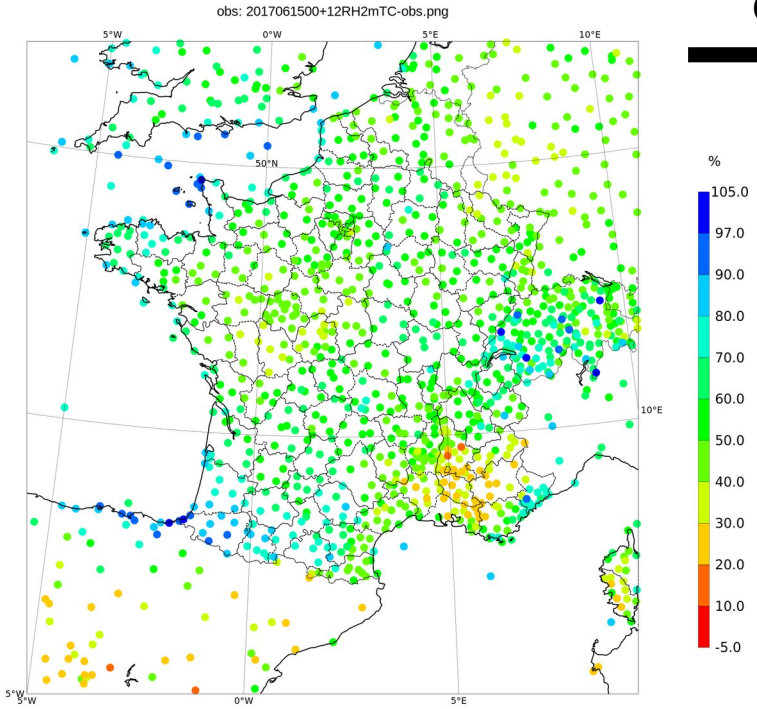
Assimilation de données

Introduction

- Notion d'état de modèle
- Vecteur d'état
- Notion d'observation
- Réseaux d'observation
- Opérateur d'observation
- Erreur instrumentale, de représentativité

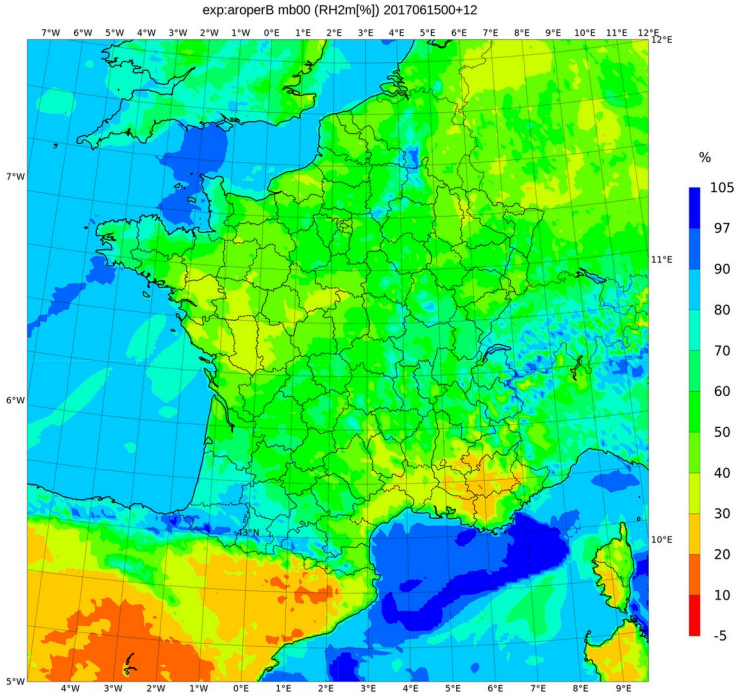
Pb d'analyse typique: spatialiser des données éparses

des observations



opération d'analyse

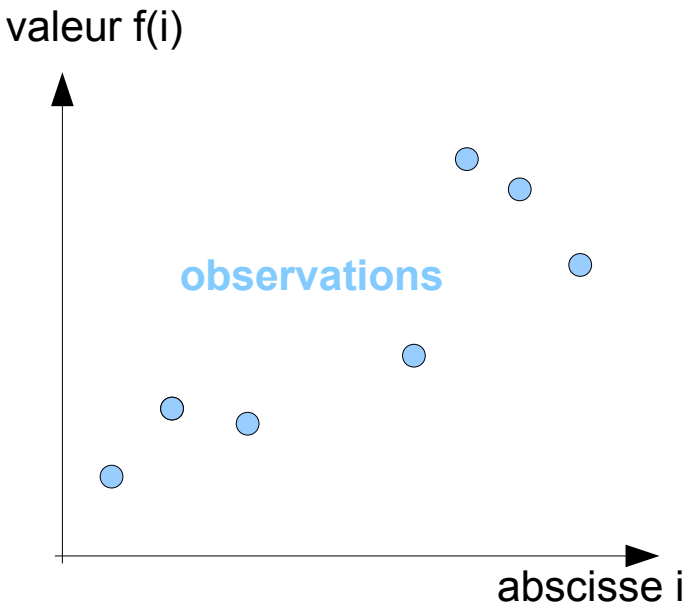
analyse d'un champ sur une grille



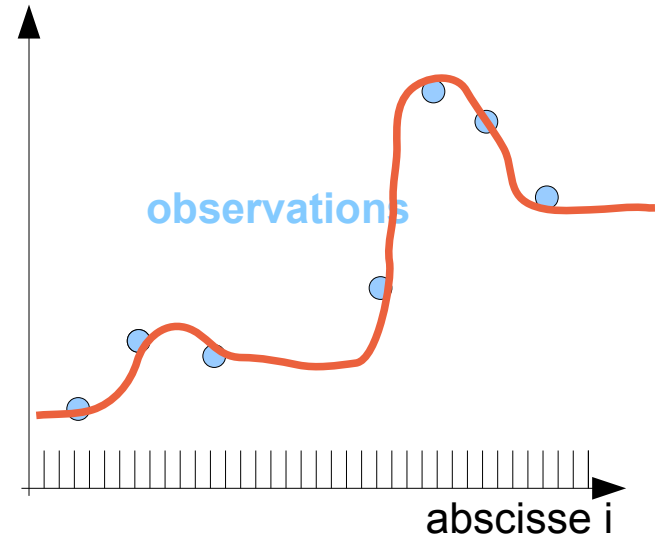
Définition d'un état de modèle = 'vecteur d'état' x

- c'est la représentation numérique d'un système physique à étudier:
  - atmosphère ou océan sur une grille 3D =f(x,y,z)
  - cartographie 2D d'une banquise =f(x,y)
  - état de sol et de la végétation dans une colonne 1D = f(z), etc.
- en général, ce sont des valeurs physiques sur une grille de discrétisation
- ou, si on définit x par une base de fonctions:
  - coefficients de Fourier
  - représentation par polynômes: x regroupe les coefficients
  - etc...
- **but de l'analyse**: trouver le x le plus cohérent possible avec les observations.

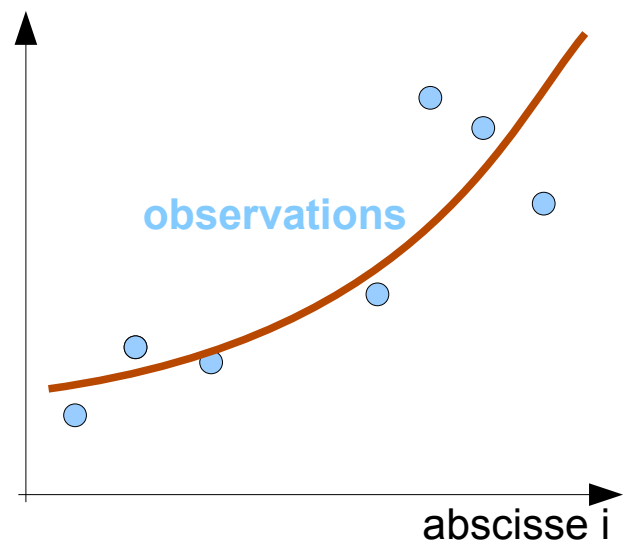
Définition d'un vecteur d'état x : illustration 1D



analyse
sur une grille
fine
$x=(x_i)_{i=1...n}$



analyse
polynomiale
$f(i)=ai^2+bi+c$
$x=(a,b,c)$



Notion de vecteur d'état de modèle

Modèle = représentation d'un système réel par un **vecteur d'état** noté **x**

Pour former **x** il suffit d'empiler dans un tableau 1D toutes les valeurs de tous les champs modèles (grilles 2D, 3D...)

En pratique les modèles ont une **résolution finie**, donc

- certains aspects de la réalité ne peuvent pas être représentés
- L'état idéal du modèle $\mathbf{x}_t$ n'est qu'une approximation de la réalité
- Même dans un état optimal, le modèle ne peut pas coller parfaitement à toutes les obs : il reste une **erreur de représentativité**

Notion d'opérateur d'observation: pour comparer un modèle à des mesures

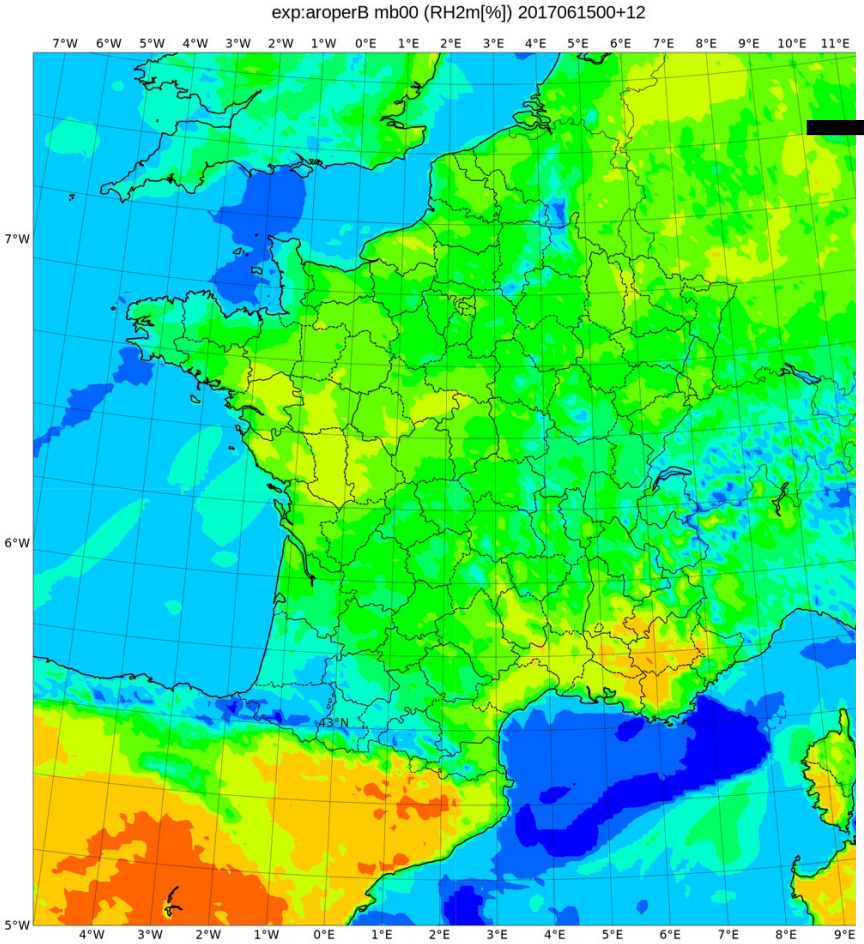
- déf: x = *vecteur d'état de modèle*
- déf: y = *valeur mesurée*
- l'*opérateur d'observation* est une application H de x vers y qui simule la valeur mesurée

- si le modèle et l'obs sont en parfait accord: H(x)=y
- sinon l'innovation y-H(x) mesure l'écart entre modèle et obs
- (si on sait définir une application de y vers x, l'analyse est trivialement définie à partir des obs)

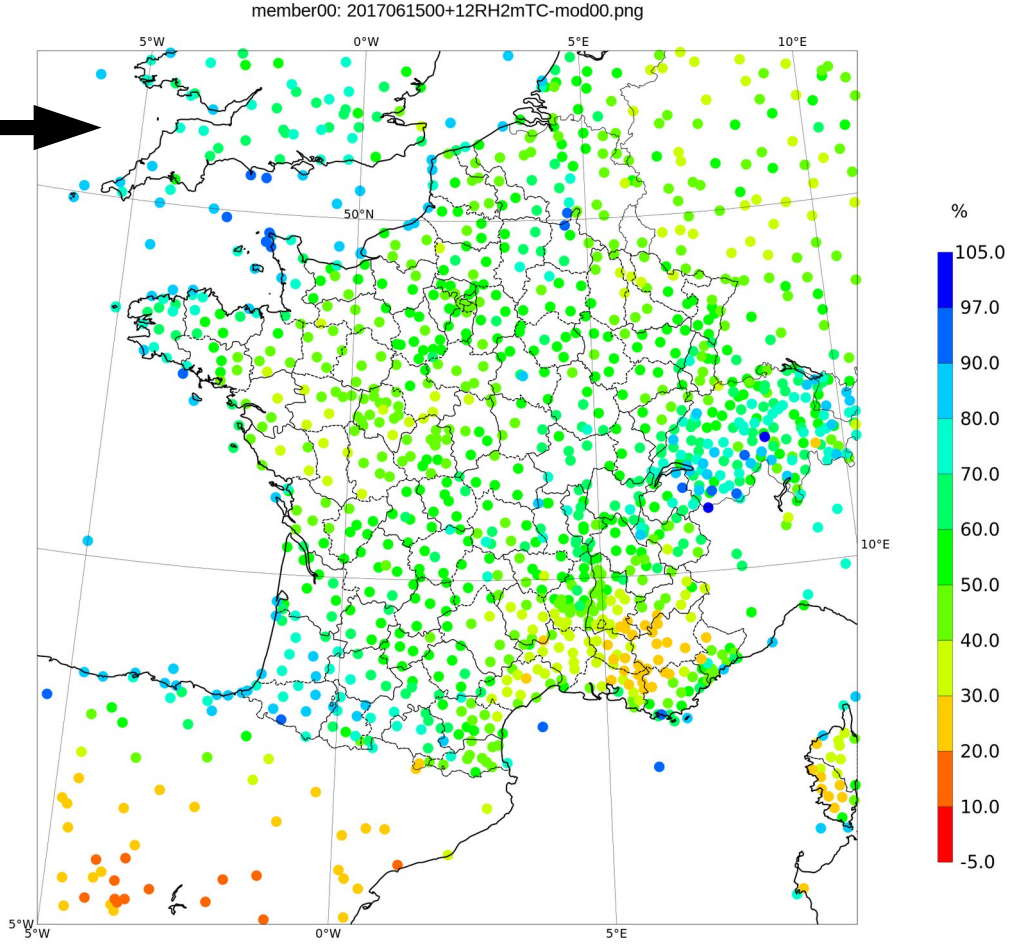
- si y est une variable représentée dans le modèle, H est une interpolation spatiale.
- sinon, H contient un processus de simulation instrumentale qui peut être complexe

Exemple d'opérateur d'observation: interpolation 2D

Prévision x de HU2m sur une grille modèle



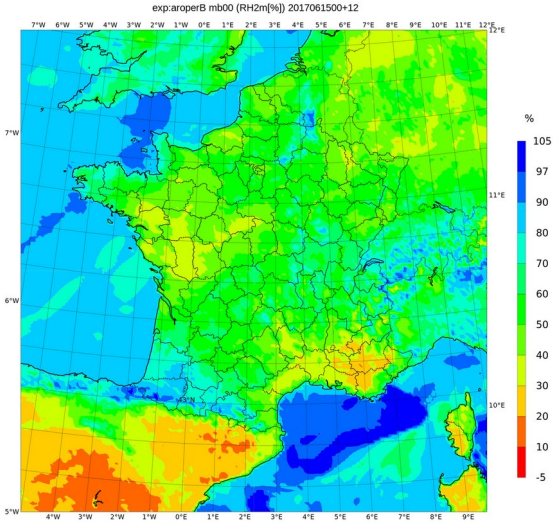
Prévision H(x) de HU2m aux points d'observation



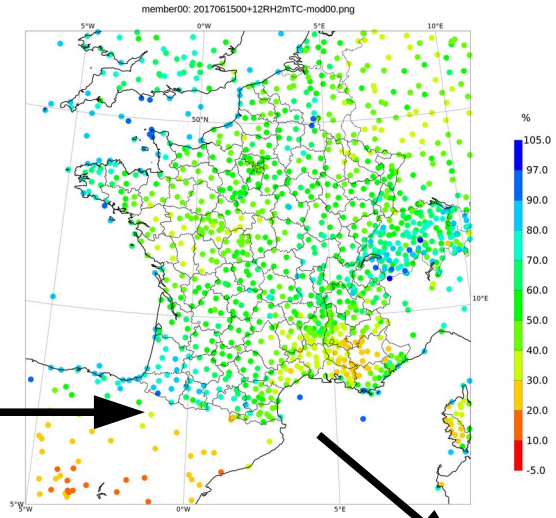
M2OASC assimilation - F Bouttier

Erreurs de prévisions: (prévision - obs)= H(x)-y

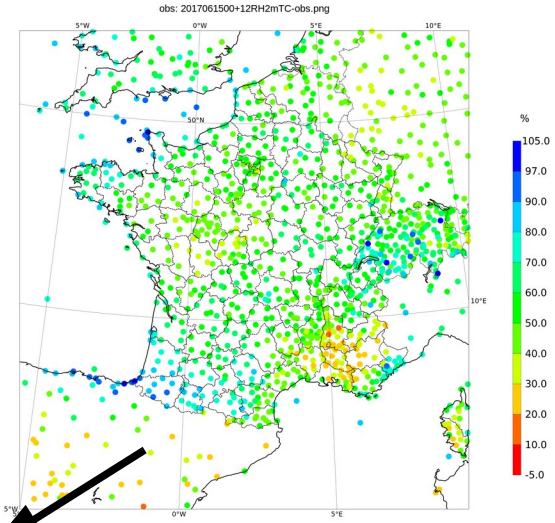
Prévision x



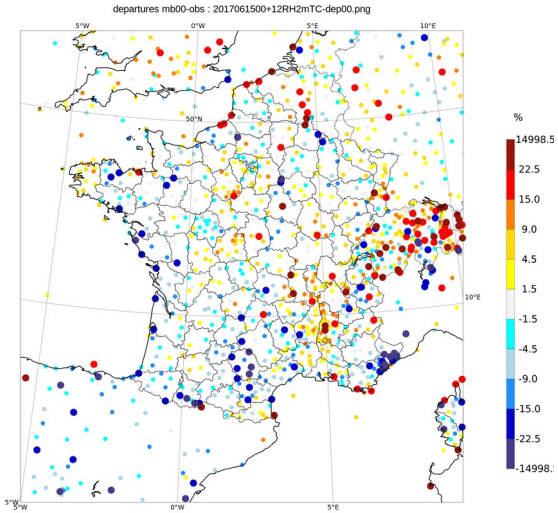
Prévision interpolée H(x)



Observations y



Prévisions-Observations H(x)-y



M2OASC assimilation - F Bouttier

Erreurs de prévisions: (prévision - obs)= H(x)-y

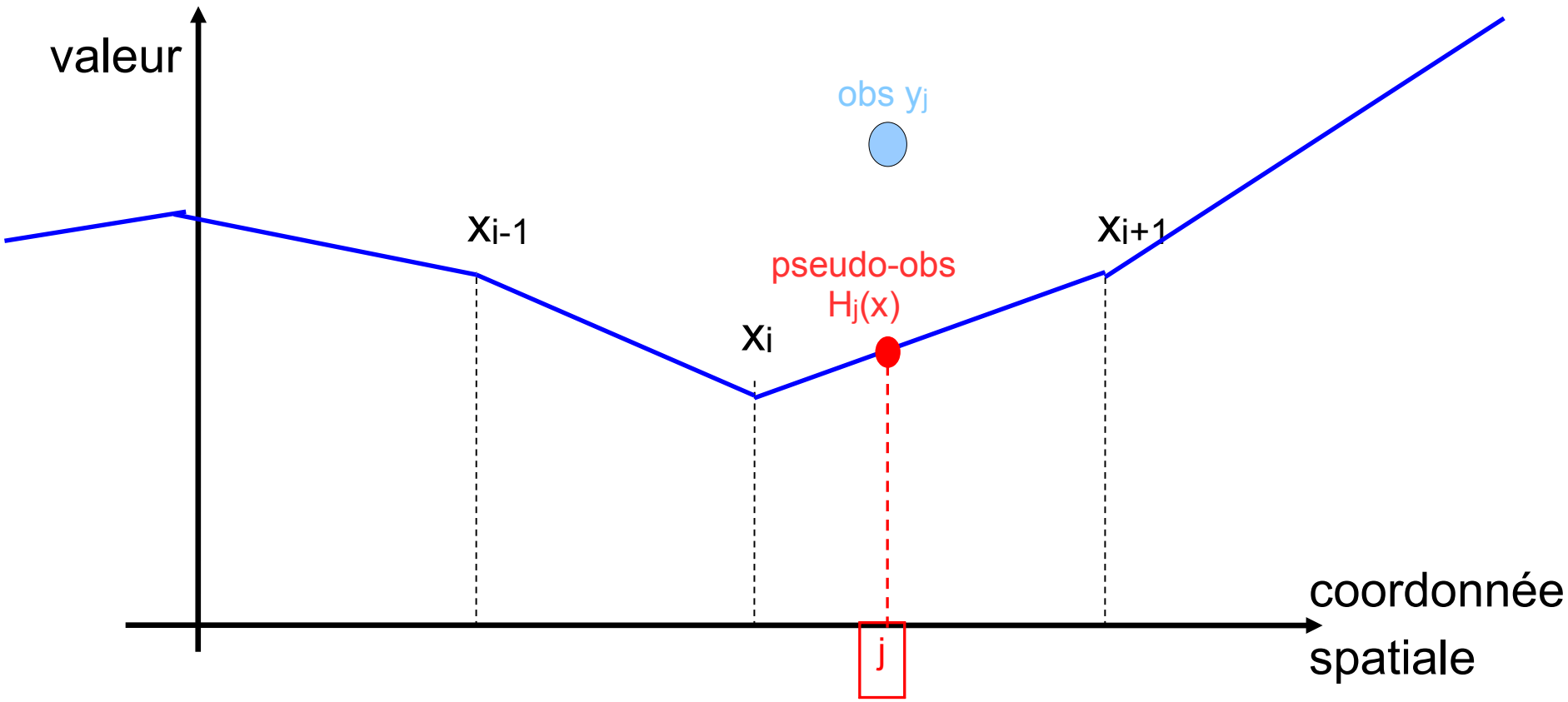
lat	lon	vecteur y obs	vecteur H(x) model	H(x) - y model-obs
38.023	-4.064	41.911	26.991	-14.92
38.026	-7.867	34.562	36.642	2.08
38.079	-7.927	31.672	36.612	4.94
38.002	-1.171	26.060	24.430	-1.63
38.102	-1.877	17.943	21.693	3.75
38.233	-1.381	28.057	22.797	-5.26
38.232	-6.017	25.871	30.711	4.84
38.283	-0.571	64.151	50.361	-13.79
38.333	-4.609	20.029	26.169	6.14
38.344	-3.535	25.045	23.895	-1.15
38.373	-0.494	65.917	49.727	-16.19
38.298	-6.764	24.830	31.050	6.22
38.399	-1.038	21.987	22.917	0.93
38.518	-3.567	23.947	20.547	-3.40
38.542	-1.703	27.111	18.111	-9.00
38.537	-7.888	31.962	31.932	-0.03
38.498	-5.121	36.006	28.926	-7.08
38.602	-1.159	14.002	19.792	5.79
....	....	....	....	....

l'opérateur H dépend de la géométrie du modèle et de celle des obs (pas de leur valeur):

Opérateur d'observation ponctuel:

cas simple:

- x est un champ 1D
- y est une obs en un point j
- $x \rightarrow H(x)$ est une interpolation 1D au point j



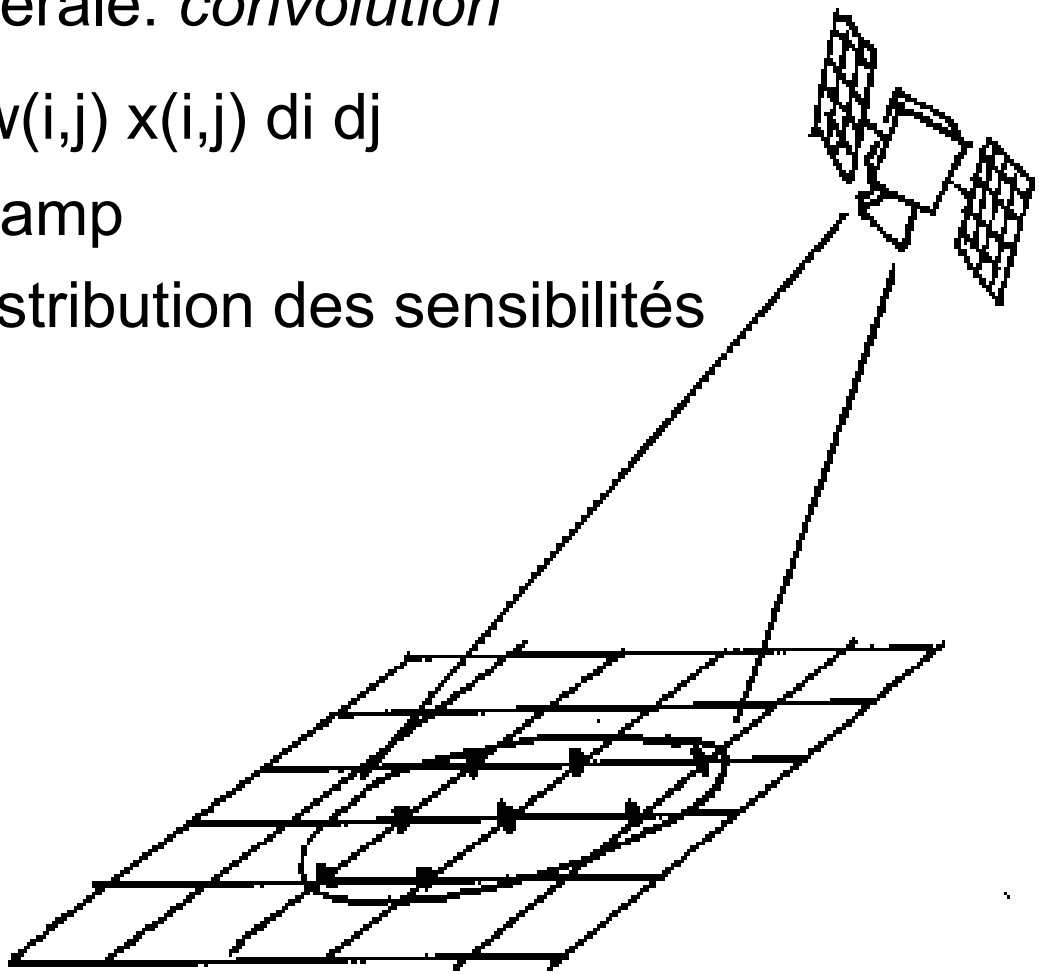
Opérateur d'observation intégré sur un volume/pixel de mesure

forme générale: *convolution*

$y = \int_{pixel} w(i,j)\, x(i,j)\, di\, dj$

x est le champ

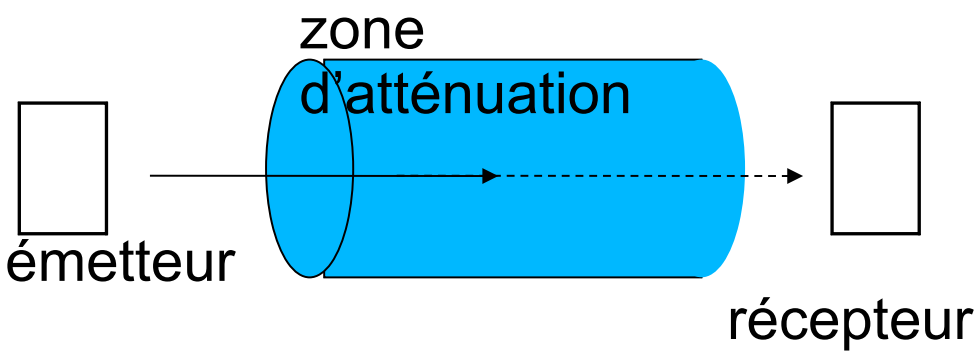
w est la distribution des sensibilités

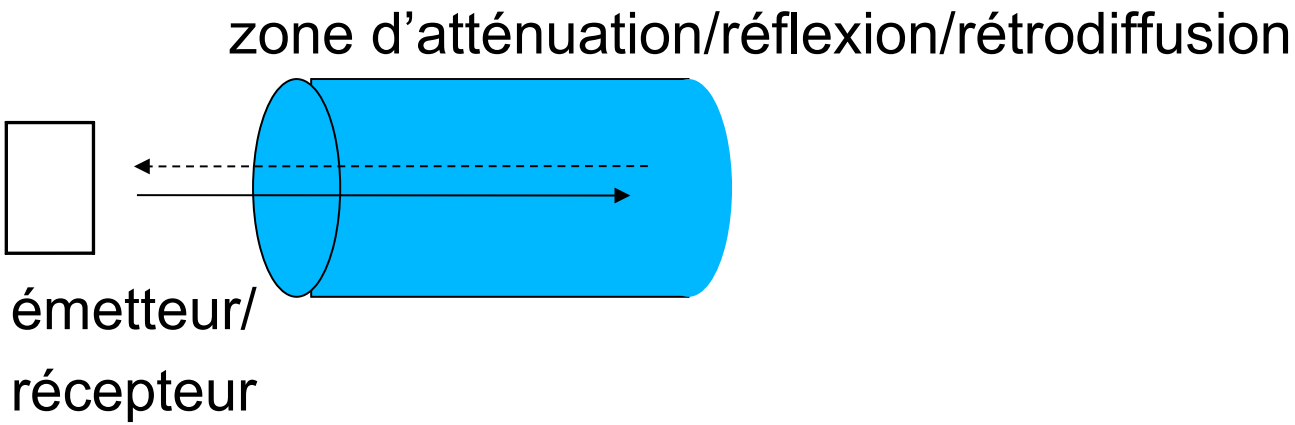


Modélisation de la mesure en télédétection

- tenir compte de la source de rayonnement et du processus de mesure dans le volume physique exploré

- l'opérateur d'observation est une convolution entre le volume vu et les propriétés du milieu traversé



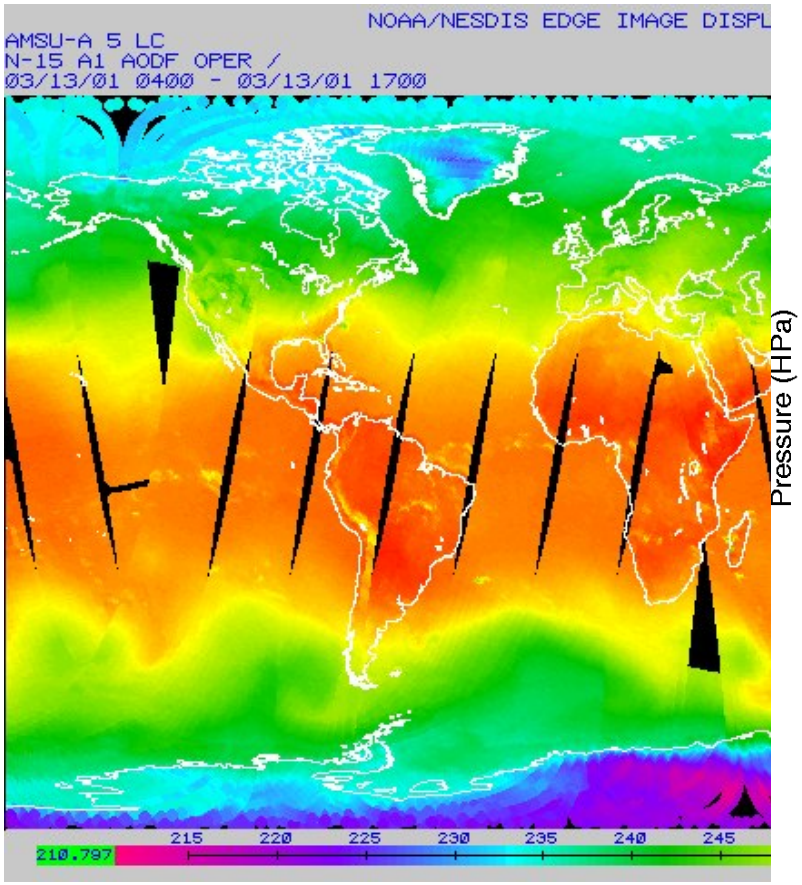


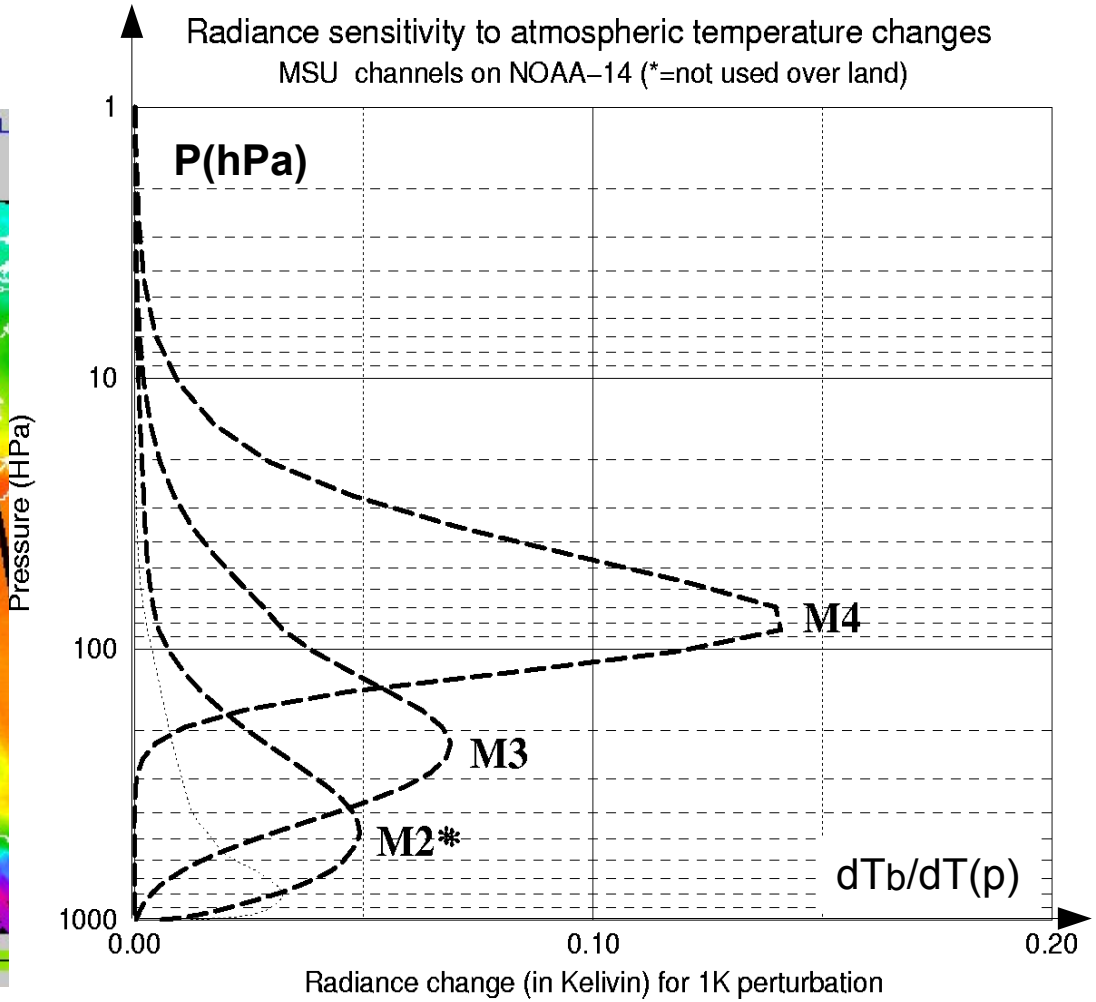
opérateur d'obs classique: radiance atmosphérique

radiances microondes d'un satellite défilant = intégrale de T & Hu dans le champ de visée avec fonction de poids différente dans chaque fréquence

$$T_b = \sum a_i T_i + \sum b_i q_i + c\, T_s$$

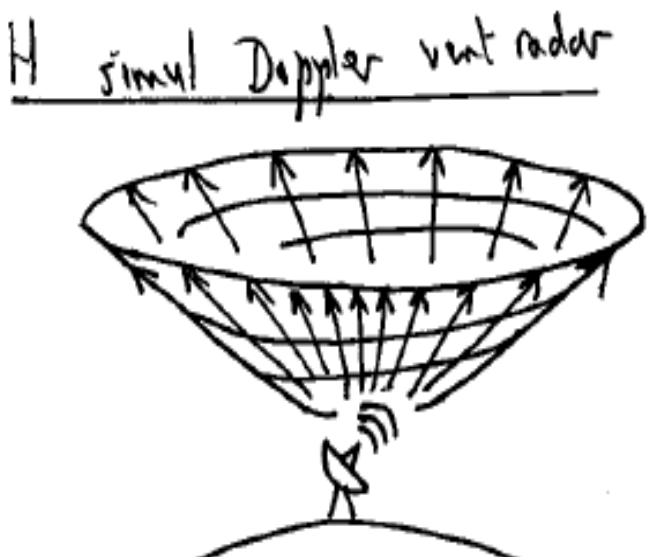
(T_i, q_i, T_s) sont la température & humidité dans la ligne de visée

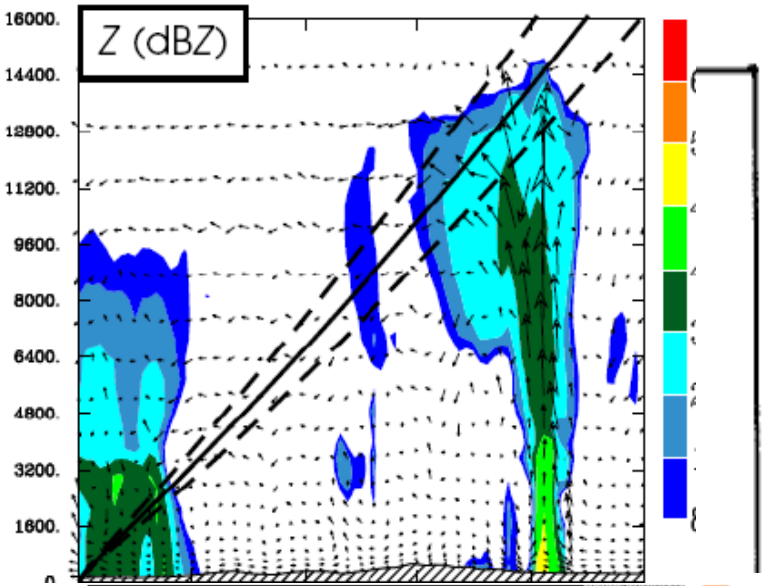




opérateur d'obs: mesure radar Doppler de vent radial

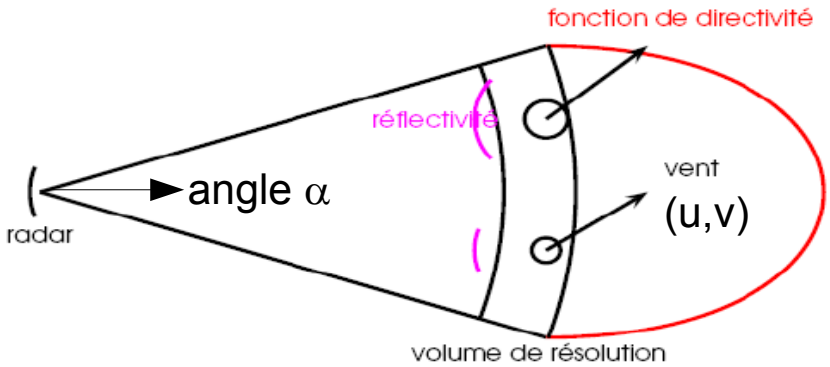
On voit uniquement la projection du vent 3D atmosphérique le long du faisceau radar: $V_{radial} = u_i \cos \alpha + v_i \sin \alpha$

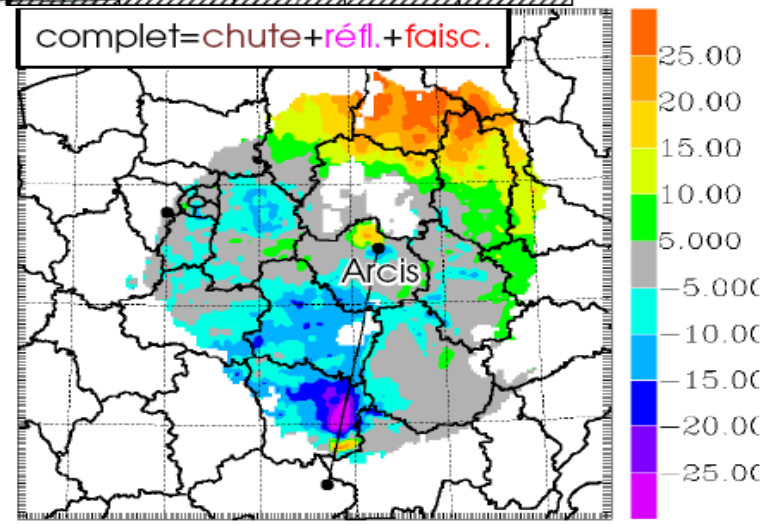




vitesses radiales ($m \cdot s^{-1}$)

Le 23/6/2005





Forme générale d'un opérateur d'obs
= comment simuler des obs à partir d'un état de modèle

Méthode A:

- 1)interpoler/intégrer les paramètres modèle au point d'obs
- 2) les convertir dans le paramètre physique observé
- ex: (T,q) → humidité relative

Méthode B:

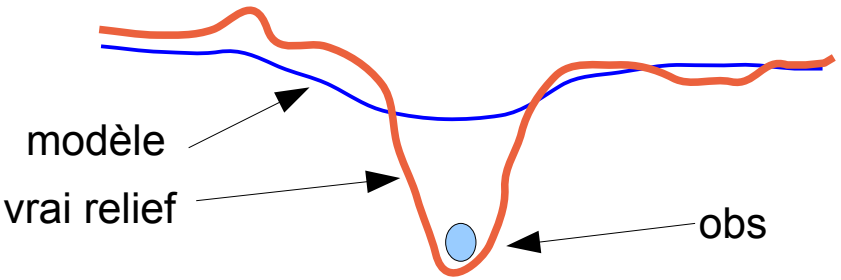
- 1) convertir les paramètres modèle en paramètres observés, sur la grille du modèle
- 2) les interpoler/intégrer au point d'obs
- ex: réflectivité radar (=f(pluie) en 3D, très non-linéaire)

Ex mixte: radiances:

- 1) interpoler le modèle sur la ligne de visée
- 2) intégrer le transfert radiatif le long de cette ligne
-

Différents types d'erreur d'observation

- **Erreur instrumentale**:
  - différence entre valeur observée et et valeur physique réelle: $y - y^{true}$
  - évaluable en regardant des différences entre observations colocalisées
- **Erreur dite d'observation:** (en jargon d'assimilation de données)
  - *définition de l'erreur d'observation* : $y - H(x^{true})$
  - =écart entre mesure et ce que l'on aurait mesuré si le modèle était parfait
  - inclut: erreur instrumentale + erreurs dans la conception de H
- Une grande de l'erreur d'"observation" vient souvent des limitations de la discrétisation du modèle: c'est l'**erreur de représentativité** (que l'on peut réduire en augmentant le réalisme du modèle)
- Ex: mesure dans une vallée non représentée par le relief du modèle.
- Ex: radiance affectée par des petits nuages



Résumé

- vecteur d'état de modèle = valeurs sur une grille : x
- vecteur d'observations = liste des valeurs mesurées: y
- écart entre modèle et observations: y-H(x)
- H interpole/simule des observations synthétiques à partir de x
- erreur d'observation: y-H(x^t) où x^t est un état de modèle parfait

But de l'analyse de données: construire un x qui minimise y-H(x)
c.à.d un état modèle le plus vraisemblable possible

Merci pour votre attention