

# Évaluation du schéma RPP pour représenter l'erreur modèle dans l'Assimilation d'Ensemble AROME (AEARO)

Valérie Vogt, Akane Saya (MRI/JMA), Loïk Berre

Ateliers de modélisation de l'atmosphère

Mars 2026

# Plan de la présentation

- 1) Bref rappel sur le schéma d'assimilation 3DEnVar et le rôle de l'AEARO
- 2) Configuration actuelle de l'AEARO et contribution des différentes perturbations à sa dispersion
- 3) Impact du schéma RPP de perturbation des paramètres du modèle sur l'AEARO
- 4) Conclusions et perspectives

## Principe de l'assimilation des observations dans AROME

L'assimilation variationnelle utilisée dans AROME consiste à rechercher un état du modèle qui minimise à la fois la distance aux observations et à l'ébauche. Pour cela on minimise une fonction coût :

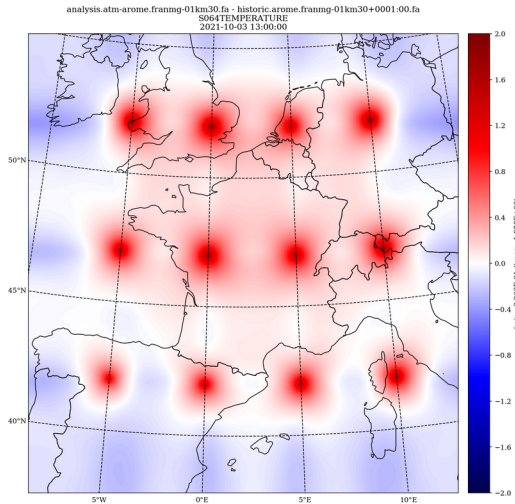
$$\mathcal{J}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y}^o - \mathcal{H}(\mathbf{x}))^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y}^o - \mathcal{H}(\mathbf{x}))$$

### Notations :

- $\mathbf{x}$  : état du modèle recherché
- $\mathbf{x}^b$  : ébauche
- $\mathbf{B}$  : covariances des erreurs d'ébauche
- $\mathcal{H}(\mathbf{x})$  : opérateur d'observation (permet de simuler la valeur des observations à partir de  $\mathbf{x}$ )
- $(\mathbf{y}^o - \mathcal{H}(\mathbf{x}))$  : vecteur d'innovation
- $\mathbf{R}$  : covariances des erreurs d'observation

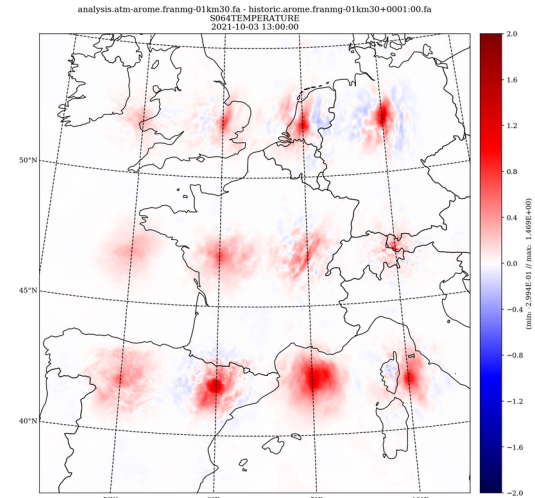
# Octobre 2024 : passage d'un schéma d'assimilation 3D-Var à un schéma 3DEnVar dans AROME

Le 3D-Var et le 3DEnVar consistent à minimiser la même fonction coût mais ils utilisent une matrice B estimée différemment.



3D-Var  
Matrice B climatologique

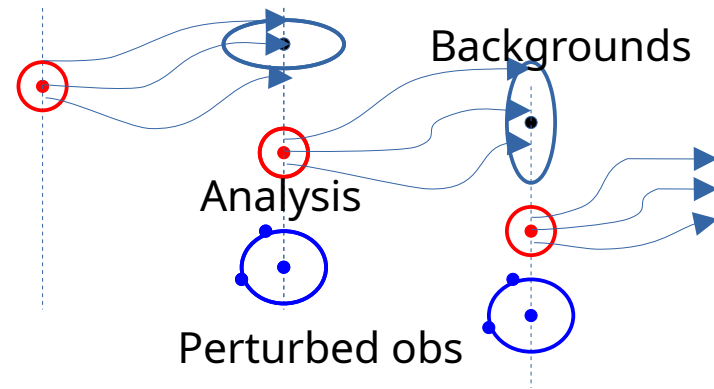
Incrément de température  
à 850 hPa résultant de  
l'assimilation de  
12 innovations de 4 K



3DEnVar  
Matrice B dépendant de la situation météorologique  
déduite de l'AEARO

## Estimation de la matrice B à partir de l'AEARO

- L'AEARO est un ensemble d'assimilations (EDA).  
Le cycle d'assimilation est lancé plusieurs fois en modifiant légèrement les observations, les conditions latérales, la configuration du modèle de prévision afin de tenir compte des incertitudes liées.



- Pour chaque membre de l'ensemble, des perturbations dépendantes de la situation du jour sont calculées :

$$\epsilon_l^b = \frac{1}{\sqrt{N_e - 1}} (\tilde{\mathbf{x}}_l^b - \langle \tilde{\mathbf{x}}^b \rangle)$$

$N_e$  nb de membres     
  $\tilde{\mathbf{x}}_l^b$  Prévision du membre l  
 $\langle \tilde{\mathbf{x}}^b \rangle$  Moyenne des prévisions

- Les covariances d'erreur d'ébauche sont directement estimées à partir des perturbations des prévisions :

$$\mathbf{X}^b = [\epsilon_1^b, \dots, \epsilon_{N_e}^b] \quad \mathbf{B}^e \sim \mathbf{X}^b \mathbf{X}^{bT}$$

## Configuration de l'AEARO en cycle 49 (chaîne en double)

- Configuration en cy49 (chaîne en double) :
  - 50 membres
  - Résolution horizontale : 3.2 km
  - Assimilation 3DEnVar avec un cycle de 3h
- Perturbations :
  - Observations (POBS) : ajout d'un bruit à la valeur de l'obs proportionnel à l'erreur d'observation
  - SST (PSST) : ajout d'un champ de bruit
  - Conditions latérales (PLBC) : fournies par l'AEARP
  - Modèle (PMOD) : perturbation des tendances de la physique (schéma SPPT) pour représenter les incertitudes du modèle
- Utilisation :
  - AROME : pour le calcul de la matrice B en 3DEnVar (chaîne oper cy48) et 4DEnVar (chaîne double cy49)
  - PEARO : fourniture de conditions initiales perturbées

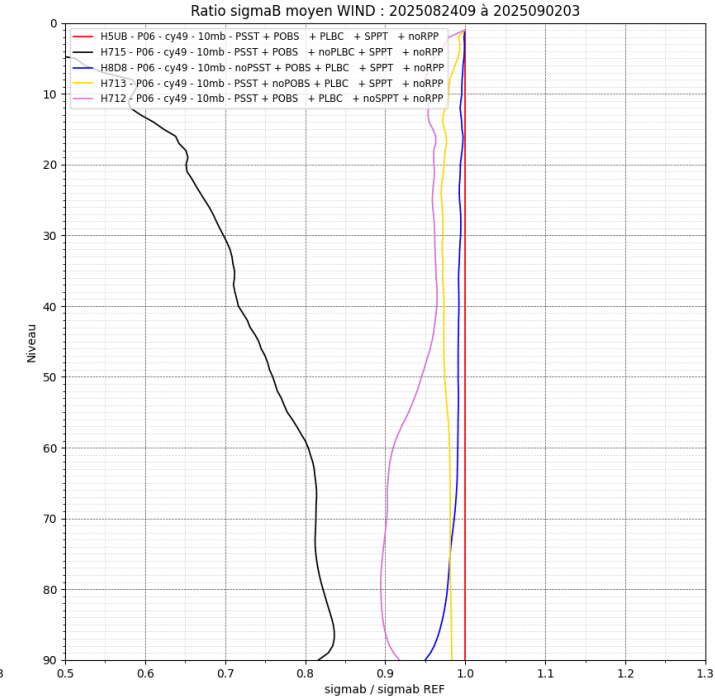
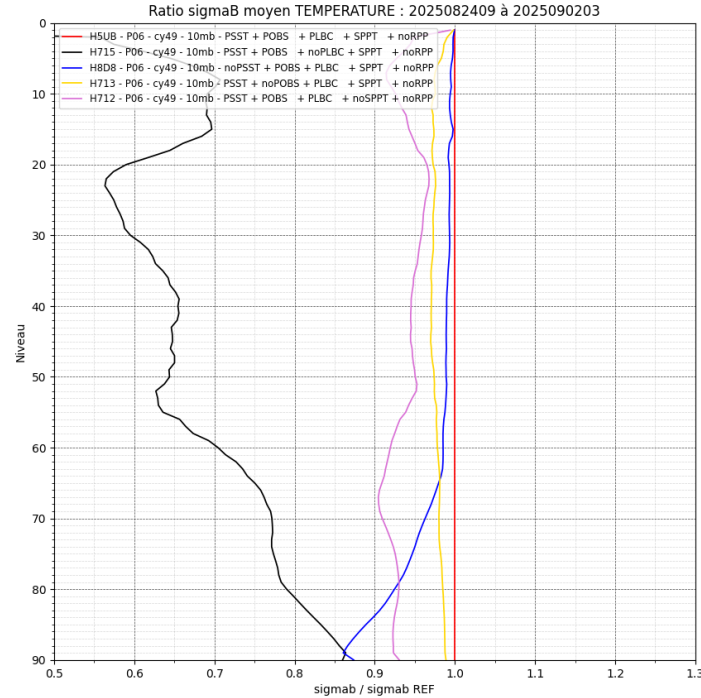
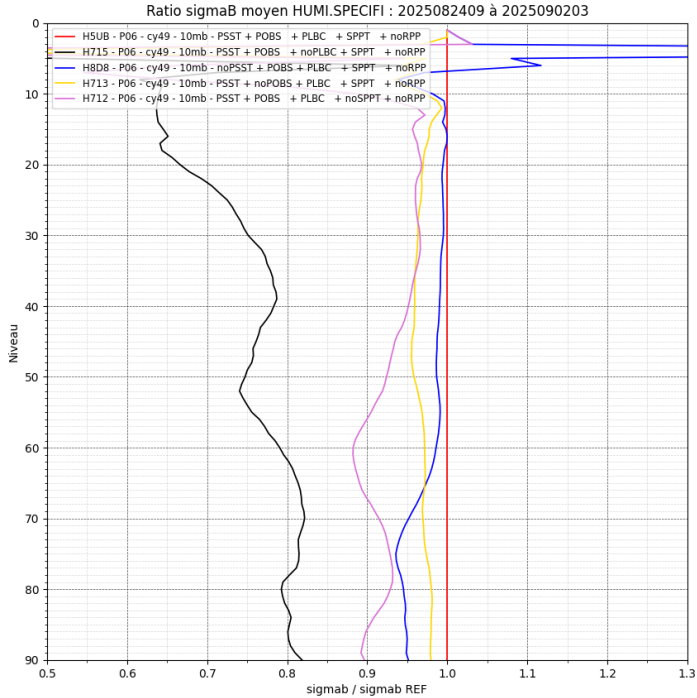
# Contribution des différentes perturbations à la dispersion de l'AEARO

Expériences à 10 membres, période 24/08-01/09/2025 :

- Référence = double 49
- Expériences avec désactivation de la perturbation :
  - 1/ des conditions latérales
  - 2/ de la SST
  - 3/ des obs
  - 4/ du modèle (SPPT)

# Contribution des différentes perturbations à la dispersion de l'AEARO

## Ratio de sigmaB - Paramètres : Q, T et WIND - échéance 6h



### Référence en rouge

Contribution majoritaire de la perturbation des **LBC** à la dispersion de l'ensemble

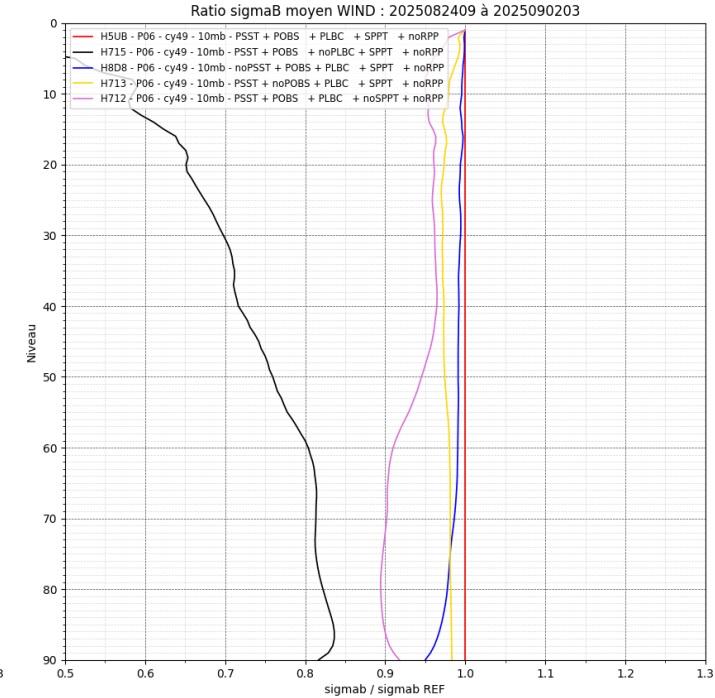
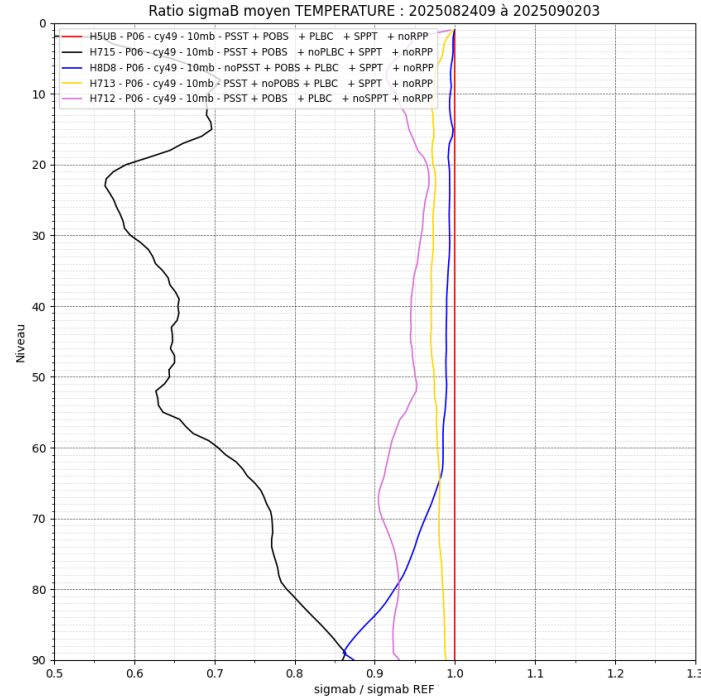
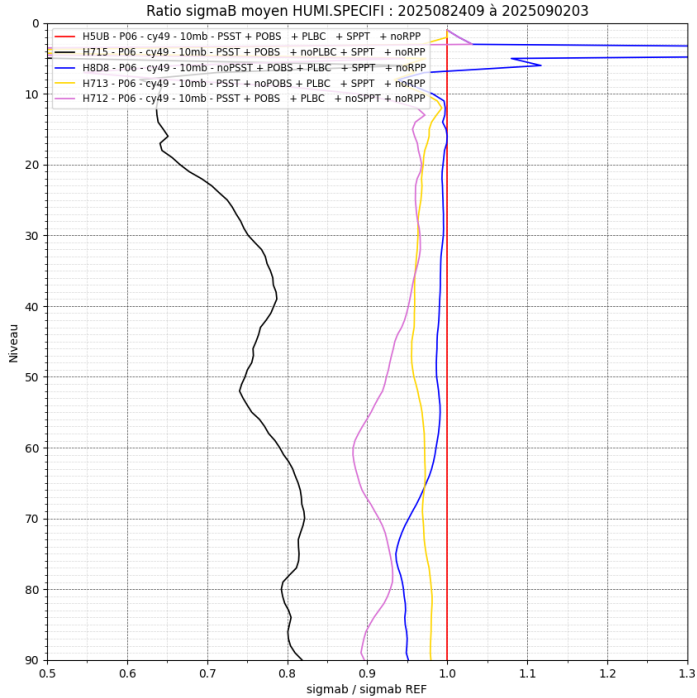
Contribution de la **SST** essentiellement jusqu'au niveau ~60 (<850hPa)

Contribution des **obs** et du **SPPT** sur toute la verticale

$$\sigma_{wind}^b = \sqrt{(\sigma_u^b)^2 + (\sigma_v^b)^2}$$

# Contribution des différentes perturbations à la dispersion de l'AEARO

## Ratio de sigmaB - Paramètres : Q, T et WIND - échéance 6h



### Référence en rouge

Contribution majoritaire de la perturbation des **LBC** à la dispersion de l'ensemble

Contribution de la **SST** essentiellement jusqu'au niveau ~60 (<850hPa)

Contribution des **obs** et du **SPPT** sur toute la verticale

SPPT : méthode simple et efficace mais la même perturbation est appliquée à toutes les tendances de la physique et ne permet pas d'augmenter la dispersion spécifiquement dans la couche limite.

$$\sigma_{wind}^b = \sqrt{(\sigma_u^b)^2 + (\sigma_v^b)^2}$$

## Test de la perturbation des paramètres du modèle (schéma RPP) – Wimmer et al.

- Dans le schéma RPP, des perturbations aléatoires sont ajoutées à la valeur de certains paramètres du modèle.  
Le tirage, dans une gamme de valeur prédéfinie, est réalisé en début de prévision de chaque membre et est fixe au cours de la prévision.
  
- Configuration du schéma RPP testé :
  - la liste des paramètres perturbés, ainsi que leurs intervalles et lois de tirage, est la même que celle retenue dans la PEARO actuellement utilisée dans la chaîne en double 49,
  - La perturbation RPP est testée en plus des autres perturbations actuellement appliquées dans l'AEARO.

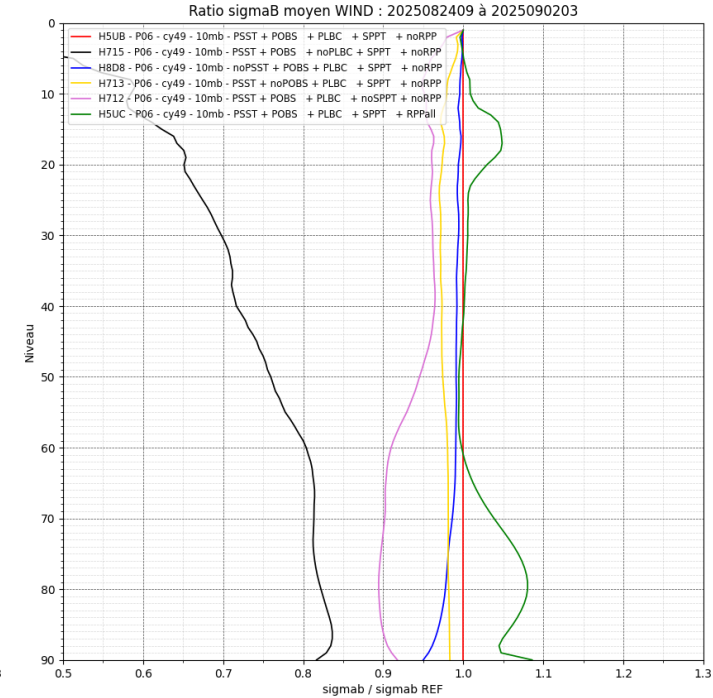
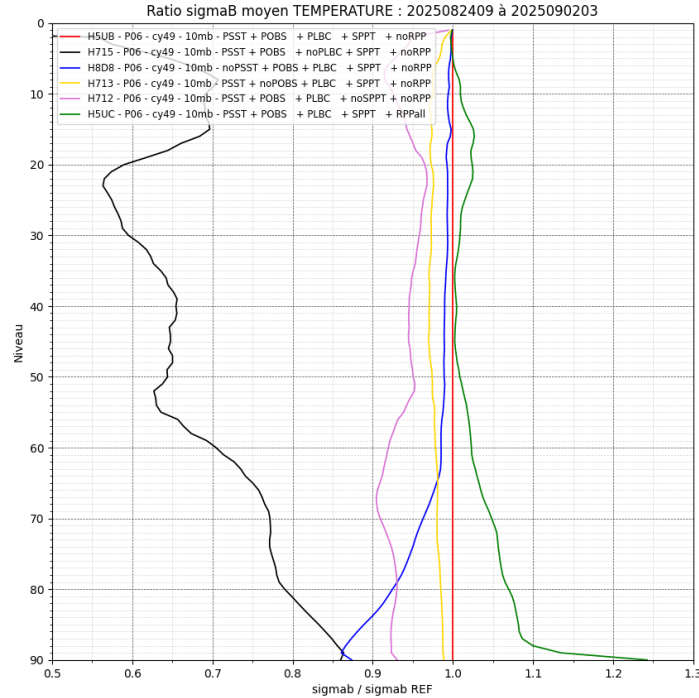
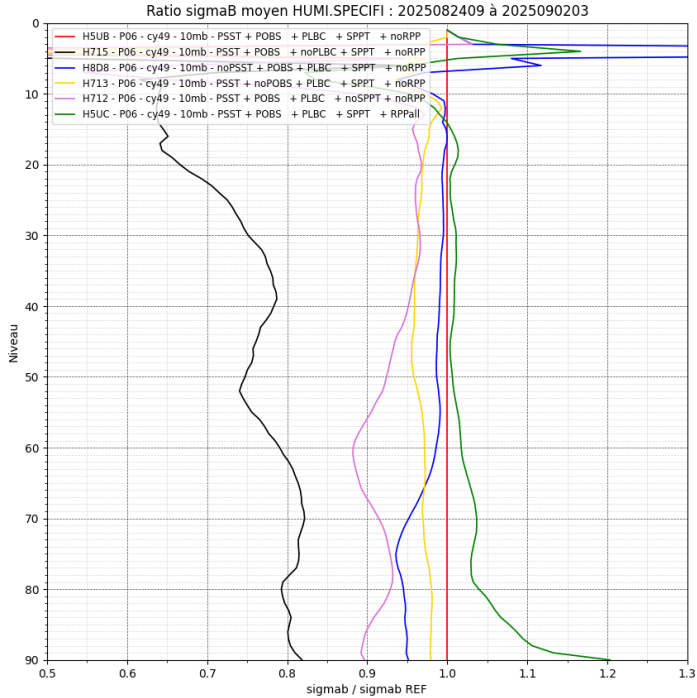
# Test de la perturbation des paramètres du modèle (schéma RPP) – Wimmer et al.

Scheme	Parameter	Physical meaning	Default	Range
Radiation	RCADDECOR	Coeff 1 in the eq of decorrelation	0.75	0.375 - 1.125
	RCBDECOR	Coeff 2 in the eq of decorrelation	2.149	1.0745 - 3.2235
	CLOUD_INHOM_DECORR_SCALING	short wave inhomogeneity factor	0.5	0 - 1
Microphysics	RCRIAUTI	Snow autoconversion threshold	0.2e-3	0.2e-4 - 0.25e-3
	RCRIAUTC	Rain autoconversion threshold	1e-3	0.4e-3 - 1e-3
	VSIGQSAT	Constant for subgrid condensation	0.02	0 - 0.1
Turbulence	XLINI	Minimum mixing length	0	0 - 0.2
	XCTD	Constant for dissipation of temp. and vapour pressure fluctuations	1.2	0.98 - 1.2
	XCTP	Constant for temperature and vapour pressure correlations	4.65	1.035 - 22.22
	XCEP	Constant for wind-pressure correlations	2.11	0.225 - 4.0
	XCED	Constant for dissipation of TKE	0.85	0.4 - 2
	XPHI_LIM	Threshold value for $Sc^{-1}$ and $Pr^{-1}$	3	1 - 4.5
	XCET	Constant for transport of TKE	0.4	0.072 - 1.512
Surface	XRIMAX	Critical Richardson number	0.2	0 - 0.3
	XFRACZ0	Coefficient of orographic drag	5	2 - 10
Convection	XCMF	Closure coefficient at bottom level	0.065	0 - 0.1
	XABUO	Coefficient of the buoyancy	1	0.7 - 1.5
	XBDETR	Coefficient of the detrainment	1e-6	0 - 1
	XENTR_DRY	Coefficient for dry entrainment	0.55	0.1 - 0.699

- 5 paramétrisations physiques sont perturbées
- La valeur par défaut est celle utilisée dans AROME
- La loi de tirage est uniforme et non gaussienne (sauf exception). L'intervalle des valeurs de paramètres résulte de discussions avec les physiciens

# Impact du RPP sur la dispersion de l'AEARO

## Ratio de sigmaB - Paramètres : Q, T et WIND - échéance 6h



### Référence en rouge

Contribution majoritaire de la perturbation des **LBC** à la dispersion de l'ensemble

Contribution de la **SST** essentiellement jusqu'au niveau ~60 (<850hPa)

Contribution des **obs** et du **SPPT** sur toute la verticale

Contribution positive du **RPP** à la dispersion de l'ensemble essentiellement dans la couche limite

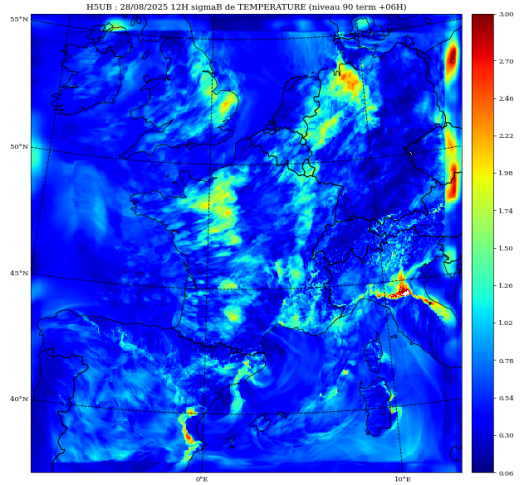
et au dessus du niveau 20 (250-300 hPa)

$$\sigma_{wind}^b = \sqrt{(\sigma_u^b)^2 + (\sigma_v^b)^2}$$

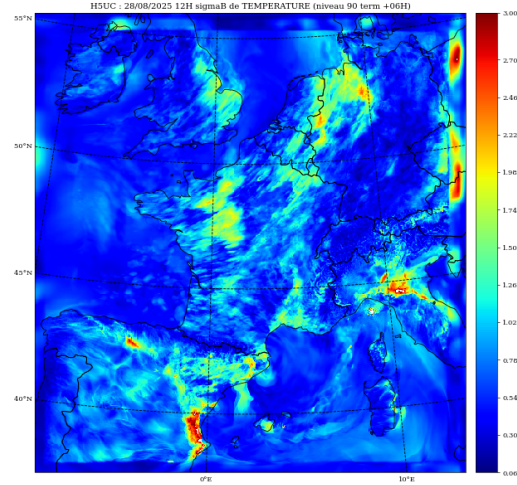
# Cartes de sigmaB de température et humidité

## Réseau 20250828T12 échéance 6 heures niveau 90

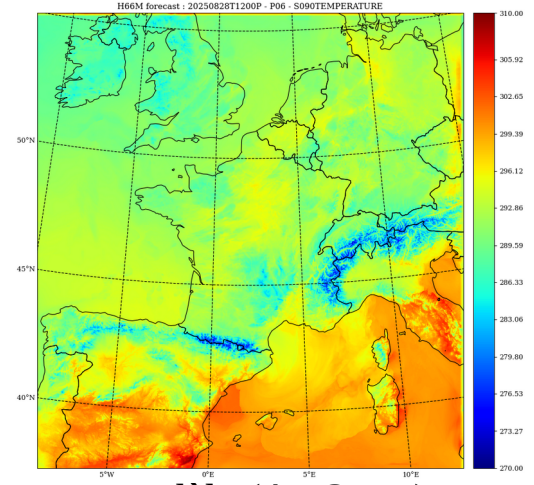
Température



NoRPP sigmaB



WithRPP sigmaB

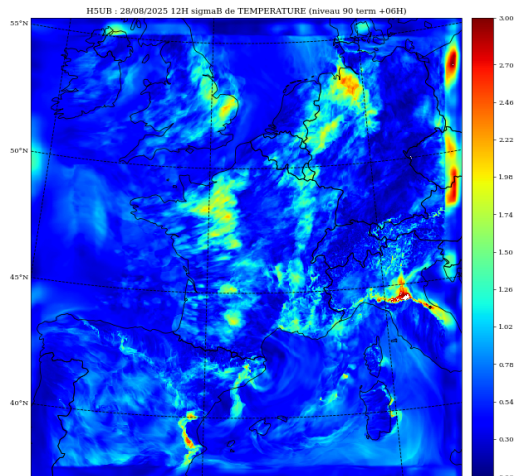


Etat modèle (AROME)

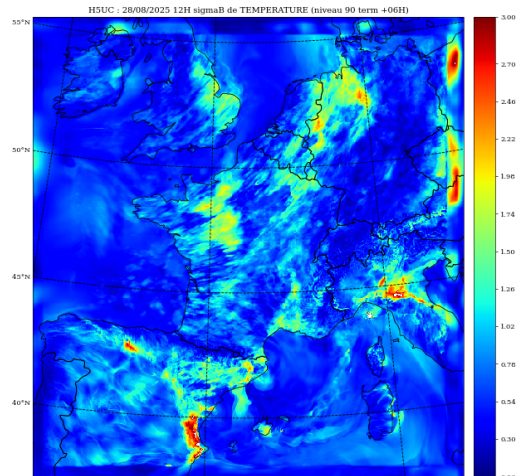
# Cartes de sigmaB de température et humidité

## Réseau 20250828T12 échéance 6 heures niveau 90

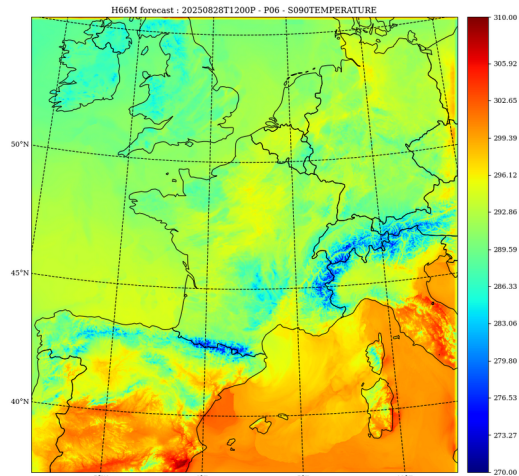
Température



NoRPP sigmaB

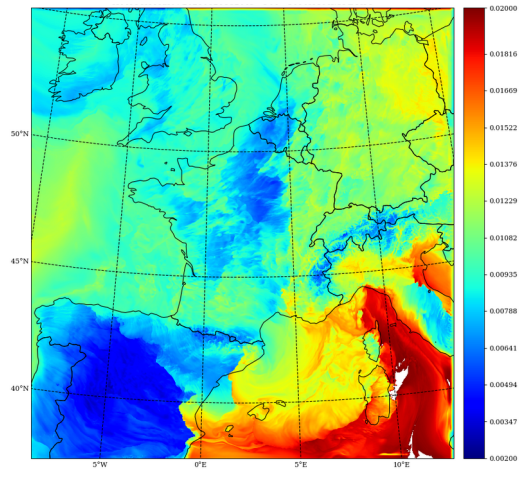
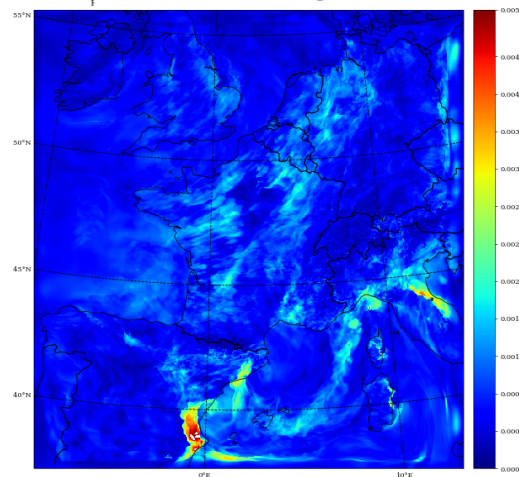
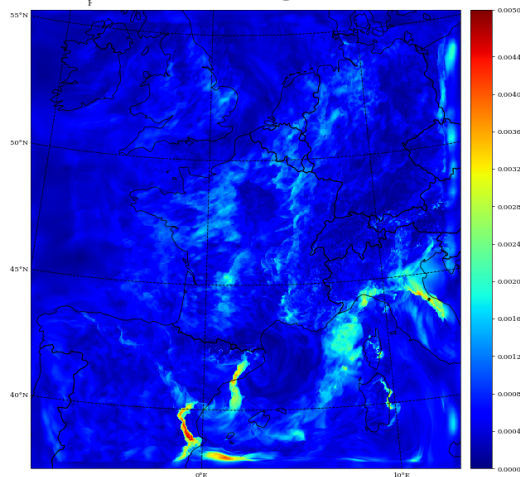


WithRPP sigmaB



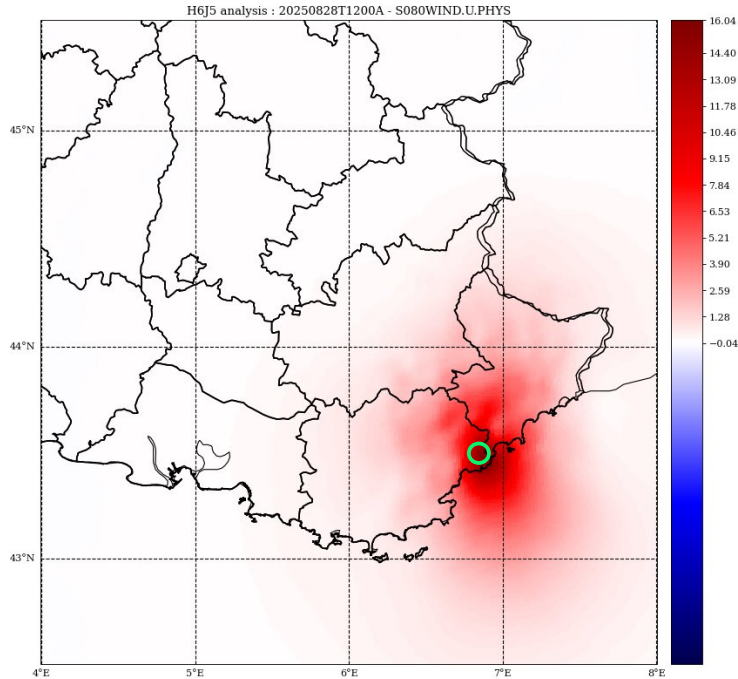
Etat modèle (AROME)

Humidité  
spécifique

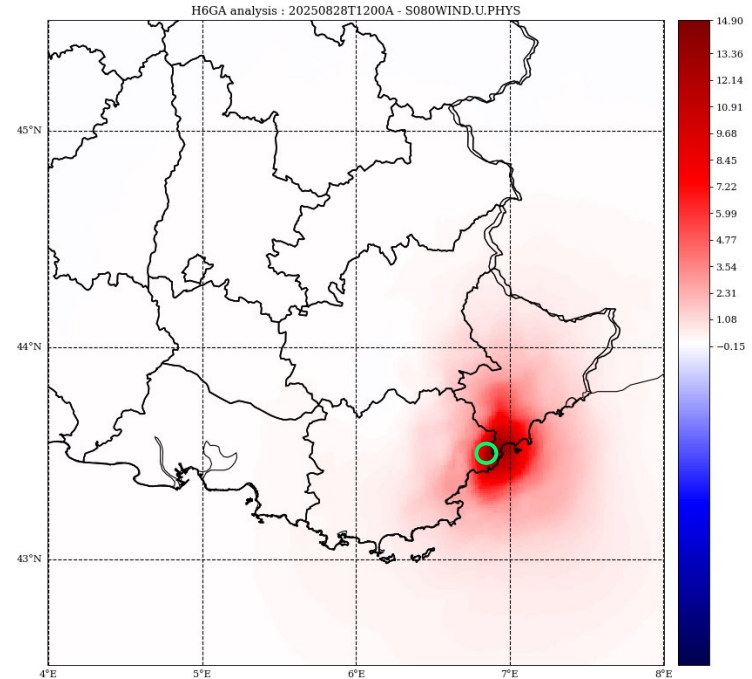


# Comparaison des covariances locales d'erreurs d'ébauche pour la composante zonale du vent (niveau 80 - validité 20250828T12)

NoRPP



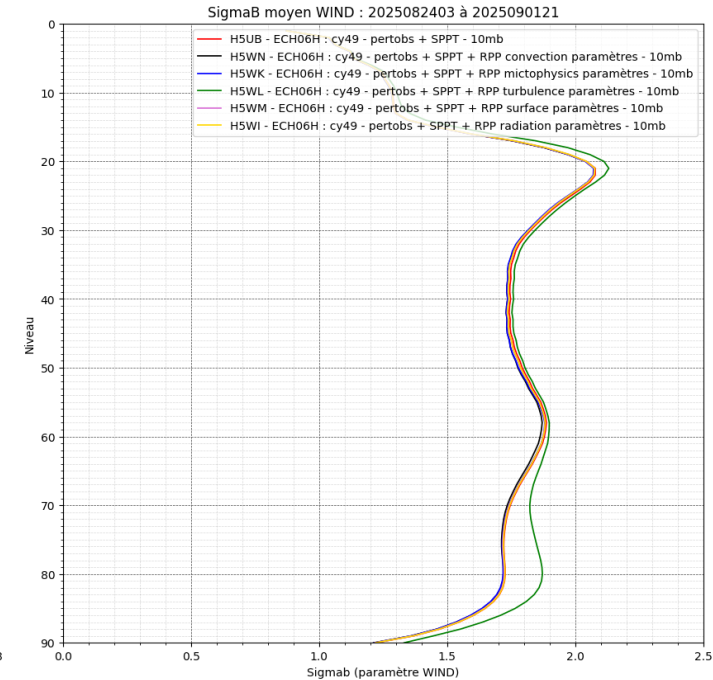
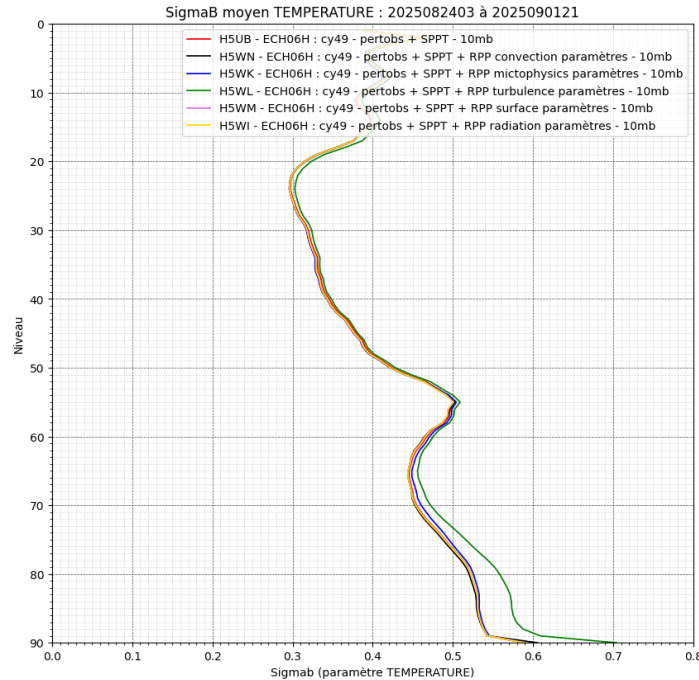
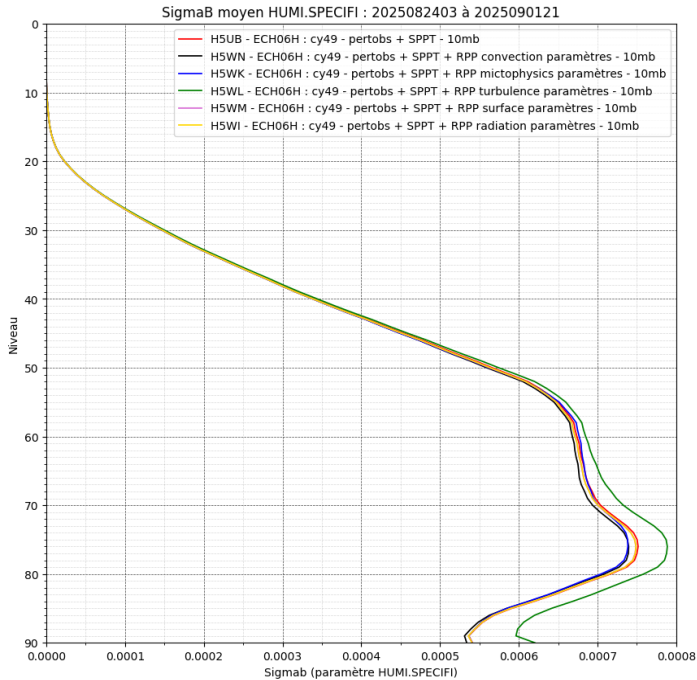
WithRPP



RPP a un effet assez visible sur les covariances d'erreur et donc sur la propagation spatiale des informations observées.

# Contribution de la perturbation par le RPP de chaque paramétrisation physique sur la dispersion de l'AEARO

## Profils de sigmaB - Paramètres : Q, T et WIND - échéance 6h



**NoRPP**, **RPP\_rad**, **RPP\_microphys**, **RPP\_turb**, **RPP\_surf** and **RPP\_conv**

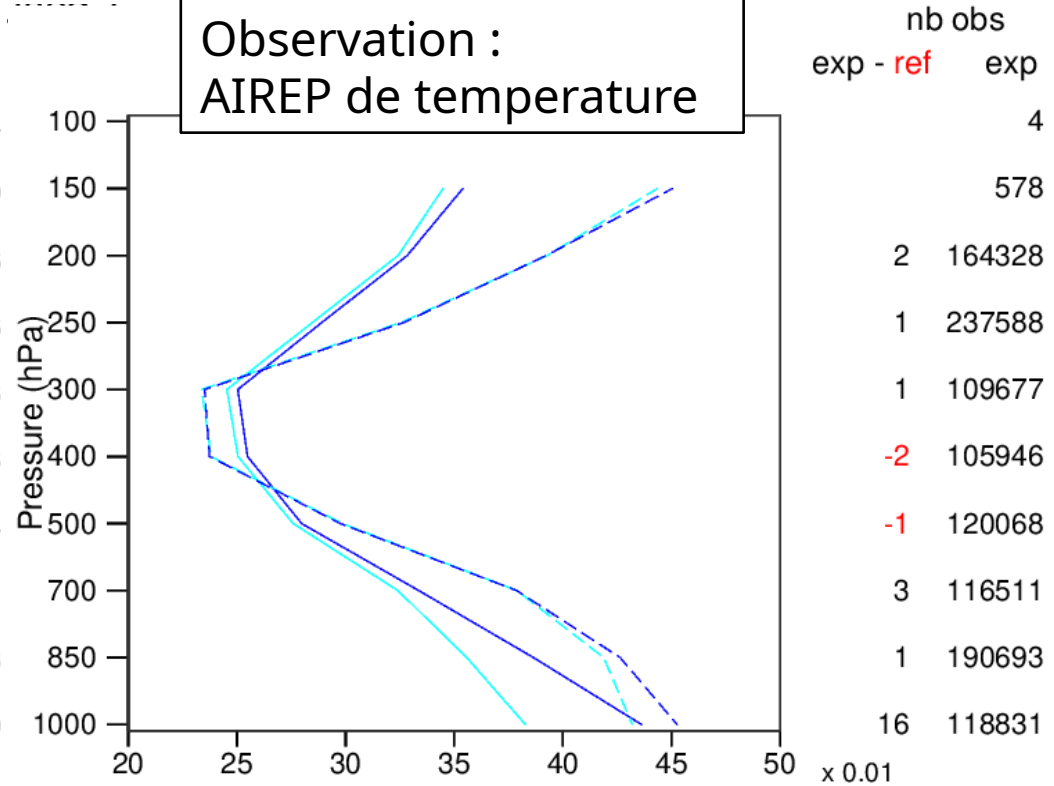
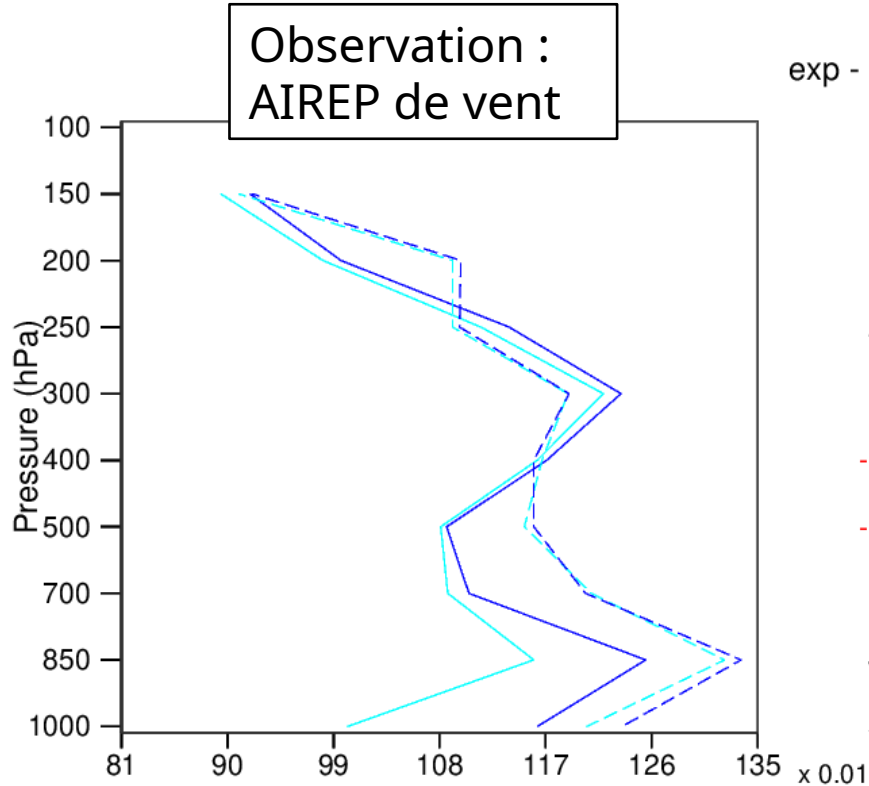
La perturbation du schema de **turbulence** est la plus impactante sur la dispersion de l'AEARO  
 La perturbation des autres schémas n'a pas d'impact (voire un impact négatif) sur cette période  
 A noter, quelques plantages numériques (conv et microphys)

$$\sigma_{wind}^b = \sqrt{(\sigma_u^b)^2 + (\sigma_v^b)^2}$$

# Diagnostics de Desroziers

"Validation" of ensemble spread from 50 members EDA experiments :  
 in RPP-EDA (dark blue), ensemble spread (full line) is more consistent with the diagnosed background error (dashed line).

- bkg\_error (NoRPP50)
- - - Est bkg std err (NoRPP50)
- bkg\_error (RPP\_all50)
- - - Est bkg std err (RPP\_all50)



## Conclusions et perspectives

- Le schéma RPP permet d'augmenter la dispersion de l'ensemble, essentiellement dans la couche limite, ainsi que dans les zones de fort gradient,
  - Elle est due principalement à la perturbation du schéma de turbulence, la contribution de la perturbation des autres schémas physiques est très modeste,
  - La dispersion de l'ensemble avec RPP montre une meilleure cohérence avec le diagnostic de Desroziers que celle de l'ensemble de référence.
- 
- Etude de l'impact de l'introduction du RPP dans l'AEARO sur AROME et PEARO
  - Modification de la liste et des plages de perturbation des paramètres
  - Investigations sur d'autres périodes
  - Réduction des instabilités numériques (dus essentiellement au paramètre XCMF)

Merci pour votre attention.

## References

- Brousseau, P., Vogt, V., Arbogast, E., Martet, M., Thomas, G. and Berre, L., 2025. The operational 3DEnVar data assimilation scheme for the Météo-France convective scale model AROME-France. *EGUsphere*, 2025, pp.1-31.
- Bouttier, F., Vié, B., Nuissier, O., and Raynaud, L.: Impact of stochastic physics in a convection-permitting ensemble, *Mon. Wea. Rev.*, 140, 3706–3721, 2012.
- Wimmer, M., Raynaud, L., Descamps, L., Berre, L. and Seity, Y., 2022. Sensitivity analysis of the convective-scale AROME model to physical and dynamical parameters. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 148(743), pp.920-942.
- Desroziers, G., Berre, L., Chapnik, B. and Poli, P., 2005. Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(613), pp.3385-3396
- Roux, G., 2025 : Evolution of model error representation in Arome-EPS: Implementation of a random parameter perturbation, presentation at EWGLAM/SRNWP in Norrköping.