

## ARPEGE

La résolution verticale du modèle ARPEGE est améliorée de manière uniforme avec la mise en œuvre d'un découpage vertical de l'atmosphère en 105 couches, au lieu de 70 (figure 1). Cette résolution est similaire à celle du modèle IFS en dessous de 16 km. Le niveau le plus bas est abaissé à 10 m (au lieu de 17 m). Le niveau le plus haut du modèle reste à 0.1 hPa (~70 km). La transition entre niveaux « sigma » près de la surface et niveaux en « pression » en haute atmosphère est effectuée un peu moins vite au dessus des reliefs.

La résolution horizontale est également améliorée (figure 2), avec une évolution de la troncature spectrale et de l'étirement de T<sub>1798c2.4</sub> à T<sub>1198c2.2</sub>, ce qui donne une résolution de 7,5 km sur l'Europe de l'Ouest et de 36 km dans le Pacifique sud (au lieu de 10 et 60 km respectivement). Le pas de temps du modèle diminue de 514 à 360 s.

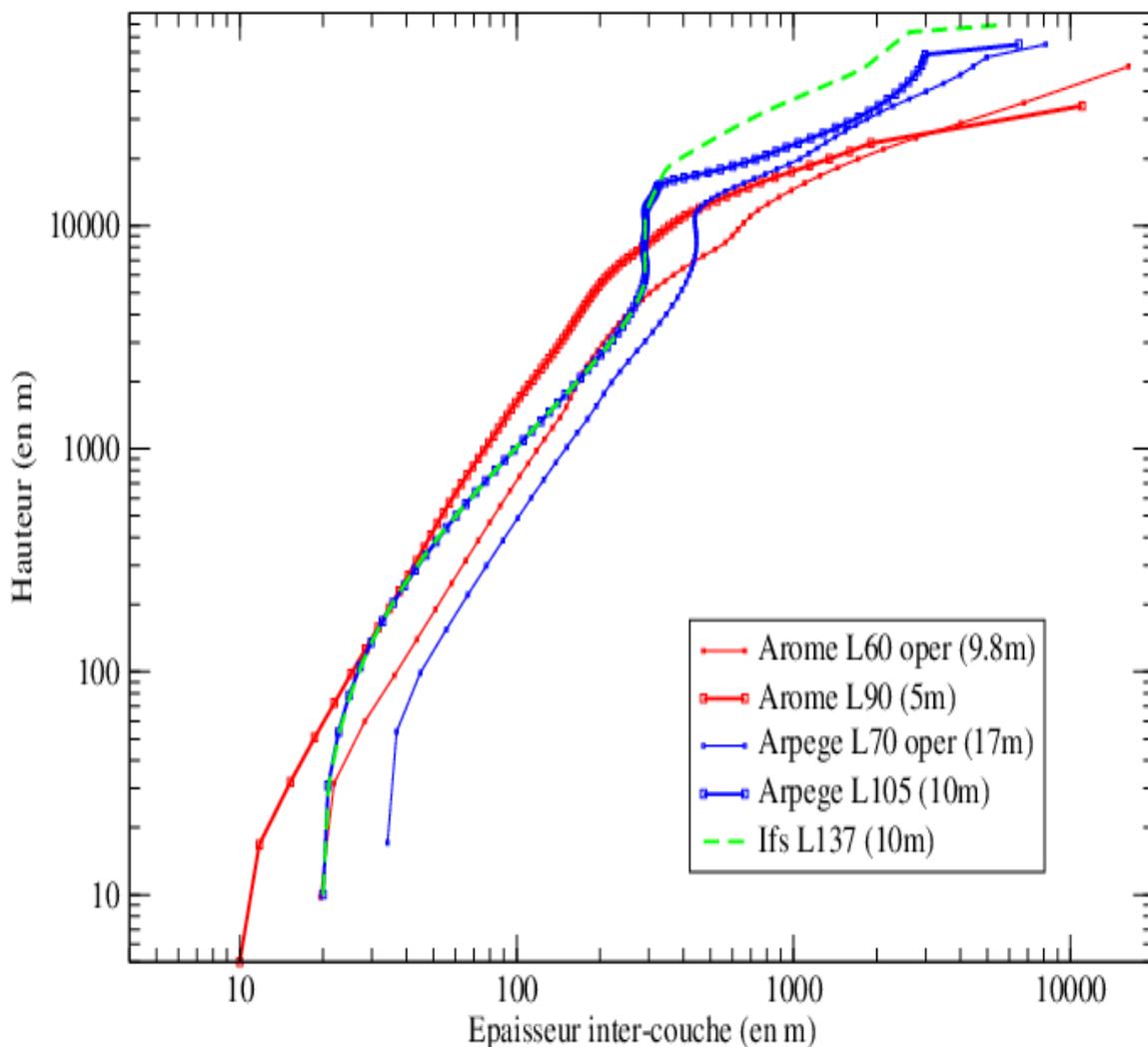


Fig 1: Résolutions verticales anciennes et nouvelles des modèles AROME et ARPEGE, ainsi que celle du modèle IFS

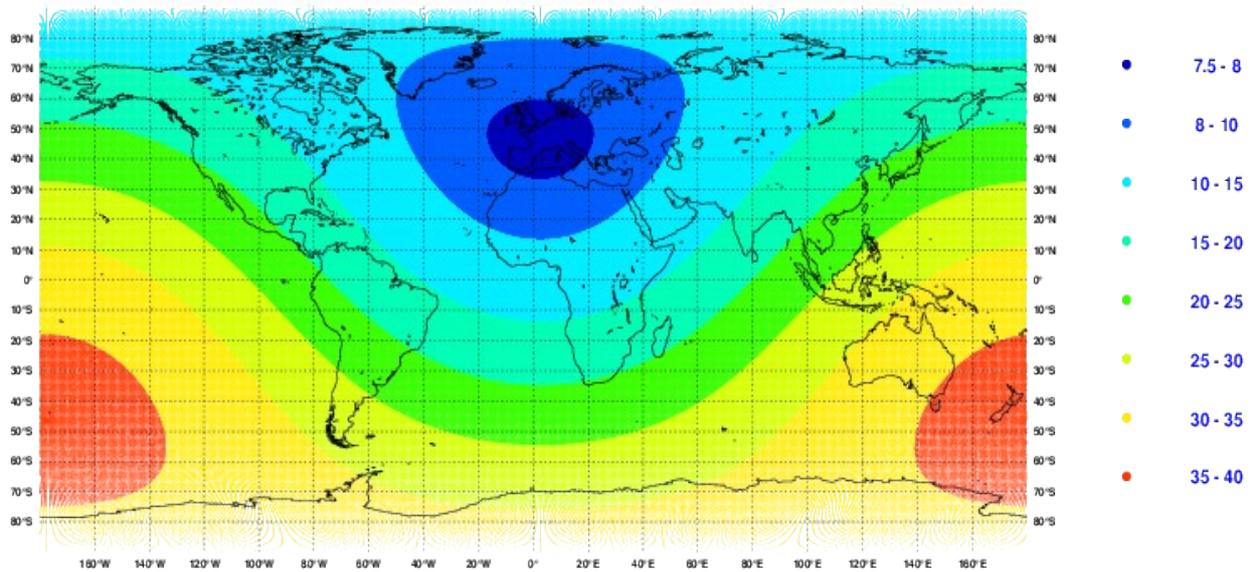


Fig 2 : Nouvelle résolution horizontale (en km) du modèle ARPEGE (T<sub>1198c2.2</sub>)

La résolution spatiale de l'analyse 4D-Var est également améliorée. La résolution horizontale est environ de 135 km pour la première minimisation (T<sub>149c1L105</sub> Dt=1350s) et 50 km pour la seconde minimisation (T<sub>1399c1L105</sub> Dt=900s) qui correspond à la résolution des incréments d'analyse.

L'assimilation des observations dans les modèles de prévision numérique nécessite une bonne description des covariances spatiales des erreurs d'ébauche, car celles-ci permettent de spatialiser les observations ponctuelles. Une nouvelle version de l'assimilation d'ensemble ARPEGE, dite AEARP, a été développée afin d'estimer ces covariances. Elle bénéficie d'une résolution spatiale améliorée d'environ 40km sur l'horizontale (T<sub>1479c1L105</sub>, Dt=720s pour les ébauches et T<sub>149c1L105</sub> Dt=1350s pour la minimisation de l'analyse 4D-Var) et repose sur un ensemble de 25 membres (au lieu de 6). Ceci permet d'obtenir des corrélations déduites au moyen d'une moyenne temporelle des corrélations réduite à un jour et demi (au lieu de 4 jours), et d'effectuer une mise à jour des corrélations toutes les 6 heures (au lieu de 24 heures). Cette évolution permet de mieux représenter les variations géographiques et temporelles des portées horizontales des corrélations (figure 3).

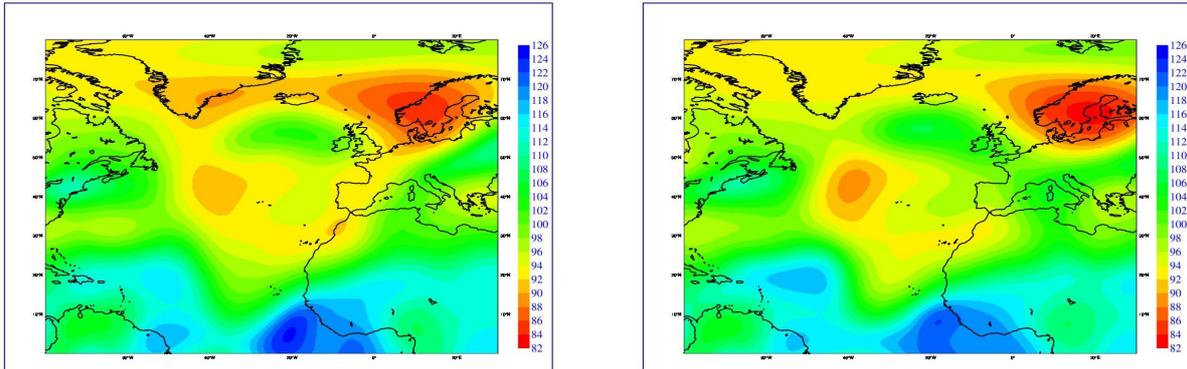


Fig 3 : Portées horizontales des corrélations d'erreur de prévision du vent vers 300 hPa à 6h (à gauche) et 12h TU (à droite) le 15/11/2013 (plage de couleur en km)

Plusieurs autres modifications sont introduites dans l'analyse 4D-var :

- les minimisations utilisent un plus grand nombre d'itérations (40 dans chaque minimisation au lieu de 25 et 30) pour une meilleure prise en compte des observations assimilées, dont le nombre a fortement augmenté au cours des dernières années (facteur 5 environ), et conformément aux diagnostics a posteriori de l'analyse (DFS et conditionnement).

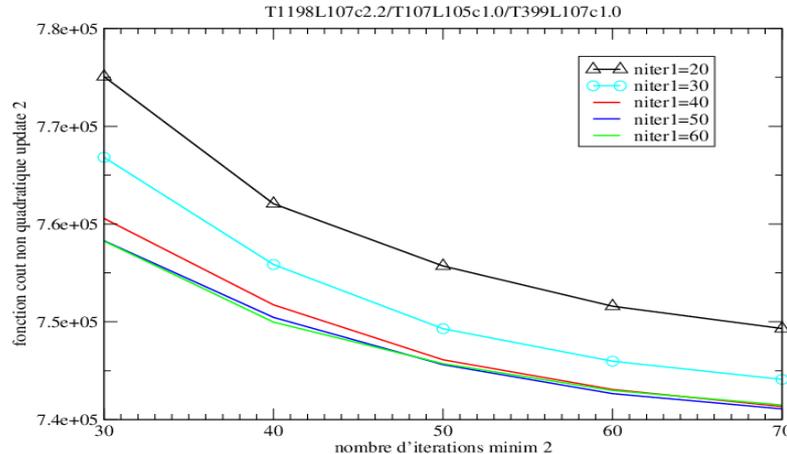


Fig 4 : Décroissance de la fonction coût en fonction du nombre d'itérations dans la première et la seconde minimisation

- la dispersion de l'assimilation d'ensemble et le filtrage des variances d'erreur d'ébauche (augmentation de 50% des troncatures de filtrage et léger lissage vertical des profils de troncature) ont été ajustés.
- l'opérateur de balance est désactivé dans la stratosphère pour éviter un couplage excessif

entre les incréments de température et de divergence du vent entraînant une dégradation des scores objectifs.

- le terme de pénalisation du signal haute fréquence dans la minimisation du 4D-Var (terme « Jc\_dfi ») pénalise davantage les oscillations temporelles des incréments de champ de divergence et de pression de surface mais supprime la contrainte sur les autres variables (configuration utilisée dans IFS se rapprochant de l'ancien « Jc\_nmi »).

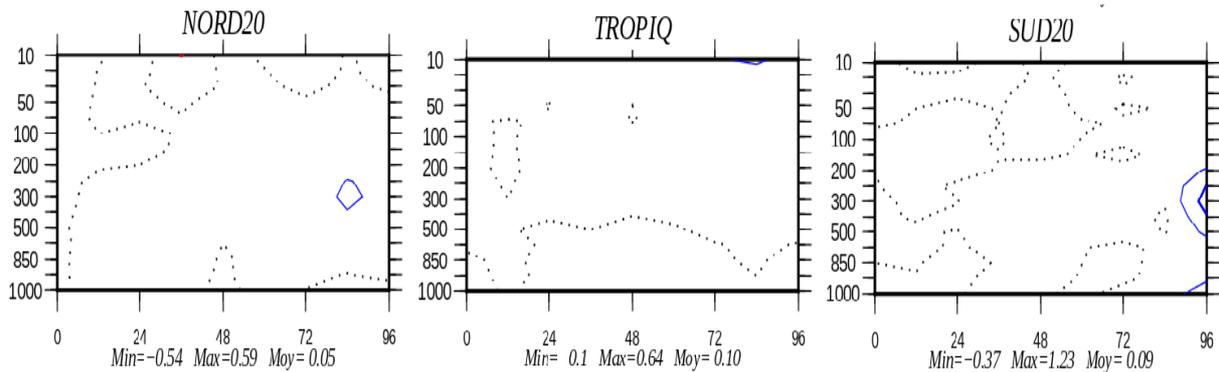
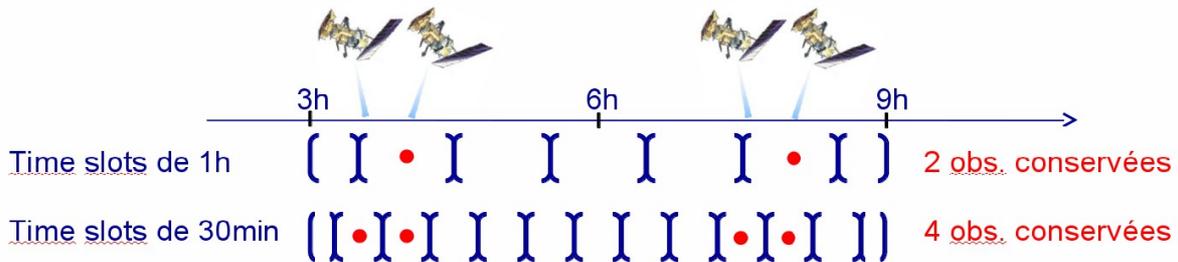


Fig 5 : Impact JcDFI EQM Z500 par rapport radiosondages (31/10/13 au 14/12/13)

- les observations sont regroupées par intervalles (« time-slots ») de 30 minutes (au lieu de 60 minutes), permettant ainsi une meilleure prise en compte de l'instant de mesure des observations et une augmentation du nombre d'observations conventionnelles et satellitaires assimilées comme le montre le schéma ci-dessous.



- l'utilisation de l'algorithme de débiaisage VarBC dans l'analyse 4D-Var est révisée (activation dans les trajectoires et cyclage des incréments entre boucles externes) avec à la clé une bien meilleure convergence et stabilité des coefficients VarBC. L'adjoint des différents opérateurs d'observation a également été corrigé afin de satisfaire strictement au test de l'adjoint.

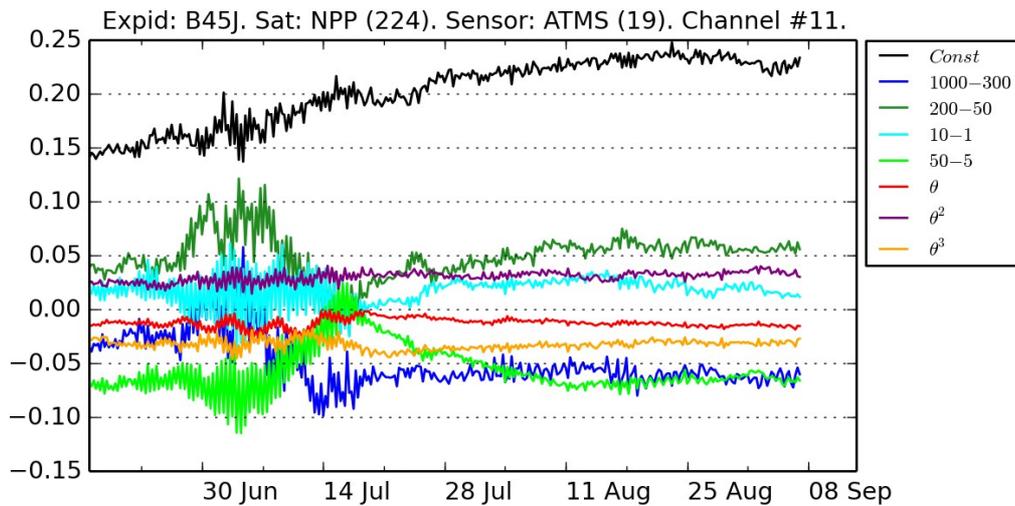


Fig 6 : Evolution des coefficients de débiaisage avant et après modification (exemple pour le canal 11 ATMS). Depuis 2008, les coefficients de débiaisage sont calculés au cours de l'analyse ; ceci les rend autoadaptatifs aux changements des modèles et à la dérive instrumentale liée au vieillissement.

Des évolutions sont introduites au niveau des observations assimilées :

- le nombre d'observations satellitaires proposées en entrée de la tâche d'écrémage (« screening », c'est à dire d'évaluation et de sélection des observations jugées « bonnes ») de l'assimilation a été augmenté d'un facteur compris entre deux et trois, permettant d'assimiler environ 10 % d'observations supplémentaires.

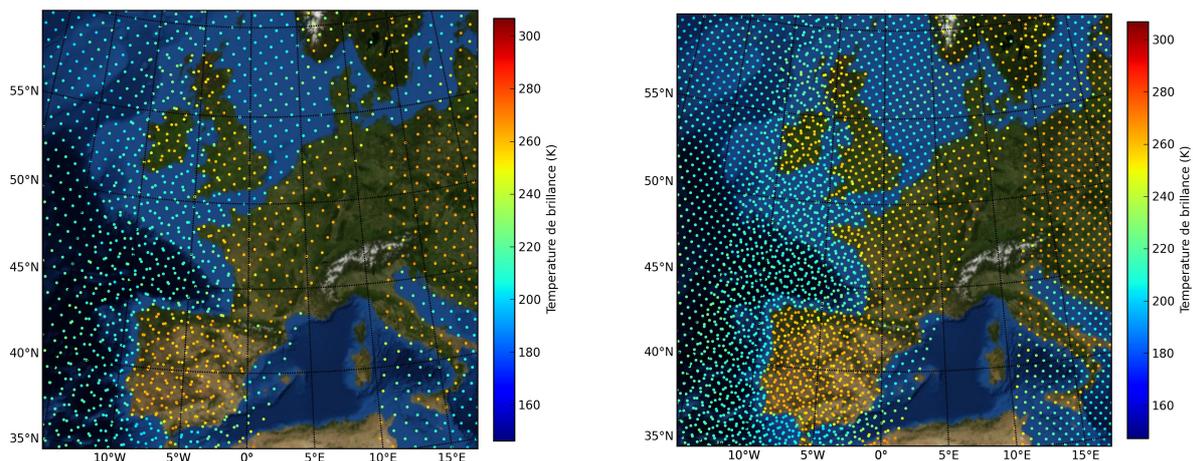


Fig 7 : Densité ancienne (à gauche) et nouvelle (à droite) des observations MHS (Metop-B et NOAA-19) en entrée de l'analyse du 29/12/13 r0

- les canaux de sondage 3 à 5 autour de 54 GHz (sensibles à la température en haute troposphère et stratosphère) et 9 à 11 autour de 183 GHz (sensibles à l'humidité) de SSMI/S ont été ajoutés à la liste des canaux assimilés pour les satellites DMSP-F17 et

DMSP-F18 (pas de changement pour DMSP-F16 en fin de vie). Les canaux de sondage sont assimilés sur tous les types de surfaces (mer, glace de mer, terre). Toutefois, les canaux 9 à 11 de DMSP-F18 ne sont assimilés que sur mer car les performances du canal 8 (utilisé pour la détection nuageuse et la restitution d'émissivité) sont insuffisantes. Un prédicteur a été ajouté dans le débiaisage variationnel pour améliorer l'utilisation de ces données.

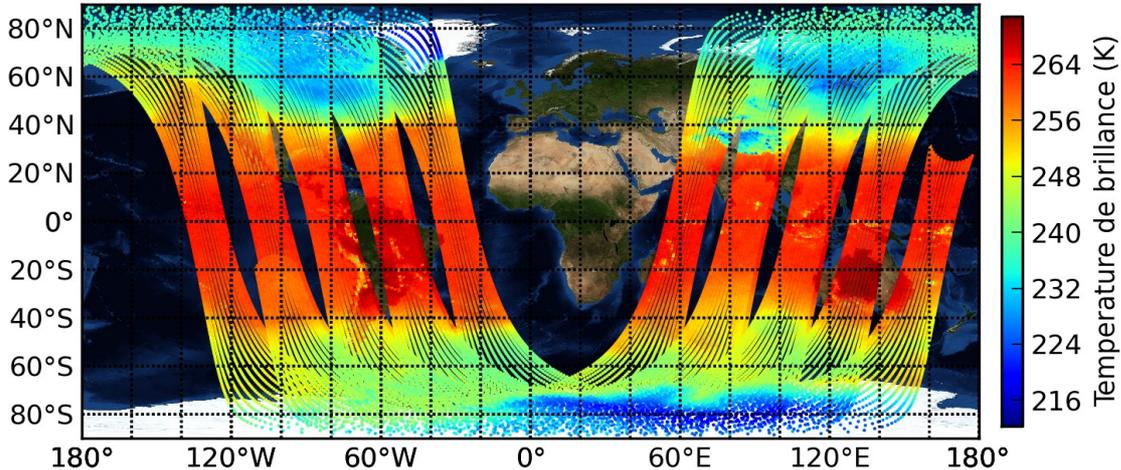


Fig 8 : Exemple de couverture des satellites DMSP-F17 et F18, données SSMI/S canal2, pour l'analyse du 1/1/14 r0

- un plus grand nombre d'observations en bord de fauchée du sondeur microondes ATMS à bord du satellite Suomi NPP sont maintenant assimilées. Cela concerne principalement les canaux de sondage sensibles à la température et à l'humidité dont les fonctions de poids pointent dans la troposphère ou légèrement au dessus.
- 6 canaux d'humidité de l'instrument SAPHIR à bord du satellite Megha-Tropiques sont assimilés. Ces 6 canaux sondent l'atmosphère autour de la bande d'absorption de la vapeur d'eau à 183.31 GHz avec une résolution de 10 km au nadir. L'orbite faiblement inclinée par rapport à l'équateur (20°) permet une forte répétitivité des mesures dans la bande tropicale (3 à 5 passages par jour). Le nombre d'observations micro-ondes d'humidité assimilées est augmenté de plus d'un facteur 2. Noter que l'assimilation opérationnelle de ces observations est une première mondiale.

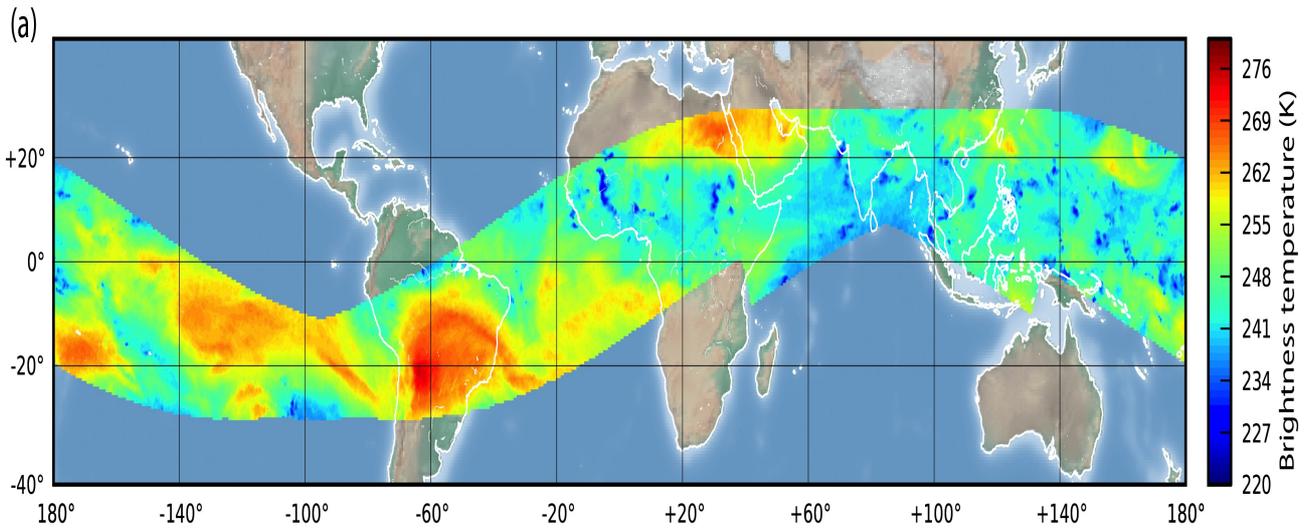


Fig 9 : Exemple de couverture en 6h le 02/07/12 r0 pour le canal à 183.1 GHz de l'instrument SAPHIR sur Megha-Tropiques

- extension verticale des observations de radio-occultation GPS assimilées étendues dans les basses couches et jusqu'à 50 km d'altitude, au lieu de 46 ; diminution des écart-types d'erreurs d'observations ; assimilation des occultations observées par les satellites TandemX et Grace-B

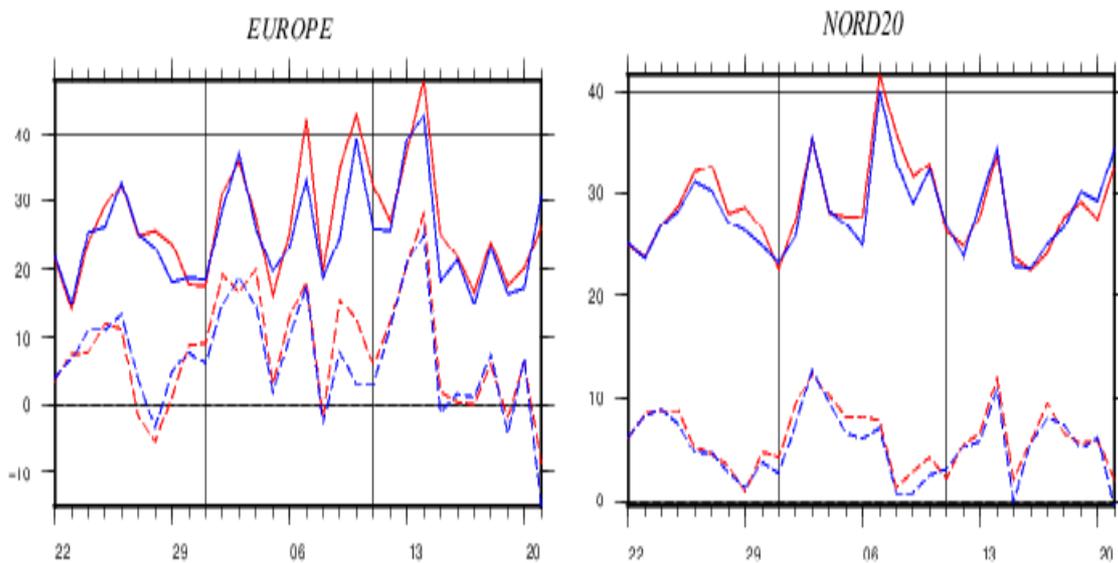


Fig 10 : EQM et biais de l'erreur de prévision du Z500 à 96h d'échéance par rapport aux radiosondages sur les domaines « Europe » et « Nord20 » (sur la période du 22/06/14 au 21/07/14) ; la nouvelle version est en bleu

- assimilation de nouveaux canaux troposphériques sensibles à la température du sondeur infra-rouge CrIS sur le satellite Suomi/NPP (22 sur mer et 8 sur terre amenant à 63 canaux sur mer et 42 sur terre)

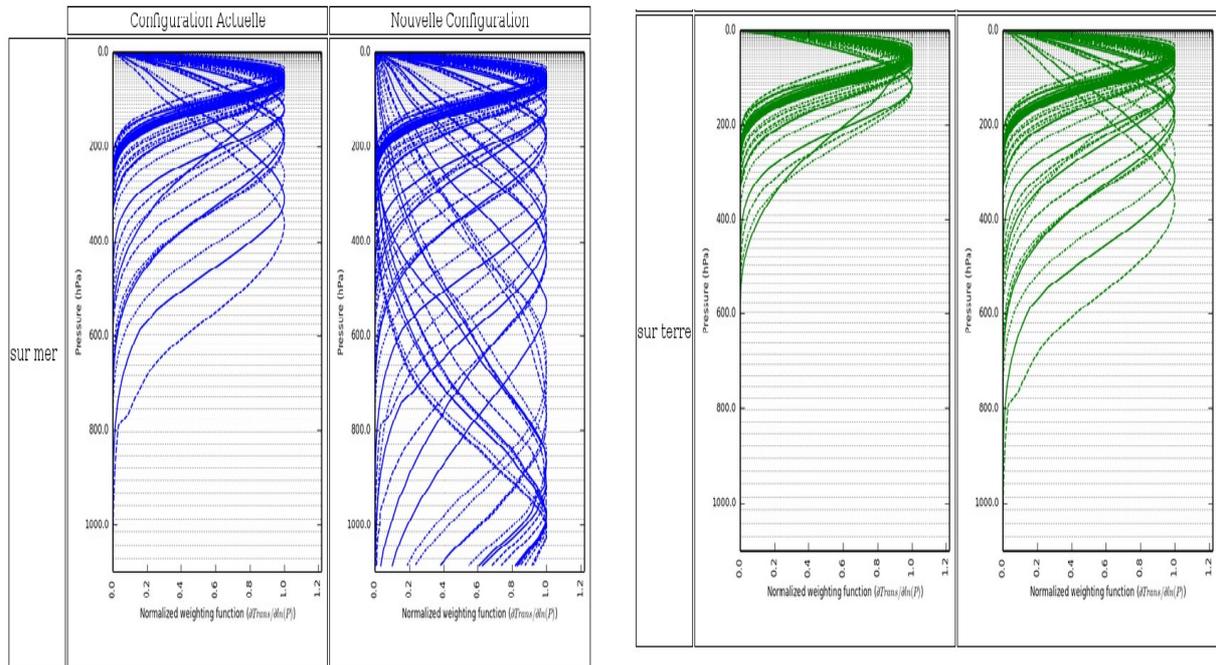


Fig 11 : Fonctions poids des canaux troposphériques CRIS assimilés (anciens et nouveaux)

- assimilation des vents du diffusiomètre ASCAT du satellite Metop-B diffusés par le service EARS (EUMETSAT Advanced Retransmission Service) pour 7 stations réceptrices

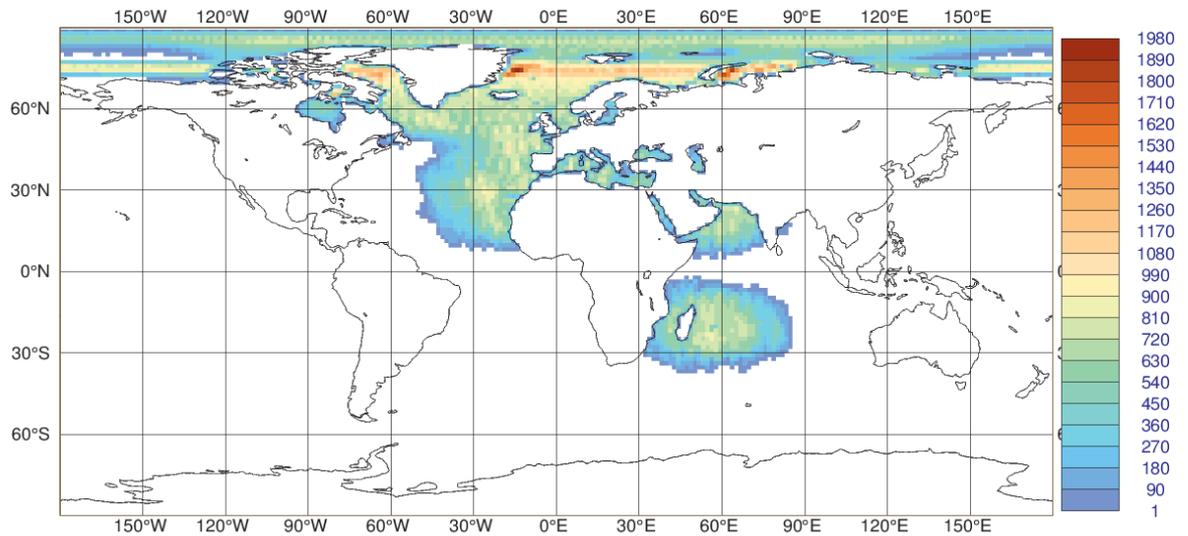
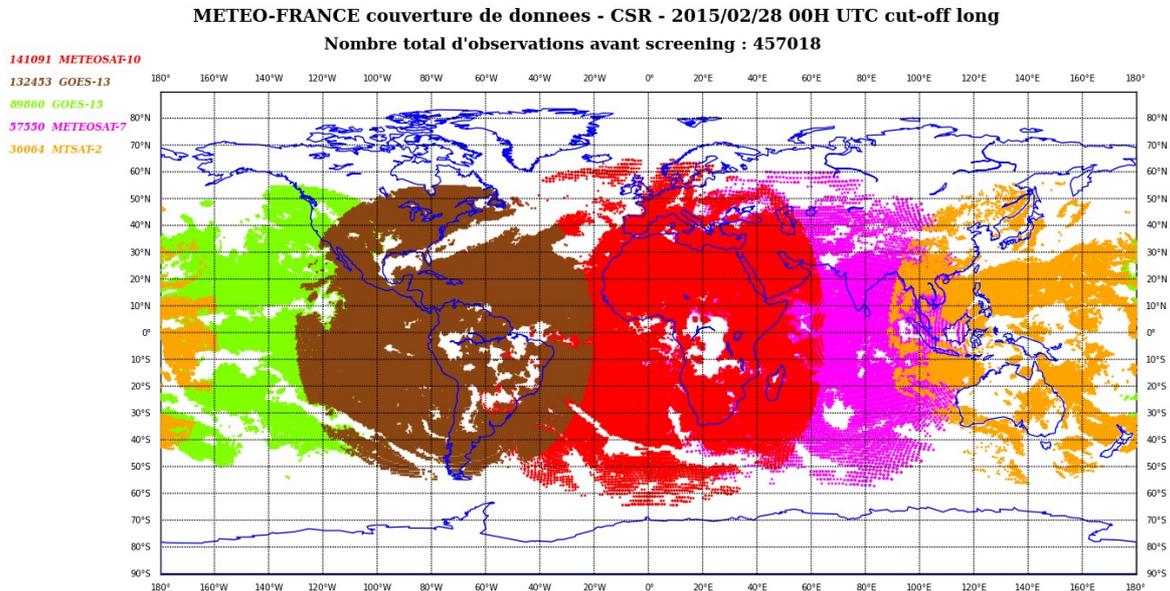


Fig 12 : Nombre de données de vent ASCAT diffusées par le réseau de diffusion EARS de MetOp-B par boîte 1,5°x1,5°, disponibles dans le cycle assimilation, au cours de la période du 8 au 17 juillet 2014.

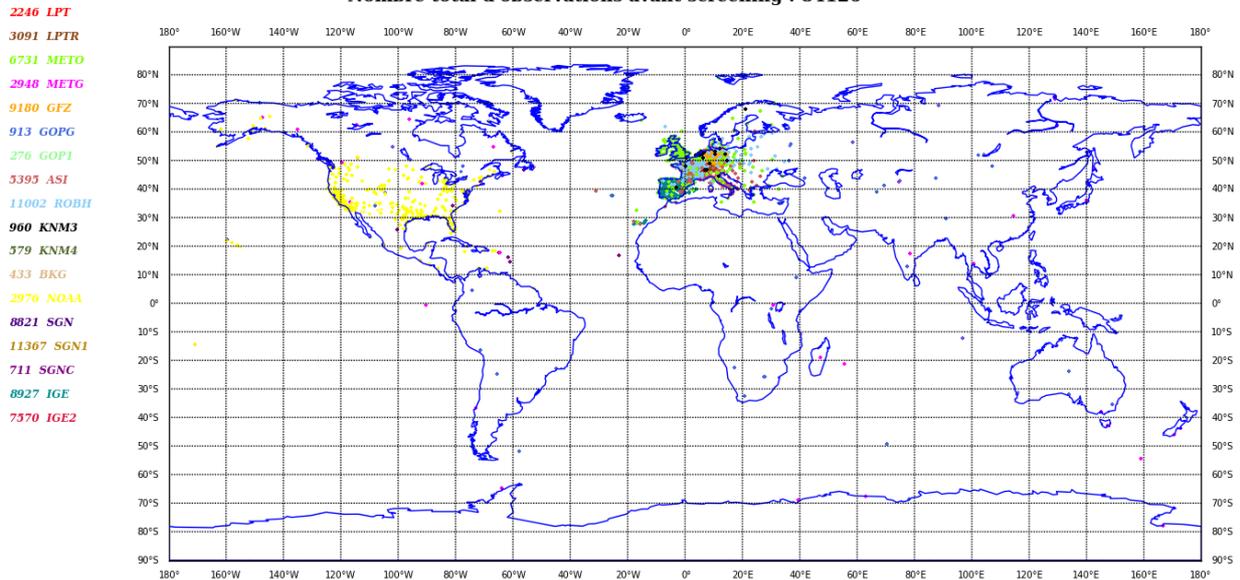
- assimilation des radiances en ciel clair des satellites géostationnaires Meteosat-7 et Mtsat-2, permettant ainsi de compléter la couverture des satellites Meteosat-10, GOES 13 et 15.



*Fig 13 : Exemple de couverture en données de radiances en ciel clair pour l'analyse à cut-off long du 28/02/15 r0 (source Compas)*

- nouvelle liste blanche pour les observations GPS terrestres, permettant notamment d'utiliser les stations américaines. Il s'agit d'observations du déphasage du signal GPS que l'on sait relié au contenu en humidité de la colonne entre satellite et récepteur au sol.

**METEO-FRANCE couverture de donnees - GPS - 2015/02/28 00H UTC cut-off long**  
**Nombre total d'observations avant screening : 84126**



*Fig 14 : Exemple de couverture en données GPS sol pour l'analyse à cut-off long du 28/02/15 r0 (source Compas)*

- assimilation des radiosondages (basse et haute résolutions) au format BUFR. Un écrémage vertical (400 niveaux conservés au maximum) est appliqué pour les radiosondages à haute résolution verticale. La localisation spatio-temporelle des observations est prise en compte par « tronçon », ce qui constitue une première amélioration par rapport à l'assimilation des radiosondages au format TEMP.

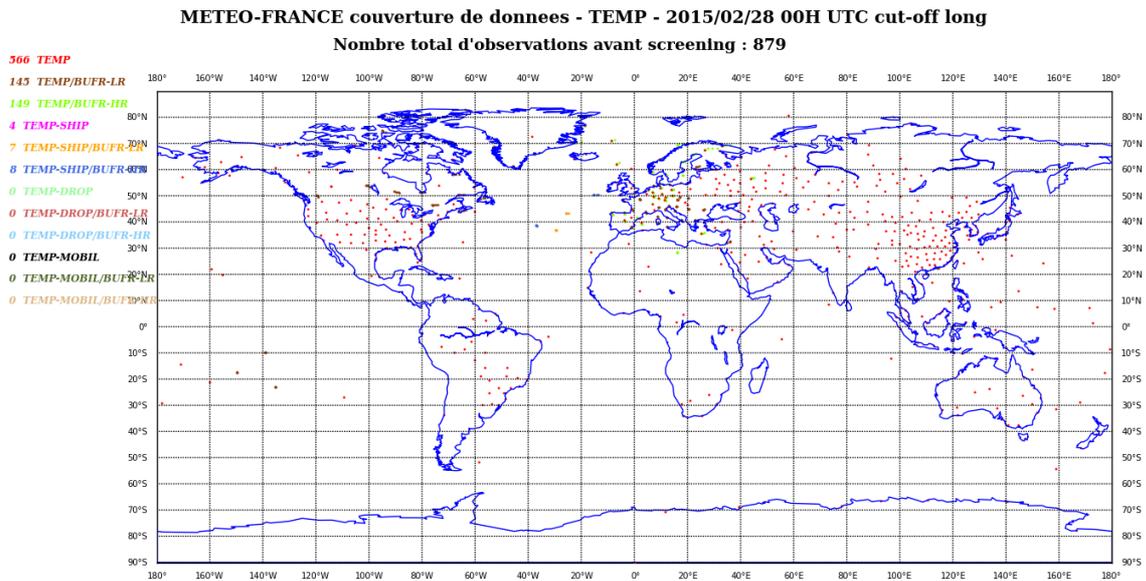


Fig 15 : Exemple de couverture en radiosondages pour l'analyse à cut-off long du 28/02/15  
*r0* (source Compas)

- les analyses de production (avec courte attente des données) ont maintenant les mêmes caractéristiques que les analyses du cycle d'assimilation. Ceci a consisté à leur ajouter l'utilisation des covariances d'erreur de prévision issues de AEARP (base ondelettes), l'augmentation d'un facteur 2 de la densité des observations CrIS et IASI, l'utilisation de l'algorithme « co2slicing » pour la détection nuageuse, l'assimilation des radiances AIRS, IASI (Metop-A d'Eumetsat, Metop-B de Lannion), TOVS-Lannion, CrIS Lannion, TOVS-RARS de Metop-B, radiances ciel clair GOES 13 et 15)
- inclusion des données ATMS Lannion rendue possible par une refonte de l'algorithme de moyennage horizontal des radiances.
- contrôle des observations « vecteurs vents » (Atmospheric Motion Vectors, AMV) obtenues à partir des satellites Metop-A et Metop-B. Ces données sont extraites de l'observation satellitaire du déplacement du sommet d'un nuage entre deux instants (deux images).
- préparation de l'assimilation des « vecteurs vents » des futurs satellites géostationnaires Himawari 8/9 et MSG4

La paramétrisation du rayonnement solaire et thermique est appelée avec une fréquence horaire, et non plus tri-horaire, de manière à mieux représenter les interactions avec les nuages, ainsi que

certaines transitions comme le lever et le coucher du soleil. La variabilité de la durée du jour en fonction de l'altitude est modélisée de manière simplifiée. Ceci corrige des biais importants et anciens d'ARPEGE dans la stratosphère.

Le filtrage des champs appliqué pour éliminer le bruit dû aux différentes interpolations, tout en préservant l'information météorologique pertinente, a été ajusté à la nouvelle résolution spatiale pour les champs dits « dérivés » (tourbillon, divergence, vitesse verticale, température potentielle, etc.)

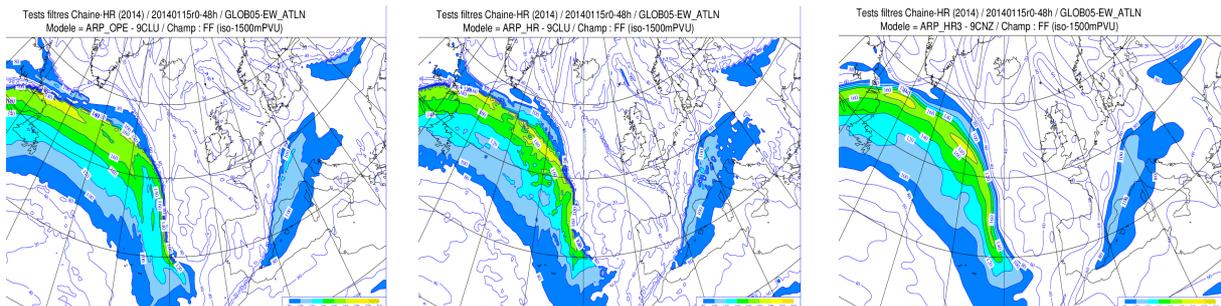


Fig 16 : Force du vent à 1.5 PVU : L70 (gauche), L105 (milieu), L105 nouveau (droite)

Une nouvelle version de l'algorithme de calcul des champs sur niveaux iso-PV (itération sur 8 niveaux verticaux) a été mise au point pour une meilleure prise en compte des zones de repliements de la tropopause ainsi que pour la suppression des bulles de forts PV et Theta, et des cas de fausses alertes du fait d'un abaissement non justifié de la tropopause. Cet algorithme a été introduit dans le code source utilisé et pourra être activé ultérieurement par namelist.

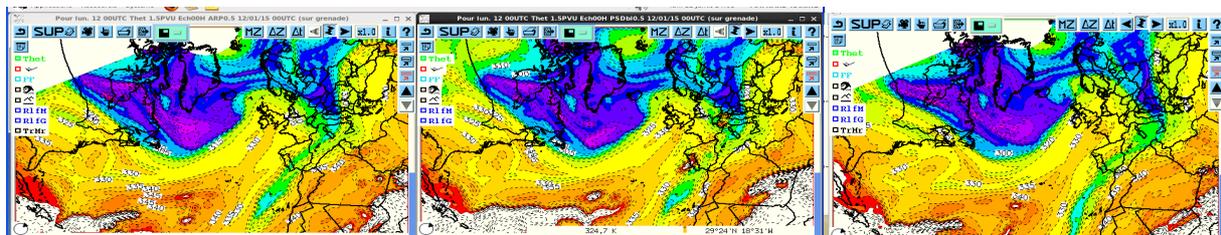


Fig 17 : Theta 1.5 PVU pour 12/01/15 r0 : L70 (gauche), L105 (milieu), L105 8 itér. (droite)

Les domaines de post-traitement existants (EURAT01, EURO25, GLOB05, GLOB15, GLOB25) restent inchangés ; une évolution sera réalisée lors de la chaîne en double suivante pour élargir la région où les données sont sorties à résolution de 0.1° (soit environ 10 km).

Le run de production de 12h TU est prolongé de 84h à 114h.

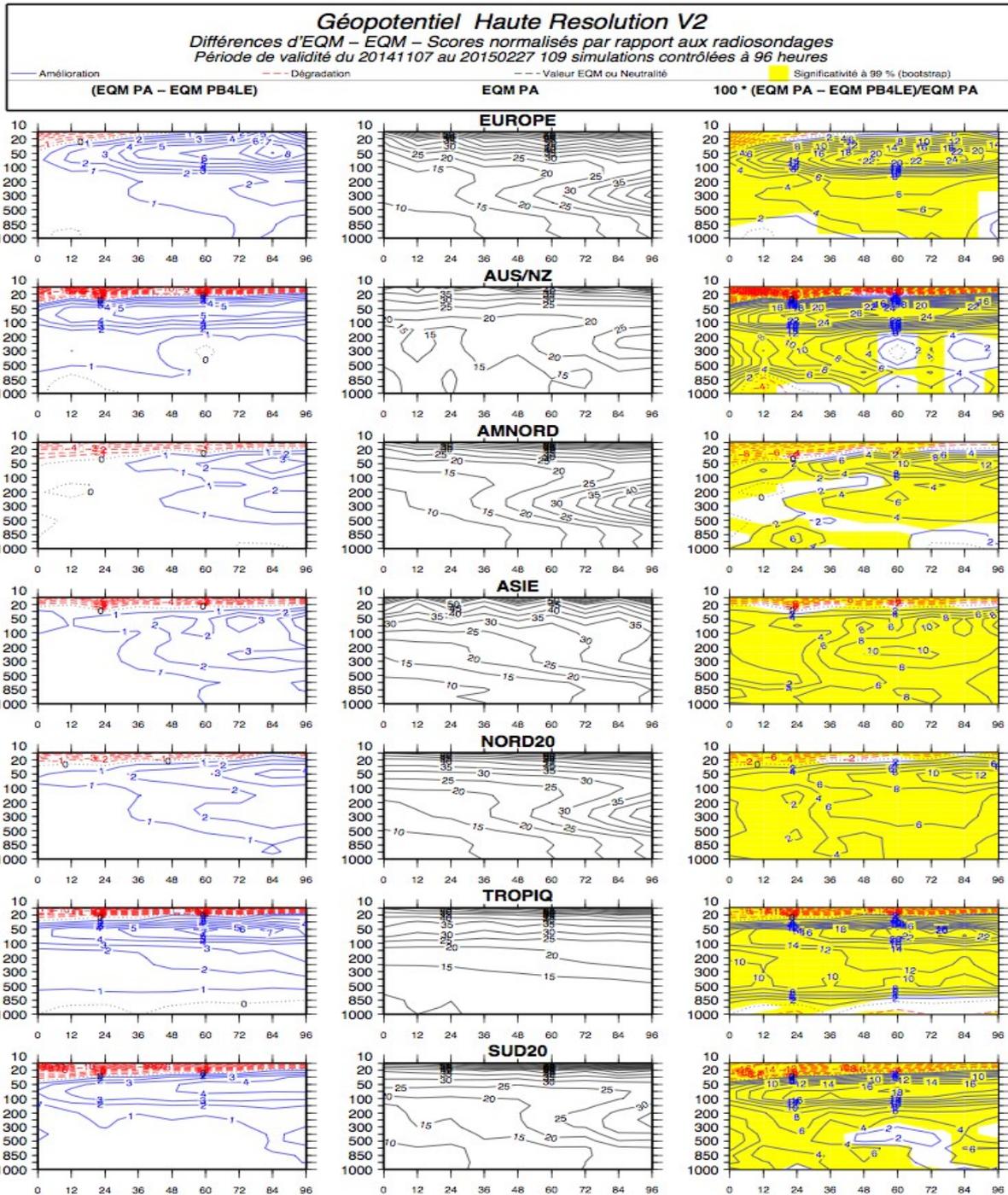
La production de données ARPEGE vers la BDAP est élargie avec l'ajout de :

- 8 niveaux « pression » : 750, 650, 550, 450, 350, 275, 225, 175 hPa
- 15 niveaux « hauteur » avec extension verticale jusqu'à 3000m : 35, 75, 150, 200, 375, 625, 875, 1125, 1375, 1750, 2000, 2250, 2500, 2750, 3000m
- 4 nouveaux diagnostics : IsoT<sup>w</sup>+1°C ; isoT=-20°C ; isoT=-12°C ; EDR (Eddy

Diffusion Rate) sur deux niveaux pression (250 et 950 hPa)

L'augmentation du nombre de niveaux concerne les grilles EURAT01 et GLOB05 et GLOB15.

L'ensemble des modifications d'ARPEGE a été évalué dans l'environnement OLIVE (xp B4LE) et dans l'environnement DSI (chaîne en double). Les scores objectifs indiquent une amélioration significative à grande échelle. Les scores aux SYNOP sont généralement améliorés sur tous les domaines pour la température et l'humidité relative à 2m, et légèrement dégradés pour le module du vent à 10m (surestimation). L'intensité des rafales à 10m est légèrement augmentée, ce qui semble une amélioration sur les cas de Tramontane et sur les crêtes. Les scores probabilistes sur les précipitations cumulées en 6h sont globalement neutres sur la France.



*Fig 18 : Scores normalisés du géopotentiel par rapport aux radiosondages*

