

# Températures maximales en Méditerranée durant l'été

*Le concept de « time of emergence »: quand et comment  
le signal du réchauffement climatique dépassera  
définitivement la variabilité naturelle du climat*

A. Ullmann, P. Roucou

Biogésociences UMR6282 CNRS, Centre de Recherche de Climatologie, U Bourgogne



# La Méditerranée dans le contexte du changement climatique global

## RCCI « Regional Climate Change Index »:

. Index comparatif qui synthétise la réponse au changement climatique en terme de  $T^\circ$  et  $P^\circ$ ;

. Etabli ici à partir de 20 modèles globaux (programme CMIP3) et pour 3 scénarios.

➤ Fortes réponses régionales au changement climatique;

➤ Projections: réchauffement significatif en Méditerranée entre  $+1.4^\circ\text{C}$  et  $+5.8^\circ\text{C}$  en 2100.

**La Méditerranée est un des « Hot spot » du changement climatique**

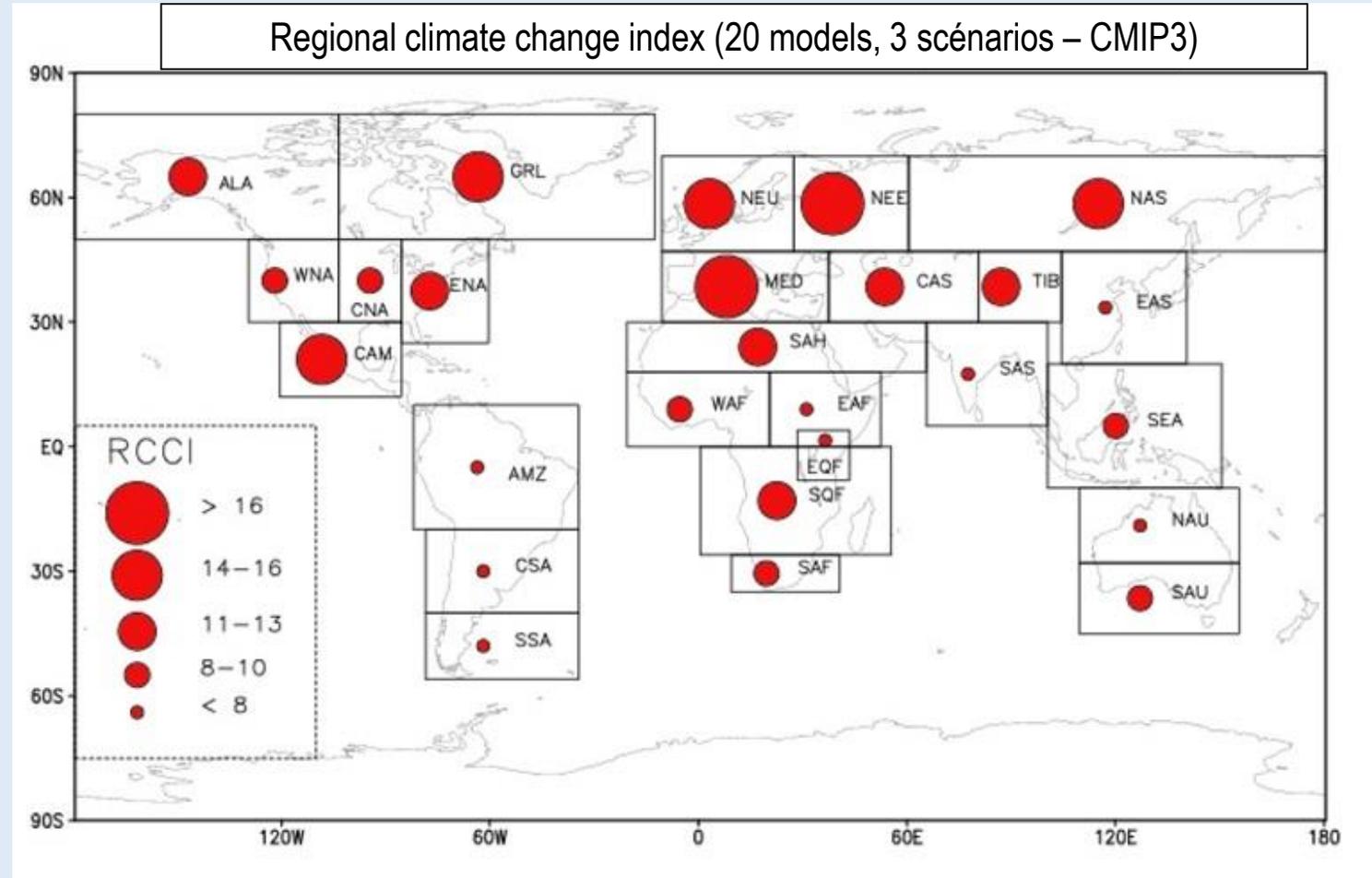


Figure 1: Regional climate change index. Giorgi (2006)

# Méditerranée: Hot spot + forts impacts et enjeux

## 3 questions cruciales par rapport au réchauffement: *Où ? Quand ? Comment ?*

Trois questions fondamentales que se posent les climatologues mais singulièrement les géographes climatologues au travers de la dimension spatio-temporelle du changement climatique.

- **Où en Méditerranée ?**

- . Données spatialisées (réseaux de mesures, réanalyses, modèles numériques,...) permettent aujourd'hui de répondre à la question du où (en terme de variations spatiales);

- . **Zone de transition abrupte entre le climat tropical et celui des moyennes latitudes + géographie complexe** = variabilité climatique intra-bassin composite et complexe;

- . **La question du où se pose surtout en terme de qui va subir le réchauffement = question du degré d'exposition et de la vulnérabilité**



Figure 2: géographie du bassin méditerranéen

## • Quand en Méditerranée ?

Quand le signal du réchauffement climatique dépassera t'il définitivement la variabilité naturelle du climat ?

= « Time of emergence » = moment du changement définitif d'état moyen = moment du CC au sens strict du terme

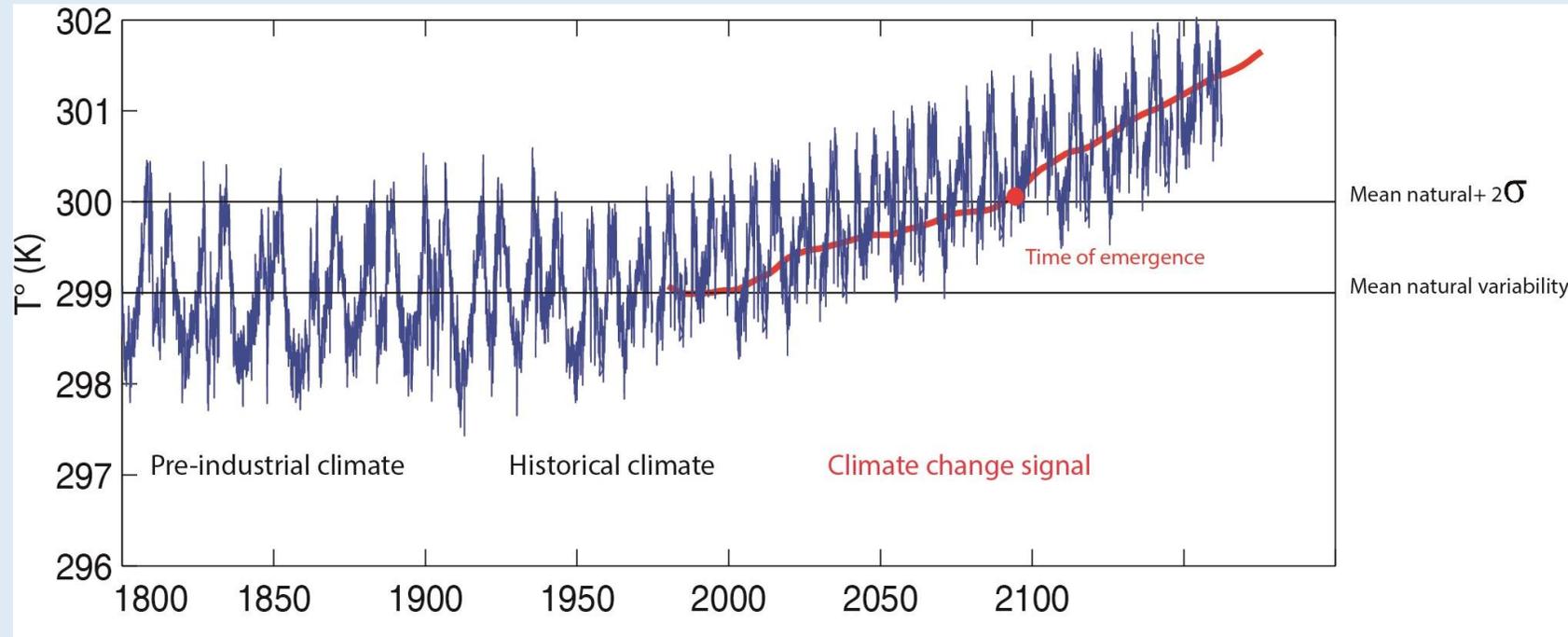


Figure 3: représentation schématique du TOE

Période pré-industrielle (< 1900) : variabilité naturelle du climat

Période historique (1900-2006) : variabilité naturelle + signal observé du réchauffement climatique

Projection climatique (2006-2100) : variabilité naturelle + signal projeté du changement climatique

Le « Time Of Emergence » = moment à partir duquel le signal du changement climatique sortira définitivement de la gamme des variations naturelles du climat (+ attribution)

- Comment en Méditerranée ?

. Réchauffement de toute la distribution des températures ? A quelle vitesse ?

. Réchauffement des températures les plus hautes uniquement ? les plus basses uniquement ?

. « *Extrémisation* » du climat ? augmentation de la dispersion: les hautes températures se réchauffent plus (moins) vite que les basses températures ?

**Importance en terme d'impacts**

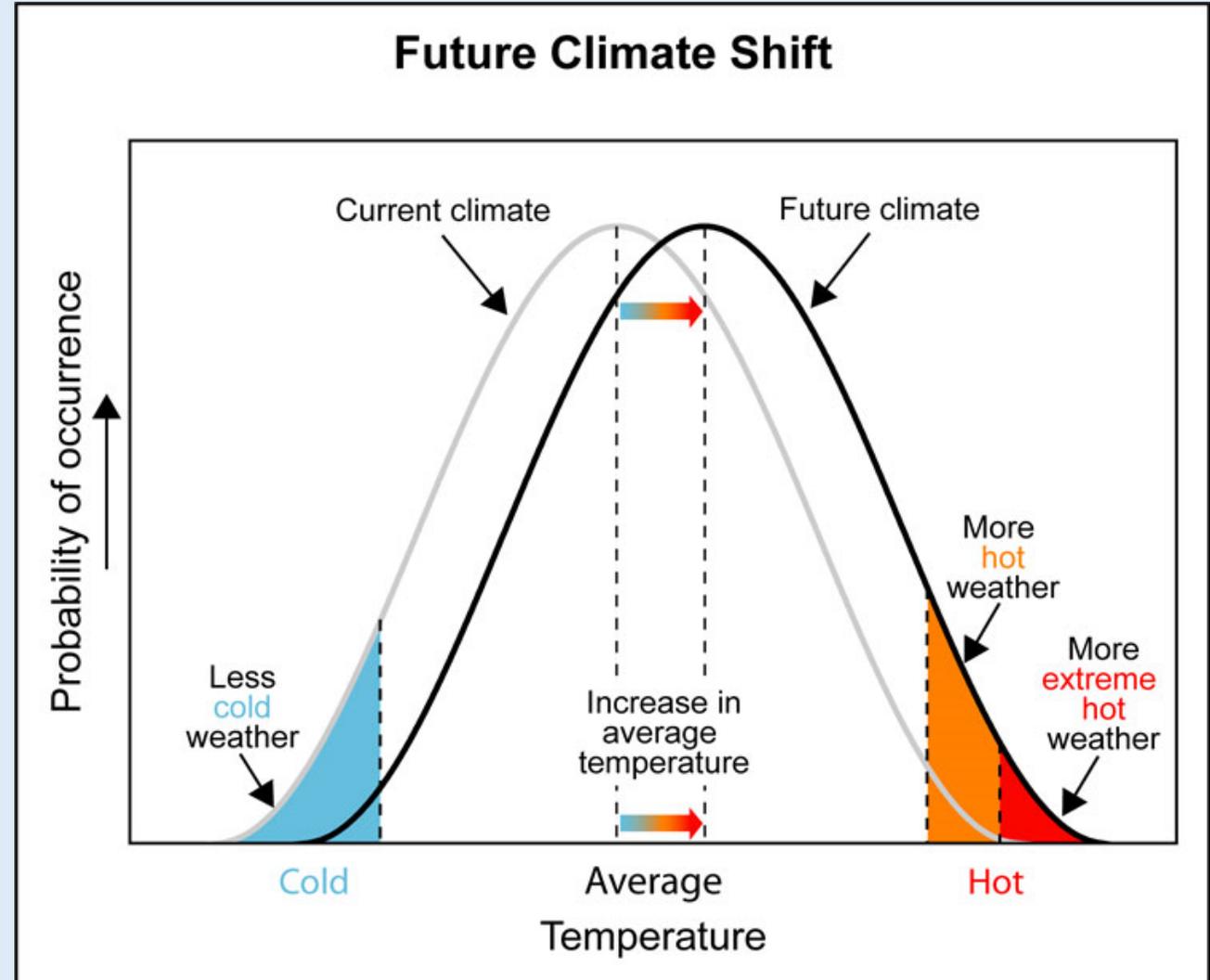


Figure 4: climate change shift (IPCC, 2007)

# 1. Données et méthodes

- Tmax jour Era-interim 1979-2014 (1.5°): *pseudo-observation*
- Tmax jour simulées 1979-2100: 10 modèles CMIP5 (1.5°):
  - Runs « pre-industrial control » ([GES] fixe < année 1900)
  - Runs « historique » 1979-2005 ([GES] observé 1950-2005)
  - Runs RCP4.5 et 8.5: 2006-2100 (+4,5 et +8,5 w/m2 d'ici 2100)
- Période Avril-Septembre

Organisms	Models
Bejin Normal University (BNU),	BNU-ESM
Australian Bureau of Meteorology	ACCESS-G
Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)	CNRM-CM5
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	CSIRO-Mk3.6.0
Institute for Numerical Mathematics (INM), Russian Academy of Sciences	INM-CM4
Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	IPSL-CM5-MR
Max Planck Institute (MPI) for Meteorology, Germany	MPI-ESM-LR
Meteorological Research Institute (MRI), Japan	MRI-CGCM3
NOAA	GFDL-CM3
<u>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology</u>	MIROC-ESM

Tableau 1: les 10 modèles du programme CMIP5

- **Variabilité naturelle du système climatique:** Tmax moyenne « pré-industrial » +  $2\sigma$
- **Signal du réchauffement:** Tmax mensuelle moyenne 2006-2100 filtrées par filtre butterworth passe-bas (filtrage du bruit et de la vari naturelle)
- **Time of Emergence :** moment où signal définitivement > variabilité naturelle
- **« One model one vote »:** un modèle par institution, même paramétrisation (r1i1p1), réponse en moyenne multi-modèle

- **Résultats présentés ici que pour les projections RCP8.5** (+8.5 w/m2 d'ici à 2100)
- Projection « pessimiste » mais que les émissions globales de CO2 semblent suivre depuis 2000

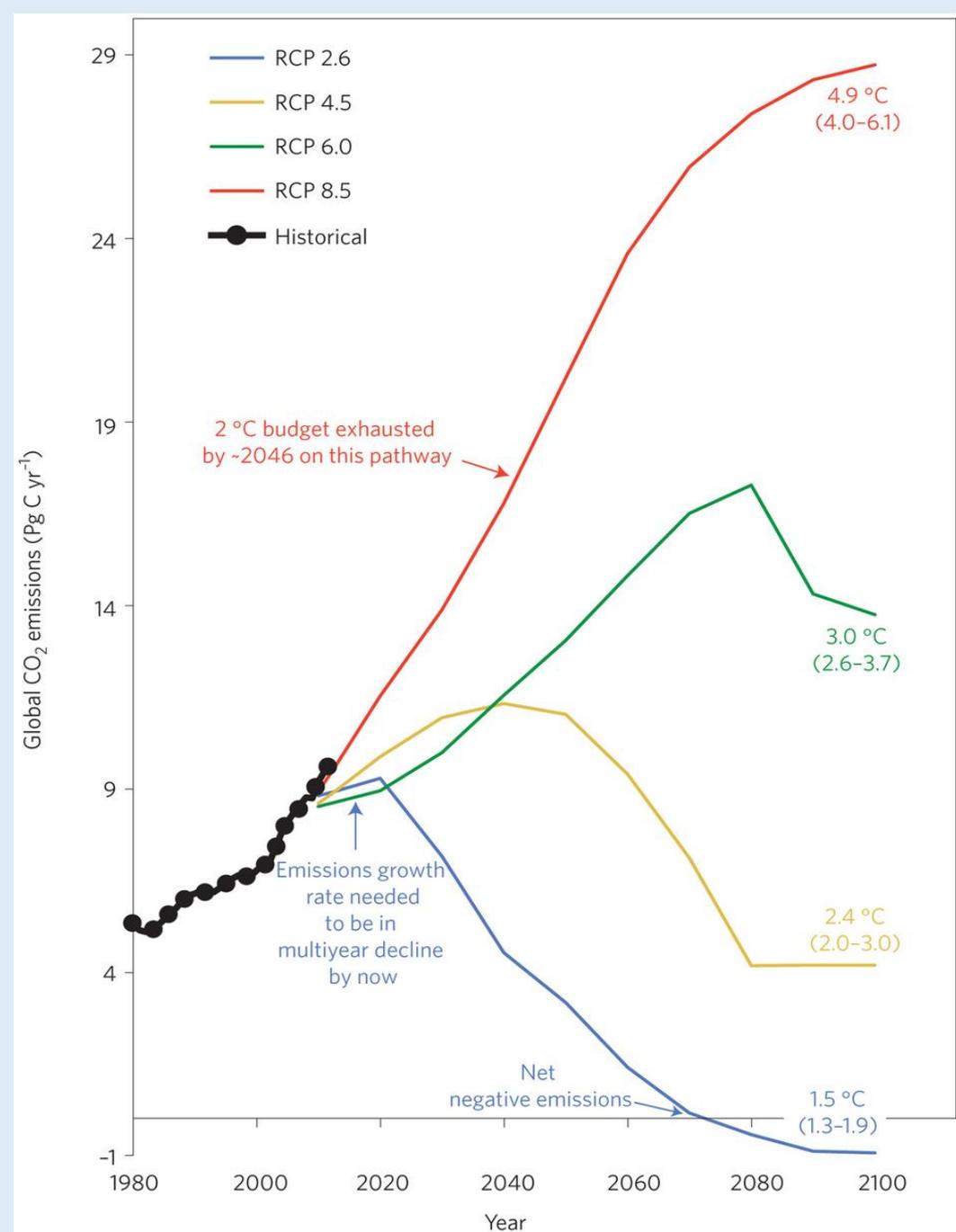


Figure 5: tendance observée et projeté des émission globale de CO2. Sanford *et al.*, 2014.

## 2. Résultats

### 2.1. Validation

#### Diagramme de Taylor: Tmax mensuelles moyennes 1979-2006

Représentation synthétique des scores statistiques de chaque modèle en terme d'écart-type, de corrélation et de RMSE

- . Corrélations spatiales ERA-interim Vs modèles > 0.9;
- . Faibles biais en terme d'erreurs quadratiques moyennes et de déviation standard.

De mon point de vue: on cherche à simuler le système climatique, « objet » presque aussi complexe que le cerveau humain...résultats certes perfectibles mais satisfaisants à ces échelles spatio-temporelles

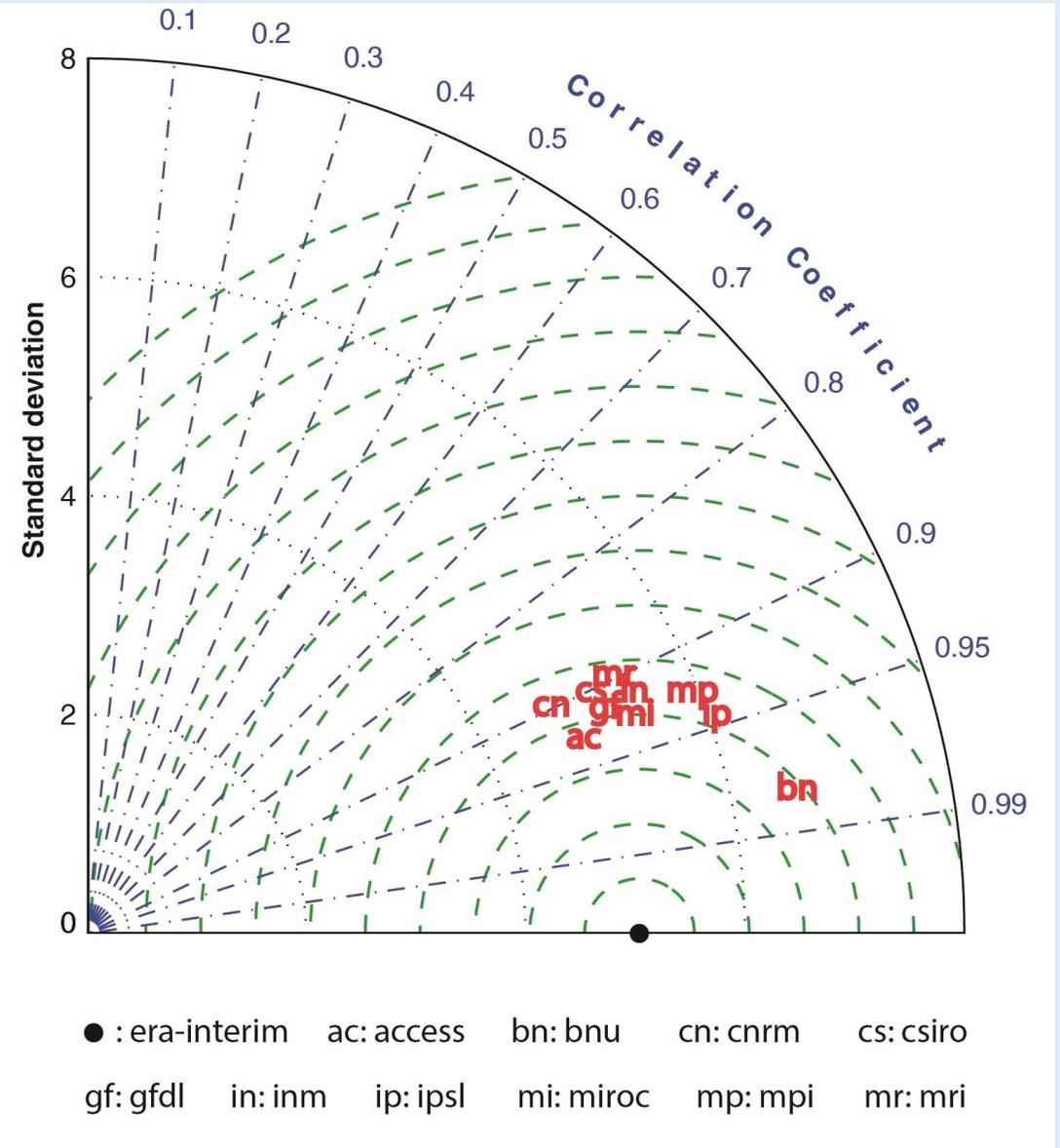


Figure 6: Diagramme de Taylor Tmax mensuelles moyennes sur la période 1979-2005 pour les 10 modèles individuels.

## 2.1. Les questions du quand et où ?

Quand et où dépassera t-on définitivement de la variabilité naturelle du climat ?

### Bassin ouest:

.Littoraux rive nord / sud: émergence ~ 2035

.Intérieure des terres: émergence plus précoce d'~ 5-10 ans pour la rive sud

### Bassin est:

.Emergence ~2015-2020

. Températures en été alimentées par l'apport d'air chaud du Sahara (Xoplali *et al.*, 2003)

. Réchauffement rapide du Sahara (Hawkins et Sutton, 2012) devrait favoriser la précocité de l'émergence des Tmax dans le bassin oriental

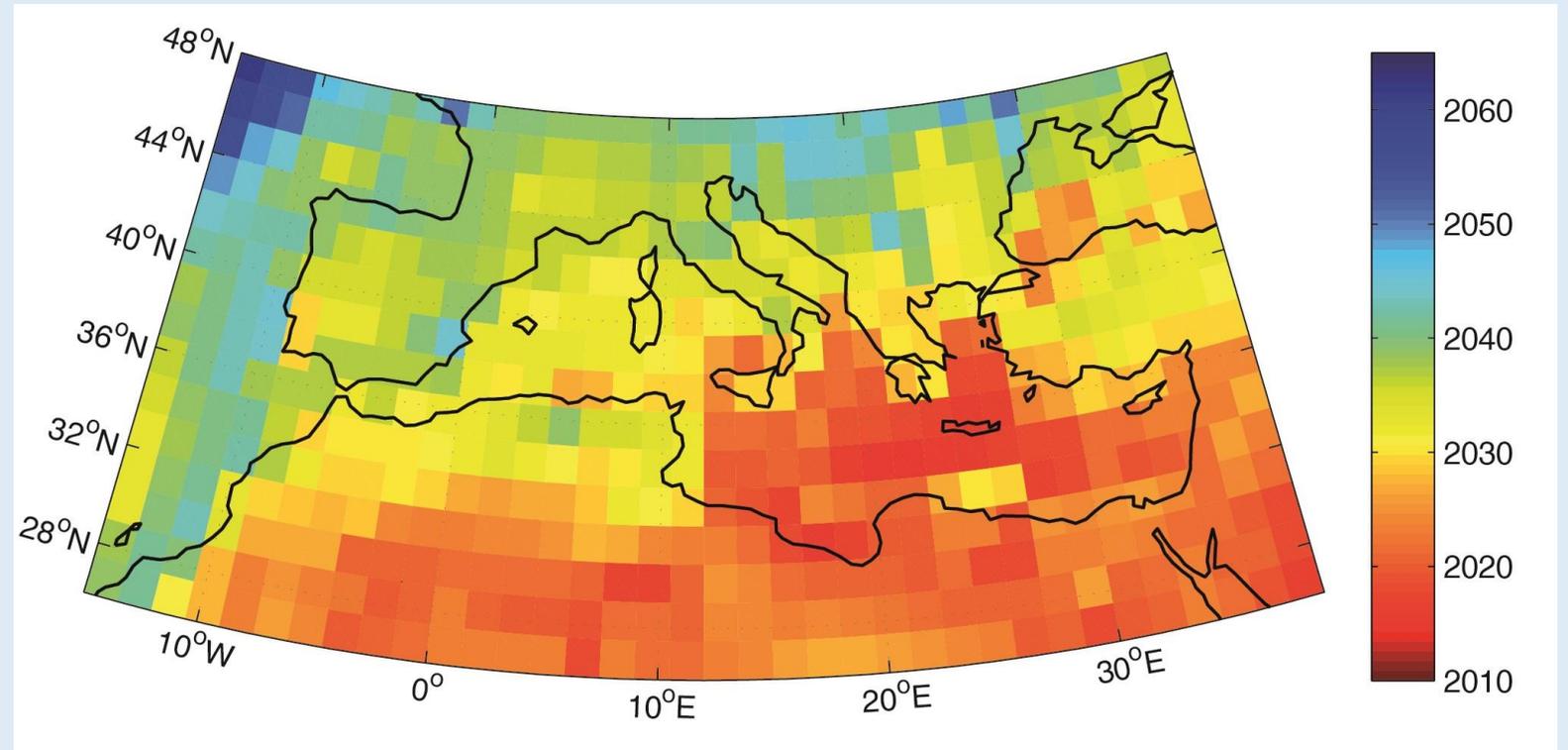
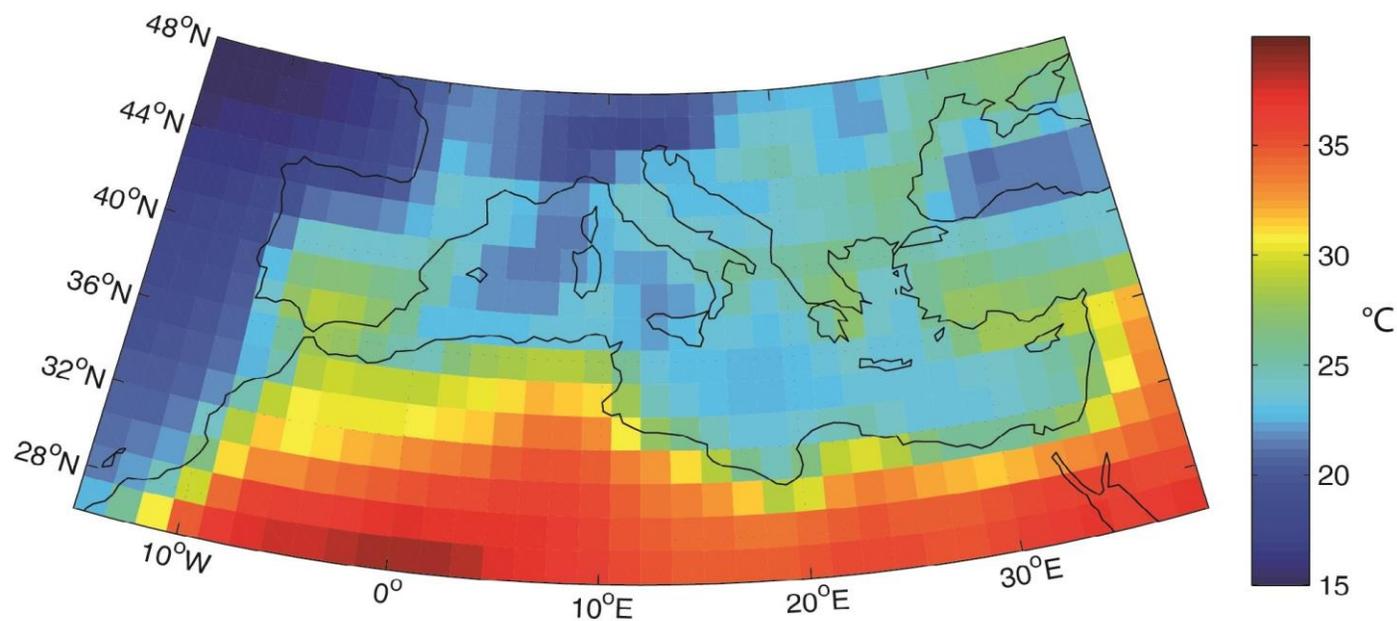


Figure 7: Time of emergence des Tmax moyenne (avril-septembre). Date = date médiane des 10 modèles. scénario RCP8.5

## Tmax moyenne de l'été « charnière » à la date de l'émergence...



### Point de grille Marseille:

. Emergence en 2036: Tmax moyenne amjjas 2036 = 23°C  
(moyenne 1979-2014 = 20°C)

### Point de grille Tunis:

. Emergence en 2027: Tmax moyenne amjjas 2027 = 28,5°C  
(moyenne 1979-2014 = 27°C)

Figure 8: Tmax moyenne été de l'année du time of emergence pour chaque point se grille. Multi-modèle. RCP8.5.

## Ecart-type Tmax moyenne été dans climat naturel...

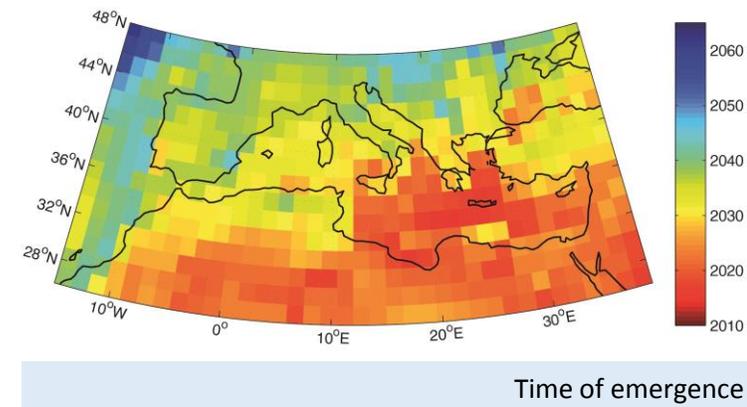
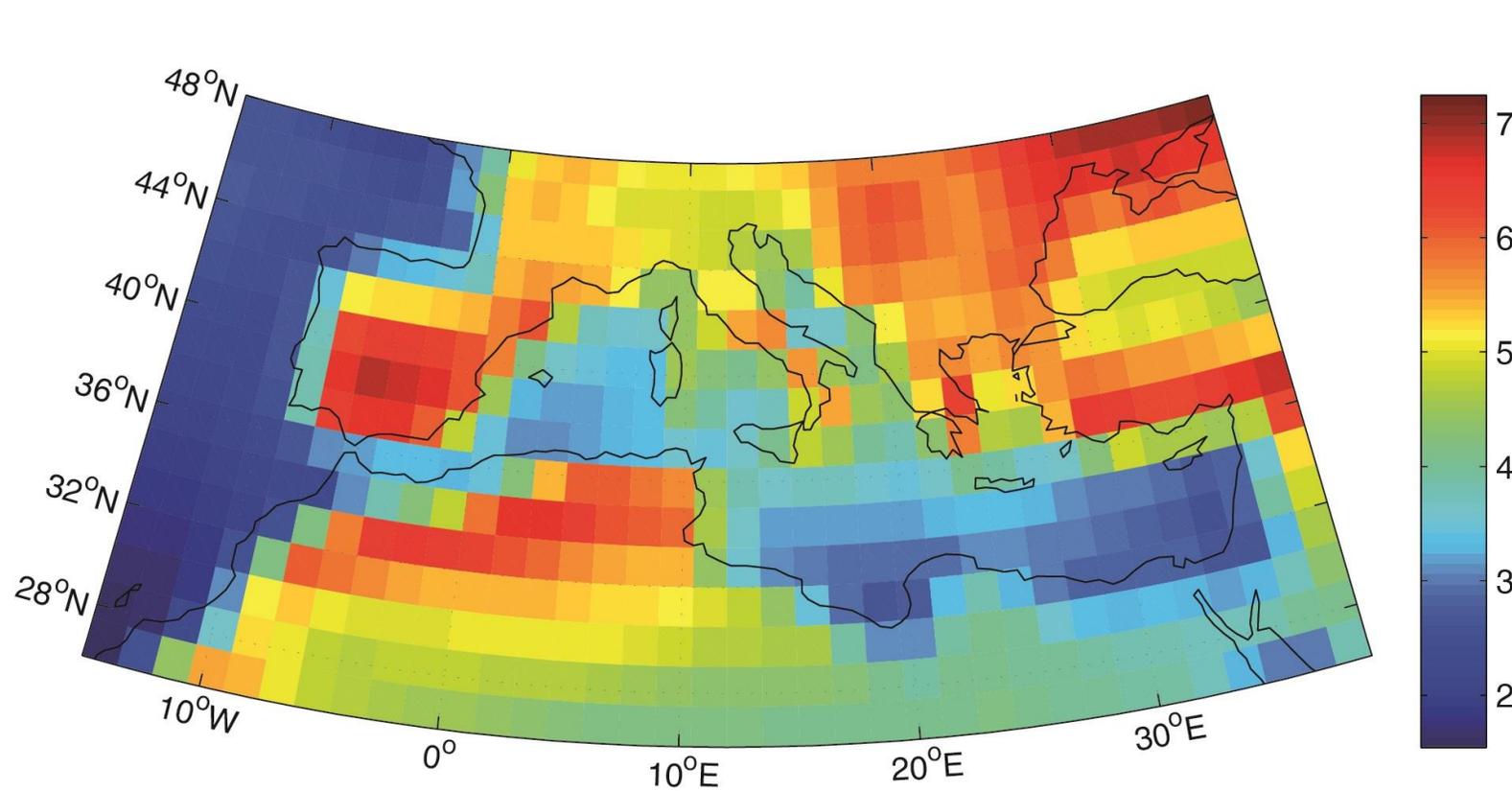


Figure 9: ecart-type des Tmax été runs préindustriels

La notion de « time of emergence » a mettre en relation avec la variabilité naturelle du climat

Logiquement, là où la variabilité naturelle du système climatique est forte (faible), le sortie définitive de l'amplitude de ces variations naturelles des sera plus tardive (précoce)

## 2.2. La question du comment ?

*Des changements à un rythme différent du réchauffement moyen...*

### Rive sud et proche orient:

. Basses et hautes Tmax augmentent à la même vitesse = glissement de toute la distribution des Tmax vers un état moyen plus chaud

### Rive nord:

. Les plus fortes Tmax se réchauffent presque 2 fois plus vite que les faibles Tmax

. Augmentation de la dispersion des Tmax en été

. C'est ça « l'extrémisation » des conditions climatiques ?

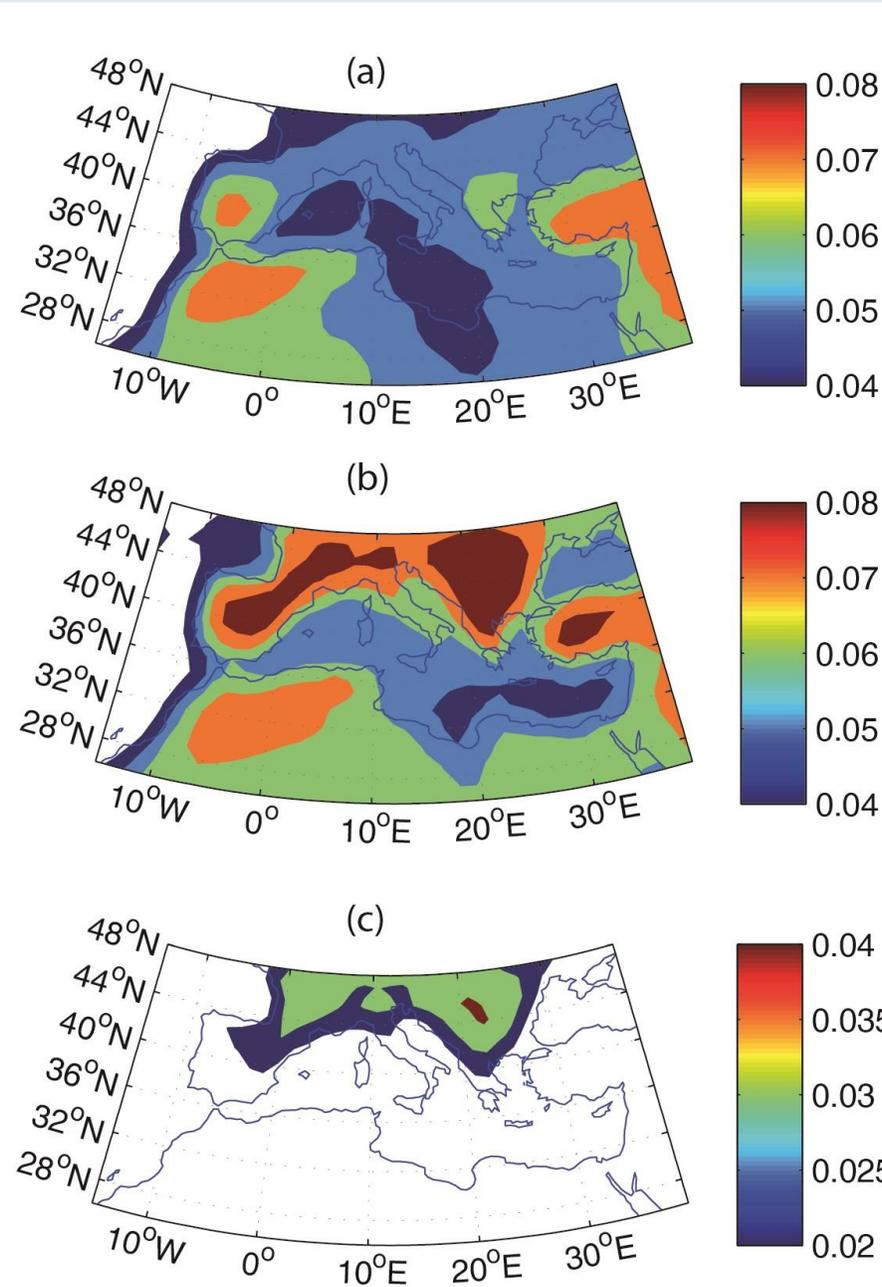


Figure 10a: régression percentile 10 Tmax jour, été 2006-2100

Figure 10b: régression percentile 90 Tmax jour, été 2006-2100

Figure 10c: régression espace interquartile 2006-2100

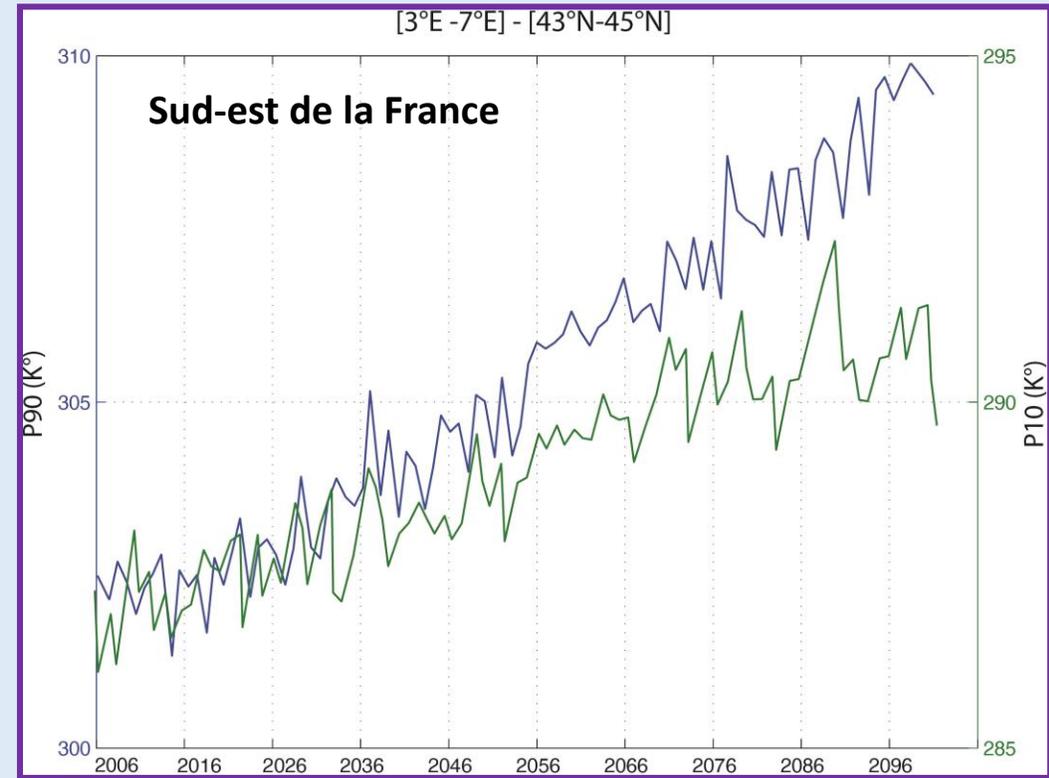
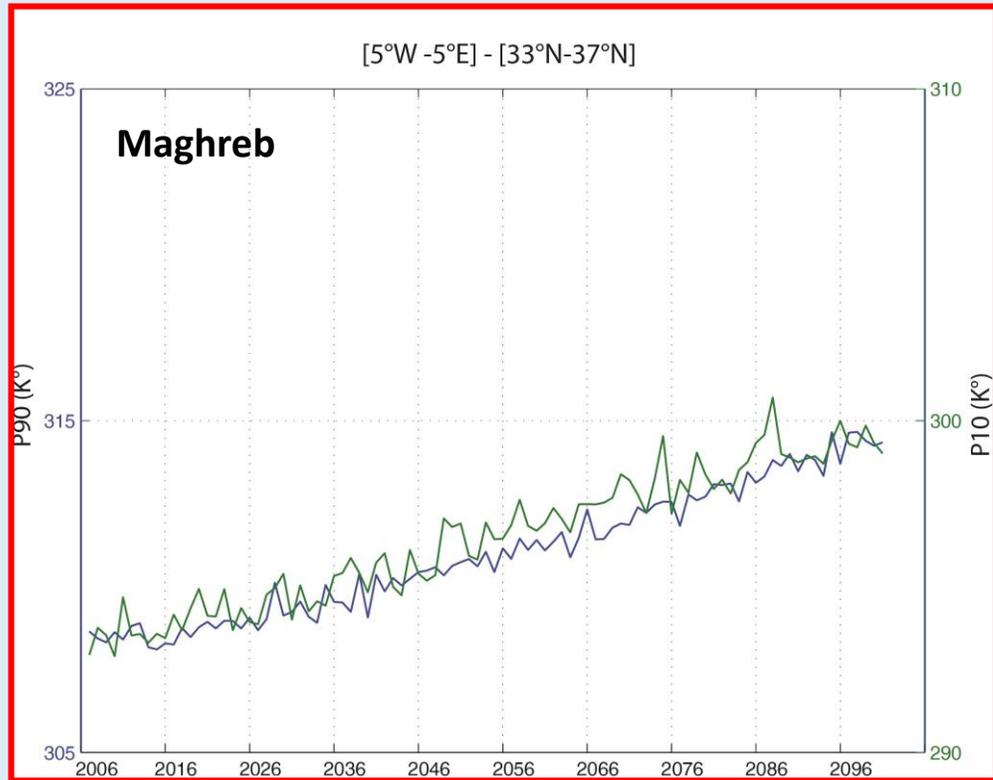
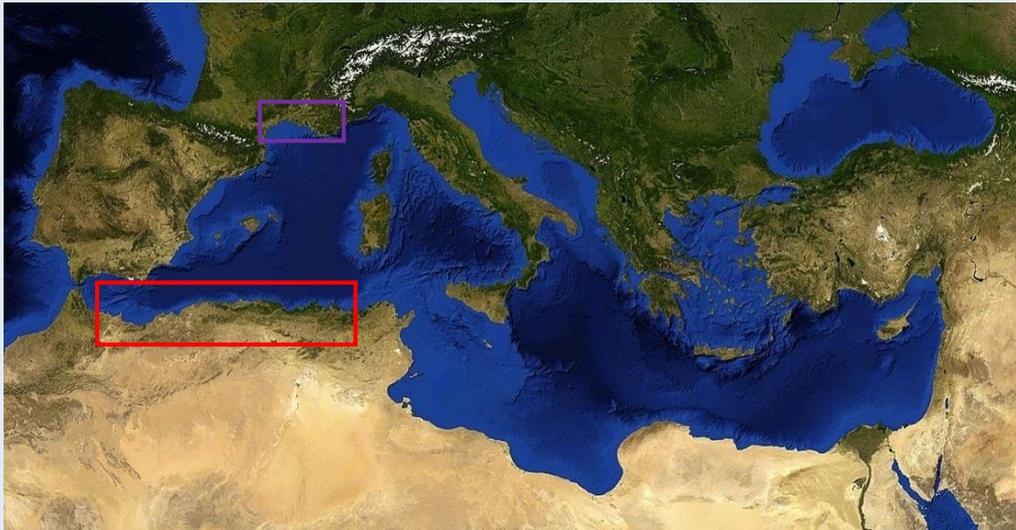


Figure 12: P10 (vert) et p90 (bleu) des Tmax jour, été de 2006 à 2100. Moyenne multi-modèle. RCP8.5.

**P90 se réchauffent 2x plus vite que P10**

**P10 et P90 se réchauffent à la même vitesse**

Figure 11: P10 (vert) et P90 (bleu) des Tmax jour, été 2006 à 2100. Moyenne multi-modèle. RCP8.5.

## Une statistique « oubliée »

### Tendance du coefficient d'asymétrie de la distribution des Tmax quotidiennes des étés 2006 - 2100

. Une déviation progressive vers la « droite » de la distribution des Tmax sur la rive nord ouest et centre Méditerranée

....vers un climat plus extrême ??

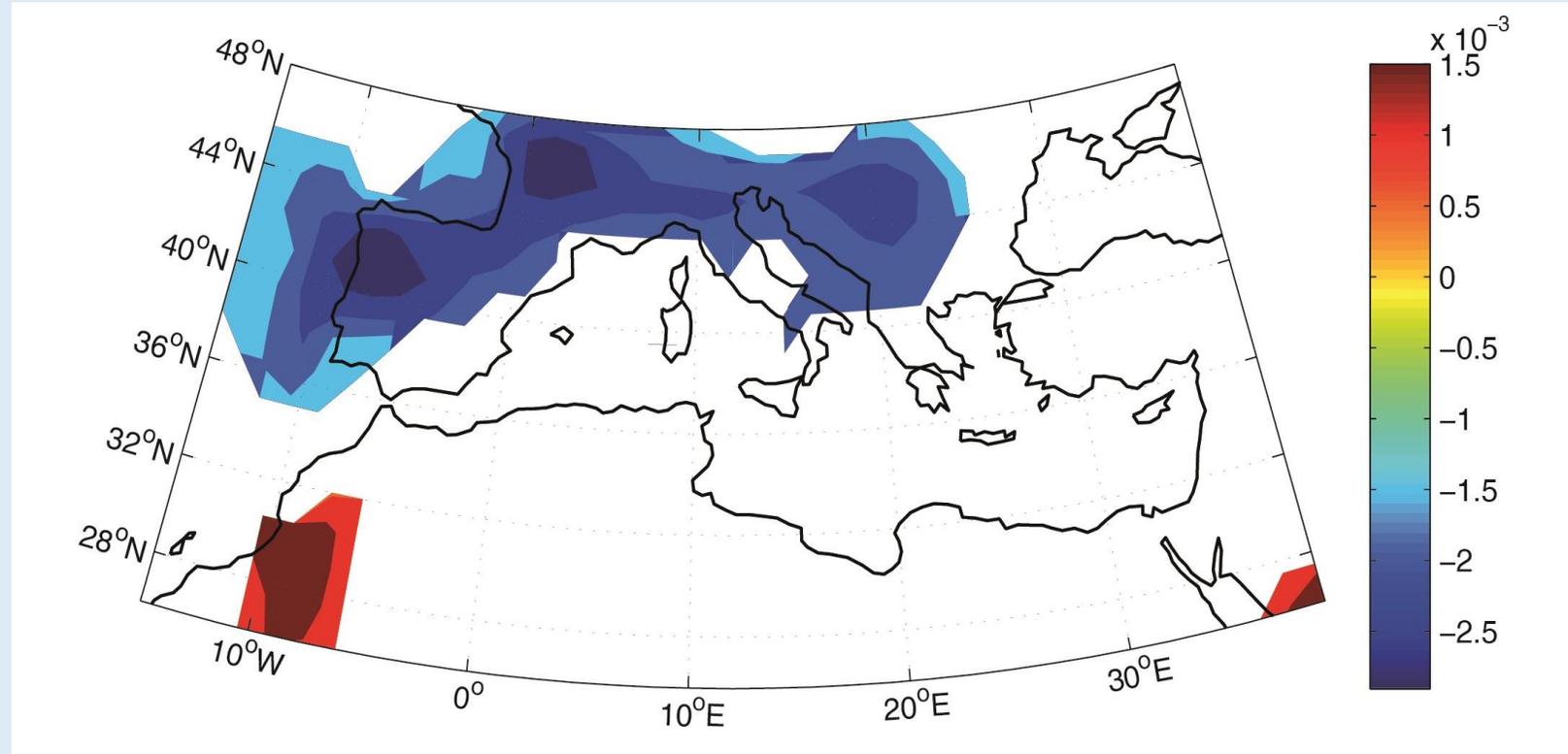


Figure 13: régression linéaire sur coefficient d'asymétrie des Tmax jour, été 2006-2100. Multi-modèle. RCP8.5.

# Synthèse

- **Les GCMs simulent de façon robuste les variations spatio-temporelles des Tmax en été sur le bassin Méditerranéen aux échelles interannuelles X mensuelles moyennes**
- **Une géographie de l'échéance du changement climatique au sens strict du terme en terme de Tmax en été:**
  - Dans le bassin oriental, sortie définitive de la variabilité naturelle du système climatique plus précoce d'en moyenne 20 ans (~2015-20) par rapport au bassin occidental (~2035)
  - Littoraux rive nord et sud du bassin occidental sortiraient définitivement de la gamme des variations naturelles du climat aux alentours de 2035
- **Des changements à des rythmes différents du réchauffement global:**
  - Réchauffement à la même vitesse de toute la distribution des Tmax dans la majeure partie du bassin méditerranéen
  - Réchauffement 2x plus rapide des fortes Tmax sur la presque totalité de la rive nord
- **Quid tu time of emergence en hiver quand la Méditerranée est moins « tropicale » ?**

## De mon point de vue....

- **Le concept de « time of emergence » permet de répondre en partie à la question de quand la sortie définitive de la variabilité naturelle du système climatique = quand le changement climatique au sens strict du terme + en partie la question de l'attribution (anthropique Vs Nature)**
- **Très bon outil de communication voir de « marketing » sur la question du changement climatique** (effet « punchline » qui peut accélérer la prise du conscience)
- **Mais outil limité et insatisfaisant en tant que tel:** la valeur absolue de l'année de l'émergence n'est qu'un indicateur statistique...quid du spread entre les modèles (Gérard aurait sans doute dit un truc du genre « pas la peine de trop s'exciter sur les times of emergence »)
- **Indispensable d'y associer les questions du où et comment** le CC modifiera les conditions climatiques régionales / locales: extrême, changement d'état moyen
- **Quid des impacts et de l'adaptation...et que le discours sur l'adaptation ne l'emporte pas trop sur le changement climatique lui-même pour ne pas risquer de faire du changement climatique qu'une question de moyen pour y faire face.**

- . Simulation robuste de la géographie des Tmax moyennes autour du bassin méditerranéen;
- . Processus sous-mailles perfectibles, sous-estimation des reliefs;
- . Bilan radiatif légèrement trop faible aux latitudes subtropicales (propriétés optiques de l'atmosphère liées aux poussières désertiques mal résolues ?)

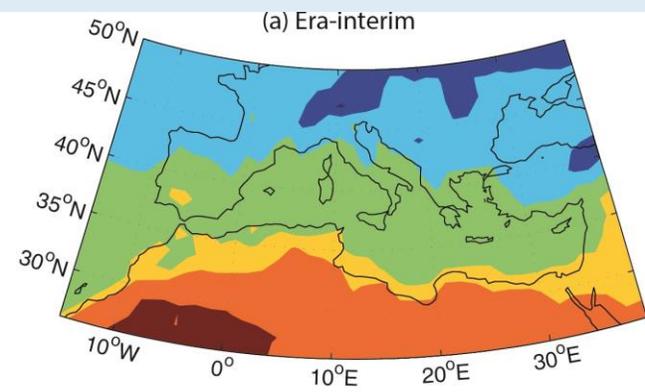


Figure 5a: Tmax moyenne 1979-2005 ERA-interim

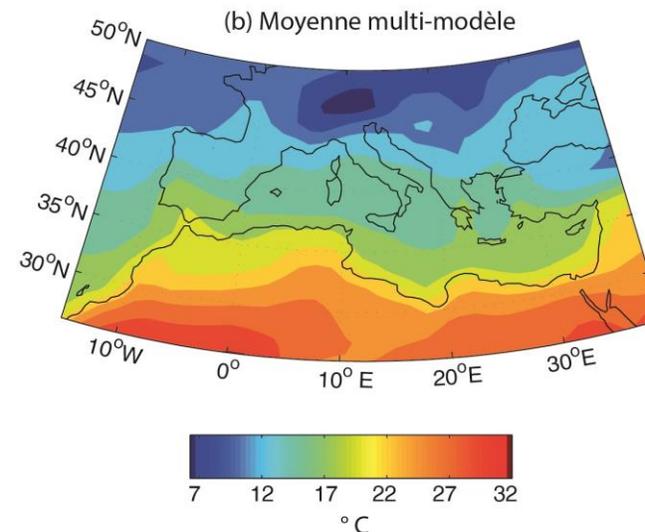


Figure 5b: Tmax moyenne 1979-2005. Moyenne multi-modèle. Runs Historique

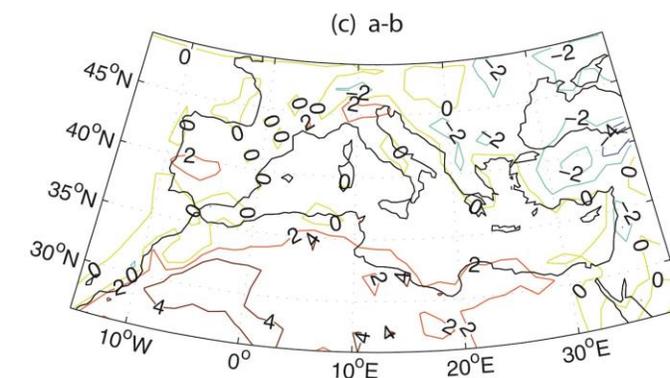


Figure 5c: a-b