

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

CNRM-GAME

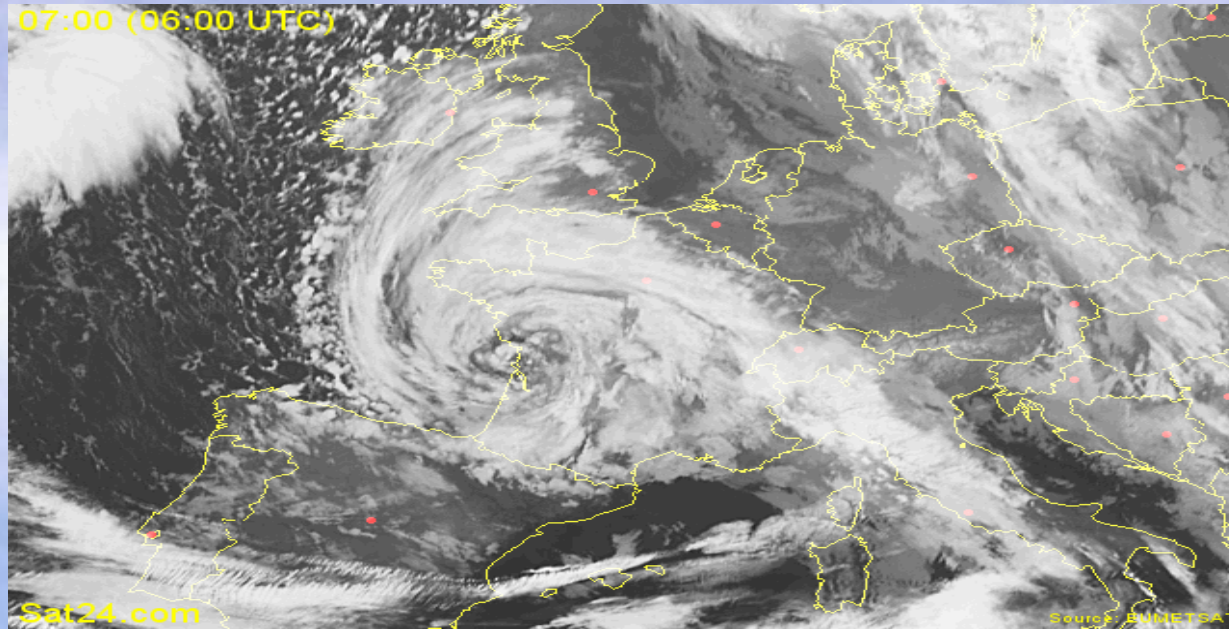
**Assimilation des radiances des sondeurs  
infrarouges hyperspectraux  
en condition nuageuse:  
Application à des cyclogénèses  
extratropicales**

*Présentée par* Thomas Pangaud

*Directrice:* Nadia Fourrié

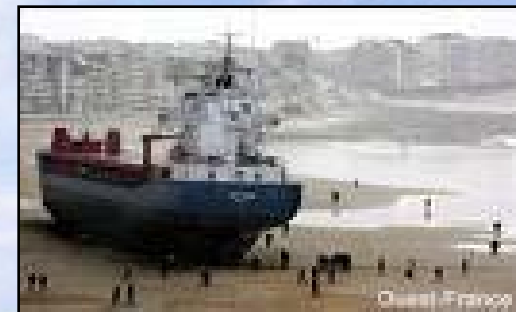
*Co-Encadrants :* Florence Rabier, Vincent Guidard





Tempête Klaus :  
24 /01/09

Disposer de prévisions météo fiables et précises pour une meilleure gestion des risques liés aux évènements intenses (+ tourisme, agriculture, loisirs...)





# Comment réaliser une prévision météo ?

Des observations



Obs conventionnelles

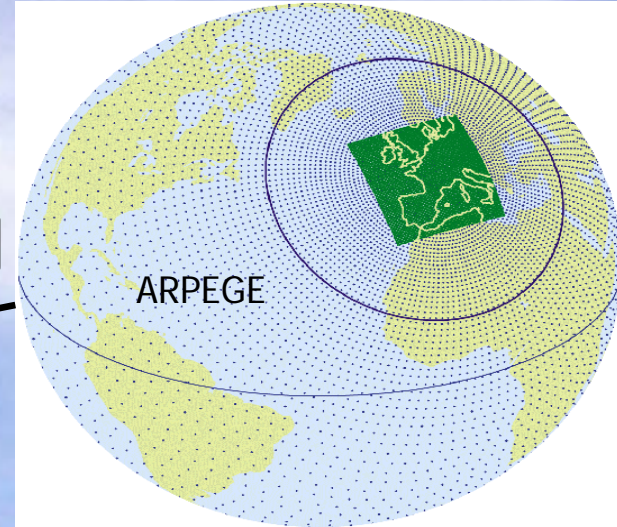


Obs satellitaires

Assimilation de données



Un modèle de prévision



## ➤ Le sondage satellitaire passif

### • Concept:

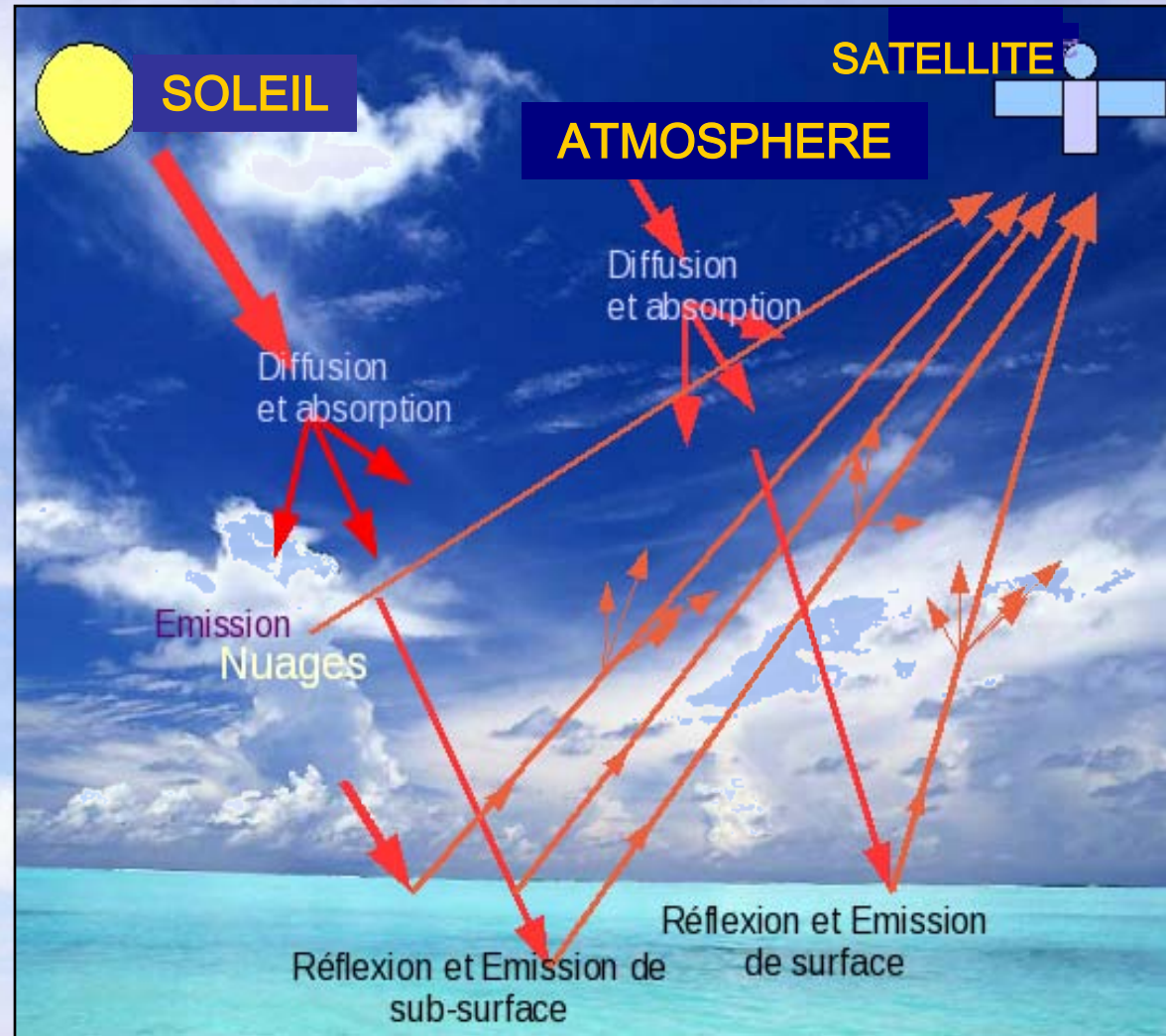
Mesure du rayonnement électromagnétique émis par la terre et l'atmosphère vers l'espace (= radiance).

### • Avantages:

- Excellente couverture temporelle
- Couverture spatiale globale

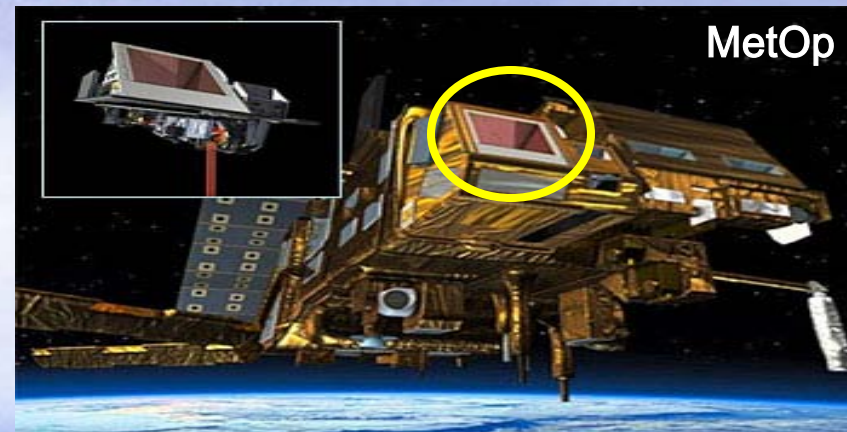
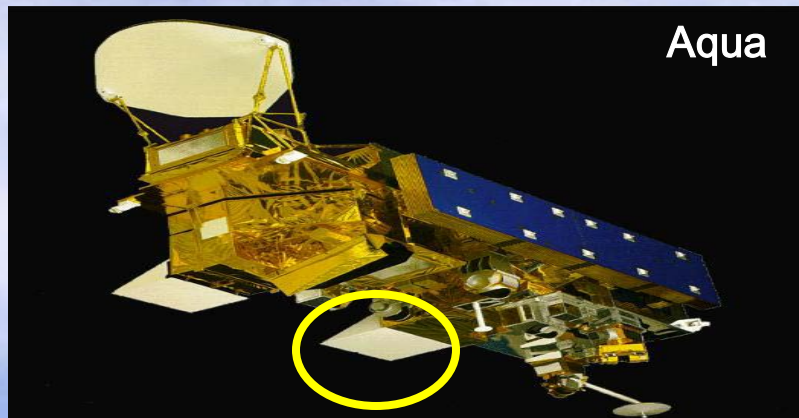
### • Plages fréquentielles utilisées en Météo:

- ultraviolet
- visible
- infrarouge
- micro-onde





# ➤ Les sondeurs infrarouges hyperspectraux



(Atmospheric Infra-Red  
Sounders)



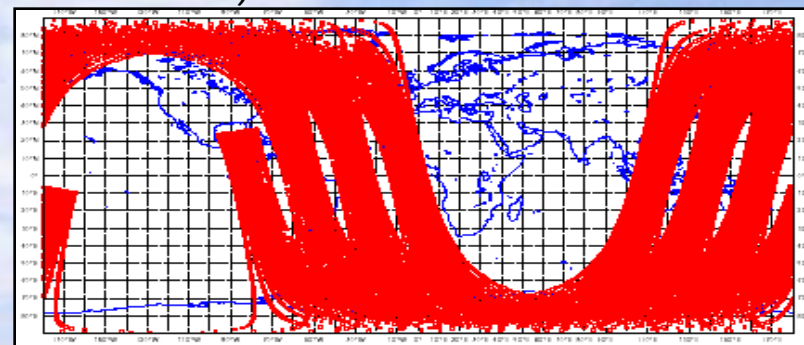
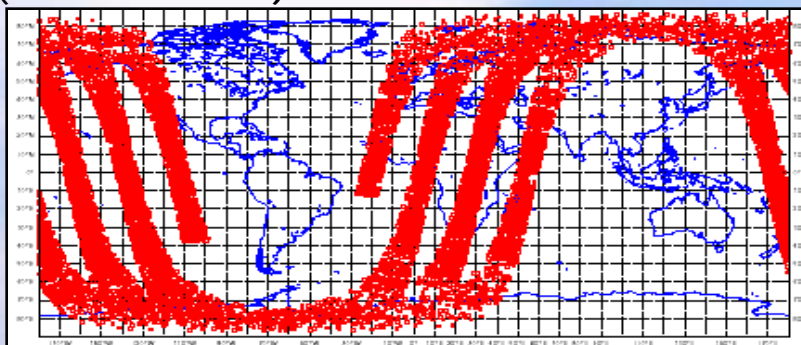
(Infra-red Atmospheric Sounding  
Instrument)

-lancé en 2002 à bord du satellite Aqua (NASA)

-lancé en 2006 à bord du satellite MetOp (EUMETSAT)

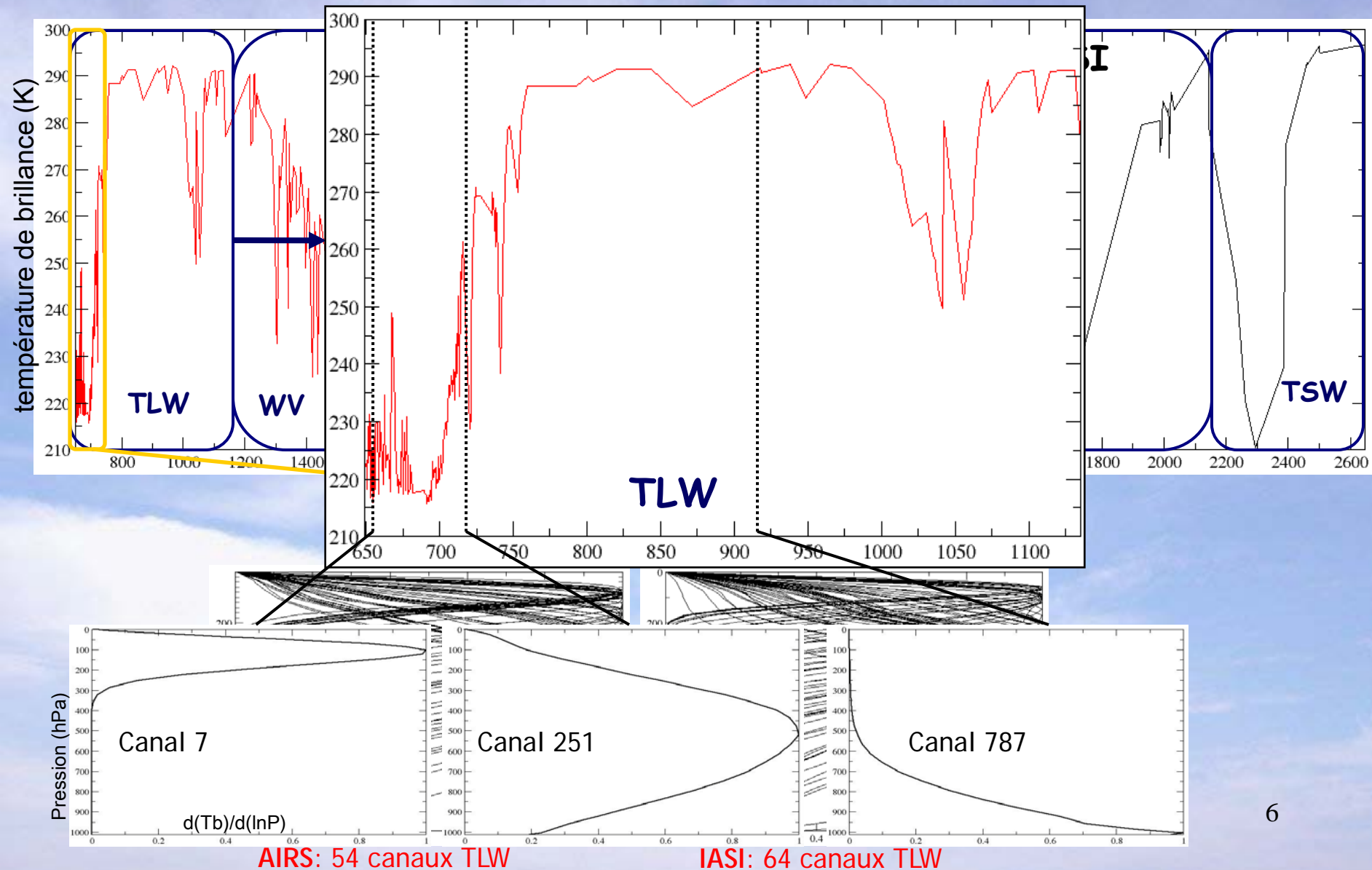
-**2378 canaux** couvrant la plage 3.7 à 15.4  $\mu\text{m}$   
(649 à 2664  $\text{cm}^{-1}$ )

-**8461 canaux** couvrant la plage 3.7 à 15.5  $\mu\text{m}$   
(649 à 2647  $\text{cm}^{-1}$ )



Couverture de données AIRS et IASI du 18/11/09 pendant 6h (21UTC le 17 à 03UTC le 18)

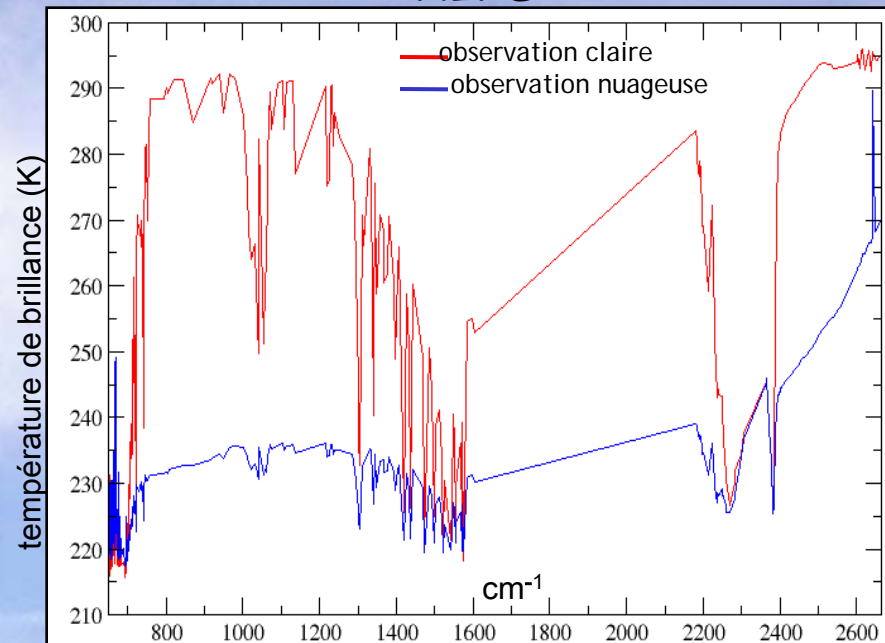
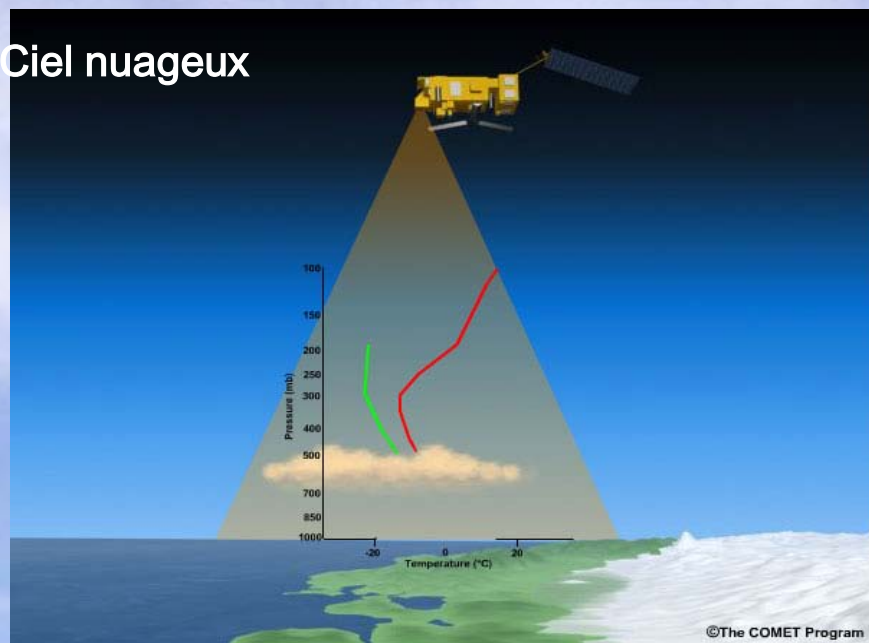
## ➤ Les observations AIRS et IASI



# ➤ Problématique et motivations

## AIRS

### Ciel nuageux



- Signal IR affecté par les nuages et ARPEGE ne savait pas jusqu'à récemment **simuler les canaux contaminés par les nuages = non assimilés.**
- Entre **75 et 90%** des pixels des sondeurs hyperspectraux sont **nuageux.**
- Assimilation des canaux clairs **uniquement** grâce à algorithme de détection nuageuse (McNally et Watts 2003).

1- Important manque à gagner en observations

2- Faible description de certaines zones météo particulières

3- obs simulées non conformes aux obs réelles en cas de ciel nuageux



## ➤ Objectifs de la thèse

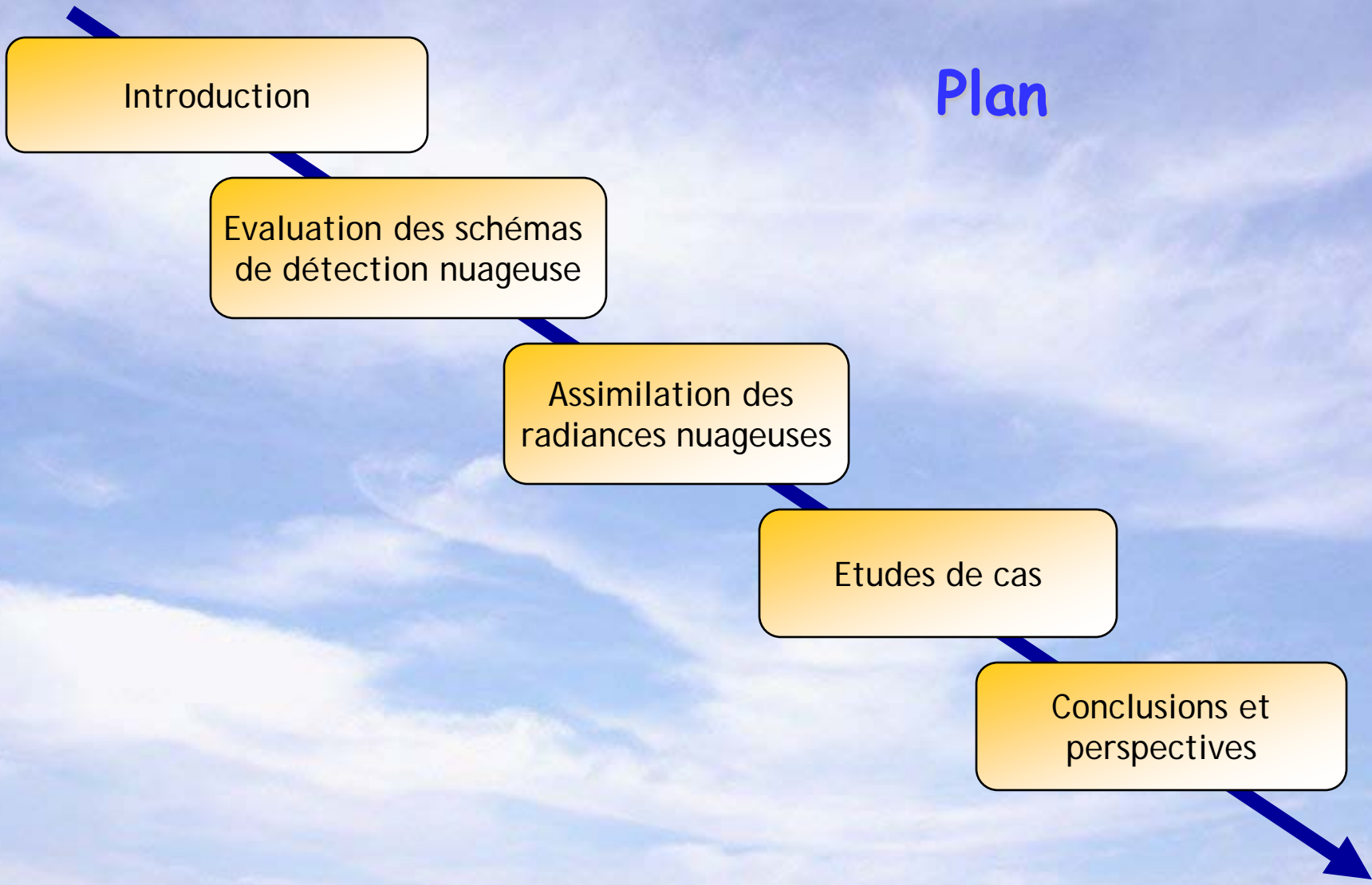
Développer un schéma d'assimilation performant des radiances nuageuses AIRS dans le modèle global ARPEGE en perfectionnant le schéma testé auparavant (*Mohamed Dahoui*).

Adapter le schéma d'assimilation développé pour l'instrument AIRS à l'instrument IASI.

Déterminer si la prise en compte des observations nuageuses améliore la prévisibilité des systèmes dépressionnaires intenses aux latitudes extratropicales.



<b>Introduction</b>	Evaluation des schémas de détection nuageuse	Assimilation des radiances nuageuses	Etudes de cas	Conclusions et perspectives
---------------------	--	--------------------------------------	---------------	-----------------------------



## ➤ L'assimilation variationnelle 4D-VAR

### • Méthode:

minimisation d'une fonctionnelle objective (= fonction-coût  $J(\mathbf{x})$ ) mesurant l'écart aux sources d'observations (obs + ébauche).

$$J = \underbrace{\left( \mathbf{x}_b - \mathbf{x} \right)^T \mathbf{B}^{-1} \left( \mathbf{x}_b - \mathbf{x} \right)}_{\text{Rappel à l'ébauche } J_b(\mathbf{x})} + \underbrace{\left[ \mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}) \right]^T \mathbf{R}^{-1} \left[ \mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}) \right]}_{\text{Rappel aux observations } J_o(\mathbf{x})}$$

$\mathbf{x}$  : état de l'atmosphère (= ce que l'on cherche !)

$\mathbf{x}_b$ : ébauche du modèle

$\mathbf{y}$  : vecteur d'observations

$\mathbf{H}(\mathbf{x})$ : opérateur d'observation (simule les observations à partir du modèle)

$\mathbf{B}$  : matrice de covariances d'erreur de l'ébauche

$\mathbf{R}$  : matrice de covariances d'erreur des observations

### • Avantages :

1- prise en compte de l'information spatiale mais aussi **temporelle** des observations.

2- possibilité d'assimiler des observations ayant des **relations** (faiblement) **non linéaires** avec les variables de contrôle du modèle (grâce au modèle tangent-linéaire).



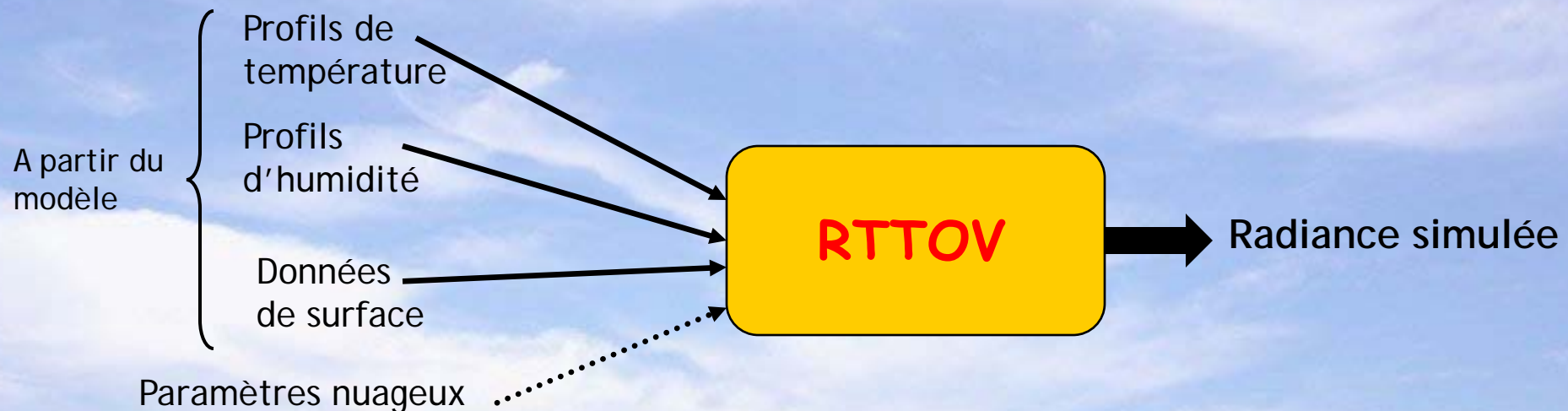
= **Les observations satellitaires**

## ➤ L'Opérateur d'Observation $H(x)$ pour les radiances

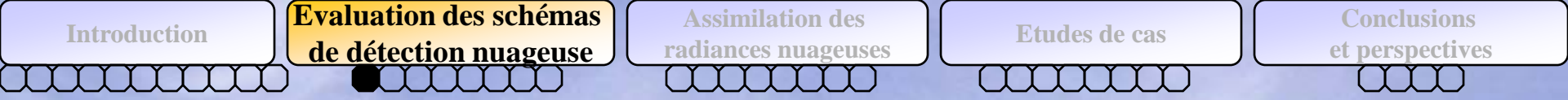
### A) Interpolations spatiales (horizontales + verticales)

depuis la grille du modèle vers les points d'observations

### B) le modèle de transfert radiatif







➤ Description des algorithmes de détection nuageuse utilisés (1)

## Le Cloud-Detect

McNally et Watts (2003)

### Concepts:

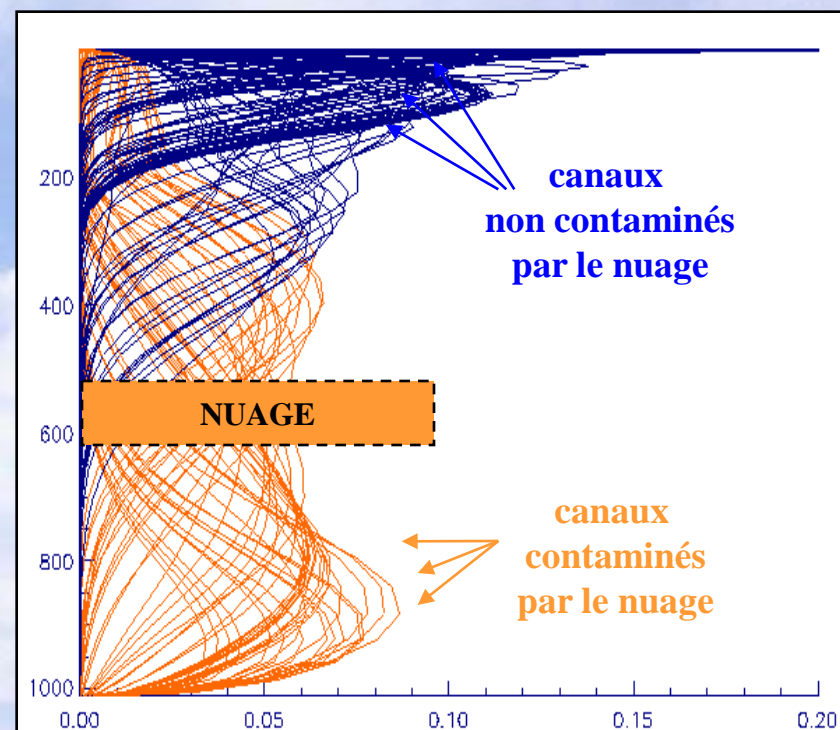
- Algorithme de **détection** nuageuse basé sur différences *obs-ébauche* (*o-g*) pour chaque canal.
- Identification des **canaux clairs et nuageux** au sein d'un même profil.
- Utilisé à Météo-France pour rejeter canaux nuageux d'un profil (et assimiler les clairs) depuis début 2008.

### Méthode:

1- Chaque canal est associé au premier niveau de pression  $p$  où la présence d'un nuage opaque cause 1% de changement à la radiance simulée

Canaux hiérarchisés verticalement en fonction des niveaux de pression associés (du + sensible au - sensible).

recherche canal à partir duquel *o-g* est supérieur à seuil défini : canaux + sensibles à la présence d'un nuage sont **nuageux** et les canaux - sensibles sont **clairs**



McNally et Watts (2003)

## ➤ Description des algorithmes de détection nuageuse utilisés (2)

### Le CO2-Slicing

Chahine et al (1974)

#### Concepts:

- Algorithme de **détection et de caractérisation** nuageuse basé sur principes de transfert radiatif
- Utilise un schéma nuageux simplifié: **nuage monocouche** opaque ou semi-transparent

#### Méthode:

1- La fonction suivante est calculée pour chaque canal utilisé et chaque niveau de pression:

$$F_{k,p} = \frac{(R_c^k - \bar{R}_o^k)_b - s (R_c^k - \bar{R}_c^{k,p})_d}{(R_c^{K_r} - \bar{R}_o^{K_r})_b - s (R_c^{K_r} - \bar{R}_c^{k,p})_d}$$

*R<sub>obs</sub>*: radiance observée

*R<sub>clr</sub>*: radiance claire simulée à partir des données modèles

*R<sub>cl</sub>*: radiance liée à la présence d'un nuage opaque au niveau de pression *p*

*k*= canal AIRS (un parmi les 124 canaux sélectionnés dans la bande CO2)

*Ref*= canal de référence = 917.31 cm<sup>-1</sup> (AIRS) et 861,50 cm<sup>-1</sup> (IASI)

2- Calcul de pression de sommet de nuage P<sub>TOP</sub>

$$p_c = \frac{\sum p_{c,k} w_k^2}{\sum w_k^2}$$

*P<sub>c,k</sub>*: niveau de pression minimisant *F<sub>k,p</sub>*

*W<sub>k</sub>*: dérivée de *F<sub>k,p</sub>* p/r à la pression

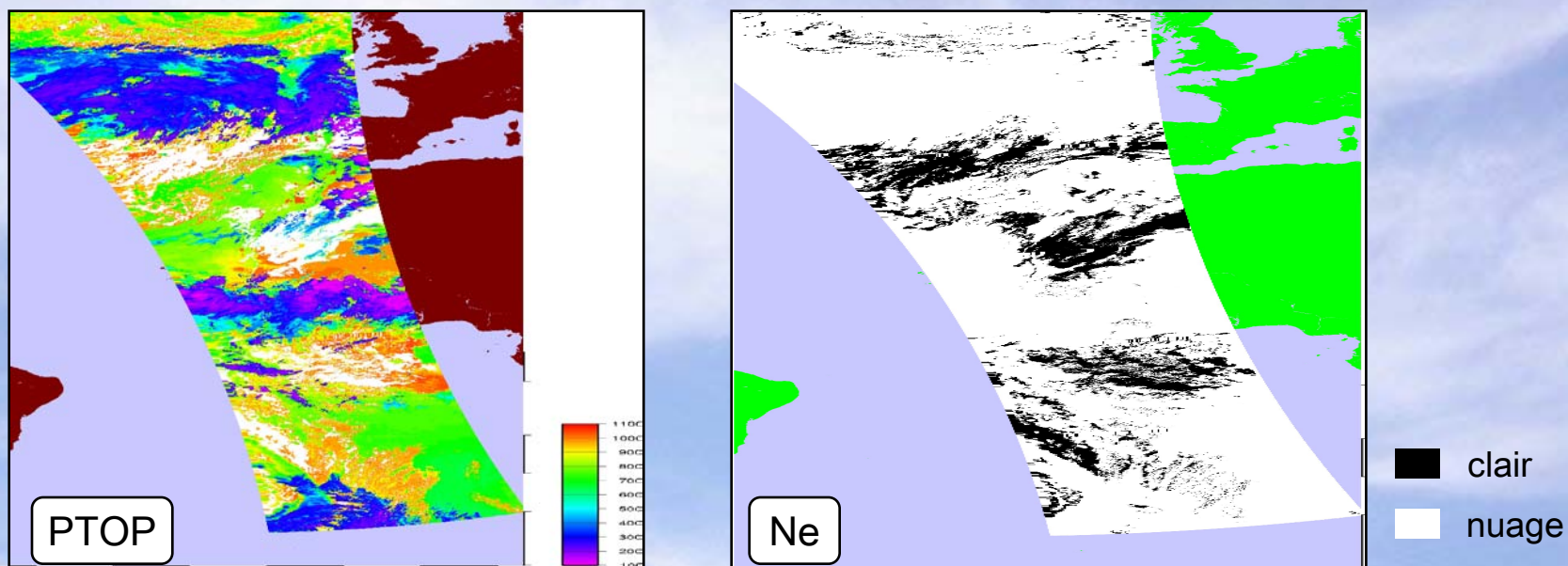
3- Calcul de l'émissivité nette *N<sub>ε</sub>*  
(*N<sub>ε</sub>*=*N*.*CF*)

$$N_{\varepsilon} = \frac{(R_{c\ lr}^{k_{ref}} - R_{o\ b}^{k_{ref}})_s}{R_{c\ lr}^{k_{ref}} - R_{c\ ld}^{k_{ref}}}$$



## ➤ Validation des algorithmes de détection nuageuse

- **Données de vérification utilisées :** Le masque nuageux MODIS (pression de sommet de nuage P<sub>TOP</sub> et émissivité nette  $N_e$  avec résolution de 5km).

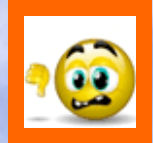


*Situation du 01/09/06 entre 13 et 15UTC*

- **Méthode:** Colocalisation des données MODIS et des données AIRS pour obtenir une description par MODIS des nuages diagnostiqués par les algorithmes pour chaque pixel traité.
- **Configuration:** Validation sur l'Atlantique Nord et Sud (60°N-60°S) sur une période de 10 jours (6538 pixels traités) et 10 nuits (9168 pixels traités).

## ➤ Résultats (1): efficacité de la détection

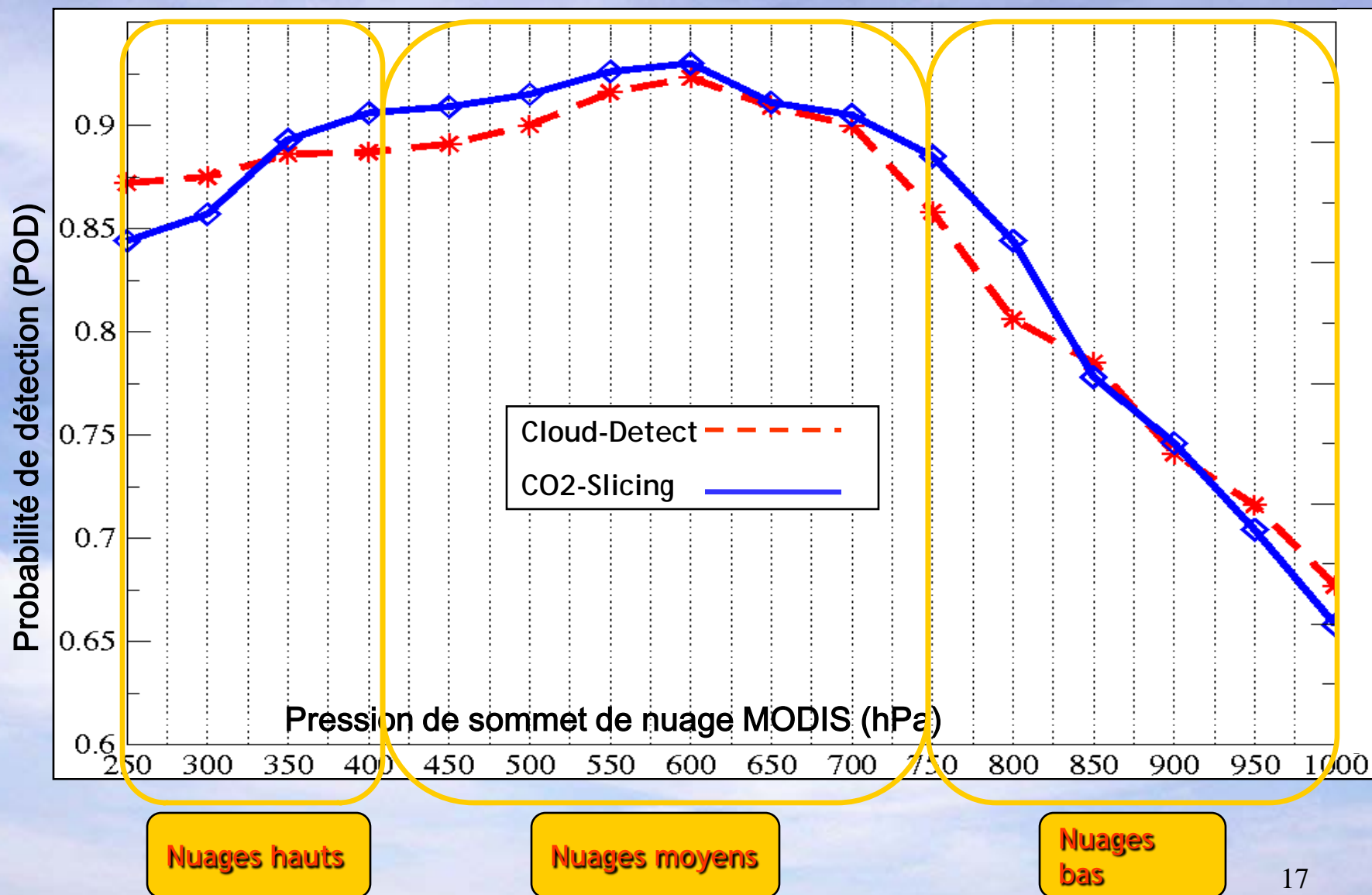
<i>N= 15706 pixels traités</i>	<i>Nuage observé (MODIS)</i>	<i>Nuage non observé (MODIS)</i>
<i>Nuage diagnostiqué (algorithmes)</i>	<b>REUSSITE</b>	<b>FAUSSE ALARME</b>
<i>Nuage non diagnostiqué (algorithmes)</i>	<b>ECHEC</b>	<b>REJET CORRECT</b>



pour calculer scores de vérification :

	Cloud-Detect	CO2-Slicing
<b>BIAS</b> ( <i>biais en fréquence</i> : fréquence des cas nuageux prévus par les algorithmes sur ceux observés par MODIS)	86 %	85 %
<b>PC</b> ( <i>pourcentage de correct</i> : proportion de cas clairs ou nuageux correctement prévus)	78 %	79 %
<b>POD</b> ( <i>probabilité de détection</i> : rapport de cas nuageux observés par MODIS prévus par les algorithmes)	80 %	80 %
<b>FAR</b> ( <i>taux de fausses alertes</i> : proportion des cas nuageux non observés par MODIS parmi cas où un nuage est prévu)	6 %	7 %

➤ Résultats (2): performance de détection en fonction hauteur nuage



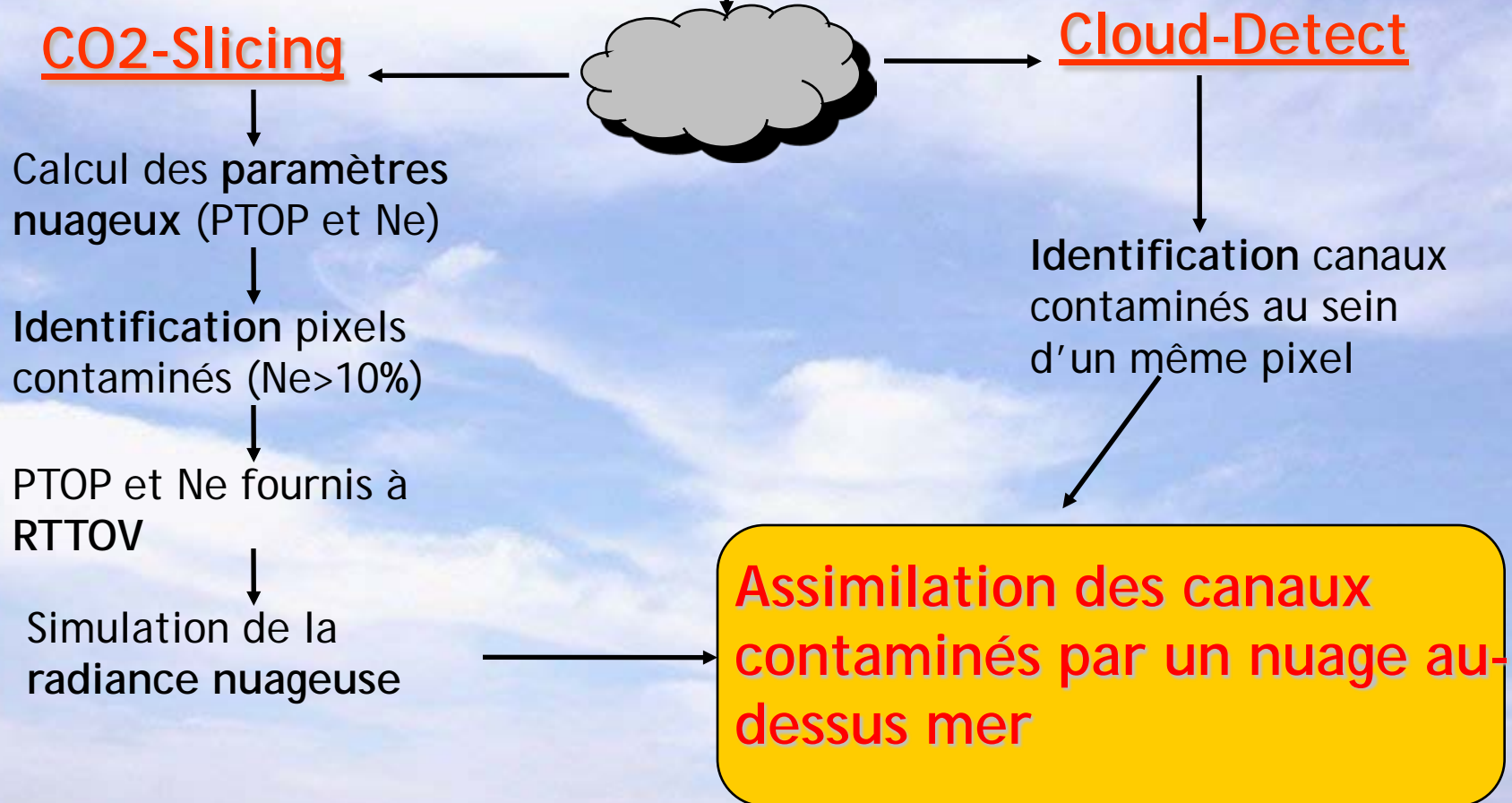


## ➤ Conclusions

- Résultats statistiquement en bon accord avec donnée vérifiante MODIS.
  - Détection nuages très bas la plus délicate. Détection nuages moyens la plus performante.
  - Caractérisation du PTOp par CO2-Slicing présente très bonnes corrélations pour nuages hauts et moyens. Corrélations légèrement moins bonnes mais satisfaisantes pour nuages bas et très bas (figure non présentée).
- 
- La très bonne concordance des résultats obtenus avec le CO2-Slicing et le Cloud-Detect autorise leur utilisation conjointe en vue de l'assimilation des radiances contaminées par les nuages.



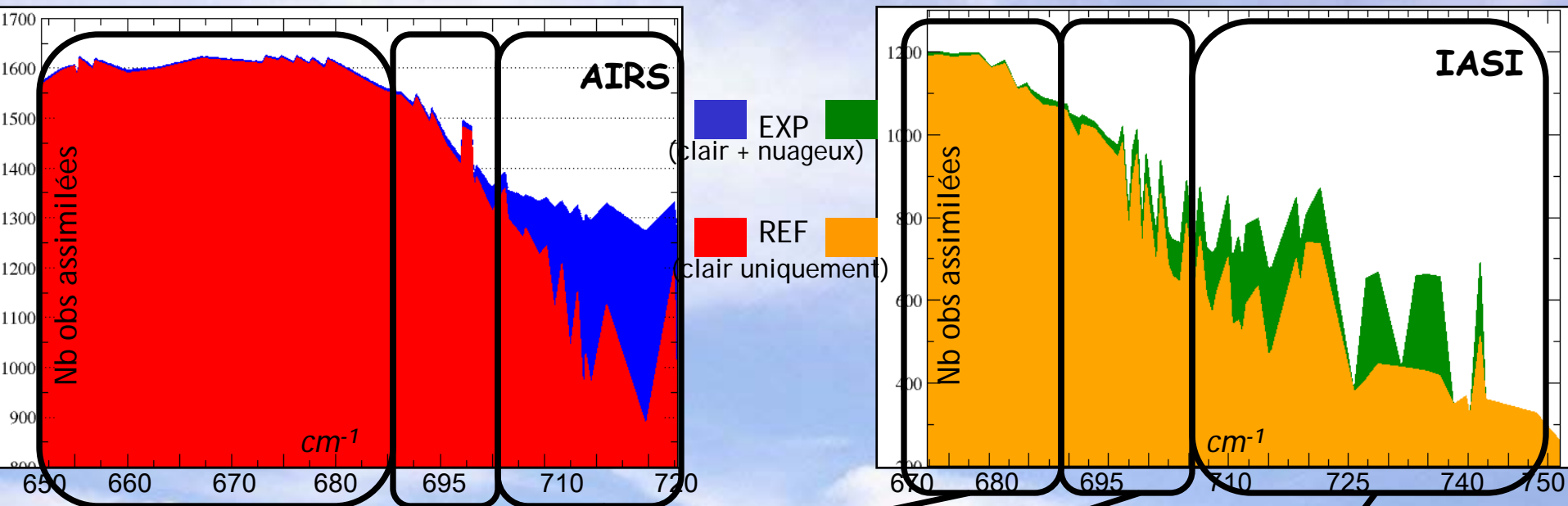
➤ Stratégie d'assimilation des radiances nuageuses:  
1-Méthodologie (Pangaud et al 2009)





## ➤ Impact sur le nombre d'observations supplémentaires assimilées

Nombre d'observations assimilées par canal (fonction nombre d'onde) pour le premier réseau d'assimilation (01/09/06 à 00UTC pour AIRS et 15/01/09 à 00UTC pour IASI)



**En moyenne : 10 % de canaux supplémentaires assimilés pour AIRS**

**Canaux stratosphériques**      **Canaux pointant dans la tropopause:**      **Canaux troposphériques:**

Très peu d'obs supplémentaires assimilées (canaux peu contaminés par les nuages)

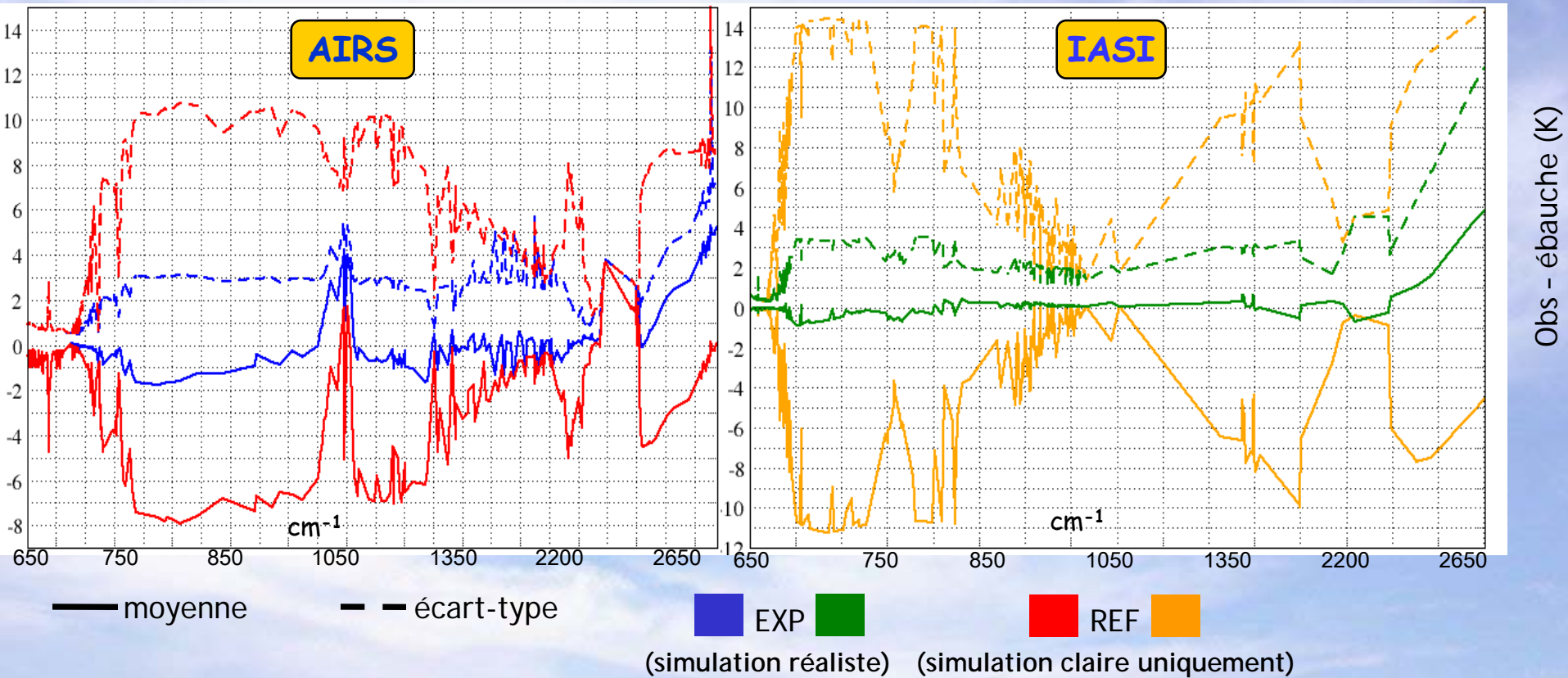
- AIRS: entre 1 et 4 % d'obs supplémentaires assimilées
- IASI: entre 1 et 8 % d'obs supplémentaires assimilées

**12,5 % de canaux supplémentaires assimilés pour IASI**

- AIRS: jusqu'à 40 % d'obs supplémentaires assimilées
- IASI: jusqu'à 50 % d'obs supplémentaires assimilées

## ➤ Prise en compte de l'impact du nuage dans le calcul de l'équivalent modèle

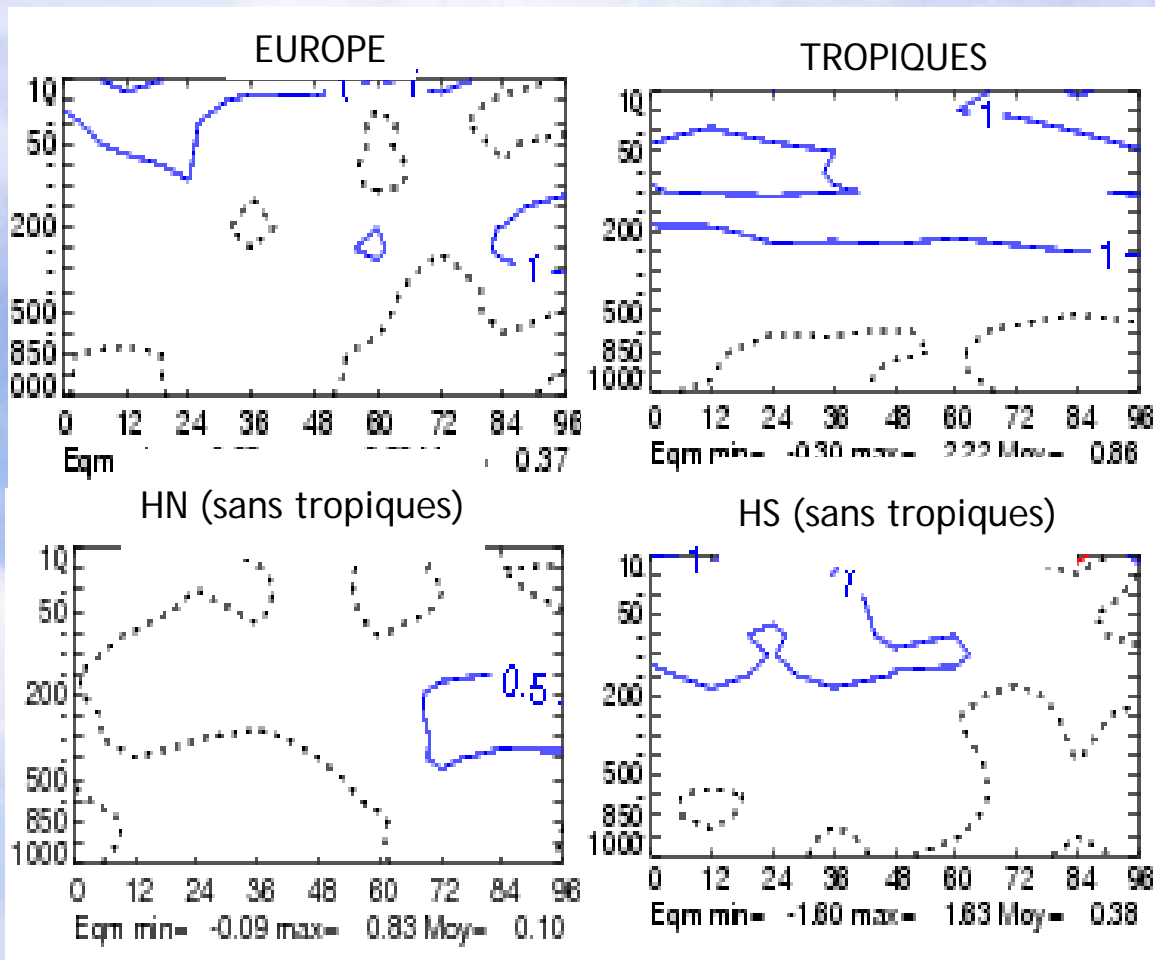
observation-ébauche en fonction longueur d'onde pour le premier réseau d'assimilation (01/09/06 à 00UTC pour AIRS et 15/01/09 à 00UTC pour IASI)



Obs simulées en tenant compte du nuage (EXP) = plus proche des obs réelles que obs simulées sans prendre en compte impact du nuage (REF).

## ➤ Impact sur les prévisions globales AIRS

### Géopotentiel



#### • Géopotentiel:

Impacts + et statistiquement significatifs.

#### • Autres paramètres:

(température, humidité, vent)

Impacts + mais globalement non statistiquement significatifs.

Pression (hPa)

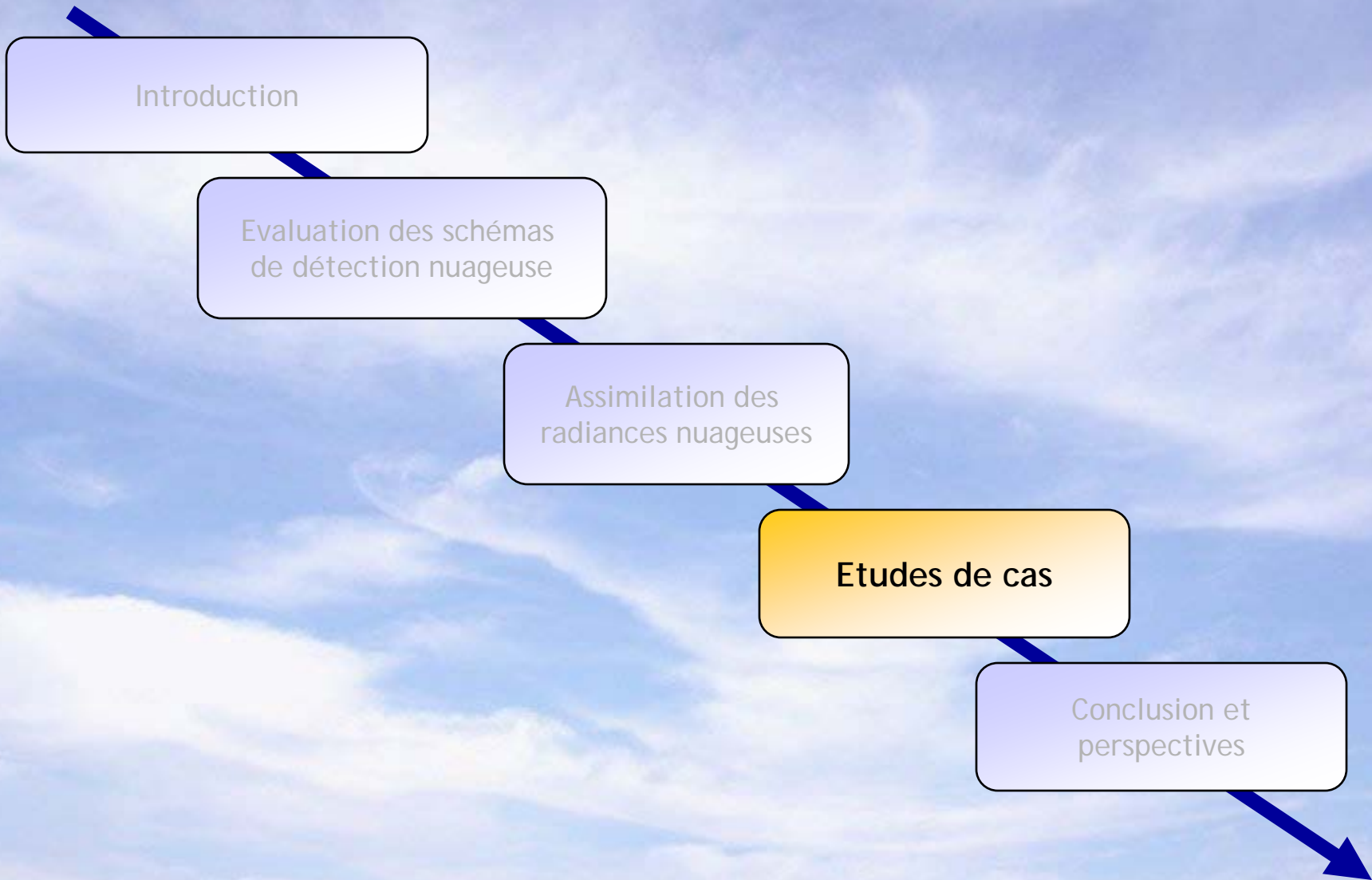
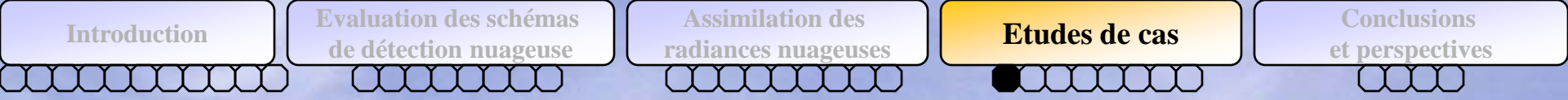


$\text{err EXP} < \text{err REF}$   $\text{err EXP} > \text{err REF}$

Échéance de prévision

*Différence de EQM entre REF et EXP par rapport aux observations de radiosondages du 01/09/06 au 04/10/06*



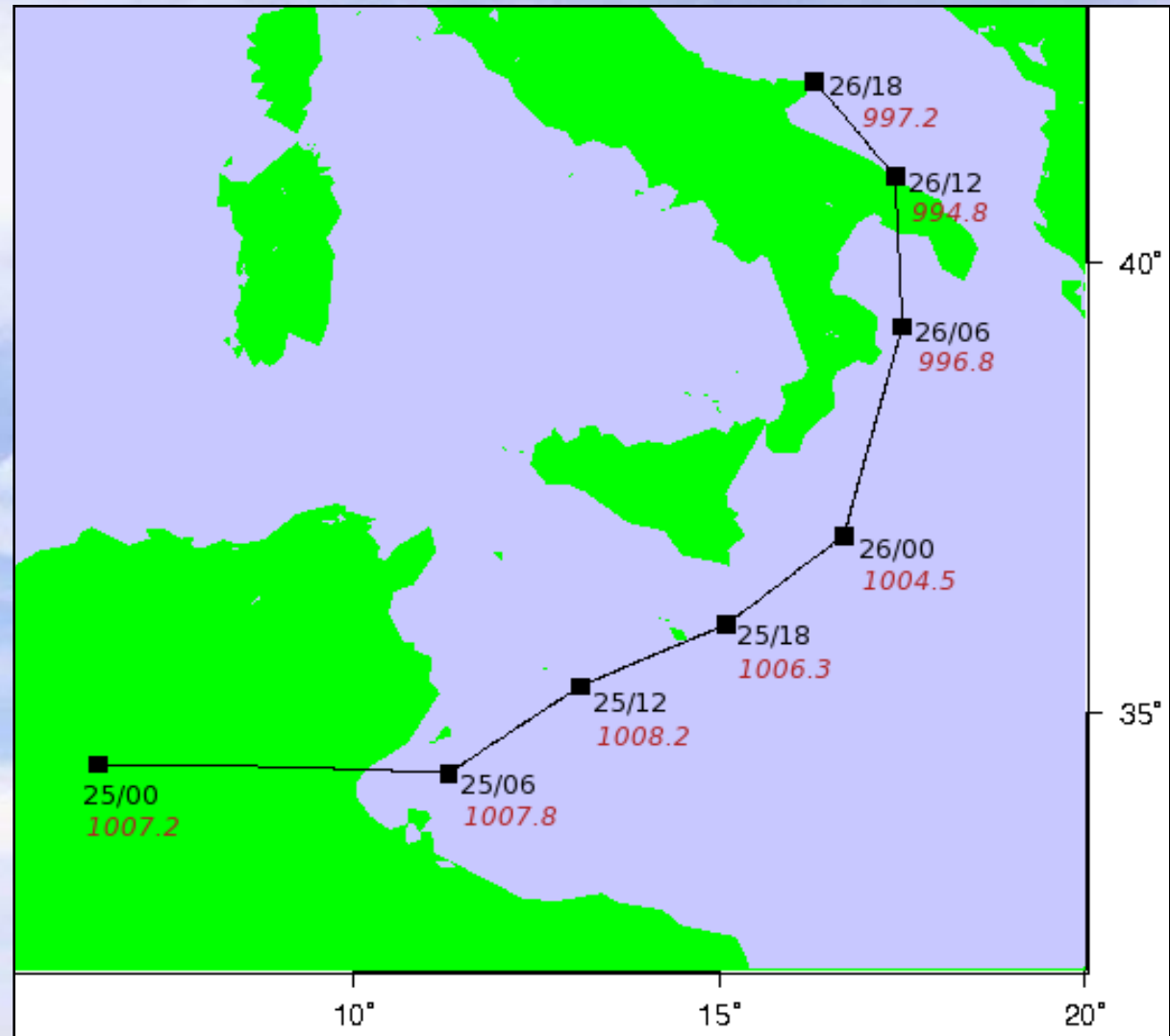


## ➤ MEDICANE: Description et caractéristiques

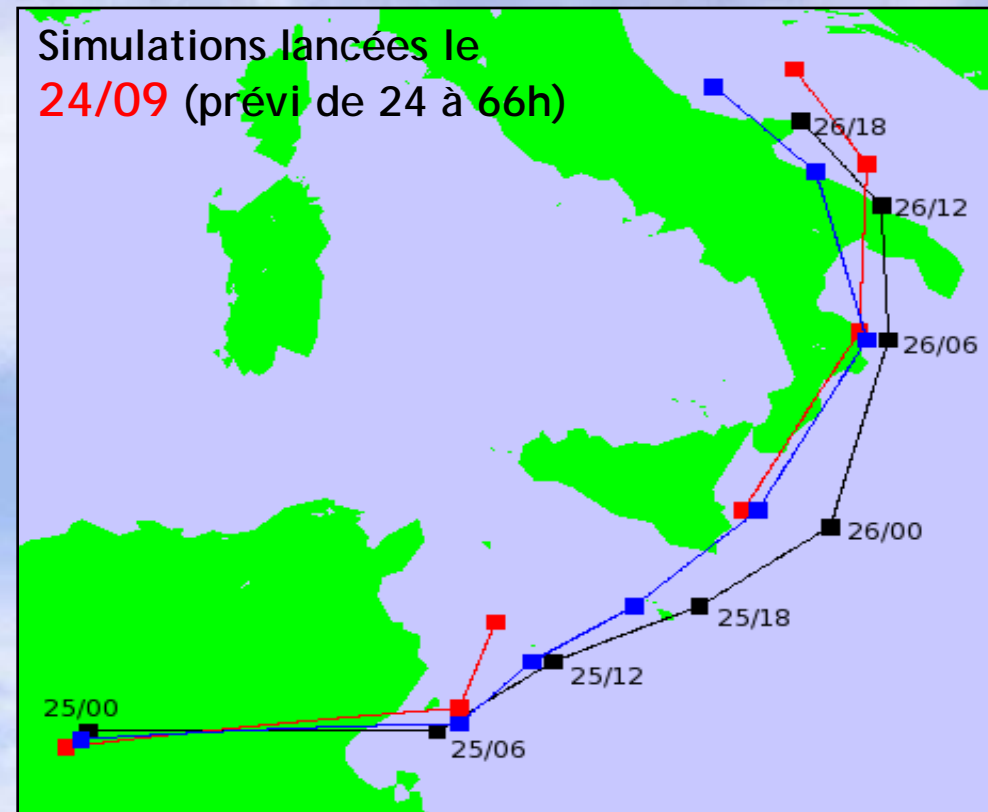
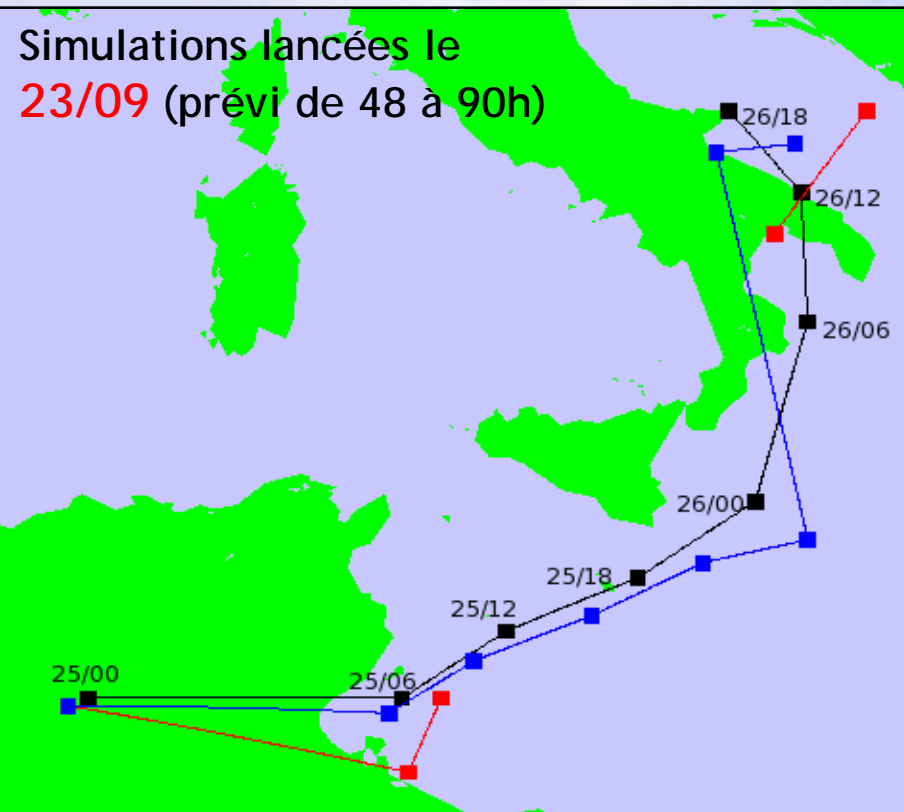
• **But étude : impact AIRS nuageux**

• Tempête de petite échelle (60 km de diamètre) sur la Méditerranée entre le 25/09/06 et le 27/09/06

-  Analyses du CEP (= Donnée de vérification)
-  REF.AIRS (toutes obs sauf AIRS nuageux)
-  EXP.AIRS (REF.AIRS + AIRS nuageux)



## ➤ MEDICANE: Prévisibilité de la dépression (Pangaud et al 2009) a-Trajectoire



■ Analyses  
CEP

■ Simulations EXP  
(nuage+clair)

■ Simulations REF (clair  
uniquement)

Trajectoire EXP en meilleur  
accord avec CEPMMT

REF ne simule pas cyclone: du 25/12 au 26/06 (simu du 23)  
le 25/18 (simu du 24)



## ➤ MEDICANE: Prévisibilité de la dépression: b- Intensité

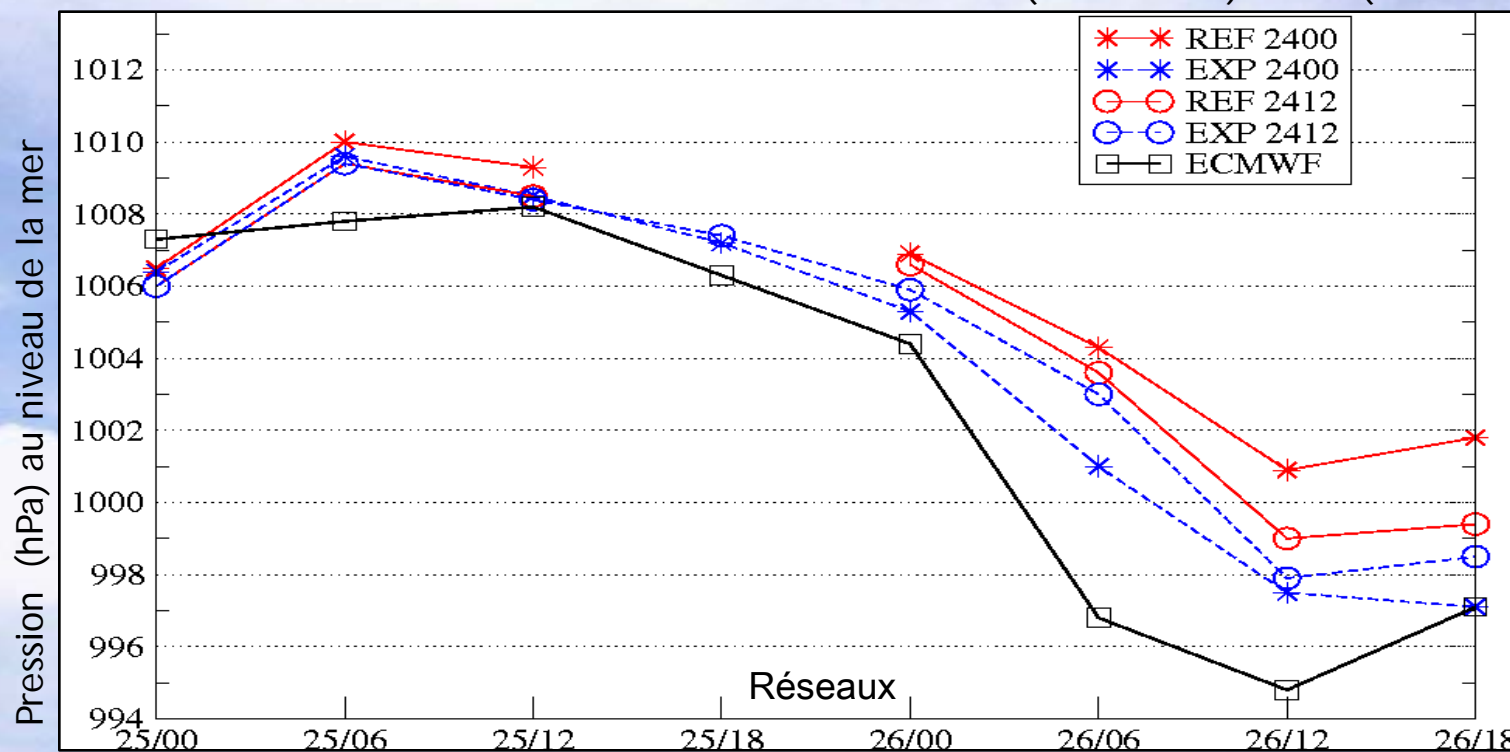
4 jeux de simulations testées pour EXP.AIRS et REF.AIRS:

2300: simulation lancée le 23/09 à 00UTC: prévisions de 48 (25 à 00UTC) à 96h (27 à 00UTC).

2312: le 23/09 à 12UTC: de 36 (25 à 00UTC) à 84h (27 à 00UTC).

2400: le 24/09 à 00UTC: de 24 (25 à 00UTC) à 72h (27 à 00UTC).

2412: le 24/09 à 12UTC: de 12 (25 à 00UTC) à 60h (27 à 00UTC).



**EXP.AIRS** simule le minimum dépressionnaire en meilleur accord avec CEP que REF.AIRS pour tous les réseaux et avec les 4 simulations.

## ➤ KLAUS : description et caractéristiques

- **But étude: impact IASI nuageux**
- Entre le 22 et le 25 janvier 2009.
- Tempête la plus dévastatrice en France depuis 1999 (dégâts matériels + pertes humaines).
- **Analyses du CEP** = donnée de vérification
- **REF.IASI** = OPER (toutes observations y compris AIRS clair et nuageux + IASI clair)
- **EXP.IASI** = REF.IASI + IASI nuageux
- **Date de validité:** 24 janvier 2009 à 06UTC (quand KLAUS atteint les côtes françaises)

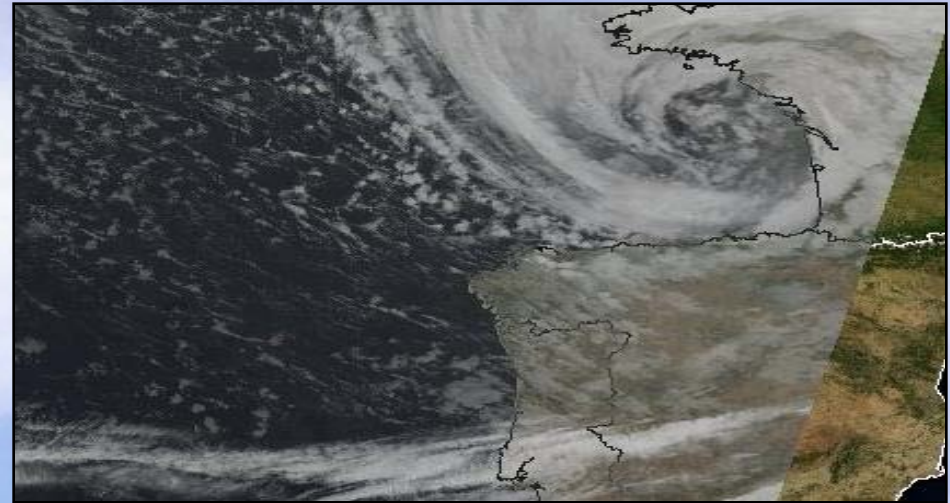
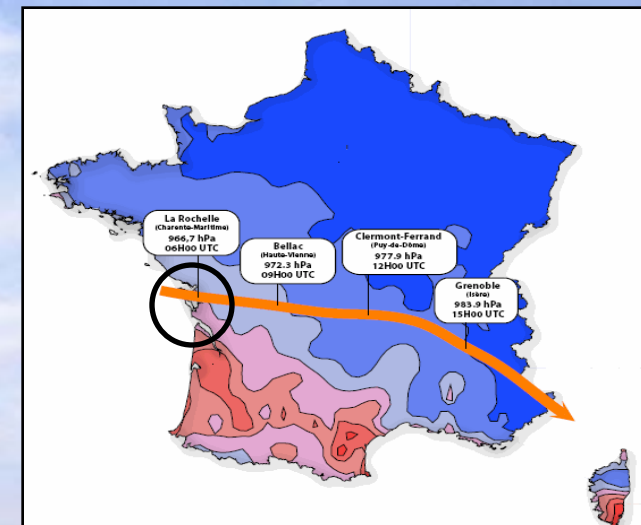
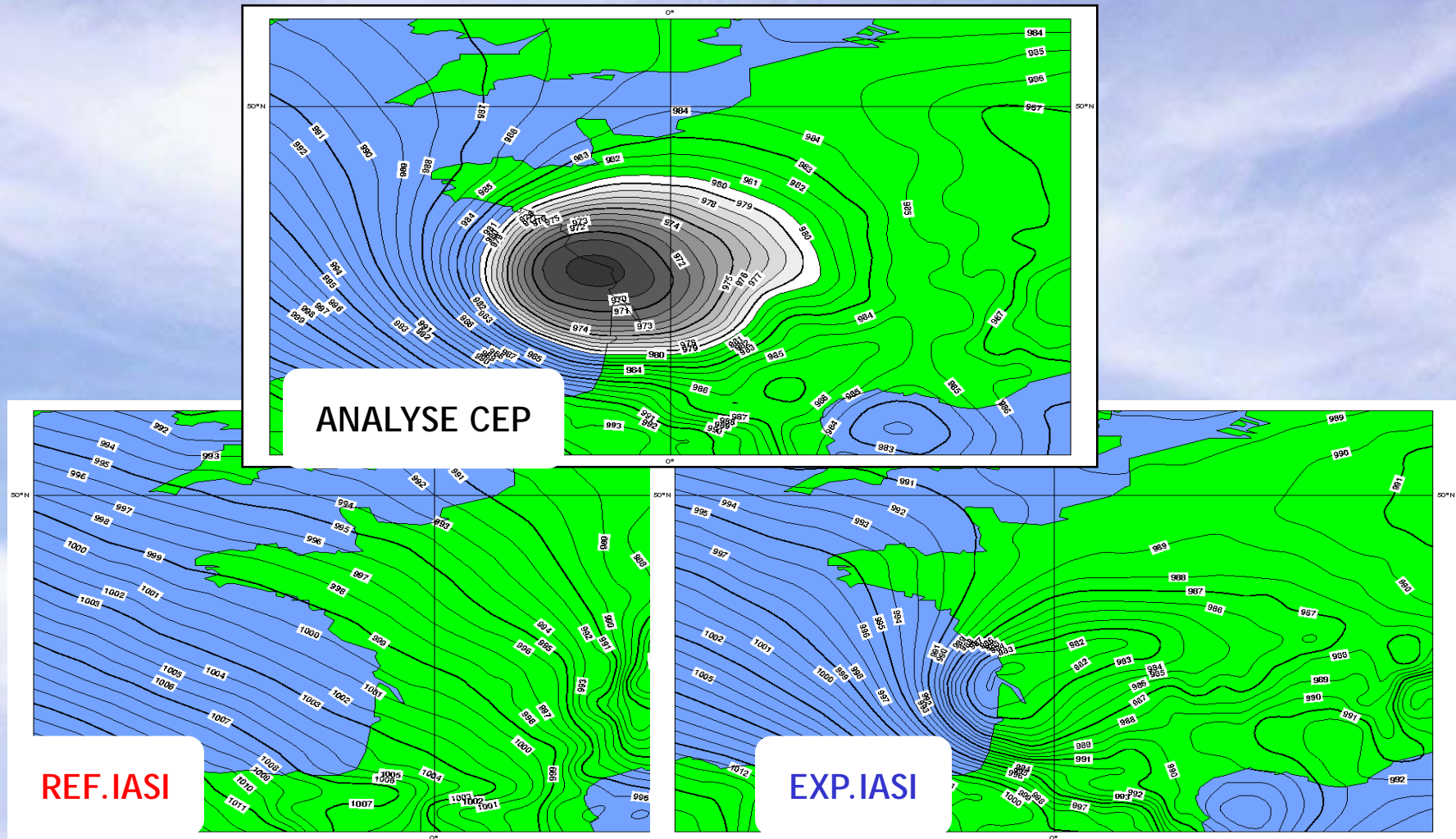


Image satellitaire de KLAUS par NOAA 18 à 3h30UTC le 24 janvier 2009



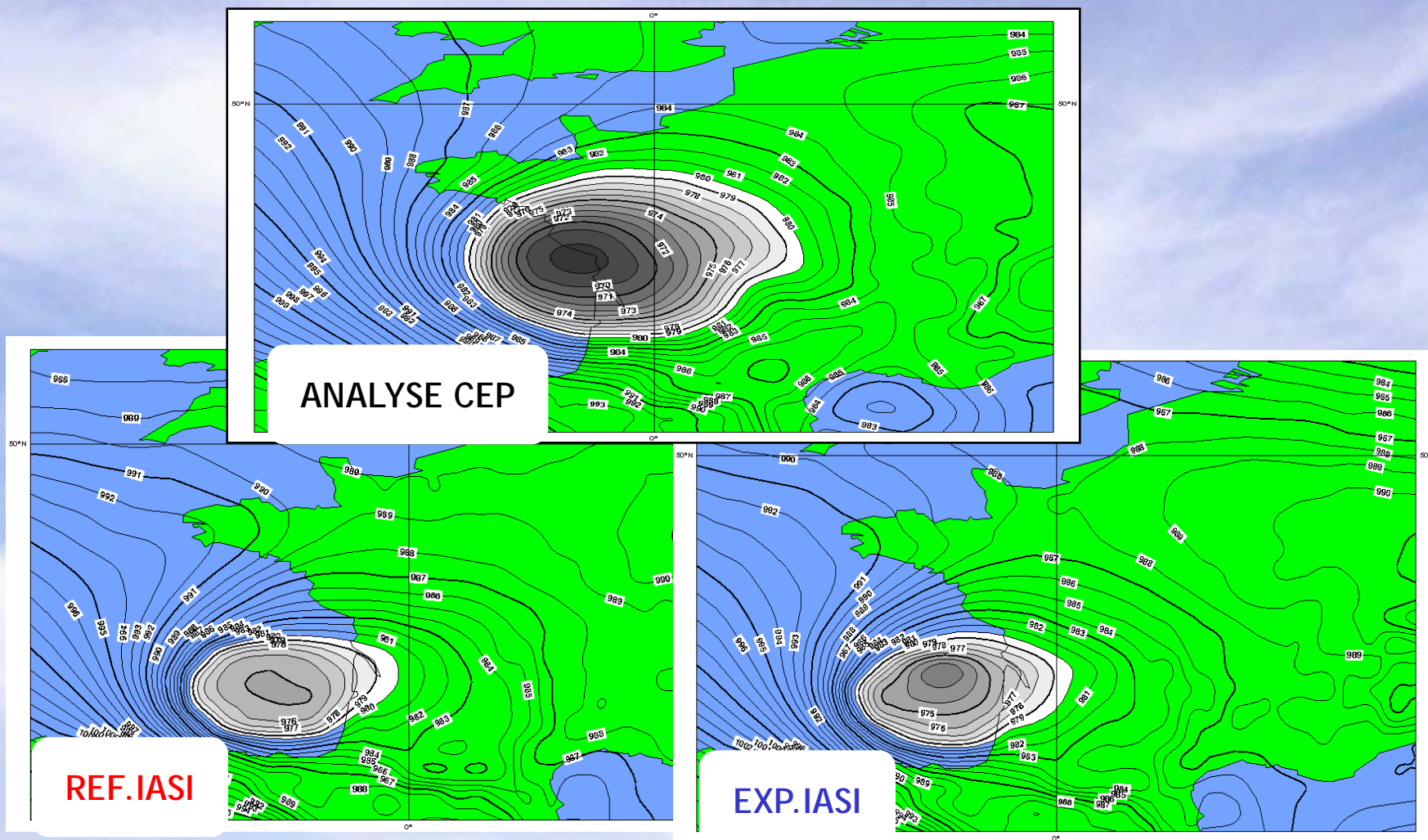
## ➤ KLAUS : Prévisibilité de la tempête (Prévisions à 102h)



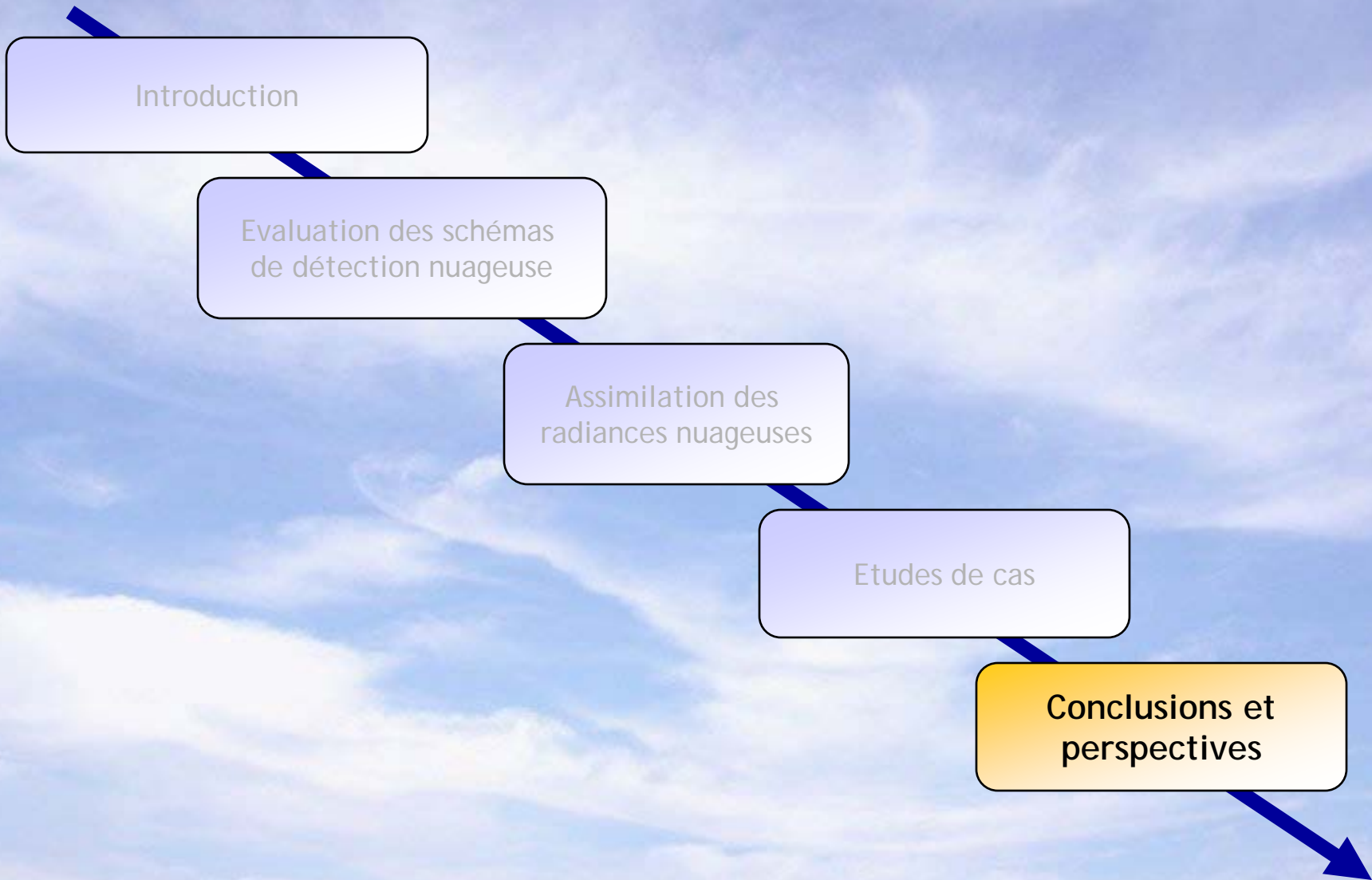
Analyse du CEP du 24/01/09 à 06UTC et prévisions à 102h de EXP.IASI et REF.IASI<sub>29</sub>  
(runs du 20/01/09 à 00UTC)



## ➤ KLAUS : Prévisibilité de la tempête (Prévisions à 30h)



Analyse du CEP du 24/01/09 à 06UTC et prévisions à 30h de EXP. IASI et REF. IASI  
(runs du 23/01/09 à 00UTC)



## Conclusions générales

### Rappels des objectifs de la thèse

- Développer un schéma d'assimilation performant des observations AIRS contaminées par les nuages dans le modèle global ARPEGE.
- Adapter ce schéma d'assimilation aux observations IASI.
- Déterminer si la prise en compte des observations nuageuses améliore la prévisibilité des systèmes dépressionnaires aux latitudes extratropicales.

### Résultats obtenus (1)

#### Validation des schémas de détection:

- Les 2 schémas de détection nuageuse testés (CO2-Slicing et Cloud-Detect) détectent de manière fiable les nuages, la détection des nuages bas est la moins performante.
- Le CO2-Slicing produit une caractérisation nuageuse globalement précise.
- La bonne concordance des performances obtenus d'un schéma à l'autre justifie leur utilisation conjointe dans une optique d'assimilation des radiances nuageuses.



## Résultats obtenus (2)

### Impacts sur l'analyse de l'assimilation d'observations AIRS et IASI nuageuses

- augmentation du volume total des obs assimilées (+ de 10% pour AIRS et + de 12,5% pour IASI)
- canaux supplémentaires assimilés principalement situés aux hautes et moyennes latitudes (fig non présentées).
- prise en compte de l'effet du nuage dans l'opérateur d'observation permet une simulation d'observation plus cohérente avec les observations réelles.

### Impacts sur les prévisions globales

- AIRS : amélioration des prévisions sur tous les domaines géographique et pour tous les paramètres (améliorations statistiquement significatives seulement pour le géopotential).
- IASI : tests d'impacts en cours

### Cas d'études:

- Amélioration nette de la prévisibilité des 2 systèmes dépressionnaires étudiés (MEDICANE + KLAUS) en terme de localisation et d'intensité de la dépression.

→ Schéma d'assimilation développé pour AIRS = transféré vers la configuration opérationnelle d'ARPEGE (Février 2009).

→ Article publié au *Monthly Weather Review* (Pangaud et al 2009) sur assimilation AIRS nuageux

## ➤ Etat de l'art

### UKMO (Pavelin et al 2008): assimilation AIRS nuageux en opérationnel.



Méthode du moindre résidu » pour extraire paramètres nuageux.

D-Var pour ajuster paramètres nuageux.

(OPER depuis Septembre 2008)

### Météo-France (Pangaud et al 2009): assimilation AIRS nuageux en opérationnel.



-Slicing pour extraire paramètres nuageux

(OPER depuis Février 2009)

### CEPMNT (McNally 2008): assimilation AIRS et IASI nuageux en opérationnel.



Méthode du moindre résidu » pour extraire paramètres nuageux des scènes homogènes.

(OPER depuis Septembre 2009)

### CMC (Heilliette 2007): assimilation AIRS et IASI nuageux pas encore opérationnel.



2-Slicing pour extraire paramètres nuageux.

(???)

## Limitations de l'étude et perspectives

### Application d'une même correction de biais pour les obs claires et nuageuses

- mieux caractériser erreurs dues au modèle de transfert radiatif pour population nuageuse afin d'appliquer une correction de biais différente aux obs nuageuses.

### Paramètres nuageux fournis de manière brute au modèle de transfert radiatif

- ajustement de ces paramètres au sein du processus de minimisation du 4D-VAR pour obtenir paramètres nuageux + cohérents avec autres variables du modèle.

### Autre méthode:

- utilisation d'un schéma diagnostique ou pronostique de nuages.
- utilisation de cette méthode physique certainement très répandue dans les années à venir car schémas de + en + réalistes

### Assimilation radiances nuageuses au-dessus des terres:

- amélioration de la modélisation de l'émissivité et de la température de surface



La sieste est terminée...

**Merci de votre  
attention**

# ➤ La Prévision Numérique du Temps (PNT)

- **But**: prévoir l'état futur de l'atmosphère à l'aide de modèles numériques.
- Ces modèles utilisent :
  - des **équations mathématiques** (mécanique des fluides + thermodynamique)
  - des **paramétrisations physiques**
- La **qualité des modèles de PNT** dépend de la détermination d'un **état atmosphérique initial** (= analyse) devant être aussi proche que possible de la réalité.
- Cet état initial est déterminé en combinant:
  - **une ébauche** (= prévision à courte échéance)
  - **des observations** (*in situ* ou de télédétection)
- La combinaison de ces 2 sources d'informations est effectuée à l'aide d'une méthode appelée **l'assimilation de données** (assimilation de données variationnelle 3D-VAR ou 4D-VAR, par Interpolation Optimale, etc...).

## ➤ Cadre expérimental

### AIRS

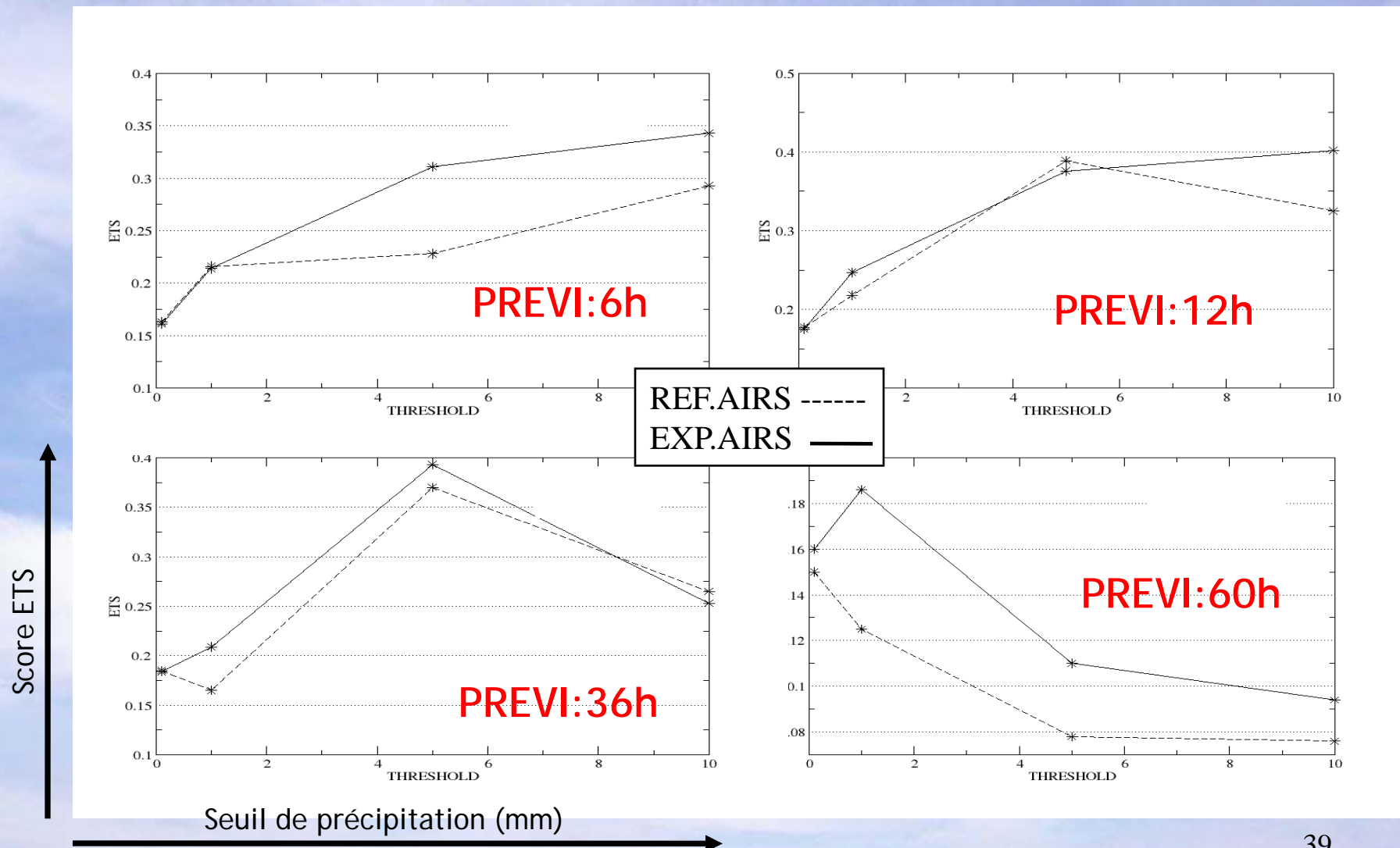
- Modèle ARPEGE version T358L46c2.4
- Var-BC des observations claires appliquée aux observations nuageuses
- 54 canaux TLW clairs et nuageux assimilés sur mer uniquement:
  - 19 canaux stratosphériques
  - 12 canaux dans la tropopause
  - 23 canaux troposphériques
- Opérateur d'observation : RTTOV (version 8.5) + interpolations verticales et horizontales
- $\text{Sigma}(O)_{\text{obs claires}} = \text{Sigma}(O)_{\text{obs nuageuses}} = 1\text{K}$
- REF.AIRS (exp de contrôle) : assimile toutes obs sauf AIRS nuageux
- EXP.AIRS: assimile toutes obs y compris AIRS nuageux
- Période d'assimilation : du 01/09/06 au 30/09/06

### IASI

- Modèle ARPEGE version T538L60c2.4
- Var-BC des observations claires appliquée aux observations nuageuses
- 146 canaux TLW assimilés:
  - 64 canaux sur mer en ciel clair
  - 50 canaux sur terre en ciel clair
  - 32 canaux sur glace de mer en ciel clair
  - 56 canaux sur mer en condition nuageuse
- Opérateur d'observation : RTTOV (version 8.5) + interpolations verticales et horizontales
- $\text{Sigma}(O)_{\text{obs claires}} = 0,5\text{K}$  et  $\text{Sigma}(O)_{\text{obs nuageuses}} = 1\text{K}$  (ou compris entre 0,8 et 1,5K)
- REF.IASI (exp de contrôle): assimile toutes obs y compris AIRS nuageux mais pas IASI nuageux
- EXP.IASI : assimile toutes obs y compris AIRS et IASI nuageux
- Période d'assimilation : du 15/01/09 au 05/02/09



# ➤ MEDICANE: Prévisibilité de la dépression (Précipitations)



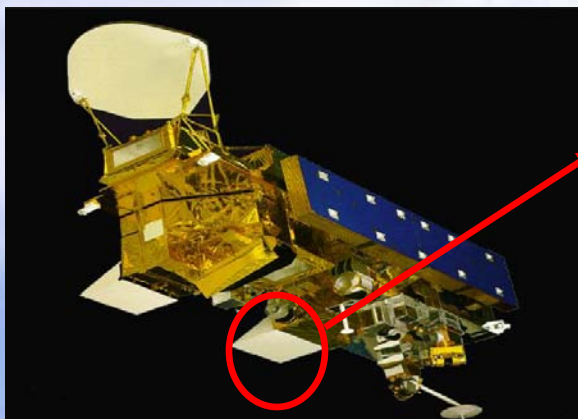
## ➤ KLAUS : Prévisibilité de la tempête : tableau récapitulatif

	REF.IASI		EXP.IASI	
	Distance (km)	Intensité (hPa)	Distance (km)	Intensité (hPa)
Analyses	0	+0,2	0	-0,9
Prévi 6h	100	+1,9	70	+1,3
Prévi 30h	190	+6,2	120	+3,9
Prévi 54h	120	+5,7	100	+4,9
Prévi 78h	∅	∅	∅	∅
Prévi 102h	∅	∅	50	+11,5

*Différence (distance / intensité) par rapport à l'analyse du CEP des prévisions issues de REF.IASI et de EXP.IASI*

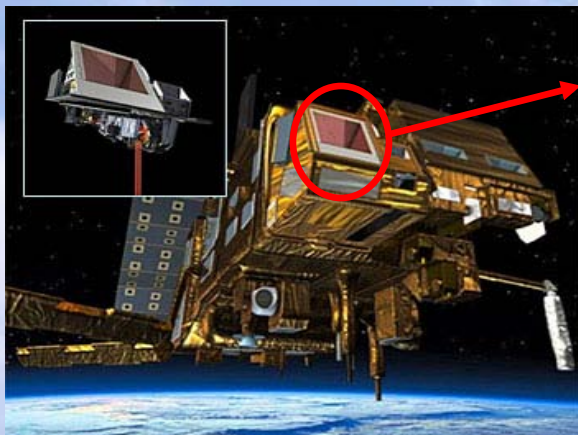
## ➤ Les sondeurs infrarouges hyperspectraux

- Qualité des instruments satellitaires largement améliorée depuis une 10<sup>aine</sup> d'années (grâce aux progrès réalisés en optique et télédétection).



### AIRS (*Atmospheric Infra-Red Sounders*)

- lancé en 2002 à bord du satellite Aqua (NASA)
- 2378 canaux couvrant la plage 3.7 à 15.4  $\mu\text{m}$



### IASI (*Infra-red Atmospheric Sounding Interferometer*)

- lancé en 2006 à bord du satellite MetOp (EUMETSAT)
- 461 canaux couvrant la plage 3.7 à 15.5  $\mu\text{m}$

Bruit  
radiométrique  
plus faible  
que HIRS

Meilleure  
résolution  
spectrale  
et verticale  
que HIRS

- Volume d'observations fournies à l'analyse potentiellement 100 X plus important qu'avec les précédents instruments (HIRS).



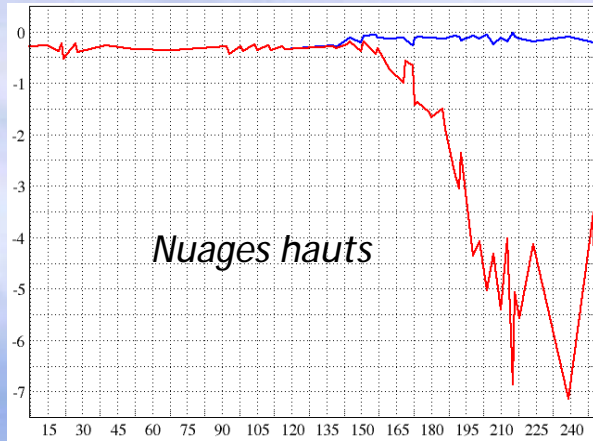
# ➤ MODIS : estimation des erreurs / fiabilité des paramètres nuageux (Menzell et al 2008; Frey et al 1999)

- **Précision = fonction** : - calibration instrument
  - masque nuageux
    - RTM
    - caractéristiques atmosphère
  - type nuage

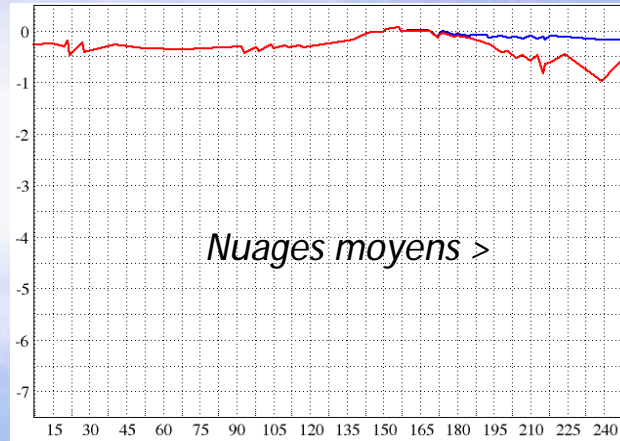
Type nuage	Différences P <sub>TOP</sub> par rapport à LIDAR
Nuage fins moyens et hauts	+/- 50hPa en moyenne
Nuage bas (pas d'inversions de température)	+/- 50hPa en moyenne
Nuage bas (avec inversion de température)	Jusqu'à -200hPa (P <sub>TOP</sub> + haut que LIDAR)
Nuage multicouches (couches > opaque)	+/- 50 hPa en moyenne
Nuage multicouches (couches > semi-transparent)	<b>moyenne radiative des 2 couches</b> (P <sub>TOP</sub> + bas que LIDAR) DAR CLS et LIDAR CPL)

## ➤ Impact Echec sur analyse

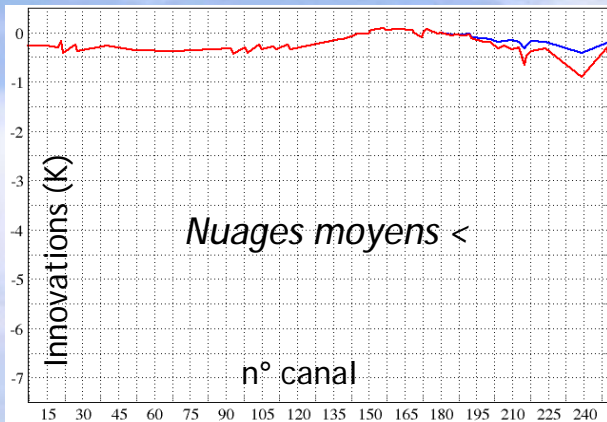
- **Si Echec** (nuage observé mais non diagnostiqué):



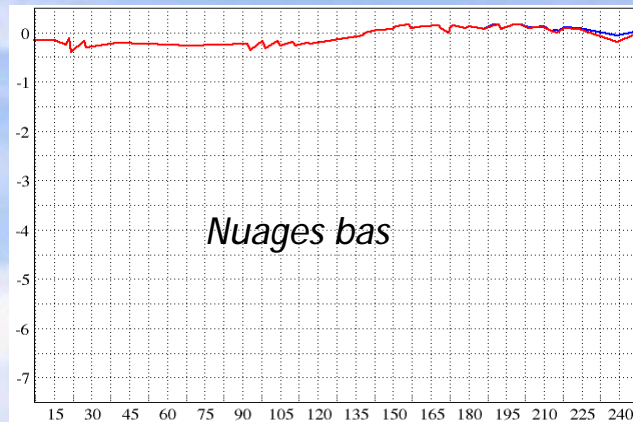
200-400hPa



400-600hPa



600-800hPa



800-950hPa

— Simulation radiances claires + nuageuses

— Simulation radiances claires uniquement

• Si nuages hauts et moyens > (200-600hPa) non-déTECTÉS: spectre AIRS très impacté pour canaux troposphériques

• Si nuages moyens < et nuages bas (600-950hPa) non-déTECTÉS: spectre AIRS presque pas impacté

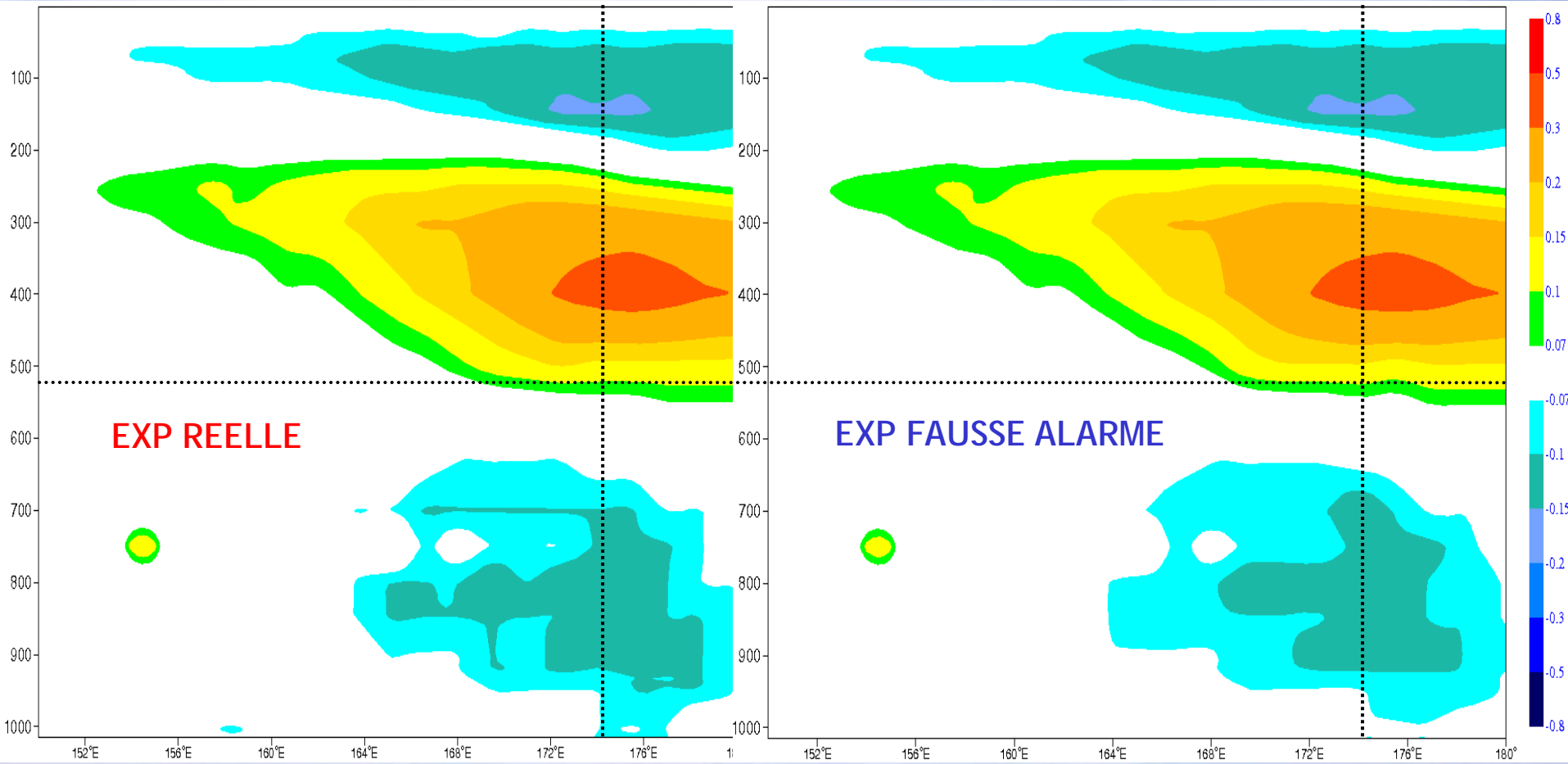
Innovations (obs-ébauche) de toutes les observations en fonction PTOP. Les 54 canaux actifs sont représentés uniquement. 01/09/2006 à 00UTC

## ➤ Impact Fausse alarme sur analyse

• **Si Fausse alarme** (nuage non observé mais diagnostiqué): nuage bas diagnostiqué

- exp à 1 obs claire « réelle » : P<sub>TOP</sub>= 914, Ne=0 **EXP REELLE**

- exp à 1 obs nuageuse « simulée » : P<sub>TOP</sub>:914, Ne=1 **EXP FAUSSE ALARME**



*Incréments d'analyse en température*

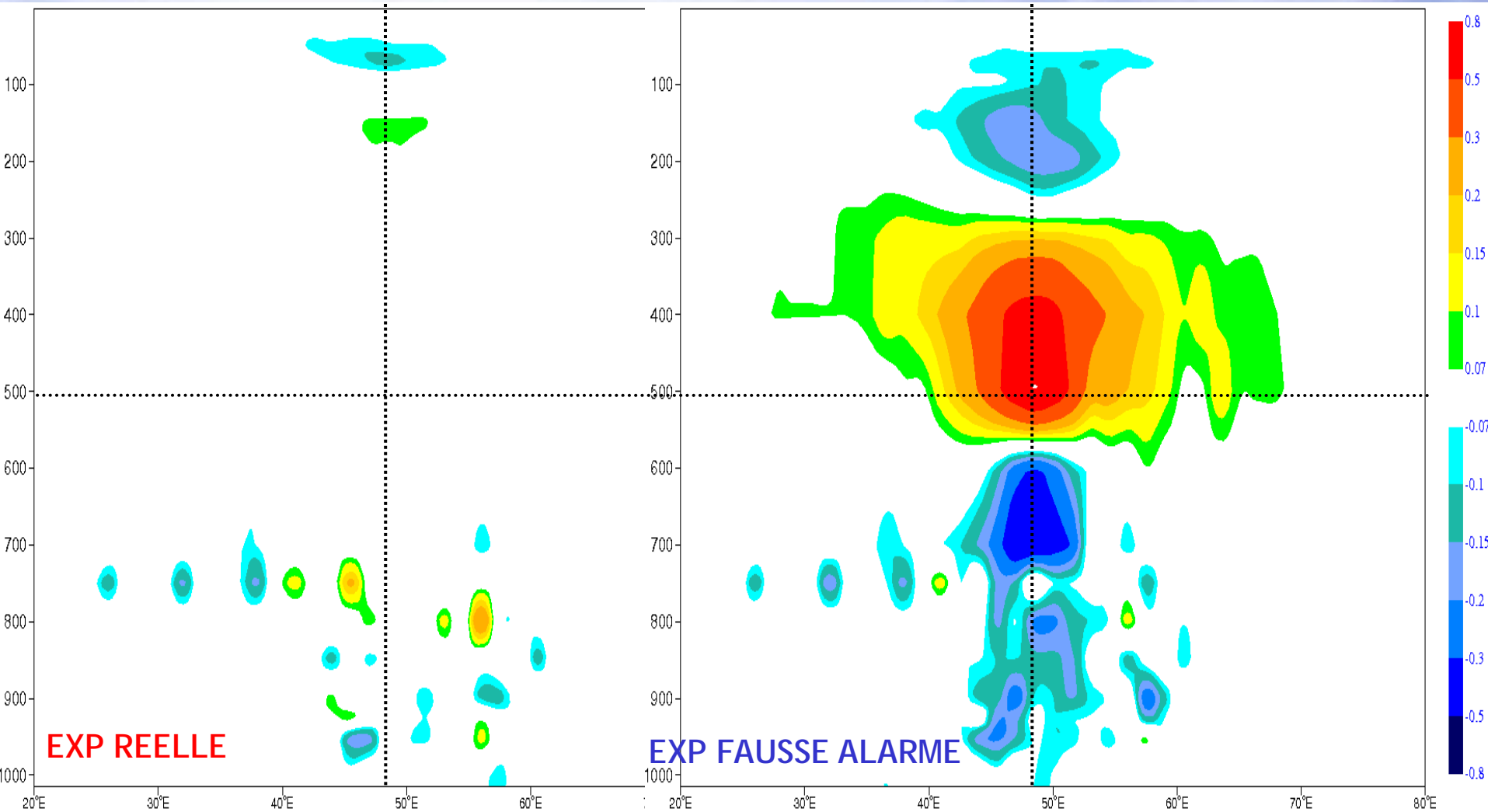


## ➤ Impact Fausse alarme sur analyse

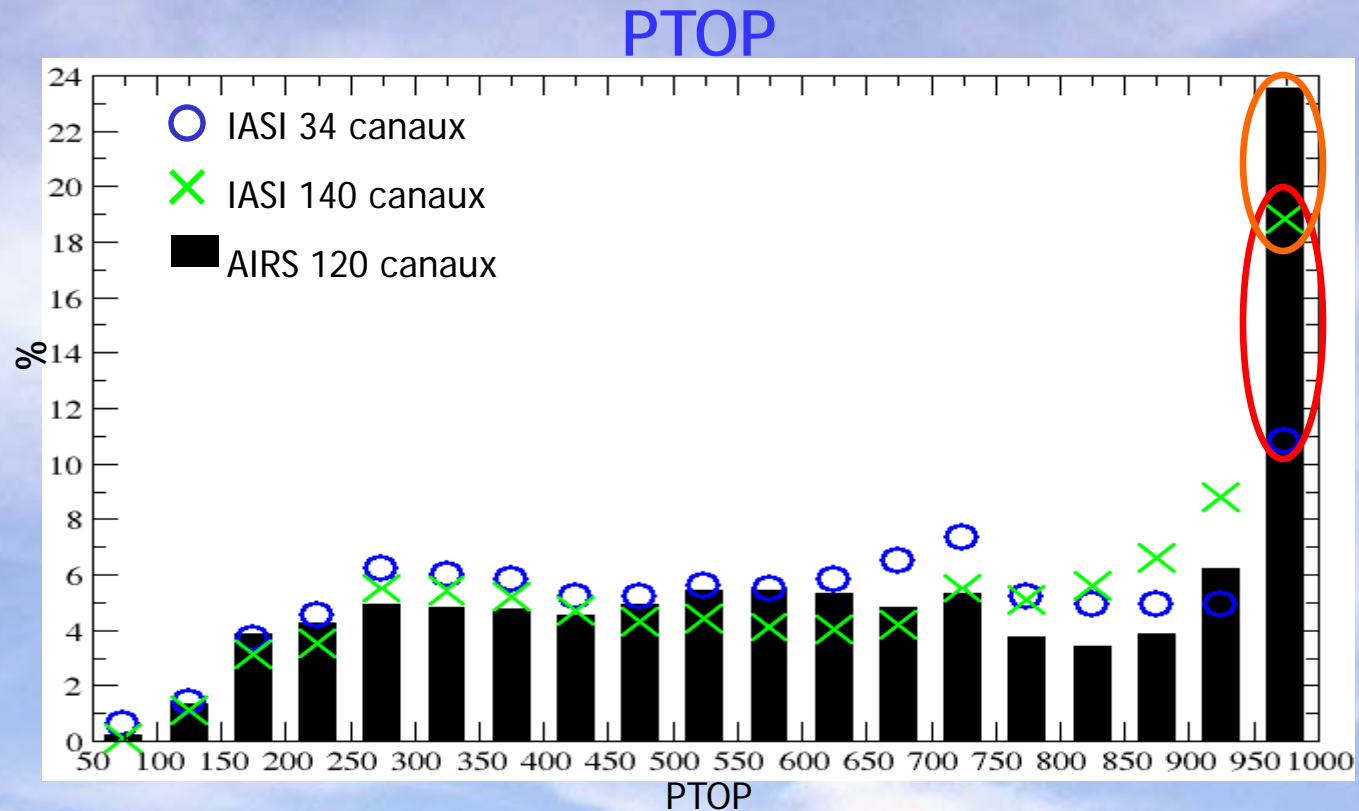
• **Si Fausse alarme** (nuage non observé mais diagnostiqué): nuage moyen diagnostiqué

- exp à 1 obs claire « réelle » : P<sub>TOP</sub>= 503, Ne=0 **EXP REELLE**

- exp à 1 obs nuageuse « simulée » : P<sub>TOP</sub>:503, Ne=1 **EXP FAUSSE ALARME**



## ➤ Répartition paramètres nuageux AIRS / IASI

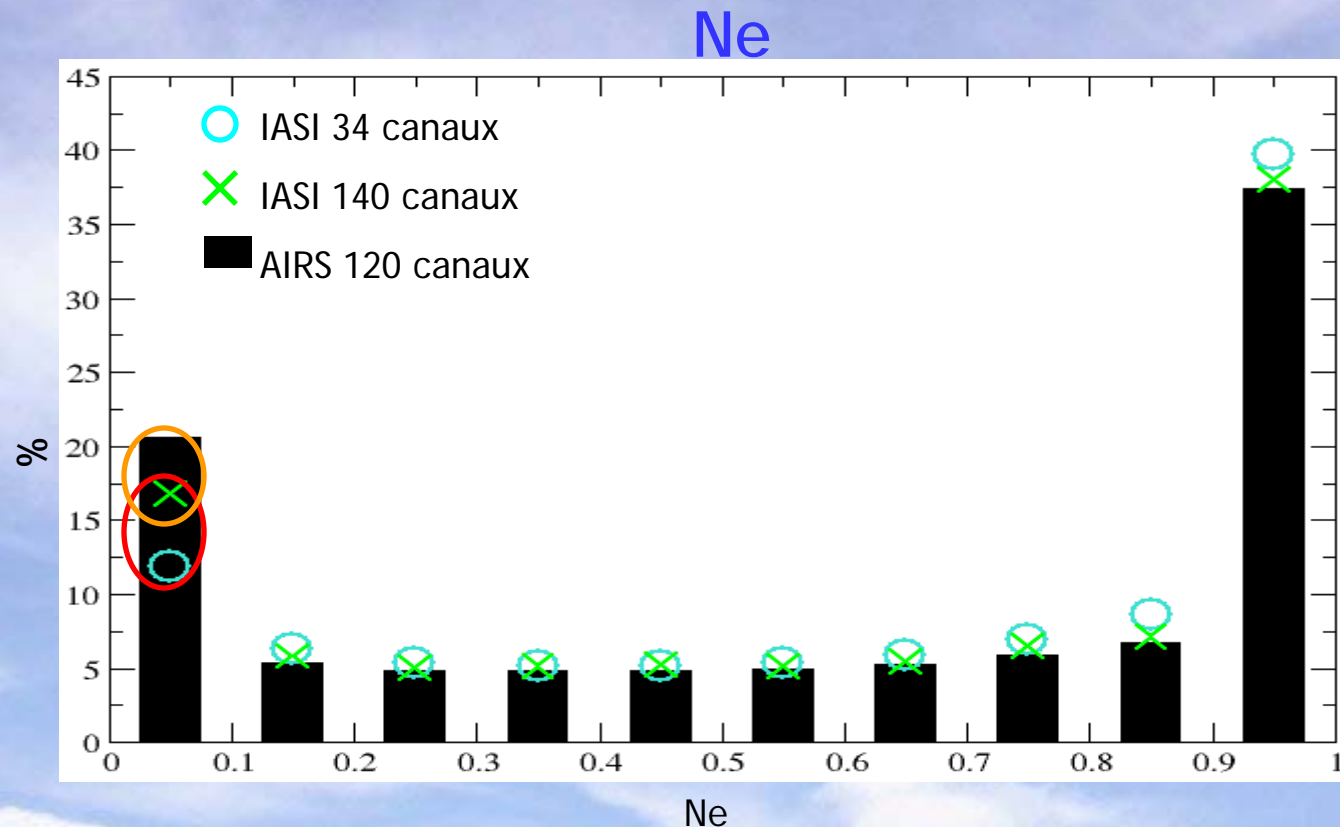


- Géométrie de navigation différente entre MetOp et Aqua

- Choix du jeu de canaux

- Choix du pixel le plus chaud pour AIRS (pas pour IASI) donc potentiellement + contaminé par nuage bas que par autre type nuage

## ➤ Répartition paramètres nuageux AIRS / IASI



- Géométrie de navigation différente entre MetOp et Aqua

- Choix du jeu de canaux

- Choix du pixel le plus chaud pour AIRS (pas pour IASI) donc potentiellement - contaminé par un nuage que IASI **et**

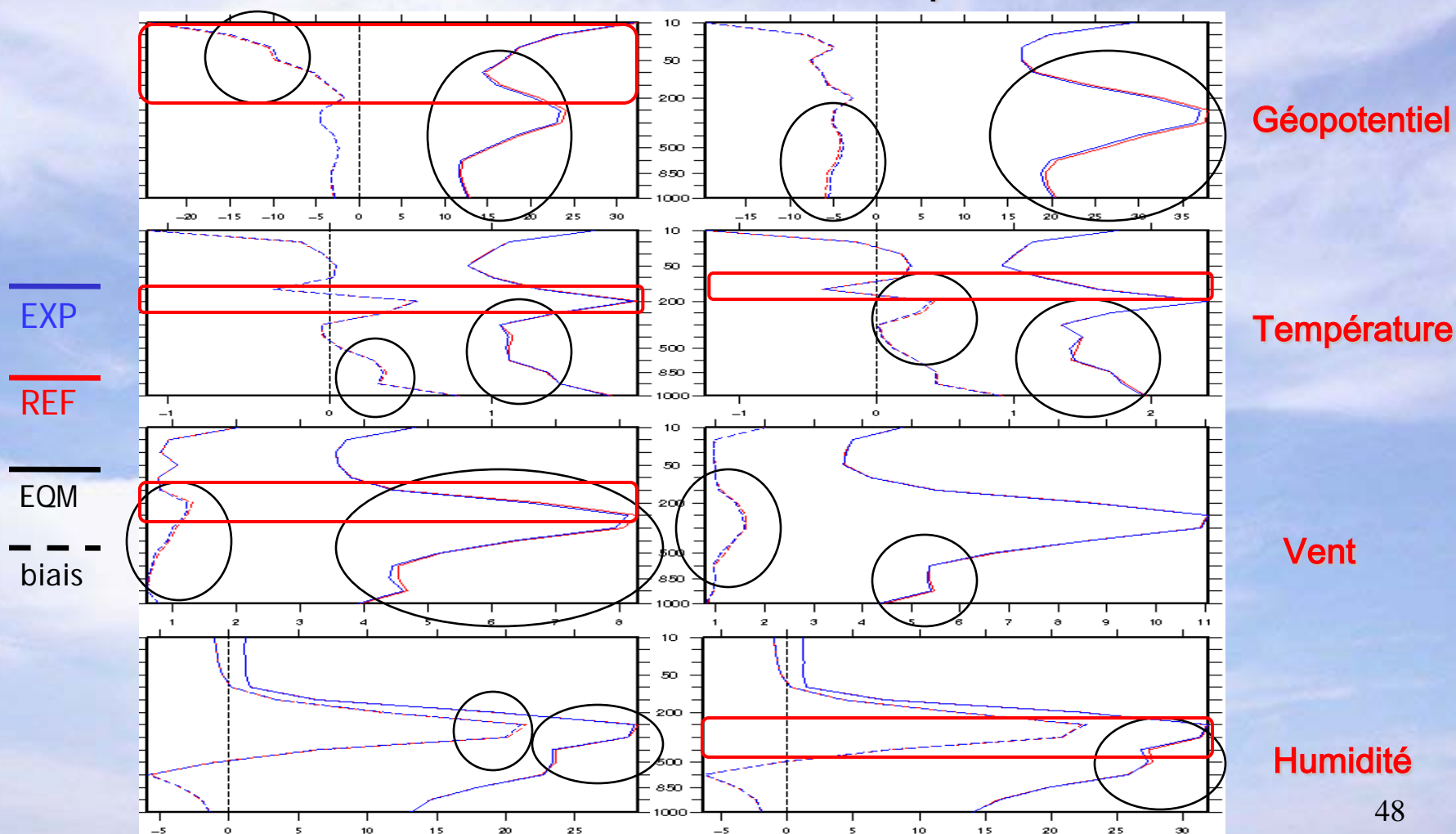
- % d'échec du CO2-Slicing + important pour AIRS que pour IASI



## ➤ Impact sur les prévisions globales: AIRS (2) (Domaine Europe)

48h de prévision

72h de prévision



## • Pourquoi ?

A - Disposer d'algorithmes de détection nuageuse fiables pour détecter les radiances nuageuses pour (i) les rejeter ou (ii) les traiter pour les inclure au modèle.

B - Disposer d'outils de classification des nuages en vue d'une assimilation sélective des radiances nuageuses.

C - Vérifier que les algorithmes de détection nuageuses utilisés présentent des résultats concordants en vue d'une utilisation conjointe de différents schémas.

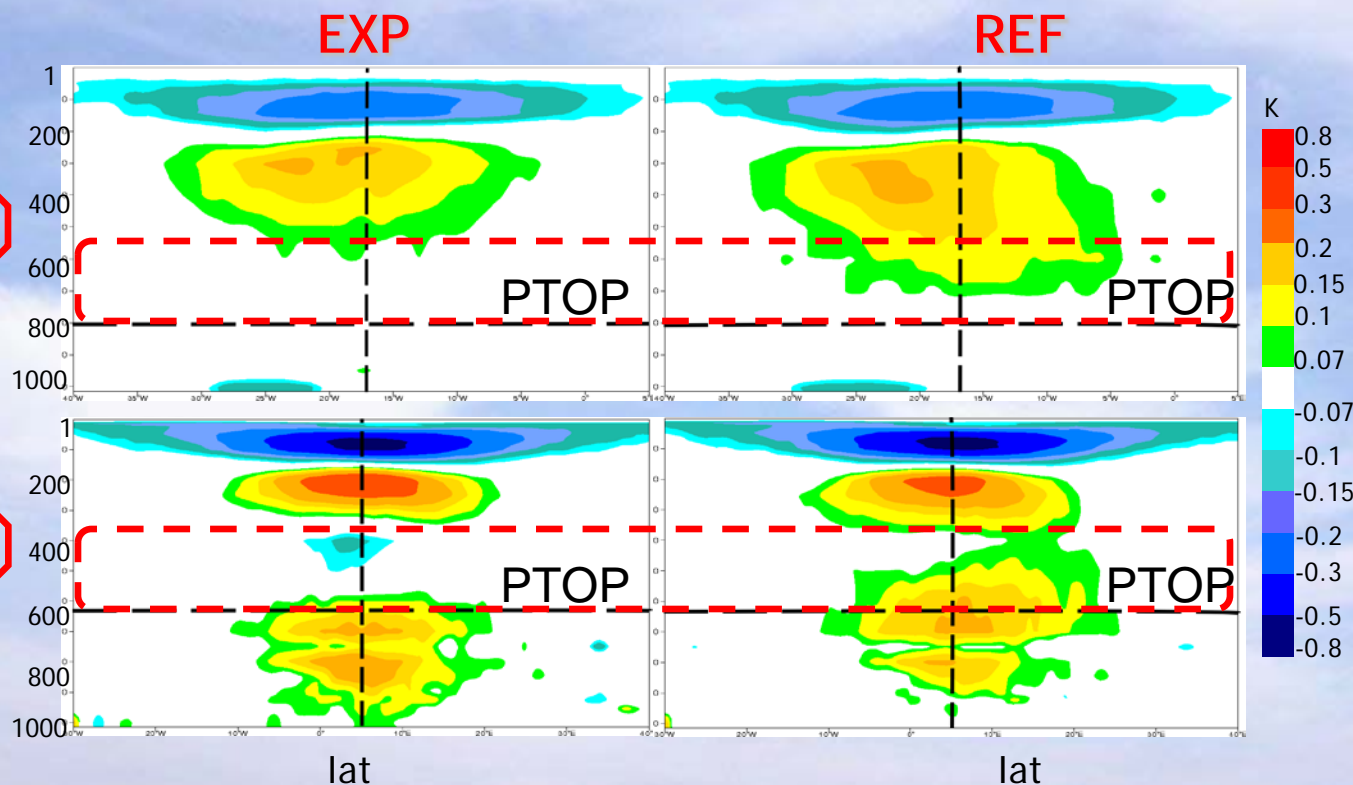
## • Algorithmes de détection nuageuse testés

- l'algorithme du **CO2-Slicing** (Chahine et al 74).
- l'algorithme du **Cloud-Detect** développé au CEPMMT (McNally and Watts 2003).

## ➤ Impact sur l'analyse ARPEGE: Expérience à 1 observation

profil	lon (°C)	lat (°C)	Nb canaux AIRS actifs EXP	Nb canaux AIRS actifs REF	PTOP (hPa)	Ne
1	-16.9	-43.6	54 (45 clairs + 9 nuageux)	45 clairs	802	1 (opaque)
2	5.0	-41.2	54 (44 clairs + 10 nuageux)	44 clairs	630	0.34 (semi-transparent)

*Incréments d'analyse (analyse - ébauche) en température (01/09/06)*

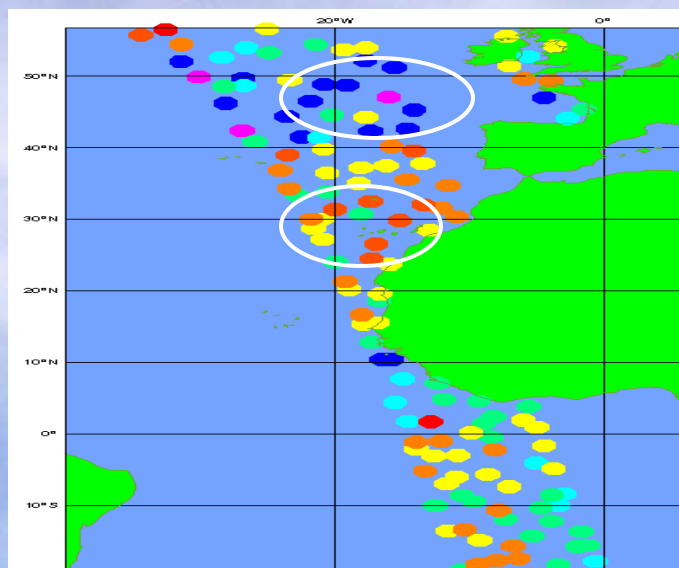


Modifications  
principalement  
situées juste  
au-dessus du  
sommet du  
nuage : zone où  
canaux assimilés  
(EXP) ou rejetés  
(REF)



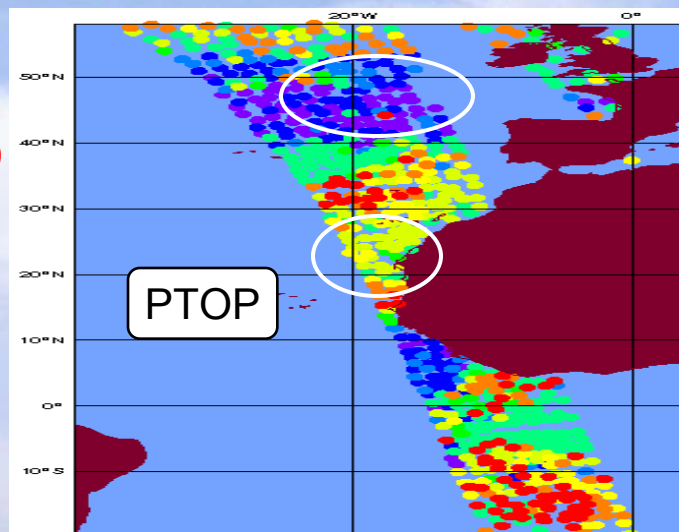


## ➤ Données produites par les algorithmes de détection

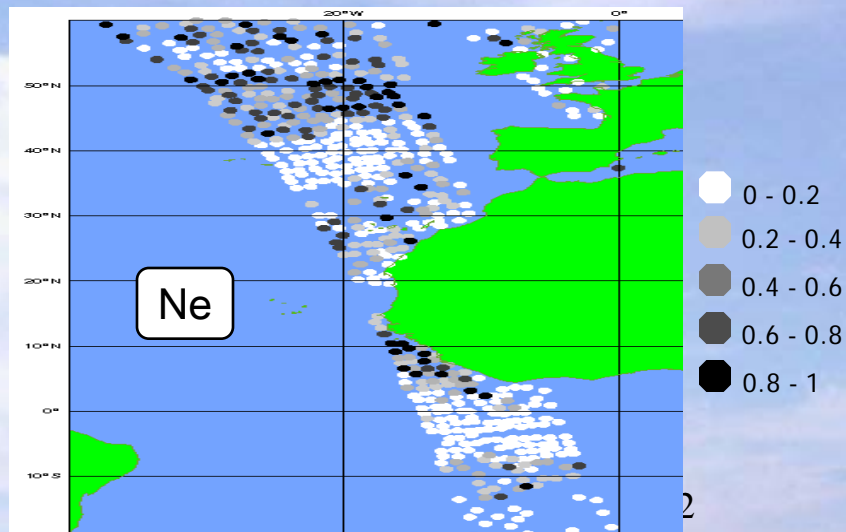


- 40/60 canaux clairs
- 60/80 canaux clairs
- 80/100 canaux clairs
- 100/120 canaux clairs
- 120/140 canaux clairs
- 140/160 canaux clairs
- 160/180 canaux clairs
- 180/200 canaux clairs

*Nombre de canaux clairs assimilés par pixel par le Cloud-Detect pour le 01/09/06 entre 13 et 15UTC*



- 200-300hPa
- 300-400hPa
- 400-500hPa
- 500-600hPa
- 600-700hPa
- 700-800hPa
- 800-900hPa
- 900-1000hPa
- 1000-1050hPa

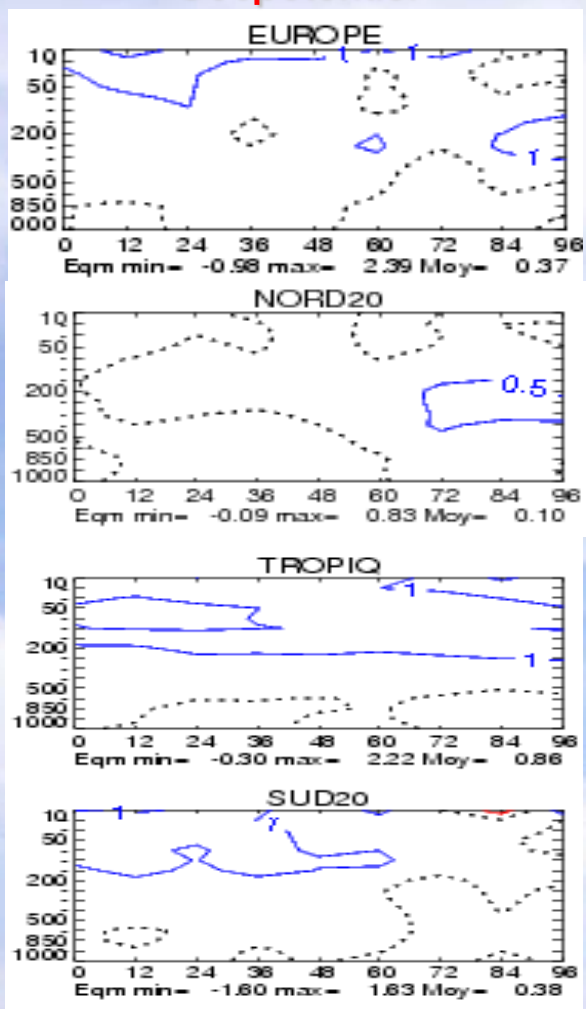


- 0 - 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.6
- 0.6 - 0.8
- 0.8 - 1

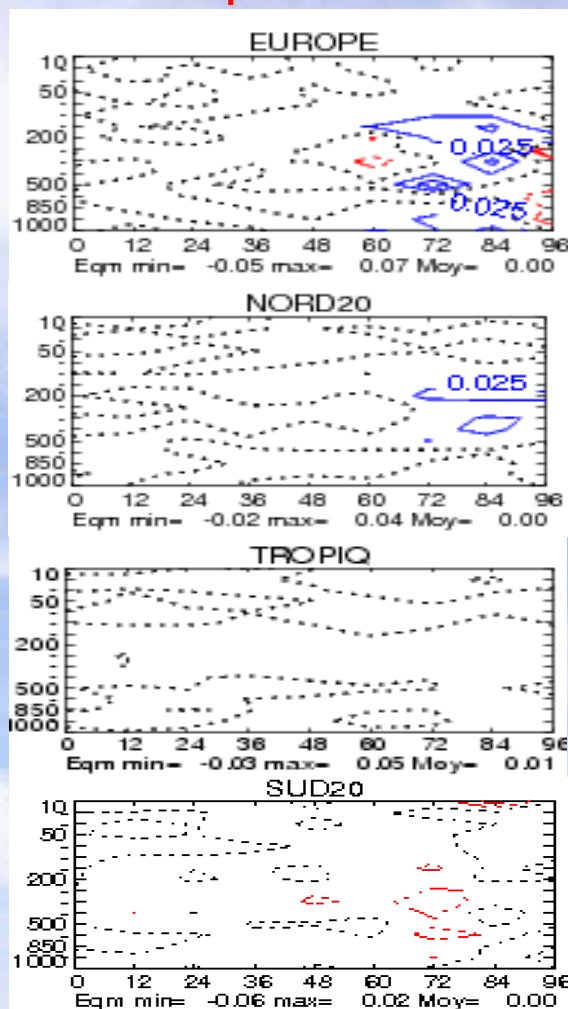
*Paramètres nuageux issus du CO2-Slicing pour le 01/09/06 entre 13 et 15UTC*

## ➤ Impact sur les prévisions globales: AIRS (1)

### Géopotentiel



### Température



#### • Géopotentiel:

Impacts positifs et statistiquement significatifs.

#### • Température:

Impacts globalement positifs mais non significatifs (= vent et humidité)

Pression (hPa)



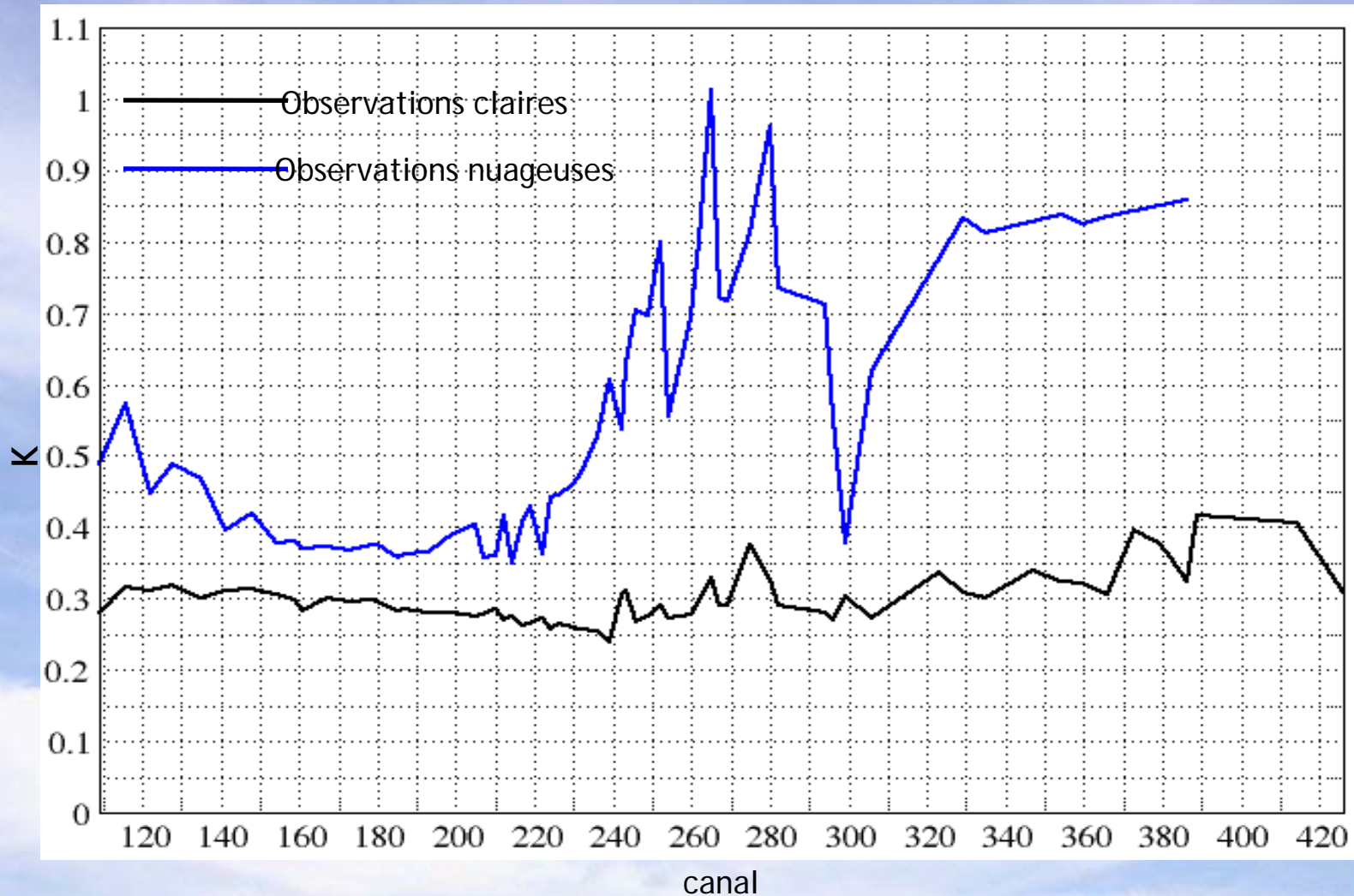
$\text{err EXP} < \text{err REF}$   $\text{err EXP} > \text{err REF}$

Échéance de prévision

Différence de EQM entre REF et EXP par rapport aux observations de radiosondages du 01/09/06 au 04/10/06



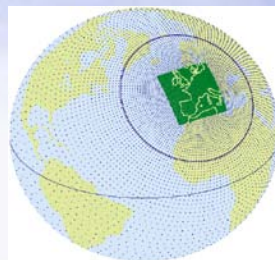
## ➤ Déterminer le sigma(o) des obs nuageuses IASI



*Moyenne du 15/01/09 au 21/01/09 des écart-types des innovations des observations IASI.  
Partie « assimilable » du spectre pour canaux clairs et canaux nuageux*

# ➤ L'assimilation variationnelle 4D-VAR (1)

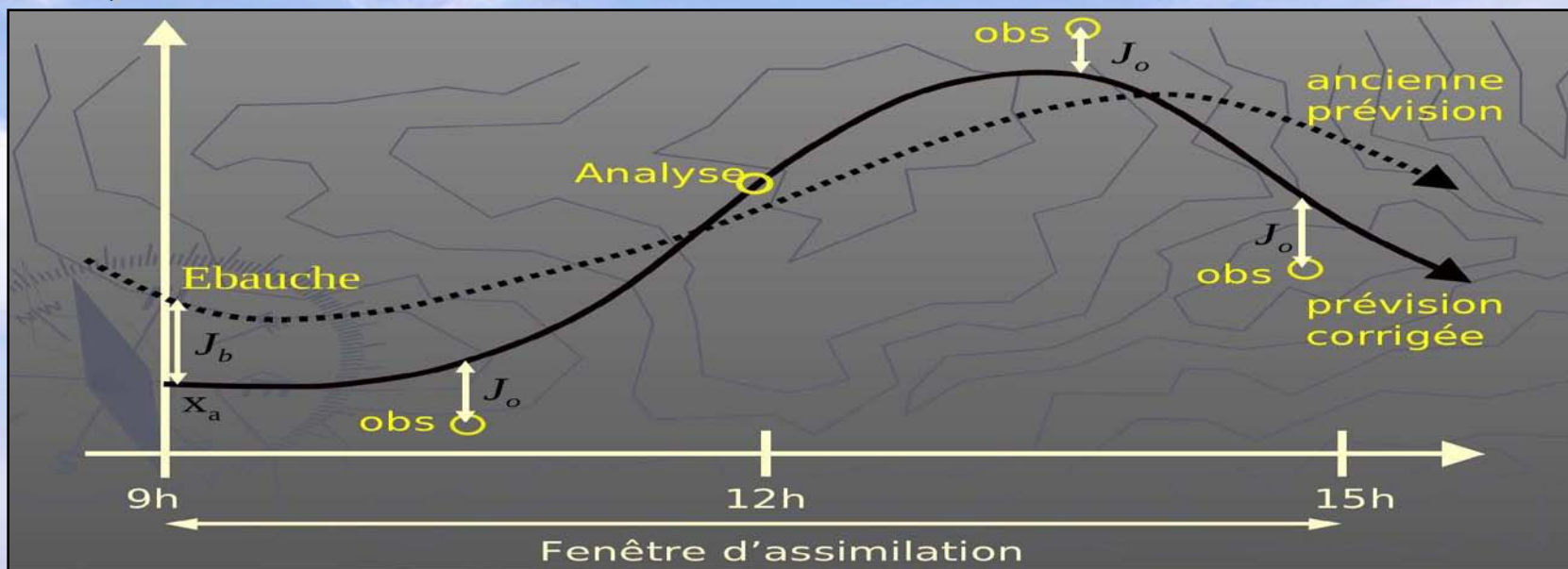
Comment combiner au mieux



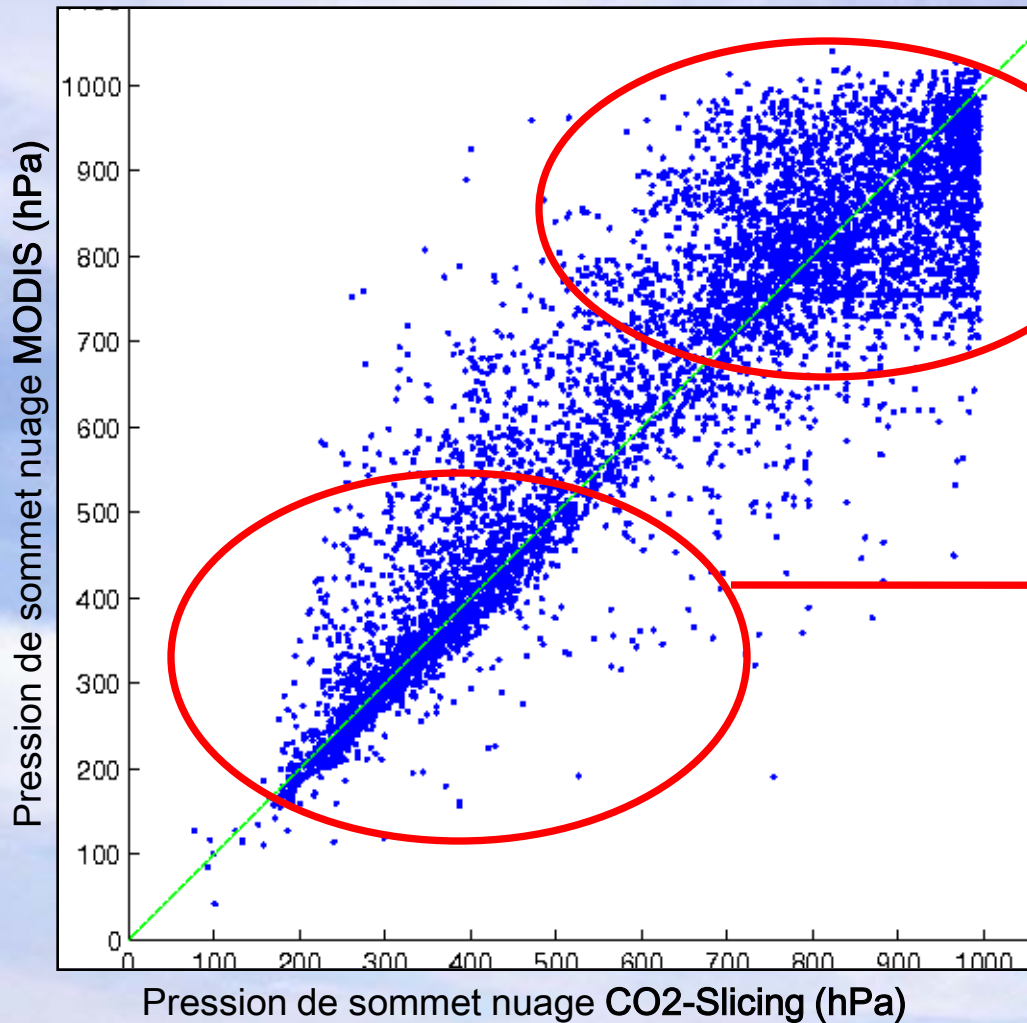
l'assimilation  
de données

## • Principe:

- Modifier l'état du modèle en combinant au mieux les différentes sources d'information de l'atmosphère (obs + ébauche) pour définir les conditions initiales d'une trajectoire optimale sur une fenêtre temporelle d'assimilation (de 6h à Météo-France).



➤ Résultats (3): précision de la caractérisation par le CO2-Slicing



Corrélation légèrement moins bonne pour nuages bas et très bas.

Très bonne corrélation pour nuages moyens et hauts.

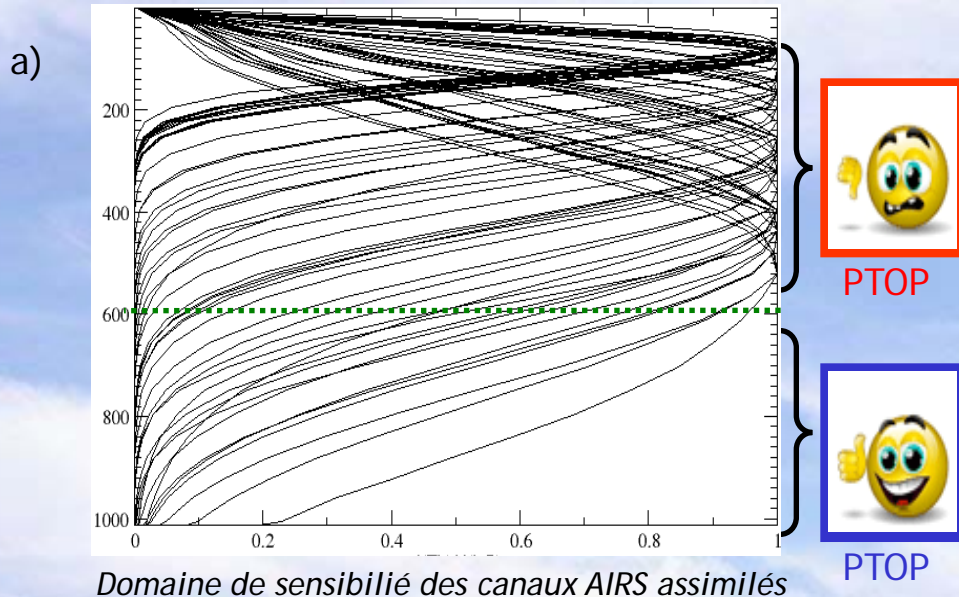
Indice de corrélation: 0,79



## ➤ Stratégie d'assimilation des radiances nuageuses: 2-Application aux nuages bas et moyens (1)

Radiances nuageuses assimilées si  $600 \text{ hPa} < \text{PTOP} < 950 \text{ hPa}$

Pourquoi rejeter radiances contaminées par un nuage plus haut que 600 hPa ?



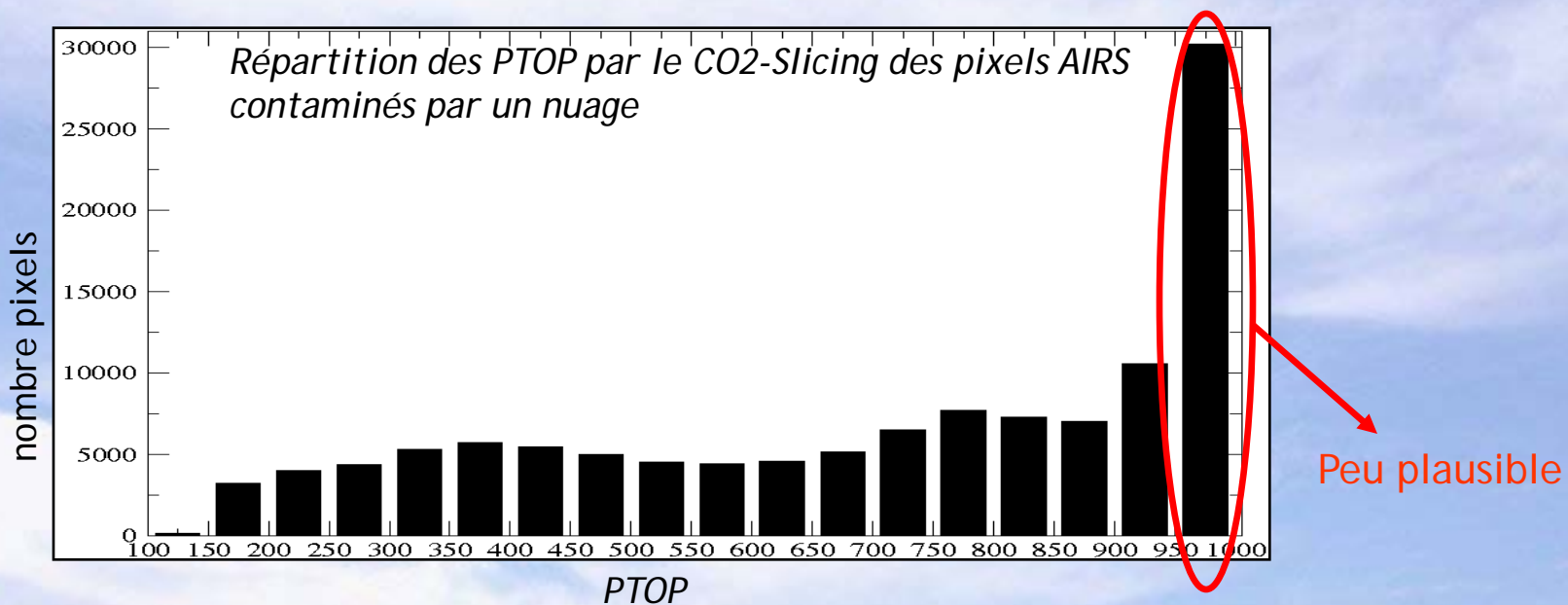
Car la modélisation des canaux nuageux est problématique si leur domaine de sensibilité maximal est au dessous du P<sub>TOP</sub> estimé (Pavelin et al 2008).

b) Car probabilité + élevée de nuages multicouches ou de différents nuages se recouvrant partiellement sur verticale.

## ➤ Stratégie d'assimilation des radiances nuageuses: 2-Application aux nuages bas et moyens (2)

Radiances nuageuses assimilées si  $600 \text{ hPa} < \text{PTOP} < 950 \text{ hPa}$

Pourquoi rejeter radiances contaminées par un nuage plus bas que 950 hPa ?

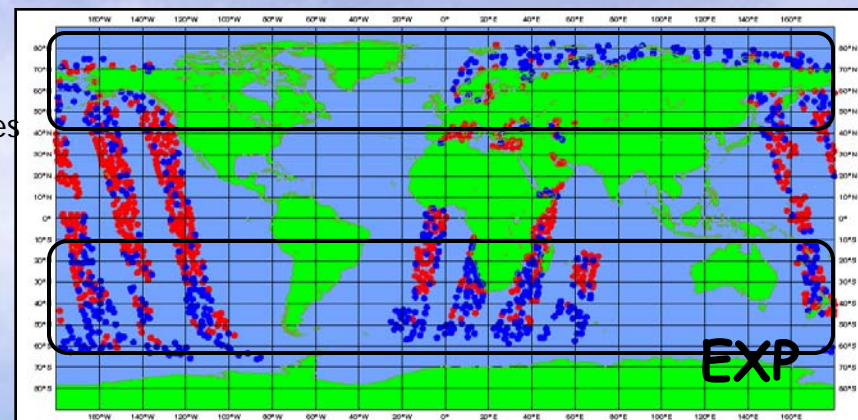
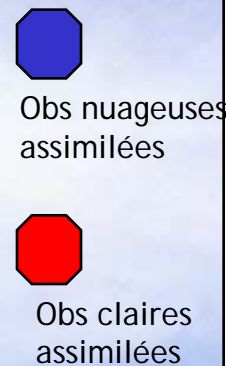
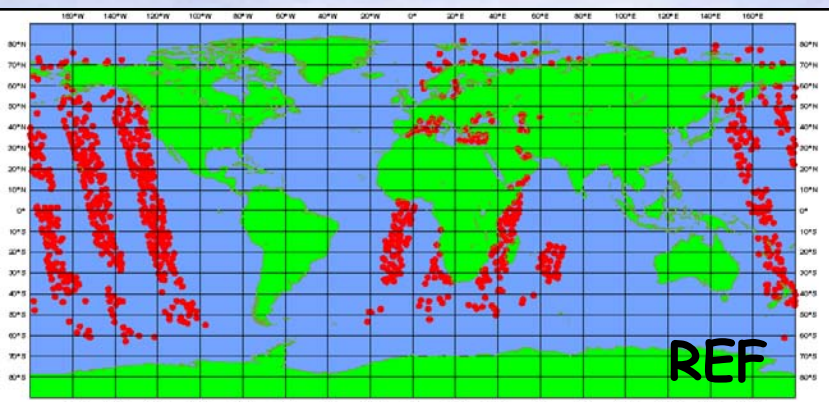


— Difficulté du CO<sub>2</sub>-Slicing à caractériser ces nuages très bas.

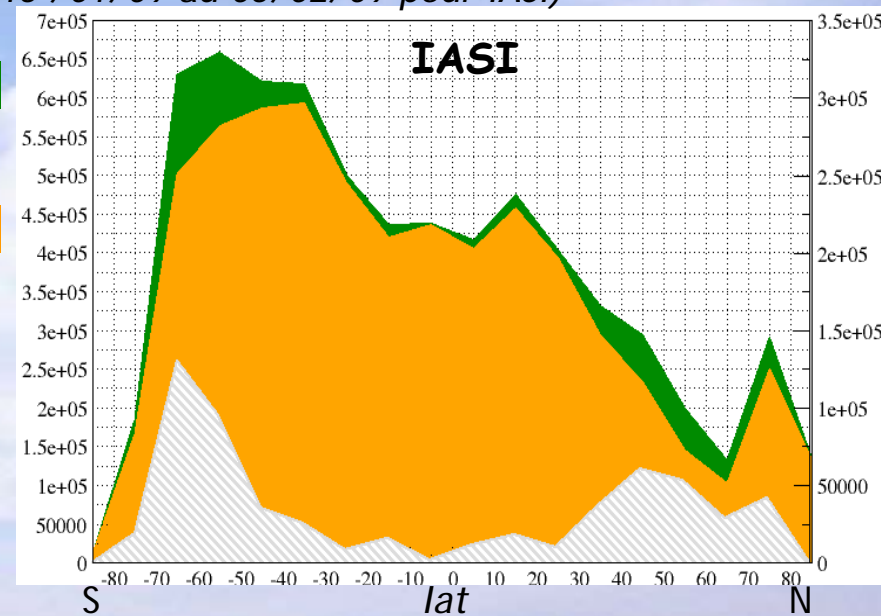
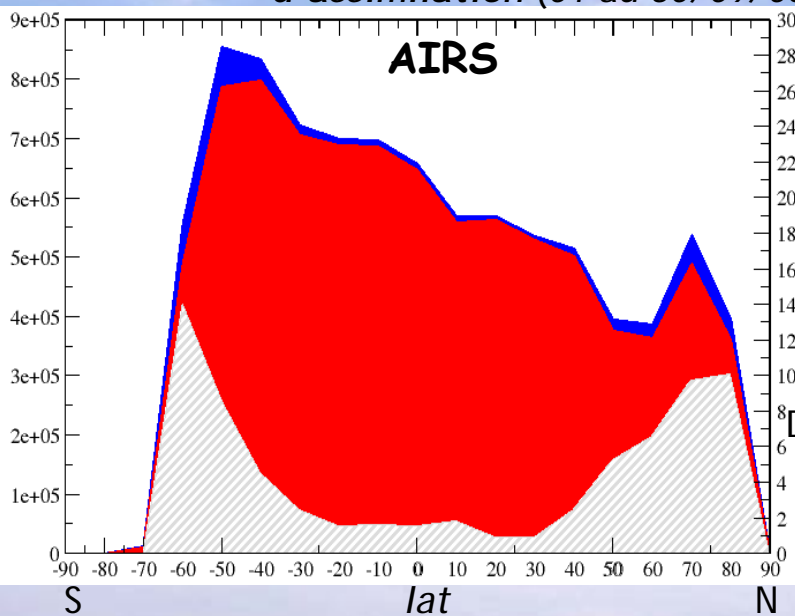
Bon compromis entre (i) rejet des radiances nuageuses douteuses et celles pouvant dégrader l'analyse et (ii) assimilation d'un nombre non négligeable de radiances nuageuses.

## Localisation des observations supplémentaires assimilées

artition des observations assimilées pour le canal AIRS 239 (478 hPa: troposphère). 01/09/06 à 00UTC

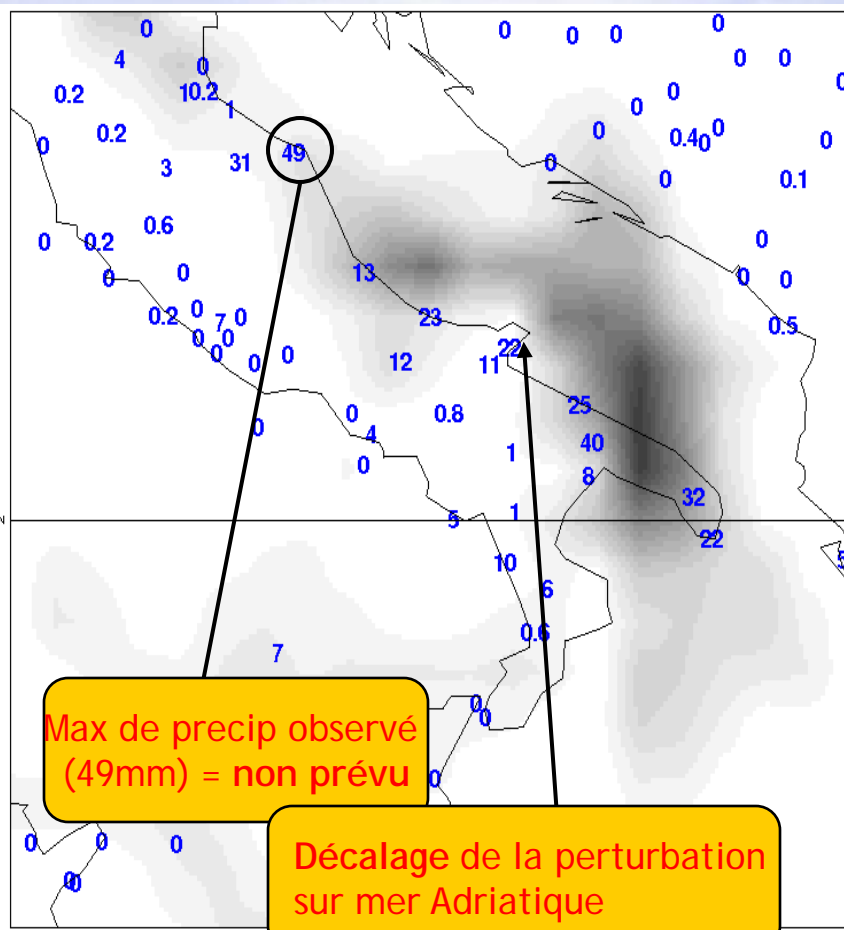


Distribution géographique des canaux assimilés par EXP et REF en fonction de la latitude sur toute la période d'assimilation (01 au 30/09/06 pour AIRS et 15 /01/09 au 05/02/09 pour IASI)

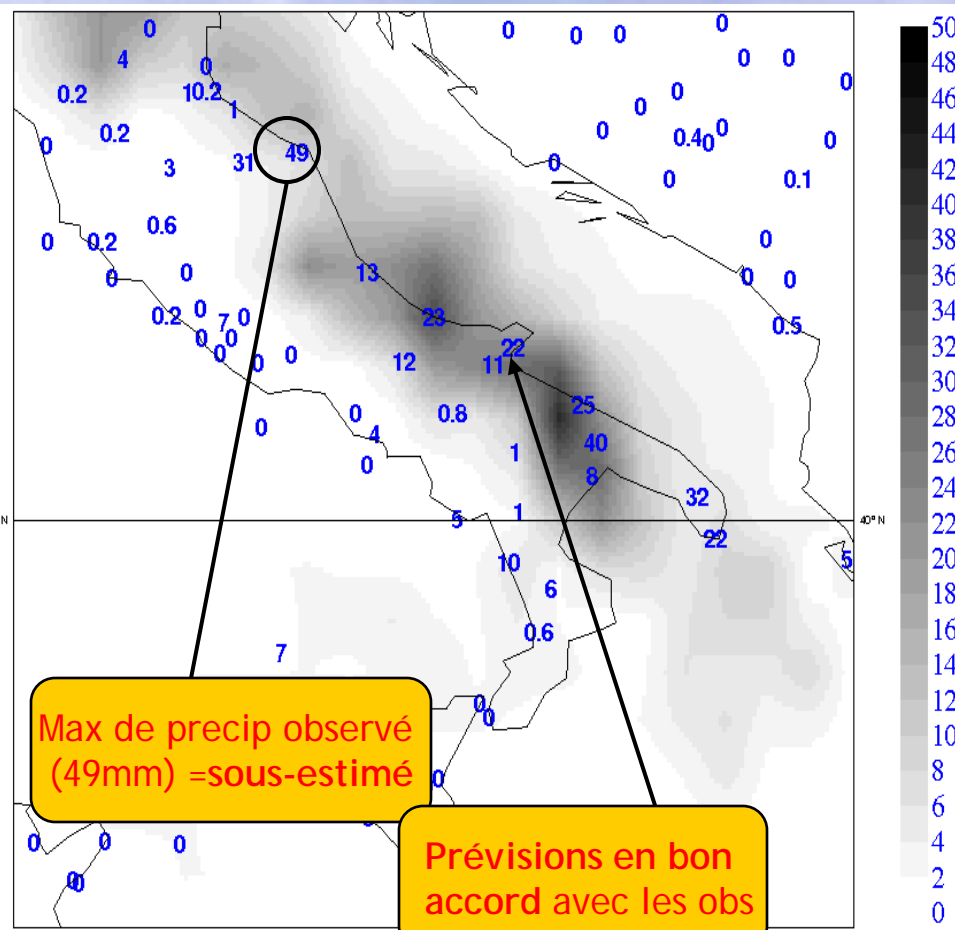




## ➤ MEDICANE: Prévisibilité de la dépression c-Précipitations



**REF.AIRS: Prévi à 60h**



**EXP.AIRS: Prévi à 60h**