



Impact des aérosols sulfatés sur les tendances climatiques en Europe et en Méditerranée depuis 1980

*P. Nabat ¹,
S. Somot ¹, M. Mallet ², A. Sanchez-Lorenzo ³ and M. Wild ⁴*

1 Météo-France / CNRM, Toulouse

2 Laboratoire d'Aérodynamique, Toulouse

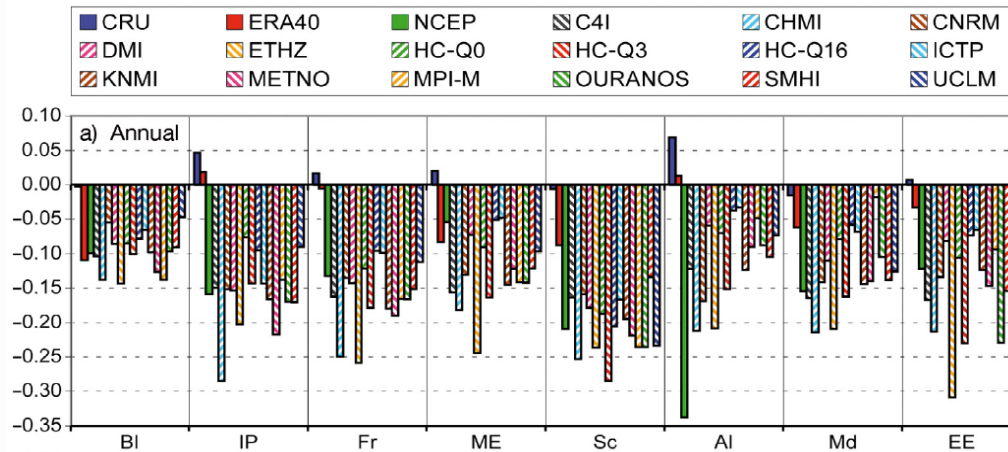
3 Université de Gironne (Espagne)

4 ETH Zurich (Suisse)

Contact : pierre.nabat@meteo.fr

Quelles tendances climatiques passées dans les modèles régionaux de climat (RCMs) ?

- Sous-estimation du réchauffement observé depuis 1980 montré dans ENSEMBLES (Lorenz et Jacob, 2010)

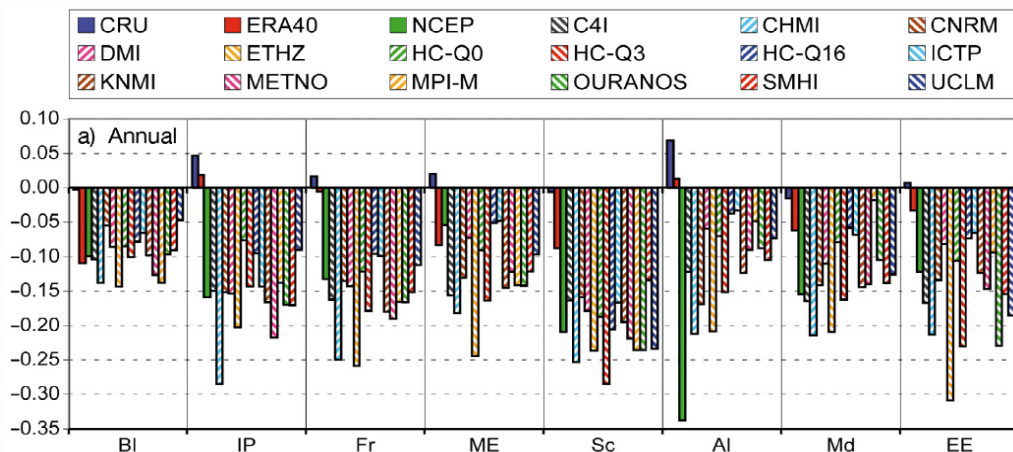


Différences des tendances linéaires
de température à 2m (°C/décennie)
par rapport à E-OBS
(pour plusieurs domaines en Europe)

Pilotage ERA-40
Émissions d'aérosols constantes

Quelles tendances climatiques passées dans les modèles régionaux de climat (RCMs) ?

- Sous-estimation du réchauffement observé depuis 1980 montré dans ENSEMBLES (Lorenz et Jacob, 2010)



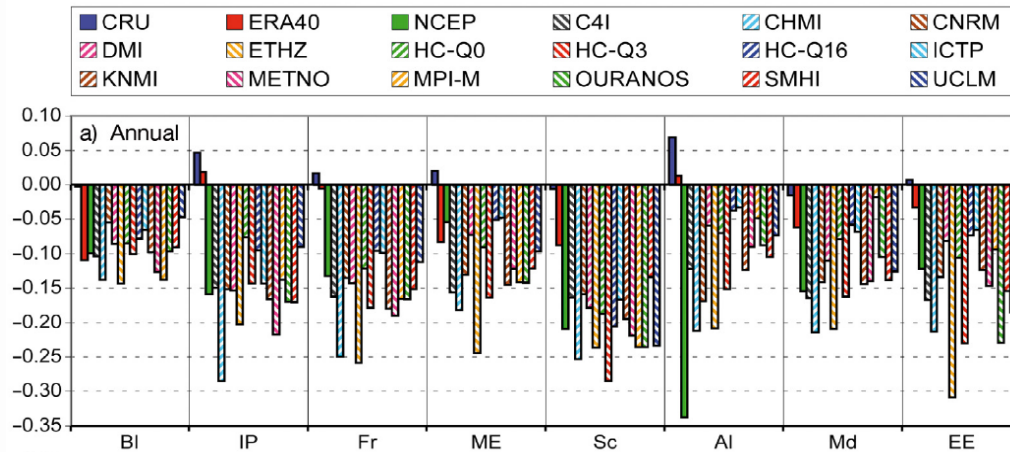
Différences des tendances linéaires
de température à 2m (°C/décennie)
par rapport à E-OBS
(pour plusieurs domaines en Europe)

Pilotage ERA-40
Émissions d'aérosols constantes

- Difficultés à reproduire les tendances climatiques observées aussi avec le forçage d'un GCM (Racherla et al., 2012 + comment by Laprise, 2014 ; Paxian et al., 2014)

Quelles tendances climatiques passées dans les modèles régionaux de climat (RCMs) ?

- Sous-estimation du réchauffement observé depuis 1980 montré dans ENSEMBLES (Lorenz et Jacob, 2010)



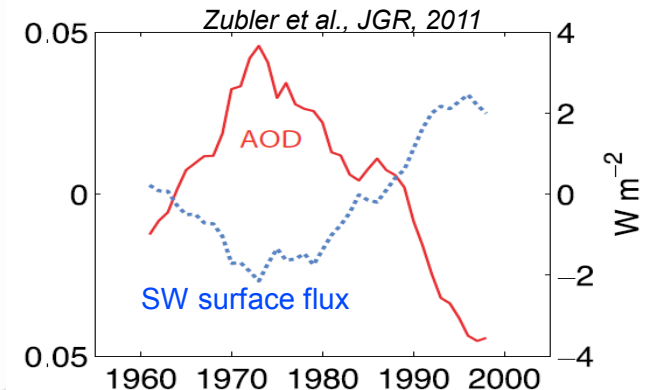
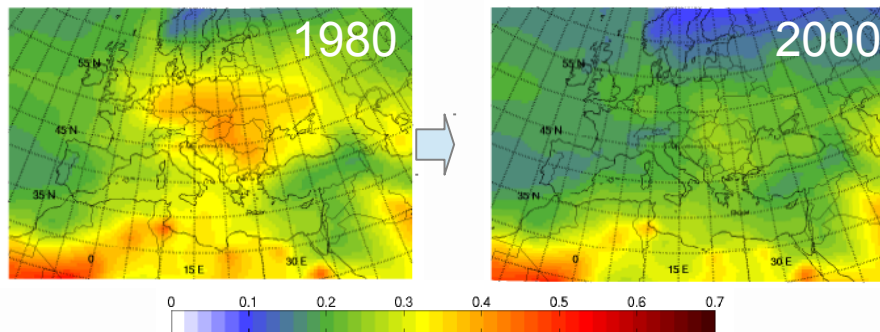
Différences des tendances linéaires de température à 2m ($^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$) par rapport à E-OBS (pour plusieurs domaines en Europe)

Pilotage ERA-40
Émissions d'aérosols constantes

- Difficultés à reproduire les tendances climatiques observées aussi avec le forçage d'un GCM (Racherla et al., 2012 + comment by Laprise, 2014 ; Paxian et al., 2014)

- Une simulation régionale plus récente avec une évolution des émissions d'aérosols (COSMO-CLM, Zubler et al., 2011) montre les signes du « dimming/brightening » seulement dans les flux en ciel clair

Épaisseur optique : moyenne ACCMIP



Les aérosols dans les RCMs sur la région euro-méditerranéenne

- Aérosols souvent mal représentés dans les simulations CORDEX

par exemple en région méditerranéenne (Med-CORDEX):

- plusieurs RCMs n'ont pas d'aérosols (PROTHEUS, EBU-POM, RegCM-3)
- d'autres ont uniquement une climatologie mensuelle (LMDz, MORCE-MED, CNRM-RCSM, COSMO-CLM), souvent sans variations interannuelles
- RegCM-4 peut inclure des aérosols interactifs

=> Pas de simulation régionale avec un couplage océan-atmosphère et la prise en compte de l'évolution des émissions d'aérosols

- Aérosols souvent mal représentés dans les simulations CORDEX

par exemple en région méditerranéenne (Med-CORDEX):

- plusieurs RCMs n'ont pas d'aérosols (PROTHEUS, EBU-POM, RegCM-3)
- d'autres ont uniquement une climatologie mensuelle (LMDz, MORCE-MED, CNRM-RCSM, COSMO-CLM), souvent sans variations interannuelles
- RegCM-4 peut inclure des aérosols interactifs

=> Pas de simulation régionale avec un couplage océan-atmosphère et la prise en compte de l'évolution des émissions d'aérosols

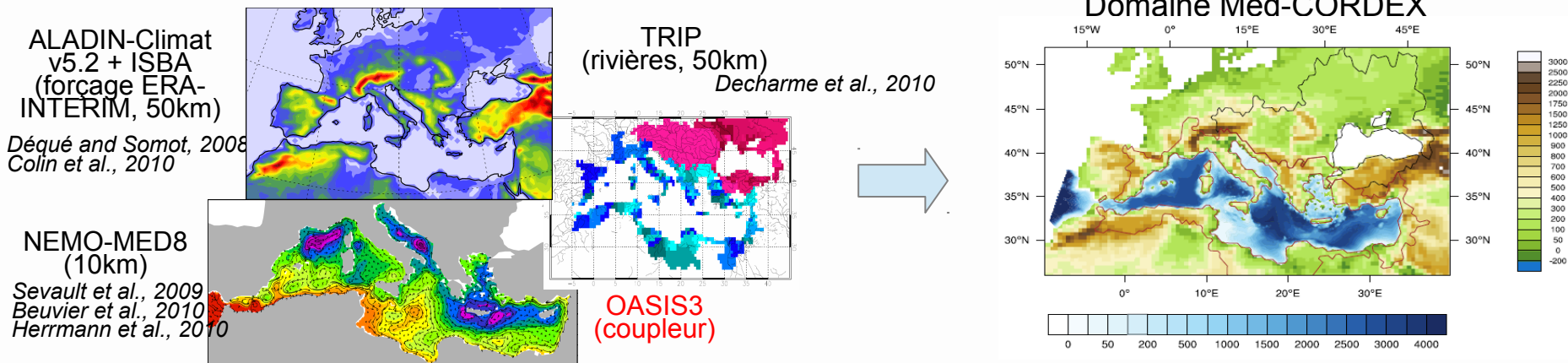
Objectifs

Les RCMs peuvent-ils reproduire le changement climatique passé ?

Comment les aérosols contribuent-ils aux tendances climatiques en Europe et en Méditerranée ?

- Rayonnement solaire en surface (effet de “brightening”)
- Température à 2m sur continent
- Température de surface de la mer (SST) et flux air-mer
- Débits des rivières

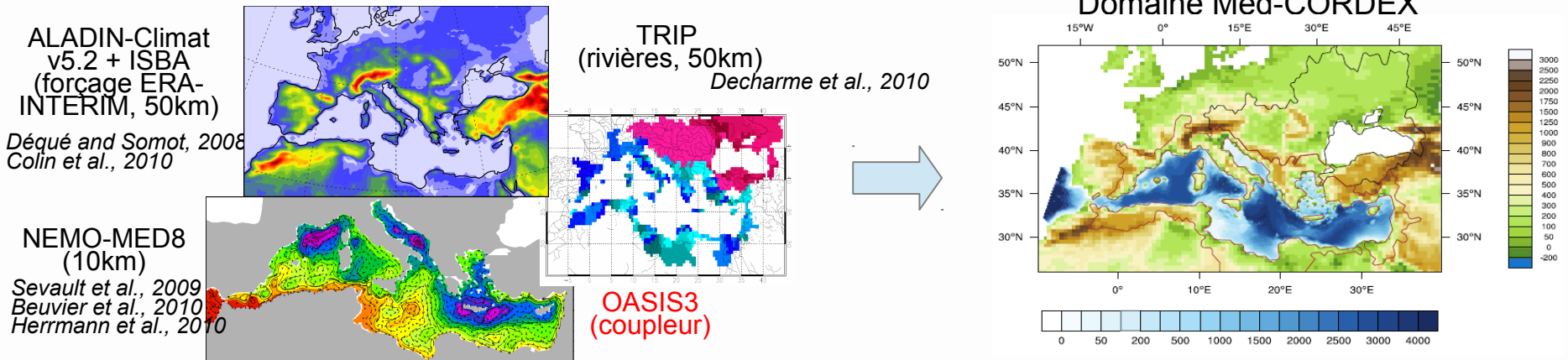
Approche par la modélisation régionale couplée pilotée par une réanalyse :



Le système climatique de modélisation régionale du CNRM (CNRM-RCSM4)

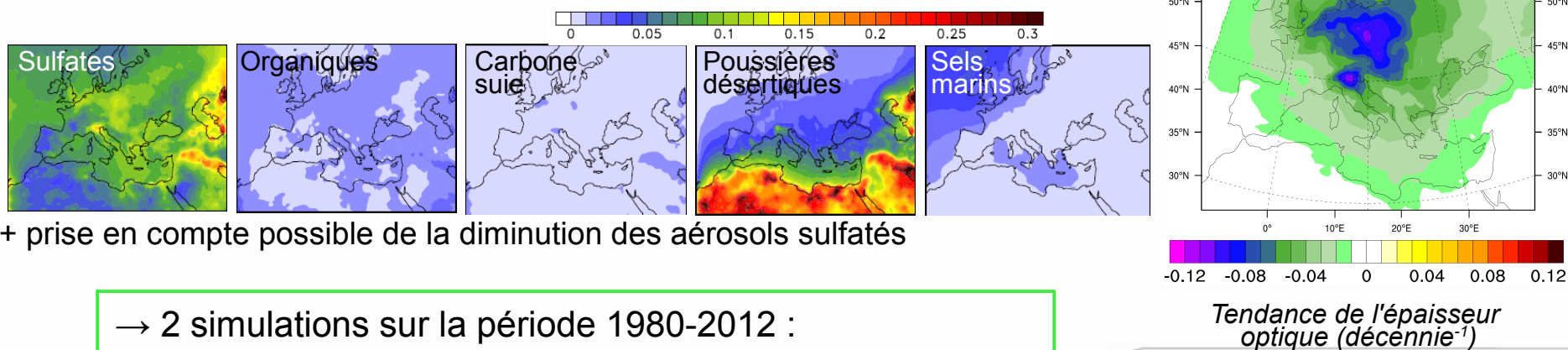
Méthodologie

Approche par la modélisation régionale couplée pilotée par une réanalyse :



Le système climatique de modélisation régionale du CNRM (CNRM-RCSM4)

=> Aérosols inclus avec des moyennes mensuelles d'épaisseur optique (AOD), provenant d'une nouvelle climatologie basée sur des produits satellites et modèles (Nabat et al., AMT, 2013)



→ 2 simulations sur la période 1980-2012 :

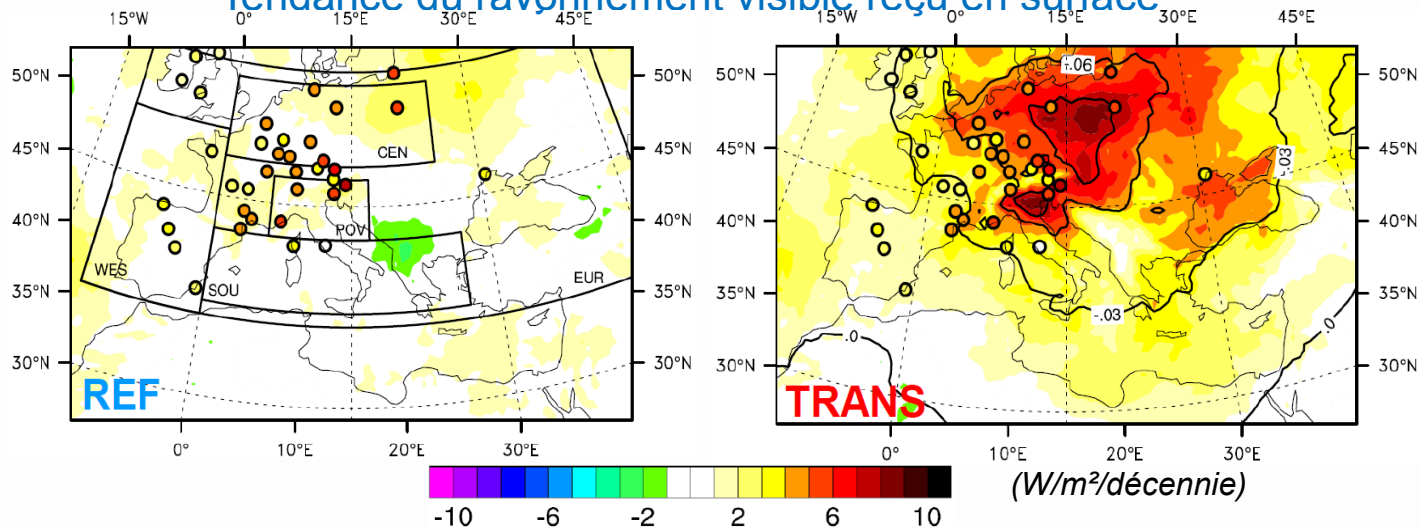
- **REF** : sans variation interannuelle des aérosols
- **TRANS** : avec la tendance des aérosols sulfatés

Le « brightening » simulé dans CNRM-RCSM4 (1980-2012)

→ 2 simulations 1980-2012 :

REF : sans variation interannuelle des aérosols / **TRANS** : avec la diminution des sulfates

Tendance du rayonnement visible reçu en surface



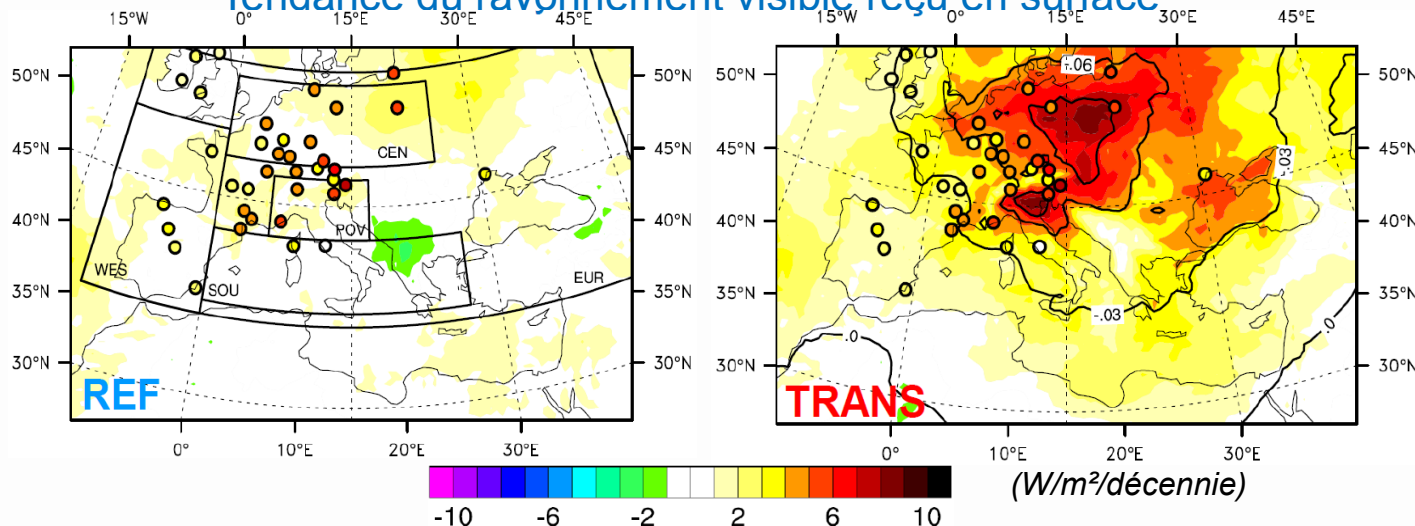
● Série temporelle
observée
(réseau GEBA
+ AEMET)

Le « brightening » simulé dans CNRM-RCSM4 (1980-2012)

→ 2 simulations 1980-2012 :

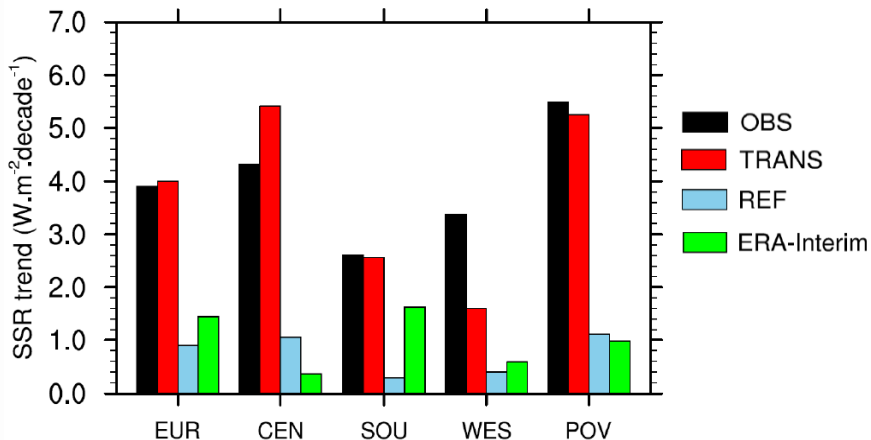
REF : sans variation interannuelle des aérosols / **TRANS** : avec la diminution des sulfates

Tendance du rayonnement visible reçu en surface



● Série temporelle observée (réseau GEBA + AEMET)

Tendance du rayonnement (1980-2009)
Calculée pour chaque zone aux points des stations



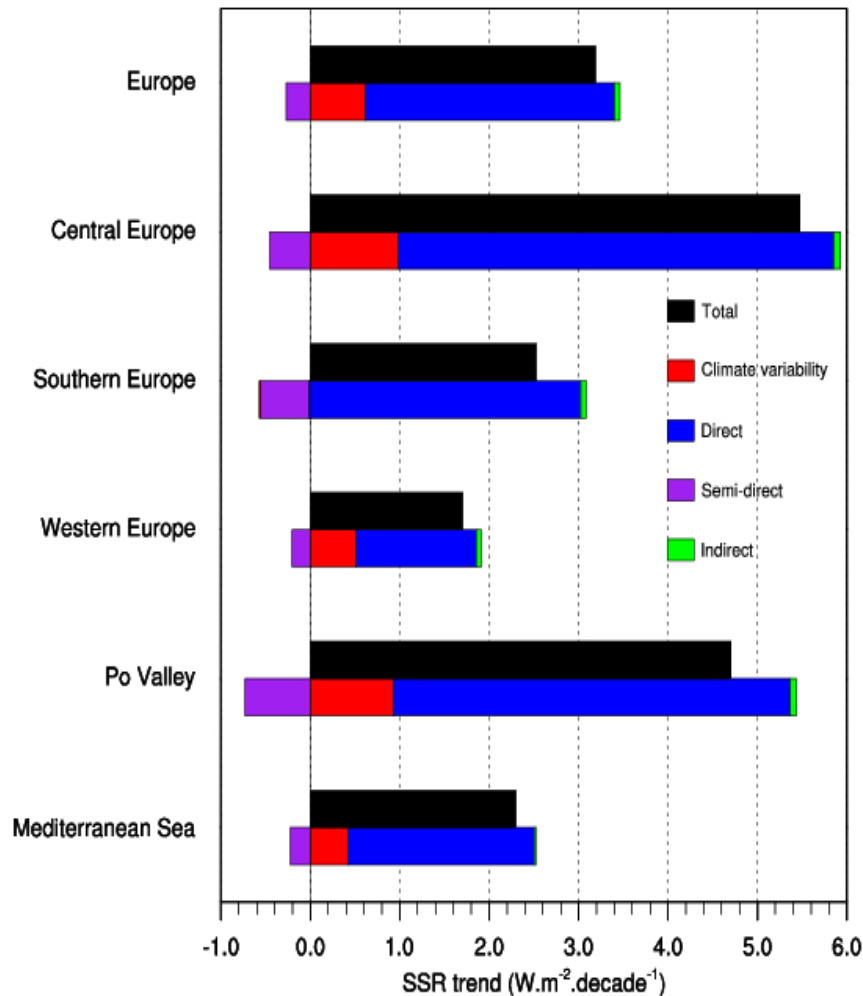
=> En Europe : « brightening » plus important dans **TRANS**
+ 3.2 W/m²/décennie (TRANS) > +0.6 W/m²/décennie (REF)

=> Comparaison avec des observations homogénéisées :
- sous-estimation du brightening dans **REF**
- amélioration de la corrélation spatiale de la tendance
0.42 (TRANS) > 0.10 (REF)

=> Les aérosols expliquent **81 ± 15%** du brightening
(prédominance de l'effet direct)

Le « brightening » simulé dans CNRM-RCSM4 (1980-2012)

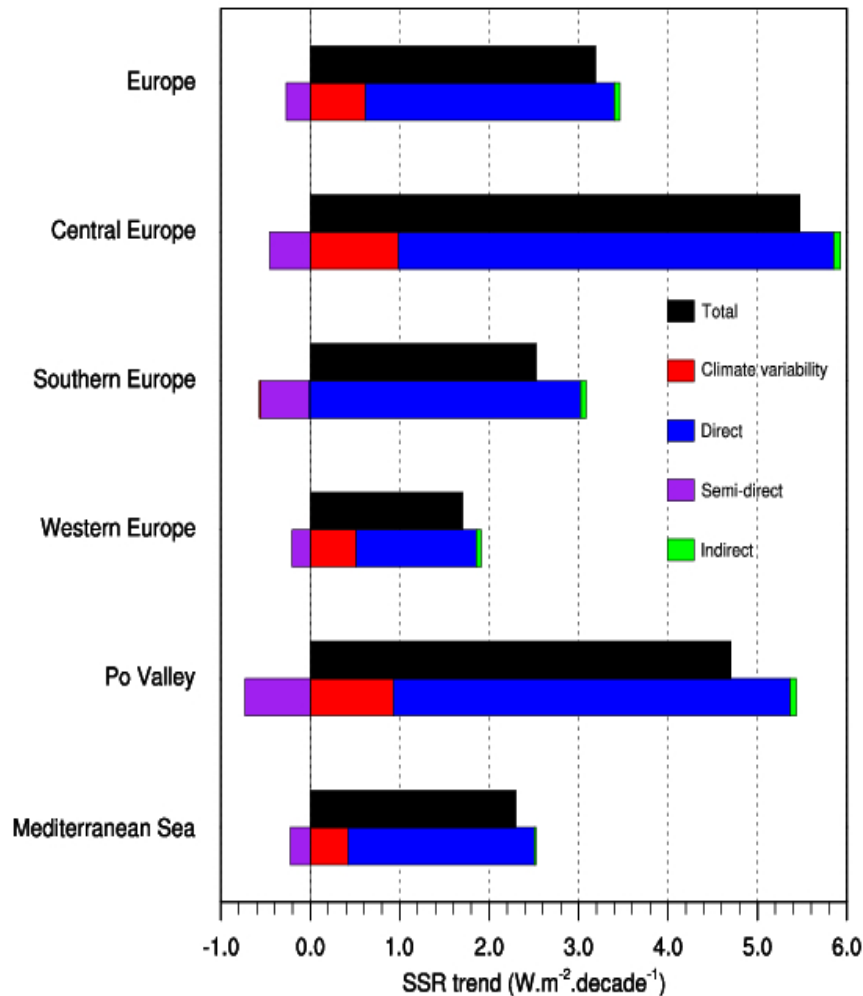
→ Contribution de la variabilité climatique et des différents effets des aérosols



- **Variabilité climatique** (évolution des conditions météorologiques imposées par le forçage aux bords du domaine)
=> seulement $+0.6 \text{ W/m}^2$ en Europe

Le « brightening » simulé dans CNRM-RCSM4 (1980-2012)

→ Contribution de la variabilité climatique et des différents effets des aérosols



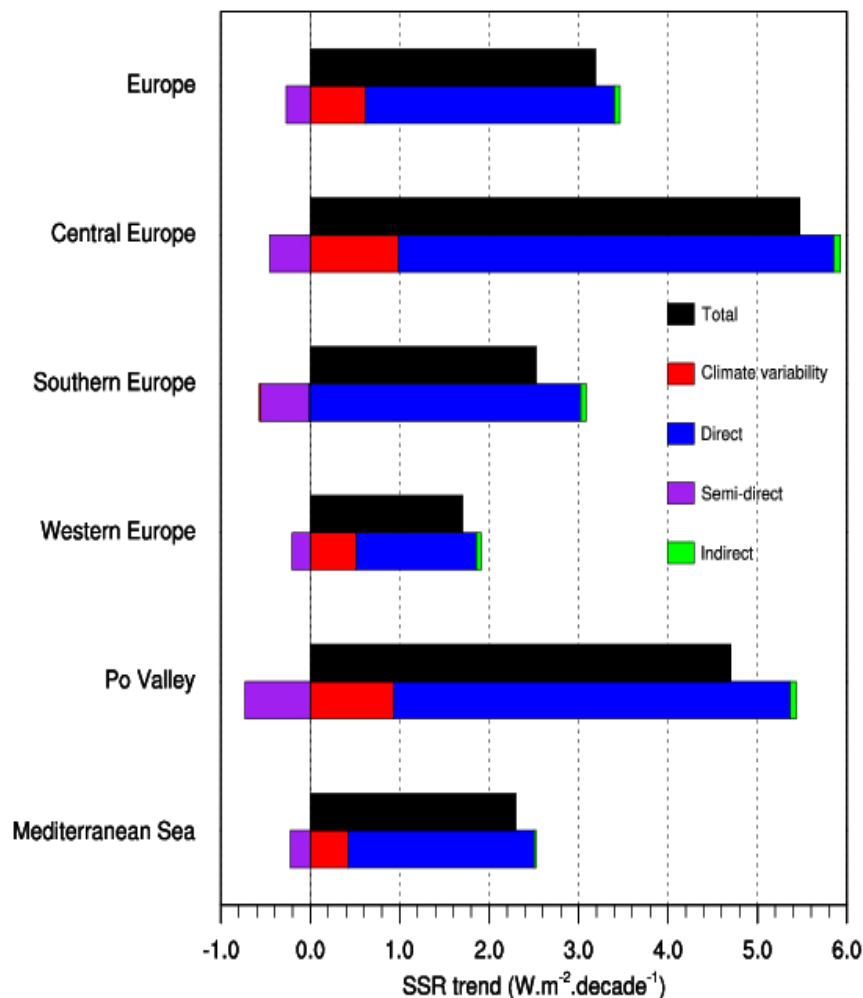
- **Variabilité climatique** (évolution des conditions météorologiques imposées par le forçage aux bords du domaine)

=> seulement +0.6 W/m² en Europe

- **Effet direct des aérosols** = 87 % de la tendance de rayonnement sur l'Europe

Le « brightening » simulé dans CNRM-RCSM4 (1980-2012)

→ Contribution de la variabilité climatique et des différents effets des aérosols



- **Variabilité climatique** (évolution des conditions météorologiques imposées par le forçage aux bords du domaine)

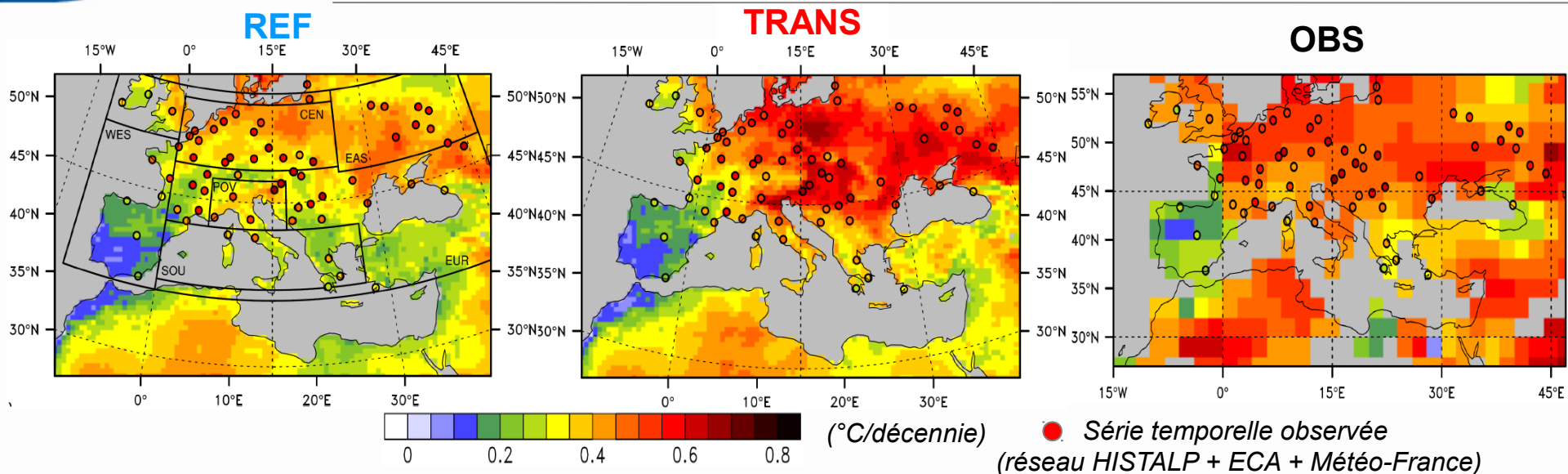
=> seulement +0.6 W/m² en Europe

- **Effet direct des aérosols** = 87 % de la tendance de rayonnement sur l'Europe

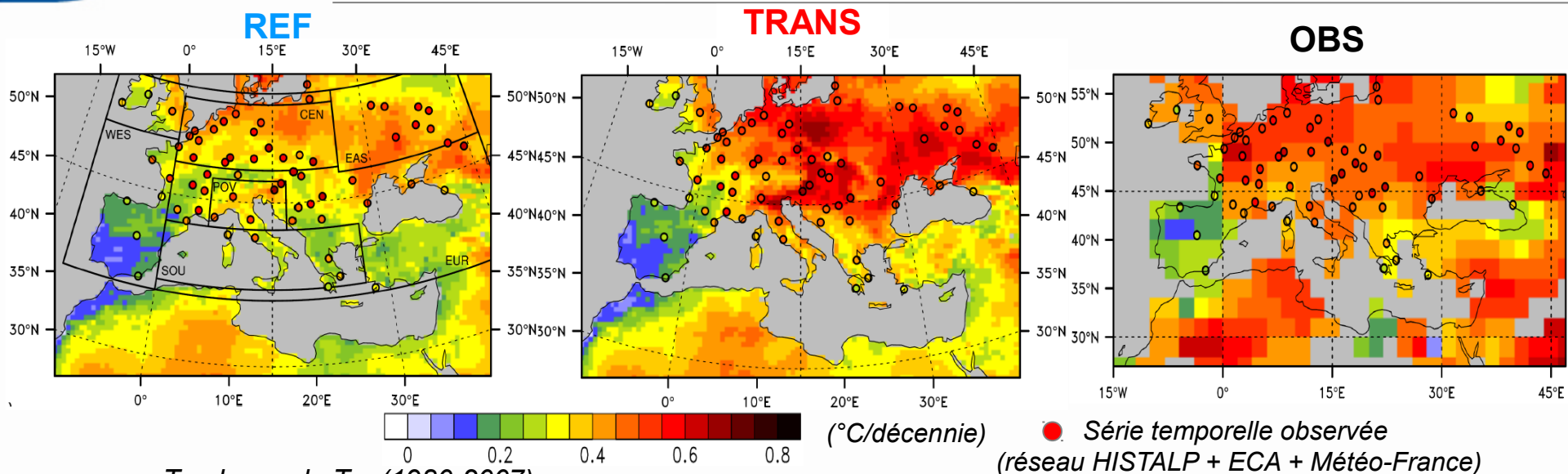
- Les effets **semi-direct** (-0.4 W/m²) et **indirect** (+0.1 W/m²) ont des contributions moins élevées

=> prédominance de l'effet direct des aérosols

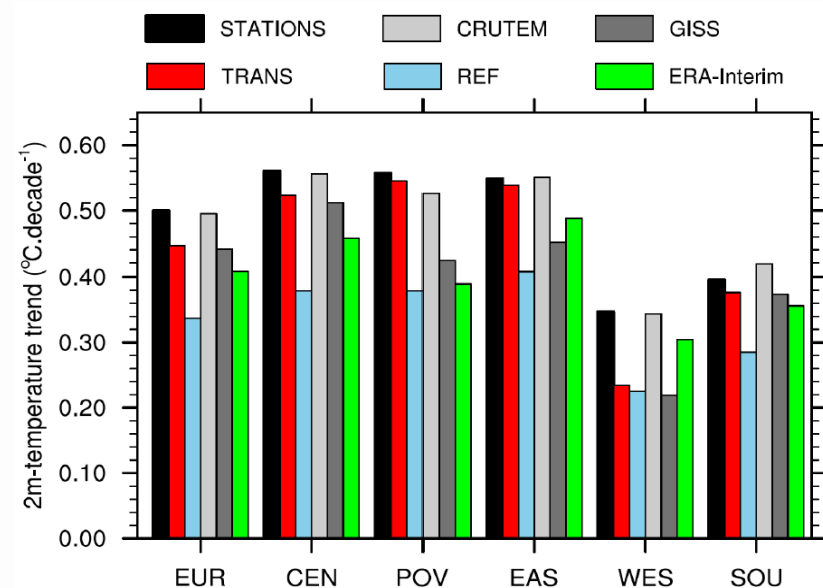
Le réchauffement sur continent simulé par CNRM-RCSM4 (1980-2012)



Le réchauffement sur continent simulé par CNRM-RCSM4 (1980-2012)



Tendance de T_{2m} (1980-2007)
Calculée pour chaque zone aux points des stations



=> En Europe : réchauffement plus important dans **TRANS**
0.35°C/décennie (TRANS) > 0.28°C/décennie (REF)

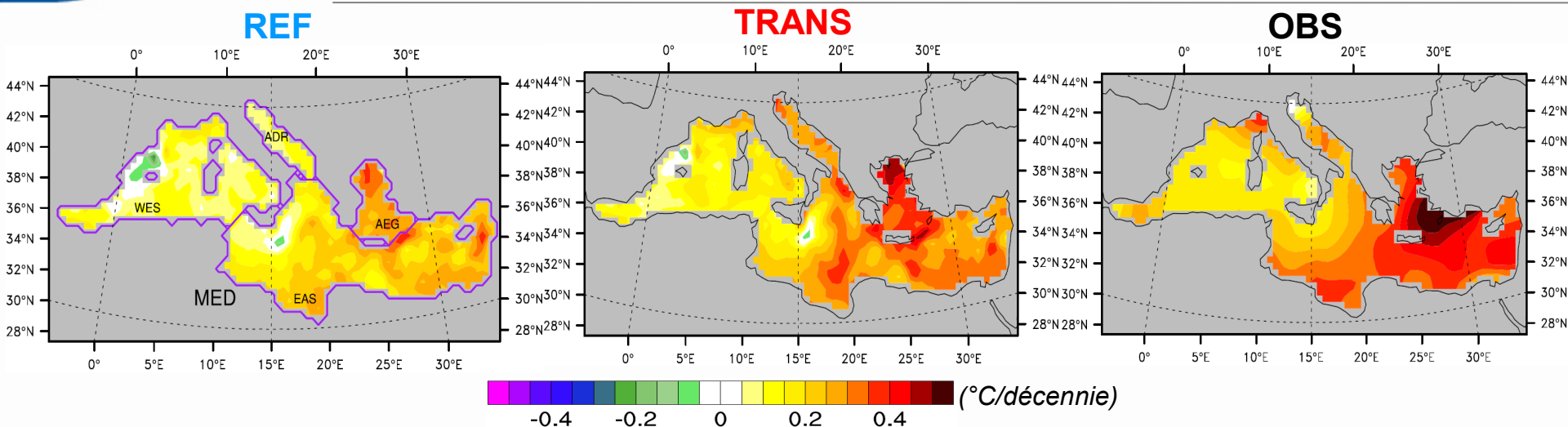
=> Comparaison avec des observations homogénéisées (GISS, CRUTEM4, séries ponctuelles) :

- sous-estimation du réchauffement
- amélioration de la corrélation spatiale de la tendance

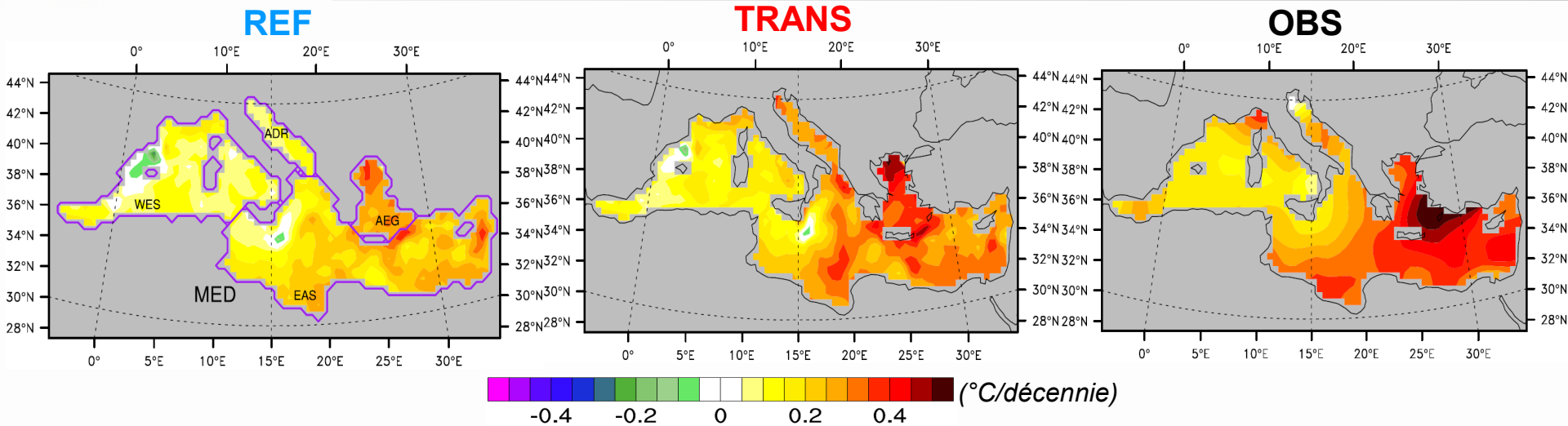
0.71 (TRANS) > 0.55 (REF)

=> Les aérosols expliquent **23 ± 5 %** du réchauffement entre 1980 et 2012

Le réchauffement sur mer simulé par CNRM-RCSM4 (1980-2012)



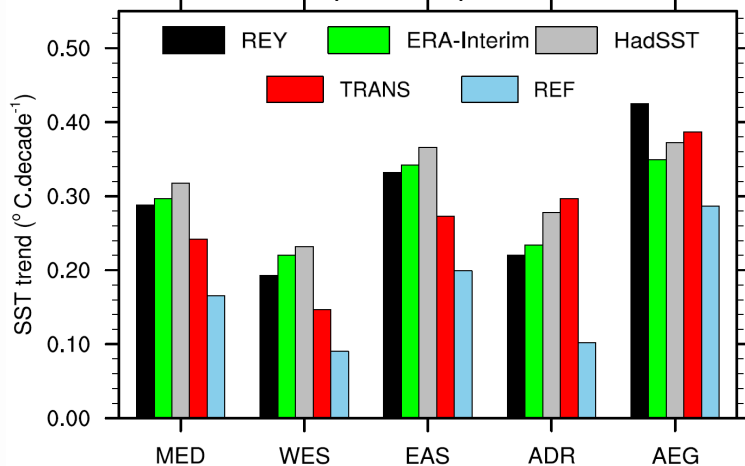
Le réchauffement sur mer simulé par CNRM-RCSM4 (1980-2012)



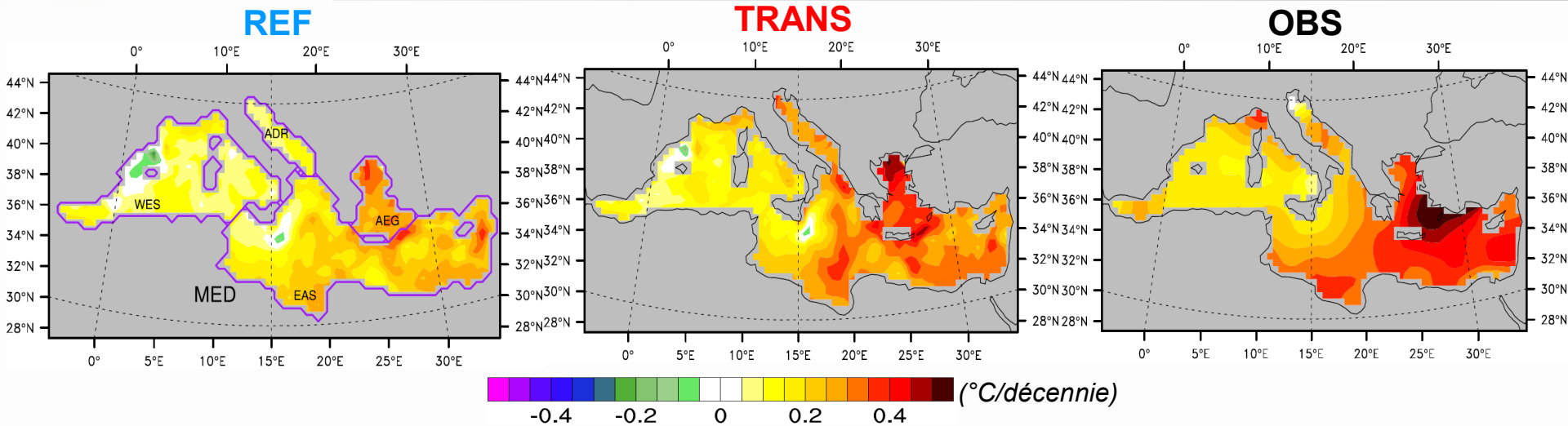
=> Augmentation du réchauffement de la SST dans **TRANS**
 $0.24^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ (TRANS) > $0.17^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ (REF)

=> Amélioration dans **TRANS** par rapport aux observations
 (Reynolds et al., 2002, HadSST)

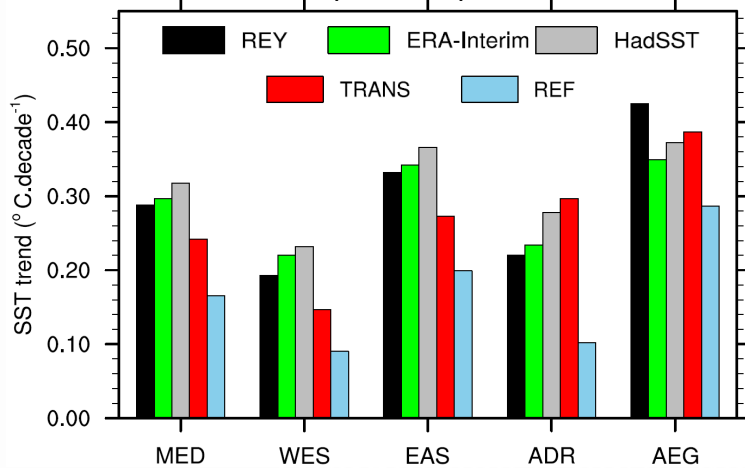
Tendance de SST (1982-2012)
 Calculée pour chaque zone



Le réchauffement sur mer simulé par CNRM-RCSM4 (1980-2012)



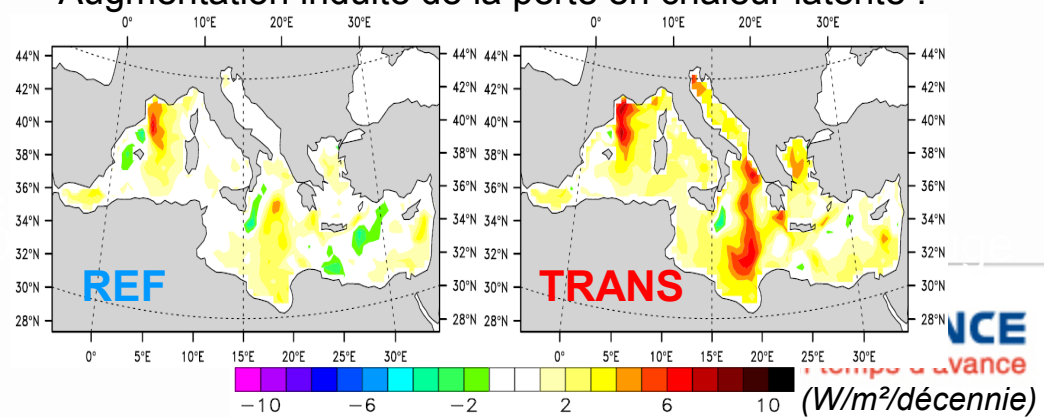
*Tendance de SST (1982-2012)
Calculée pour chaque zone*



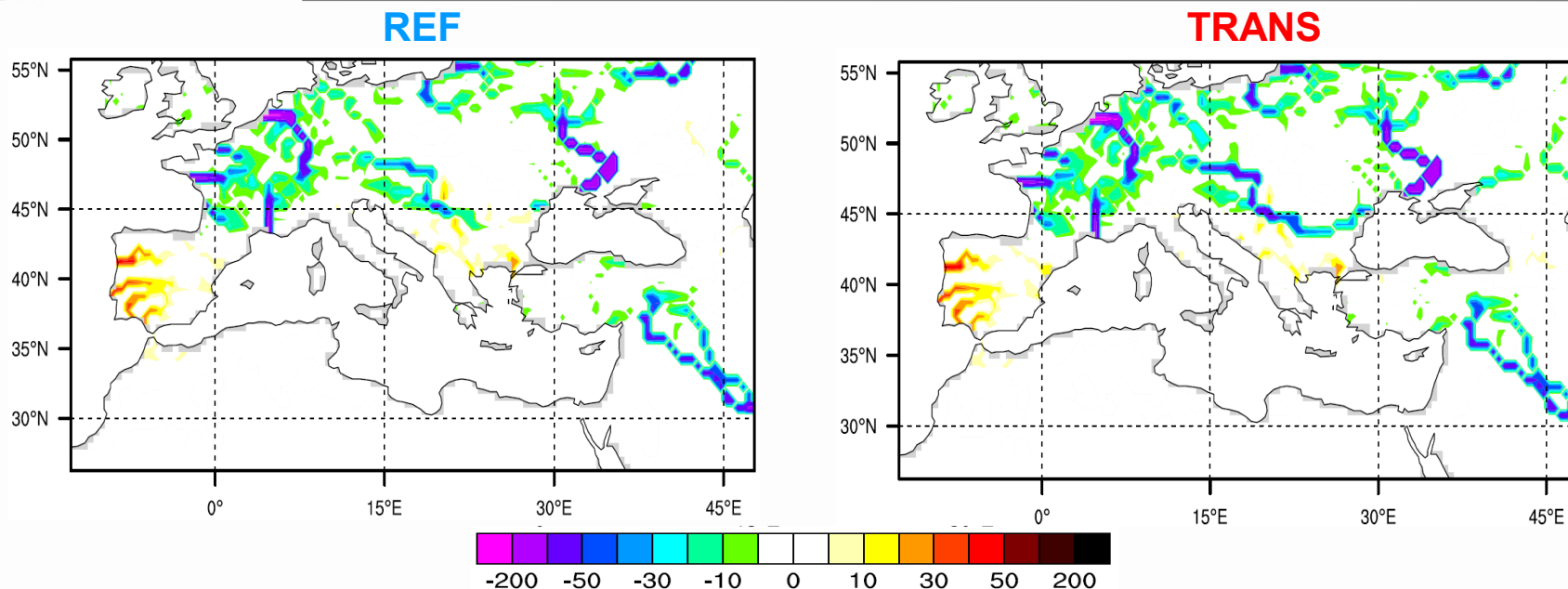
=> Augmentation du réchauffement de la SST dans **TRANS**
0.24°C/décennie (TRANS) > 0.17°C/décennie (REF)

=> Amélioration dans **TRANS** par rapport aux observations
 (Reynolds et al., 2002, HadSST)

=> Augmentation induite de la perte en chaleur latente :

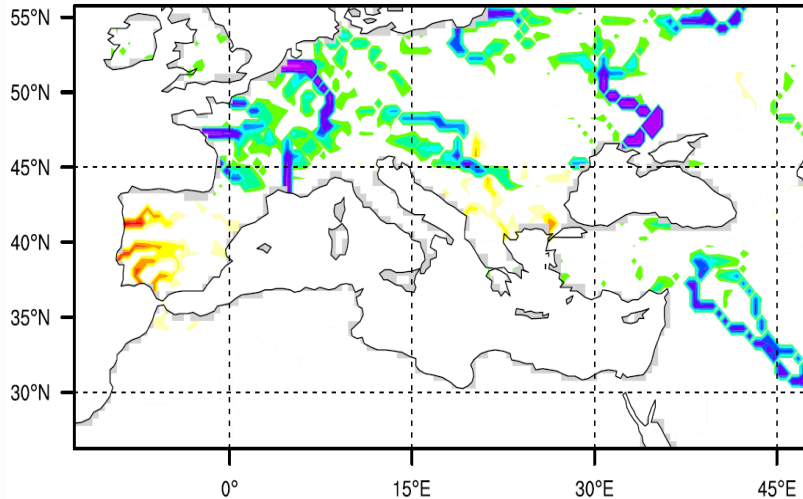


Modification des débits des rivières en Europe (1980-2012)

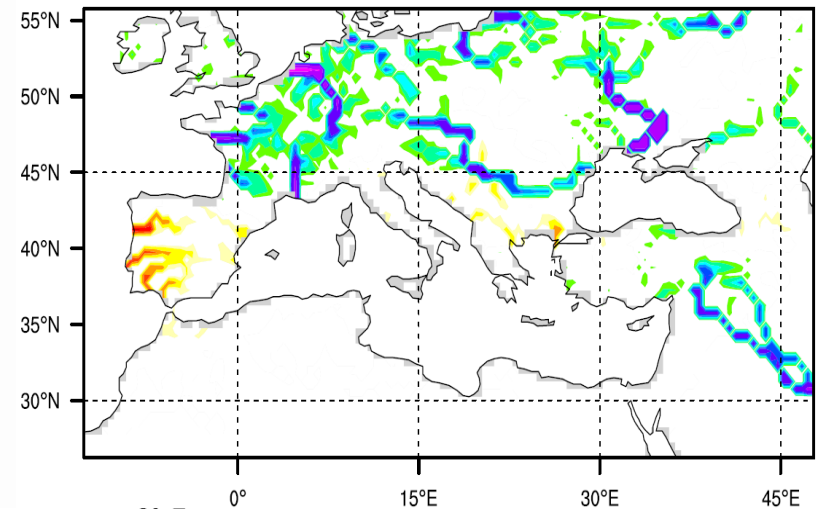


Modification des débits des rivières en Europe (1980-2012)

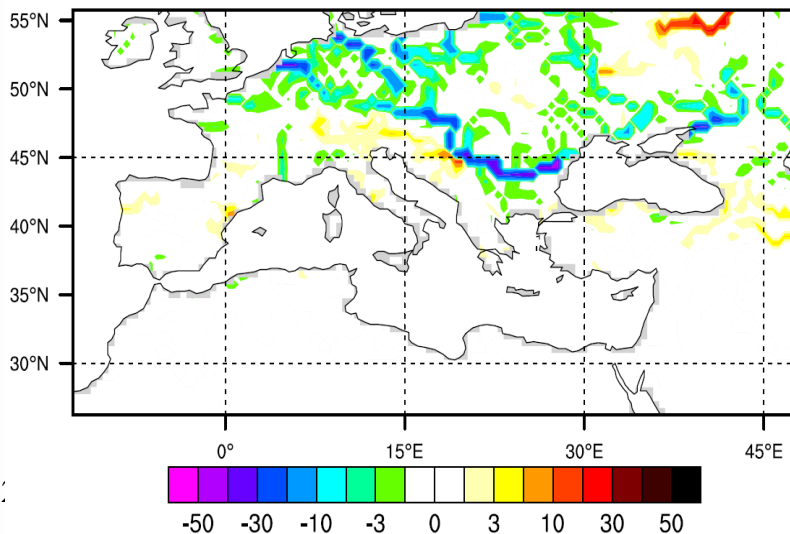
REF



TRANS



TRANS - REF



=> Diminution du débit des rivières en Europe dans **TRANS**

=> Exemple du Danube :

-46 m³/s/décennie (TRANS) < 2 m³/s/décennie (REF)

=> Résultats similaires obtenus dans l'hémisphère Nord par Gedney et al. (2014)

=> Etude des tendances climatiques passées sur la région euro-méditerranéenne (1980-2012) en utilisant une approche originale basée sur un système de modélisation climatique régionale piloté par une réanalyse + inclusion des variations réalistes d'aérosols

=> Depuis 1980, diminution de la concentration en aérosols sulfatés sur cette région :

- Augmentation du rayonnement SW en surface (“brightening”)
- Renforcement de l'augmentation de température en surface (T_{2m} et SST)
- Renforcement de la perte en chaleur latente sur la Méditerranée
- Renforcement de la diminution des débits des rivières en Europe

=> La comparaison avec des observations de surface homogénéisées (rayonnement et température) montre la nécessité de bien prendre en compte les variations d'aérosols pour reproduire les tendances climatiques passées



Nabat et al., Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL060798, 2014.

=> Etude des tendances climatiques passées sur la région euro-méditerranéenne (1980-2012) en utilisant une approche originale basée sur un système de modélisation climatique régionale piloté par une réanalyse + inclusion des variations réalistes d'aérosols

=> Depuis 1980, diminution de la concentration en aérosols sulfatés sur cette région :

- Augmentation du rayonnement SW en surface ("brightening")
- Renforcement de l'augmentation de température en surface (T_{2m} et SST)
- Renforcement de la perte en chaleur latente sur la Méditerranée
- Renforcement de la diminution des débits des rivières en Europe

=> La comparaison avec des observations de surface homogénéisées (rayonnement et température) montre la nécessité de bien prendre en compte les variations d'aérosols pour reproduire les tendances climatiques passées



Nabat et al., Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL060798, 2014.

=> Perspectives :

- Etudes multi-modèles (avec le même jeu de données pour les aérosols ?)
- Tester cette méthodologie dans d'autres régions
- Utilisation d'un schéma interactif
- Quels aérosols pour CORDEX ? (pour l'évaluation et les scénarios)

A satellite image of the Atlantic Ocean, showing the eastern coasts of North and South America on the left and the western coasts of Europe and Africa on the right. The ocean is a deep blue, with white clouds visible over the northern part of the Atlantic. The text "Merci pour votre attention" is centered over the ocean.

Merci pour votre attention

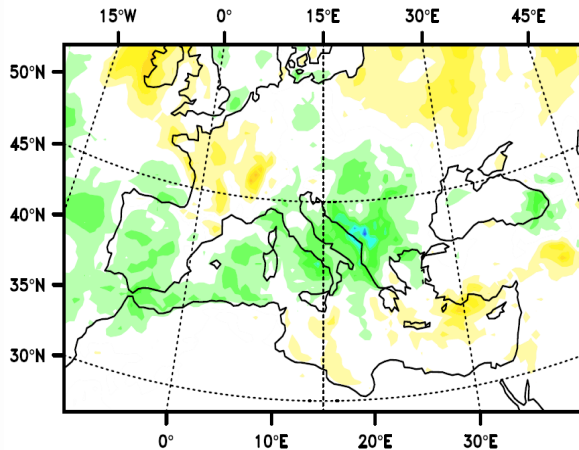
contact : pierre.nabat@meteo.fr



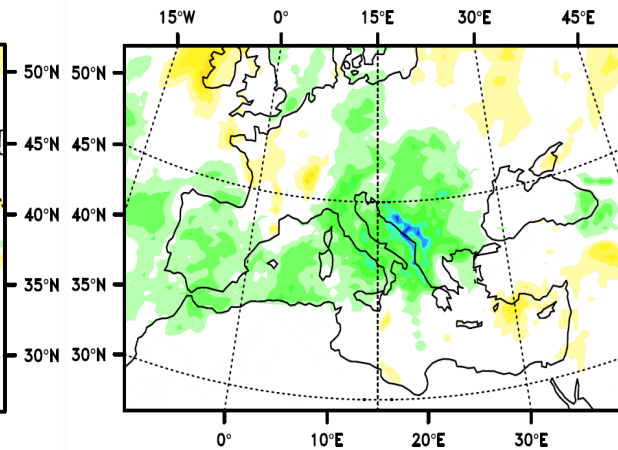
METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Quelle tendance pour les précipitations (1980-2012) ?

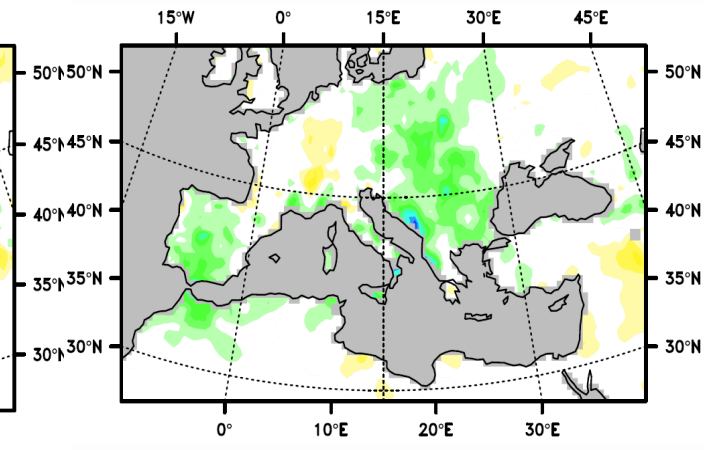
REF



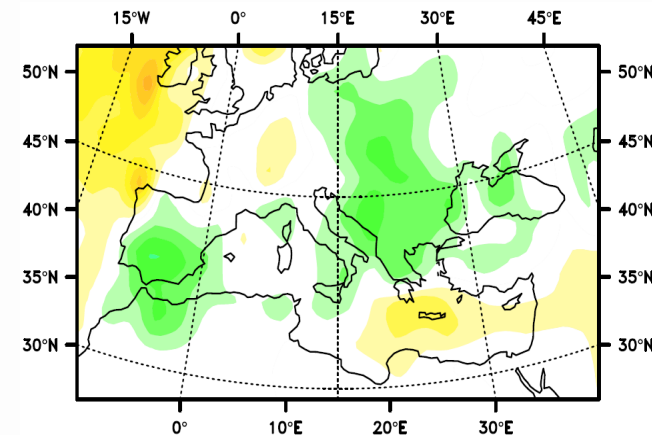
TRANS



GPCC



GPCP



=> En Europe :

0.04 mm/j/décennie (TRANS) > 0.01 mm/j/décennie (REF)

GPCC : 0.04 mm/j/décennie

GPCP : 0.05 mm/j/décennie

=> En Méditerranée :

0.04 mm/j/décennie (TRANS) > 0.02 mm/j/décennie (REF)

GPCP : 0.00 mm/j/décennie