

Représentation de l'erreur de modélisation dans le système de prévision d'ensemble régional PEARO

Meryl WIMMER

CNRM, Université Paul Sabatier III, Météo France, CNRS

Soutenance de thèse

07 décembre 2021

Encadrants :

Loïc BERRE (Météo-France)
Laurent DESCAMPS (Météo-France)
Laure RAYNAUD (Météo-France)
Yann SEITY (Météo-France)
Philippe ARBOGAST (Météo-France)

Rapporteurs :

Éric BLAYO (UGA)
Clémentine PRIEUR (UGA)

Examineurs :

Jean-Pierre CHABOUREAU (UPS)
Stéphane VANNITSEM (IRM)

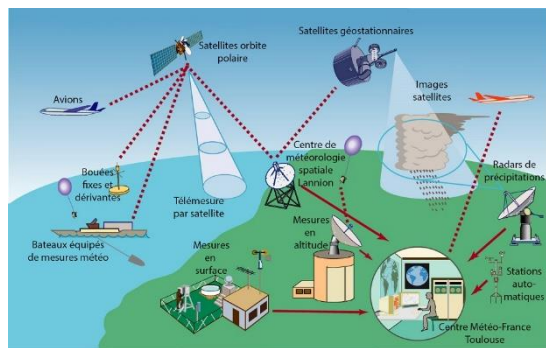
Invitée :

Agnès LAGNOUX (UT2J)

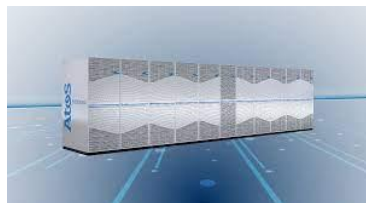
Comment prévoit-on la météo ?

Résoudre les équations d'évolution de l'atmosphère

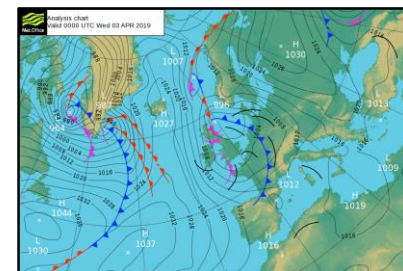
Etat initial ($t = 0$) de l'atmosphère
estimé via observations et ébauche



Supercalculateur



Prévision à $t + \Delta t$



Equations d'évolution de l'atmosphère

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu$$

$$\frac{\partial(\rho q)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho q \vec{V}) = S_O - S_K$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla w = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

$$c_p \frac{DT}{Dt} - \frac{1}{\rho} \frac{Dp}{Dt} = \dot{Q}$$

$$p = \rho R_a T (1 + 0.61q).$$

Comment prévoit-on la météo ?

Modèle de prévision du temps

Atmosphère discrétisée selon une maille

Estimation des tendances des variables d'état en chaque point de grille
ex : +0,1°C à Toulouse

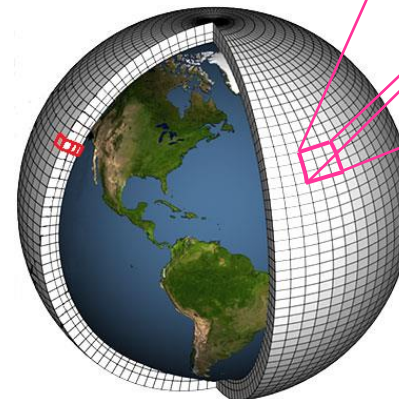
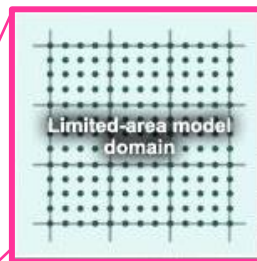
Cœur dynamique : résolution des équations de la dynamique

- Schéma semi-implicite : dérivée temporelle
- Transformée spectrale : dérivée spatiale
- Schéma semi-lagrangien : advection

Paramétrisations physiques :

- Pour chaque colonne atmosphérique
- Forçages des échelles non résolues

Modèle à aire
limitée



Modèle global

Paramétrisations physiques

Représentation de la surface (relief)



Paramétrisations physiques

Représentation de la surface (type)





Paramétrisations physiques

Représentation des ondes orographiques



M. WIMMER



Paramétrisations physiques

Représentation du rayonnement



M. WIMMER



Paramétrisations physiques

Représentation de la turbulence sèche



M. WIMMER



Paramétrisations physiques

Représentation de la turbulence humide (convection peu profonde)



M. WIMMER



Paramétrisations physiques

Représentation de la convection profonde (modèles globaux à maille large)



M. WIMMER



Paramétrisations physiques

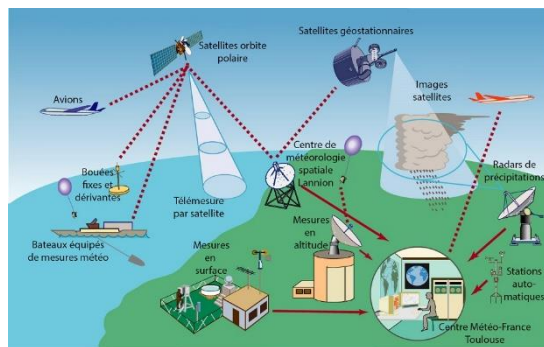
Représentation de la microphysique



M. WIMMER

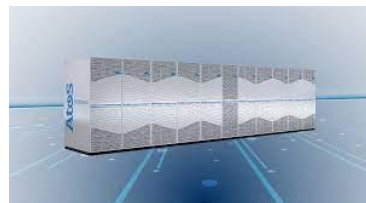
Sources d'incertitude

Etat initial ($t = 0$) de l'atmosphère
estimé via observations et ébauche

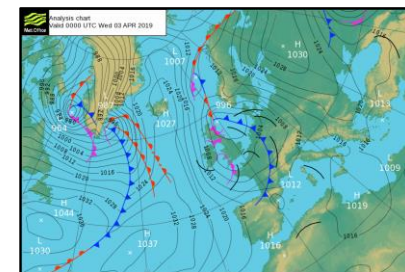


Erreurs d'observation
Erreurs d'ébauche

Supercalculateur



Prévision à $t + \Delta t$



Equations d'évolution de l'atmosphère

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + fv$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - fu$$

$$\frac{\partial(\rho q)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho q \vec{V}) = S_o - S_k$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla w = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

$$c_p \frac{DT}{Dt} - \frac{1}{\rho} \frac{Dp}{Dt} = \dot{Q}$$

$$p = \rho R_a T (1 + 0.61q).$$

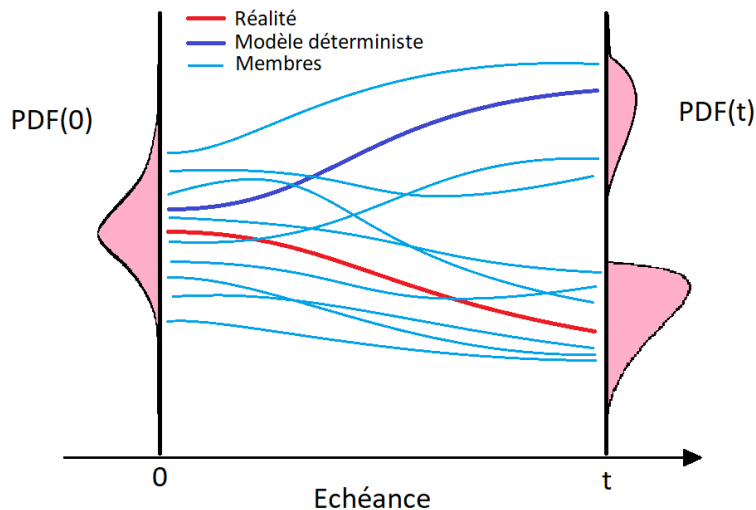
Discrétisation de l'atmosphère
Simplification des équations

Prévision incertaine

Prévision d'Ensemble

Comment représenter l'incertitude des prévisions ?

➔ Echantillonner la distribution de probabilité des états futurs de l'atmosphère



Utilisation de différentes prévisions dites *membres*

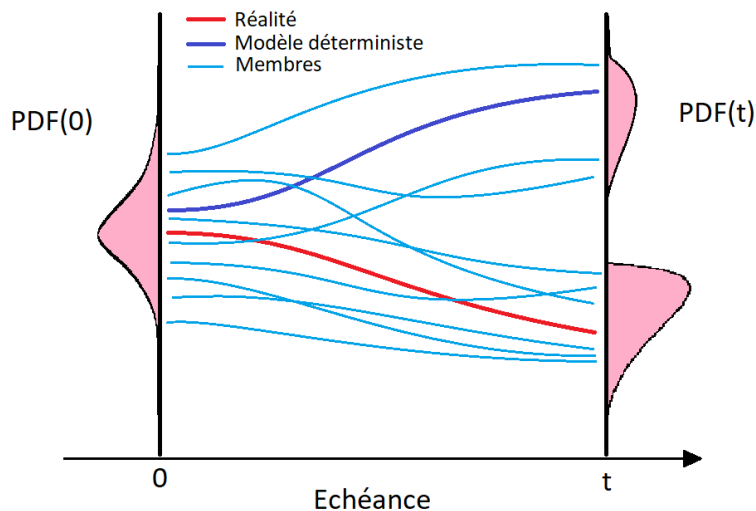
Représentation des différentes sources d'incertitude :

- Conditions initiales
- Conditions latérales (couplage et surface)
- Modèle

Prévision d'Ensemble

Comment représenter l'incertitude des prévisions ?

➔ Echantillonner la distribution de probabilité des états futurs de l'atmosphère



Utilisation de différentes prévisions dites *membres*

Représentation des différentes sources d'incertitude :

- Conditions initiales
- Conditions latérales (couplage et surface)
- Modèle

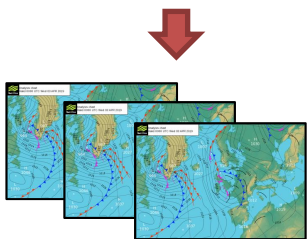
Etudier l'erreur de modélisation dans le système ensembliste PEARO

Représentation de l'erreur de modélisation

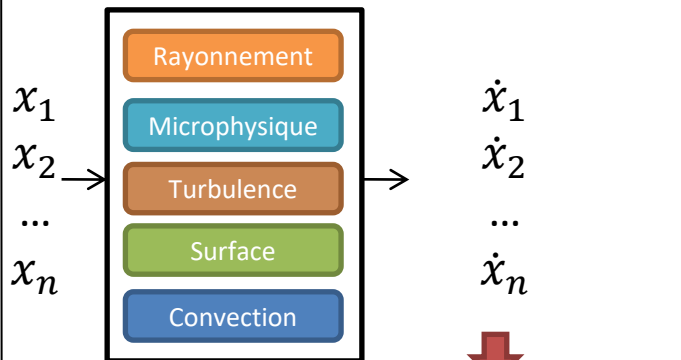
Multiphysique Combinaison de ≠ schémas



$\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_i, \dots, \dot{x}_n$

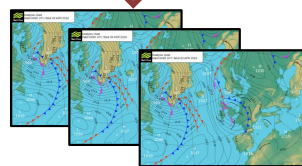


Perturbation Stochastique des Tendances Physiques (SPPT)

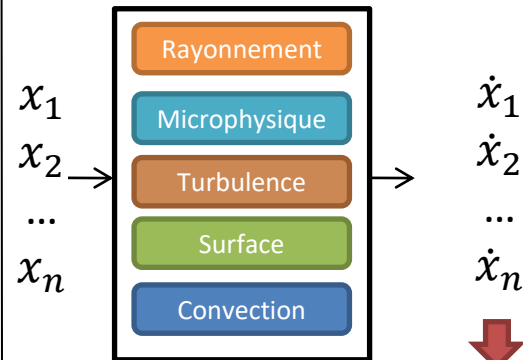


a, b, \dots

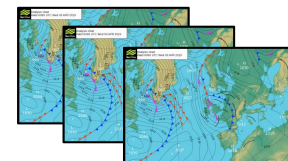
$$\dot{x}_i \leftarrow (1 + \alpha_i)\dot{x}_i$$



Paramètres Perturbés (PP)



a_1, b_1, \dots
...
 a_n, b_n, \dots



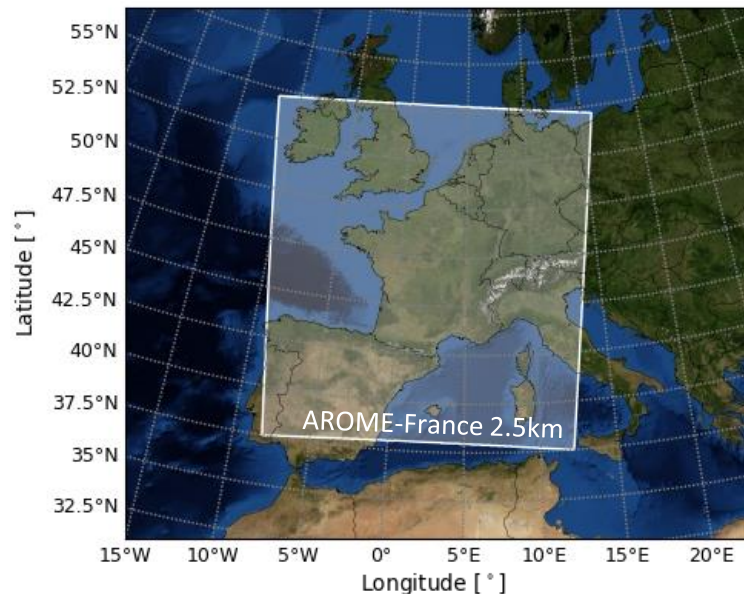
Prévision d'Ensemble AROME

PEARO (Bouttier, 2012):

- Basée sur le modèle régional AROME (Seity, 2011)
- Résolution horizontale : 2.5km
- Niveaux verticaux : 90
- Membres : 12 (16 depuis Juillet 2019)

Représentation des erreurs de :

- l'état initial : Assimilation d'ensemble
- conditions latérales : couplage avec PEARP (clustering)
- surface : perturbations aléatoires de paramètres de surface
- modélisation : SPPT



Objectif : Etudier les représentations de l'erreur de modélisation utilisant la perturbation de paramètres



Etapes de la thèse

1 Identification des paramètres à perturber

2 Analyse de sensibilité Morris (1991), Sobol' (1993)

3 Implémentation de différentes représentations de l'erreur de modélisation

Rayonnement

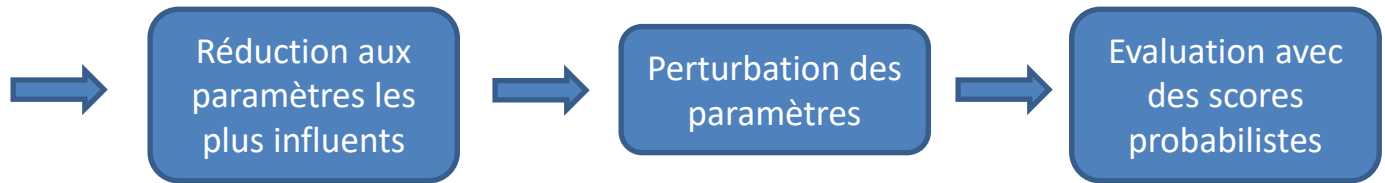
Microphysique

Turbulence

Diffusion

Surface

Convection



Sommaire

Identification des paramètres incertains

Analyse de sensibilité (Morris, 1991)

Evaluation des différentes représentations de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Conclusion

Perspectives



Sommaire

Identification des paramètres incertains

Analyse de sensibilité (Morris, 1991)

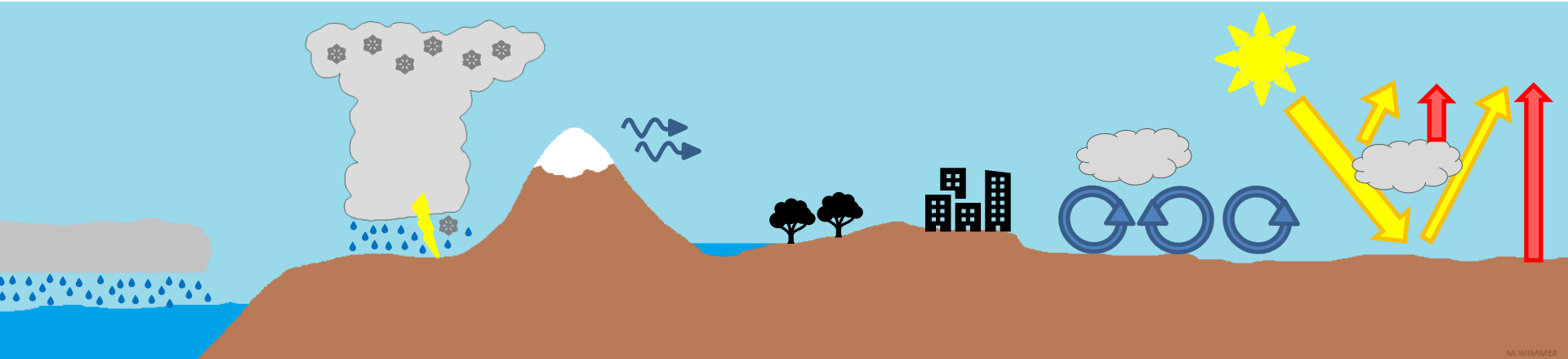
Evaluation des différentes représentations de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Conclusion

Perspectives



Identification des paramètres incertains



M. WIMMER



Identification des paramètres incertains

Microphysique

Autoconversion de la pluie (**RCRIAUTC**) et neige (**RCRIAUTI**)

Diffusion

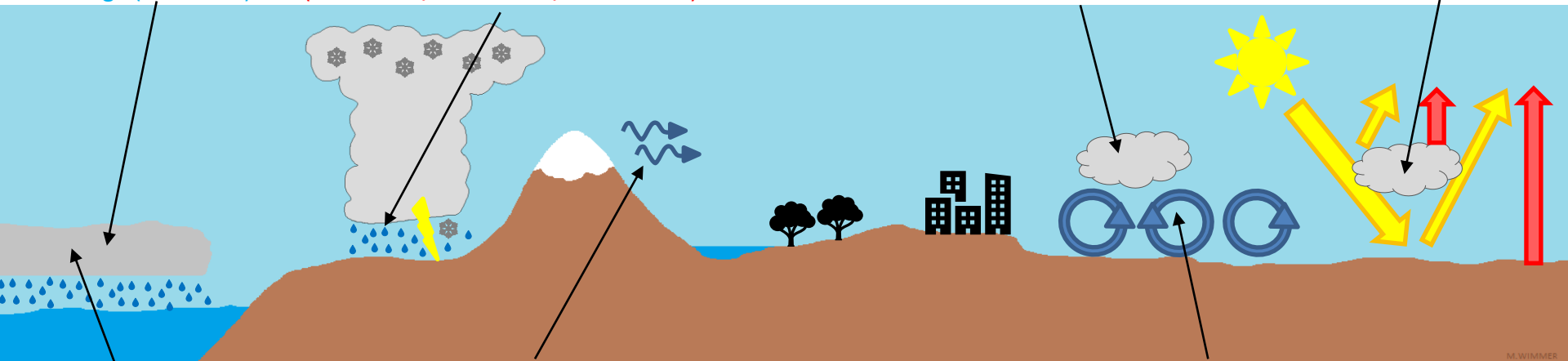
Diffusion des hydrométéores : force, minimum, maximum (**SLHDEPSH, SLHDKMIN, SLHDKMAX**)

Convection

Coefficients pour l'ascendance en basse couche (**XCMF**), de flottabilité (**XABUO**), détrainement (**XBDETR**), entrainement (**XENTR_DRY**)

Rayonnement

Facteurs d'inhomogénéité nuageuse solaire (**RSWINHF**) thermique (**RLWINHF**)



Surface

Coefficient de la traînée orographique (**XFRACZ0**)
Nombre de Richardson critique (**XRIMAX**)

Turbulence

Longueur de mélange minimale (**XLINI**),
Const. pour l'énergie cinétique turbulente (dissip. **XCED**, trans. **XCET**),
Corrélations température, humidité, vent, (**XCTD, XCTP, XCEP**),
Nombre de Prandtl et Schmidt (**XPHI_LIM**)

Variabilité de la condensation sous maille (**VSIGQSAT**)



Identification des paramètres incertains

Microphysique

Autoconversion de la pluie (**RCRIAUTC**) et neige (**RCRIAUTI**)

Diffusion

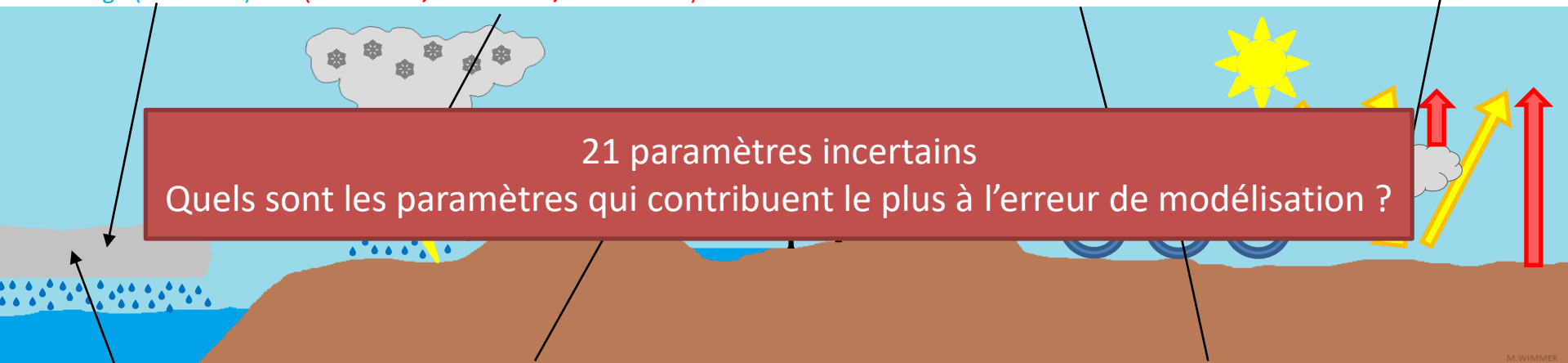
Diffusion des hydrométéores : force, minimum, maximum (**SLHDEPSH, SLHDKMIN, SLHDKMAX**)

Convection

Coefficients pour l'ascendance en basse couche (**XCMF**), de flottabilité (**XABUO**), détrainement (**XBDETR**), entrainement (**XENTR_DRY**)

Rayonnement

Facteurs d'inhomogénéité nuageuse solaire (**RSWINHF**) thermique (**RLWINHF**)



21 paramètres incertains
Quels sont les paramètres qui contribuent le plus à l'erreur de modélisation ?

Variabilité de la condensation sous maille (**VSIGQSAT**)

Surface

Coefficient de la traînée orographique (**XFRACZ0**)
Nombre de Richardson critique (**XRIMAX**)

Turbulence

Longueur de mélange minimale (**XLINI**),
Const. pour l'énergie cinétique turbulente (dissip. **XCED**, trans. **XCET**),
Corrélations température, humidité, vent, (**XCTD, XCTP, XCEP**),
Nombre de Prandtl et Schmidt (**XPHI_LIM**)



Sommaire

Identification des paramètres incertains

Analyse de sensibilité (Morris, 1991)

Evaluation des différentes représentations de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Conclusion

Perspectives

Analyse de sensibilité

Calcul des indices de sensibilité pour qualifier et quantifier l'impact de la perturbation de paramètres d'entrées, suivant un plan d'expérience, sur les sorties du modèle

2 méthodes utilisées :

- Morris : sensibilité selon les saisons, jours, échéances, points de grille du domaine AROME-France...
- Sobol' : interactions entre paramètres
 - Utilisation de machine learning (Le Gratiet al., 2016)

Sensibilité des paramètres différente selon la saison :

➔ analyse répétée pour 3 saisons (31 jours)

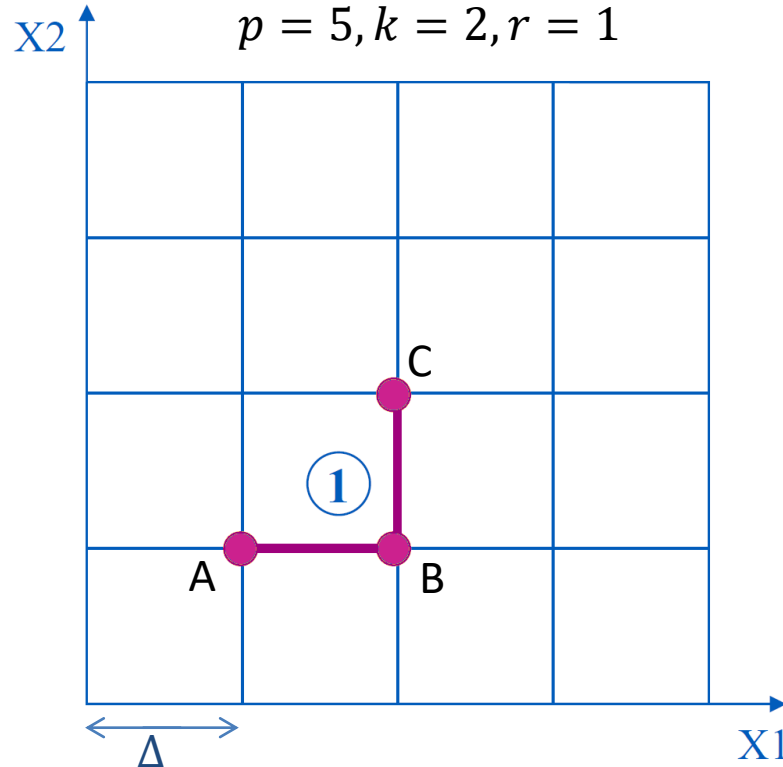
- Ete 2018
- Automne 2018
- Hiver 2018-2019

Etude de l'impact sur 4 sorties modèles scalaires :

- Biais moyen, RMSE, MAE (RADOME + SYNOP : 1500 obs)
- Champs météorologiques moyennés
 - Vent à 10m (ff10m),
 - Rafales à 10m (ffgust),
 - Précipitations cumulées sur
 - 1h (prec01),
 - 3h (prec03),
 - 6h (prec06),
 - 24h (prec24),
 - Couverture nuageuse (tcc),
 - Température à 2m (T2m),
 - Humidité Relative à 2m (RH2m),
 - Rayonnement solaire cumulé sur 1h à la surface (Sol01)



Méthode de Morris (1991)



Paramètres : X_1, X_2 ($k = 2$)

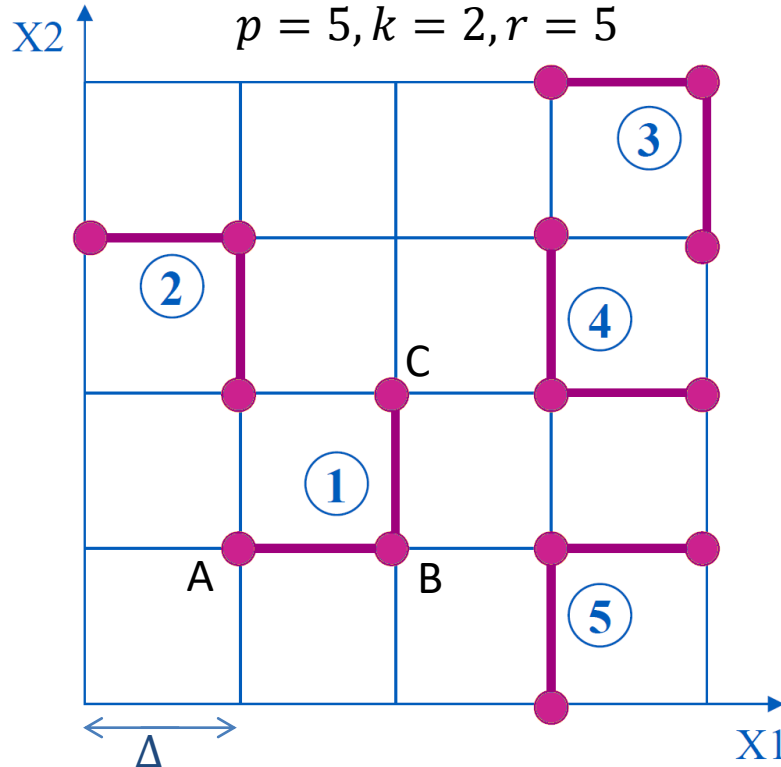
Perturbation d'un paramètre à la fois

➡ plan d'expérience One-At-a-Time

Effet élémentaire (EE) de chaque paramètre:

$$EE_1 = \frac{f(B) - f(A)}{\Delta} \quad EE_2 = \frac{f(C) - f(B)}{\Delta}$$

Méthode de Morris (1991)



Paramètres : X_1, X_2 ($k = 2$)

Perturbation d'un paramètre à la fois

→ plan d'expérience One-At-a-Time

Effet élémentaire (EE) de chaque paramètre:

$$EE_1 = \frac{f(B) - f(A)}{\Delta} \quad EE_2 = \frac{f(C) - f(B)}{\Delta}$$

Répétition : r fois → $r(k + 1)$ simulations

Moyenne des $|EE_i|$:

$$\mu_i^* = E(|EE_i|)$$

Dispersion des EE_i :

$$\sigma_i = \sigma(EE_i)$$

$$\sqrt{\mu^{*2} + \sigma^2}$$

Plan d'expérience et réduction du coût de calcul

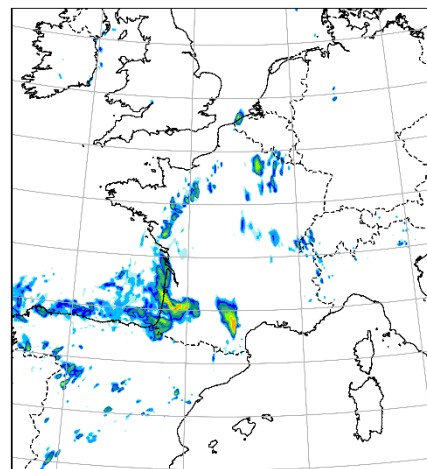
Plan d'expérience : $r = 12, k = 21, p = 8$

$$\begin{aligned} r(k+1) &= 12 \times (21 + 1) \\ &= \mathbf{264 \text{ simulations}} \\ &\quad (\times 3 \text{ saisons} \times 31 \text{ jours}) \\ &= \mathbf{24\,552 \text{ prévisions}} \end{aligned}$$

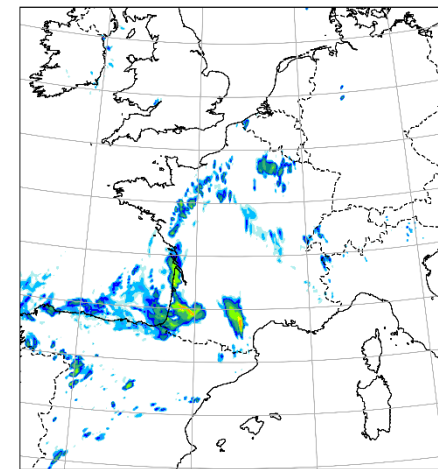
➔ 1,4 an de PEARO (12 membres, 4 fois par jour)
ou 16,8 ans d'AROME (4 fois par jour)

Réduction du coût de calcul
Non-hydrostatique -> Hydrostatique
Suppression du schéma Prédicteur/Correcteur

16 juin 2021 21-22h



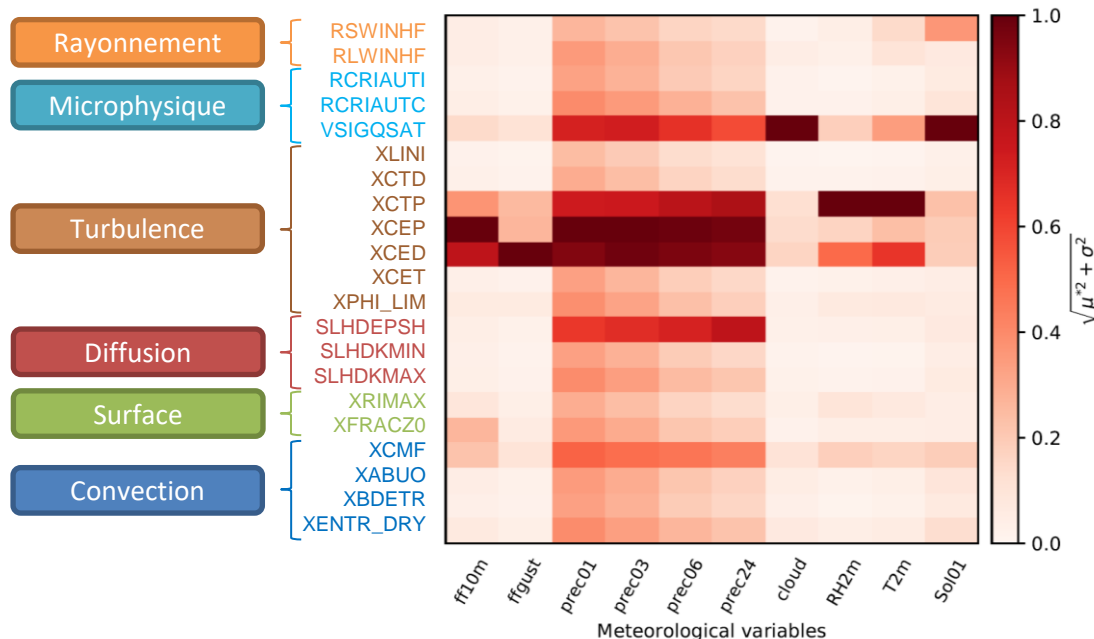
Hydrostatique
- Schéma Prédicteur/Correcteur



Non-Hydrostatique
+ Schéma Prédicteur/Correcteur

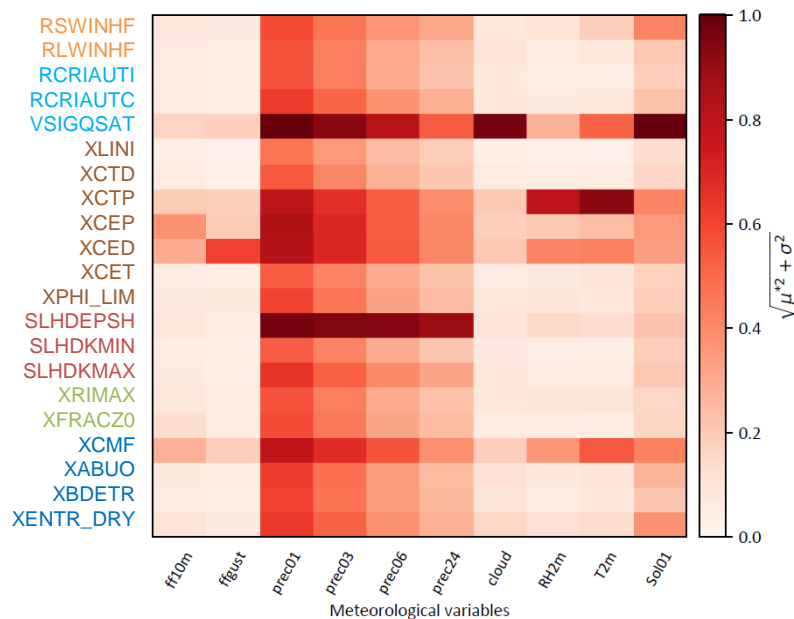
Identification des paramètres les plus influents

Influence des paramètres, moyennée sur les 3 saisons et sur les 4 sorties scalaires

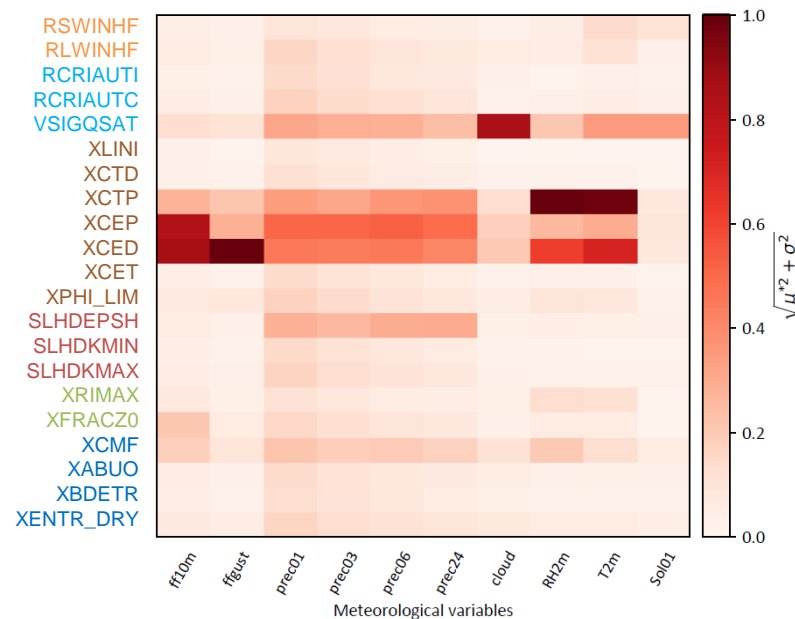


8 paramètres influents:
RSWINHF, VSIQSAT, XCTP, XCEP,
XCED, SLHDEPSH, XFRACZ0,
XCMF

Influence des paramètres selon les saisons



(a) Summer



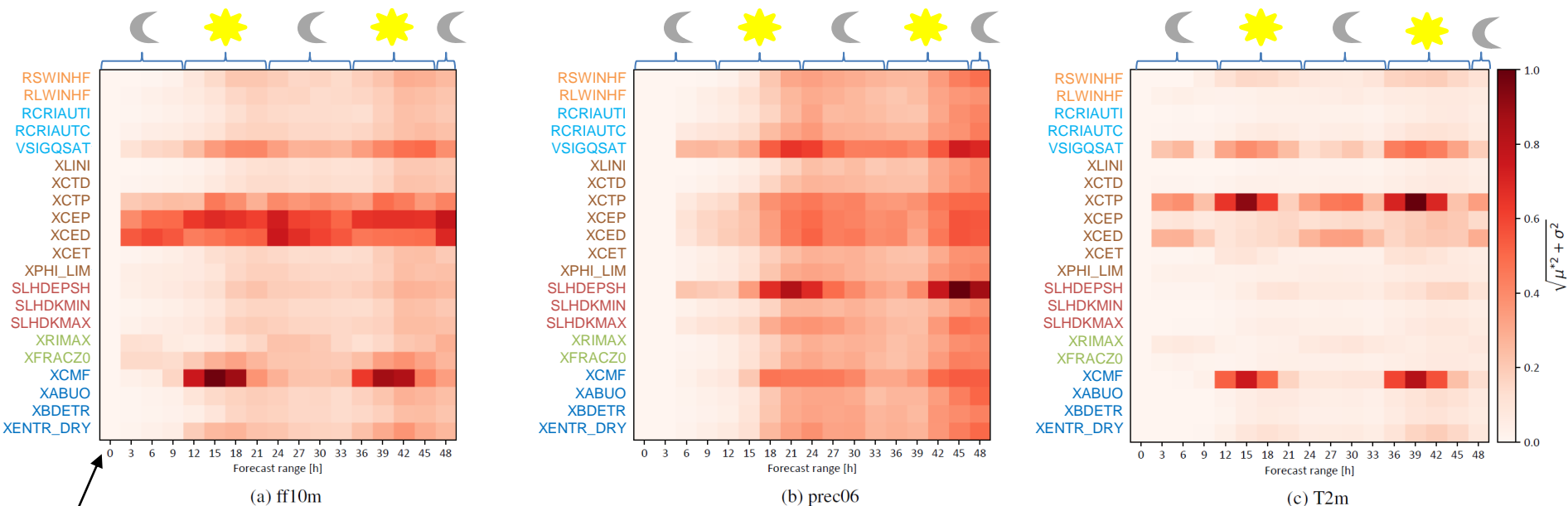
(b) Winter

Wimmer et al. (2021)

Hiver : Prédominance des paramètres de la turbulence et VSIQGSAT
Diminution de l'influence des paramètres de la convection et du rayonnement



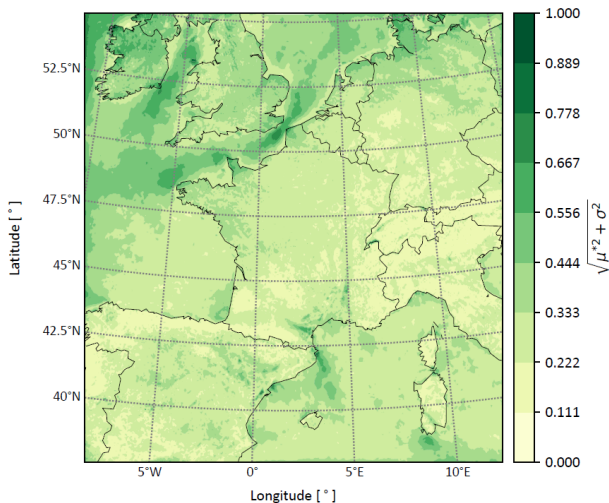
Influence des paramètres en fonction de l'échéance sur l'été 2018



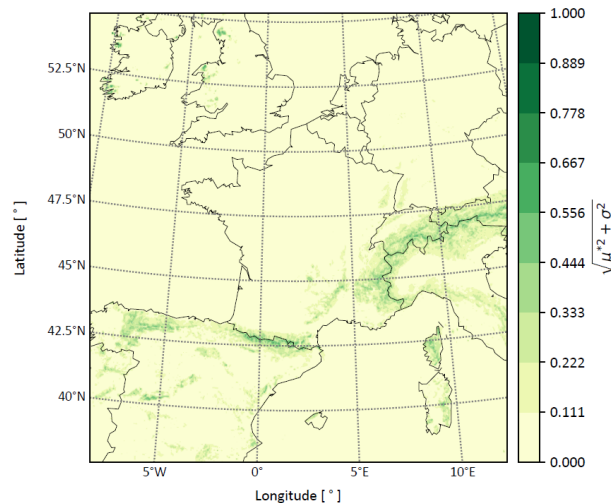
Wimmer et al. (2021)

Période estivale : Cycle diurne -> impact des paramètres fortement lié à l'activité convective
Période hivernale : Atténuation de l'influence du cycle diurne

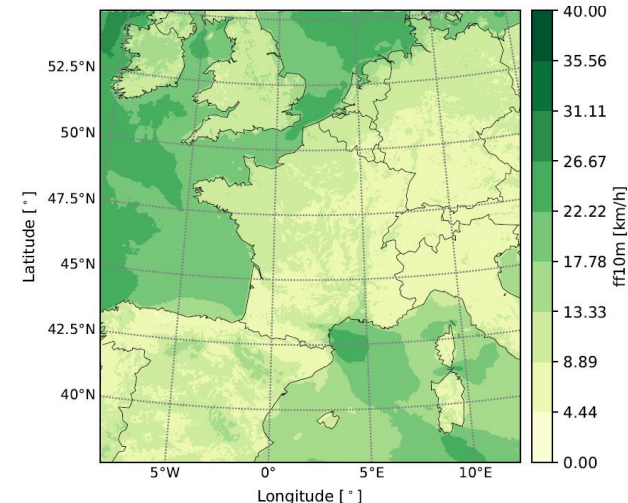
Influence spatiale des paramètres sur l'été 2018



(a) Influence of XCEP on wind at 10m



(b) Influence of XFRACZ0 on wind at 10m



(c) Averaged wind field at 10 meters

Wimmer et al. (2021)

Impact selon le champ météorologique (XCEP influent sur les zones de vent)
Impact selon l'orographie (XFRACZ0)

Analyse de Sensibilité

- Méthode de Morris :
 - Identification de **8 paramètres influents** :
RSWINHF, **VSIGQSAT**, **XCTP**, **XCEP**, **XCED**, **SLHDEPSH**, **XFRACZO**, **XCMF**
 - Sensibilité dépend de la date étudiée
nécessité de mener des analyses de sensibilité sur de **longues périodes**
 - **Cycle diurne** en période estivale
 - **Carte de sensibilité** : liée à la surface ou aux champs météo mêmes
- Sobol' :
 - **Confirmation** des **résultats** de la méthode de **Morris**
 - Identification **d'interactions entre paramètres** (même avec paramètres peu influents)



Sommaire

Identification des paramètres incertains

Analyse de sensibilité (Morris, 1991)

Evaluation des différentes représentations de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Conclusion

Perspectives

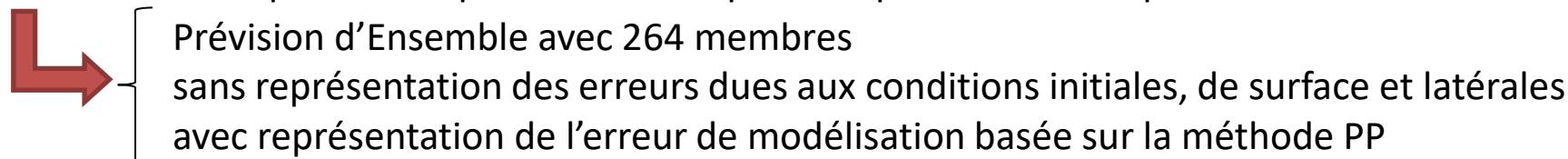
Différentes méthodes de perturbations des paramètres pour représenter l'erreur de modélisation

| Perturbation de paramètre selon... | ... les membres | ... les dates initiales |
|---|-----------------|-------------------------|
| Perturbed Parameter (PP) | ✓ | |
| Random Perturbed Parameter (RPP) | ✓ | ✓ |

Génération de 1000 PP à partir des simulations de Morris

Analyse de sensibilité de Morris :

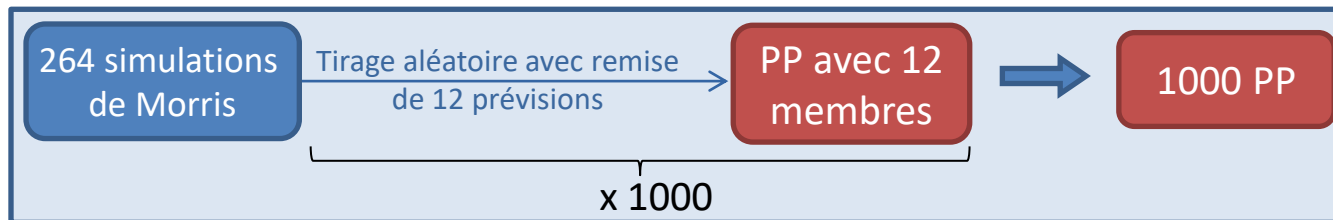
création de 264 prévisions qui diffèrent uniquement par la valeur de paramètres



Comparaison avec SPPT :

Problème : SPPT a 12 membres -> nécessite le même nombre de membres

↳ **Production de 1000 PP** de 12 membres à partir des 264 simulations de Morris



Optimisation de la méthode PP :

B-CRPS-PP

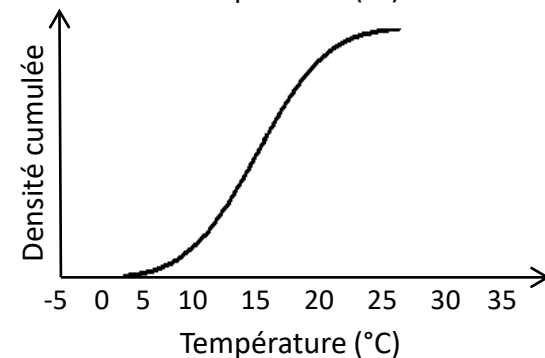
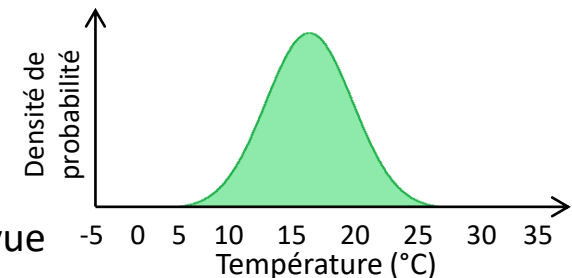
Continuous Ranked Probability Scores (CRPS) :

Mesure de la performance globale d'une Prédiction d'Ensemble

Distance entre la distribution de probabilité cumulée observée et prévue

$$CRPS = \int_{\mathbb{R}} (F(x) - O(x))^2 dx$$

Une prévision d'ensemble est d'autant meilleure que son CRPS est faible.



Optimisation de la méthode PP : B-CRPS-PP

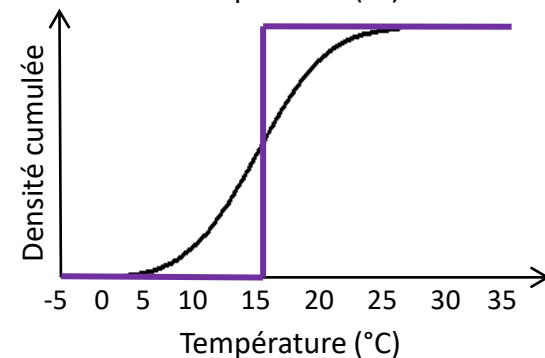
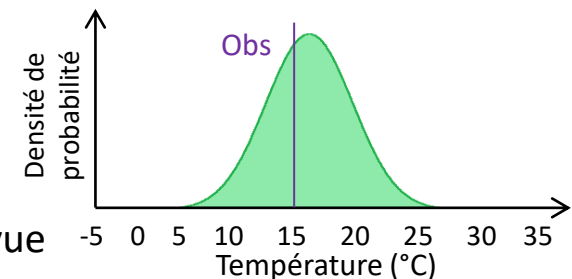
Continuous Ranked Probability Scores (CRPS) :

Mesure de la performance globale d'une Prédiction d'Ensemble

Distance entre la distribution de probabilité cumulée observée et prévue

$$CRPS = \int_{\mathbb{R}} (F(x) - O(x))^2 dx$$

Une prévision d'ensemble est d'autant meilleure que son CRPS est faible.



Optimisation de la méthode PP : B-CRPS-PP

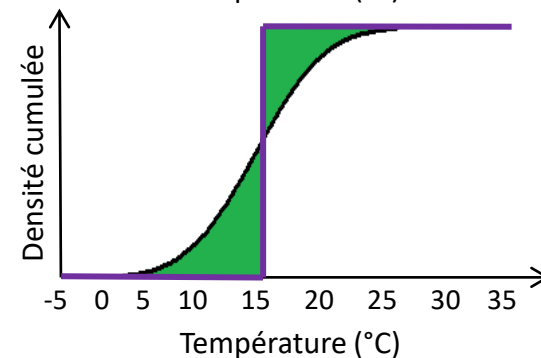
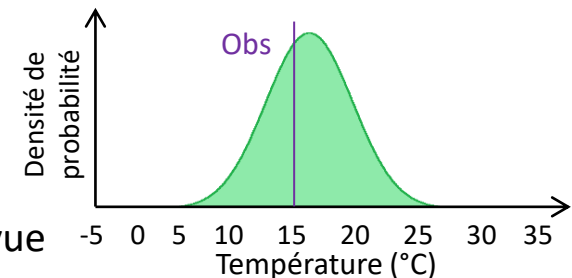
Continuous Ranked Probability Scores (CRPS) :

Mesure de la performance globale d'une Prédiction d'Ensemble

Distance entre la distribution de probabilité cumulée observée et prévue

$$CRPS = \int_{\mathbb{R}} (F(x) - O(x))^2 dx$$

Une prévision d'ensemble est d'autant meilleure que son CRPS est faible.



Optimisation de la méthode PP :

B-CRPS-PP

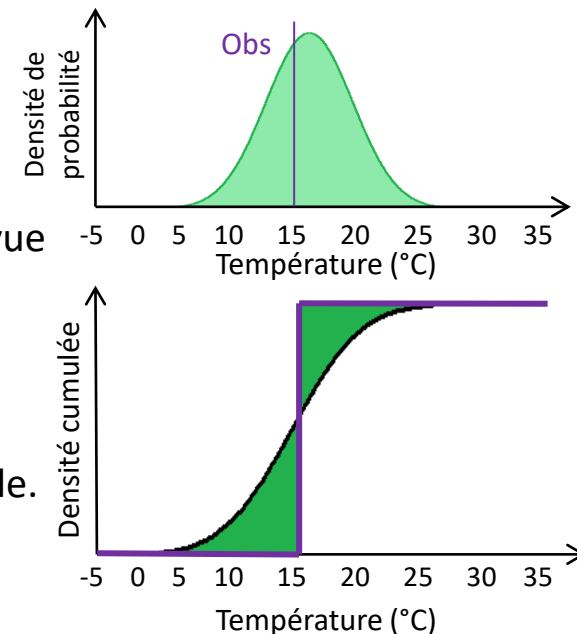
Continuous Ranked Probability Scores (CRPS) :

Mesure de la performance globale d'une Prédiction d'Ensemble

Distance entre la distribution de probabilité cumulée observée et prévue

$$CRPS = \int_{\mathbb{R}} (F(x) - O(x))^2 dx$$

Une prévision d'ensemble est d'autant meilleure que son CRPS est faible.



Recherche du PP avec les meilleures performances en prec03 et ff10m sur les 3 saisons

Minimiser J tel que

$$J = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ech}} CRPS(i)_{prec03}}{\max(CRPS_{prec03})} + \frac{\sum_{i=1}^{N_{ech}} CRPS(i)_{ff10m}}{\max(CRPS_{ff10m})}$$

N_{ech} : nombre d'échéances

Optimisation du RPP

RPP : perturbation des paramètres spécifique à **chaque date**

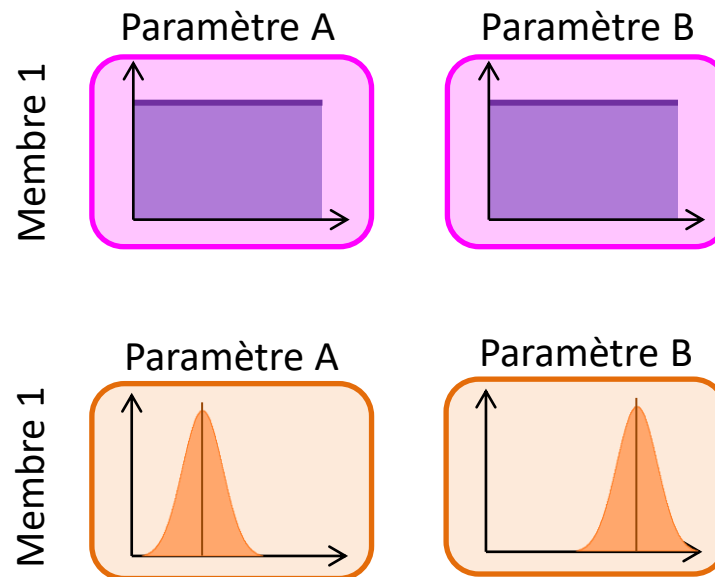
↳ tirage aléatoire des valeurs des paramètres selon des distributions de probabilité

Différentes distributions testées :

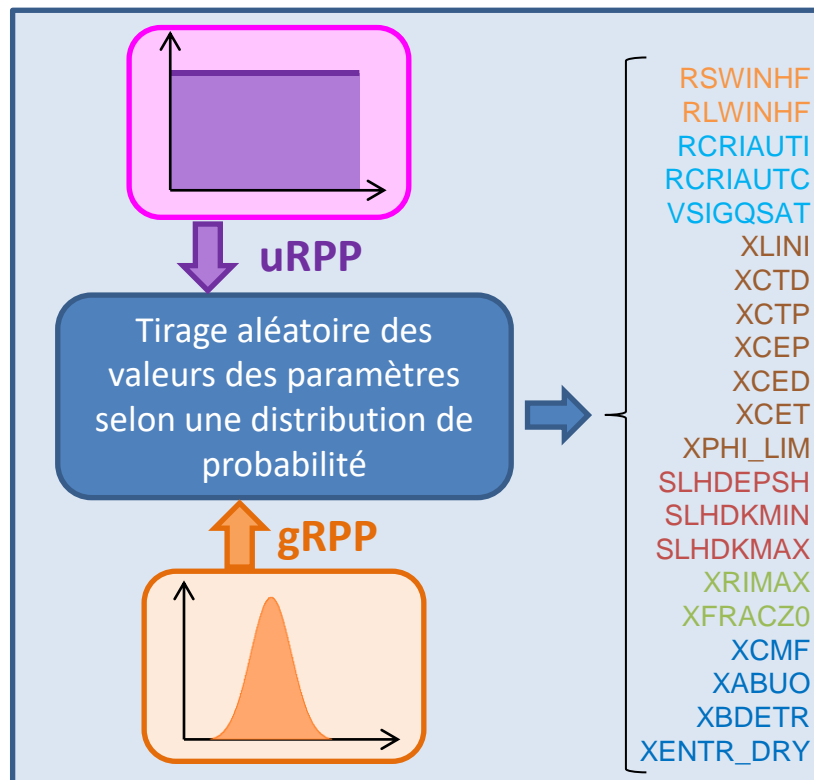
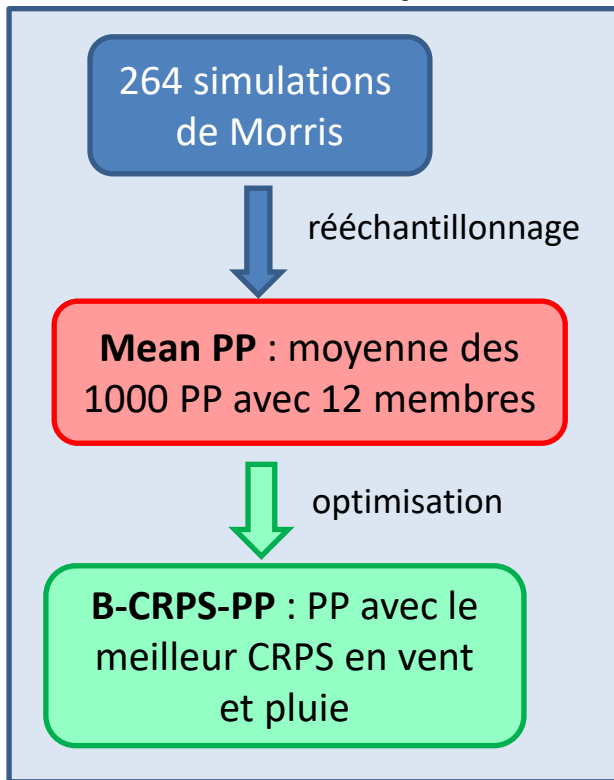
• Distributions **Uniformes** → **uRPP**

• Distributions **Gaussiennes** → **gRPP**

↳ distributions Gaussiennes autour des valeurs optimales des paramètres de chaque membre (B-CRPS-PP)

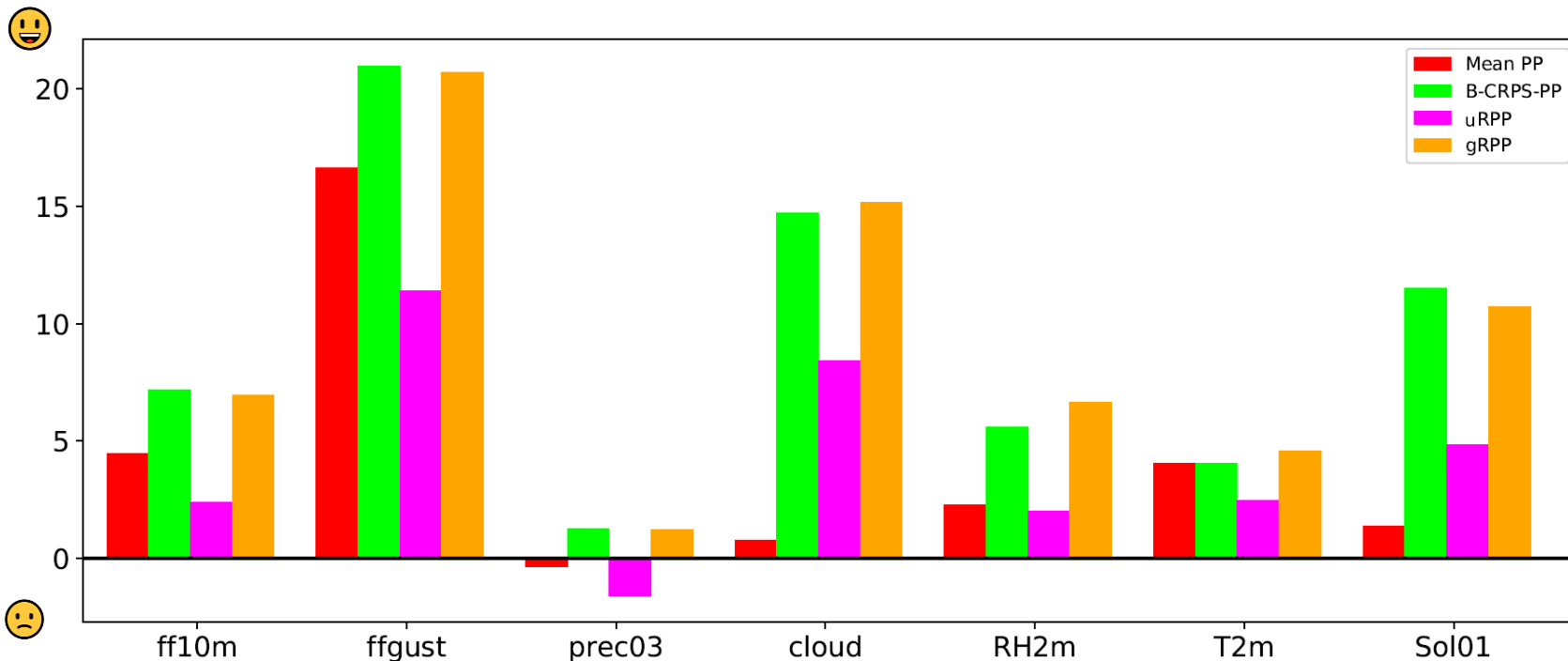


Méthodes de perturbation de paramètres



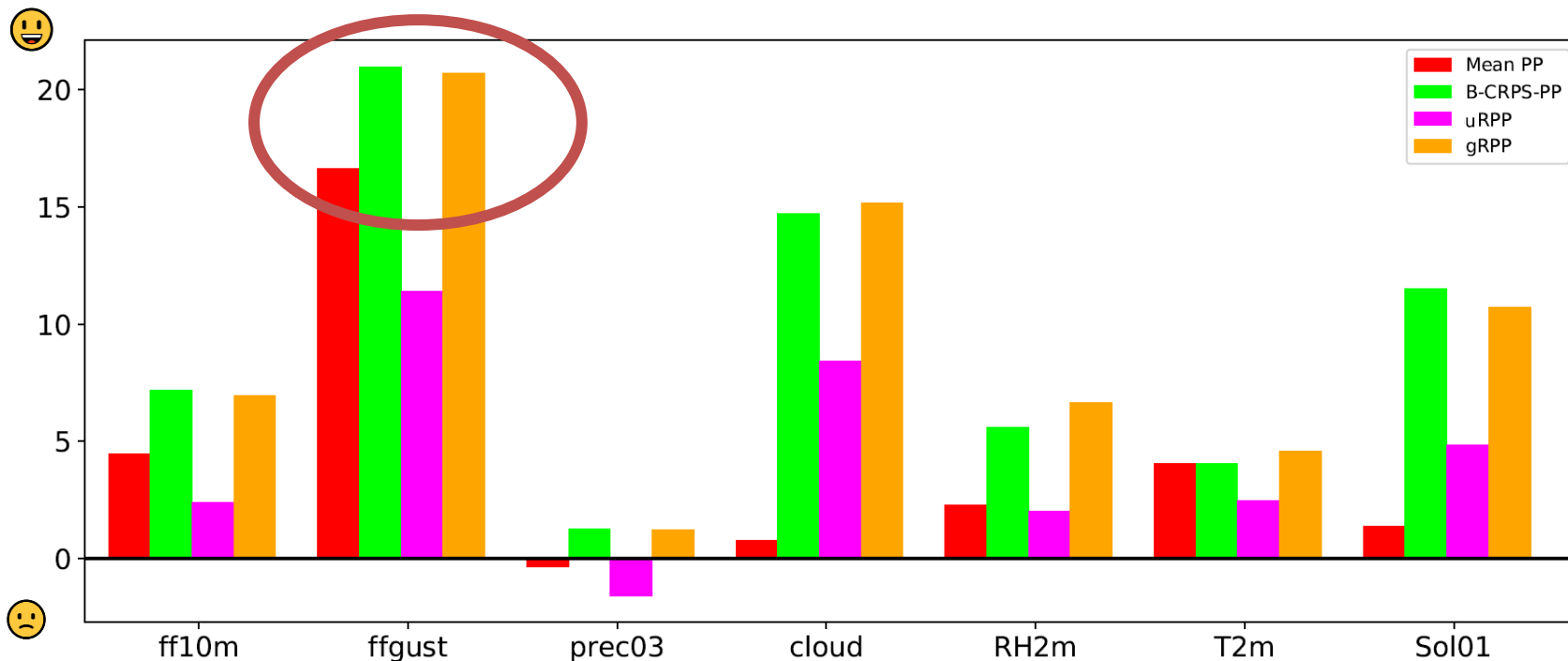
Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

Été 2018



Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

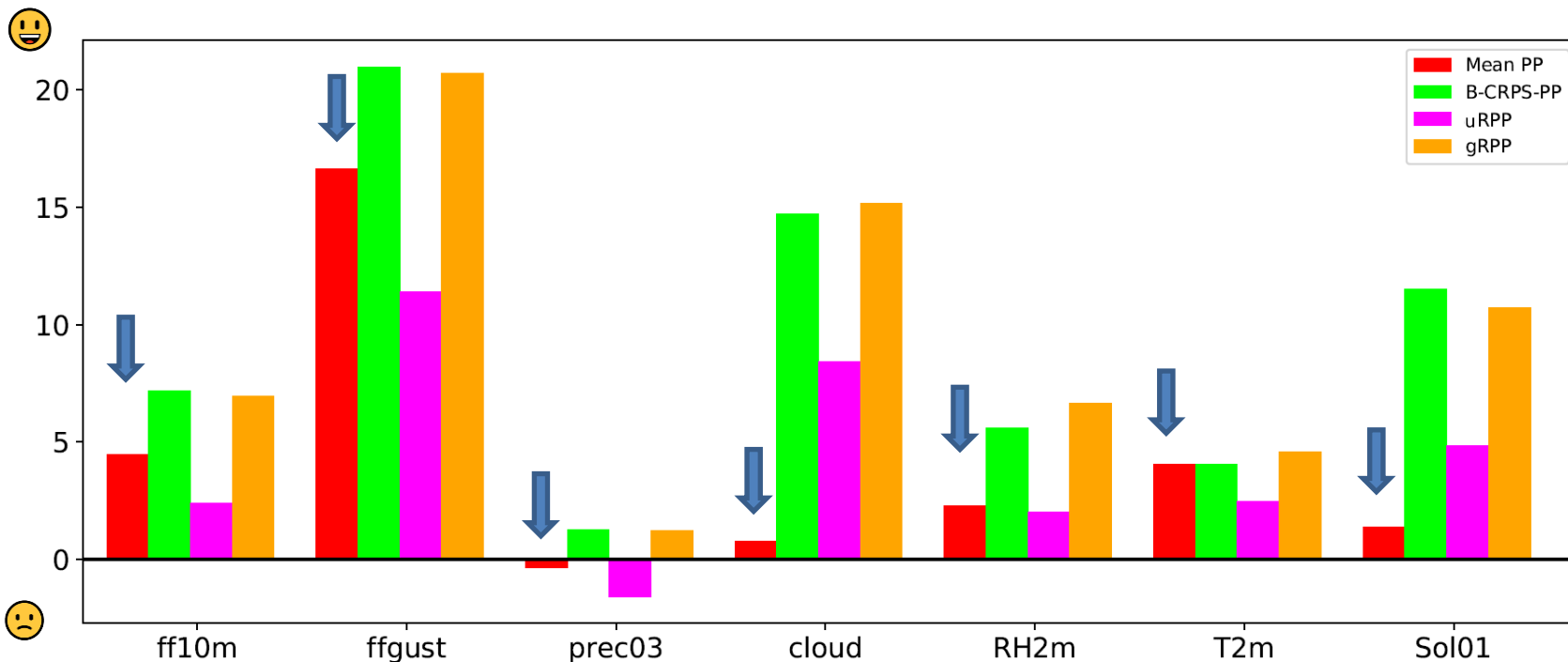
Été 2018





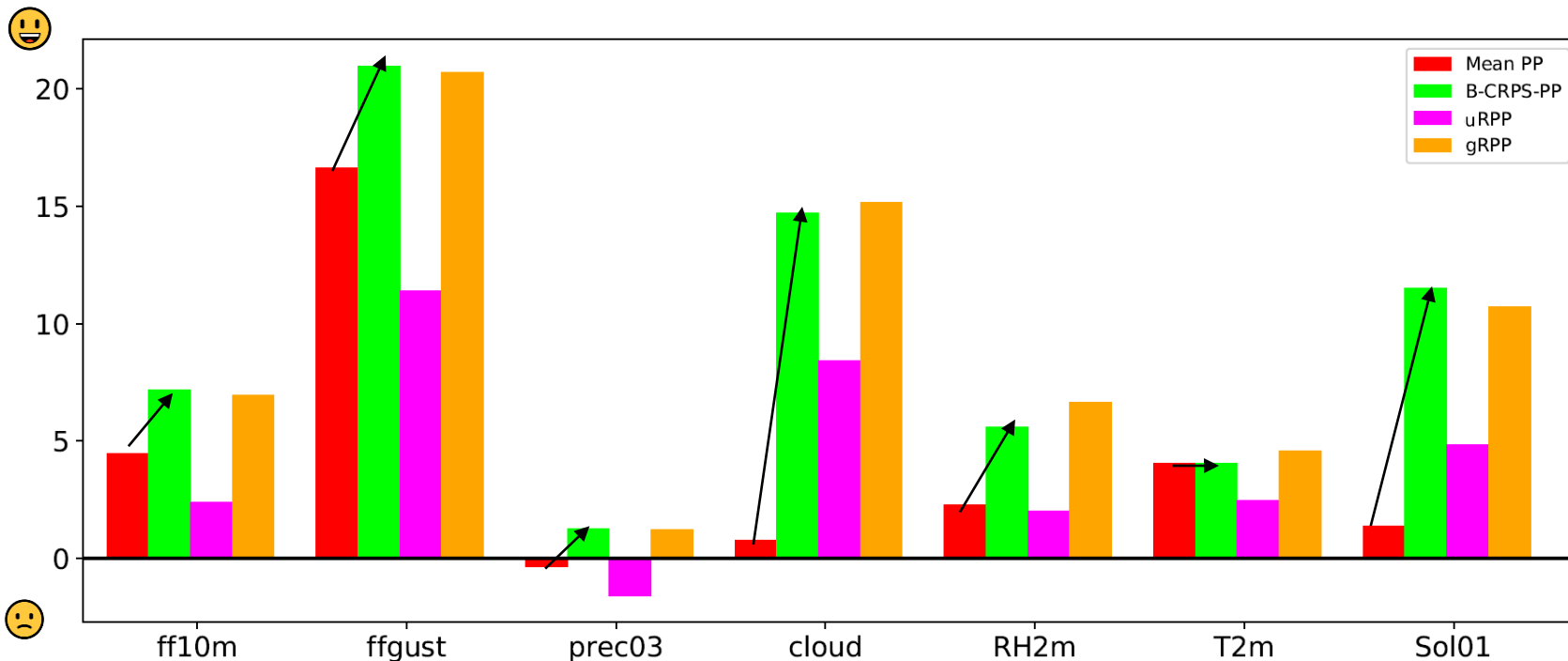
Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

Été 2018



Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

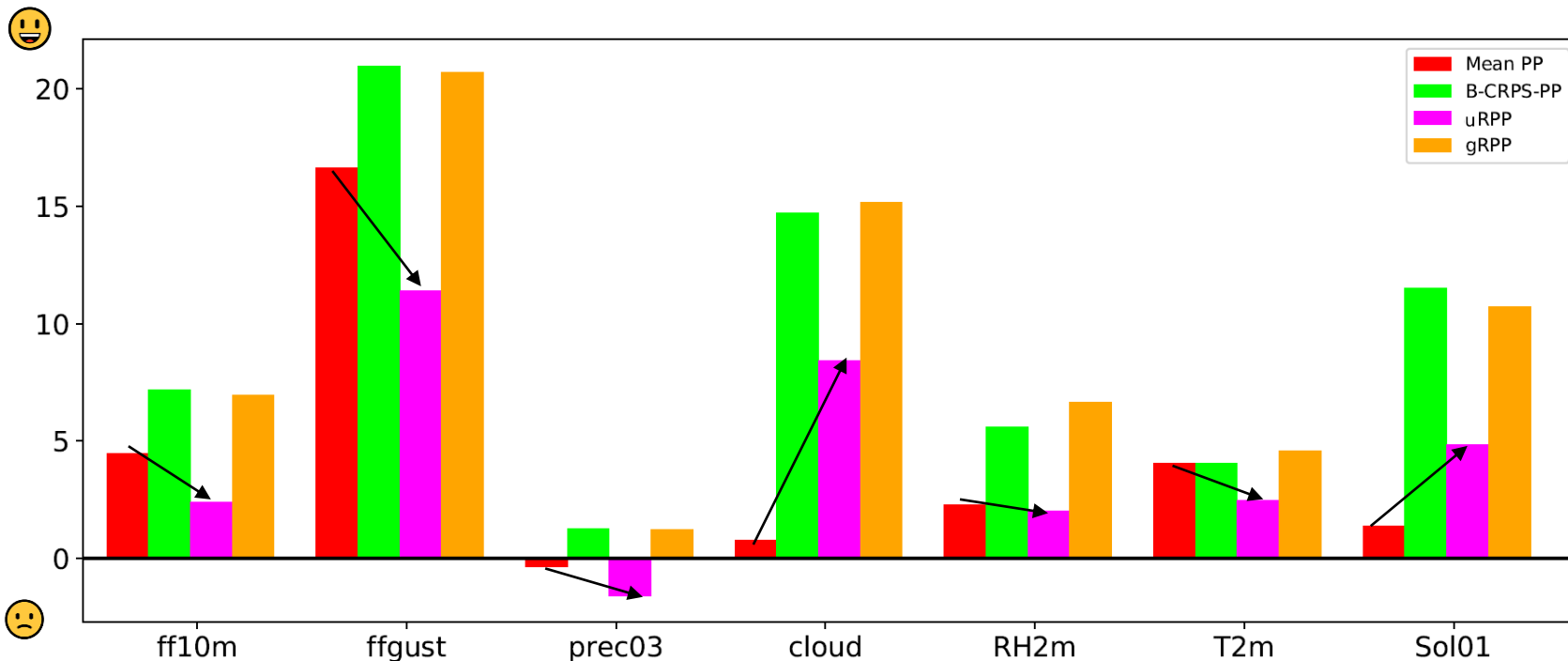
Été 2018





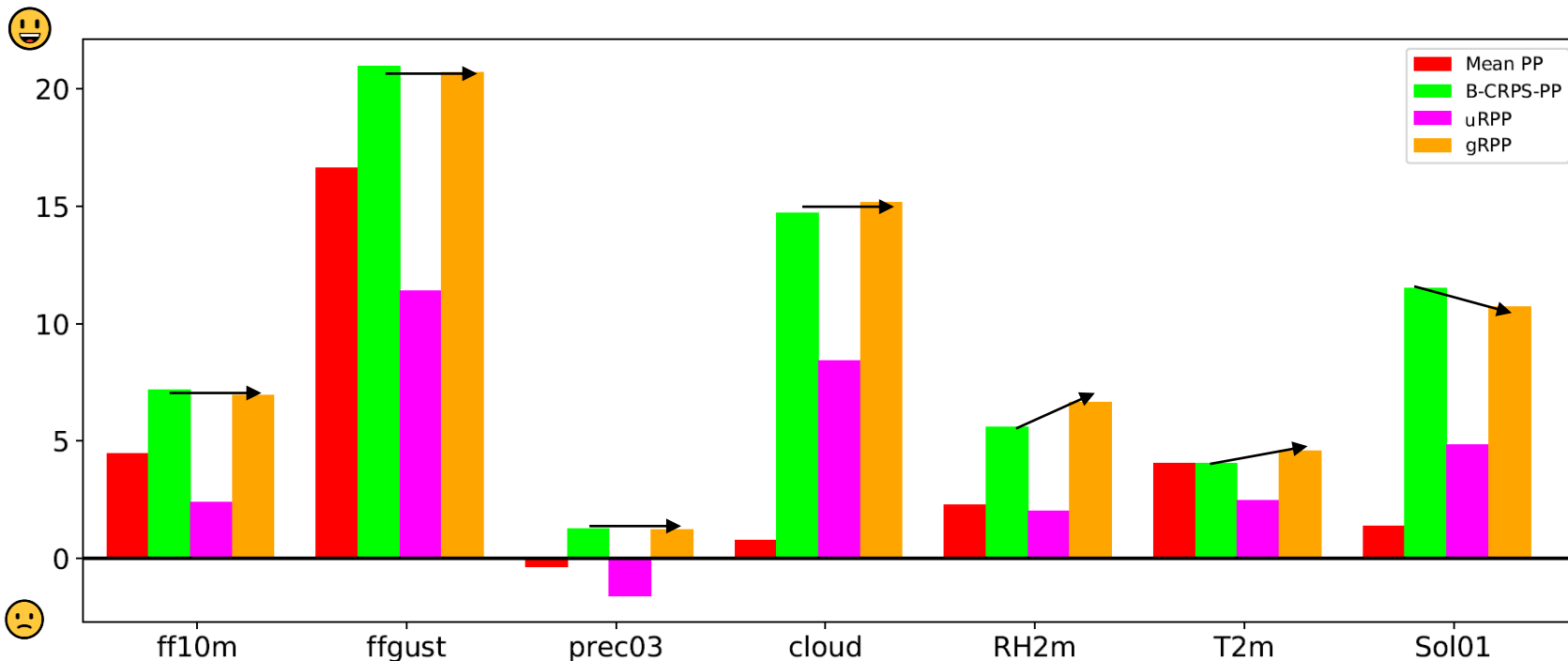
Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

Été 2018



Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

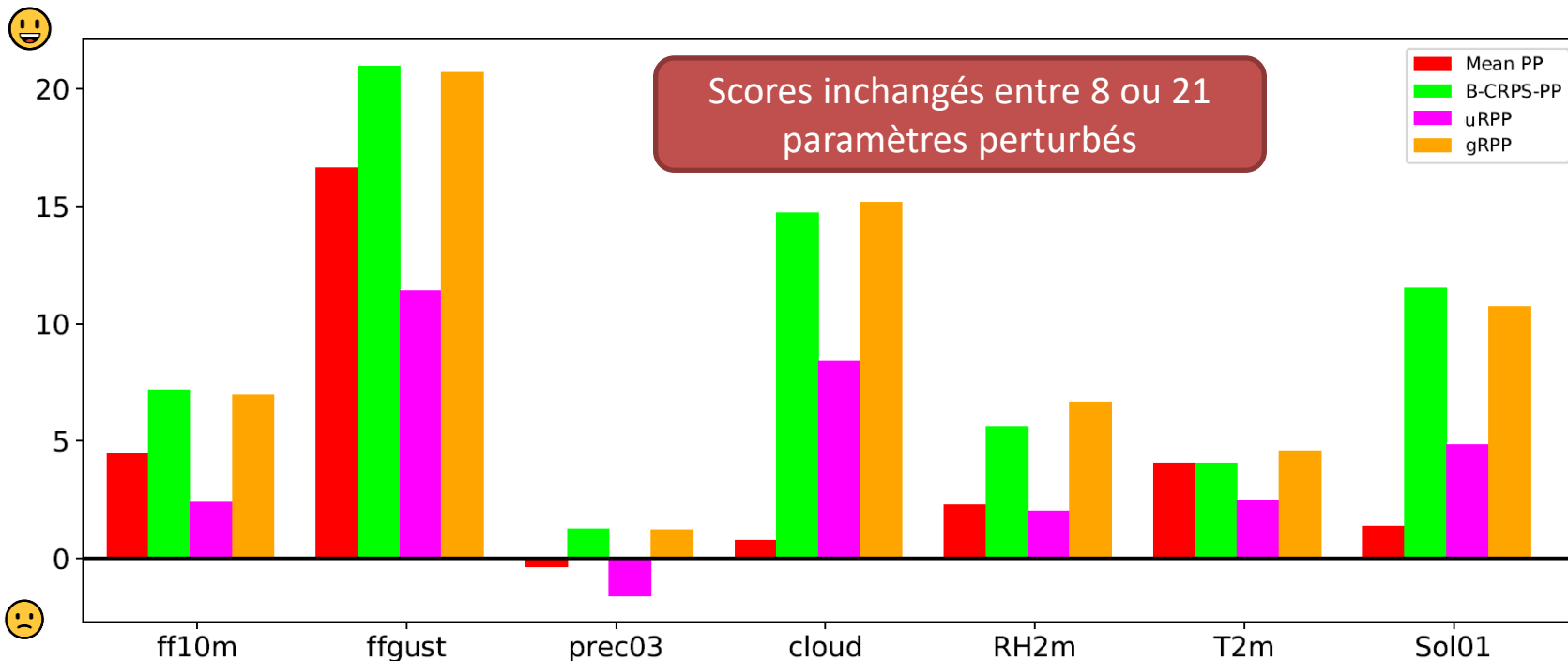
Été 2018





Taux d'amélioration du CRPS relativement au SPPT (%)

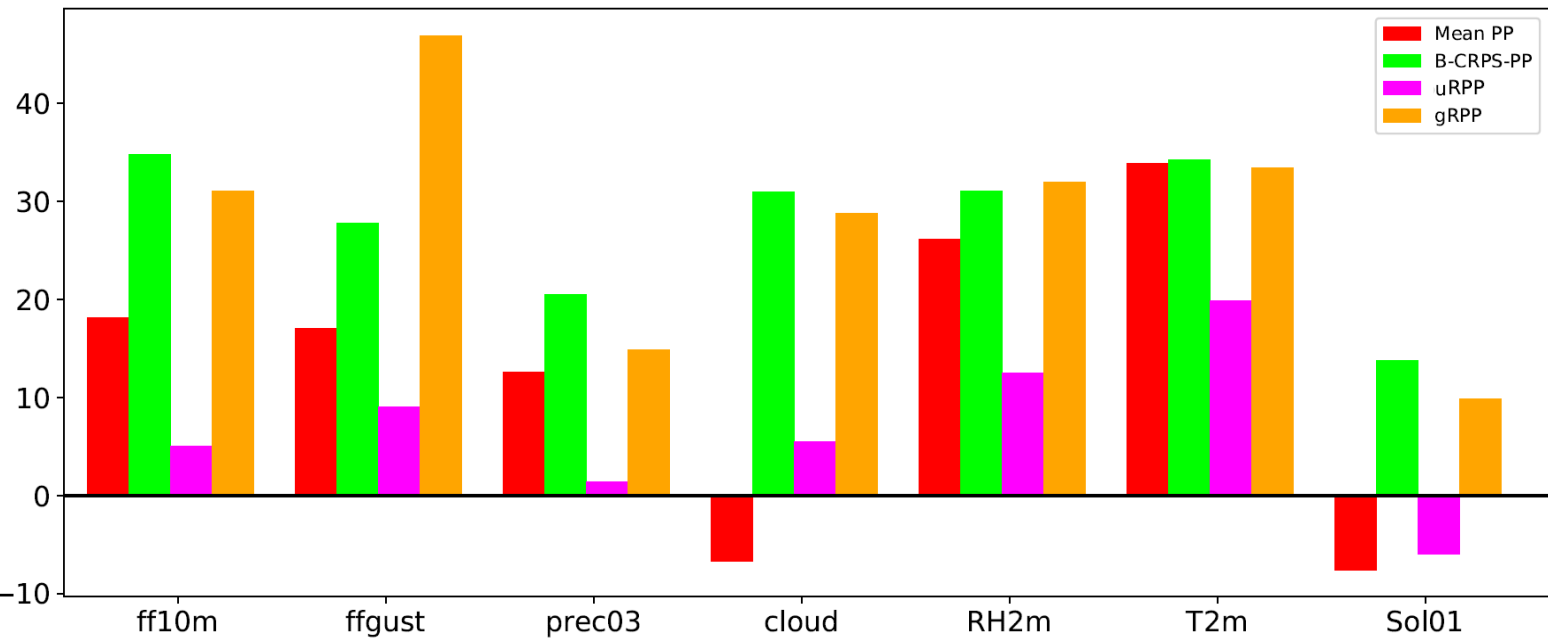
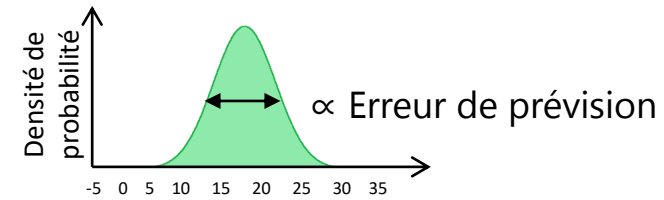
Été 2018





Taux d'amélioration du rapport dispersion/erreur relativement au SPPT (%)

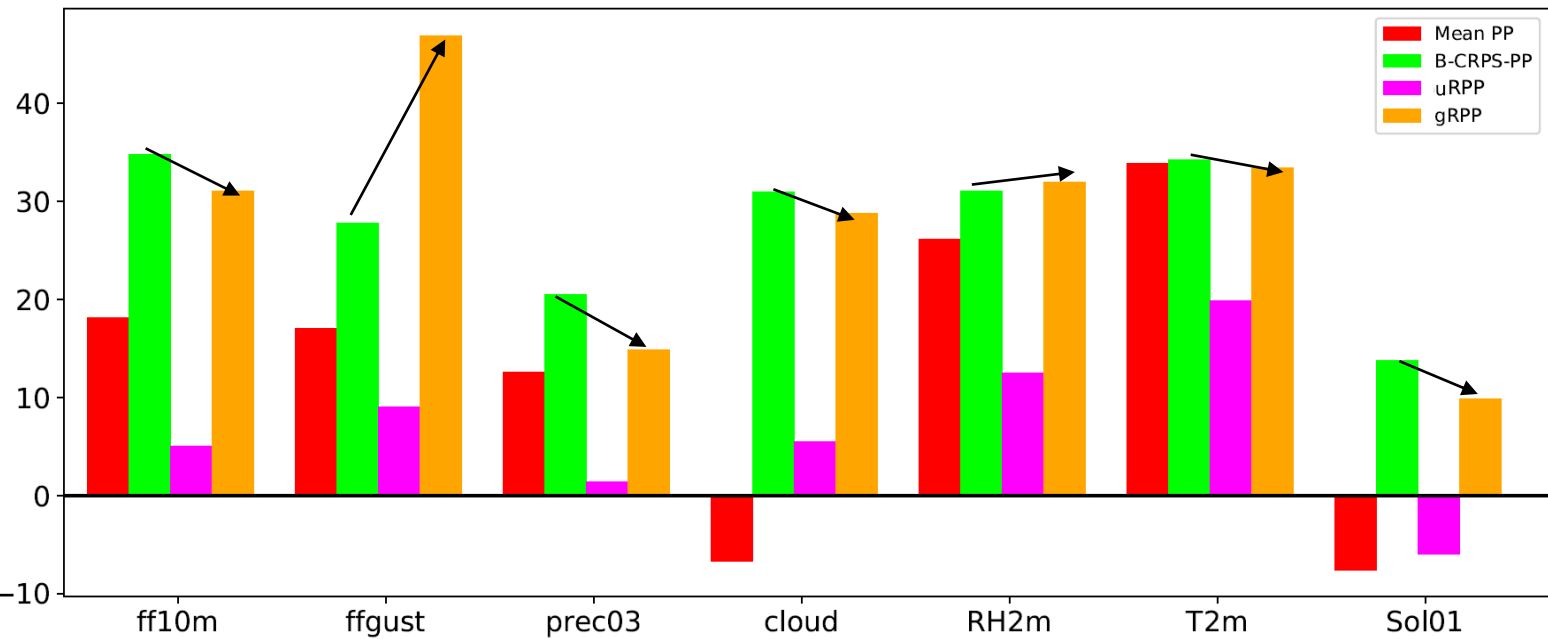
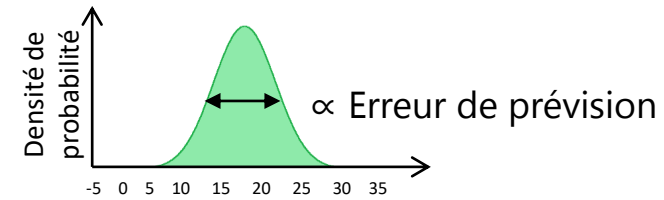
Été 2018





Taux d'amélioration du rapport dispersion/erreur relativement au SPPT (%)

Été 2018

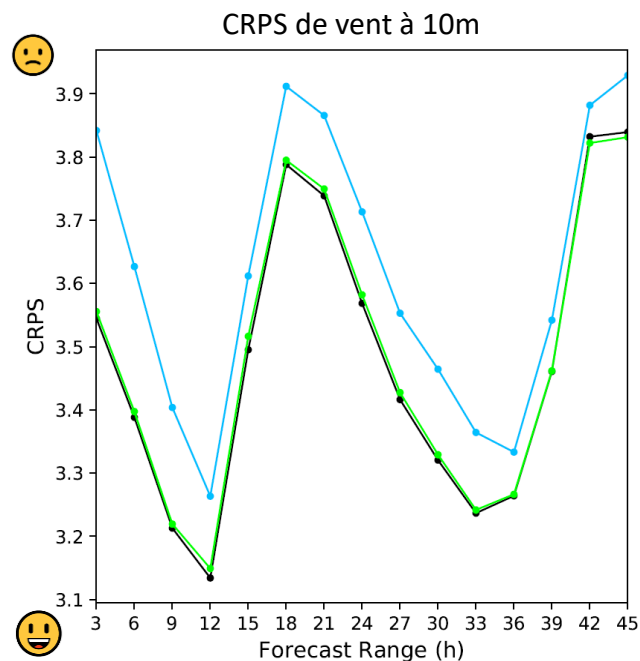
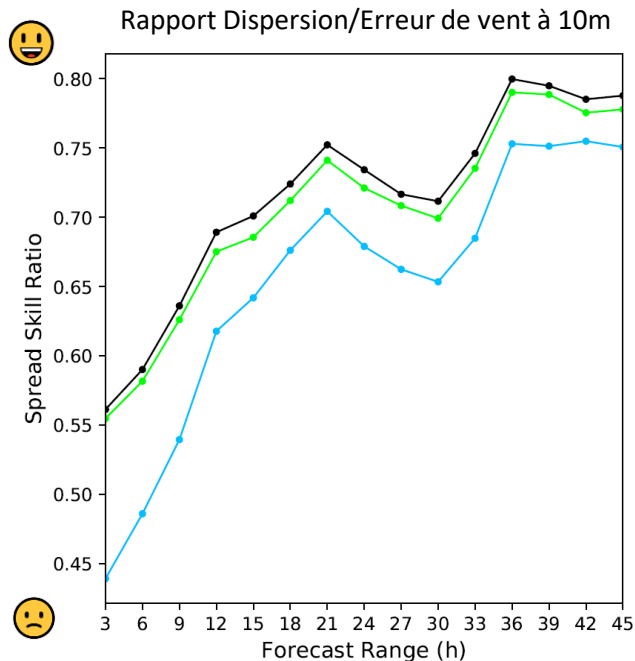




Configuration opérationnelle

Été 2018

- operational B-CRPS-PP
- operational SPPT
- operational B-CRPS-PP + SPPT





Biais des membres du B-CRPS-PP

Été 2018

XCED faible

Dissipation plus faible de la TKE

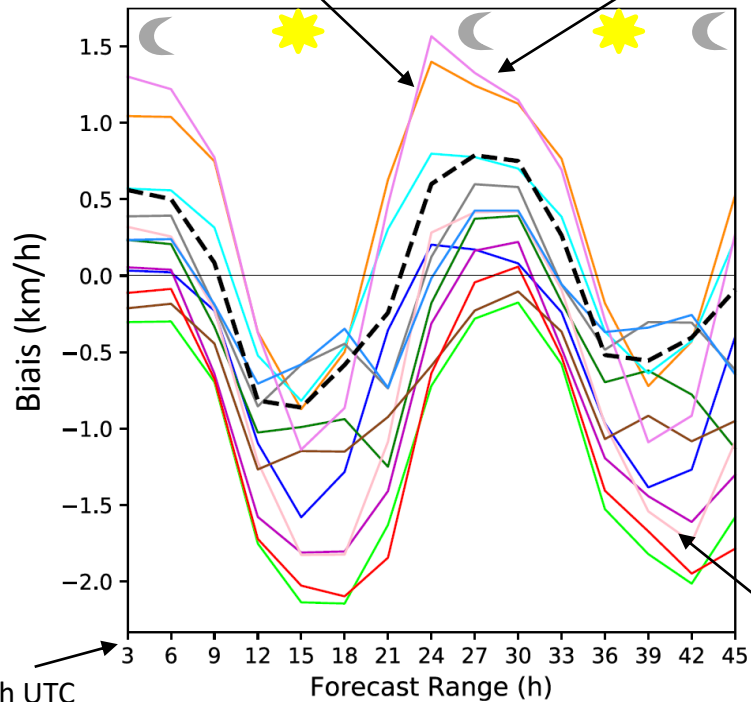
XFRACZO élevé

longueur de rugosité faible

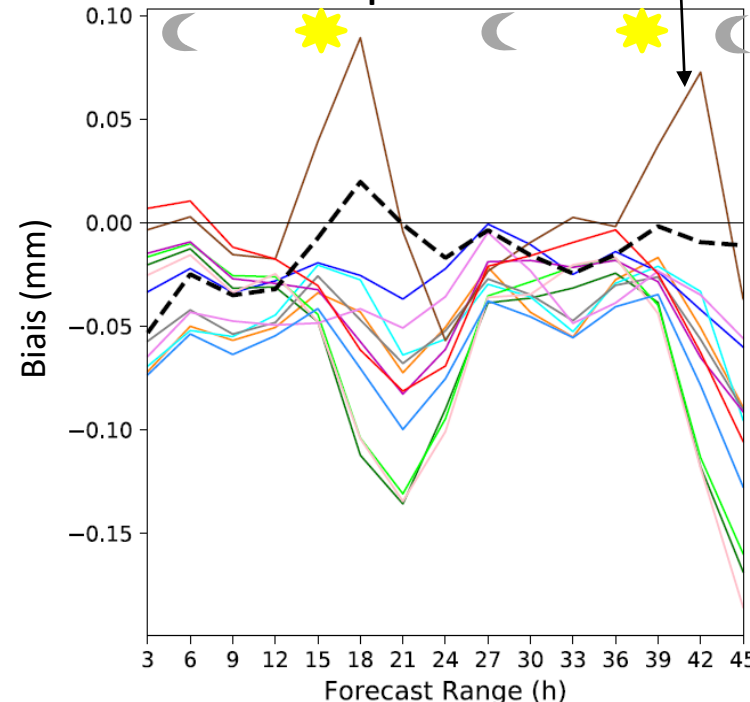
Faible XCMF

Vent à 10m

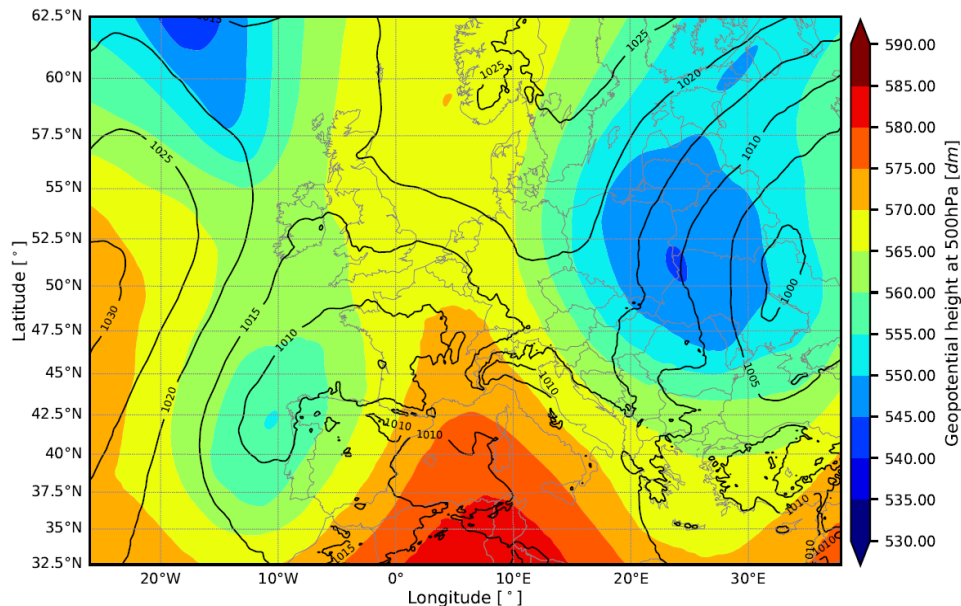
Précipitation sur 3h



- PP mb001
- PP mb002
- PP mb003
- PP mb004
- PP mb005
- PP mb006
- PP mb007
- PP mb008
- PP mb009
- PP mb010
- PP mb011
- PP mb012
- default value



Etude de cas : Orages du 1^{er} juillet 2018



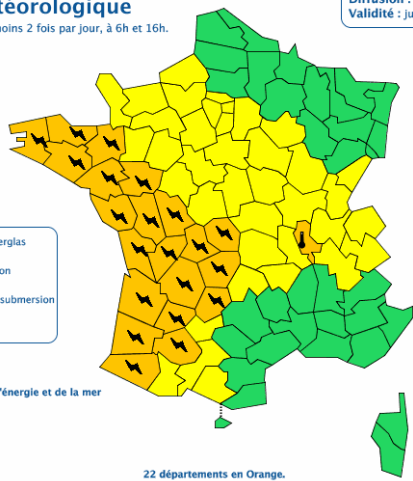
Vigilance météorologique

La carte est actualisée au moins 2 fois par jour, à 6h et 16h.

- **Une vigilance absolue** s'impose des phénomènes dangereux d'intensité exceptionnelle sont prévus...
 - **Soyez très vigilant**, des phénomènes dangereux sont prévus...
 - **Soyez attentif** si vous pratiquez des activités sensibles au risque météorologique...
 - **Pas de vigilance particulière.**
- | | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |

Les vigilances pluie-inondation et inondation sont élaborées avec le réseau Vigicrues du Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer

Diffusion : le dimanche 01 juillet 2018 à 16h00
Validité : jusqu'au lundi 02 juillet 2018 à 16h00



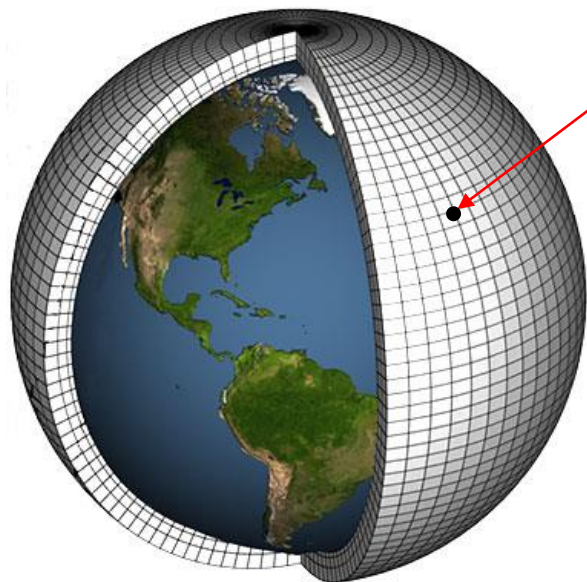
Consultez le [bulletin national](#)

Des orages violents accompagnés de fortes rafales de vent et parfois de grêle, sont attendus sur tout l'ouest du pays. Episode de canicule en cours sur le département du Rhône, et pic de chaleur des Savoies au Bassin Parisien.

Cliquez sur la carte pour lire les **bulletins régionaux**

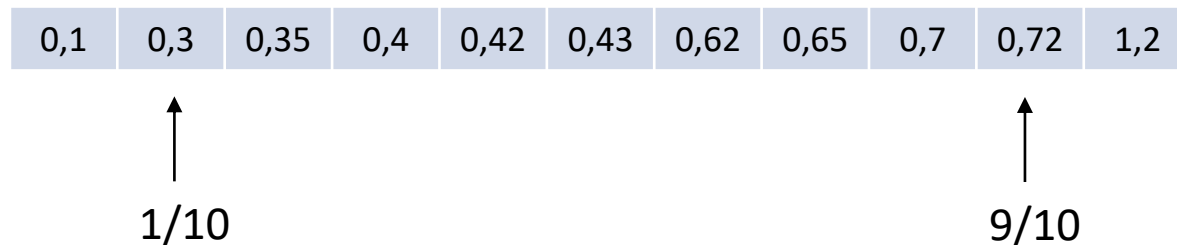
Conseils des pouvoirs publics :
Orages/Orange – Soyez prudents, en particulier dans vos déplacements et vos activités de loisir. – Évitez d'utiliser le téléphone et les appareils électriques. – A l'approche d'un orage, mettez en sécurité vos biens et abritez-vous hors des zones boisées.
Canicule/Orange – Passez au moins 3 heures par jour dans un endroit frais. – Rafraîchissez vous, mouillez vous le corps plusieurs fois par jour. – Buvez fréquemment et abondamment même sans soif. – Évitez de sortir aux heures les plus chaudes.

Carte de quantile des précipitations



En chaque point de grille :
Précipitations prévues par chaque membre
Trier dans l'ordre croissant
Calcul des quantiles

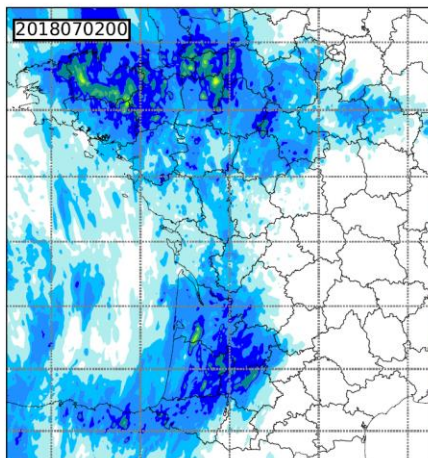
Exemple pour une prévision à 11 membres :



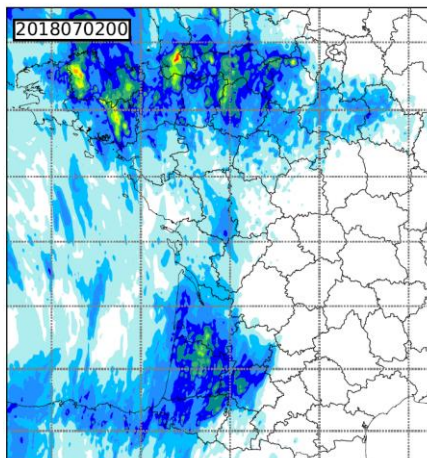
Carte de quantile 90% des précipitations cumulées sur la journée

Prévision du 30 juin 2018 à 21h UTC

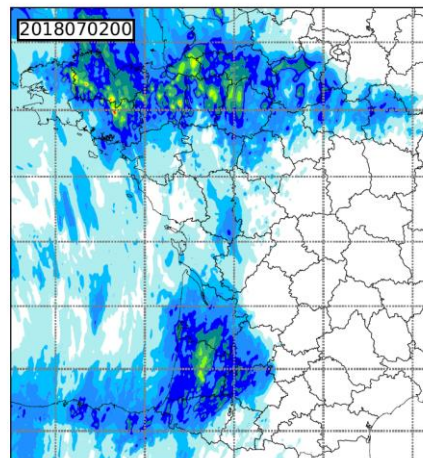
SPPT



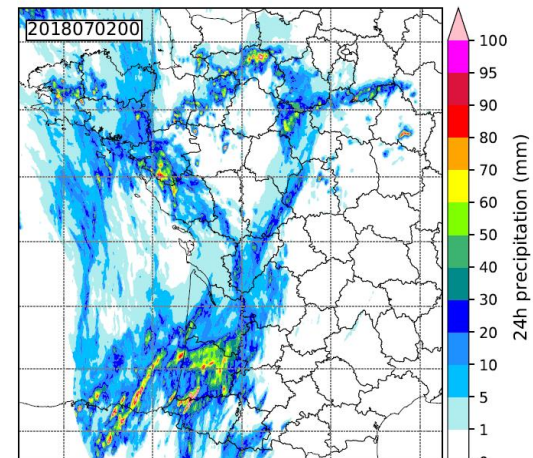
B-CRPS-PP



gRPP



Observations



Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP



Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP
- **Optimisation selon le CRPS** : améliore aussi les **autres scores**
gRPP rattrape les défaillances du uRPP

Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP
- **Optimisation selon le CRPS** : améliore aussi les **autres scores**
gRPP rattrape les défaillances du uRPP
- **Réduction à 8 paramètres** donne résultats similaires à 21

Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP
- **Optimisation selon le CRPS** : améliore aussi les **autres scores**
gRPP rattrape les défaillances du uRPP
- **Réduction à 8 paramètres** donne résultats similaires à 21
- Configuration opérationnelle :
B-CRPS-PP **toujours meilleur** que SPPT
Combinaison avec le SPPT a peu d'impact en surface

Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP
- **Optimisation selon le CRPS** : améliore aussi les **autres scores**
gRPP rattrape les défaillances du uRPP
- **Réduction à 8 paramètres** donne résultats similaires à 21
- Configuration opérationnelle :
B-CRPS-PP **toujours meilleur** que SPPT
Combinaison avec le SPPT a peu d'impact en surface
- Biais des membres peut être expliqué par des **valeurs spécifiques** de paramètres

Représentation de l'erreur de modélisation

- Perturber les paramètres **améliore** les scores comparés au SPPT
RPP donne de moins bons scores que PP
- **Optimisation selon le CRPS** : améliore aussi les **autres scores**
gRPP rattrape les défaillances du uRPP
- **Réduction à 8 paramètres** donne résultats similaires à 21
- Configuration opérationnelle :
B-CRPS-PP **toujours meilleur** que SPPT
Combinaison avec le SPPT a peu d'impact en surface
- Biais des membres peut être expliqué par des **valeurs spécifiques** de paramètres
- Perturbation de paramètres (Etudes de cas) : convection plus sévère et **mieux ciblée**



Sommaire

Identification des paramètres incertains

Analyse de sensibilité (Morris, 1991)

Evaluation des différentes représentations de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Conclusion

Perspectives

Conclusion

Objectif : Nouvelle représentation de l'erreur de modélisation dans la PEARO

Analyse de sensibilité :

- Identification de **21 paramètres** à perturber dans la physique et dynamique
- Méthode de Morris : **8 paramètres influents**
- Etude de la sensibilité saisonnière, journalière, horaire, spatiale d'AROME aux 21 paramètres

Représentation de l'erreur de modélisation :

- Production de **1000 PP** et **optimisation** selon le CRPS (B-CRPS-PP)
-> amélioration des différents scores probabilistes
- RPP : perturbation des paramètres selon **différentes distributions**
-> Distributions **gaussiennes** autour du B-CRPS-PP
- gRPP ne rattrape pas complètement les performances du B-CRPS-PP
-> **Perturbation** de paramètres **fixe suffisante**
- Perturbation de 8 paramètres \approx perturbation des 21 paramètres
-> **Réduction à 8 paramètres envisageable**

Perspectives

- RPP : Variabilité des perturbations de paramètres selon les dates initiales
➡ Ajout de variabilité **spatiale** et/ou **au cours de la prévision**
- Sensibilité horaire et spatiale
➡ **Longueur et temps caractéristiques** de perturbations stochastiques
- Etude du biais des membres du B-CRPS-PP
➡ **Correction des biais** en utilisant des distributions de paramètres pour des prévisions non biaisées
- **Assimilation d'Ensemble AROME** : erreur de modélisation utilisant SPPT
➡ Compléter ou remplacer par perturbation de paramètres
- PEARO : Passage de 12 à 16 membres en juillet 2019 et de 2,5km à 1,3km en 2022
➡ Validation des résultats à **haute résolution** et optimisation pour **16 membres**
- Autres méthodes de représentation des erreurs de modélisation
➡ **Intégration de stochasticité** dans les paramétrisations physiques (thèse en cours : A. Fleury)



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER
Université
de Toulouse



Merci pour votre attention

Quelques chiffres...

Test hydrostatique :

3 PEARO de 12mb de 30 jours

Analyse de sensibilité :

24 552 prévisions

Evaluation des différentes représentations des erreurs de modélisation :

86 PEARO de 12 mb de 31 jours

Total : 57 624 prévisions AROME

= 39,5 ans d'AROME

= 3,3 ans de PEARO

1 225 824 Go = 1 226To