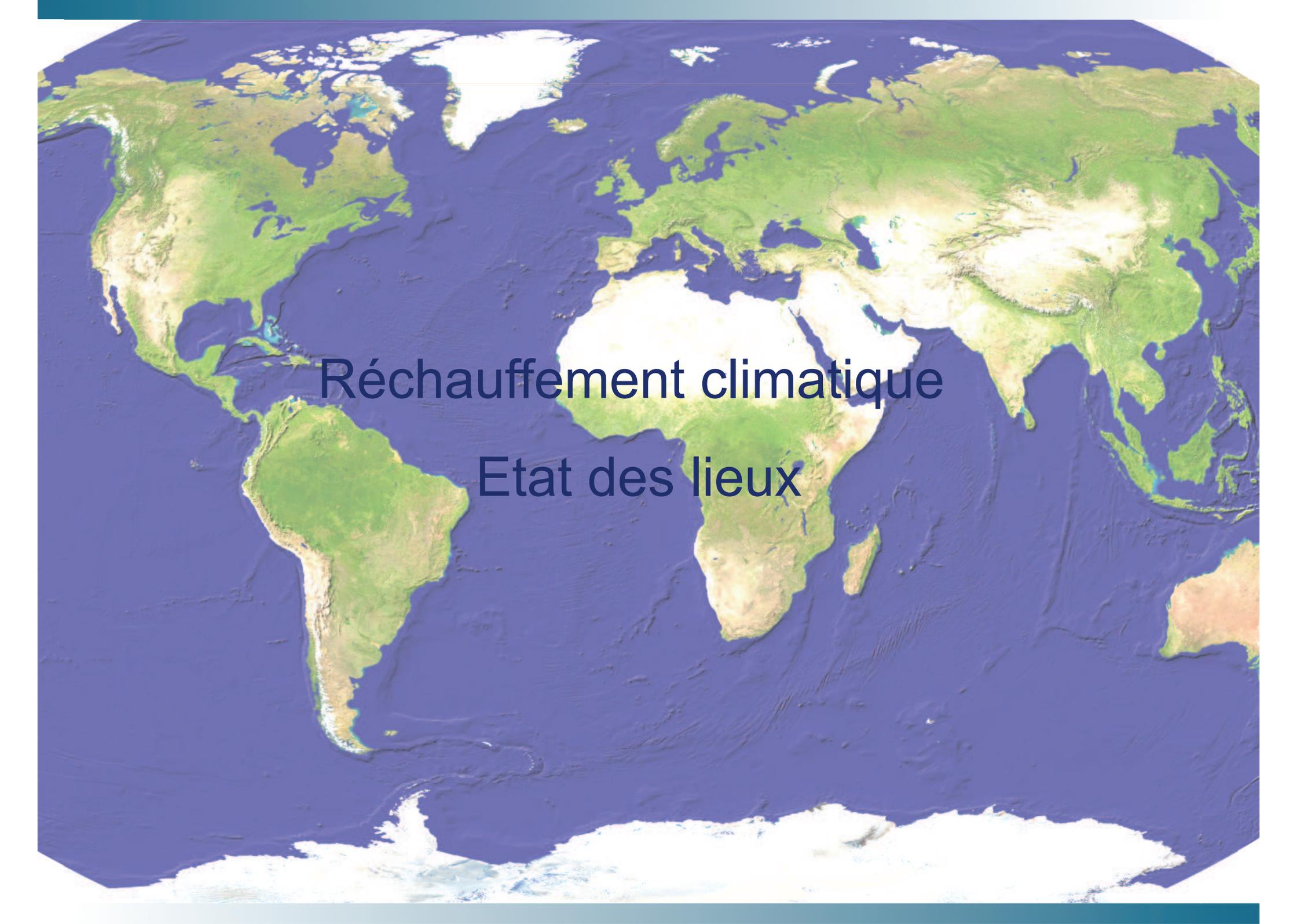


Changement climatique & Adaptation des bâtiments et des aménagements urbains, CEREMA, 18 Novembre 2015

Le changement climatique et ses effets de l'échelle globale à régionale : Etat des lieux

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

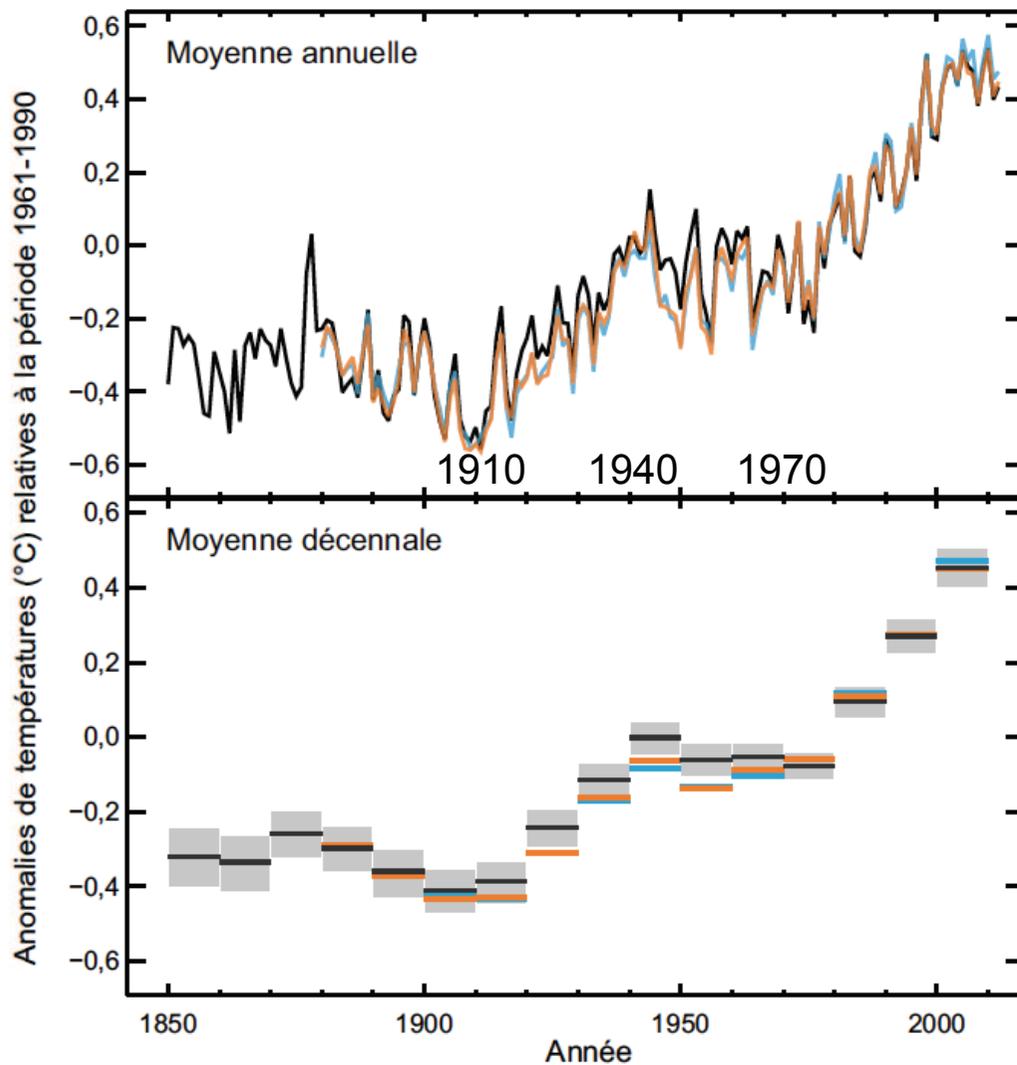




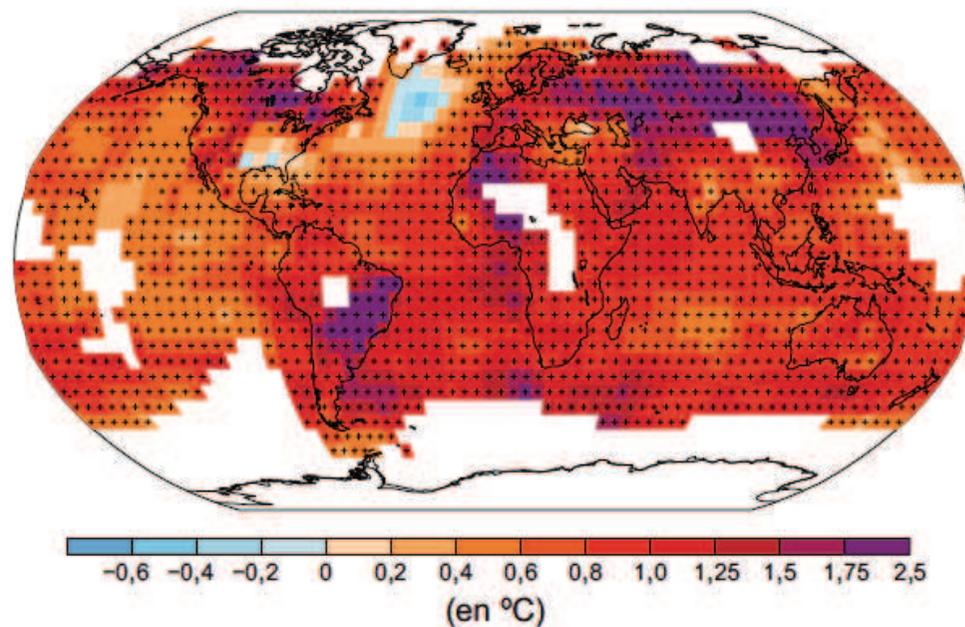
Réchauffement climatique
Etat des lieux

Evolution des températures atmosphériques

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



Évolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012

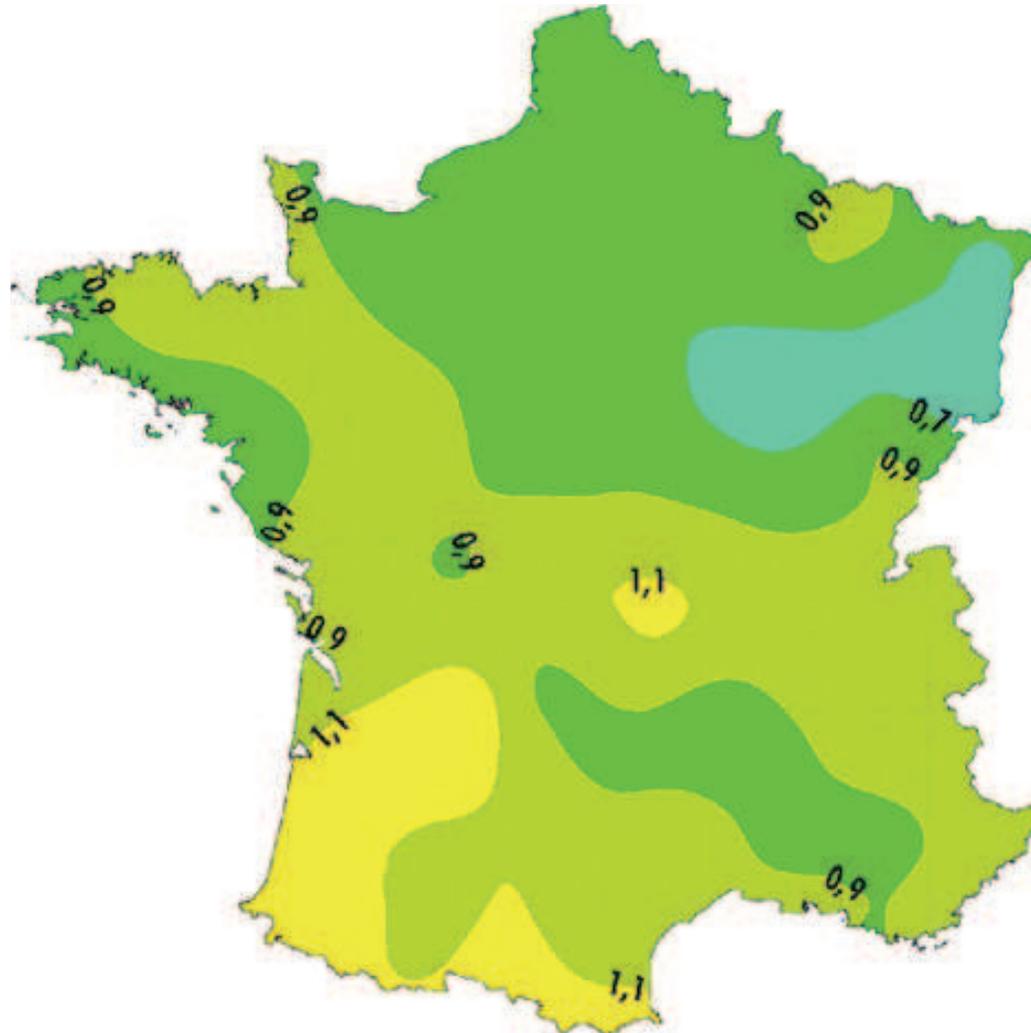


Elévation température moyenne du globe
(combinant terres émergées et océans)
de 1880 à 2012 :

+ 0,85 ° C [0,65 à 1,06]

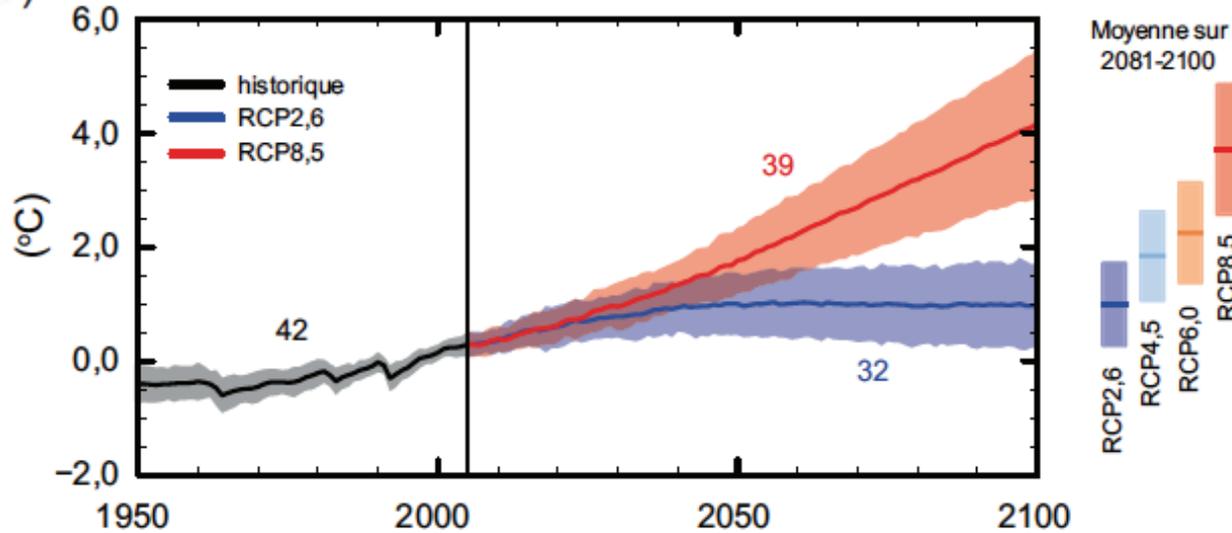
Evolution des températures atmosphériques en France

*Cartographie des tendances de la température moyenne (en °C/siècle) - 1901-2000
(Moisselin et al., 2002)*



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 :

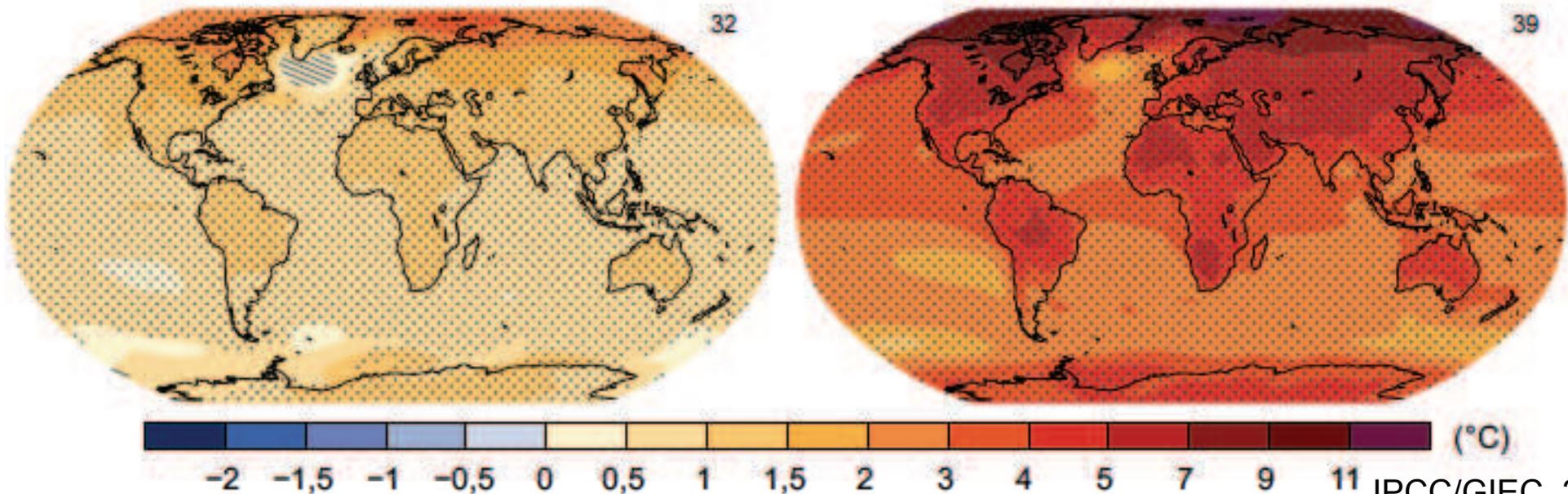
Entre +0,3 et + 4,8 °C (modèles avec incertitudes)

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)

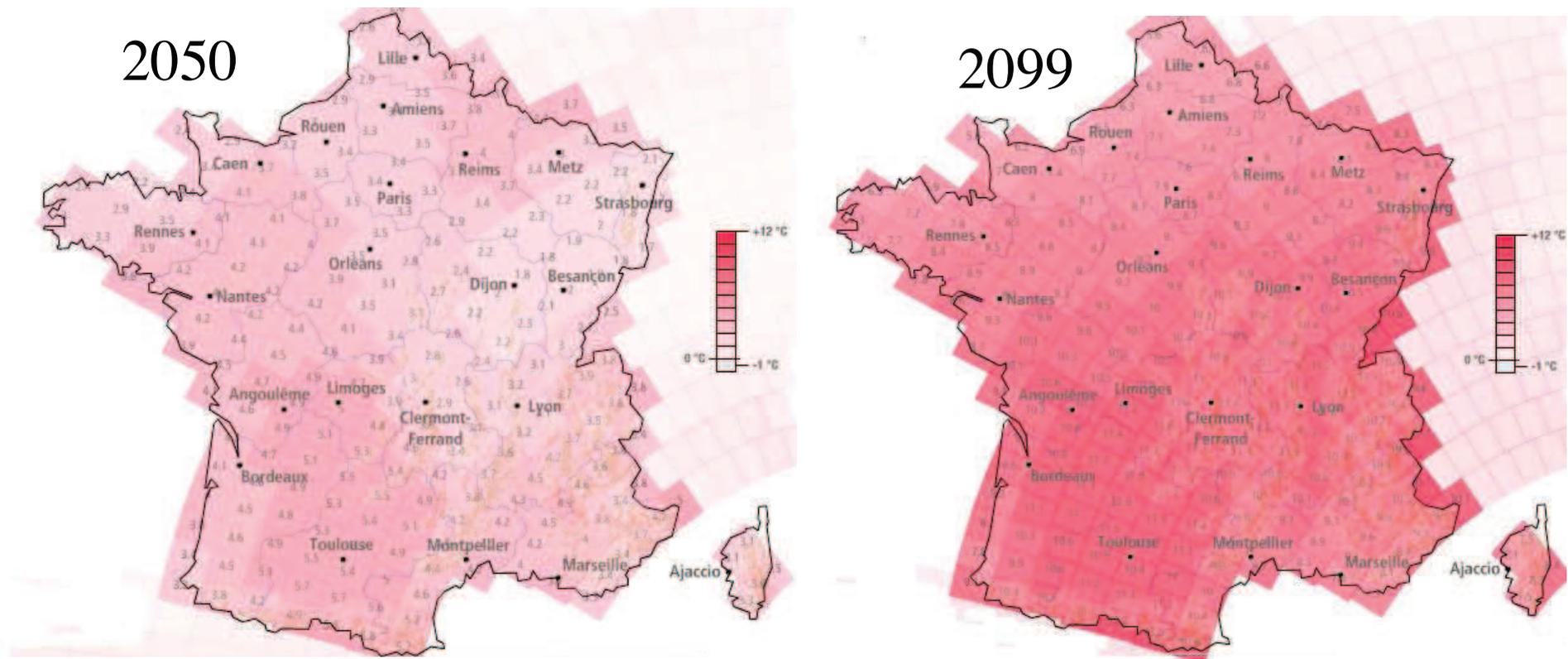


Projection : Augmentation de température à l'échelle nationale

Selon le scénario utilisé :

Augmentation T° moy annuelle : 3 à 5°C d'ici 2100

Disparités plus ou moins importantes f(régions, saisons)



Augmentation de la température atmosphérique maximale pendant la saison estivale selon un des scénarios les plus pessimistes (A2) – Source : MétéoFrance



Origines du réchauffement planétaire

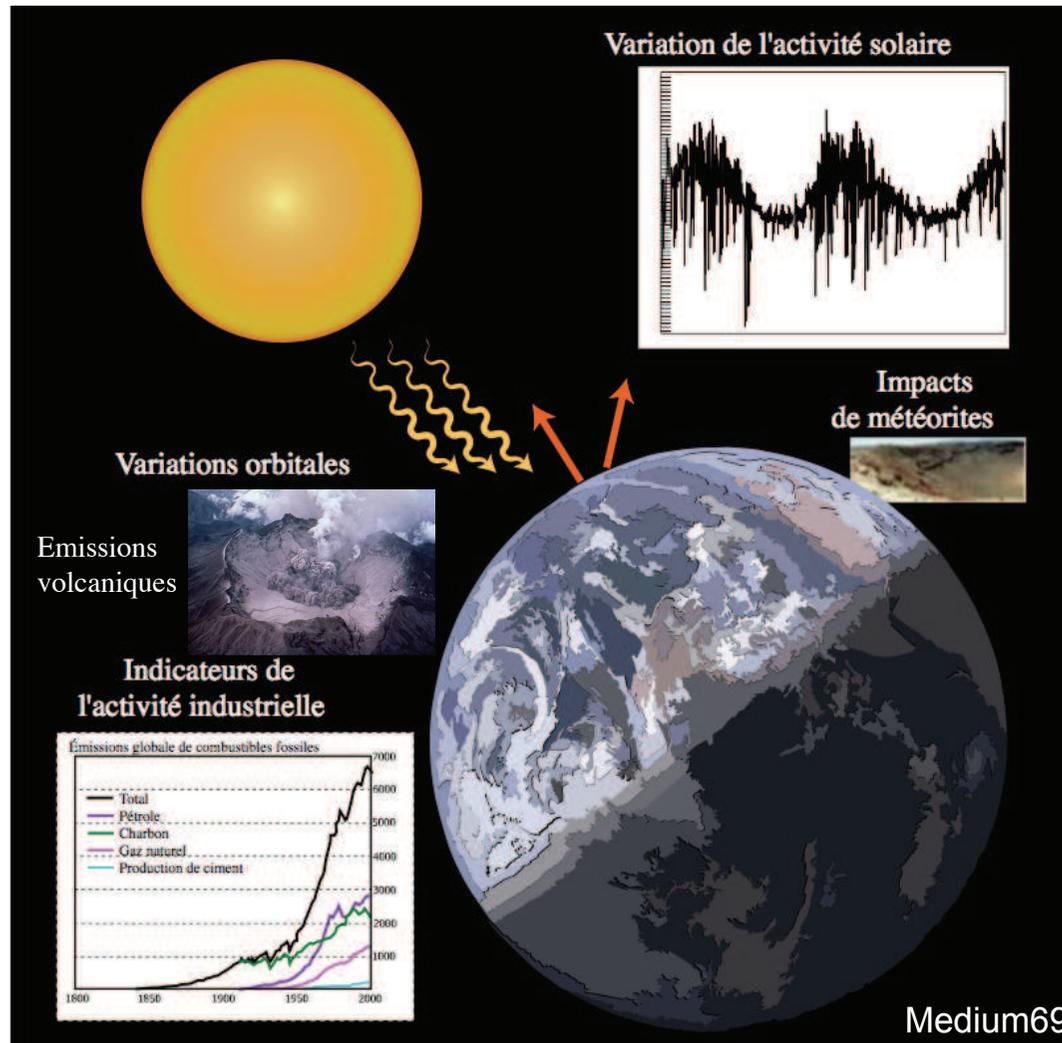
Origines du réchauffement planétaire

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

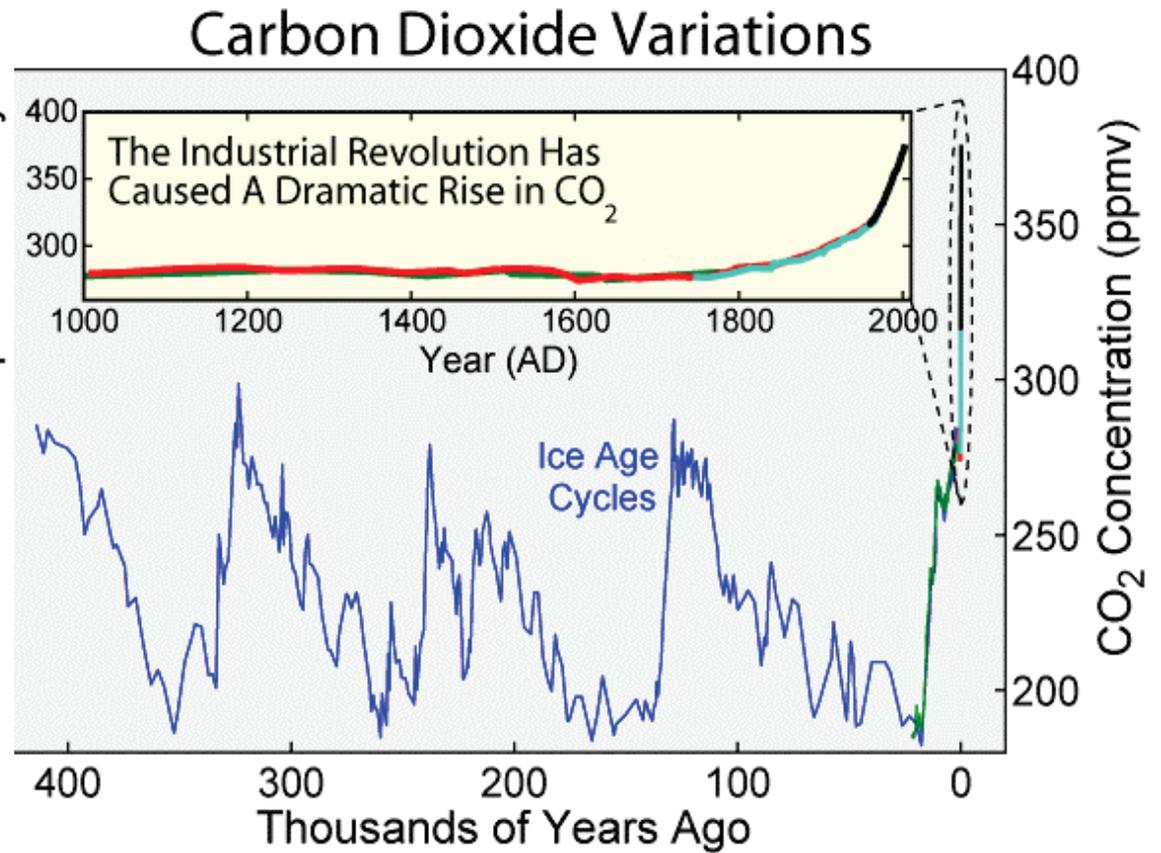
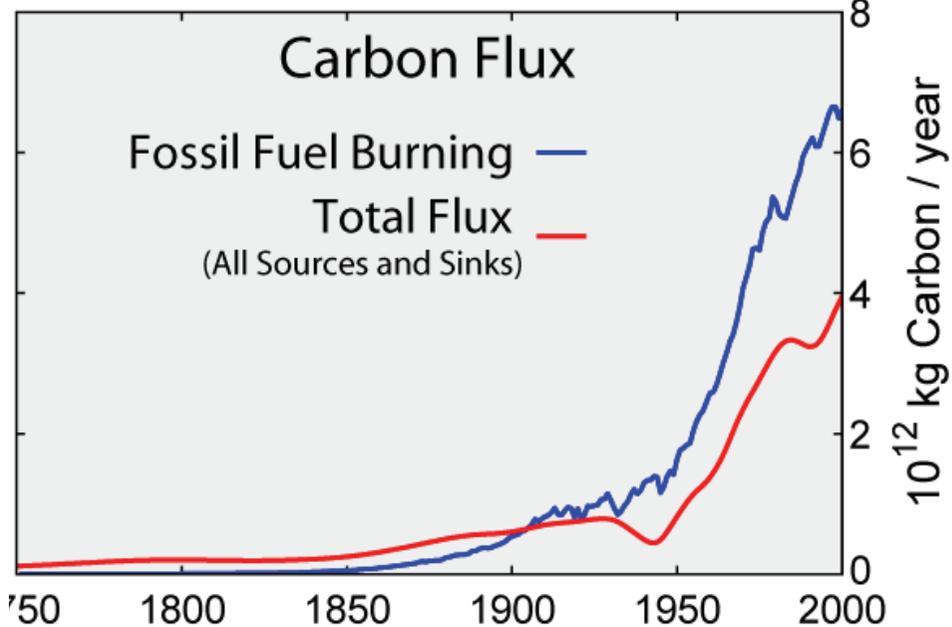
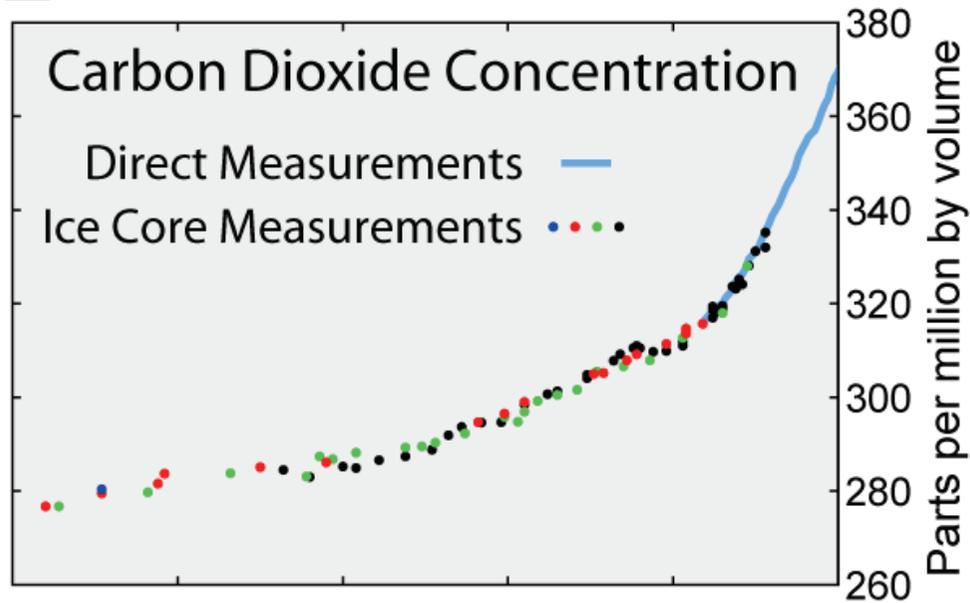
Causes astronomiques : variations orbitale et fluctuations de l'activité solaire

Variation de la réflectivité de la surface terrestre (Albedo)

Emissions volcaniques

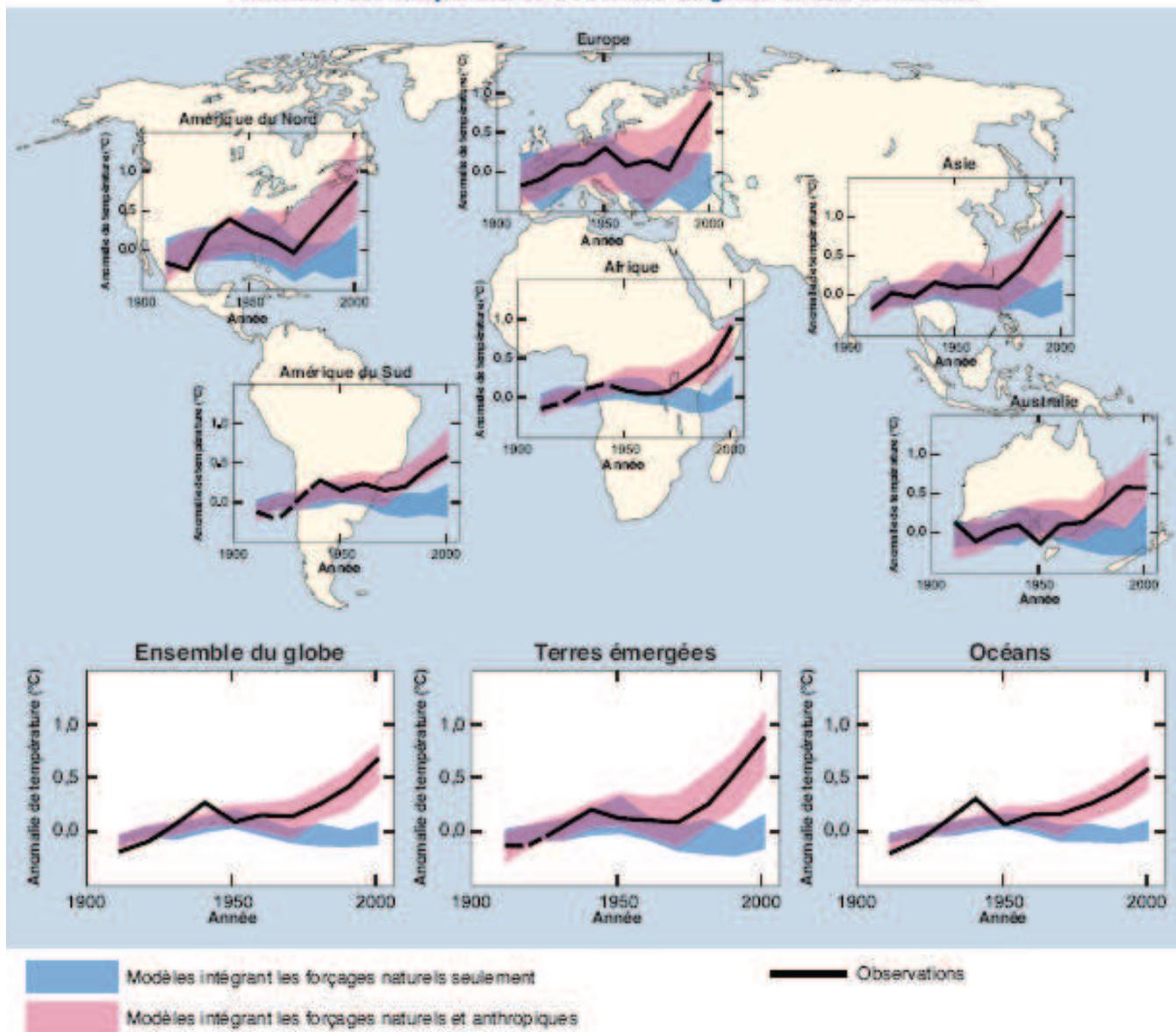


Augmentation du taux de CO₂ au cours du dernier siècle



Forçages à l'origine du réchauffement climatique

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





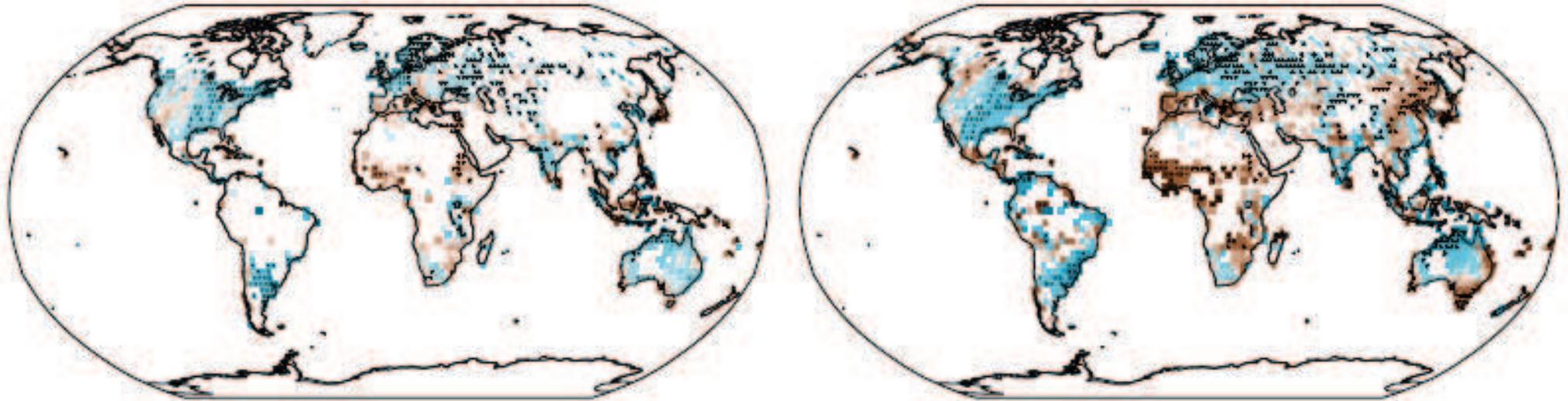
Conséquences du réchauffement climatique
à l'échelle du globe

Evolution des précipitations : données historiques

Changements observés concernant les précipitations annuelles sur les terres émergées

1901–2010

1951–2010



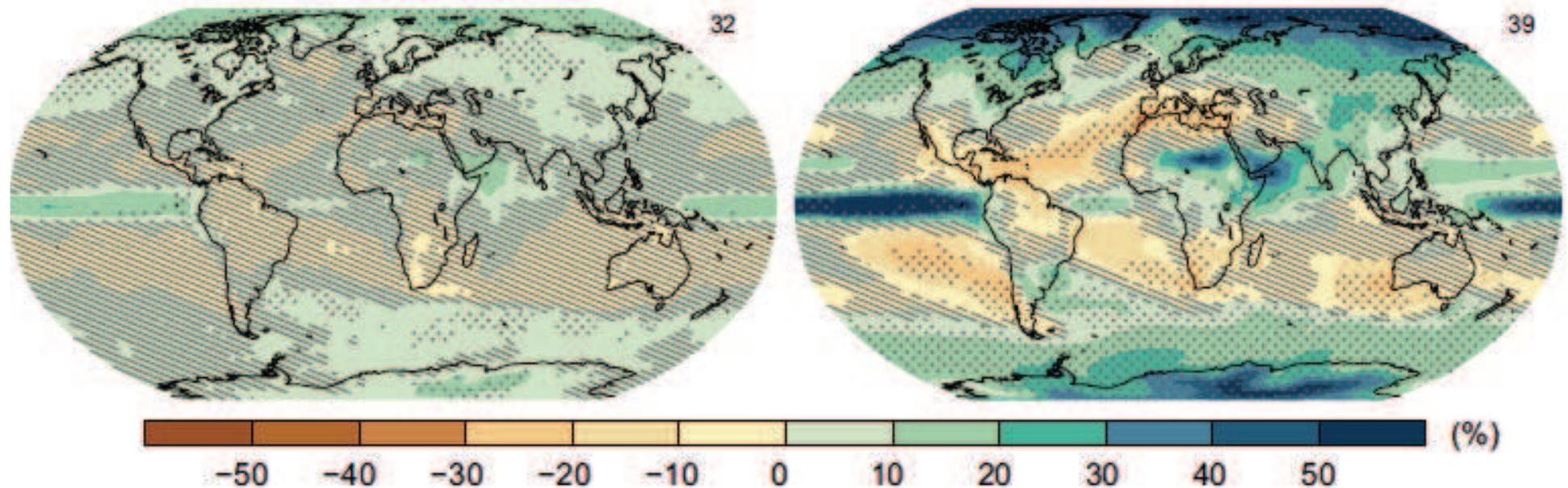
-100 -50 -25 -10 -5 -2,5 0 2,5 5 10 25 50 100

(mm par an par décennie)

- Précipitations moy mondiales : 3%
- Disparité spatiale des précipitations
 - Régions des moyennes et hautes latitudes, dans les zones équatoriales
 - zones méditerranéennes et tropicales sèches

Projection : Evolution des précipitations à l'échelle du globe

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



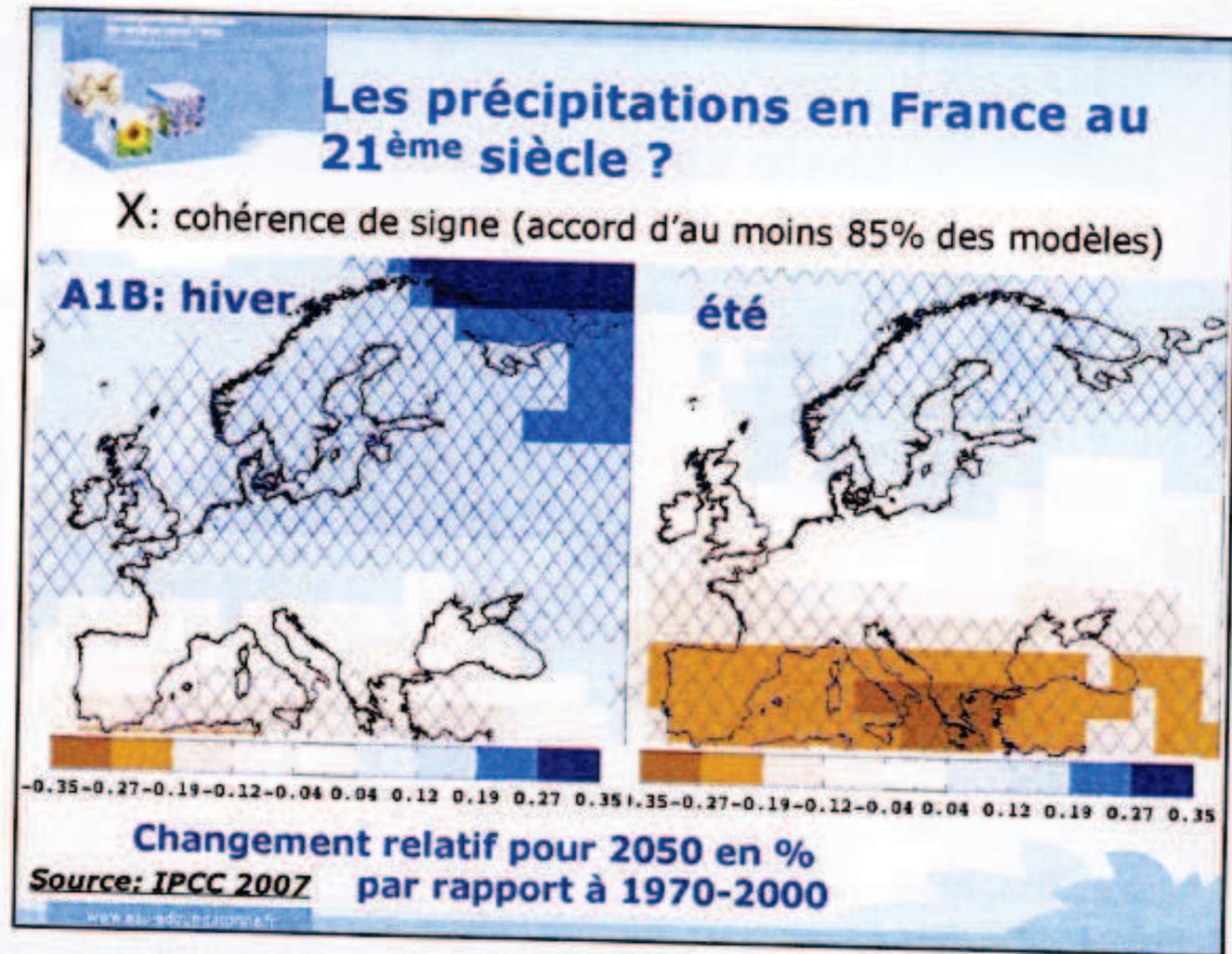
➤ Précipitations moy mondiales

Basé sur scénario d'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre

➤ Disparité spatiale des précipitations

- précipitations dans les zones équatoriales et au niveau des pôles
- ↘ zones méditerranéennes, tropicales sèches et désertiques

Evolution des précipitations en Europe



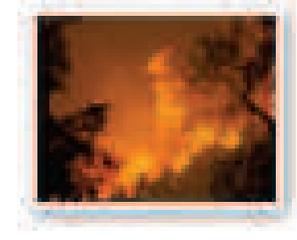
↗ Contraste entre hiver/été

↗ Contraste entre Pays Europe du Nord/Europe du Sud

Événements extrêmes

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

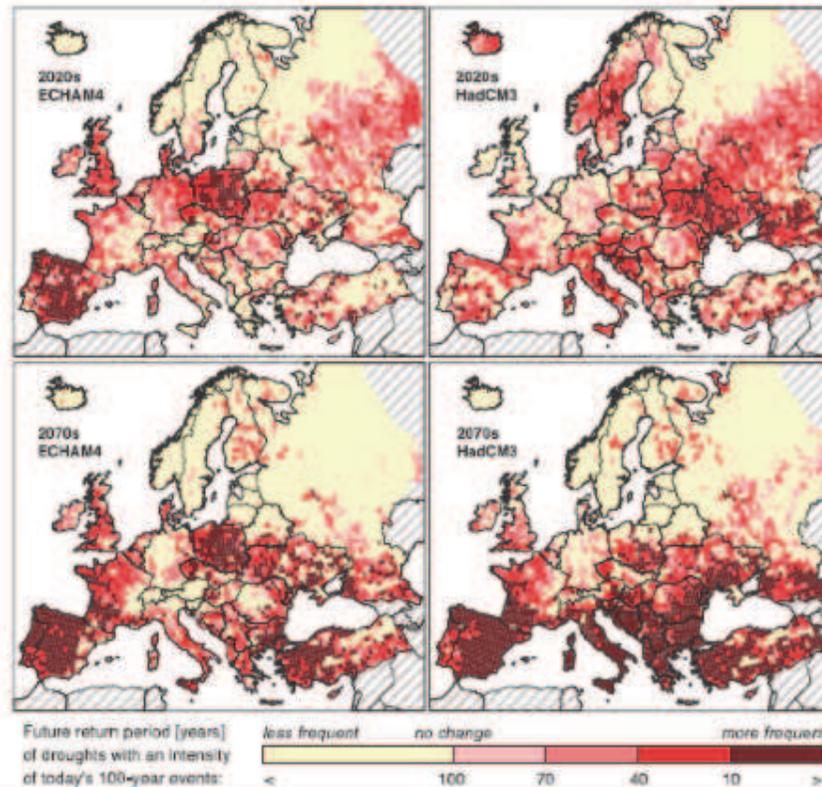
- Sécheresse : la fréquence des vagues de chaleur a augmenté sur une grande partie de l'Europe, de l'Asie et de l'Australie
- La fréquence ou l'intensité des épisodes de fortes précipitations a probablement augmenté dans les régions des latitudes moyennes (Amérique du Nord et Europe) et dans les régions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



Climat: impacts globaux sur le cycle de l'eau

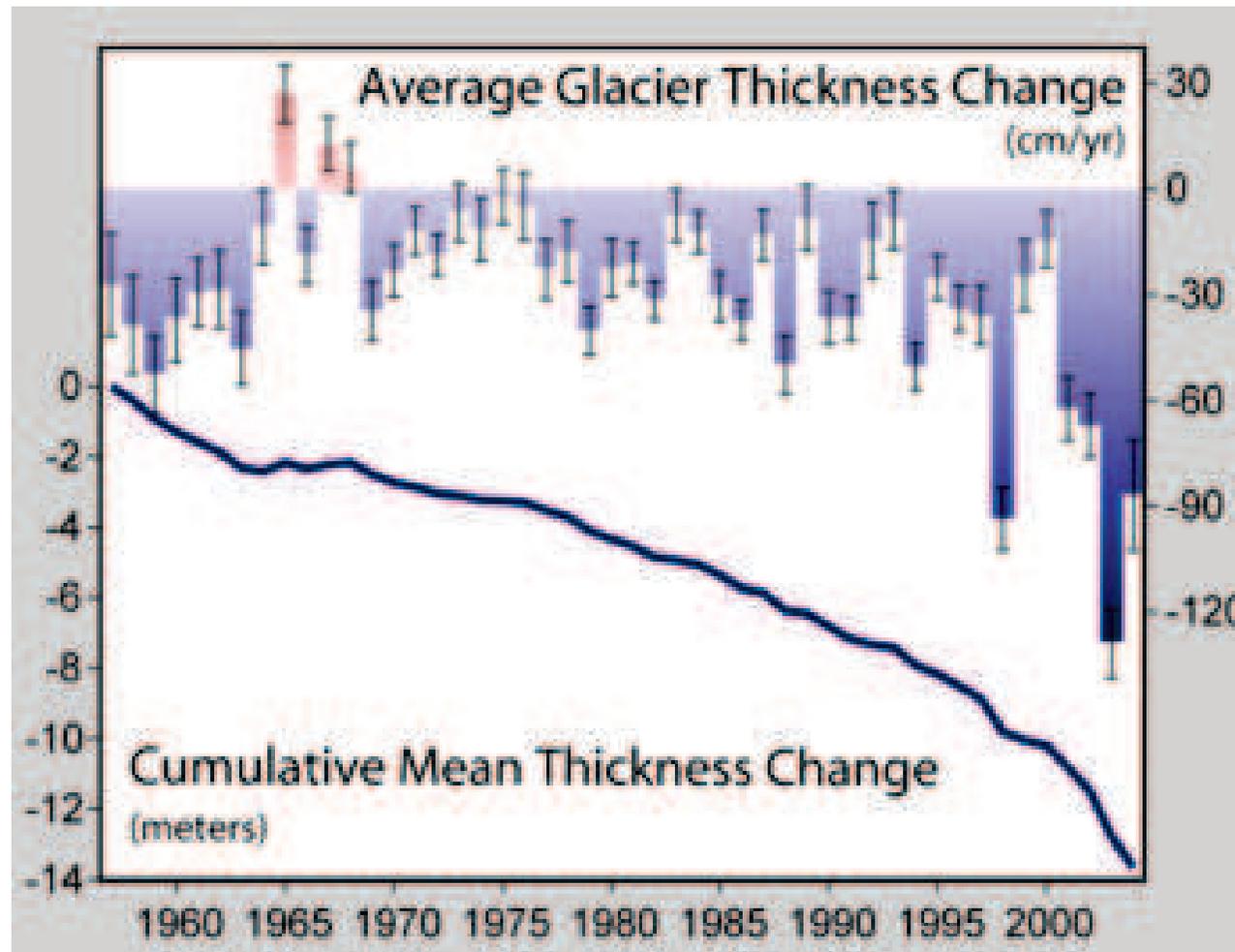
IPCC AR4: augmentation de la T° et de la variabilité des précipitations et du niveau de la mer)

- **Extension de la durée des sécheresses et des superficies touchées**



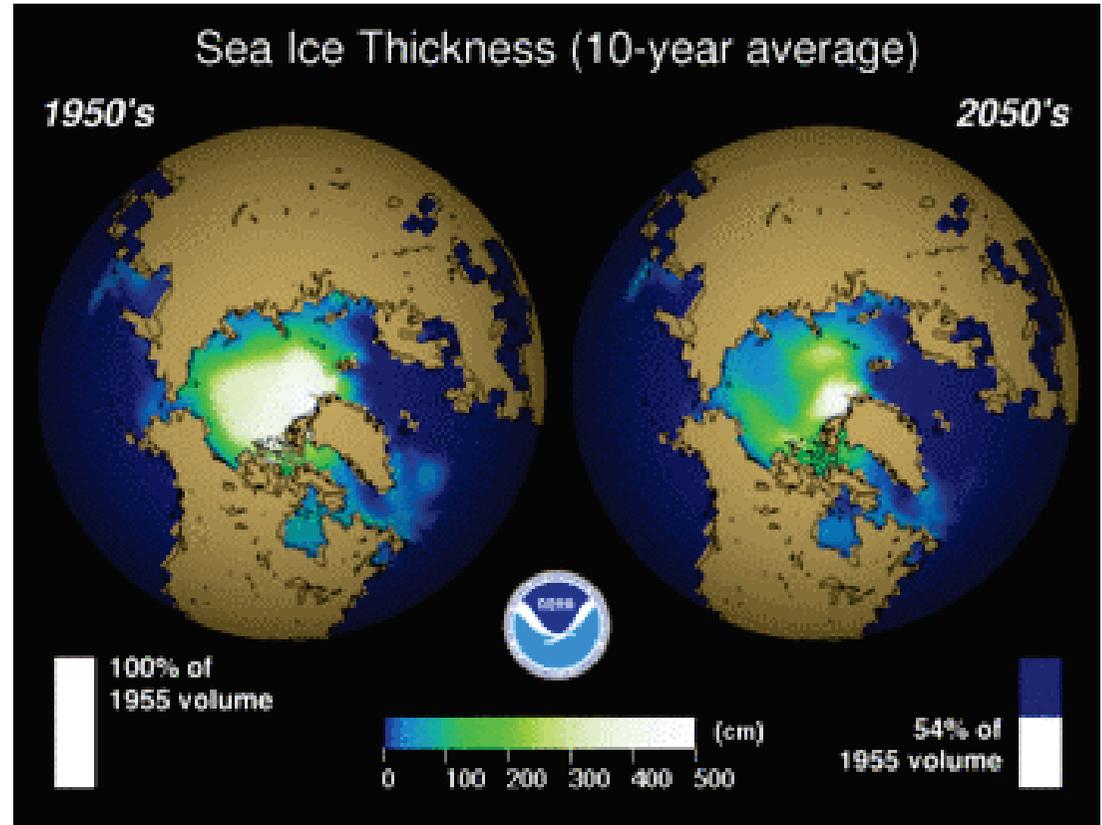
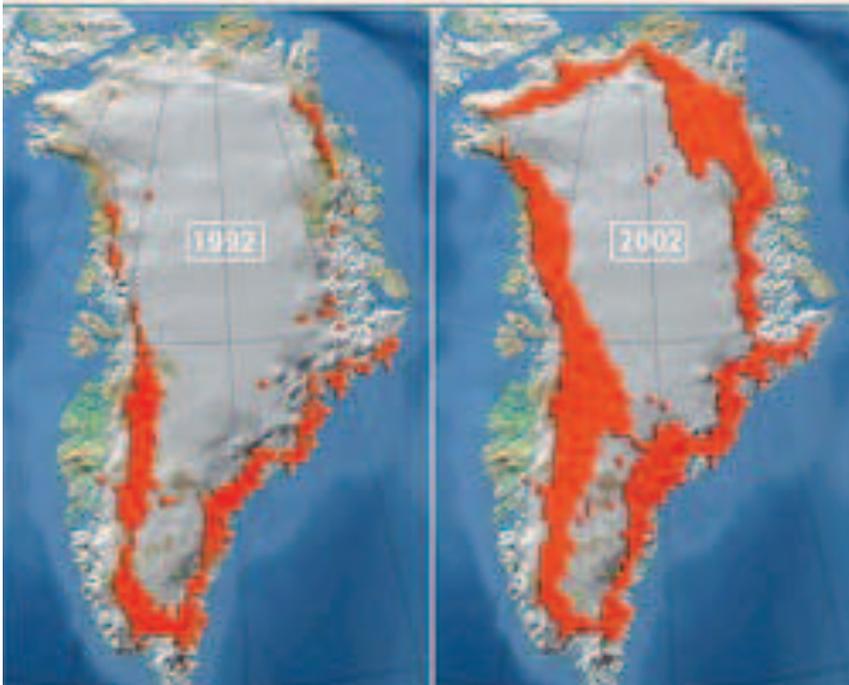
Lehner et al., 2005b
in Kundzewicz et al.(2007)

Conséquences du réchauffement climatique sur les glaciers de montagne



Conséquences du réchauffement climatique en arctique: Groenland, banquise

Evolution des zones de fonte de la calotte groenlandaise entre 1992 et 2002.



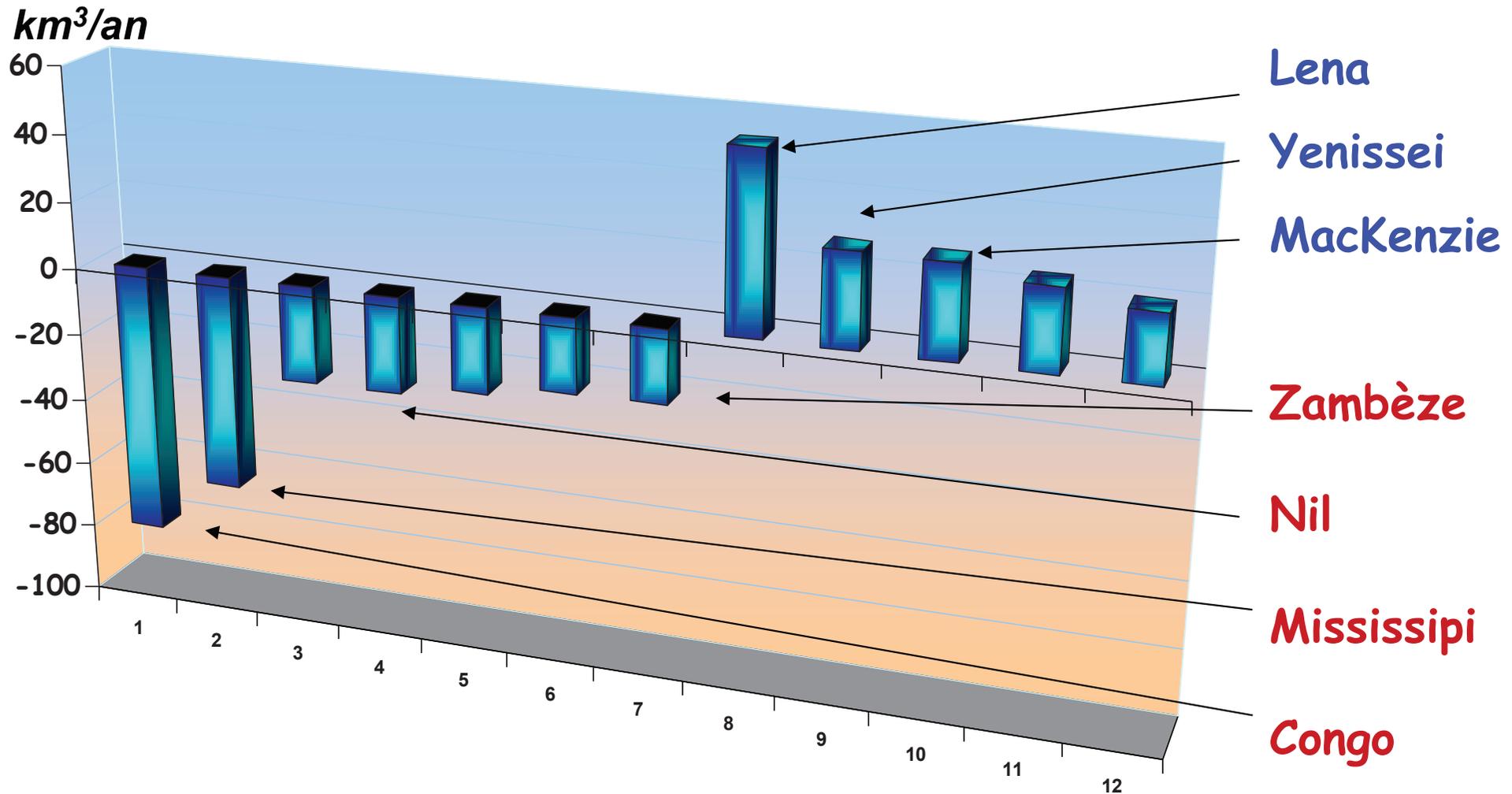
Bilan très négatif de 1979 à 2005
Fonte de un tiers France

Au cours des 30 dernières années
Banquise arctique réduite près de
deux fois la France

Données LGCE Grenoble, Univ. Louvain,
Sciences et nature 2007
O. M. Johannessen, K. S. Khvorostovsky, M. W. Miles and L.
P. Bobylev (2005)

Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), 2007
NASA - NSIDC (National Snow and Ice Data Center)

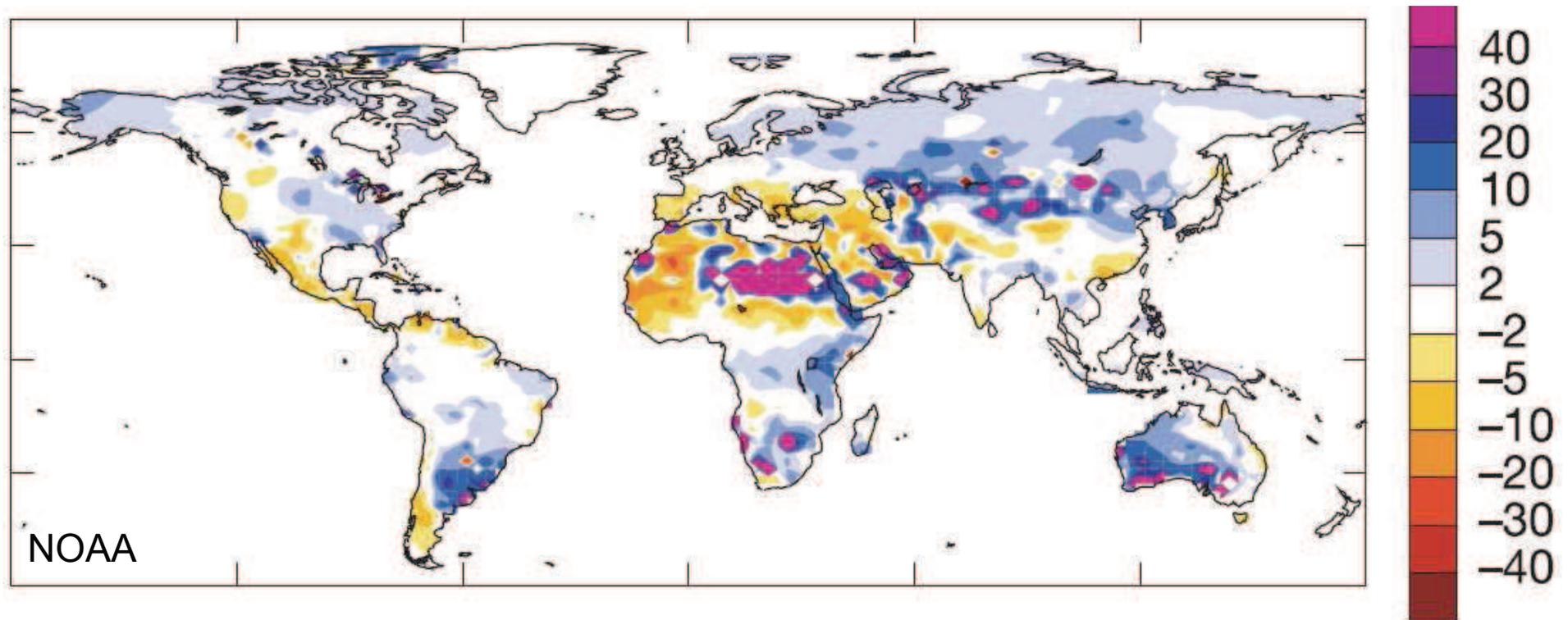
Tendances sur 2002-2007 des variations de stocks d'eau dans les grands bassins fluviaux d'après GRACE (Gravimétrie spatiale)



**En moyenne, diminution des stocks d'eau : $\sim -60 km^3/yr$
(stocks d'eau de surface, subsurface, souterrain)**

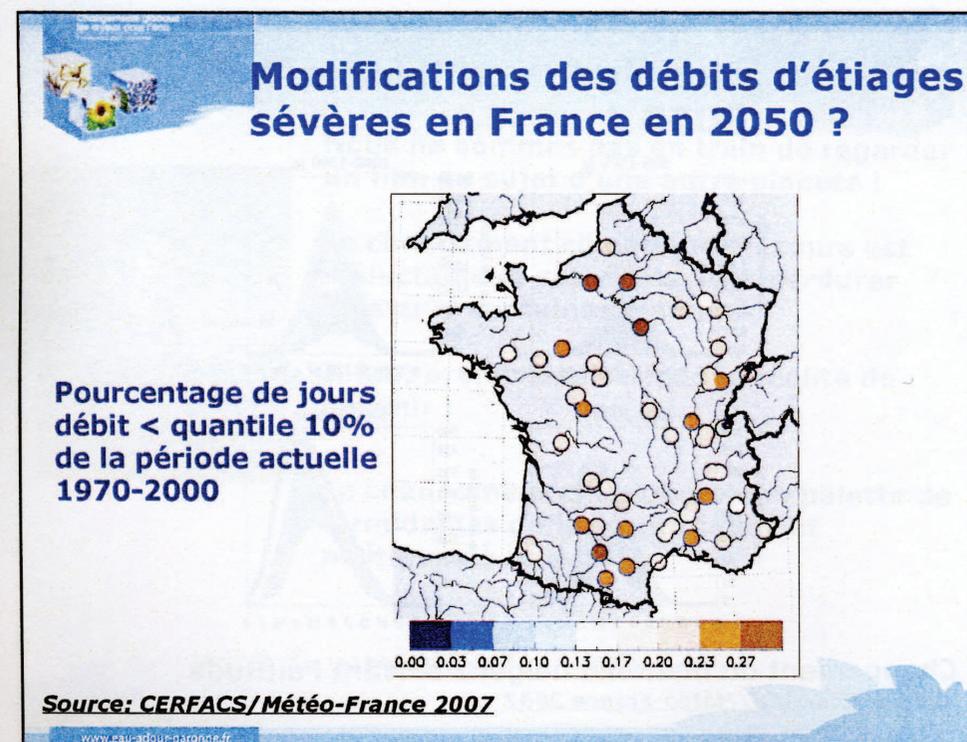
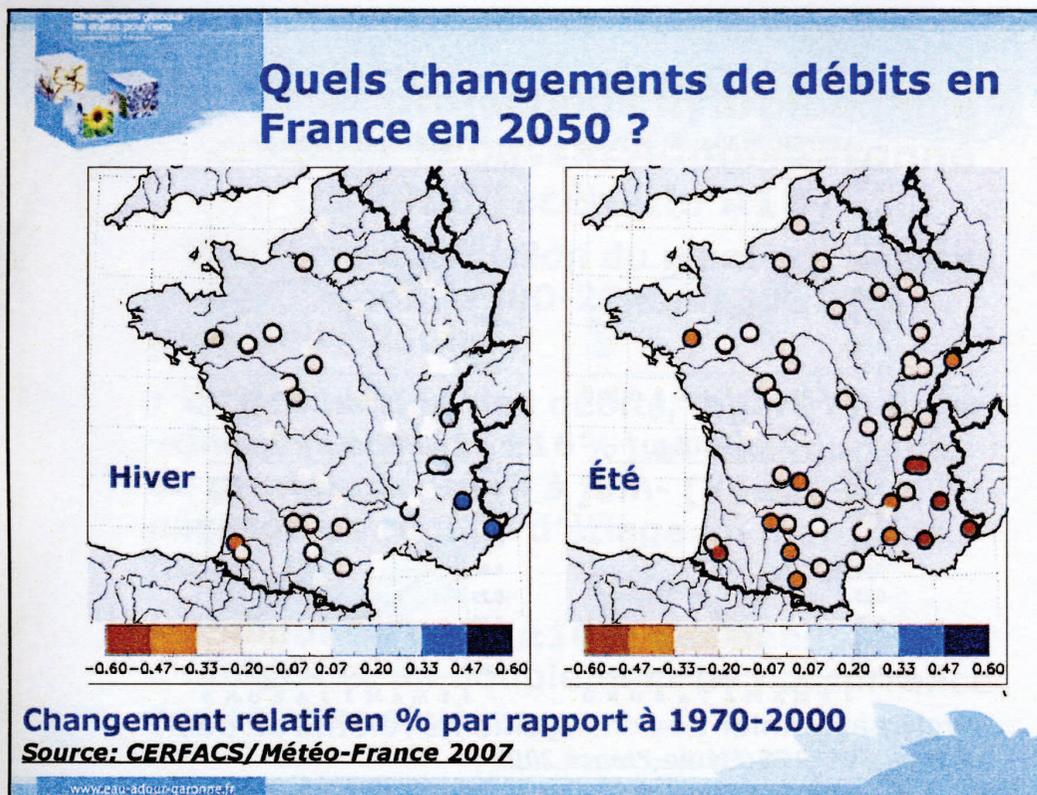
Projection : Evolution des débits des fleuves

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



- A l'échelle mondiale, les projections des modèles évaluent une augmentation du débit moyen mondial de 7,3% d'ici 2050
- Augmentation des disparités spatiales
 - ↗ hautes latitudes, Equateur / ↘ régions subtropicales, méditerranéennes

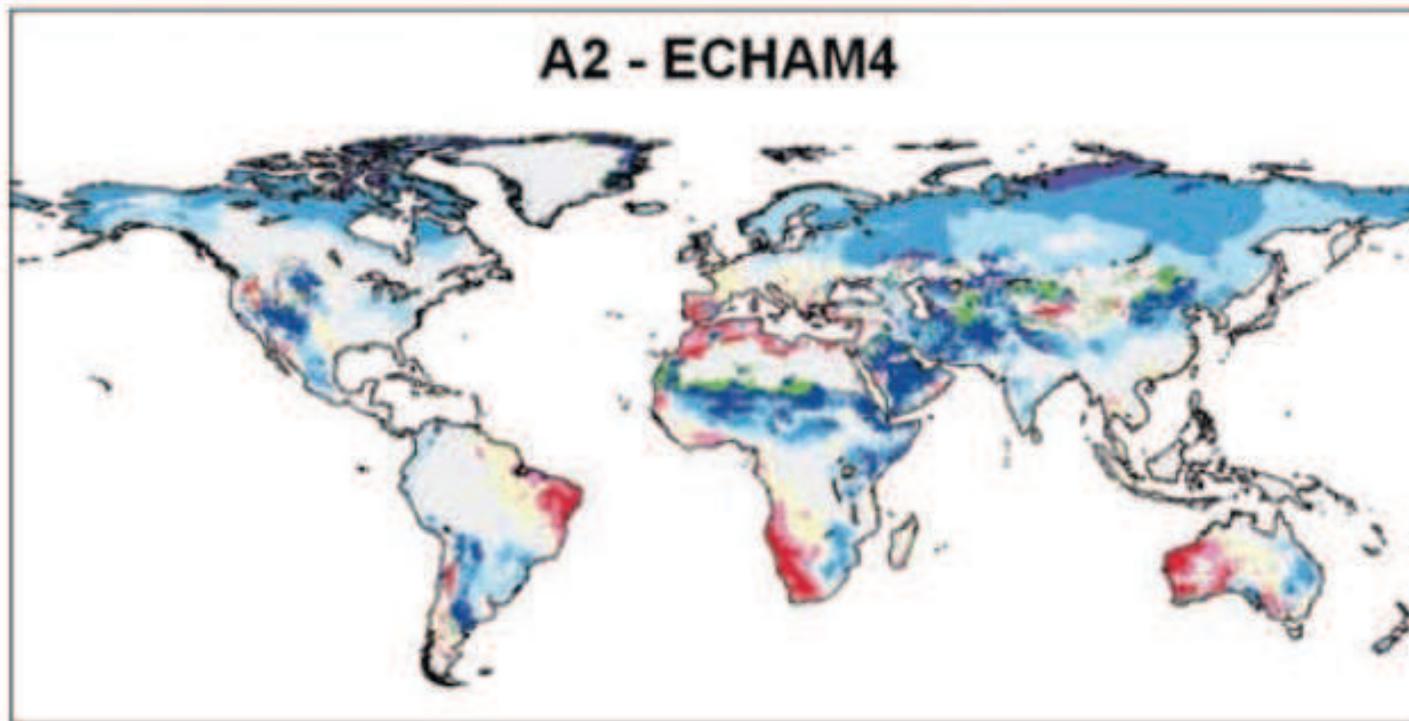
Projection : Evolution des débits des fleuves à l'échelle nationale



Climat: impacts globaux sur le cycle de l'eau

IPCC AR4: augmentation de la T° et de la variabilité des précipitations et du niveau de la mer)

- **Modification des conditions de la recharge des nappes**



Percent change of groundwater recharge
between 1961-90 and the 2050s

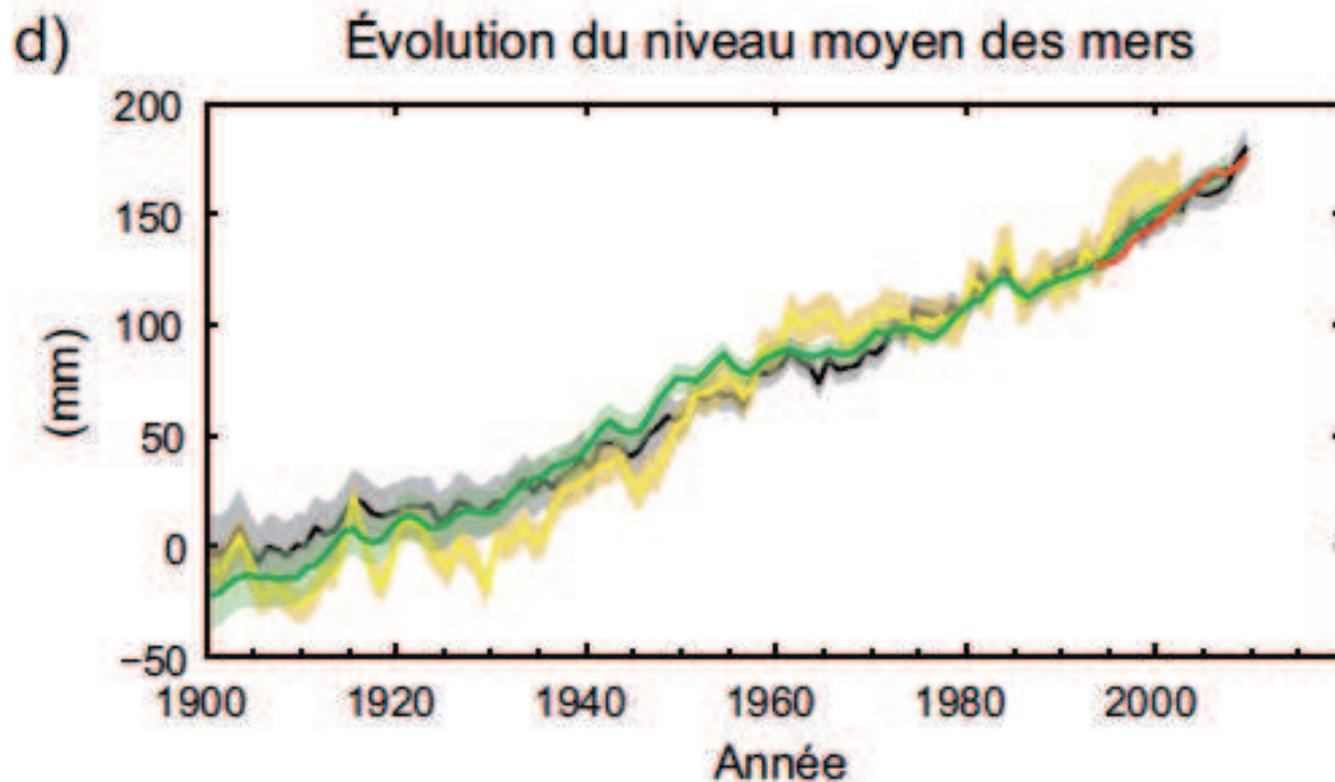


* percent change cannot be quantified due to zero groundwater recharge in 1961-90

Döll and Flörke, 2005 (WGMH)
in Kundzewicz et al.(2007)

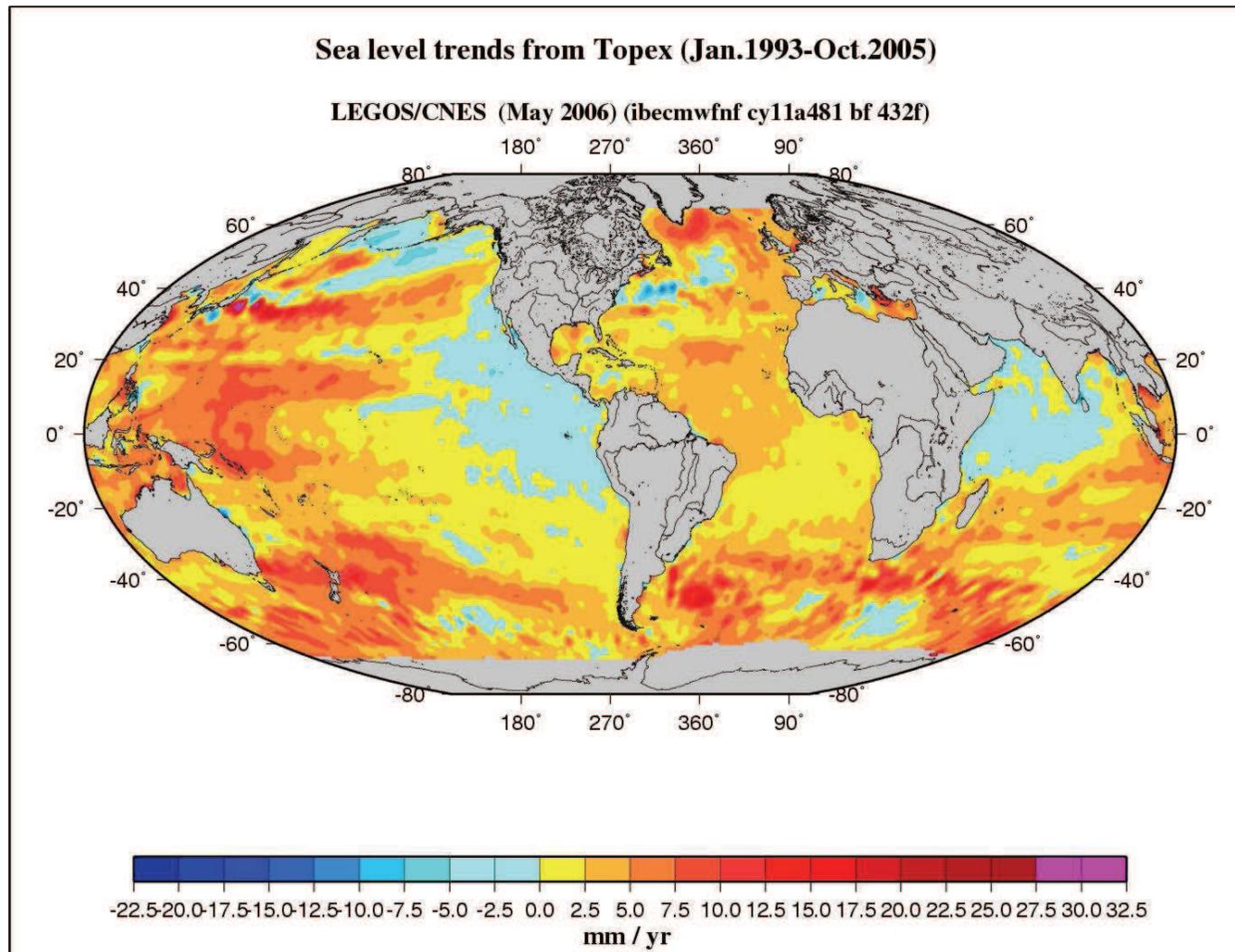
Evolution du niveau marin

Conséquence du réchauffement climatique :
Fontes des calottes glaciaires, Expansion du volume
de l'eau océanique → remontée du niveau marin

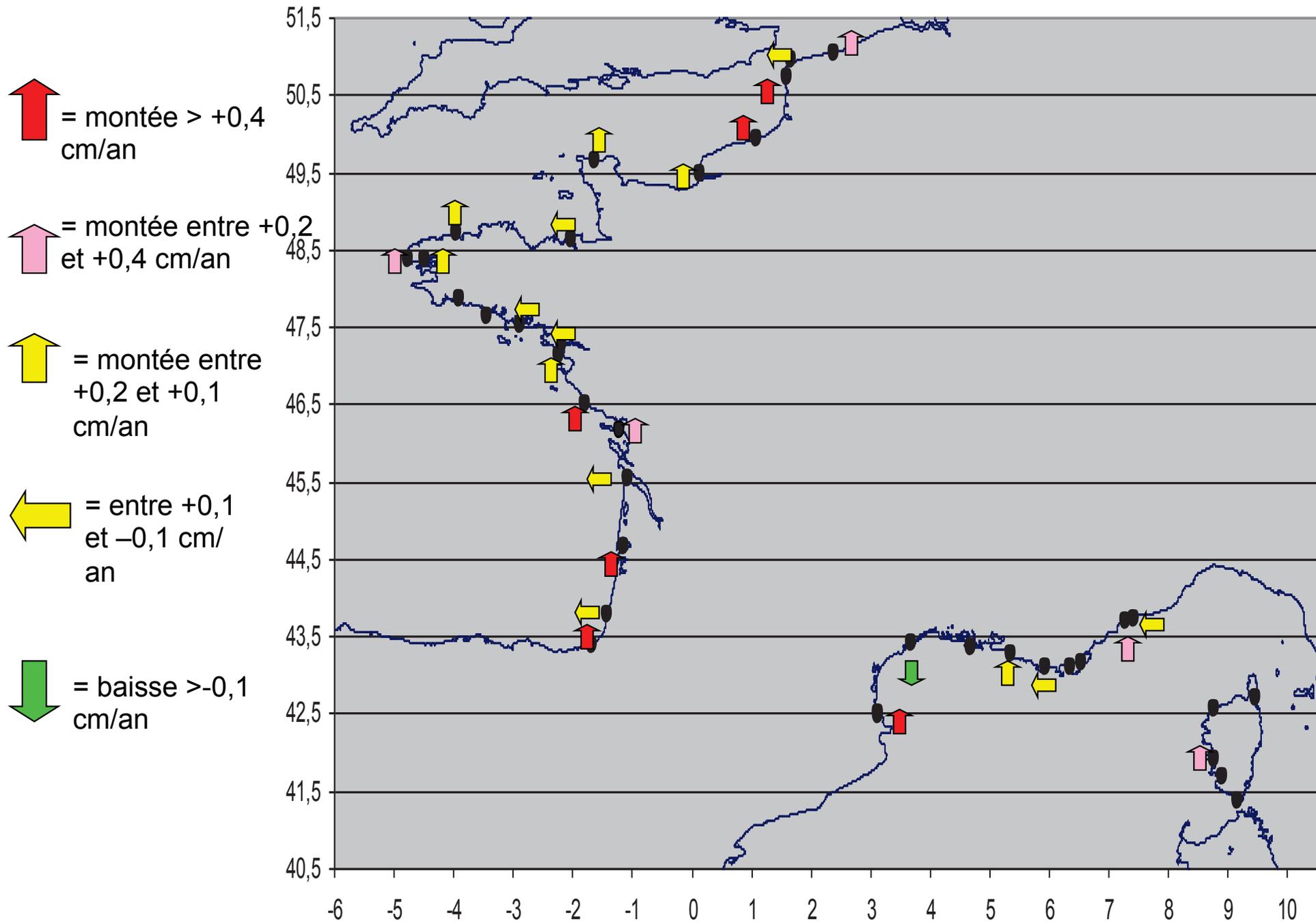


A l'échelle globale, la vitesse moyenne d'élévation du niveau des mers
0,19 m [0,17 à 0,21] entre 1901 et 2010

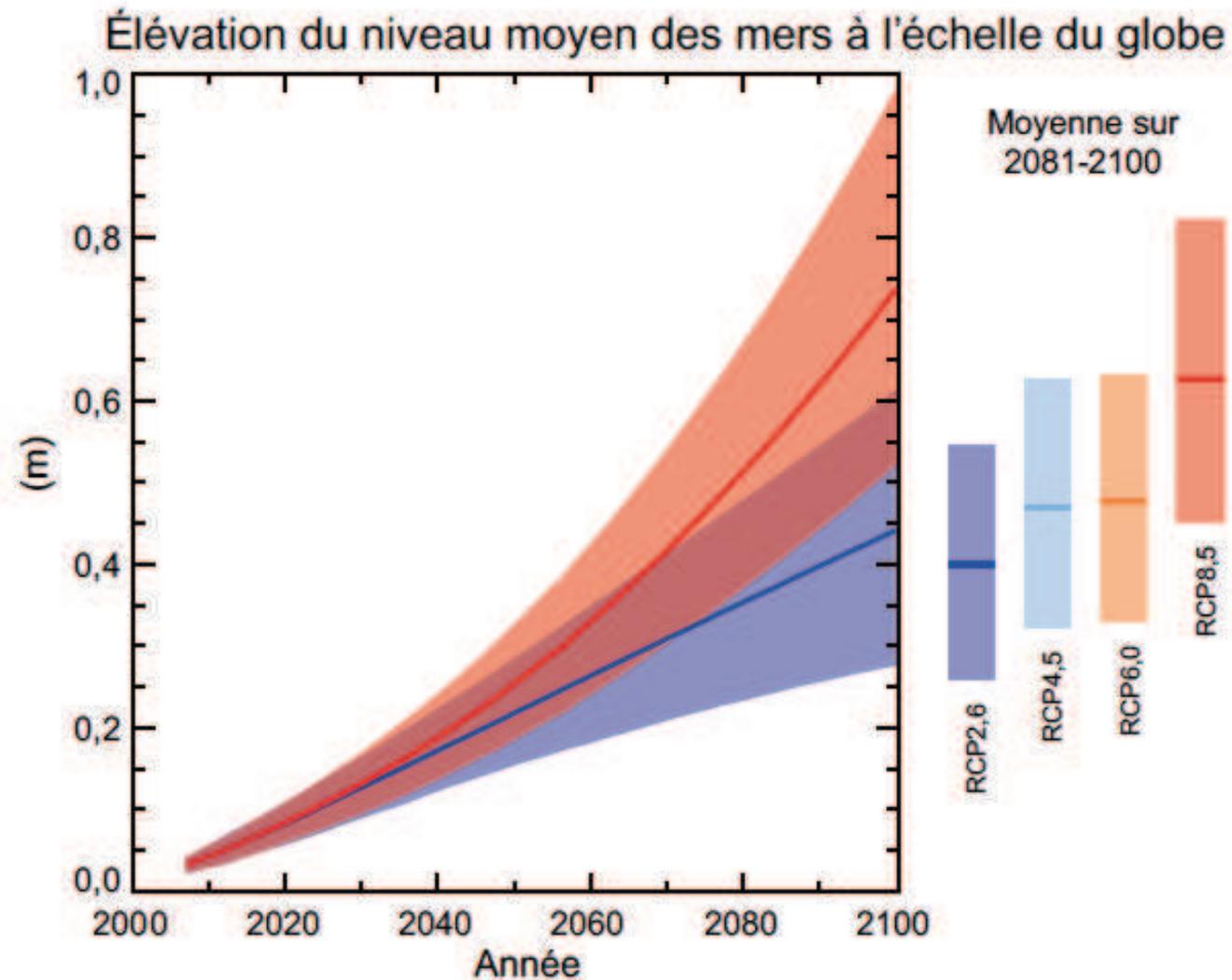
Evolution du niveau marin : disparités spatiales



Résumé simplifié des tendances récentes de variation du niveau moyen de la mer sur les côtes françaises



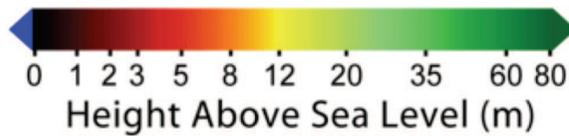
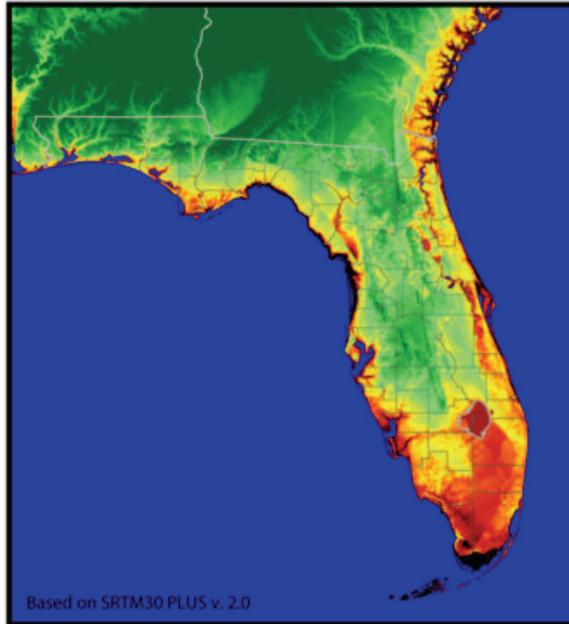
Projection : Élévation du niveau marin à l'horizon 2100



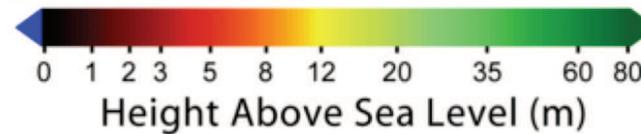
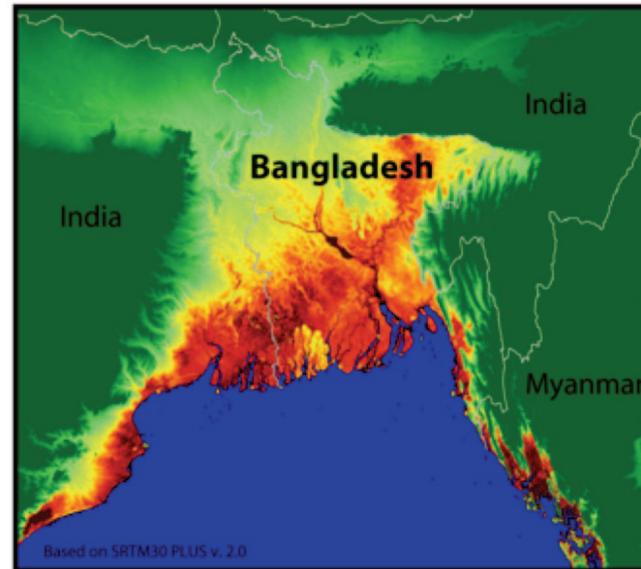
Élévation moyenne du niveau des mers : entre 0,26 et 0,98 m, d'ici 2100
Rapport du GIEC/IPCC de 2007 : de 18 à 42 cm

Conséquence de l'élévation du niveau de la mer

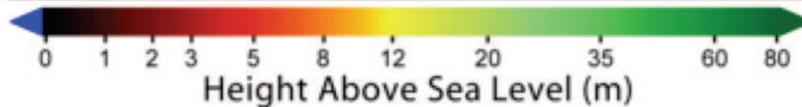
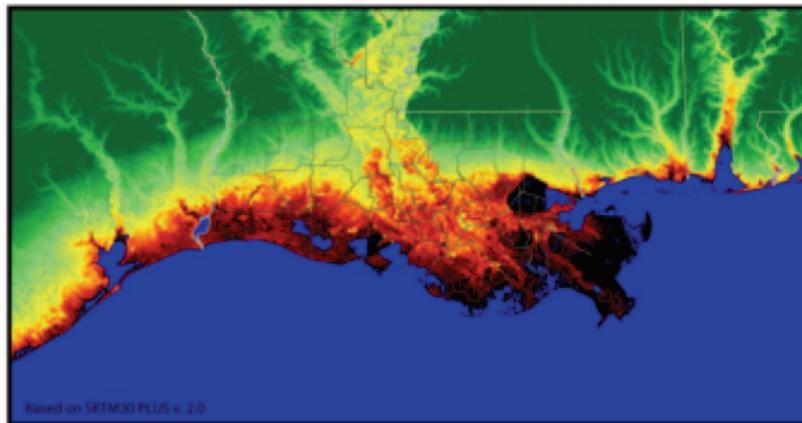
Sea Level Risks - Florida



Sea Level Risks - Bangladesh



Sea Level Risks - Louisiana



Delta du Nil

Mer Méditerranée



4 millions de personnes affectées
1800 km² de terres arables submergées

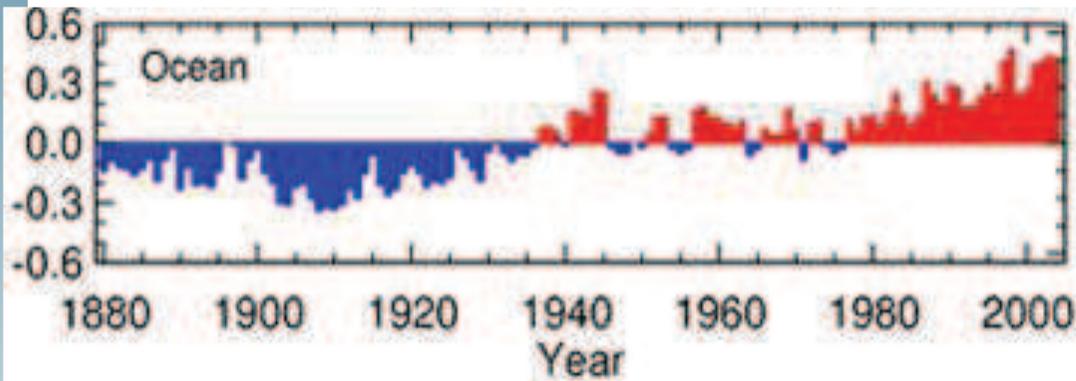


8 millions de personnes affectées
5700 km² de terres arables submergées

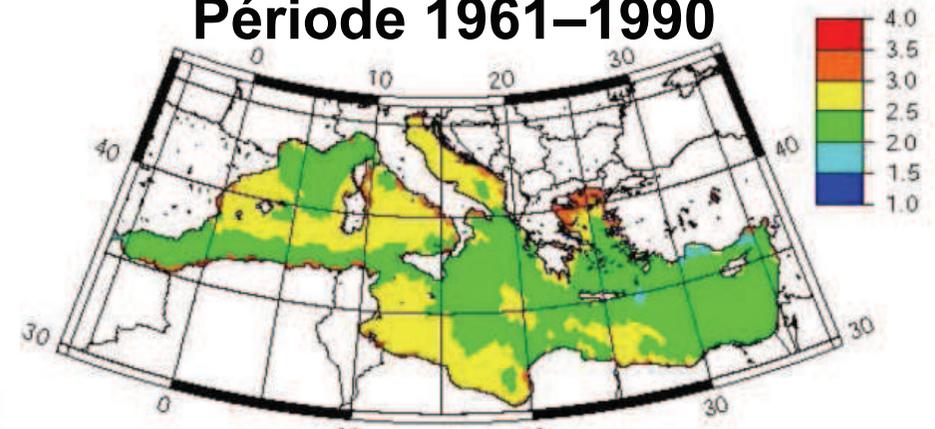


Evolution de la température des eaux de surface : océans

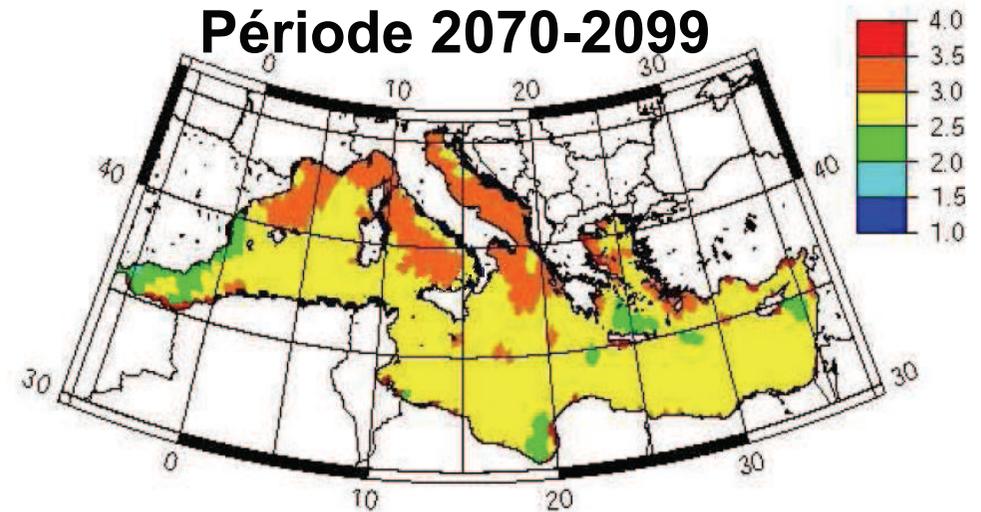
Evolution de la température de surface des eaux (océans) au cours du XXe siècle



Période 1961–1990

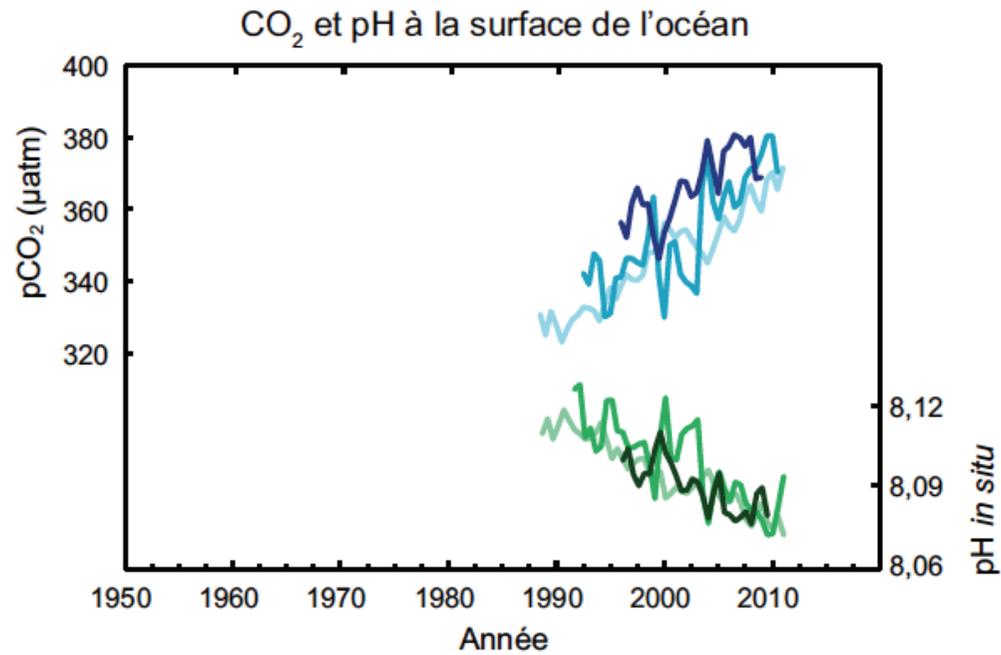


Période 2070-2099

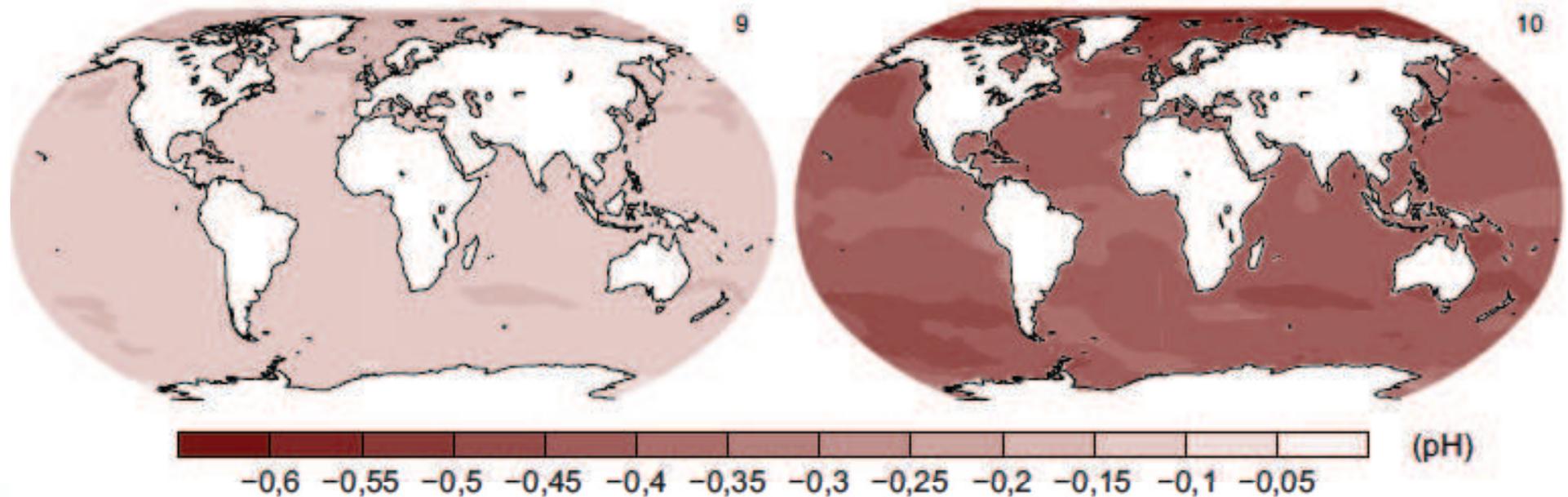


En parallèle de l'augmentation de la T° atmosphérique, augmentation de la température globale des océans au cours du XXe s, en particulier depuis 1980

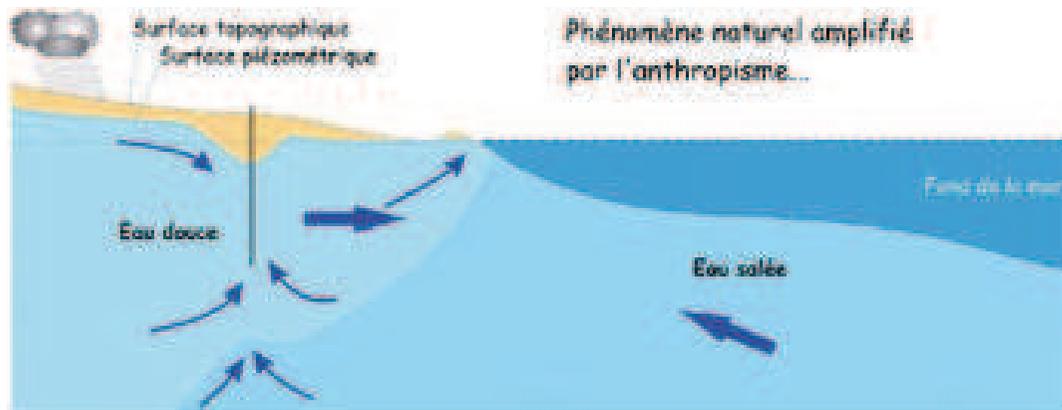
Evolution du CO₂ et du pH dans les océans



Évolution du pH de la surface des océans (entre 1986-2005 et 2081-2100)

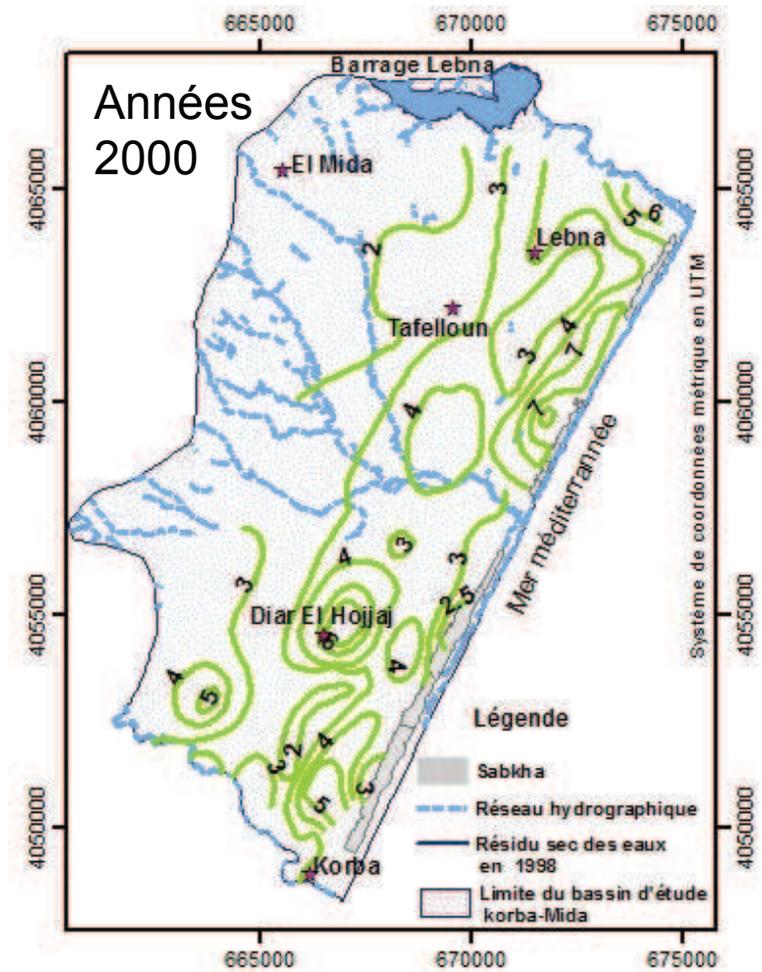
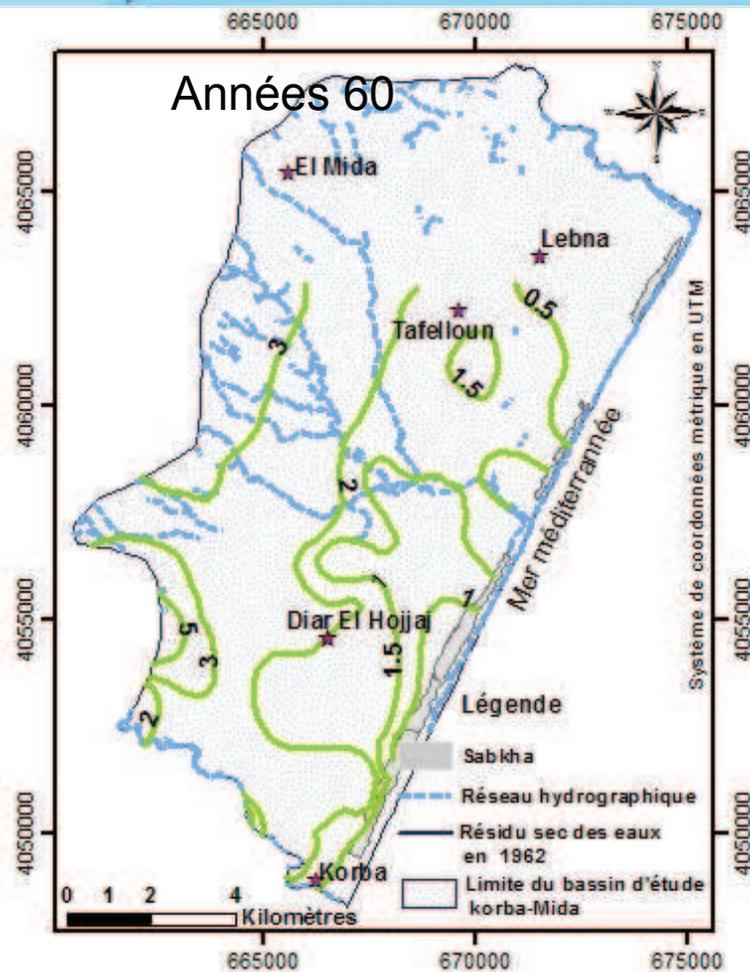


Salinisation des aquifères côtiers : combinaison du CC et de l'impact humain



Exemples marquants sur le bassin méditerranéen (Cap Bon en Tunisie)

Source Gaaloul et al., PHC Maghreb



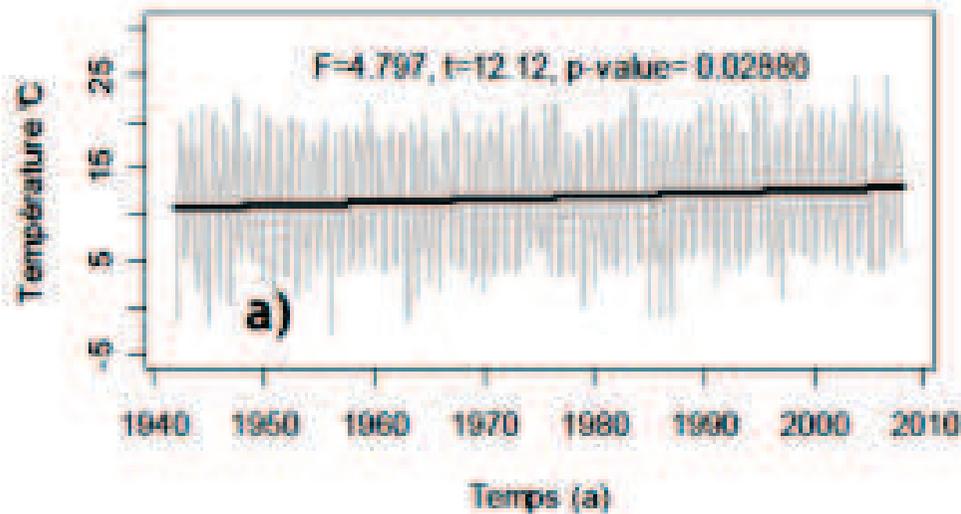
Changement climatique à l'échelle régionale

**Seine et son estuaire
Littoral Normand-Picard
Normandie**

**Programme Seine aval
ROLNP
Projet RexHySS
DREAL**

Evolution des températures atmosphériques

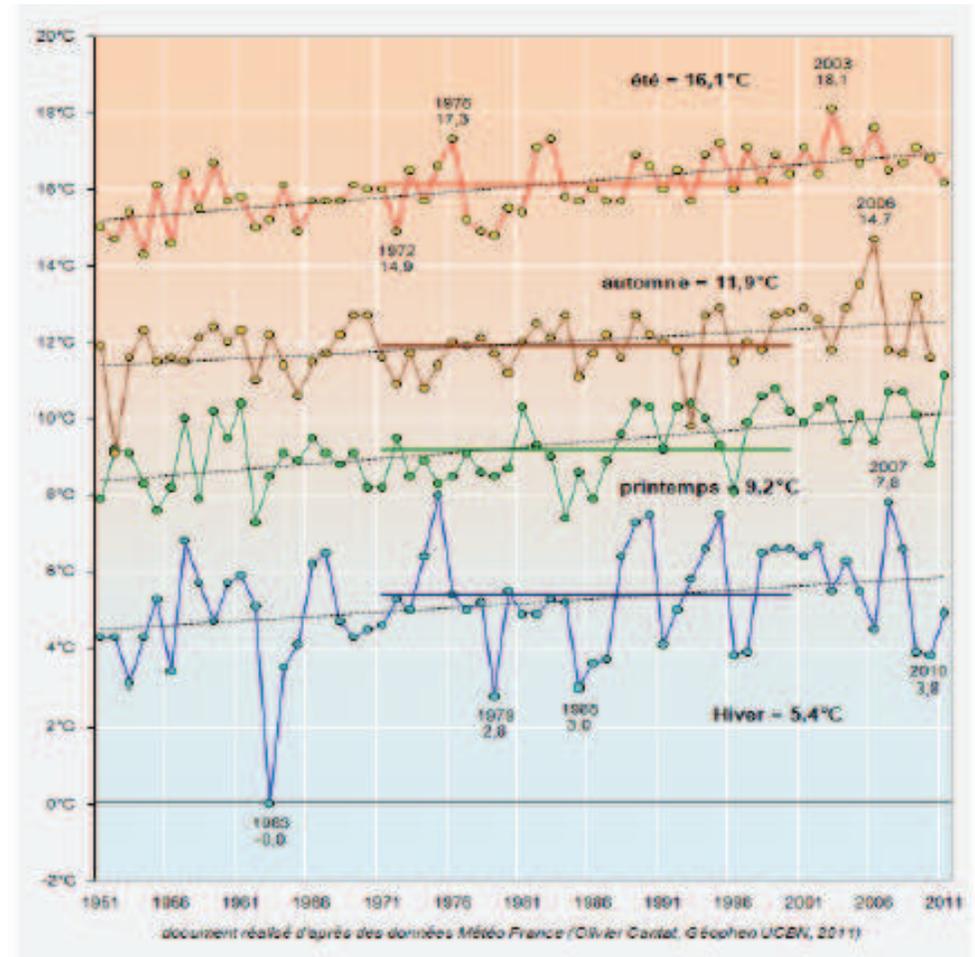
Evolution de la température à Boos depuis les années 40



Massei et Laignel, Prog. Seine Aval

Tendance significative à l'augmentation : +1.1°C

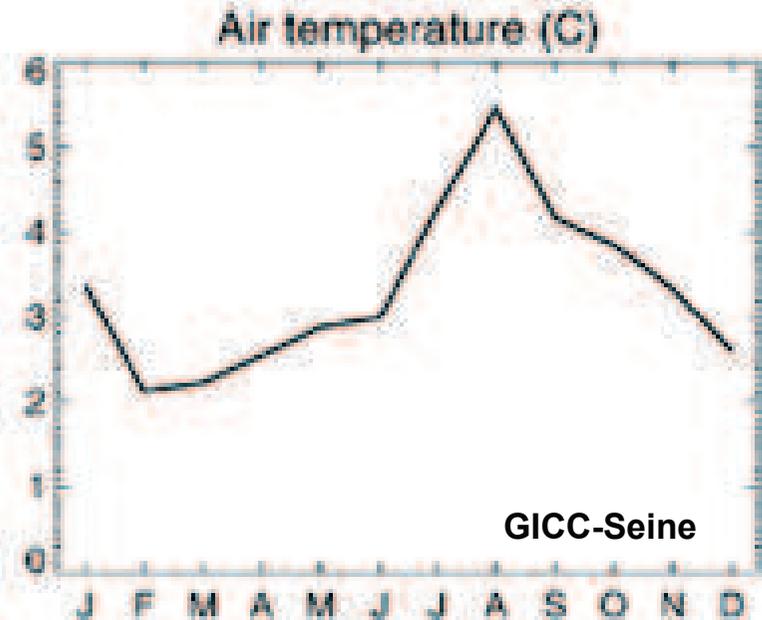
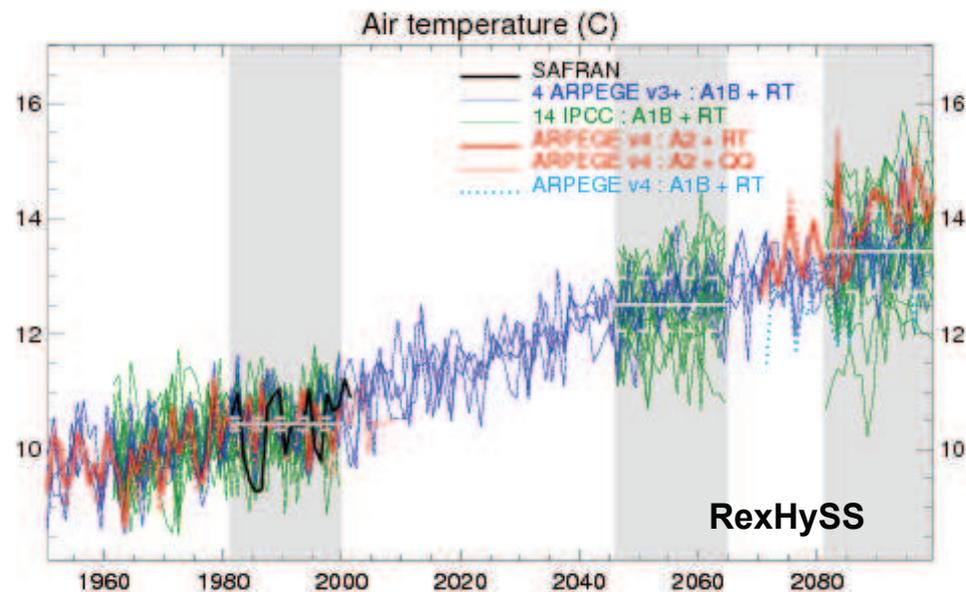
Evolution des températures saisonnières à Dieppe depuis 1951



O. Cantat, Geophen, UCBN, 2011

DREAL, 2011

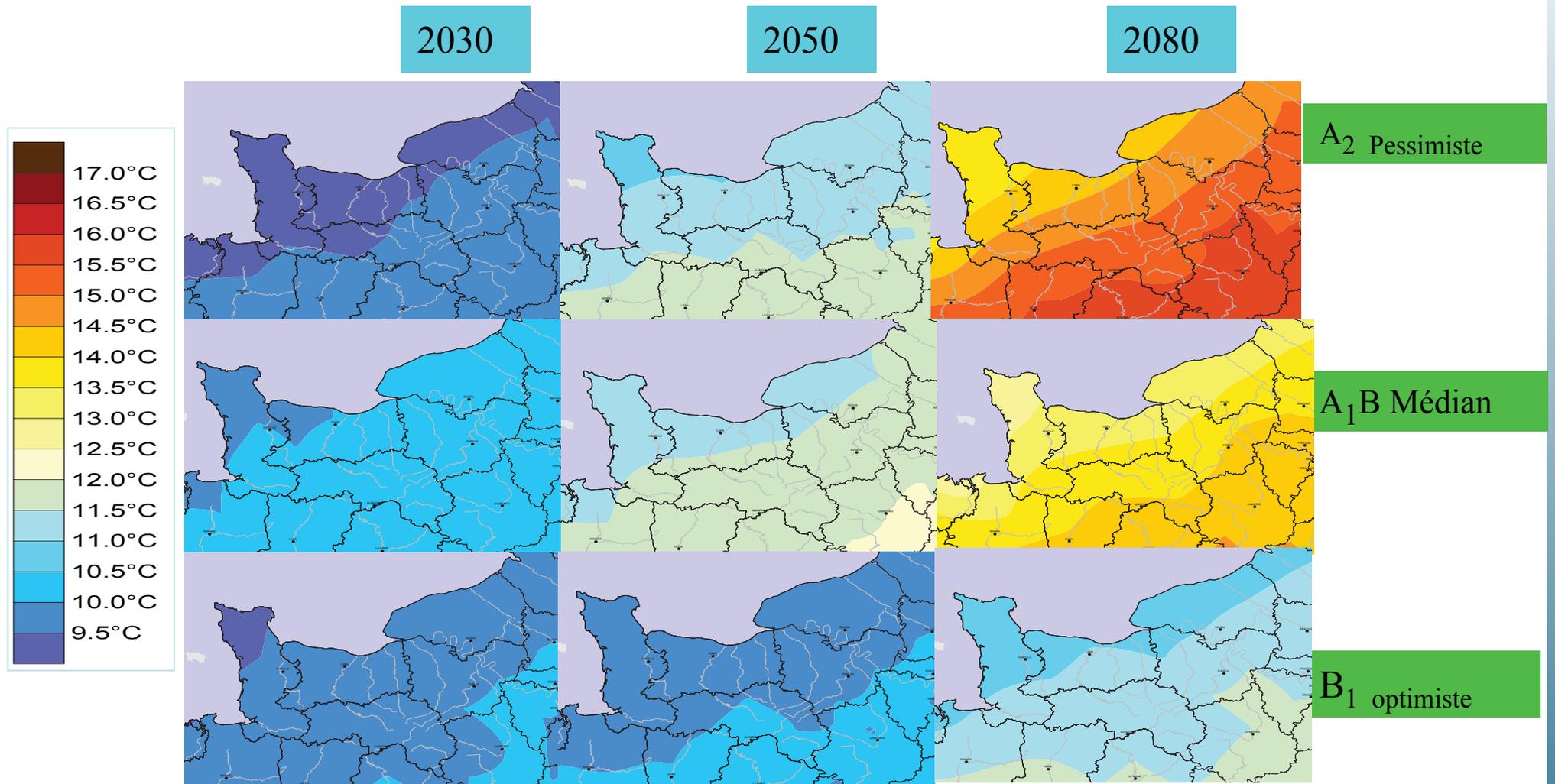
Evolution des températures atmosphériques sur le bv de la Seine et de la Somme : modélisation



Différents modèles utilisés dans le cadre du projet ReXHySS concordent :

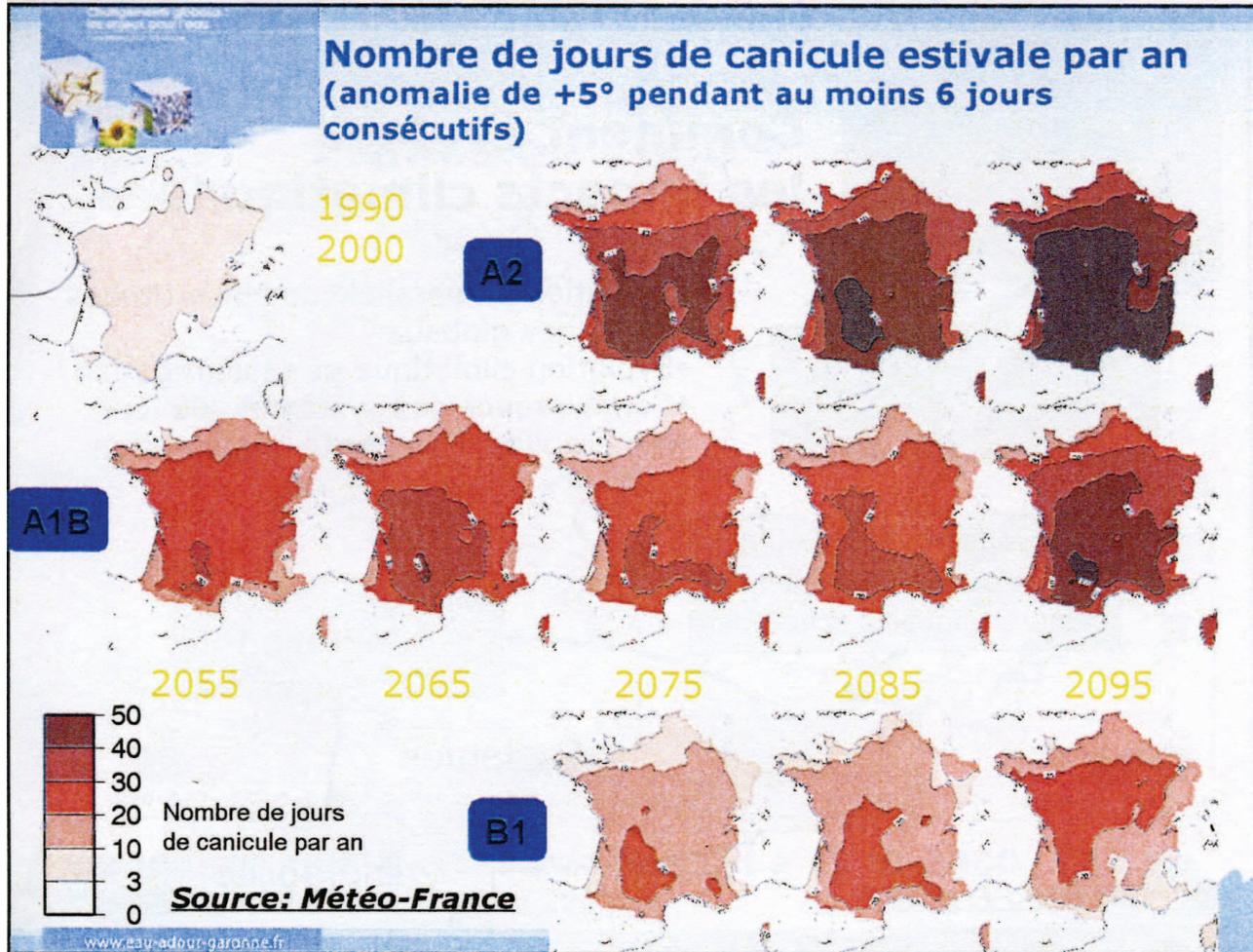
- ↗ T° atmosphérique d'ici 2100 : +2 à +4°C
- Quelque soit le mois, ↗ T° atmosphérique régionale comprise entre 2°C pour le mois de Février et 5,5°C pour le mois d' Août

Projection : Evolution des températures atmosphériques moyennes annuelles en Normandie



Sources : Météo-France et DREAL BN mission SOCRATE, 2010
Référence (1971-2000)

Evolution du nombre de jour de canicule en France et Haute-Normandie



Température nombre de jour de canicule

Aujourd' hui :

0 – 10 j



2100 :

10 – 30 j

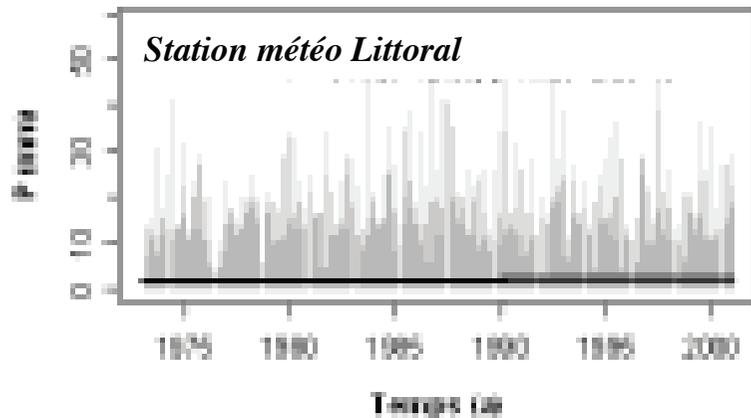
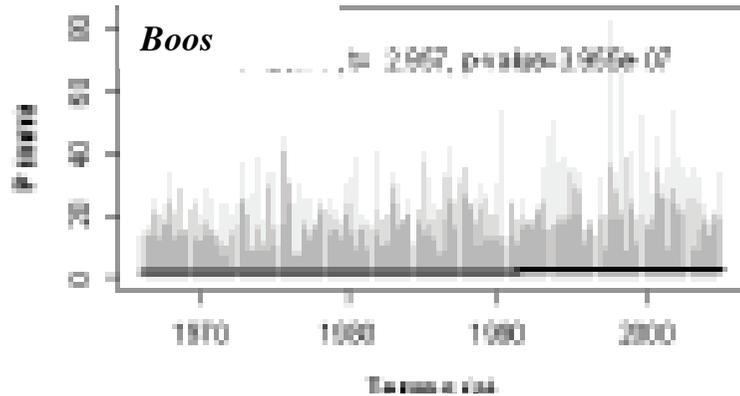
En 2050 :

T° année 2003

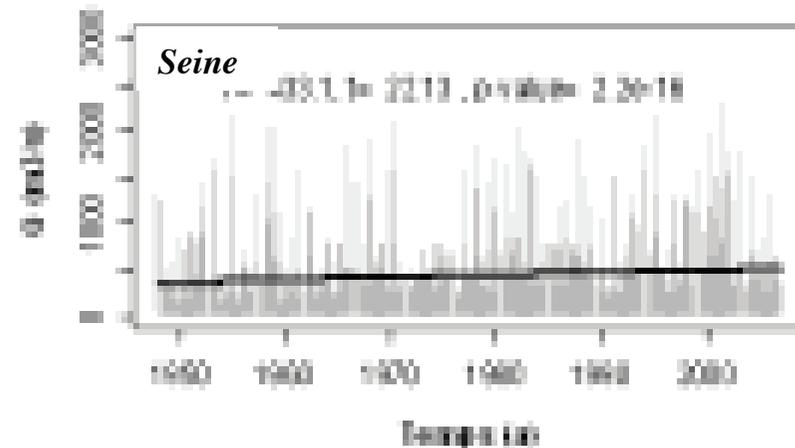
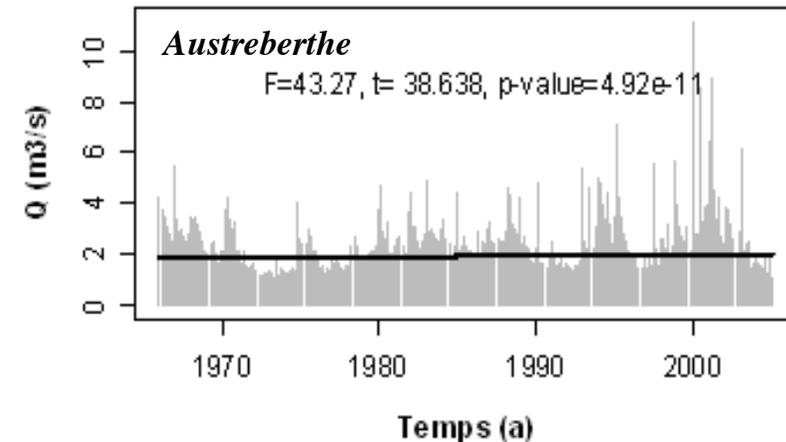
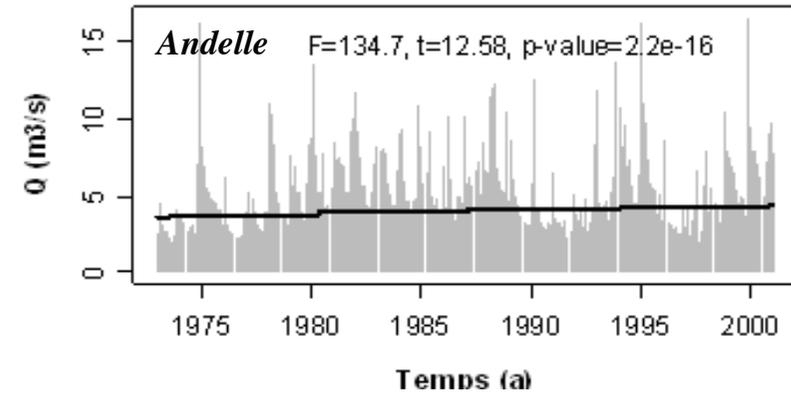
sera inférieure à la moyenne

Tendance dans les précipitations et le débit de la Seine et ses affluents

Précipitations



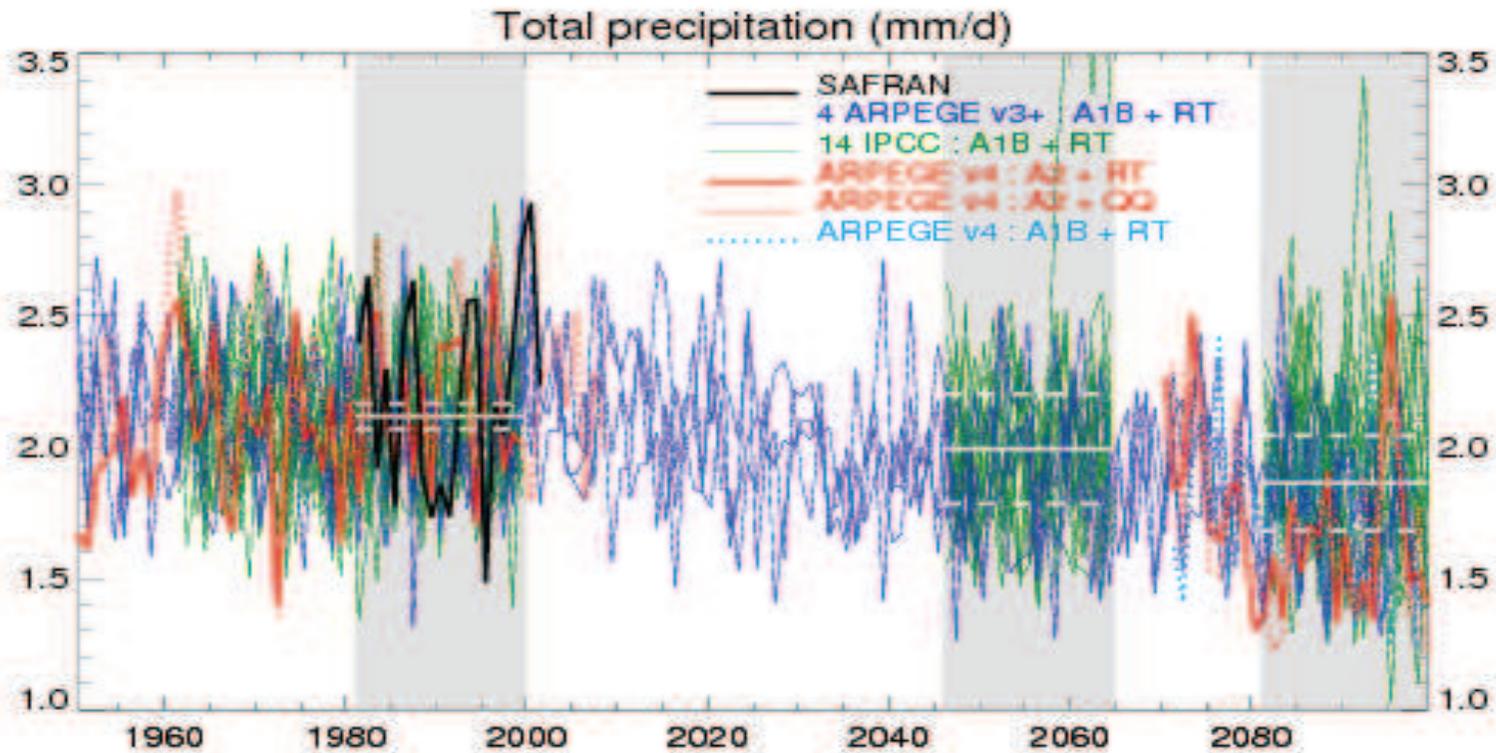
Débites



Années 60 à Aujourd' hui :

- Tendence non significative de la pluviométrie
- Tendence significative ↗ débit Seine et affluents
- ↗ 10-30% environ débit moy Seine (1946-2006) selon la tendance ajustée

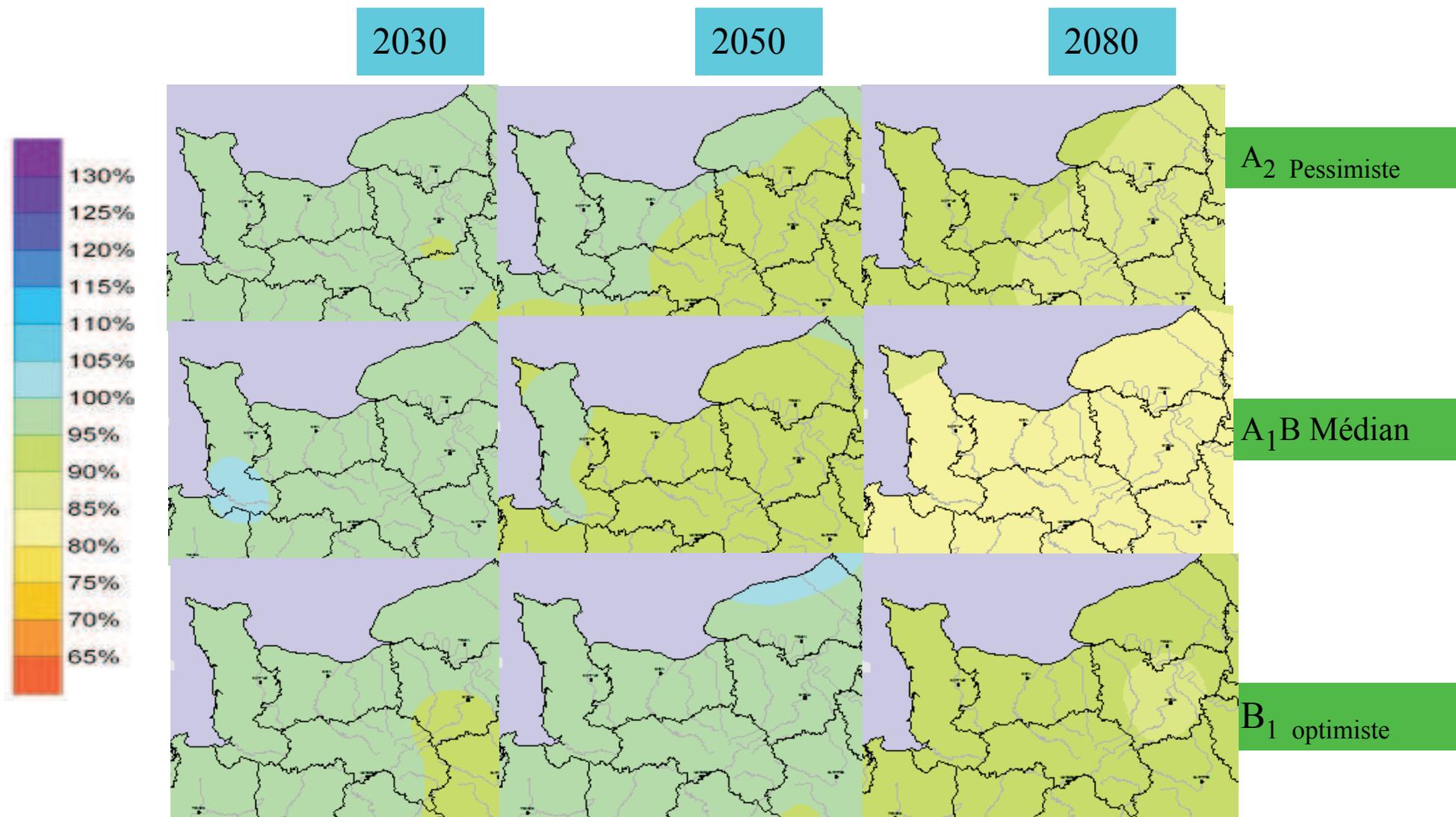
Evolution des précipitations à l'horizon 2100



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

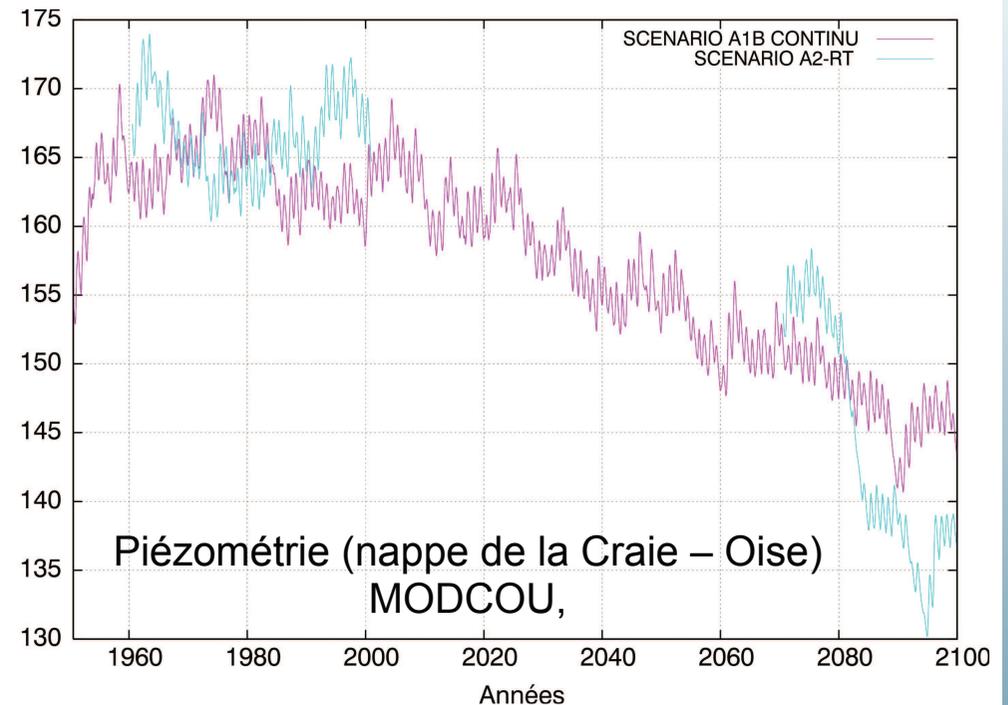
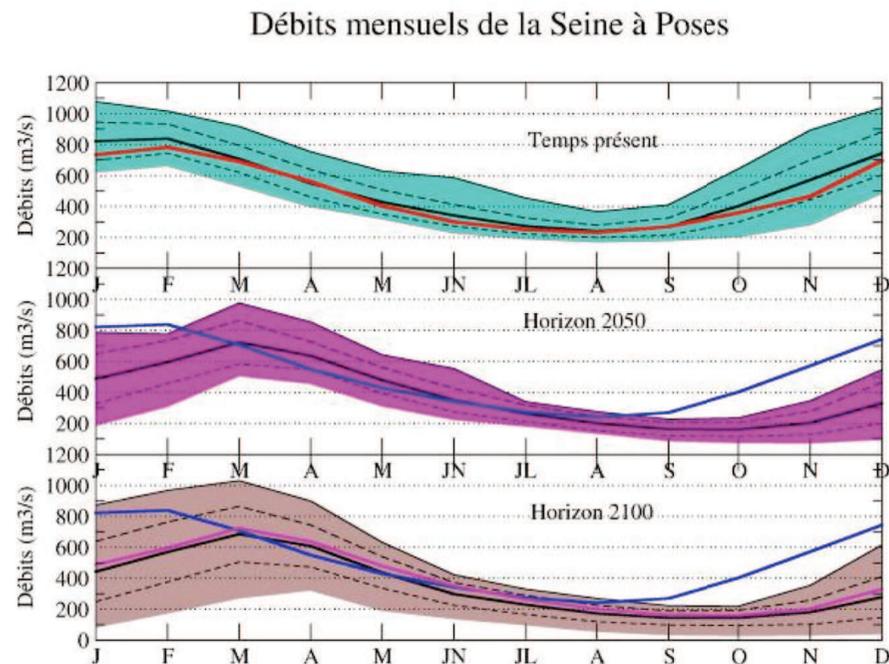
- Cumuls annuels -10 à -20 %
- Echelle saisonnière :
 - baisse importante et systématique des précipitations estivales
 - évolution hivernale est plus faible en amplitude, incertaine sur le signe
- ↘ précipitations se traduit par une ↗ du nombre de jours sans précipitations et une persistance plus importante des épisodes secs

Projection : Evolution des précipitations moyennes annuelles en Normandie



Sources : Météo-France et DREAL BN mission SOCRATE, 2010
Référence (1971-2000)

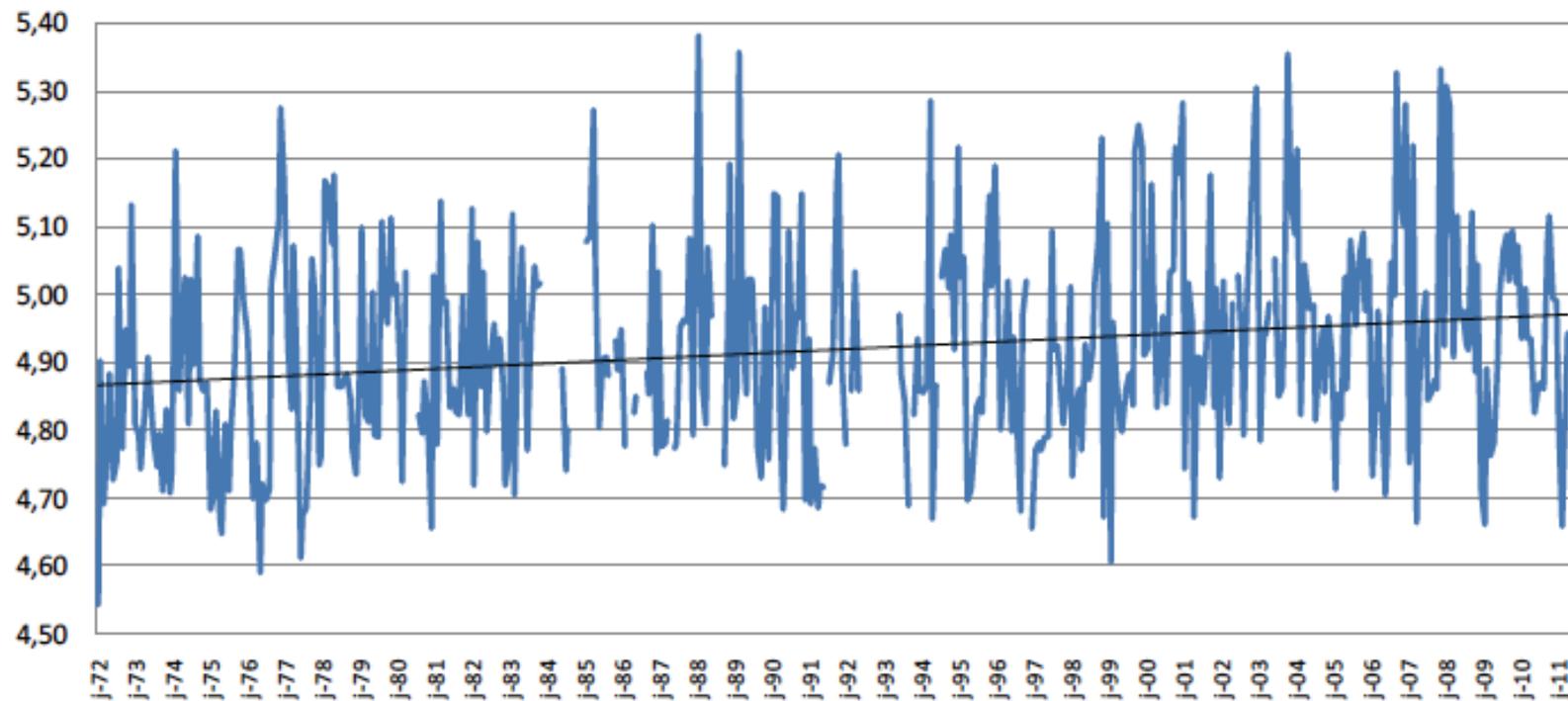
Projections : évolution du débit de la Seine et de la piézométrie de la nappe de la craie - 2100



Concordance entre modèles du projet RexHySS – 2100
12 scénarios CC désagrégés - 5 modèles hydrologiques :

- ➡ débit moyen annuel de la Seine de 140 m³/s (incertitudes d'environ 50 m³/s), soit 26% du débit moyen actuel
 - ➡ débit en toutes saisons, mais essentiellement l'été
 - ➡ nappe : principale source du débit de base de la Seine
 - recharge des aquifères -2700 Mm³/a
- = même ordre de grandeur que volumes actuellement prélevés sur bassin Seine

Elévation du niveau marin au Havre : 1972-2011



Source : Explicit, données SHOM

Elévation du niveau moyen de la mer d'environ 2mm/an
(+1,8 +/- 0,4 mm/an)
depuis 1972 mesurée par le marégraphe du Havre

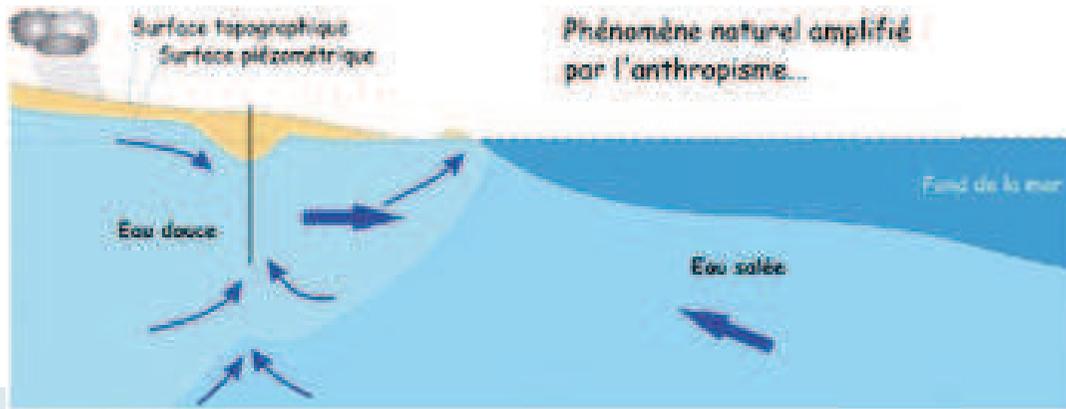
Conséquences CC et élévation du niveau de la mer sur le littoral

☛ Inondations

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

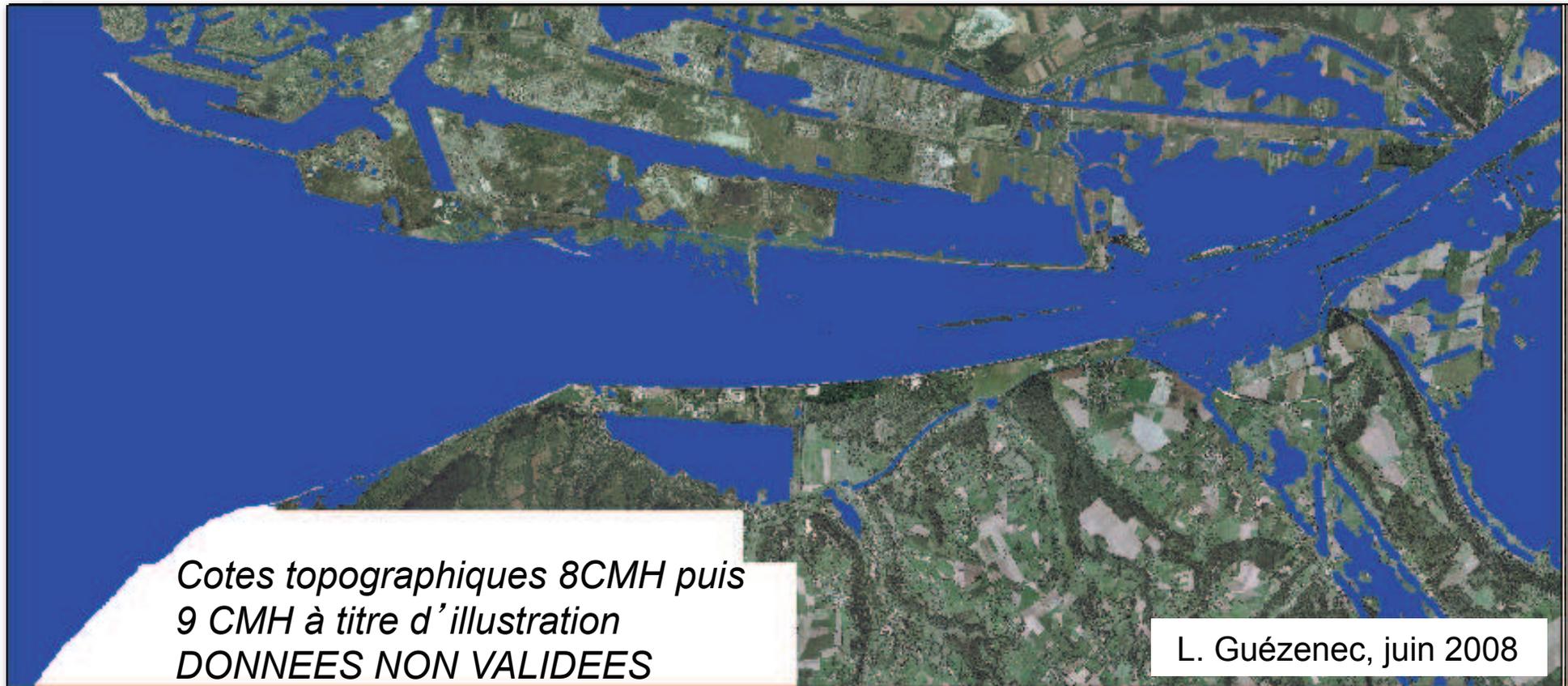
☛ Erosion (recul du trait de côte)/Sédimentation

☛ Salinisation des aquifères côtiers



Impact élévation du niveau marin : projection

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...

Conclusion : accord sur la réalité du CC

Les différentes études synthétisées mettent en avant que :

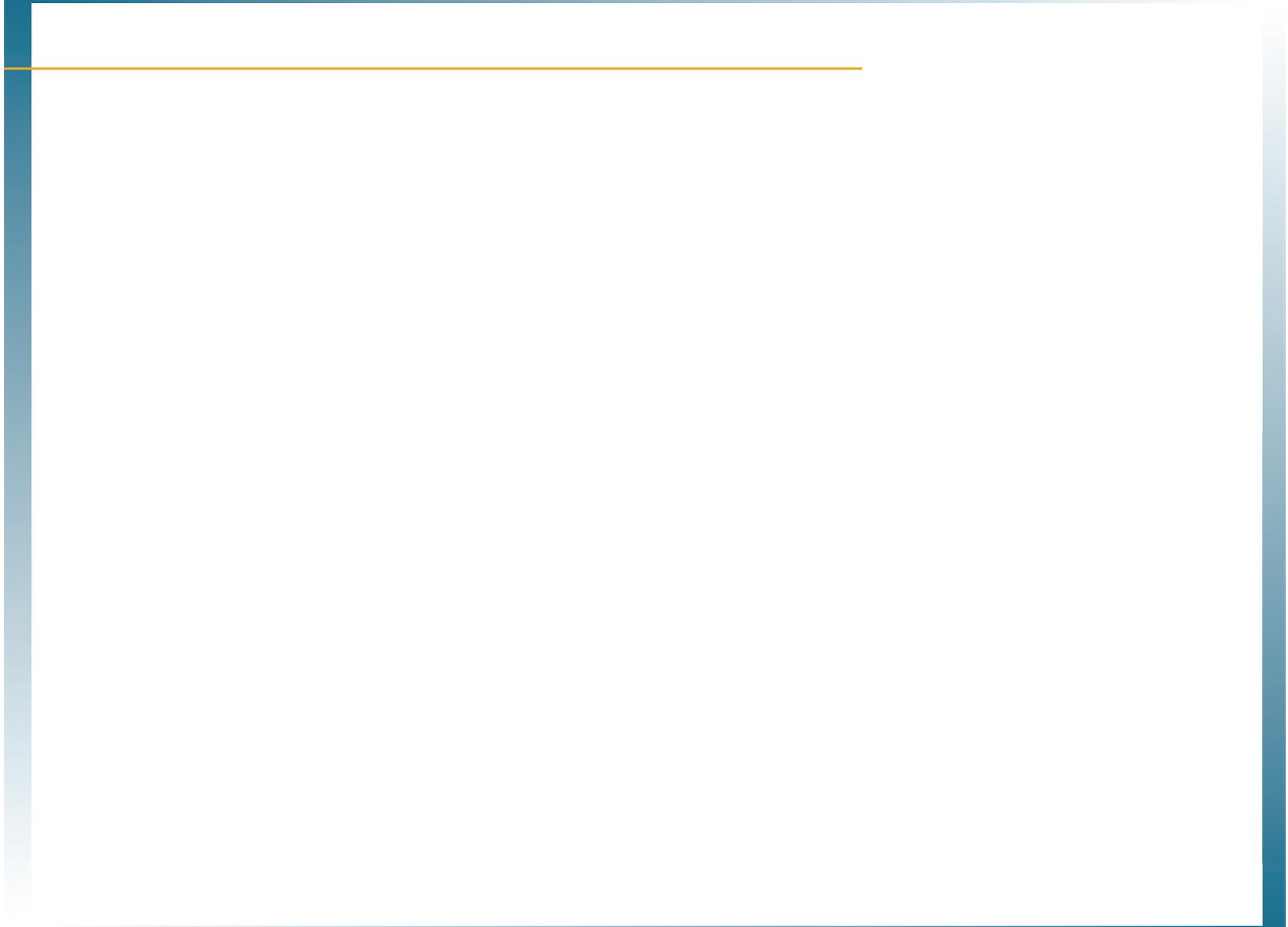
- ☛ même s' il existe des différences dans la variabilité (type et degré) de l'impact du CC sur le système terre en fonction des régions étudiées et des outils utilisées
- ☛ sont en accord sur le principe qu' il existe un CC **observables dans T°, précipitations**
- ☛ et que ce CC a eu, a et aura des conséquences importantes sur le fonctionnement des différents environnements terrestres (ressources en eau, littoral, écosystèmes...)
- ☛ à l' échelle globale, nationale et régionale **sur les stocks d'eau, T°eau, inondations, qualité de l' eau, distribution des espèces, activités humaines et économie (agriculture...), santé....**

 **Atténuation, Adaptation**

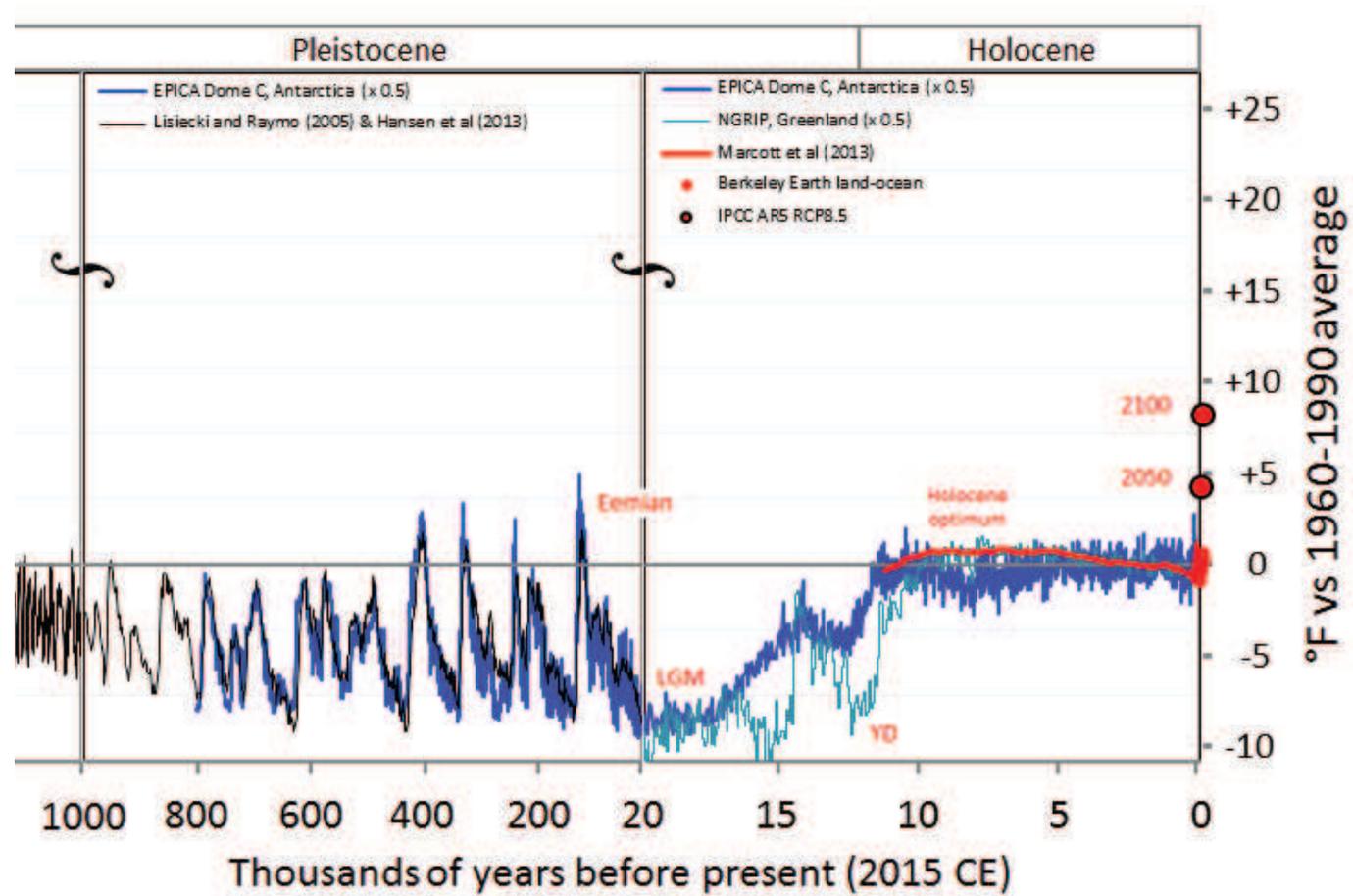
Merci de votre attention



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

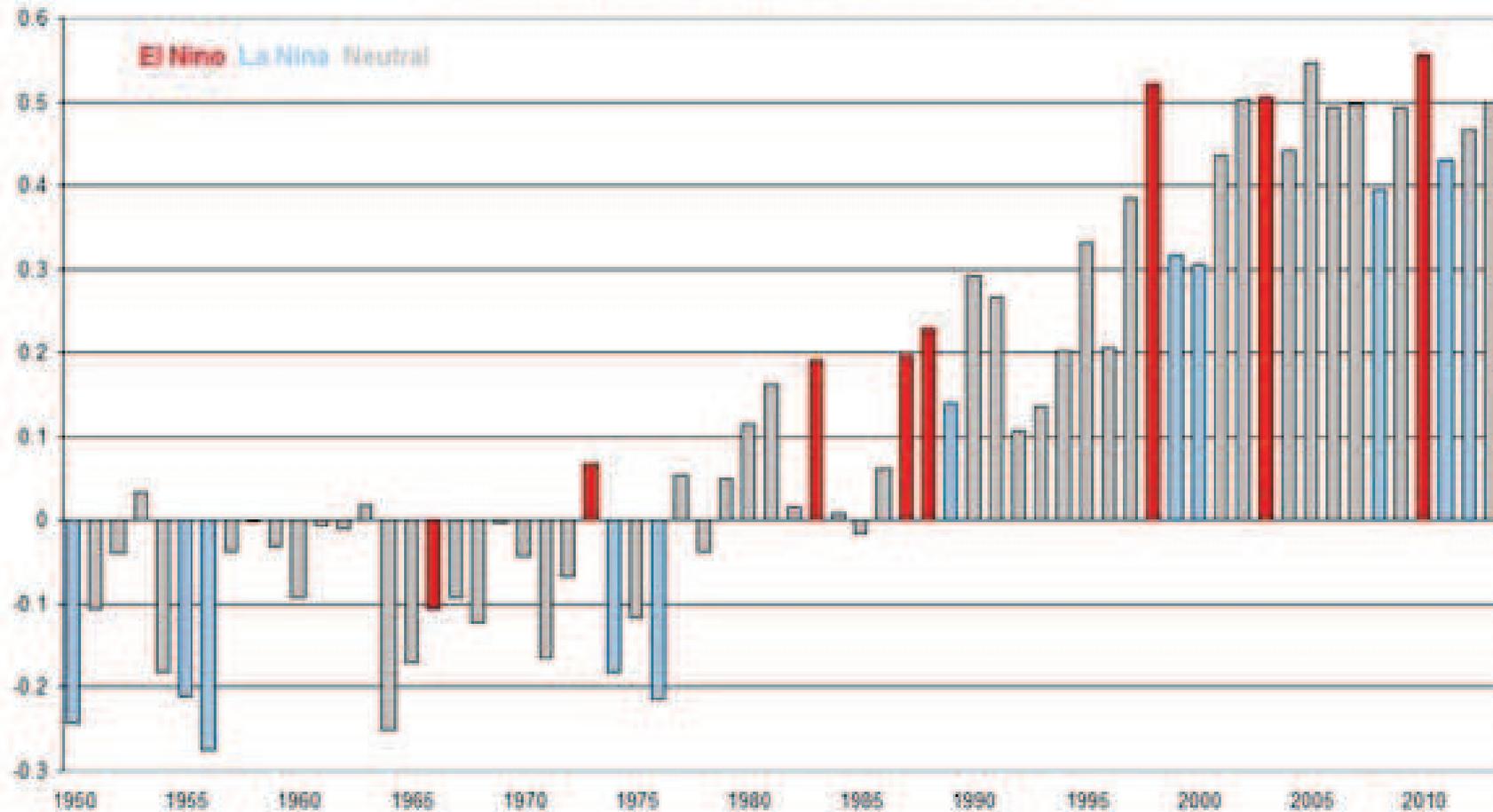


Reconstitution des températures depuis 1 million d'années

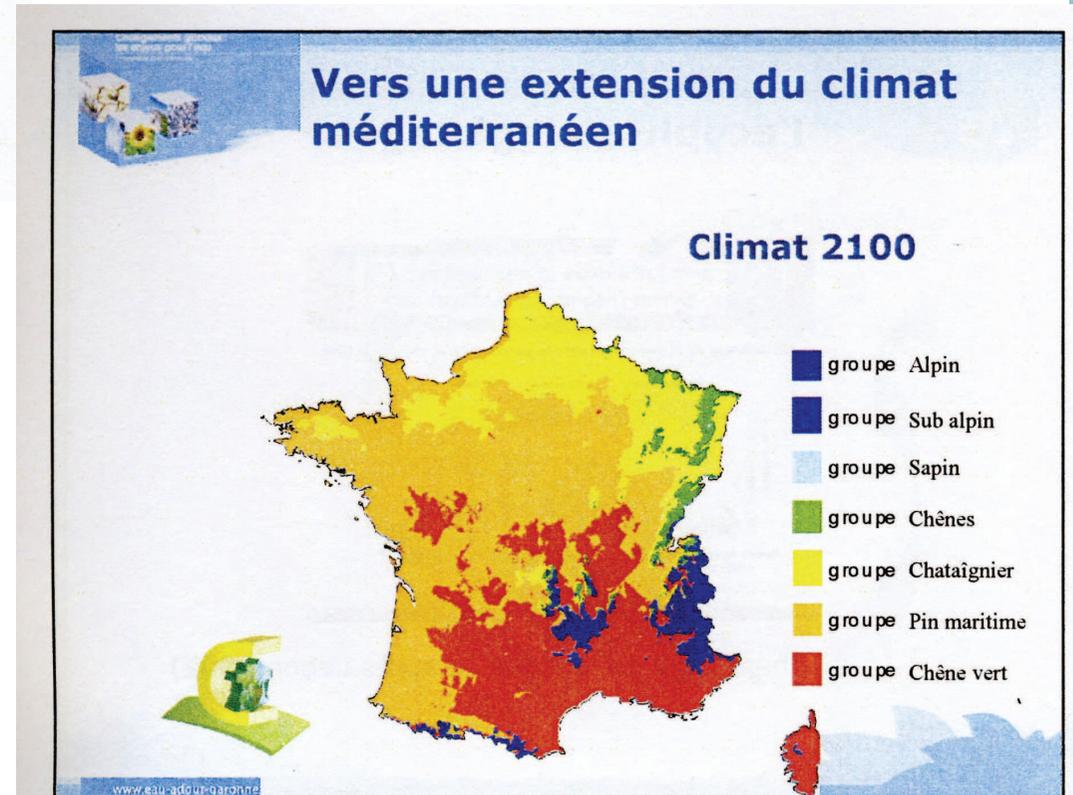
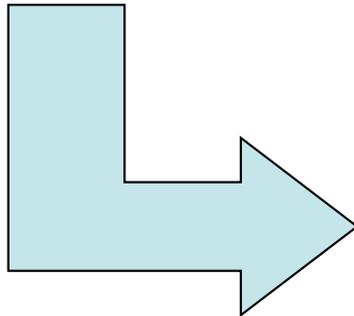
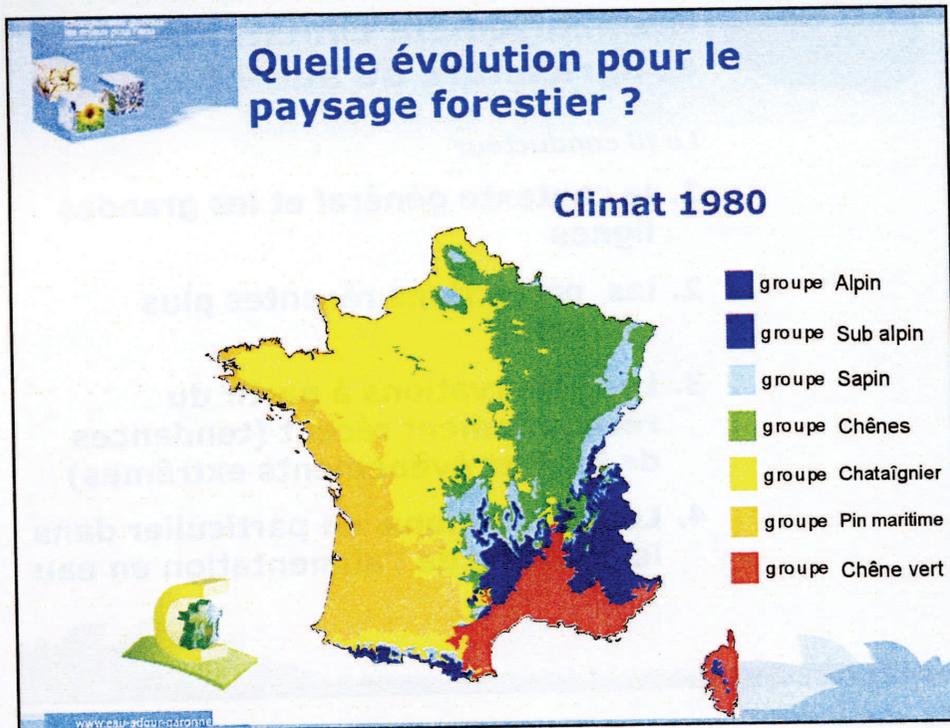


Les années les plus chaudes depuis plus de 60 ans

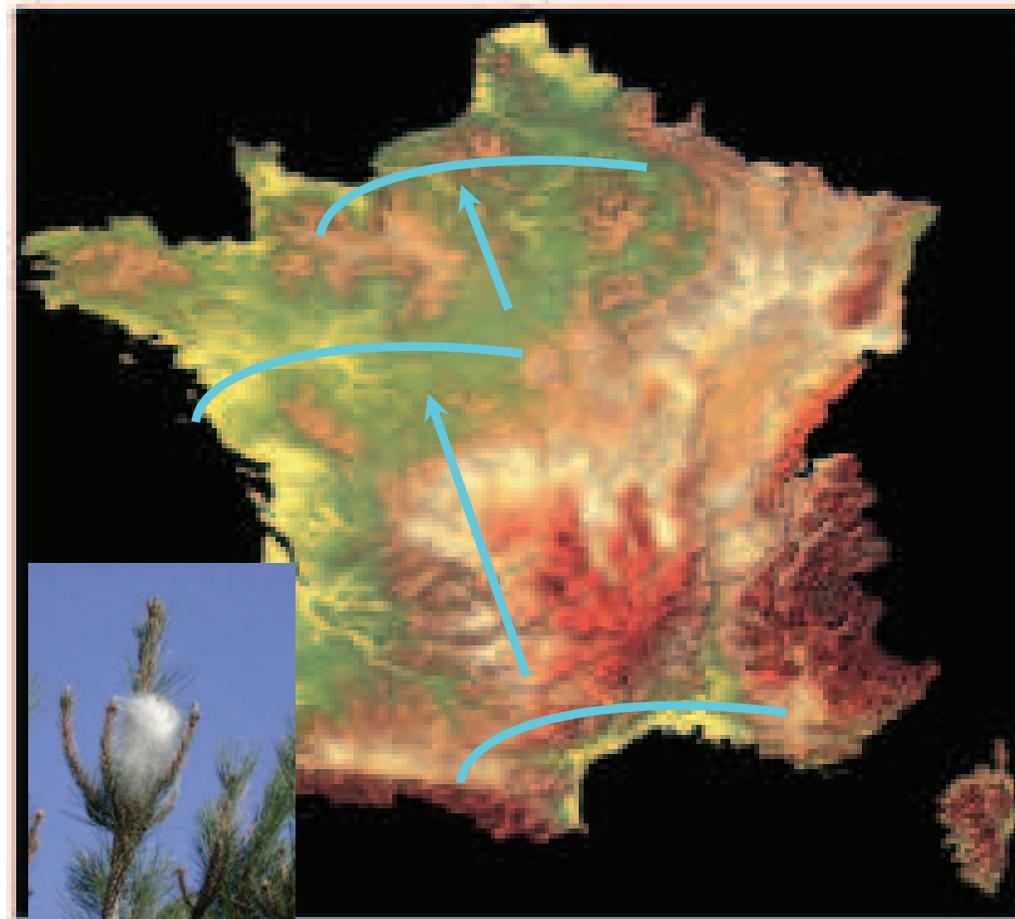
Annual temperature anomaly (°C) with respect to 1961-1990
(data source: latest combined data set of NOAA-NCDC, NASA-GISS and HadCRU)



Exemple de modification des aires de répartition d'espèces végétales

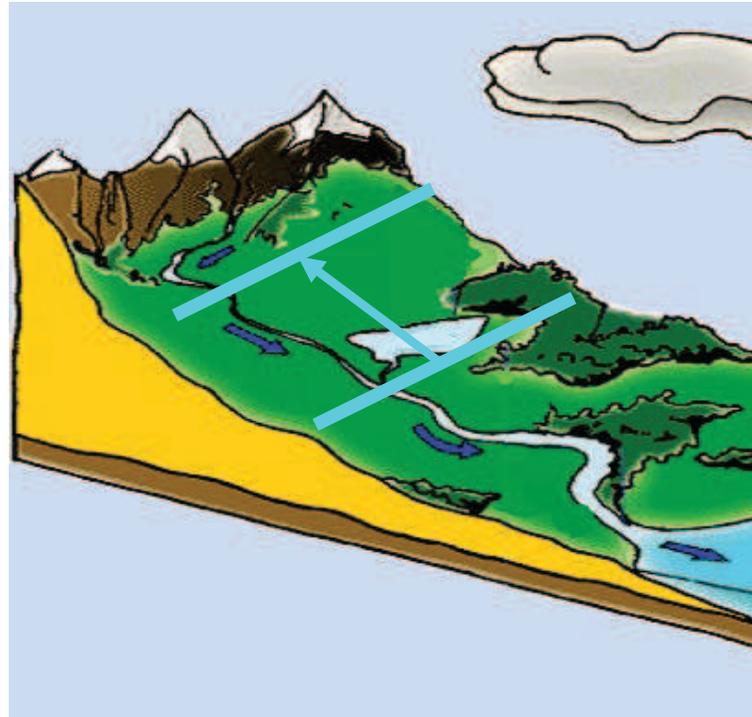


Conséquences biologiques et écologiques – Ex : Chenille en France



La chenille processionnaire du pin
progresse depuis plusieurs
décennies vers le nord de la
France, ainsi qu'en altitude

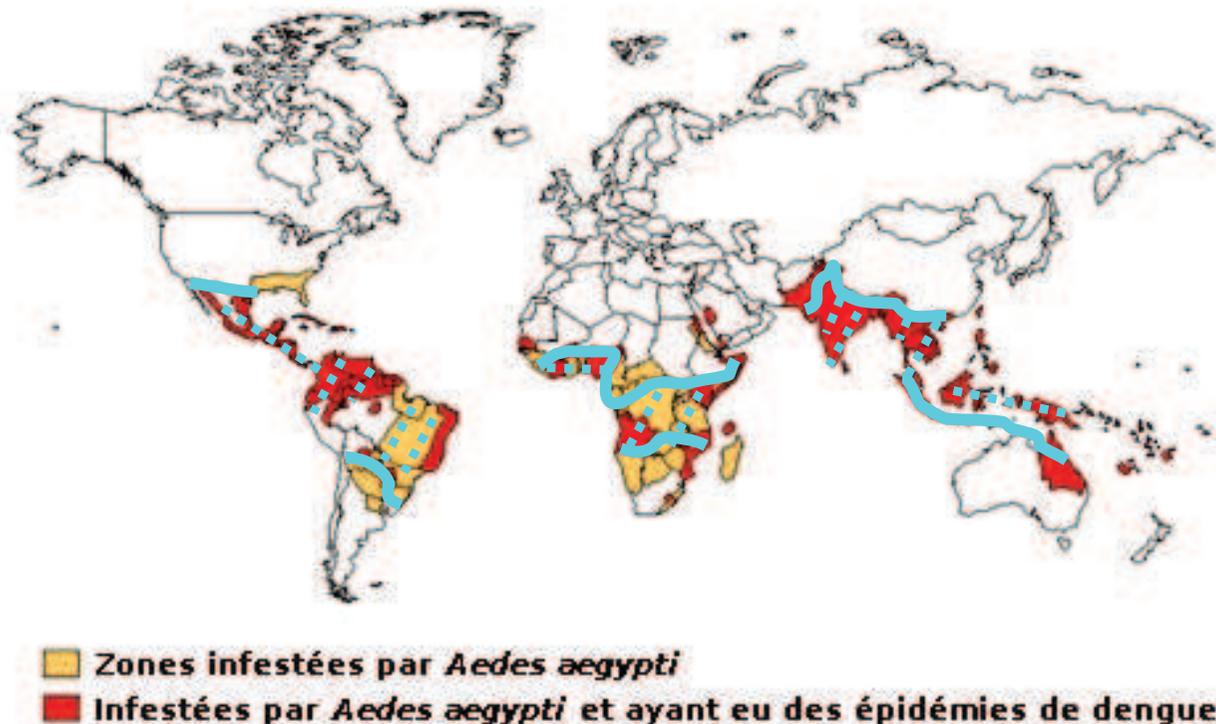
Progression des insectes en altitude et latitude



Afrique, Amérique du sud
Progression en altitude et latitude
des insectes vecteurs de maladies

Afrique, Amérique du sud

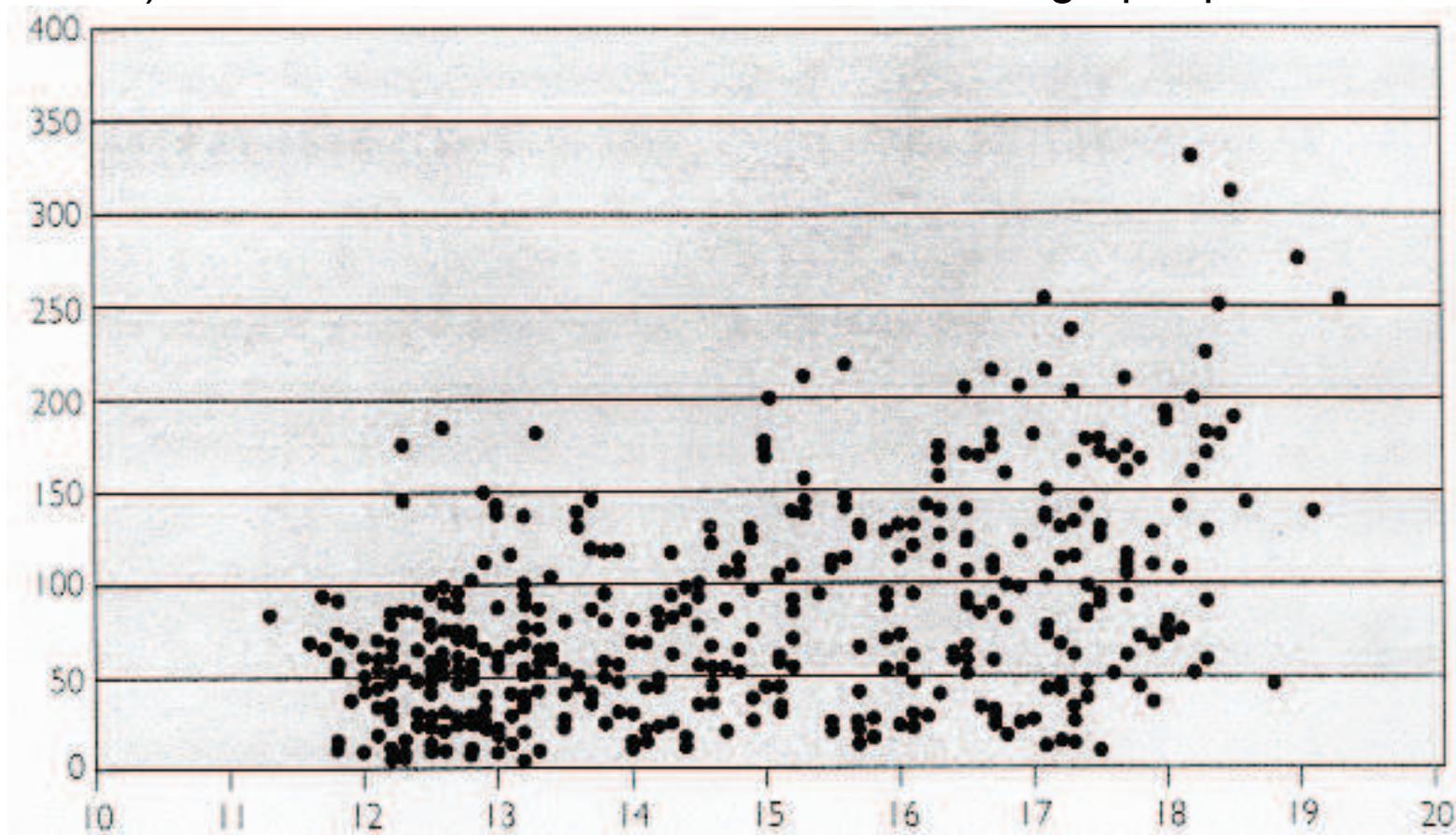
Progression en altitude et latitude des insectes vecteurs de maladies
Paludisme, Dengue, Fièvre jaune



Distribution de la Dengue dans le monde en 2000
Evolution de 1990 à 2000

Relation température/activité microbienne

Une augmentation de la température peut favoriser l'activité d'un microbe (bactérie ou virus), comme cela est mis en évidence sur le graphique ci-dessous.

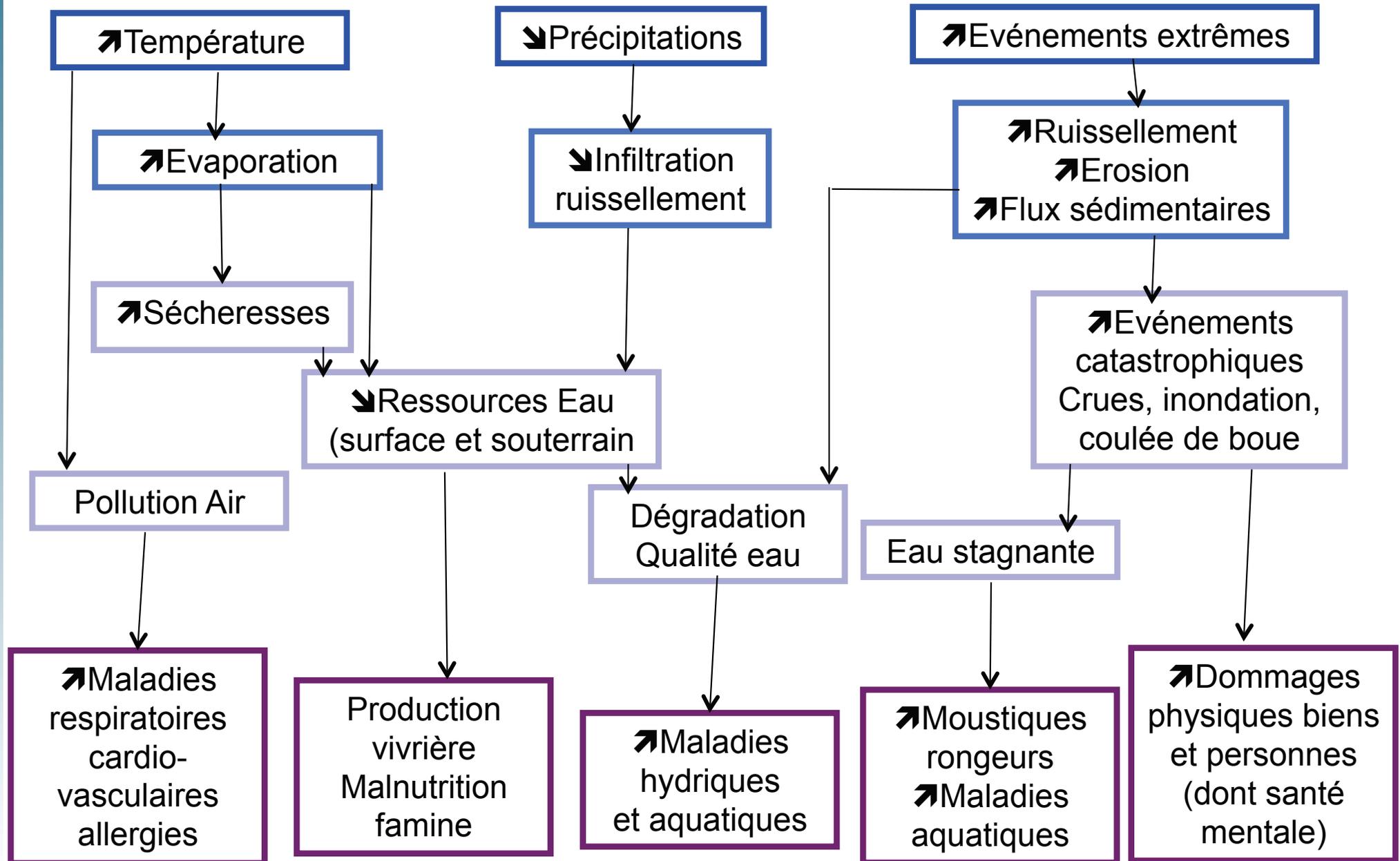


Nombre de cas mensuels de salmonellose en Nouvelle Zelande en fonction de la température, pour la période 1965 - 2000.

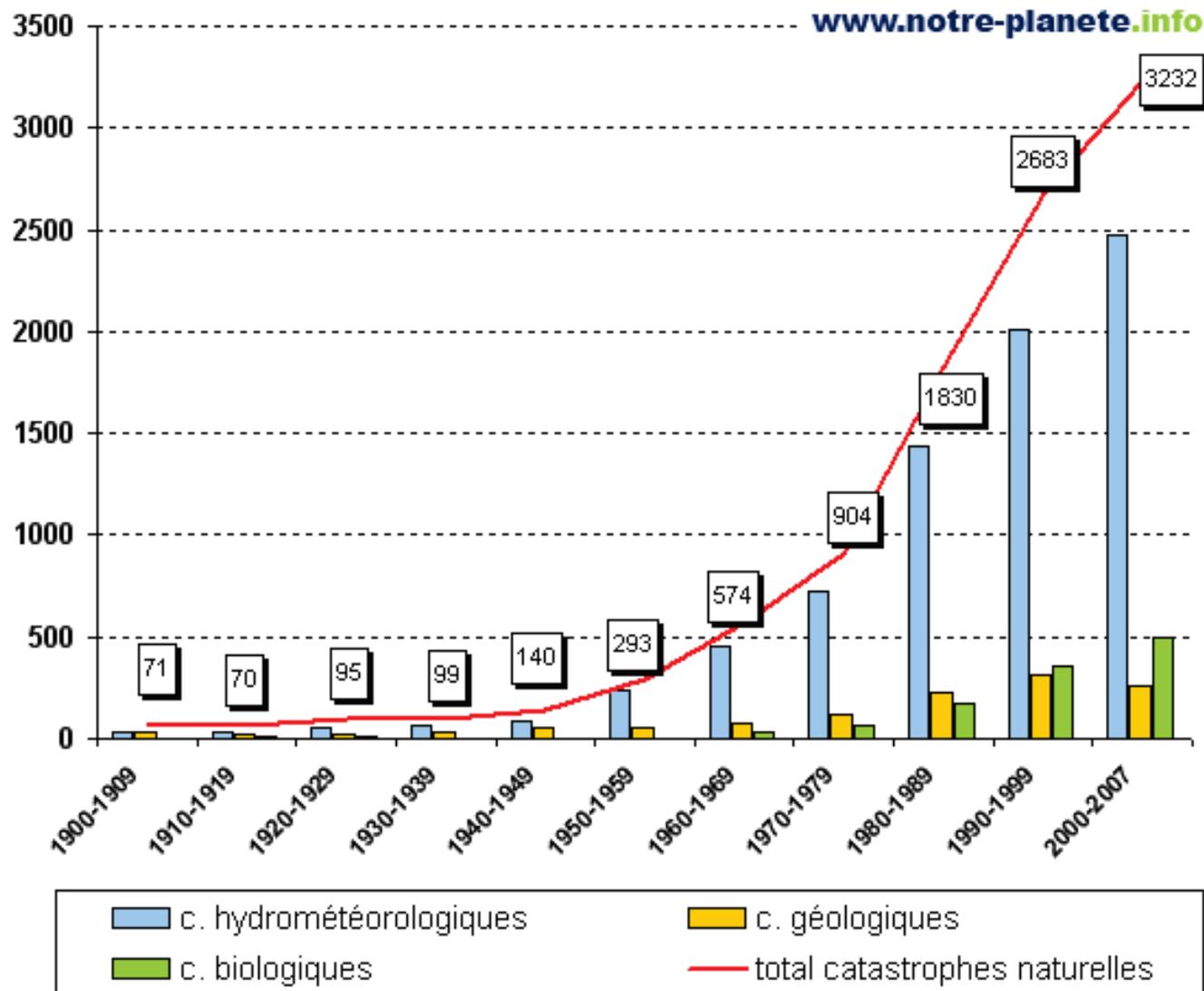
L'élévation de la moyenne en fonction de la température est très nette.
De nombreuses infections gastro-entériques ou darrhéiques connaissent des corrélations similaires.

Projections concernant la santé

© B. Laignel



Augmentation des catastrophes naturelles

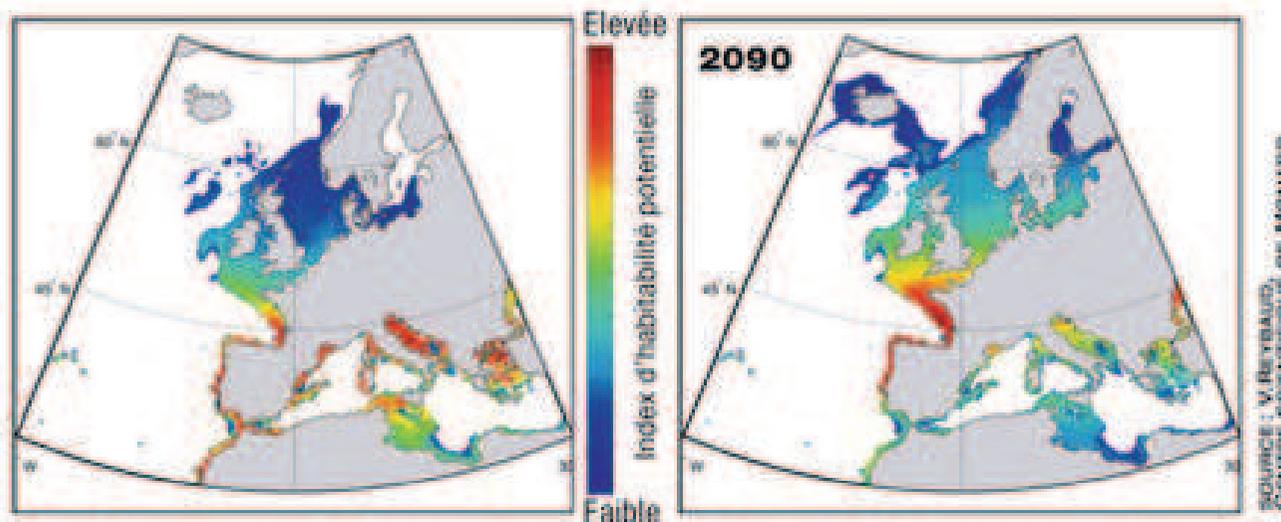


En moyenne par an, de 2000 à 2005, près de 300 millions de personnes ont été affectées par les catastrophes naturelles et près de 78 000 y ont trouvé la mort

(CRED, 01/2007)

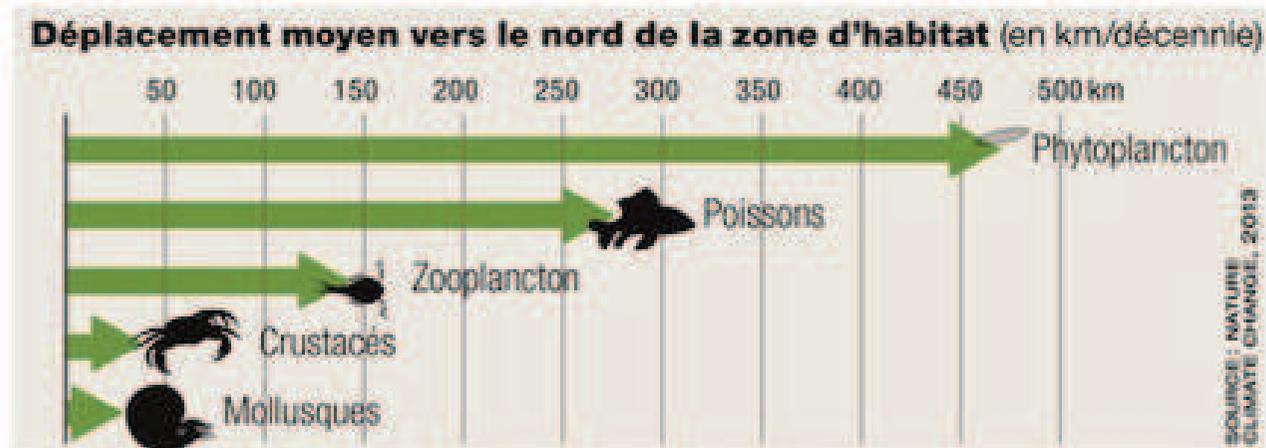


Déplacement de la faune marine du Sud



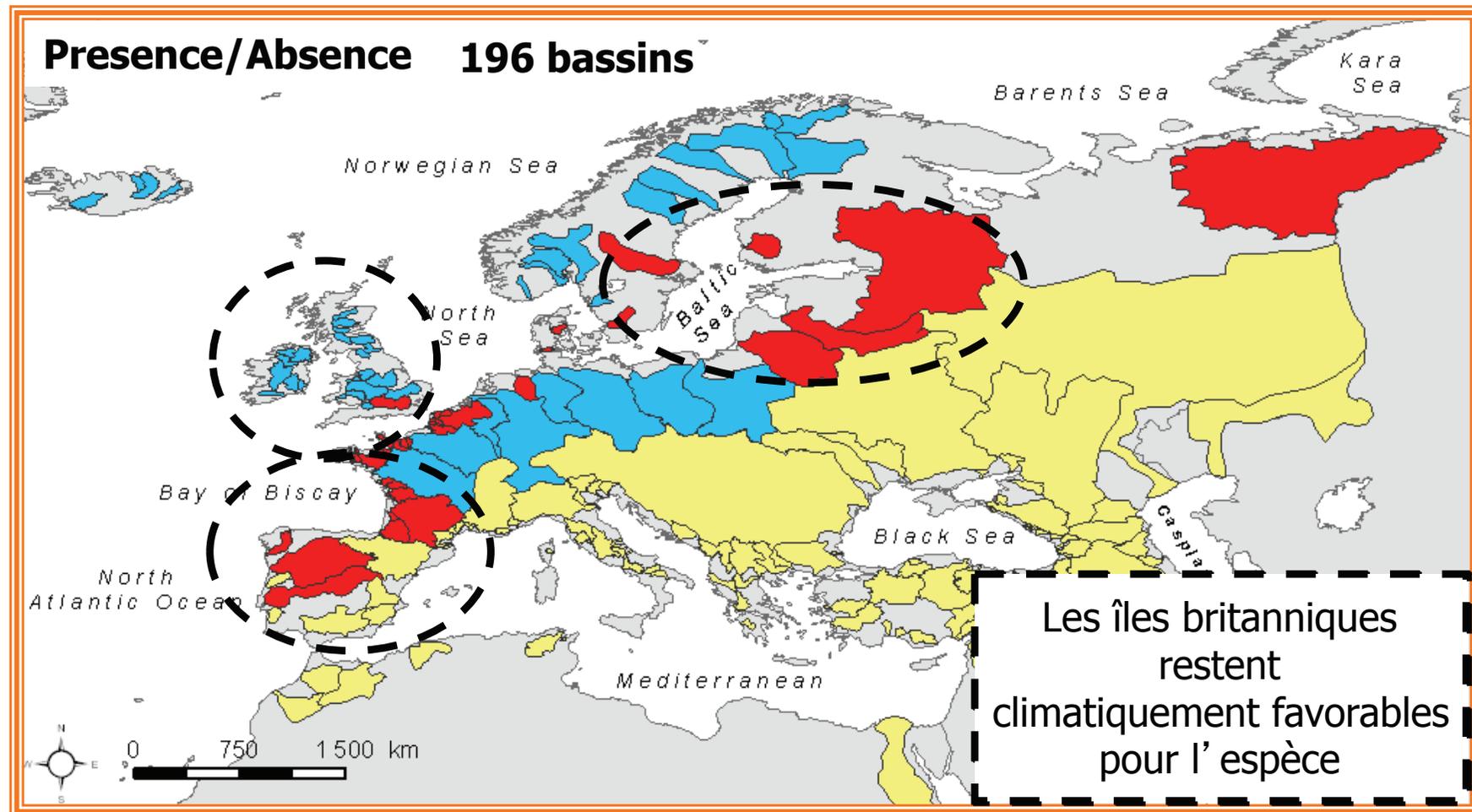
En 2090, l'anchois pourrait avoir trouvé les meilleures conditions d'habitabilité (en rouge) sur la côte Atlantique

< ^ v Rouget en mer du Nord (à g.), anchois en mer d'Irlande (ci-dessus), bar dans la Manche, poulpe... Mais aussi mollusques, zooplancton et phytoplancton. Chacun à leur rythme, tous se déplacent avec la température (voir ci-dessous), renouvelant l'écosystème de la région.



Impact sur l'écosystème - Poissons migrateurs et changement climatique: retour d'expérience sur une approche statistique à large échelle

Lassalle, G., Béguer, M., Beaulaton, L., Rochard, E. (accepté). Learning from the past to predict the future: responses of European diadromous fish to Climate Change. In: Challenges for diadromous fishes in a dynamic global environment (Eds. A. Haro & C. Moffitt), American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.



- Bassins sans saumon en 1900 et climatiquement non favorables en 2100.
- Bassins avec des saumons en 1900 et climatiquement favorables en 2100.
- Bassins avec des saumons en 1900 et climatiquement non favorables en 2100.

Conséquence du CC et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral

👉 Inondations → Conjonctions de phénomènes à prendre en compte :
Élévation du niveau de la mer dans le cadre du CC, Grandes marées,
Submersions de tempêtes et Précipitations abondantes

Élévation du niveau de la mer : Quels scénarios ?

- Valeur minimale à partir de la tendance observée dans les mesures : +18 à +27 cm
- Valeur moyenne du GIEC/IPCC : +50 cm
- Valeur haute du GIEC/IPCC: + 80cm à + 1m

Submersions de tempêtes et précipitations abondantes/crués :

Pas de tendances statistiquement significative à l'augmentation pour la région

👉 Salinisation des aquifères côtiers :

Inversion du gradient hydraulique et intrusion marine

tester plusieurs scénarios croisant élévation du niveau de la mer et
consommation humaine