

AROME

La résolution horizontale est quasiment doublée, passant de 2.5 à 1.3 km. Le domaine de calcul est légèrement étendu vers le nord (+10% environ) pour couvrir le domaine aéronautique « FABEC ». La grille horizontale passe ainsi de 750x720 à 1536x1440 points. Une nouvelle base de données orographiques à résolution plus fine est utilisée (GMTED2010 à 250 m de résolution au lieu de GTOP030 à 1 km de résolution). La plus forte pente montagneuse représentée passe de 23° à 38°. Le point de grille le plus proche du Mont Blanc a une altitude de 4272m contre 3870m précédemment. La largeur de la zone de couplage reste inchangée (doublement du nombre de point de grille utilisés pour compenser l'augmentation de résolution horizontale, soit un passage de 8 à 16 points).

Le pas de temps du modèle diminue seulement de 60 à 50s, ce qui est absolument remarquable compte tenu de la nouvelle résolution spatiale. Ceci est rendu possible par l'utilisation d'un schéma d'intégration temporelle de type prédicteur-correcteur à une itération.

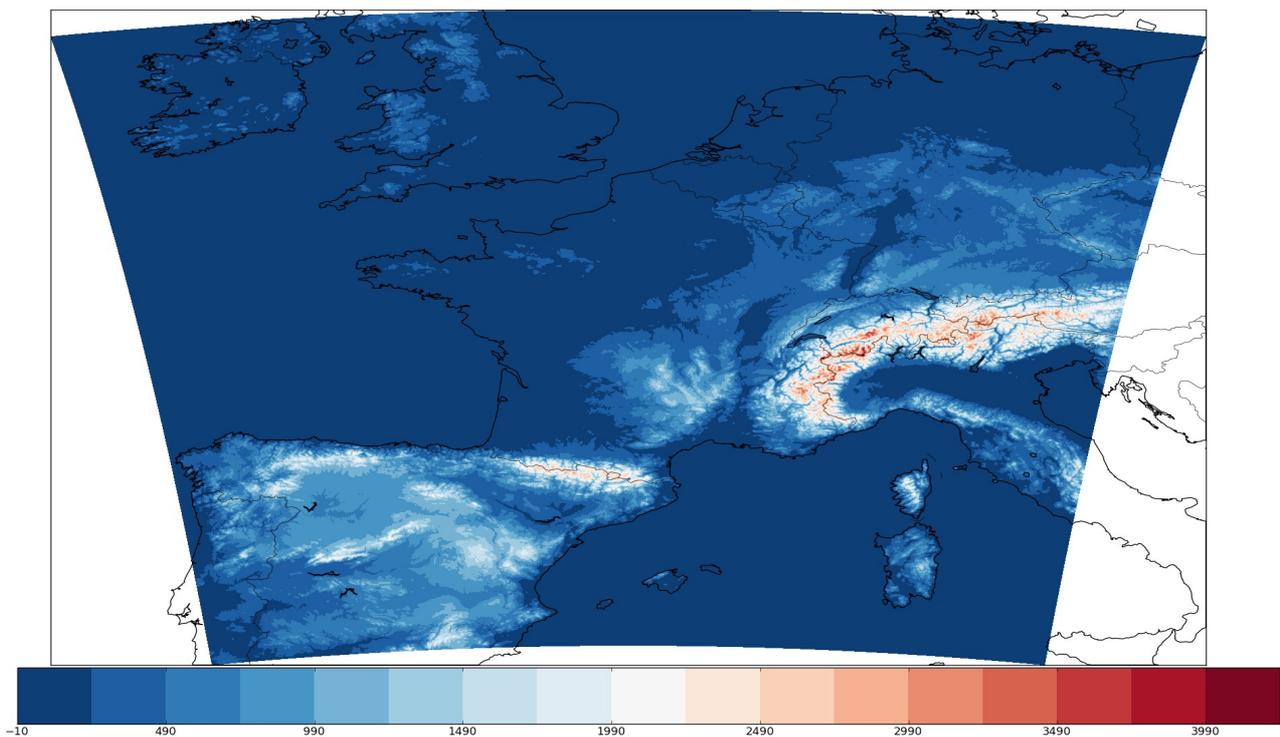


Fig 20 : Domaine de calcul d'AROME-France 1,3 km

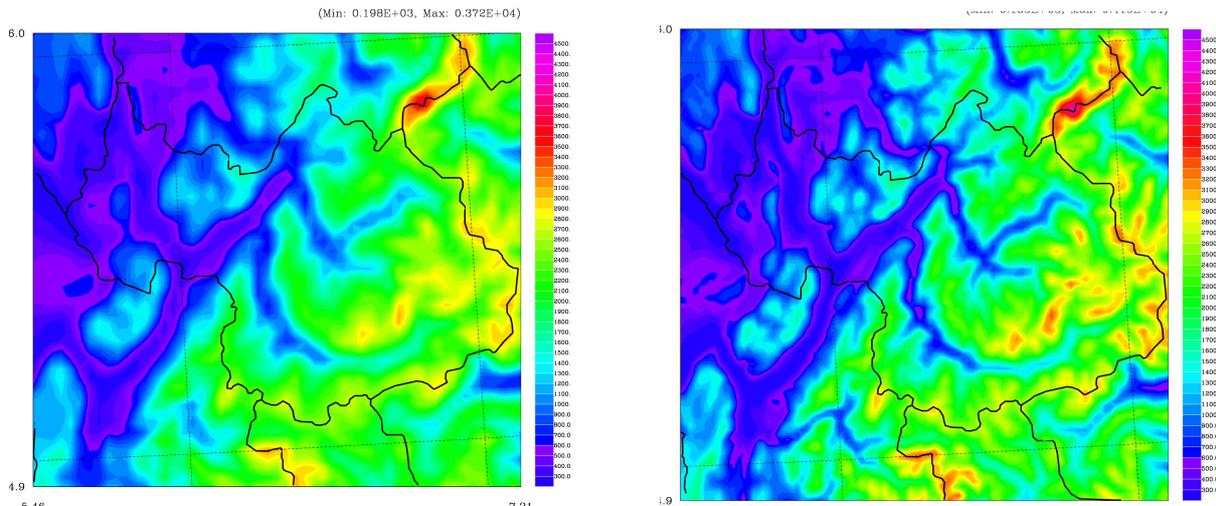


Fig 21 : Relief du modèle AROME-France à 2,5km (à gauche) et 1,3km (à droite) sur la Savoie

La résolution verticale du modèle AROME est améliorée avec la mise en œuvre d'un découpage vertical de l'atmosphère utilisant 90 couches, au lieu de 60 (figure 1). Cette résolution est plus fine que celle des modèles ARPEGE et IFS en dessous de 10 km d'altitude. La résolution verticale dans la couche limite atmosphérique est nettement améliorée avec la présence de 33 niveaux en dessous de 2000m (au lieu de 21), soit une résolution moyenne de 60 m environ. Le niveau le plus bas est abaissé à 5 m (au lieu de 10 m) pour améliorer la prévision des brouillards radiatifs. Cela a également permis de simplifier l'interface entre le modèle de surface SURFEX et l'atmosphère en s'affranchissant de l'utilisation du module de couche limite de surface (CANOPY) utilisé précédemment. Le toit du modèle est abaissé de 1 à 10 hPa (~32km d'altitude) de manière à éviter d'avoir à représenter la stratopause, son jet et les instabilités qui peuvent en découler, et l'ajout de plusieurs dizaines de niveaux verticaux supplémentaires pour représenter l'atmosphère comprise entre 1 et 10 hPa, d'une épaisseur voisine de 18km.

L'augmentation de la résolution horizontale permet une simulation plus réaliste des structures nuageuses convectives. Le nombre de cellules convectives de petites tailles augmente et celui des cellules les plus grandes diminue en passant d'une résolution de 2,5 km à 1,3 km.

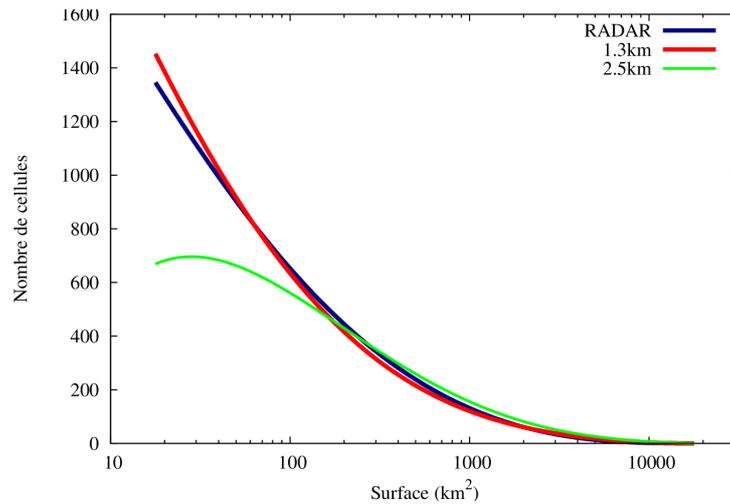


Figure 22 : Distributions du nombre de cellules convectives observées par radar (bleu) et simulées par Arome 2,5 km (vert) et 1,3km (rouge) en fonction de leur superficie pour la journée du 21 juin 2012

Une résolution spatiale plus fine permet également de représenter des phénomènes de plus petites échelles comme des ondes orographiques (figure 23).

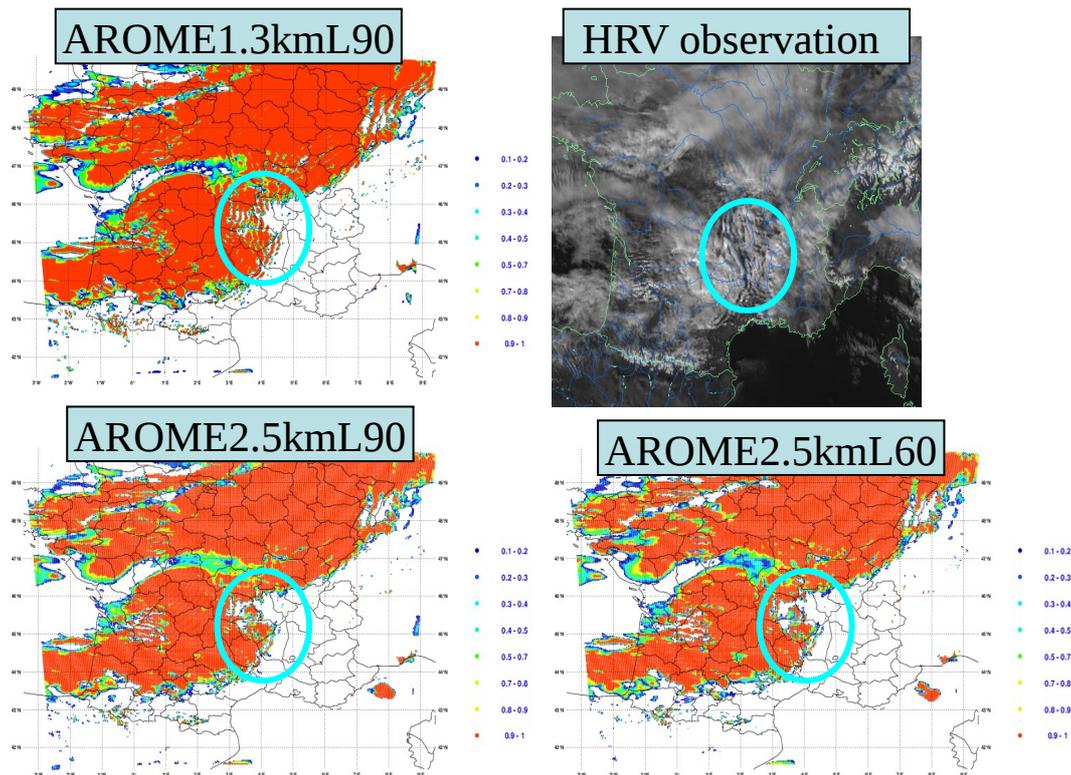


Figure 23 : Comparaison de la couverture nuageuse observée (Meteosat) et simulée dans les basses couches à 14h d'échéance le 31 janvier 2013 pour plusieurs résolutions spatiales du modèle Arome

Des évolutions importantes sont réalisées dans la dynamique du modèle, et permettent d'en réduire

le coût de façon très significative :

- un schéma d'intégration temporelle de type prédicteur-correcteur à une itération est utilisé de manière à améliorer la précision et la stabilité numérique. Une version économique de ce schéma est activée.
- la diffusion numérique spectrale a été modifiée de manière à diffuser les variables non-hydrostatiques.
- la diffusion numérique en points de grille basée sur les interpolateurs du semi-lagrangien (« SLHD ») a été ajustée pour les hydrométéores.
- la relaxation spectrale vers le modèle coupleur ARPEGE au sommet du modèle a été réglée pour tenir compte de la nouvelle grille verticale.
- une modification des poids des interpolateurs horizontaux du schéma de transport semi-lagrangien, en fonction de la déformation du flux, schéma nommé « COMAD » (COntinuous Mapping about Departure points), est introduite afin d'améliorer les propriétés de conservation du schéma d'advection. Cette modification permet de corriger significativement un défaut du modèle AROME consistant à surestimer les précipitations de certaines cellules convectives et à produire des vents divergents non réalistes sous ces cellules (structures dites en « feux d'artifices »).

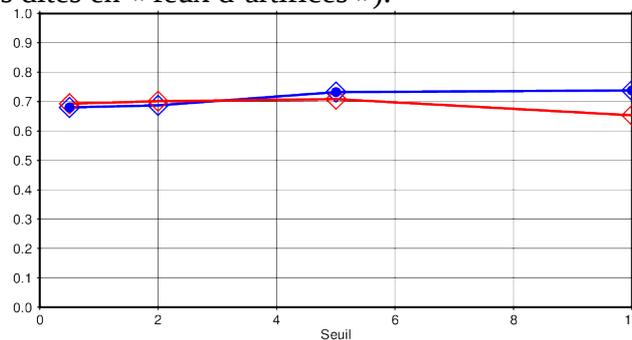


Fig 24 : Score probabiliste de Brier pour les précipitations cumulées en 6h à échéance 30h pour AROME 1,3km sans (en rouge) et avec COMAD (en bleu) pour le mois de juillet 2013.

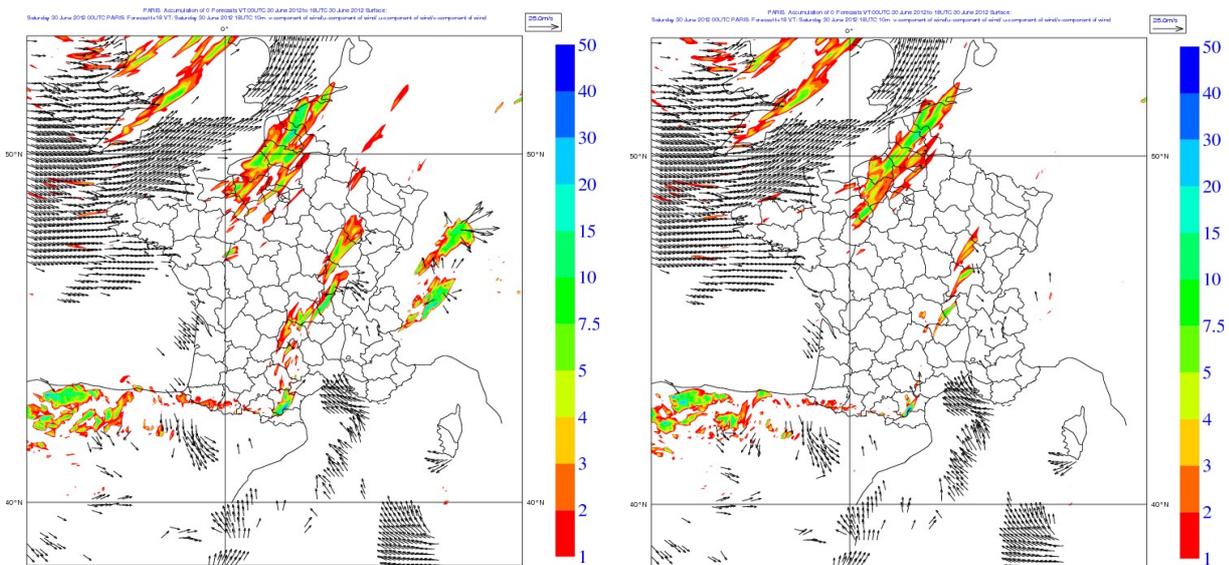


Figure 25 : Précipitations cumulées en 3h (mm) et vent à 10m (m/s) prévus pour le 30 juin 2012 à 18h TU par Arome 2,5km sans (à gauche) et avec (à droite) le schéma COMAD. L'activation de ce schéma corrige la surestimation de l'intensité des cellules convectives et des subsidences associées du modèle Arome opérationnel.

Les modifications de paramétrisations physiques sont les suivantes :

- le seuil d'autoconversion des cristaux de glace primaire en neige est sensiblement augmenté (passage de 2.10^{-5} à 2.10^{-4} kg/kg). Cette modification permet d'améliorer la simulation des stratus par températures négatives, qui avaient tendance à se dissiper trop vite à cause de la production et de sédimentation de cristaux de neige.

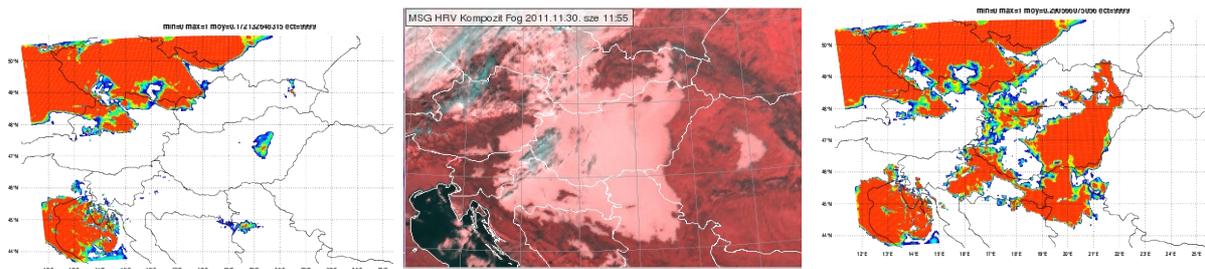


Fig 26 : Nébulosité basse observée par satellite (centre) et simulée avec AROME avec un seuil d'autoconversion de la neige standard (à gauche) et augmenté (à droite)

- la traînée de surface orographique est ajustée suite à l'abaissement du niveau le plus bas du modèle.
- le schéma de couche limite de surface CANOPY n'est plus utilisé compte tenu d'un niveau le plus bas situé à 5m.

L'assimilation de données d'AROME évolue de manière importante avec le passage à un cycle 3D-Var horaire. L'incorporation des observations dans le système AROME se fait toutes les heures et non plus toutes les 3 heures permettant ainsi de mieux tirer profit des observations à haute fréquence temporelle : radars, stations de surface, délai du signal GPS reçu au sol et d'autres. Celles-ci sont très informatives aux échelles horizontales (1-3 km) résolues par le système. Ainsi, les observations comprises dans la fenêtre temporelle $[H-30\text{min}, H+30\text{min}[$ sont combinées à une prévision à +1h issue de l'analyse précédente pour construire l'état du modèle analysé à l'heure H. Cette analyse sert à initialiser une prévision à +1h qui sera utilisée comme ébauche pour assimiler les observations suivantes à l'heure H+1h, créant ainsi de suite un cycle continu, horaire, d'assimilation des observations.

Dans un contexte opérationnel, les prévisions longues (jusqu'à +42h d'échéances) lancées toutes les 3h à partir de l'analyse H correspondante doivent attendre que les conditions latérales fournies par le modèle coupleur ARPEGE soient disponibles. Ces prévisions sont en mesure de tirer profit de l'information analysée aussi à H+1h. Pour cela, la prévision lancée avec l'analyse à l'heure H ajoute les informations de l'analyse de l'heure H+1h grâce à un algorithme spécial de mise à jour progressive (IAU en anglais) : l'incrément d'analyse de H+1h est ajouté par fraction au cours de l'intégration du modèle pendant la période $[H+30\text{min}, H+1\text{h}30[$.

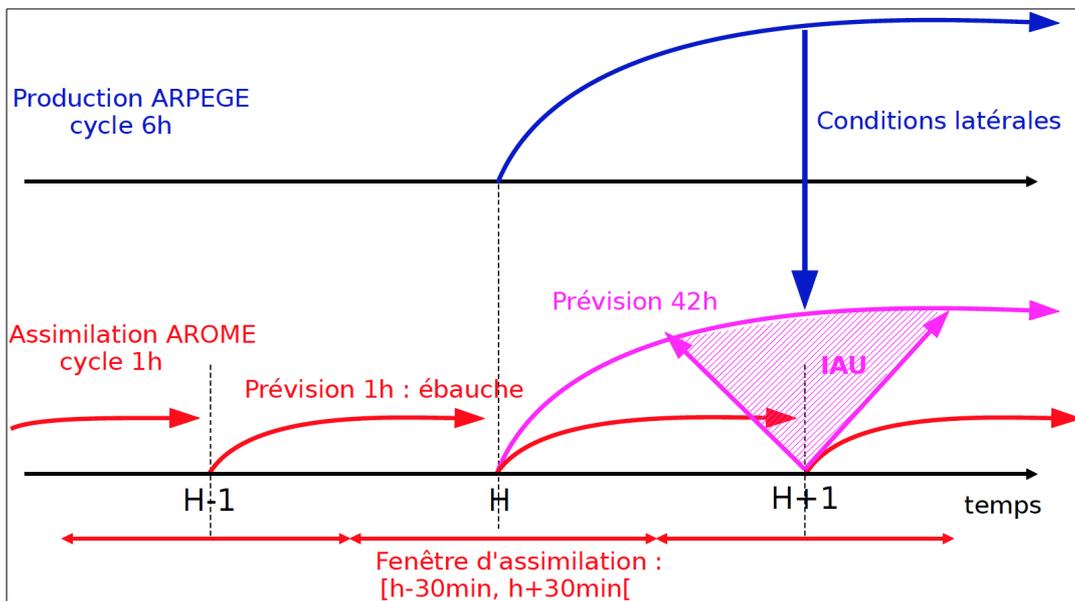


Fig 27 : Schéma du cycle d'assimilation horaire et d'un réseau de production AROME

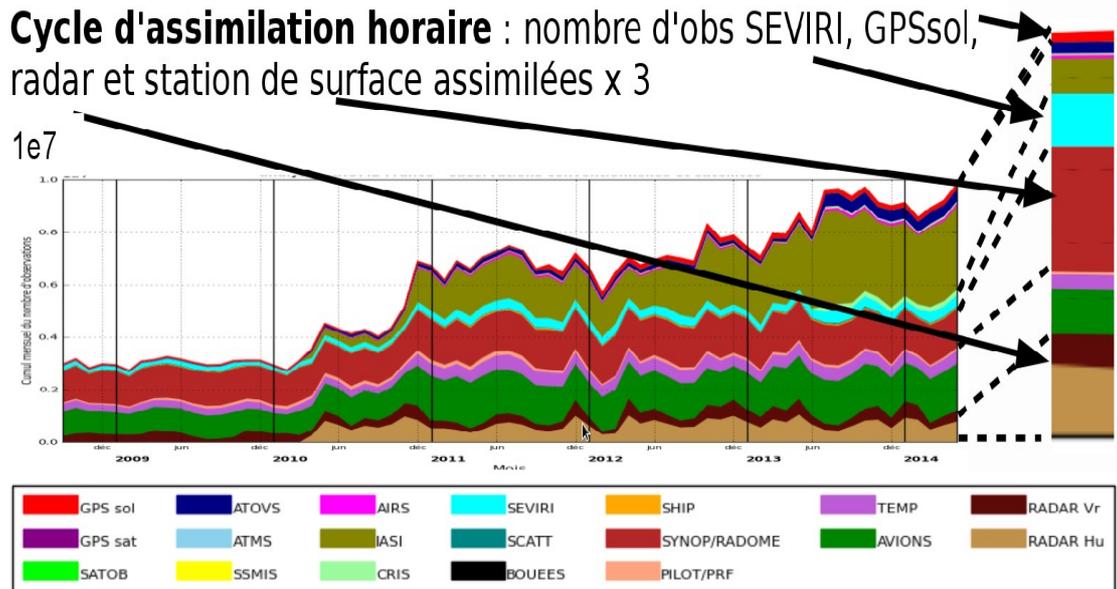


Fig 28 : Evolution du nombre d'observations assimilées dans AROME avec le cycle horaire

Les autres modifications relatives aux observations sont les suivantes :

- Adaptation à l'abaissement du niveau le plus haut du modèle du débiaisage variationnel. Les canaux de sondage des instruments AIRS, CrIS et IASI informatifs sur la moyenne et haute stratosphère ne sont plus assimilés compte tenu de cet abaissement et de la relaxation spectrale vers le modèle coupleur au sommet du modèle.
- Assimilation du canal 8 de l'instrument SEVIRI
- Un nouvel opérateur d'observation GPS terrestres, adapté à l'abaissement du toit du modèle, est utilisé avec une nouvelle liste blanche (et de nouveaux biais adaptés au nouveau relief modèle)
- Assimilation des radiosondages (basse et haute résolutions) au format BUFR.

Le filtrage des champs dérivés (isoPV, TA, DIV, ω , θ , etc.) a été ajusté à la nouvelle résolution spatiale :

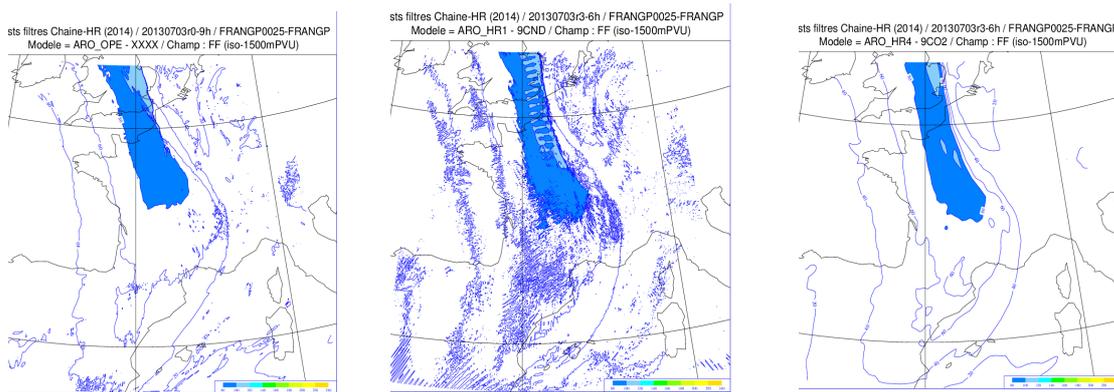


Fig 28 : Force du vent à 1.5PVU pour AROME L60 (à gauche), L90 (au milieu) et L90 avec nouveau filtrage (à droite)

Le domaine de post-traitement FRANGP0025 est conservé pour une grande partie de la production du modèle AROME 1.3km. La production est toutefois élargie avec l'ajout de :

- 8 niveaux « pression » : 750, 650, 550, 450, 350, 275, 225, 175 hPa
- 12 niveaux « hauteur » : 35, 75, 150, 200, 375, 625, 875, 1125, 1375, 1750, 2250, 2750m
- 6 nouveaux diagnostics : IsoT'w=+1°C ; isoT=-20°C ; isoT=-12°C ; EDR (Eddy Diffusion Rate) sur 2 niveaux pression (250 et 950 hPa) ; réflectivité maximale ; rayonnement solaire direct descendant en surface

Une erreur a été corrigée sur le post-traitement de la T2m qui est maintenant valable comme la Ts sur le relief BDAP et non plus le relief modèle interpolé sur la grille BDAP.

Un nouveau domaine « EURW1S100 » de post-traitement à résolution horizontale 0.01° (soit environ 1 km) couvrant tout le domaine de calcul est mis en place. Les développements nécessaires à la réalisation d'un post-traitement sur ce domaine ont été conséquents. La gestion de valeurs manquantes, sur les zones non couvertes par la grille modèle, a été source de nombreuses difficultés pour la parallélisation et le compactage. Cette grille, extrêmement volumineuse avec environ 5 millions de points de grille (2801 x 1791), est utilisée pour le post-traitement de 14 champs 2D (Ps, T2m, HU2m, rafales à 10m, 3 nébulosités (haute, moyenne, basse), précipitations en surface (pluie, neige, grapel), ISP 10.8, Cape, diagnostic de grêle, réflectivité maximale) et 3 champs 3D U,V, Hu sur les niveaux hauteurs 10, 20, 50, 100 m.

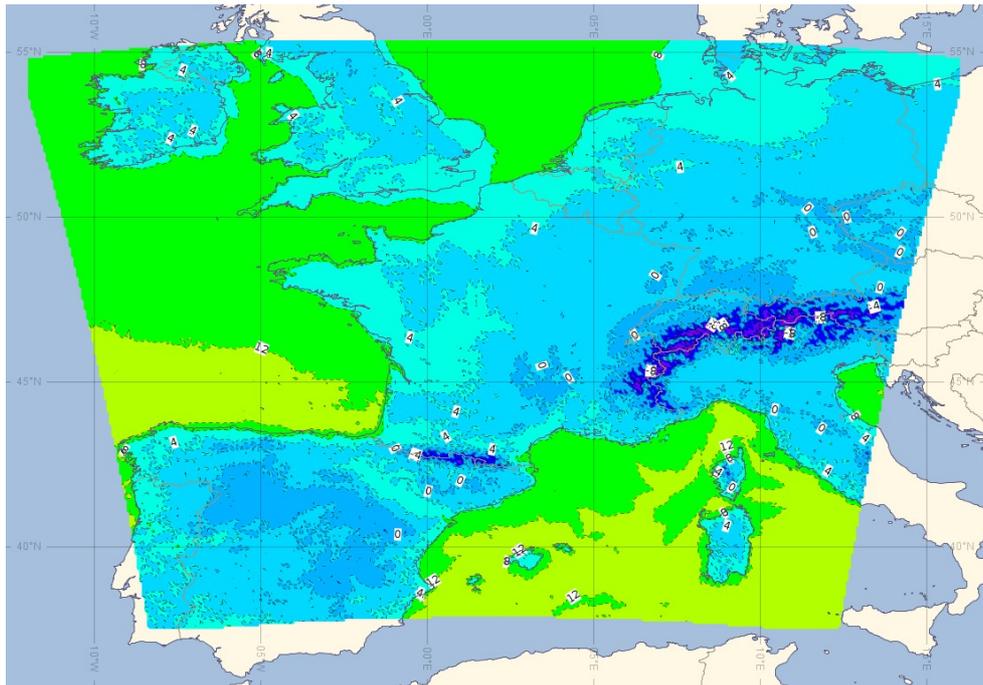


Fig 30 : Nouveau domaine BDAP EURW1S100 et grille modèle

Le volume des fichiers historiques Surfex est divisé par un facteur 10 grâce à l'utilisation d'un algorithme de compactage des champs et à la sélection d'un nombre limité de champs de surface (essentiellement les champs historiques). Cette évolution permet de produire et d'archiver les fichiers de surface à une fréquence horaire sur toute la durée de la prévision. C'est une source potentielle de nouvelles informations, et c'est important pour la future chaîne Arome-PI.

Les échéances maximales des prévisions de production AROME sont étendues : r0 (42h), r3 (39h), r6 (36h), r9 (7h), r12 (42h), r15 (7h), r18 (36h), r21 (7h).

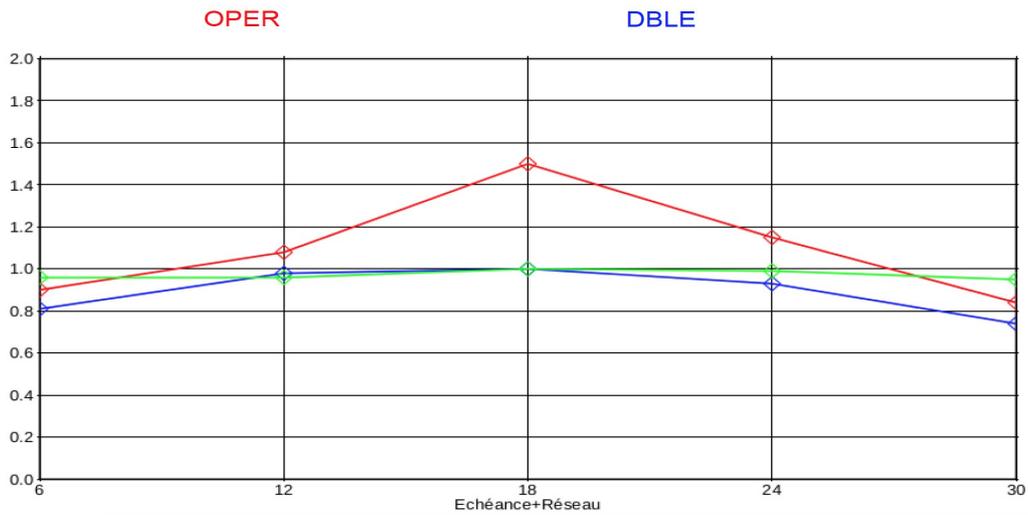


Fig 31 : Biais fréquentiel des précipitations cumulées pour le seuil 10mm/6h en fonction de l'échéance pour AROME 2.5km (OPER), AROME 1.3km (DBLE) et la persistance (en vert)

L'ensemble des modifications d'AROME a été évalué dans l'environnement OLIVE (à partir du 21/06/2014) et dans l'environnement DSI (à partir du 10/10/2014). Les scores aux SYNOP et RADOME sont légèrement améliorés pour la température à 2m et le module du vent à 10m. Les scores de précipitations sont améliorés en période estivale et notamment le biais fréquentiel pour le seuil 10mm/6h avec la correction de la surestimation des précipitations à 18h TU.

Le 04/11/2014 Cumul de précip 00-30h

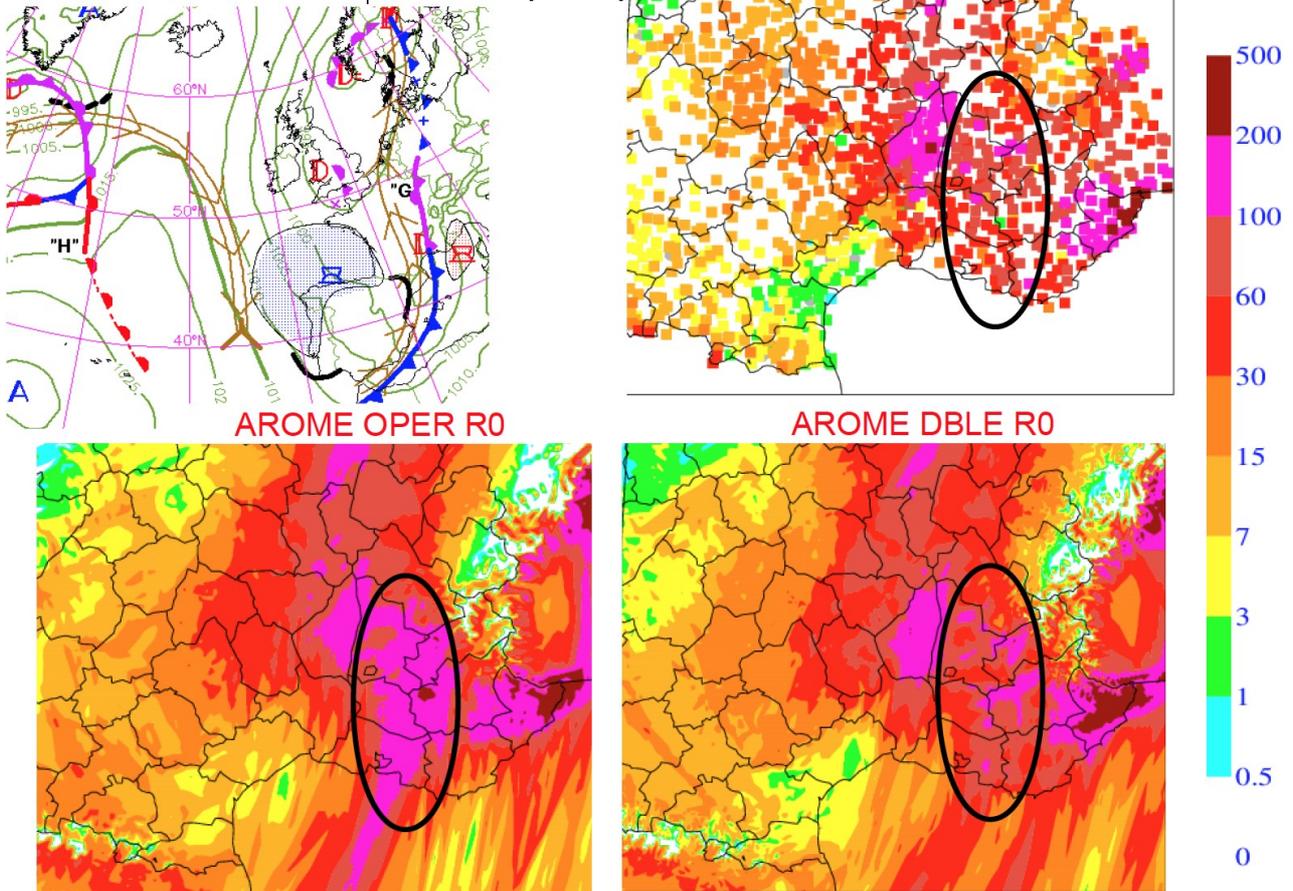


Fig 32 : Exemple de situation de fortes précipitations : AROME 2.5km (oper), AROME 1.3km (dble)

Depuis le début de l'expérimentation Arome 1,3 km, soit l'été 2014, de rares cas d'un phénomène de formation d'ondes courtes, profondes sur la verticale, se sont manifestés. Ce phénomène s'est révélé particulièrement marqué sur la situation du 31 mars 2015, affectant non seulement la pression (signature d'origine) mais aussi les autres champs dynamiques, et jusqu'aux rafales. On n'avait pas encore noté de signatures aussi fortes sur d'autres champs que les champs de masse (pression, géopotential) sur les quelques cas précédents. La prévision 1,3 km s'est révélée inutilisable dans cette zone. Ce phénomène a été étudié depuis son occurrence du 23/02/2015. On l'interprète comme une résonance numérique propre au non-hydrostatique, fonction de la résolution spatiale, du pas de temps et du vent moyen. Un correctif, testé sur plusieurs mois en mode prévision, a été mis en œuvre le 2 avril sur la chaîne en double Arome. Il est de même nature que celui qui évite la résonance orographique dans une avance temporelle lagrangienne à « deux pas de temps ». Avec le correctif proposé, les champs retrouvent une organisation plus réaliste. L'étude de la nature exacte de cette résonance numérique va se poursuivre et devrait donner un correctif de seconde génération, que l'on voudrait plus ciblé, plus fin.

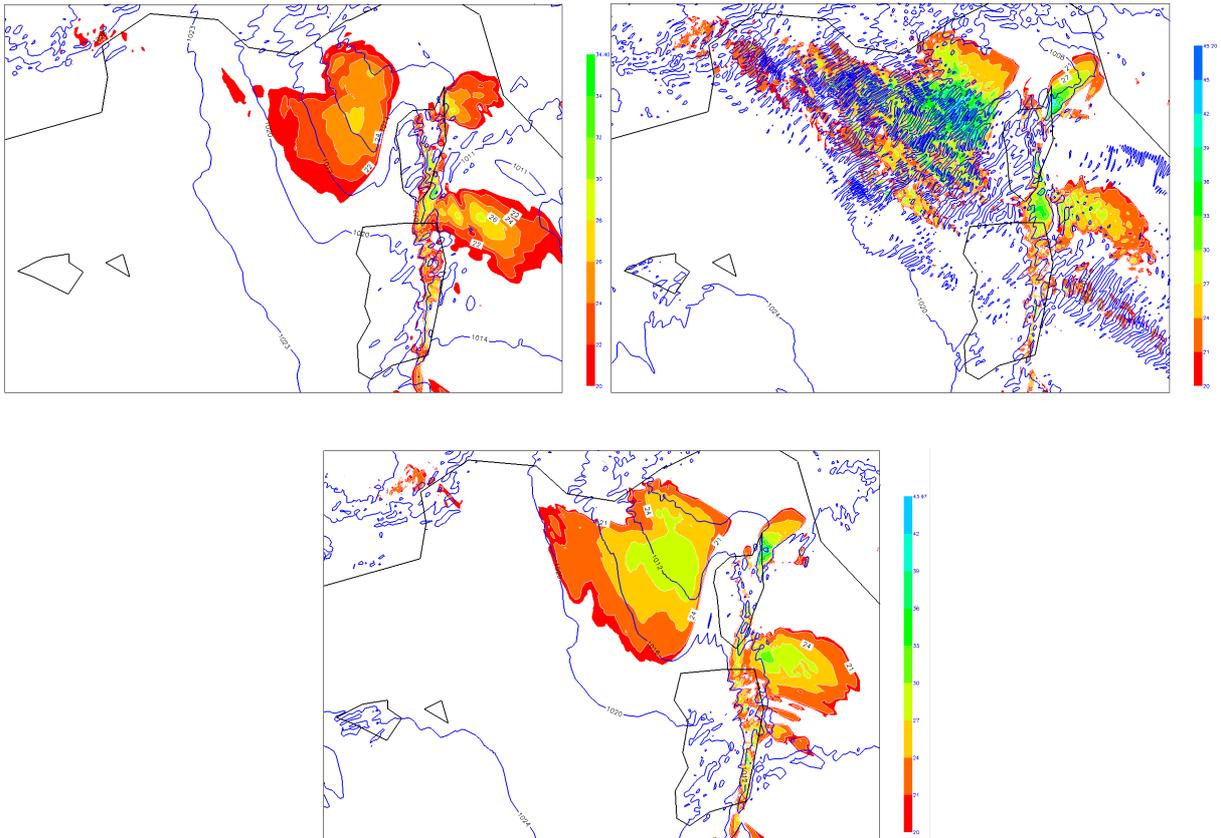


Fig 33 : Prévisions à 22h d'échéance issues du 31 mars 2015 r0 de la pression réduite au niveau de la mer et des rafales de vent à 10 m pour Arome oper (en haut à gauche), Arome double (en haut à droite) et Arome double avec correctif (en bas)