

# Le changement climatique et ses conséquences De l'échelle globale à la Normandie

**Benoit Laignel, Professeur**  
UMR CNRS 6143 M2C, Université de Rouen  
benoit.laignel@univ-rouen.fr

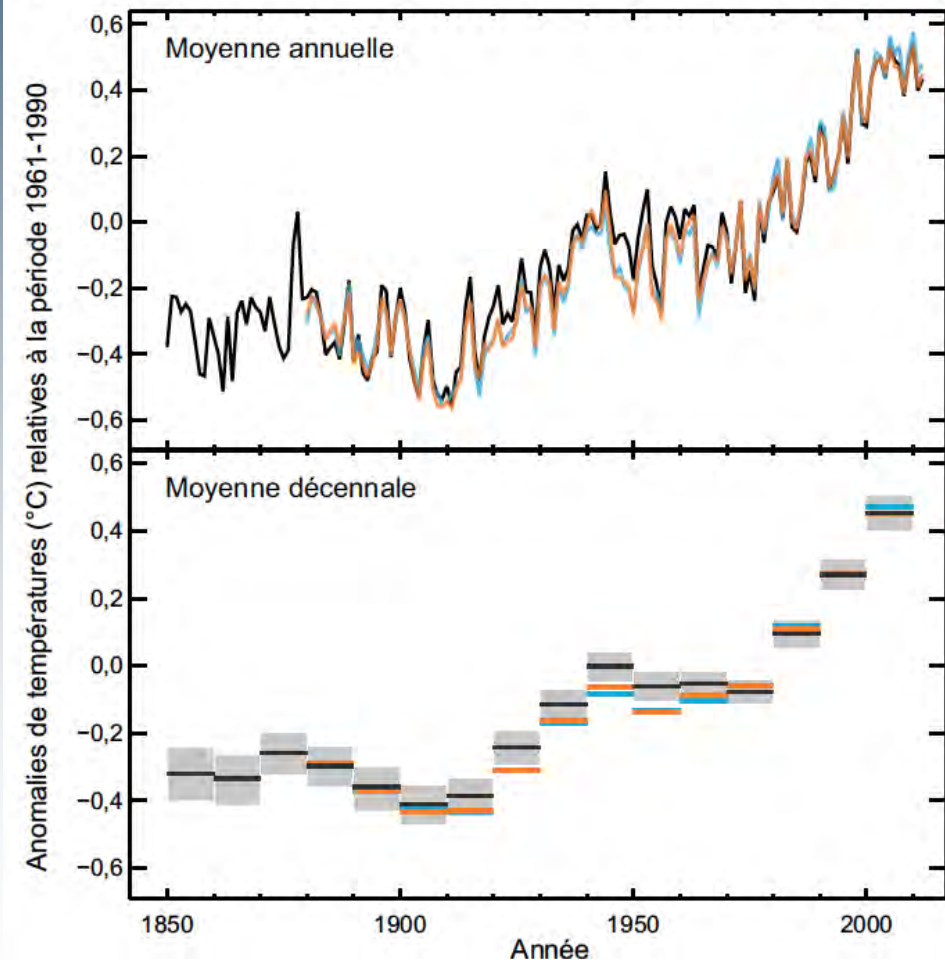
**Co-Président du GIEC Normand**  
**Président du GIEC Métropole de Rouen**



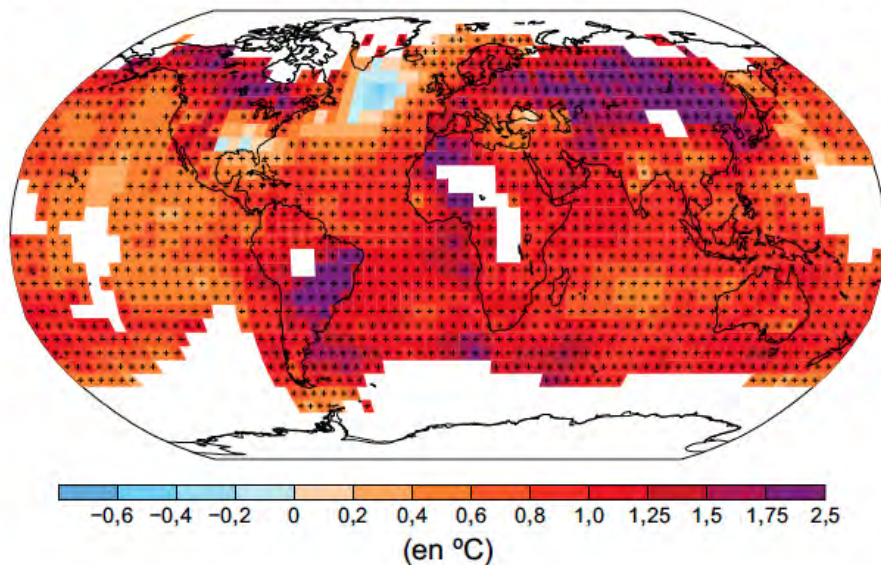
# Evolution des températures atmosphériques

Anomalies observées de températures moyennes en surface, combinant les terres émergées et les océans, de 1850 à 2012

a)



Évolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012

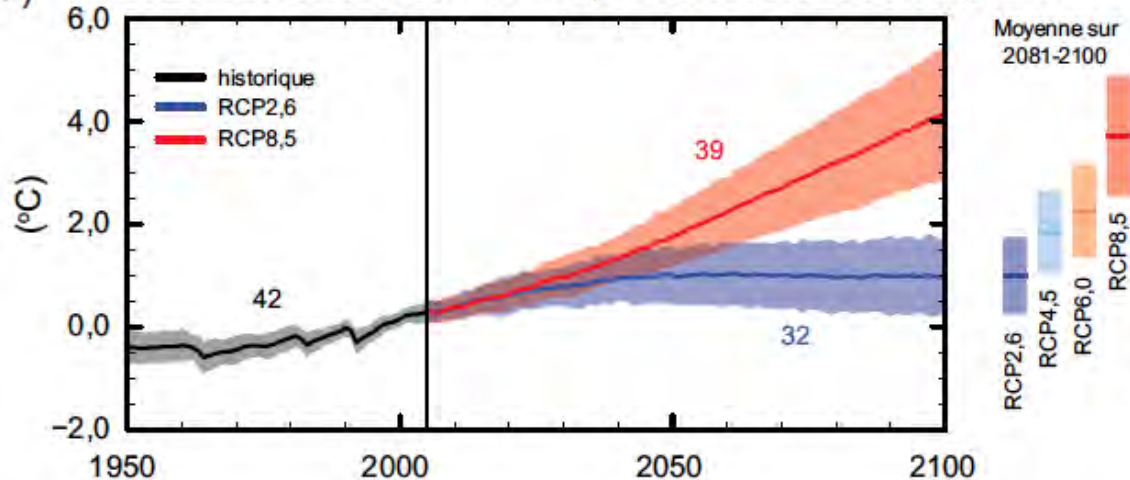


Elévation température moyenne du globe  
(combinant terres émergées et océans)  
de 1880 à 2012 :

+ 0,85 ° C [0,65 à 1,06]

# Projection : Augmentation de température à l'échelle du globe

a) Évolution de la température moyenne à la surface du globe



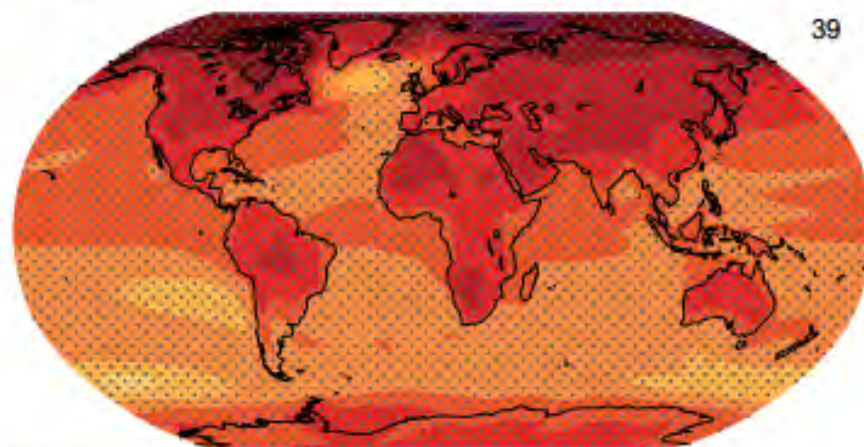
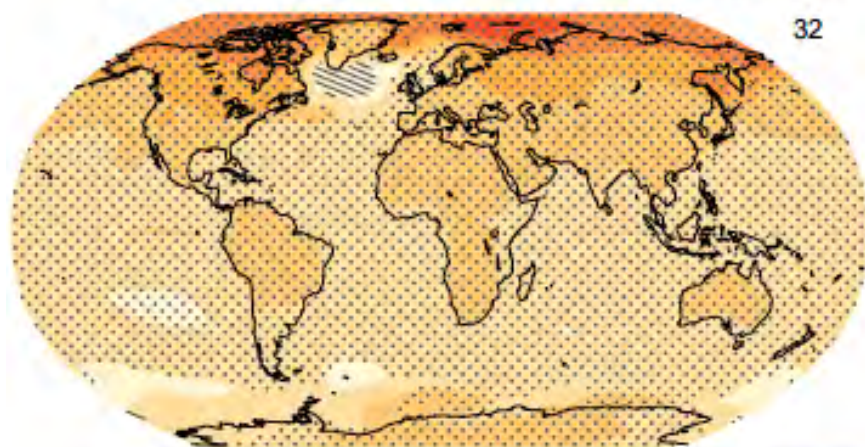
Élévation température moyenne du globe à l'horizon 2100 :

Entre +0,3 et + 4,8 ° C  
(Modèles avec incertitudes)  
Entre + 1 et + 4 ° C (Moyennes des modèles)

RCP 2,6

RCP 8,5

Évolution de la température moyenne en surface (entre 1986-2005 et 2081-2100)



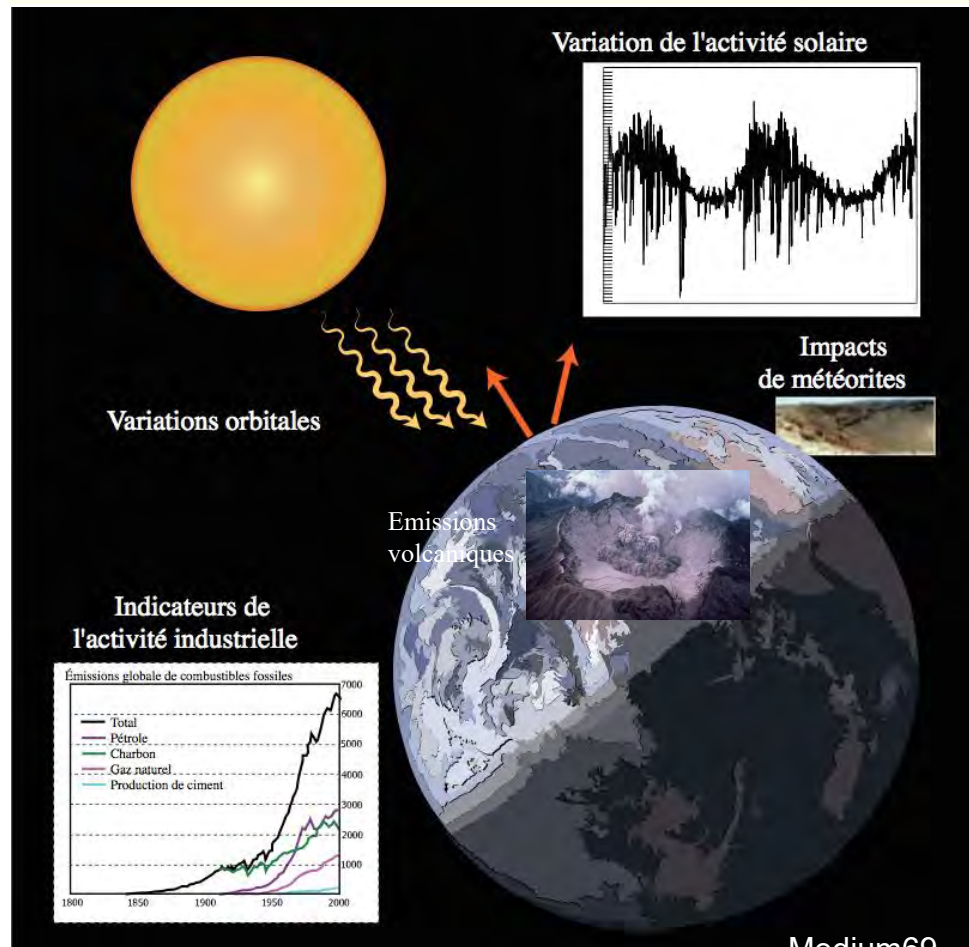
# Origines du réchauffement planétaire

Rétention de la chaleur par l'atmosphère, amplifiée par les gaz à effet de serre

Causes astronomiques : variations orbitales et fluctuations de l'activité solaire

Variation de la réflectivité de la surface terrestre (Albedo)

Emissions volcaniques



## Effet de Serre

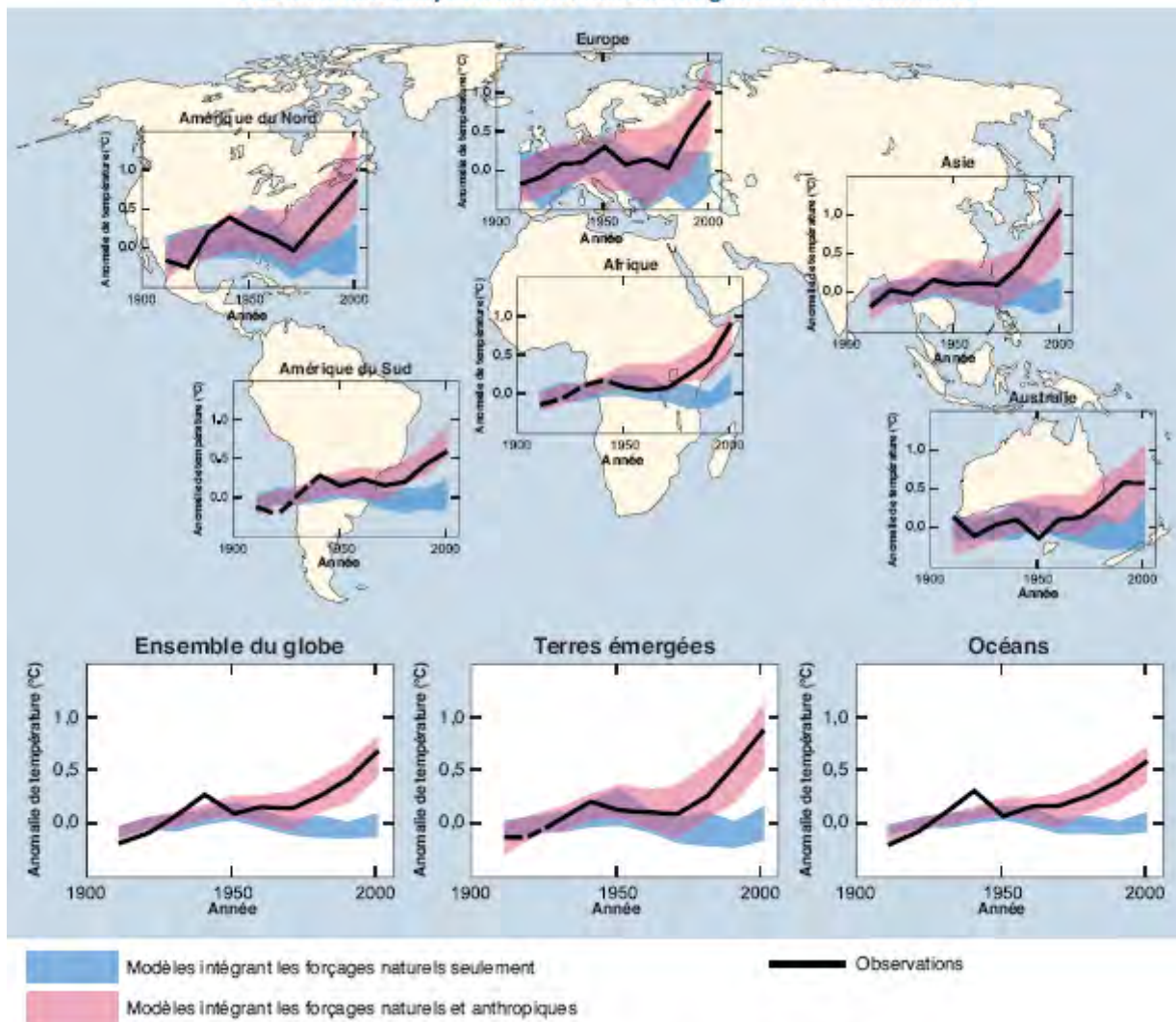
Phénomène naturel amplifié par l'homme

Sans ce phénomène, la température moyenne sur Terre de  $14^{\circ}\text{C}$  chuterait à  $-18^{\circ}\text{C}$

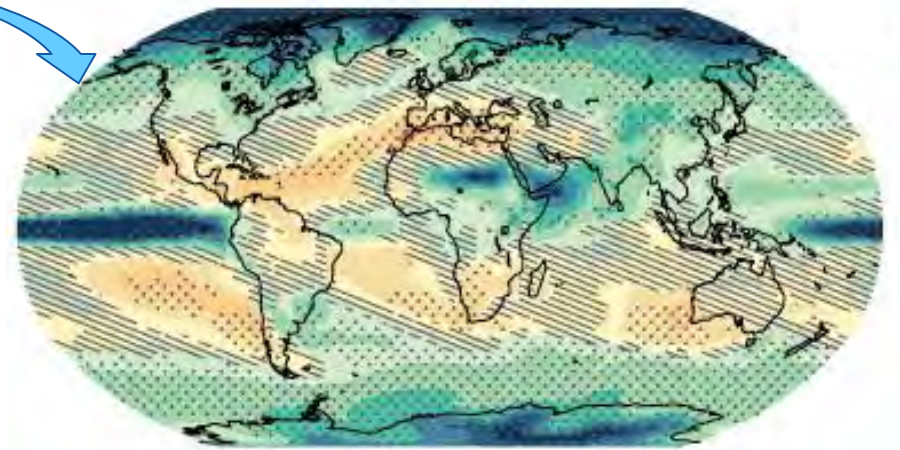
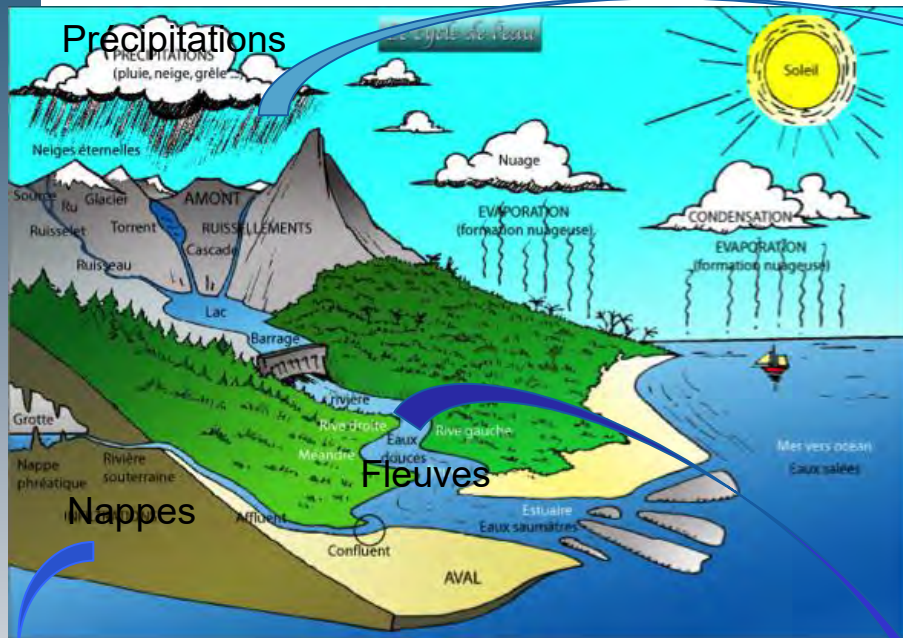


# Forçages à l'origine du réchauffement climatique

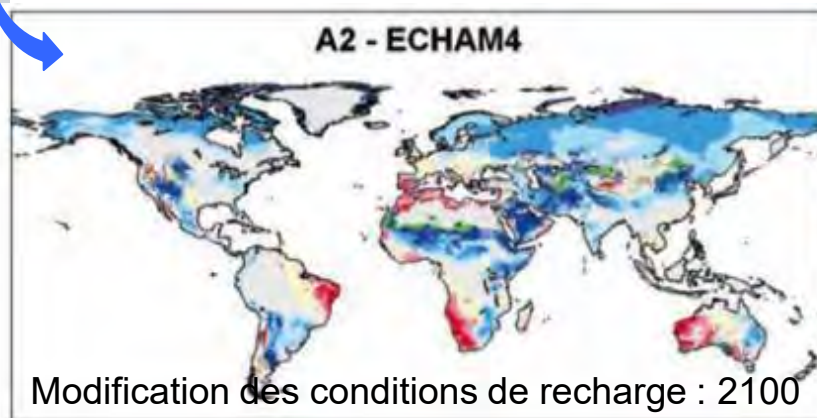
Variation des températures à l'échelle du globe et des continents



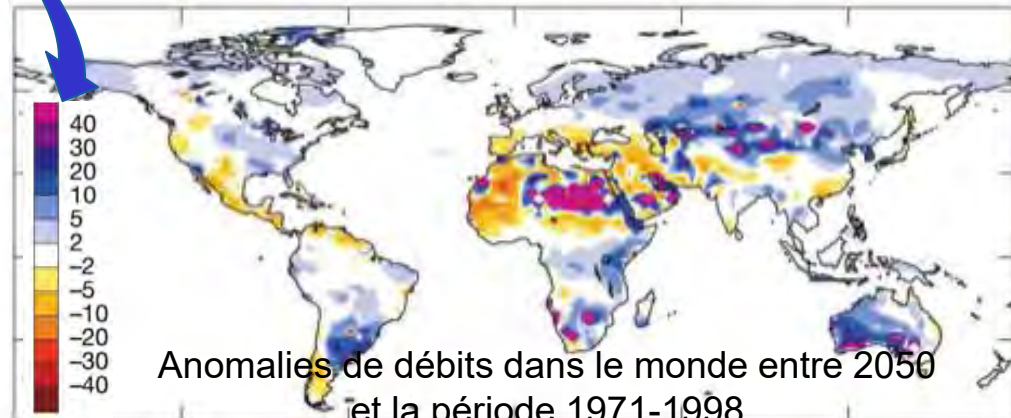
# Conséquences du changement climatique sur le cycle de l'eau



Evolution des précipitations moyennes (entre 1986-2005 et 2081-2100)



Modification des conditions de recharge : 2100



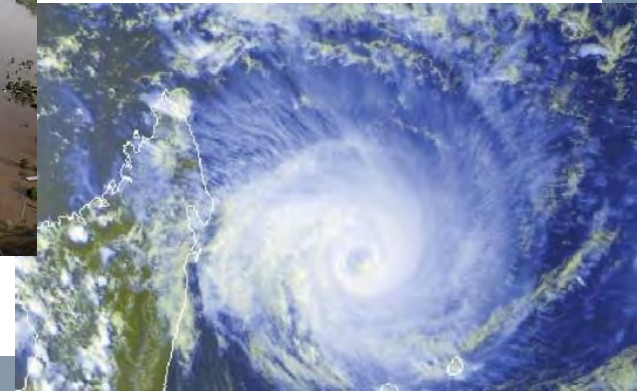
Anomalies de débits dans le monde entre 2050 et la période 1971-1998

- **Disparité spatiale des précipitations, des débits des fleuves, de la recharge des nappes**
- dans les zones équatoriales et au niveau des pôles
- zones méditerranéennes, tropicales sèches

# Evénements extrêmes

## Sécheresse, Episodes de précipitations abondantes (orages), Cyclones, Tempêtes...

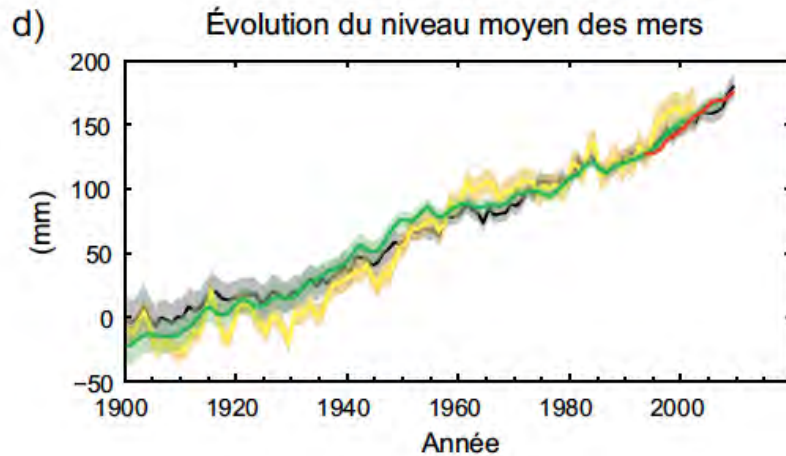
- ☛ Sécheresse : la fréquence des vagues de chaleur a augmenté sur une grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie
- ☛ La fréquence ou l'intensité des épisodes de fortes précipitations a probablement augmenté dans les régions des latitudes moyennes (Amérique du Nord et Europe) et dans les régions tropicales
- ☛ L'activité des cyclones tropicaux intenses aurait augmenté dans l'Atlantique Nord et dans le Pacifique NW, mais forte incertitude



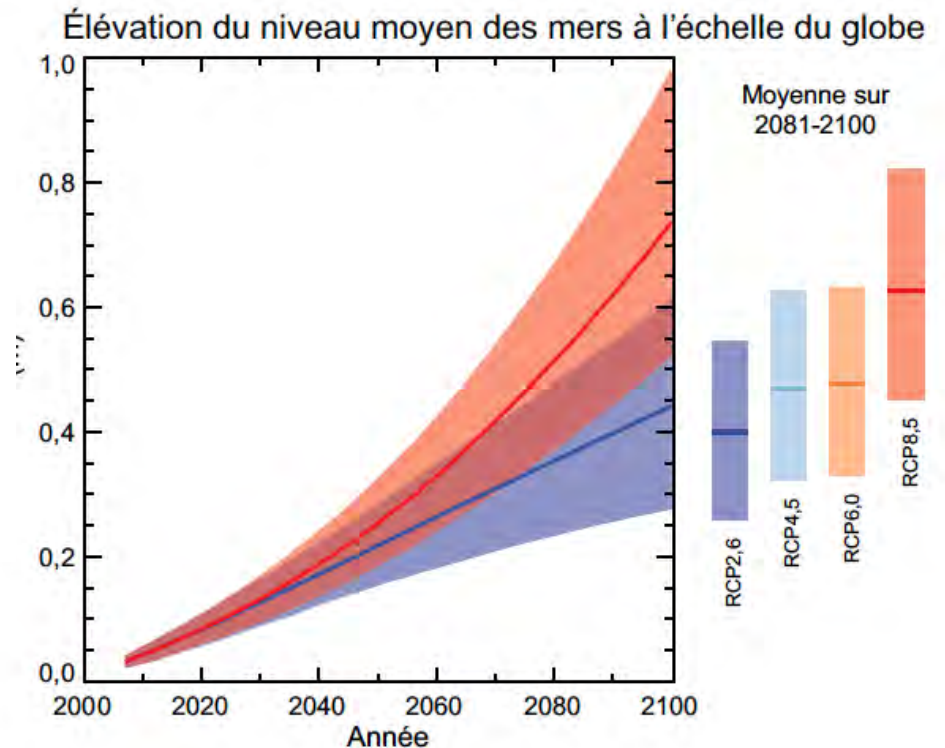
IPCC/GIEC, 2014



# Élévation du niveau marin



A l'échelle globale, la vitesse moyenne d'élévation du niveau des mers 0,19 m [0,17 à 0,21] entre 1901 et 2010



Élévation moyenne du niveau des mers : entre 0,26 et 0,98 m, d'ici 2100

# Zone côtières = zones particulièrement sensibles au Changement Climatique

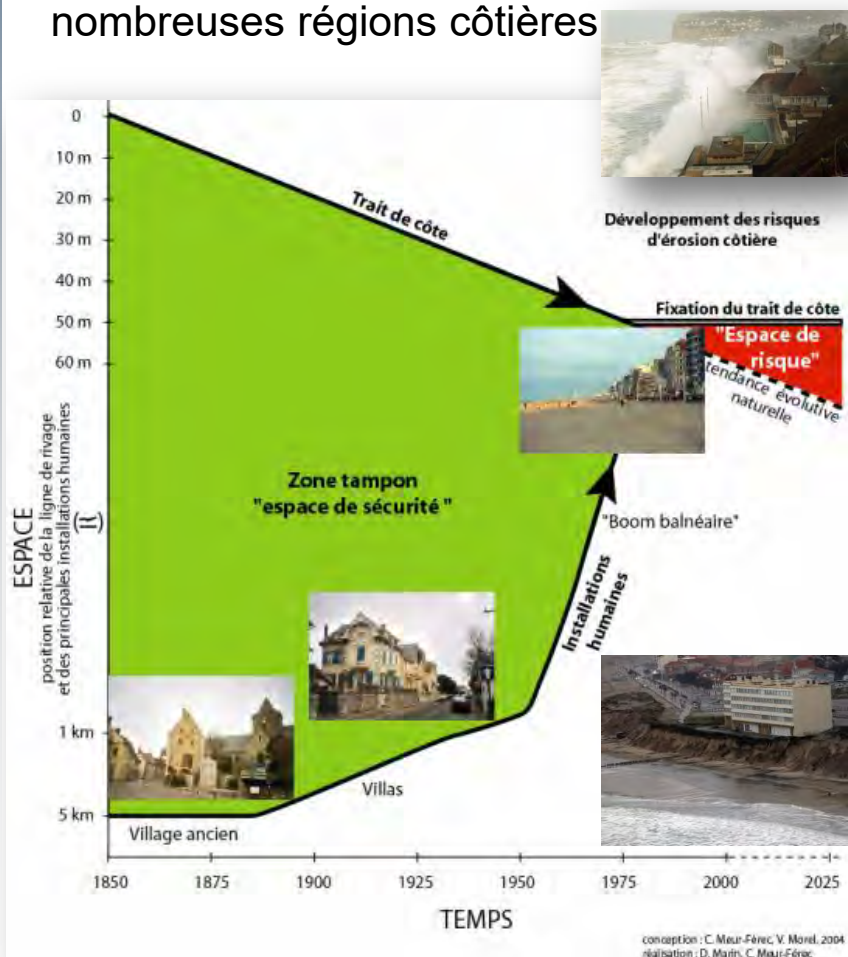
## impact anthropique

Forte urbanisation & activités industrielles (portuaires...) et touristiques

➔ Profond changement des milieux (morpho., sédimento., hydro., bio.) et pollutions

## Changement climatique

↗ niveau de la mer, ↗ événements extrêmes (tempêtes/ouragans et crues) dans de nombreuses régions côtières



**= Zones multi-aléas/multi-risques**

- Recul important du trait de côte
- Inondations (submersion de tempête, crue)
- Salinisation des aquifères côtiers
- Pollutions...

OCDE : dommages liés aux phénomènes hydro-météo-marins

en 2005 estimés à 3000 billions \$  
(5% PIB mondial annuel) ➔ x 10 en 2070

# Conséquences sur les écosystèmes et la biodiversité

Jusqu'il y a peu :

- Réduction, morcellement, disparition des habitats naturels et pollution = principaux responsables de la perte de biodiversité,
- **Réchauffement du climat pourrait bien devenir la principale cause de d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle**

**Conséquences sur la biodiversité :**

- Distribution des espèces
- Phénologie des espèces

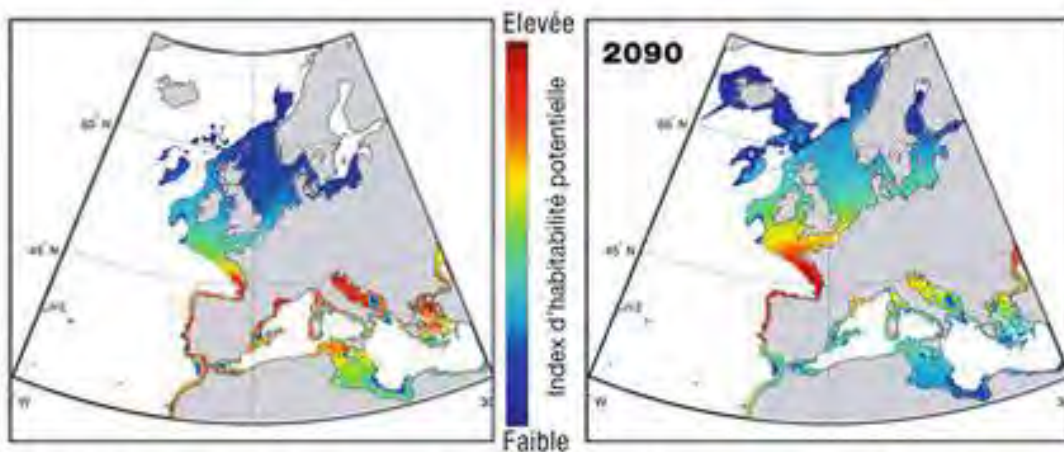
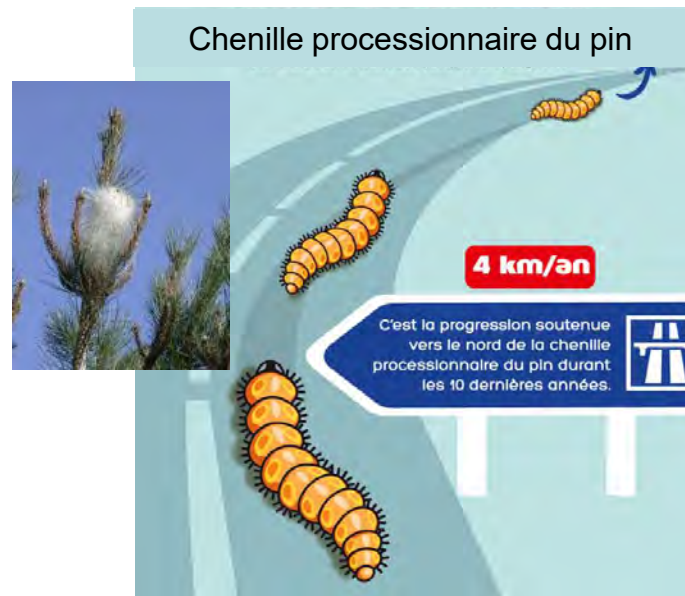


# Conséquences sur la biodiversité : Distribution des espèces

Distribution des espèces

Modification des aires de répartition de nombreuses espèces animales et végétales vers le nord et/ou vers de plus hautes altitudes

Déplacement – Extension/Diminution/Disparition



En 2090, l'anchois pourrait avoir trouvé les meilleures conditions d'habitabilité (en rouge) sur la côte Atlantique Sciences et Vie, Nov. 2015



## Projections du Plan Bleu :

### Risques majeurs pour l'agriculture/agronomie de la zone méditerranéenne en lien avec le changement climatique et l'évolution socio-économique

- ☛ Dégradation des ressources en eau : quantité et qualité  
→ diminution de la production agricole
- ☛ Perte de terres arables en lien avec augmentation des orages et inondations et érosion des sols → envasement rapide des retenues
- ☛ Croissance de la vulnérabilité aux risques d'incendies en lien avec les sécheresses → perte en terre arables
- ☛ Maintien ou renforcement de la pauvreté rurale au Sud et à l'Est
- ☛ Maintien ou renforcement de la désertification
- ☛ Exode rurale → pressions accrues sur les villes  
Perte de plus de 1,5 million d'hectares de terres agricoles de qualité par l'urbanisation



# Changement climatique à l'échelle régionale

Seine et son estuaire

Littoral Normand-Picard

Normandie

Métropole Rouen-Normandie

Programme Seine aval

ROLNP

Projet RexHySS

DREAL

Projet LiCCo (Littoraux et Changements Côtiers)

Projet DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques régionalisés français pour l'impact et l'adaptation de nos sociétés et environnements)

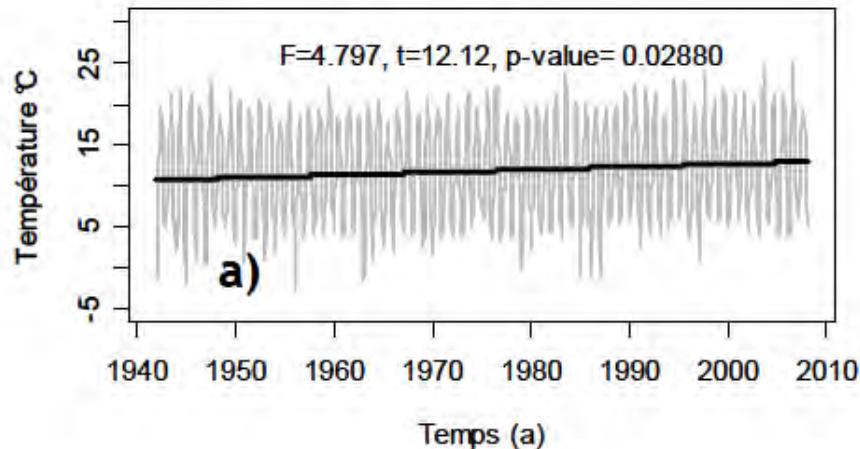
Synthèse :

GIEC Local Métropole Rouen Normandie

# Anomalies de températures : 1970 à 2017

## Métropole Rouen Normandie et Région Normandie

T° journalières à  
Boos

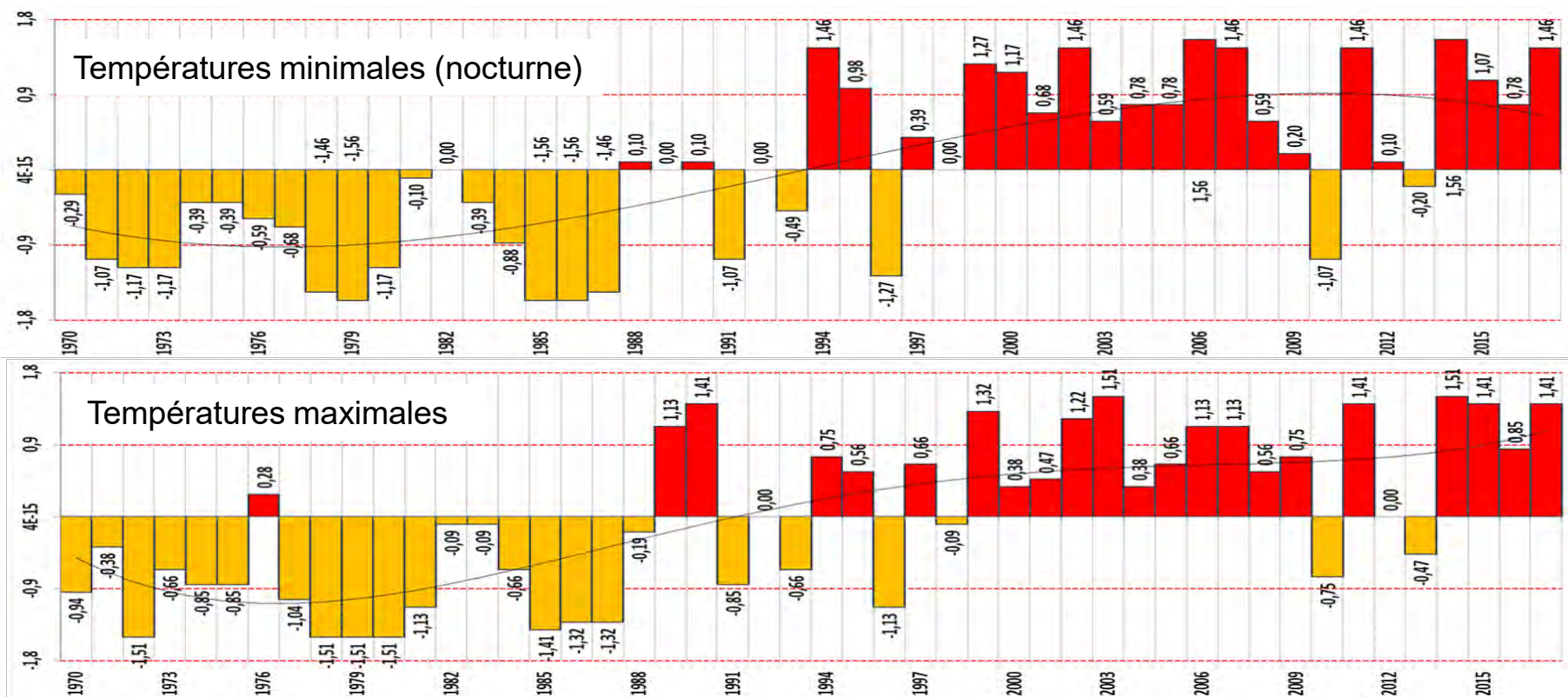


**Tendance statistiquement  
significative à l'augmentation  
+1,2 à +2,2° C**

### Anomalies de températures (1970-2017)

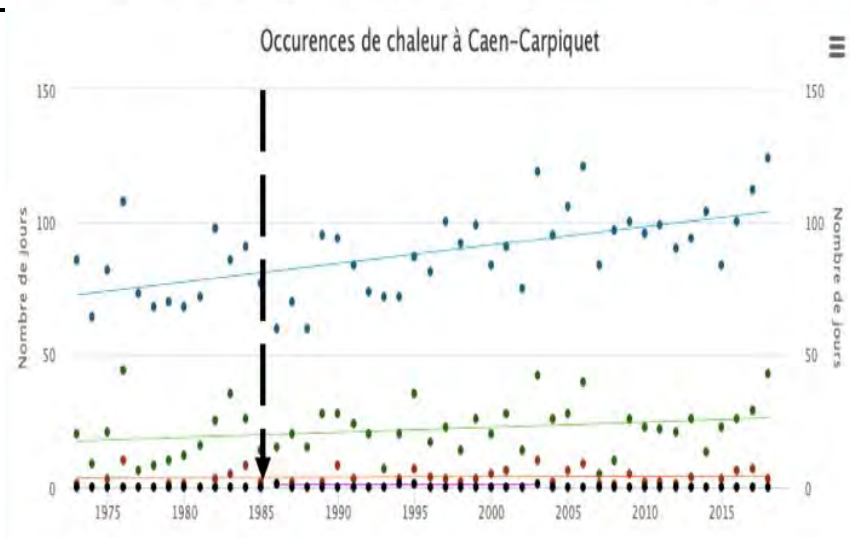
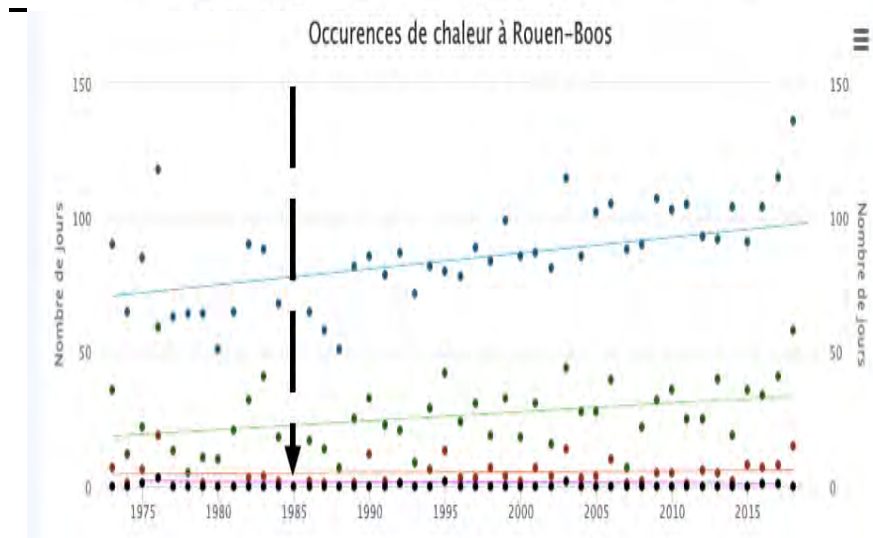
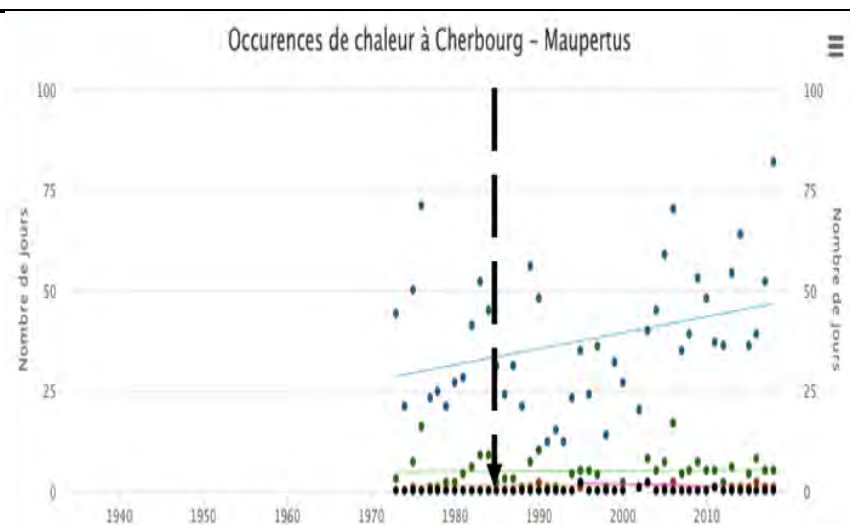
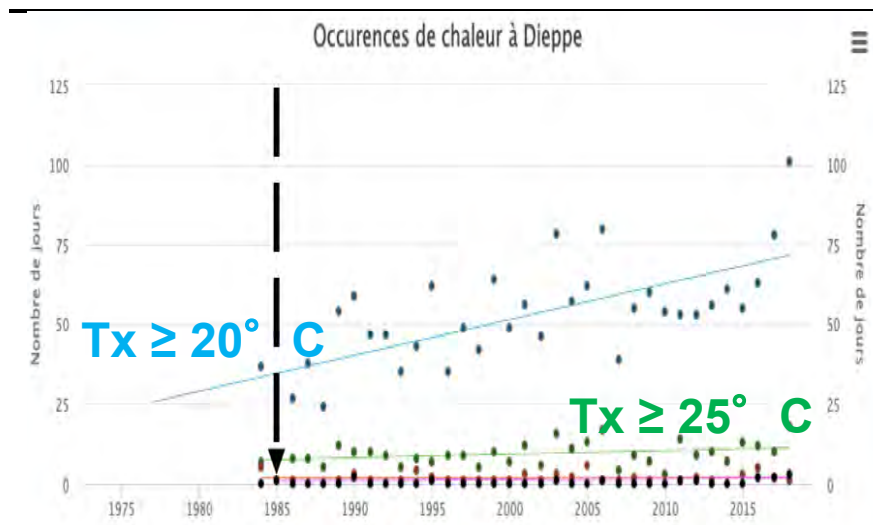
Stations de la métropole et à proximité de la Métropole (valeurs en °C)		Stations régionales (valeurs en °C)	
BUCHY	2,2	AUZBOSC	2
<b>JUMIEGES</b>	<b>1,2</b>	FORGES	1,8
LOUVIERS	1,5	DIEPPE	1,9
<b>ROUEN-BOOS</b>	<b>1,9</b>	CAP-DE-LA-HEVE	1,7
<b>ROUEN-JARDIN</b>	<b>1,3</b>	EVREUX-HUEST	1,8

# Indice régional des températures minimales et maximales annuelles en Normandie (1970 à 2016)

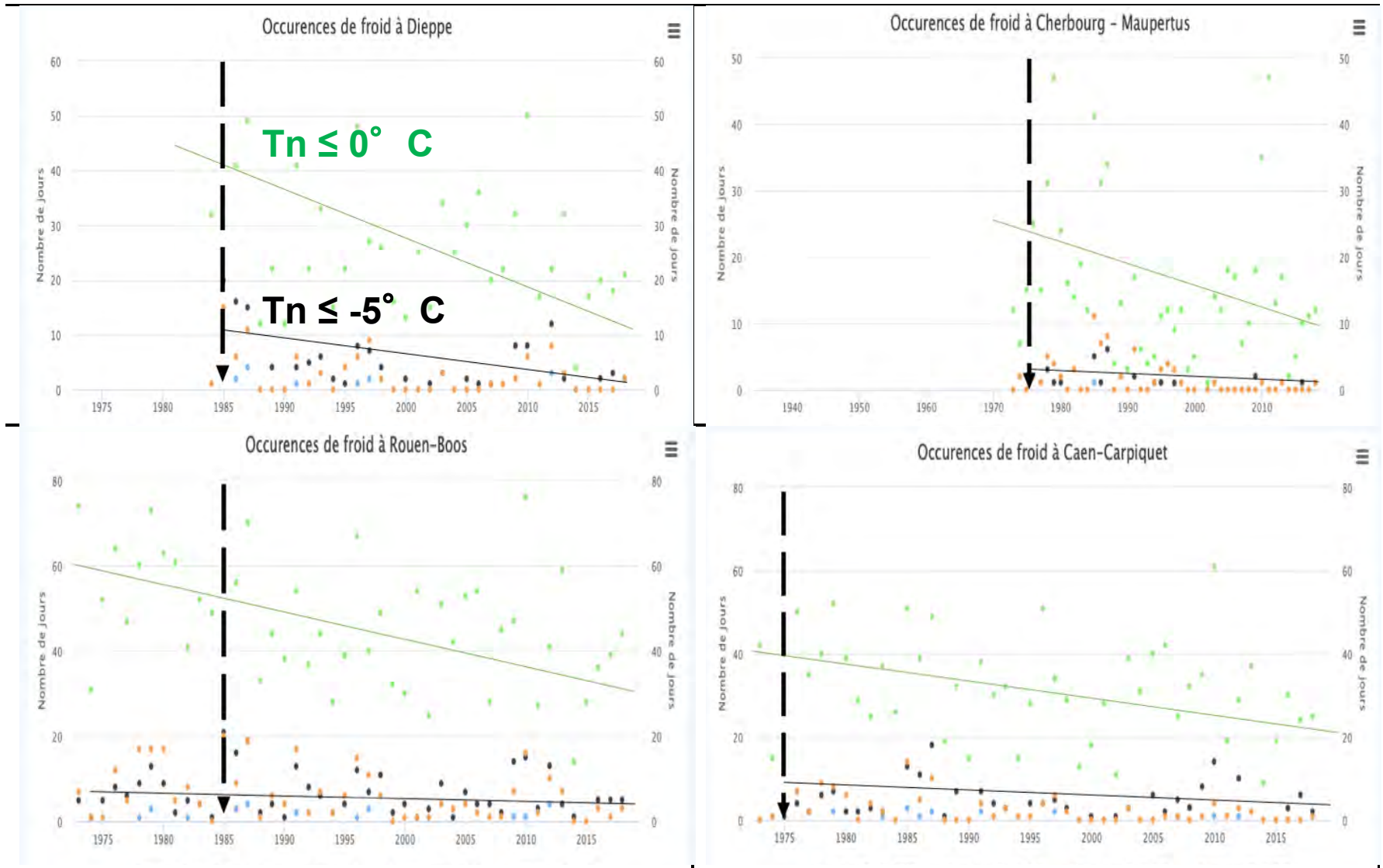




# Occurrences des jours de chaleurs

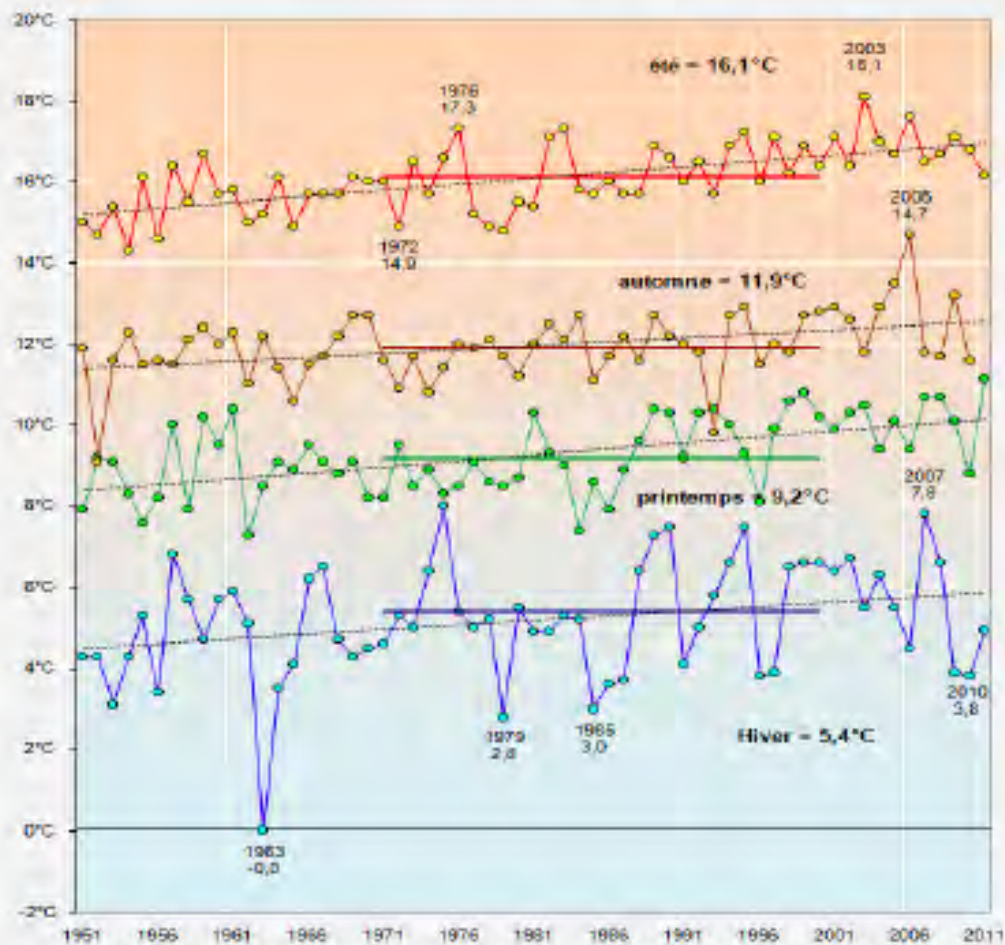


# Occurrences des jours de froid/gel



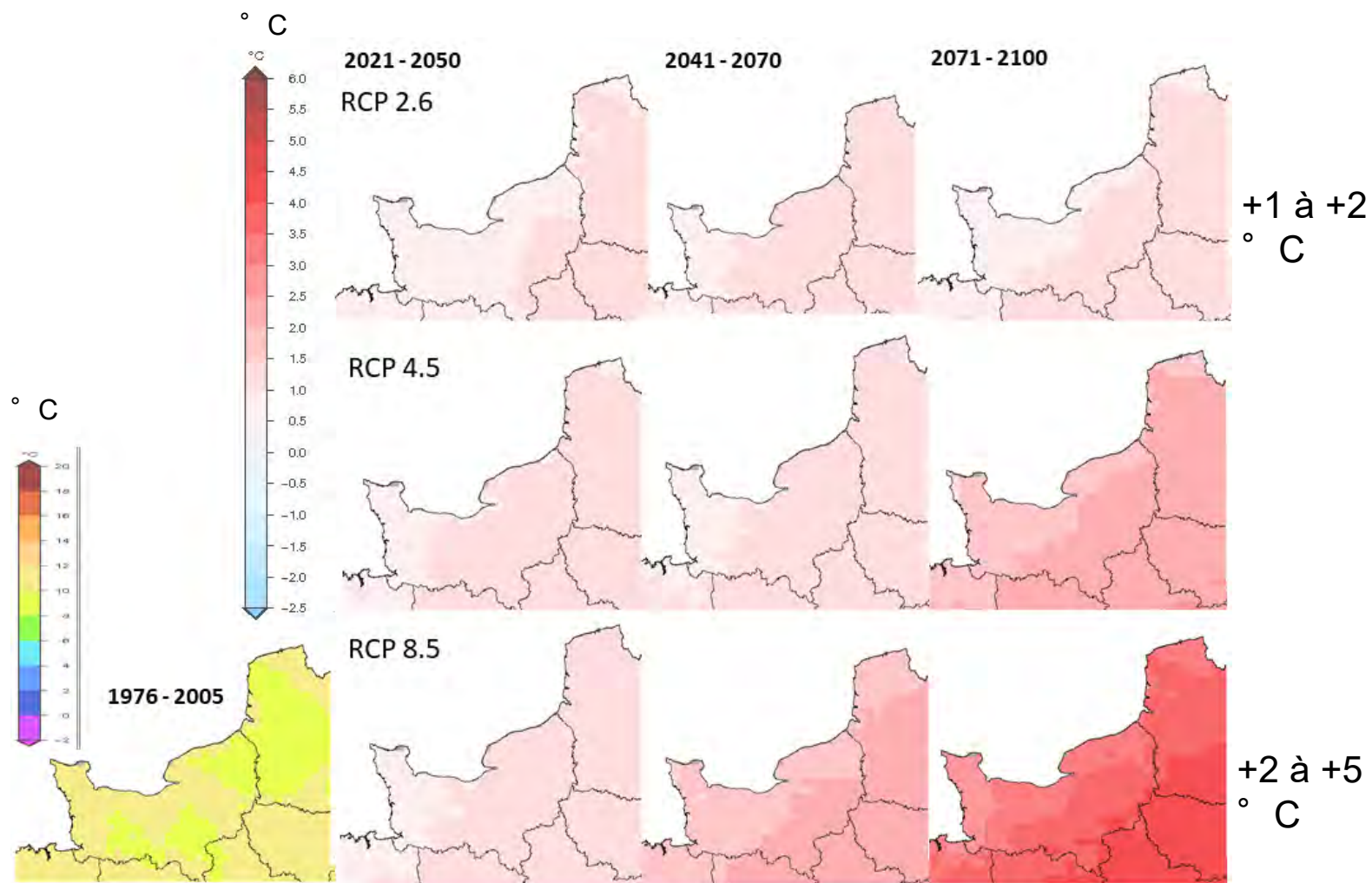
# Exemples d'évolution des températures saisonnières sur le littoral normand

## T° saisonnière à Dieppe



O. Cantat, UCBN, 2011, d'après données Météo-France

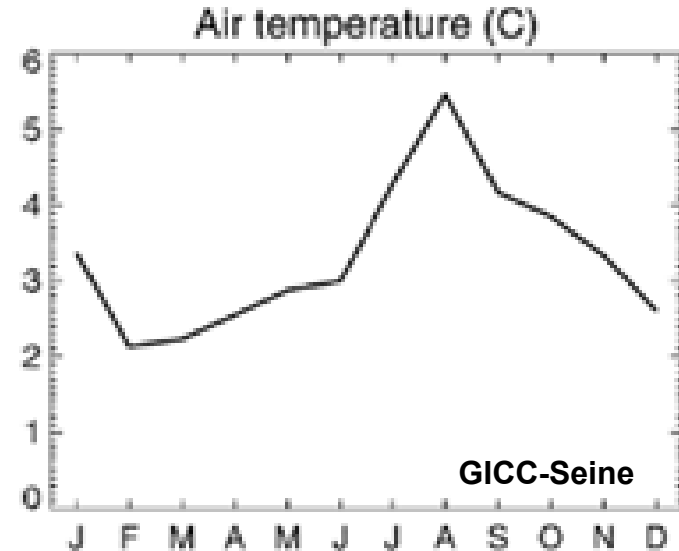
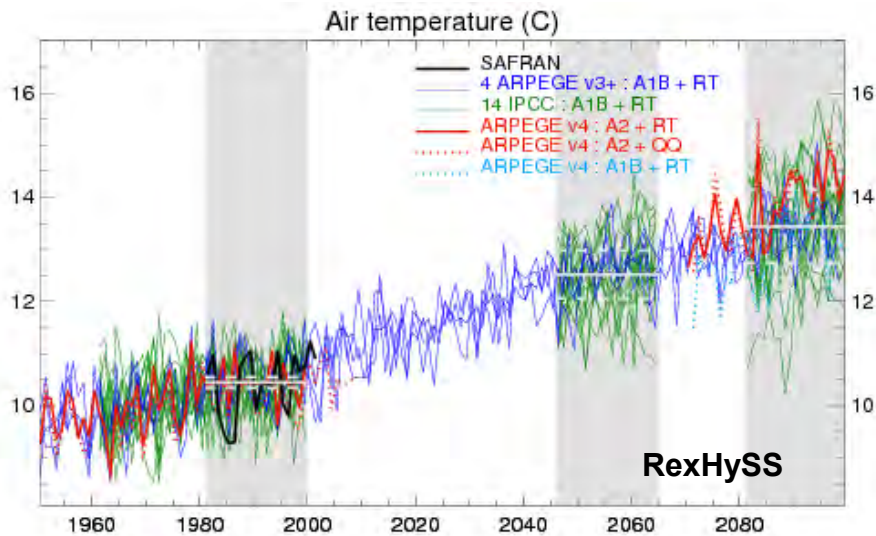
# Projection : Evolution des températures atmosphériques moyennes annuelles en Normandie - Horizon 2100



Multi-scénarios / 1 indice / 1 expérience-modèle

# Evolution des températures atmosphériques sur le bassin de la Seine

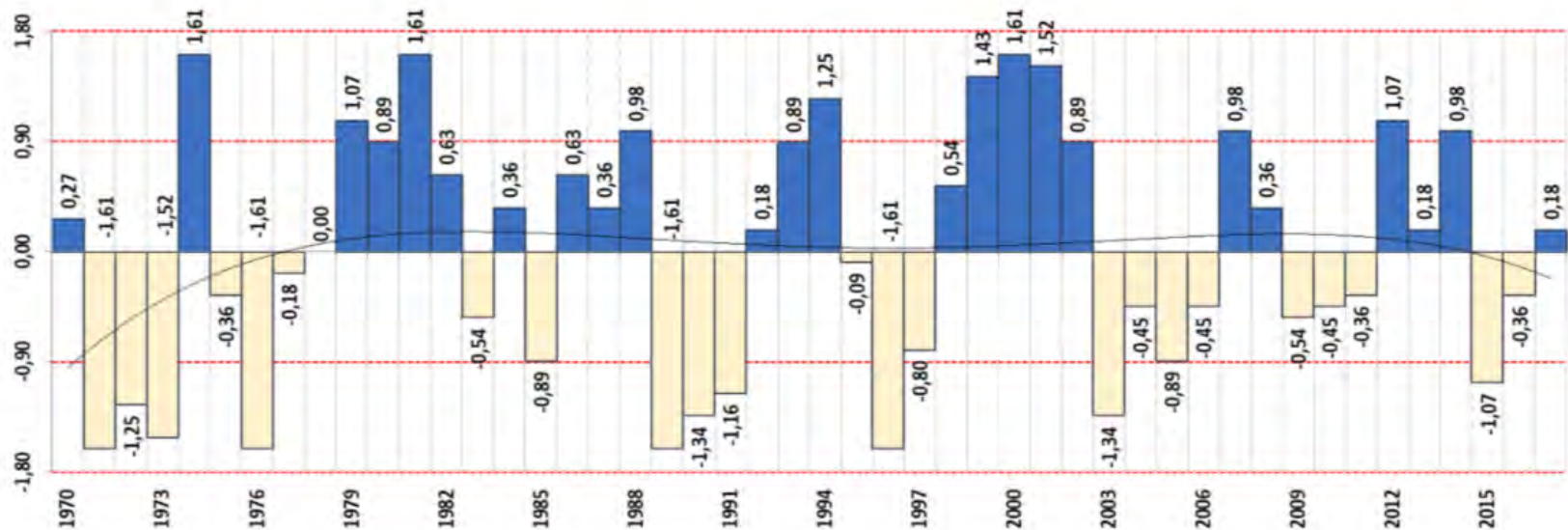
## - Horizon 2100



**Différents modèles utilisés dans le cadre du projet ReXHySS concordent :**

- ↗  $T^{\circ}$  atmosphérique d'ici 2100 : +2 à +4° C
- Quelque soit le mois, ↗  $T^{\circ}$  atmosphérique régionale comprise entre 2° C pour le mois de Février et 5,5° C pour le mois d' Août

# Indice régional des cumuls annuels de pluviométrie en Normandie (1970 à 2016)



Pas de tendance significative

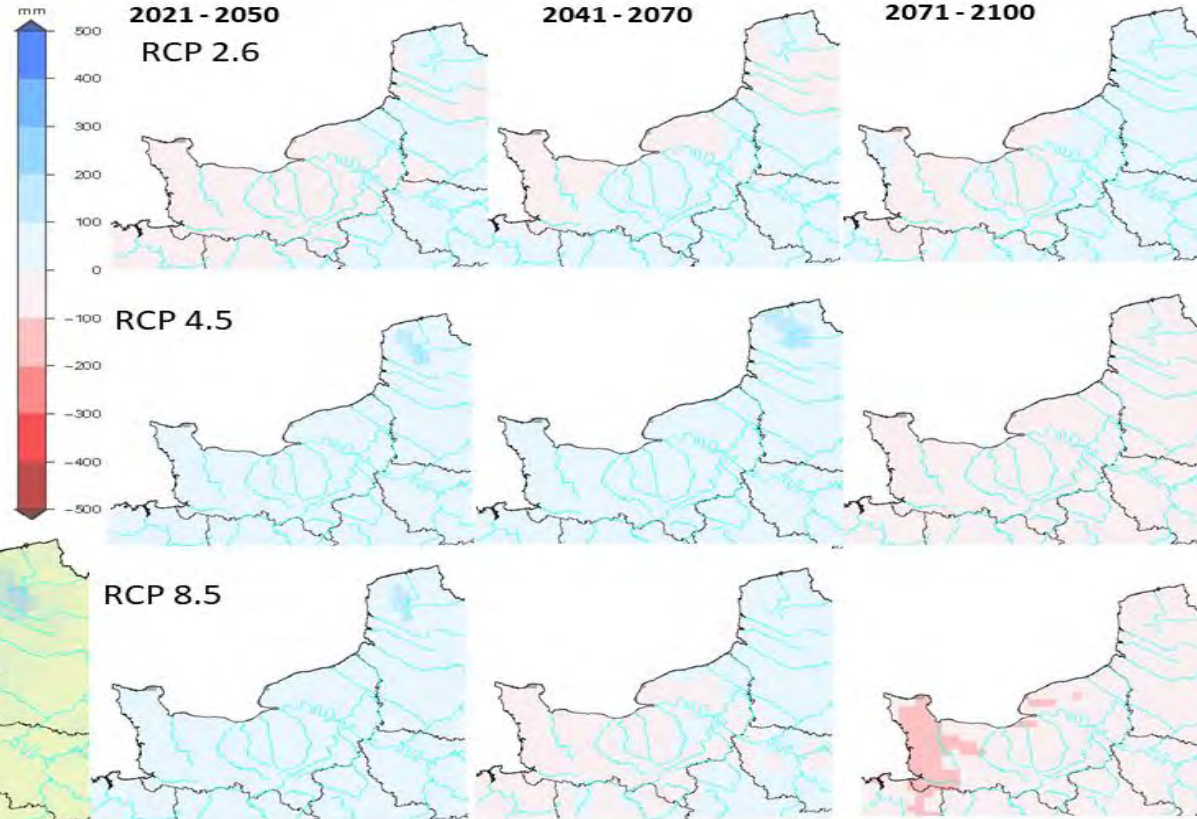
Alternance de périodes sèches et humides

Avec cependant davantage d'années sèches à partir de 2003, mais sans dépasser 4 années consécutives

# Anomalie du cumul de précipitations annuelles en Normandie (mm)

## Horizon 2100

mm

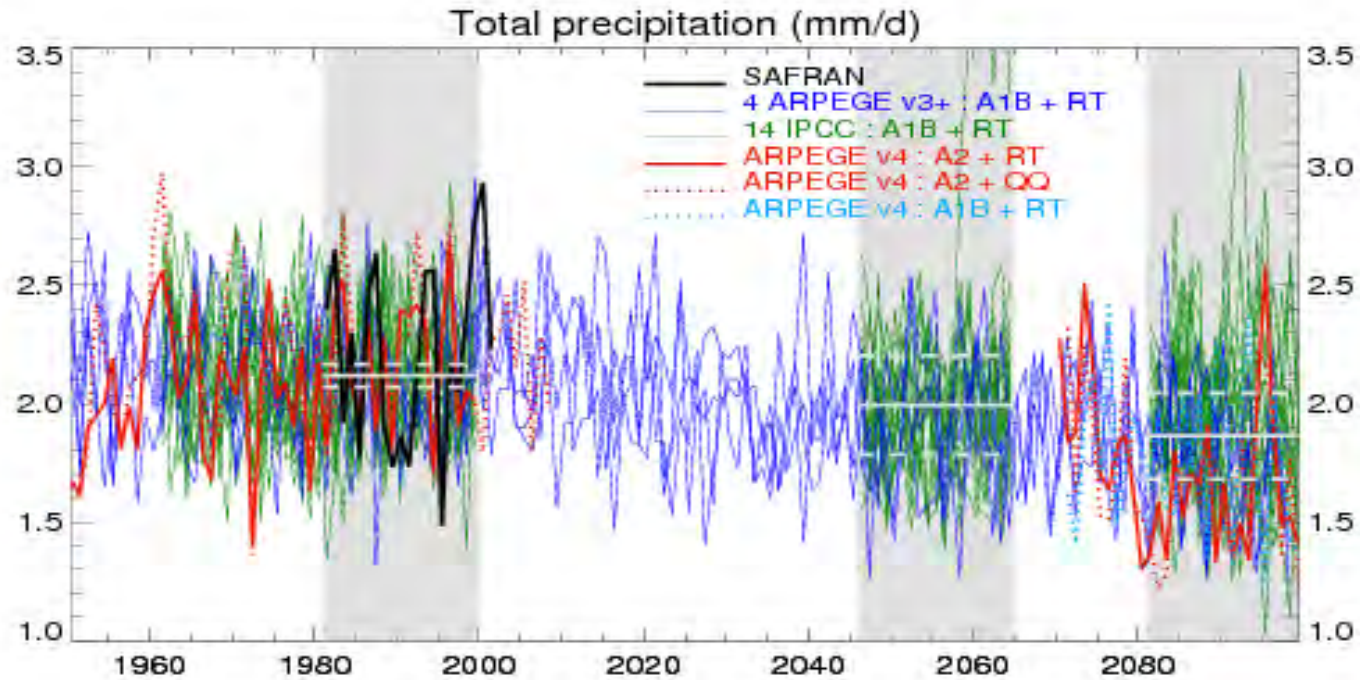


Stabilité  
Déficit 100mm

Déficit  
100 à 200 mm

Multi-scénarios / 1 indice / 1 expérience-modèle

# Evolution des précipitations à l'horizon 2100 - bassin de la Seine

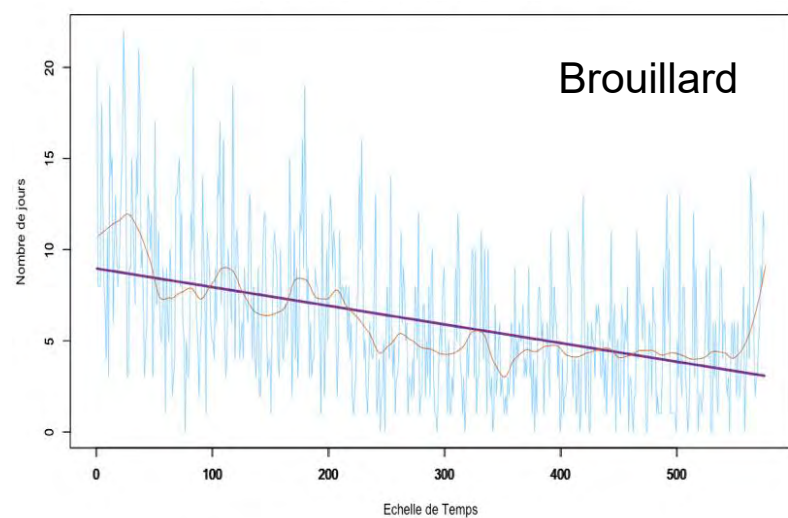
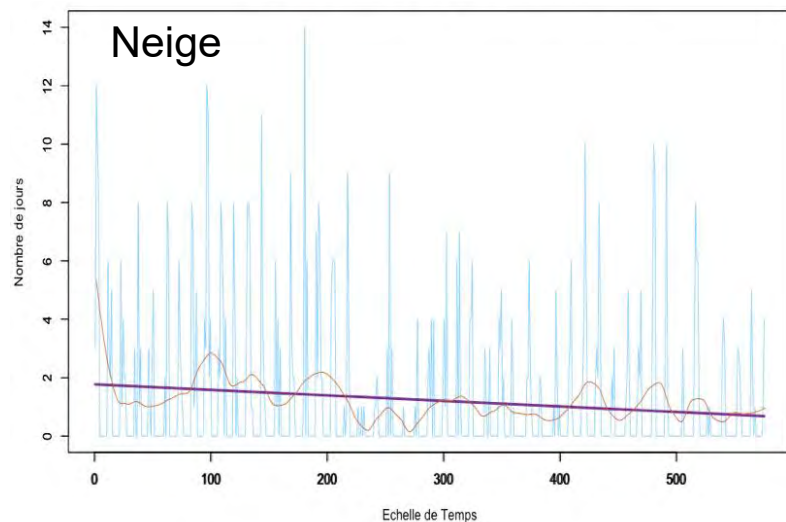
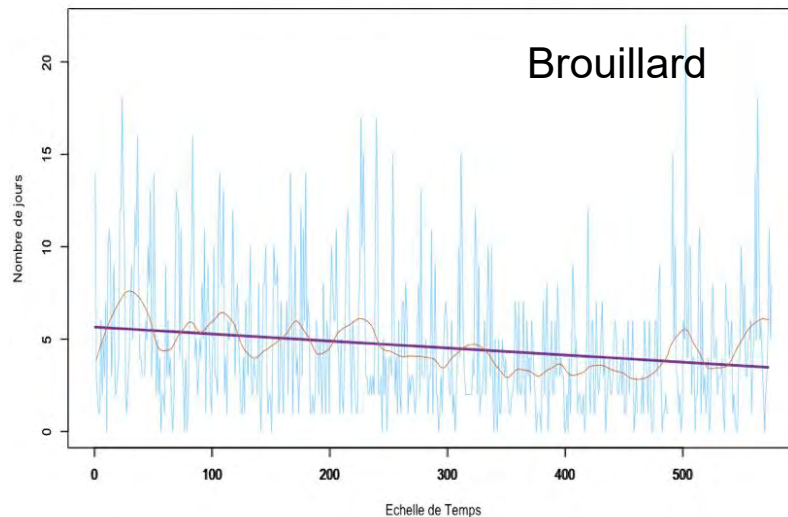
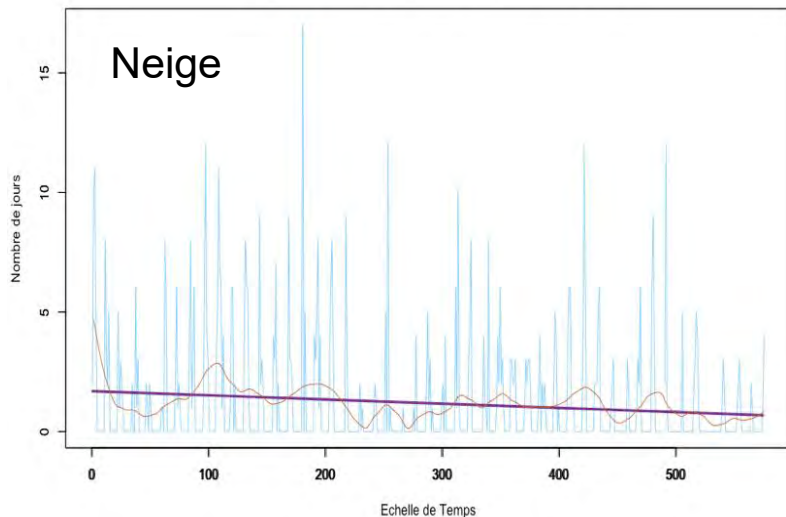


Scénarios du CC désagrégés dans le projet RExHySS concordants - 2100 :

- Cumuls annuels -12% en moy
- Echelle saisonnière :
  - baisse importante et systématique des précipitations estivales
  - évolution hivernale est plus faible en amplitude, incertaine sur le signe
- ↘ précipitations se traduit par une ↗ du nombre de jours sans précipitations et une persistance plus importante des épisodes secs



# Evolution des jours de neige et de brouillard depuis 1970

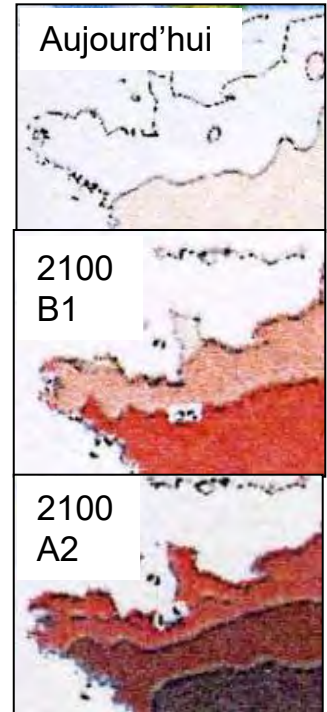
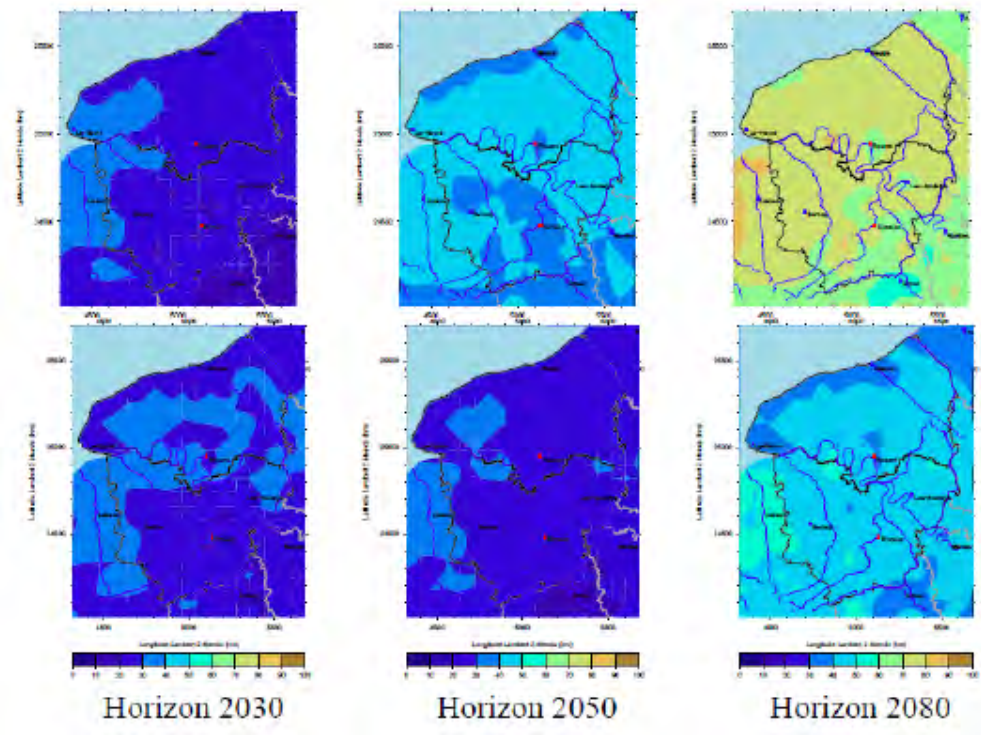
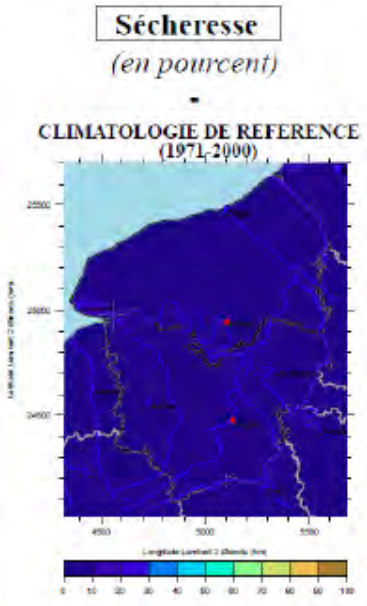


# Evolution de l'indicateur Sécheresse (%) et Canicule (nb jours)

Canicule de l'été 2019 rend visible et concrète cette évolution aux yeux des normands :

25 juillet 2019 records de températures :

**Boos 41,1° C** (38,1° C août 2003)  
**Le Havre 38,5° C** (37,3° C en 2003)

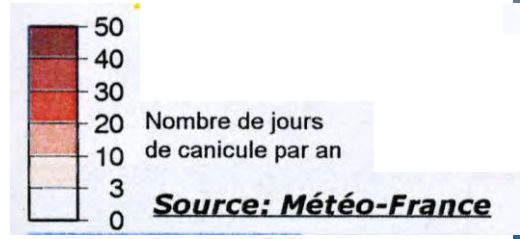


Sources : Météo-France

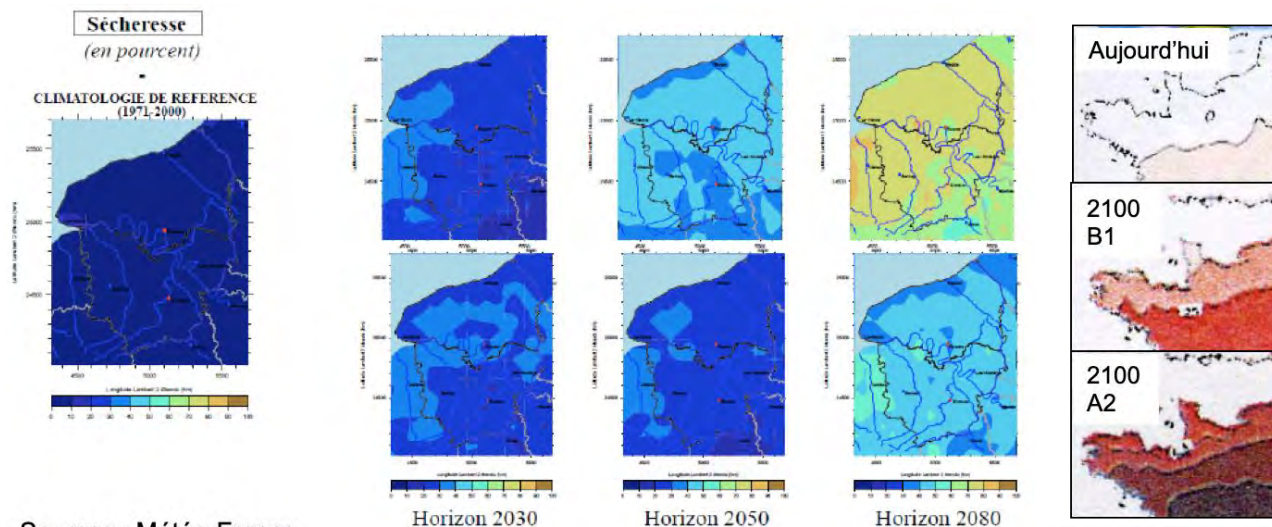
## Nombre de jour de canicule en Normandie

Aujourd'hui : 0 – 10 j → 2100 : 10 – 30 j

En 2050 : T° année 2003 sera inférieure à la moyenne



# Conséquences de l'augmentation des sécheresse et canicules



Sources : Météo-France

## Nombre de jour de canicule en Normandie

Aujourd'hui : 0 – 10 j      ➔      2100 : 10 – 30 j

En 2050 : T° année 2003 sera inférieure à la moyenne

## Risques d'incendies accrus :

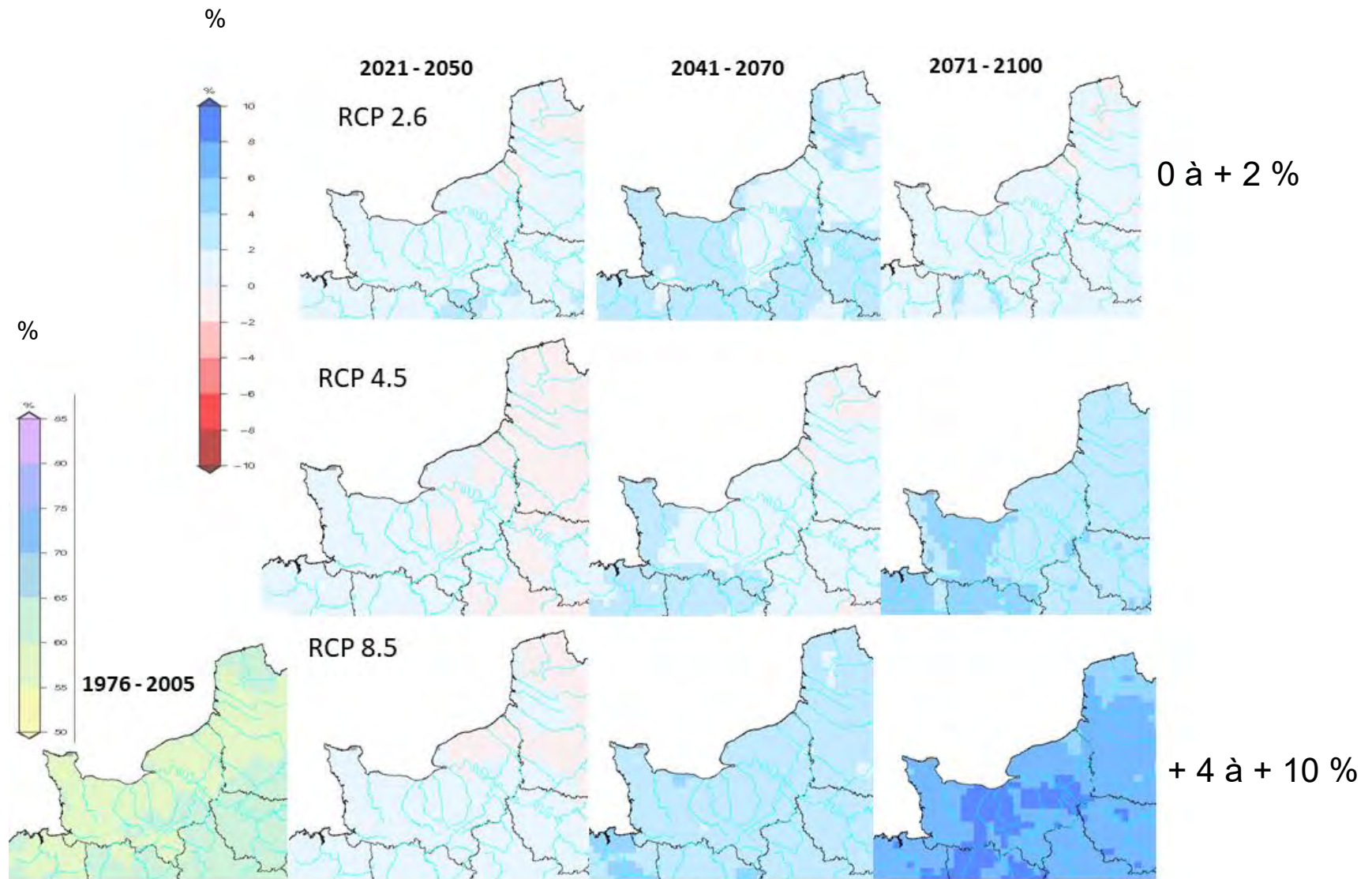
Été 2019 en Seine-Maritime : 299 feux de broussailles et 131 feux de récoltes

## Risques sanitaires accrus :

Chaleurs torrides le jour ➔ synonymes de forte déshydratation

+ Nuits étouffantes ➔ réduction de la durée et de la qualité de la récupération physiologique (INVS, 2003 ; Besancenot, 2004 ; Cantat, 2010)

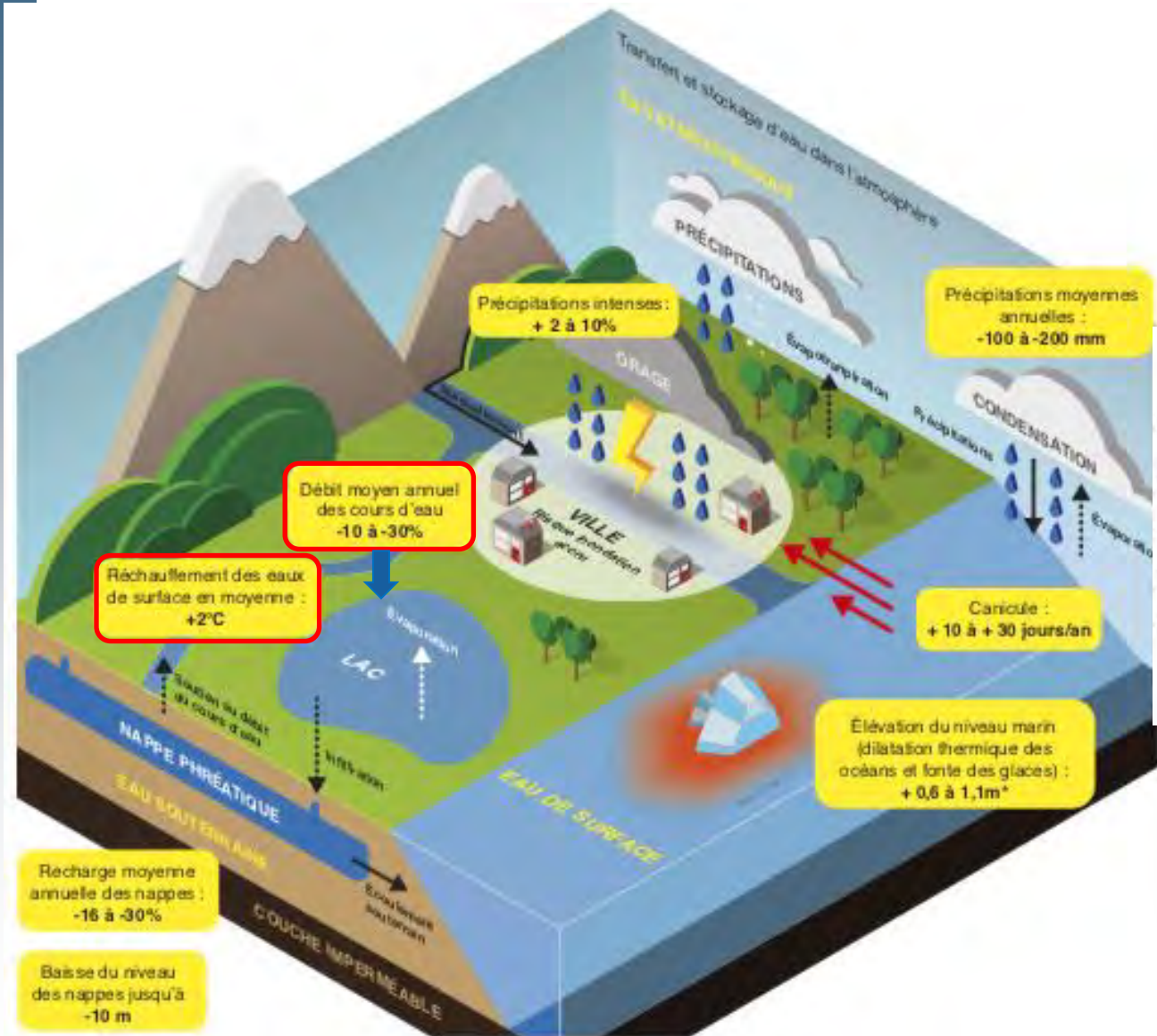
# Evolution du pourcentage de précipitations extrêmes en Normandie - Horizon 2100



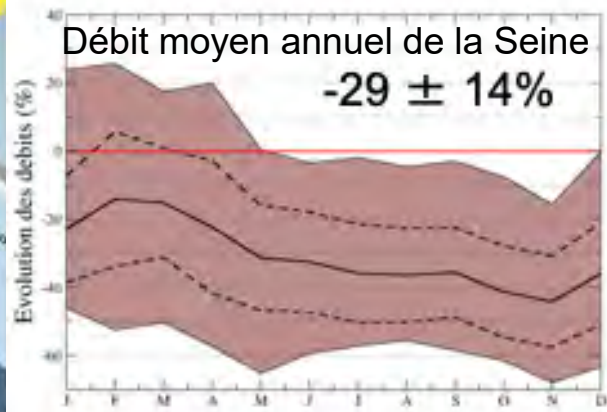
Multi-scénarios / 1 indice / 1 expérience-modèle

DRIAS, 2018

# Changement climatique et ressources en eau : cours d'eau



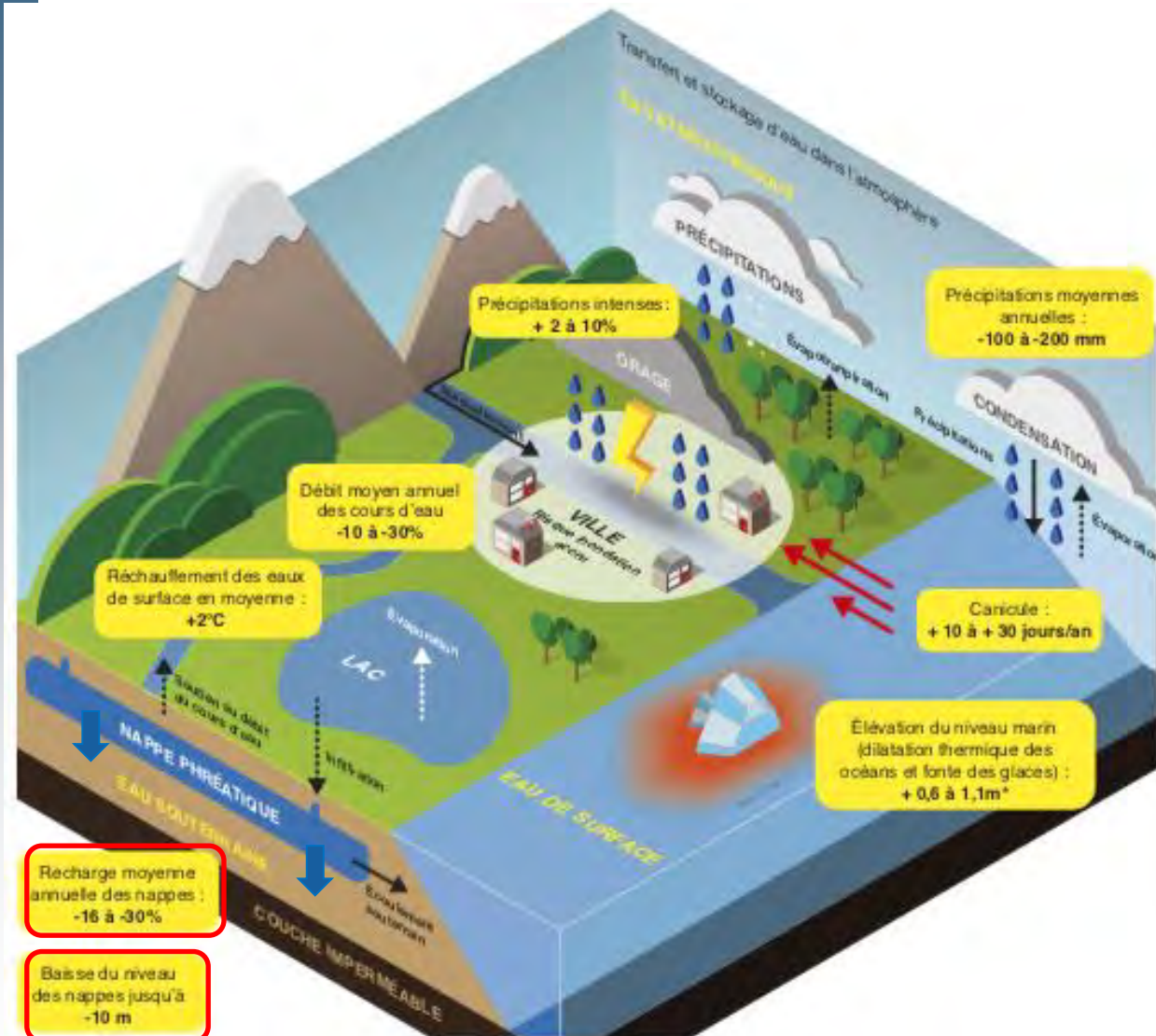
Projet RexHySS  
12 scénarios CC désagrégés  
+ 5 modèles hydrologiques



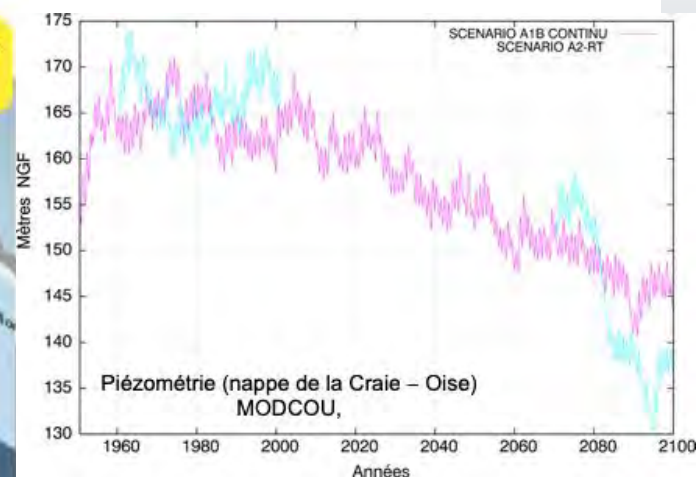
➤ débit quasiment en toutes saisons, mais essentiellement l'été

Ducharne et al., 2009

# Changement climatique et ressources en eau : nappe souterraine



## Evolution de la nappe de la craie du bassin de la Seine - 2100



- = Ressource en Eau potable
- ⚡ Recharge des aquifères -2700 Mm3/a
- = Même ordre de grandeur que volumes actuellement prélevés sur bassin Seine

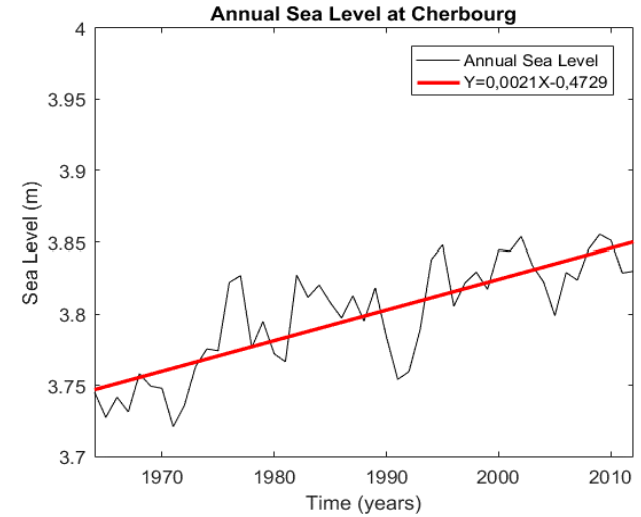
Ducharne et al., 2009

# Elévation du niveau marin en Normandie

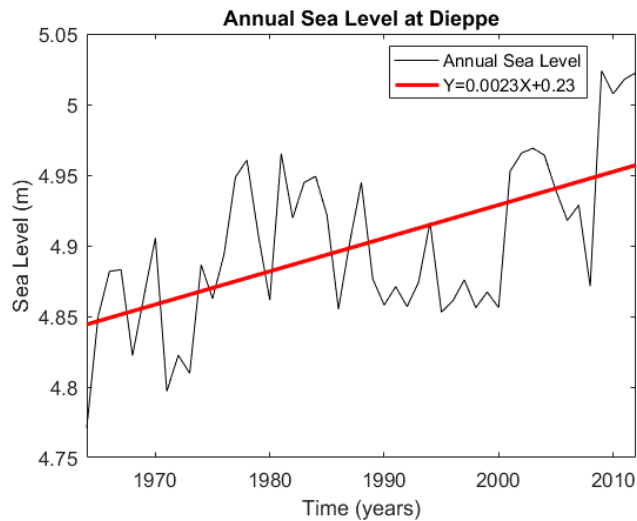


Elevation moy :  $2,2 \pm 0,1$  mm/an

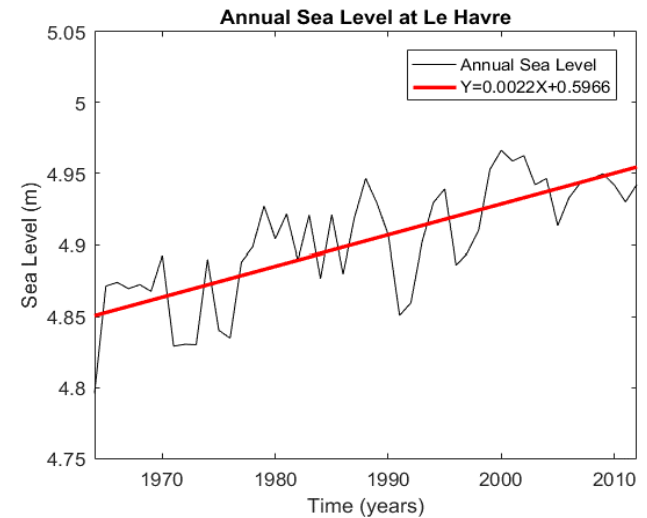
## Cherbourg



## Dieppe



## Le Havre



# Conséquences élévation du niveau de la mer sur le littoral

**Littoral = zone multi-aléas, multirisques**

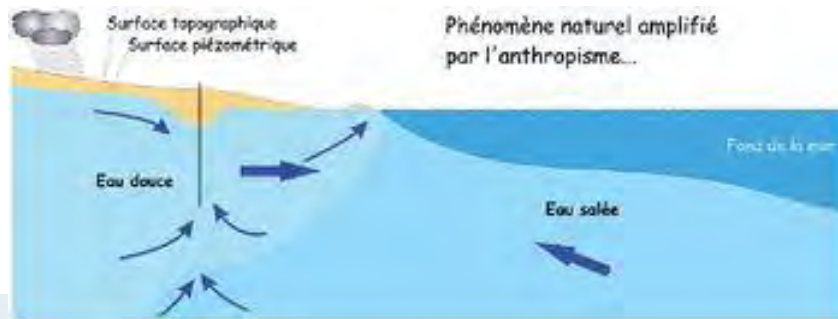
➤ Inondations

(Elévation du niveau de la mer dans le cadre du CC, Grandes marées, Submersions de tempêtes et Précipitations abondantes et crues des rivières)

➤ Recul du trait de côte

➤ Salinisation des aquifères côtiers

➤ Modification de la zonation des estuaires (Niveaux d'eau, salinité, température,





# Effets des tempêtes sur le littoral

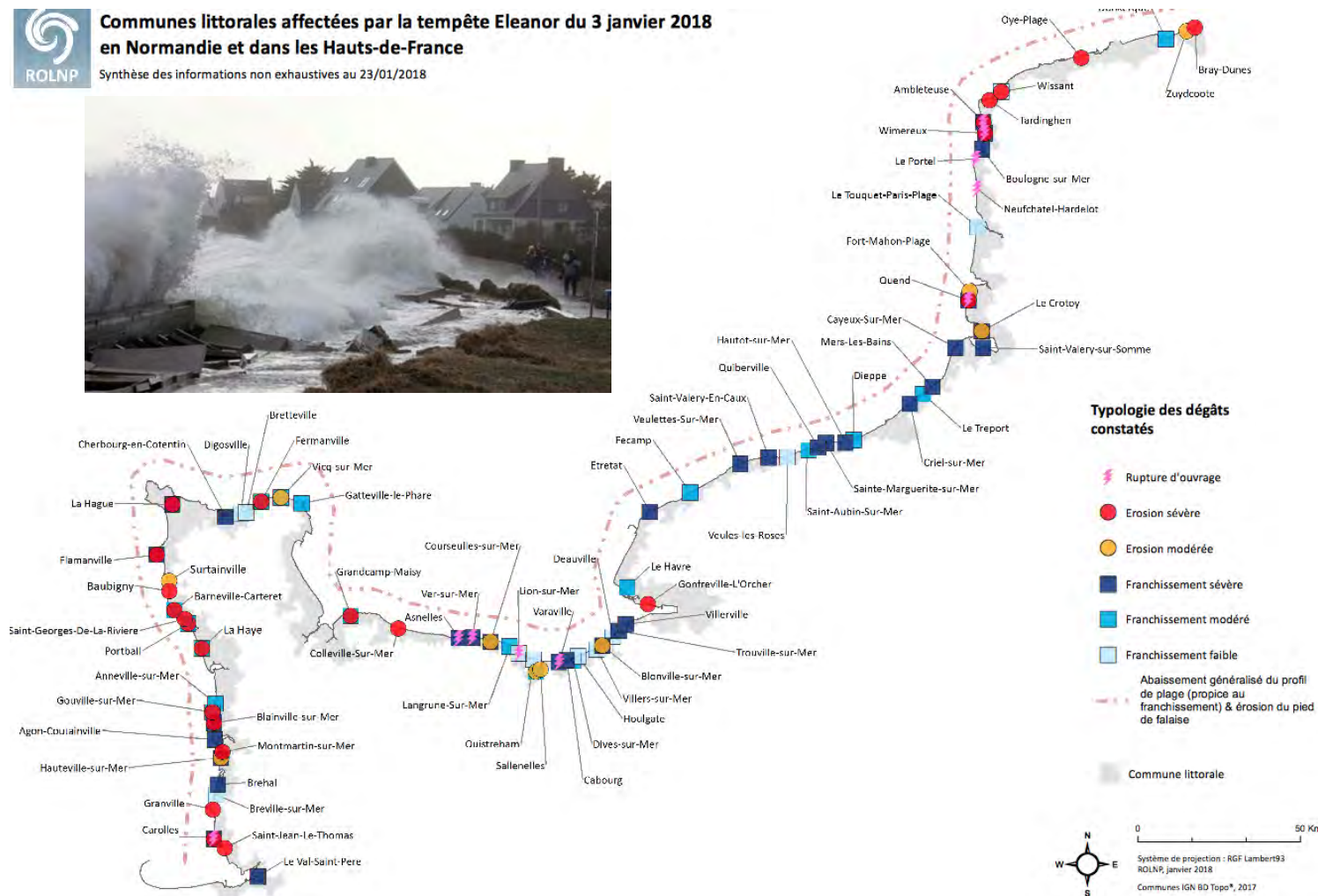
Ex : Eléonor 3 janvier 2018

Effet des tempêtes majeures :  
érosion/recul du trait de côte, franchissement/inondation

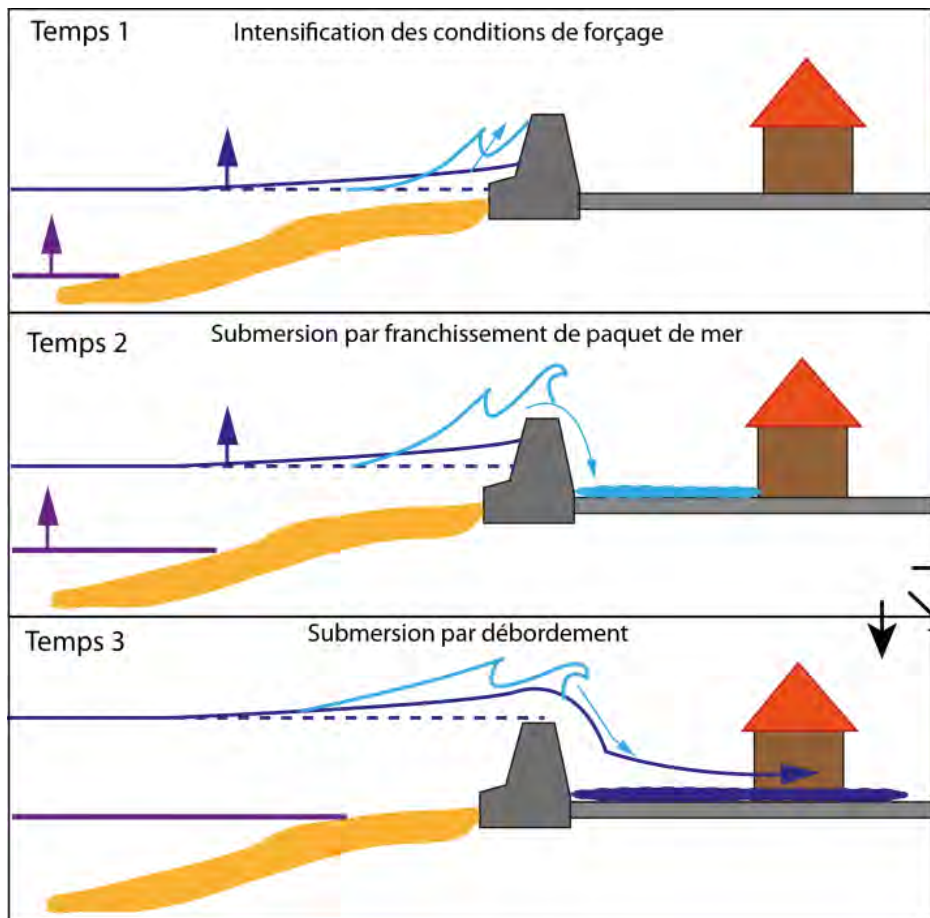


**Communes littorales affectées par la tempête Eleanor du 3 janvier 2018 en Normandie et dans les Hauts-de-France**

Synthèse des informations non exhaustives au 23/01/2018



# Projection : Effet combiné de l'élévation du niveau des mers et des submersions de tempêtes sur les inondations



Franchissement, submersion et inondation : lors des surcotes de fortes tempêtes

Conséquence élévation du niveau marin  
Plus besoin de forte tempêtes pour franchissement, submersion et inondation

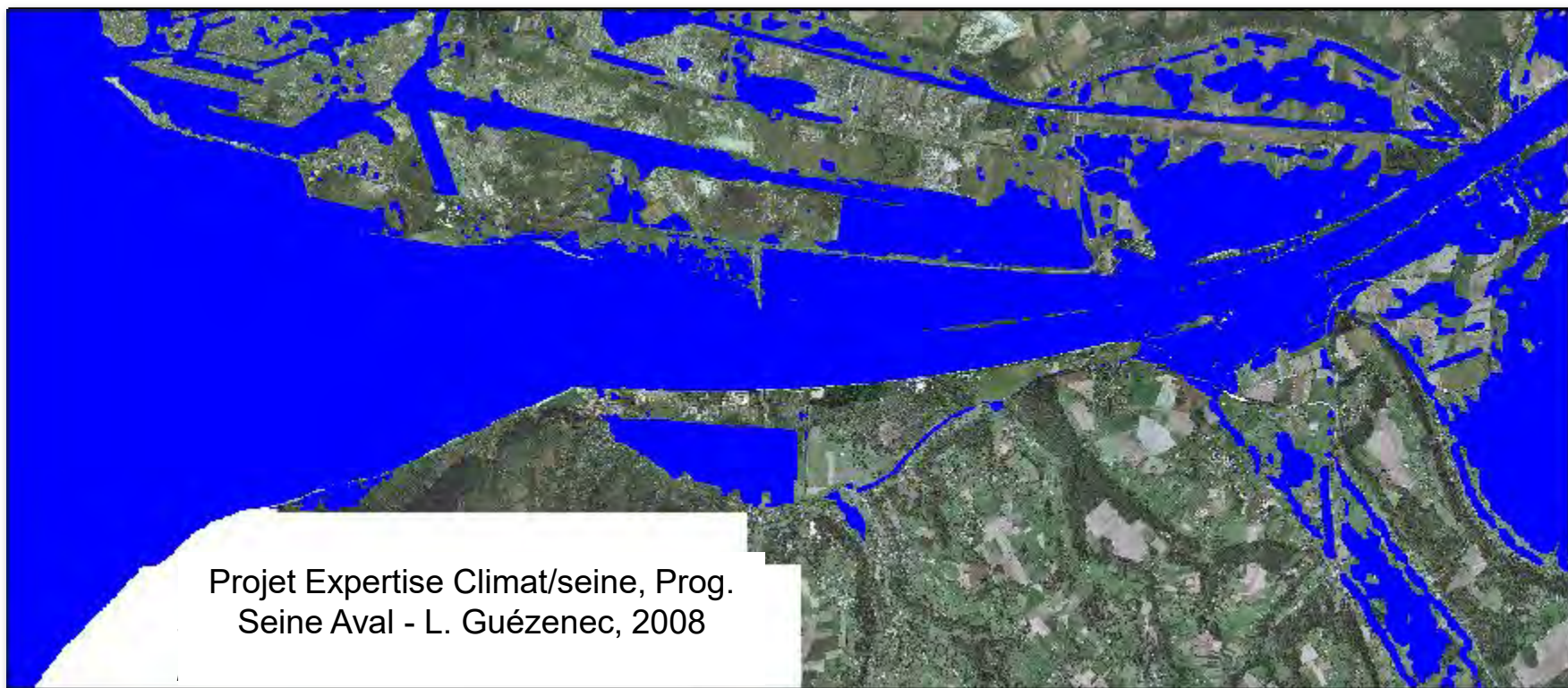
**Élévation du niveau marin + Augmentation intensité des tempêtes**



**Augmentation fréquence et intensité des submersions par franchissement et inondations**

# Impact élévation du niveau marin : projection zones inondées en Seine

Image obtenue en se basant sur les données de P. Pirazzoli  
Cote 8 CMH  $\approx$  niveau moyen de pleine mer de vive eau  $\Rightarrow$  si 9 CMH  
+ 1m appliqué sur MNT : 60 cm élévation niveau marin + 40 cm surcote



Nombreuses zones inondées, modification de la zonation actuelle de l'estuaire  
(Niveaux d'eau, salinité, température, régime fluvial...)

Réflexion sur les zones à protéger et sur les actions de restauration...

+ Inondations ponctuelles par phénomène de blocage de l'écoulement fluviale par la marée, renforcé par l'élévation du niveau marin

# Quelques exemples d'évolution de la biodiversité en Normandie

## Exemple de travail de l'Observatoire des saisons

- les martinets et les hirondelles reviennent de leur migration dix jours plus tôt qu'en 1970



- la germination des plantes est plus précoce chaque année
- le lilas fleurit un mois plus tôt qu'il y a 30 ans...



## Conclusion : Accord sur la réalité du Changement Climatique

Les différentes études mettent en avant que :

- ☛ même s'il existe des différences dans la variabilité (type et degré) de l'impact du CC sur le système terre en fonction des régions étudiées et des outils utilisées

- ☛ sont en accord sur le principe qu'il existe un CC

observable dans ↗T° , ↗contraste précipitations

- ☛ Et que ce CC a eu, a et aura des conséquences importantes sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques, quelque soit l'échelle (globe, nationale, régionale, locale)

sur les stocks d'eau : ↘glace, ↗contraste fleuve + nappe, ↗mer

↗T° eau, ↗inondations, dégradation qualité de l'eau,

Modification distribution des espèces et ↘biodiversité,

Modification activités humaines et économie (industrie, agriculture...),

santé....

# L'urgence climatique : C'est maintenant

---



**Il nous reste très peu de temps pour réagir :**

**Que fait-on ?**

↳ **Atténuation, Adaptation**

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

# Des solutions existent à l'échelle régionale...



## Atténuation : quelques exemples

- Promouvoir davantage les énergies renouvelables (solaire, géothermie, éolien, hydraulique...) → implantation de nouveaux quartiers autonomes en énergie dans les villes...
  - Mobilité : plateforme de co-voiturage, transport en commun accessible au plus grand nombre avec tarif raisonnable ou gratuité, vélo en ville...
  - Rénovation du bâtiment public et privé
  - Place de la nature en ville
  - Industrie raisonnée plus propres et moins consommatrices en énergie...
  - Agriculture durable et soutenable
- S'appuyer sur des technologies innovantes et accélérer leur développement (ne doivent pas rester à l'état de brevet...)

**+ Sobriété (Economie : Energie, Ressources en Eau,...)**  
**= pas synonyme de privations**



## Des solutions existent à l'échelle régionale...

### Adaptation : ex zones à risques

.... 3 questions se posent :

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



Mais ces solutions/mesures doivent être partagées par tous les acteurs de manière raisonnée et structurée, avec une réflexion globale de l'échelle régionale à locale, en lien avec les contextes locaux et ne doivent pas être perçues comme anxiogènes

☞ Adaptation au changement climatique

et la protection de l'environnement en général doivent être intégrés dans **un projet global de territoire intégrant les risques + les innovations pour améliorer la qualité de la vie de tous et soutenir l'attractivité**

= Projet faisant des contraintes une opportunité de dynamisation ou redynamisation du territoire



# Efforts à consentir

## Communication = Prise de conscience des enjeux par tous les acteurs de la société et la population

Le GIEC et le changement climatique peut apparaitre à une échelle lointaine de nos préoccupations, mais notre territoire est directement concerné



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

Manque de connaissance et de structuration entre les différentes initiatives menées par les collectivités, les associations, la recherche, l'éducation, les industries, le monde agricole...

Les résultats de ces différentes initiatives que se soit un échec ou une réussite doivent être connus du plus grand nombre pour savoir ce qui est transposable et/ou adaptable à tout le territoire ou à certains secteurs



## Besoin d'un socle scientifique solide

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

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

Besoin d'initiatives telles que celles de la Région Normandie et de la Métropole de Rouen perdurent (GIEC local métropole et GIEC Normand), avec une démarche alliant des engagements forts (COP 21 local), s'appuyant sur une approche scientifique pluri-disciplinaire

