

Conseil Supérieur de la Météorologie

Que peut-on dire du changement climatique
proche dans le temps (25-30 ans)?

La prévision décennale:
Un défi pour les climatologues



Christophe Cassou
(CNRS-Cerfacs)



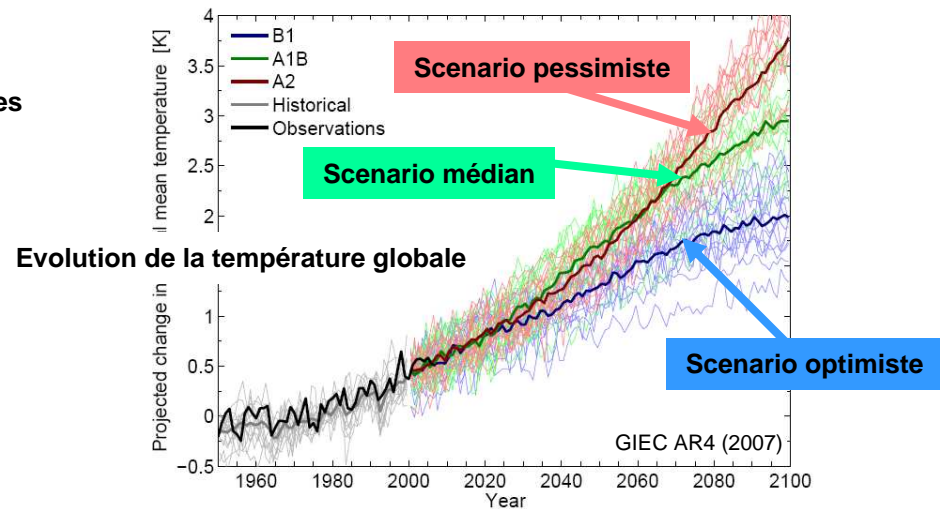
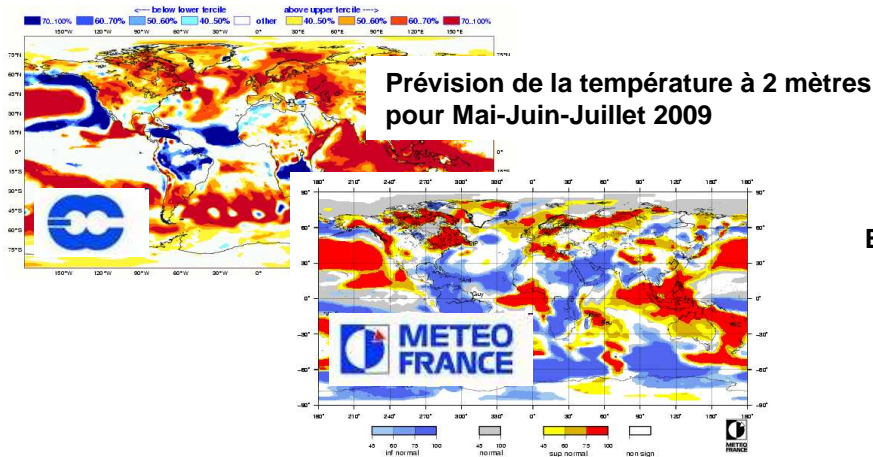
Colloque: Le changement climatique « proche »

6 Mai 2009

Introduction

Prévision décennale = prévision **climatique** (i.e. **probabiliste**) à échéance 5-30 ans

- ❖ Un **vide** entre les prévisions saisonnière à interannuelle (fournies par la plupart des grands centres météorologiques) et les projections climatiques pour la 2nd moitié du XXI^{ème} siècle (GIEC AR4, 2007).



- ❖ Une **demande** sociétale forte (acteurs politiques et économiques) en vue d'adaptations aux changements climatiques déjà en cours
- ❖ Un véritable **sujet de recherche** jusqu'alors négligé (GIEC AR4, 2007), voire jusqu'alors quasi-impossible, et d'une grande complexité

Colloque: Le changement climatique « proche »



Sources de prévisibilité décennale

La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable** car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale.

Nous **savons** que le système climatique dans un futur « proche » :

1. S'ajustera à l'augmentation actuelle (passé proche) de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère : même si toute émission cessait aujourd'hui, le climat se réchaufferait au cours du prochain siècle de par l'inertie du système climatique.



Sources de prévisibilité décennale

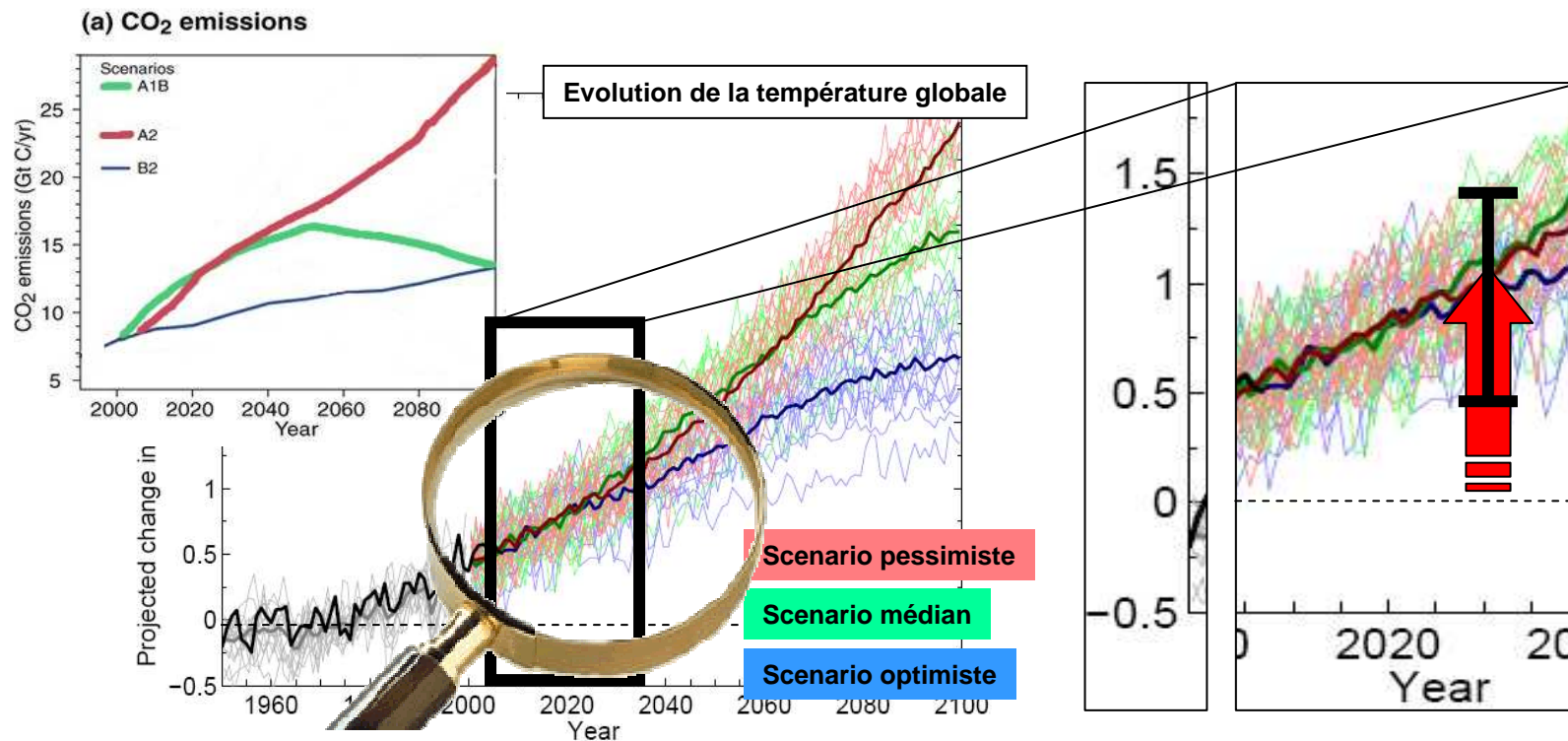
La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable** car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale

Nous **savons** que le système climatique dans un futur « proche » :

1. S'ajustera à l'augmentation actuelle (passé proche) de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère : même si toute émission cessait aujourd'hui, le climat se réchaufferait au cours du prochain siècle de par l'inertie du système climatique.
2. Répondra à l'augmentation future des gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique: « le forçage externe anthropique »

Forçage externe d'origine anthropique (1)

Quantification de la réponse: Anomalie de la température globale de tous les modèles (spaghetti) du GIEC AR4 (2007) par rapport à la période de référence 1961-1990 en fonction des scénarios d'émission de gaz à effet de serre (couleurs).

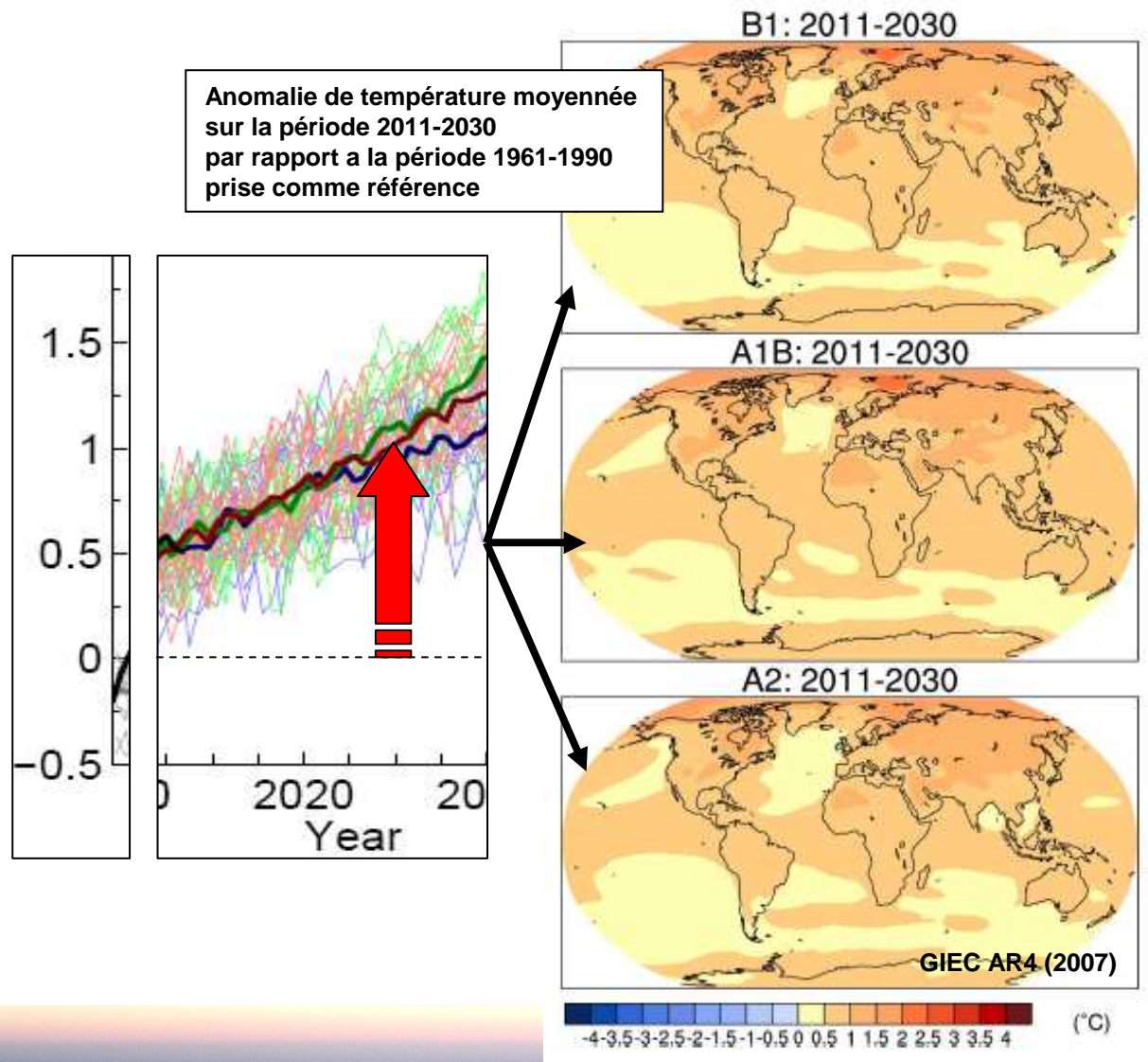


Le réchauffement global prévu pour la décennie 2030 correspondant à l'augmentation des GES d'origine anthropique est de l'ordre de +1°C

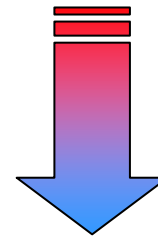
Avec une incertitude de +/-0.5°C

Colloque: Le changement climatique « proche »

Forçage externe d'origine anthropique (2)



Anomalies peu dépendantes du scénario d'émission envisagé, même à l'échelle régionale, sur les 20 prochaines années

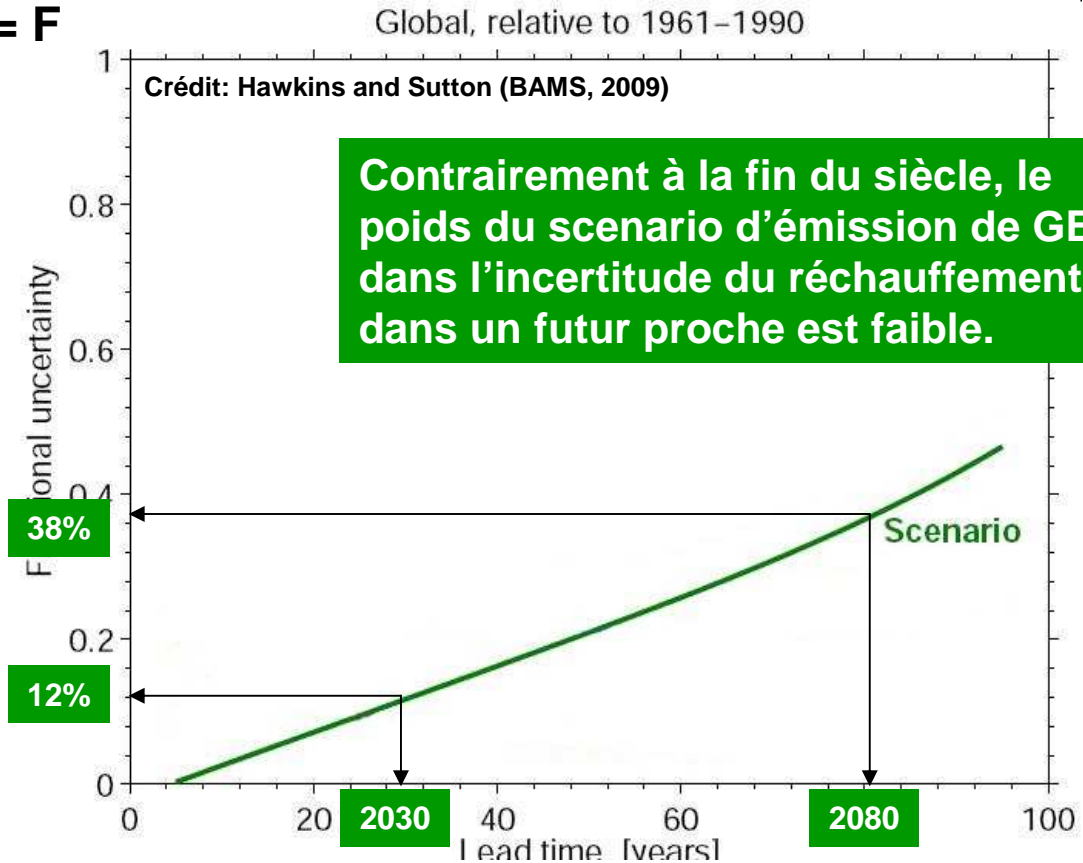
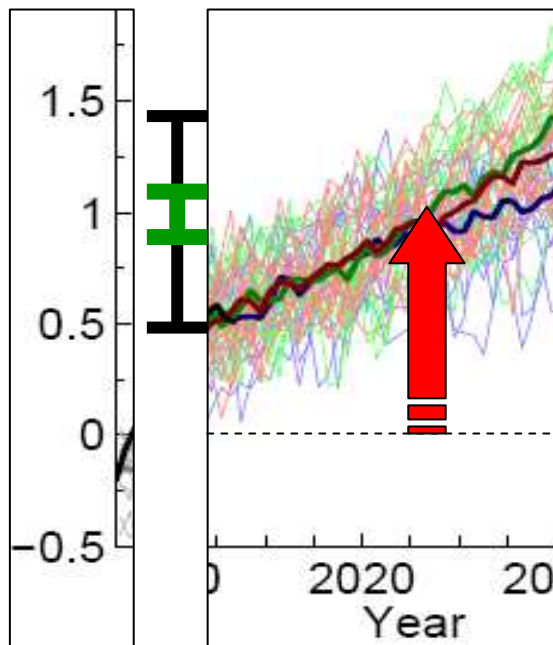


L'incertitude de la prévision décennale ne s'explique pas par les scénarios d'émission des gaz à effet de serre.

Incertitude liée au scénario de GES

Méthode: incertitude fractionnelle = rapport entre l'incertitude liée à un forçage et la réponse totale

$$\frac{\text{Ecart entre scénario (2030)}}{\text{Réponse totale (2030)}} = \frac{0.12}{1.} = F$$



$$I = I +$$

Colloque: Le changement climatique « proche »



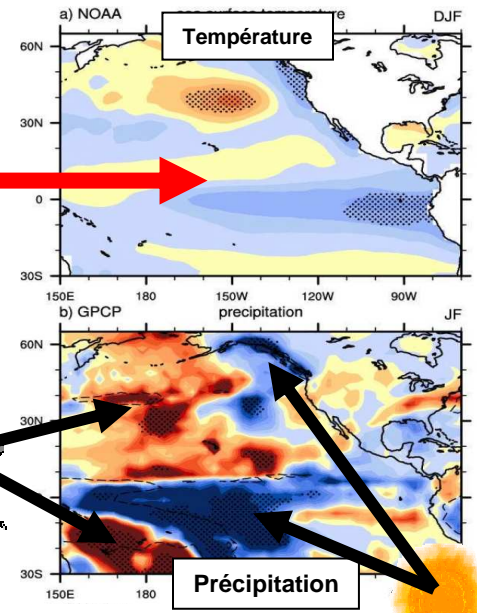
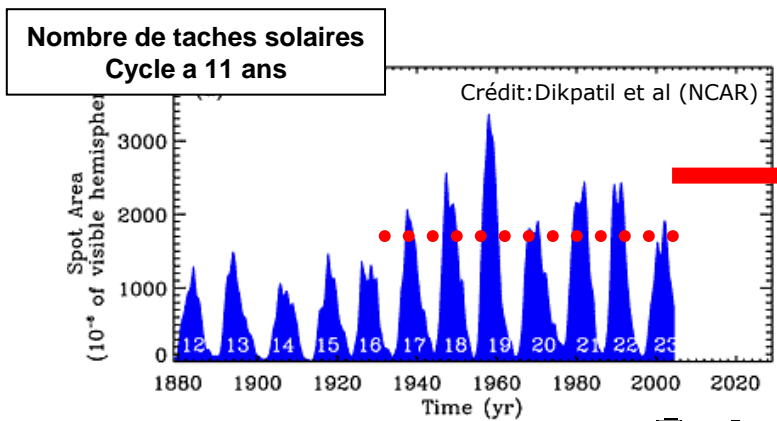
Sources de prévisibilité décennale

La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable** car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale

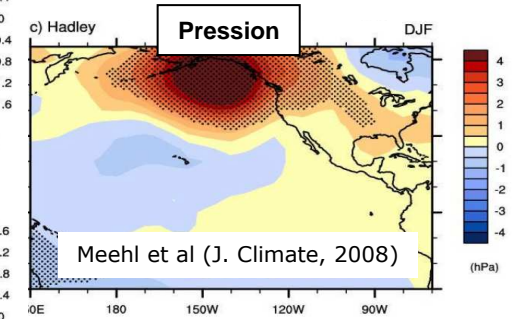
Nous **savons** que le système climatique dans un futur « proche » :

1. S'ajustera à l'augmentation actuelle (passé proche) de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère : même si toute émission cessait aujourd'hui, le climat se réchaufferait au cours du prochain siècle de par l'inertie du système climatique.
2. Répondra à l'augmentation future des gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique: « le forçage externe anthropique »
3. Sera influencé par des forçages naturels externes qui sont actifs dans la bande de fréquence décennale (e.g. cycles solaires, etc.)

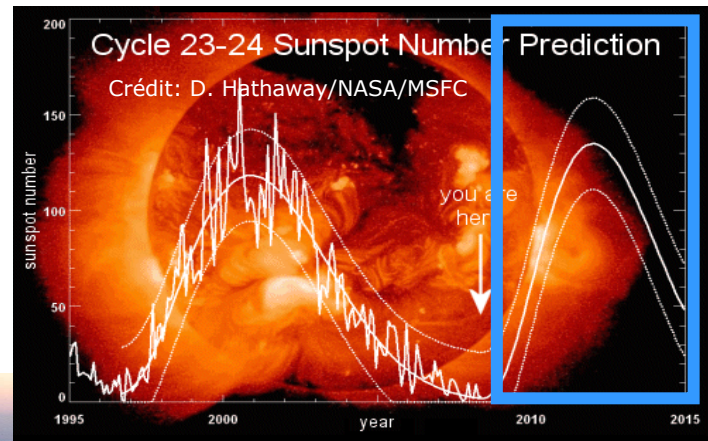
Forçage externe naturel : l'activité solaire



Composite d'anomalies observées correspondant aux maxima solaires



Réponse en structure « Niña-esque »



Nous sommes en route vers un maximum solaire...

En raison des relations significatives entre variables climatiques et activité solaire, la prise en compte du cycle à 11 ans pour la prévision décennale est importante.



Sources de prévisibilité décennale

La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable** car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale

Nous **savons** que le système climatique dans un futur « proche » :

1. S'ajustera à l'augmentation actuelle (passé proche) de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère : même si toute émission cessait aujourd'hui, le climat se réchaufferait au cours du prochain siècle de par l'inertie du système climatique.
2. Répondra à l'augmentation future des gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique: « le forçage externe anthropique »
3. Sera influencé par les forçages naturels externes qui sont actifs dans la bande de fréquence décennale (e.g. cycles solaires, etc.)
4. Sera influencé par les fluctuations naturelles qui sont actives dans la bande de fréquence décennale (variabilité intrinsèque ou interne du système climatique)

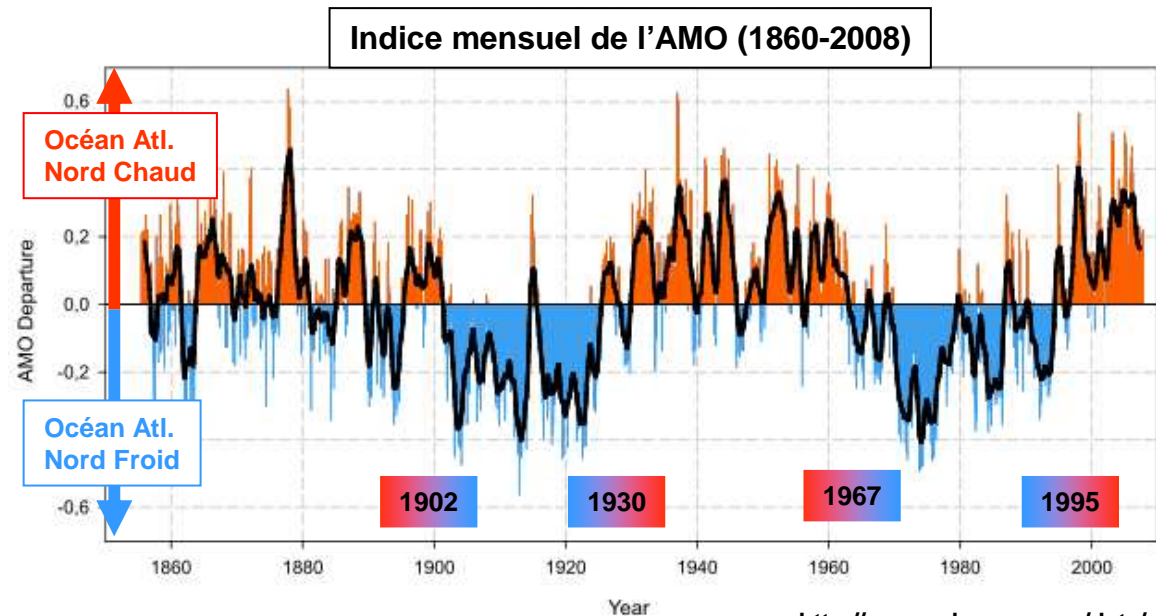
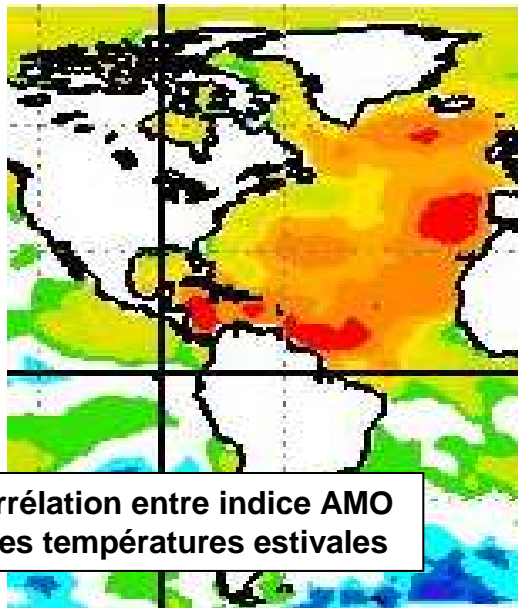


Colloque: Le changement climatique « proche »

Variabilité intrinsèque décennale : l'AMO (1)

a. L'Oscillation Atlantique Multi décennale (AMO)

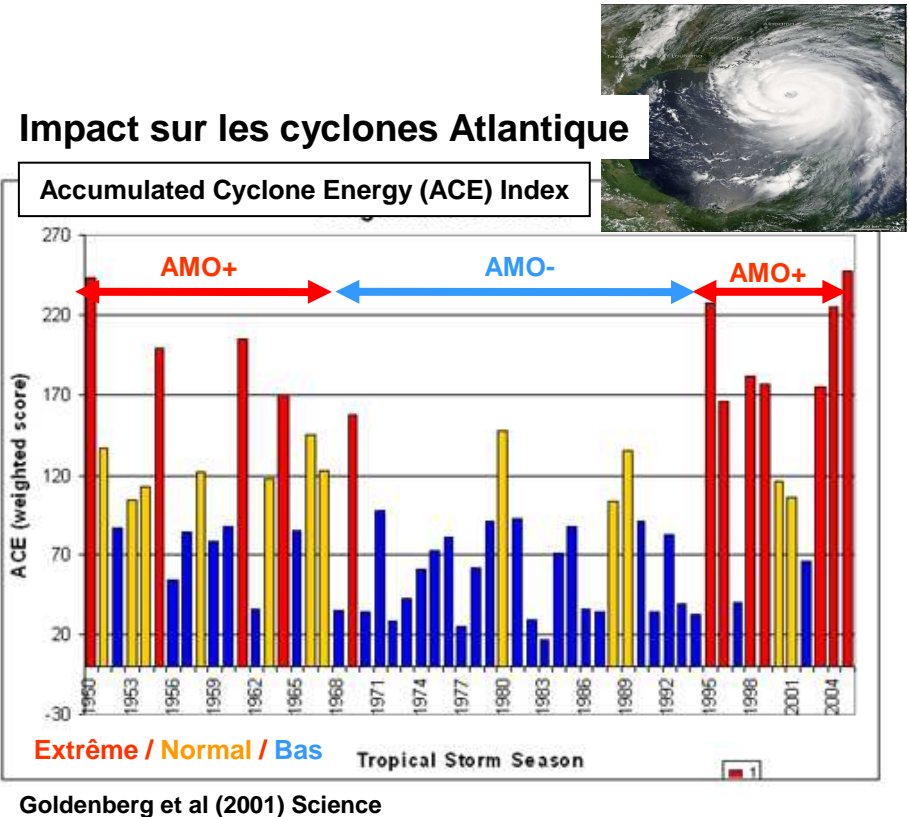
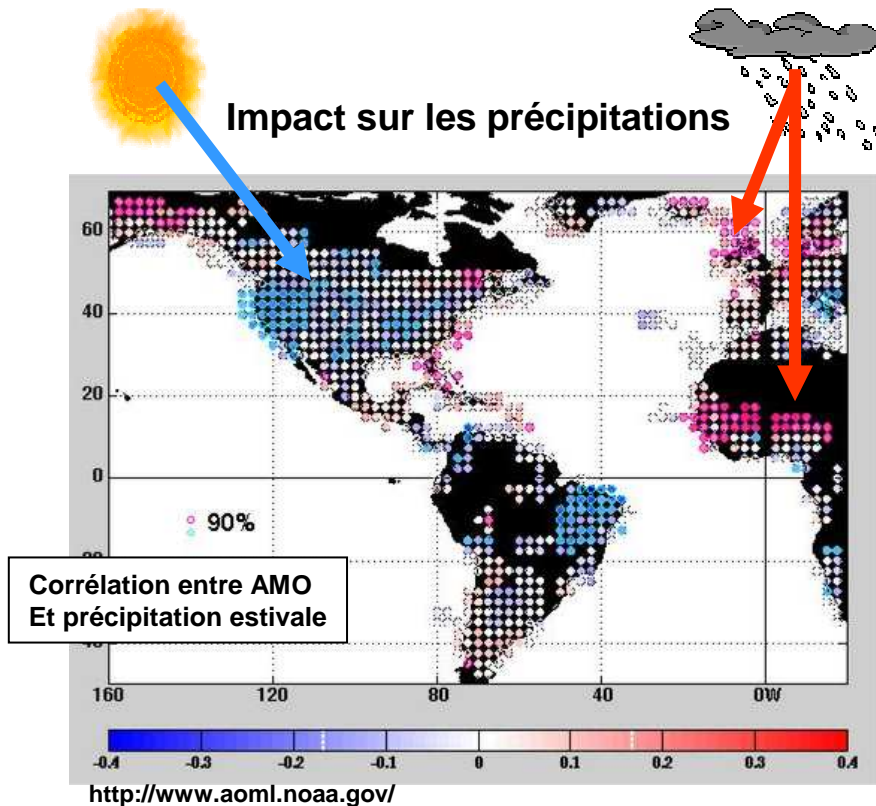
Mesure: Température océanique moyennée sur l'ensemble de l'Atlantique Nord



AMO=Oscillation océanique Atlantique de période égale à ~70ans
1995 marque le début du troisième cycle (phase chaude) depuis 1850

Il est important de prendre en compte la phase de l'AMO dans les prévisions décennales car l'AMO est associée à des fluctuations climatiques significatives.

Variabilité intrinsèque décennale : l'AMO (2)



Changement de signe en 1995: AMO+ jusqu'en ~2030? Tenir compte de la phase de l'AMO et/ou prévoir son changement est essentiel pour la prévision climatique « proche »

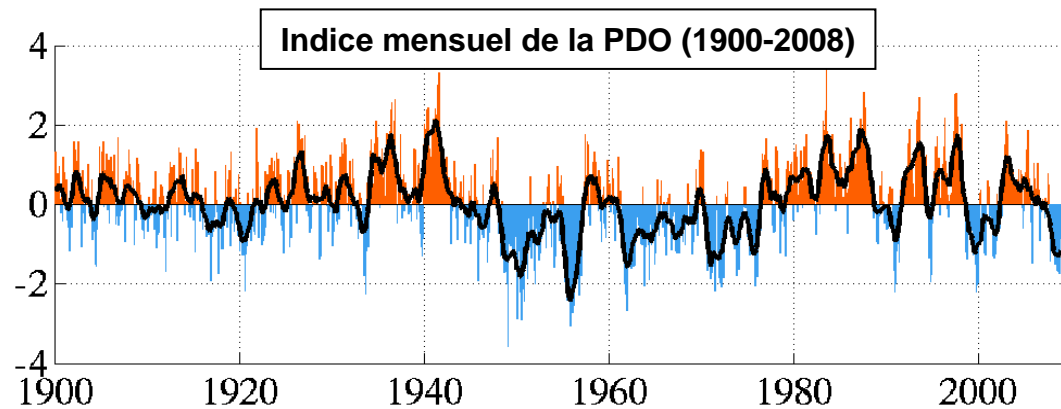
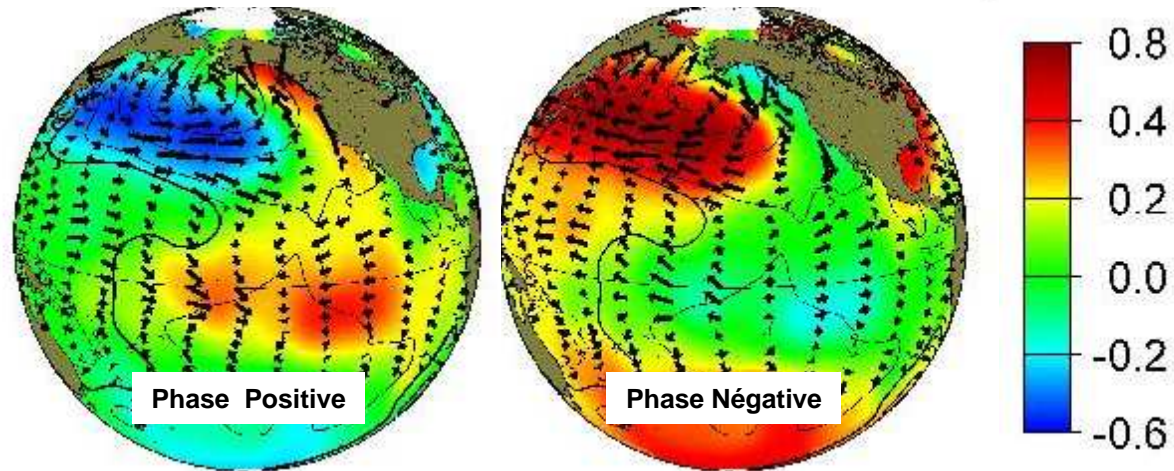
Sur les 20 prochaines années, probabilité plus forte pour des saisons cycloniques plus actives sur le bassin Atlantique, pour des sécheresses marquées sur les Amériques. Probabilité plus faible pour les grandes sécheresses sahéniennes.

Variabilité intrinsèque décennale : la PDO (1)

b. L'Oscillation Pacifique Décennale (PDO)

Définition: Mode de variabilité océanique du Pacifique Nord et Pacifique tropical

Anomalie de température de surface de la mer + vent



PDO=Oscillation océanique Pacifique de période égale à ~60ans

2002-3 marque le début d'une phase froide

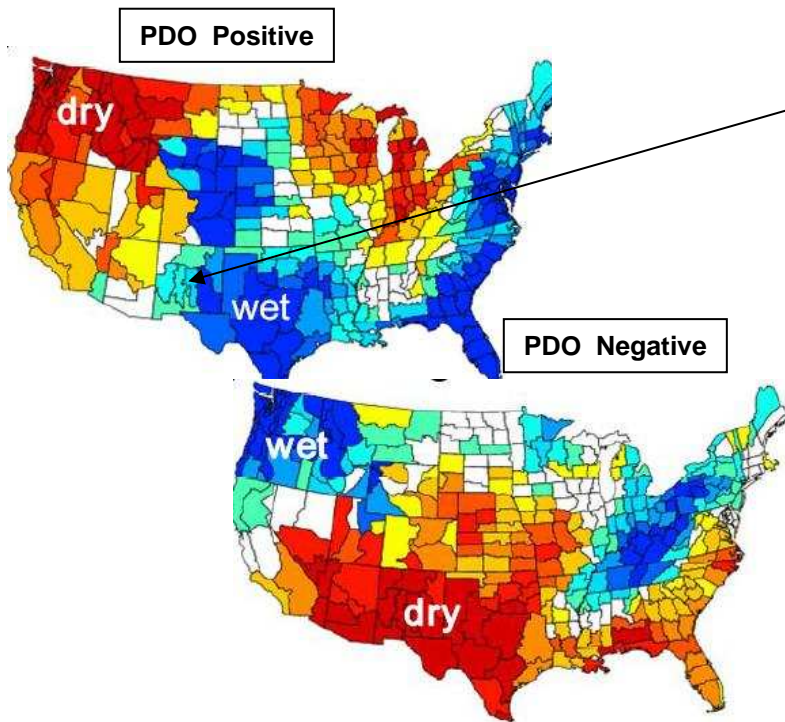
<http://jisao.washington.edu/pdo/graphics.html>

Colloque: Le changement climatique « proche »

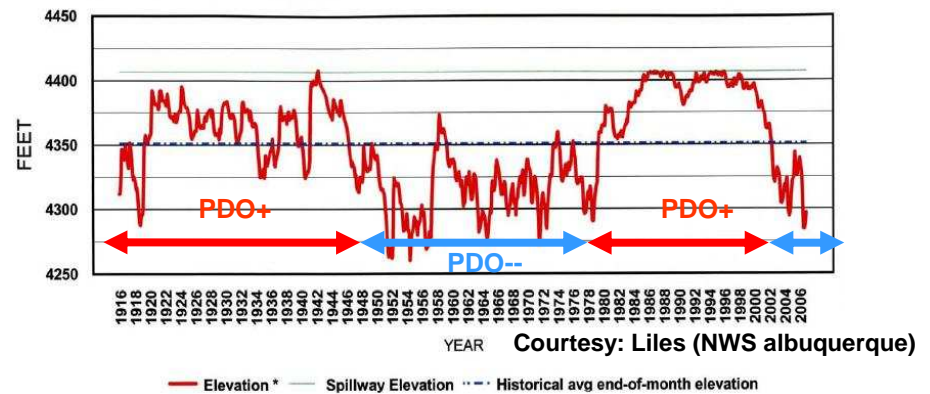
Variabilité intrinsèque décennale : la PDO (2)

Comme pour l'AMO, il est important de prendre en compte la phase de la PDO dans les prévisions décennales car la PDO est associée à des fluctuations climatiques significatives.

Impact sur les précipitations



ELEPHANT BUTTE RESERVOIR HISTORICAL END-OF-MONTH ELEVATION**



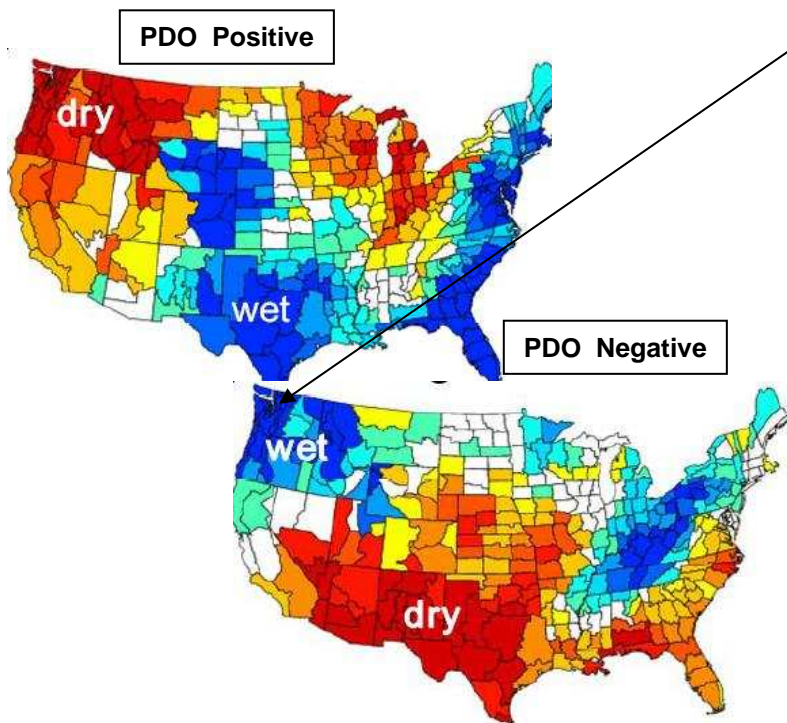
Impact direct sur la gestion de l'eau

Colloque: Le changement climatique « proche »

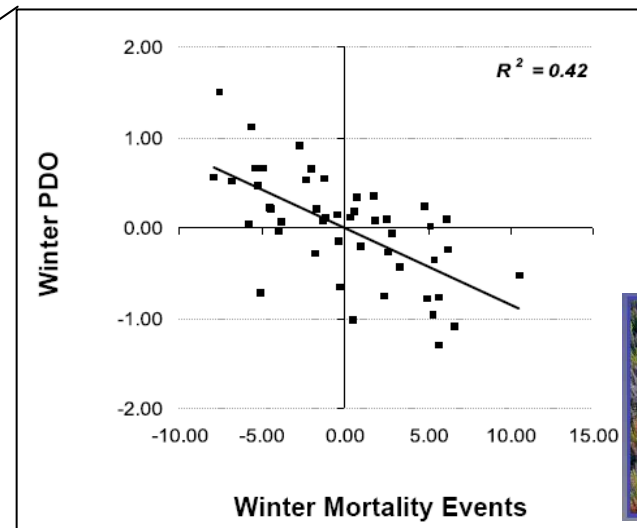
Variabilité intrinsèque décennale : la PDO (3)

Comme pour l'AMO, il est important de prendre en compte la phase de la PDO dans les prévisions décennales car la PDO est associée à des fluctuations climatiques significatives.

Impact sur les précipitations



Courtesy, Macias and Johnson (2007)



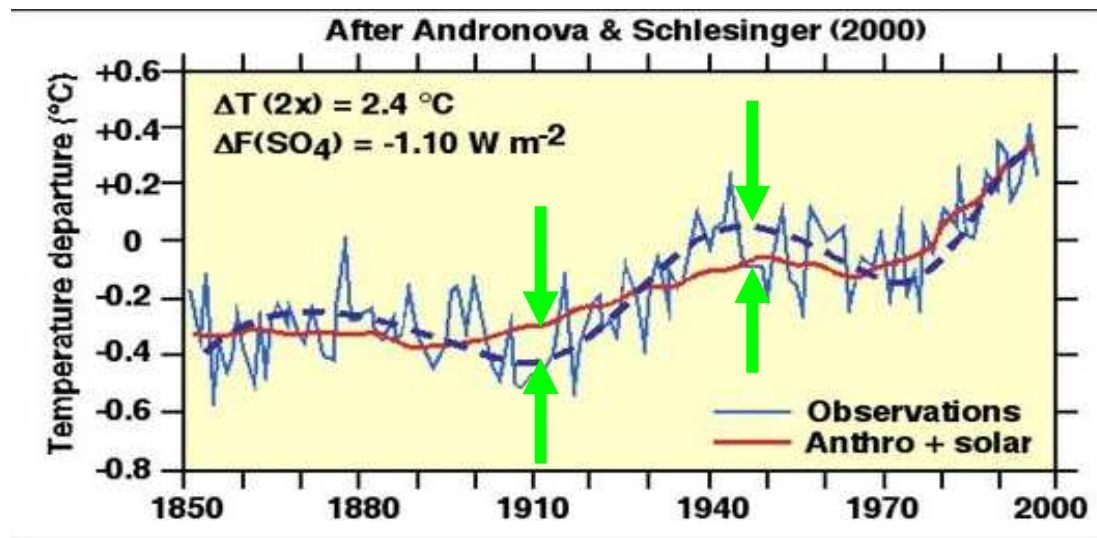
Impact direct sur la biosphère

Changement de signe en début 2000: Négative PDO jusqu'en ~2030?

Colloque: Le changement climatique « proche »

Variabilité intrinsèque décennale : AMO+PDO

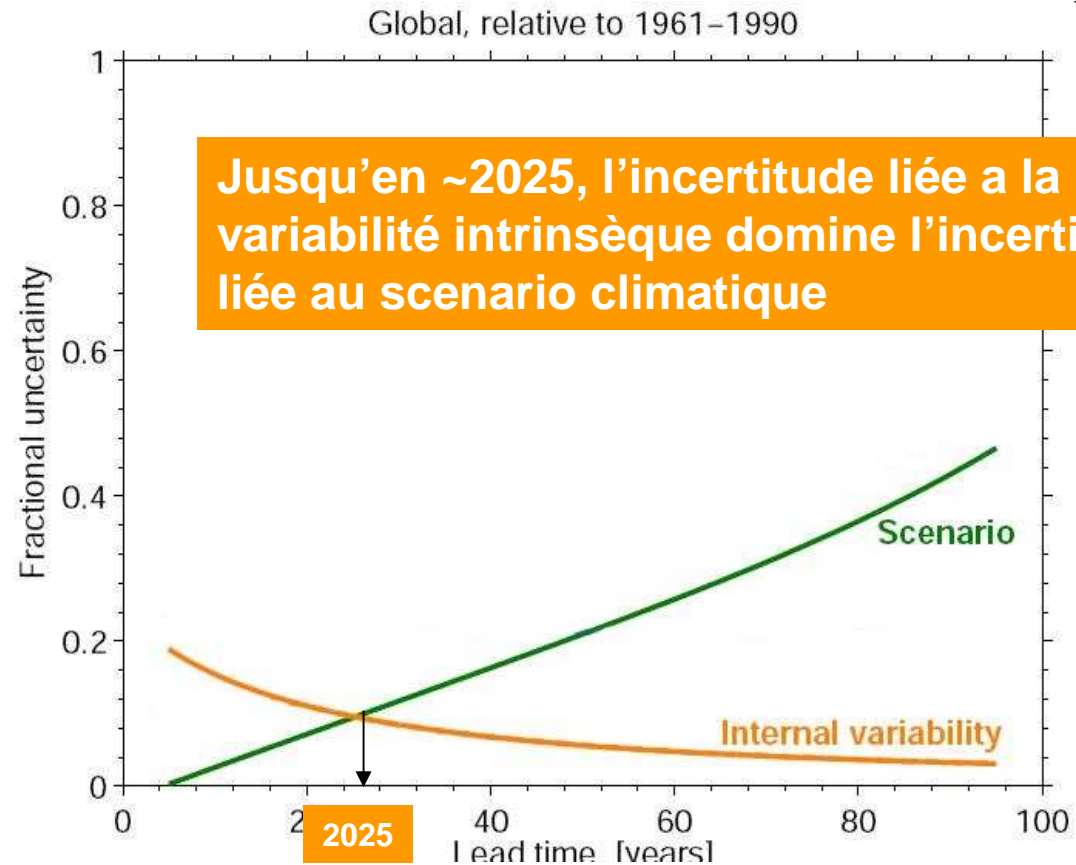
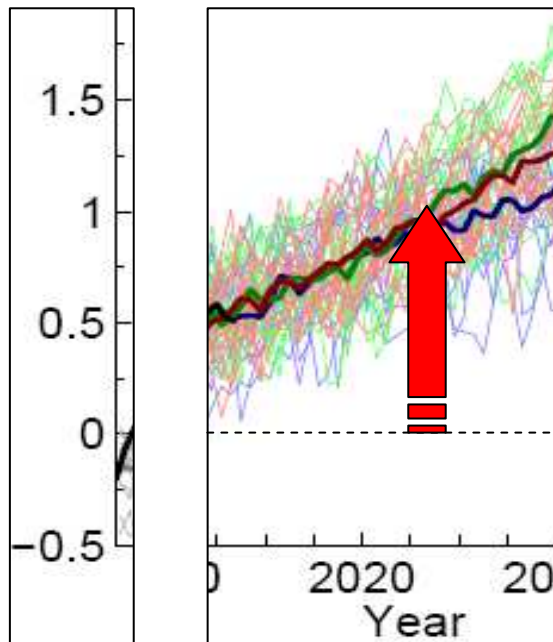
Tenir compte des fluctuations décennales océaniques (mémoire du système climatique) est essentiel pour comprendre les **écarts** entre la température globale **observée** au cours du dernier siècle et la **réponse estimée** du système climatique à l'augmentation des gaz à effet de serre



Il est probable que l'ordre de grandeur des anomalies climatiques associées aux grandes oscillations décennales sera **comparable** au forçage anthropique pris de manière isolée pour les 5-30 prochaines années (en particulier à l'échelle régionale).

Incertitude liée à la variabilité intrinsèque

Méthode: incertitude fractionnelle = rapport entre l'incertitude liée à un forçage et la réponse totale

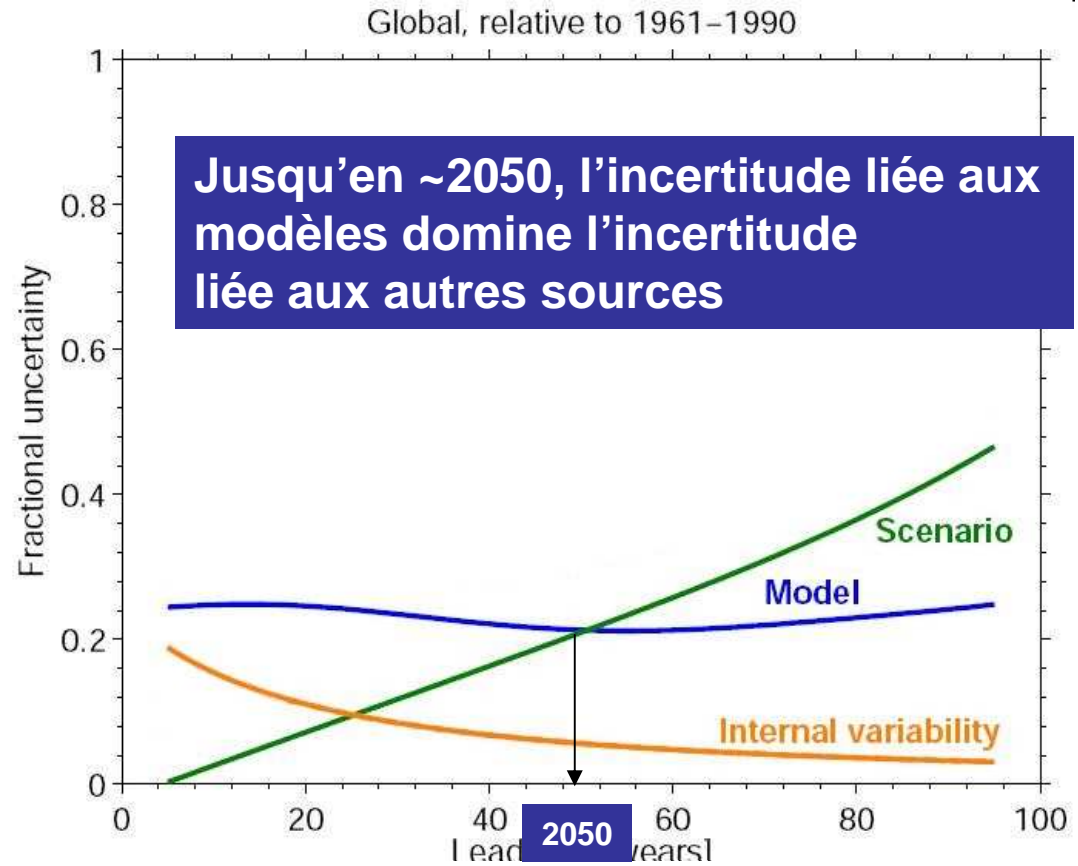
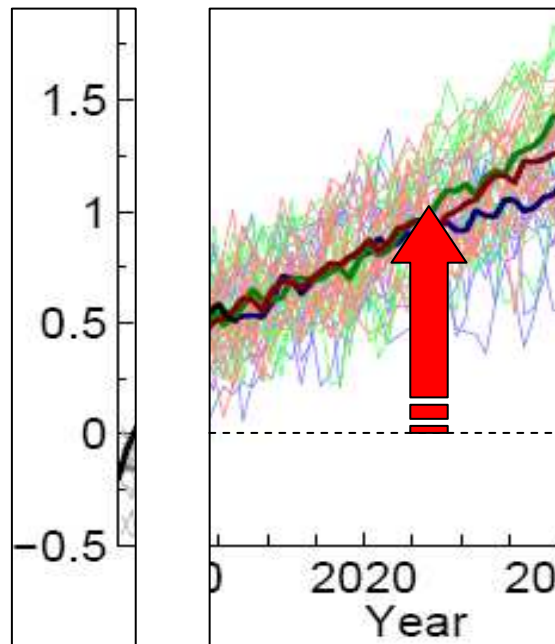


Crédit: Hawkins and Sutton (BAMS, 2009)

$$I = I + I +$$

Incertitude liée aux modèles

Méthode: incertitude fractionnelle = rapport entre l'incertitude liée à un forçage et la réponse totale

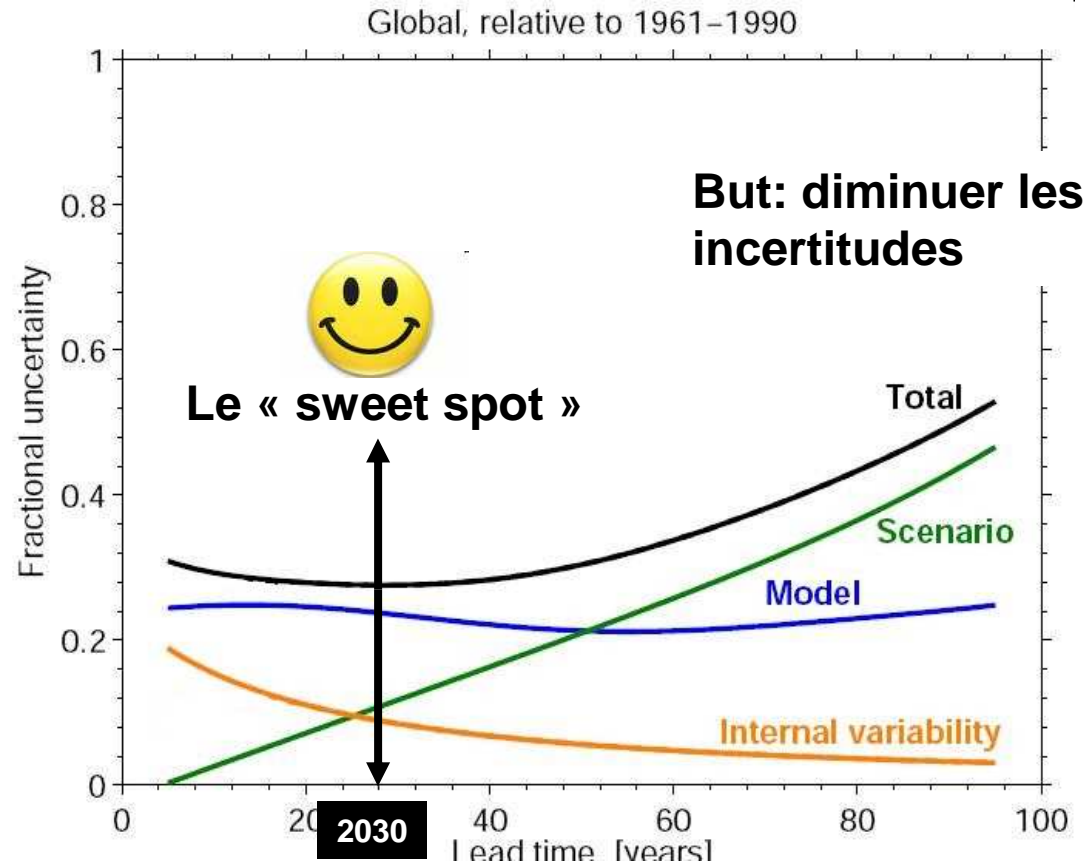
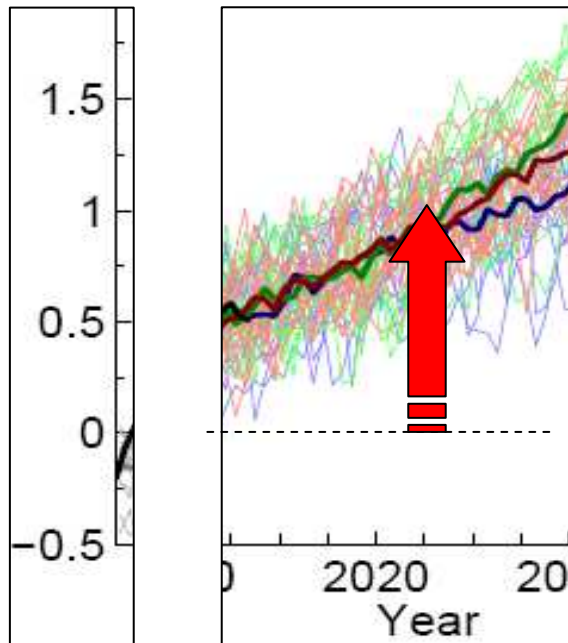


Crédit: Hawkins and Sutton (BAMS, 2009)

$$I = I_{\text{green}} + I_{\text{orange}} + I_{\text{blue}}$$

Incertitude fractionnelle : le sweet spot

Méthode: incertitude fractionnelle = rapport entre l'incertitude liée à un forçage et la réponse totale

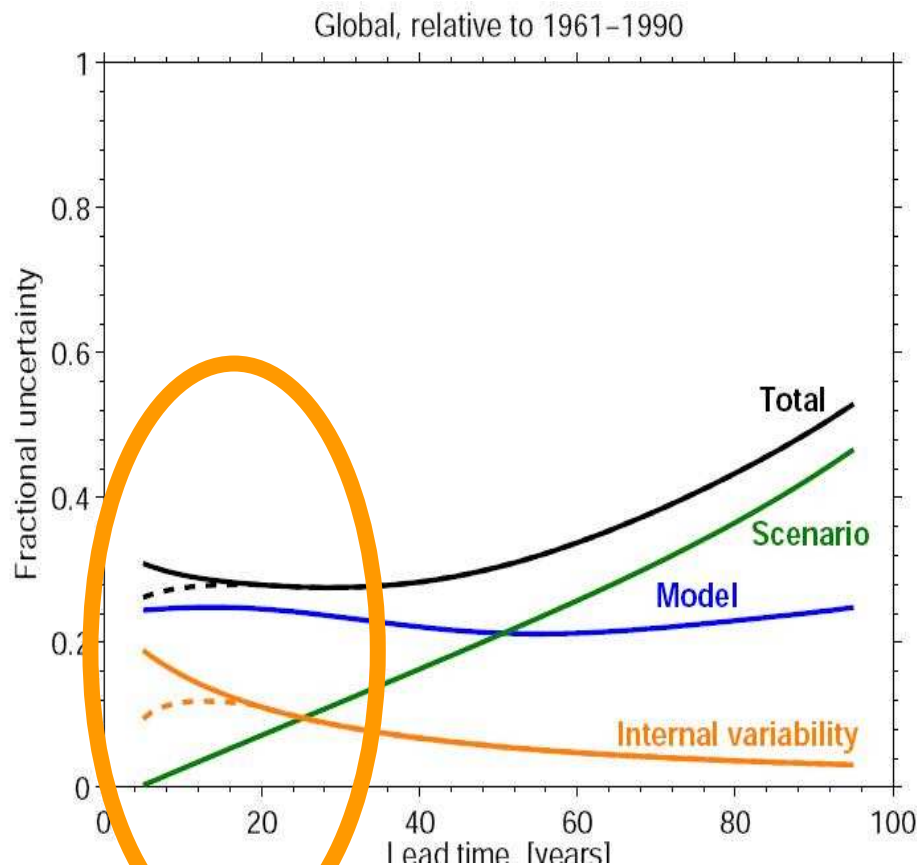


D'après Hawkins and Sutton (BAMS, 2009)

$$I = I + I + I$$

Colloque: Le changement climatique « proche »

Amélioration de la prévision décennale (1)



D'après Hawkins and Sutton (BAMS, 2009)

1. L'incertitude sur la prévision décennale peut être réduite en intégrant (« assimilant ») l'état océanique basse-fréquence observé (ou estimé au mieux à partir des jeux d'observations) dans les conditions initiales des prévisions

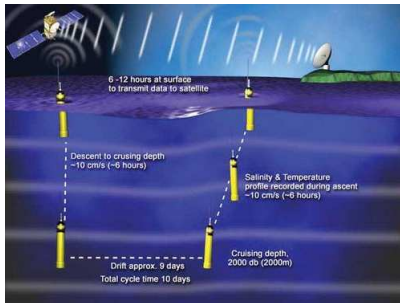
2. Les phases des oscillations décennales océaniques n'étaient pas prises en compte dans les simulations GIEC AR4 (2007) :

3. Elles le seront pour le GIEC AR5 (2012) dans des ensembles de simulation dédiées aux climats des 30 prochaines années, ainsi que dans le projet Européen COMBINE qui débute (kickoff 1^{er} Mai) !

Amélioration de la prévision décennale (2)

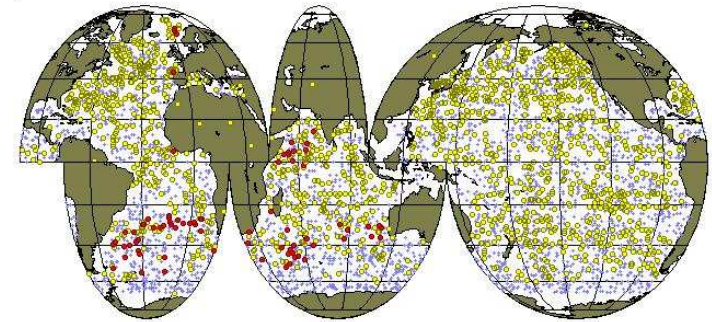
Un nouvel **axe de recherche** rendu possible, entre autre, par des:

- Progrès récents dans les techniques d'observations



Graphic courtesy of National Oceanographic Centre Southampton
<http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/HYDRO/argo/index.php>

Sondes ARGO:
Structure 3D de
l'océan (depuis 2000)



● UK floats ● All floats ● Proposed full array

- Progrès envisagés dans les techniques d'observations

Programmes satellitaires
AQUARIUS (NASA) et SMOS
(ESA) pour la mesure de la
salinité et humidité du sol

- Progrès récents dans les techniques d'assimilation des observations dans les modeles.

Colloque: Le changement climatique « proche »



Que peut-on dire aujourd'hui ? (1)

Nous pourrions en dire beaucoup plus dans 2 ou 3 ans quand les simulations du GIEC AR5 (2012) et de COMBINE (EU-FP7) seront terminées et analysées

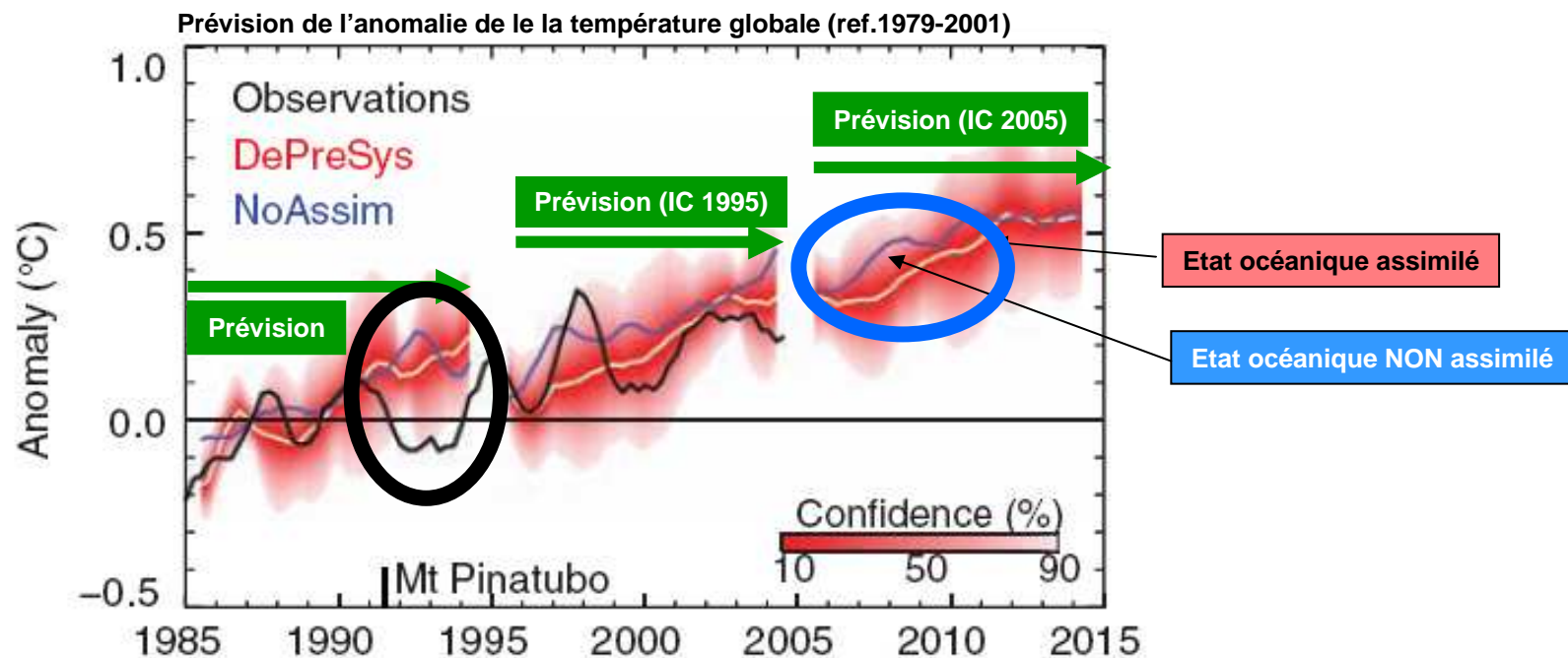
2 études préliminaires fraîchement publiées et prometteuses:

- Smith DM, Cusack S., AW Colman, CK Folland, GR Harris and JM Murphy (2007): Improved Surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science*.
- Keenlyside NS, M. Latif, J. Jungclaus, L. Kornblueh and E. Roenecker (2009): Advancing Decadal-scale Climate Prediction in the North Atlantic. *Nature*

Premiers exercices de prévision décennale (1)

Smith DM, et al. *Science*. (2007)

Méthode = Assimilation des observations atmosphériques et océaniques, extraction de l'anomalie 3-dimensionnelle océanique et ajout de cette anomalie à l'état moyen du modèle pour obtenir les conditions initiales



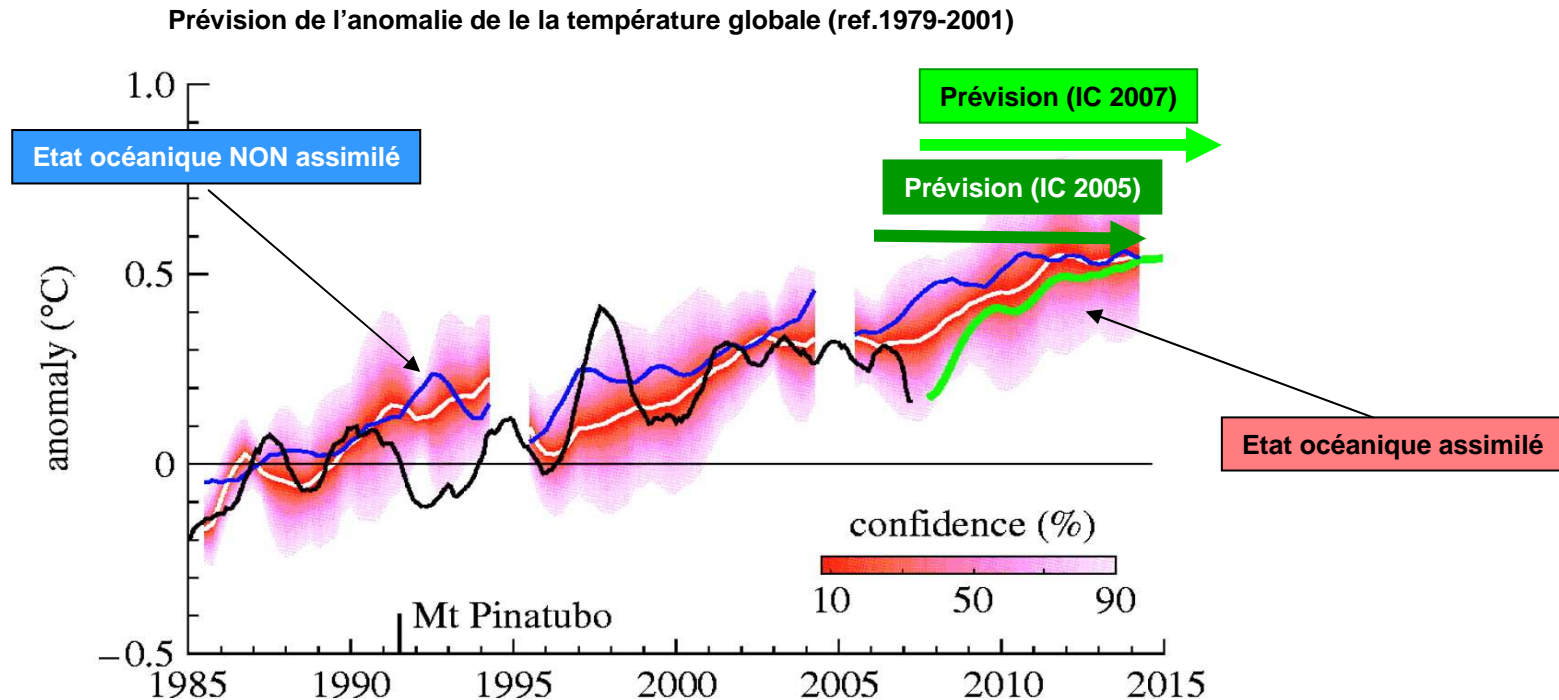
1. Impact des éruptions volcaniques (non prévisibles par nature)

2. Réchauffement moins prononcé pour la prochaine décennie lorsque l'état océanique observé (phases de la PDO et AMO/THC) est pris en compte dans les prévisions.

Colloque: Le changement climatique « proche »

Premiers exercices de prévision décennale (2)

Haines et al. (*Philosophical transactions of the royal society*), 2009.
= mise a jour de Smith et al (2007)

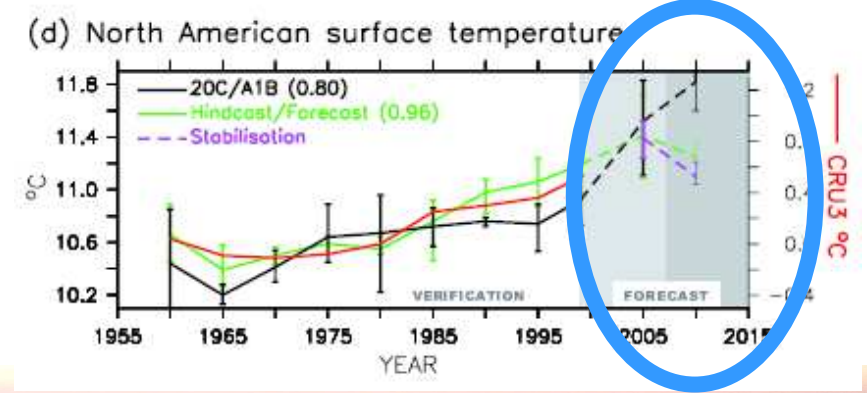
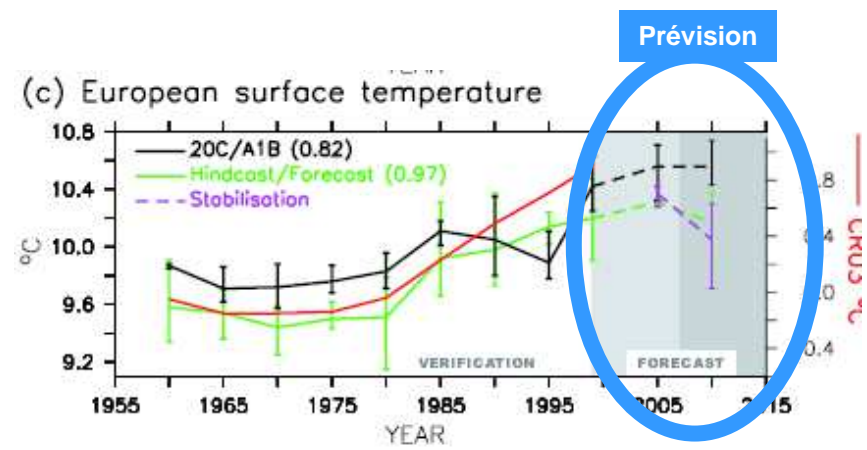
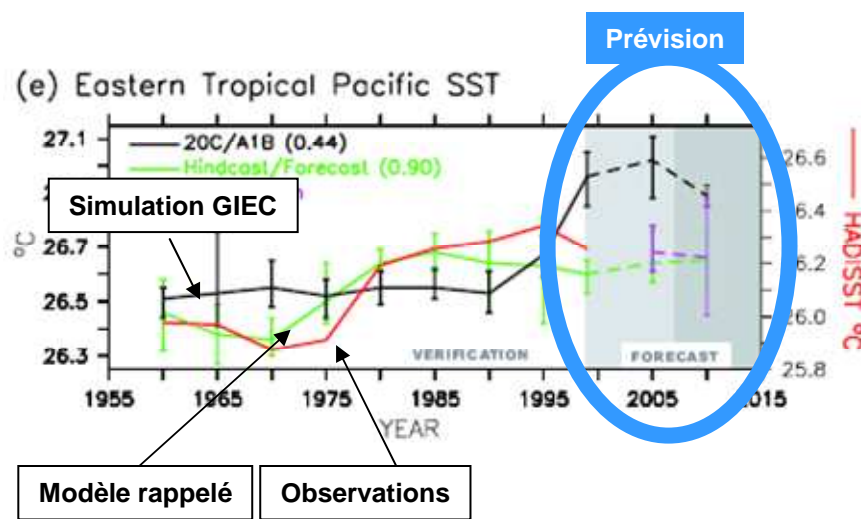


3. Confirmation par les nouvelles prévisions commencées en Septembre 2007 (au lieu de 2005) que la phase froide décennale de la PDO (tropique froid) agit à l'encontre du forçage anthropique et freine temporairement le réchauffement dû à l'augmentation des gaz a effet de serre

Premiers exercices de prévision décennale (3)

Keenlyside NS, et al . *Nature* (2009)

Méthode=rappel de la température de surface vers les observations, subsurface s'ajustant à la contrainte de surface



Refroidissement se superposant à la tendance au réchauffement due à l'augmentation des gaz à effet de serre: une « pause » naturelle (diminution de la circulation thermohaline, phase de la PDO etc.)



Que peut-on dire aujourd'hui ? (2)

Nous pourrions dire beaucoup plus dans 2 ou 3 ans quand les simulations du GIEC AR5 (2012) et de COMBINE (EU-FP7) seront terminées et analysées

2 études préliminaires fraîchement publiées et prometteuses:

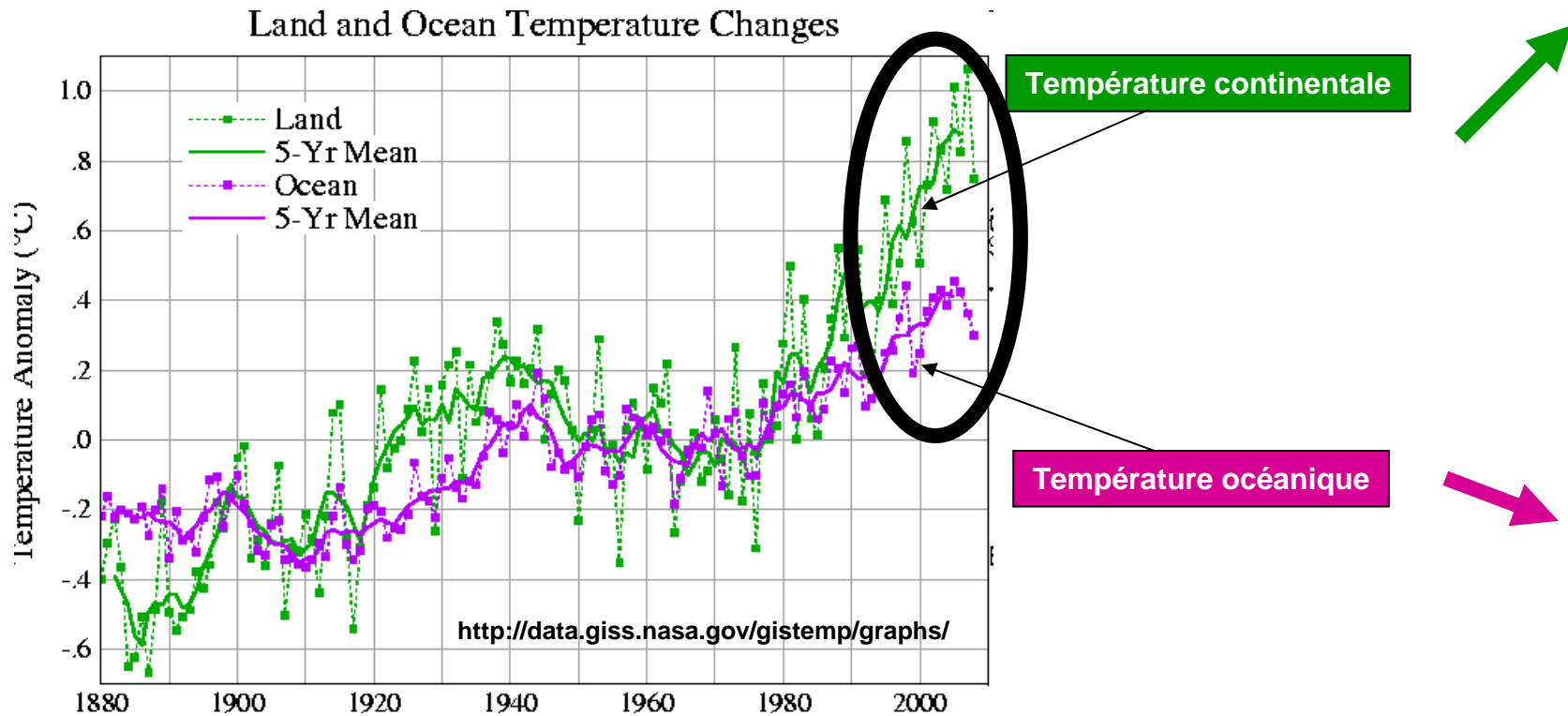
- Smith DM, Cusack S., AW Colman, CK Folland, GR Harris and JM Murphy (2007): Improved Surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. *Science*.
- Keenlyside NS, M. Latif, J. Jungclaus, L. Kornblueh and E. Roenecker (2009): Advancing Decadal-scale Climate Prediction in the North Atlantic. *Nature*

Un **consensus** semble se dégager sur le fait que la tendance au réchauffement due à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre est **ralentie** sur la prochaine décennie par l'action des fluctuations décennales **naturelles** du système climatique pilotées par l'**océan**.



Colloque: Le changement climatique « proche »

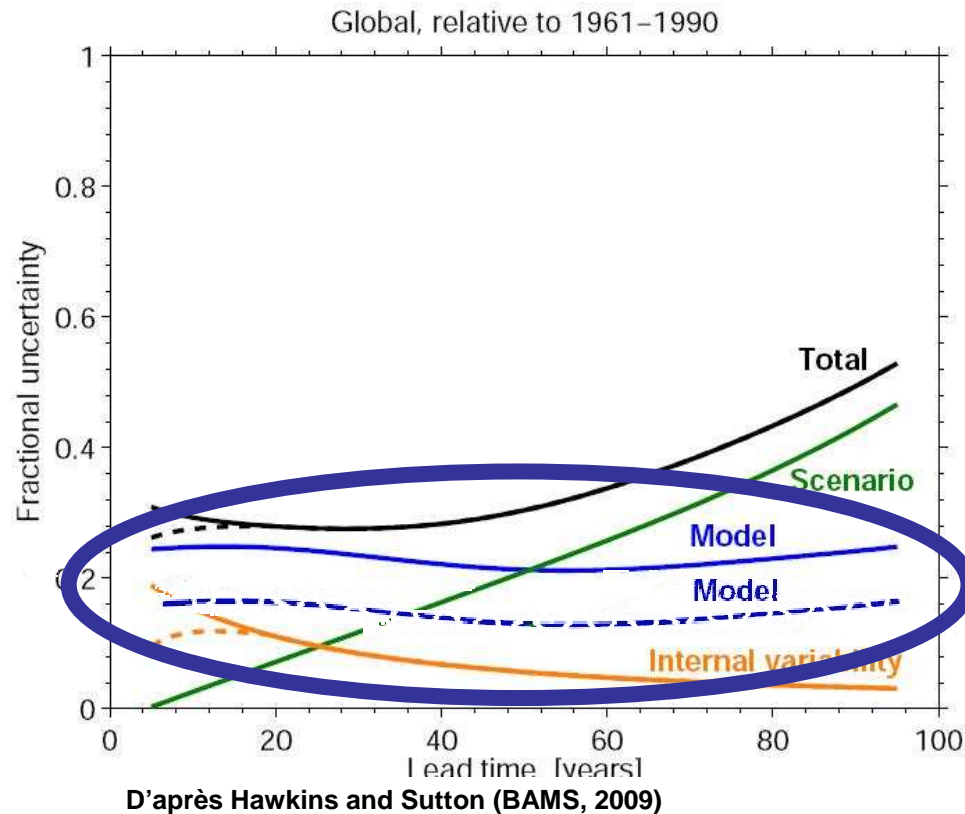
Les récentes observations



La différence de comportement entre l'océan et les surfaces continentales s'explique par la réponse rapide et directe des sols aux forçages radiatifs par les gaz à effet de serre et la réponse lente de l'océan se combinant à des fluctuations décennales qui lui sont propres.

Colloque: Le changement climatique « proche »

Amélioration de la prévision décennale (3)



L'incertitude sur la prévision décennale peut être réduite en améliorant les modèles (travail de recherche sur l'interface air-mer, la minimisation des dérives des modèles couplés etc.)

Un travail amont... un travail dans l'ombre **INDISPENSABLE**



Conclusions (1)

1. La prévision climatique des 5-30 prochaines années est **envisageable car il existe diverses **sources de prévisibilité** à échelle décennale:**

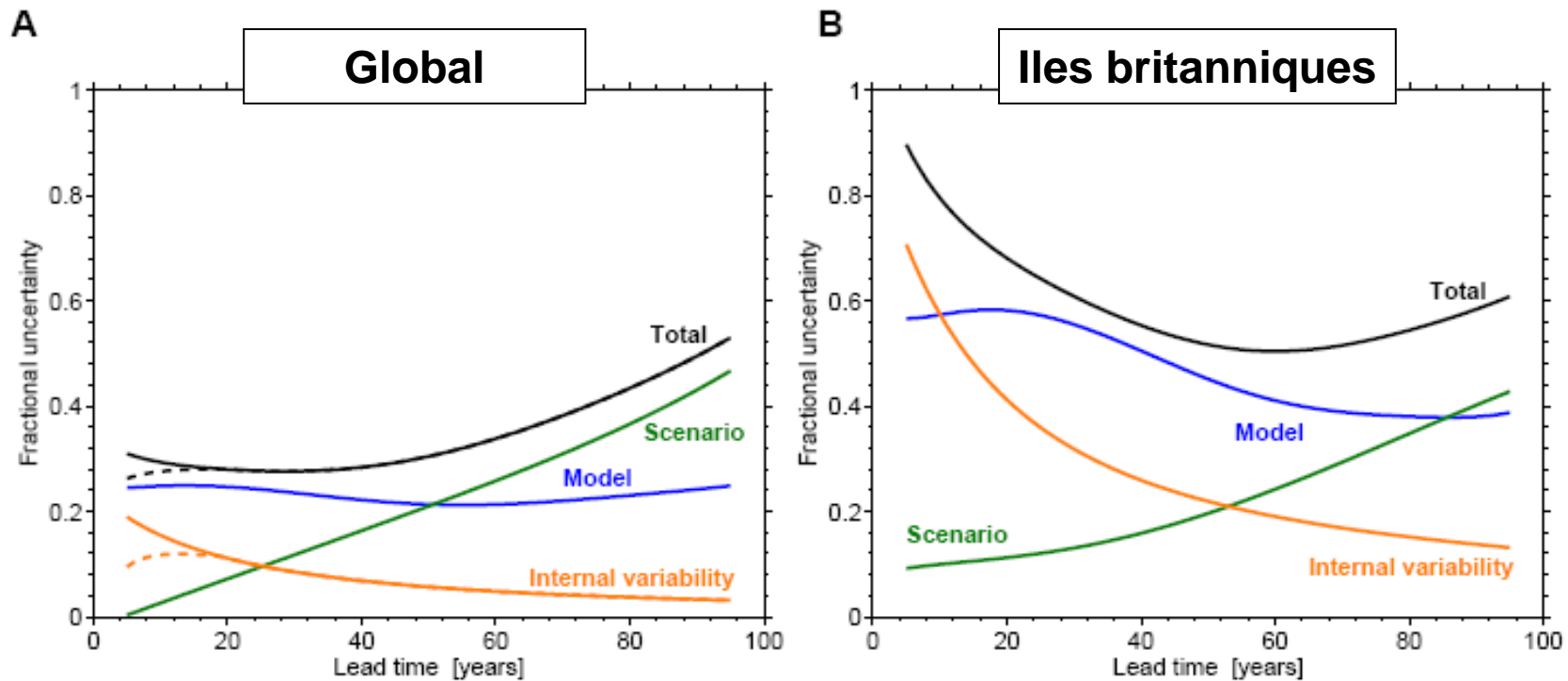
1. Réponse à l'augmentation des gaz à effet de serre présente et future **(+1°C)**
2. Réponse au forçage externe naturel (solaire) ($\sim 0.12^\circ\text{C}$)
3. Influence des fluctuations naturelles intrinsèques au système climatique
(rôle majeur de l'océan –mémoire du système climatique, et du couplage océan-atmosphère.

2. La prévision décennale est un « **sweet spot » en termes d'incertitude**

- a. Le type de scénario d'émission des gaz à effet de serre est peu important
- b. A l'échelle globale, une grande part des incertitudes vient de la représentation de variabilité naturelle dont les signatures climatiques sont de l'ordre de grandeur de la réponse du système à l'augmentation des gaz à effet de serre.
- c. A l'échelle globale, la plus grande part des incertitudes viennent des modèles.
- d. A l'échelle locale, le ratio modèle/variabilité naturelle dans l'incertitude totale change selon les régions

Conclusions (2)

d. A l'échelle locale, le ratio modèle/variabilité naturelle dans l'incertitude totale change selon les régions



Crédit: Hawkins and Sutton (BAMS, 2009)

e. Les incertitudes fractionnelles dépendent du paramètre climatique considéré (e.g. différence entre température et précipitation)

Conclusions (3)

3. La prévision décennale est **prometteuse** et perfectible

a. Prise en compte des conditions océaniques observées comme conditions initiales des prévisions: correct phasage des grandes oscillations décennales naturelles et forte diminution des incertitudes associées

=> Mise en place pour l'AR5 GIEC-2012 (ce n'était pas le cas pour l'AR4 GIEC 2007) et le projet Européen COMBINE (FP7).

b. Amélioration des modèles (e.g. physique du couplage océan-atmosphère. etc.)

Pour cela, nous avons **besoin, en simultané:**

a. d'un système d'observation océanique 3-dimensionnel global et pérenne

b. d'une recherche poussée sur les meilleures techniques d'assimilation des observations dans les modèles couplés.

c. d'une recherche poussée pour mieux représenter les mécanismes physiques dans les modèles (travail ingrat et peu reconnu mais essentiel)

d. d'une coordination intégrée et d'un dialogue fort entre les communautés (observations, modèles etc.)

e. de moyens de calculs puissants et adaptés (CPU et stockage) pour une estimation correcte de la variabilité interne du système climatique (nécessité de produire de grands ensembles de simulations)

Conclusions (4)



4. Il est nécessaire de construire un pont entre le monde de la « recherche climatique » (un pré-requis) et le monde opérationnel

=> **dialogue fort, coordonné et intégré**, entre climatologues et utilisateurs et décideurs (exemple dans d'autres pays avec l'émergence de « centre climatiques » ?):

- * USA: création probable du NCS (National Climate Service) [en plus du NWS]
- * Allemagne: création du CSC en 2009 (Climate Service Center, www.clisap.de)
- * UK: rôle du UKCIP (www.ukcip.ork.uk)
- * Italie : Euromediterranean Center for Climate Change (www.cmcc.it)

5. Des exercices **préliminaires** de prévision décennale suggèrent

1. que sur la prochaine décennie, le réchauffement global induit par l'augmentation des gaz à effet de serre est **freiné** par la phase négative de la PDO et par une diminution probable de la circulation thermohaline associée à une phase positive de l'AMO déclinante.

2. que localement, les fluctuations naturelles sur la ou les deux prochaines décennies peuvent dominer en moyenne l'influence directe de gaz à effet de serre,

non remise en cause dans toutes les études.



Colloque: Le changement climatique « proche »