

# Assimilation d'images en modélisation météorologique

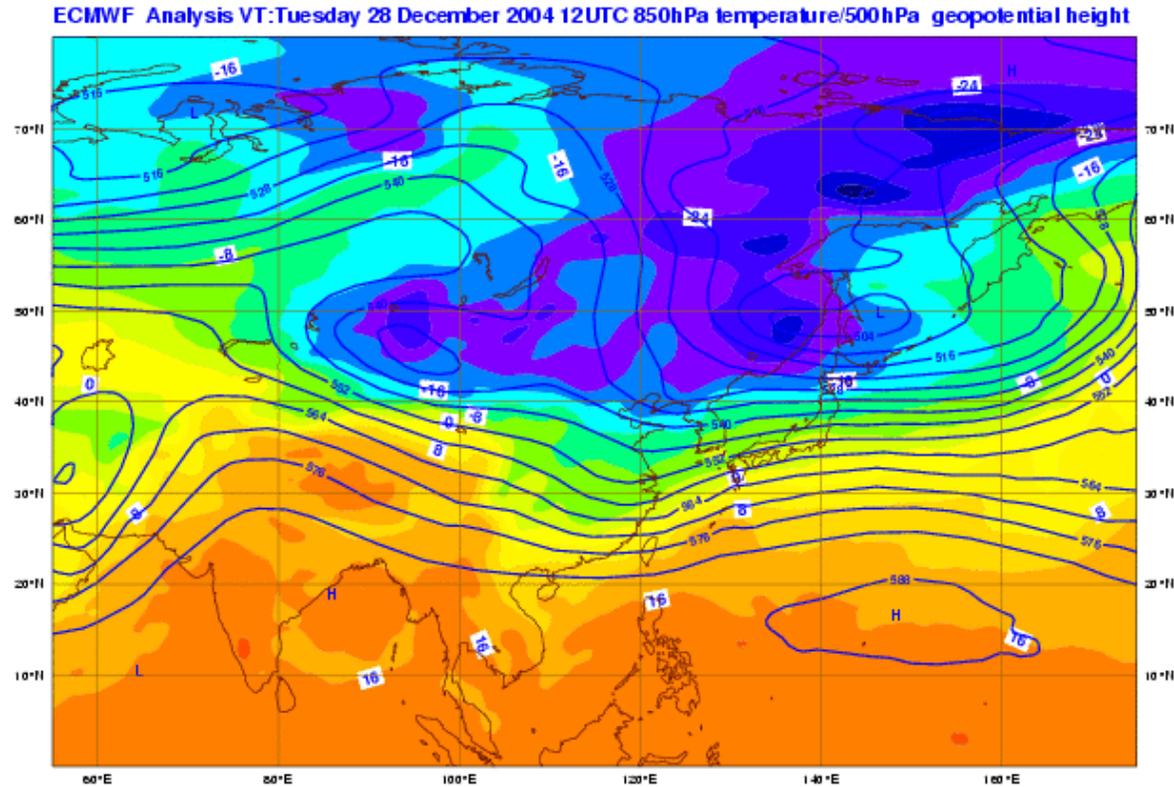
présentation Assimage – Chamrousse 4/2/05 F. Bouttier - [bouttier@meteo.fr](mailto:bouttier@meteo.fr)

- Images météo, exemples
- Analyse 3D/4DVar, météo orientée objet
- Les vents SATOB (Atmospheric Motion Winds)
- RDT: orages à développement rapide
- Cyclogenèse et PV (tourbillon potentiel)
- Autres problèmes intéressants

# Images et météo

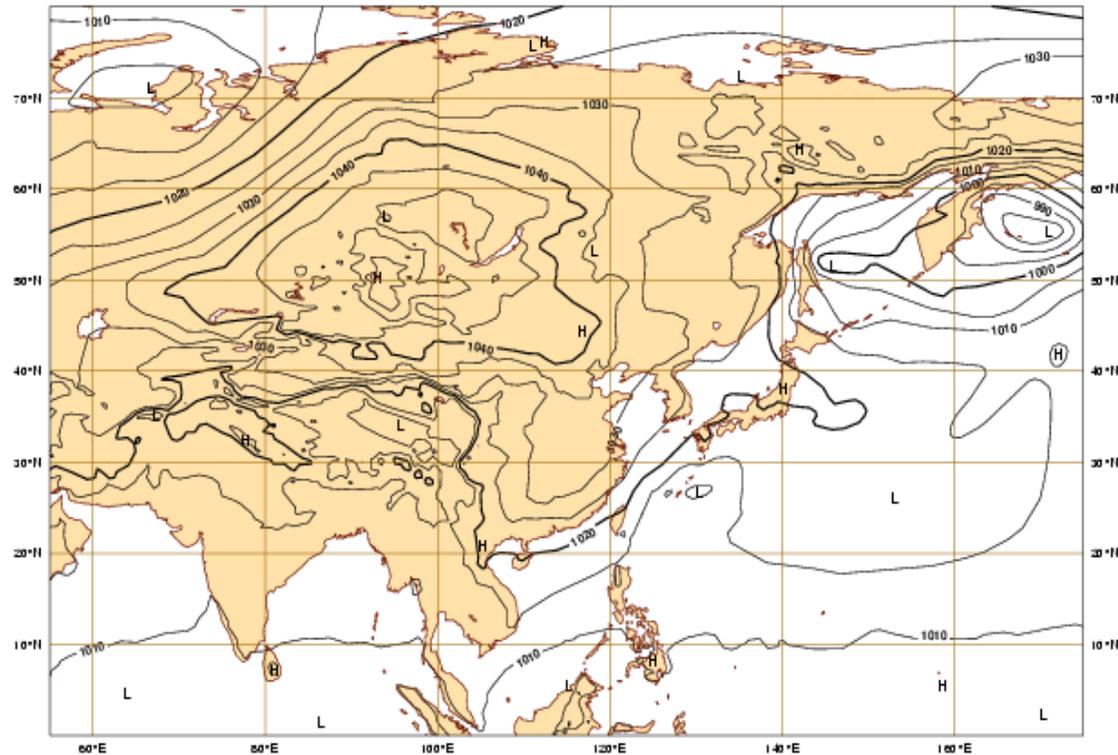
- **Satellites géostationnaires** : rayonnement visible ou IR sur un hémisphère, période  $\sim 15$ min, résol  $\sim 5$ km: nuages, T, humidité
- Fauchées de **satellites en orbite polaires** : rayonnement visible, IR, microondes, rétrodiffusion radar, période  $\sim 6$ h, résol 200m à 20km: nuages, T, humidité, ozone, CO<sub>2</sub>, pluie, vagues...
- **Cônes radars**: rétrodiffusion, période  $\sim 5$ min, résol  $\sim 1$ km, plusieurs élévations
- Séquences  $f(z,t)$  de profils locaux observés par radar profileur (profil de vent, T, hum) ou lidar (nuages, aérosols...) = **diagrammes de Hovmöller**
- **Vraies séquences d'images** 2D voire 3D: uniquement radars et satellites géostationnaires
- “images” **simulées par des modèles**: 5D ! Applications en identification de phénomènes prévus

# Images en sorties de modèle : (p,T) en altitude

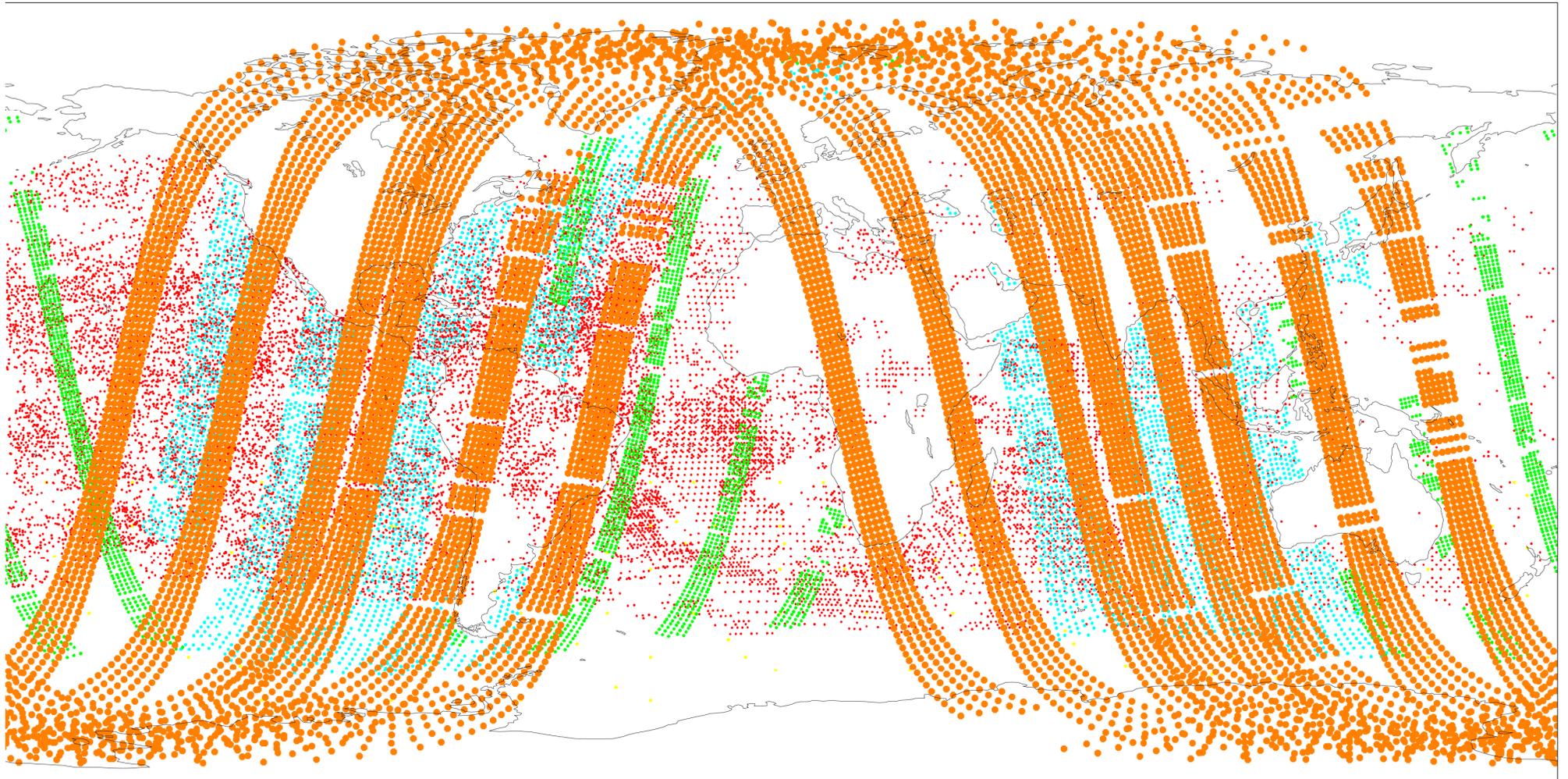


# Images en sortie de modèle: (p, pluie) en surface

ECMWF Analysis VT: Tuesday 28 December 2004 12UTC  
SURFACE: MSL Pressure



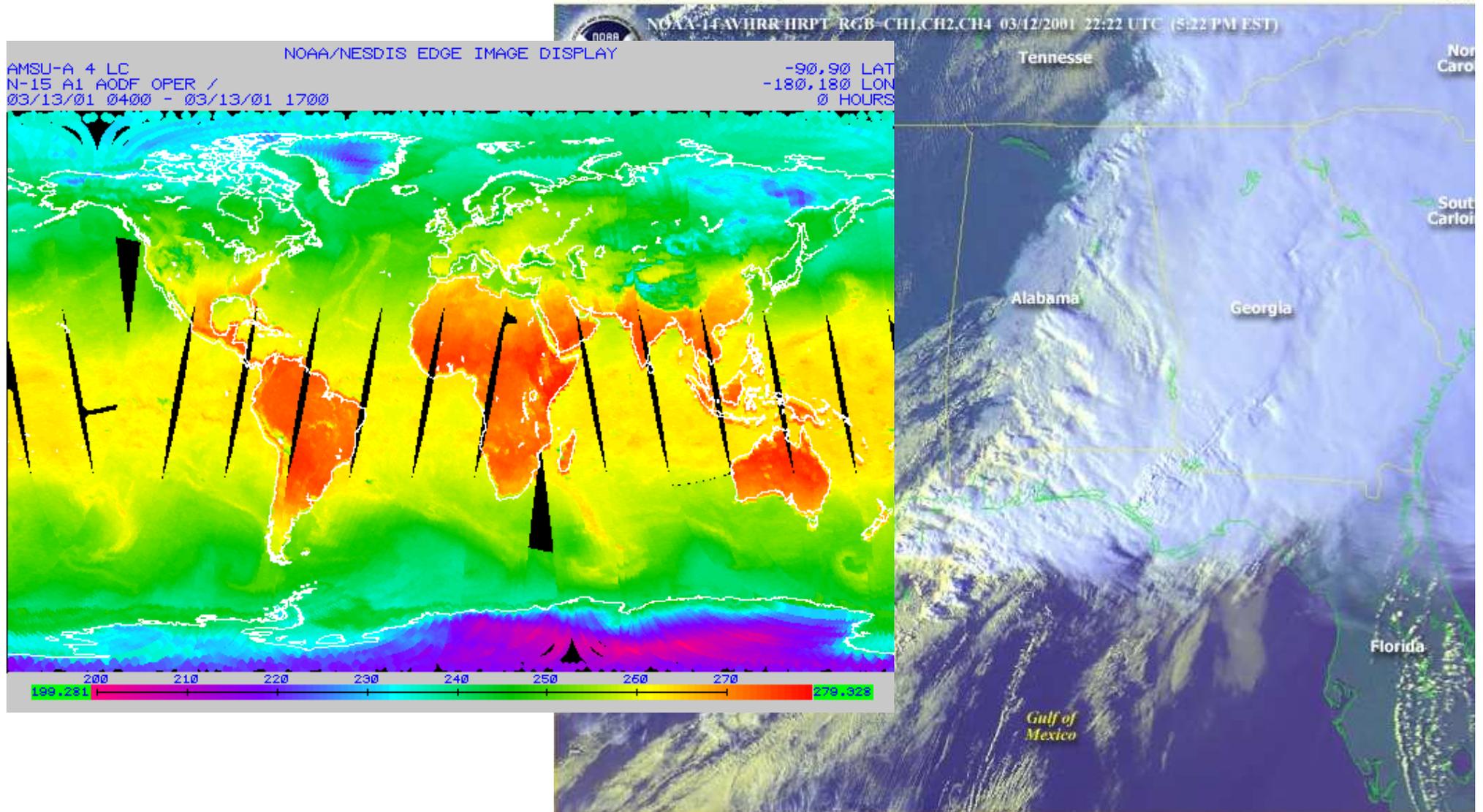
# Géométrie des obs satellitaires



# Obs des satellites en orbite polaire

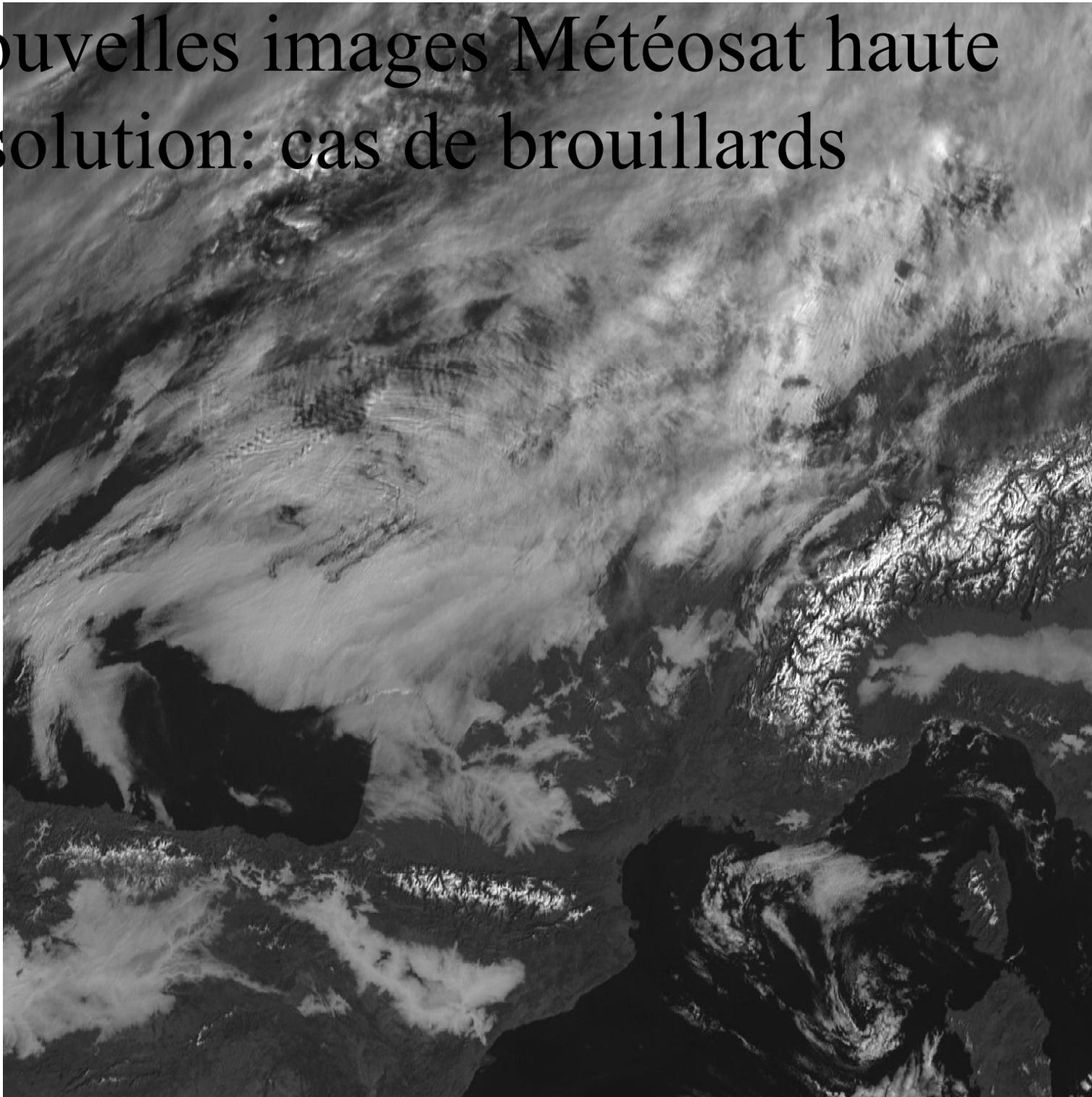
This NOAA-14 image shows powerful thunderstorms over the Southeast states that tore across the region Monday killing four people and damaging dozens of homes.

CREI

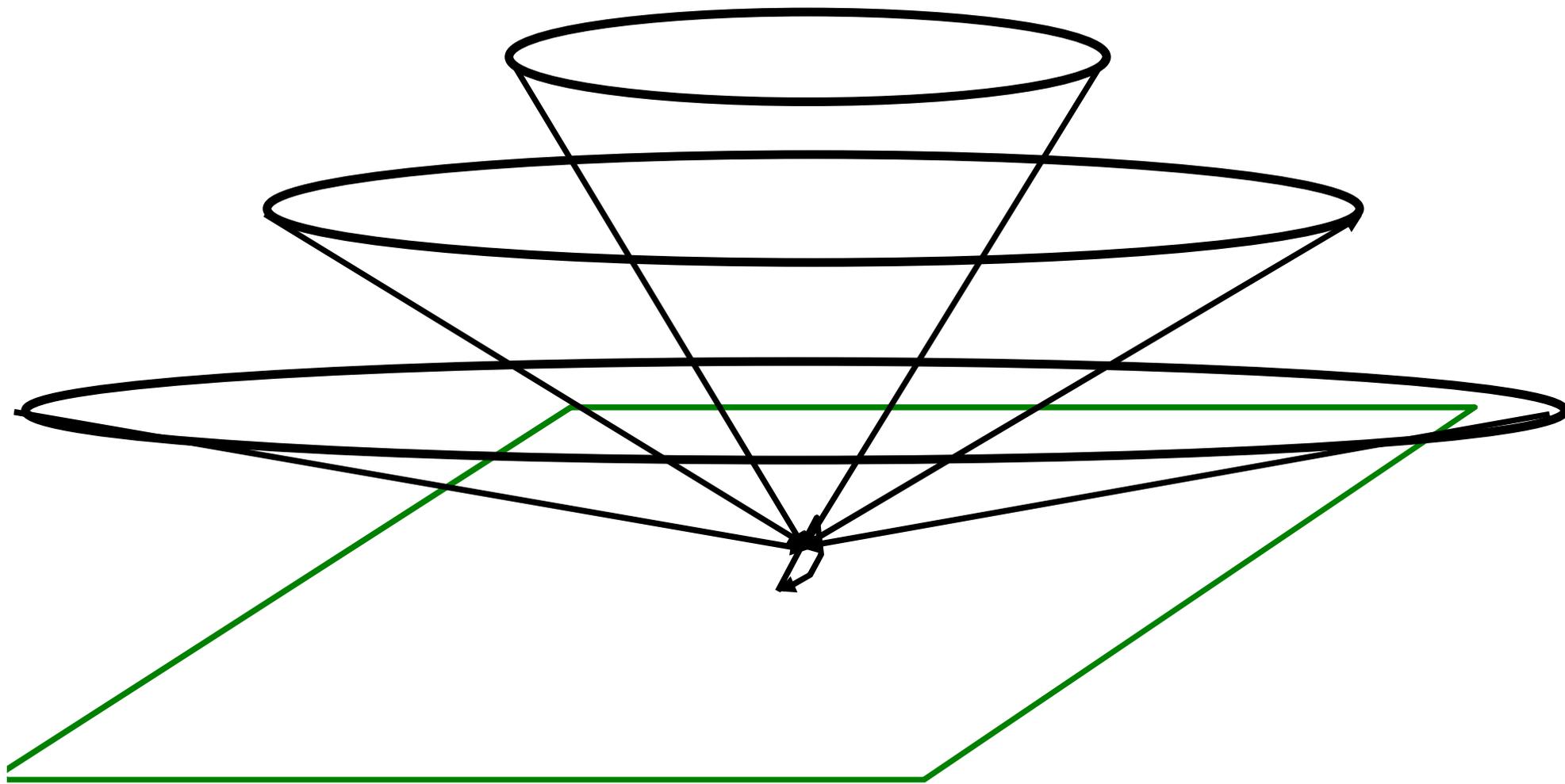




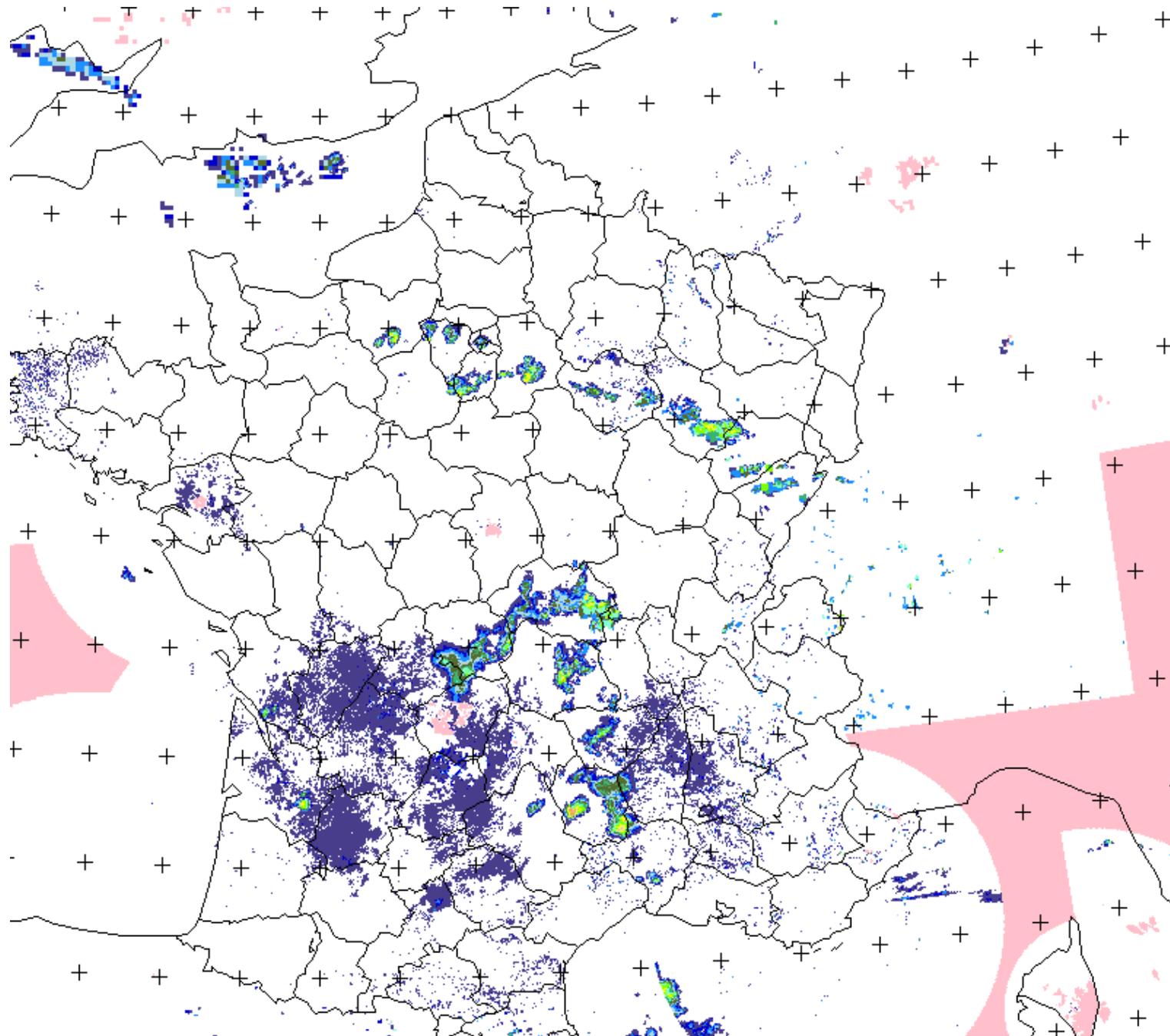
# Nouvelles images Météosat haute résolution: cas de brouillards



# Mesure d'images radar

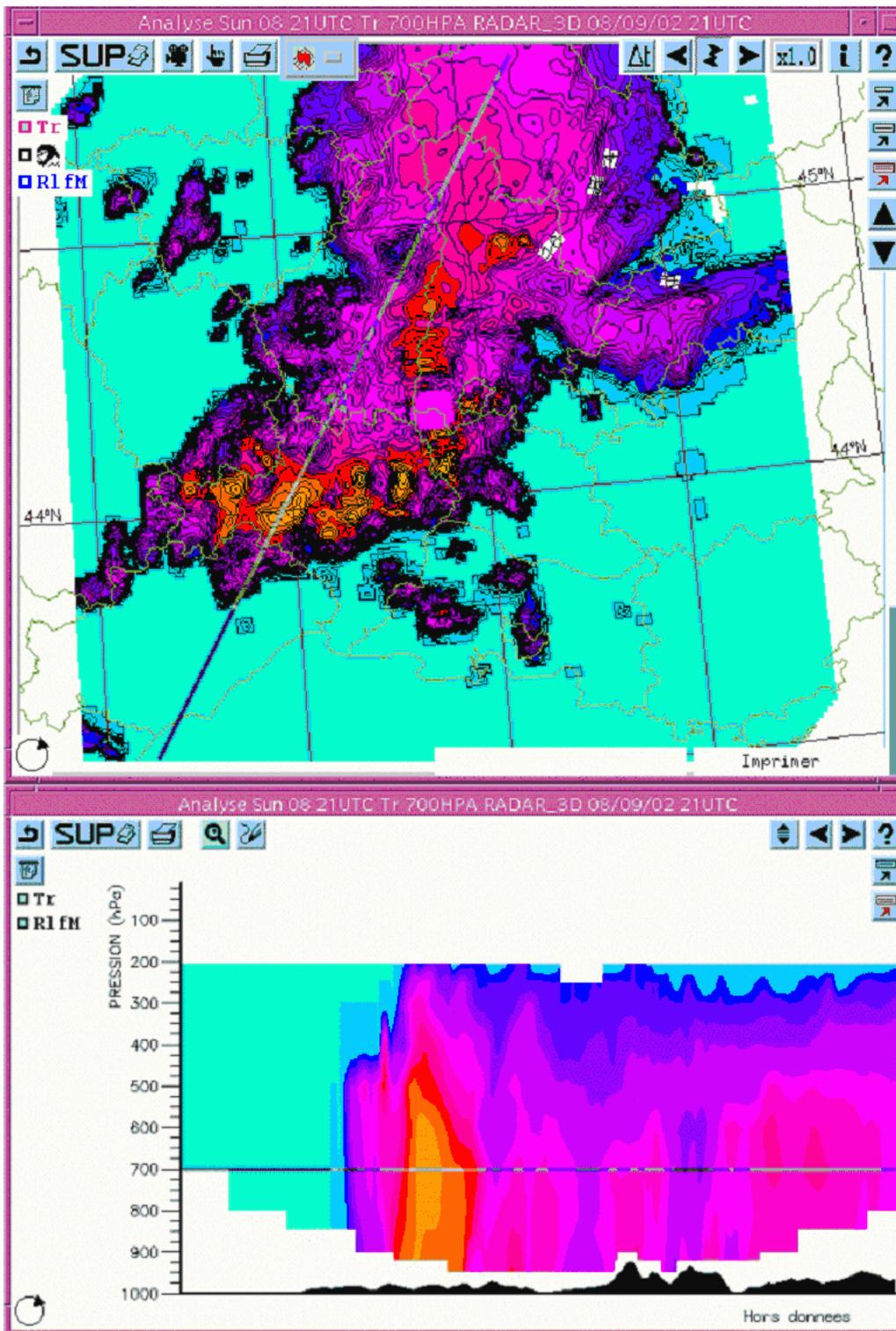


# Exemple d'images radar



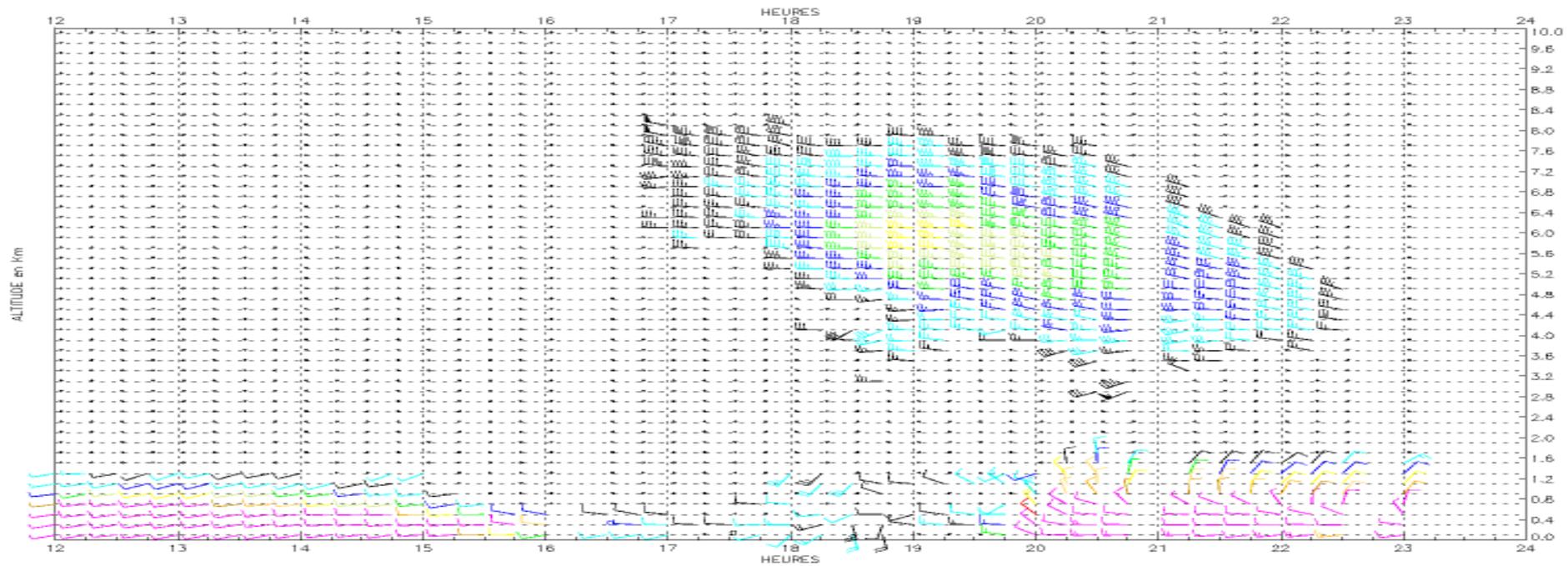
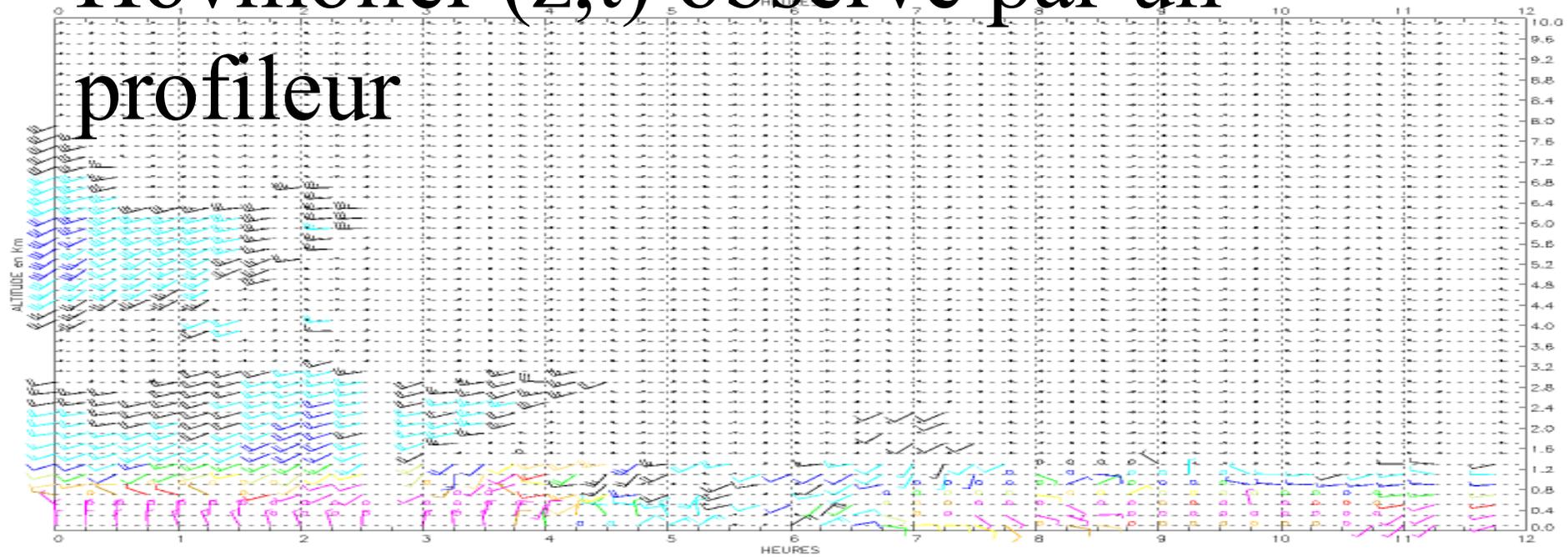
pluie(x,y)  
Nouveaux  
radars à  
balayage  
volumique

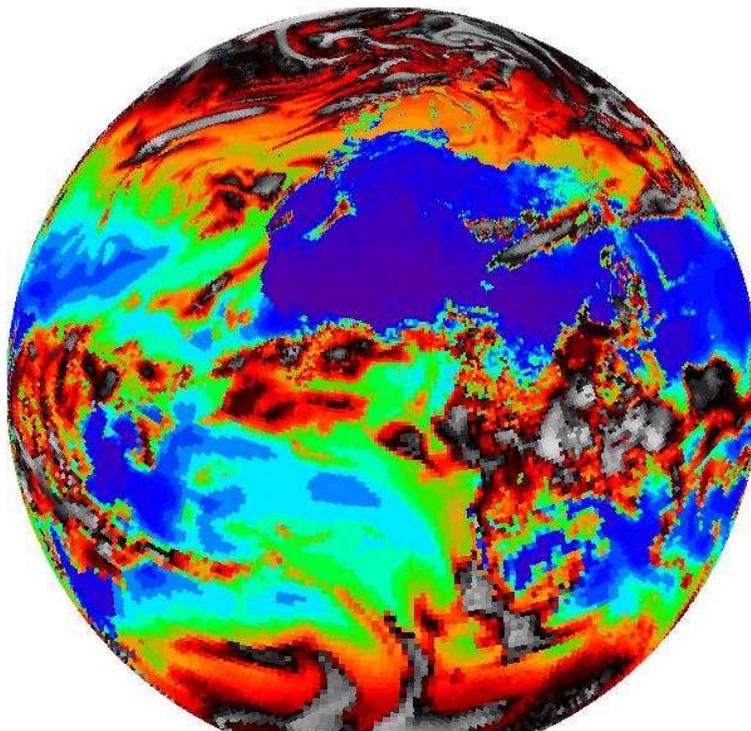
pluie(x,z)



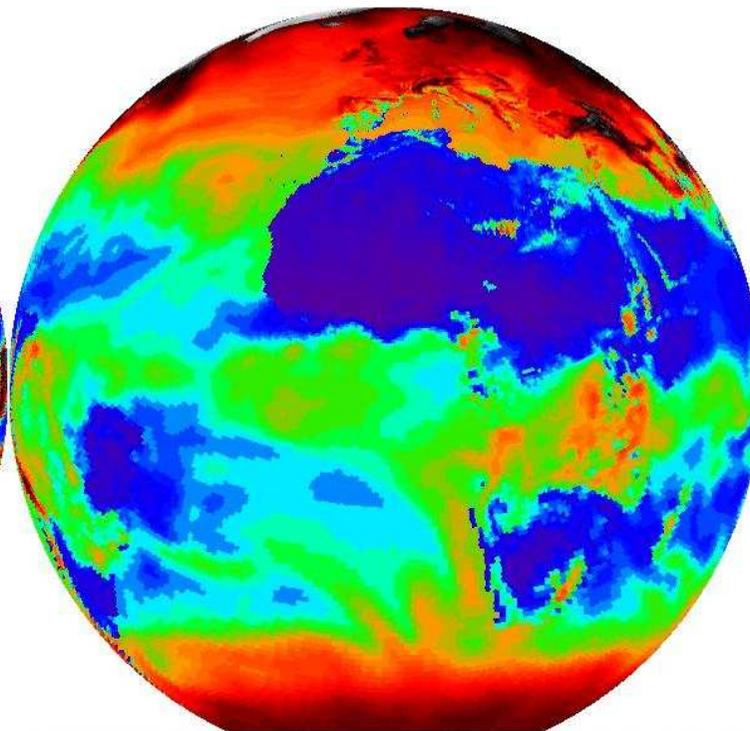
# Hovmöller (z,t) observé par un profileur

TRAPPE - PROFILS de VENTS - TOUTS NIVEAUX - 28/07/2003

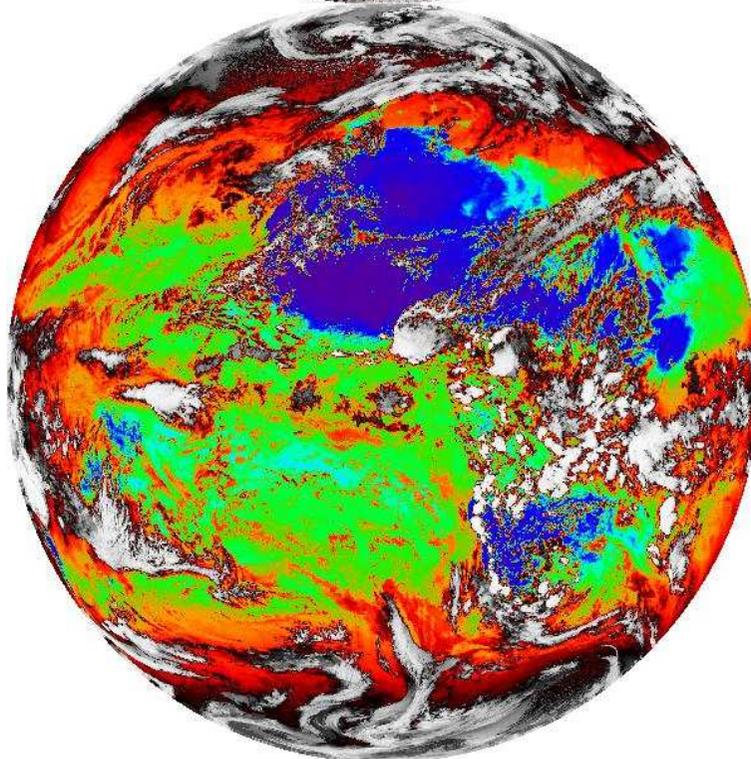




CLSTEMPERATURE, BASE 27.02.2002 12h + 3h, VALID 27.02.2002 15h



CLPMHAUT.MOD.XFU, BASE 27.02.2002 12h + 3h, VALID 27.02.2002 15h



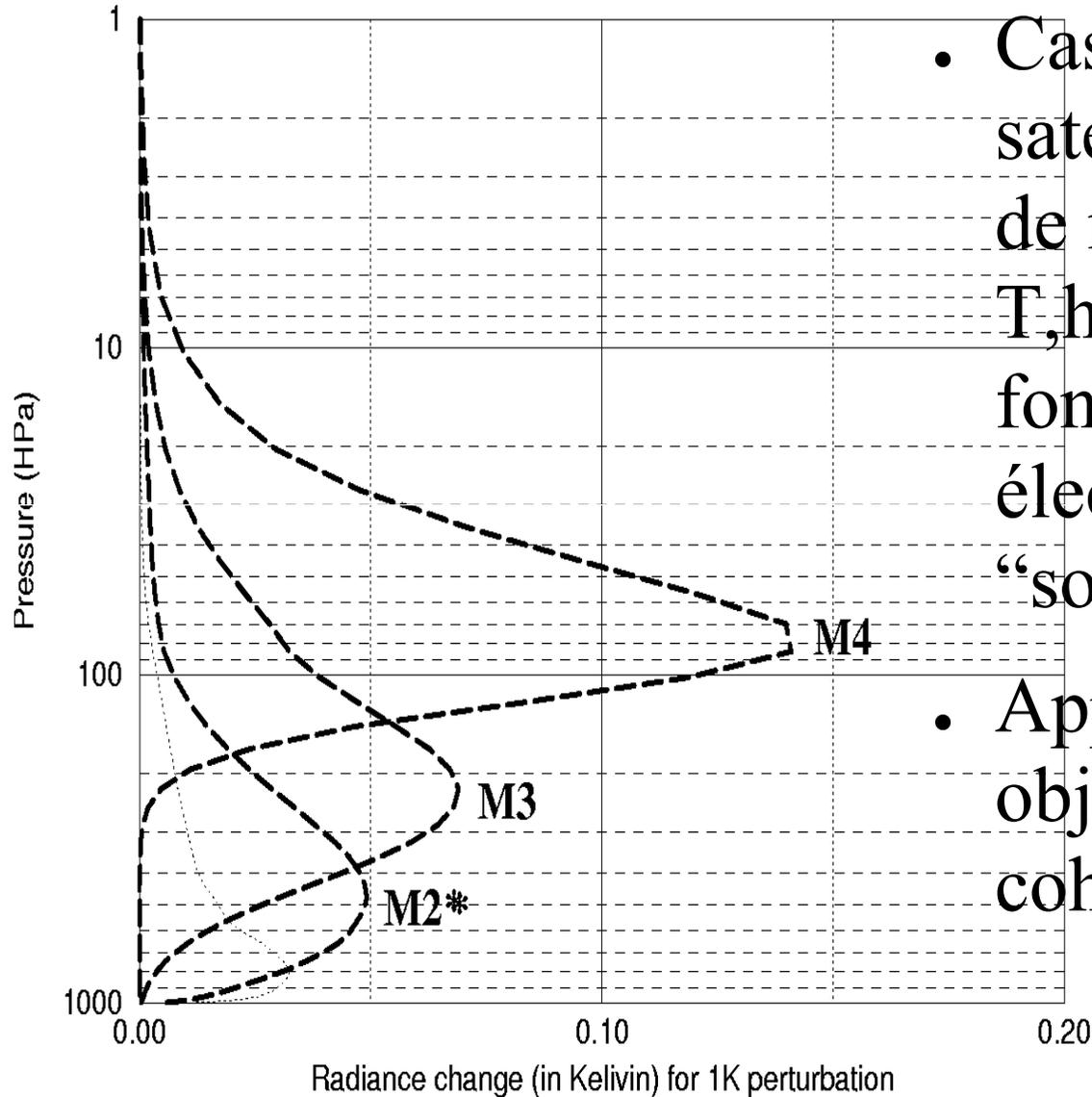
Images simulées  
par un modèle

# Analyse objective 3D/4D-Var

- Analyse  $x_a = \text{Arg min } J(x)$ ,  $x$  vecteur d'état du modèle (valeurs sur grille 3D)
- $J(x) = (x-x_b)^T B^{-1} (x-x_b) + (y - Hx)^T R^{-1}(y-Hx)$
- $y$  vecteur des valeurs observées,  $x_b$  ébauche de  $x$
- $H$  opérateur d'observation (forward operator = simulateur du processus d'observation)
- $B$  et  $R$  matrices de covariances d'erreur
- Résultat essentiel : **pour 1 obs scalaire,  $B$  définit la structure de spatialisation de la correction observée (information en moyenne statistique, conceptuellement pauvre)**
- En pratique, les obs sont ponctuelles ou presque (=pixels),  $R$  est quasi-diagonale (=superposition linéaire d'obs décorréelées)
- 4DVar = assimilation d'une séquence d'obs en utilisant des équations de modèle comme contrainte forte

# Analyse objective: inversion des mesures, pixel par pixel

Radiance sensitivity to atmospheric temperature changes  
MSU channels on NOAA-14 (\*=not used over land)

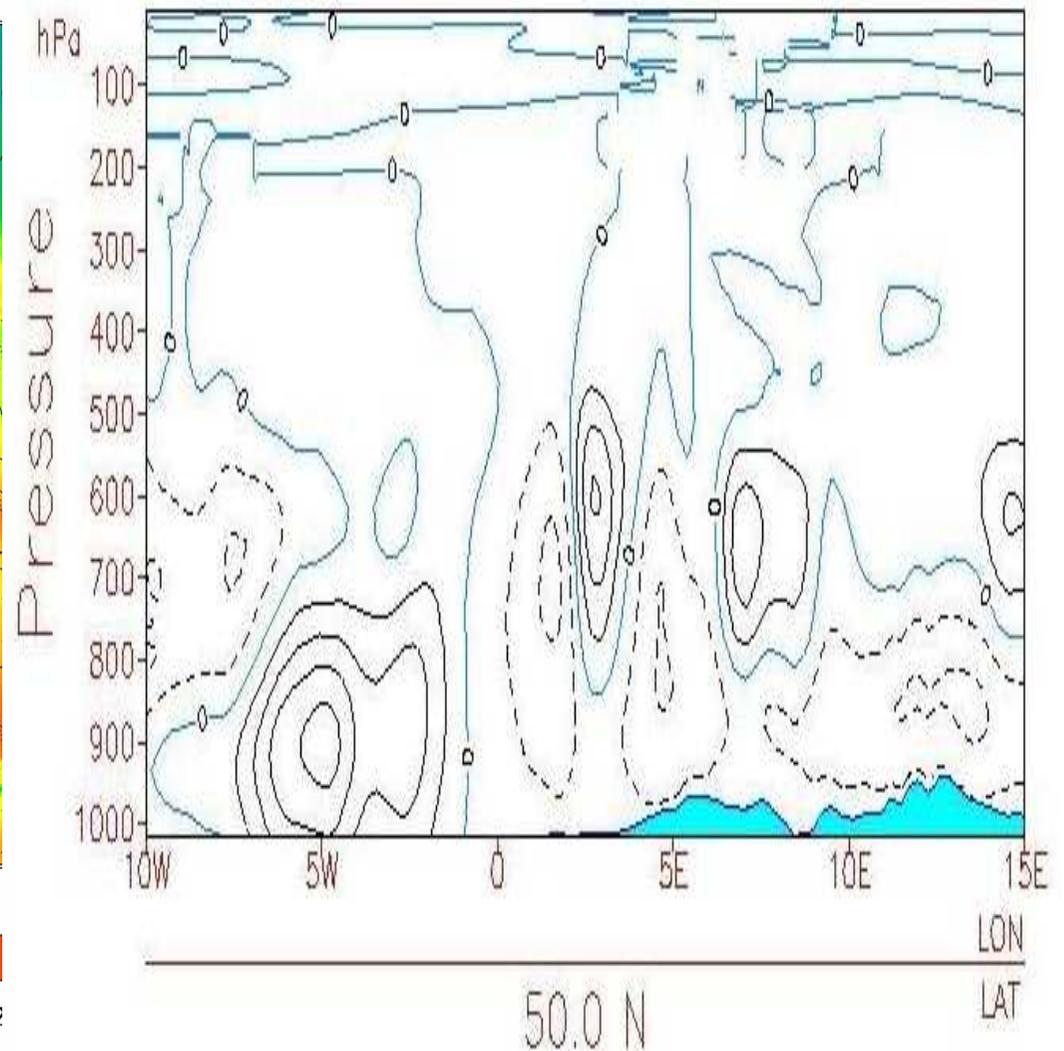
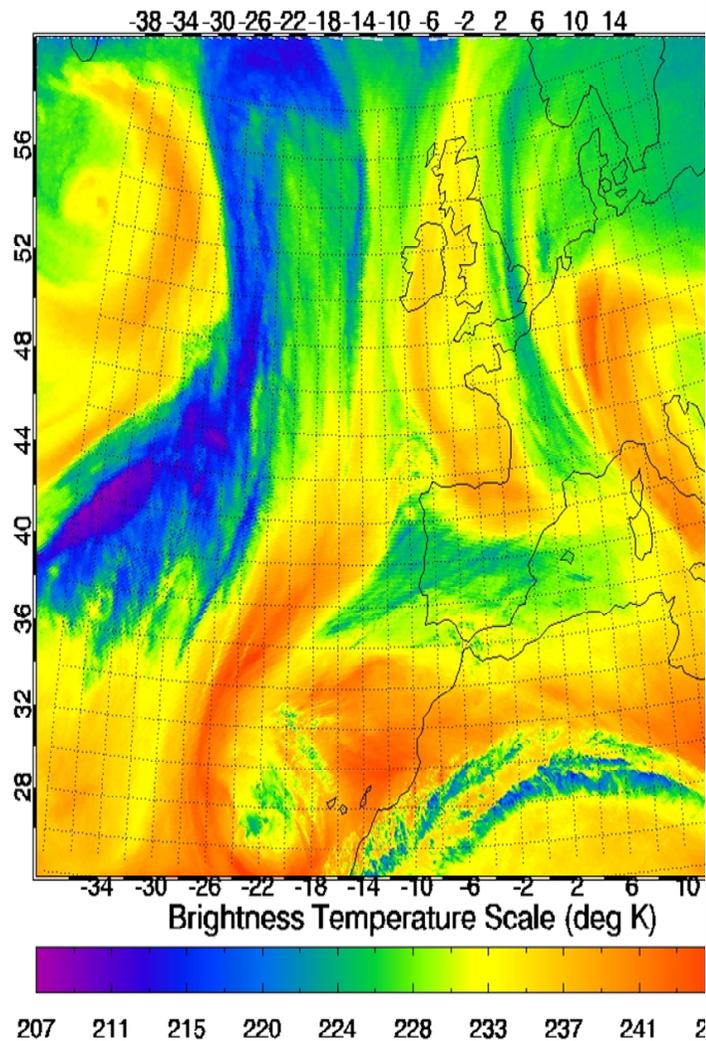


- Cas typique: un pixel satellitaire est un ensemble de radiances sensibles à  $T$ ,  $hum$  avec des poids fonction de la fréquence électromagnétique mesurée: “sondeur satellitaire”
- Approche purement objective, sans notion de cohérence horizontale

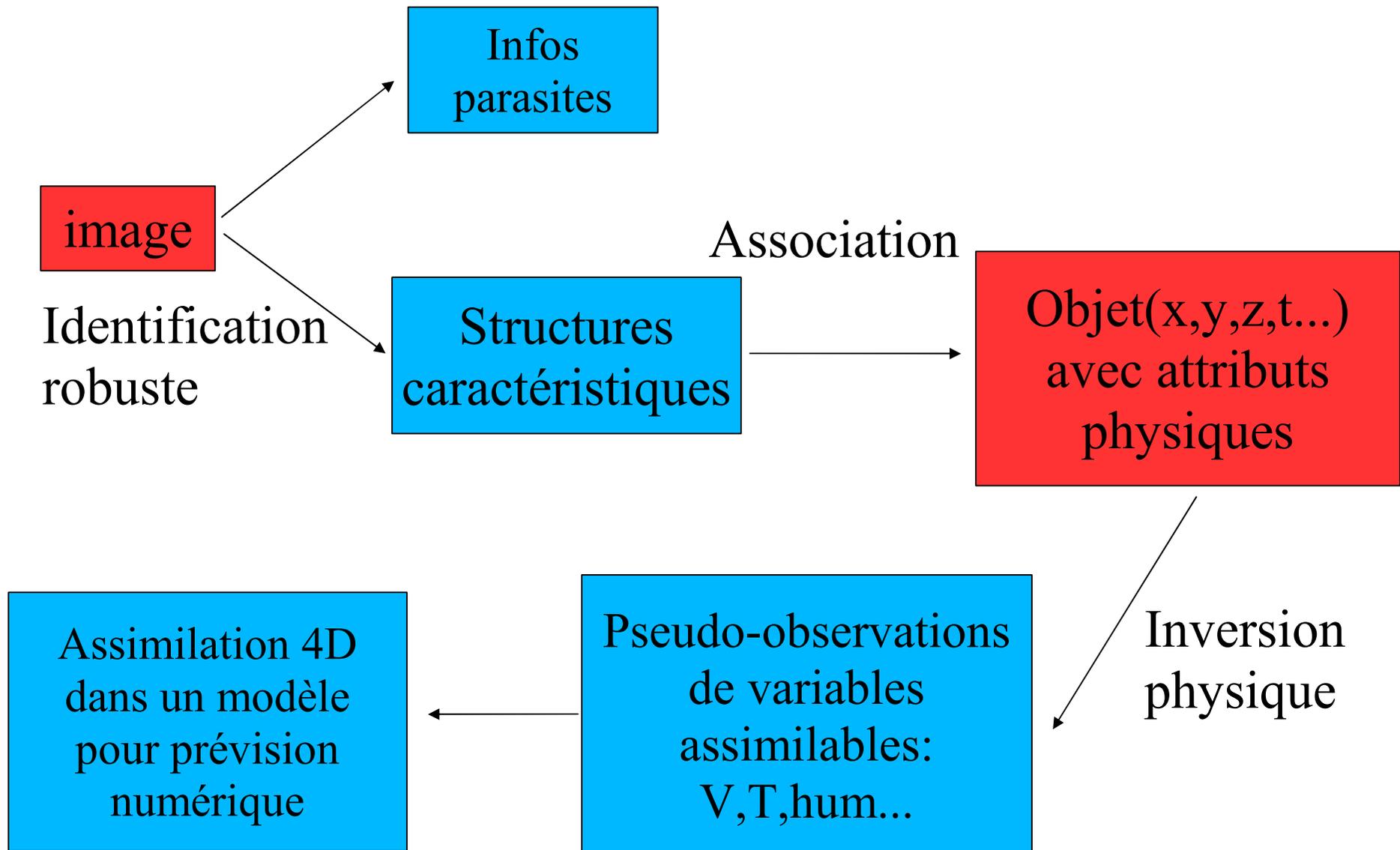
# Mesoscale 3D-Var humidity analysis from geostationary radiances

MSG/Seviri WV 6,2  $\mu$  Tb  
on 12 Feb 2003, 1330

3DVar specific humidity  
increments  
— .0001

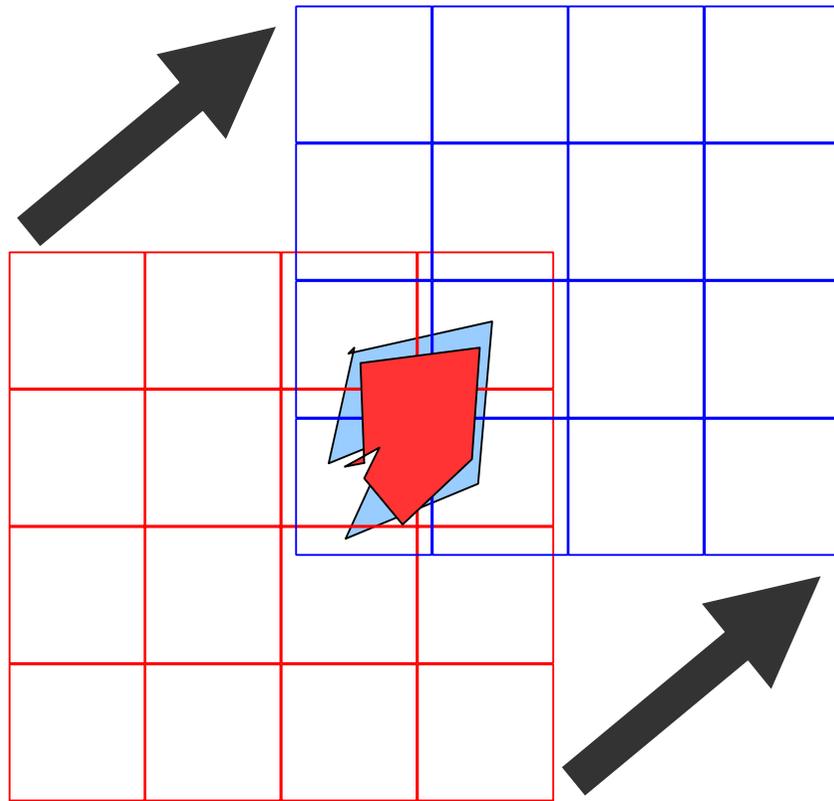


# Vers une analyse météo orientée objet

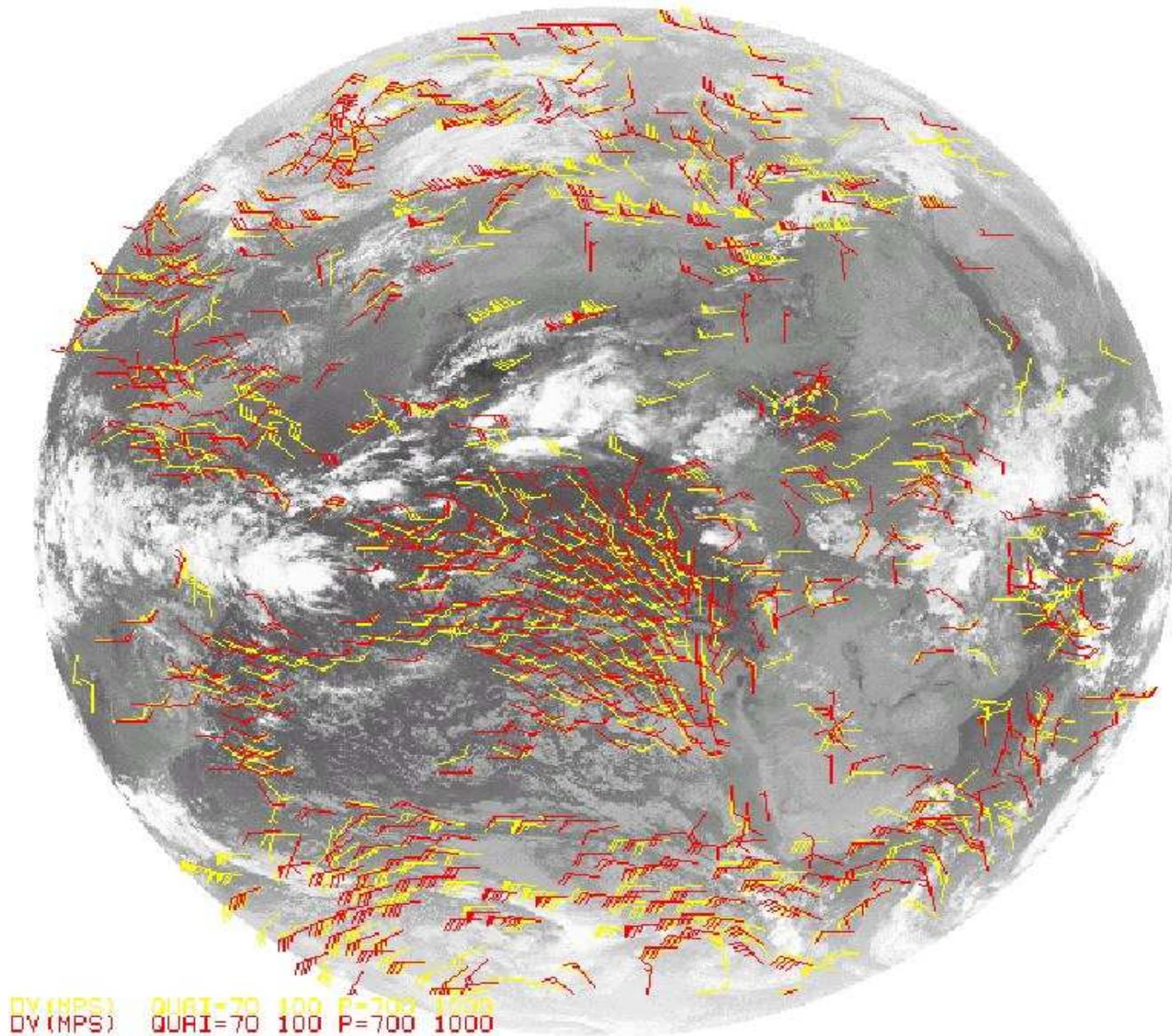


# Exemple 1 : les vents SATOB

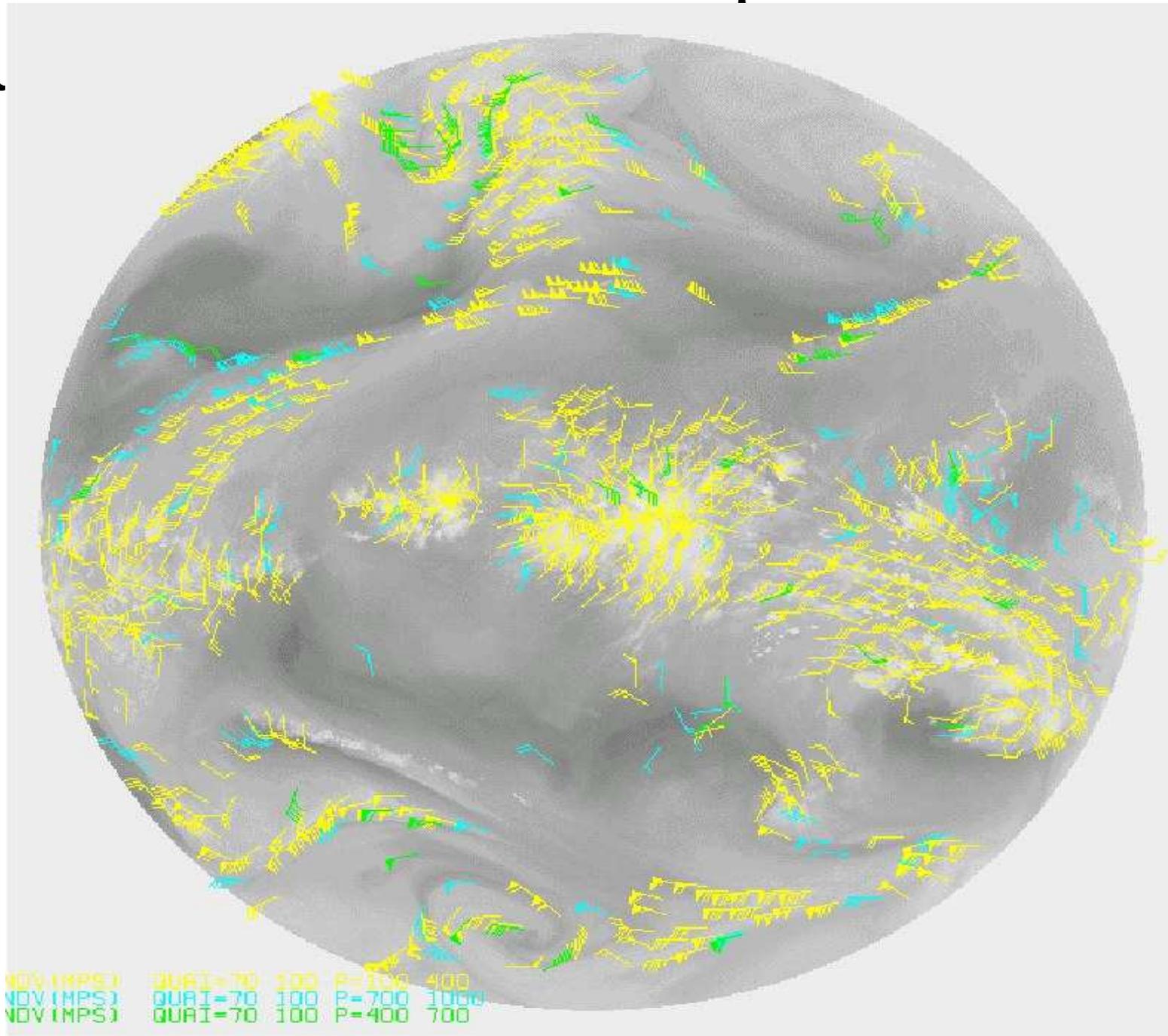
- Idée: corrélation de couples d'images successives pour “voir” le déplacement des nuages et masses d'air
- Maximisation par rapport au choix d'un vecteur déplacement sur des sous-images



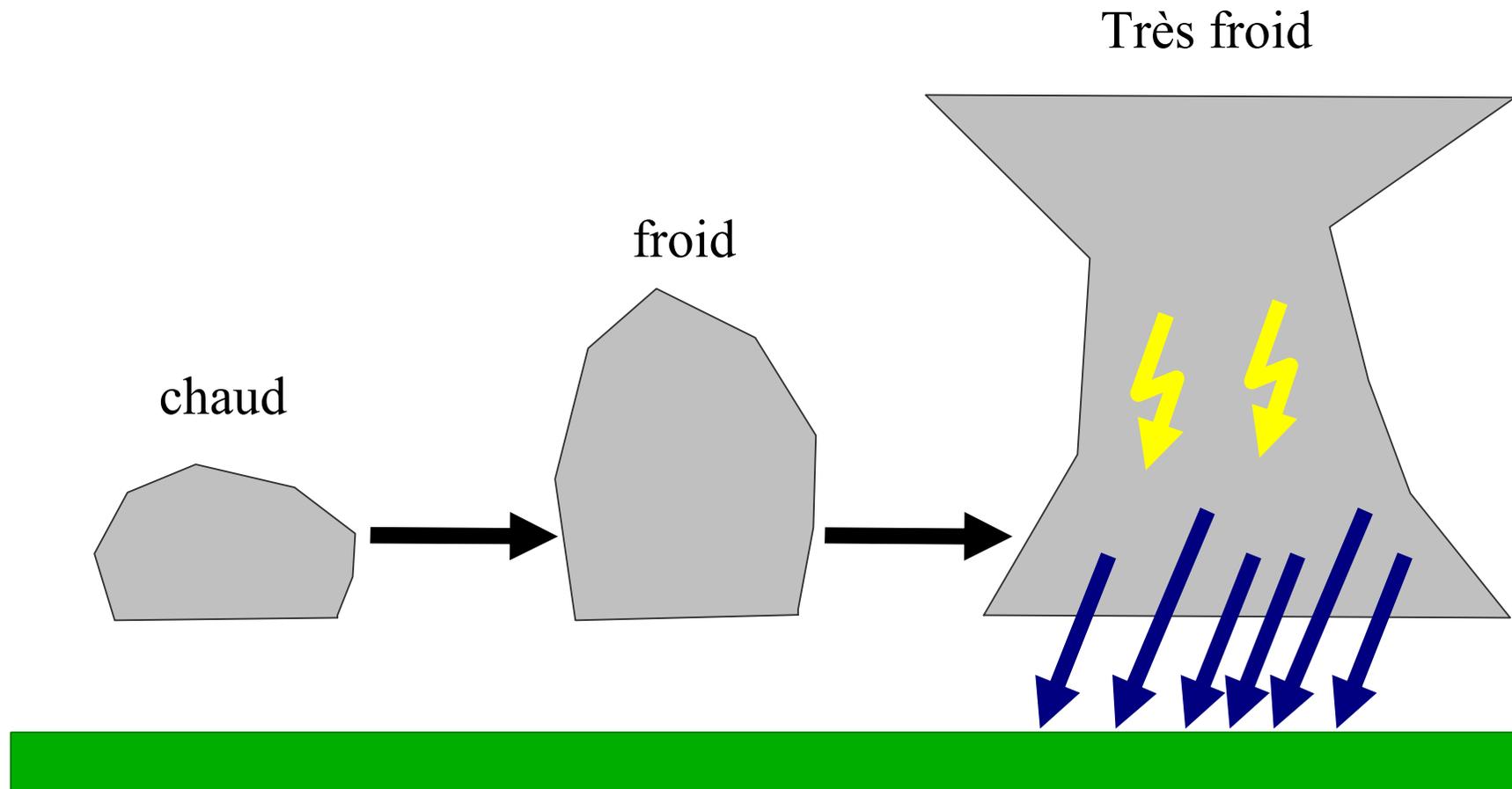
# Vents SATOB canal IR = nuages



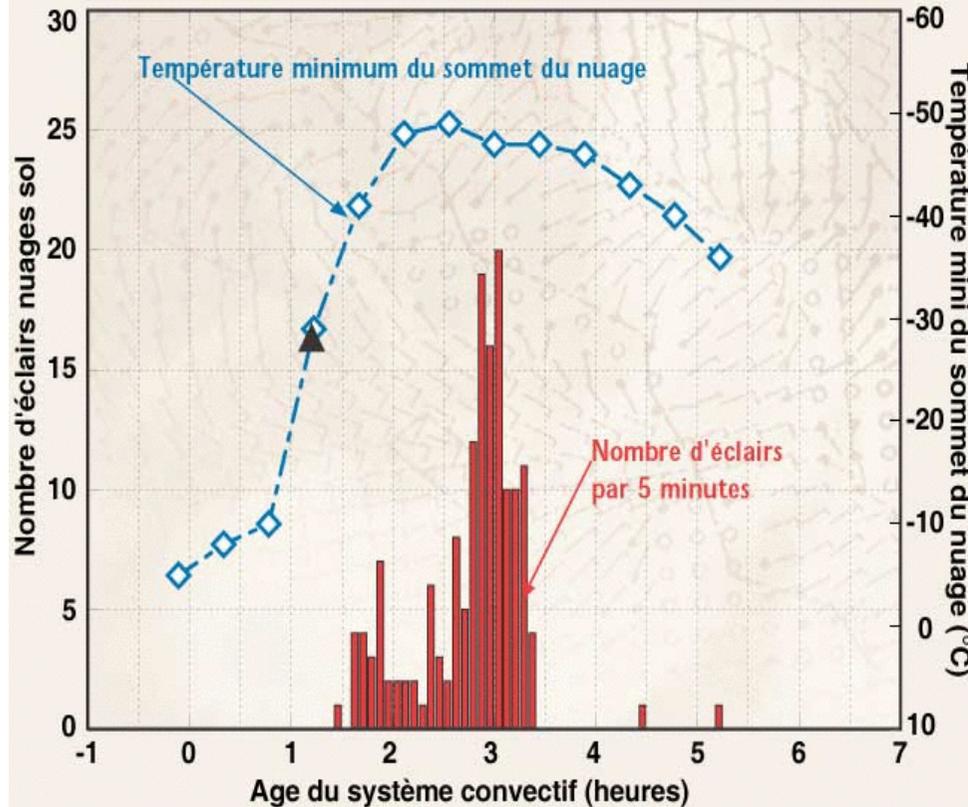
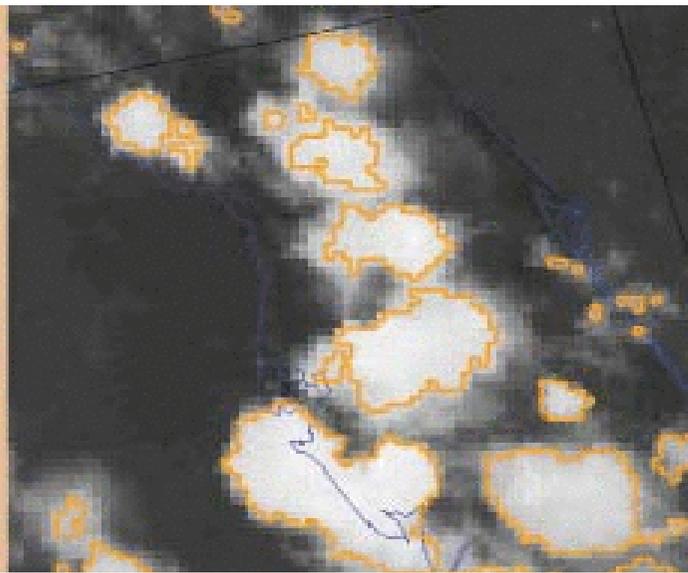
# Vents SATOB canal vapeur d'eau = hu



# Exemple 2: Orages à Développement Rapide (RDT)



# Exemple de suivi automatique RDT pour la prévision immédiate humaine



Variations temporelles du nombre d'éclairs par intervalle de 5 minutes (histogramme) et de la température du sommet du nuage (en losange bleu) d'un système convectif diagnostiqué par le système Isis le 28 juillet 1994. Le premier éclair (triangle noir) apparaît pendant la phase rapide du développement vertical du système.

fermer

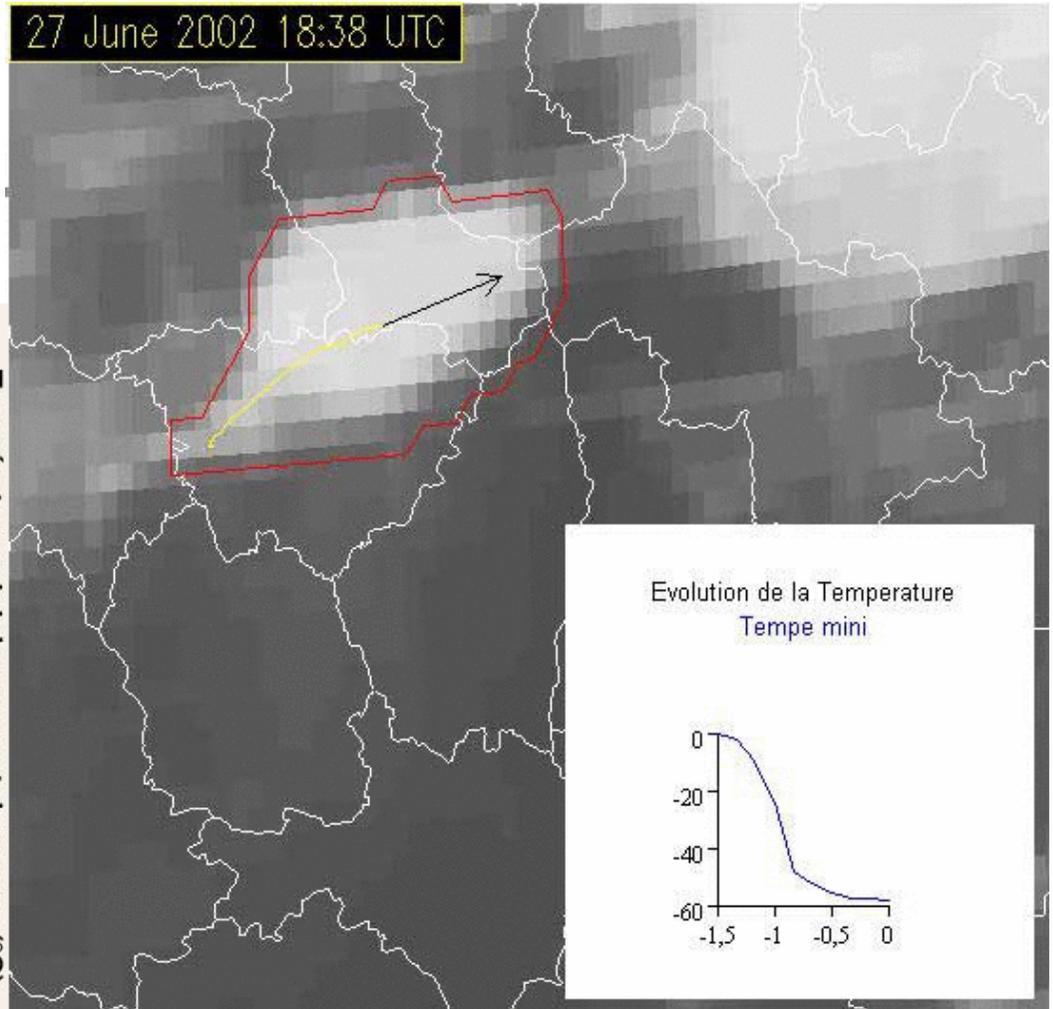


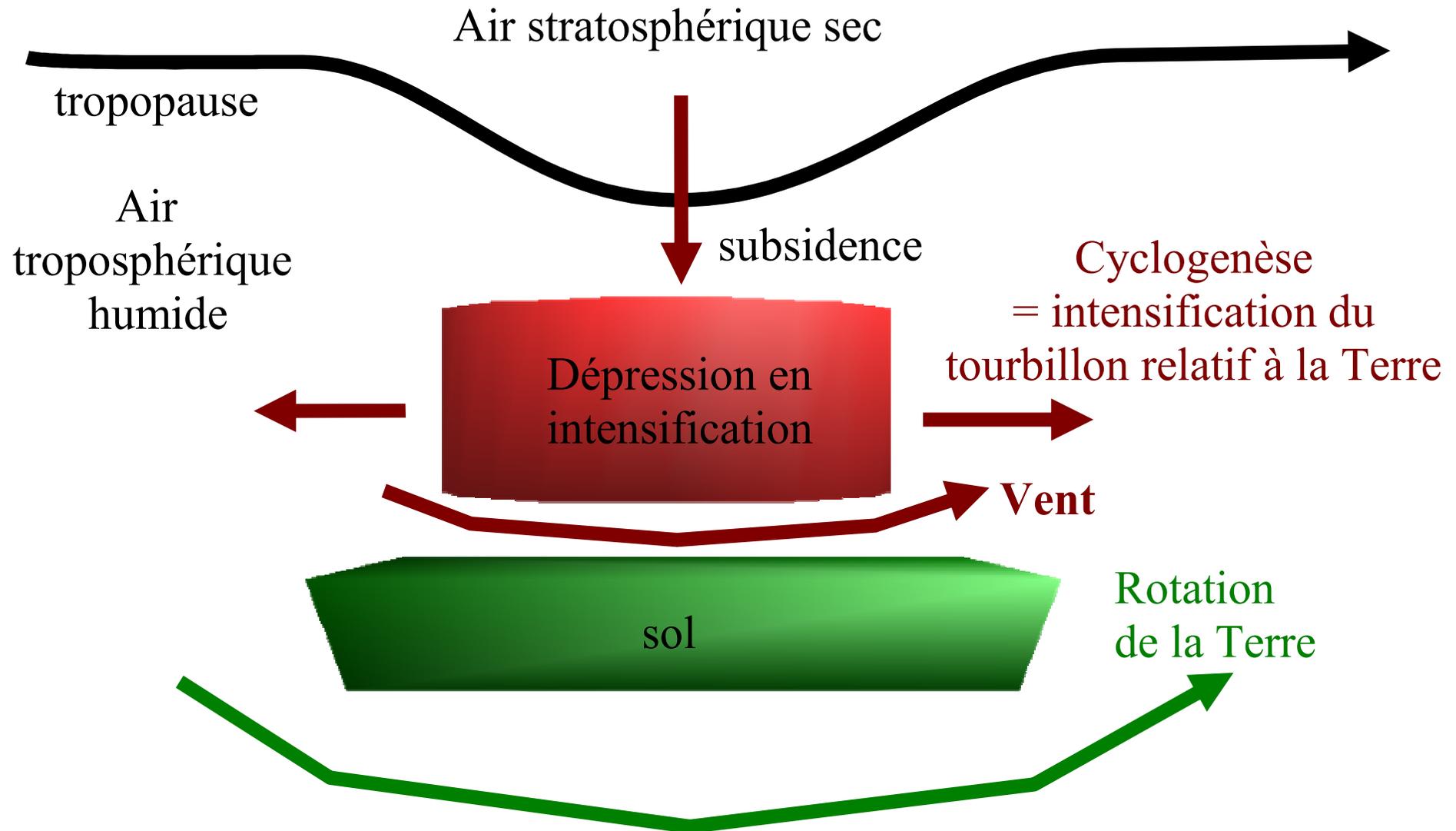
Image « rapid scan » de Météosat centrée sur la vallée du Rhône le 27/06/02 à 1840 UTC (en niveau de gris). La courbe bleue donne l'évolution temporelle (en °C) de la température de brillance du sommet du système convectif suivi par le logiciel RDT (axe des abscisses en heures). L'apport des données « rapid scan » permet au logiciel RDT d'observer un refroidissement du sommet du nuage 1,7 fois plus fort que celui observé à partir des données Météosat « opérationnelles ».

fermer

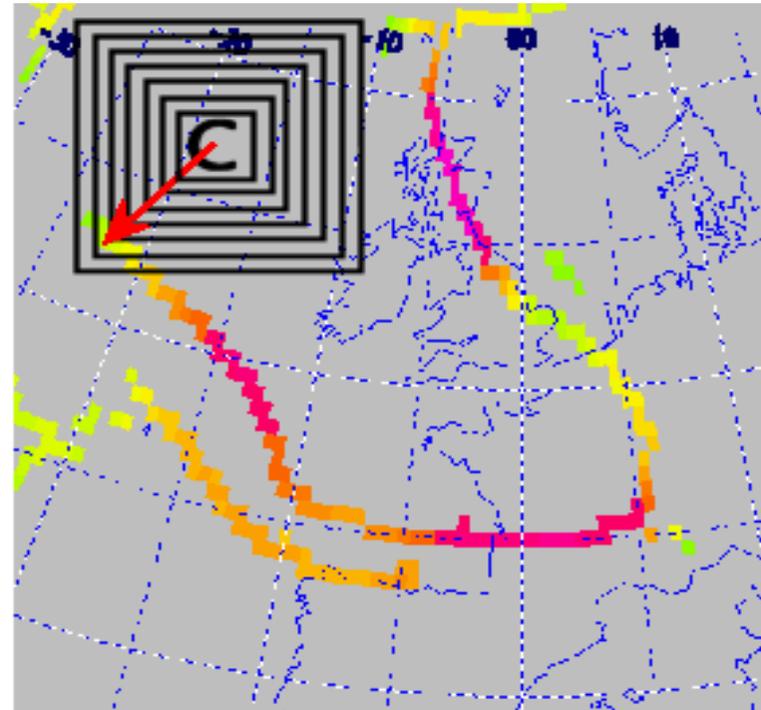
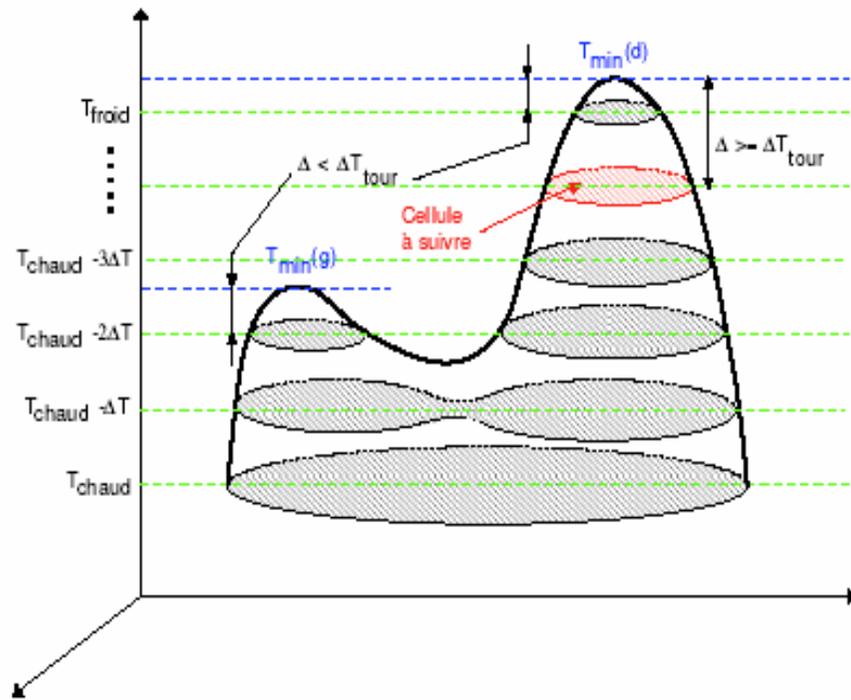
Done

Done

# Exemple 3 : cyclogenèse d'altitude et dynamique du tourbillon potentiel

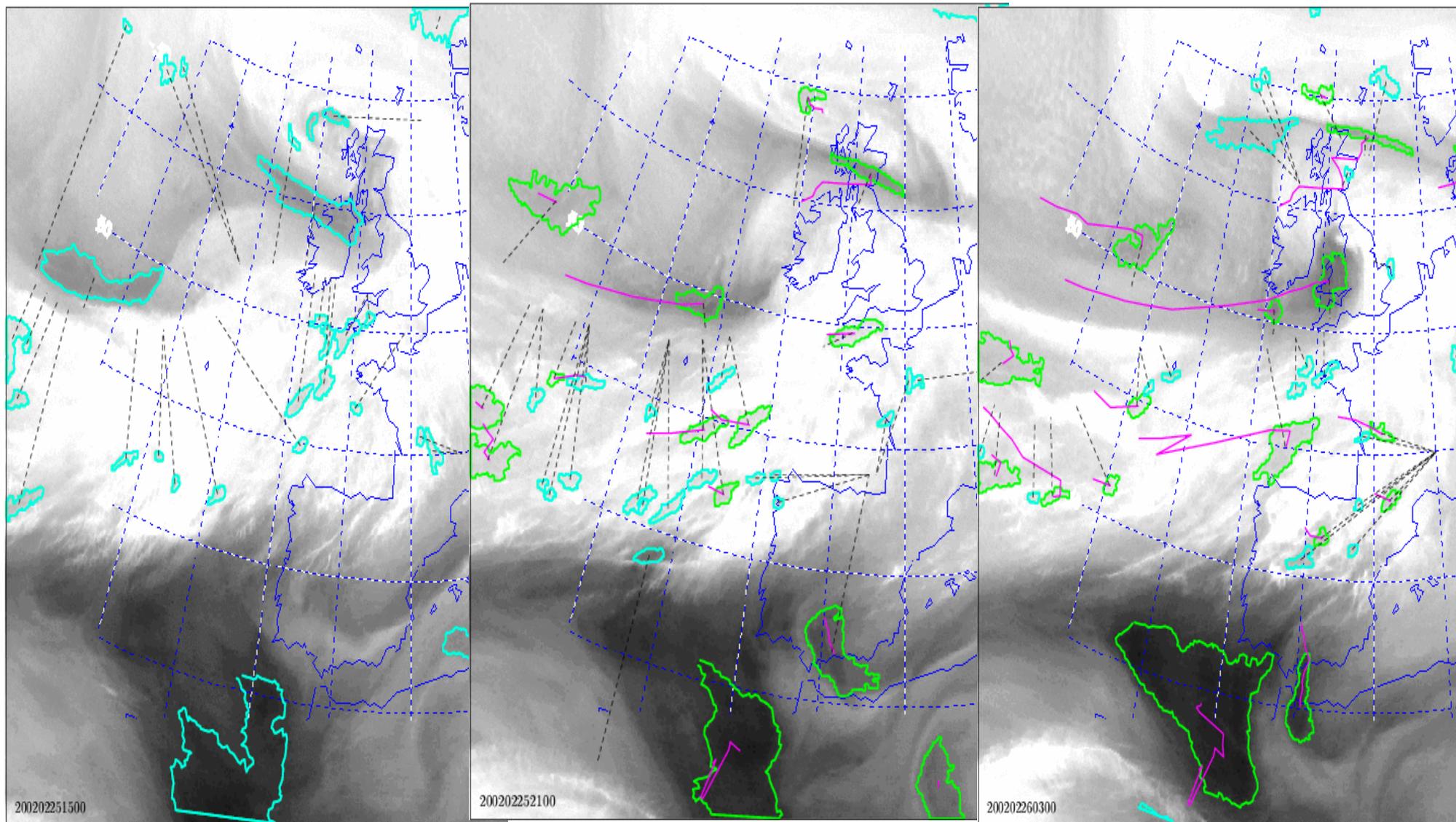


# Algorithme de suivi d'anomalies de tropopause : seuillage et contexte (distance au jet)



# Suivi d'anomalie de tropopause

(thèse de Yann Michel)



# Conclusion : autres problèmes intéressants

- Brouillards
- Lignes de grains, fronts de rafales, tornades
- Fronts synoptiques
- Précipitations quasi-stationnaires (inondations méditerranéennes)
- Cyclones tropicaux
- Vents de sable, panaches de cendres, de polluants
- ...