



Estimation multi-modèle du rôle des aérosols anthropiques sur le changement climatique en Europe en été

P. Nabat¹, S. Somot¹, J. Boé², L. Corre³, E. Katragkou⁴, S. Li^{5,9}, M. Mallet¹, E. van Meijgaard⁶, V. Pavlidis⁴,
J.-P. Pietikäinen⁷, S. Soerland^{5,10} and F. Solmon⁸

Contact : pierre.nabat@meteo.fr

1 CNRM, Université de Toulouse, Météo-France, CNRS, Toulouse, France

2 CECI, Université de Toulouse, CERFACS/CNRS, Toulouse, France

3 Météo-France, Toulouse, France

4 Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

5 Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich, Zürich, Switzerland

6 Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, The Netherlands

7 Climate Service Center Germany (GERICS), Hamburg, Germany

8 Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS, Toulouse, France

9 College of Hydraulic science and engineering, Yangzhou University, Yangzhou, China

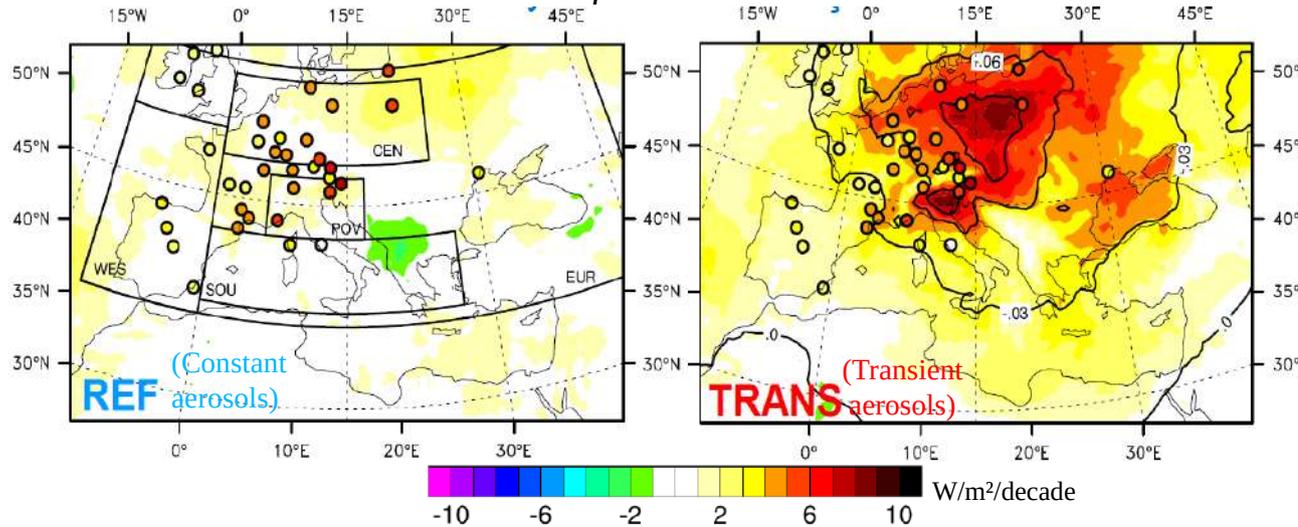
10 NORCE Norwegian Research Centre, Bergen, Norway



Motivations (1/2)

- Aérosols constants dans la plupart des simulations climatiques régionales (RCM) publiées aujourd'hui (CORDEX)
 - => forçage manquant dans les projections régionales + incohérence avec les modèles globaux (GCM)
- Impact potentiel des aérosols sur les tendances climatiques régionales futures, comme pour le passé (Nabat et al., GRL, 2014)

SW surface radiation trend



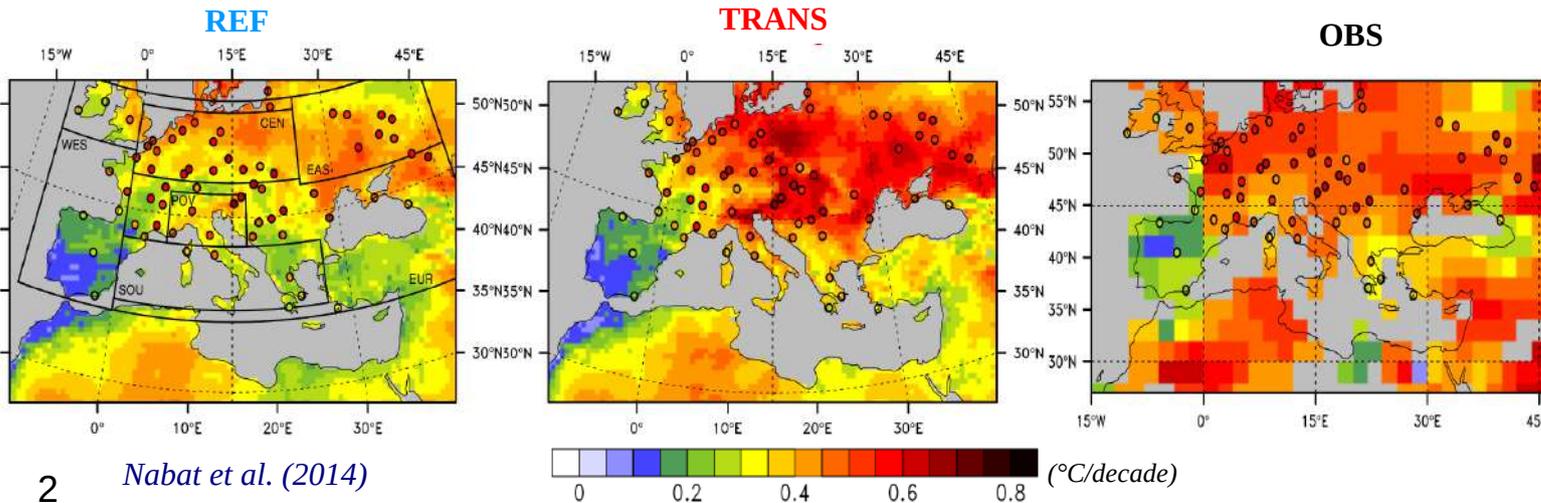
● Observed temporal series (networks GEBA and AEMET)

=> Diminution forte des aérosols de sulfates entre 1980 et 2012

=> Effet d'éclaircissement (brightening) en Europe et en Méditerranée (reproduit uniquement si l'évolution des aérosols est prise en compte)

=> Réchauffement plus fort en surface avec l'évolution des aérosols

Land 2m-temperature trend



● Observed temporal series (network HISTALP + ECA + Météo-France)

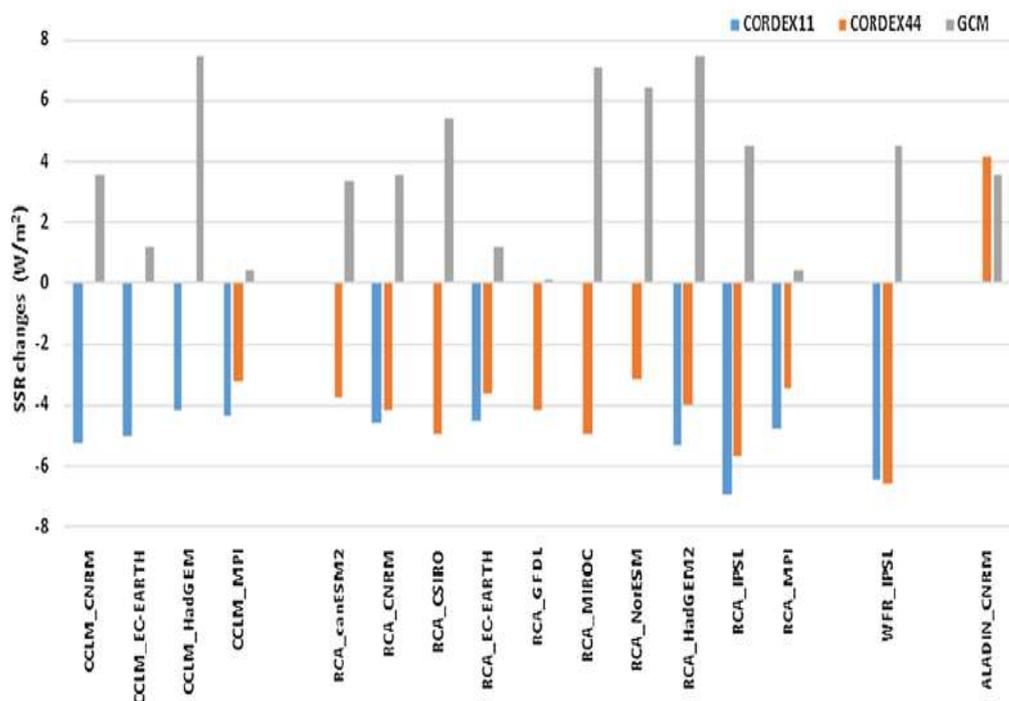


Motivations (2/2)

- Désaccord important dans le signal du changement climatique en Europe entre GCM et RCM :
 - Réchauffement plus fort (+1.5/2°C) dans les GCMs (Soerland et al. 2018 ; Boé et al. 2020)
 - Diminution plus forte des précipitations en été dans les GCMs (+20% vs +5%) (Boé et al. 2020)
 - Augmentation plus forte du rayonnement solaire en surface dans les GCMs (Bartok et al. 2017, Boé et al. 2020, Gutierrez et al. 2020)
- Hypothèses proposées : biais réduits dans les RCMs en climat présent (Soerland et al. 2018), différents effets des nuages (Bartok et al. 2017), différences d'évapotranspiration (Boé et al. 2020), aérosols anthropiques non évolutifs (Boé et al. 2020 ; Gutierrez et al. 2020)

Surface shortwave radiation future changes over Europe

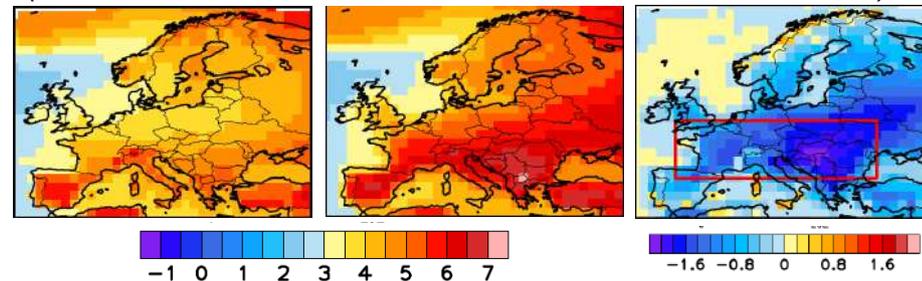
(W/m², RCP8.5, Euro-CDX, 2071-2100 minus 1971-2005, Annual)



Bartok et al. (2017)

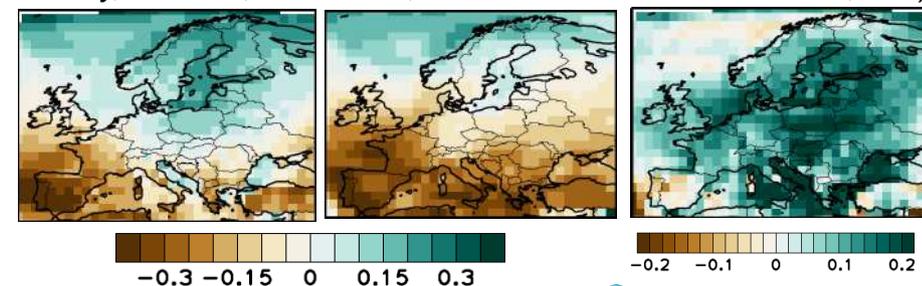
2m-Temperature changes over Europe

(°C, RCP8.5, Euro-CDX, 2070-2099 minus 1970-1999, JJA)



Precipitation changes over Europe

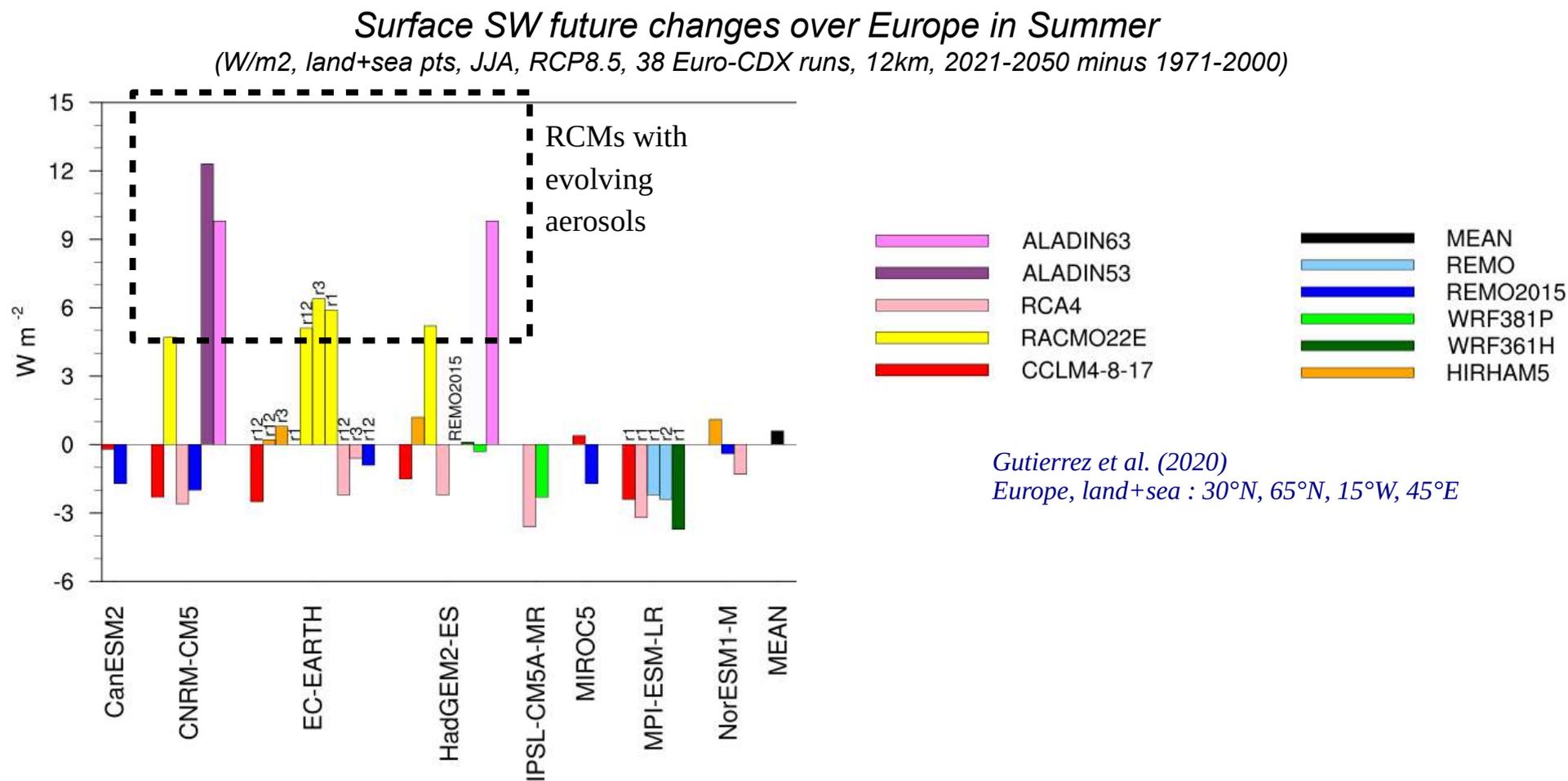
(mm/day, RCP8.5, Euro-CDX, 2070-2099 minus 1970-1999, JJA)



Boé et al. (2020)

Les simulations régionales Euro-CORDEX

- Ensemble Euro-CORDEX : seuls les RCMs avec aérosols évolutifs ont une forte augmentation du rayonnement solaire incident en surface (rsds)

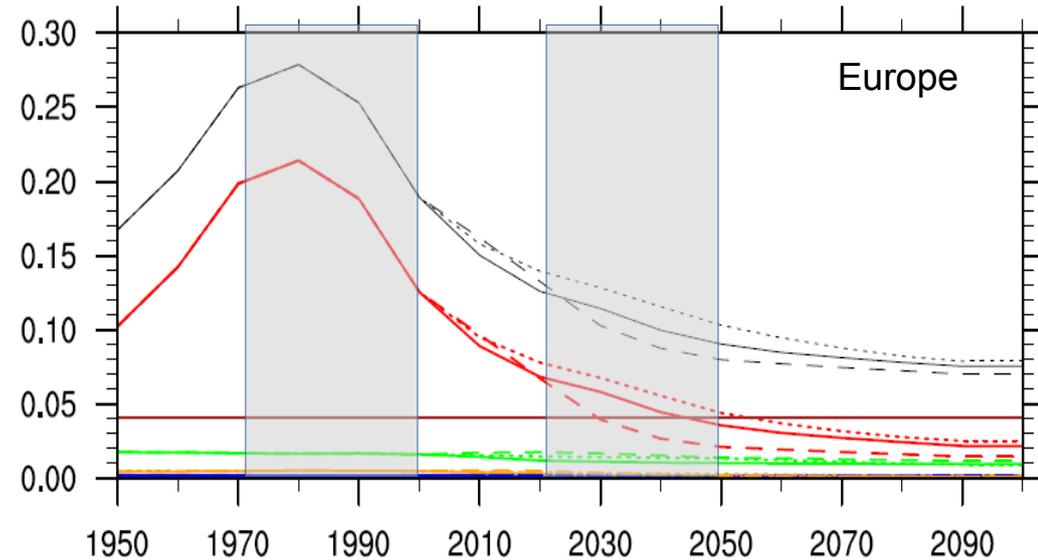


- La diminution des aérosols semblent être une explication possible de cette augmentation du rayonnement
- Protocole commun du FPS-aerosol (1B) = expériences jumelles avec/sans aérosols évolutifs dans les projections futures

Le protocole multi-modèle du FPS-Aerosol CORDEX

- Objectif : établir le rôle des aérosols sur l'évolution future du climat régional
- Comparaison de simulations jumelles avec/sans aérosols évolutifs :
 - Historique (1971-2000) : **RCM_{his}**
 - Scénario RCP8.5 (2021-2050) avec aérosols évolutifs : **RCM_{evo}**
 - Scénario RCP8.5 (2021-2050) sans aérosols évolutifs : **RCM_{cst}**
- Ensemble de 9 « triplets » de simulations

AOD (550nm) evolution in CNRM-CM5 and ALADIN (Szopa et al. 2012)



| | Institut | RCM | GCM forceur | Res. | Aerosols |
|---|----------|----------|--------------|-------|-----------------------------------|
| + | AUTH | WRF | CESM1 | 50 km | Lamarque et al. (2011) |
| + | CNRM | ALADIN | CNRM-CM5 | 12 km | Szopa et al. (2012) |
| + | CNRM | ALADIN | HadGEM2-ES | 12 km | Lamarque et al. (2011) |
| + | CNRM | ALADIN | NorESM1-M | 12 km | Lamarque et al. (2011) |
| + | CNRM | ALADIN | MPI-ESM-LR | 12 km | MACv2 |
| + | ETH | COSMO | MPI-ESM-LR | 12 km | Aerocom + evol. MACv2 |
| + | GERICS | REMO2015 | EC-EARTH r12 | 12 km | Tanré et al. (1984) + evol. Szopa |
| + | KNMI | RACMO22E | EC-EARTH r3 | 12 km | Lamarque et al. (2011) |
| + | LA | RegCM | EC-EARTH | 50 km | MACv2 |

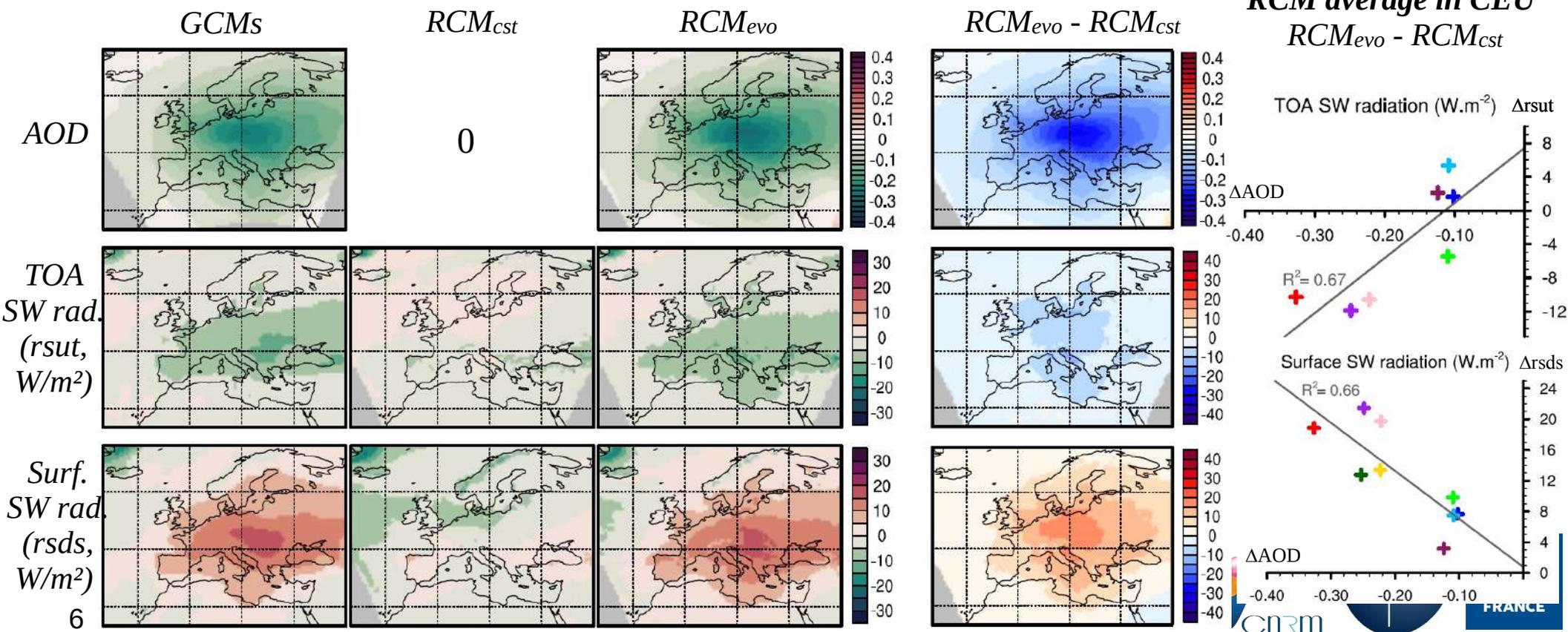
=> Focus sur l'été (JJA) et la région CEU (SREX, IPCC, 2012)



Résultats (1/4) : Aérosols et rayonnement

- Diminution des émissions anthropiques d'aérosols => réduction de l'effet direct des aérosols
- Augmentation de r_{sds} dans le futur pour GCMs et RCM_{evo} , contrairement à RCM_{cst}
- Diminution de r_{sut} (rayonnement SW TOA), plus forte pour RCM_{evo} que pour RCM_{cst}
- Relation statistiquement significative entre les changements futurs de rayonnement et d'AOD :
 6.7 W/m^2 en r_{sds} et -7.7 W/m^2 en r_{sut} par -0.1 en AOD en Europe (CEU)
- Meilleure cohérence du rayonnement entre GCMs et RCM_{evo} qu'entre GCMs et RCM_{cst}

Future JJA changes (2021-2050 minus 1971-2000) : multi-model averages

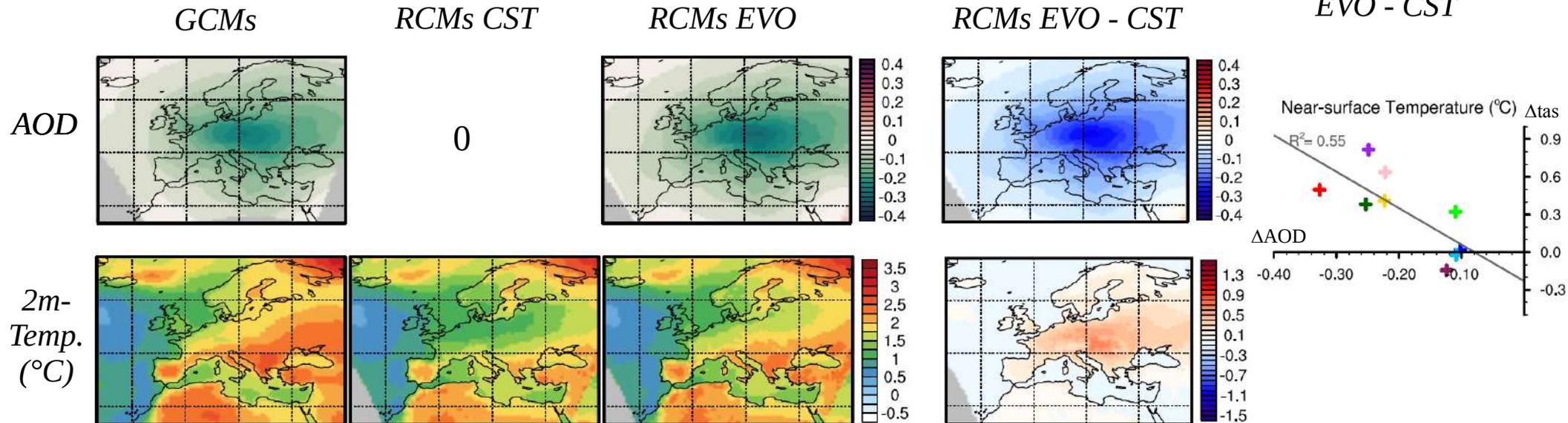


Résultats (2/4) : Aérosols et température

- Réchauffement plus fort en Europe pour RCM_{ev0} que pour RCM_{cst}, en cohérence avec rlds
- Relation statistiquement significative entre les changements futurs de température (ΔT_{as}) et d'AOD :
 $0.3 \text{ } ^\circ\text{C en } \Delta T_{as} \text{ pour } -0.1 \text{ en } \Delta AOD \text{ en Europe (CEU)}$
- Meilleure cohérence pour la température entre GCMs et RCM_{ev0} qu'entre GCMs et RCM_{cst}
- Pas de signal sur l'océan (pas de couplage dans les RCMs)
- Cependant les résultats varient entre les RCMs (ex : un RCM_{ev0} montre un refroidissement)
 => possible impact de l'évapotranspiration

Future JJA changes (2021-2050 minus 1971-2000) : multi-model averages

**RCM average in CEU
EVO - CST**

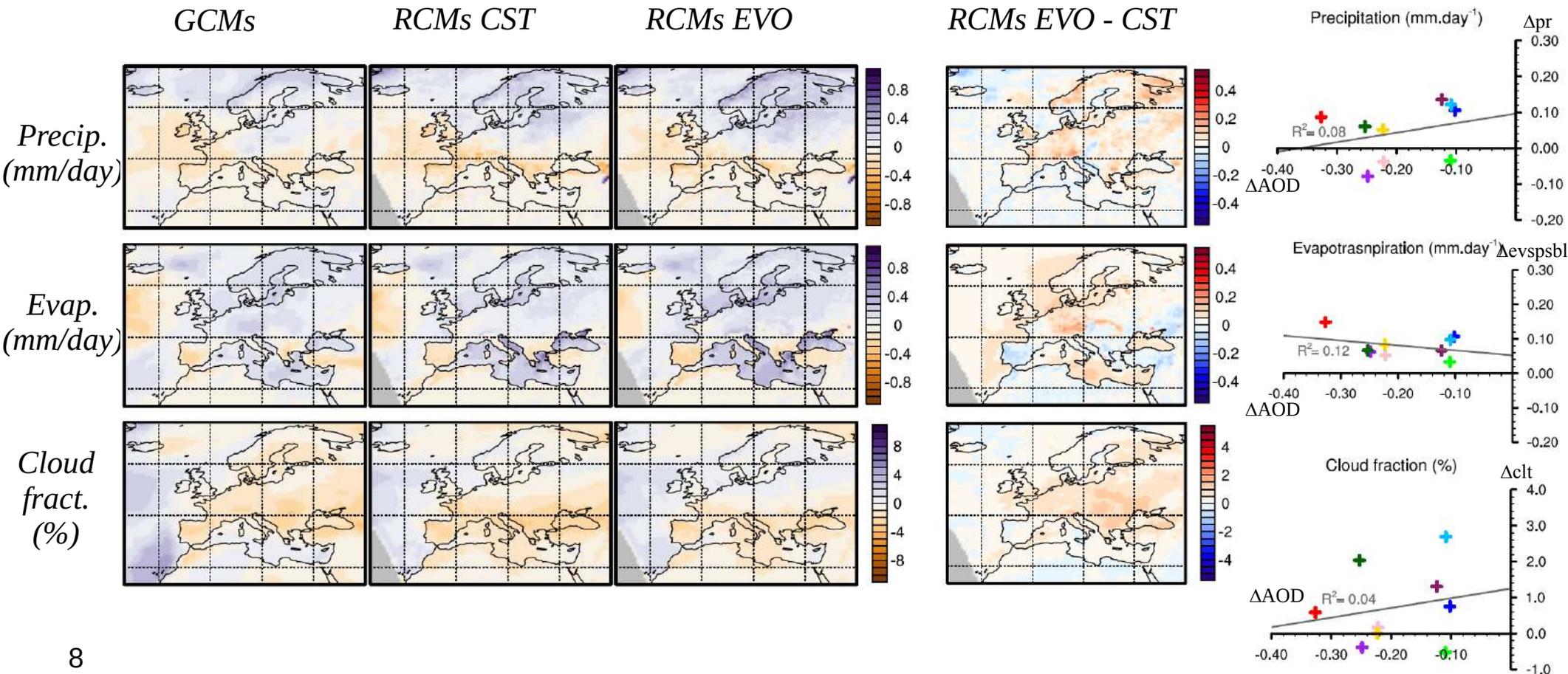


Résultats (3/4) : Aérosols et cycle de l'eau

- Faible augmentation en Europe de l'évapotranspiration (evspsbl), de la fraction nuageuse (clt) et des précipitations (pr) en réponse à la diminution de l'AOD
- Résultats contrastés entre les différents RCMs
- Pas de relation statistiquement significative entre les changements futurs d'AOD et de evspsbl/clt/pr
- Les différences entre RCM_{evo} et RCM_{cst} n'améliorent pas toujours la cohérence GCM/RCM
- Mais elles pourraient expliquer certaines divergences en température

Future JJA changes (2021-2050 minus 1971-2000) : multi-model averages

**RCM average in CEU
EVO - CST**

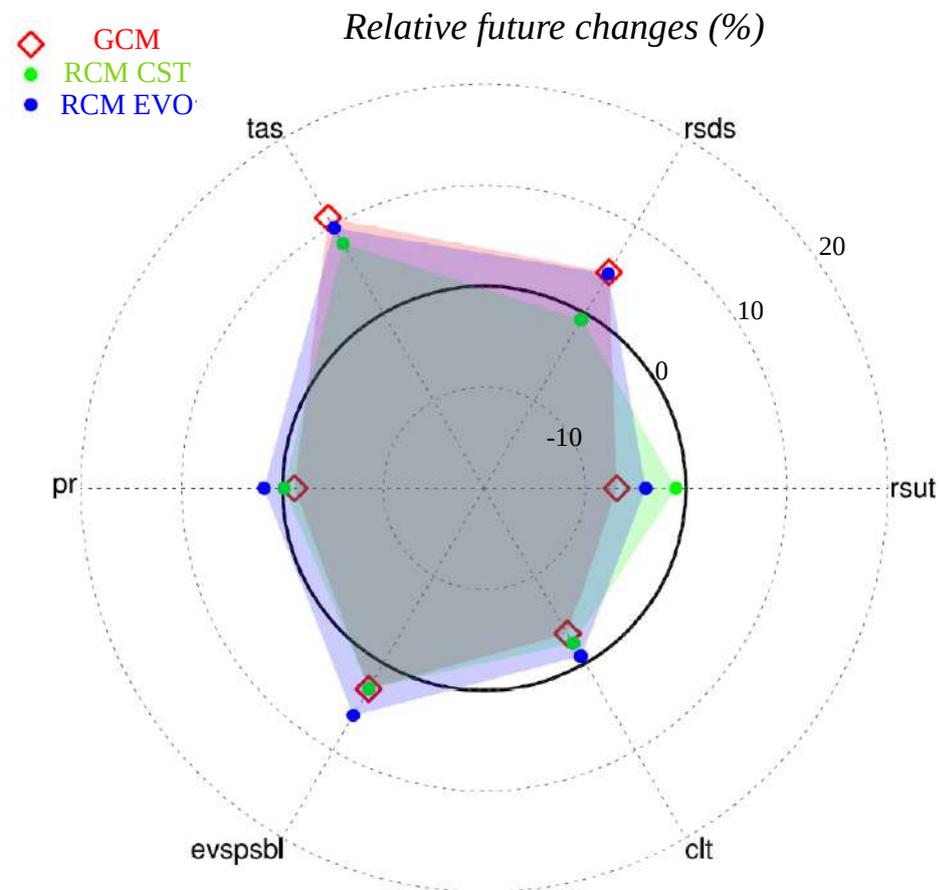
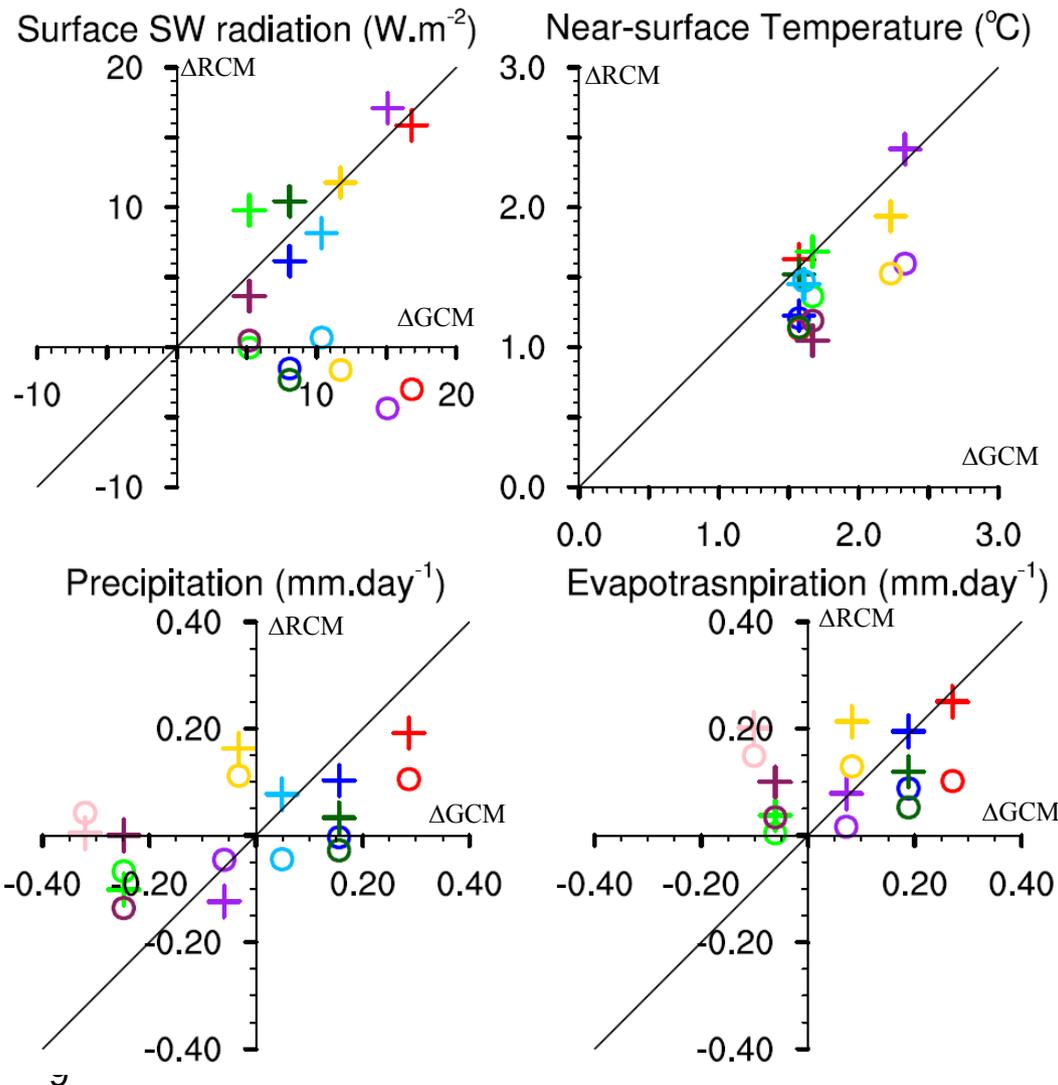


Résultats (4/4) : Cohérence GCM/RCM

- L'évolution des aérosols anthropiques permet d'améliorer la cohérence GCM/RCM pour le rayonnement solaire (surface/TOA) et la température en surface
- Pas d'amélioration significative pour le cycle hydrologique (précipitations, évapotranspiration, nuages)

GCM/RCM consistency in JJA future changes (2021-2050 minus 1971-2000, CEU region)

○ RCM CST + RCM EVO



Conclusions et perspectives

- Première étude régionale multi-modèle établissant les effets des aérosols anthropiques sur le climat futur de la région euro-méditerranéenne
- Effets significatifs de l'évolution future des aérosols anthropiques sur :
 - Le rayonnement solaire (surface et sommet de l'atmosphère) : $+6.7 \text{ W/m}^2$ en *rsds* et -7.7 W/m^2 en *rsut* par -0.1 en AOD en Europe (CEU)
 - La température en surface : 0.3 °C en *tas* pour -0.1 en AOD en Europe (CEU)
- Effets plus contrastés des aérosols sur le cycle hydrologique
- Amélioration de la cohérence GCM/RCM pour les signaux du changement climatique pour le rayonnement et la température (mais pas pour le cycle hydrologique)
- Deuxième phase de CORDEX à venir (à partir des modèles CMIP6) => l'évolution des aérosols anthropiques est explicitement recommandée dans le protocole !

Merci pour votre attention !

Contact: pierre.nabat@meteo.fr