Assimilation des radiances brutes AMSU-B

Zahra SAHLAOUI

Septembre-Octobre 2003

1 Introduction

Les techniques d'assimilation dans les modèles de prévision numérique ont connu beaucoup de progrès au cours des dernières années. L'un des aspects de cette évolution est la capacité des modèles à utiliser directement les radiances satellitaires. En effet, il est établi que la manipulation des observations est une opération délicate accompagnée d'erreur dont les caractéristiques sont complexes. C'est ainsi que la tendance aujourd'hui dans les différents centres de prévision numérique dans le monde est d'abondonner les algorithmes d'inversion des données satellitaires en faveur de l'assimilation directe des radiances brutes.

En terme de radiance, le modèle ARPEGE/ALADIN utilise en mode opérationnel les radiances brutes AMSU-A[1]. Les radiances HIRS[2] sont actuellement en chaîne en double et passeront bientôt en mode opérationnel.

Ces deux types d'observations satellitaires informent surtout sur la température mais peu sur l'humidité (forte sensibilié des canaux 11 et 12 de HIRS dans la haute et moyenne troposphère et sensibilité plus réduite du canal 7 dans la basse troposphère). Ainsi, l'humidité reste parmi les paramètres du modèle les moins informés par les systèmes d'observations utilisés actuellement (conventionnelles ou satellitaires). De là, on peut se demander quel serait l'apport d'observations telles que celles fournies par le radiomètre AMSU-B, ce dernier étant un outil de mesure de quantités liées à l'humidité.

Dans cet article, on aborde une description du radiomètre AMSU-B ainsi que les différentes étapes pour préparer et assimiler les données qu'il fournit. Par la suite, les résultats des premiers tests d'assimilation des AMSU-B dans ARPEGE/ALADIN seront présentés afin d'évaluer l'impact de ces données sur les performances du modèle.

2 Les radiances brutes AMSU-B

2.1 L'instrument AMSU-B

Le sondeur AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit-B) est un radiomètre à cinq canaux micro-ondes. L'objectif de cet instrument est de recevoir et mesurer le rayonnement émis par différentes couches atmosphériques, dans le but d'obtenir une information globale sur les profils d'humidité. Ainsi, il fonctionne en complément avec les sondeurs AMSU-A

1. Advanced Microwave Sounding Unit-A
2. High resolution IfraRed Sounder

et HIRS sur les satellites de la NOAA. L'ensemble de ces trois sondeurs constitue les mesures ATOVS[3].

Les canaux 3, 4 et 5 d'AMSU-B sondent l'atmosphère aux alentours de la fréquence 183 GHz qui coïncide avec une zone très opaque en terme d'absorption par la vapeur d'eau. Les deux premiers canaux ont des fréquences permettant de voir plus profondément à travers l'atmosphère jusqu'à la surface terrestre. Aux hyperfréquences utilisées par AMSU-B, les nuages sont pratiquement transparents, alors que l'eau (pluie et neige) émet fortement. Cette grande sensibilité de la mesure à la présence d'eau d'une part, et la haute variabilité de l'eau atmosphérique d'autre part, nécessitent une bonne résolution spatiale. Cette résolution est de 16km pour AMSU-B contre 45km pour AMSU-A et 20km pour HIRS (10km pour le canal 4 de HIRS). Les caractéristiques techniques du radiomètre AMSU-B sont dans le tableau 1 ci dessous:

Canal	n^o 1	n^o 2	n^o 3	n^o 4	n^o 5
Fréquence en GHZ	89.0 ± 0.9	150.0 ± 0.9	183.31 ± 1.00	183.31 ± 3.00	183.31 ± 7.00
Sensibilité	1.0 K	1.0 K	1.1 K	1.0 K	1.2 K
Résolution spatiale	16.3 km				
Fauchée	2127 km				
Nombre de cellules	90				

Tableau 1. Spécifications techniques du radiomètre AMSU-B

2.2 La préparation des données

Les données AMSU-B utilisées dans cette étude sont celles des satellites NOAA-16 et NOAA-17. Seuls les canaux 3, 4 et 5 sont utilisés. En effet, Les canaux 1 et 2 ont des fréquences sensibles aux caractéristiques de la surface. Vu la difficulté de déterminer l'émissivité de surface et la température de surface, spécialement sur terre et sur la glace de mer, il a été décidé que dans un premier temps, les canaux 1 et 2 ne seraient pas utilisés.

Un premier échantillonnage est effectué lors de l'extraction de la base de données météorologiques. En effet, avec 90 cellules le long d'une fauchée de 2127 km, on a une distance de 23.6km entre deux observations. Un échantillonnage d'une observation sur six conduit à une distance minimale de 140km entre deux observations, qui est comparable à celle des AMSU-A.

Les données extraites de la base sont sujettes à un contrôle de qualité par liste noire (blacklisting). Ainsi, sur les 90 cellules d'observation, on rejette neuf cellules de chaque extrémité de la fauchée. Les autres critères de contrôle sont listés dans le tableau 2.

Canal	n^o 1	n^o 2	n^o 3	n^o 4	n^o 5
$9 < position < 82$			$\surd$	$\surd$	$\surd$
Mer			$\surd$	$\surd$	$\surd$
Terre $orog > 1000m/1500m$ *pour canaux* $4/5$				$\surd$	$\surd$
Ts $< 278K$ et $\mid Obs - Mod \mid < 5K$			$\surd$	$\surd$	$\surd$

Tableau 2. Critères de rejet par liste noire des données AMSU-B

$*$ Ts : température de surface

3. Advanced TIROS Operational Vertical Sounding

∗ orog : mode orographique
∗ Obs-Mod : écart entre observation et modèle

Pour pouvoir les intégrer dans un système variationnel d'assimilation de données, on doit définir pour chacune des radiances AMSU-B une erreur d'observation et une erreur d'ébauche. Cette dernière est utilisée dans le contrôle par rapport à l'ébauche lors de l'écrémage. Dans notre cas, l'erreur d'observation est considérée analogue à celle du CEP. Une estimation de l'erreur de l'ébauche a été faite en se basant sur un fichier d'erreur de l'ébauche du modèle CEP. La méthode consiste à calculer, pour chaque canal, la moyenne spatiale de l'erreur en ne prenant en compte que les observations qui ne sont pas rejetées par le contrôle par rapport à la liste noire. Le tableau 3 reprend les valeurs de l'erreur d'observation et de l'erreur d'ébauche telles qu'elles sont utilisées lors de cette étude.

Canal	n^o 1	n^o 2	n^o 3	n^o 4	n^o 5
Erreur d'observation	20	20	2	2	2
Erreur de l'ébauche	4.28	3.97	3.97	2.96	2.20

Tableau 3. Erreur d'observation et erreur d'ébauche pour AMSU-B

3 La correction de biais

Les observations de radiance ainsi que le modèle de transfert radiatif sont entachés par des erreurs, dont une partie de biais assez conséquente. Il est donc important d'éliminer ce biais afin d'extraire proprement l'information qui sera assimilée par le modèle. En géneral, le biais se manifeste sous deux formes; un biais par rapport à la position de la cellule sur la fauchée et un biais qui dépend des caractéristiques de la masse d'air.

La procédure de correction de biais pour les radiances AMSU-A et HIRS a été adaptée aux radiances AMSU-B au cours de cette étude. La méthode consiste à effectuer un traitement statistique (régression multiple) sur les écarts Observation-Modèle et ceci sur une période assez longue pour avoir des résultats stables et significatifs.

Le traitement ne sera pas appliqué à toutes les positions du scan (90 cellules). En effet, le calcul est fait pour 30 lots. Les quatres premières positions sont considérées être le premier lot. Ensuite, chaque trois positions successives constituent un lot. Et enfin les deux dernières positions sont le lot numéro 30. Cette répartition est analogue à ce qui se fait dans le code ARPEGE/ALADIN. En tenant compte de l'échantillonnage lors de l'extraction, on aboutit à une correction de biais d'un lot sur deux, avec deux valeurs successives pour les deux premiers lots (informés par les positions 1 et 7) et zéro pour les deux derniers lots (la dernière position selectionée lors de l'extraction est la position 85 qui informe sur le lot 28).

La correction du biais par rapport à la position est presentée sur la figure 1 pour le NOAA-16 et le NOAA-17, pour chaque canal et sur différentes bandes de latitudes. On remarque que pour le canal numéro 1 les valeurs du biais sont importantes pour les deux satellites et partout sur le globe. Ceci justifie bien le choix de mettre ce canal en liste noire. Pour les canaux numéro 3 et 4, le biais prend la forme d'un arc avec une valeur nulle au centre et un biais de plus en plus grand (en valeur absolue) plus on va vers l'extrémité de la fauchée. Le canal numéro 5 a un comportement analogue sauf sur la bande 90S-60S.

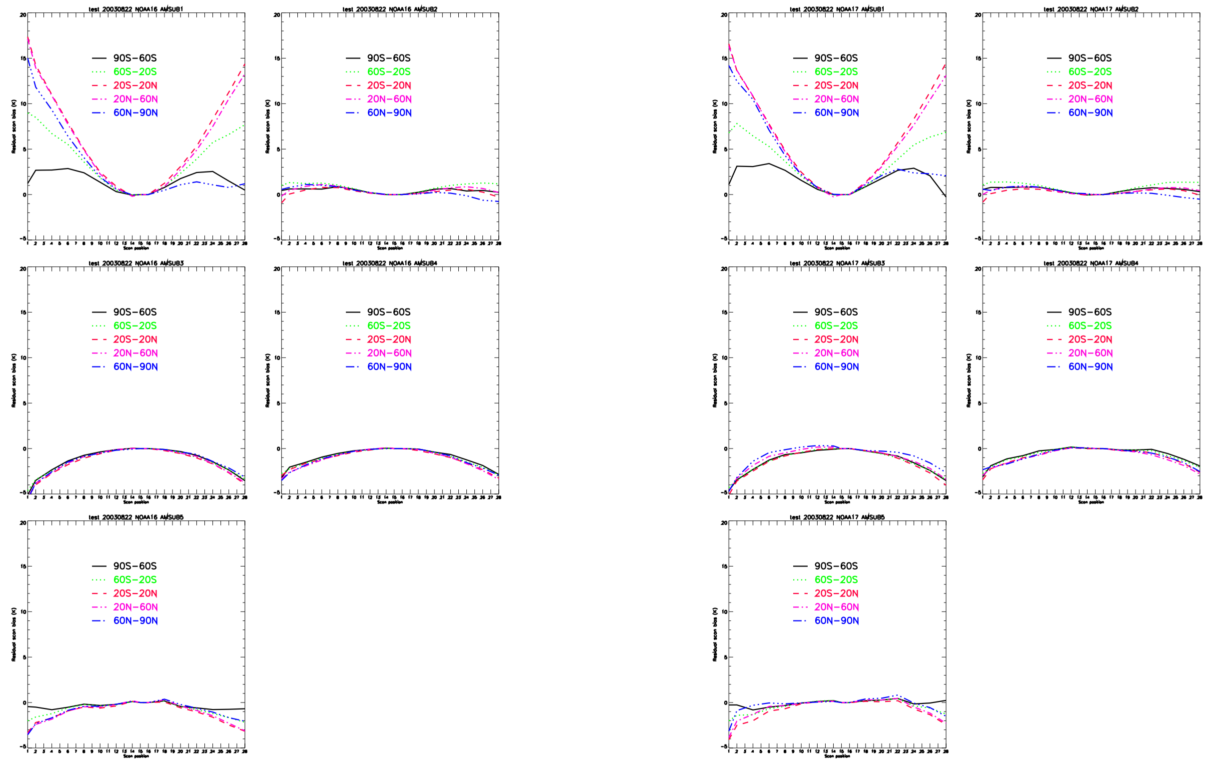


Figure 1. Biais en fonction de la position des cellules sur la fauchée pour NOAA-16 (gauche) et NOAA-17 (droite)

La figure 2 trace l'évolution temporelle du biais au cours de la période du calcul allant du 04 au 22 août 2003, soit 19 jours.

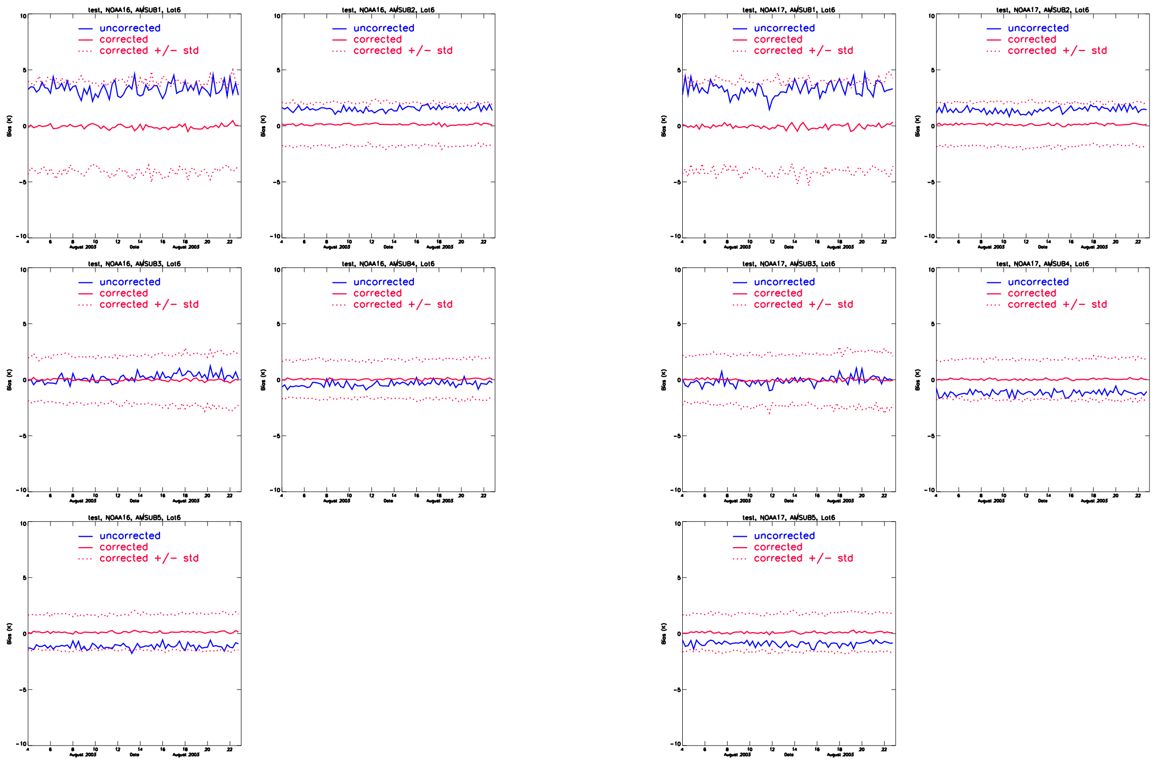


Figure 2. Evolution temporelle du biais lié à la masse d'air pour NOAA-16 (gauche) et NOAA-17 (droite)

Le canal 1 montre un biais important (en bleu) qui atteint 5K ainsi qu'un grand écart-type. Les autres canaux ont des biais moins importants qui ne depassent pas $\pm 1.5K$, spécialement pour les canaux 3 et 4. Après correction, le biais (trait rouge continu) devient quasi nul.

Notons que cette correction du biais est une opération progressive. C'est à dire qu'en premier lieu, on réalise la correction par rapport à une ébauche qui ne contient pas encore l'information AMSU-B. Par la suite, la procédure doit être relancée en comparant les observations cette fois avec une ébauche issue d'une analyse qui utilise les AMSU-B et la première correction du biais. Ainsi, on s'approche progressivement de la correction optimale.

Dans cette étude on réalise pour la première fois l'assimilation des radiances AMSU-B dans le modèle ARPEGE/ALADIN. C'est pour cela que c'est la première version de la correction de biais (ébauche sans l'information AMSU-B) qui est utilisée.

4 L'étude d'impact

4.1 La description du cycle AMSU-B

Après avoir effectué les ajustements du code et le calcul de la correction de biais, un cycle d'assimilation intégrant les radiances AMSU-B a été lancé sur la période du 02 au 17 août 2003. L'objectif est d'évaluer l'apport de ce nouveau type d'observation à la qualité de l'analyse, de l'ébauche et de la prévision au-delà de 6 heures dans le modèle ARPEGE/ALADIN. Les sorties de cette exprérience sont comparées avec une référence tournée par l'équipe OBS du CNRM/GMAP en préparation de la chaîne en double avec HIRS. La référence ainsi que le cycle AMSU-B utilisent, en plus des observations conventionnelles, les données ATOVS des radiomètres AMSU-A et HIRS.

4.2 L'analyse et la présentation des résultats

Les sorties de la référence et du cycle AMSU-B ont été comparées via différents diagnostiques :
∗ les ébauches sont contrôlées par rapport aux observations en utilisant l'outil OBSTAT
∗ Les prévisions au delà de 6H sont comparées avec des observations du type TEMP et SYNOP
∗ Les prévisions de chaque cycle sont comparées avec l'analyse correspondante issue du même cycle ou avec l'analyse du CEP
Les résultats de ces différentes vérifications sont présentées dans ce qui suit.

4.2.1 Validation par rapport aux observations

La validation des ébauches par rapport aux observations des radiosondages a montré un impact légèrement positif de l'ajout des AMSU-B sur le profil du biais du geopotentiel (figure 3). En fait, le biais diminue de façon marquée sur l'hémisphère nord (H.N) au dessus de 500hPa (entre 10 et 15%). On note aussi une amélioration du biais et de l'erreur quadratique moyenne (eqm) sur l'hémisphère sud (H.S) à partir de 300hPa et sur les tropiques au dessus de 500hPa.

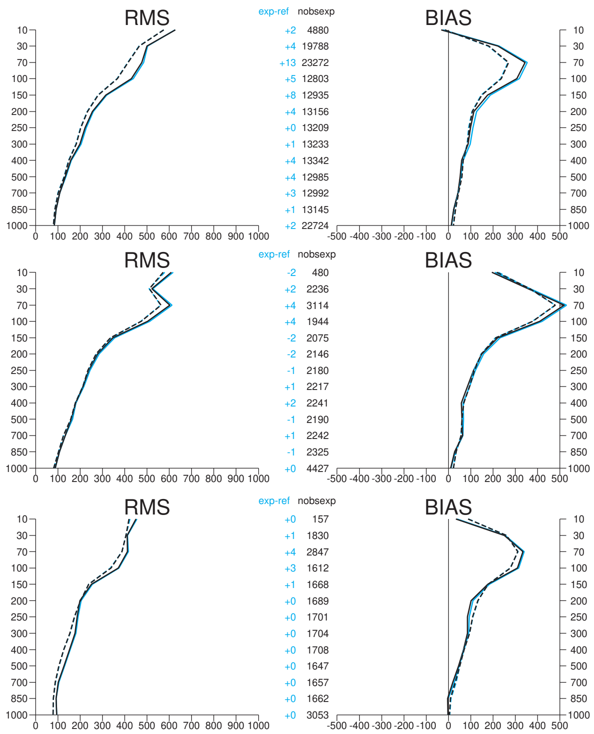


Figure 3. Erreur (bias) et écart quadratique moyen (rms) de l'ébauche par rapport au geopotentiel des radiosondages (avec AMSU-B : trait continu noir ; sans AMSU-B : trait continu bleu). En haut sur l'hémisphère nord, au milieu sur les Tropiques et en bas sur l'hémisphère sud.

En terme d'humidité (figure 4), l'ajout des AMSU-B donne plus de biais par rapport aux mesures de TEMP, surtout en basses couches, sur les deux hémisphères extra-tropicaux. Sur les tropiques, on remarque une diminution du biais au-dessous de 700hPa mais une aggravation de biais au-delà de 700hPa.

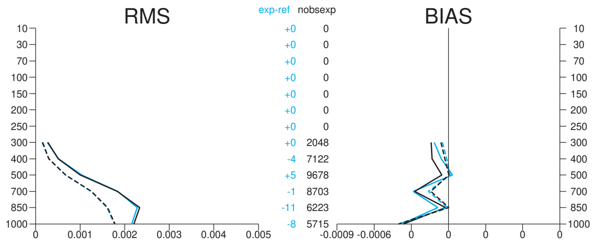


Figure 4. Erreur (bias) et écart quadratique moyen (rms) de l'ébauche par rapport a l'humidité des radiosondages sur les Tropiques (avec AMSU-B : trait continu noir ; sans AMSU-B : trait continu bleu)

A noter aussi un biais plus important par rapport aux mesures des canaux 11 et 12 du radiomètre HIRS, et ceci sur les deux hémisphères extra-tropicaux. Pour les autres canaux l'impact est neutre à faiblement positif. Par contre, sur les tropiques, le biais diminue pour tous les canaux HIRS.

Les prévisions au-delà de 06 heures d'échéances ont été contrôlées par rapport aux mesures de radiosondages, en calculant des différences de scores de prévision entre l'expérience avec les AMSU-B et la référence.

Ainsi, on constate que pour le géopotentiel, les prévisions du cycle AMSU-B ont un biais moins important que celles de la référence, et ceci pour les échéances allant de 12 jusqu'à 96 heures (figure 5). Le biais diminue d'environ 5m au-dessus de 500hPa et l'eqm diminue de 4m sur les tropiques.

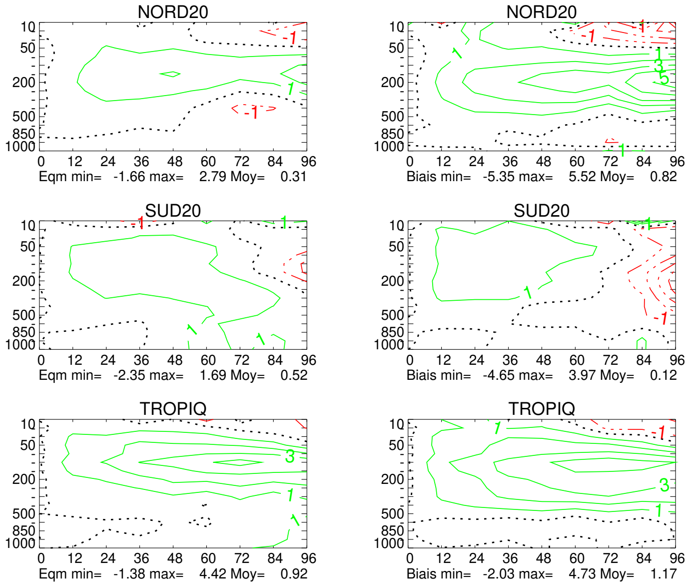


Figure 5. Scores de prévision par rapport aux radiosondage : Geopotentiel (bias à droite et eqm à gauche)

Les résultats par rapport aux mesures d'humidité sont à prendre avec précaution. En fait, il faut tenir en compte la fiabilité des mesures d'humidité par radiosondage dans les hautes couches (au dessus de 300hPa). En général, on trouve une couche d'aggravation de biais autour de 200hPa surmonté par une autre bande où le biais diminue (figure 6). Dans les couches inférieures, l'impact est globalement neutre.

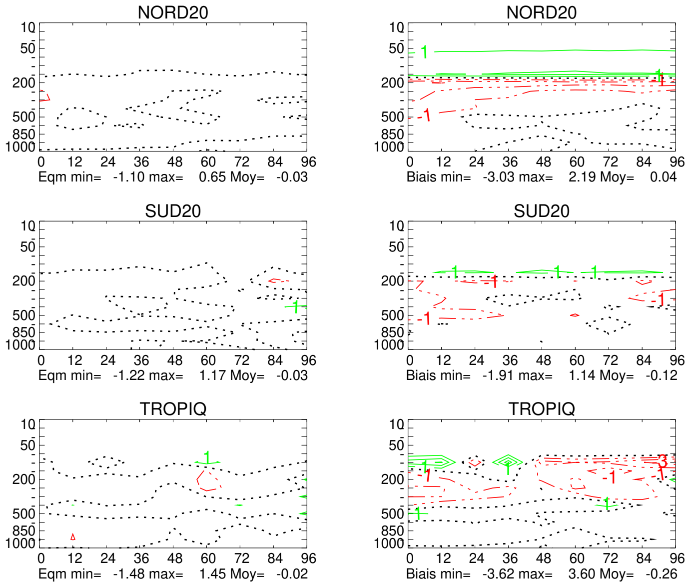
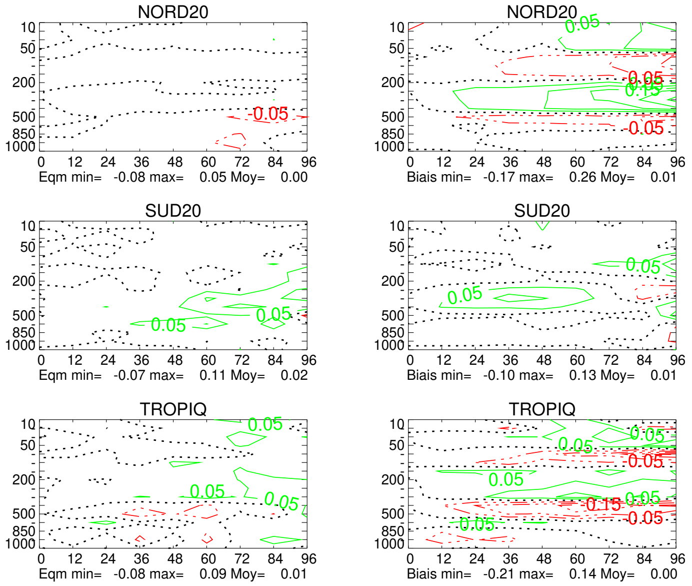


Figure 6. Scores de prévision par rapport aux radiosondages : Humidité (bias à droite et eqm à gauche)

En ce qui concerne les températures (figure 7), l'impact est positif, en terme d'eqm sur l'H.S et les Tropiques. L'impact sur le biais est positif sur l'H.S, globalement positif sur l'H.N et mitigé sur les Tropiques avec une altérnance de couches d'agravation de biais et d'autres plus larges où le biais est amélioré.



`Figure 7. Scores de prévision par rapport aux radiosondages : Température (bias à droite et eqm à gauche)`

La validation par rapport aux vents de radiosondage a montré une amélioration en terme d'eqm qui diminue sur l'H.S et les Tropiques. Sur l'H.N, l'impact reste neutre.

Remarquons que la répartition des radiosondages sur le globe n'est pas homogène, spécialement sur les océans où les mesures par radiosondages sont quasi-absentes. C'est pour cela qu'il a été décidé de compléter la validation des résultats en effectuant une comparaison des prévisions de chaque cycle avec les analyses correspondantes issues du même cycle ou avec l'analyse du CEP.

4.2.2 Validation par rapport à l'analyse

La validation des prévisions par rapport à l'analyse CEP a confirmé les tendances déjà révélées lors de la validation par rapport aux radiosondages.

En effet, on note un impact positif sur le géopotentiel. L'ajout des AMSUB réduit le biais du modèle de 3m sur l'H.N et les Tropiques et de 2m sur l'H.S (figure 8). Ce résultat est valable au dessus de 500hPa et à partir de 6 jusqu'à 96 heures d'échéances.

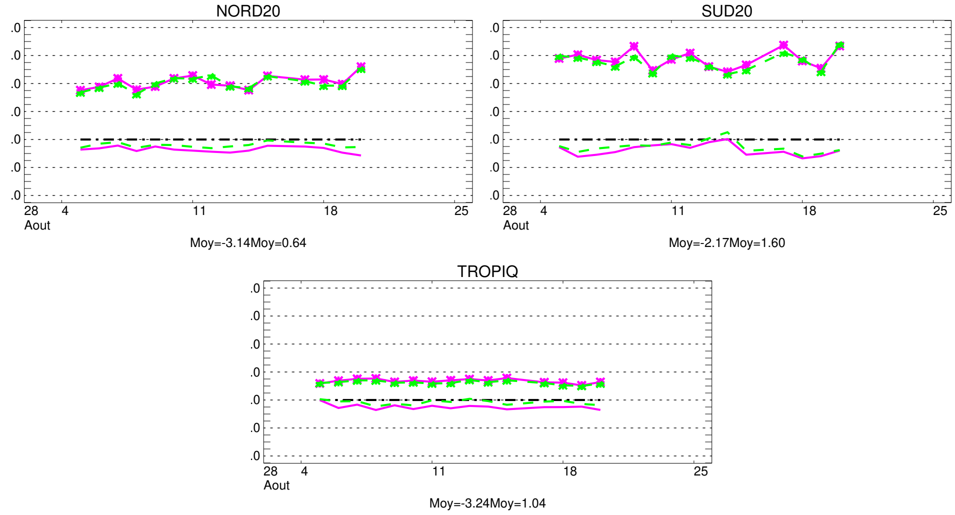


Figure 8. Série temporelle du biais (trait continu) et de l'eqm (trait avec étoile) de la prévision à 72H par rapport à l'analyse CEP pour le geopotentiel à 250hPa. Expérience (vert) et contrôle (rouge)
haut gauche : H.N , haut droite H.S , bas : Tropiques

En terme d'eqm, une réduction de 3m se manifeste entre 200hPa et 50hPa sur l'H.N et les Tropiques. Sur l'H.S l'amélioration est plus marquée à partir de 72heures et concerne toutes les couches de l'atmosphère.

On note pour le vent une diminution de l'eqm sur l'H.S de 0.27m/s entre 500hPa et 100hPa. Ailleurs, l'impact reste neutre (figure 9).

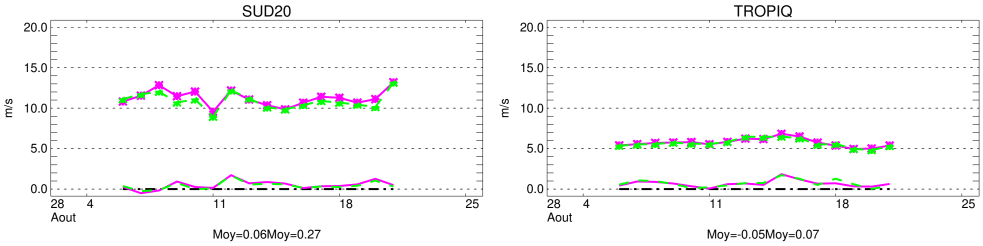


Figure 9. Série temporelle du biais (trait continu) et de l'eqm (trait avec étoile) de la prévision à 96H par rapport à l'analyse CEP pour le vent à 250hPa. Expérience (vert) et contrôle (rouge)
haut gauche : H.N , haut droite H.S , bas : Tropiques

Une autre validation a été réalisée en comparant cette fois les prévisions des deux cycles avec les analyses correspondantes issues du même cycle. Le but de cette validation est d'évaluer la concordance et la cohérence à l'interieur de chaque système (l'expérience avec les AMSU-B et le contrôle sans les AMSU-B). Dans cet esprit, une étude de cas a été réalisée pour une perturbation qui aborde la côte ouest de l'Amérique du nord (figure 10). La prévision 48h du géopotentiel à 250hPa de chaque cycle est comparée à sa propre analyse. Une première remarque est que les deux analyses sont en accord et produisent la même structure. Du côté des prévisions (contrôle et expérience), le champs prévu par le contrôle montre un noyau qui s'est détaché du thalweg pour rejoindre le centre de la perturbation. Dans l'expérience avec les AMSU-B, ce cutt-off ne se produit pas, ce qui est plus en accord avec l'analyse.

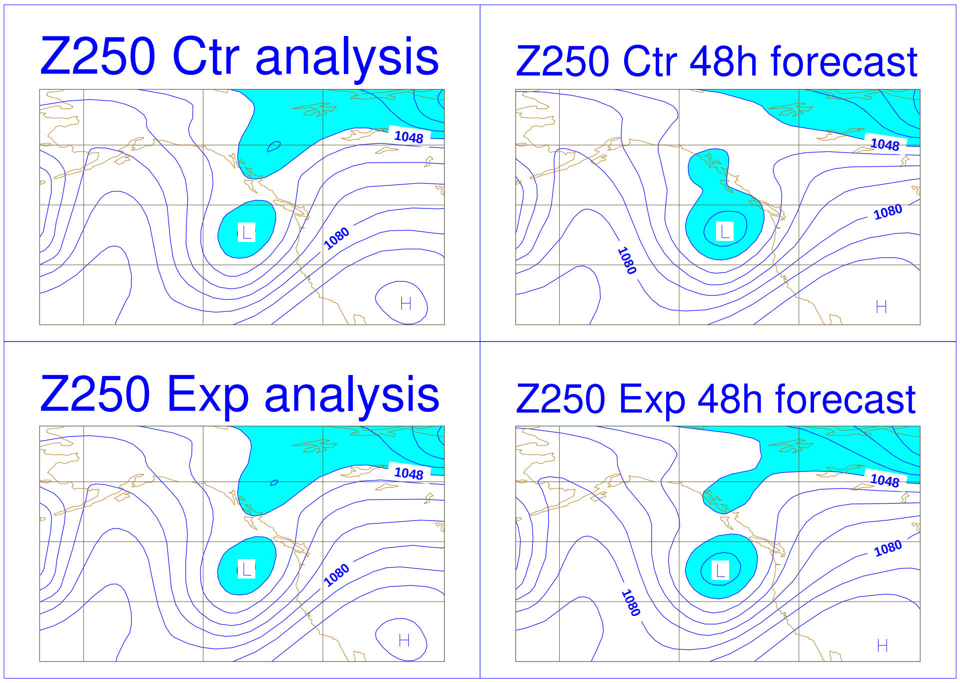


Figure 10. Etude de cas du 10 août 2003 : Geopotentiel à 250hPa.
En haut le cycle de contrôle sans les AMSU-B
En bas l'expérience avec les AMSU-B

5 Conclusions et perspectives

L'assimilation des observations AMSU-B dans le modèle ARPEGE/ALADIN apporte un complément d'information en terme d'humidié par rapport aux autres données ATOVS, à savoir AMSU-A et HIRS. Cette étude a montré que les AMSU-B ont un impact positif sur l'analyse et la prévision du geopotentiel. La température bénéficie elle aussi de ces nouvelles données surtout sur les deux hémisphères extra-tropicaux. L'impact sur l'humidité est négatif à neutre sur les deux hémisphères extra-tropicaux mais positif en basses couches sur les tropiques. En terme de vent, on a noté une amélioration de l'eqm sur l'hémisphère sud et sur les tropiques alors que l'impact est neutre sur l'hémisphère nord.

Ce sont des premiers résultats qui incitent à approfondir le travail sur les AMSU-B selon plusieurs axes. En effet, on a utilisé dans cette étude une version 0 de la correction du biais (voir paragraphe 3). Il est donc nécessaire d'affiner cette correction. En parallèle avec la correction du biais, il est utile de réviser l'erreur de l'observation σ_o. La méthode objective de réglage développée par B.Chapnik peut être testée. Aussi, faudra-t-il réaliser de longs cycles et en différentes périodes de l'année (hiver/été) pour que les résultats de l'étude d'impact se confirment et se stabilisent. Une autre perspective consiste à insérer les données AMSU-B dans le modèle à aire limité ALADIN. En effet, les AMSU-B constituent une importante source d'information sur l'humidité, qui complète le réseau conventionnel surtout sur des domaines couvrants les océans comme le domaine Nord Afrique. Dans ce cas, les OSEs (Observing System Experiments) permettrons de comparer le bénéfice, en terme d'humidité, de différents radiomètres (AMSU-B, HIRS, AIRS).