physiologiques en se déplaçant vers les pôles, en altitude, en profondeur, ou en remontant vers l'amont des cours d'eau, selon les milieux considérés.



- La vitesse climatique théorique peut-être très différente de la vitesse réelle du fait de la fragmentation des territoires
- Certaines espèces comme les amphibiens, ne savent pas réguler leur température interne et doivent donc se déplacer
- Certaines espèces ont des capacités de déplacement très limitées

4-4

Impacts du changement climatique sur les risques naturels

- 
- 1. Santé
 - 2. Agriculture
 - 3. Ressource en eau
 - 3. Biodiversité
 - 4. **Risques naturels**
 - 5. Mer et littoral



Intempéries en France

- Dans les années 1980, en moyenne 1 milliard d'euros par an de dommages
- Dans les années 2010, 3,5 milliards d'euros par an
- Grêle 2022 : 500 000 voitures endommagées pour 5.1 milliards d'euros de dégâts
- 2022 : 10.6 milliards d'euros de dommages climatiques en France



Bihucourt (@Anthony Choquet)



Vanxains, Dordogne 2022 source SudOuest



Tornade de Bihucourt (Pas de Calais) 2022



Les risques d'incendie à la hausse : feu de cultures, de landes et de forêts



source : le Parisien

Les boisements implantés sur des roches très dures ou en forte pente sont des menaces potentielles



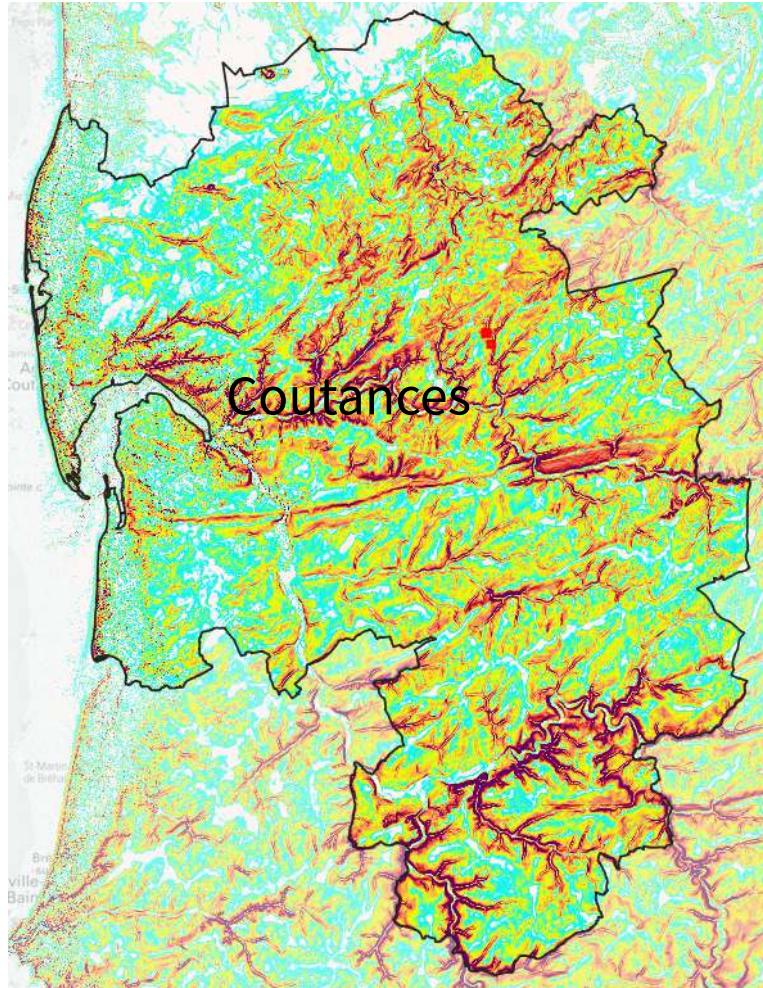
source : sapeurs-pompiers35
Saint-Aubin-du-Cormier



Les sols forestiers sont souvent peu épais, avec une réserve hydrique limitée. Comment résisteront-ils aux effets cumulés de la baisse de la pluviométrie estivale et de l'élévation de l'évapo-transpiration ?



Les terrains disposant de pente forte sont souvent boisés, du fait de la faible épaisseur de leur sol et de leur charge en cailloux



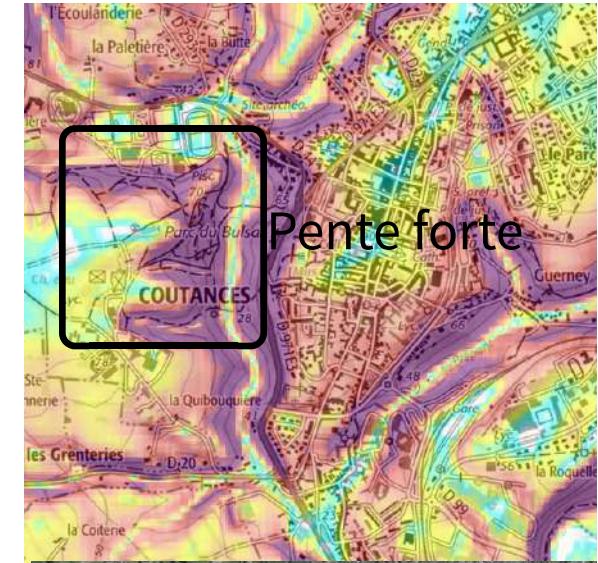
Pentes



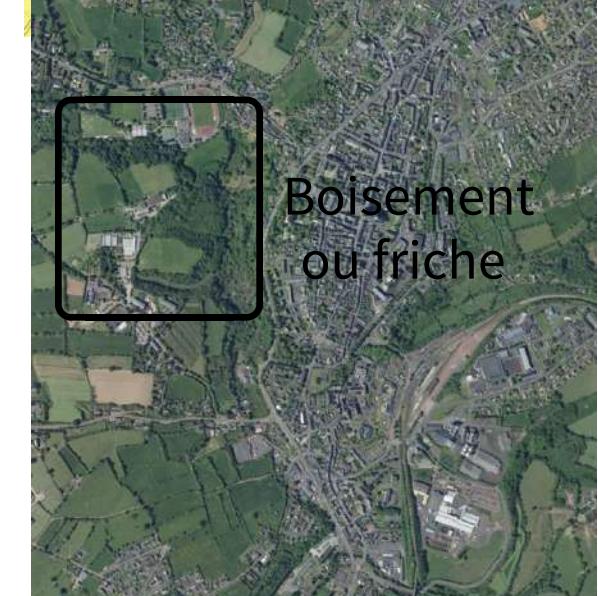
faible

modérée

forte



Pente forte

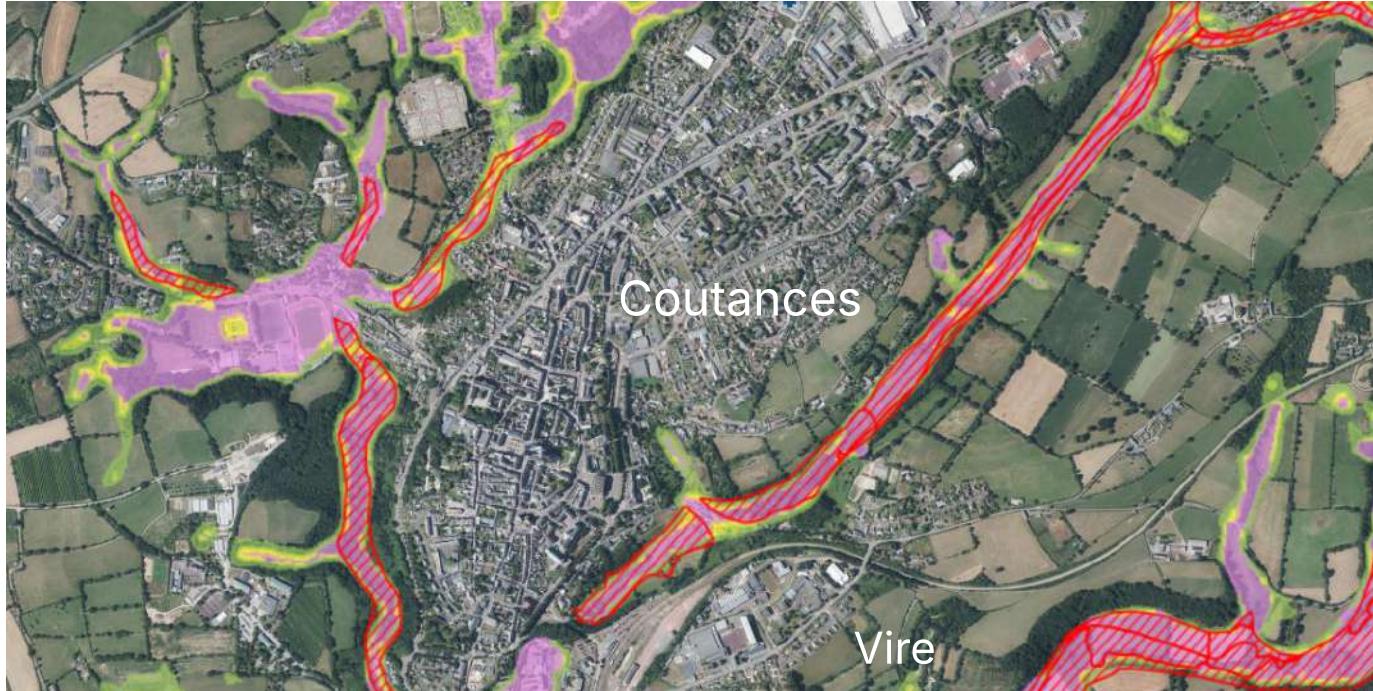


Boisement
ou friche

Les risques d'inondation devraient eux aussi augmenter du fait de cumuls pluviométriques hivernaux en hausse et de l'intensification des pluies



risques d'inondation :



- par débordement de cours d'eau (en rouge)
- par débordement de nappe (en rose)
- par ruissellement (non cartographié)

Une augmentation du risque de chute de roches du fait de l'intensification des pluies

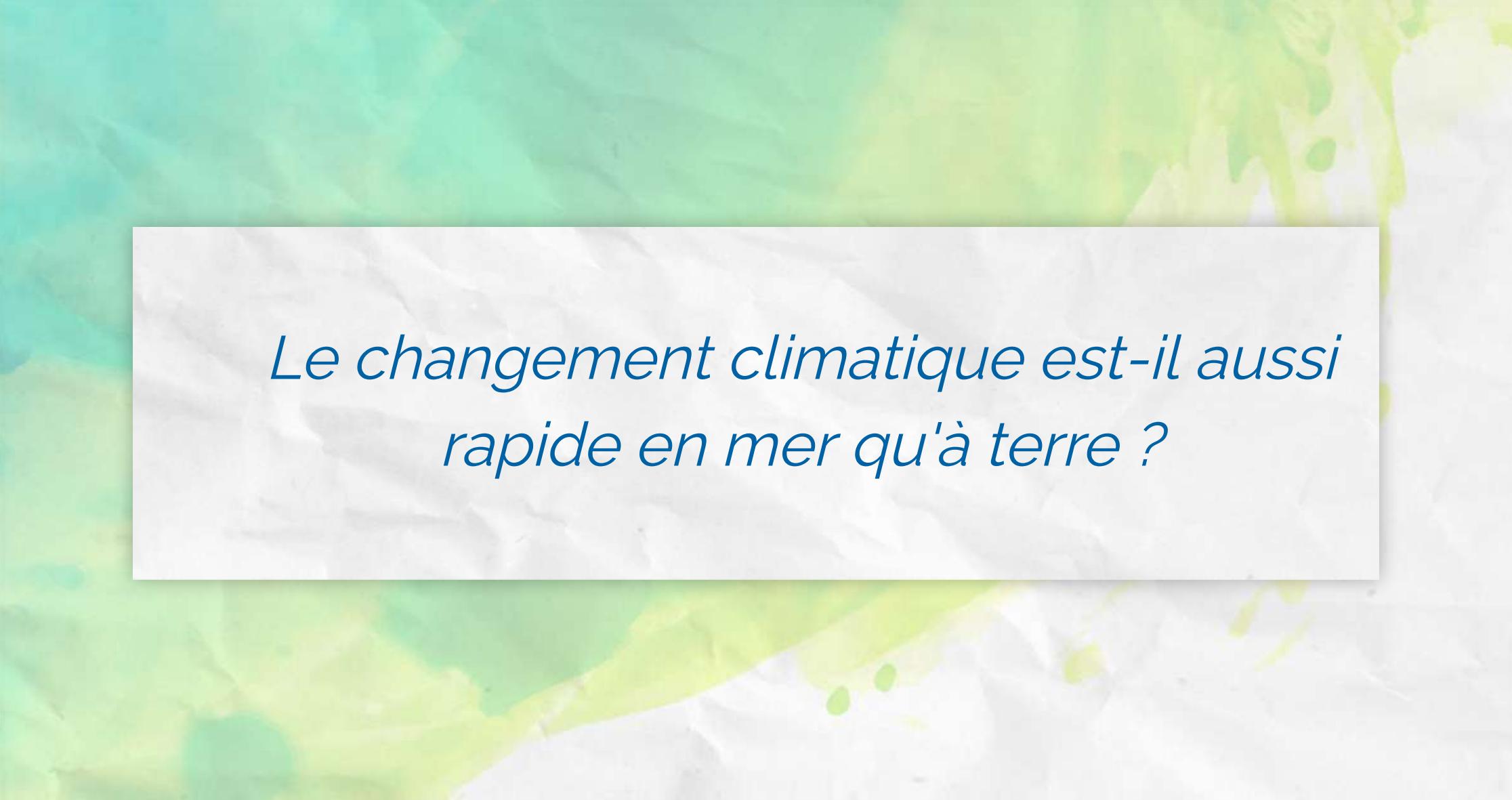


3-6 |

Impacts du changement climatique sur le littoral normand et ses activités

- 1. Santé
- 2. Agriculture
- 3. Ressource en eau
- 4. Biodiversité
- 5. Risques naturels
- 6. **Mer et littoral**

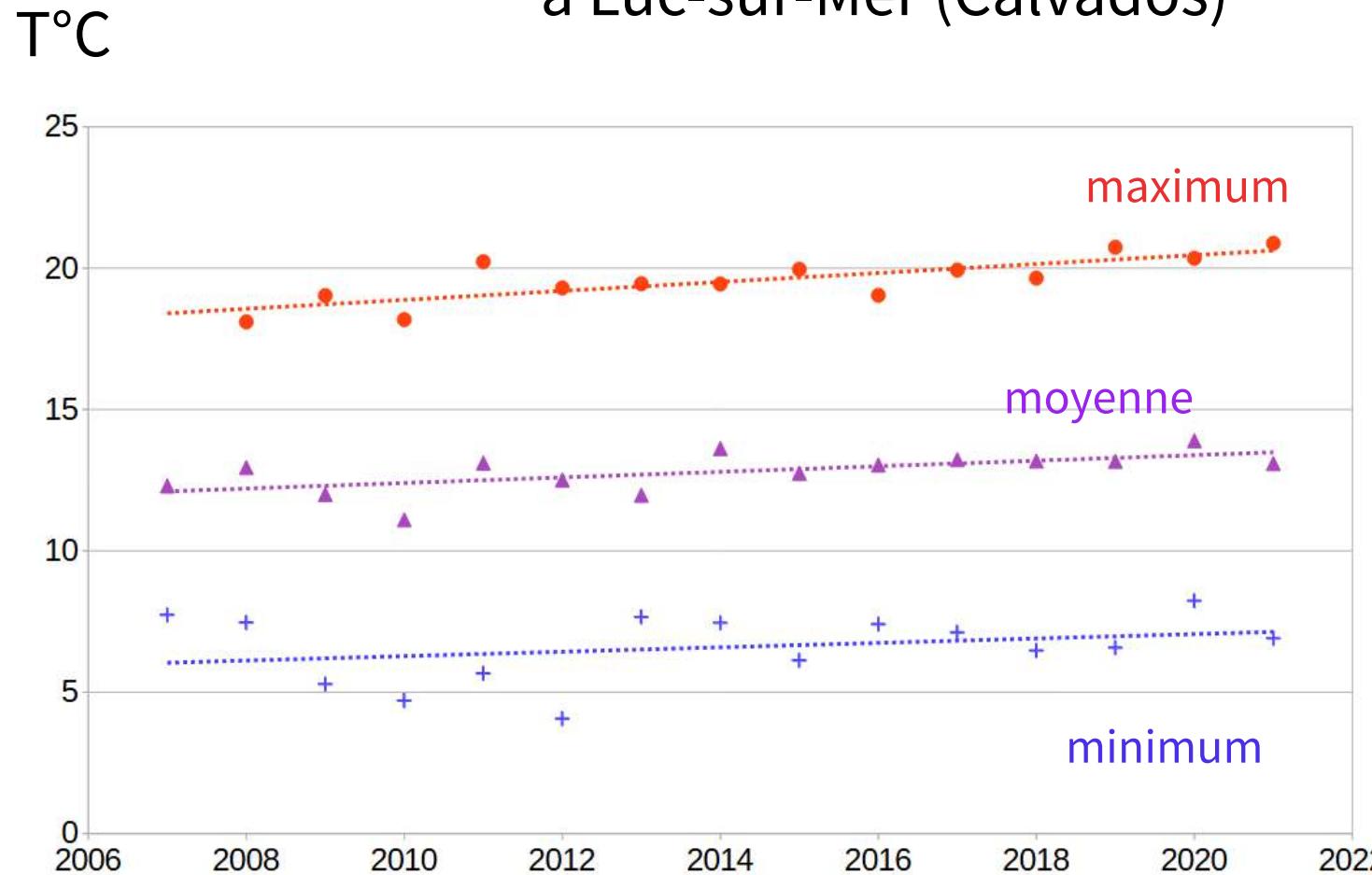




*Le changement climatique est-il aussi
rapide en mer qu'à terre ?*

La température de l'eau de mer est en forte augmentation

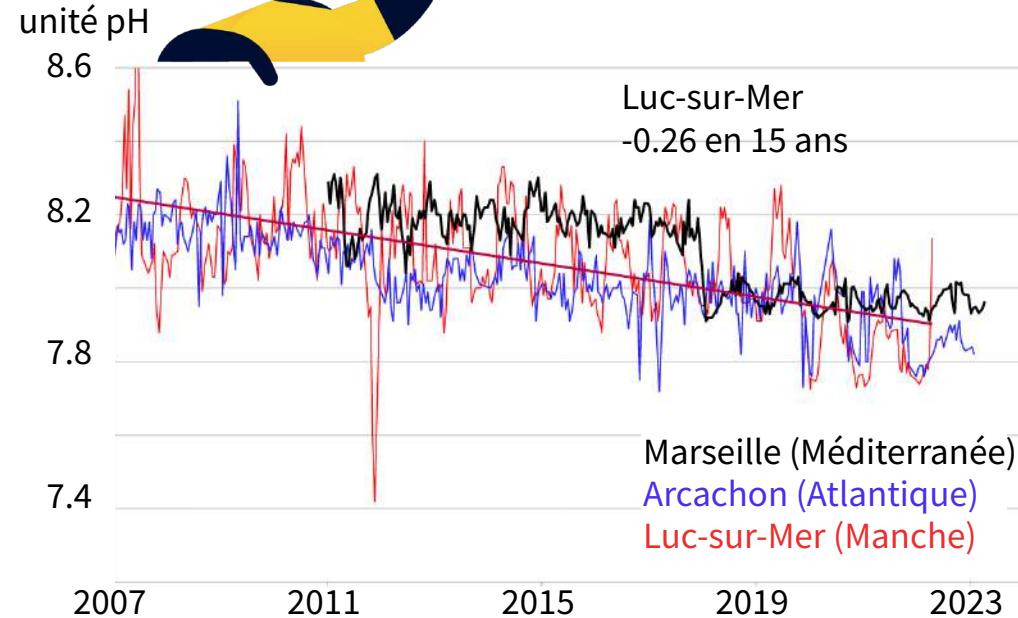
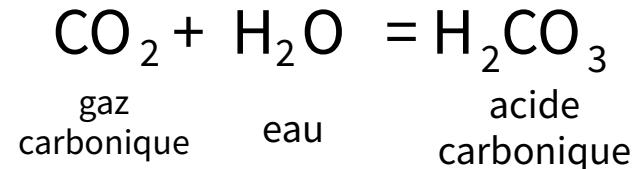
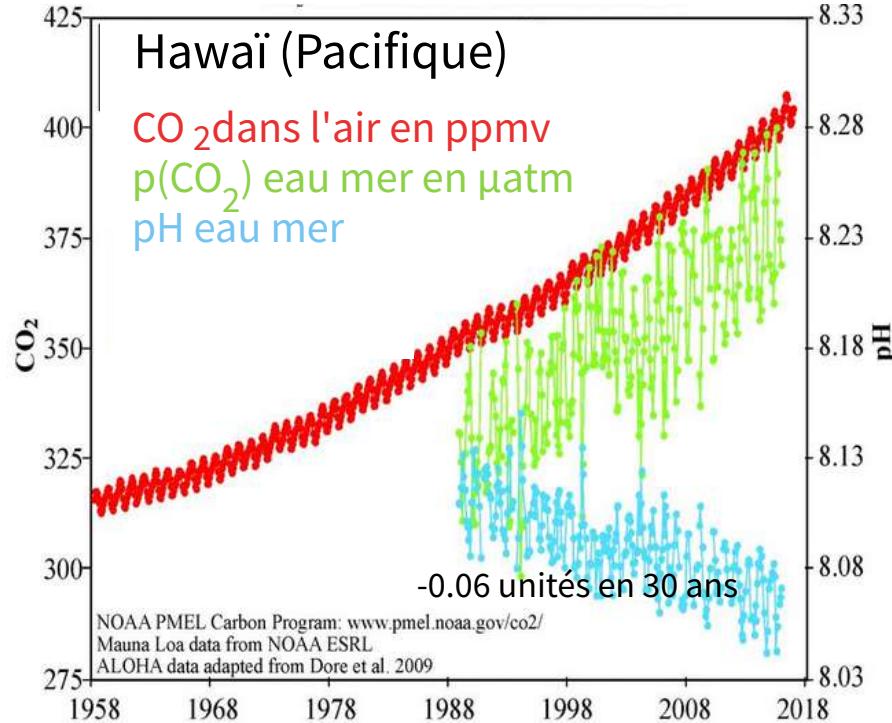
Evolution de la température de surface à Luc-sur-Mer (Calvados)



source : somlit



L'eau de mer et des océans est en voie d'acidification

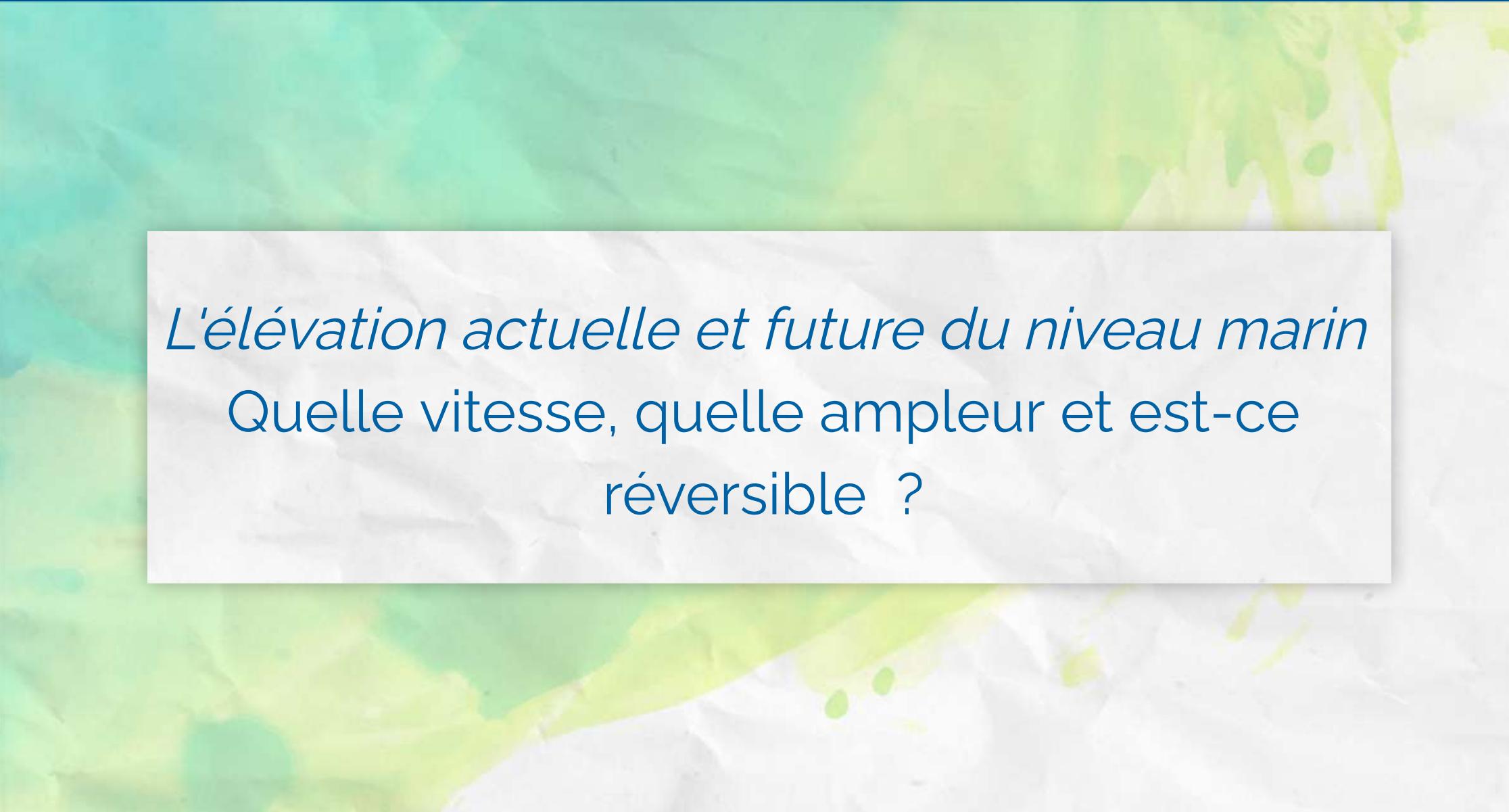


Un stress physiologique généralisé, une moindre disponibilité des carbonates

Mais où est le problème ?

Des coquilles moins bien formées, la biomasse en baisse

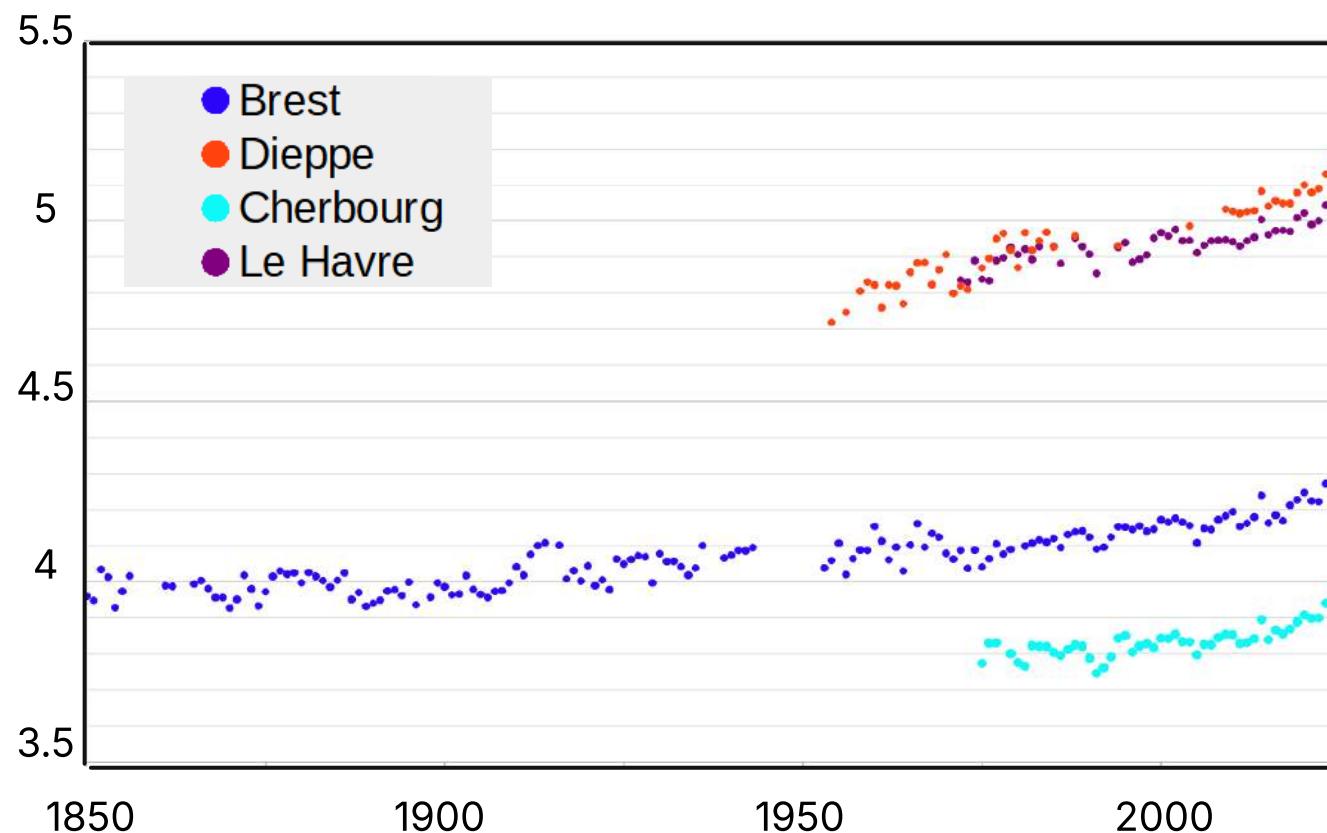




L'élévation actuelle et future du niveau marin
Quelle vitesse, quelle ampleur et est-ce
réversible ?

Evolution du niveau marin le long des côtes de la Manche

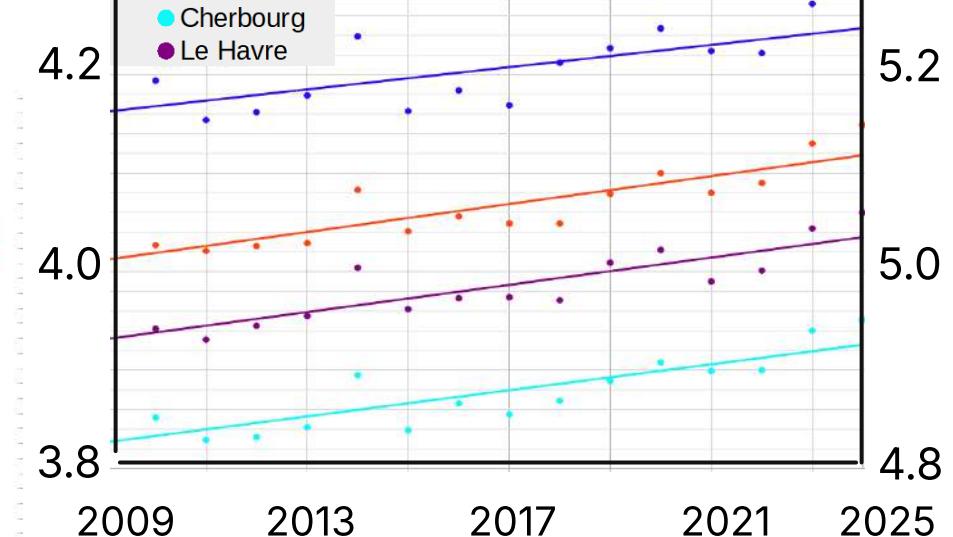
Cote
marégraphique
en m



Cote
Brest
Cherbourg

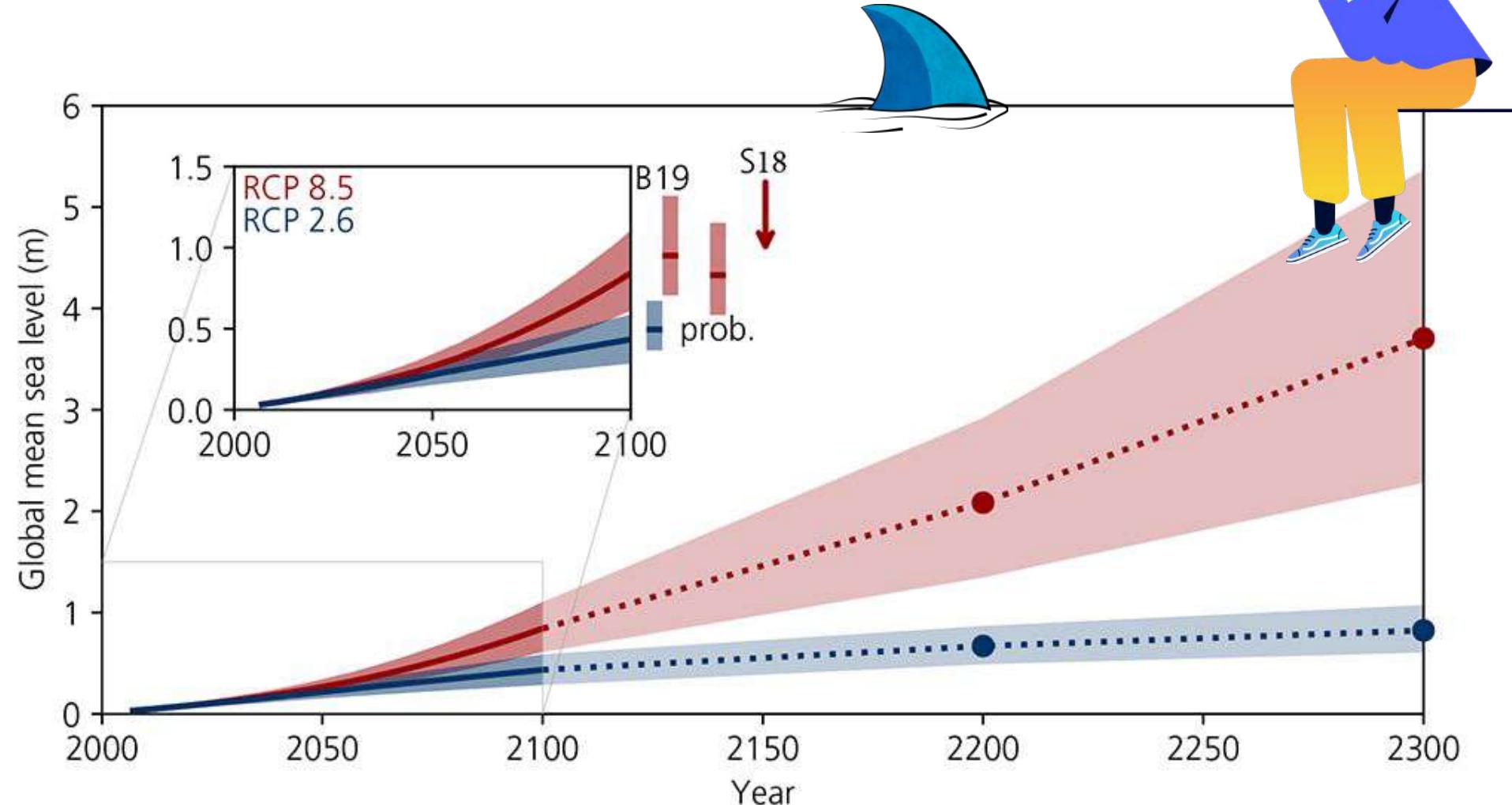
Brest
Dieppe
Cherbourg
Le Havre

Cote
Dieppe
Le Havre

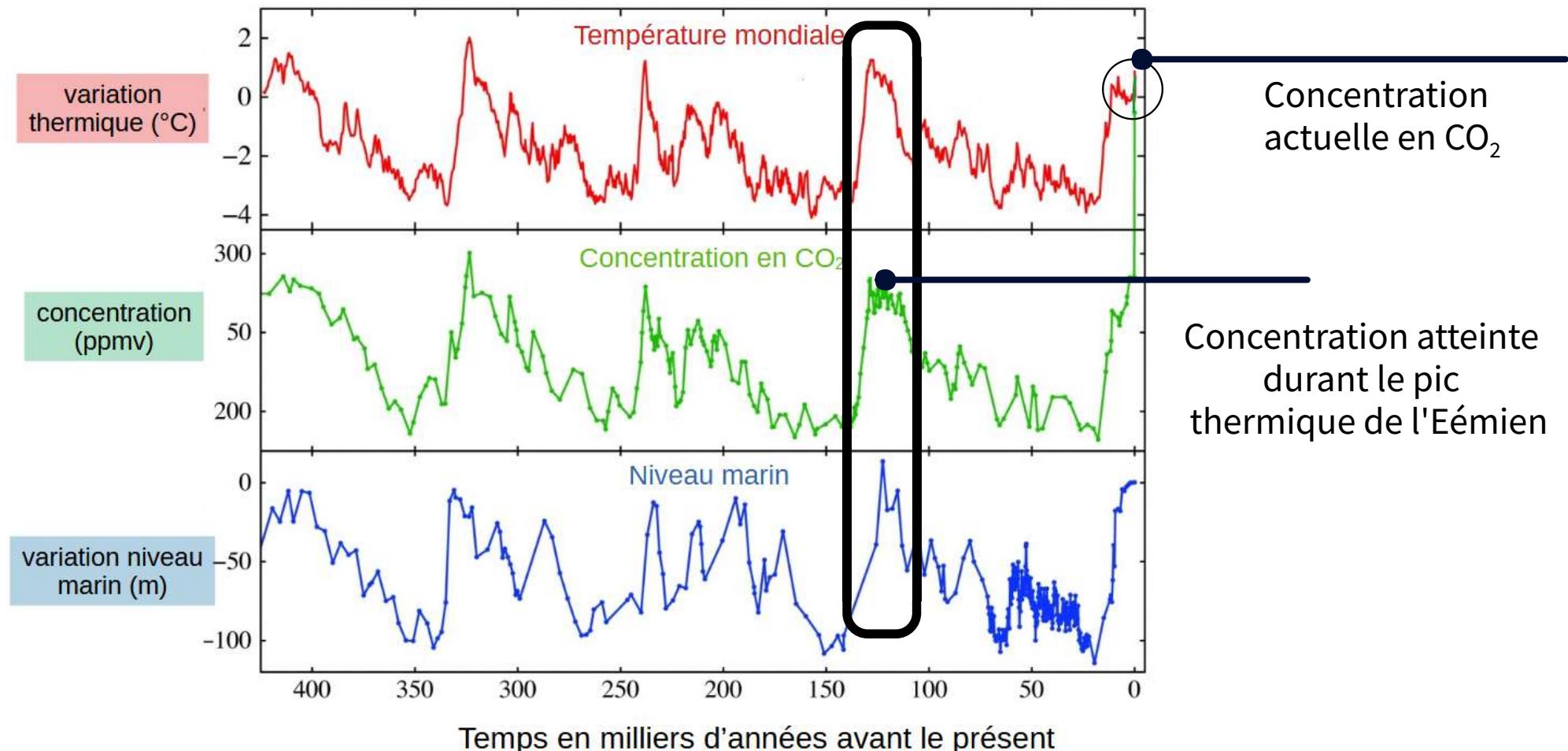


partie terminale de la série
+ 6 mm par an à Dieppe

L'élévation du niveau marin va intervenir des siècles durant



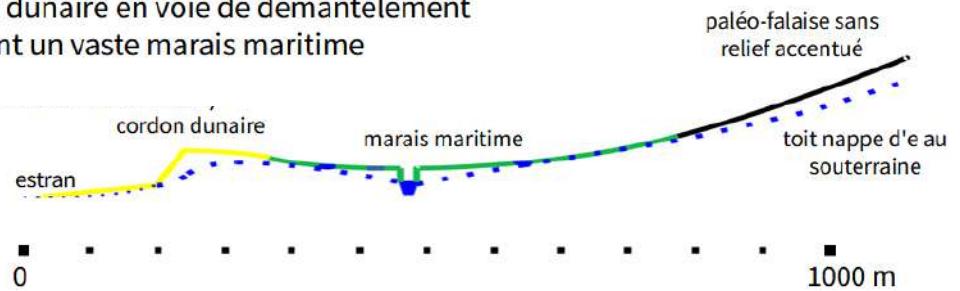
Au cours de l'Eémien, il y a 125 000 ans, le niveau marin a été plus élevé de 6 à 9 mètres qu'actuellement. Les concentrations de gaz à effet de serre dépassent désormais très largement celles atteintes pendant cette période. On peut donc craindre dans les siècles à venir que le niveau marin dépasse celui atteint par la Manche durant cet interglaciaire



Progressivement, les côtes basses devraient disparaître au bénéfice de côtes à falaise

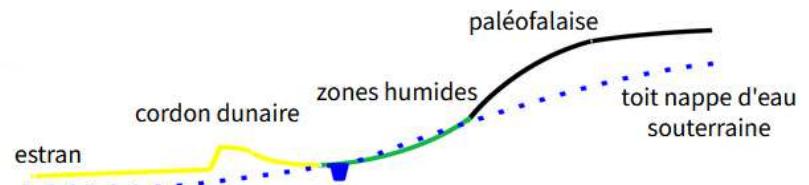
Côte avec cordon dunaire en voie de démantèlement protégeant un vaste marais maritime

ex : Vauville



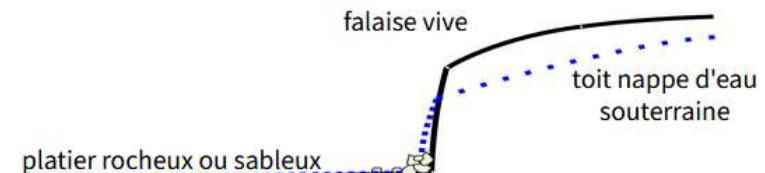
Stade pré-falaise

ex : Nord de Sciotot (le Pou)



Stade falaise

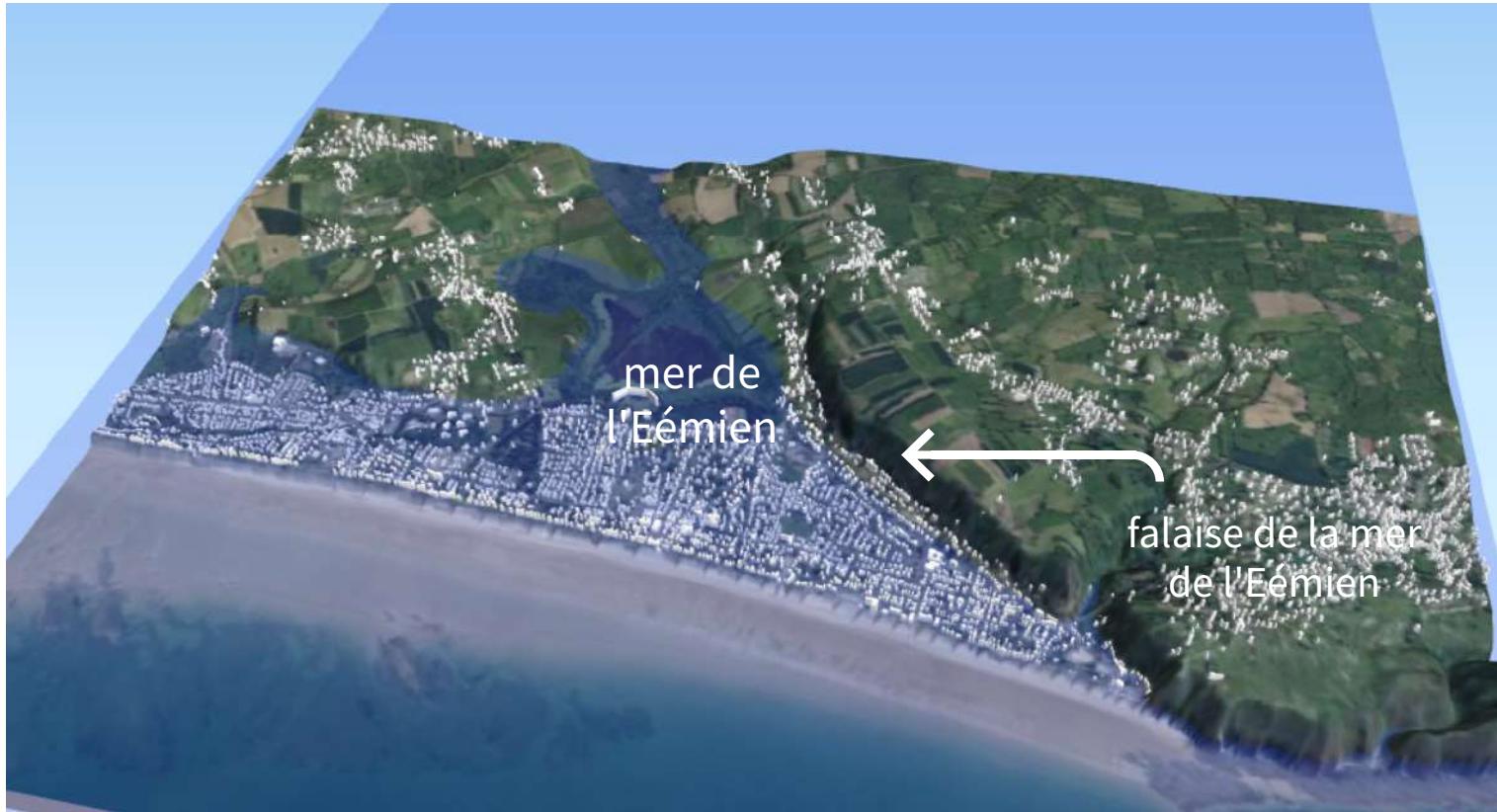
ex : Nez de Jobourg



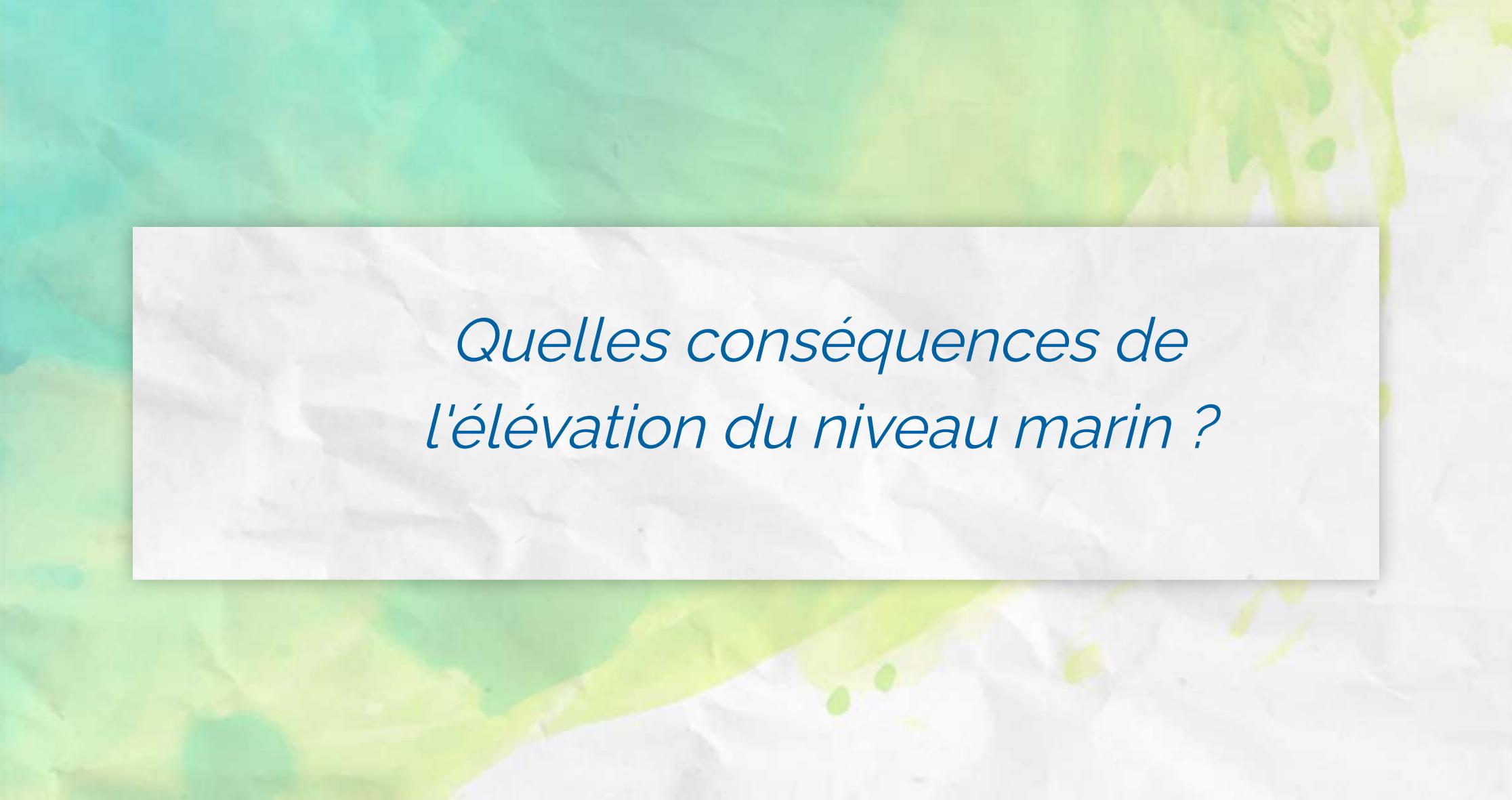
source Frédéric Gresselin



La mer de l'Eémien a vraisemblablement pénétré loin à l'intérieur des terres dans certains estuaires normands, comme ici celui du Thar à Jullouville



- Le niveau marin atteint lors de la période éémienne ne pourra pas l'être au cours du 21ème siècle
- On ne peut écarter cependant qu'il ne le soit dans les siècles à venir
- Le repli stratégique doit s'organiser au delà de la paléofalaise de l'Eémien qui est un repère morphologique aisément identifiable le long des côtes normandes



*Quelles conséquences de
l'élévation du niveau marin ?*

Une augmentation de la fréquence et de la durée des inondations dans les estuaires et les marais maritimes...



© F. Gresselin

vidange à marée basse d'un cours d'eau à Meuvaines, via un émissaire artificiel

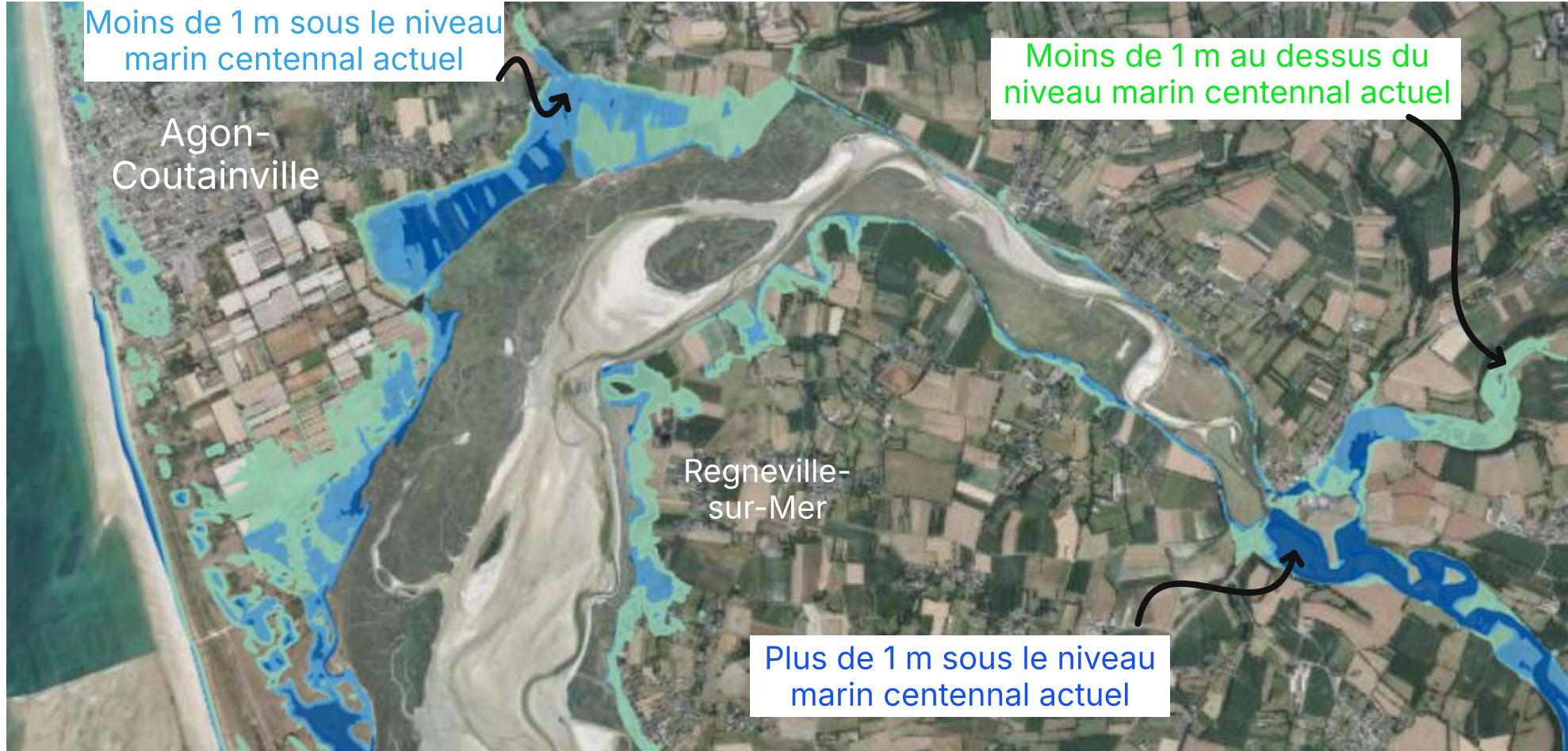


© la Manche Libre

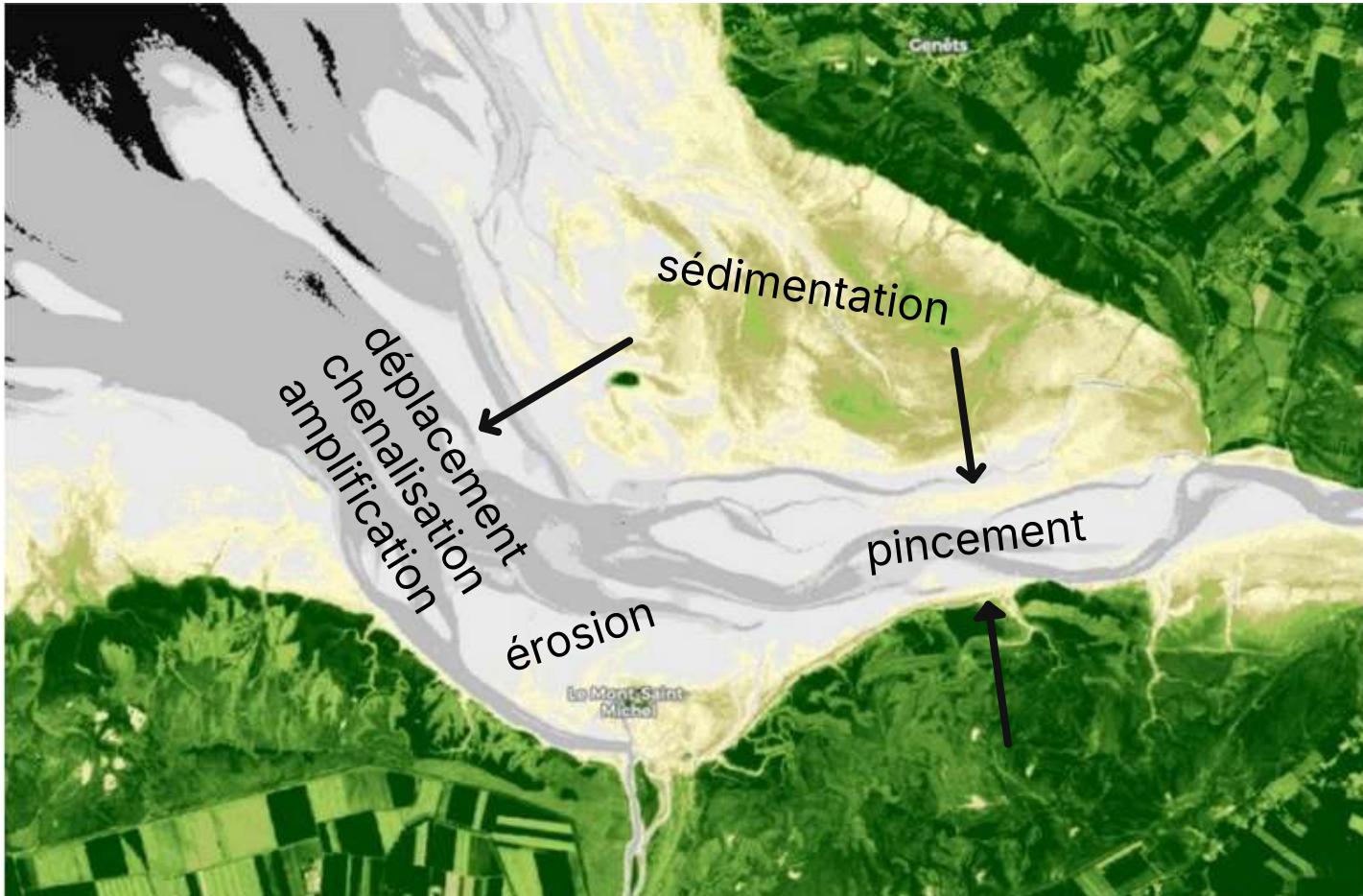
L'écoulement des cours d'eau littoraux est bloqué par la marée montante, soit naturellement soit par des portes à flot. L'élévation du niveau marin entraîne une augmentation progressive de la cote de ces cours d'eau, donc un risque d'inondation croissant

Porte à flots de l'Ay à Lessay

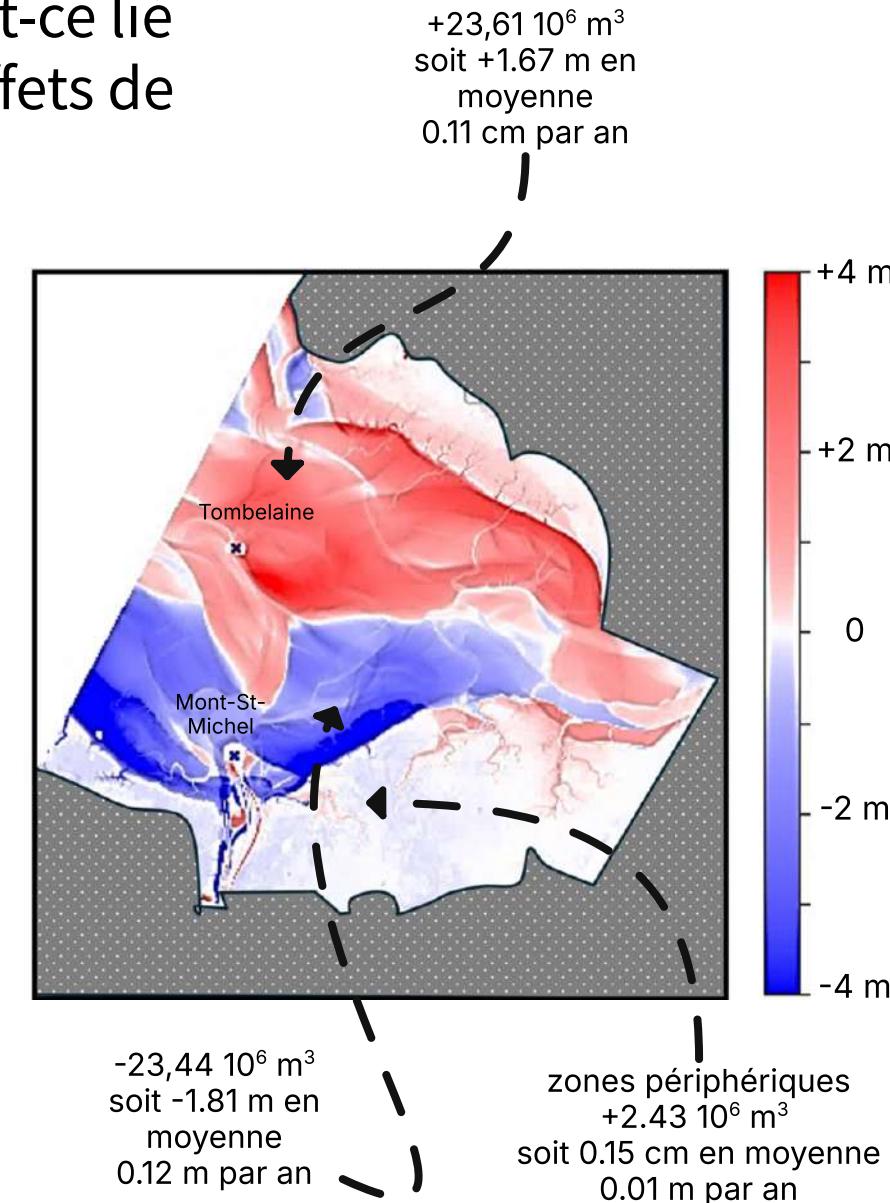
Les territoires menacés par les risques d'inondation et de salinisation : un exemple dans le havre de la Sienne



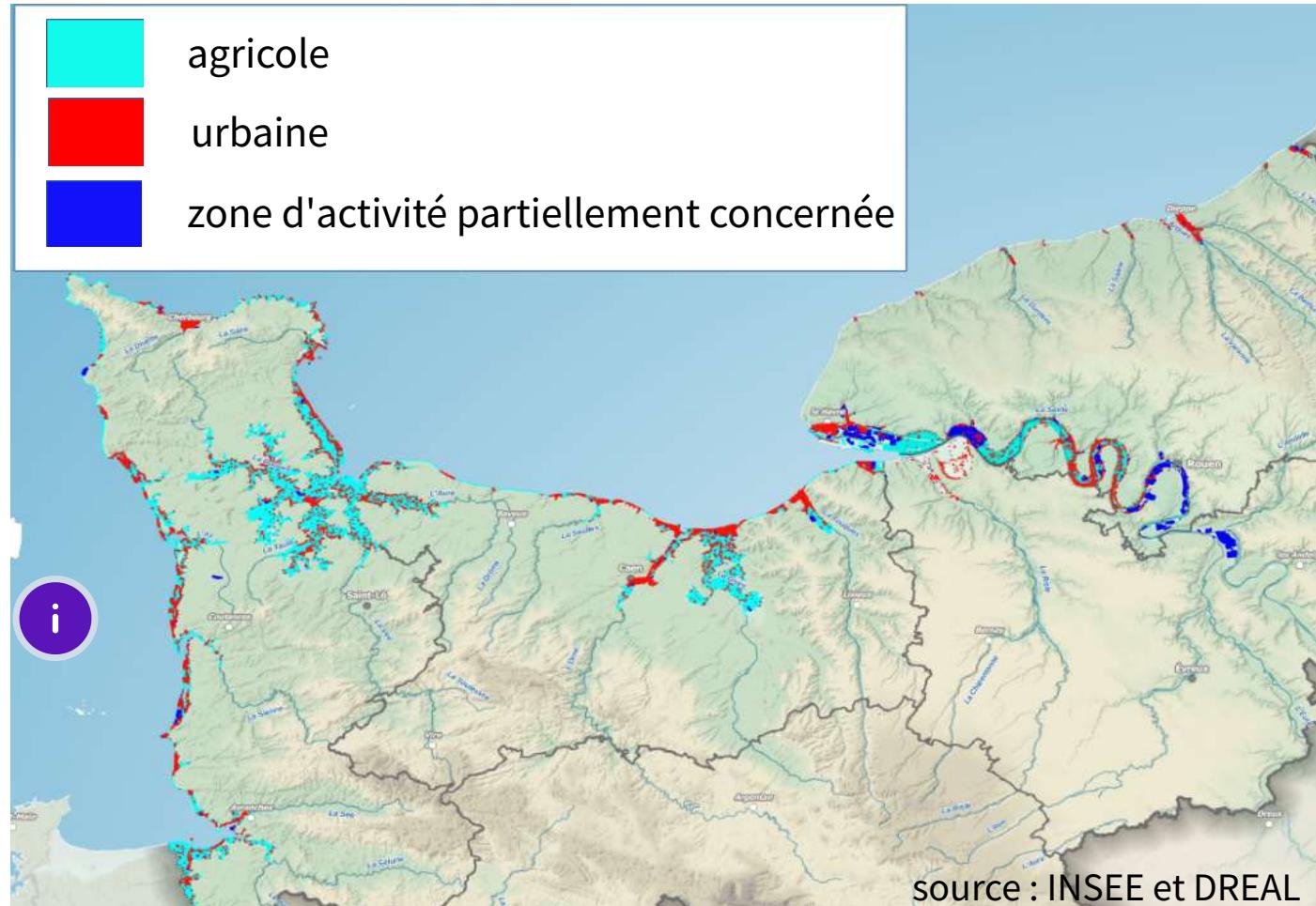
D'importants transferts sédimentaires sont en cours depuis 2009 dans la partie est de la baie du Mont-S-Michel. Est-ce lié au fonctionnement du barrage du Couesnon ou aux effets de la transgression marine qui s'intensifie ?



sources : Jean Malphettes, la Gazette de la Manche



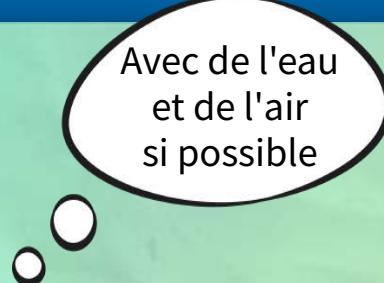
L'évaluation des impacts potentiels : exemple du littoral normand



- 3% du territoire normand situés sous le niveau marin (cote centennale actuelle)
- Cette cote sera atteinte tous les 20 jours en moyenne lorsque le niveau marin se sera élevé de de 0.8 m et 2 fois par jour lorsqu'il se sera élevé d'1.8 mètre.
- + 100 000 constructions situées sous le niveau marin avec un parc de logement estimé à plus de 20 milliards d'euros
- 1 emploi sur 20
- 15 % de la richesse produite au niveau régional



Faut trouver une autre planète



Avec de l'eau et de l'air si possible



Et un peu d'humanité aussi ?

Que faire ? C'est là où cela se corse !



Non, faut juste se remuer !



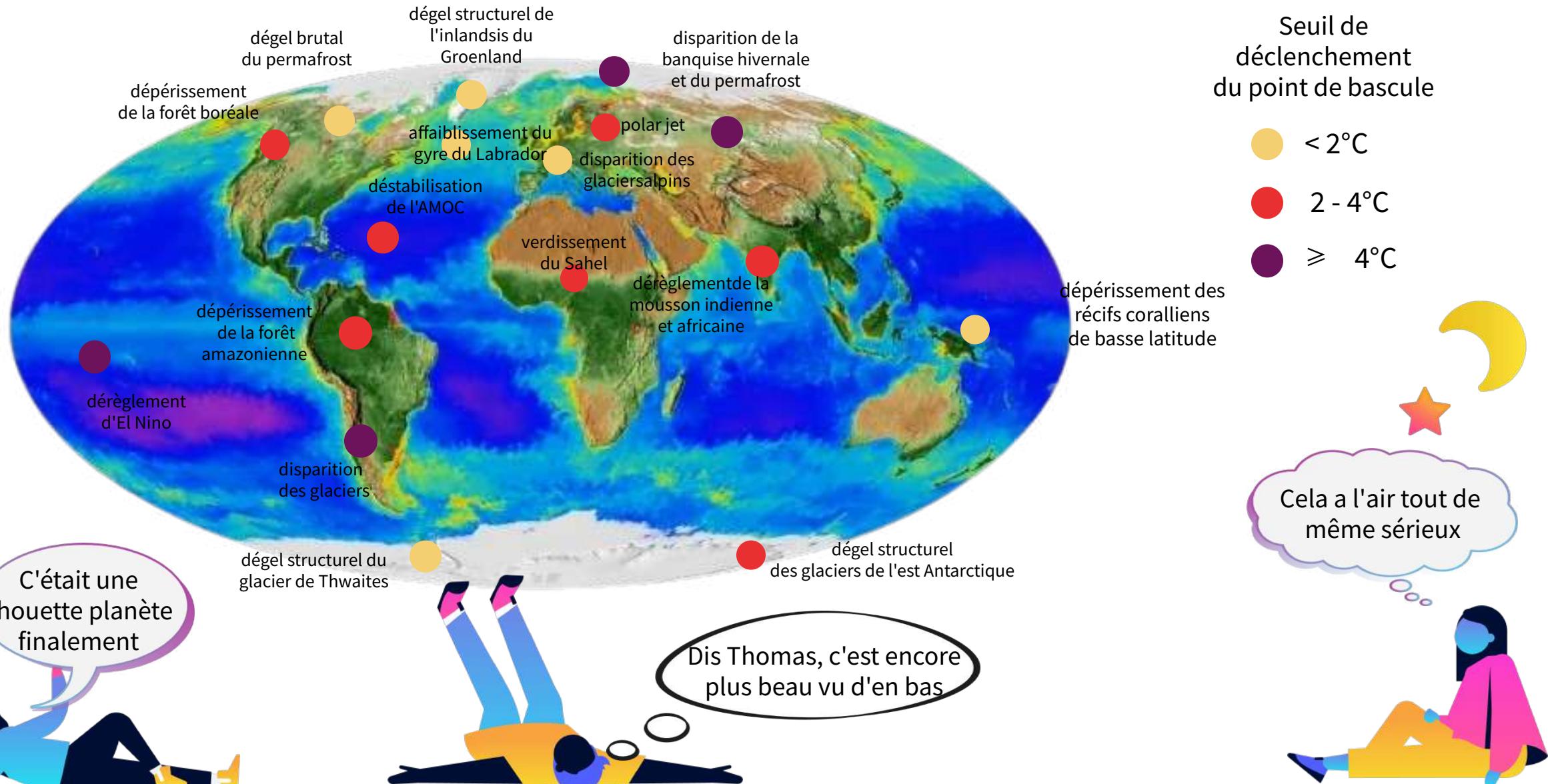
Redressons la barre ensemble ! Tous ensemble !

Quels sont les bras de levier pour limiter les effets du changement climatique ?

- Sobriété : diminuer nos émissions de GES, considérablement (diviser par 3) !
- Jouer sur les boucles de rétroaction négative (la fixation du carbone par la végétation, les sols agricoles, les zones humides, les jardins...)
- Agir vite, collectivement, sur la base de politiques ambitieuses d'échelles emboîtées
- Mais aussi en tant que citoyen à travers nos choix de vie (alimentation, chauffage, transport, habillement, loisirs...)
- S'adapter coûte que coûte. L'adaptation sera d'autant plus difficile et coûteuse que nous en différerons la mise en oeuvre
- Mieux connaître, éduquer, communiquer, analyser...
- Résister au lobbying
- Manipuler le climat par des procédés de géo-ingénierie. A nos risques et périls



Les points de bascule du climat qui seront franchis au 21ème siècle si nous n'agissons pas activement et rapidement



Des motifs d'espoir ?

- Une prise de conscience généralisée, mais peu d'effort au consentement
- Une implication médiatique qui s'amplifie
- Des think tanks en appui à la définition des politiques publiques (merci à eux...)
- Des politiques ambitieuses certes mais épargnant certains secteurs d'activités
- Une baisse des émissions (en France au moins)
- Des industriels qui s'engagent pour des questions de risques économiques ou d'opportunité mais pas seulement
- Des flux financiers en hausse mais trop faibles par rapport aux investissements dans les énergies carbonées





Merci de votre
attention