



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# **l'Assimilation d'Ensemble ARPEGE, utilisation et évolution**

N. Girardot, L. Berre  
mars 2026

---

# Plan

## 1. Introduction

## 2. Chaîne opérationnelle et Evolutions

## 3. Evaluation

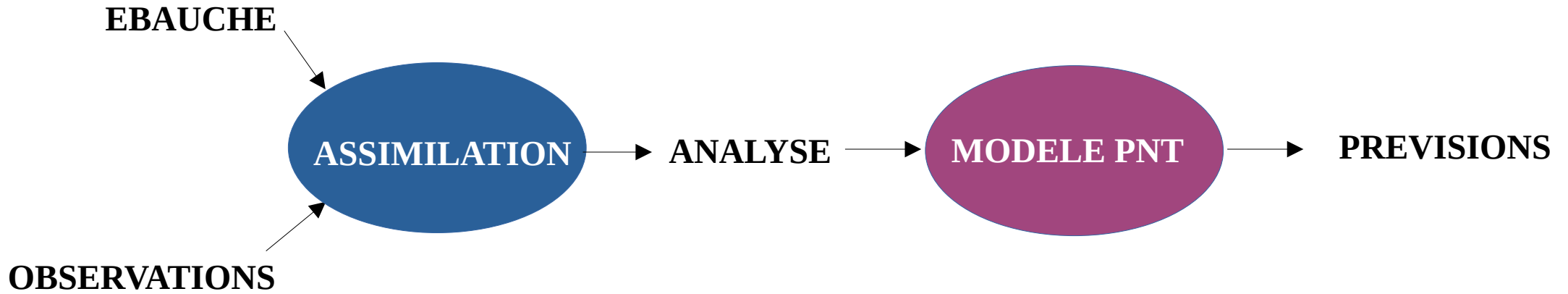
# Plan

## 1. Introduction

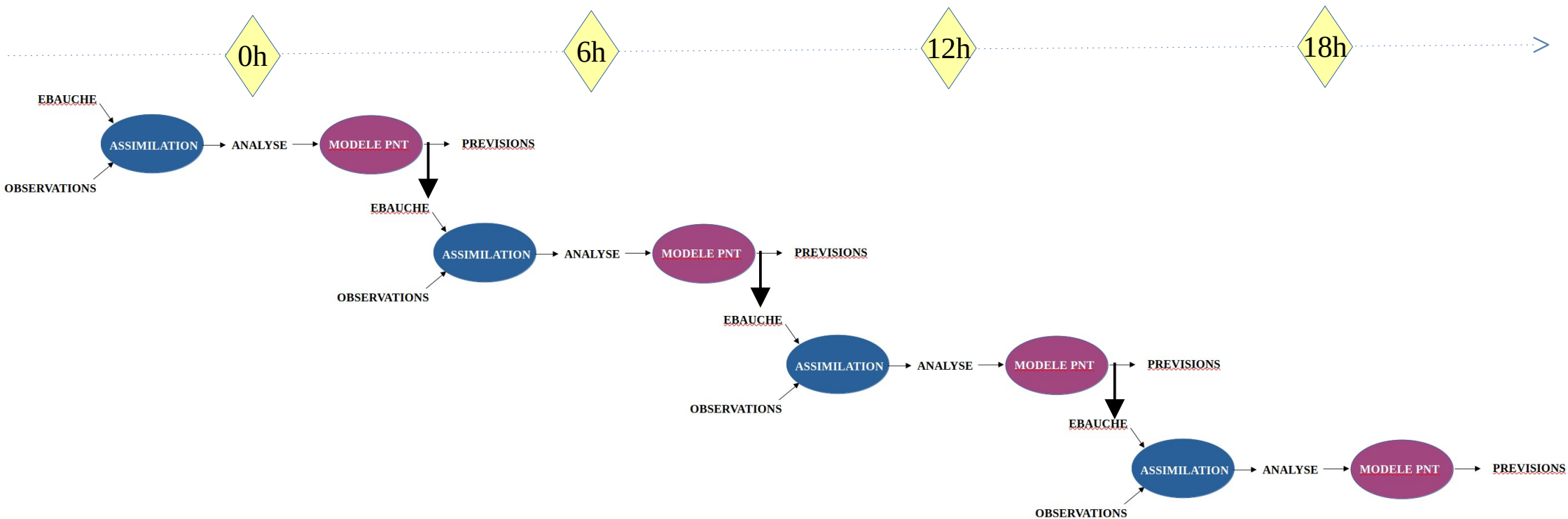
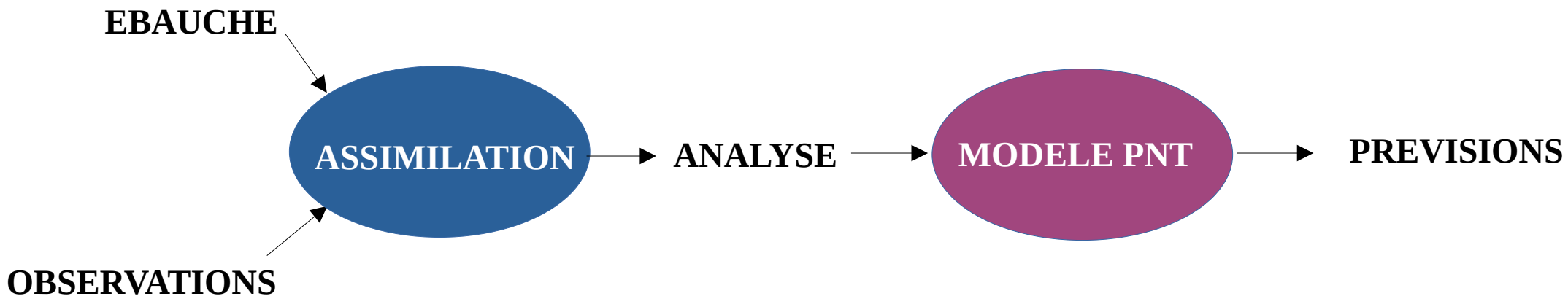
## 2. Chaîne opérationnelle et Evolutions

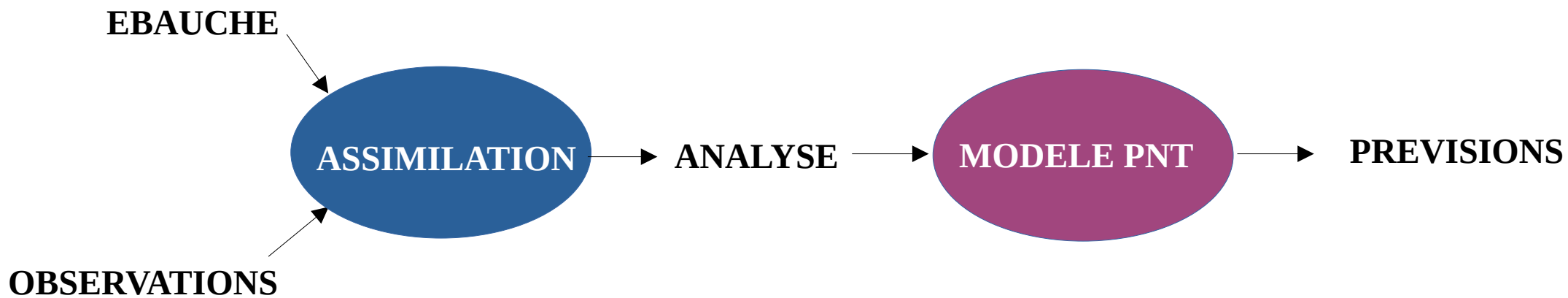
## 3. Evaluation

# Assimilation et chaîne de prévision



# Assimilation et chaîne de prévision



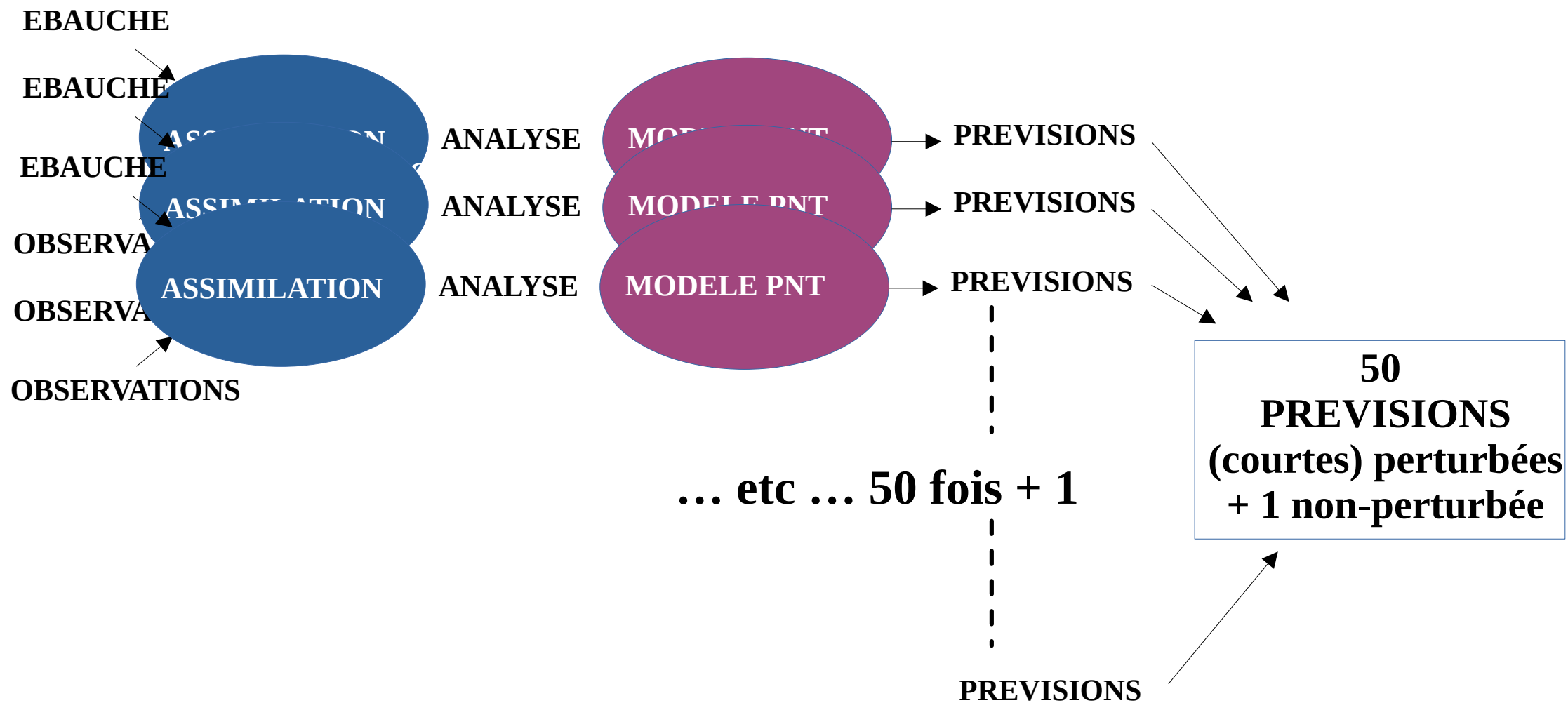


Prévisibilité = capacité à prévoir → estimation des incertitudes de prévision

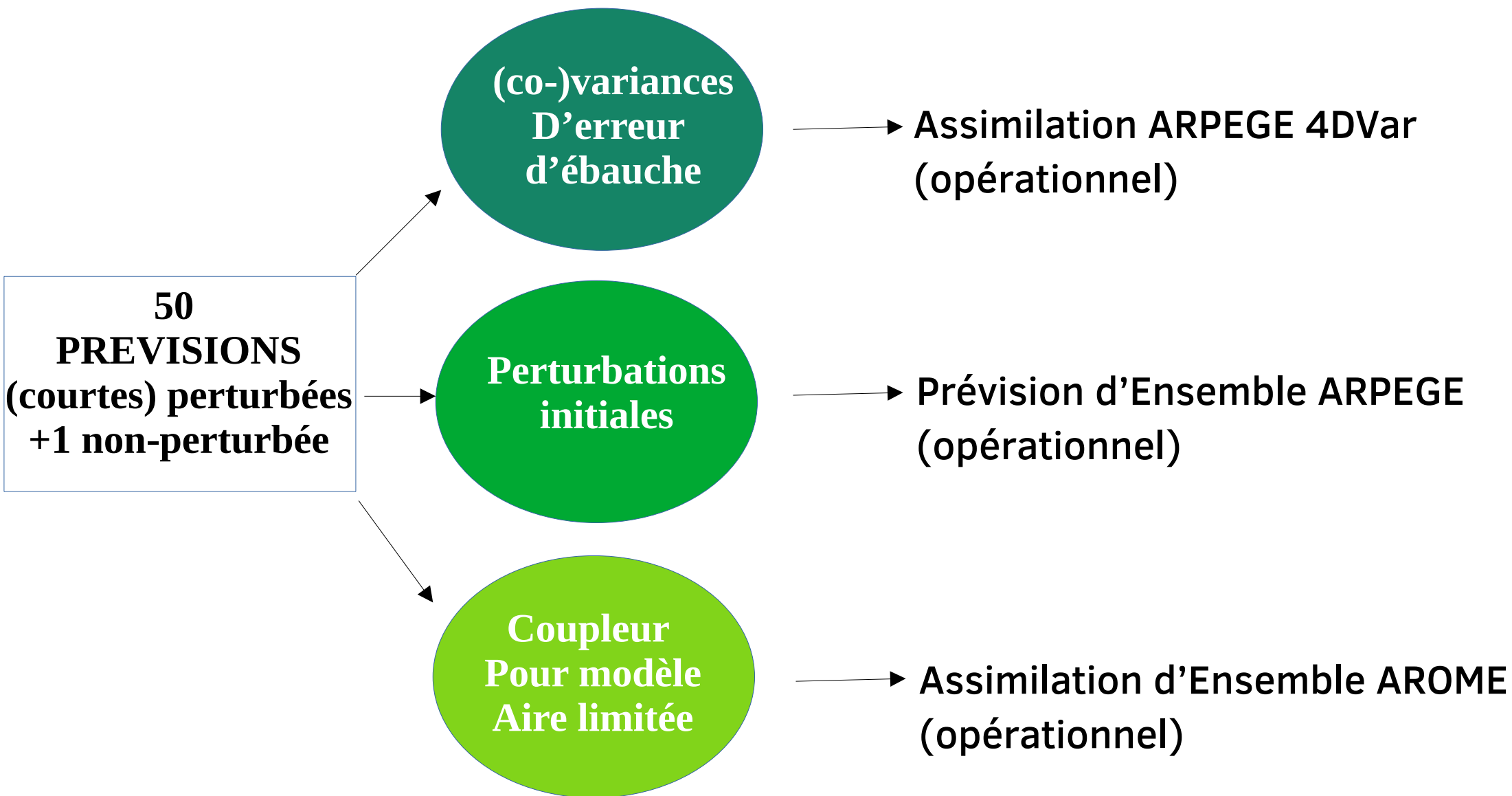
→ Utilisation de méthodes ensemblistes

L'assimilation d'ensemble va fournir une estimation de l'erreur d'ébauche.

Elle sera utilisée sous la forme d'une matrice de variance et covariances d'erreur.



**AEARP = Assimilation d'Ensemble ARPège**



Autres utilisations (recherche) : études de sensibilité, DFS...

# Plan

1. Introduction

**2. Chaîne opérationnelle et Evolutions**

3. Evaluation

# Caractéristiques de l'AEARP opérationnelle

- ensemble de **50+1 éléments** : analyses + prévisions courtes sur le globe
- la résolution est en T224 pour la minimisation, **T499** pour le reste
- Tourne 4 fois par jour sur les réseaux de 0h, 6h, 12h et 18h
- **Perturbations** :
  - les **observations** sont perturbées (en cohérence avec l'erreur d'obs estimée)
  - les **ébauches**, en entrée des analyses, sont perturbées par cyclage+inflation (ébauche = prévision 3h/6h issue du réseau précédent du même membre)
- les prévisions 3h/6h (et al) sont inflatées (= amplification des écarts à la moyenne de l'ensemble) pour simuler l'effet des **erreurs modèle accumulées au cours de la prévision 3h/6h** (et al)

→ OBJECTIF : avoir une **meilleure représentation des erreurs modèle**

# Perturbation des paramètres de la physique :

## RPP = Random Parameter Perturbation

- opérationnel dans la **PEARP** (Prévision d'Ensemble ARPEGE)

- on perturbe (pdf uniforme) certains paramètres en définissant :

-- la **valeur minimale** possible

-- la **valeur maximale** possible

– On tire ensuite une **valeur aléatoire sur l'intervalle [ MIN ; MAX ]**

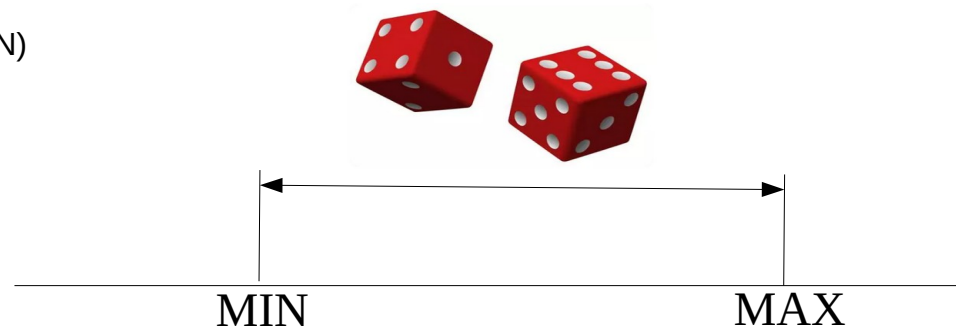
Exemple pour TFVR, paramètre du schéma micro-physique :

TFVR\_MIN = 3.0

TFVR\_MAX = 7.0

$TFVR = TFVR\_MIN + RAND * (TFVR\_MAX - TFVR\_MIN)$

RAND = nombre aléatoire entre 0 et 1



# Perturbation des paramètres de la physique :

## RPP = Random Parameter Perturbation

Méthode RPP, les questions qui se posent :

- quel schéma perturber ?
- quels paramètres ?
- quelle amplitude de perturbation ?
- interactions possibles entre les paramètres ?
- interprétation des résultats ?

→ **besoin de l'expertise des physiciens**

# Perturbation des paramètres de la physique :

## RPP = Random Parameter Perturbation

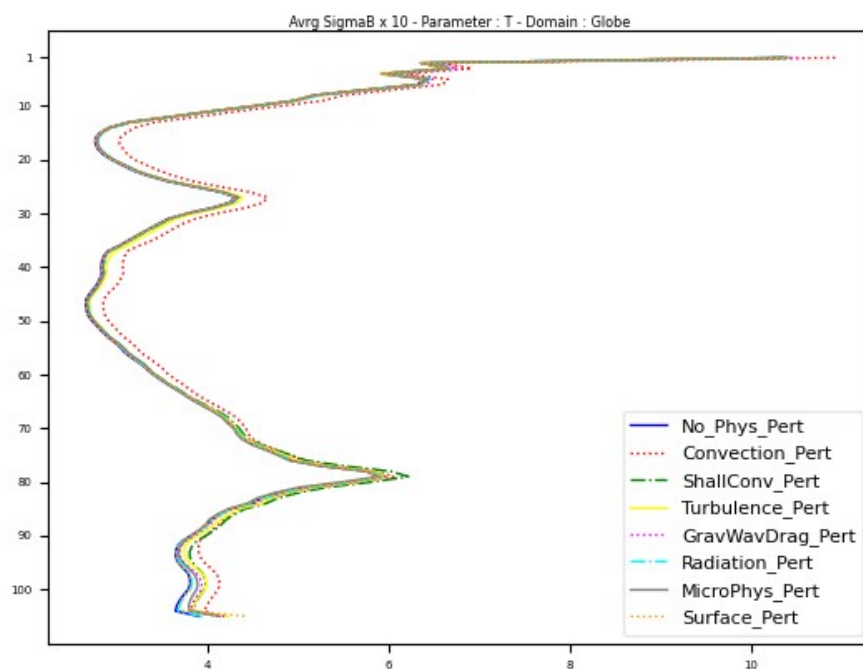
Les schémas perturbés sont :

- ▶ convection (Tiedtke)
- ▶ turbulence
- ▶ micro-physique
- ▶ convection peu profonde
- ▶ rayonnement
- ▶ trainée des ondes de gravité
- ▶ couche de surface

## Profils de sigmab, pour la température, en fonction du schéma perturbé

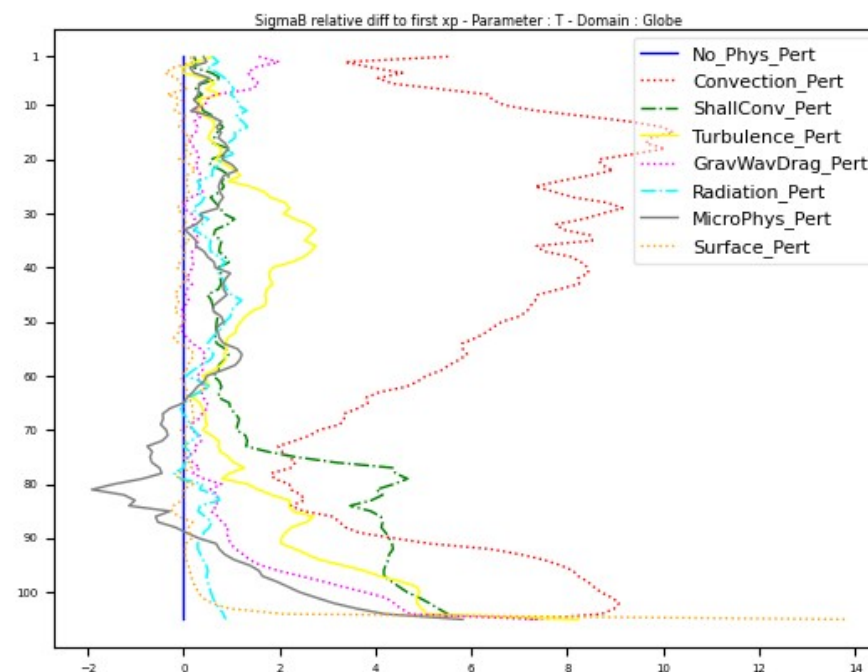
### valeurs brutes

Comparison of Random Parameters for different physic schemes



### valeurs relatives

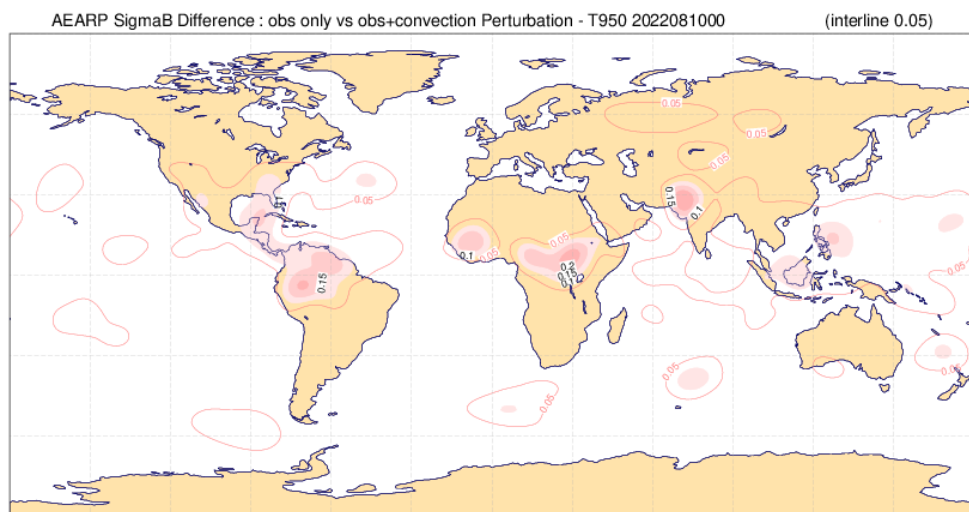
Comparison of Random Parameters for different physic schemes



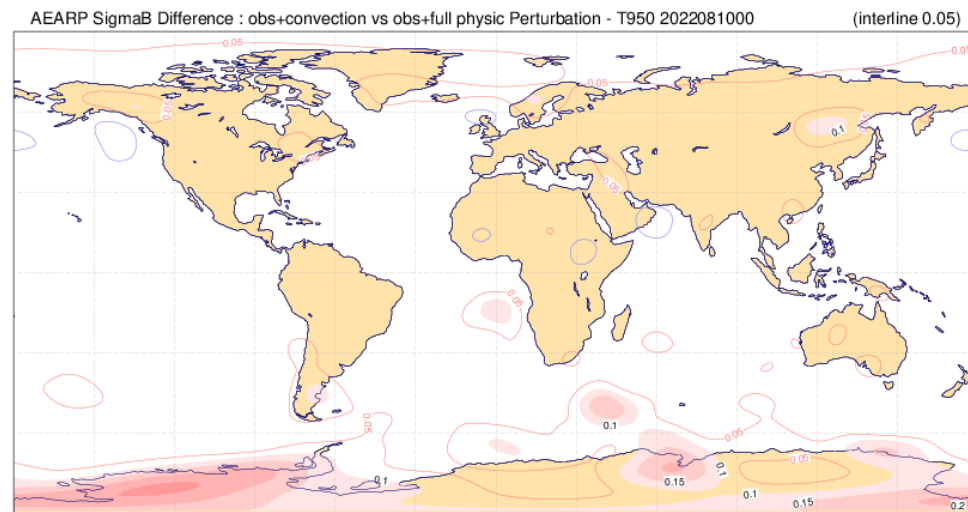
→ la perturbation du schéma de **convection** est la plus impactante, mais les **autres schémas** ne sont pas négligeables, notamment en **basse atmosphère**

## Cartes des différences de sigmab, pour la T950

Perturbation de la **convection** vs  
pas de perturbation de la physique



Perturbation des **autres schémas** & de la convection  
vs perturbation de la convection seulement



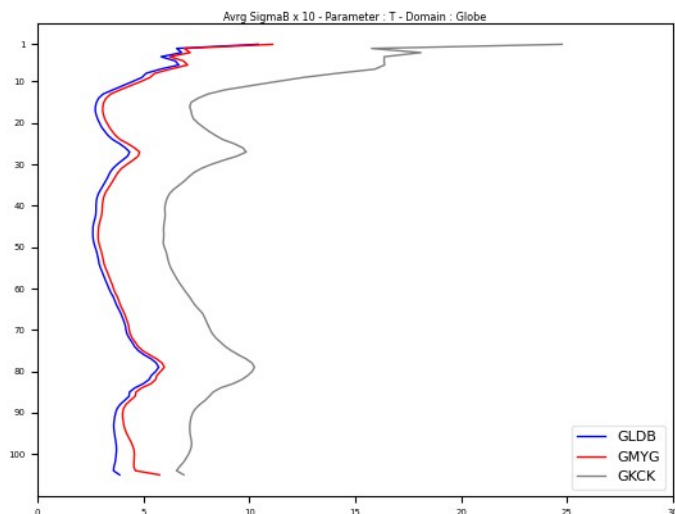
→ les augmentations de sigmab varient géographiquement en fonction des schémas physiques perturbés

# La perturbation des paramètres de la physique suffit-elle ?

Profils de sigmab **sans perturbation de la physique (bleu)**, avec perturbation de **tous les schémas (rouge)**, comparés à la **version oper (gris)**

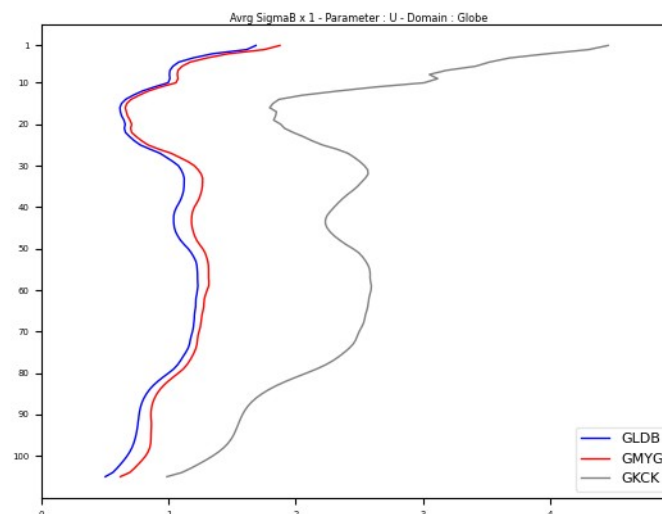
## Température

pertobs (GLDB), pertobs+perphys (GMYG), pre-dble (GKCK), 12/08/2022 0h



## vent zonal

pertobs (GLDB), pertobs+perphys (GMYG), pre-dble (GKCK), 12/08/2022 0h



→ une étape d'inflation reste nécessaire

Mais, utilisation d'un **facteur d'inflation fixe (verticalement et temporellement)**,

pour mieux garder les variations verticales et temporelles des sigmab's issus d'AEARP\_RPP

# Plan

1. Introduction

2. Chaîne opérationnelle et Evolutions

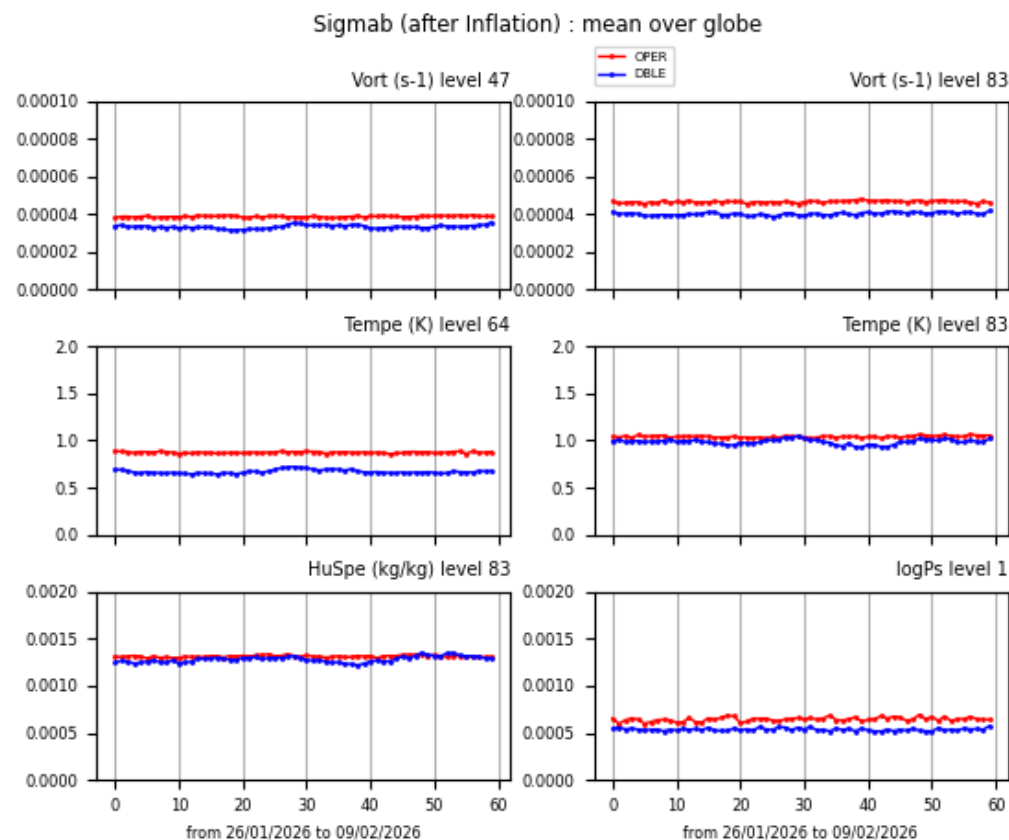
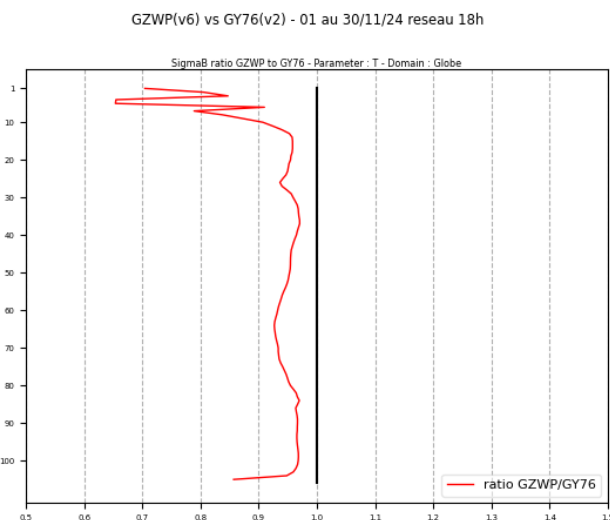
**3. Evaluation**

Qu'est-ce qu'une bonne Assimilation d'Ensemble ?

- x Fournit une dispersion pertinente
- x Permet de faire une bonne analyse
- x Permet de faire de bonnes prévisions après l'analyse
- x Permet de faire de bonnes prévisions d'ensemble
- x Permet d'avoir une bonne AE sur domaine à aire limitée
- x ...

# Etape 1 de l'évaluation : comportement AEARP

- Dispersion de l'ensemble
- covariances d'erreur



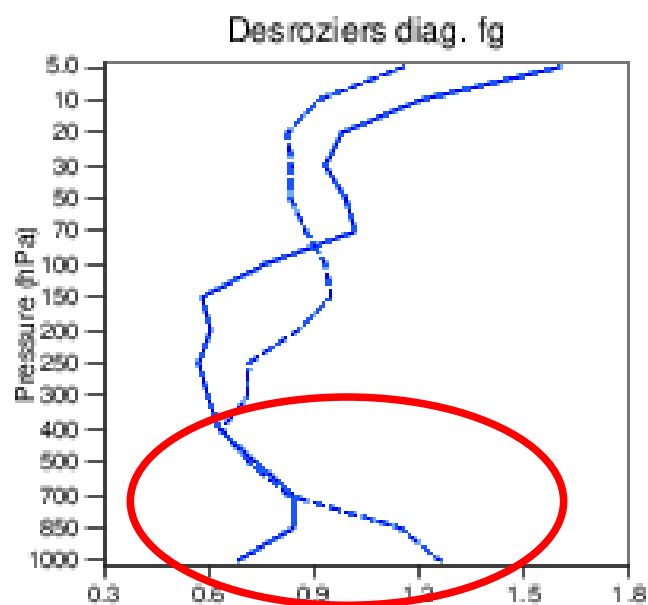
But : 1) alerter sur un comportement anormal,  
2) prévenir l'impact sur les applications en aval (perturbations initiales PEARP, coupleurs AEARO)

# Etape 1 de l'évaluation : comportement AEARP

— Sigmab's spécifiés AEARP

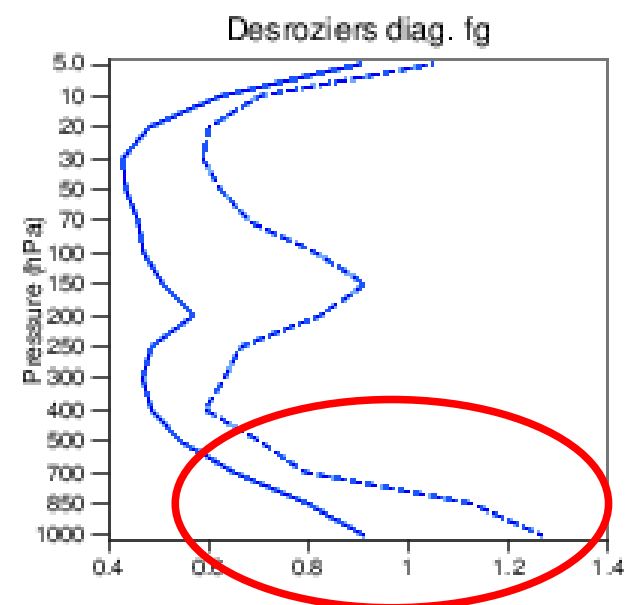
- - - Sigmab's diagnostiqués (Desroziers et al 2005)

GSF5.4dvarfr 2023011300-2023011300  
TEMP-T N.Hemis  
Used T



**REF** (avec inflation variable et dans le cycle assim)

GSFO.4dvarfr 2023011300-2023011300  
TEMP-T N.Hemis  
Used T



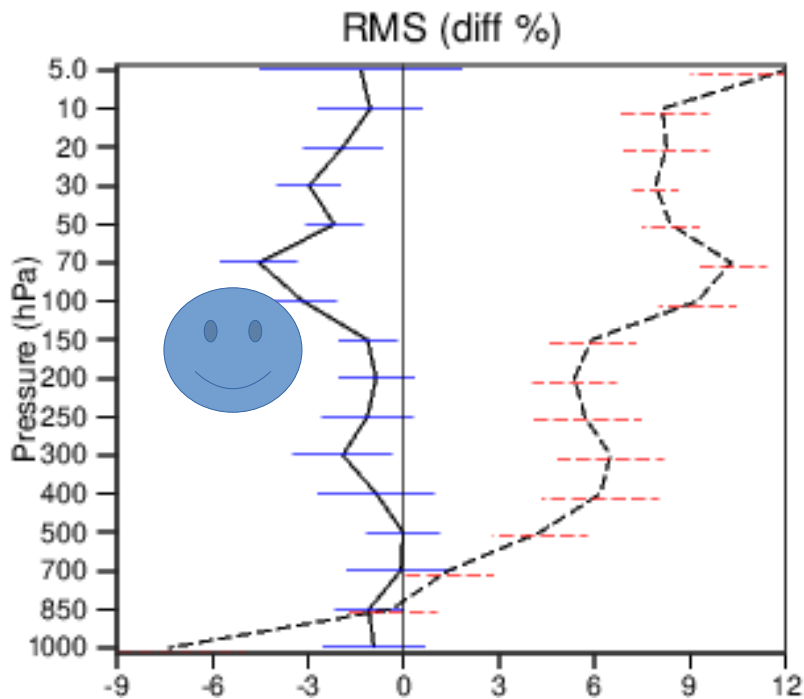
**RPP** (avec inflation fixe et hors-cycle assim)

→ L'utilisation de RPP (+inflation fixe offline) (vs REF avec inflation variable online) améliore le réalisme des variations verticales de dispersion, en particulier dans les basses couches.

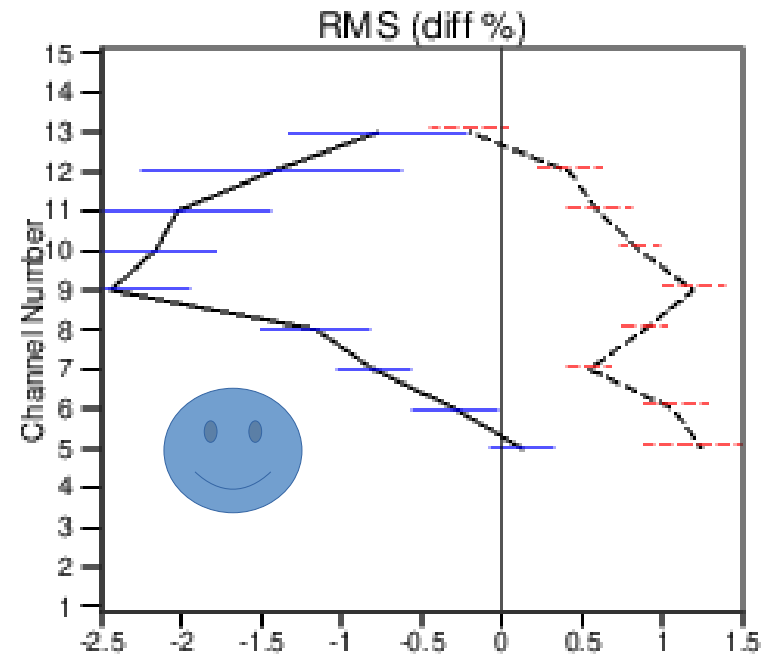
# Etape 2 de l'évaluation : qualité de l'analyse

OBSTAT : % RMS diff obs-ébauche (en bleu) et obs-analyse (en rouge)

TEMP-T N.Hemis  
Used T



AMSU-A SATEM N.Hemis  
Used Tb  
NOAA-15, NOAA-18, Aqua, NOAA-19... amsuA

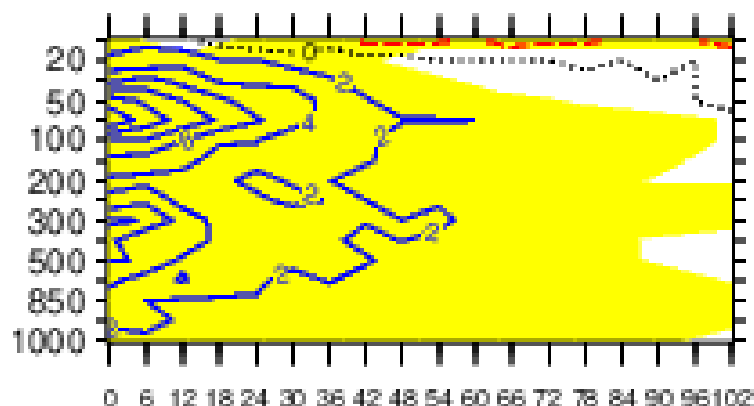


→ Impacts positifs sur la qualité des ébauches sur Nord20 (la nouvelle analyse colle un peu moins aux obs).

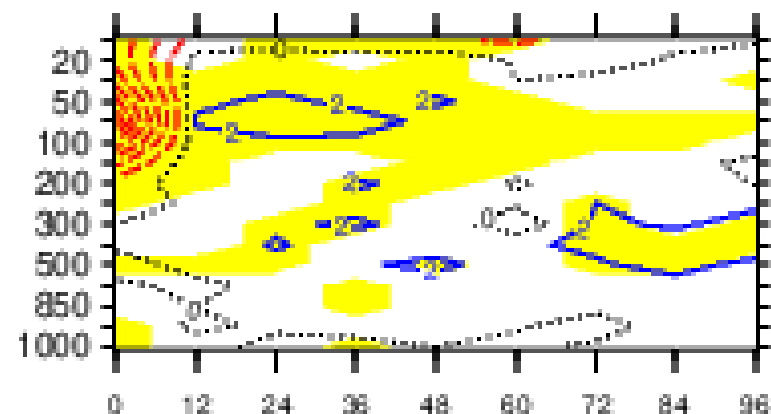
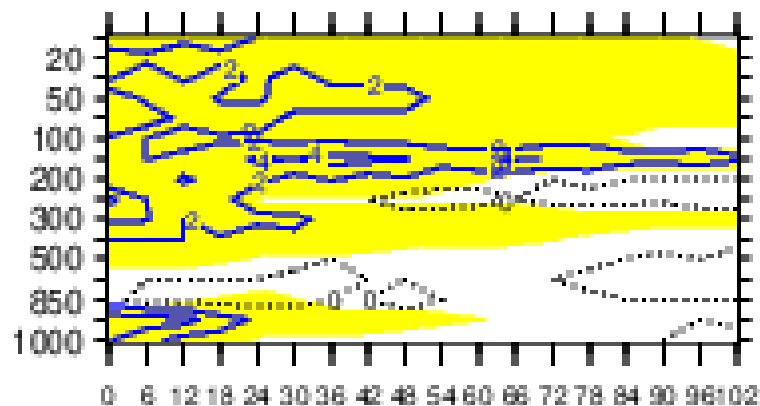
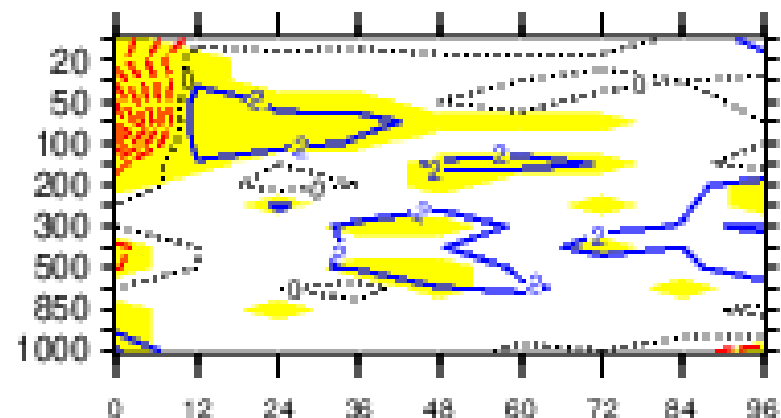
# Etape 3 de l'évaluation : qualité des prévisions déterministes issues de l'analyse 4DVar

% de différences de RMS sur 2 mois et demi (ref = dbl 48t1, avec inflation online)

Température, Nord20, AC



Température, Europe, TP



Température, Sud20, AC

Vent, Europe, TP

→ impacts positifs significatifs sur plusieurs domaines & paramètres



## Etape 5 de l'évaluation : qualité de l'AE AROME

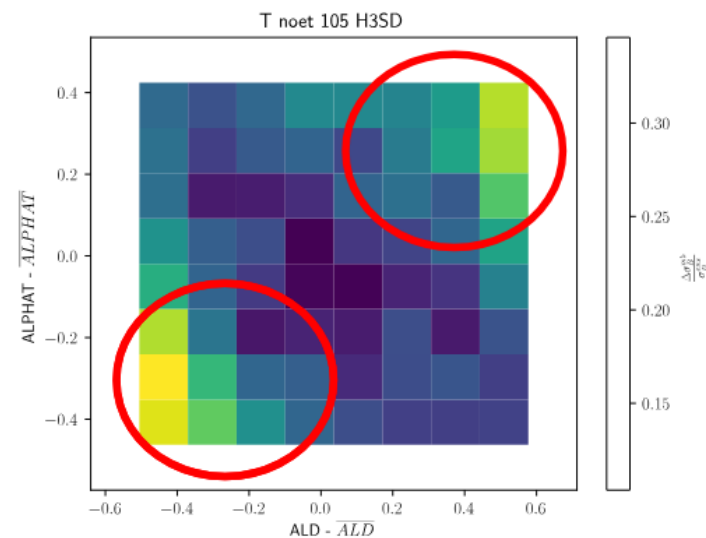
On peut reprendre tous les critères précédents, appliqués sur un système à aire limitée :

- Dispersion pertinente
- Analyse de bonne qualité
- Qualité des Prévisions déterministes
- Qualité des prévisions d'ensemble

# Pistes pour améliorer la perturbation de la physique

## Amélioration de la méthode RPP :

- perturbation d'autres paramètres
- réglage plus fin des fourchettes de perturbation des paramètres
- perturbation interdépendantes
  - résultats de Samuel Bene
  - méthode projet High Tunes



- Illustration des zones de l'espace des paramètres a priori favorables à la dispersion.

## Ajout de la méthode SPP (Stochastic Perturbation of Parameters)

## Autres perturbations :

- dynamique (point de départ du schéma Semi-Lagrangien),
- opérateurs d'obs,
- dans le couplage CMO (Couche de Mélange Océanique)

**Modification nb membres** : les premiers tests ont montré un apport bénéfique sur les prévisions déterministes

**Modification résolution** : réflexion en cours

**Modifications algorithmiques de l'assimilation** : 4DVar → 4DEnVar

**Utilisation IA**

- ▷ Système complexe, beaucoup d'interdépendances → collaboration et interactions
- ▷ Plusieurs utilisations → évaluation délicate mais indispensable
- ▷ Pistes d'améliorations nombreuses

Merci de votre attention !

- Diagnosis of observation, background and analysis-error statistics in observation space – Desroziers G., Berre L., Chapnik B., Poli P. - QJR 131 – 2005
  - Data-Driven Emulation of Background-Error Variance – Pan W., Bonavita M., Chrust M., Holm E. - ECMWF TM 936 - 2026
  - Expériences sur la représentation de l'erreur modèle dans la PEARP – Descamps L. - pers. Comm. – 2019
  - Perturbation des paramètres de la physique dans l'assimilation d'ensemble ARPEGE – Girardot N., Berre L., Arbogast E., Descamps L., Borderies M. - Réunion équipe Assimilation – 2024
  - Rapport de stage IENM2 – Bene S. – pers. Comm. - 2025
- + AMA 2026 :
- Présentation de l'AEARO – Valérie Vogt – juste après
  - Présentation High Tunes – Maëlle Coulon-Decorzens, Fleur Couvreur – juste avant

**Convection** (Tiedke) : RMFDEPS, RPRCON, ENTRORG, DETRPEN, CUDUV

**Turbulence** :AKN, ALD, ALPHAT

**Micro-physique** :TFVI, TFVL, TFVS, TFVR, RAUTEFR, RAUTEFS, RQICRMIN, RQICRMAX, RQLCR, RACCEF, RRIMEF, RAGGEF, REVASX, 6RDTFAC, RHCRIT1, GRHCMOD

**Gravity Wave Drag** :GWDSE, GWDCD, HOBST

**Rayonnement** :RRATSEA, RRATLAND, RRATDRI, RCADECOR, RCBDECOR, RSIGMA2, RFACDICE

**Surface** :XRIMAX

**Convection peu profonde** :OTADJS, XENTR, XATPERT, XBTPERT, XDTPERT, XAW, RKFBTAU, RKFBNBX