

Evaluation des modèles dans le projet Météo-France SOCLE Outre-Mer



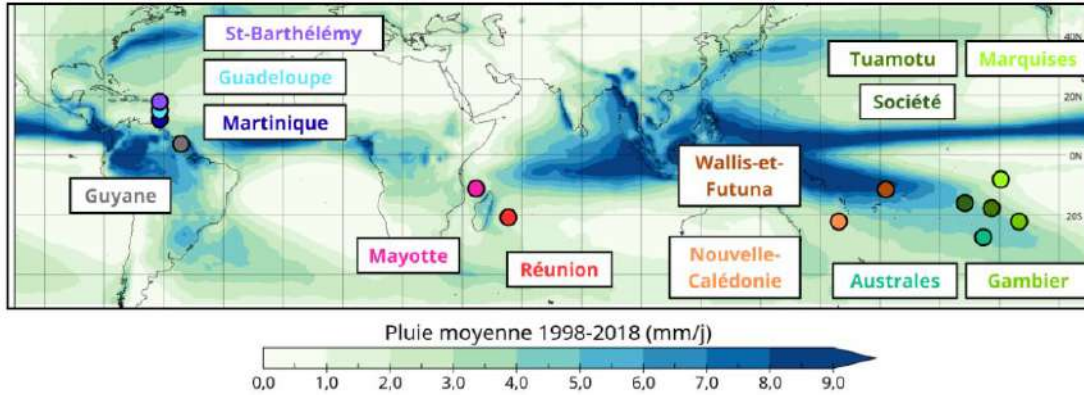
P. Peyrillé

L. Corre, G. Guerbette, E. Cornillault, A. Bel
Madani, C. Dubois, O. Tessiot, P. Cantet, L.
Pourchet, M. Gevaudan, A. Casnin, F. Chauvin

Météo-France

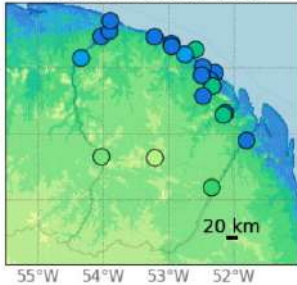
Forte diversité de territoires, climats, de drivers

Climatologie de pluie (MSWEP)

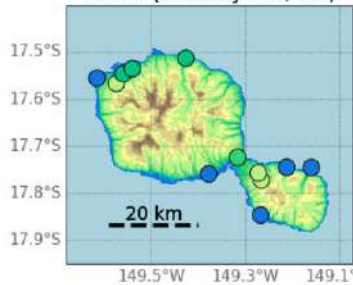


Orographie sur quelques territoires outre-mer

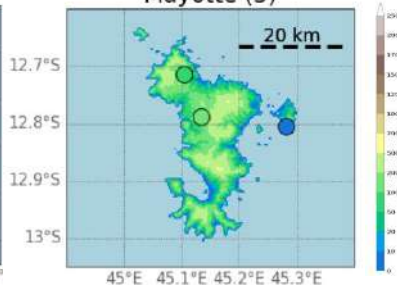
French Guiana (21)



Tahiti (Society Isl., 12)



Mayotte (3)

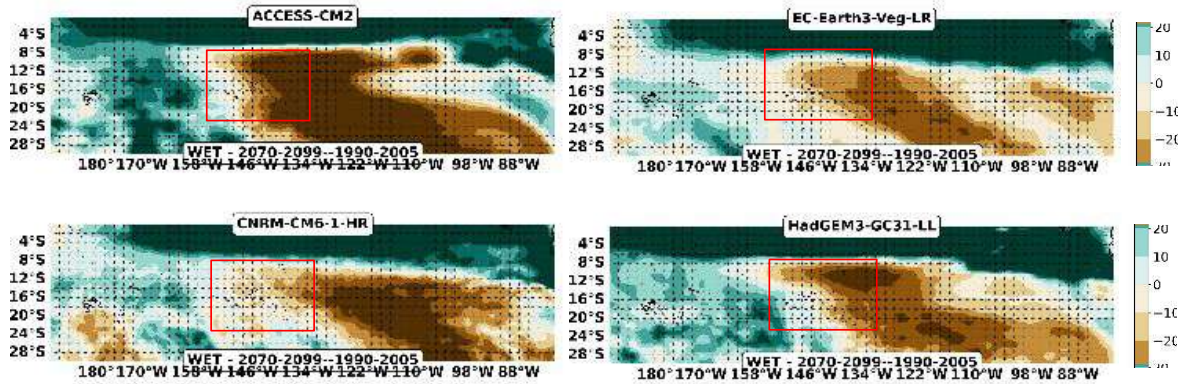


- **Couverture quasi globale** des territoires outre-mer (OM):
c.f. L. Bald et E. Cornillault AG EXTENDING
- **Défi du projet SOCLE-OM:**
Fourniture de données climatiques adaptées à chaque OM (Pluies, Température) sur un timing de 18 mois.

Objectif: Illustrer le travail sur les OM et montrer quelques métriques / cas intéressants pour la communauté

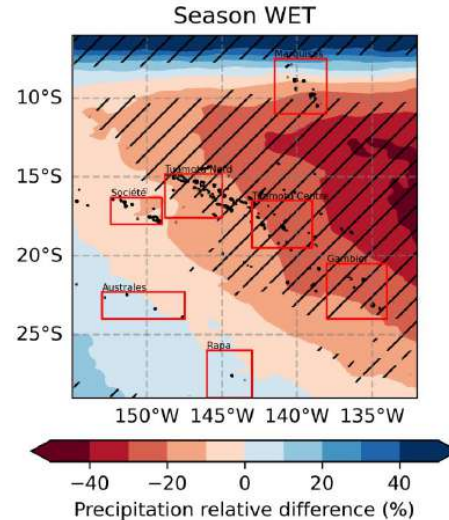
Principe d'évaluation multi-échelles

Changement en pluie futur (%) - (2077-99)-(1990-2005) saison humide
NDJF - SSP585 GCM CMIP6



Domaine de petite échelle, imbriqué dans des structures de grande échelle (ZCPS)

Changement pluie moyen 30 modèles CMIP6



Méthodologie d'évaluation et sélection

MODÈLES NON-CORRIGÉS

- Globaux - régionaux
- Basse - haute résolution

EVALUATION DU CLIMAT PRÉSENT PR, TAS

- Variabilité, Etat moyen
- Identification des métriques discriminantes
- Définition de seuils discriminants

MODÈLES PERFORMANTS PAR OM

ANALYSE DU CLIMAT FUTUR

(niveau de réchauffement régional fixé)

- Changement futur en pluie, ratio terre /mer
- Sensibilité à la sélection et outlier
- Contraintes émergentes quand pertinent

SÉLECTION FINALE DES MODÈLES

- Garder une diversité de modèles
- Spécifique au domaine
- Distribution des changements de pluie futurs

• Modèles et jeux de référence:

- 30 modèles CMIP6, 1-10 à 41 RCMs par OM → différentes générations de Cordex-CMIP
- 2 modèles descente d'échelle à résolution km produit à Météo-France: AROME et ARP-GEM sur quelques OMs
- Jeux de référence = produits grillés (IMERG, MSWEP, GPCP, ERA5)

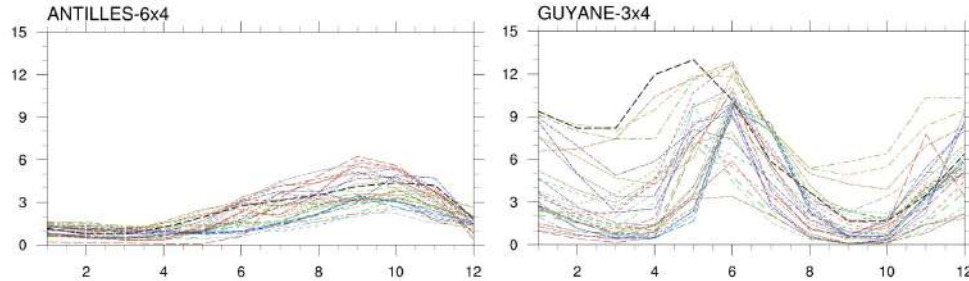
⇒ Deux exemples sur variabilité et état moyen

⇒ Exemple de sensibilité aux domaines OMs

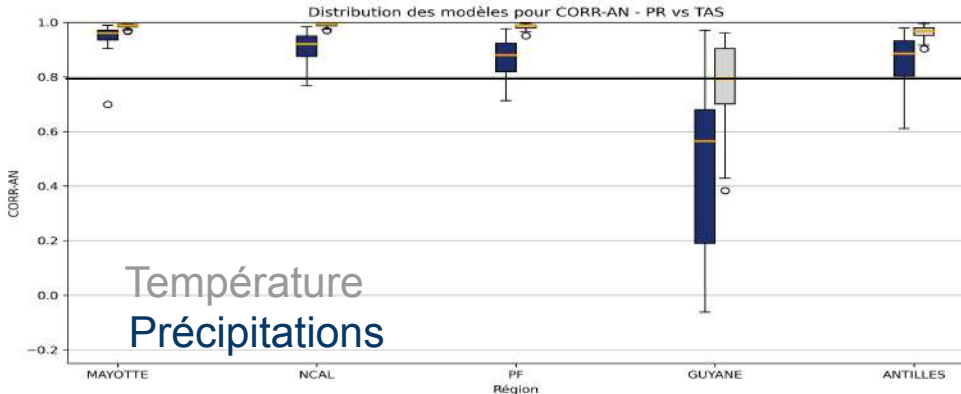
⇒ Exemple de changement futur

Exemple simple mais instructif : Cycle annuel des pluies

Cycle annuel des pluies, 1990-2005, GCM vs MSWEP (noir)



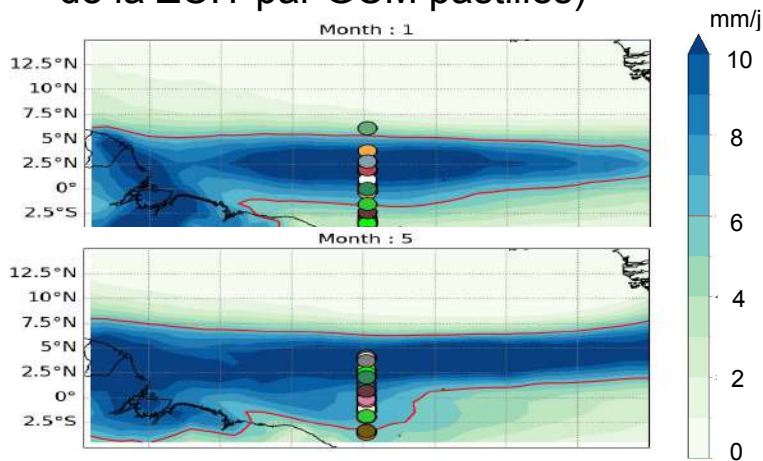
Corrélation GCM vs Observation, pour pluie et température



- Deux régions proches Antilles vs Guyane: performances de modèles très différentes
- **Analyse multi-territoires:**
 - Moindre performance sur Guyane
 - Meilleurs sur température et meilleur en saison humide
- **Seuil de sélection :**
 - Corrélation > 0.8
 - Subjectivité assumée + expertise climat tropical
- **Question récurrente :** biais local compensé par la correction de biais

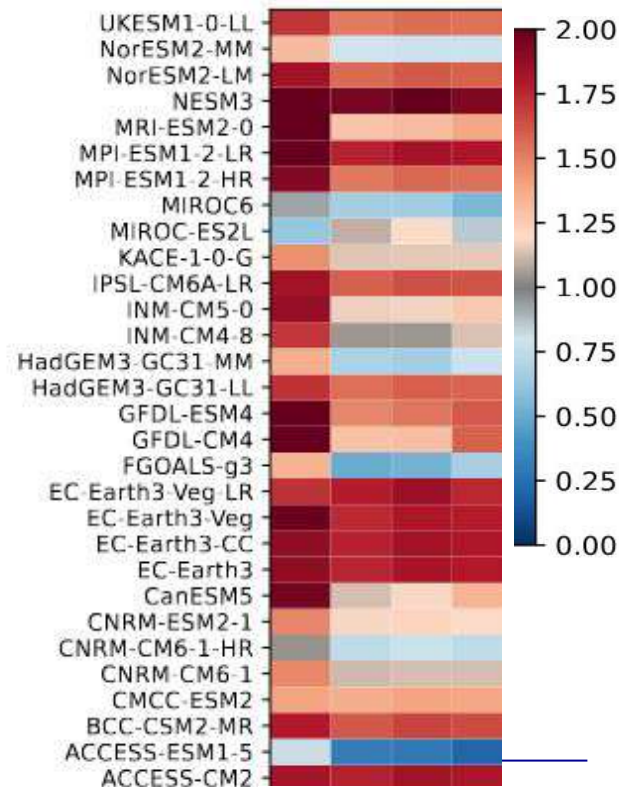
Lien climat local - objet de grande échelle sur la Guyane

Pluie mensuelle (MSWEP) et latitude de la ZCIT par GCM pastilles



- Métriques de caractéristiques de la ZCIT (Brown et al. 2022): latitude, pente, intensité
- **Pour la sélection:** un red flag éliminatoire pour les modèles avec un biais normalisé > 1 . (i.e. biais $> 3^\circ$ latitude) = pas le bon climat local

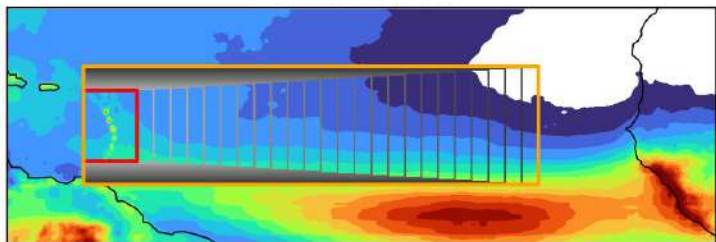
Biais abs. normalisé de latitude de ZCIT



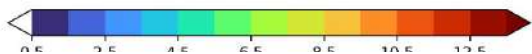
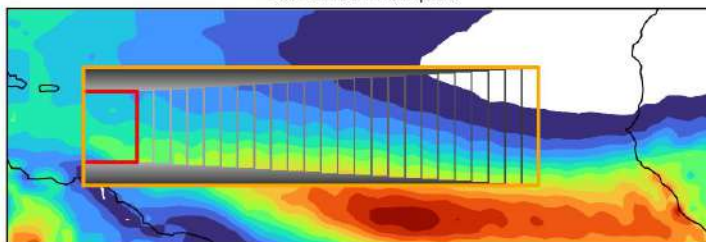
Développement de métriques multi-échelles

Pluie moyenne saison humide 1990-2005

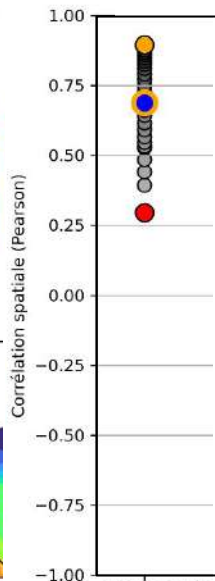
MSWEP (observation)



MPI-ESM-HR



Corrélation spatiale obs vs
Modèle



MPI-ESM-HR

Approche automatique pour échantillonner différentes échelles spatiales :

- limite la subjectivité d'un domaine fixé
- documente les structures climatiques (ZCIT) et locales
- applicable aux GCMs et RCMs sur plusieurs métriques (biais, corrélation spatiale)

Famille de métriques / scores (~ 20-30)

Etat Moyen
(saison humide / sèche)

PDF de Pattern
correlation

S-Score sur boîte
d'intérêt

Biais relatif focus
OM et multi-échelles
de la moyenne des
pluies /température

Biais relatifs de la
ZCIT / ZCPS
(intensité, latitude,
pente, extension)

Variabilité multi-
échelles

Corrélation
cycle annuel
moyen
(mensuel)

RMSE cycle
annuel moyen
(mensuel)

Biais relatif de
corrélacion
ENSO vs
moyenne locale
Pr,T

Métriques
ENSO PCMDI

Fréquence/ intensité
des pluies

Biais relatif en
variance des pluies

Biais relatif de la
variance par échelle
de temps
(intrasaisonnier,
interannuel)

Changements
futurs

Différence de pluie à
niveau RWL fixé

ZCIT / ZCPS

Ratio de
réchauffement
terre/mer

Méthode de sélection

Grille de sélection appliquée par OM:

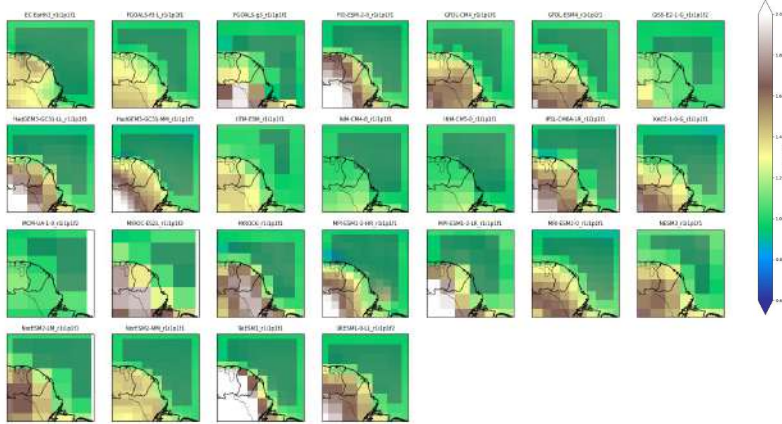
Jaune= métrique discriminante - Rouge= red flag

VARIABLE	Seuils de sélection / Poids	ANTILLES	GUYANE	MAYOTTE	NCAL	PF
CYCLE ANNUEL	RMSE > 0,5 +1	X	X	X	X	X
CYCLE ANNUEL	CORR < 0,8 +1	X	X	X	X	X
CORR NINO3.4	Biais norm > 1 +1	vs Temp.	vs Temp.	vs Temp.	vs Pr. Temp.	vs Pr. Temp.
CORR IOD	Biais norm > 1 +1			X		
VARIANCE PLUIE TOTALE	Biais norm > 1 +1	X	X	X	X	X
VARIANCE ECHELLE TEMPORELLE PLUIE	Biais norm > 1 +1	SYNOPTIQUE ATLANTIQUE		INTERANNUELLE	INTERANNUELLE	INTERANNUELLE
ENSO PCMDI METRICS (4)	0,25 par score +0,25-1					X
ETAT MOYEN						
PDF CORR. PATTERN	mediane < 0,5 +1 mediane < 0 +2	X	X	X	X	X
ETAT MOYEN LOCAL	Biais norm > 0,3 +1	X	X	X	X	X
PDF ETATS MOYENS	mediane < 0,3 +1		X	X	X	X
PENTE ITCZ / SPCZ	Biais norm > 1 +1				X	X
LAT. ITCZ / SPCZ	Biais norm > 1 +1		X	X	X	X
DELTA PLUIE FUTUR						
LIEN BIAIS HISTO. VS DELTA P	significatif => rejet	X	X	X	X	X
Score à obtenir pour sélection:		< 2	< 3	< 2	< 2	< 3

- **Sélection de 6-8 métriques adaptées et discriminantes par OM**
- Volonté de garder une diversité de modèles (GCM, RCM)
- **Mode de sélection “pénalisant”, région par région, avec une part de subjectivité assumée**

⇒ pas de sélection universelle, la performance dépend du territoire et des processus dominants.

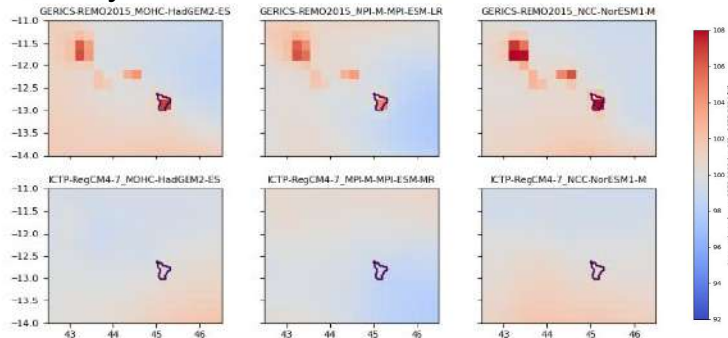
Guyane Ratio terre/mer du changement en pluie



Représentation du territoire et ratio de réchauffement terre/mer

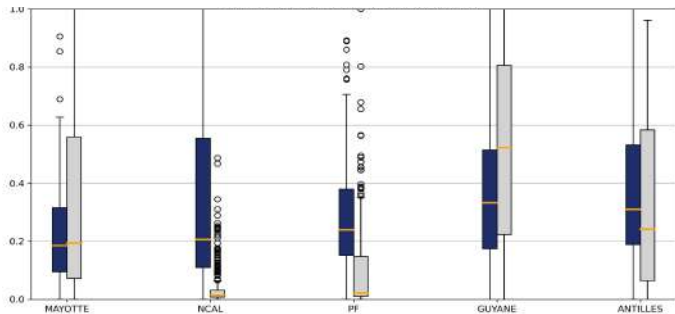
- Principe de garder les modèles qui représentent explicitement l'île même si évaluation défailante ou GCM forceur défaillant

Mayotte



⇒ permet de garder une diversité de modèles (GCM/RCM)

Synthèse des scores en Biais normalisé (état moyen + variabilité)



GCMs retenus par OM sur métriques sélection

	ANTILLES	GUYANE	MAYOTTE	N. CALEDONIE	POLYNESIE FR.
ACCESS-CM2	Green	Green	Green	Green	Green
ACCESS-ESM1-5	Green	Green	Green	Green	Green
BCC-CM2-MR	Green	Green	Green	Green	Green
CanESM2	Green	Green	Green	Green	Green
CMCC-ESM2	Green	Green	Green	Green	Green
CNRM-CM6-1	Green	Green	Green	Green	Green
CNRM-CM6-1-HR	Green	Green	Green	Green	Green
CNRM-ESM2-1	Green	Green	Green	Green	Green
EC-Earth3-CC	Green	Green	Green	Green	Green
EC-Earth3	Green	Green	Green	Green	Green
EC-Earth3-Veg	Green	Green	Green	Green	Green
EC-Earth3-Veg-LR	Green	Green	Green	Green	Green
FGOALS-g3	Green	Green	Green	Green	Green
GFDL-CM4	Green	Green	Green	Green	Green
GFDL-ESM4	Green	Green	Green	Green	Green
HadGEM3-GC31-LL	Green	Green	Green	Green	Green
HadGEM3-GC31-MM	Green	Green	Green	Green	Green
INM-CM4-8	Green	Green	Green	Green	Green
INM-CM5-0	Green	Green	Green	Green	Green
IPSL-CM5A-LR	Green	Green	Green	Green	Green
KACE-1-0-G	Green	Green	Green	Green	Green
MIROC6	Green	Green	Green	Green	Green
MIROC-ES2L	Green	Green	Green	Green	Green
MPI-ESM1-2-HR	Green	Green	Green	Green	Green
MPI-ESM1-2-LR	Green	Green	Green	Green	Green
MRI-CM2-0	Green	Green	Green	Green	Green
NIESM3	Green	Green	Green	Green	Green
NorESM2-LM	Green	Green	Green	Green	Green
NorESM2-MM	Green	Green	Green	Green	Green
UKESM1-0-LL	Green	Green	Green	Green	Green

Performance des modèles selon les Outre-Mers

- Performance agrégée très variable selon les OMs
- Peu de GCMs passent le test d'évaluation sur tous les OM : Bon benchmark pour les futures versions de modèles
- **Sélection:** Reflet du nombre de modèles disponibles et de leur performance
 - 30 GCMs, 41 RCMs sur N. Calédonie : 41 modèles sélectionnés
 - 30 GCMs, 10 RCMs sur Guyane: 10 modèles sélectionnés

Conclusion

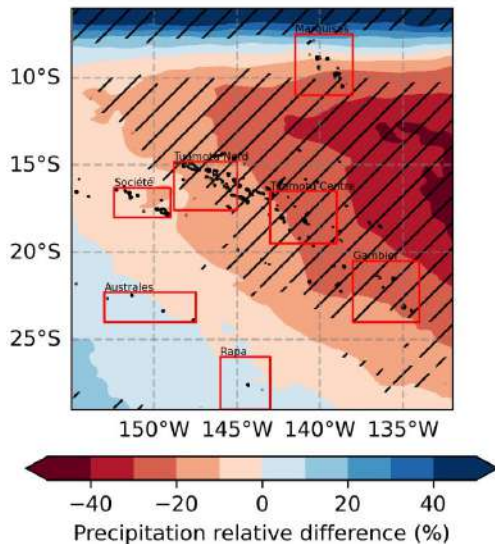
- **Jeu de métriques multi-échelles adapté pour les GCM, RCM et ciblé tropiques:**
 - Package de métriques en cours de portage (Avr. 2026) disponible à la communauté, très complémentaire des diagnostics PCMDI
 - ⇒ objectif de limiter la subjectivité: Quantifier l'incertitude des observations vs modèles
- **Invitation à utiliser les domaines, jeux de données et métriques SOCLE-OM:**
 - Focus outremer: bon échantillon de la ceinture tropicale + excellent banc d'essai pour les modèles
 - Adapter l'approche vers la petite échelle: Jeux de référence grillé 3 km (c.f. P. Cantet AG Extending)
 - ⇒ Besoin de renforcer en amont notre compréhension de processus et sources de biais
- **Perspective:**
 - Aller vers d'autres paramètres → évaluation orientée processus : Régime de vents, régimes de temps, extrêmes (c.f. A.G Extending : L. Bald, E. Cornillault, A. Bel Madani, P. Peyrillé)
 - Besoin d'adapter les métriques à la plus value de chaque modèle : CP-RCM, RCM, CP-GCM (en cours): ⇒ une méthodologie à définir pour identifier les plus values de chaque modèle
 - Question ouverte : comment articuler l'évaluation avec la correction de biais

Merci de votre attention

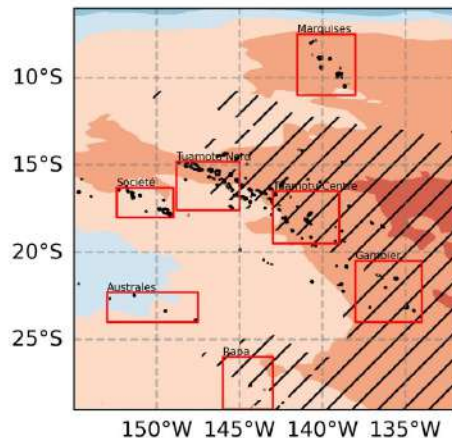
Questions ?

Analyse du changement en pluie

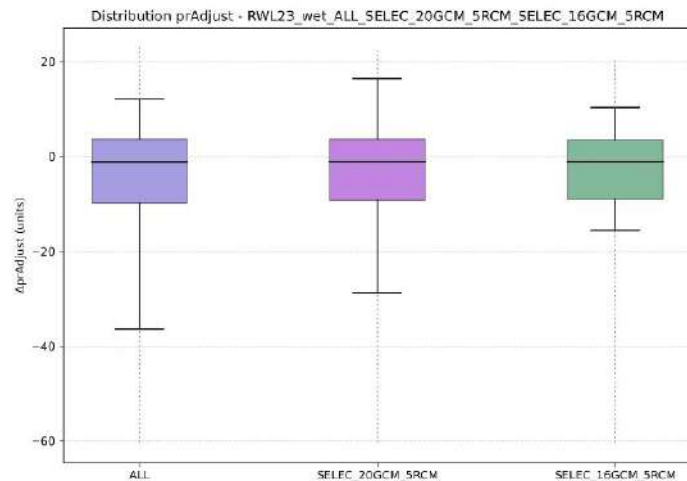
Changement en pluie futur (%) - (2077-99)-(1990-2005)
SSP585 - All models
Season WET



Season DRY

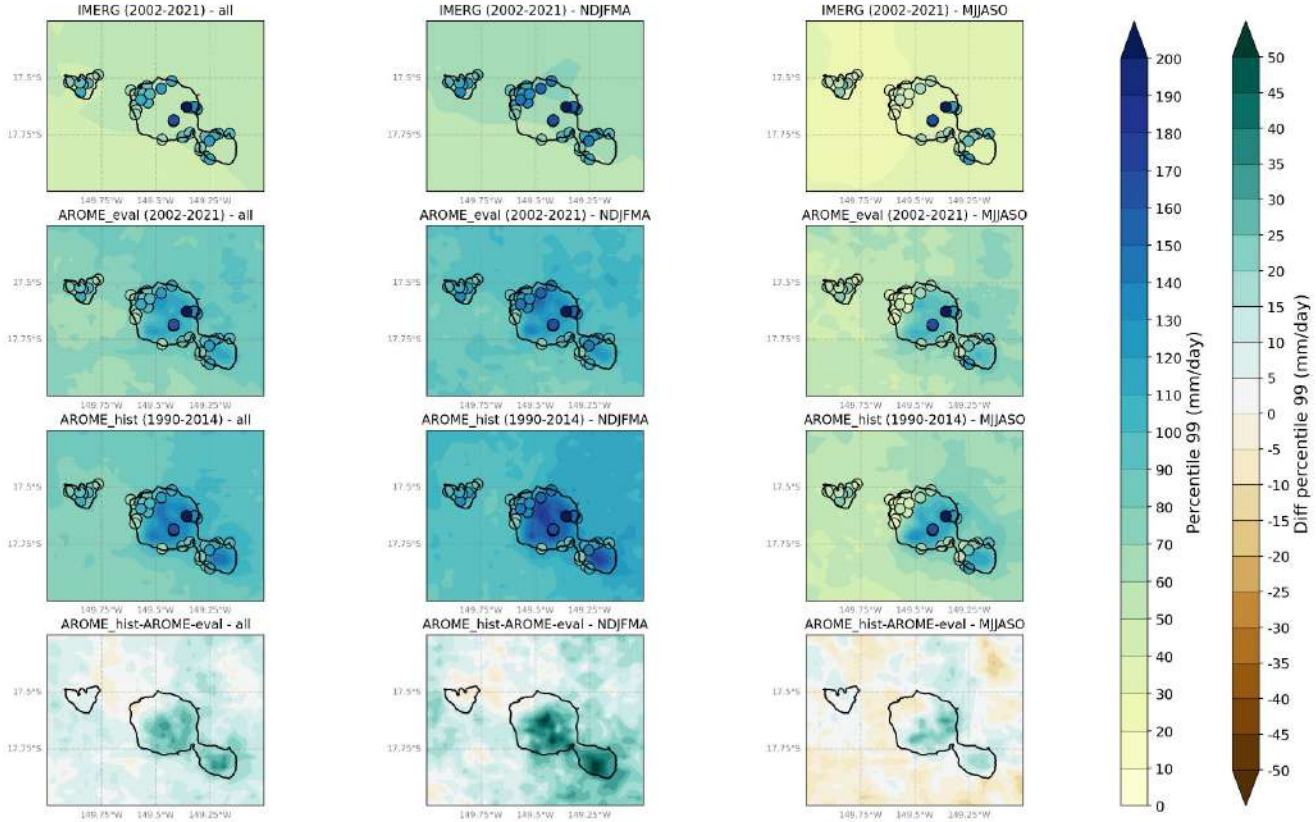


Dispersion sur le changement en pluie moy.
Polynésie Française



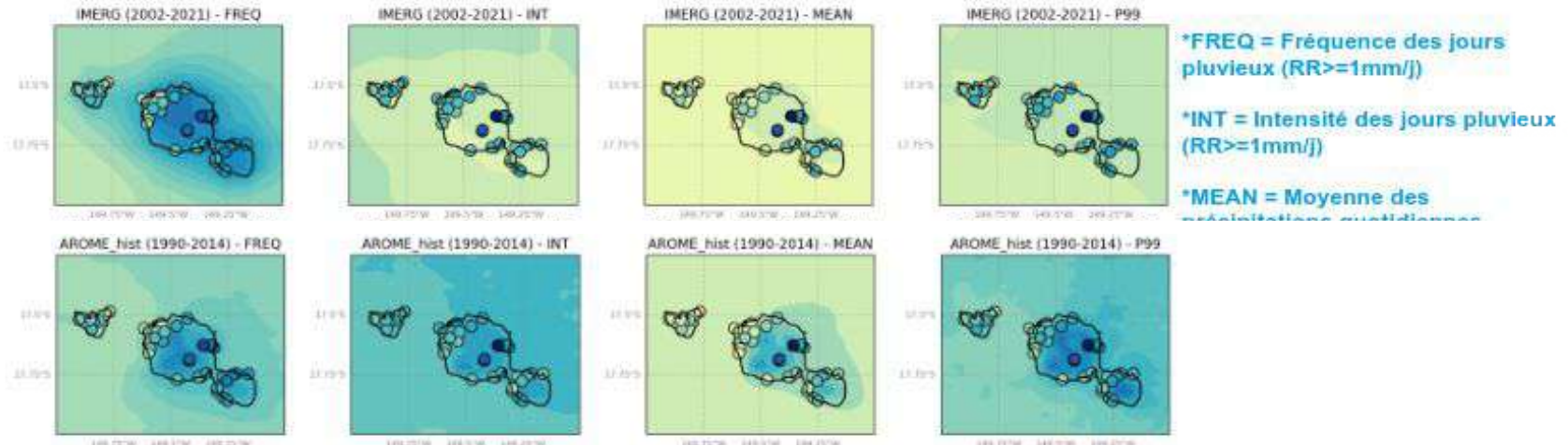
Evaluation à petite échelles - AROME CP-RCM

Percentiles 99



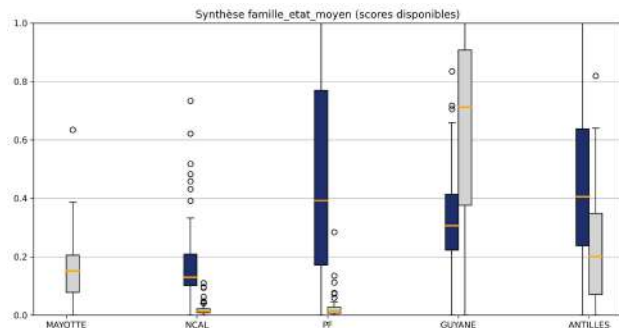
RF L A B Evaluation fine échelle sur la Polynésie Française - AROME CP-RCM (2.5 km)

Statistiques sur les précipitations journalières all

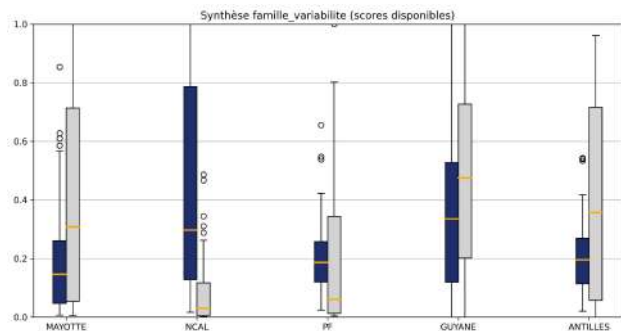


Score agrégé sur l'ensemble, tous OM

Etat Moyen



Variabilité



Principe de Sélection : utilisation des contraintes émergentes

1) Identification des contraintes émergentes

= biais en climat qui conditionnent la réponse du modèle en changement climatique

2) Sélection en deux étapes:

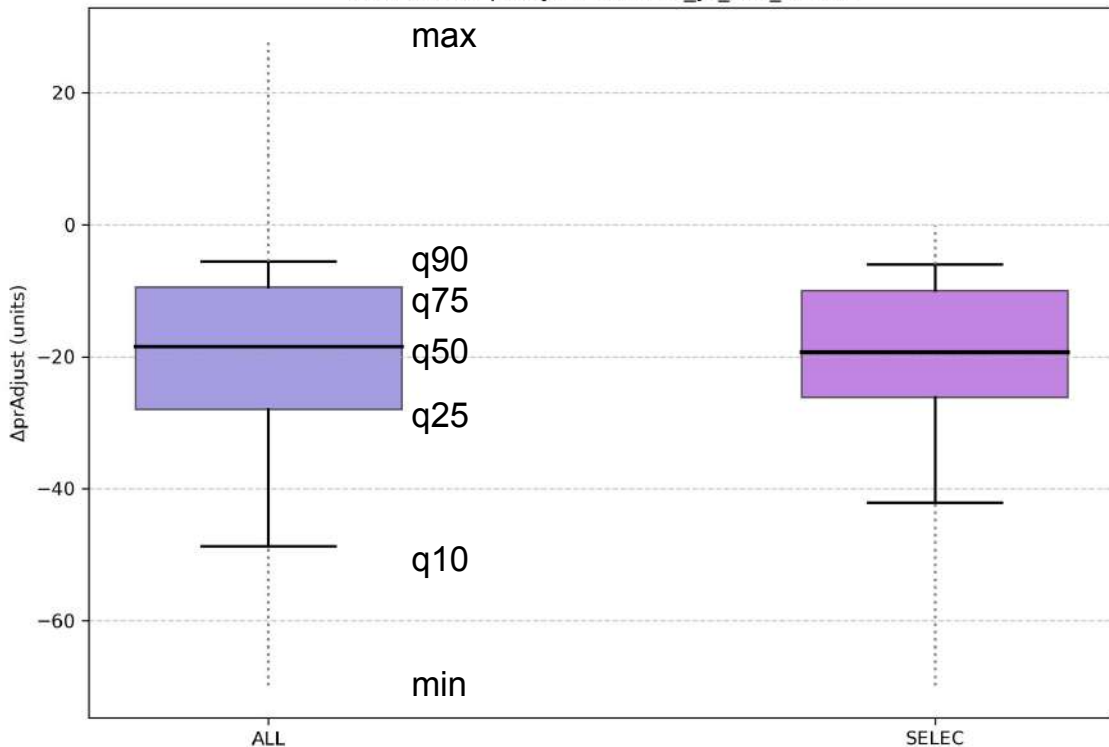
- “**contrainte émergente**” : modèle avec red flag rejeté
- “**hors contrainte émergente**” :
 - exclure les modèles “red flaggés” si leur exclusion ne modifie pas “significativement”* la distribution future de deltaP pour le RWL le plus élevé (correspondance locale du +3°C planétaire)
 - conserver les modèles biaisés si leur exclusion modifie “significativement”* (repêchage : préserver l’incertitude) = conserver les scénarios extrêmes pour des modèles dont les biais ne sont pas liés au delta P

* test de différence significative entre les distributions avant / après sélection > choix subjectif !

- tests statistiques classiques : KS test, Mann-Whitney U test, Levene test
- comparaison entre :
 - $\frac{1}{2} * [\text{moyenne des écarts inter-quartiles (q75 - q25) avant / après}]$
 - et différence avant / après pour un quantile donné : $q5_{\text{avant}} - q5_{\text{après}}$,
 - idem pour q10, q25, q50, q75, q90, q95

Exemple sur les Antilles

Distribution prAdjust - RWL27_yr_ALL_SELEC



=== Résultats statistiques pour RWL27_yr_ALL_vs_SELEC



Taille des ensembles: ALL = 39, SELEC = 27

KS test: stat=0.0769, p=0.9998 -> Pas différent (p < 0.05)

Mann-Whitney U test: stat=538.5000, p=0.8807 -> Pas différent (p < 0.05)

Levene test: stat=0.2681, p=0.6064 -> Pas différent (p < 0.05)

IQR moyen: ALL=17.94, SELEC=15.24, Moyenne=16.59

Percentile 5%: ALL=-50.352, SELEC=-54.206, Diff=3.854, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 10%: ALL=-48.809, SELEC=-42.112, Diff=6.697, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 25%: ALL=-28.901, SELEC=-26.966, Diff=1.935, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 50%: ALL=-18.451, SELEC=-18.532, Diff=0.081, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 75%: ALL=-10.964, SELEC=-11.727, Diff=0.763, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 90%: ALL=-0.134, SELEC=-4.152, Diff=4.018, seuil=8.294 -> Pas différent

Percentile 95%: ALL=6.545, SELEC=0.436, Diff=6.109, seuil=8.294 -> Pas différent

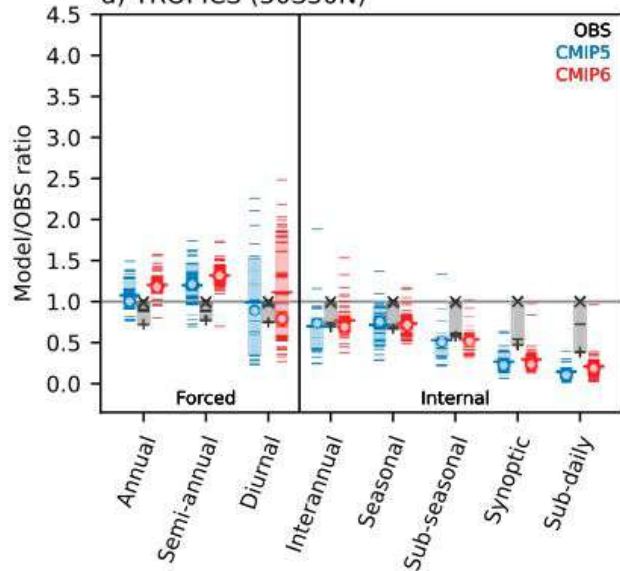
Min: ALL=-70.430, SELEC=-70.430, Diff=0.000, seuil=8.294 -> Pas différent

Max: ALL=31.604, SELEC=9.376, Diff=22.228, seuil=8.294 -> Différent

Multi-échelles temporelles

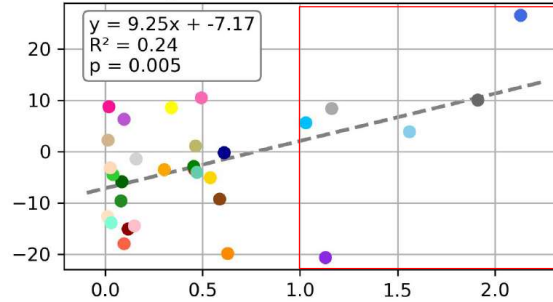
Ahn et al. 2022

d) TROPICS (30S30N)



Changements futur (%)
Précipitations annuelles

Mayotte Précipitations : RWL3.0



Biais absolu normalisé de variabilité des pluies

- CMIP6
- ACCESS-CM2
- ACCESS-ESM1-5
- BCC-CSM2-MR
- CanESM5
- CMCC-ESM2
- CNRM-CM6-1
- CNRM-CM6-1-HR
- CNRM-ESM2-1
- CNRM-ESM2-1
- EC-Earth3-CC
- EC-Earth3
- EC-Earth3-Veg
- EC-Earth3-Veg-LR
- FGOALS-g3
- GFDL-CM4
- GFDL-ESM4
- HadGEM3-GC31-LL
- HadGEM3-GC31-MM
- INM-CM4-8
- INM-CM5-0
- IPSL-CM6A-LR
- KACE-1-0-G
- MIROC6
- MIROC-ES2L
- MPI-ESM1-2-HR
- MPI-ESM1-2-LR
- MPI-ESM2-0
- NESM3
- NorESM2-LM
- NorESM2-MM
- UKESM1-0-LL
- Régression linéaire