

Tests de sensibilité du code radiatif ECRAD sur les températures dans le modèle ARPEGE

Abdelhak BAHLOULI ^a

Abstract

Ce travail rentre dans le cadre des activités de recherche et développement inscrites dans le projet ALADIN. Il consiste à tester le nouveau schéma du code radiatif du Centre Européen ECRAD avec le solveur SPARTACUS dans le modèle ARPEGE. Les prévisions de températures obtenues sur huit (08) domaines régionaux, en utilisant ce nouveau schéma, ont été comparées aux températures simulées par ARPEGE couplé au schéma SRTM avec le solveur McICA. Les références utilisées dans le calcul des scores sont les analyses du modèle du centre européen, les radiosondages et la version ARPEGE opérationnelle.

Les scores calculés avec le nouveau schéma ECRAD montrent une nette amélioration de la prévision des températures par rapport à l'opérationnel.

Keywords

Schéma ECRAD, Solveur SPARTACUS, schéma radiatif

^aPrévision Numérique du Temp, Office national de la météorologie, Dar El Beida, Alger

*Correspondant: abdouzin403@gmail.com

Contents

Introduction	1
1 Présentation du schéma ECRAD :	2
1.1 Modules et options	2
1.2 Schémas du recouvrement nuageux dans ECRAD :	2
2 Résultats et discussions	3
2.1 Description des simulations	3
2.2 Analyse des résultats	3
3 Conclusion	4
References	4

Le rayonnement est considéré comme l'un des processus physiques les plus importants dans le système atmosphérique terrestre. En fait, il est le seul moyen par lequel le système Terre-atmosphère peut échanger de l'énergie avec le reste de l'univers. De ce fait, l'importance d'une représentation correcte de ce processus dans les modèles du climat ou de prévision numérique du temps vient de cette considération.

Le calcul des flux radiatifs dans les deux domaines de longueur d'onde, visible et infrarouge, s'effectue en utilisant les variables prévues de température, d'humidité, de nuage et la climatologie de différents types d'aérosols et les principaux gaz (CO₂, O₃, N₂O ...). Dans le système ARPEGE/IFS, le code de rayonnement est basé sur le modèle RRTM (Rapid Radiation Transfert Model :[1]). Les interactions nuage-radiation sont calculées dans ce système en utilisant les valeurs de la fraction nuageuse, la teneur en eau liquide, la glace et la neige via le schéma de McICA (Monte Carlo Independent Column Approximation : [2]). Ce schéma est introduit dans le système RRTM du modèle

de centre européen depuis le 5 juin 2007 à partir du cycle Cy32r2 ([2]).

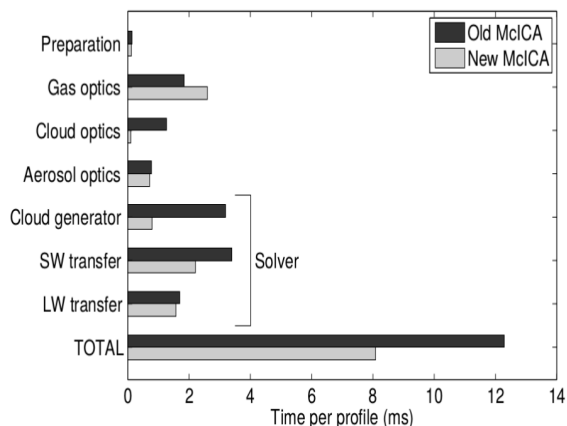
Dans le modèle IFS, la résolution de l'équation de transfert radiatif est très coûteuse en termes de temps de calcul, en raison de l'intégration de cette équation sur les 112 intervalles spectraux pour le domaine visible et 140 intervalles spectraux pour le domaine infrarouge. Des réductions de ce temps ont été obtenues, selon la configuration du modèle, en utilisant une grille réduite ou/et en déminant la fréquence d'appel au code radiatif dans le modèle. Le tableau 1 montre le coût de calcul du schéma radiatif McRad-RRTM avec différentes grilles horizontales et une fréquence d'appel horaire pour une configuration du modèle avec une troncature de TL799 et 91 niveaux verticaux.

Un nouveau schéma de rayonnement plus flexible ECRAD est introduit au modèle du centre européen depuis le cycle 43r3 en 2017. Sa flexibilité permet d'activer ou de désactiver les différents composants de ce schéma plus facilement et de basculer entre les différents solveurs, d'une manière indépendante, pour représenter les processus non capturés dans le schéma précédent, tel que la diffusion des ondes longues (Costa et Shine, 2006) et le transport 3D du rayonnement à travers les parois des nuages (Hogan et al., 2006). Ce qui n'est pas le cas dans le schéma précédent. Du point de vue informatique, la technique d'échantillonnage spectrale introduite au schéma RRTM par Bozzo et al. (2014), permet des appels plus fréquents au code radiatif, ce qui améliore largement la qualité de la prévision notamment après l'introduction de la solution de Hogan et Bozzo (2015) aux problèmes d'erreurs côtières.

La figure 1 montre le temps de calcul moyen obtenu par le nouveau schéma par rapport à l'ancien schéma.

Ces avantages ont encouragé Météo France à adapter ce nouveau schéma à son système de prévision basé sur

Figure 1. Temps de calcul moyen obtenu par le nouveau schéma New McICA par rapport à l'ancien schéma Old McICA.



ARPEGE. Le travail de codage est déjà effectué au niveau du GMAP. Dans ce travail, nous allons nous focaliser aux tests de sensibilité de ce schéma sur les températures dans le modèle ARPEGE. Nous avons utilisé pour réaliser ces tests le solveur SPARTACUS (Speedy Algorithm for Radiative Transfer through Cloud Sides) avec un schéma de recouvrement nuageux EXP-RAN.

1. Présentation du schéma ECRAD :

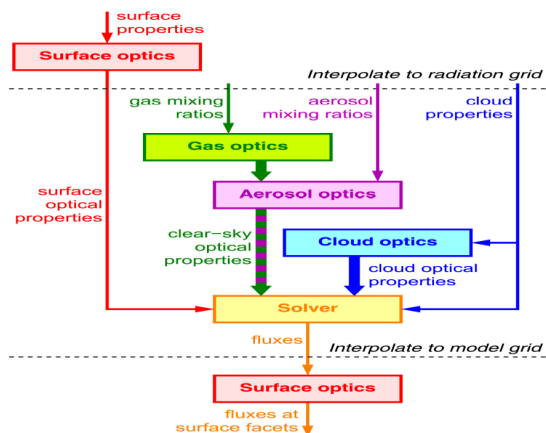
ECRAD est un nouveau schéma radiatif entièrement modulaire et très flexible. Il est disponible gratuitement en version Offline URL et également comme partie du code OpenIFS à partir du cycle 43r3. Il est également disponible dans la suite ARP-IFS à partir du cycle cy44, mais n'est pas encore utilisé de manière opérationnelle. ECRAD est plus un module de transfert radiatif qu'un schéma radiatif. En effet, il dispose de toute une gamme d'options, lui permettant d'une part de reproduire au plus près les paramétrisations antérieures (SRTM et RRTM), en les remplaçant avantageusement grâce à de meilleures performances (30% de gain en coût de calcul en moins pour IFS : SRTM-ECRAD) (bien qu'une reproductibilité exacte ne soit pas possible). D'autre part, il donne accès à différentes options supplémentaires. ECRAD est composé de cinq composantes largement indépendantes (figure 2).

Modules et options

ECRAD est constitué de cinq modules pratiquement indépendants. Chacun de ces modules peut être paramétré indépendamment des autres. Ceci est un des progrès majeurs effectués par rapport à l'existant.

- **Optique des gaz :** Ce module calcule l'absorption et la diffusion du gaz dans chaque intervalle spectral et dicte la résolution spectrale, qui est l'un des principaux facteurs déterminant le coût de calcul de l'ensemble du schéma.

Figure 2. Schéma illustrant les cinq modules du schéma ECRAD



- **Optique des aérosols :** Ce module prend en charge la contribution des différents aérosols aux propriétés optiques en ciel clair. Le nombre d'espèces d'aérosols et leurs propriétés optiques sont configurables à l'exécution du modèle.
- **Optique des nuages :** En plus de paramétrisations disponibles dans le schéma McRAD, ECRAD utilise pour les nuages liquides la paramétrisation utilisée par le centre UKMET Office. Pour les nuages de glace, le schéma Fu (Fu, 1996) est toujours utilisé.
- **Solveur :** Ce module tient compte de la fraction nuageuse pour fusionner les propriétés optiques de ciel clair et nuageux, de l'hétérogénéité et du chevauchement, et du calcul pour chaque intervalle spectral le profil des flux de rayonnement. Un seul solveur disponible dans l'ancien schéma (McICA sans la diffusion dans l'intervalle infrarouge) par contre pour le schéma ECRAD, trois solveurs sont disponibles : McICA-Améliorée avec possibilité de prise en compte de la diffusion dans l'intervalle infrarouge, les solveurs Tripleclouds et SPARTACUS.

Optique de la surface : Ce module est destiné à représenter l'interaction radiative avec des surfaces complexes, telles que les zones urbaines et les forêts (Hogan et al., 2018).

Schémas du recouvrement nuageux dans ECRAD :

La représentation du schéma du recouvrement nuageux dans les modèles de prévision numérique est essentielle pour leurs calculs de transfert radiatif. Le recouvrement des nuages est généralement défini en termes de trois hypothèses de base : maximum, aléatoire ou minimum. Actuellement, trois schémas de recouvrement nuageux sont disponibles dans le schéma radiatif de modèle de CEP : schéma Max-Ran, schéma Exp-Exp et schéma Exp-Ran. Dans notre travail, le calcul des flux radiatifs est effectué en utilisant le solveur SPARTACUS. Ce solveur est un algorithme rapide

Table 1. Valeurs des coefficients A, B, C et D pour le cas d'un seuil de 1 mm.

Configuration	Résul Dyn	Résol Rad	Fréq d'appel	Coût%Rad	Rapport
T_L 799L91					
Ref31R2	799	399	1	7.3	1.000
McRad	799	511	1	36.4	1.456
	799	399	1	26.5	1.262
	799	319	1	19.2	1.147
	799	255	1	13.8	1.076
	799	159	1	6.7	0.994
	799	95	1	3.4	0.960

Table 2. Principales options disponibles dans ECRAD

Optique des gaz	RRTM-G [1]
Optique des nuages liquides	SLINGO [3]
	Lindner et Lee [4]
	SOCRATES
Optique des nuages de glace	FU [5]
	FU et al [6]
	Baran et al [7]
Solveur (SW/LWindépendants)	McICA [8]
	TripleCloude [9]
	SPARTACUS [10]
Schémas de recouvrement nuageux	EXP-EXP
	EXP -RAN
	MAX-RAN

de transfert radiatif à travers les parois du nuages [10]. Il s'agit d'une méthode permettant de traiter efficacement les effets radiatifs 3D associés aux nuages en comptabilisant les flux traversant les parois latérales des colonnes nuageuses. SPARTACUS fonctionne avec le schéma de recouvrement nuageux Exp-Ran[10]. Ce schéma de recouvrement mixte introduit avec à ECRAD permet de palier au recouvrement insuffisant des couches nuageuses non adjacentes [9].

2. Résultats et discussions

Description des simulations

Les tests de sensibilité ont été réalisés en utilisant deux versions du modèle ARPEGE. La première version est basée sur le cycle Cy46t1 (P7KIE) avec l'activation du schéma ECRAD et le solveur SPARTACUS. La deuxième version est basée sur le cycle Cy43 (P7KHB) qui fonctionne avec le schéma SRTM sans l'activation de ECRAD. Les scores calculés avec ces deux configurations ont été ensuite comparés par rapport à l'opérationnel (AP) qui est basé sur le cycle cy43t2. La référence utilisée pour le calcul de ces scores pour les deux configurations (P7KIE et P7KHB) est : l'analyse du modèle de centre européen (AC) et les mesures de radiosondage (TP). La période des tests couvre la période allant du 03 novembre 2019 jusqu'au 13 novembre 2019. Les scores calculés ont été moyennés sur les domaines géographiques ci-dessous :

NORD20 : Lat 20°N - 90°N

SUD20 : Lat 20°S - 90°S

TROPIQUE : Lat 20°S - 20°N

EUROPE : Europe

AMNORD : Amérique du nord

ASIE : l'Asie

AUS-NZ : Australie et New Zealand

EURATL : Europe-Atlantique

Le schéma ECRAD est activé dans ARPEGE via les deux blocs de namelists :

```
&NAERAD
```

```
LUSEPRE2017RAD=.FALSE.,
```

```
LSRTM=.TRUE.,
```

```
&RADIATION
```

```
lw_solver_name='SPARTACUS',
```

Les simulations ont été réalisées sur la machine de Météo France.

Analyse des résultats

Les cartes représentées dans les figures 3, 4, 5 et 6 montrent les différences entre les scores ARPEGE obtenus avec les deux expériences (P7KIE et P7KHB) et l'opérationnel (PA). Ces scores sont calculés par rapport aux références CEP (AC) et radiosondage (TP). Pour ces figures, la colonne de gauche représente l'erreur quadratique moyenne, celle de milieu c'est l'écart-type et à droite matérialise les biais (**Eqm(PA/AC) - Eqm(P7KIE/AC)**, **Ect(PA/AC) - Ect(P7KIE/AC)** et **Biais(PA/AC) - Biais(P7KIE/AC)**).

Généralement, on regarde plutôt les grands domaines géographiques, parce que dans le cas d'une courte expérience, en terme de nombre de simulation et en terme de confiance statistique, c'est plus difficile à interpréter les scores sur les petits domaines. De ce fait, on analyse les résultats obtenus sur les grands domaines précités où les scores sont plus stables. Il est à noter que quand les isolignes sont rouges ça veut dire que les résultats sont dégradés par rapport à l'opérationnel et lorsqu'elles sont en couleur bleu, cela veut dire qu'il y a de l'amélioration. Pour faciliter l'interprétation, nous avons synthétisé ces résultats sous forme de tableau (tableau 4 et 5).

La comparaison par rapport à l'analyse du modèle CEP

Table 3. Noms des simulations réalisées

Versions	Expériences	Schéma	Période	Coût de calcul
ARPEGE (cy46t1)	P7KIE	ECRAD + SPARTACUS	03/11/2019 au 13/11/2019	02:15:19
ARPEGE (cy43t2)	P7KHB	SRTM		02:01:53
Réf CEP	AC			
Réf ARPEGE	PA			
Réf Radio Sond.	TP			

montre une amélioration des scores avec le schéma ECRAD-SPARTACUS au-dessus des cinq domaines suivants : EURATL, AUROPE, AMNORD, ASIE et NORD20. Par contre, une dégradation des scores, avec cette configuration, est enregistrée au-dessus du domaine SUD20.

Par rapport aux observations de radiosondage, la comparaison montre une nette amélioration des scores pour le schéma ECRAD-SPARTACUS pour la plupart des domaines.

3. Conclusion

Le Comportement du schéma ECRAD avec le solveur SPARTACUS pour les températures est similaire au comportement du schéma SRTM avec le solveur McICA. Cependant, lorsqu'on s'éloigne un peu du point de départ, on retrouve toujours des biais chauds dans les basses couches mais plus faibles par rapport au schéma SRTM-McICA. Dans les couches supérieures, une nette amélioration des biais froids est repérée pour le schéma ECRAD.

En terme du temps de calcul, le branchement d'ECRAD-SPARTACUS coûte 14 mn de plus par rapport au schéma SRTM, ce qui est loin de l'objectif visé. Ceci est dû à la manière dans laquelle ce schéma est branché dans ARPEGE. Un travail d'optimisation du code est nécessaire pour réduire ce coût de calcul supplémentaire. Une étude approfondie sur le module ECRAD avec SPARTACUS est recommandée pour tester les différents schémas du recouvrement nuageux avec le solveur SPARTACUS.

References

- [1] Eli J Mlawer, Steven J Taubman, Patrick D Brown, Michael J Iacono, and Shepard A Clough. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: Rrtm, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14):16663–16682, 1997.
- [2] JJ Morcrette, Howard W Barker, JNS Cole, Michael J Iacono, and Robert Pincus. Impact of a new radiation package, mcrad, in the ecmwf integrated forecasting system. *Monthly weather review*, 136(12):4773–4798, 2008.
- [3] A Slingo. A gcm parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *Journal of Atmospheric Sciences*, 46(10):1419–1427, 1989.
- [4] TH Lindner and J Li. Parameterization of the optical properties for water clouds in the infrared. *Journal of Climate*, 13(10):1797–1805, 2000.
- [5] Qiang Fu. An accurate parameterization of the solar radiative properties of cirrus clouds for climate models. *Journal of Climate*, 9(9):2058–2082, 1996.
- [6] Qiang Fu, Ping Yang, and WB Sun. An accurate parameterization of the infrared radiative properties of cirrus clouds for climate models. *Journal of climate*, 11(9):2223–2237, 1998.
- [7] Anthony J Baran, Peter Hill, Kalli Furtado, Paul Field, and James Manners. A coupled cloud physics–radiation parameterization of the bulk optical properties of cirrus and its impact on the met office unified model global atmosphere 5.0 configuration. *Journal of Climate*, 27(20):7725–7752, 2014.
- [8] Robert Pincus, Howard W Barker, and Jean-Jacques Morcrette. A fast, flexible, approximate technique for computing radiative transfer in inhomogeneous cloud fields. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13), 2003.
- [9] Jonathan KP Shonk and Robin J Hogan. Tripleclouds: An efficient method for representing horizontal cloud inhomogeneity in 1d radiation schemes by using three regions at each height. *Journal of Climate*, 21(11):2352–2370, 2008.
- [10] Sophia AK Schäfer, Robin J Hogan, Carolin Klinger, J Christine Chiu, and Bernhard Mayer. Representing 3-d cloud radiation effects in two-stream schemes: 1. longwave considerations and effective cloud edge length. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(14):8567–8582, 2016.

TEMPERATURE:PA.r 00/AC(Ref)-P7KHB.r 00/AC(Exp)
(.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 102 h du 20191103 au 20191117

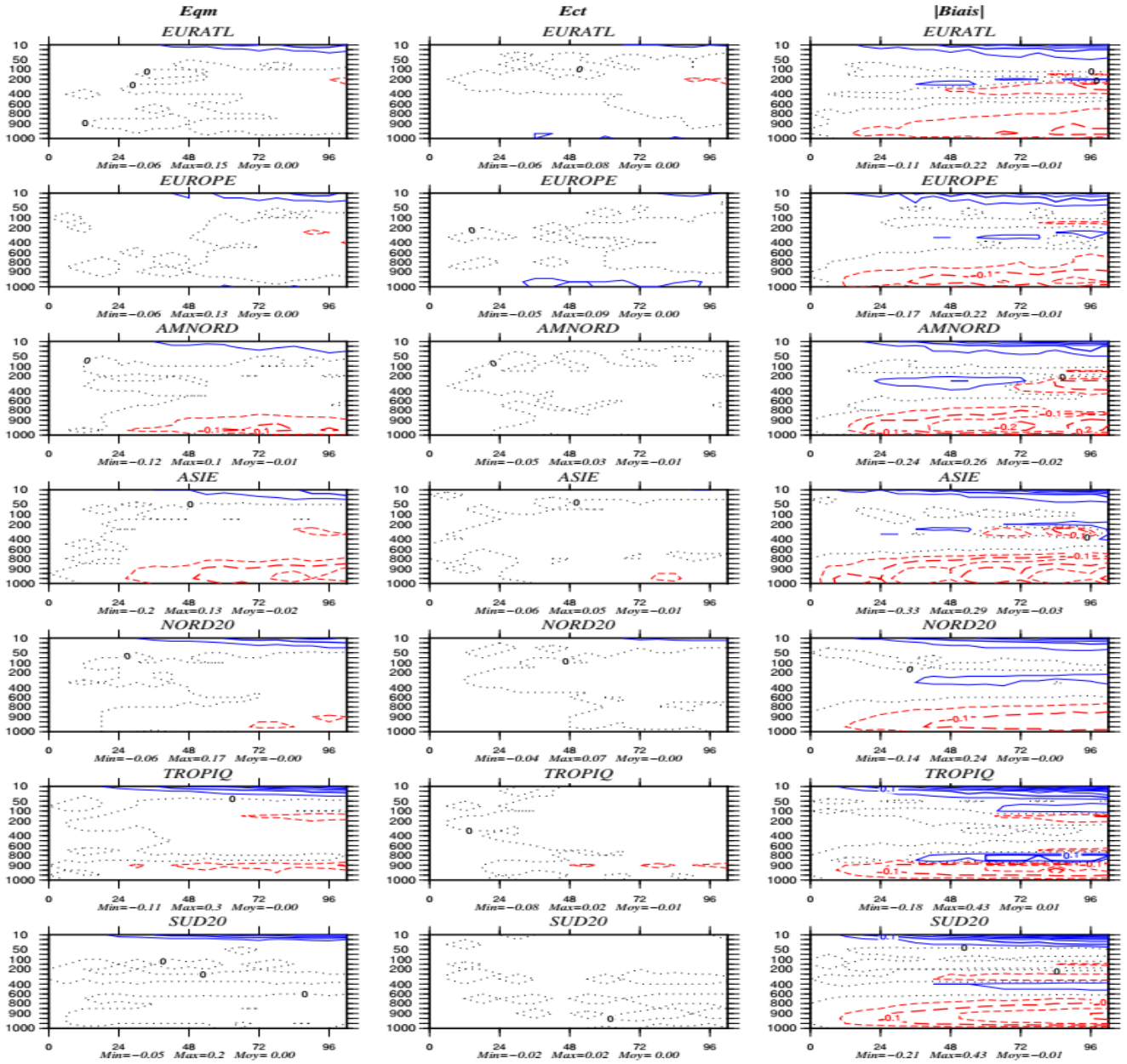


Figure 3. Différences des scores obtenus par P7KHB par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est fournie par l'analyse du Centre Européen (AC). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

TEMPERATURE:PA.r 00/TP(Ref)-P7KHB.r 00/TP(Exp)
(.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 96 h du 20191103 au 20191117

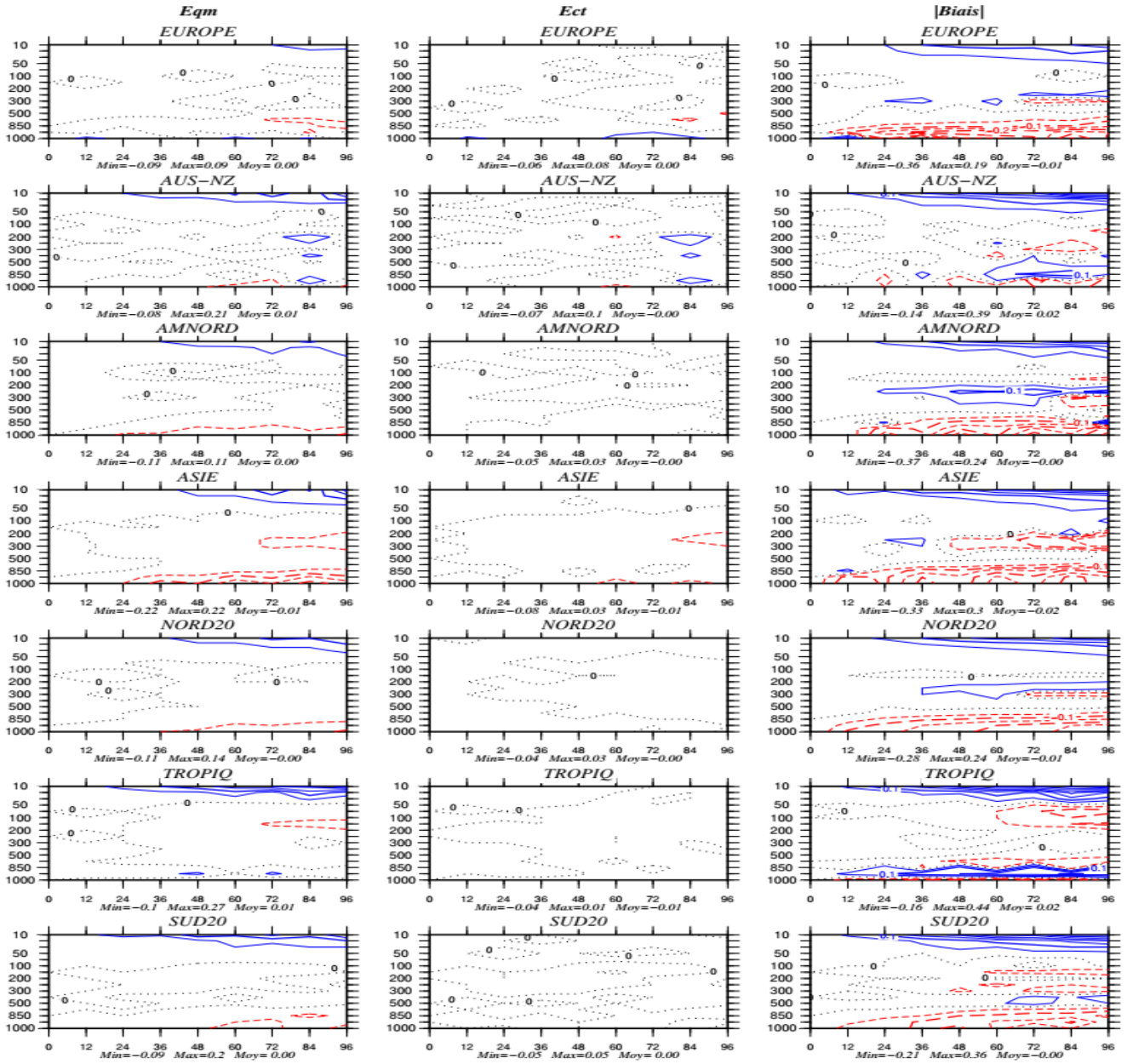


Figure 4. Différences des scores obtenus par P7KHB par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'observation radiosondage (TP). Tous les scores sont calculés pour la température : biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

TEMPERATURE:PA.r 00/AC(Ref)-P7KIE.r 00/AC(Exp)
(.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 96 h du 20191103 au 20191117

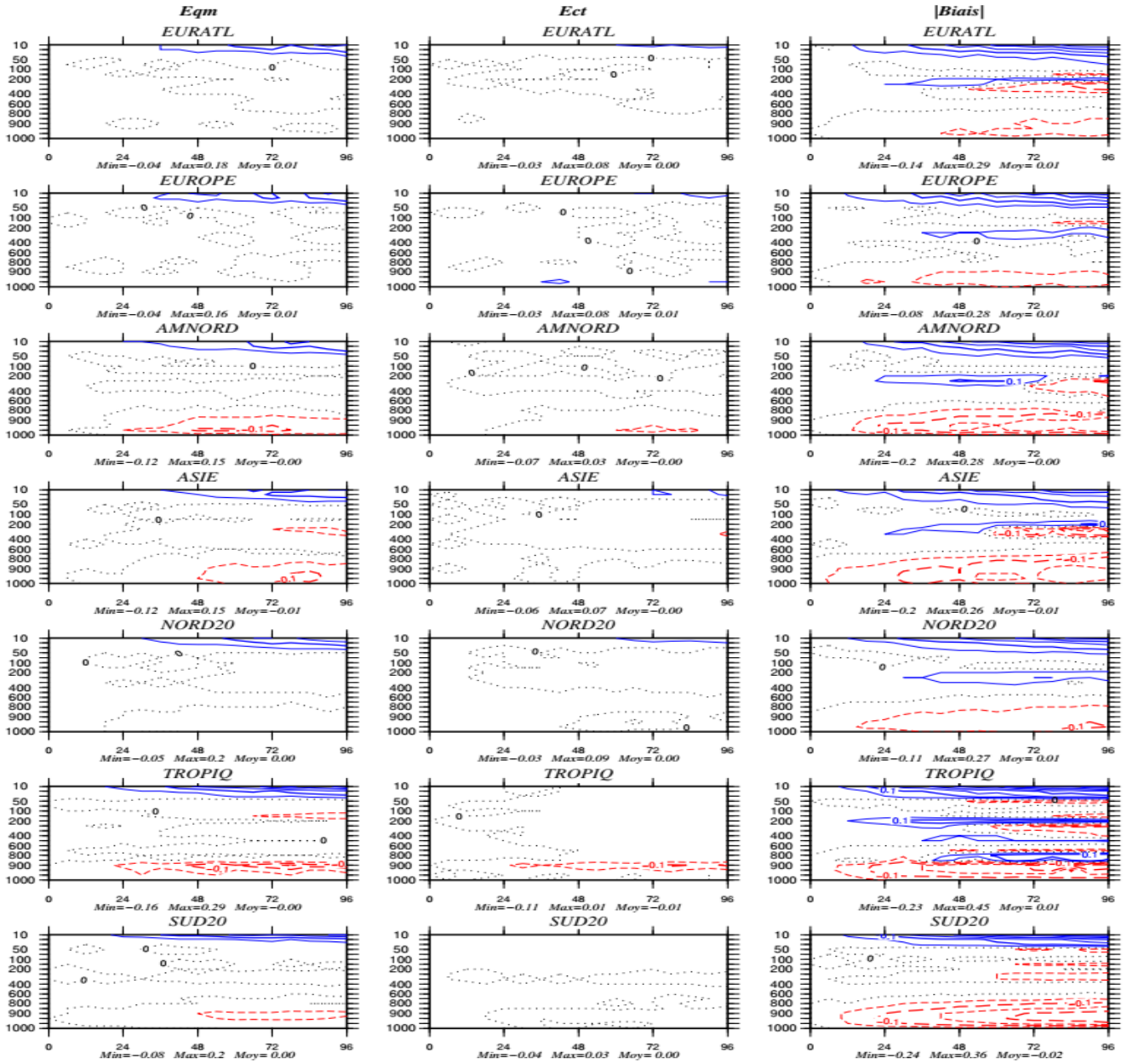


Figure 5. Différences des scores obtenues par P7KIE par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'analyse de centre européen (AC). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

TEMPERATURE:PA.r 00/TP(Ref)-P7KIE.r 00/TP(Exp)
(.0500 K)

11 simulations (500hPa) de 96 h du 20191103 au 20191117

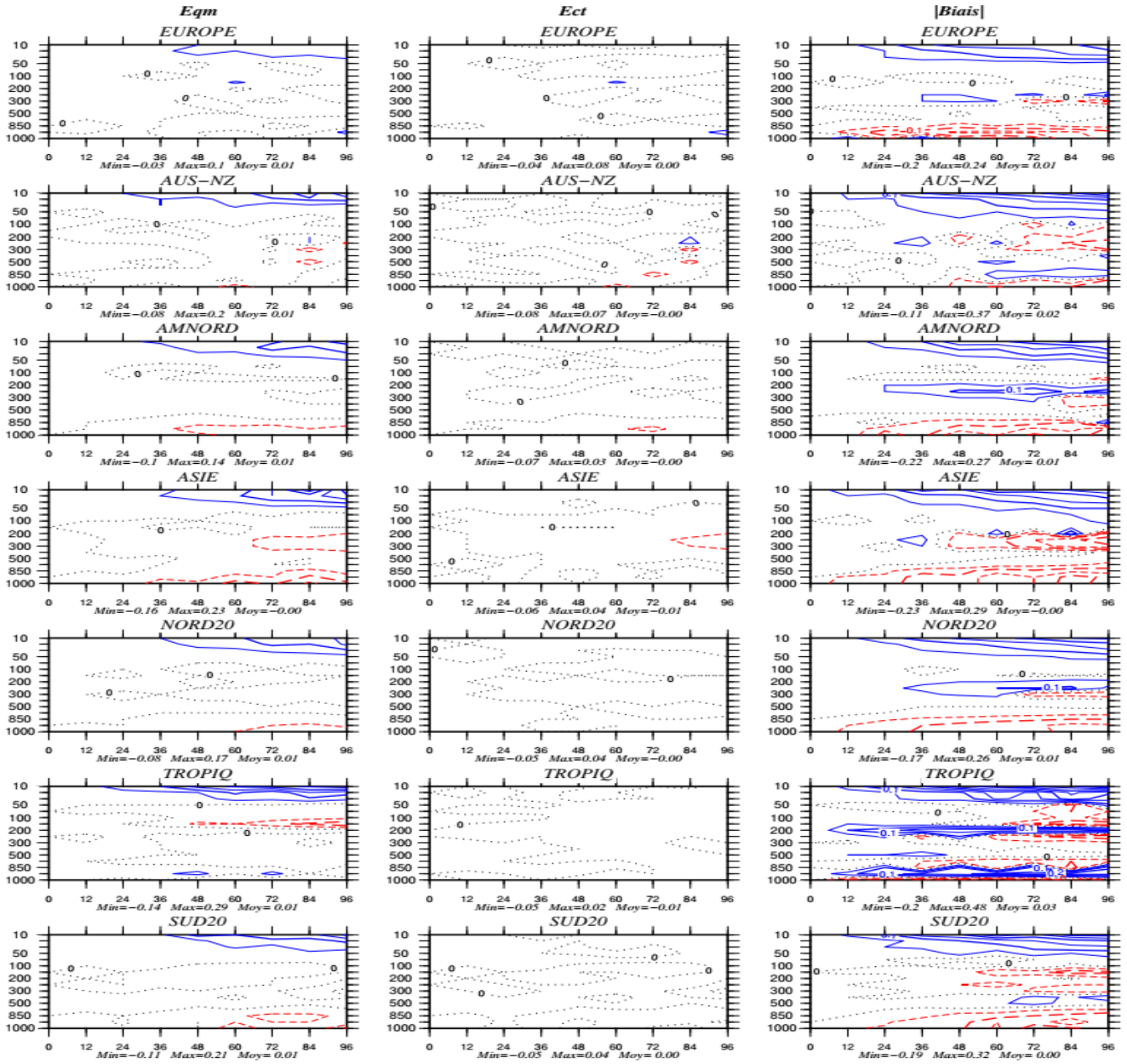


Figure 6. Différences des scores obtenues par P7KIE par rapport à la version opérationnelle d'ARPEGE (PA). La référence est l'observation radiosondage (TP). Tous les scores sont calculés pour la température: biais (droite), écart-type (centre) et erreur quadratique moyenne (gauche) pour différents domaines géographiques : NORD20, SUD20 et TROPIQUE. Les isolignes bleues correspondent à une amélioration et les rouges à une dégradation.

Table 4. Les caractéristiques de la Configuration AROME 500m

	eqm		ect		biais		moyenne	
	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE
EURATL	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01		+
EUROPE	0.00	0.01	0.00	0.01	-0.01	0.01		+
AMNORD	0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.01		+
ASIE	-0.02	-0.01	-0.01	-0.00	-0.03	-0.01		+
NORD20	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.01		+
TROPIQ	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.01		+
SUD20	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.02	+	

Table 5. Différences des scores par rapport aux radiosondage

	eqm		ect		biais		moyenne	
	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE	P7KHB	P7KIE
EUROPE	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.01		+
AUS-NZ	0.01	0.01	-0.00	-0.00	0.02	0.02		
AMNORD	0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.01		+
ASIE	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00		+
NORD20	-0.00	0.01	-0.00	-0.00	-0.01	0.01		+
TROPIQ	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.02	0.03		+
SUD20	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.00	-0.00	+	