



Environnement
Canada

Environment
Canada

Canada

Le Système Global de Prévision d'Ensemble (SGPE/GEPS) version 3.0.0.

Octobre 2012 présentation interne pré-CPOP
Peter Houtekamer
Division de Recherche en Météorologie,
Dorval, Canada

Résumé

- Introduction,
- Changements au Filtre de Kalman d'Ensemble (FKEn),
(expériences par Peter Houtekamer et Xingxiu Deng)
- Changements au prévisions de 16 jours,
(expériences par Normand Gagnon)
- Parallélisme,
(travail avec Ervig Lapalme et Bin He)
- Conclusions.



Les P7

Depuis décembre 2011, nous pouvons tourner les expériences sur les **P7** qui ont remplacés les **P5**.

Nous étions heureux de constater que l'*FKEn tournait environ 3 fois plus vite avec un même nombre de processeurs*. De plus, comme vous le savez, les P7 ont plus de processeurs que les P5 en avaient.

Ayant plus de résolution, nous avons augmenté les coûts du modèle par **un facteur 4** (dans le filtre) et les coûts de l'assimilation par **un facteur 8**.

Avec Normand Gagnon et Xingxiu Deng, j'ai tourné beaucoup d'expériences et vous allez voir **les résultats de la force brute**.



Contexte

- Nous avons une échange opérationnelle de nos ensembles avec NCEP. *L'ensemble combiné est de classe mondiale.* Récemment, avec la méthode hybride et le Filtre de Kalman d'Ensemble, NCEP a commencé de prendre de l'avance sur nous. Une amélioration de la qualité de nos ensembles est souhaitable.
- Le système aux opérations manque de robustesse. *Il y a, surtout depuis qu'on est sur le P7, souvent des membres qui plantent.* On (CMOI) remplace alors les conditions initiales ou prend une autre séquence de nombres aléatoires. Cette procédure est coûteuse et dérangementante.
- Nous avons préparé une configuration pour une passe parallèle branché sur la passe parallèle du **GDPS 3.0.0**.



Procédure expérimentale

- Suivants les standards de CPOP, nous avons des cycles finaux de deux mois branchés sur le GDPS 3.0.0:
 - février et mars 2011,
 - juillet et août 2011.
- Pour des changements individuels au FKEn nous regarderons des vérifications arcad sur une période de 20 jours en hiver. On regarde aussi l'effet cumulatif avec arcad.
- Pour les prévisions d'ensemble jusqu'au jour 15, nous regarderons l'effet cumulatif des changements pour quelques variables. *Il y a beaucoup plus de vérifications sur la page wiki de Normand Gagnon.*

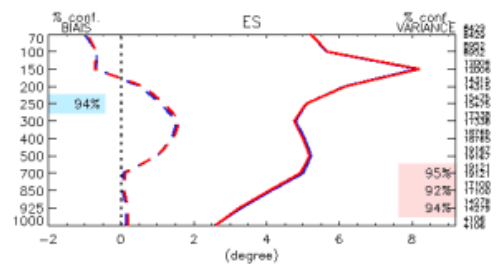
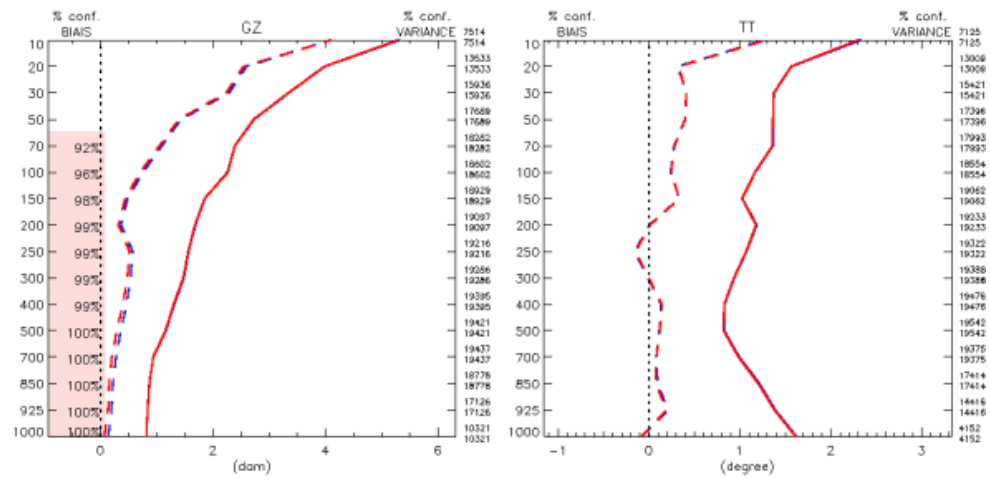
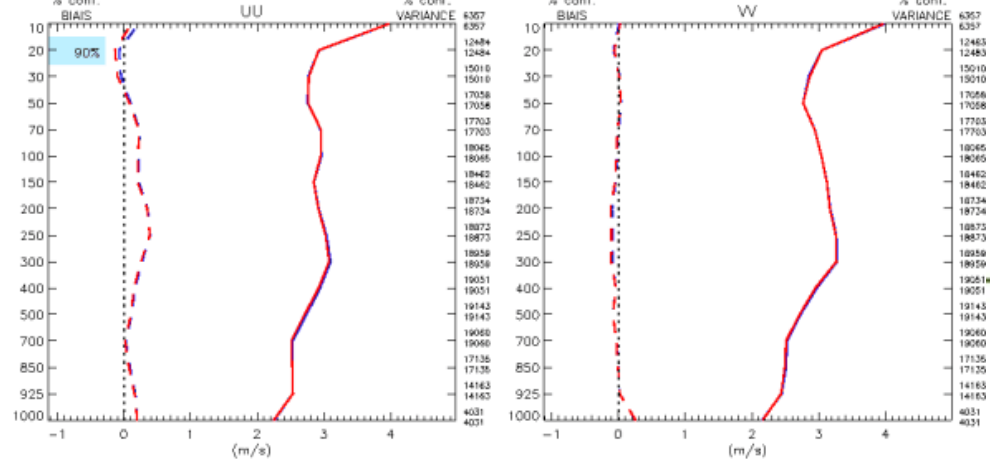


Changements au FKEn

- 1) Usage de l'algorithme multi-échelle,
- 2) Réduction du pas de temps modèle de 30 à 20 minutes,
- 3) Migration d'une grille horizontale de 400x200 à 600x300,
- 4) Migration de 58 à 74 niveaux verticaux,
- 5) Filtrage de topographie,
- 6) Moins de « thinning » pour les observations (2.7 fois plus de radiances),
- 7) Améliorations de la physique et autres changements.

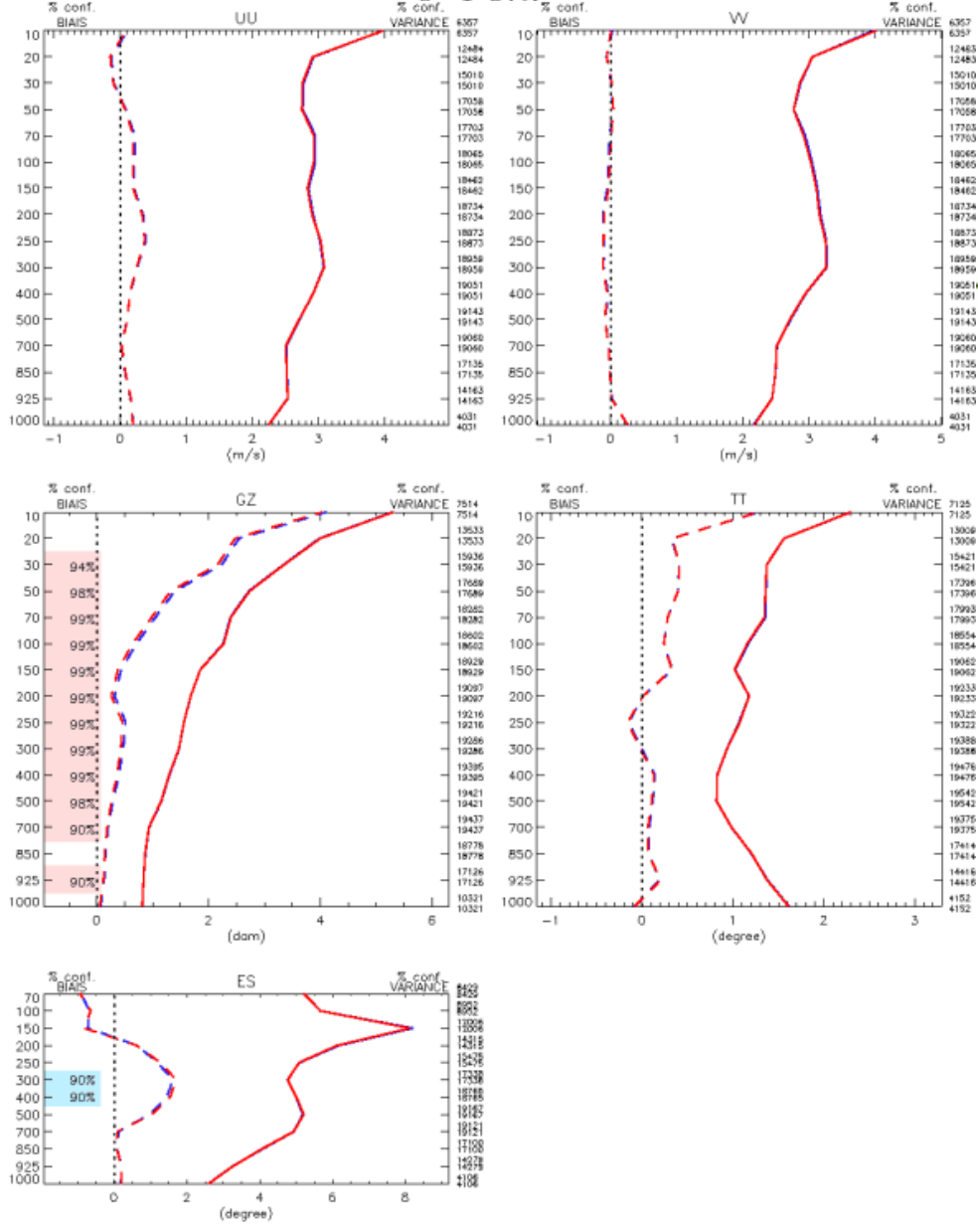


Algorithme multi-échelle



- Dans la stratosphère, où les échelles horizontales sont longues, une observation peut avoir une influence jusqu'à 3000 km. Près de la surface jusqu'à 2100 km.
- L'effet sur les scores est mineur.

◇	—	E-T m_ua11020100_11022012_000_xin124 { 40 }	Type : Q-P6hr
□	- - -	BIAS m_ua11020100_11022012_000_xin124	Region : Monde
◇	—	E-T m_ua11020100_11022012_000_xin125 { 40 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
□	- - -	BIAS m_ua11020100_11022012_000_xin125	Stat.

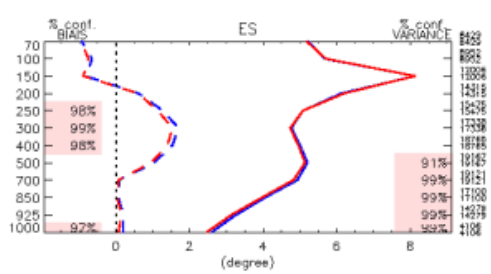
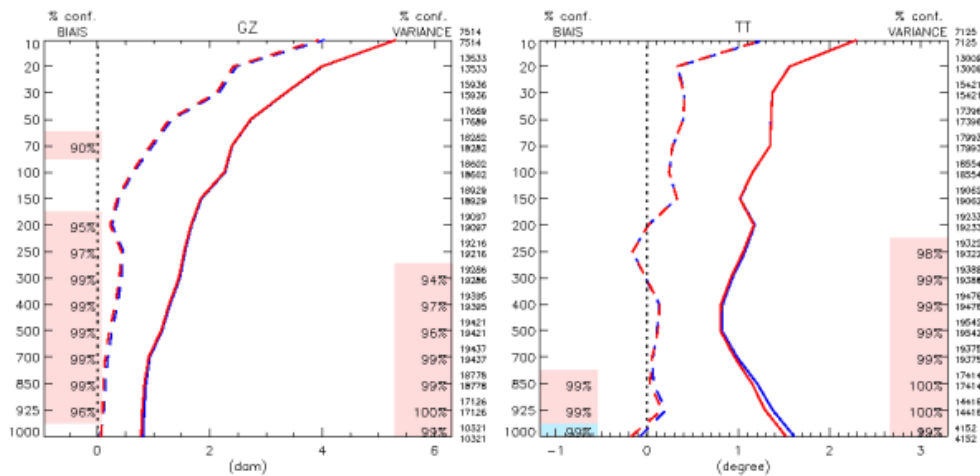
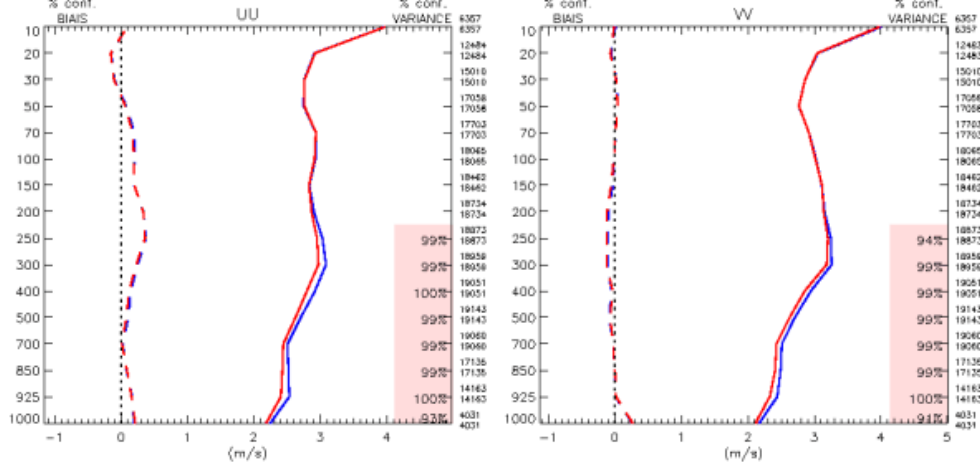


Pas de temps de 20 minutes

- Une préparation à une plus haute résolution spatiale.
- Avec des sorties aux heures, il y a plus de précision pour comparer avec les observations.
- Depuis la réduction du pas de temps à 20 minutes, en février 2012, il n'y a pas eu de plantage de modèle dans le FKEn (excepté des problèmes dus à l'environnement).

◇	—	E-T m_u011020100_11022012_000_xin125 { 40 }	Type : 0-P6hr
□	- - -	BIAS m_u011020100_11022012_000_xin125	Region : Monde
◇	—	E-T m_u011020100_11022012_000_xin137 { 40 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
□	- - -	BIAS m_u011020100_11022012_000_xin137	Stat.

Grille horizontale de 600 x 300

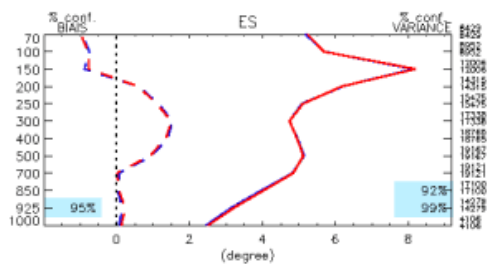
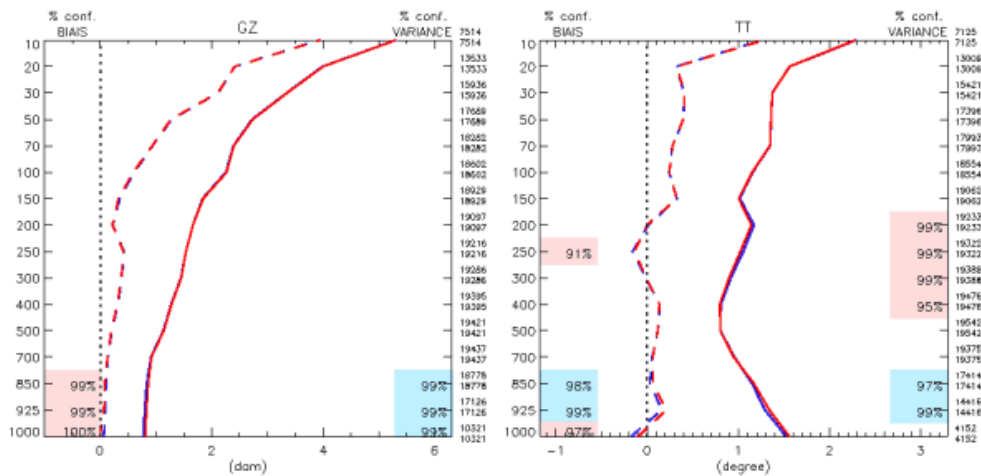
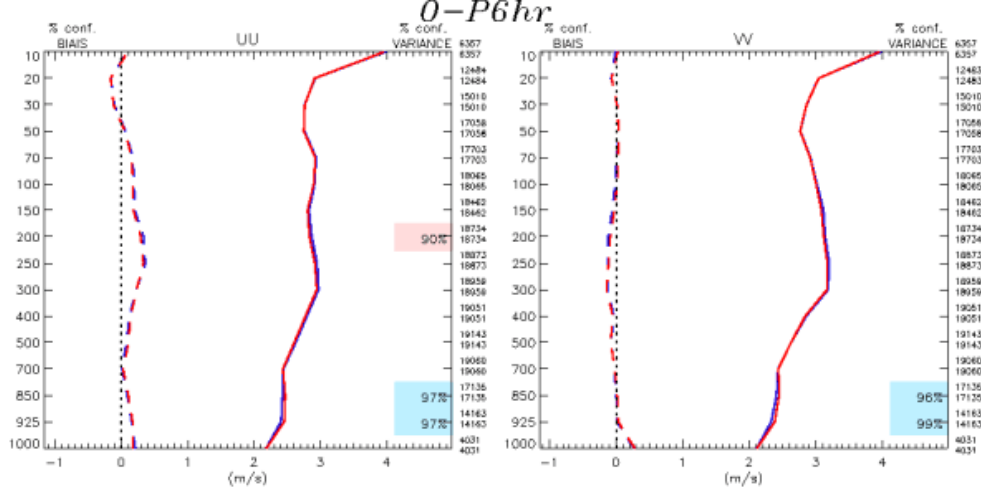


- La résolution horizontale va de 100 km à 66 km. Ceci donne une amélioration importante dans la troposphère.
- Dans la stratosphère, il semble que la résolution horizontale n'aide pas.

◇	—	E-T m_ua11020100_11022012_000_xin137 (40)
◇	- - -	BIAS m_ua11020100_11022012_000_xin137
◇	—	E-T m_ua11020100_11022012_000_xin141 (40)
◇	- - -	BIAS m_ua11020100_11022012_000_xin141

Type : 0-P6hr
 Region : Monde
 Lat-lon : (90S, 180W) (90N, 180E)
 Stat.

Filtre de topographie

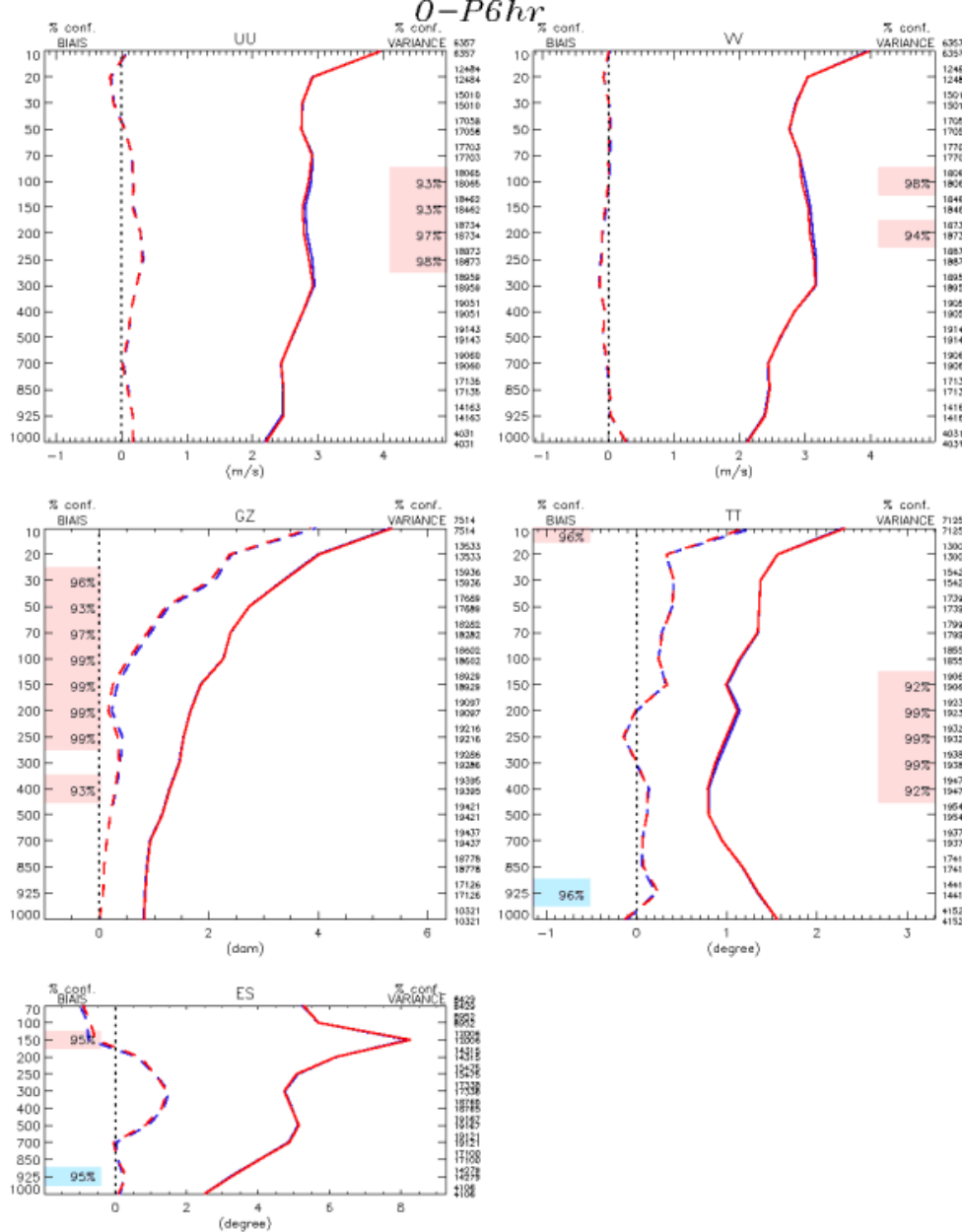


- Le filtre de topographie est nécessaire pour le modèle GEM-DM mais n'aide pas pour bien comparer avec les observations près de la surface.
- Il y a amélioration plus haut dans l'atmosphère et dans les prévisions de 16j.
- *Nous pensons augmenter la robustesse.*

◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_xin141 { 40 }
◇	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_xin141
◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_xin142 { 40 }
◇	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_xin142

Type : 0-P6hr
 Region : Monde
 Lat-lon : (90S, 180W) (90N, 180E)
 Stat.

Résolution verticale

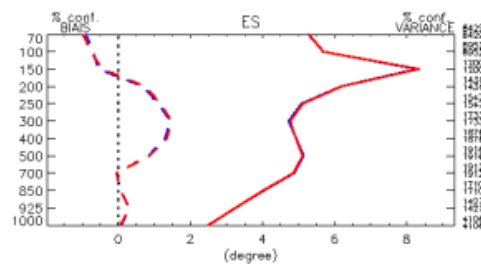
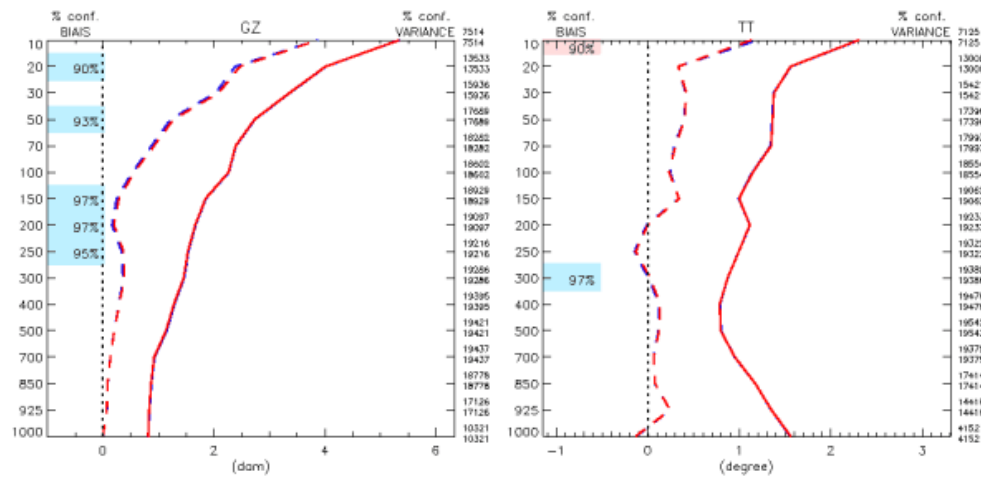
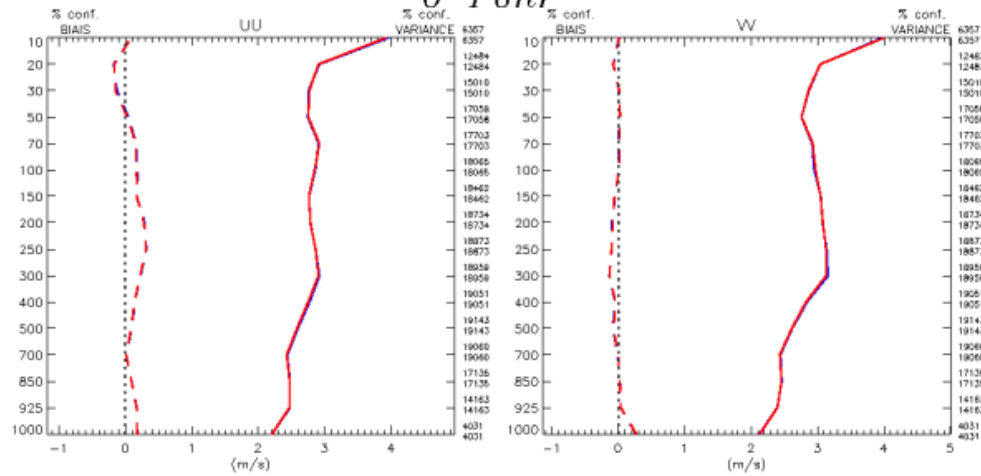


- Nous avons maintenant les niveaux presque à la même place que dans le GDPS (en bas de 2 hPa).
- L'amélioration est surtout au niveau du jet.

◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_xin142 { 40 }
◇	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_xin142
◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_xin143 { 40 }
◇	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_xin143

Type : O-P6hr
 Region : Monde
 Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
 Stat.

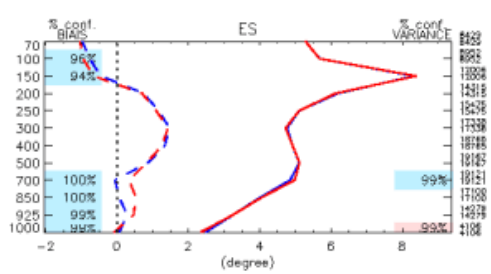
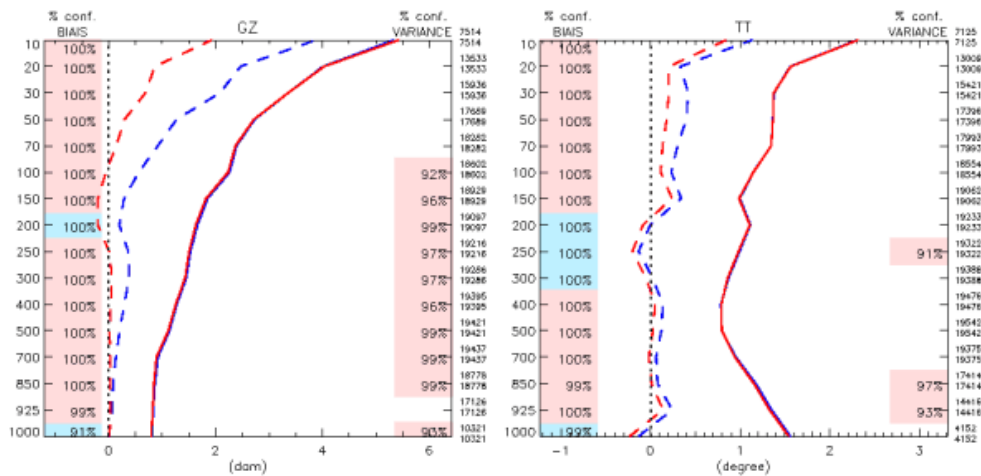
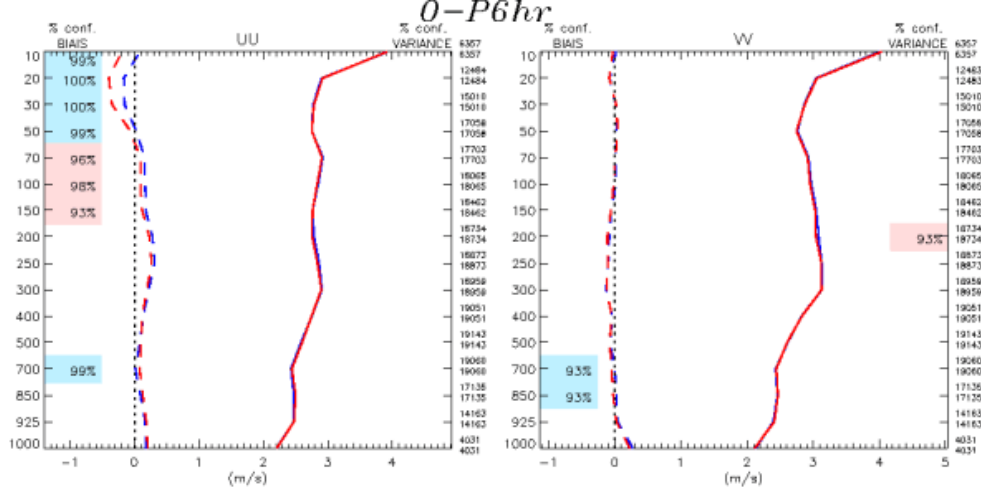
"Thinning" à 150 km



- Augmenter le nombre d'observations en changeant la densité des données de radiance a peu d'effet sur le FKEn.
- Le biais dégrade à cause du poids augmenté des radiances.

◇	—	E-T_m_ua11020100_11022012_000_xin143 { 40 }	Type : 0-P6hr
□	- - -	BIAS_m_ua11020100_11022012_000_xin143	Region : Monde
◇	—	E-T_m_ua11020100_11022012_000_xin147 { 40 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
□	- - -	BIAS_m_ua11020100_11022012_000_xin147	Stat.

Branchement sur le GDPS 3.0.0



- La grosse réduction des biais vient de l'usage de GEM 4.4 (au lieu de GEM 3) dans la correction de biais des observations avec le GDPS 3.0.0.
- Nous utilisons GEM 4.4 pour le FKEn (on avait GEM 4.2).
- Nous utilisons du code unifié pour générer les perturbations.

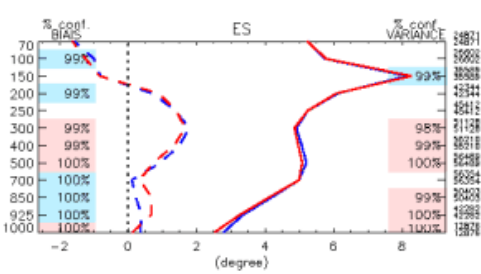
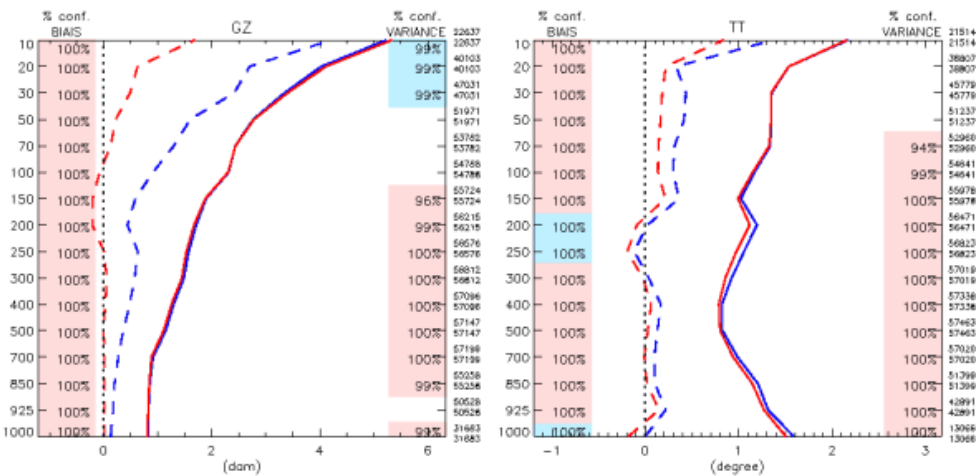
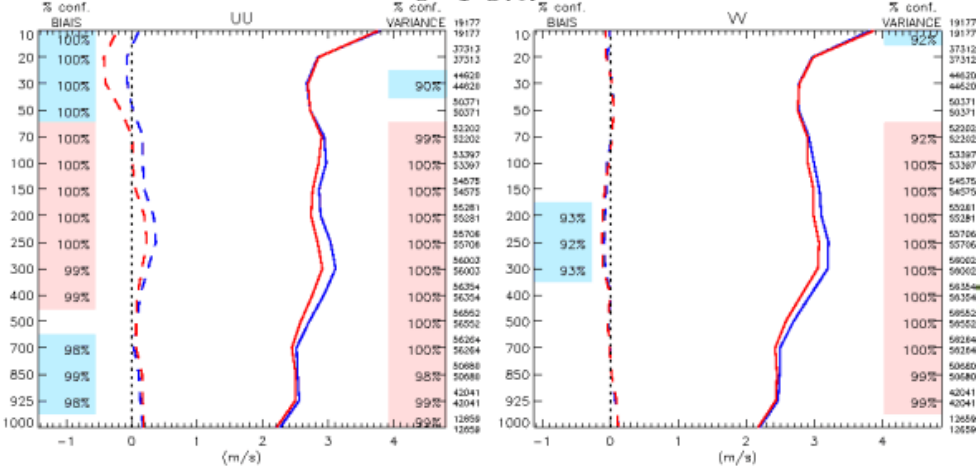
◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_xin147 { 40 }	Type : 0-P6hr
□	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_xin147	Region : Monde
◇	—	E-T m_uo11020100_11022012_000_kol395 { 40 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
□	- - -	BIAIS m_uo11020100_11022012_000_kol395	Stat.

L'ensemble des changements

Période: février+mars 2011

Blue : GEPS 2.0.3

Rouge : GEPS 3.0.0



- La réduction importante des biais vient surtout de la correction de biais des observations avec le GDPS 3.0.
- La réduction importante des déviations standards troposphériques vient surtout de la résolution horizontale.

◇	—	E-T m_uo11020100_11033112_000_xin124 { 118 }	Type : 0-P6hr
◇	- - -	BIAS m_uo11020100_11033112_000_xin124	Region : Monde
◇	—	E-T m_uo11020100_11033112_000_kal395 { 118 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
◇	- - -	BIAS m_uo11020100_11033112_000_kal395	Stat.

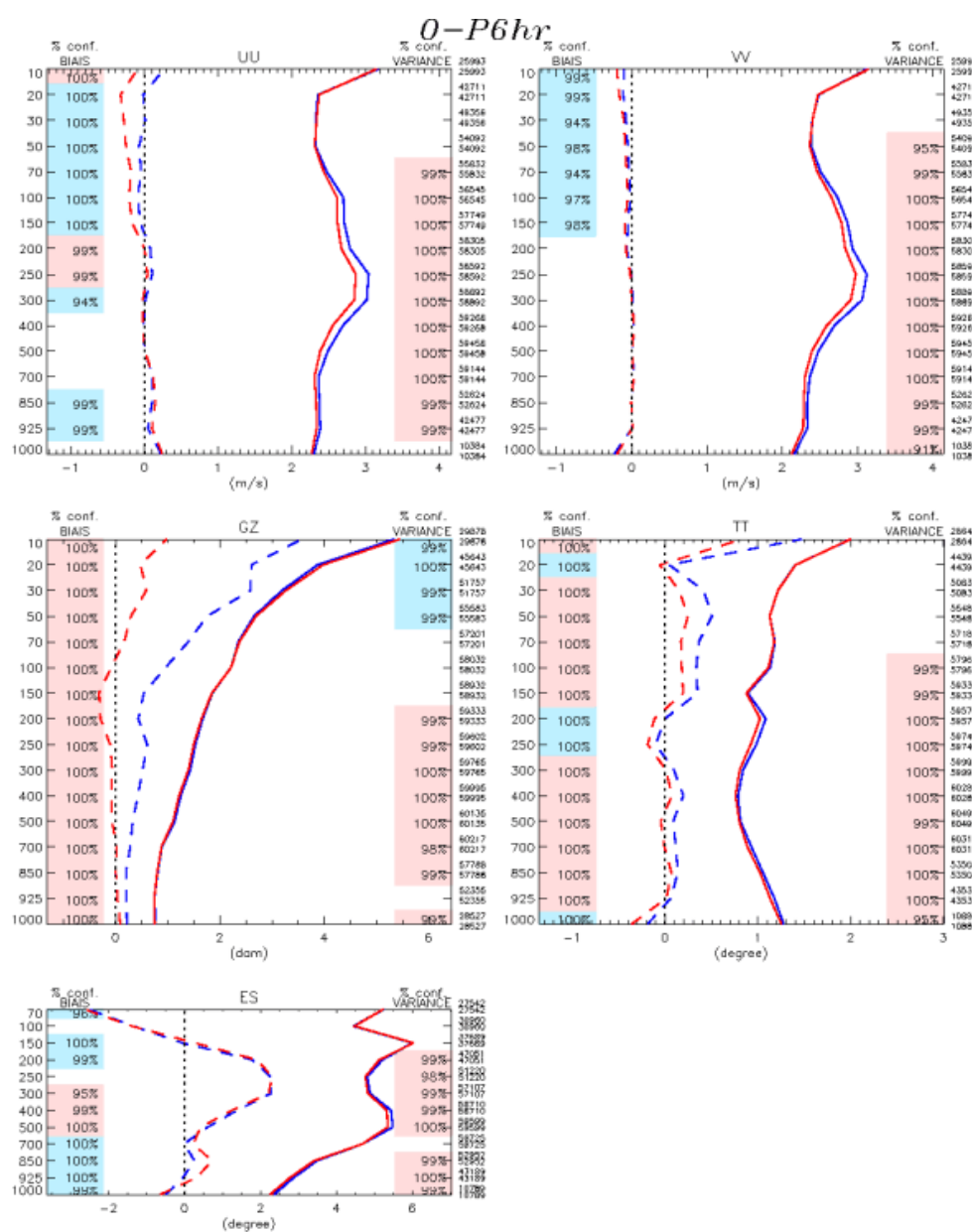
L'ensemble des changements

Période: juillet+août 2011

Blue : GEPS 2.0.3

Rouge : GEPS 3.0.0

L'été est comme l'hiver.



◇	—	E-T m_uu11070100_11083112_000_xin131 { 124 }	Type : 0-P6hr
◇	- - -	BIAIS m_uu11070100_11083112_000_xin131	Region : Monde
◇	—	E-T m_uu11070100_11083112_000_kal396 { 124 }	Lat-lon: (90S, 180W) { 90N, 180E }
◇	- - -	BIAIS m_uu11070100_11083112_000_kal396	Stat.

Changements à la partie prévision de 15 jours (I)

- Passage à la version 4.4.0 de GEM
 - ceci permet de faire évoluer des champs de surface comme la température de mer (requis pour prévisions mensuelles)
- Retrait du schéma de surface Force-restore
- Ajout effet hystérésis (coefficients 0.25 et 2.0)
- Perturbations du paramètre de blocage (sgo_cadmin est soit 0.5 ou 1.5)



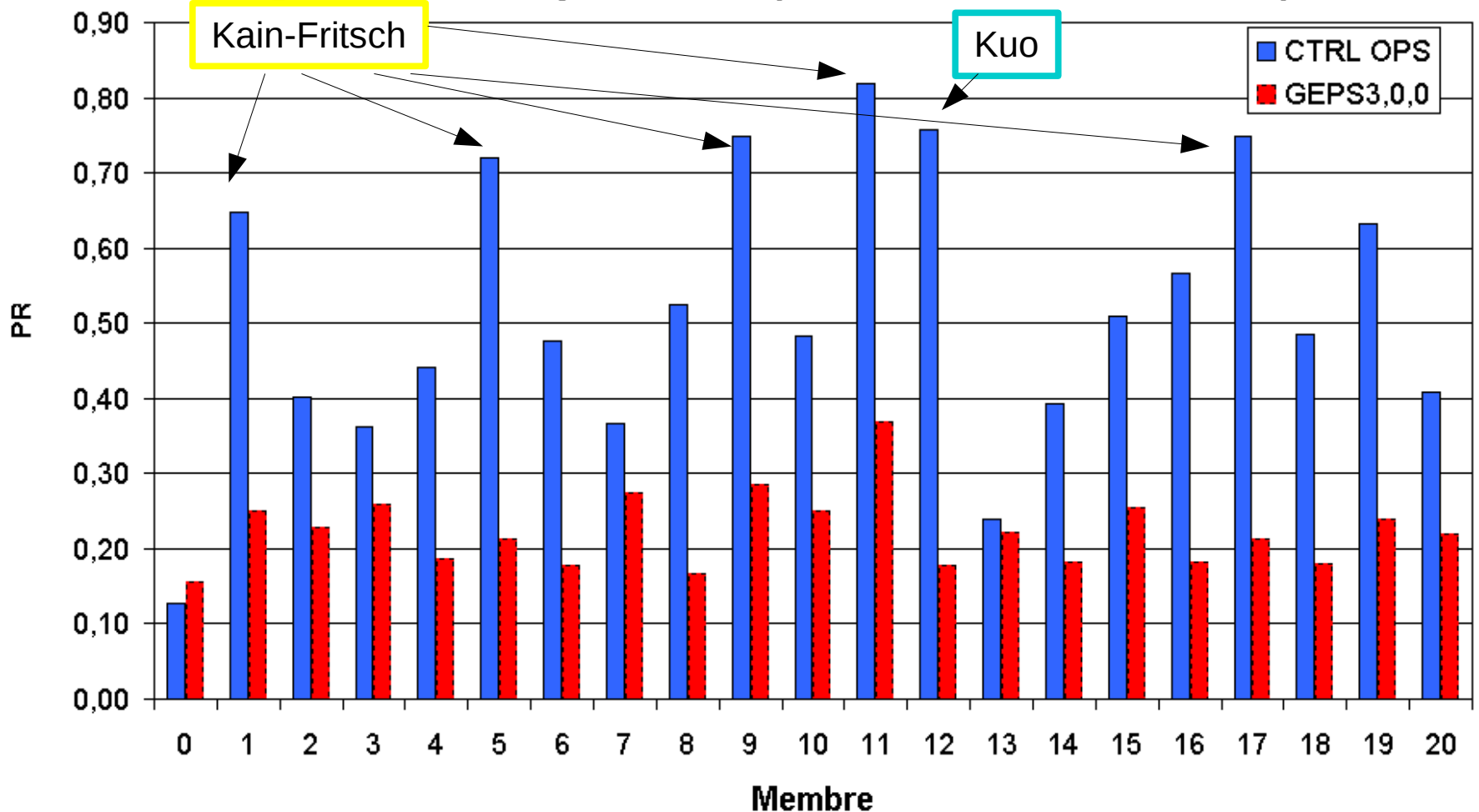
Changements à la partie prévision de 15 jours (II)

- Pour stabiliser les prévisions numériques:
 - Filtrage des montagnes
 - Réduction du pas de temps (de 30 min. vers 20 min.)
 - Aucune perturbation dans la colonne sur présence :1) de CAPE avec le schéma Kain-Fritsch ou 2) de précipitations convectives avec le schéma Kuo (OLDKUO).
 - Ajout diffusion supplémentaire sur les vents (hzdzt et hzduav)
- Autres changements :
 - Désactivation de la rampe latitudinale (réduction PTP de 50% dans les tropiques).
 - Perturbations plus près de la surface (pleine perturbation à l'exception du dernier niveau)

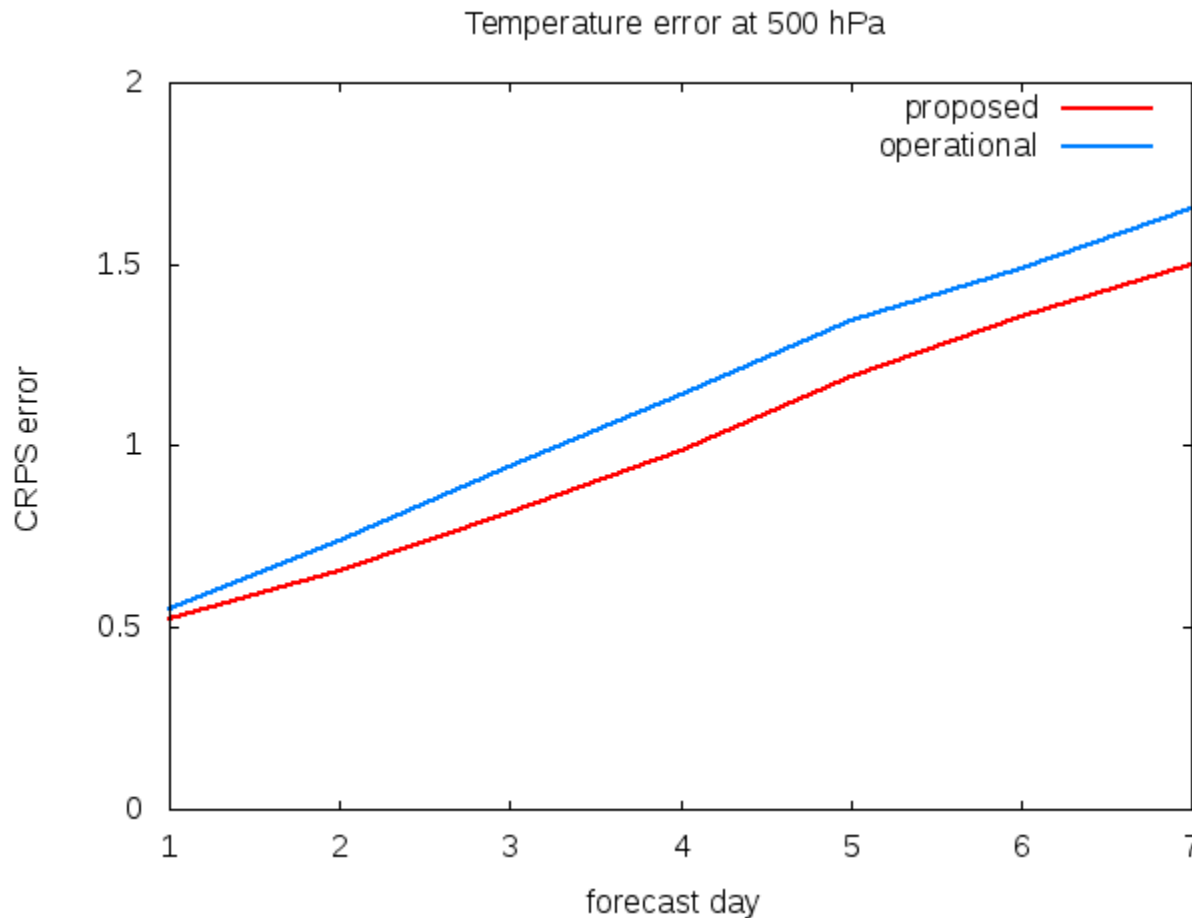


Problème de maximums de précipitations trop élevés grandement diminué !

Maximum de l'accumulation de PCP sur le globe en 24h (m)
Intégrations du 1er juillet 2011 (contrôle OPS et GEPS3.0.0)



Vérification globale de la température à 500 hPa contre sondages (CRPS)

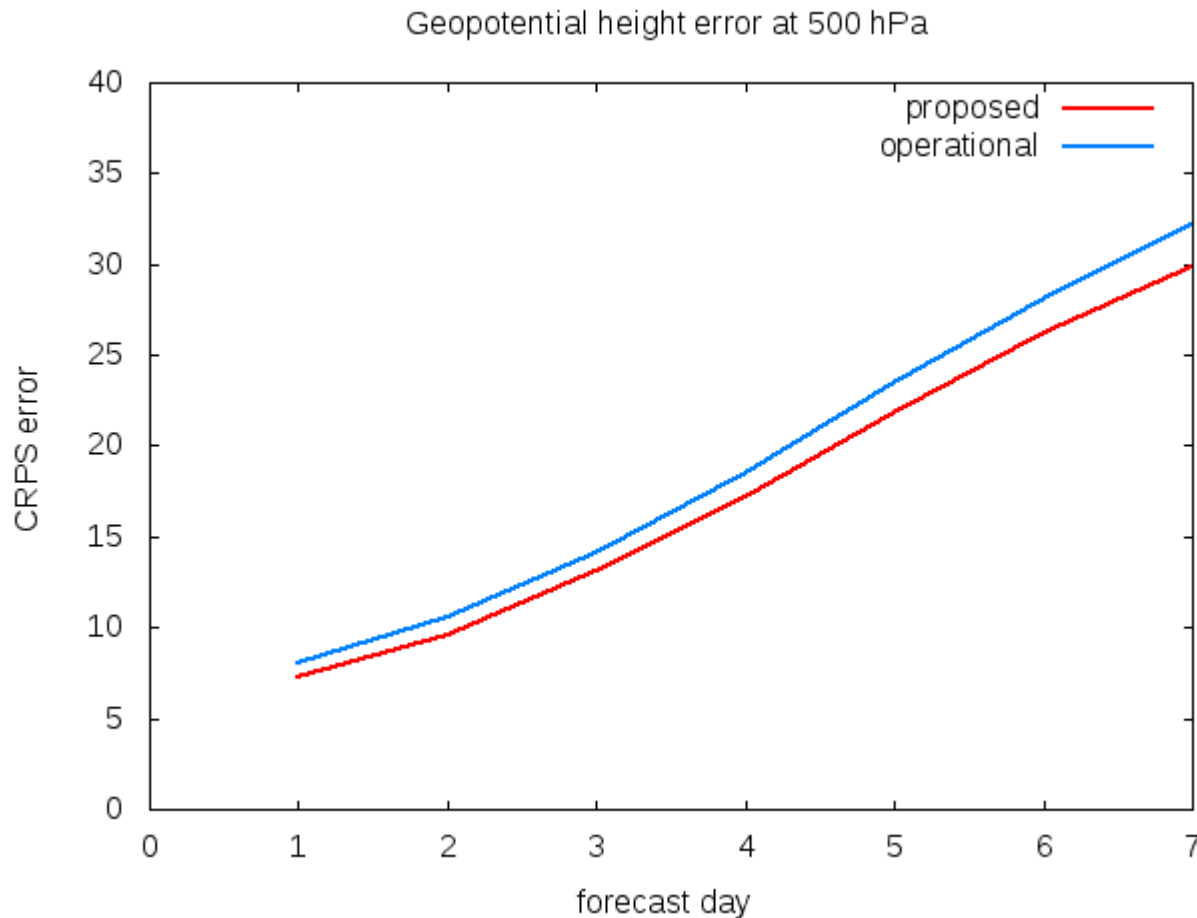


La vérification contre sondages montre un gain de 12 h ou plus.

Comme le SGPE a quand-même une certaine maturité, il est rare que nous pouvons montrer une telle amélioration.



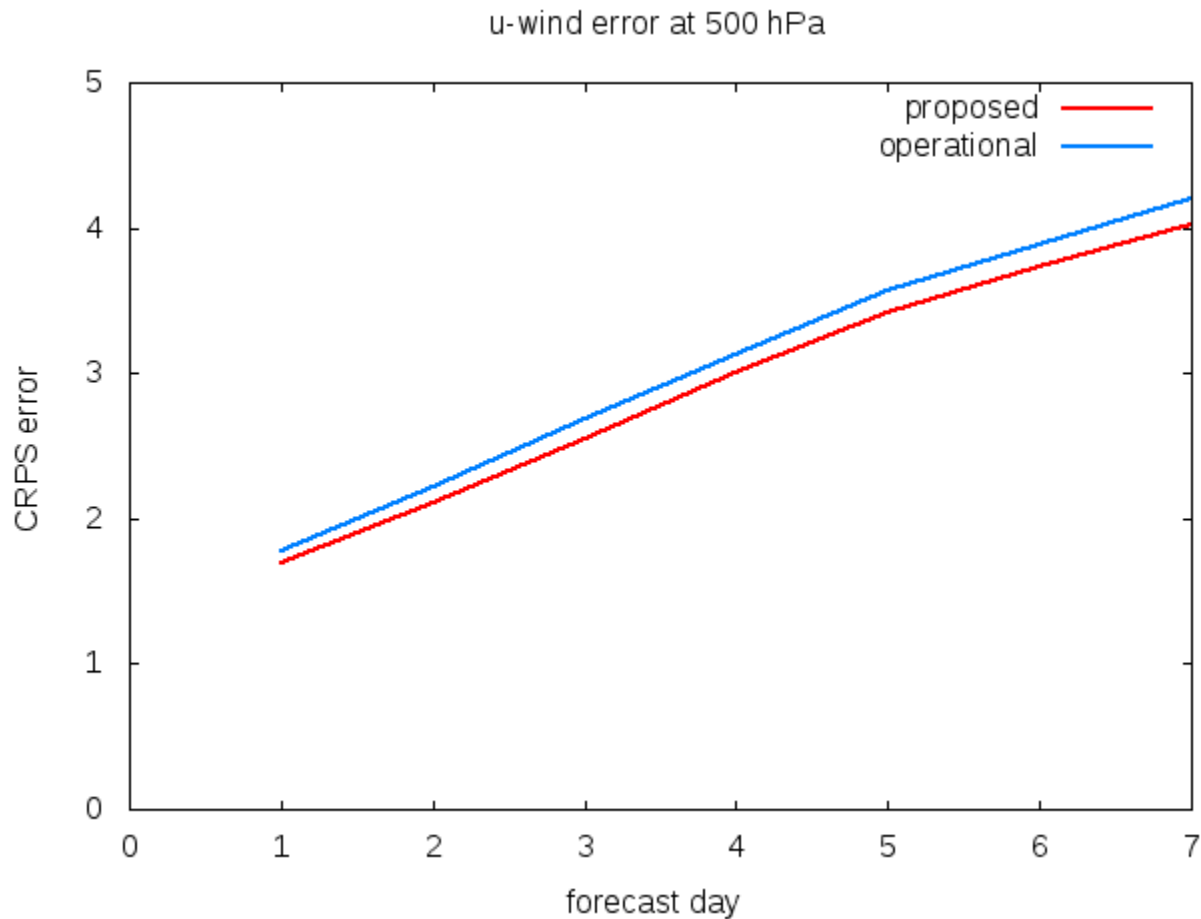
Vérification globale des hauteurs à 500 hPa contre sondages (CRPS)



- Le gain pour les hauteurs est moins grande que pour la température. L'amélioration augmente avec l'échéance de la prévision.



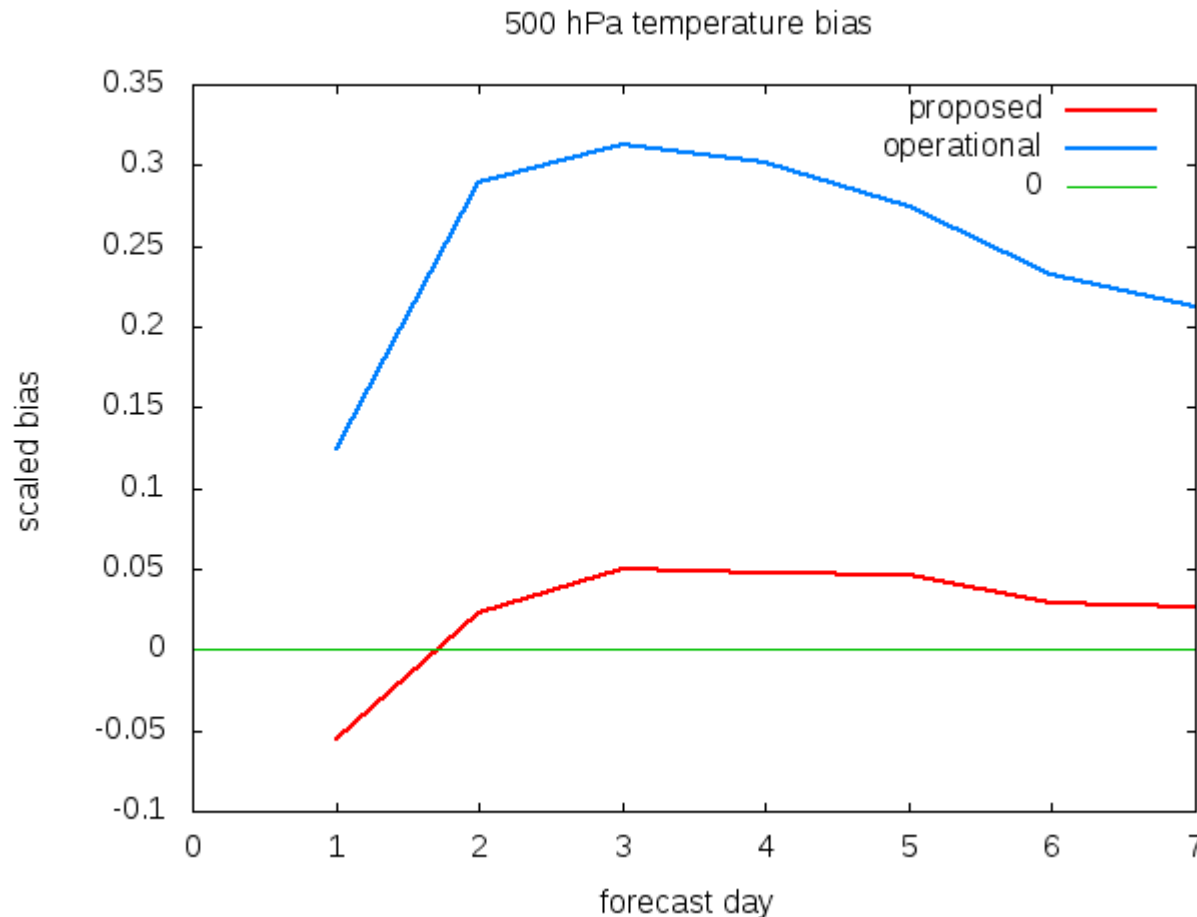
Vérification globale des vents zonales à 500 hPa contre sondages



- On voit, encore une fois, que le modèle maintient et agrandit l'amélioration venant de l'analyse.



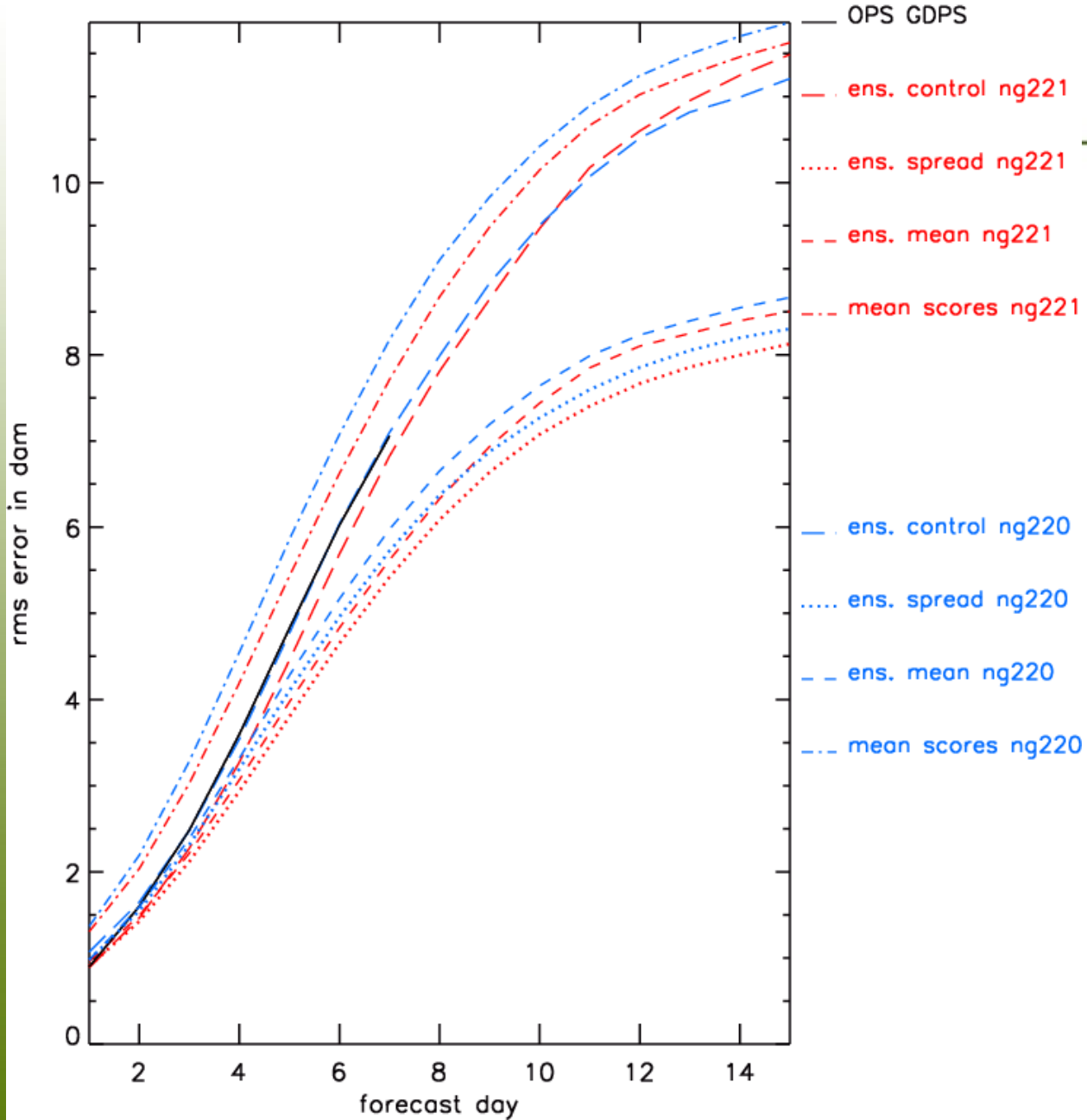
Réduction du biais de température à 500 hPa



- Le modèle maintient également la réduction du biais de température venant de l'analyse.



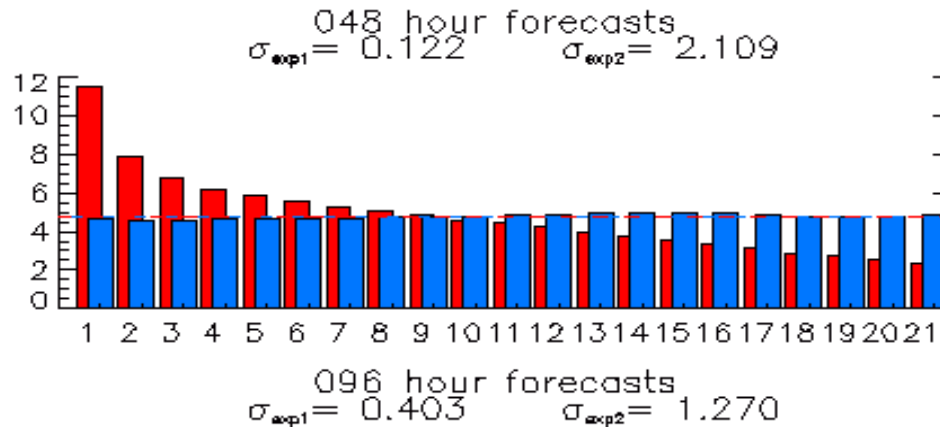
quality of the ensemble forecast
ng220_ng221_201102_FEVRIER 2011 gem
global area 500.000 mb
validation against the analysis



Erreurs RMS

- Vérification globale jusqu'au jour 15 contre analyse G2.
- Les lignes en rouges (système proposé) sont en bas des lignes bleues.

Les diagrammes de Talagrand



Variable: hauteur à 500 hPa.
En bleu: le système opérationnel.
En rouge: le système proposé.

Nous faisons des diagrammes de Talagrand pour vérifier si les membres de l'ensemble viennent de la même distribution que la « vérité ». Comme nous n'avons pas la vérité, *nous utilisons l'analyse déterministe opérationnelle*. La dégradation semble énorme mais s'explique par l'usage de l'ancienne correction de biais par l'analyse de référence.



Pourquoi tant d'amélioration?

Avec le nouveau système FKEn nous respectons mieux les conditions de la dérivation du filtre de Kalman :

- Les observations ont **moins de biais**.
- Avec la plus haute résolution, il y a **plus de croissance naturelle des structures d'erreurs**.
- Nous n'avons toujours pas de bonnes informations au sujet de **l'erreur du modèle** mais, ayant un meilleur modèle, ce terme peu connu **a moins d'importance** que avant.

Il semble alors que *la plus haute qualité du modèle GEM-DM et des observations donnent plus de validité au filtre.*



À la recherche de nos limites

Avec le GEPS 3.0.0, nous avons une belle amélioration grâce notamment à l'usage de plus de processeurs d'un ordinateur plus rapide.

Évidemment, nous aimerions savoir jusqu'où nous pourrions aller sur les P7 (2013) ou sur un ordinateur encore plus rapide (2014 et après).

Nous avons alors *modifié les paramètres de l'algorithme un peu plus pour voir qu'est-ce que se passe sur l'ordinateur.*



Aspects computationnels

Dans un cycle d'assimilation, le temps utilisé pour l'étape de l'analyse est *critique*. Nous devons produire l'analyse rapidement afin de pouvoir commencer les prévisions à moyen échéance.

Nous devons aussi produire l'ensemble de champs d'essai pour usage 6 h plus tard quand les prochaines observations seront disponibles.

Avec 192 membres et une grille de 600 x 300 x 74,
l' **analyse** prend 432 000 CPUsec et
le **modèle** prend 1 336 320 CPUsec.



« Scaling » pour le modèle

Le parallélisme est presque parfait parce que *l'intégration des différents membres est indépendante.*

Présumons un instant que, dans une vague d'ambition, notre centre décide d'utiliser un huitième (1/8) de sa puissance informatique pour les intégrations du modèle dans le filtre de Kalman d'ensemble opérationnel. Avec 4 000 CPU pendant 3h, ça nous donne

43 200 000 CPUsec.

Dans la configuration modeste proposée nous utilisons

1 336 320 CPUsec.

Alors, potentiellement, *nous pourrions augmenter les frais des intégrations par un facteur 30 sur les P7.*

Est-ce que on pourrait avoir une analyse avec ça?

« Scaling » pour l'analyse

Les coûts principales de l'analyse FKEn impliquent le terme:

$$K = P^f(t) H^T (H P^f(t) H^T + R)^{-1}$$

Par qualité de **l'algorithme séquentiel**, les coûts associés au terme:

$$(H P^f(t) H^T + R)^{-1}$$

sont mineurs et contrôlables.

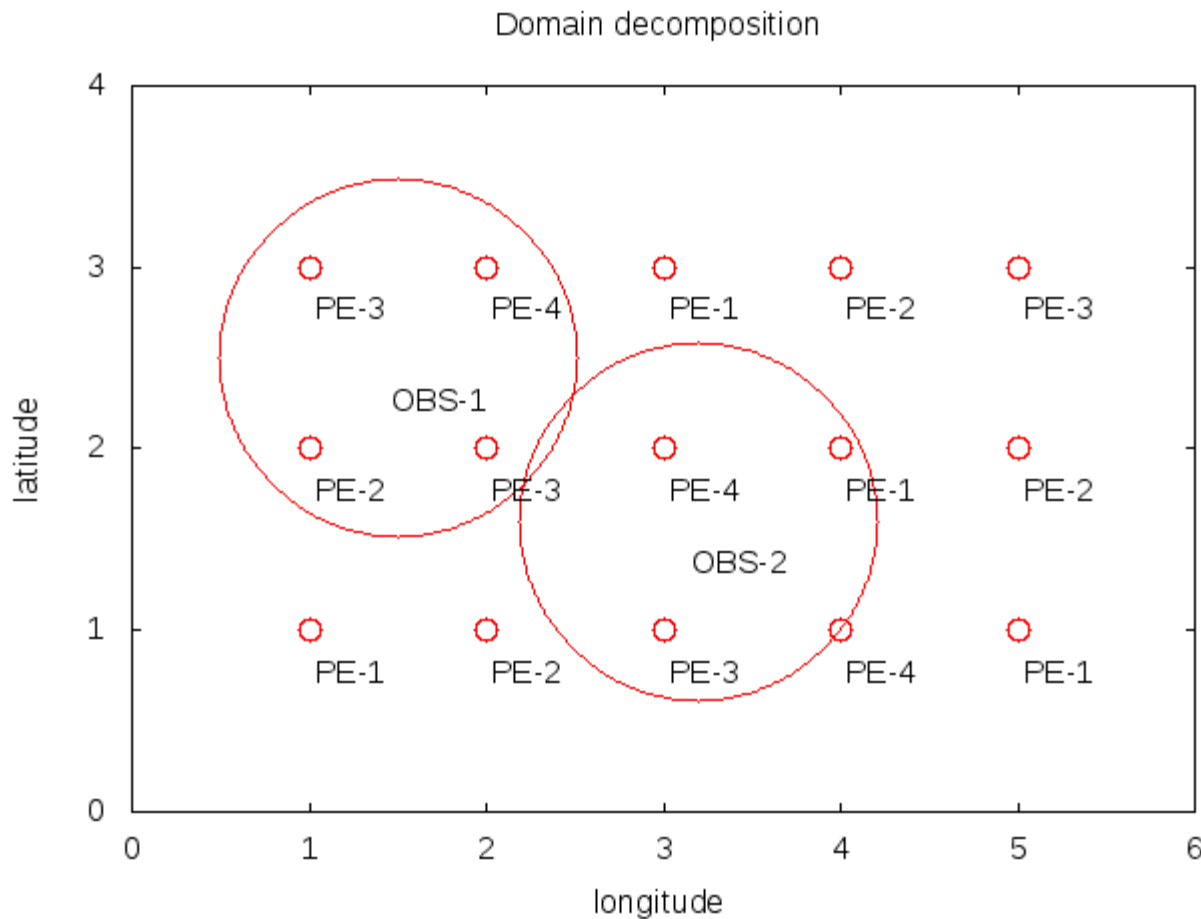
Les coûts principales sont dans la construction de la matrice (de taille $N_{\text{grille}} \times N_{\text{obs}}$):

$$P^f(t) H^T$$

des covariances entre l'ensemble d'états **x** et des états interpolés **Hx**. Ensuite, il faut multiplier cette matrice et un ensemble de vecteurs d'innovation pondérés. Ces opérations sont d'ordre **$O(N_{\text{grille}} \times N_{\text{obs}} \times N_{\text{ens}})$** .



L'algorithme FKEn parallèle



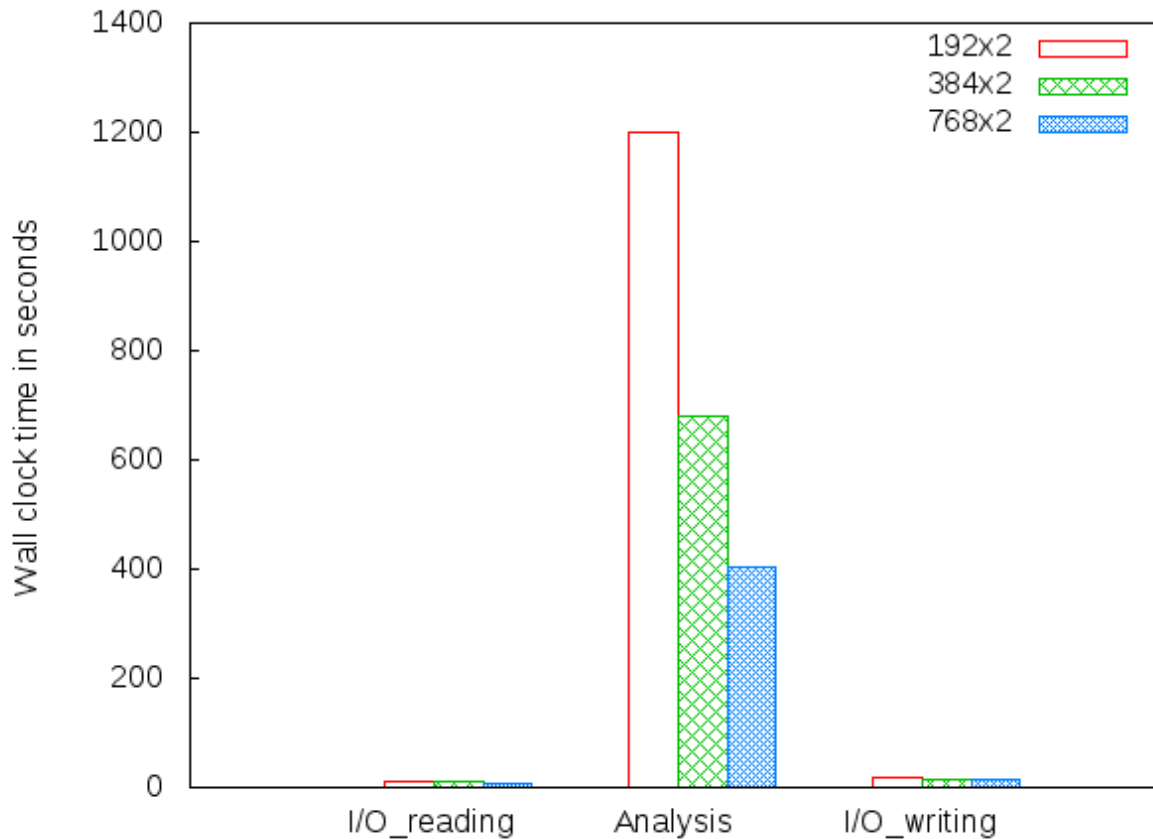
Exemple avec
2 observations,
15 points de grille
et 4 processeurs
(PEs)

- Chaque PE reçoit un point de grille jusqu'à l'épuisement.
- Chaque processeur reçoit chaque observation.



« Strong scaling »

Strong scaling test of the analysis program

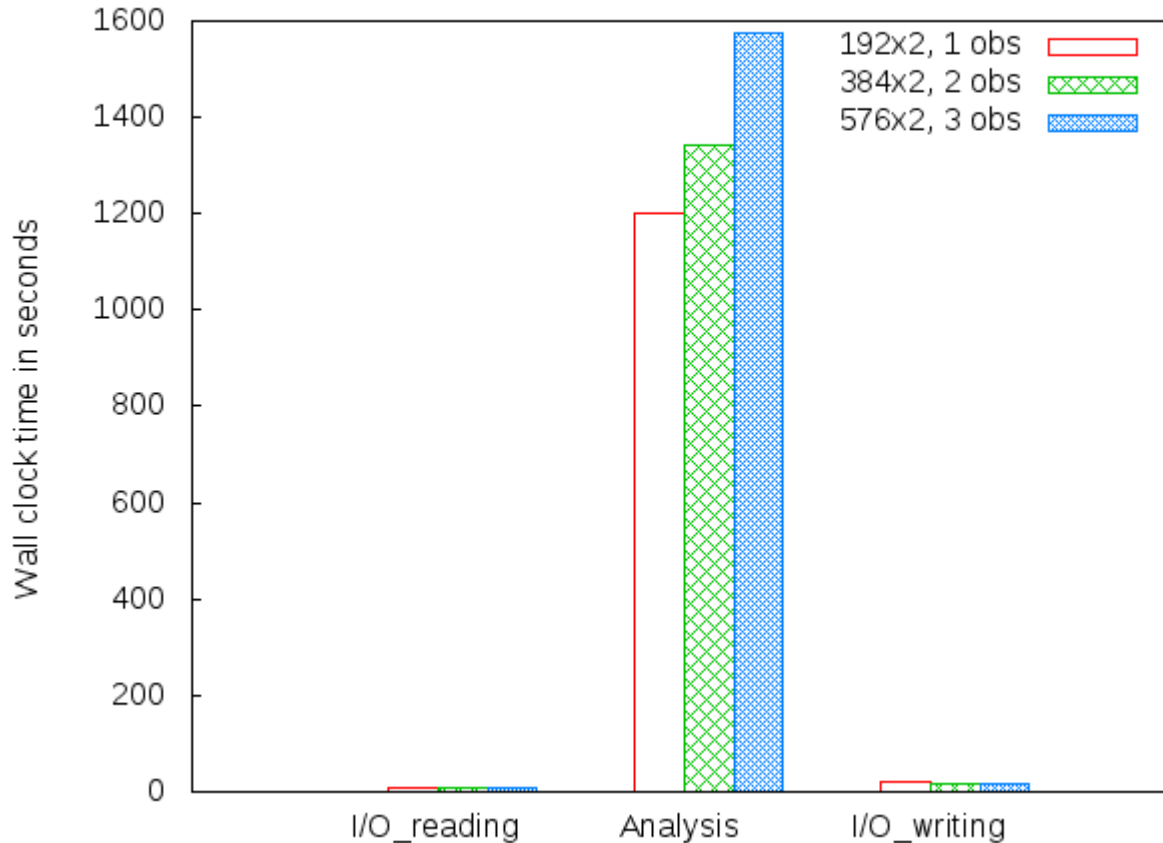


Ici nous avons une quantité normale d'observations, 192 membres d'ensemble et une grille de 600x300 (comme nous voulons livrer). Nous regardons le temps d'exécution en fonction du nombre de processeurs utilisés.



« Weak scaling » avec le nombre d'observations

Weak scaling for the number of observations

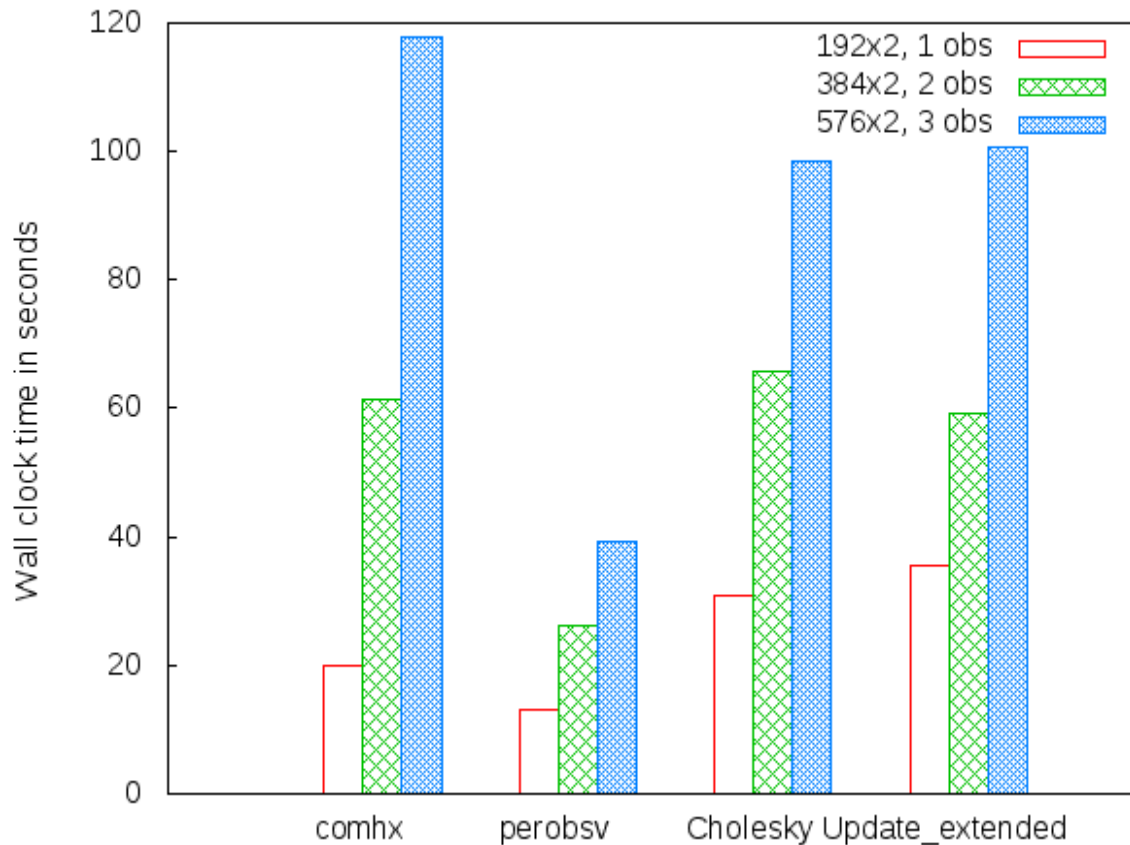


Dans une expérience de « weak scaling » le nombre de processeurs augmente en proportion avec la taille du problème. On voit que ce n'est pas parfait quand on augmente le nombre d'observations.



Problèmes du « weak scaling »

Weak scaling for the number of observations

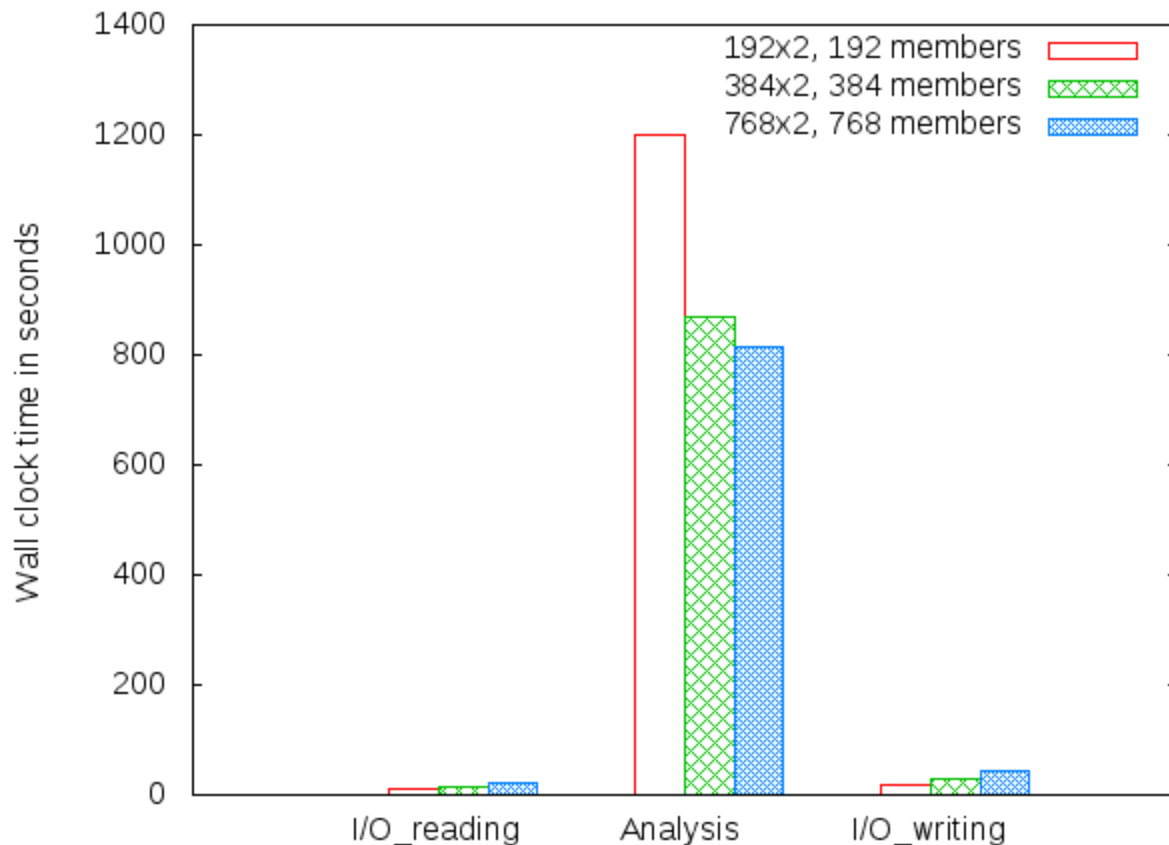


- L'action (comhx) de communiquer les valeurs interpolées ne « scale » pas.
- Chaque processeur perturbe chaque observation (perobsv).
- Pour la décomposition de Cholesky nous n'utilisons pas encore de librairie parallèle.
- Une partie de l'algorithme a un coût quadratique.



« Weak scaling » avec la taille de l'ensemble

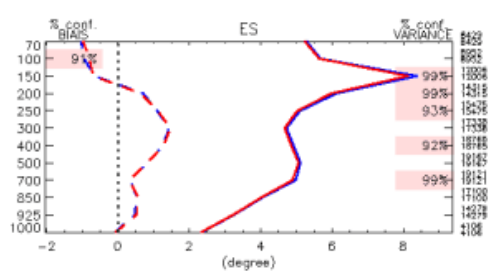
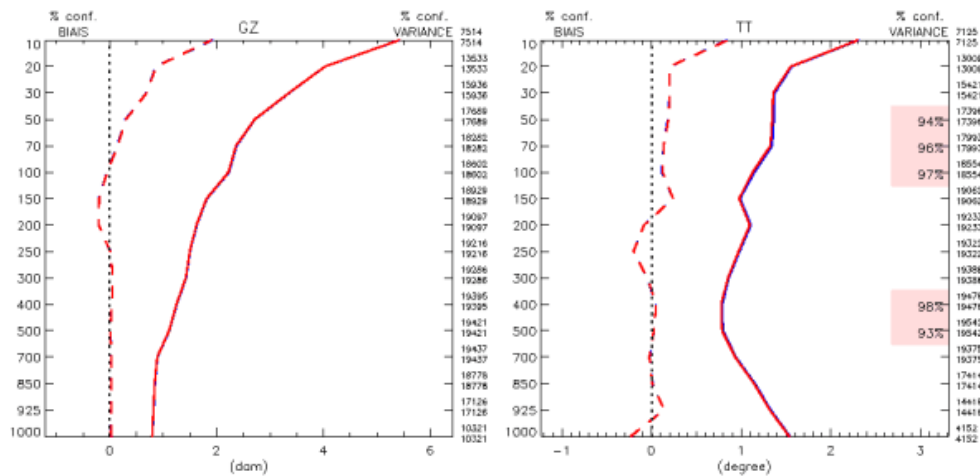
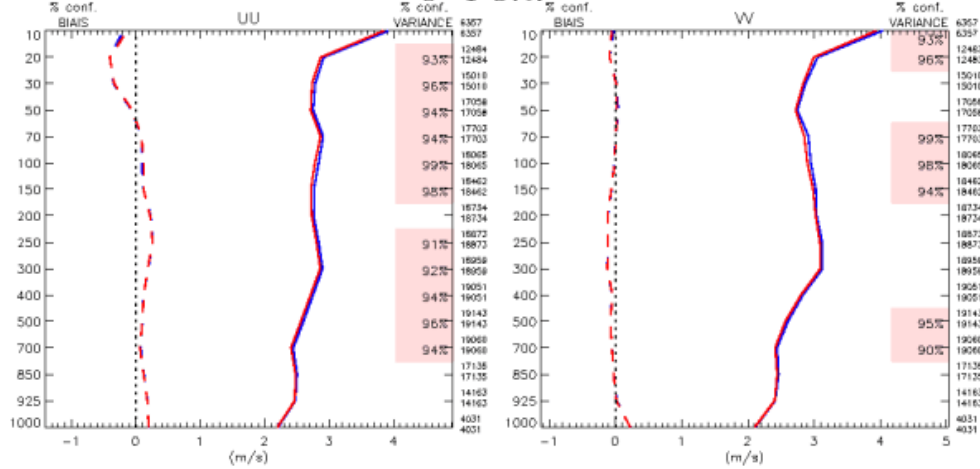
Weak scaling with the number of members



Quand on augmente la taille de l'ensemble les coûts relatifs de la localisation diminuent.

Techniquement, il pourrait être ardu de devoir s'occuper de 768 membres.



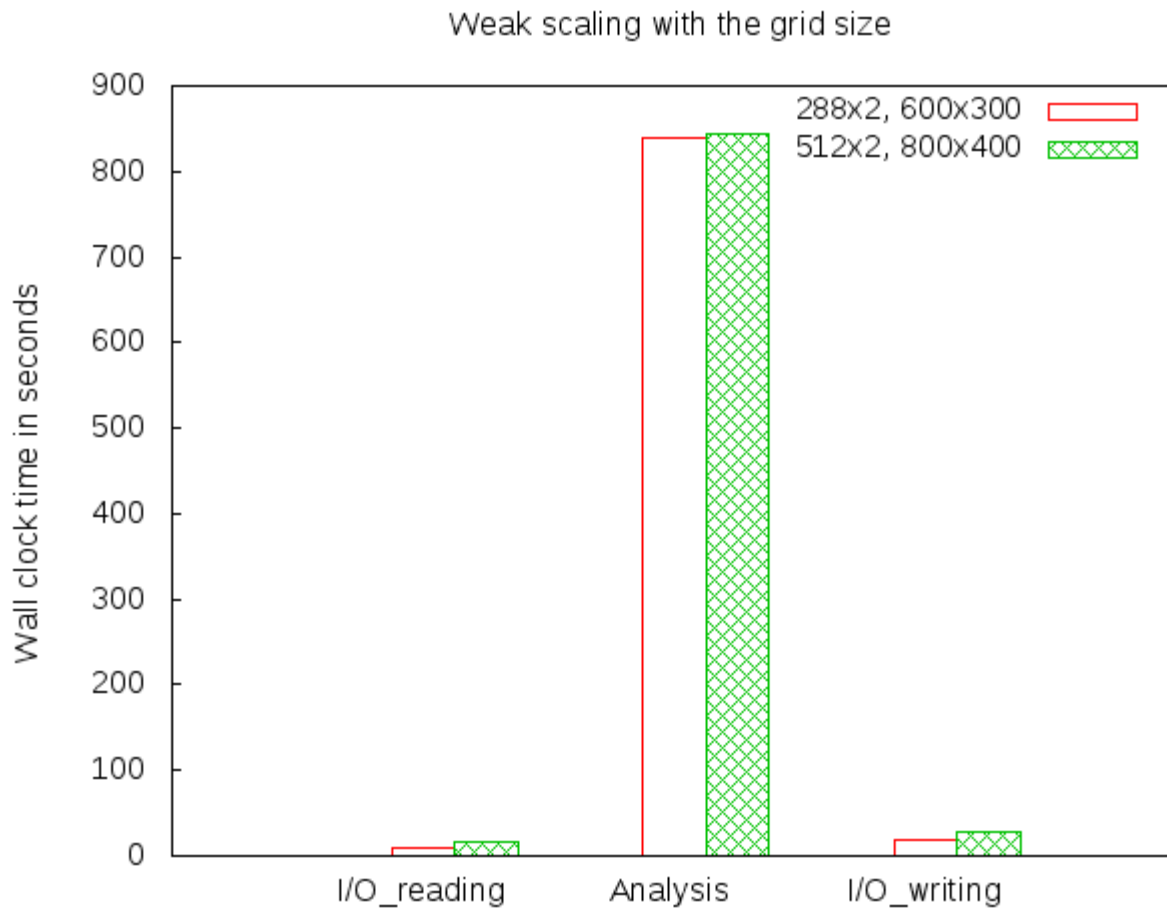


◇	—	E-T m_uq11020100_11022012_000_kal395 (40)	Type : Q-P6hr
◇	- - -	BIAS m_uq11020100_11022012_000_kal395	Region : Monde
◇	—	E-T m_uq11020100_11022012_000_kal397 (40)	Lat-lon : (90S, 180W) (90N, 180E)
◇	- - -	BIAS m_uq11020100_11022012_000_kal397	Stat.

384 membres

- La convergence des méthodes Monte-Carlo est lente. Il est alors toujours utile d'augmenter la taille de l'ensemble.
- Avec plus de membres nous augmentons surtout la qualité de l'analyse stratosphérique.

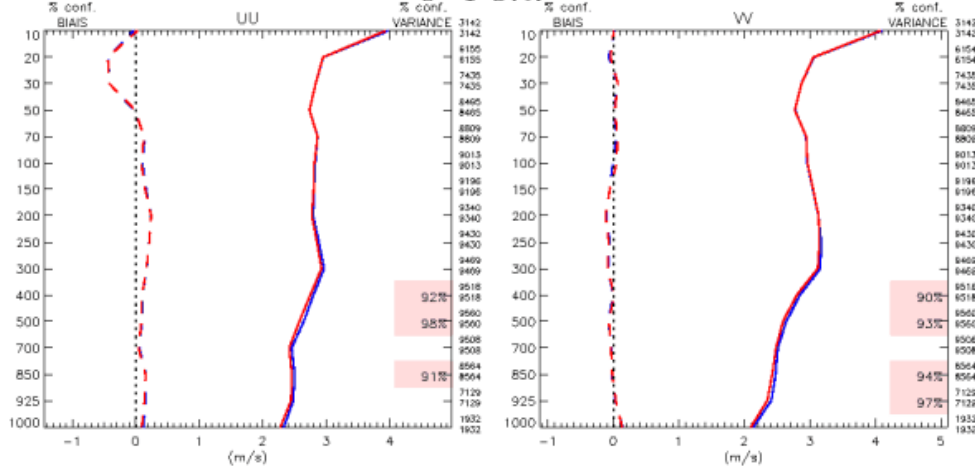
« Weak scaling » avec la taille de la grille horizontale



Pour une petite augmentation de la taille le « scaling » est presque parfait.

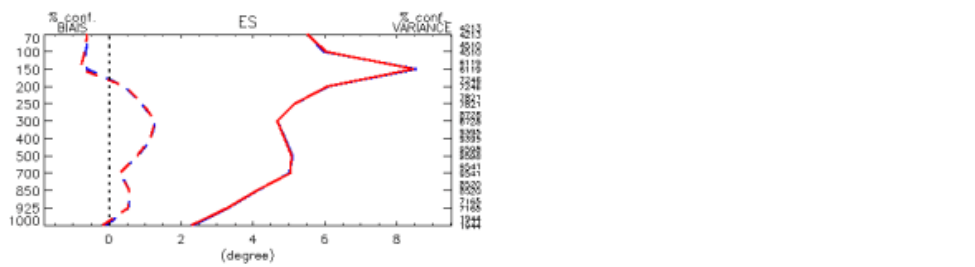
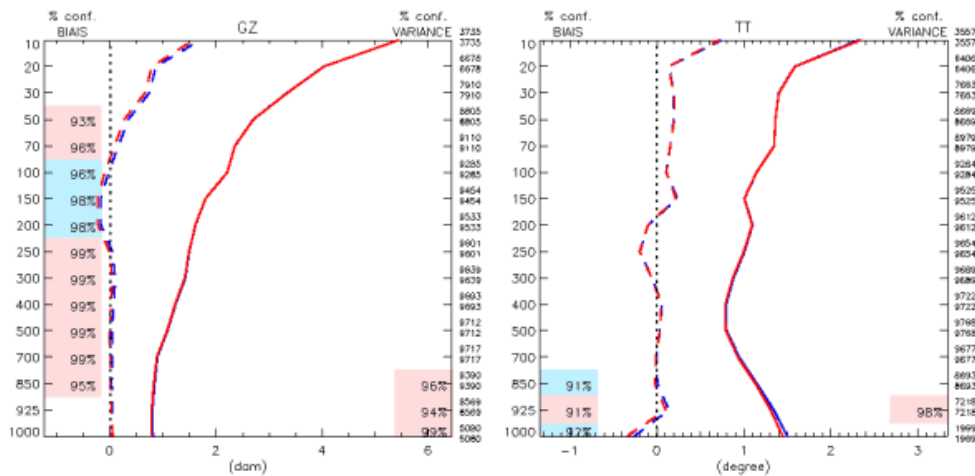
Pour des grilles plus grandes il faut bien (mieux) gérer la mémoire.





Une grille de 800 x 400

L'expérience porte uniquement sur 10 j.



- Avec une plus haute résolution horizontale on augmente surtout la qualité près de la surface.
- Normalement, pour la qualité des prévisions plus longues, la qualité initiale près de la surface est très importante.

◇	—	E-T m_uu11020100_11021012_000_kal395 { 20 }	Type : 0-P6hr
◇	- - -	BIAIS m_uu11020100_11021012_000_kal395	Region : Monde
◇	—	E-T m_uu11020100_11021012_000_kal400 { 20 }	Lat-lon: (90S, 180W) (90N, 180E)
◇	- - -	BIAIS m_uu11020100_11021012_000_kal400	Stat.

Résumé de la performance parallèle

Sur les P7s, *nous serons capables d'augmenter la résolution ou la taille de l'ensemble encore une fois.*

Avec 192 membres et une grille de 600x300, Il est déjà un défi de trouver de l'espace disque pour entreposer la quantité de champs que le FKEn peut générer. La question se pose pour le GPFS, le système d'archivage (CFS), le CNFS et les serveurs.

Pour les applications En-Var et FKEnR, il faut regarder la possibilité de tourner au même moment que le FKEnG.



Limitations

Est-ce qu'il y a des problèmes fondamentaux qui nous frapperont quand on tentera d'augmenter la résolution du FKEn?

- Les paramètres de localisation:

Est-ce qu'il existe une manière appropriée pour localiser les grandes et les petites échelles simultanément?

- La finalisation par le filtre digitale:

Comment définir l'équilibre pour les petites échelles?

- Le lien entre le modèle et l'assimilation:

Actuellement le modèle a plus de variables que l'analyse (e.g. l'eau nuageuse). Ceci cause un ajustement.



Conclusion

Nous proposons des changements au FKEn et au SGPE.
L'amélioration correspondante de la qualité est importante.

Ceci est possible grâce à une importante augmentation de la capacité de calcul de notre centre (les P7) ainsi que le *haut degré de parallélisme* du FKEn et SGPE.

Il paraît que *nous pourrions aller plus loin encore.*

Merci au gens de l'informatique pour la patience avec nos configurations expérimentales.