

Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier

CNRM-GAME

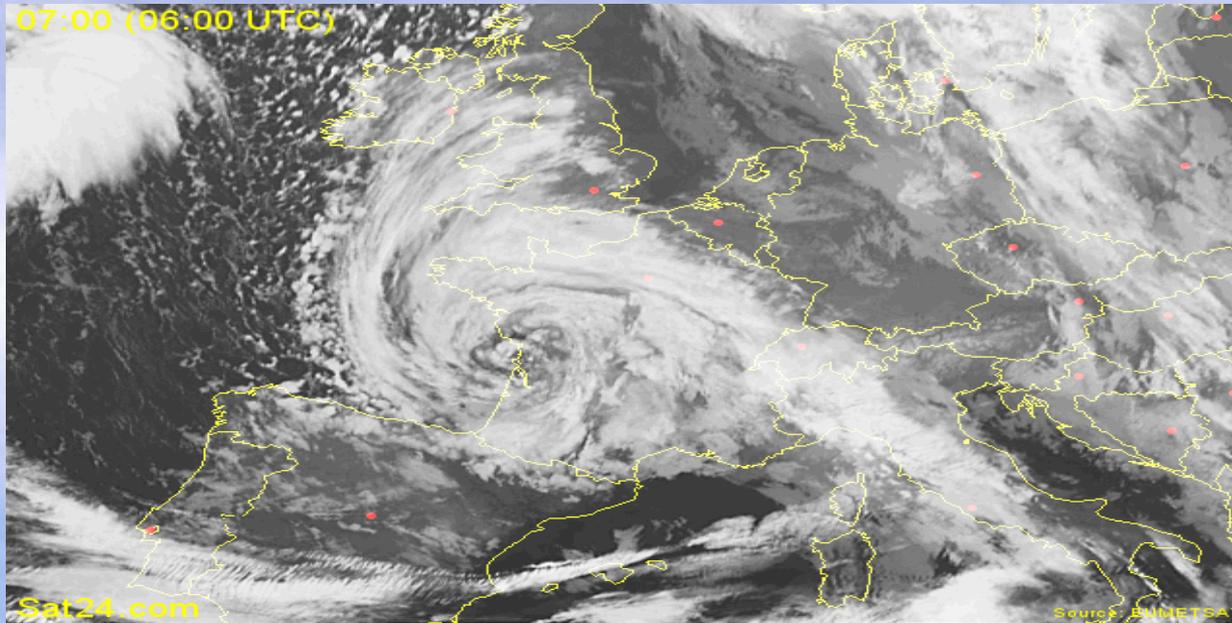
**Assimilation des radiances des sondeurs
infrarouges hyperspectraux
en condition nuageuse:
Application à des cyclogénèses
extratropicales**

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 événements intenses (+ tourisme, agriculture, loisirs...)



Comment réaliser une prévision météo ?

Des observations



Obs conventionnelles

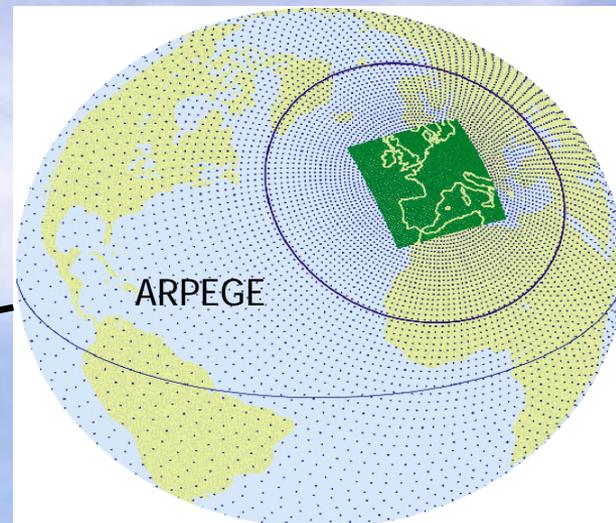


Obs satellitaires

Assimilation de données



Un modèle de prévision



➤ Le sondage satellitaire passif

• Concept:

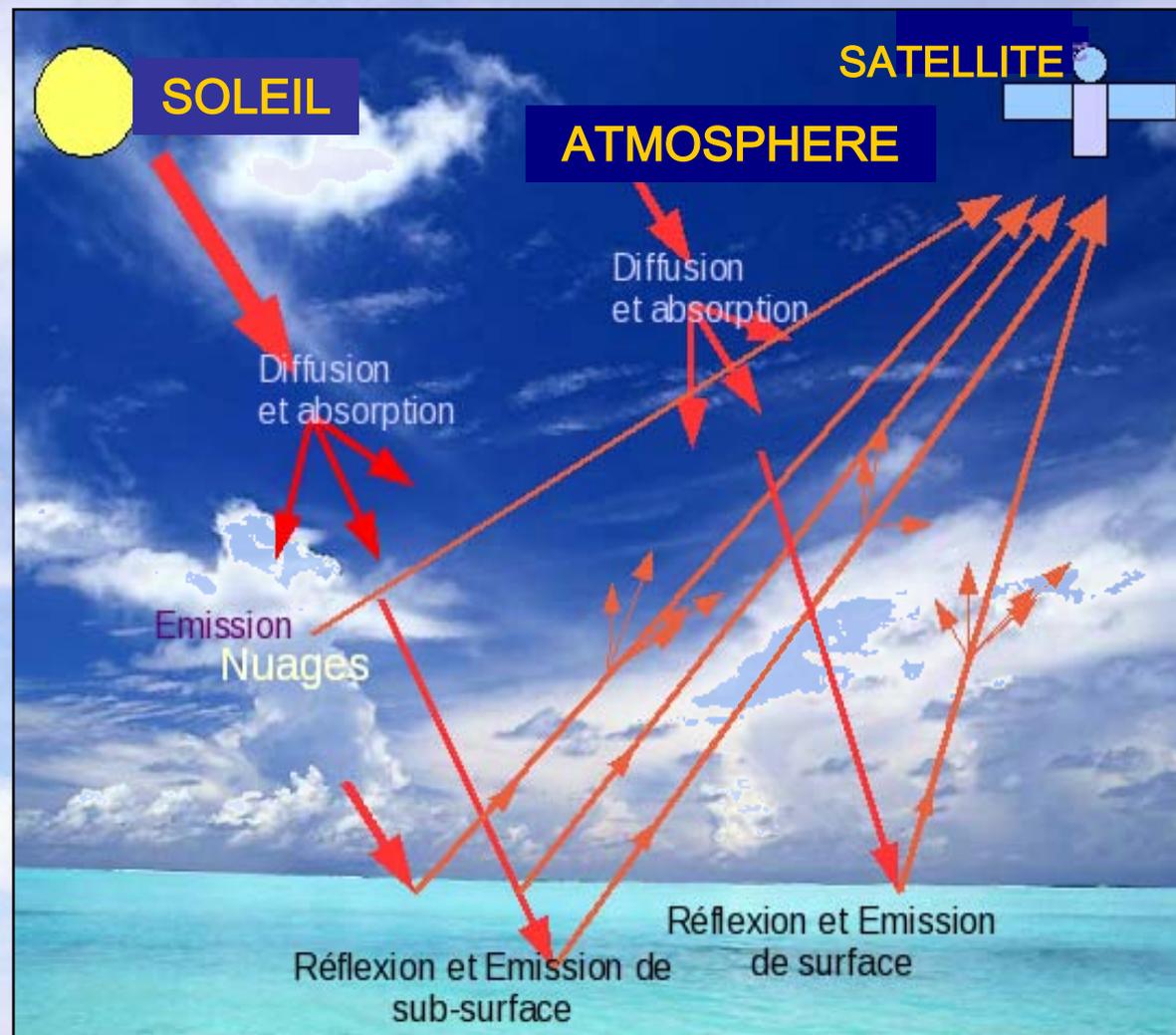
Mesure du rayonnement électromagnétique émis par la terre et l'atmosphère vers l'espace (= radiance).

• 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)



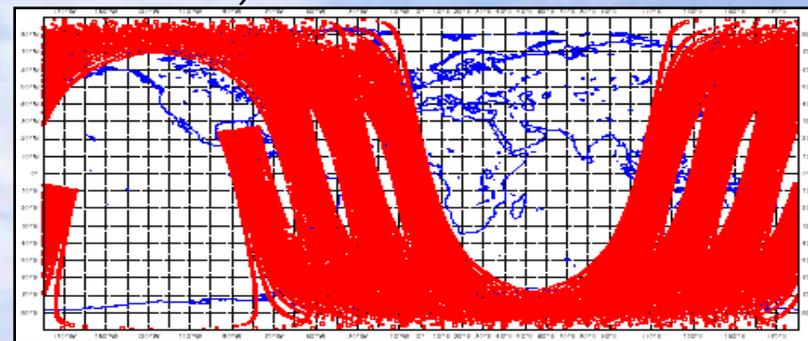
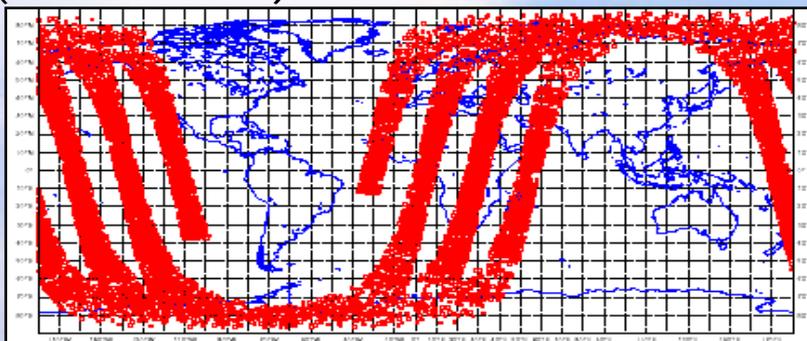
(Infra-red Atmospheric Sounding
Interferometer)

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

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

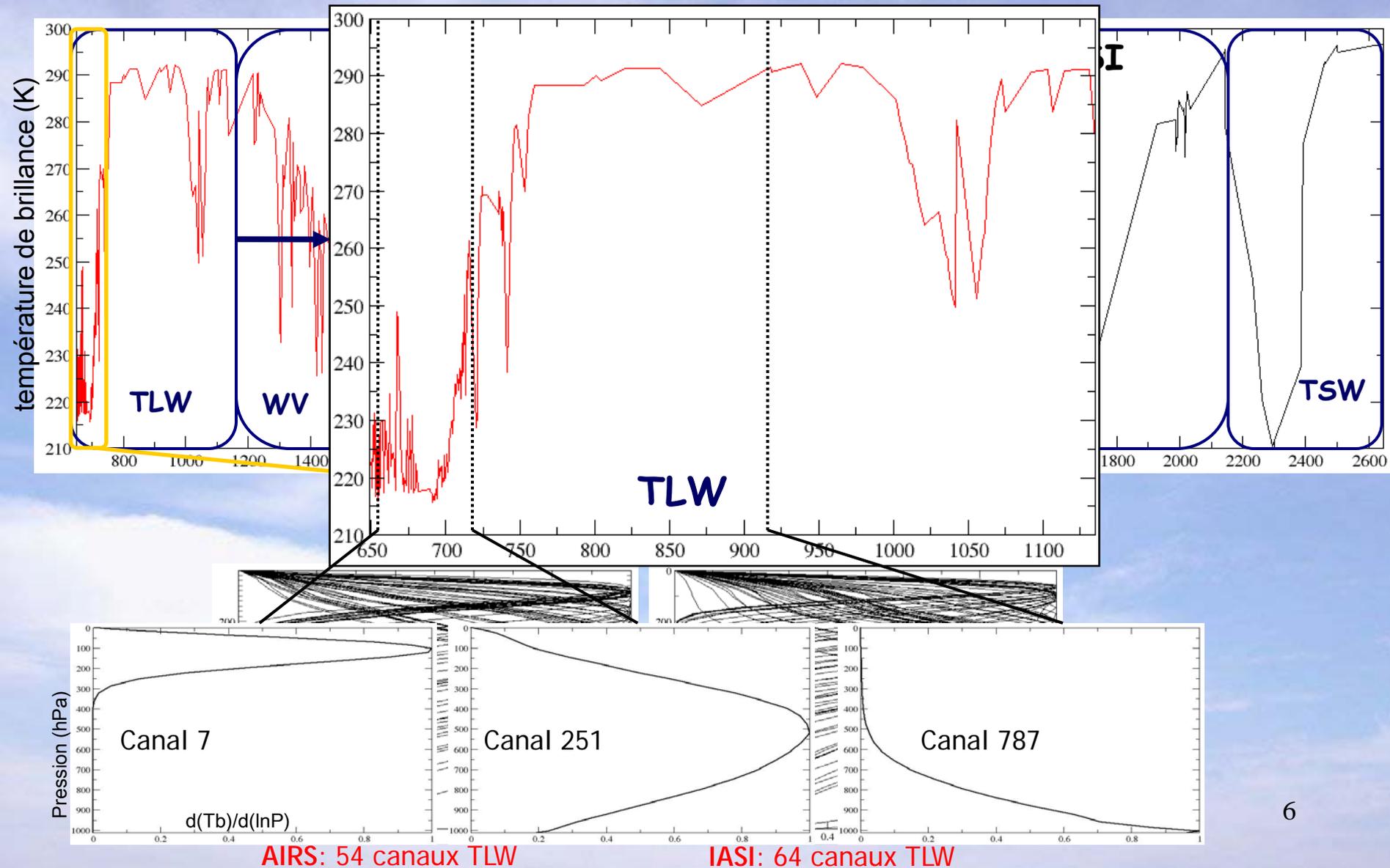
-2378 canaux couvrant la plage 3.7 à 15.4 μm
(649 à 2664 cm^{-1})

-8461 canaux couvrant la plage 3.7 à 15.5 μm
(649 à 2647 cm^{-1})



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

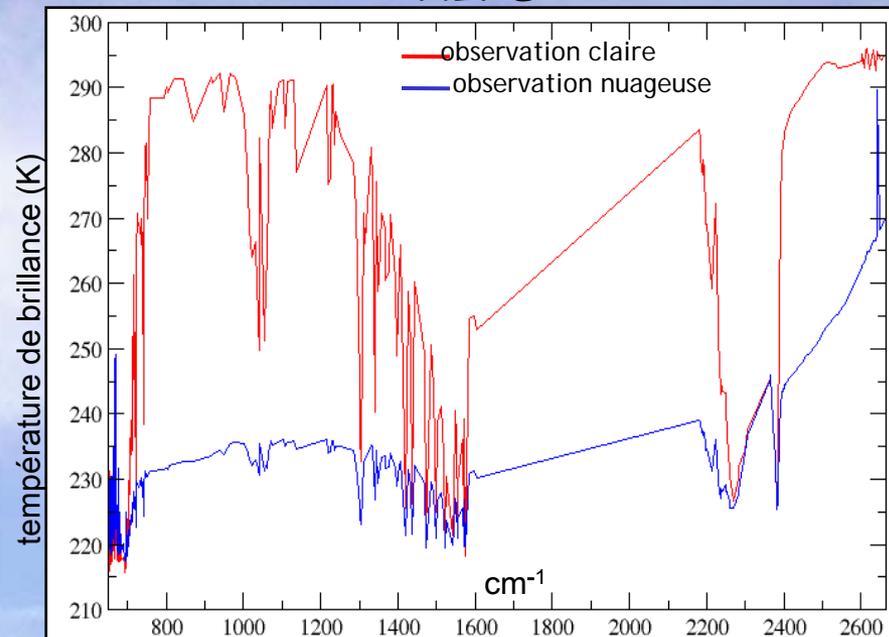
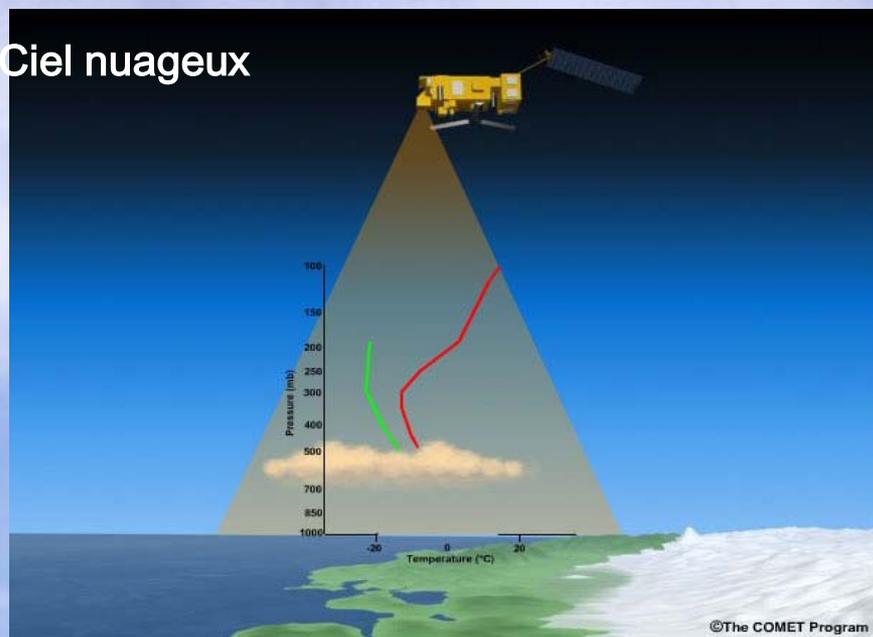
➤ Les observations AIRS et IASI



➤ 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.

Introduction

Evaluation des schémas
de détection nuageuse

Assimilation des
radiances nuageuses

Etudes de cas

Conclusions et
perspectives

Plan

➤ 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).



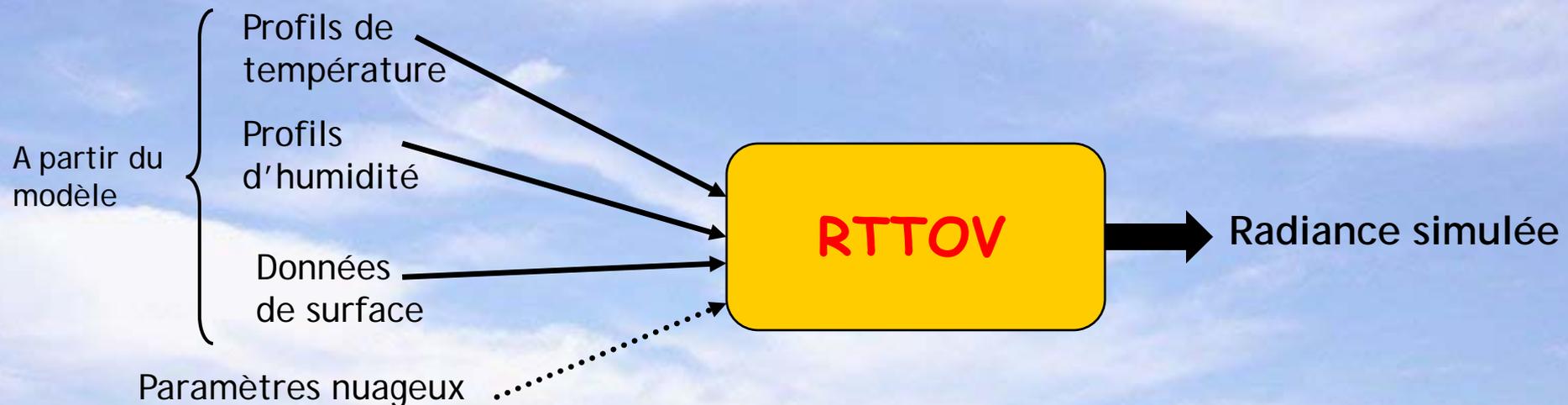
= **Les observations satellitaires**

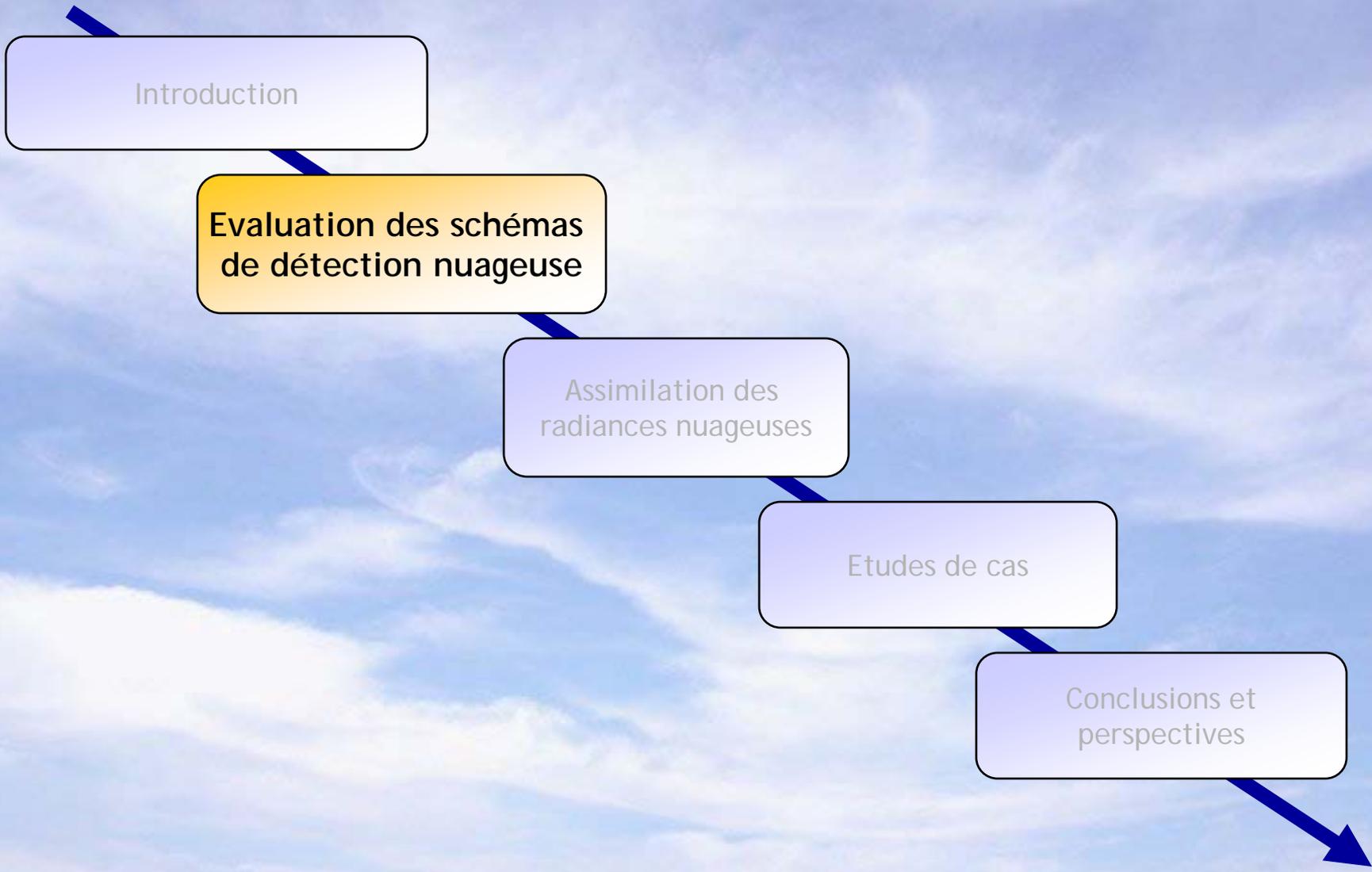
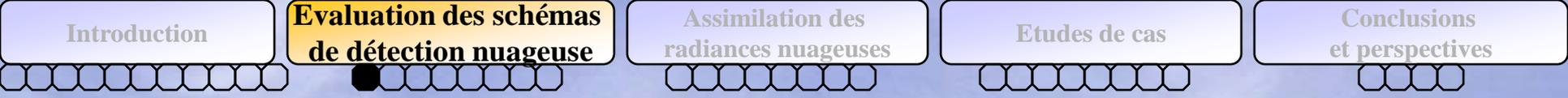
➤ L'Opérateur d'Observation $H(x)$ pour les radiances

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:

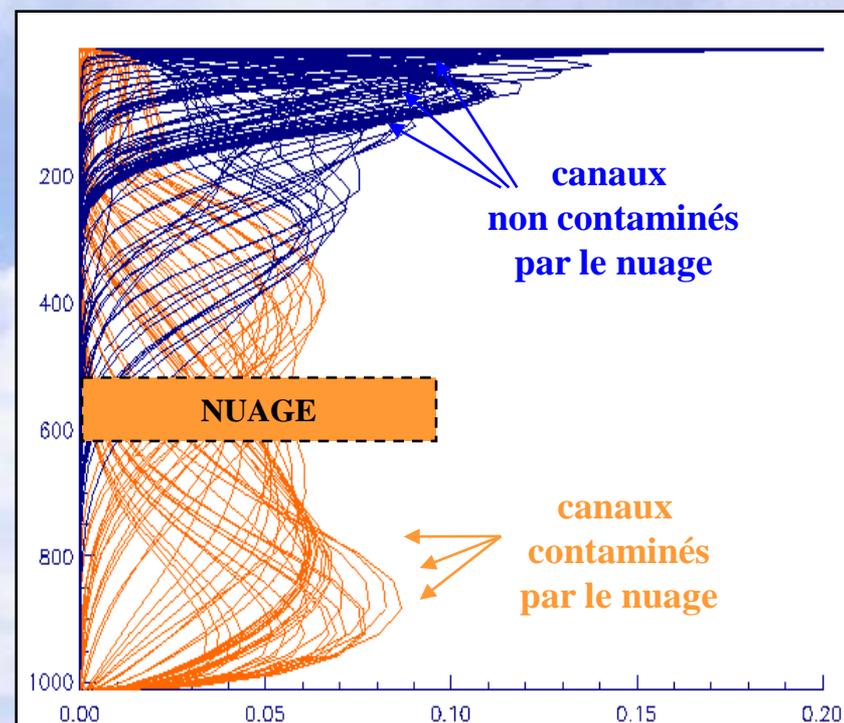
- Algorithme de **détection** nuageuse basé sur différences *obs-ébauche* (*o-g*) pour chaque canal.
- Identification des **canaux clairs et nuageux** au sein d'un même profil.
- Utilisé à Météo-France pour rejeter canaux nuageux d'un profil (et assimiler les clairs) depuis début 2008.

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_{obs}: radiance observée

R_{clr}: radiance claire simulée à partir des données modèles

R_{cl}: 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⁻¹ (AIRS) et 861,50 cm⁻¹ (IASI)

2- Calcul de pression de sommet de nuage P_{TOP}

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

P_{c,k}: niveau de pression minimisant *F_{k,p}*

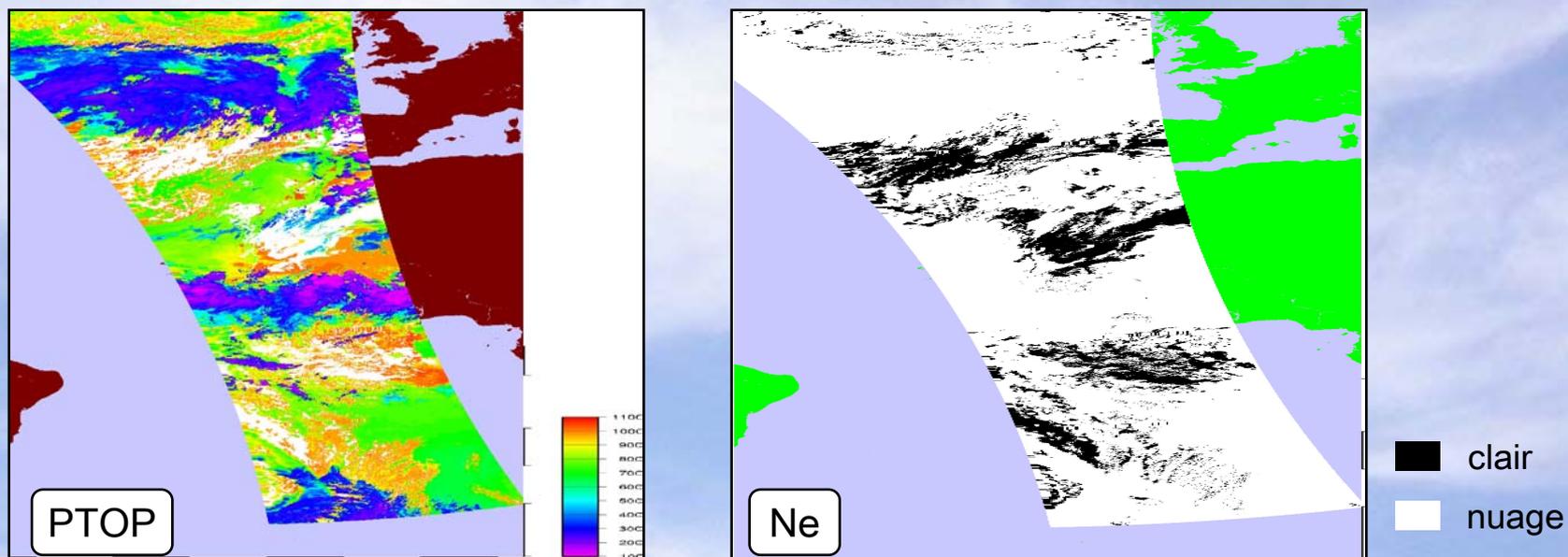
W_k: dérivée de *F_{k,p}* p/r à la pression

3- Calcul de l'émissivité nette *N_ε*
(*N_ε*=*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_{TOP} et émissivité nette N_e avec résolution de 5km).

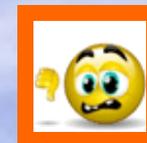


Situation du 01/09/06 entre 13 et 15UTC

- **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

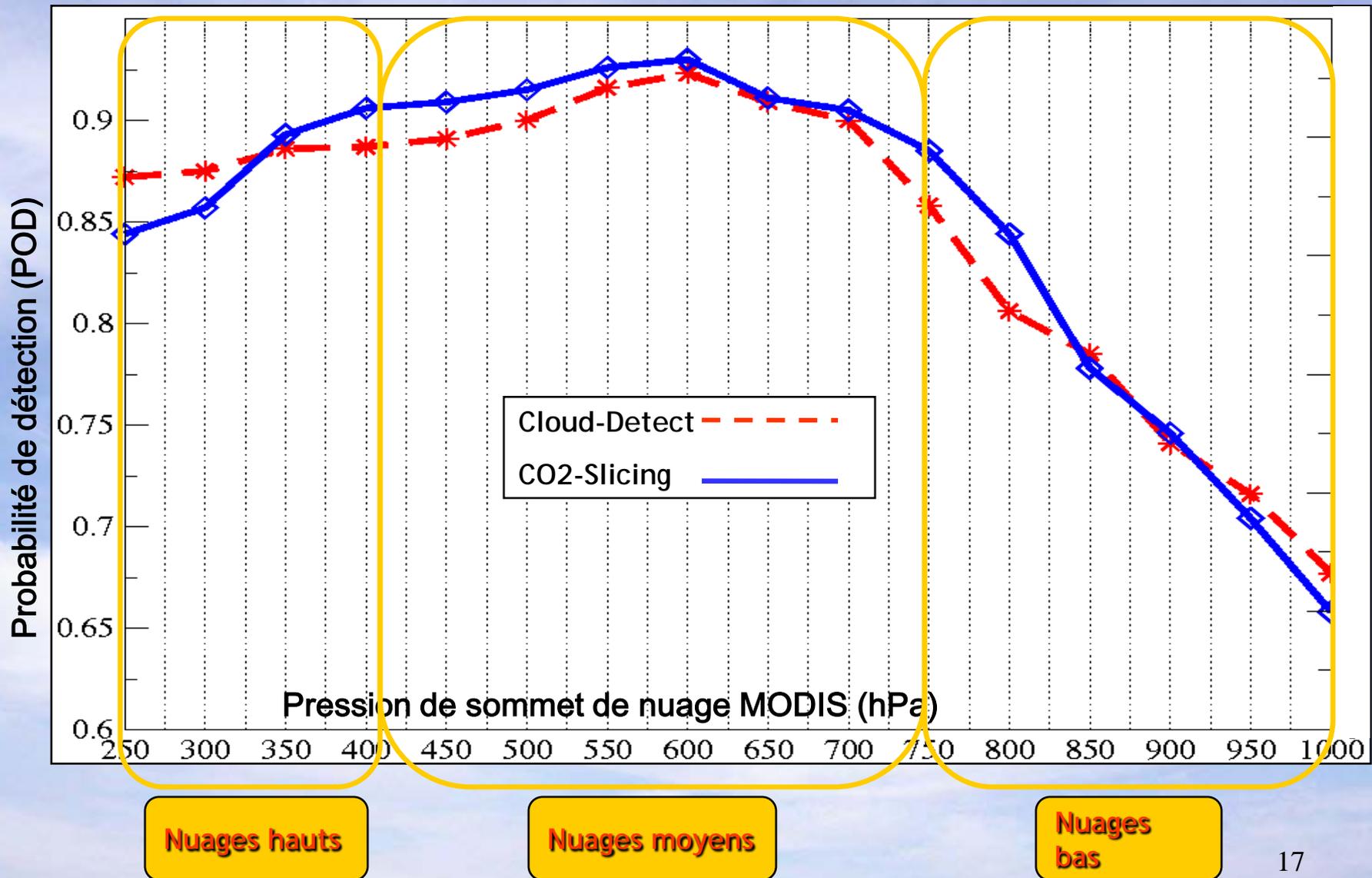
<i>N= 15706 pixels traités</i>	<i>Nuage observé (MODIS)</i>	<i>Nuage non observé (MODIS)</i>
<i>Nuage diagnostiqué (algorithmes)</i>	REUSSITE	FAUSSE ALARME
<i>Nuage non diagnostiqué (algorithmes)</i>	ECHEC	REJET CORRECT



pour calculer scores de vérification :

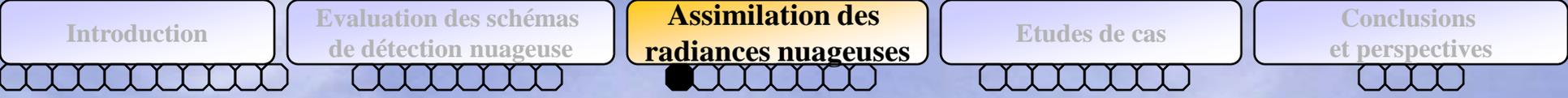
	Cloud-Detect	CO2-Slicing
BIAS (<i>biais en fréquence</i> : fréquence des cas nuageux prévus par les algorithmes sur ceux observés par MODIS)	86 %	85 %
PC (<i>pourcentage de correct</i> : proportion de cas clairs ou nuageux correctement prévus)	78 %	79 %
POD (<i>probabilité de détection</i> : rapport de cas nuageux observés par MODIS prévus par les algorithmes)	80 %	80 %
FAR (<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

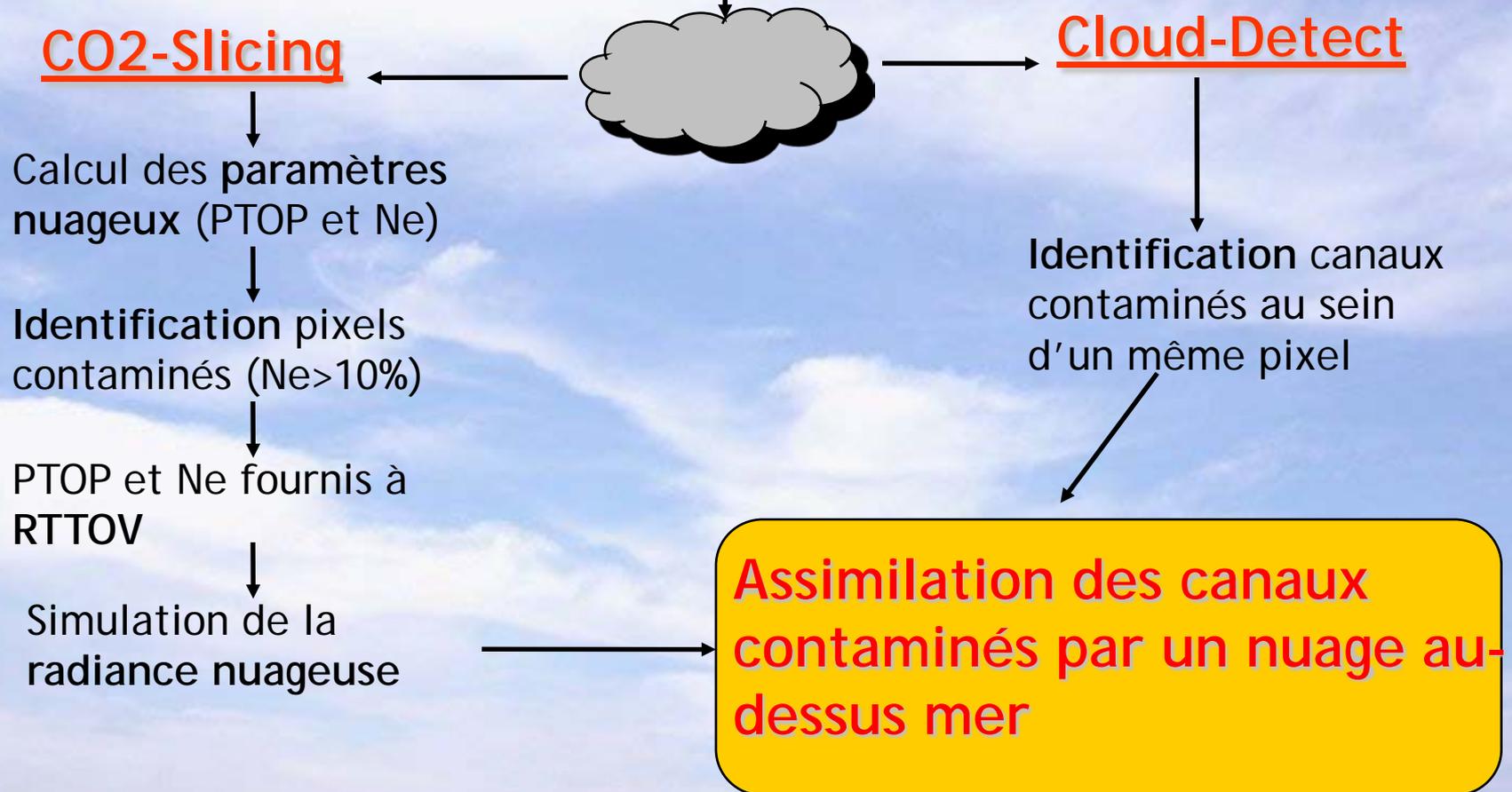


➤ Conclusions

- 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.

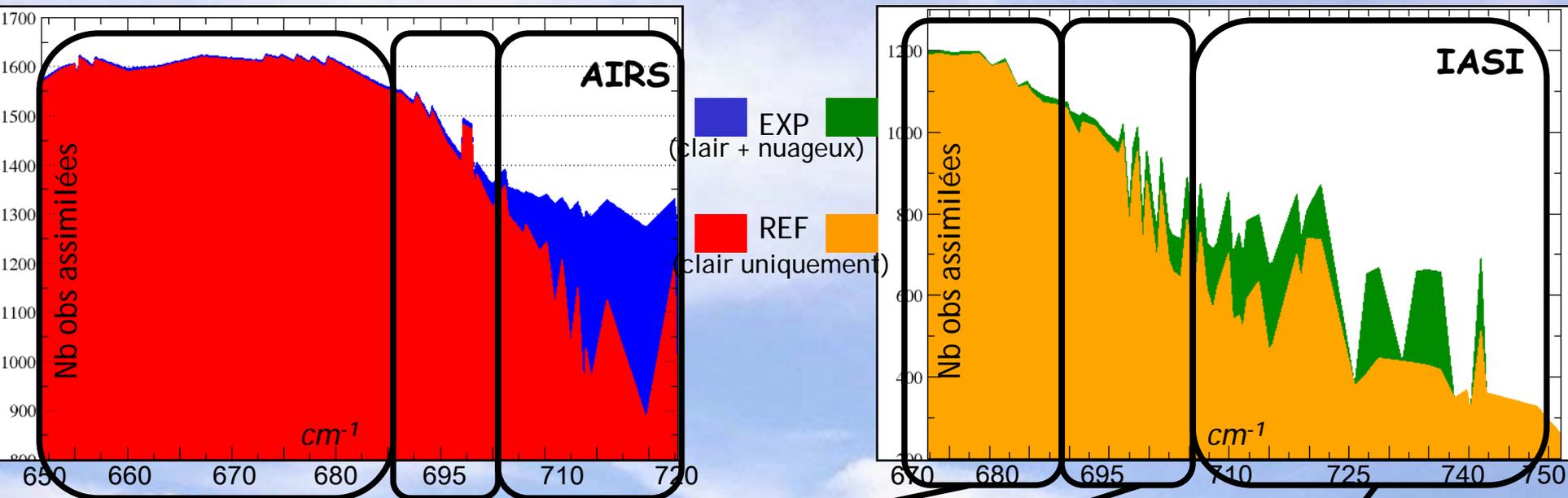


➤ Stratégie d'assimilation des radiances nuageuses:
1-Méthodologie (Pangaud et al 2009)



➤ 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 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

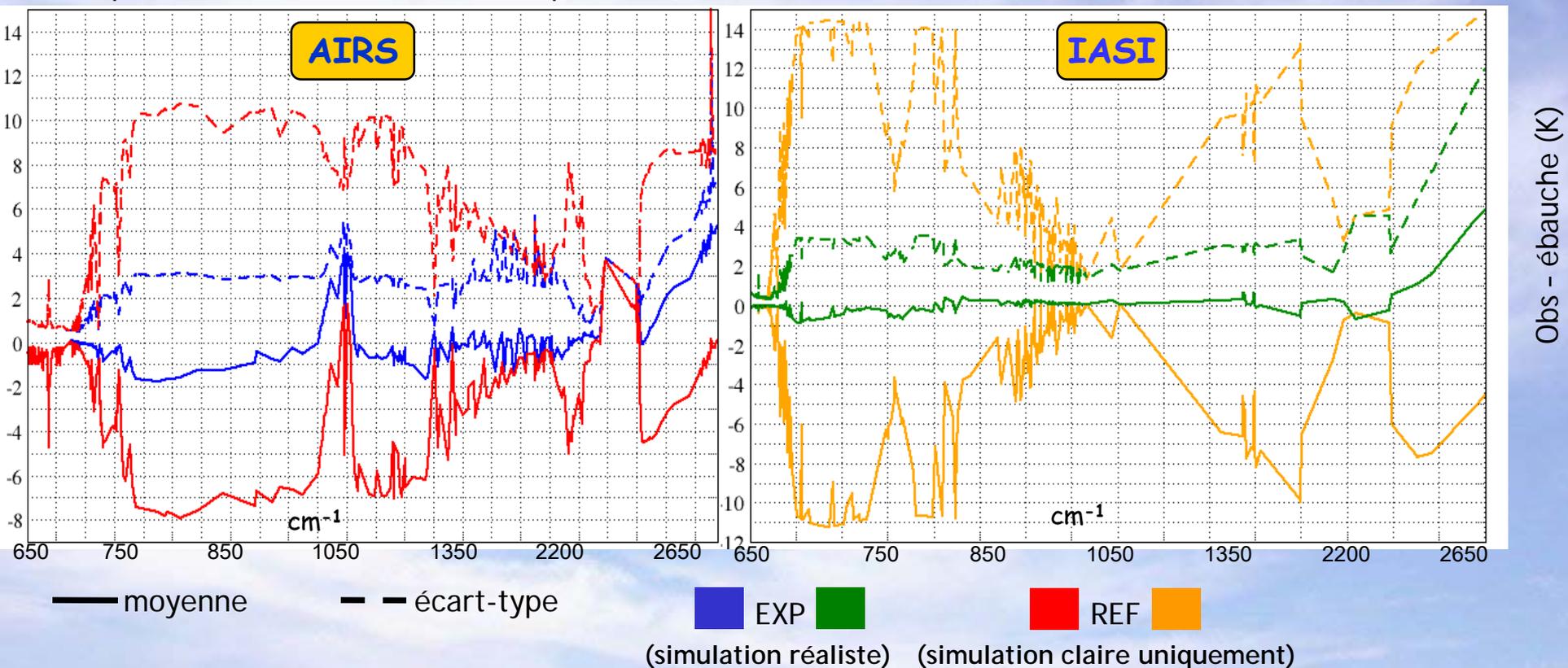
• IASI: entre 1 et 8 % d'obs supplémentaires assimilées

• 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

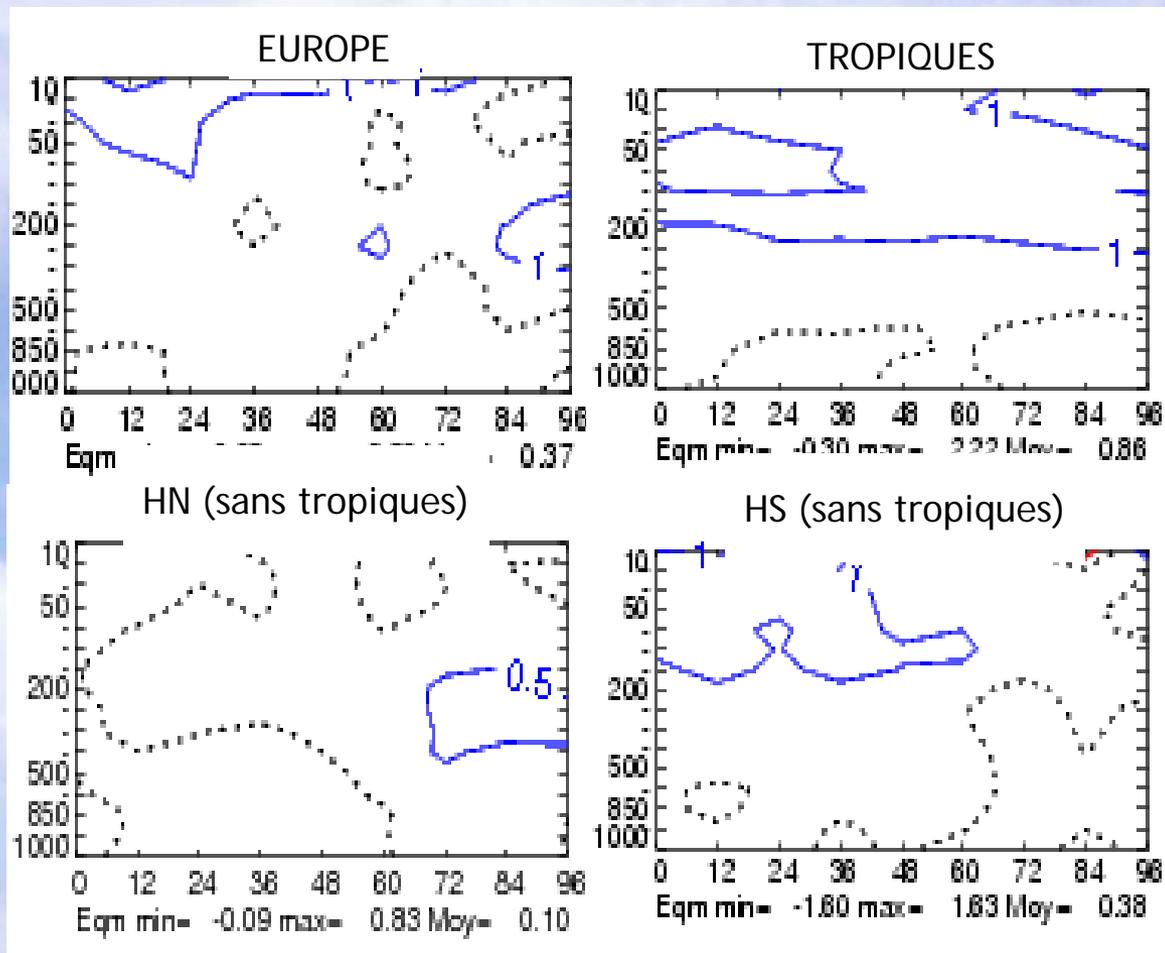
observation-ébauche en fonction longueur d'onde pour le premier réseau d'assimilation (01/09/06 à 00UTC pour AIRS et 15/01/09 à 00UTC pour IASI)



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.

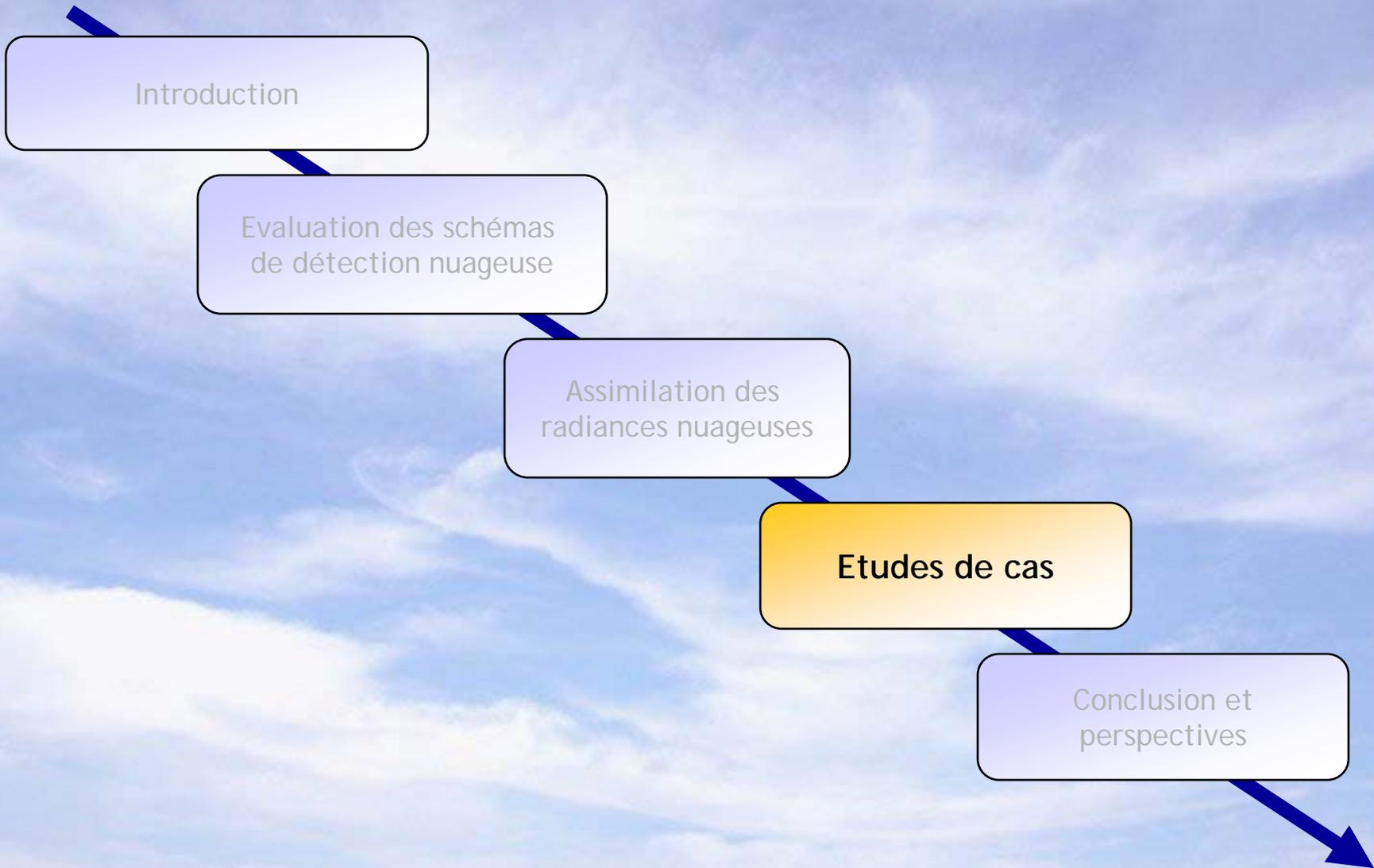
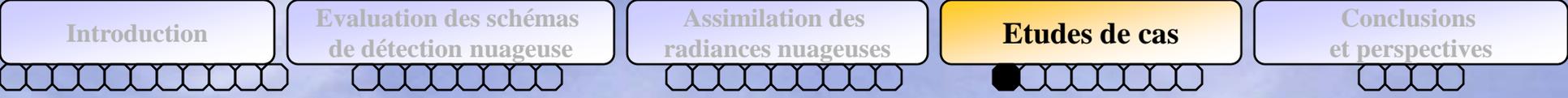
• Autres paramètres:

(température, humidité, vent)

Impacts + mais globalement non statistiquement significatifs.



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

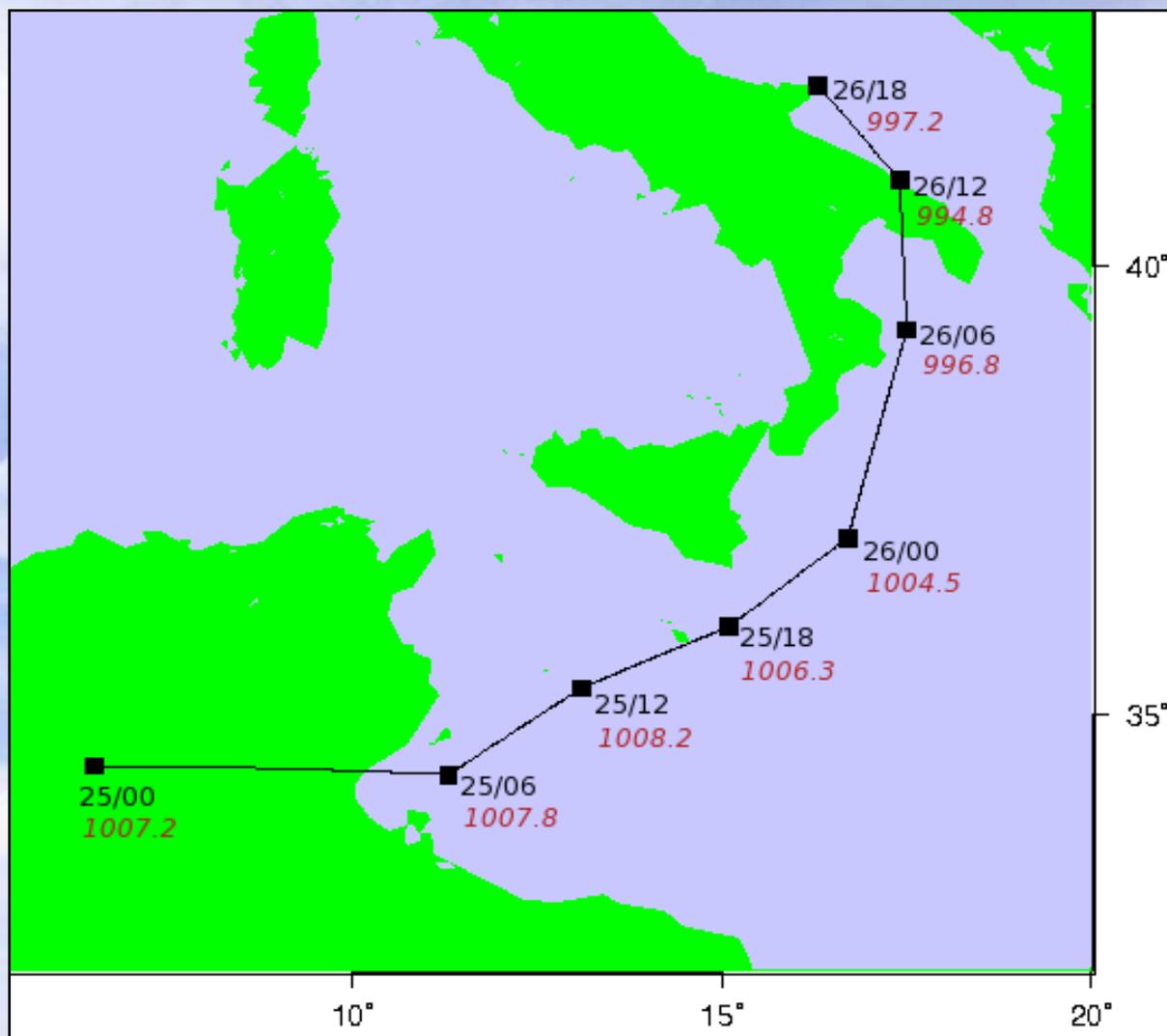
• **But étude : impact AIRS nuageux**

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

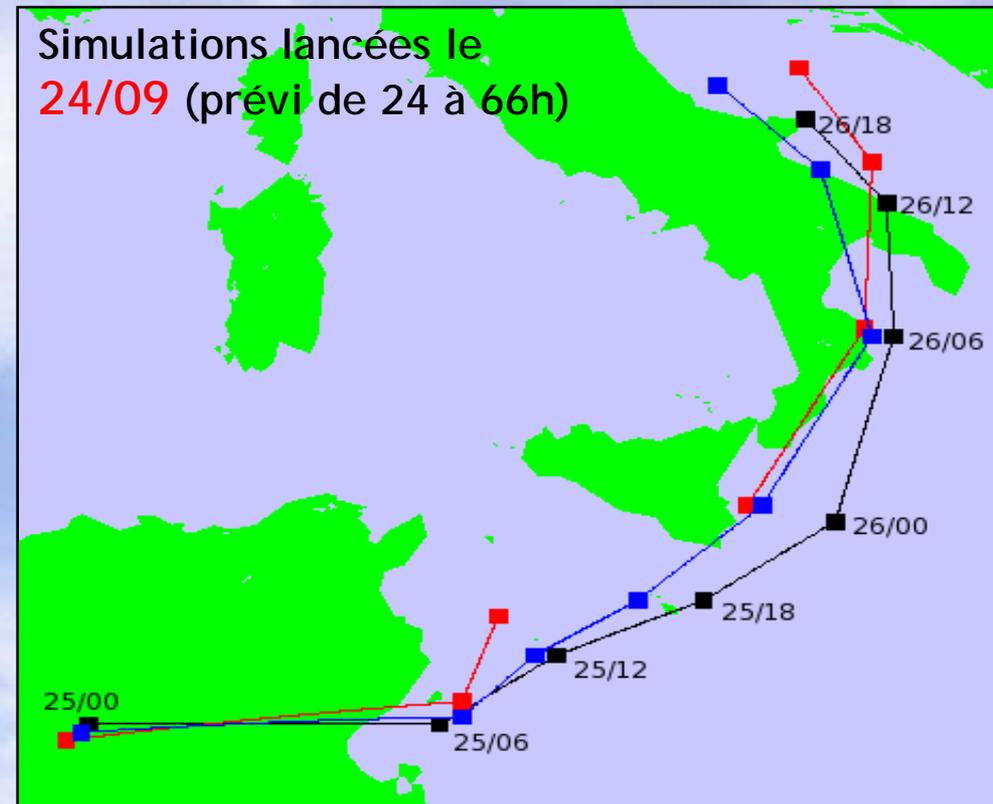
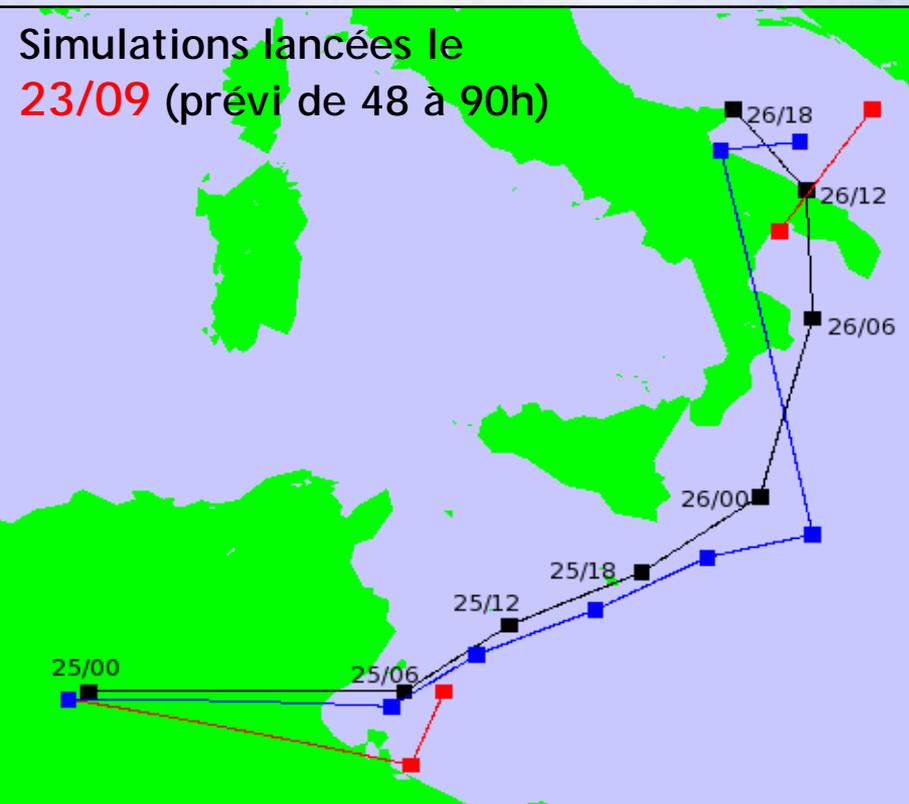
■ Analyses du CEP (= Donnée de vérification)

■ 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

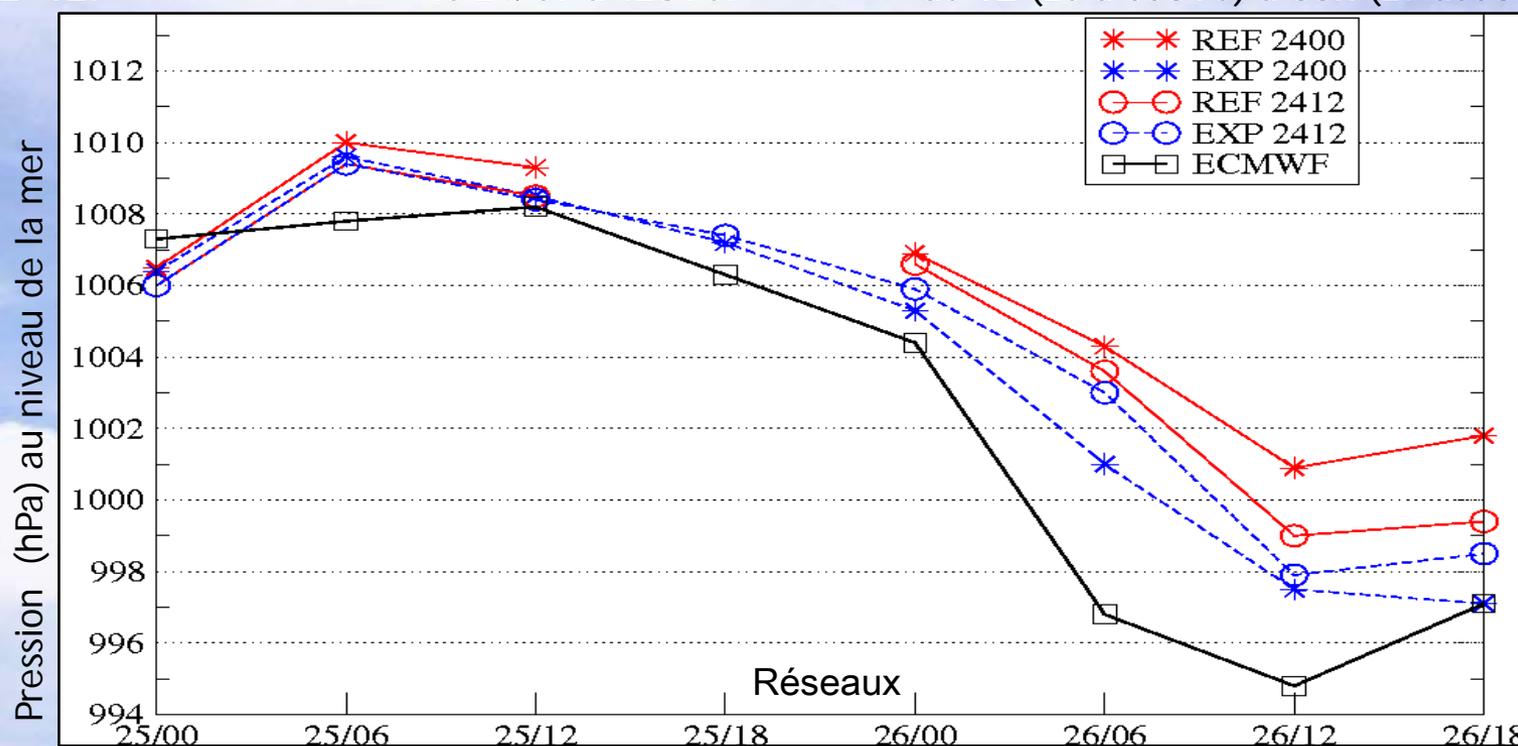
4 jeux de simulations testées pour EXP.AIRS et REF.AIRS:

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)

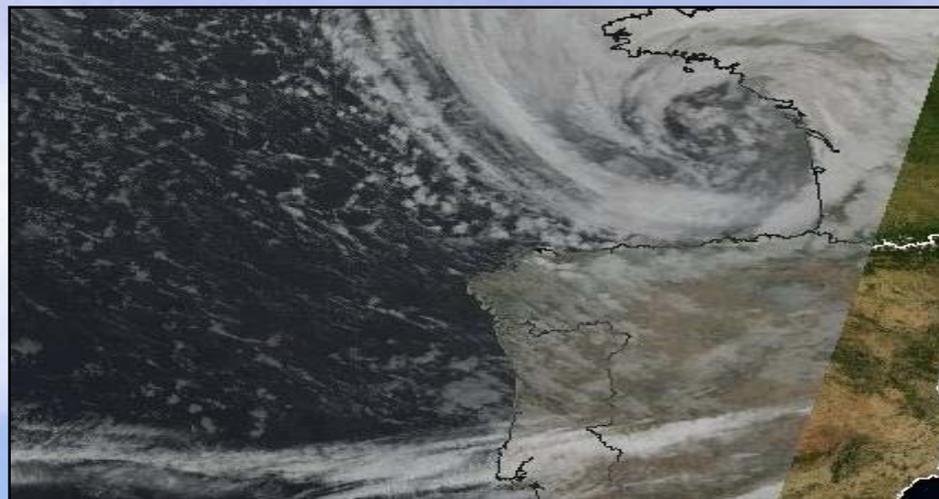
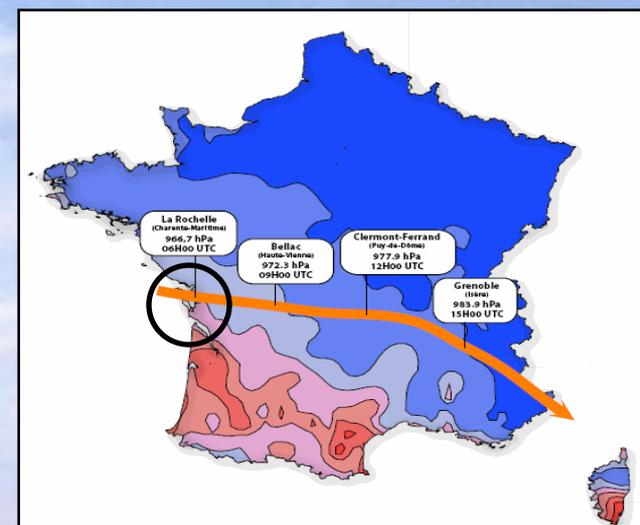
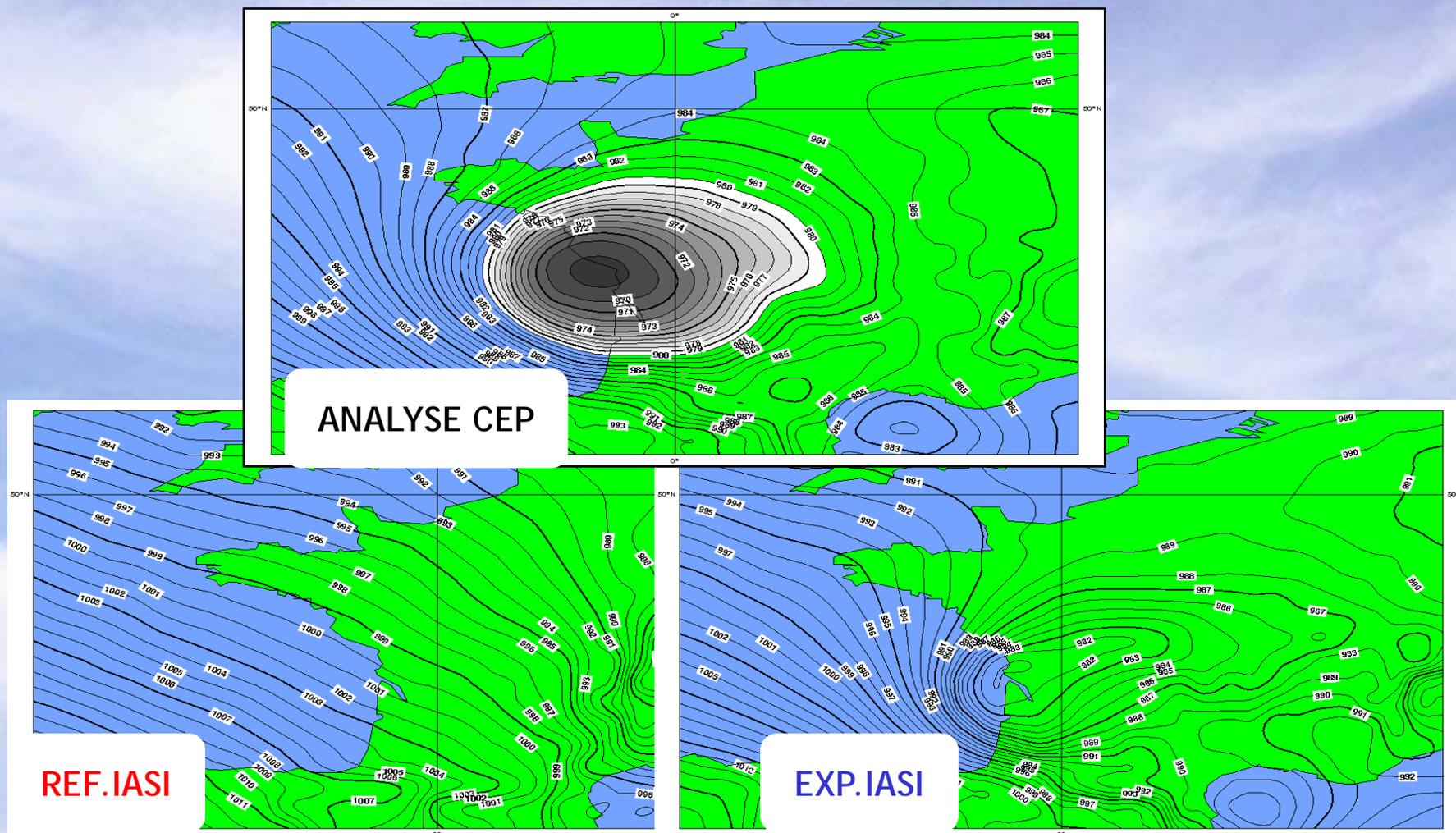


Image satellitaire de KLAUS par NOAA 18 à 3h30UTC le 24 janvier 2009

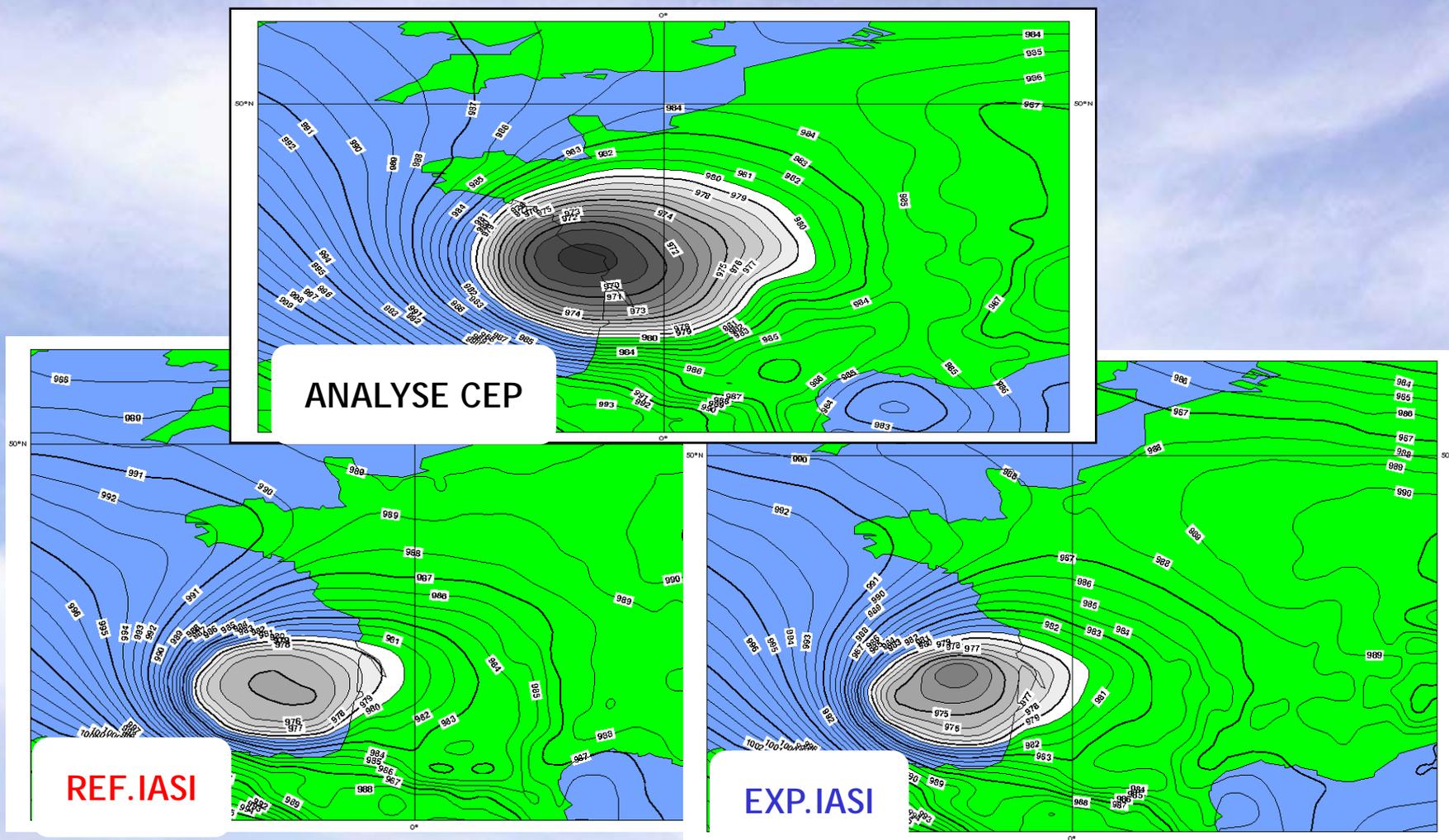


➤ KLAUS : Prévisibilité de la tempête (Prévisions à 102h)

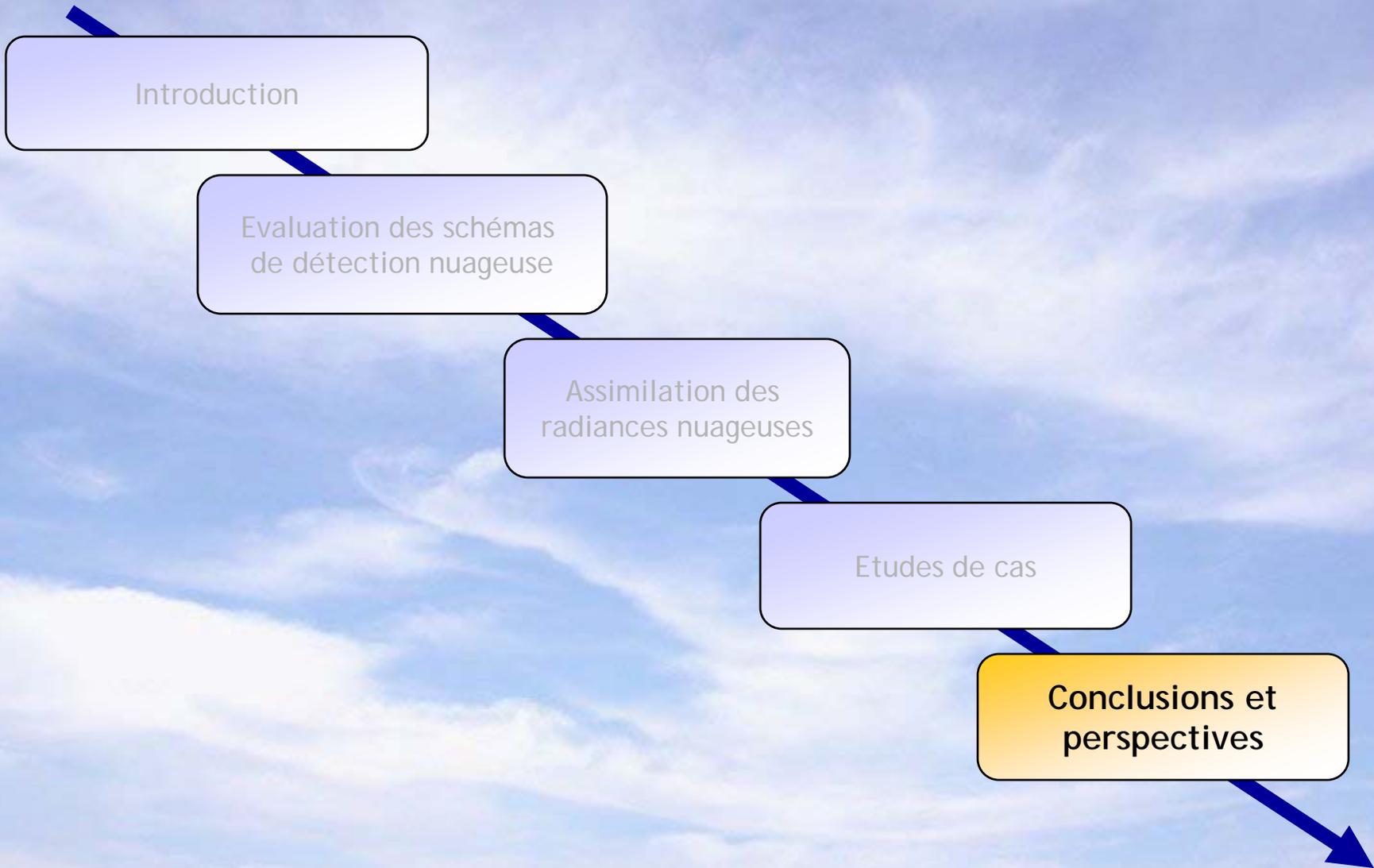


Analyse du CEP du 24/01/09 à 06UTC et prévisions à 102h de EXP.IASI et REF.IASI₂₉
(runs du 20/01/09 à 00UTC)

➤ 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

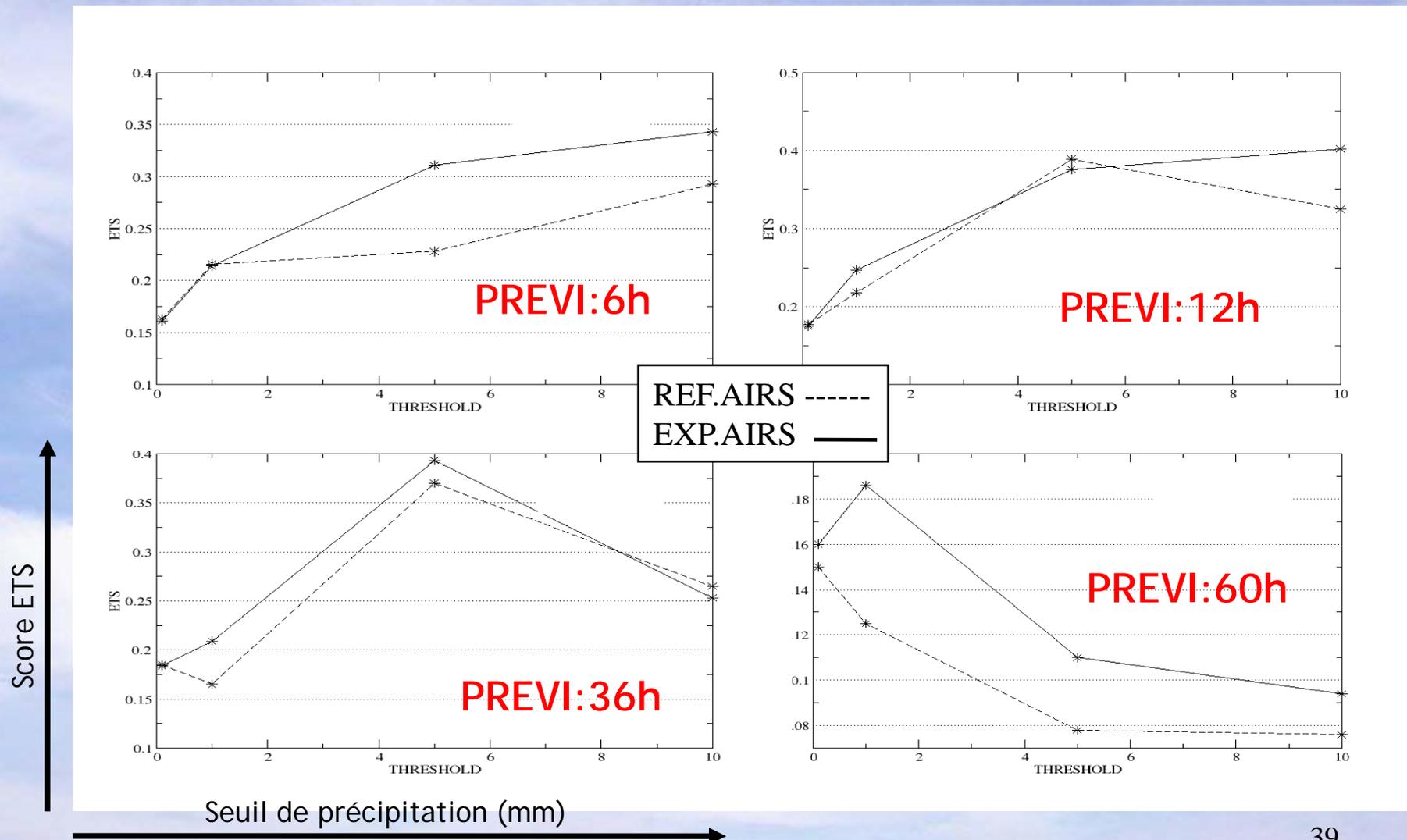
AIRS

- 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)



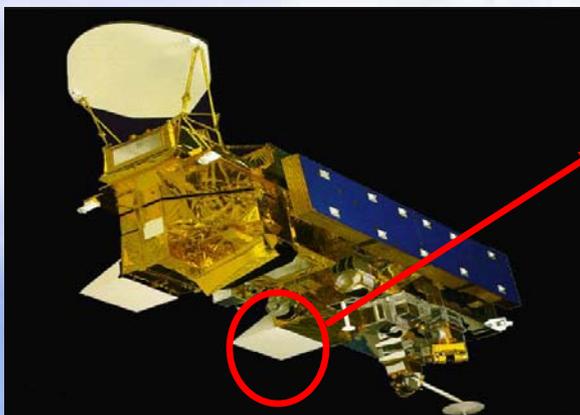
➤ KLAUS : Prévisibilité de la tempête : tableau récapitulatif

	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

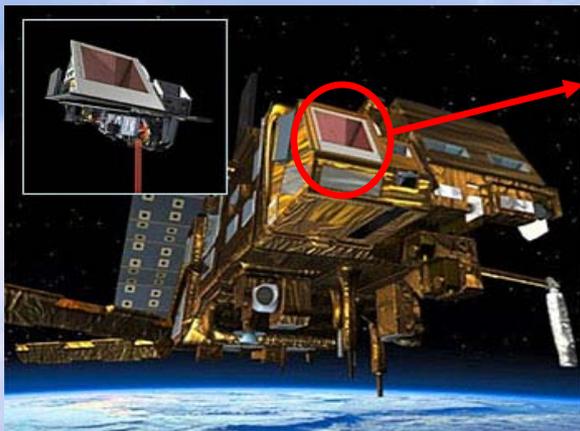
➤ Les sondeurs infrarouges hyperspectraux

- Qualité des instruments satellitaires largement améliorée depuis une 10^{aine} 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 μm



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 μm

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).

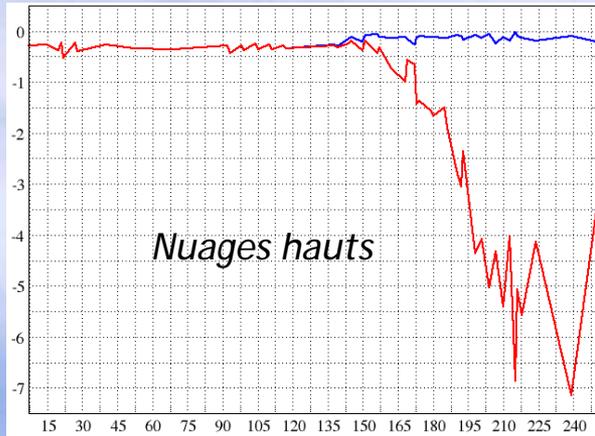
➤ MODIS : estimation des erreurs / fiabilité des paramètres nuageux (Menzell et al 2008; Frey et al 1999)

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

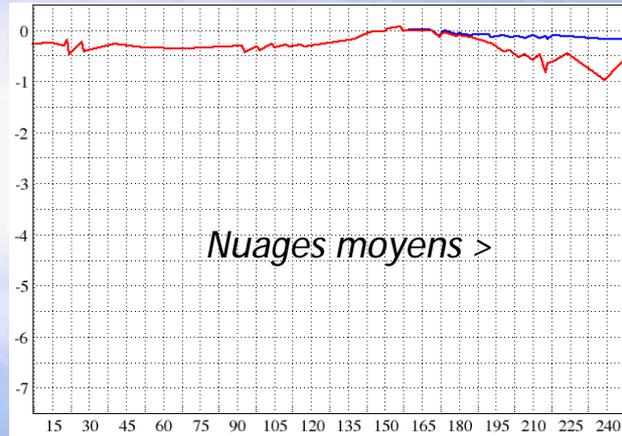
Type nuage	Différences P _{TOP} par rapport à LIDAR
Nuages fins moyens et hauts	+/- 50hPa en moyenne
Nuages bas (pas d'inversions de température)	+/- 50hPa en moyenne
Nuages bas (avec inversion de température)	Jusqu'à -200hPa (P _{TOP} + haut que LIDAR)
Nuages multicouches (couches > opaque)	+/- 50 hPa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

➤ Impact Echec sur analyse

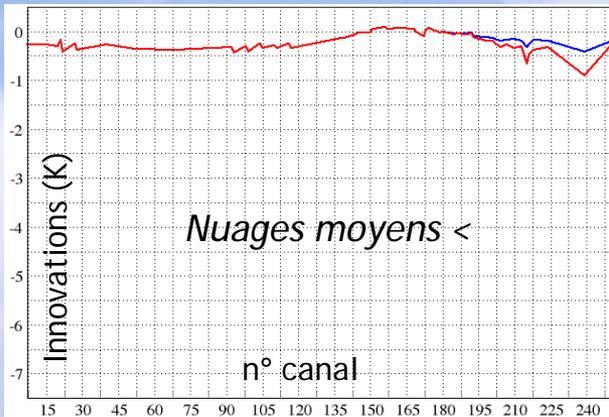
- **Si Echec** (nuage observé mais non diagnostiqué):



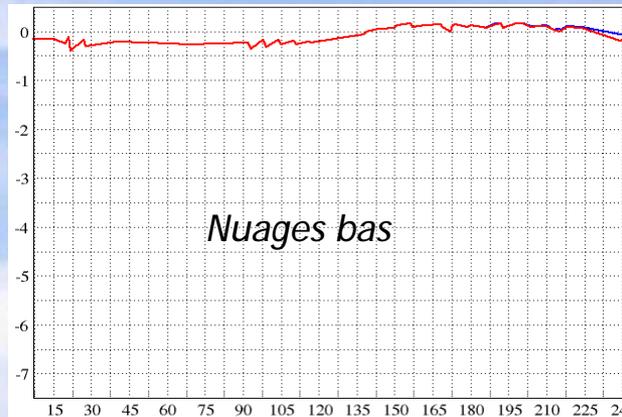
200-400hPa



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

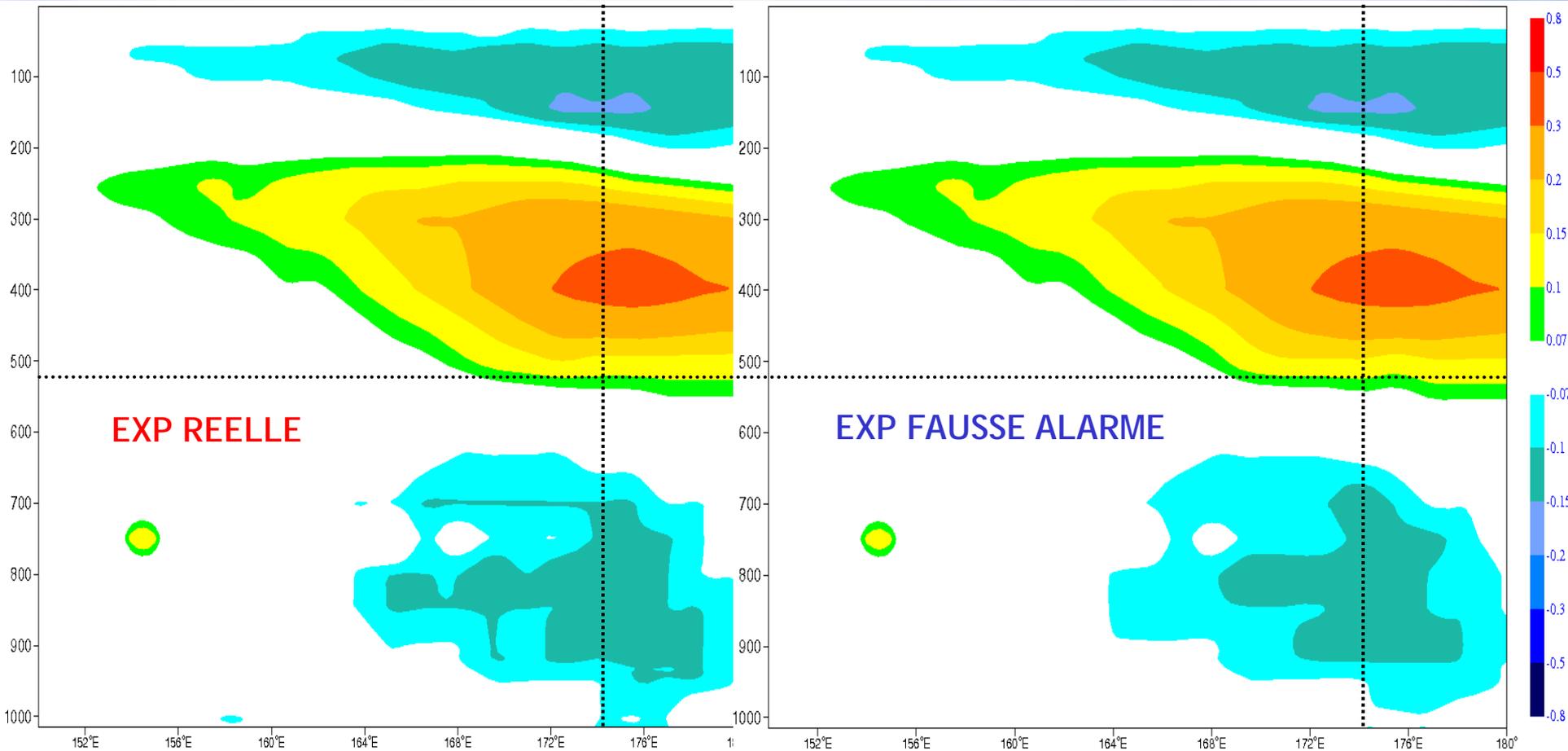
Innovations (obs-ébauche) de toutes les observations en fonction PTOP. Les 54 canaux actifs sont représentés uniquement. 01/09/2006 à 00UTC

➤ Impact Fausse alarme sur analyse

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

- exp à 1 obs claire « réelle » : P_{TOP}= 914, Ne=0 **EXP REELLE**

- exp à 1 obs nuageuse « simulée » : P_{TOP}:914, Ne=1 **EXP FAUSSE ALARME**



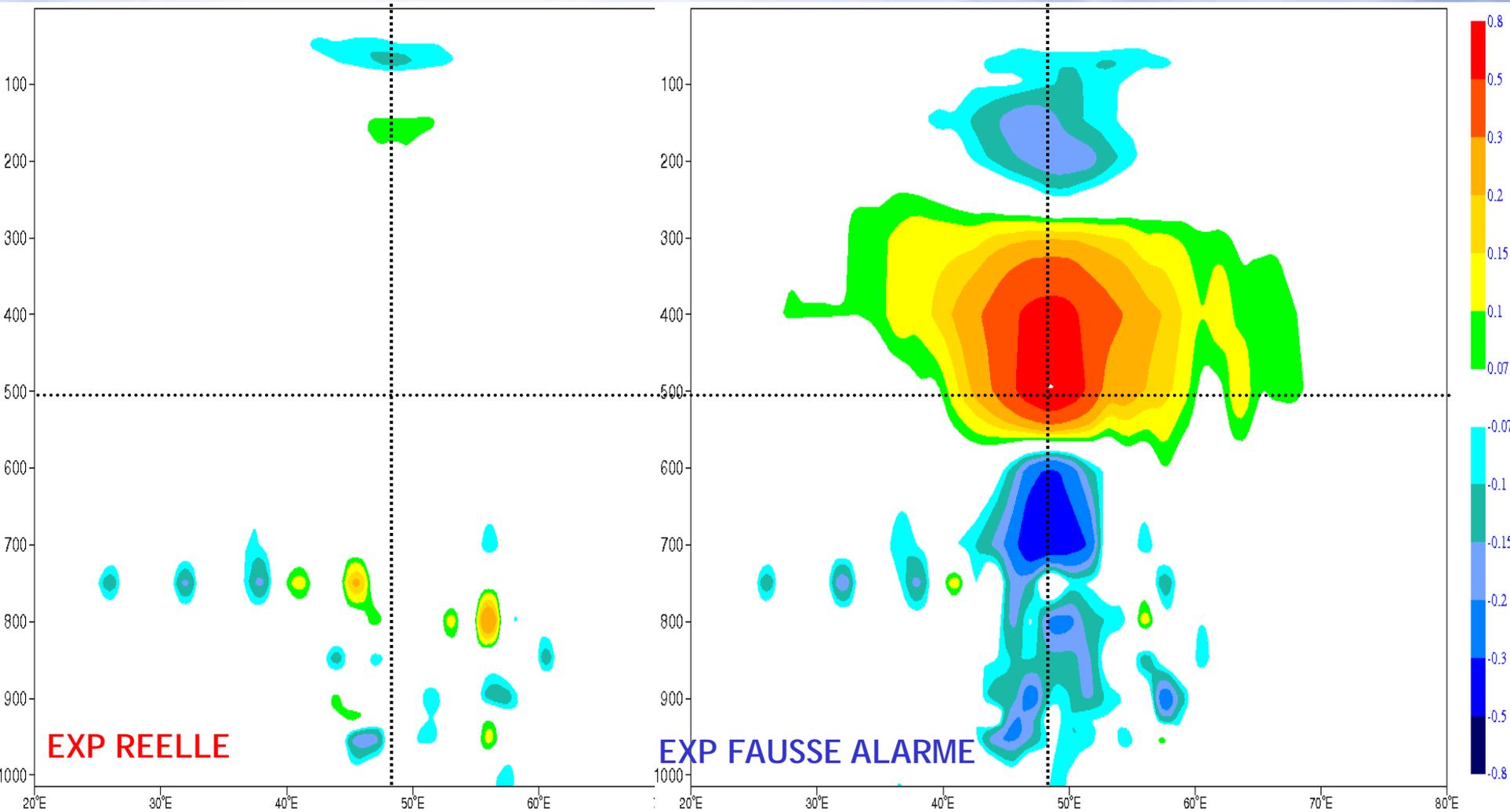
Incréments d'analyse en température

➤ Impact Fausse alarme sur analyse

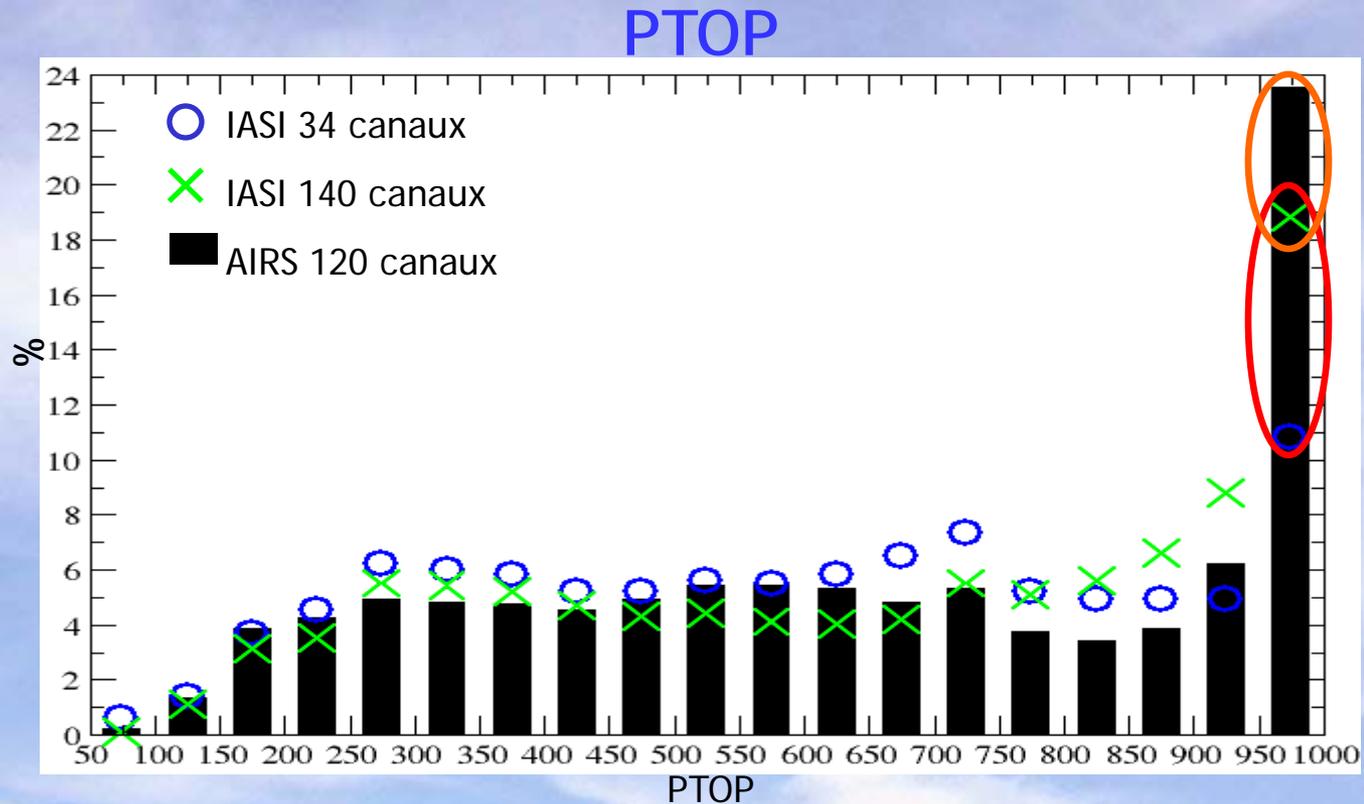
• **Si Fausse alarme** (nuage non observé mais diagnostiqué): nuage moyen diagnostiqué

- exp à 1 obs claire « réelle » : P_{TOP}= 503, Ne=0 **EXP REELLE**

- exp à 1 obs nuageuse « simulée » : P_{TOP}:503, Ne=1 **EXP FAUSSE ALARME**



➤ Répartition paramètres nuageux AIRS / IASI

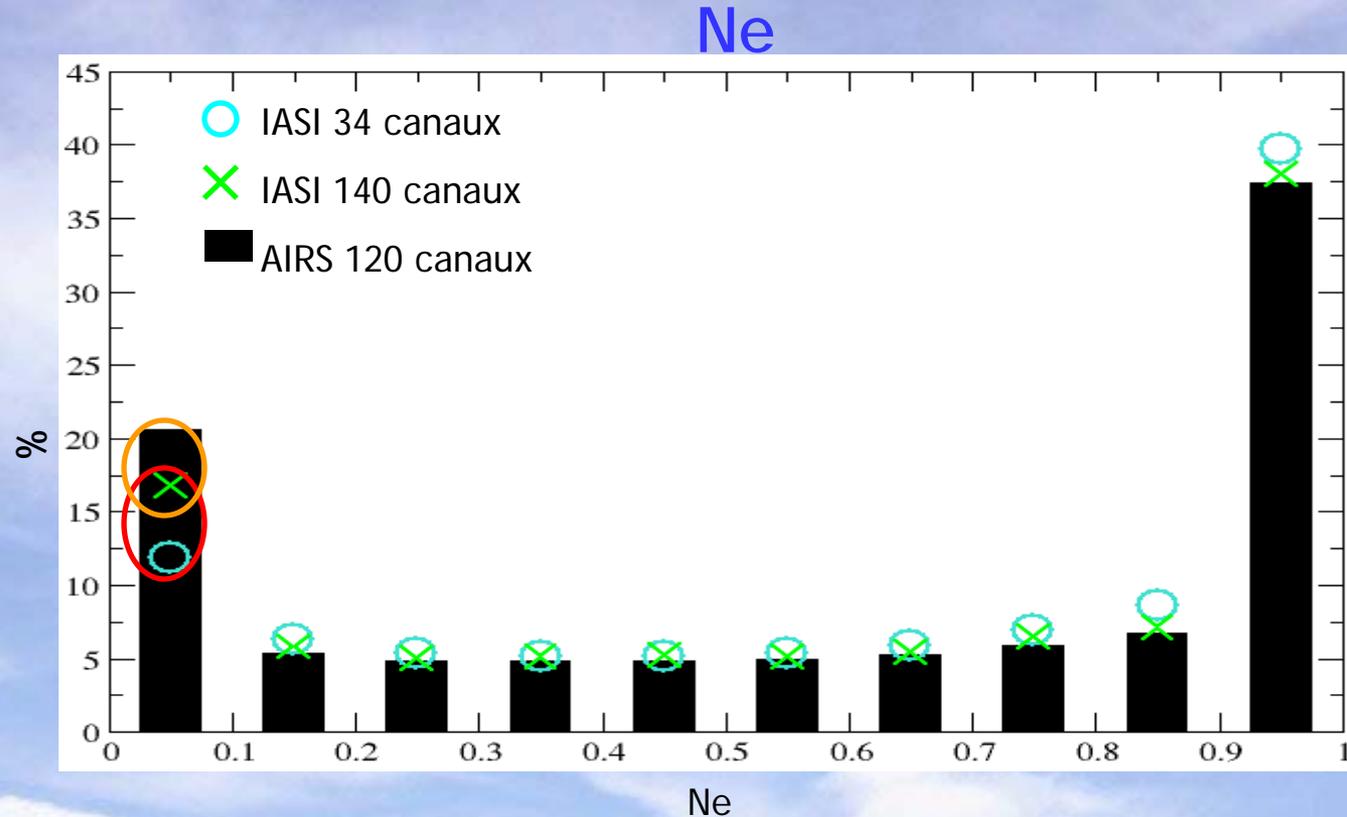


- Géométrie de navigation différente entre MetOp et Aqua

- 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**

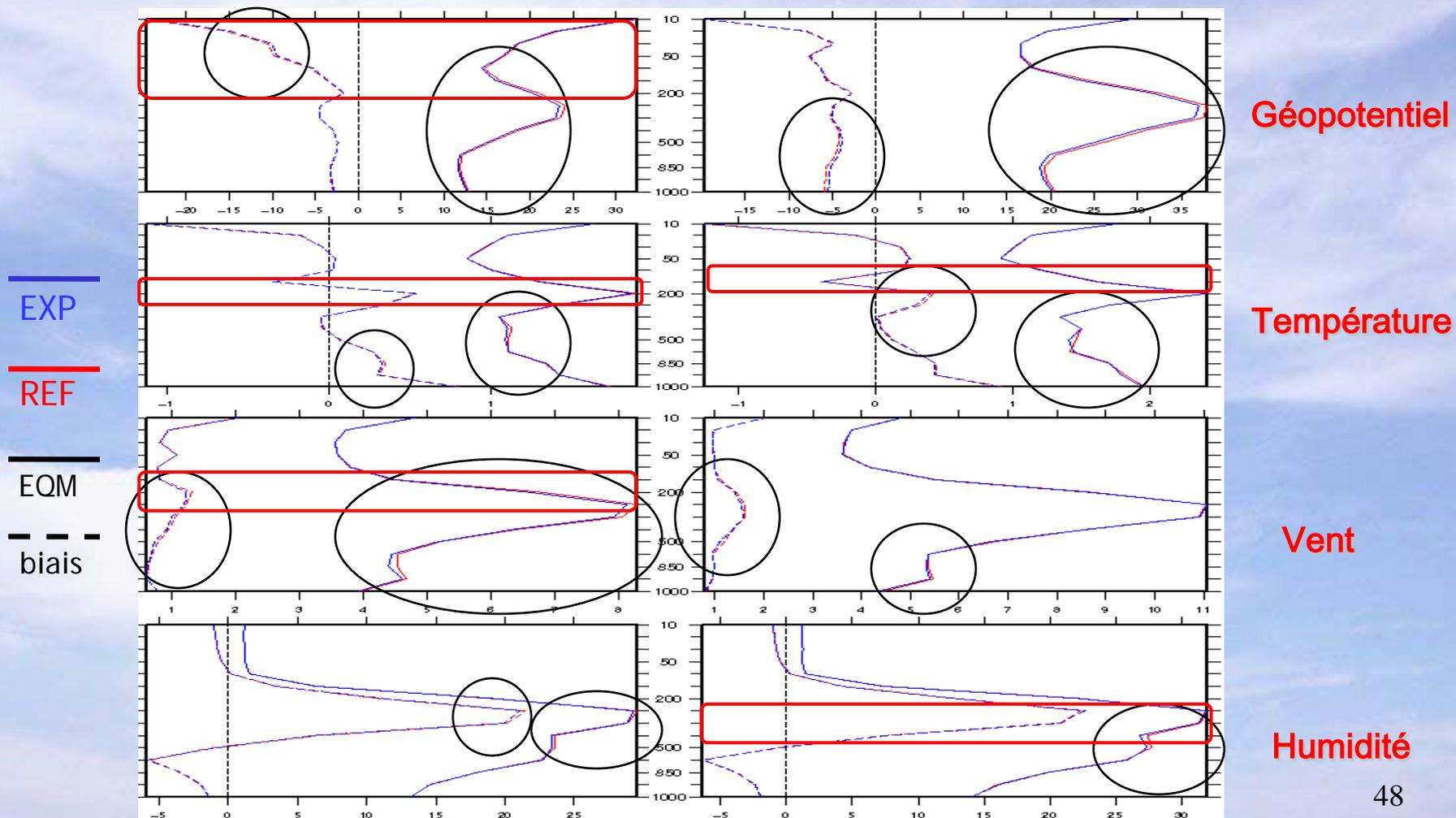
- % d'échec du CO2-Slicing + important pour AIRS que pour IASI

➤ 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.

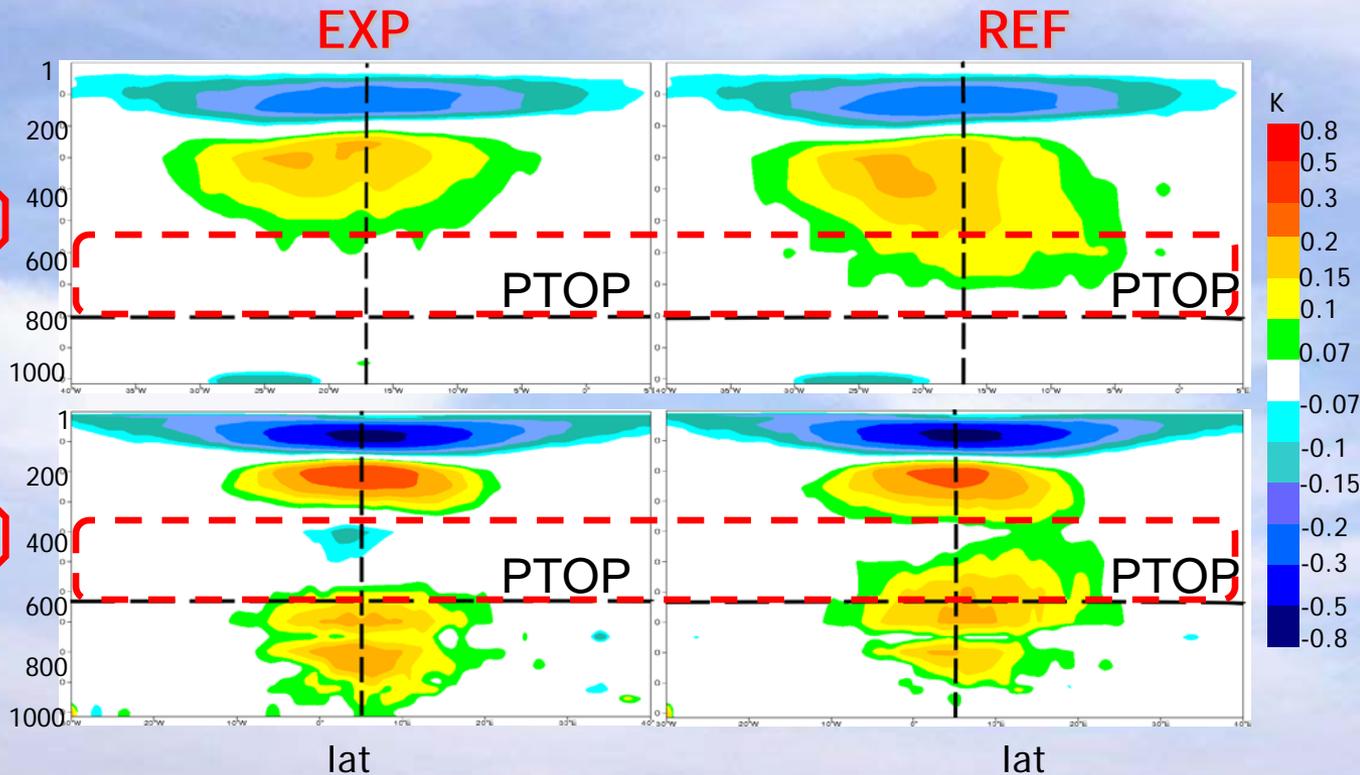
• Algorithmes de détection nuageuse testés

- 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)

➤ MEDICANE: Description et caractéristiques

• **But étude : impact AIRS nuageux**

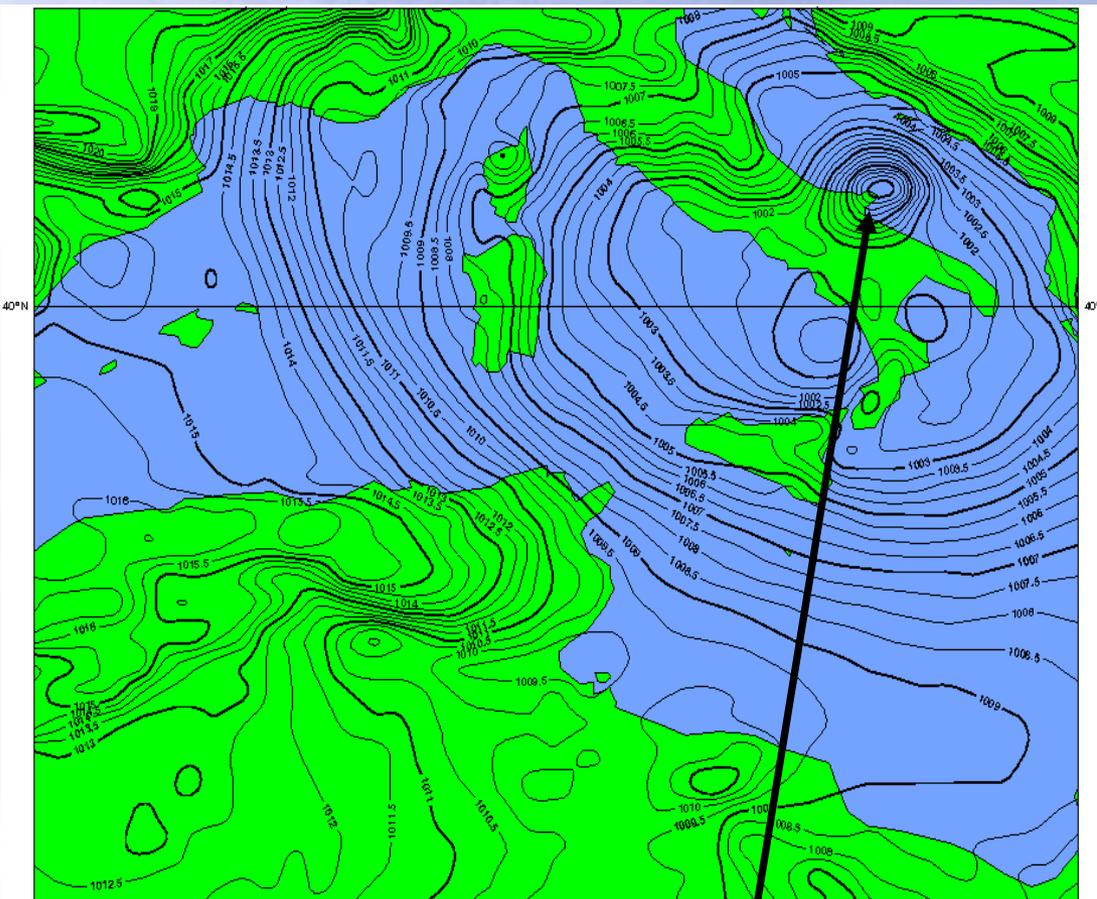
• Tempête de petite échelle (60 km de diamètre) sur la Méditerranée entre le 25/09/06 et le 27/09/06

• Intenses précipitations sur le sud-est de l'Italie le 26/09 de 06 à 12UTC (Moscatello et al 2008).

 Analyses du CEP (= Donnée de vérification)

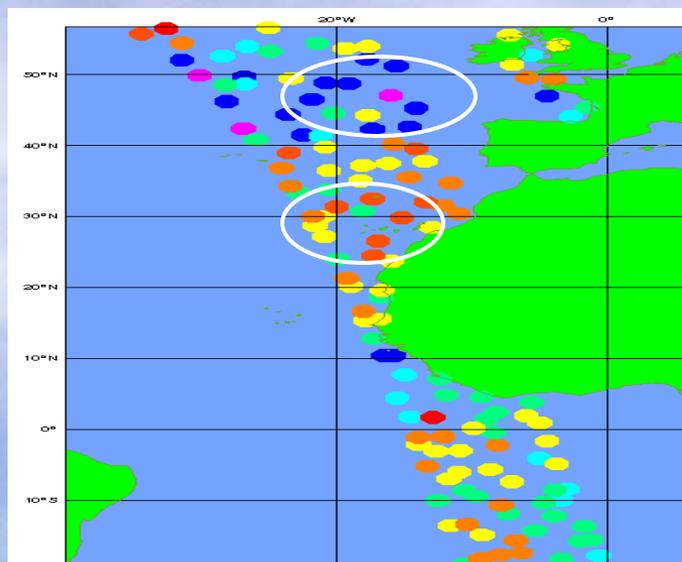
 REF.AIRS (toutes obs sauf AIRS nuageux)

 EXP.AIRS (REF.AIRS + AIRS nuageux)



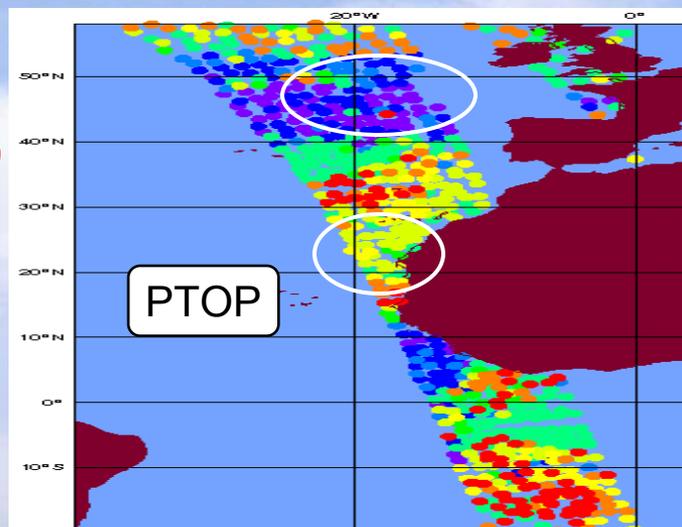
Après 18h, léger creusement
Génération Alpes 12h, formation de fronts Atlas tunisien
(PMER: 1006hPa) (PMER: 1006hPa)
(PMER: 1007hPa) (PMER: 996hPa)

➤ Données produites par les algorithmes de détection

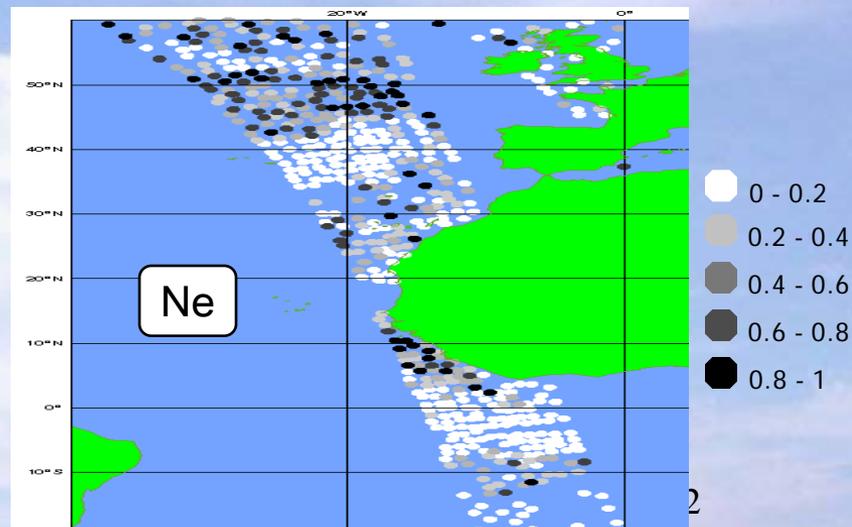


- 40/60 canaux clairs
- 60/80 canaux clairs
- 80/100 canaux clairs
- 100/120 canaux clairs
- 120/140 canaux clairs
- 140/160 canaux clairs
- 160/180 canaux clairs
- 180/200 canaux clairs

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

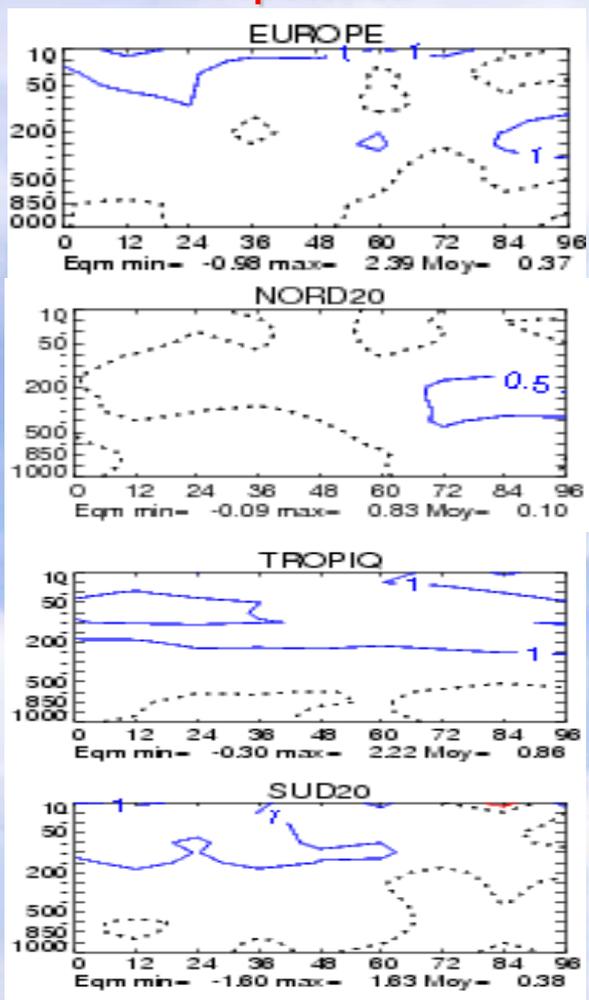


- 0 - 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.6
- 0.6 - 0.8
- 0.8 - 1

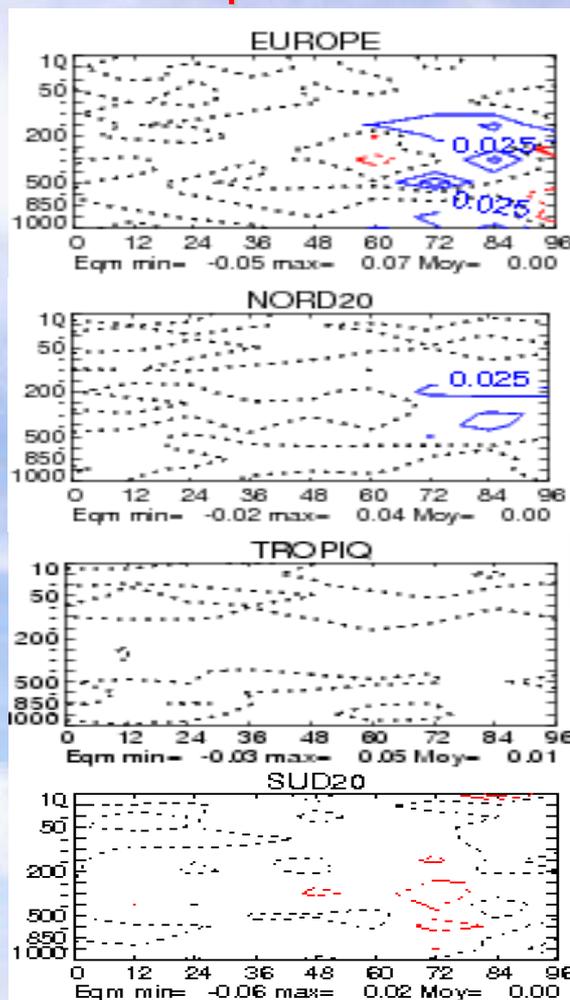
Paramètres nuageux issus du CO2-Slicing pour le 01/09/06 entre 13 et 15UTC

➤ 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)

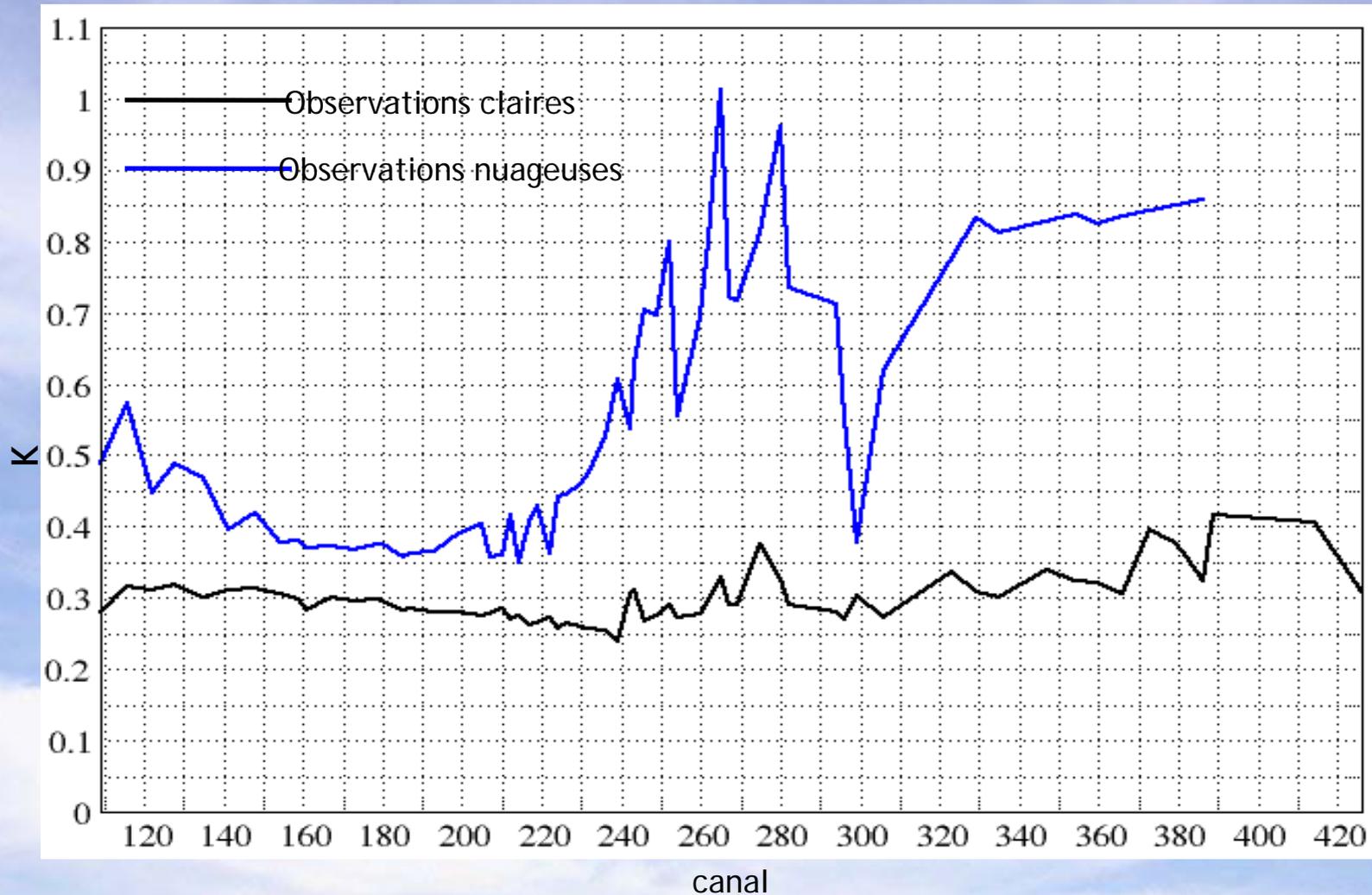


$\text{err EXP} < \text{err REF}$ $\text{err EXP} > \text{err REF}$

Échéance de prévision

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

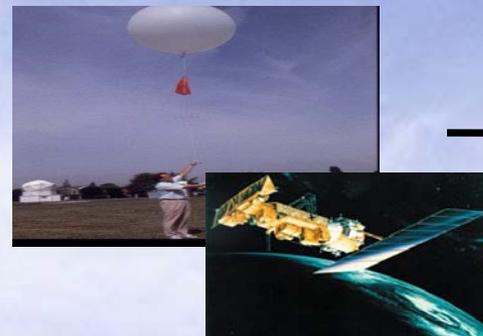
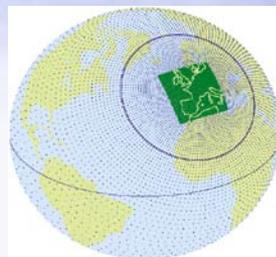
➤ Déterminer le sigma(o) des obs nuageuses IASI



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)

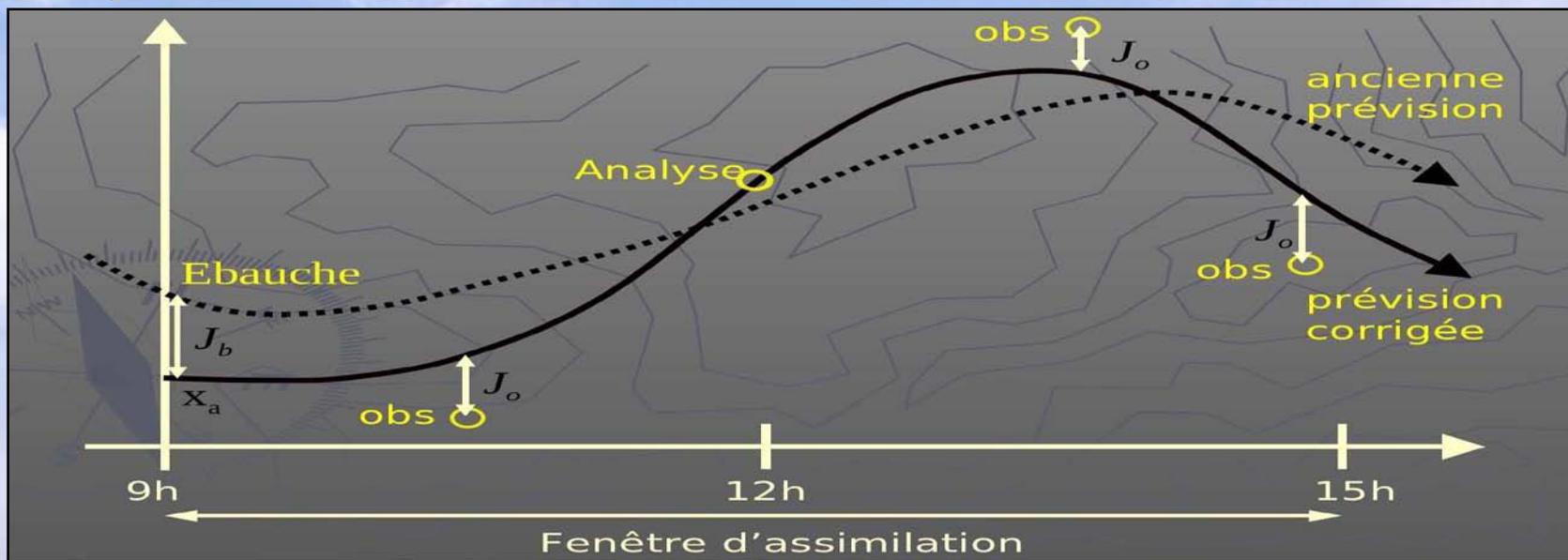
Comment combiner au mieux



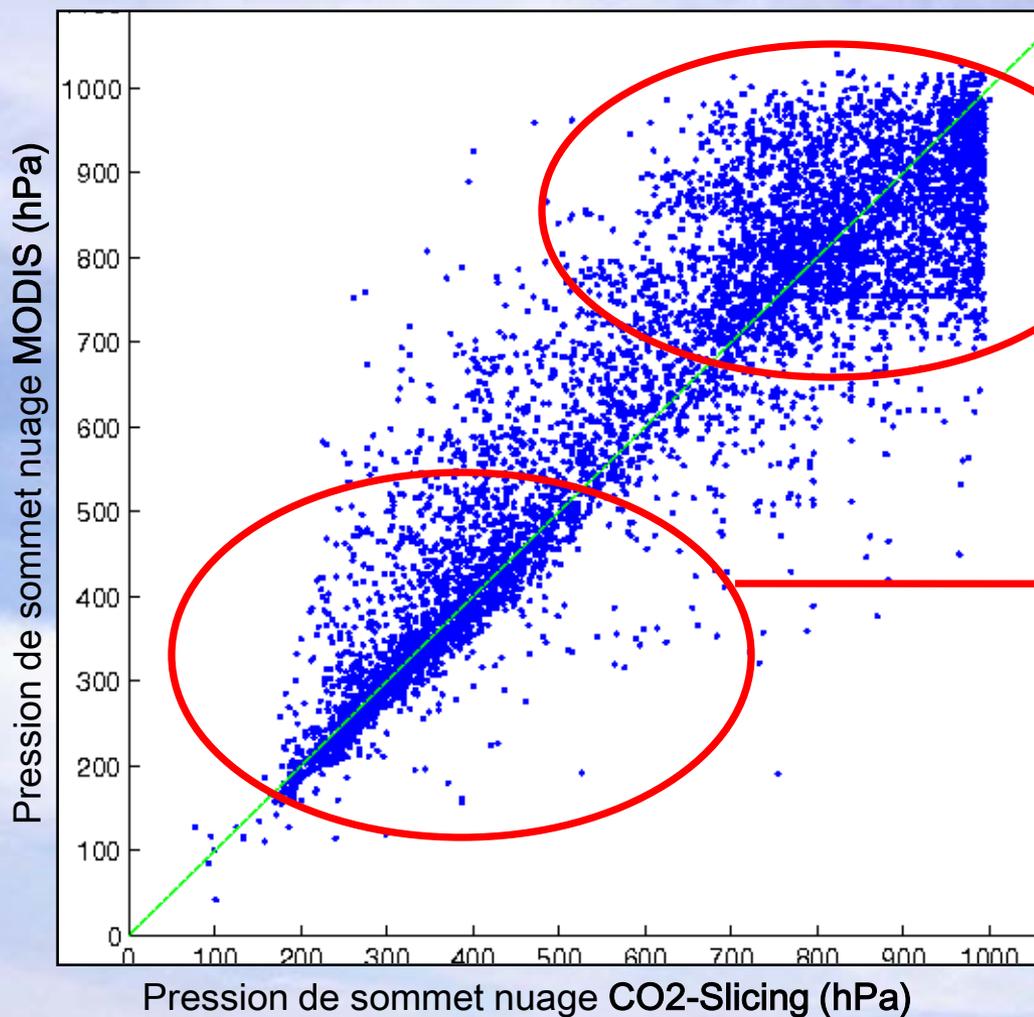
l'assimilation
de données

• 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.

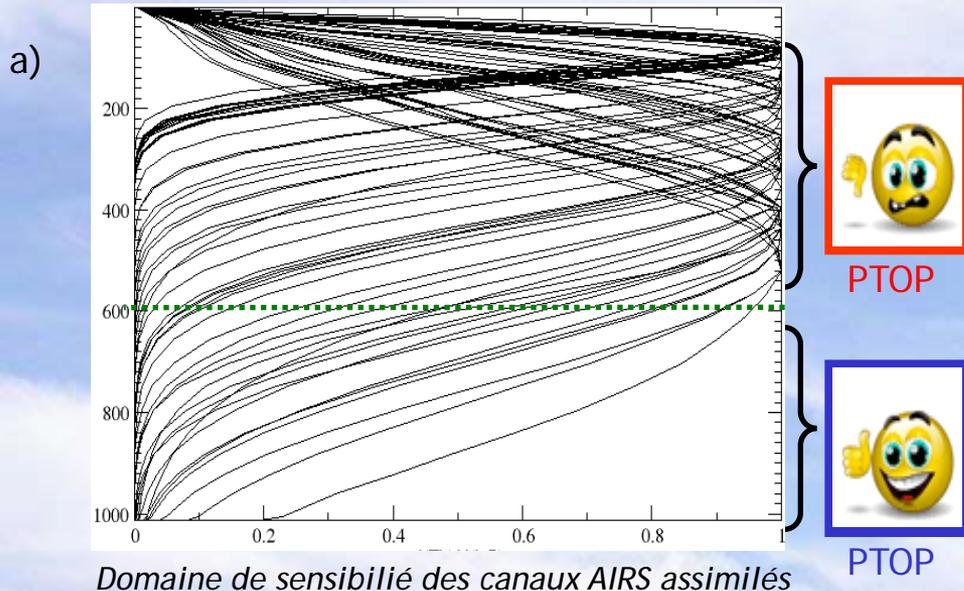
Très bonne corrélation pour nuages moyens et hauts.

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 ?



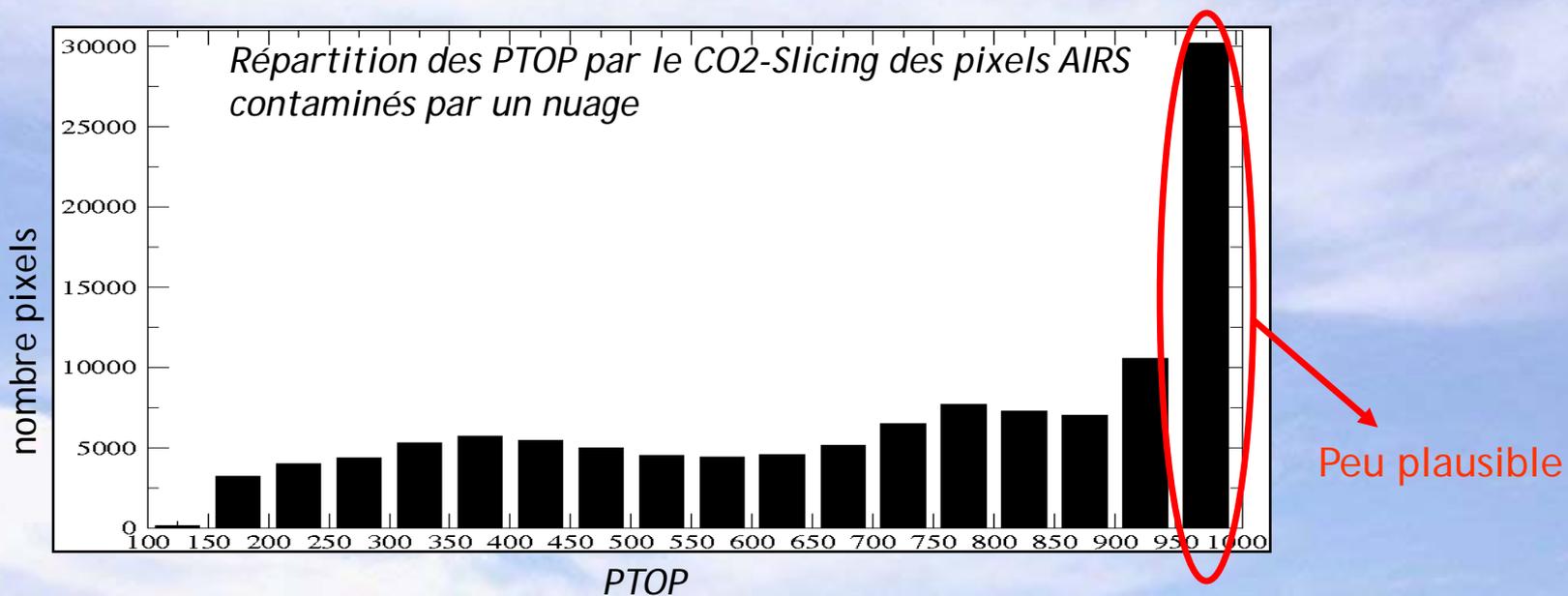
Car la modélisation des canaux nuageux est problématique si leur domaine de sensibilité maximal est au dessous du PTOp estimé (Pavelin et al 2008).

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 ?

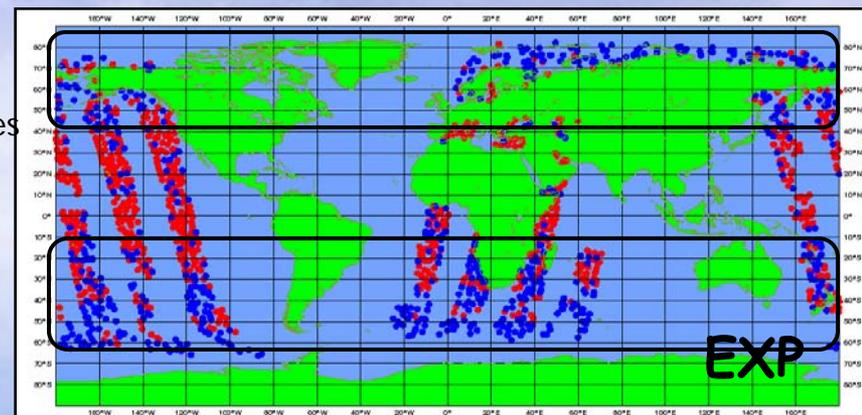
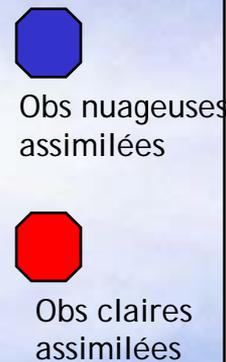
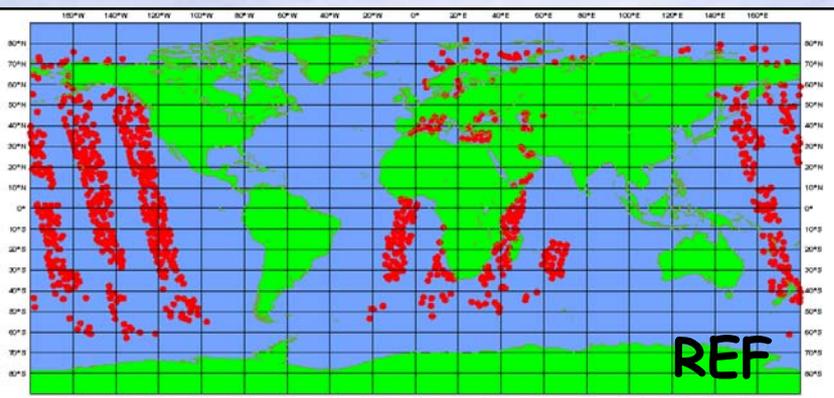


— Difficulté du CO₂-Slicing à caractériser ces nuages très bas.

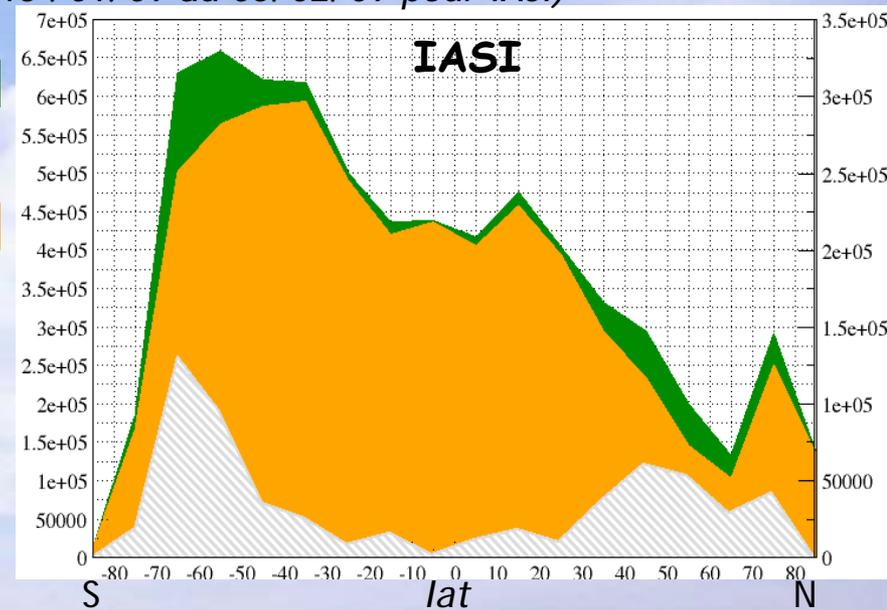
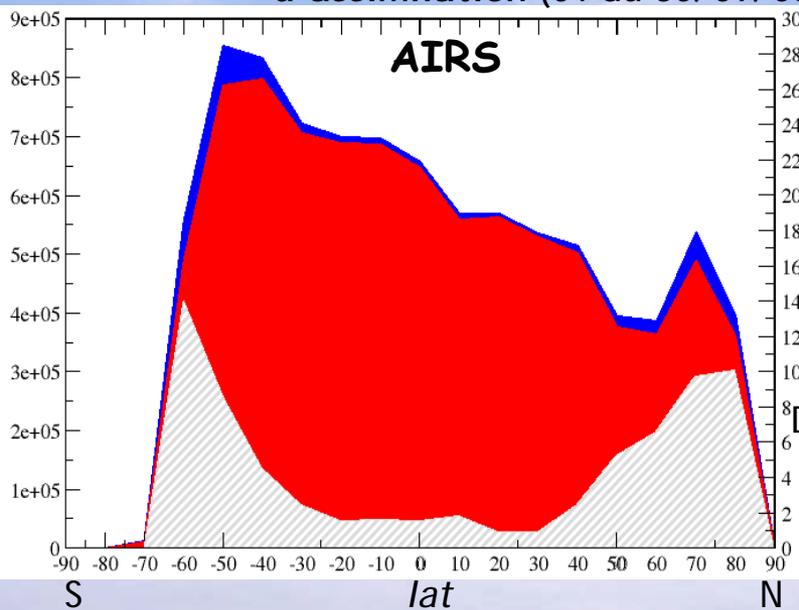
Bon compromis entre (i) rejet des radiances nuageuses douteuses et celles pouvant dégrader l'analyse et (ii) assimilation d'un nombre non négligeable de radiances nuageuses.

Localisation des observations supplémentaires assimilées

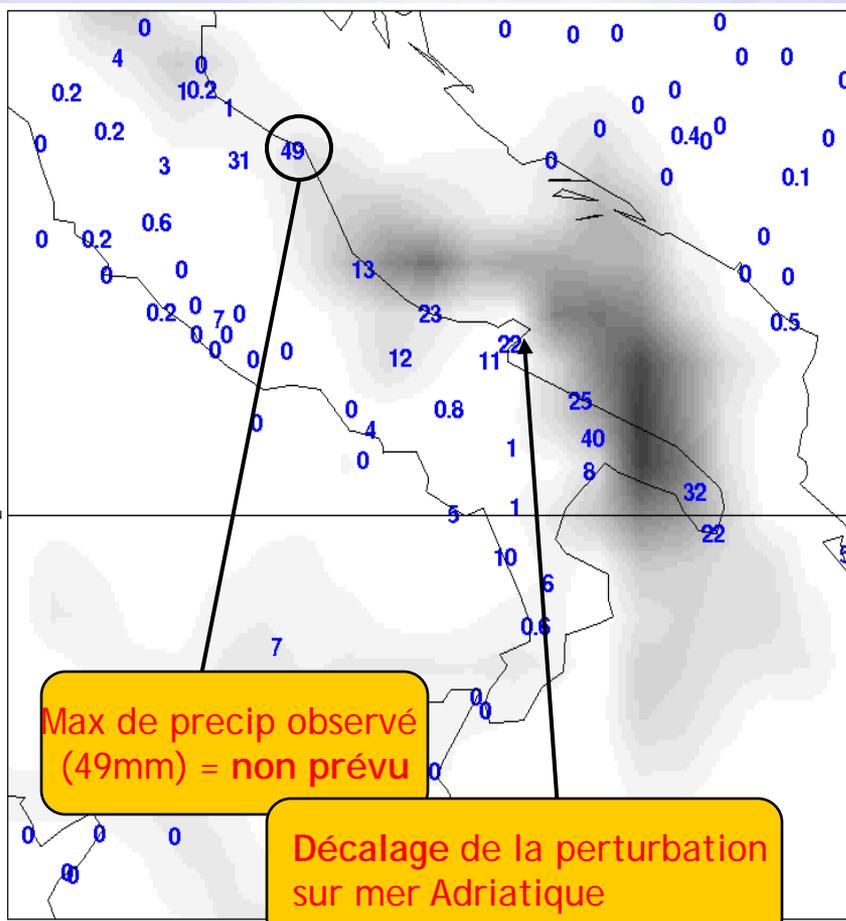
artition des observations assimilées pour le canal AIRS 239 (478 hPa: troposphère). 01/09/06 à 00UTC



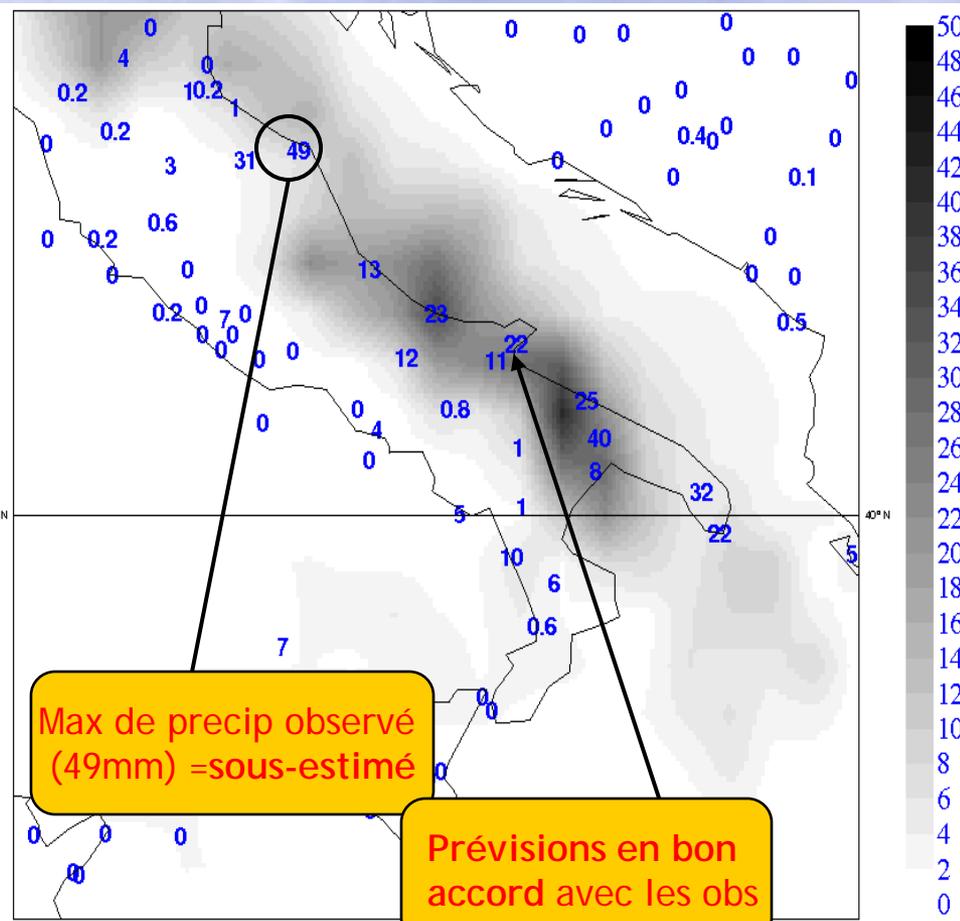
Distribution géographique des canaux assimilés par EXP et REF en fonction de la latitude sur toute la période d'assimilation (01 au 30/09/06 pour AIRS et 15 /01/09 au 05/02/09 pour IASI)



➤ MEDICANE: Prévisibilité de la dépression c-Précipitations



REF.AIRS: Prévi à 60h



EXP.AIRS: Prévi à 60h