Assimilation des radiances brutes SSMI

Zahra SAHLAOUI*

Janvier-Fevrier 2005

1 Introduction

Les radiances satellitaires ont un potentiel croissant dans l'évolution de la qualité de l'analyse. Elles offrent une information tri-dimensionnelle d'une haute résolution spatiale et temporelle, sur la température, l'humidité, le vent et l'eau nuageuse. Selon les bandes de fréquences visées, les observations satellitaires sont utilisées en ciel clair (infra-rouge) ou en présence de nuages (micro-onde).

Dans le modèle ARPEGE de Météo France, l'assimilation des radiances brutes ATOVS dans la chaîne operationnelle est d'usage depuis octobre 2002. Les radiomètres utilisés actuellement sont HIRS, AMSU-A et AMSU-B. Le premier est un radiomètre infra-rouge qui informe sur la température en ciel clair. Les deux suivants sont des radiomètres micro-ondes sensibles à la température et à l'humidité respectivement, avec des mesures en ciel clair et peu afféctées par les nuages. Ses données sont exploitées actuellement sur mer, mais aussi sur terre à condition de se restreindre aux canaux peu sensibles à la surface continentale.

Dans cette étude, il s'agit d'un nouveau radiomètre SSMI (Special Sensor Microwave Imager) de fréquences micro-onde utilisable sur mer. Ainsi, les radiances SSMI peuvent avoir un rôle complementaire vis á vis des radiances AMSU-B, mais aussi avec le risque de concurrence entre ces deux radiomètres.

Après une brève description de l'instrument SSMI et ses différents canaux, on s'attaque au débiaisage et pré-traitement appliqués aux observations avant d'aborder l'étape de l'assimilation et les expériences qui ont été réalisées. Une partie est consacrée à la présentation des résultats préliminaires de l'impact de SSMI sur la qualité des analyses et prévisions du modèle.

2 Caractéristiques des données SSMI

2.1 L'instrument SSMI

Le radiomètre SSMI est un imageur à sept canaux micro-ondes (voir les fréquences sur le tableau 1). Cet instrument est embarqué à bord des satellites américains DMSP [1] à orbite polaire. Neuf satellites de ce type ont été lancés depuis 1987. Dans l'étude en cours,

*Direction de la Météorologie Nationale Marocaine

[1]Defence Meteorology Satellite Program

on utilise les satelittes F13 et F15. SSMI fournit des observations utilisables sur l'océan libre et en ciel clair ou en présence de nuages non précipitants. La résolution est donnée sur le tableau 1. Les radiances mesurées sont sensibles au contenu intégré en vapeur d'eau (TCWV), à l'eau liquide nuageuse et à la vitesse du vent en surface des océans (SSWS).

Fréquence en GHZ	Polarisation	Résolution au sol (km)	Sensibilité (K)
19,35	Vercticale & Horizontale	25	0.8
22,235	Vertical	25	0.8
37.0	Vercticale & Horizontale	25	0.6
85.5	Vercticale & Horizontale	12.5	1.1

Tableau 1. Spécifications techniques du radiomètre SSMI

2.2 Le pré-traitement des données

Pour des problèmes liés au calcul de l'émissivité sur terre et glace de mer, seules les données sur l'océan libre (pas de glace) sont extraites de la base de données météorologiques avec un échantillonnage de 250km. Lors du contrôle de qualité des observations, on vérifie que les observations ainsi créées sont également cohérentes avec le masque terre-mer du modèle.

L'assimilation des radiances SSMI nous conduit à leur définir une erreur d'observation et une erreur d'ébauche. L'erreur d'observation associée aux canaux SSMI est analogue à celle utilisée au CEPMMT [2]. Des diagnostics réalisés sur les expériences qui ont été lancées montrent que ces valeurs sont valables pour le modèle ARPEGE. Quand à l'erreur de l'ébauche, elle est calculée, pour chaque canal, à partir d'un fichier d'erreur d'ébauche du modèle CEP.

Le tableau 2 reprend les valeurs de l'erreur d'observation et de l'erreur d'ébauche telles qu'elles sont utilisées lors de cette étude. On remarque que pour tous les canaux, l'erreur de l'observation est superieure à celle de l'ébauche. Ceci signifie que lors de l'analyse, on accorde plus de poids à l'ébauche au depens des observations.

Canal	n^o 1	n^o 2	n^o 3	n^o 4	n^o 5	n^o 6	n^o 7
Erreur d'observation	3	4.5	4	3.5	4	4	6
Erreur de l'ébauche	1.5	2.6	2.3	1.2	2.3	1.5	3.4

Tableau 2. Erreur d'observation et erreur d'ébauche pour SSMI

La présence de "grosses" goutellettes d'eau dans les nuages est à l'origine d'un phénomène de diffussion qui induit une forte erreur sur la simulation de la radiance. C'est pour cela que les observations en présence d'une grosse quantité d'eau liquide nuageuse sont rejetées par le contrôle de qualité.

2.3 La correction de biais

La correction du biais est une étape importante qui permet d'éliminer le biais lié à la mesure elle-même et celui qui provient du modèle de transfert radiatif. Ainsi, on applique une régression multiple sur une serie d'écarts Observation-Modèle en utilisant un échantillon assez grand pour avoir des résultats statistiquement significatifs. Sans le cas des radiances SSMI, les prédicteurs utilisés sont la pression de surface, la température

[2]Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

de surface, le contenu intégré en vapeur d'eau et la vitesse du vent en surface des océans. Une premiere correction a été réalisée sur un cycle d'écrémage (ébauche sans information SSMI) mais des diagnostics ultérieurs ont montré que cette version de biais avait ses limites. Sachant que la correction du biais est une opération progressive cherchant à approcher pas à pas la correction de biais optimale, un deuxième calcul a été lancé. Cette deuxième version est basée sur un cycle d'analyse "complet". La figure suivante (Figure 1) montre l'apport de cette approche.

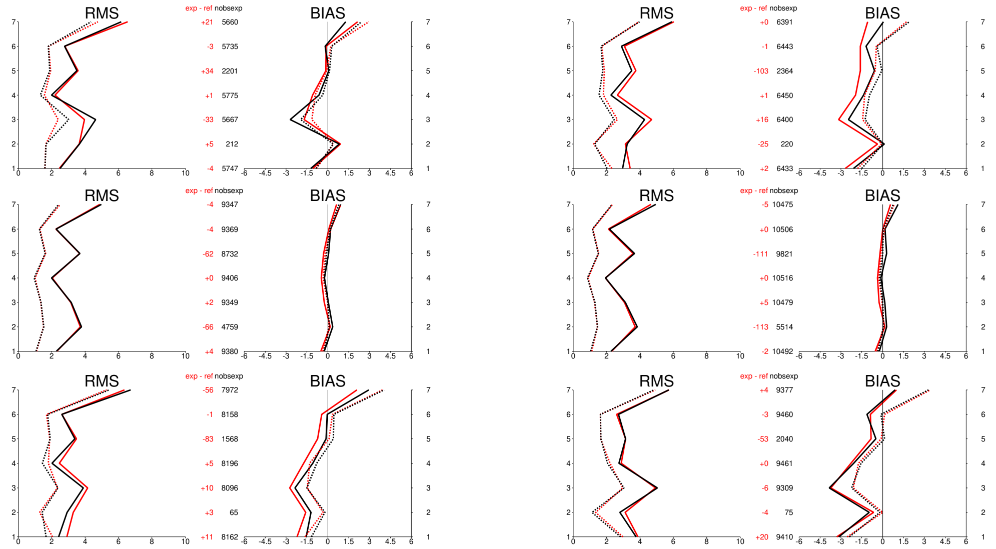

Figure 1. Biais et erreur quadratique (moyennés sur 7jours) de l'ébauche (continu) et de l'analyse(pointillé) par rapport à SSMI pour DMSP-13 (à gauche) et DMSP-15 (à droite) sur l'hémisphère nord (haut), les tropiques (milieu) et l'hémisphère sud (bas) . 1ère version de la correction de biais (à partir d'un cycle d'écrémage) en rouge et 2ème version (à partir d'un cycle d'analyse "complèt") en noir

Les expériences réalisées ont été lancées sur le cycle cy29_main.01 du modèle ARPEGE. Ce nouveau cycle est caractérisé par le passage à une nouvelle version du modèle de transfert radiatif RTTOV8. Ceci nous conduit à recalculer la correction du biais pour les autres radiomètres utilisés lors de cette étude (AMSU-A, HIRS et AMSU-B).

3 L'impact de SSMI sur le modèle ARPEGE

3.1 Les cycles réalisés

Trois expériences ont été lancées en se basant sur le cycle 29 du modèle ARPEGE et ceci sur la période du 1er au 21 novembre 2004. La première expérience constitue la référence (notée REF). C'est un cycle qui assimile, en plus des observations conventionnelles, les radiances AMSU-A, HIRS et AMSU-B dans une configuration analogue à l'opérationnel. Dans la deuxième expérience (noté EXP1), on a ajouté les radiances SSMI avec la 1ère version de la correction du biais. Une correction d'une bug sur la liste noire des radiances AMSU-B ainsi que les nouveaux fichiers de correction de biais (2ème version pour le bcor_ssmi et un nouveau bcor_noaa pour RTTOV8) constituent les ingrédients du dernier cycle lancé (EXP2). Lors de la rédaction de ce papier, ce cycle tournait encore. Les résultats seront exploités par l'équipe OBS du GMAP (Elisabeth GERARD).

3.2 Les résultats des différents cycles

Afin d'évaluer l'apport des données SSMI et la portée des modifications introduites, une série de comparaisons et de diagnostics ont été appliqués aux sorties des différentes exprériences. Les résutats sont présentés pour plusieurs paramètres dans le souci de cerner l'impact de SSMI sur les diverses composantes du modèle, sur l'analyse comme sur la prévision.

3.2.1 La vapeur d'eau

Dans un premier temps, l'analyse et l'ébauche sont validées par rapport à l'humidité spécifique mesurée par les radiosondages (TEMP) (figure 2).

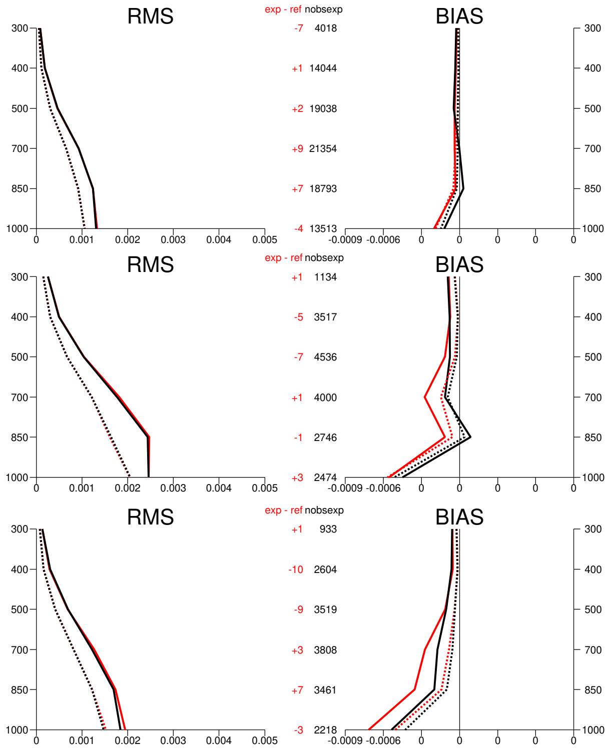

Figure 2. Bias et rms (moyennés entre le 01 et le 21 novembre) de l'exprèrience avec (noir) et sans (rouge) SSMI par rapport aux TEMP sur l'hémisphère nord (haut), les tropiques (milieu) et l'hémisphère sud (bas). L'analyse en pointillé et l'ébauche en trait continu

L'assimilation des radiances SSMI a permis de réduire considérablement le biais de l'humidité surtout dans les basses couches. L'impact est visible sur les trois bandes de latitude présentées, mais il est plus important sur les tropiques et l'hémisphère sud où le bias du modèle en terme d'humidité est assez fort.

Le diagnostic sur la figure 3 est une "cartographie" de l'impact de SSMI sur l'humidité.

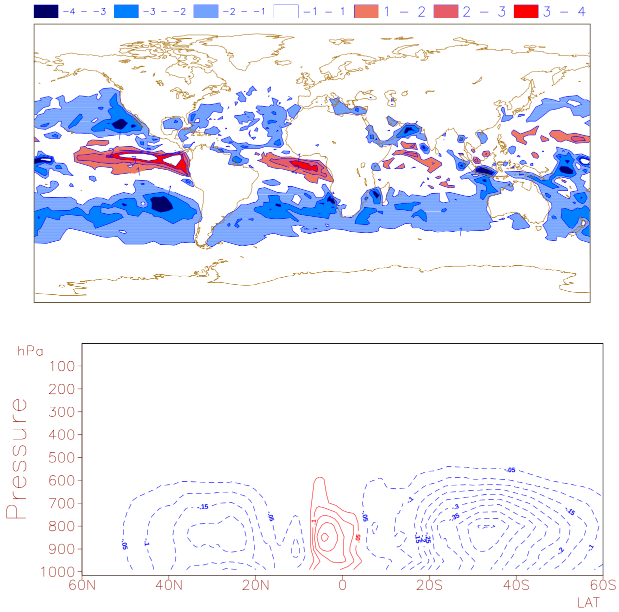

Figure 3. Différence moyennes du 01 au 21 novembre de TCWV entre EXP1 et REF (haut) ; et coupe méridienne de la différence moyenne de q entre EXP1 et REF (bas). En rouge humidification et en bleu assèchement de l'atmosphrе dans l'analyse

La différence entre les deux analyses du contenu intégré en vapeur d'eau (TCWV) est globalement négative avec une moyenne de -0.494 kg/m^2. Ainsi, l'introduction des radiances SSMI contribue à l'assèchement de l'atmosphère comme on peut le constater sur la coupe méridienne de l'humidité spécifique q (Figure 3). Cependant, on note sur les tropiques un effet d'humidification par les donnèes SSMI et qui se propage du sol jusqu'à 600hPa. Cette dernière tendance n'empêche pas de qualifier de positif l'impact des SSMI sur l'analyse de l'humidité, sachant que le modèle est généralement trop humide au-dessus des océans.

Afin de vérifier la réaction du modèle à cette nouvelle information sur l'humidité, on présente sur la figure 4, d'une part la répartition spatial des incréments de EXP1, et d'autre part la série temporelle des incréments de REF et EXP1.

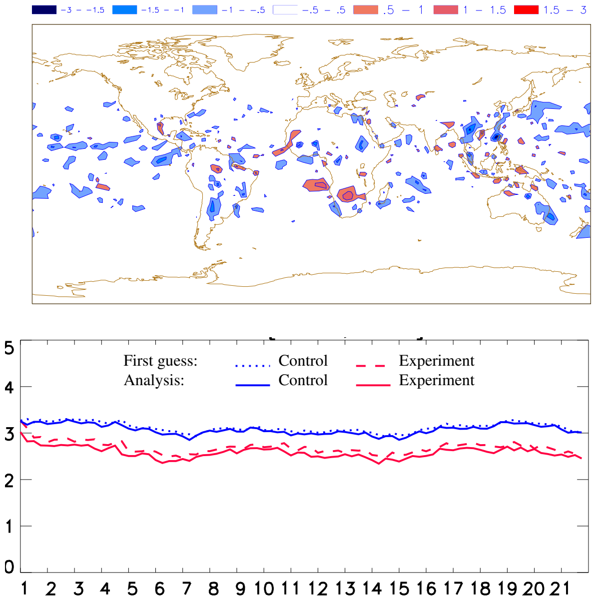

Figure 4. Haut : Distribution spatiale des incréments de EXP1. Bas : Série temporelle, du 01 au 21 novembre, de l'analyse (continu) et de l'ébauche (pointillé) de EXP1 (rouge) et de REF (bleu)

On remarque que les incréments de EXP1 en vapeur d'eau sont globalement négatifs avec une valeur moyenne de -0.109 kg/m^2. Des noyaux d'incréments positifs apparaissent localement. Celui au large des côtes ouest de l'Afrique est associé à une zone dépressionnaire où l'humidité en basses couches est souvent sous estimée par le modèle.

La série temporelle de TCWV montre que pour les deux cycles, les incréments sont négatifs. Ce retour de l'humidité dans l'ébauche est plus marqué sur EXP1 que sur REF. Cela signifie que, même si l'assimilation des radiances SSMI permet de faire diminuer le biais humide du modèle dans l'analyse, une grande partie de cette correction est perdue durant les premiers pas de temps d'intègration du modèle et on retrouve l'ébauche avec un biais humide introduit par le modèle.

Pour palier ce problème, il faudra revoir les règlages physiques pour ajuster le comportement du modèle vis-à-vis de l'humidité (modification de la longueur de mélange sur le cycle cy29t1 non prise en compte dans cette étude ; voir Eric Bazil).

3.2.2 Les précipitations

On rappelle que les données SSMI ne sont utilisées que sur mer. Ceci n'empêche pas que leur impact est sensible même sur terre par le biais de la portée des incréments et par l'intègration du modèle. Ainsi, on remarque qu'en assimilant les radiances SSMI, le spin-down des précipitations en début d'échéance est réduit sur terre. Par contre le spin-up sur mer est accentué (figure 5).

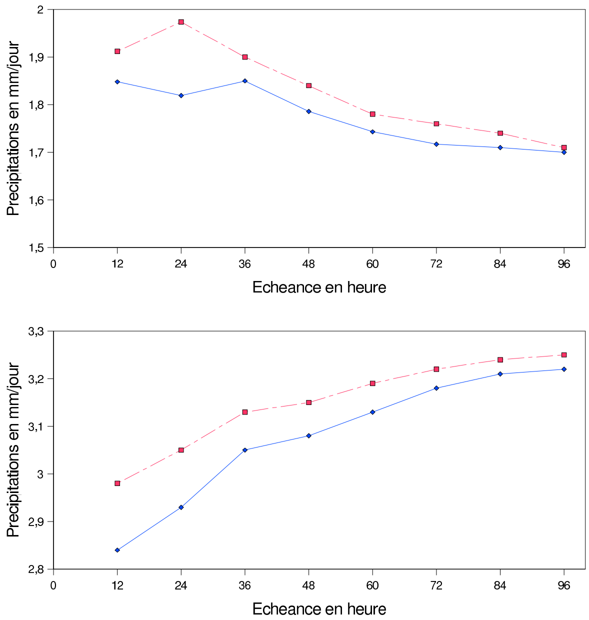

Figure 5. Moyenne (du 01 au 21 novembre) des prévisions de précipitations cumulées sur 24 heures pour EXP1(bleu) et REF(rouge) sur terre(haut) et sur mer(bas)

3.2.3 La vitesse du vent

Le vent affecte la rugosité de la surface des océans et donc son émissivité. C'est ainsi que les radiances SSMI sont sensibles à la vitesse du vent en surface des océans (SSWS).

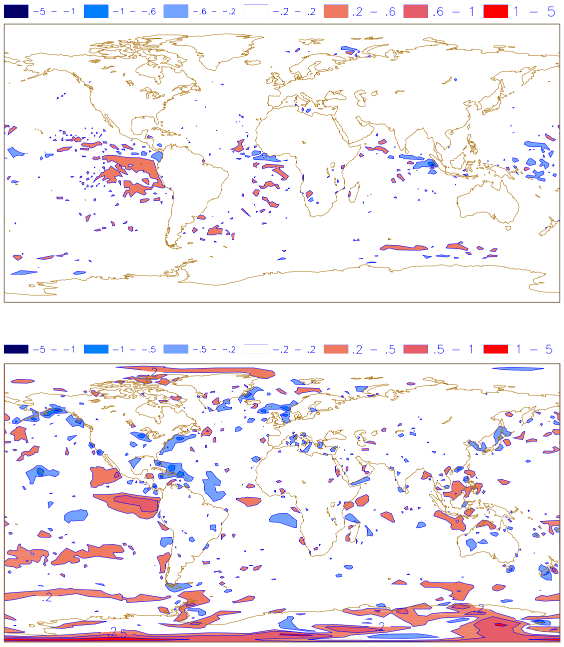

Figure 6. Différence moyenne en SSWS entre REF et EXP1 calculée sur la période du 01 au 21 novembre, l'accélération par effet SSMI en rouge et le ralentissement en bleu (haut). Cartographie des incréments (analyse-ébauche) de EXP1 (bas)

L'assimilation des radiances SSMI produit des incréments positifs avec une moyenne globale de 0.025m/s, mais cet impact est sutout visible sur les tropiques, le sud du pacifique et l'antarctique.

La différence moyenne entre les analyses des deux cycles avec et sans SSMI montre qu'on a une accélération des vents d'Alizés sur les tropiques (figure 6), surtout à l'ouest de l'amérique du sud où l'accéleration atteint 10%.

La validation des prévisions par rapport aux radiosondages (figure 7) montre que SSMI a un impact neutre à positif sur l'hémisphère nord et sur les tropiques, en terme de biais et d'écart quadratique moyen. Sur l'hémisphère sud, l'impact est négatif à moyenne échéance.

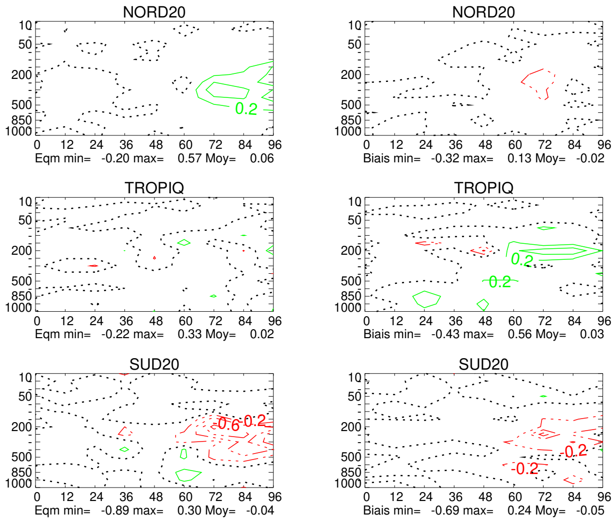

Figure 7. Scores de prévision de vent par rapport aux TEMP, calculés sur 21 cas, en rouge les scores négatifs et en vert les scores positifs

3.2.4 La dynamique : cellule de Hadley

L'impact de SSMI est visible aussi sur la dynamique du modèle. En effet, l'assimilation de ces radiances provoque l'accélération de la branche ascendante de la cellule de Hadley d'un peu moins de 10% (Figure 8).

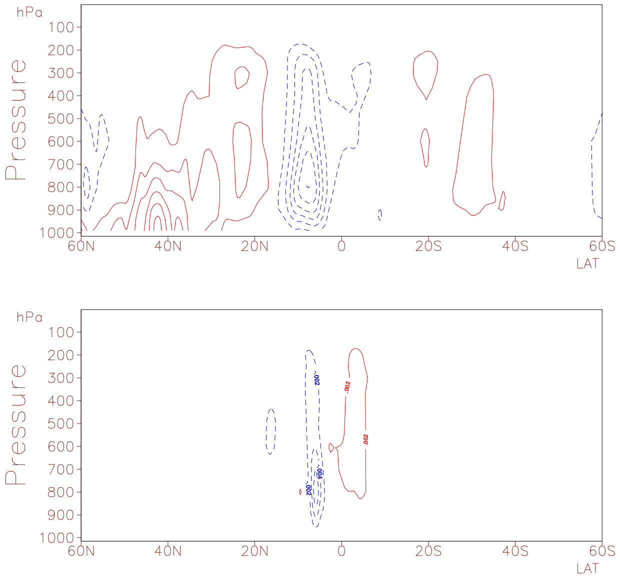

Figure 8. Coupe méridienne de la vitesse verticale moyennée sur la période du 01 au 21 novembre ; En haut : l'analyse avec SSMI (cellule de Hadley), l'ascendance est en bleu et la subsidence en rouge ; En bas différence des analyses avec et sans SSMI, en bleu accélération et en rouge ralentissement par SSMI

3.2.5 Autres paramètres

D'autres paramètres ont été examinés, tels la température et le géopotentiel. Sur la figure 9, les scores de prévision par rapport à l'analyse CEP sot présentés pour ces deux paramètres.

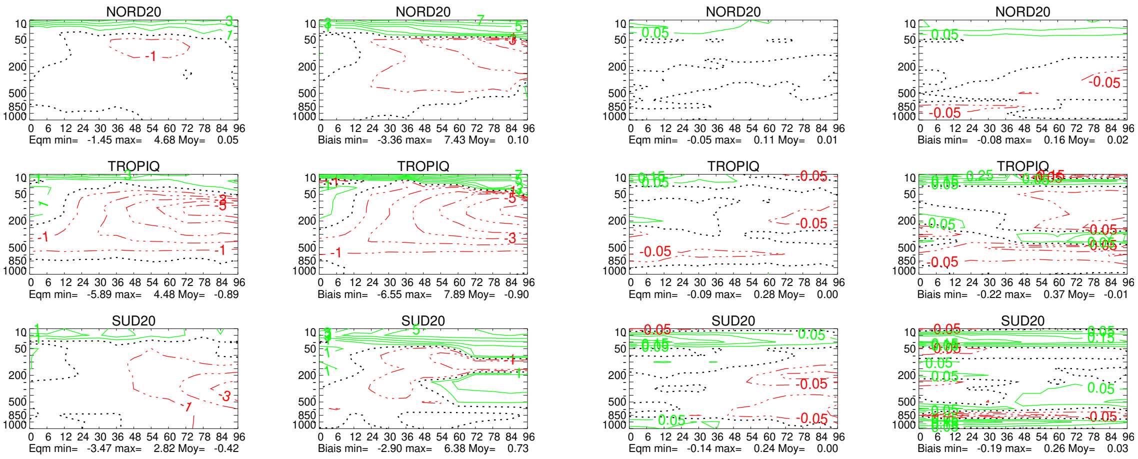

Figure 9. Scores (biais et rms) de prévision par rapport à l'analyse du CEP, calculés sur 6 cas, en rouge les scores négatifs et en vert les scores positifs. Les deux colonnes de droite présente les scores de la température et celles de gauche ceux du géopotentiel

L'impact de SSMI sur la qualité des prévisions du géopotentiel est positif sur l'hémisphère nord et mitigé sur l'hémisphère sud. l'impact sur les tropiques est négatif, mais ce résultat n'est pas très significatif d'après les résultats du test de Student.

En terme de température, l'impact est globalement neutre à positif dans la haute atmosphère. On note aussi un effet posotif de SSMI sur le biais de la prévision de temp'erature près du sol sur l'hémisphère sud.

4 Conclusions et perspectives

L'assimilation des radiances SSMI produit une analyse globalement "asséchée" sur les océans, ce qui présente un fort impact positif compte tenu du biais humide du modèle sur les océans. Cependant, l'impact sur la prévision reste mitigé avec le retour de l'humidité dès les premiers pas de temps de l'intégration du modèle. Ce constat nous oriente à s'interroger sur la pertinence des réglages des paramétrisations physiques et qui contrôlent la réaction du modèle vis à vis de la nouvelle information sur l'humidité que SSMI apporte. En effet, le nouveau réglage de la longueur de mélange dans le cycle cy29t1 (non exploité au cours de cette étude) permet de faire retenir plus longtemps au modèle l'assèchement produit lors de l'analyse.

La dégradation globale des scores, particulièrement sur les tropiques, peut être imputable à une mauvaise correction de biais. en effet, les résultats exploités dans cette étude provienent d'un cycle basé sur une première version (est donc pas encore optimal) de la correction du biais. Ainsi, il paraît nécessaire de mettre cette correction de biais à jour. Par ailleurs, la différence obs-ébauche est globalement négative, ce qui peut être causé par la présence de particules diffusantes, notamment de grosses goutelettes d'eau. Une révision du contrôle de qualité (procédure de correction de bias et écraimage) sera sans doute bénifique.

D'un autre côté, on a constaté sur un cycle particulier, une diminution de 5% du nombre des AMSU-B assimilés. Il es recommandé d'être vigilant vis-à-vis d'une concurrence probable entre différents types d'observations d'humidité : radiosondage, HIRS, AMSU-B. Des OSEs[3] permettraient de définir le rôle de chacun des instruments.

Et finalement, nos expériences ont tournées sur trois semaines en mois de novembre. D'autre périodes plus longues et au cours de différentes saisons permetrons de tirer des conclusions plus décisives avant l'ultime étape de mettre SSMI en chaîne en double (deuxième semestre 2005).

[3] Observing System Experiment