

A dramatic sunset over a body of water. The sky is filled with large, dark, billowing clouds, with bright sunlight breaking through from behind them, creating a golden glow and long rays of light. The sun is low on the horizon, reflecting its golden light across the calm water. In the foreground, a wooden pier extends from the bottom left towards the center of the frame. A small boat is visible in the distance on the water.

*Assimilation de
données*

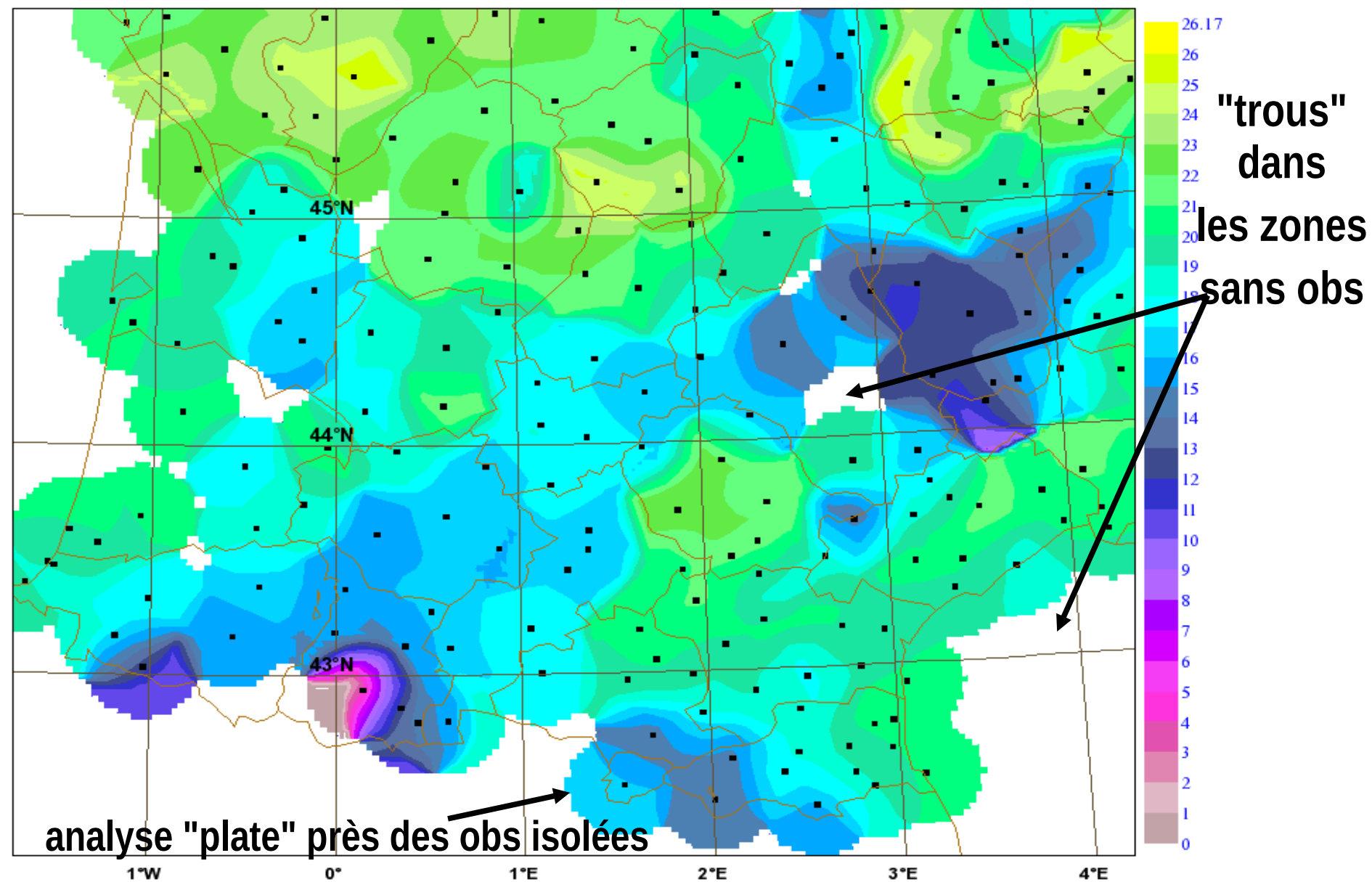
Cycle d'Assimilation

Quelle analyse faire dans les trous du réseau d'observation ?

Comment s'aider d'un modèle numérique pour faire une séquence d'analyses ?

- Utiliser une ébauche
- Combinaison avec un modèle dans un cycle d'assimilation
- Croissance d'erreurs
- Fonction de structure
- Nudging

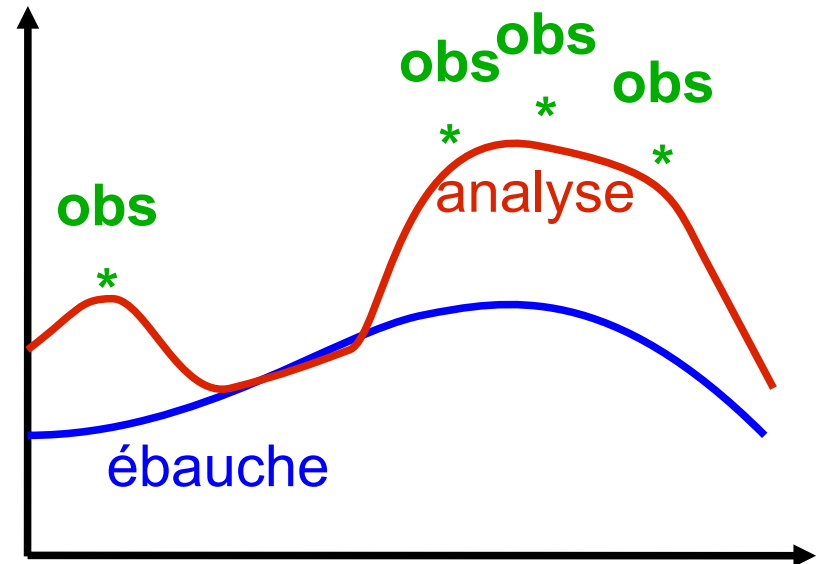
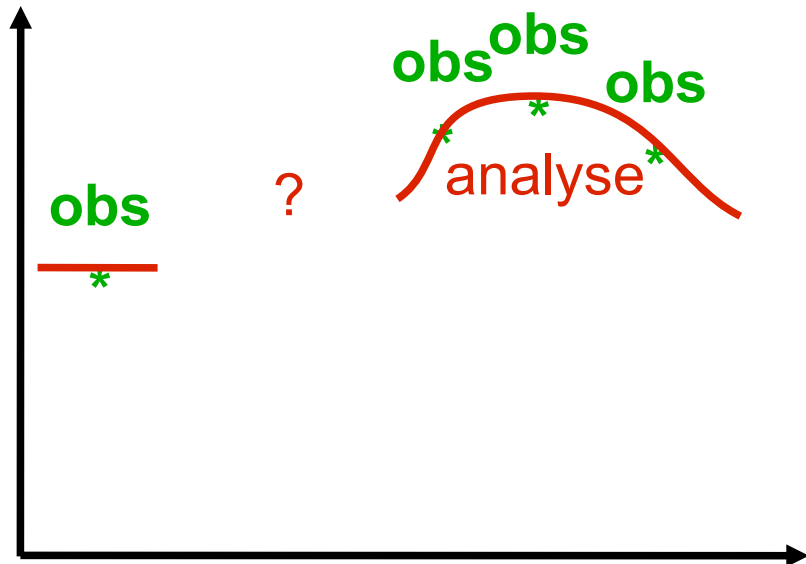
exemple d'analyse Cressman 2D (obs de température de l'air)



Utilisation d'une ébauche

Idée: au lieu d'interpoler les obs, **on interpole leur écart à un champ prédéfini:**

- analyse à froid sans ébauche: $x_a(i) = F[y_j, i]$
- analyse incrémentale avec ébauche: $x_a(i) = x_b(i) + F[y_j - x_b(j), i]$
- déf. **ébauche** x_b : estimation *a priori* (= avant d'avoir les observations) du système à analyser.
- ex d'ébauche : climatologie, ancienne analyse ou prévision.
- l'ébauche joue le rôle d'une "obs fictive" disponible partout
- loin de toute observation, on aura en général : analyse=ébauche.



jargon de l'assimilation avec ébauche

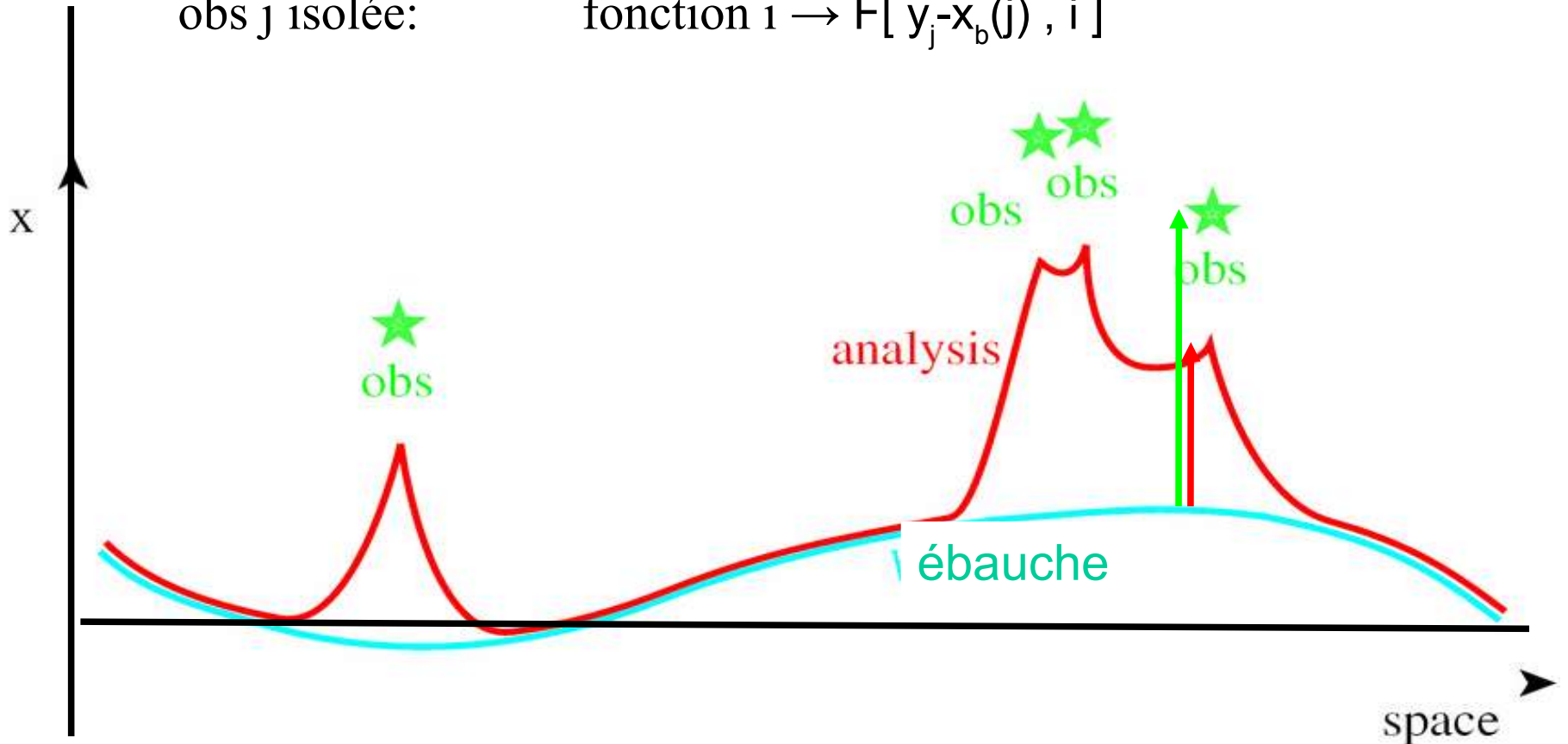
- synonymes: first-guess, background, prior

- définitions: $x_a(i) = x_b(i) + F[y_j - x_b(j) , i]$

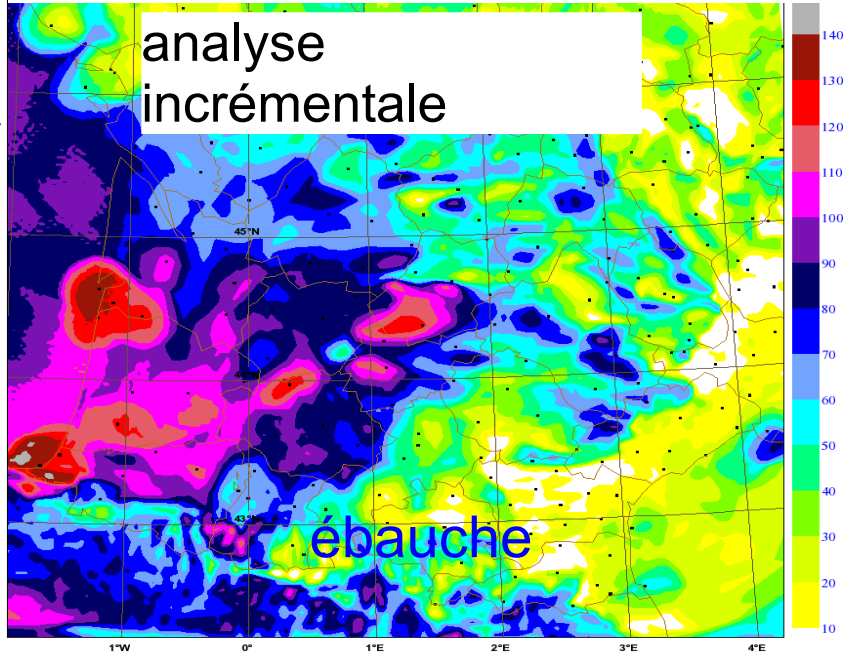
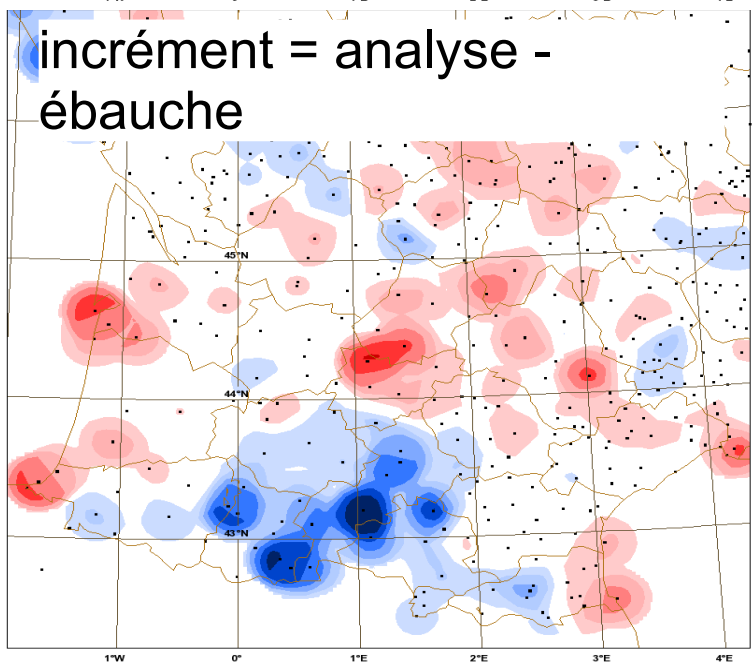
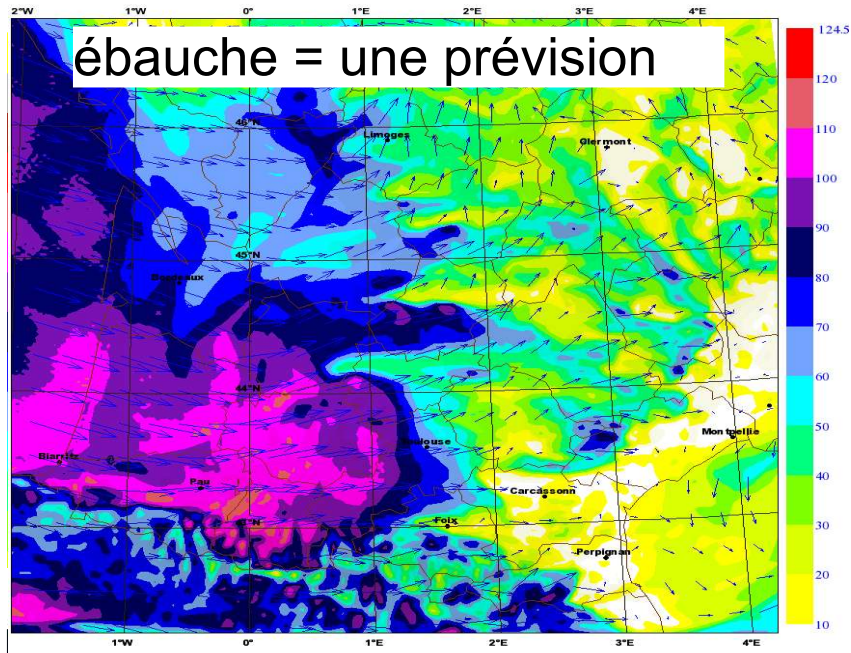
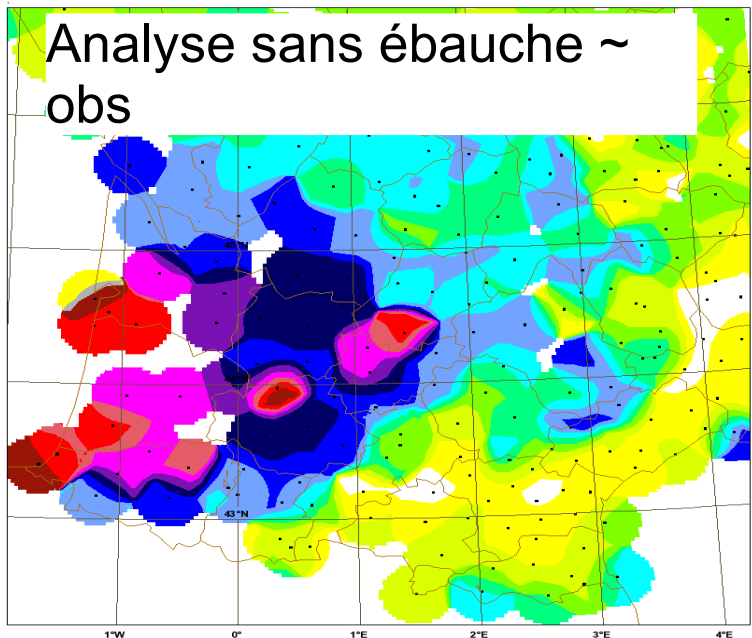
- incréments**: différences analyse - ébauche $x_a - x_b$

- innovations**: différences obs - ébauche $y_j - x_b(j)$

- fonction de structure**: forme de l'incrément en présence d'une obs j isolée: fonction $i \rightarrow F[y_j - x_b(j) , i]$

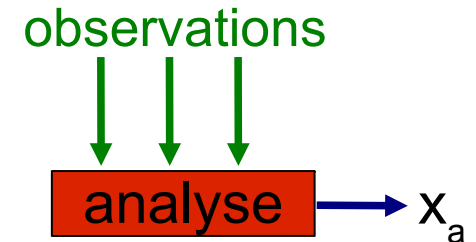


Ex : analyse avec et sans ébauche (rafales de vent)

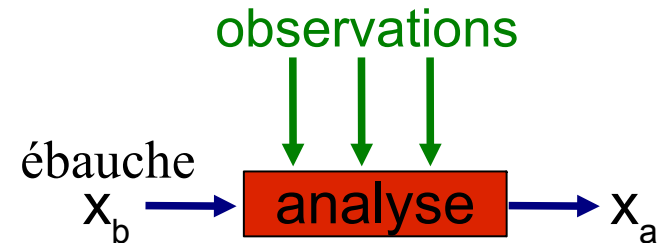


Assimilation = analyse + prévisions

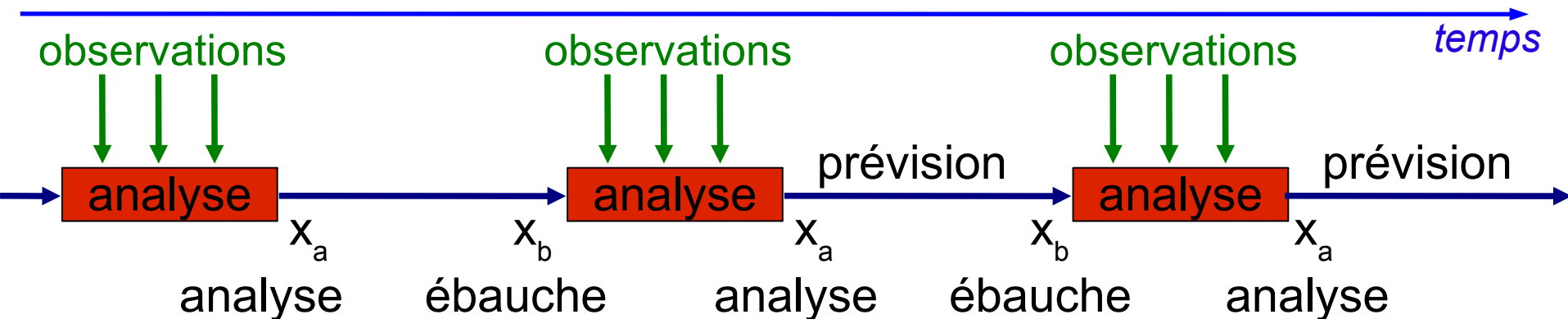
- L'**analyse** combine des observations:



- L'**ébauche** est une estimation a priori de l'état à analyser, par ex:
 - une climatologie
 - une prévision récente

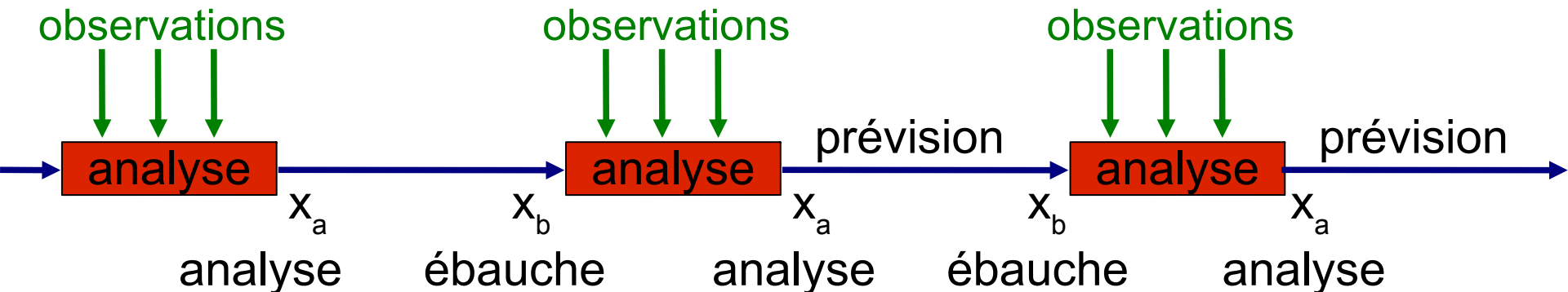


- L'**assimilation** combine des observations et un modèle, par exemple sous forme séquentielle:



Cycle d'assimilation

- *assimilation de données*: processus d'analyse combinant une **méthode d'analyse** et un **modèle d'évolution** du système x à analyser
- objectif : *combiner de manière optimale les observations, et les lois d'évolution contenues dans le modèle, pour produire une séquence d'analyses cohérentes entre elles qui **accumulent l'information***
- *méthode la plus commune = 'assimilation séquentielle'*: **laisser évoluer x par le modèle, en le corrigeant par des analyses intermittentes**. Les analyses rappellent x à la réalité. La dynamique du modèle va propager l'information observée vers les variables non-observées du modèle.



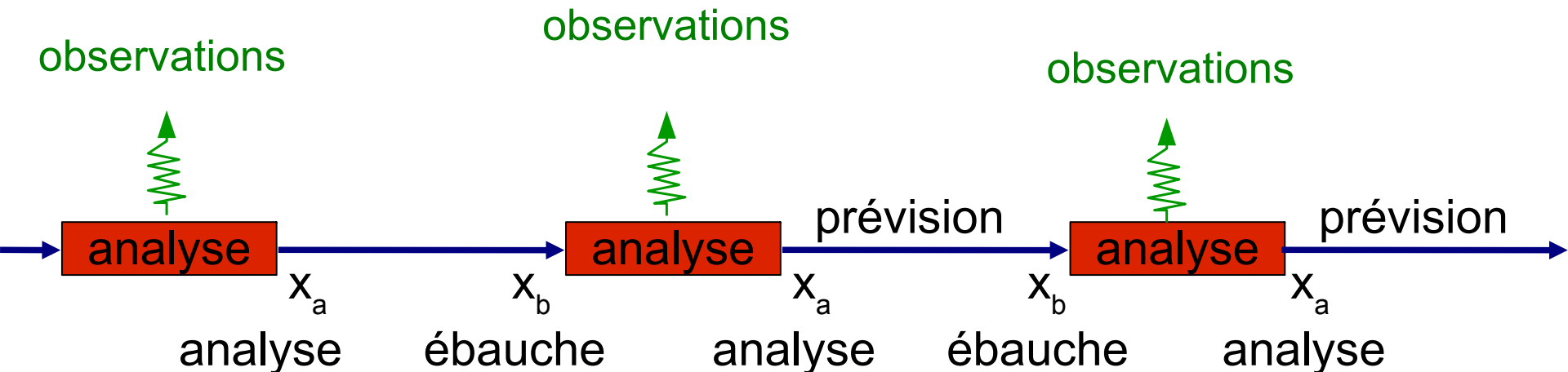
Cycle d'assimilation: technique du 'nudging'

Méthode d'assimilation ultra-simple: on rappelle linéairement l'état du modèle vers les observations:

$$x_a = x_b + \alpha (y - x_b) \quad \text{avec } 0 < \alpha < 1$$

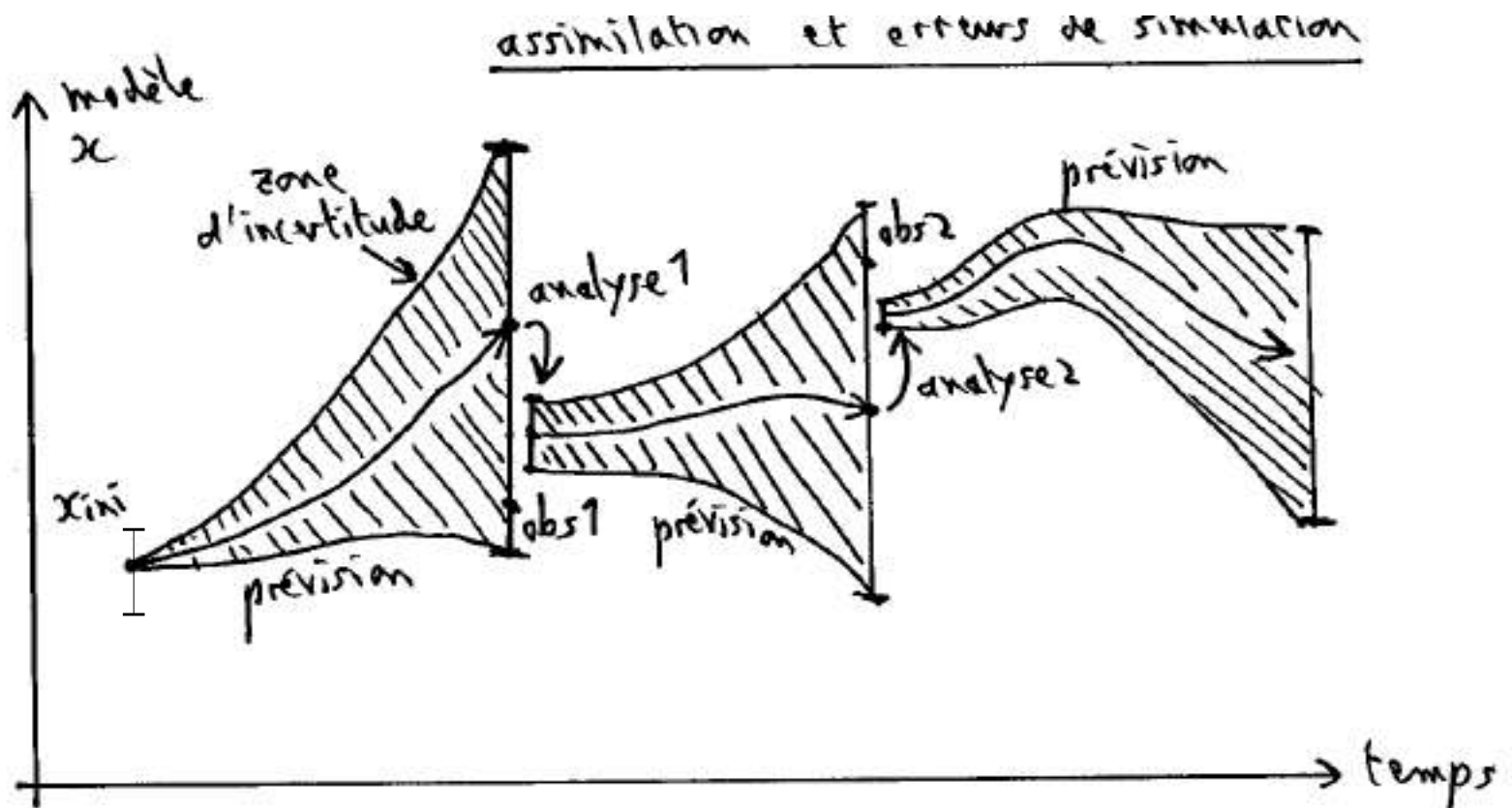
- nécessite que y observe directement des variables du modèle (pas de H)
- le coefficient de rappel α est empiriquement choisi
- spatialisation des incréments à définir empiriquement

Analogie à un filtre récursif (moyenne glissante): $x_{i+1} = (1-\alpha) x_i + \alpha y$

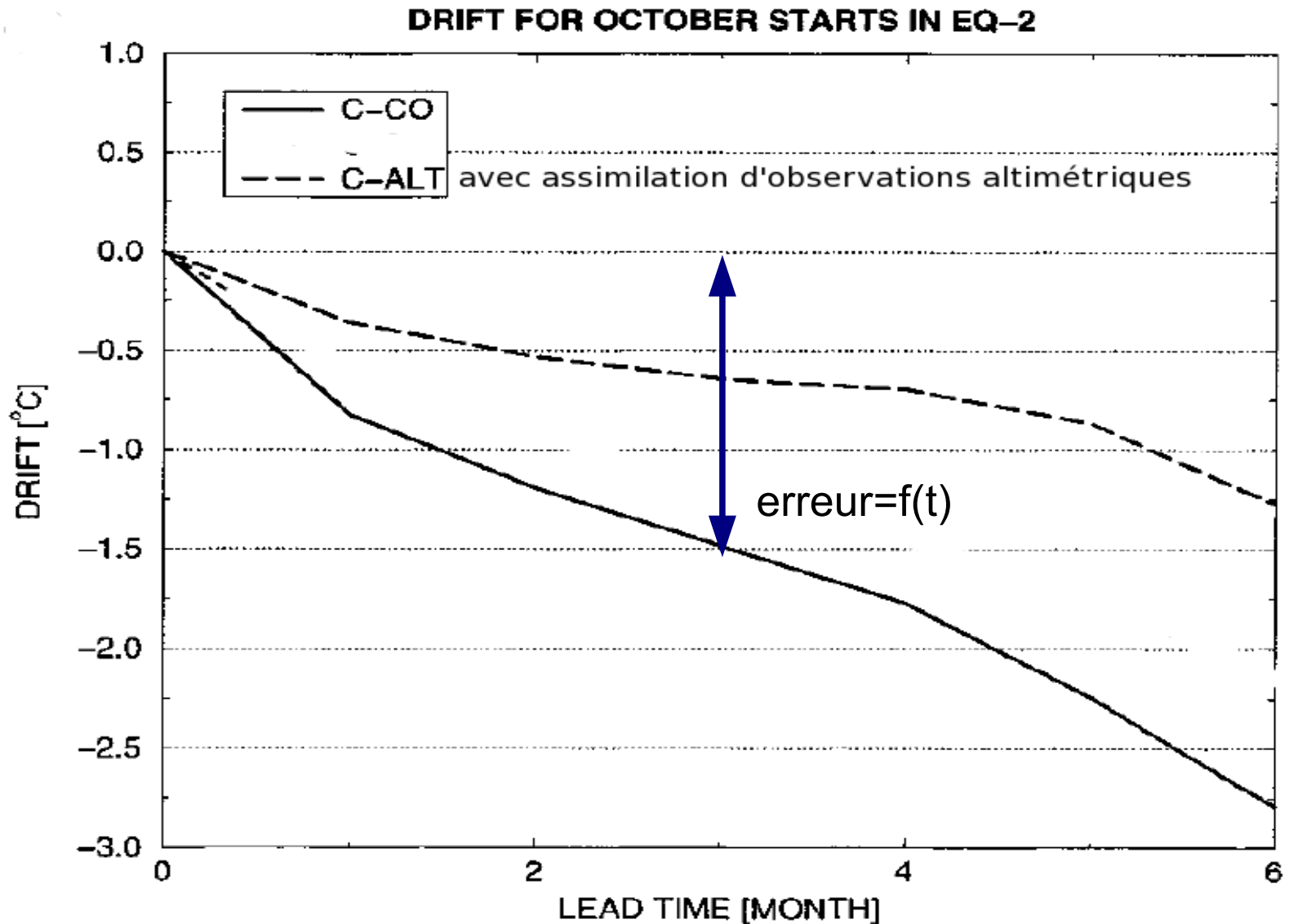


Cycle d'assimilation: rôle des erreurs de prévision

- en général, les erreurs de prévision croissent au fil du temps, à cause des erreurs de modélisation et de leur amplification chaotique: il y a une incertitude (une 'barre d'erreur') sur les ébauches
- l'analyse réduit ces erreurs grâce à l'apport d'information observée

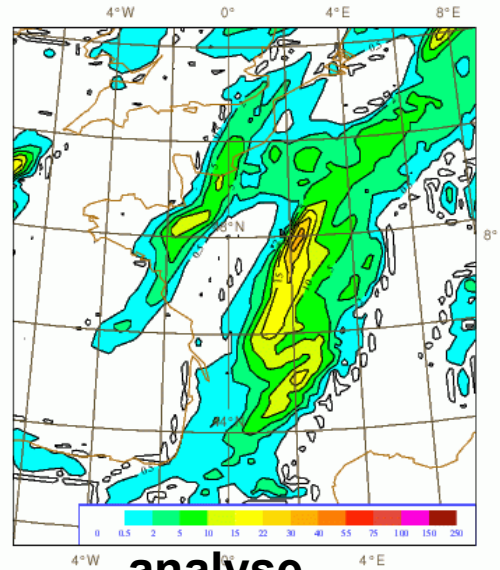


Cycle d'assimilation: exemple de croissance des erreurs de prévision (T dans un modèle d'océan)

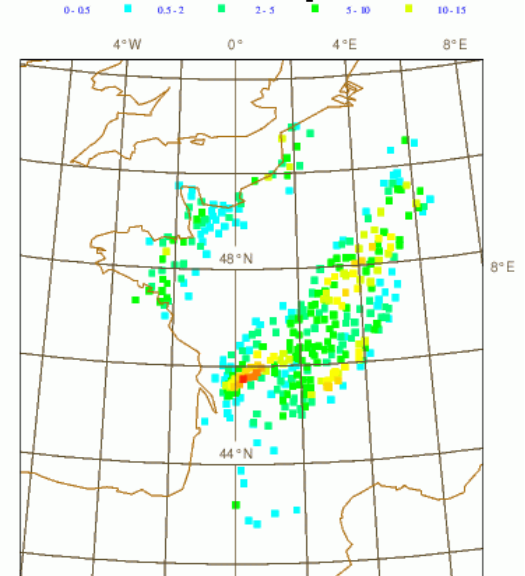


Impact d'une amélioration de l'analyse sur une prévision de pluies en flux de SW

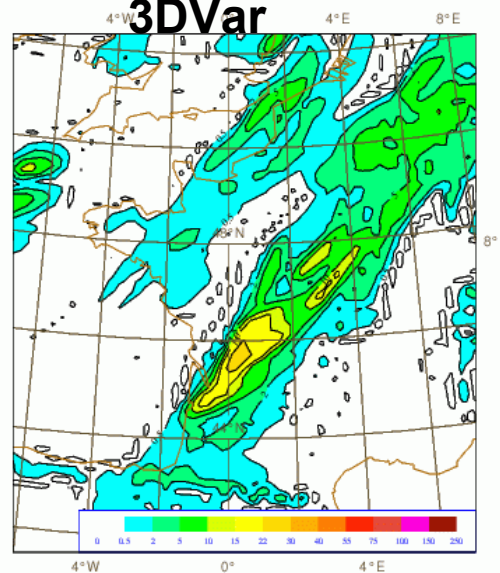
analyse Arpege



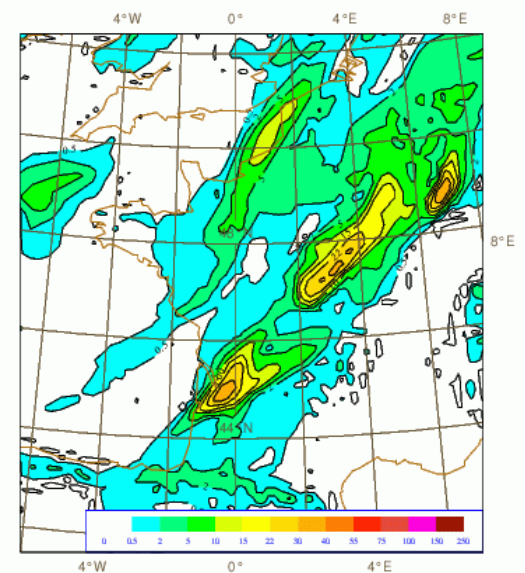
vérité: obs pluviomètres



analyse 3DVar



3DVar + obs satellites



Comment choisir les fonctions de poids?

caractérisation statistique des structures à analyser

- Une analyse ne doit représenter que des structures qui peuvent exister dans la nature (ex: avec les bonnes échelles spatiales)
- Le modèle (donc l'ébauche) est censé produire de telles structures
- Une analyse incrémentale doit **corriger des erreurs de prévision** du modèle
- Donc *l'incrément doit représenter des erreurs probables de prévision*

L'*amplitude* des erreurs est connue via les innovations: $y(j) - x_b(j)$

Il reste à caractériser la **forme des incréments (les fonctions de structure)**

- le plus important: la dimension spatiale des erreurs (rayon d'influence R)
- on peut essayer de caractériser en plus la structure spatiale probable de ces erreurs

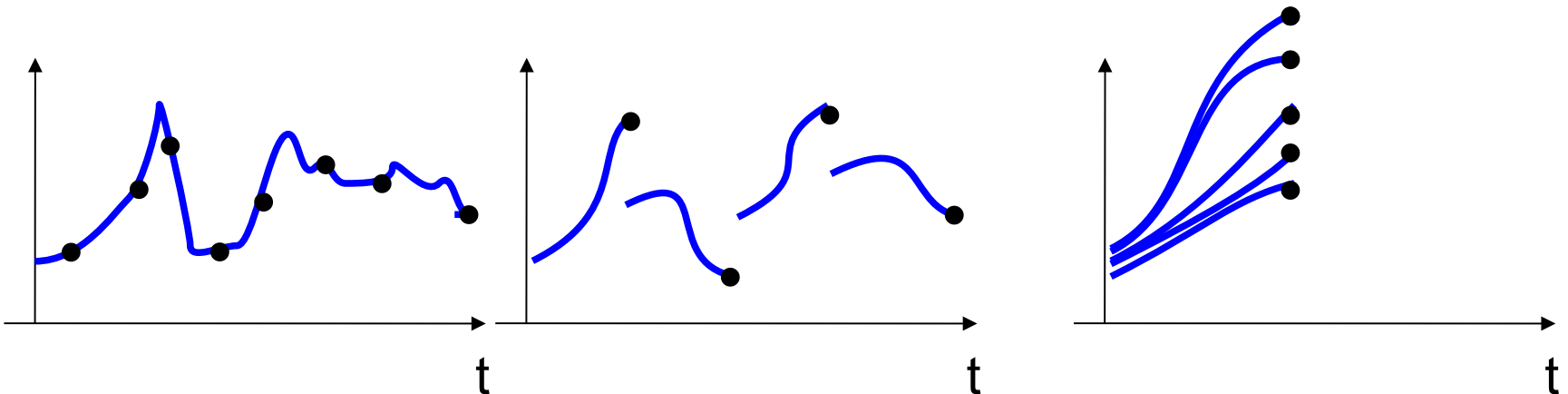
Outil: statistiques des **covariances des champs d'ébauche**
= variogrammes et ensembles

Comment construire un échantillon approximatif d'erreurs d'ébauche

But: **calculer des variances et covariances de champs** (de leurs erreurs) à l'instant d'une analyse

Hypothèse: on peut les estimer en moyenne spatio-temporelle, à partir d'un **ensemble de prévisions** ayant les mêmes propriétés statistiques que les erreurs. Ex:

- plusieurs états successifs d'une seule prévision
- ou, plusieurs prévisions successives de même longueur que x_b
- ou, plusieurs prévisions au même instant que x_b , perturbées aléatoirement (*prévision d'ensemble*)

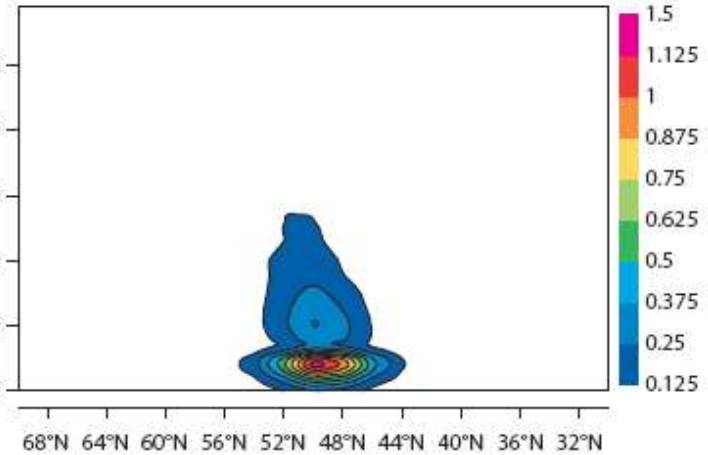
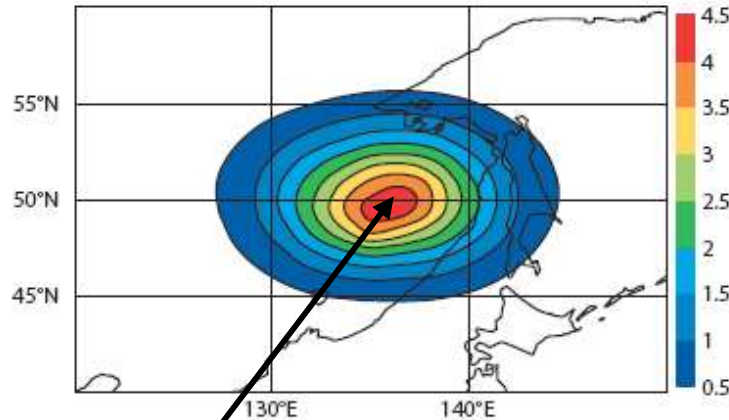


Exemple de covariances d'erreurs d'ébauche

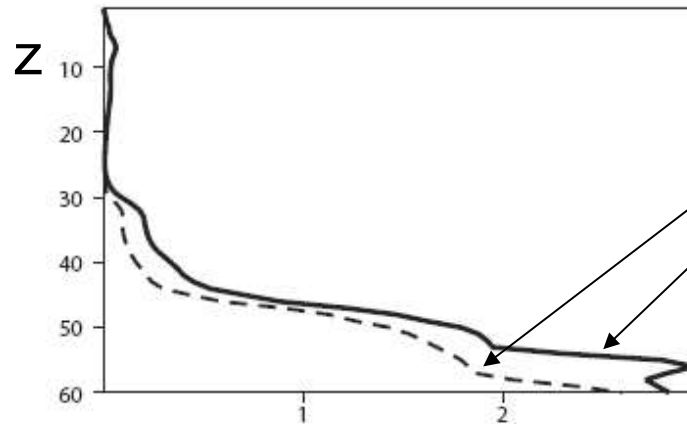
avec un historique de prévisions GEMS de formaldéhyde

autocovariance, coupe horizontale

autocovariance, coupe verticale



obs
(autocovariances
avec 1 intégrale
verticale de HCHO)



variances
d'analyse et
ébauche,
profil vertical

Figure 15: Total column HCHO analysis increment (top left) in 10^{15} mol/cm², vertical cross section of analysis increment at 136.4°E in ppb (top right), and HCHO analysis (solid) and first-guess (dashed) profiles in ppb (bottom) from a single HCHO observation placed at 49.4°N, 136.4°E on 20060701, at 01:31:18 hours. The observation has a value of 30×10^{15} mol/cm² and an error of 20%, and is 15.7×10^{15} mol/cm² higher than the background.

A dramatic sunset over the ocean. The sky is filled with large, dark clouds, with the sun breaking through, creating a bright glow and rays of light. The sun's reflection is visible on the water's surface. In the foreground, a wooden pier extends into the water. A small boat is visible on the water in the distance.

*Merci pour votre
attention*