An aerial photograph of a town, likely in the Alps, is shown from a high angle. The town is surrounded by green hills and is partially obscured by a thick layer of white clouds. Overlaid on the bottom left of the image is a weather map showing contour lines and wind vectors. The contour lines are labeled with values such as 1010, 1015, 1020, 1025, 1030, 1035, 1040, and 1045. Wind vectors are represented by arrows of varying lengths and directions, indicating wind speed and direction. The background of the entire slide is a dark blue gradient with a stylized sun in the top left corner.

Modélisation ondelette
des corrélations d'erreur via
l'assimilation d'ensemble 4D-Var

*L. Berre, G. Desroziers, H. Varella
Météo-France (CNRM/GAME)*

PLAN

- Assimilation d'ensemble
- Filtrage ondelette des corrélations
- Dynamique des corrélations
- Augmentation de la taille de l'ensemble

Cyclage des erreurs

- Equations de l'analyse et des erreurs d'analyse :

$$x_a = (I-KH) x_b + K y_o$$

$$e_a = (I-KH) e_b + K e_o$$

- Equations de la prévision et des erreurs de prévision :

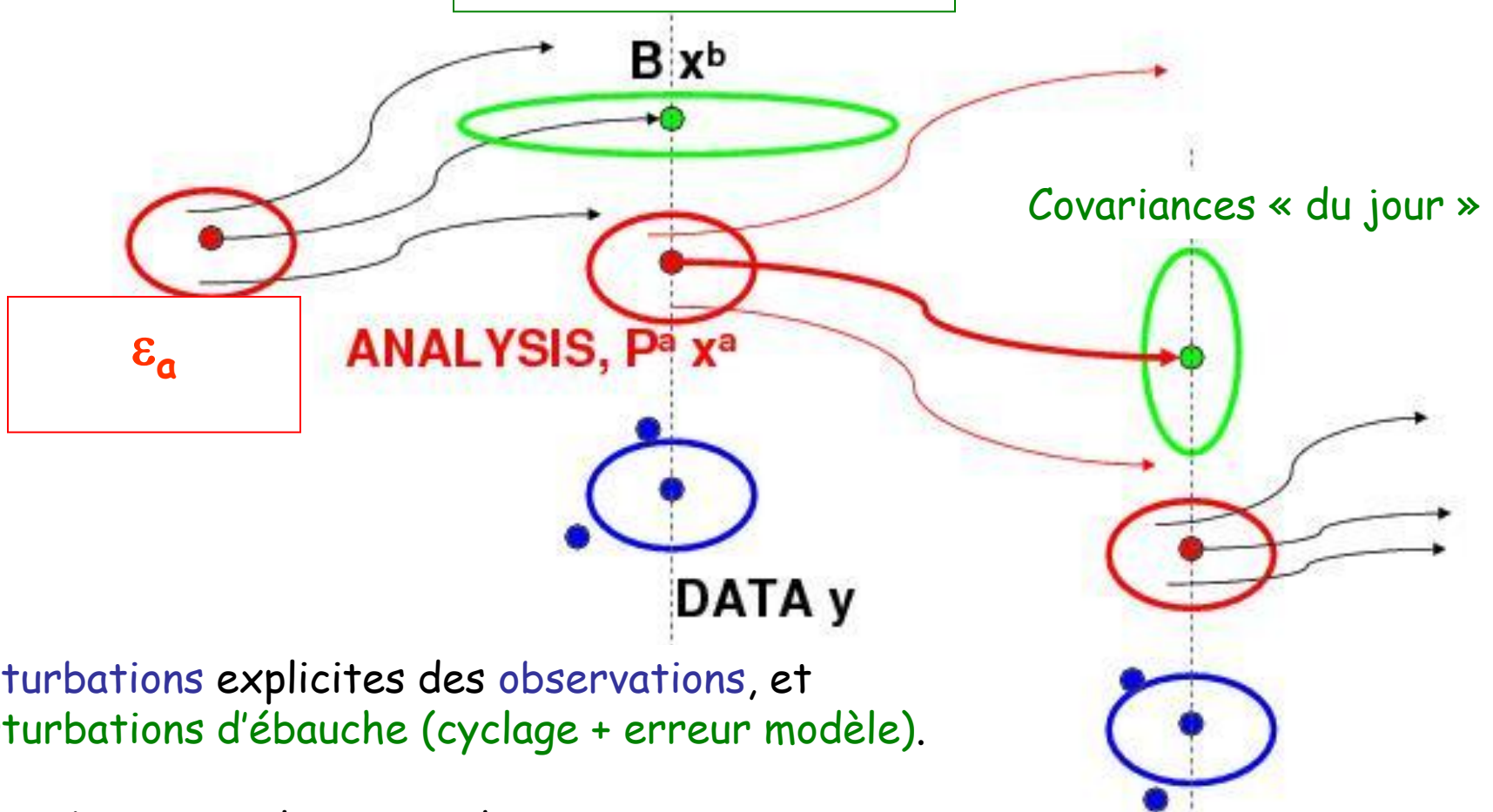
$$x_f = M x_a$$

$$e_f = M e_a + e_m$$

⇒ Assimilation d'ensemble : simulation des erreurs, via perturbations (cyclées) d'observation e_o et de modèle e_m .

Assimilation d'ensemble : simulation du cyclage des erreurs

$$\varepsilon_f = M \varepsilon_a + \varepsilon_m$$



Perturbations explicites des observations, et perturbations d'ébauche (cyclage + erreur modèle).

(Houtekamer et al 1996; Fisher 2003 ; Ehrendorfer 2006 ; Berre et al 2006)

Assimilation d'ensemble à MF (oper global)

- Oper : 6 membres, T399 (50 km) L70, 4D-Var Arpege (minim T107).
⇒ 2015 : 25 membres, T479 (40 km) L105, 4D-Var Arpege (minim T149).
- Perturbations des analyses 4D-Var :
perturbs. des obs (tirées de R) et
perturbs de l'ébauche (cyclage perturbs analyse et perturbs modèle).
- Inflation (cyclée) des perturbations de prévision (erreur modèle),
basée sur diagnostics a posteriori.
- Filtrage spatial des variances d'erreur « du jour »,
pour la minim. et le contrôle de qualité des obs.
- Depuis juillet 2013 (oper) :
corrélations « dynamiques » 3D en ondelette
via l'assimilation d'ensemble et une moyenne temporelle sur 4 jours.

Modélisation et filtrage des covariances spatiales issues de l'ensemble

Décomposition de la matrice de covariance :

$$\mathbf{B} = \mathbf{L} \Sigma \mathbf{C} \Sigma^T \mathbf{L}^T$$

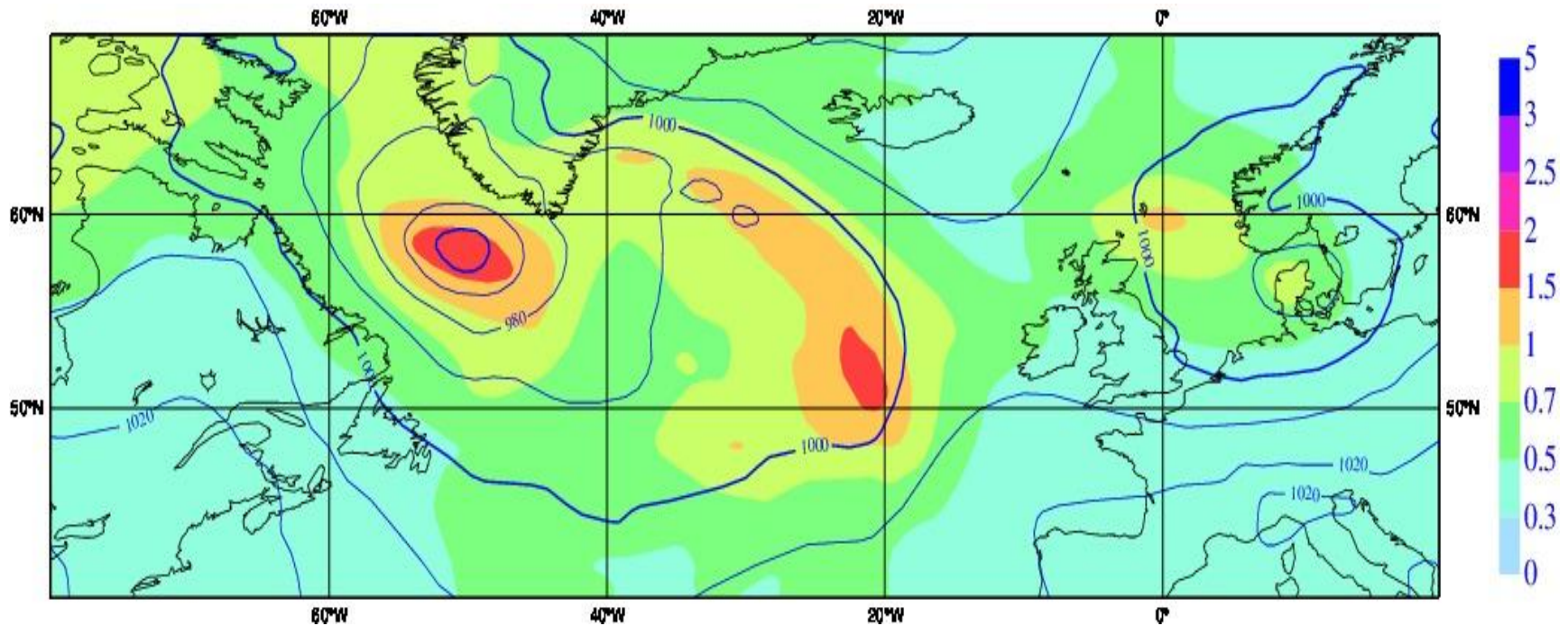
avec :

\mathbf{L} ~ covariances croisées masse/vent,
incluant dépendance au flux (balance nl (Fisher 2003)).

Σ écarts types du jour,
filtrés spatialement (Berre et Desroziers 2010).

\mathbf{C} matrice des corrélations spatiales 3D,
filtrables de différentes façons.

Dynamique des variances d'erreur via l'assimilation d'ensemble



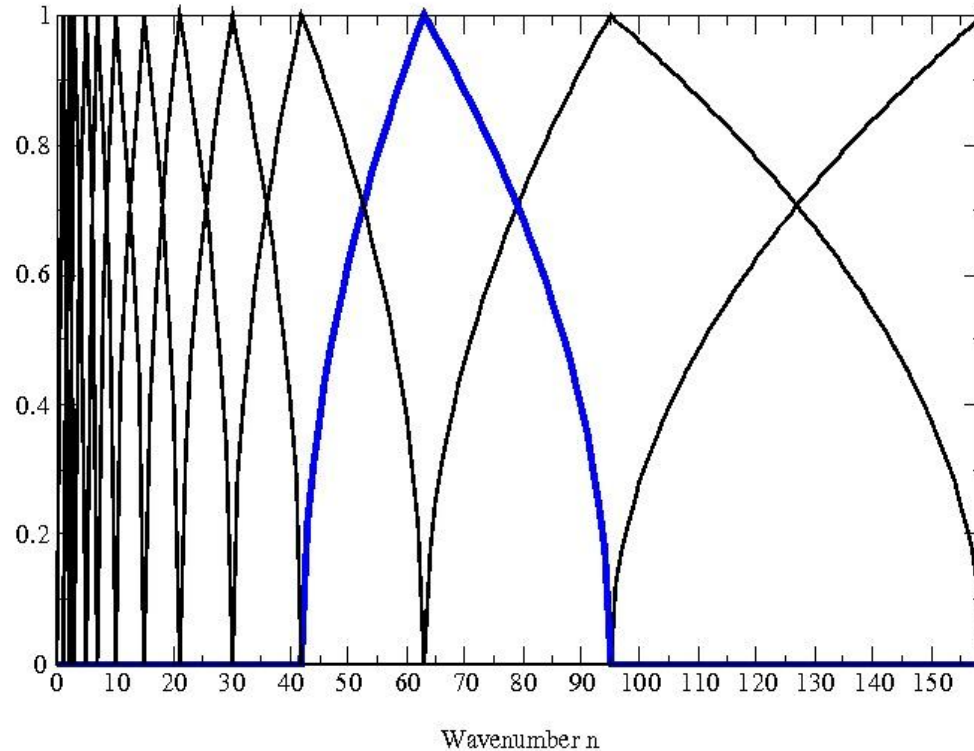
Ecarts types des erreurs du tourbillon vers 500 hPa (2/2/2010),
filtrés spatialement (superposées au géopotentiel).

(Berre et al 2007, Raynaud et al 2012)

Modélisation et filtrage des corrélations spatiales

- **Modélisation spectrale :**
corrélations homogènes, mais robustes
(moyenne spatiale globale).
- **Ensemble brut :**
corrélations très hétérogènes, mais bruitées.
- **Modélisation ondelette :**
corrélations hétérogènes, et robustes
(moyennes spatiales locales).

Développement en ondelette de l'erreur e_b via **bandes spectrales** ψ_j (Fisher 2003)



$$e_b(j,x,y) = \mathbf{S} \psi_j \otimes e_b(m,n) = \mathbf{S} e_b(j,m,n)$$

Décomposition spectrale locale
(pour différentes régions géog. x,y)

\Rightarrow information sur **structure spatiale locale** de e_b

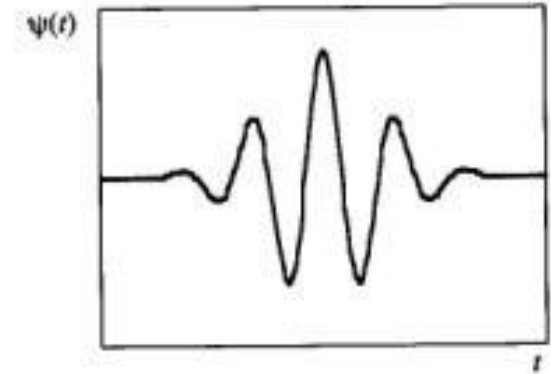
Corrélations hétérogènes via les ondelettes

- Développement en ondelette de l'erreur d'ébauche e_b :

$$e_b(x,y) = \sum_j \Psi_j \otimes e_b(j,x,y)$$

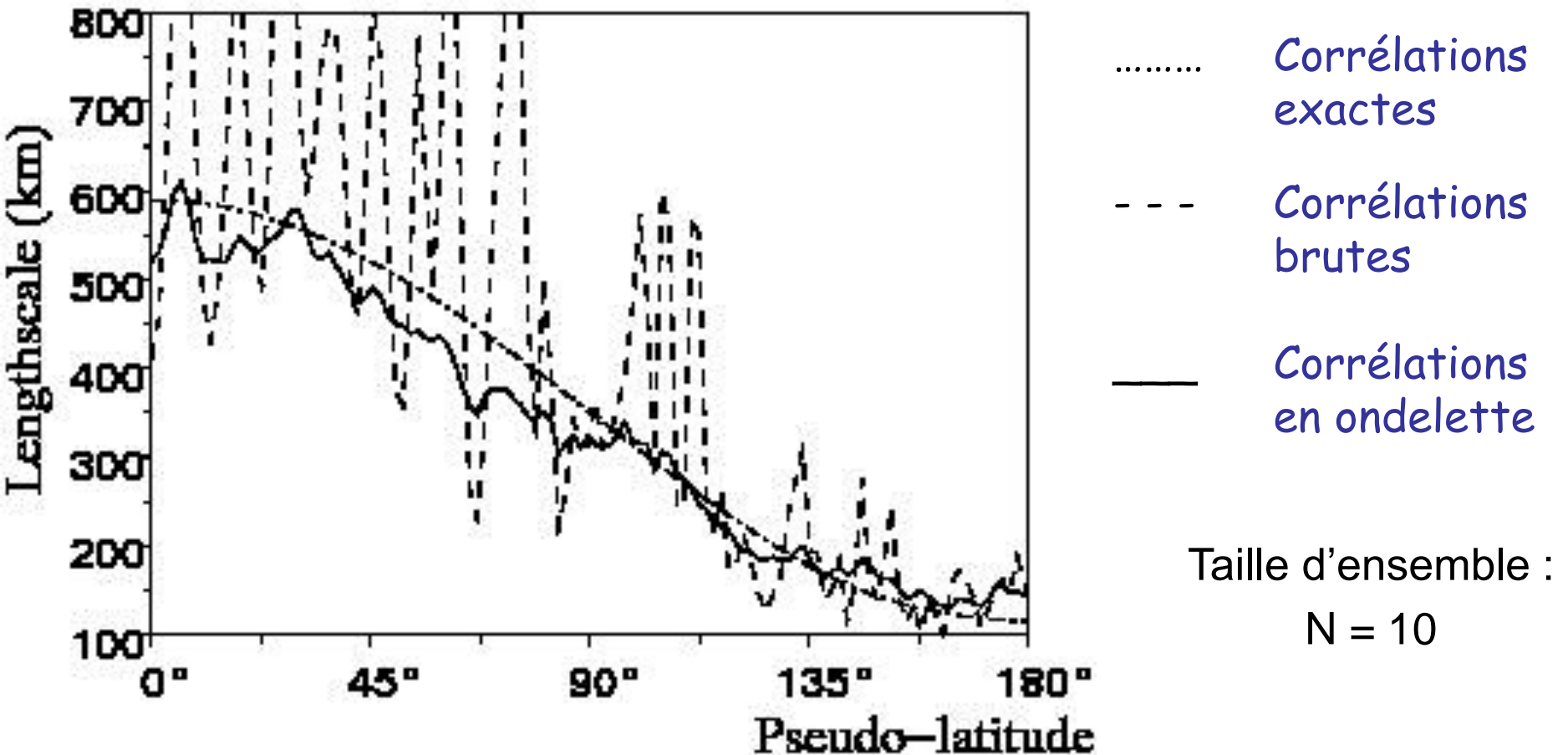
- Développement en ondelette des corrélations d'erreur (avec une hypothèse (bloc-)diagonale) :

$$C(x,y) = \sum_j \Psi_j^2 \otimes C_j(x,y)$$



- ⇒ Dépendance des corrélations 3D en échelle (j) et en position (x,y).
- ⇒ L'opérateur Ψ_j est relié aux moyennes locales implicitement utilisées.

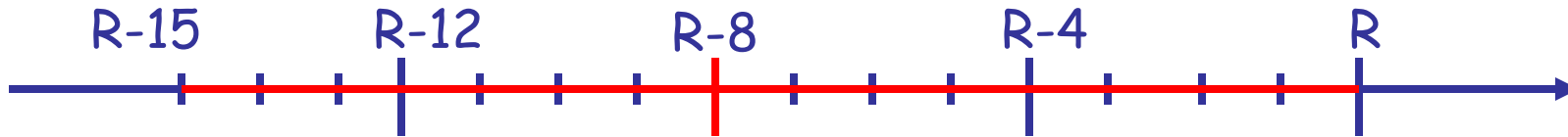
Filtrage ondelette des corrélations (illustration en 1D)



Variations spatiales des portées de corrélation

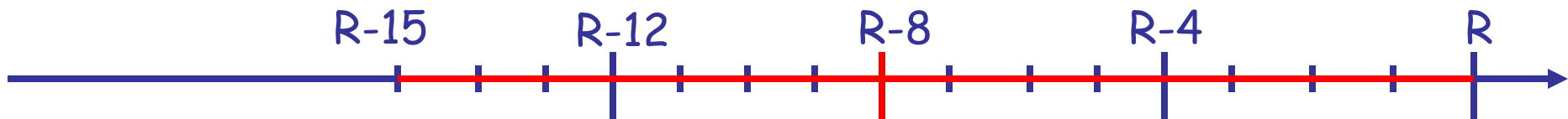
Moyenne glissante des corrélations sur 16 réseaux (4 jours) x 6 membres

Jour J, réseau R

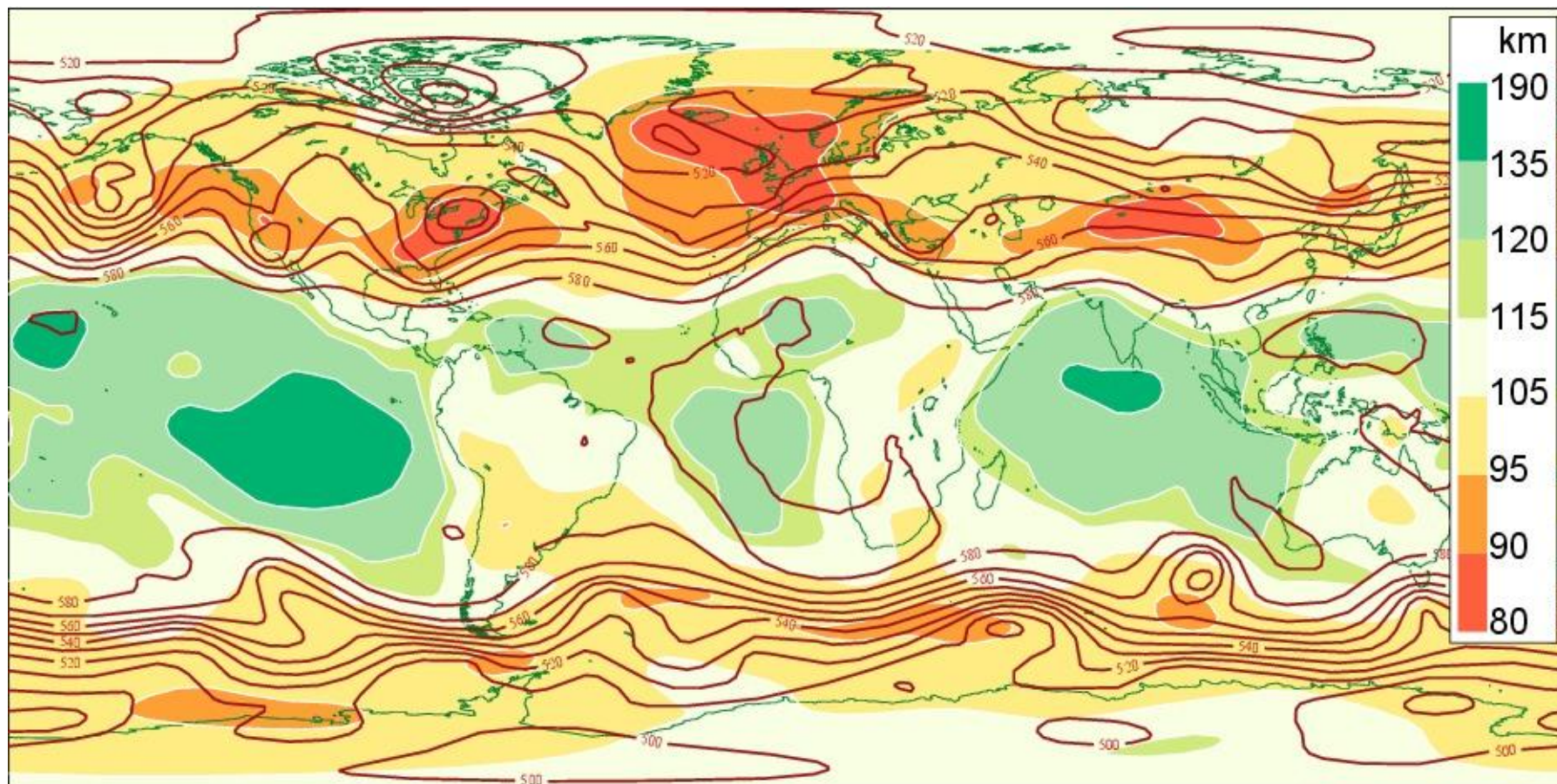


6 membres x 4 jours x 4 réseaux = 96 prévisions perturbées

Jour J+1, réseau R



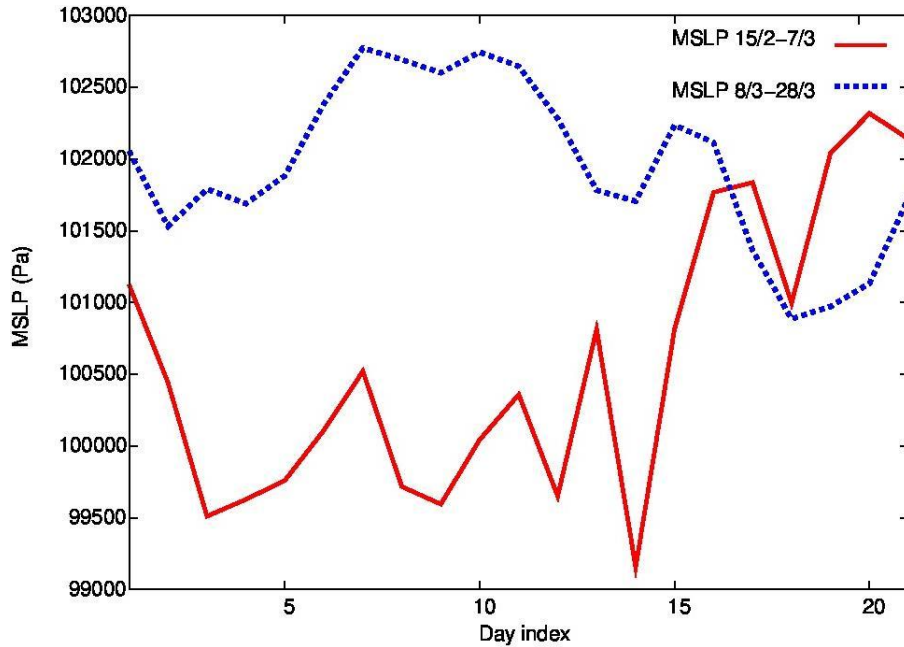
Portées des corrélations horizontales basées sur AEARP et les ondelettes (28/2/2010)



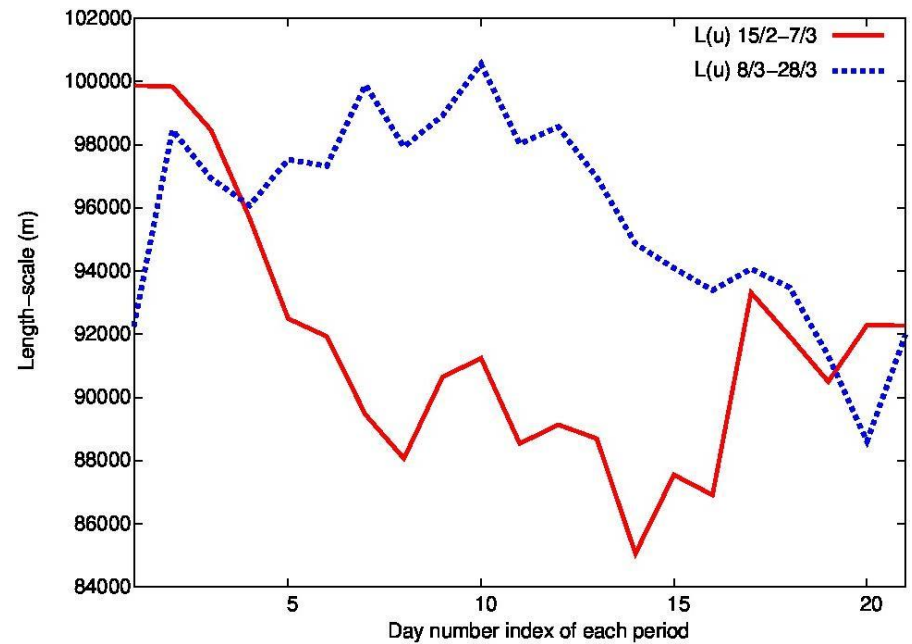
Portées horizontales (en km) du vent vers 500 hPa,
moyennées sur 4 jours, superposées au géopotentiel.

(Varella et al 2011)

Dynamique temporelle des corrélations locales

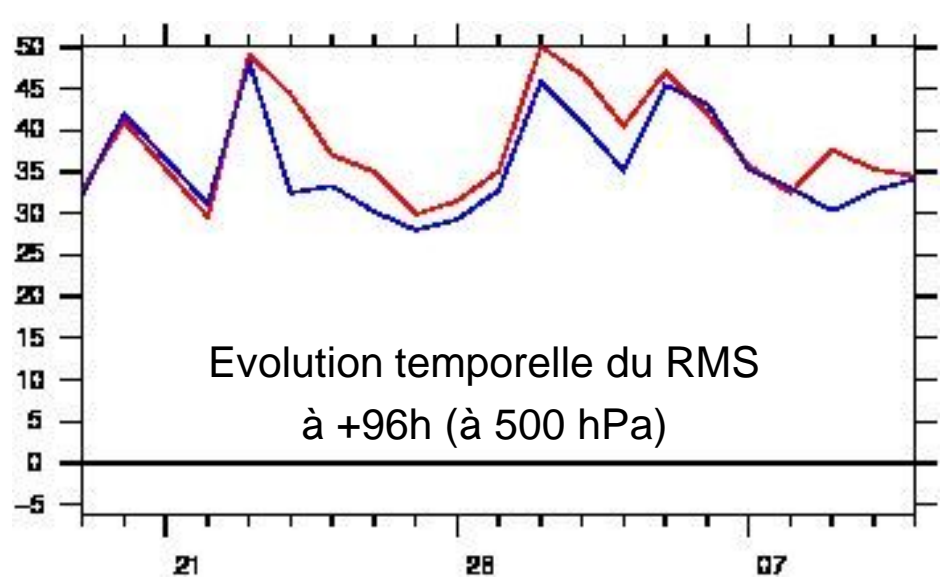
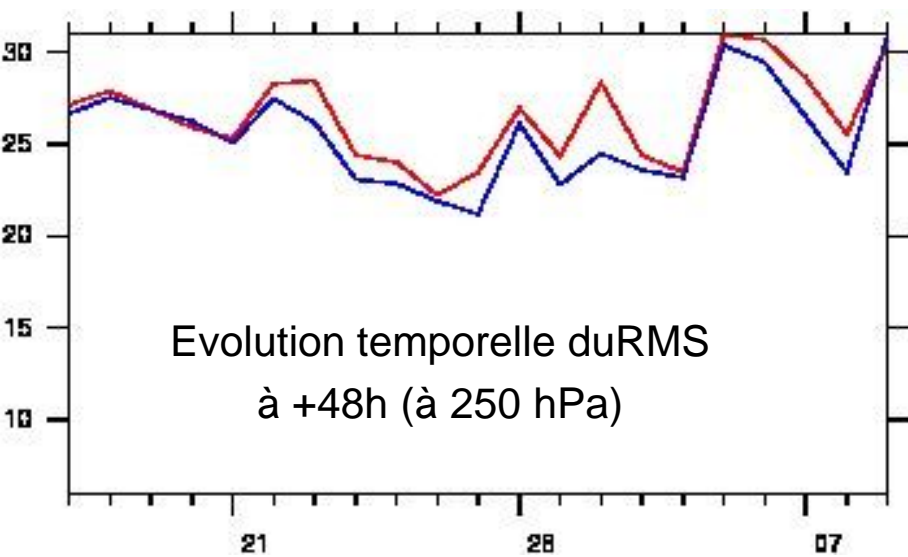
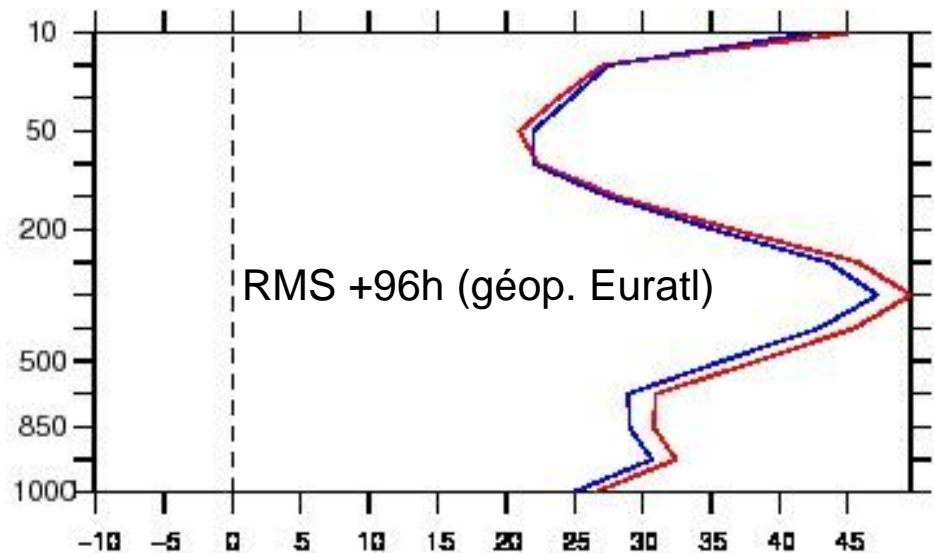
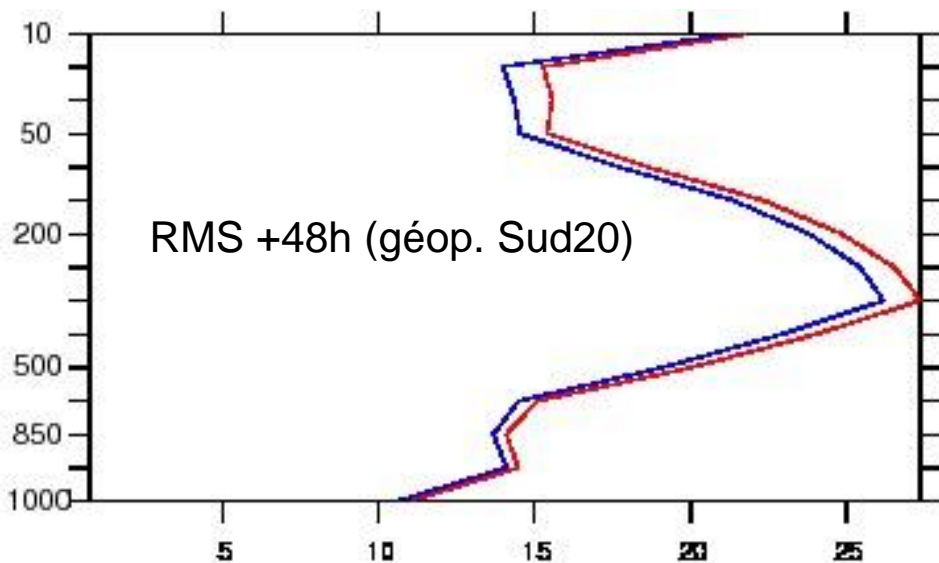


Variations temporelles de la Pmer à Paris



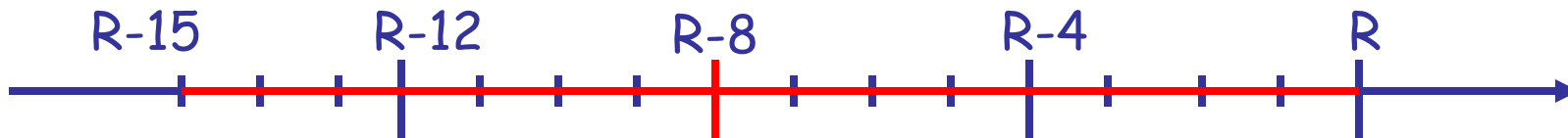
Variations temporelles des portées à Paris

Impact des corrélations ondelettes (versus spectral, 3 semaines hiver 2010)

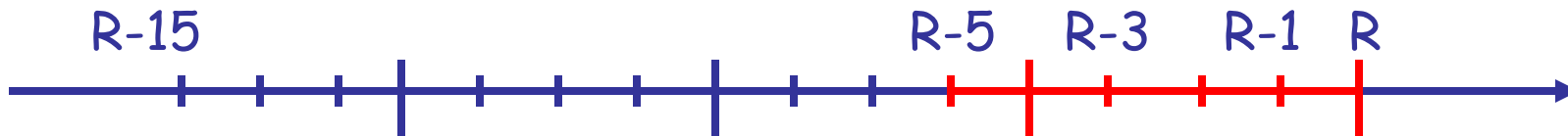


Moyenne temporelle et taille d'ensemble

Moyenne sur 4 jours (avec 6 membres)

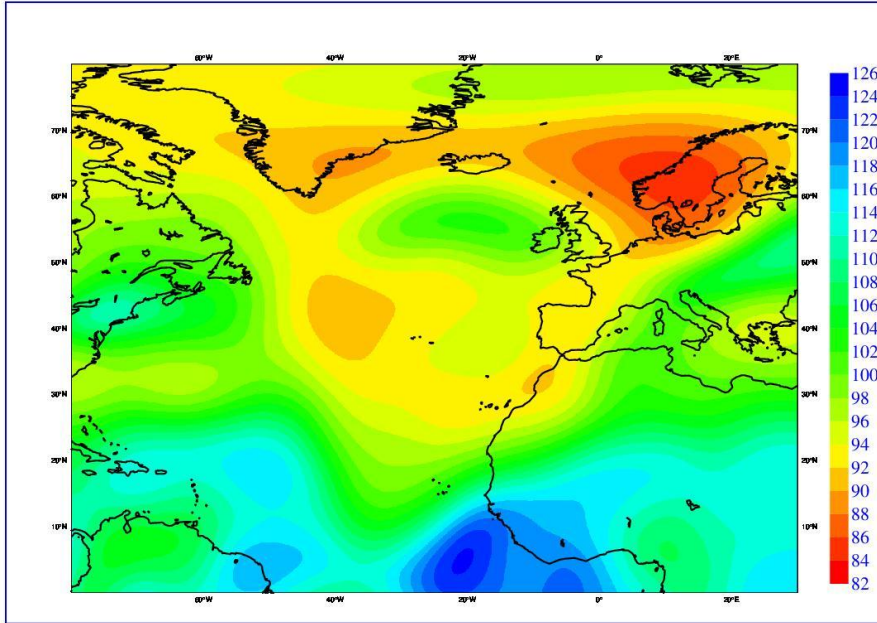


Moyenne sur 1 jour et demi (avec 25 membres)

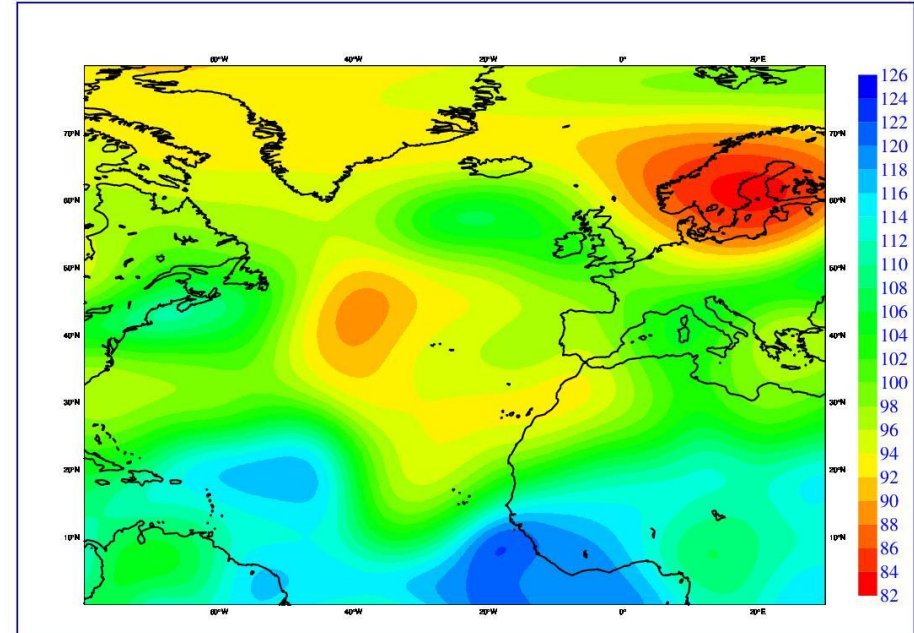


L'augmentation de la taille d'ensemble permet de se rapprocher de la date visée (R).

Mise à jour des corrélations toutes les 6h



15/11/2013 (06UTC)



15/11/2013 (12UTC)

Portées horizontales (en km) du vent vers 300 hPa,
moyennées sur 1.5 jour

Augmentation de la taille de l'ensemble

- **24 membres** x 6 réseaux = 144 prévisions perturbées.
⇒ Moyenne temporelle sur la journée et demie la plus récente.

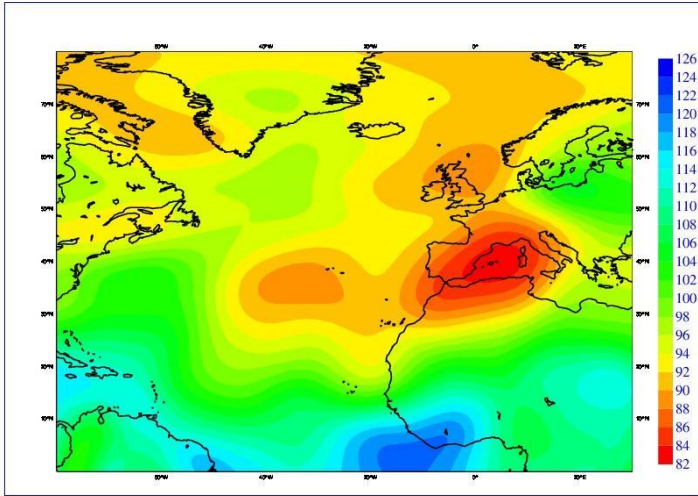
Cela peut être comparé au système quasi-oper suivant :

- **6 membres** x 24 réseaux = 144 prévisions perturbées.
⇒ Moyenne temporelle sur les 6 jours les plus récents.

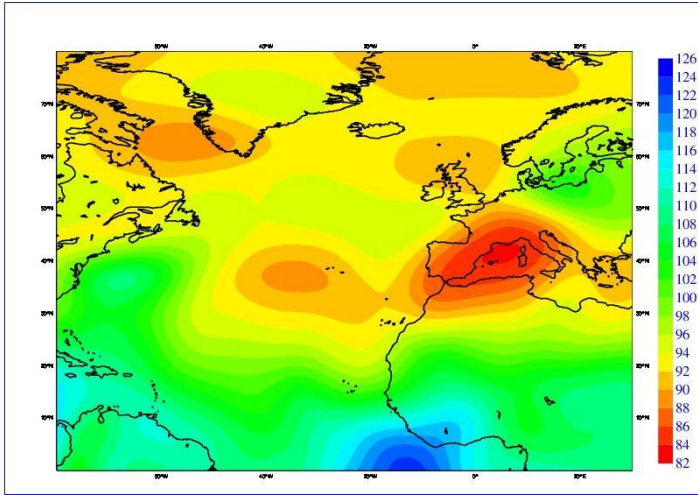
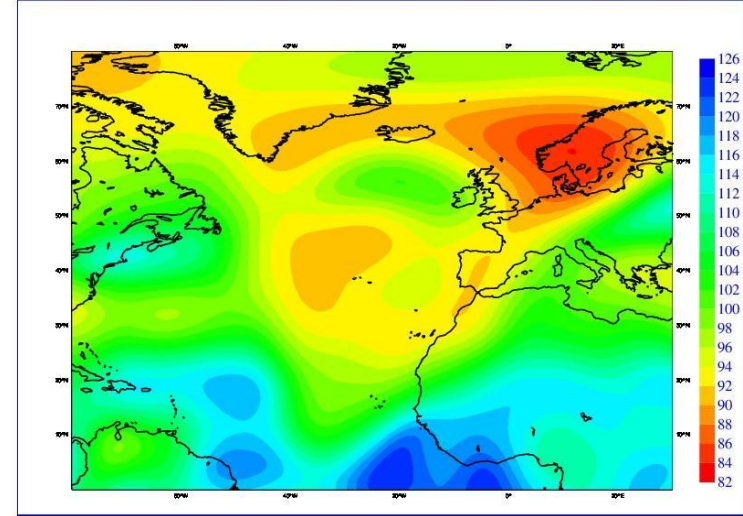
Variabilité des corrélations (à 6 jours d'écart)

10/11/2013 (06UTC)

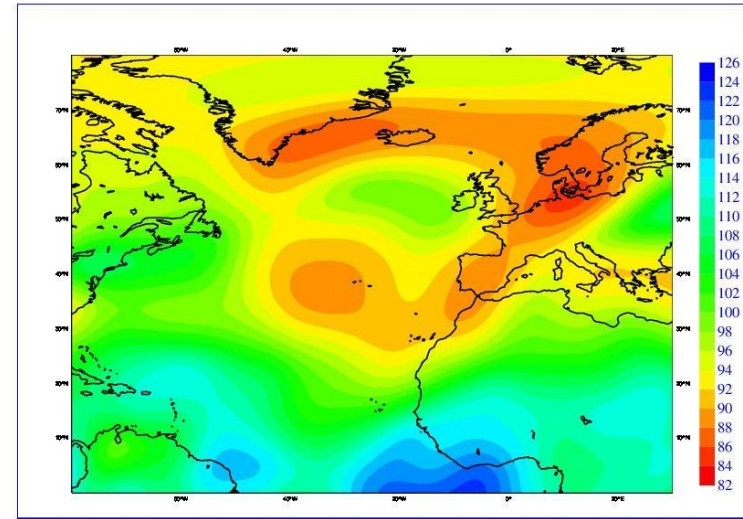
15/11/2013 (06UTC)



24 membres
moy. 6 réseaux



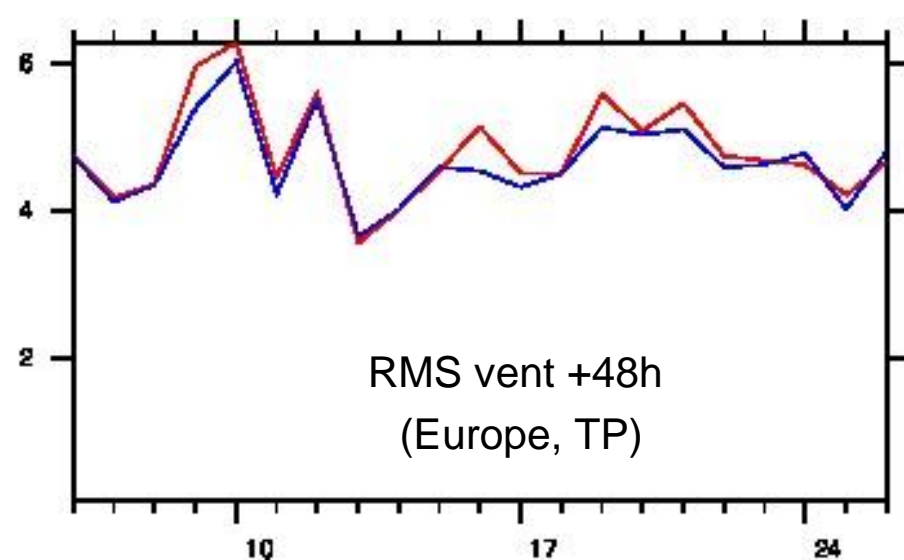
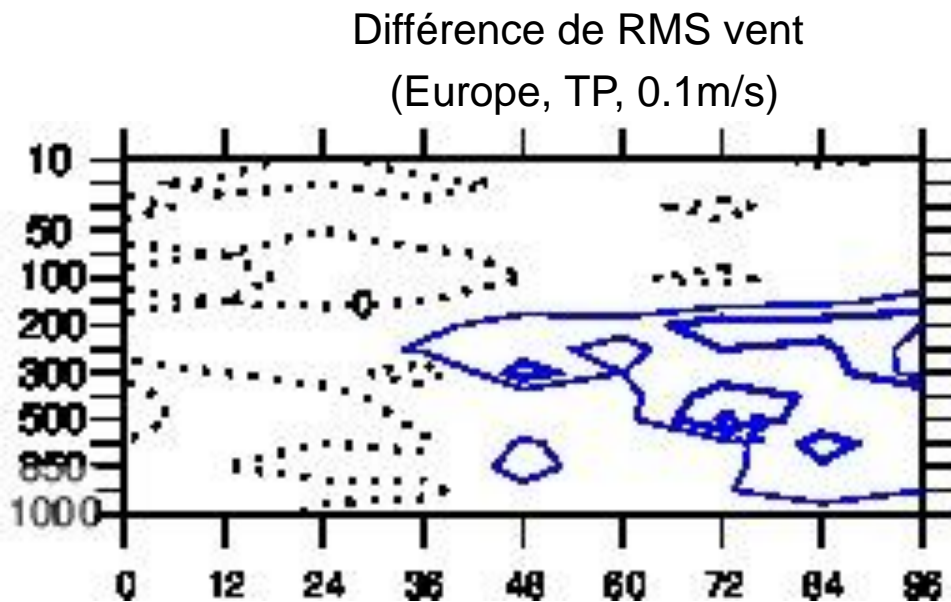
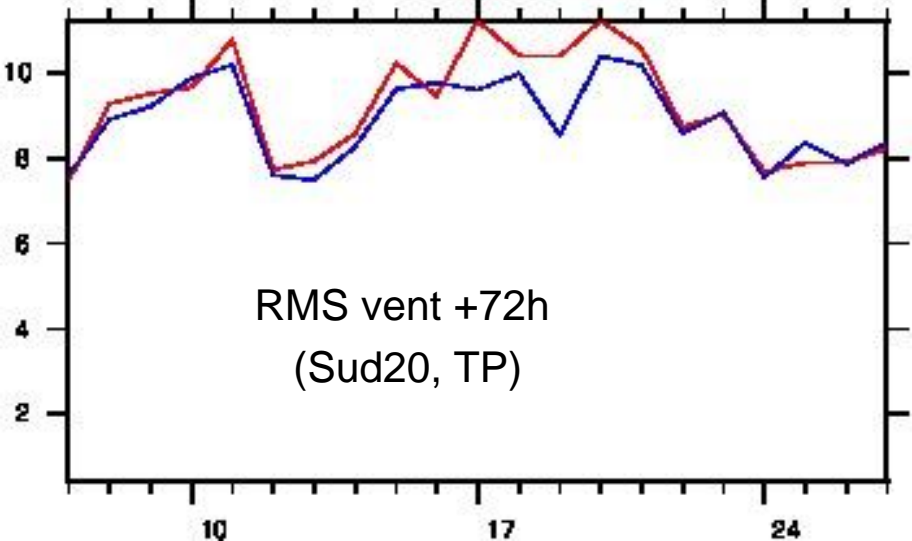
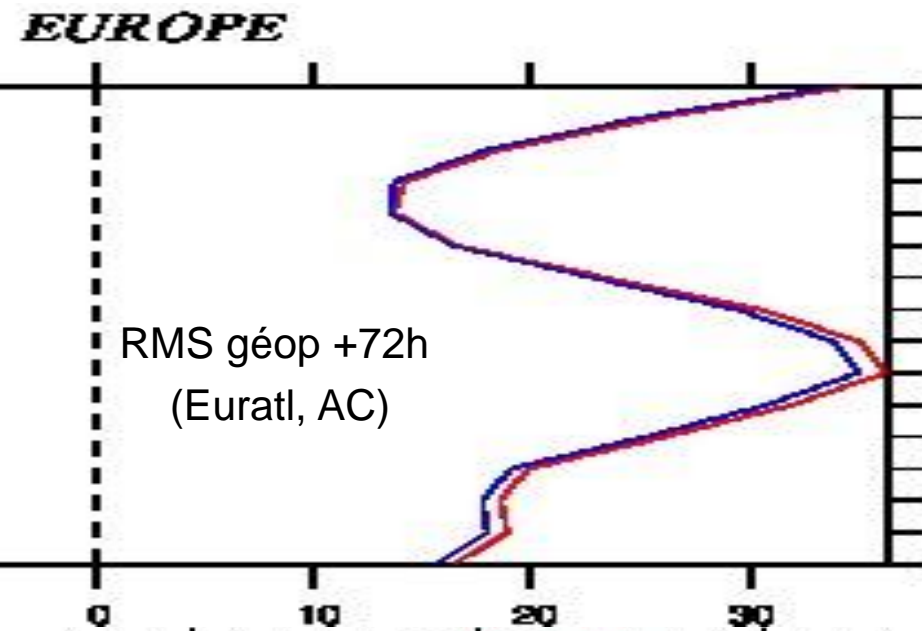
6 membres
moy. 24 réseaux



10/11/2013 (06UTC)

15/11/2013 (06UTC)

Impact de l'augmentation de la taille de l'ensemble (24 membres versus 6 membres)



Conclusions et perspectives

- Filtrage spatio-temporel en ondelette pour la **dynamique des corrélations** issues de l'AE.
- **Impacts positifs** sur la qualité des prévisions, **implémentation oper** en juillet 2013 à Météo-France.
- Impacts bénéfiques d'une **augmentation de la taille d'ensemble** (25 membres en 2015, moyennes sur 1 jour et demi).
- **Initialisation des 35 membres de la prévision d'ensemble (PEARP)** ; perspectives d'évolution **vers covariances ens. 4D (4DEnVar)**.

Merci

pour votre attention