

Variabilité multi-échelle de la vapeur d'eau :

Apport de la télédétection passive (GPS)

Cédric Champollion

Laboratoire de Météorologie Dynamique
École Polytechnique, Palaiseau



Plan de l'exposé

Introduction: rôle de la vapeur d'eau

1. Le système GPS

1.1 Principes Généraux

2. Conditions initiales: Variabilité de la vapeur d'eau

2.1 VAPIC: Hétérogénéités de surface (urbain / rural)

3. Processus: Initiation de la convection

3.1 La tomographie GPS

3.2 IHOP: Grandes Plaines des Etats-Unis

3.3 COPS: Faible orographie continental

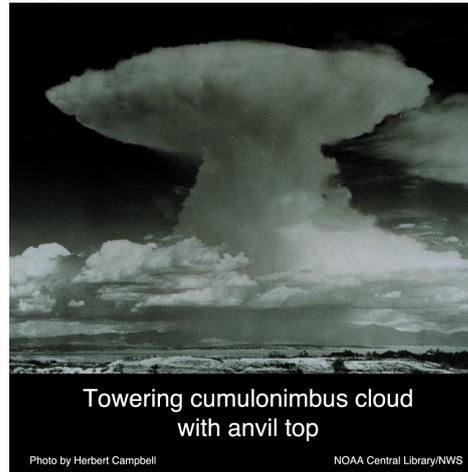
4. Conclusions et perspectives

Enjeu: Prévoir les précipitations intenses

Instabilité
potentielle

Vapeur d'eau

Forçage dynamique



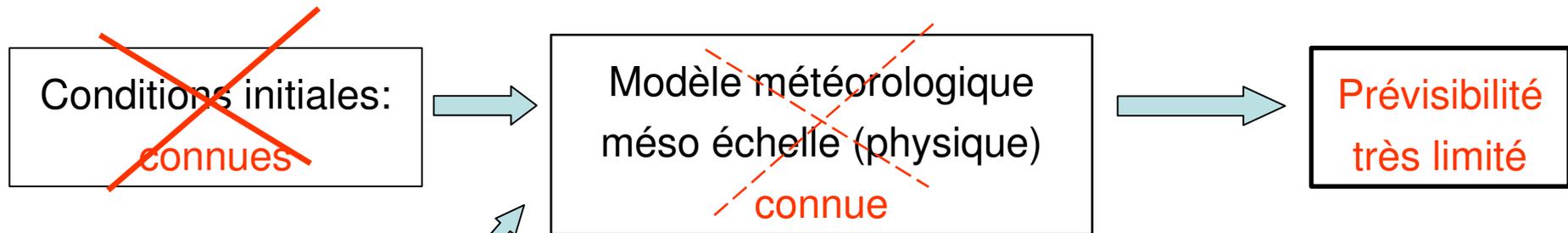
Convection
Précipitations



Crues
Inondations

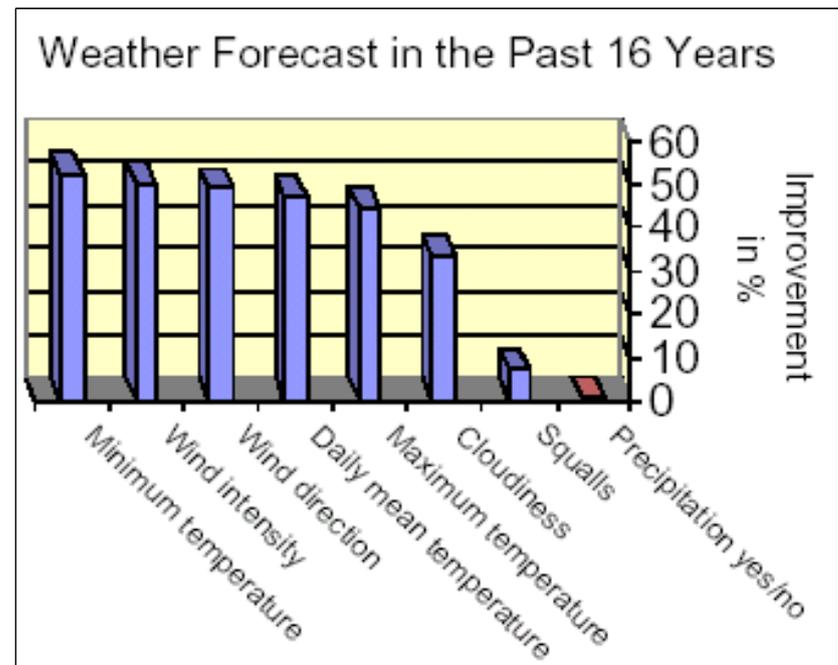
**? Prévisibilité des systèmes convectifs ?
? Rôle de la variabilité de la vapeur d'eau ?**

Contexte : Prévision des systèmes convectifs méso échelles



Conditions aux limites: connues

Prévisibilité limité par la connaissance de l'état initial et des conditions aux limites



Amélioration de la connaissance des états initiaux (vapeur d'eau) et des processus physiques

Le système GPS:

Temps de propagation du signal entre un satellite et un récepteur au sol.

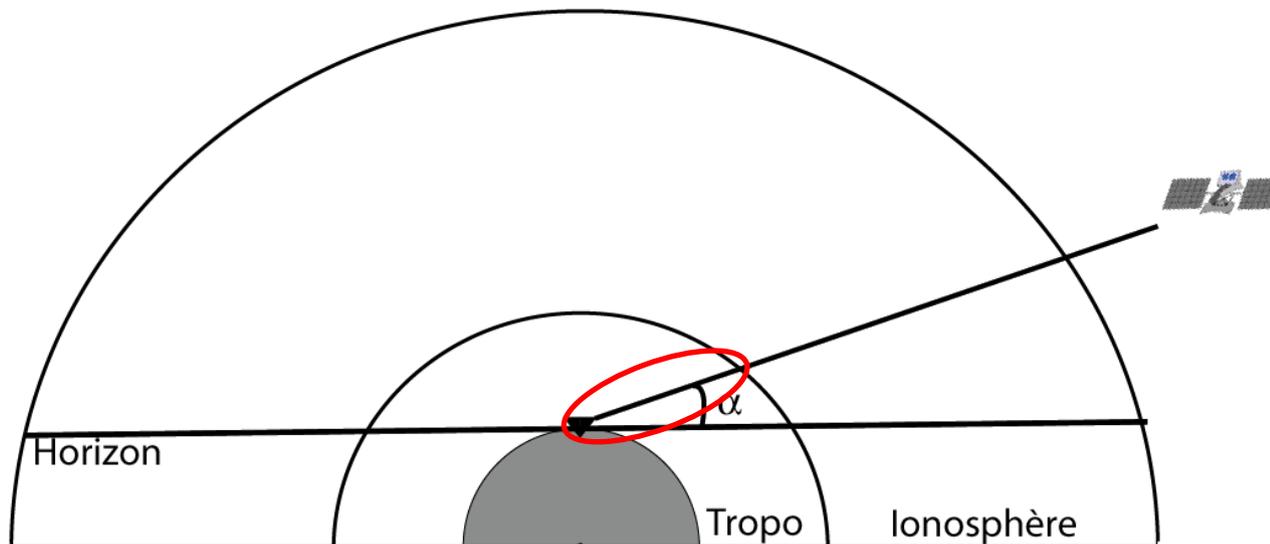
Perturbations: pertes de signal

la ionosphère

les mouvements

la troposphère

-> Information sur la quantité totale de vapeur d'eau



Retard « sec et humide »:

90% (2m40) du retard troposphérique : gaz en équilibre hydrostatique.

-> Estimé à partir de la pression au sol

10% (25cm) restants: vapeur d'eau intégrée entre le satellite et le récepteur

Conversion retard -> quantité de vapeur d'eau

Relation empirique proportionnelle:

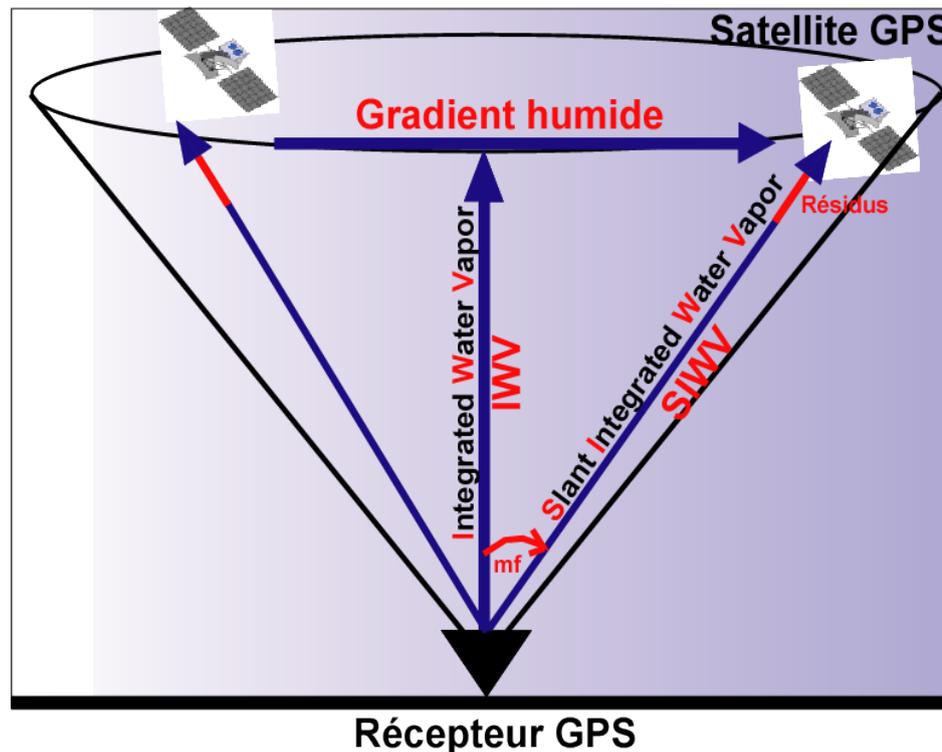
Retard $\sim 6.5 * \text{quantité de vapeur d'eau}$

Les mesures GPS:

La troposphère est modélisée par deux variables:

- les **IWV**: atmosphère homogène
- les **gradients** NS et EW: variabilité azimuthale

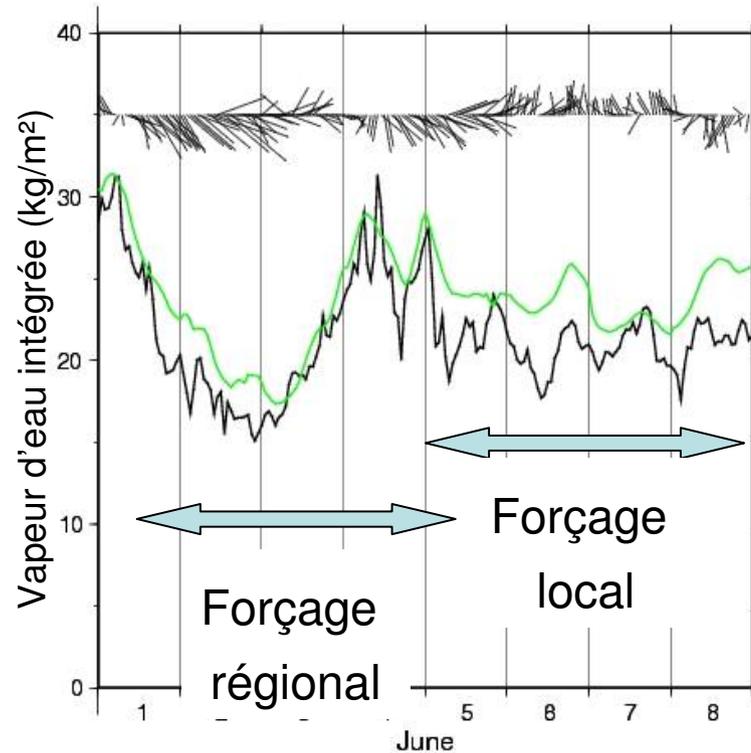
Les hétérogénéités plus complexes se retrouvent en partie dans les **résidus** de la modélisation.



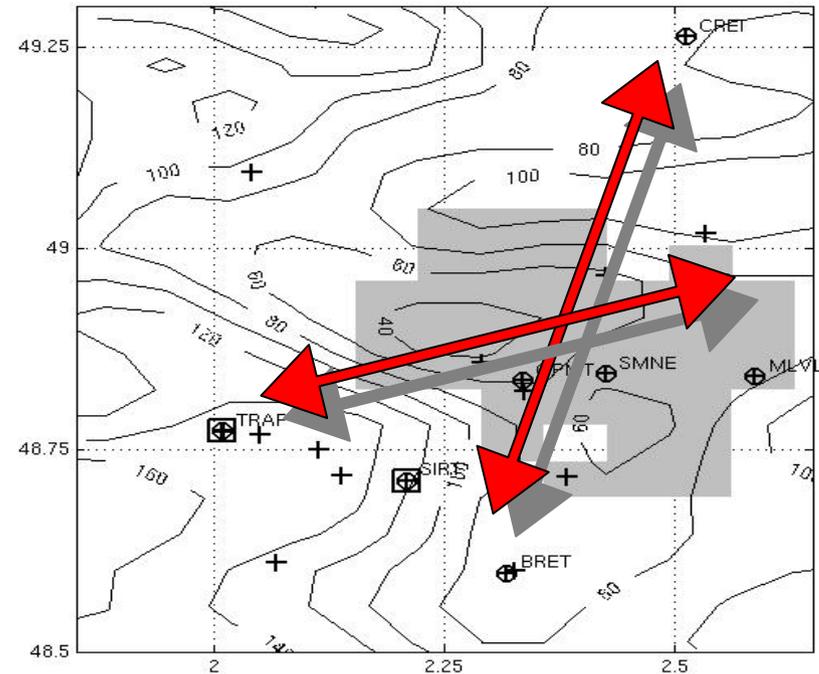
Apport des mesures GPS:

- Continuité temporelle
- Quelques soient les situations météorologiques
- Coût faible et mise en œuvre facile
- Fort potentiel de développement (GALILEO)
- Stabilité à long terme

Variabilité de la vapeur d'eau: VAPIC 2004 (Bock et al.)



Réseau GPS VAPIC

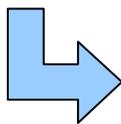
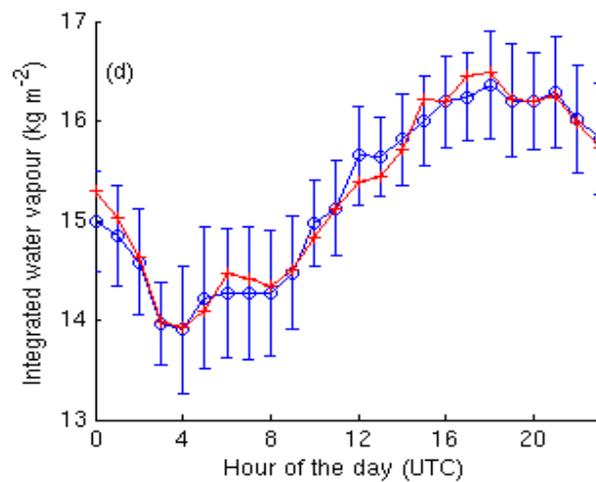
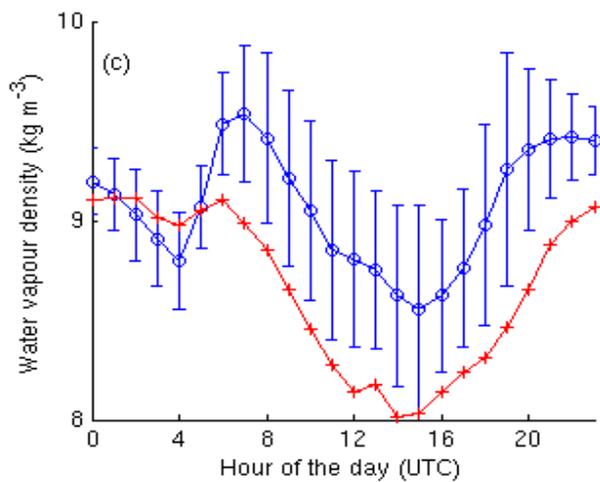
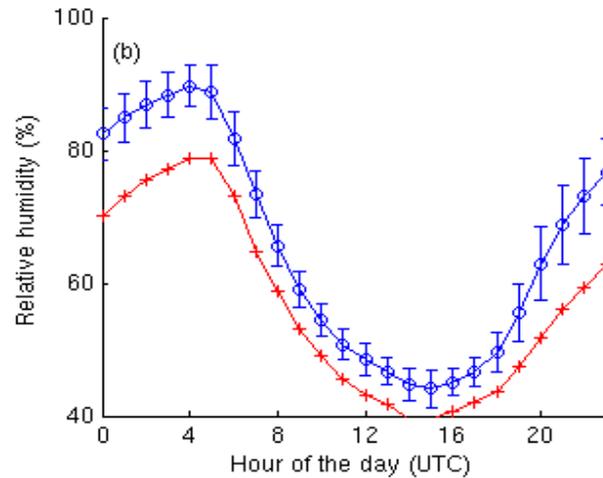
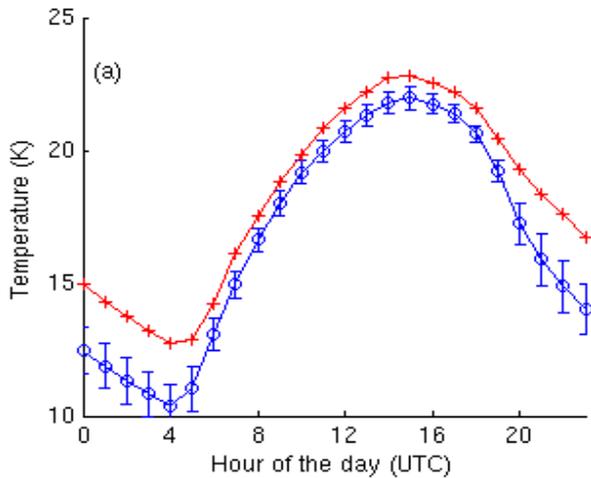


Processus mal représentés:

- Interactions d'échelle (ESCOMPTE)
- Hétérogénéités de surface (VAPIC)

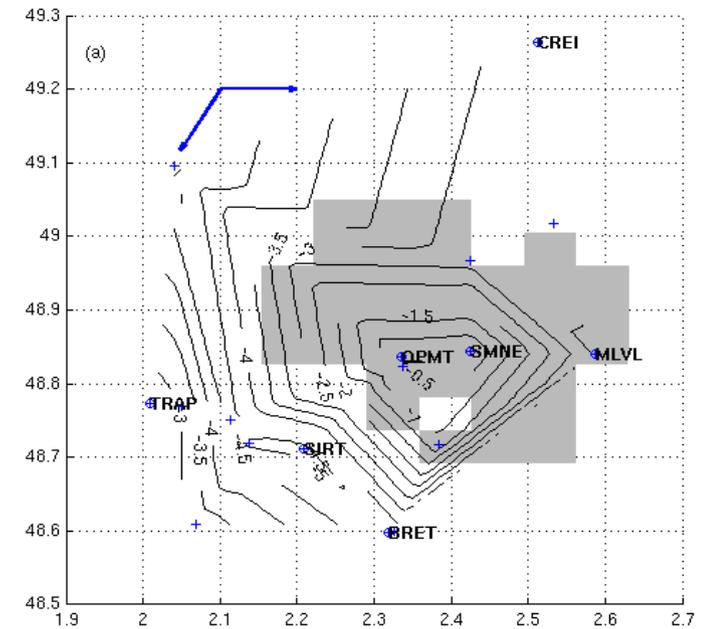


Anomalie urbaine de température et d'humidité (surface)

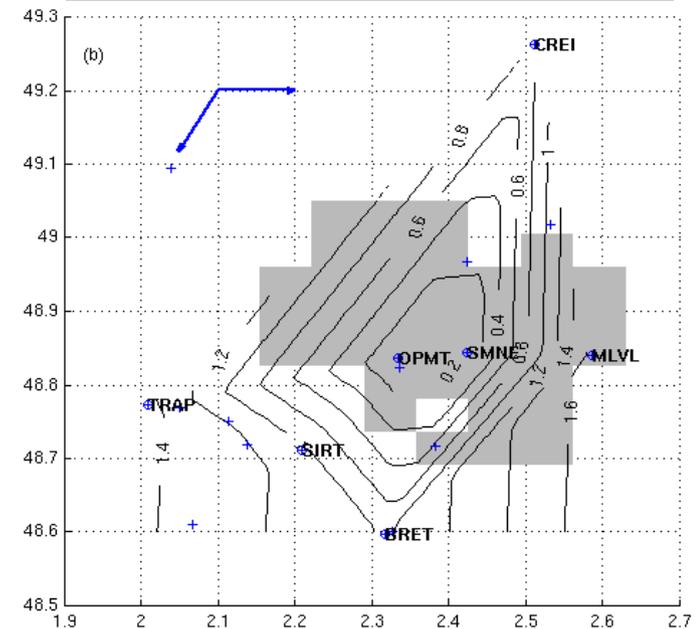


Signature urbaine classique

Température (2100 UTC)

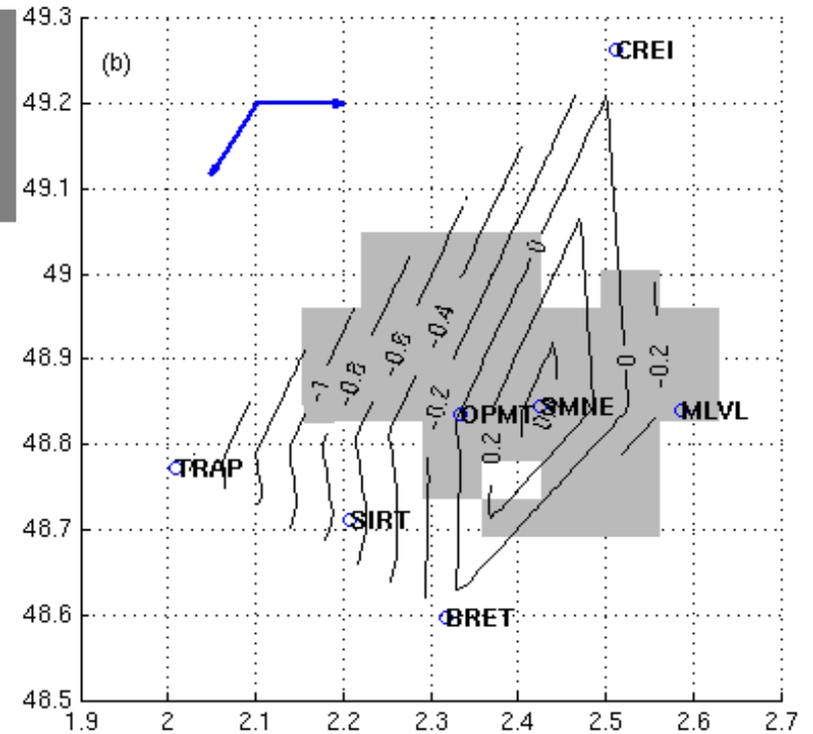
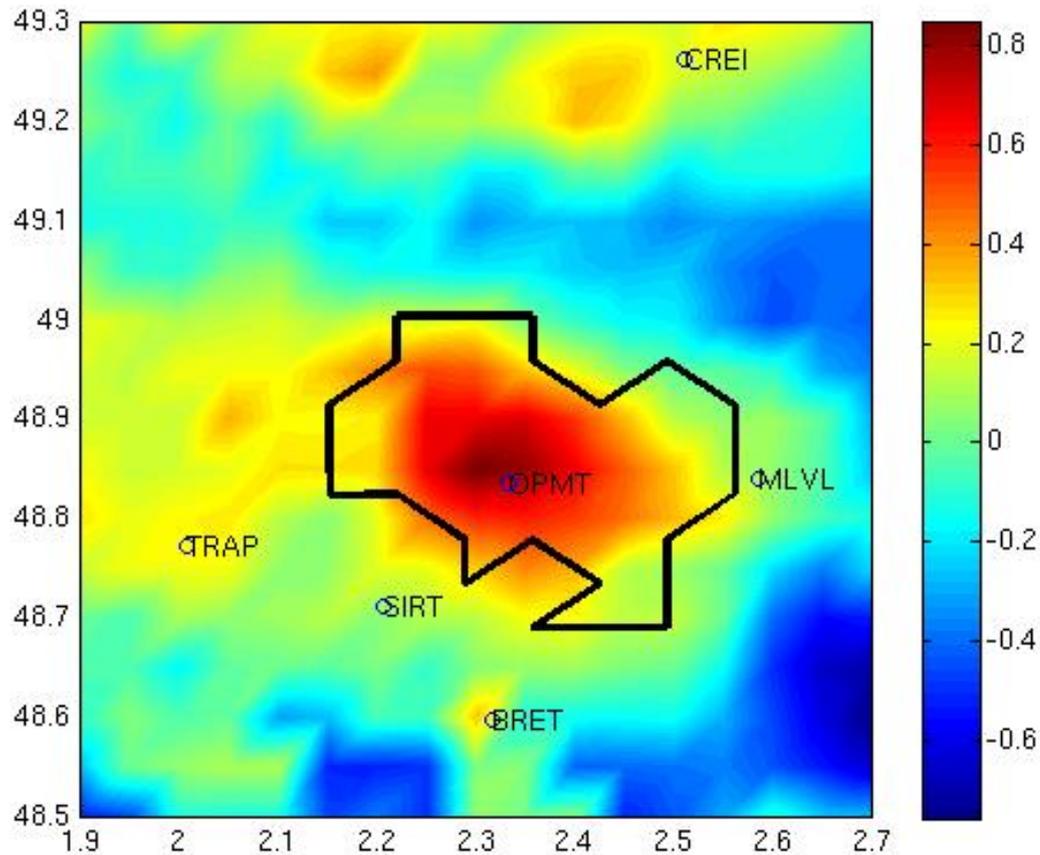


Humidité (2100 UTC)

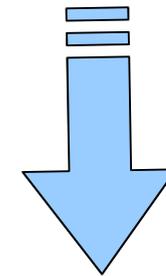


Anomalie urbaine de vapeur d'eau intégrée (1)

IWV (MODIS) à 0200 UTC

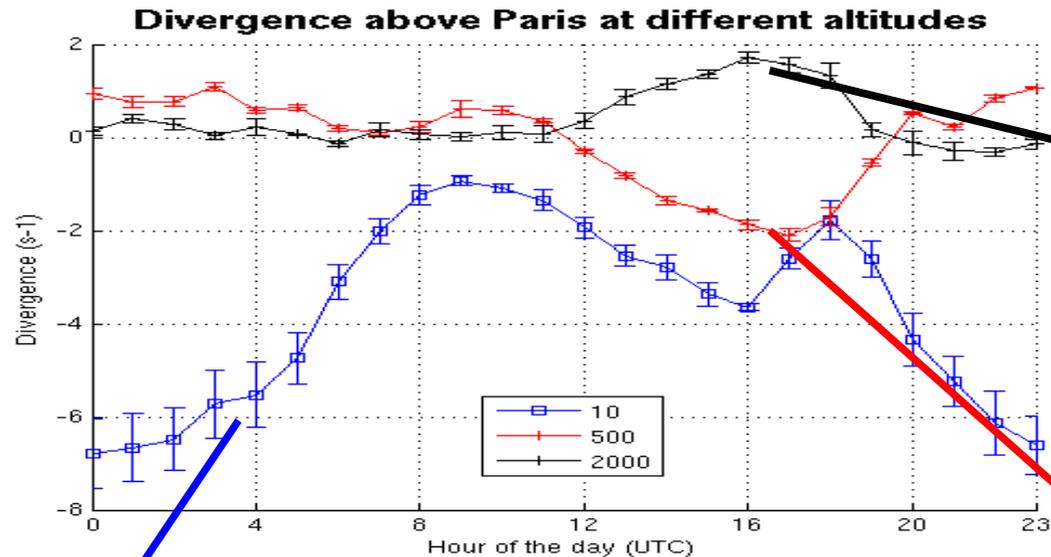


IWV (GPS) à 2100 UTC



Excès de vapeur d'eau la nuit

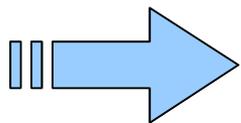
Processus (1) : convergence



- Convergence maximum en surface vers 0000 UTC

- Divergence maximum à 2000 M vers 1600 UTC

- Convergence maximum à 500 M vers 1600 UTC



- îlot de chaleur urbain: convergence nocturne de faible épaisseur
- Flux de chaleur sensible urbain maximum vers 1600 UTC: faible convergence sur toute la couche limite

Processus (2) : Entraînement

Considérations théoriques simples:

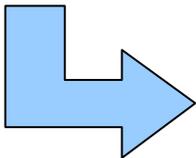
$$\frac{\partial q_u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial q_u}{\partial x} = - \frac{\partial \overline{w'q'}}{\partial z} \Big|_u$$

$$\frac{\partial q_r}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial q_r}{\partial x} = - \frac{\partial \overline{w'q'}}{\partial z} \Big|_r$$

Intégration verticale ...

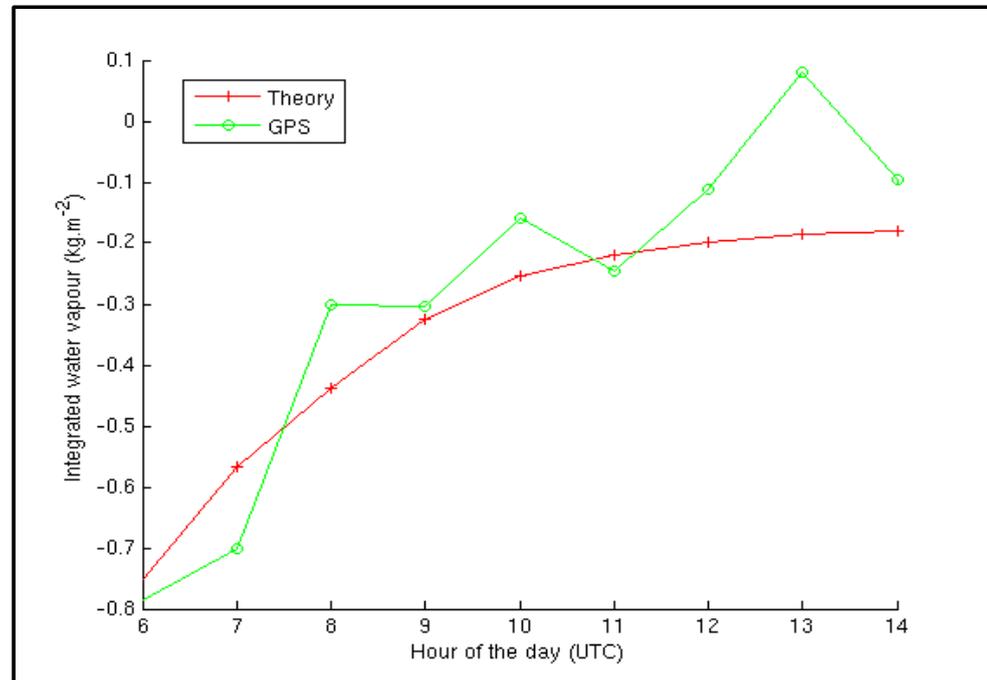


$$\frac{\partial I}{\partial t} + \frac{WV}{\partial t} + \frac{\partial z_i}{\partial t} \frac{1}{z_i} = Q_{\pm}$$



En situation convective: relation entre vapeur d'eau intégrée, flux de chaleur latent et hauteur de la couche limite: plus d'anomalie urbaine de vapeur d'eau

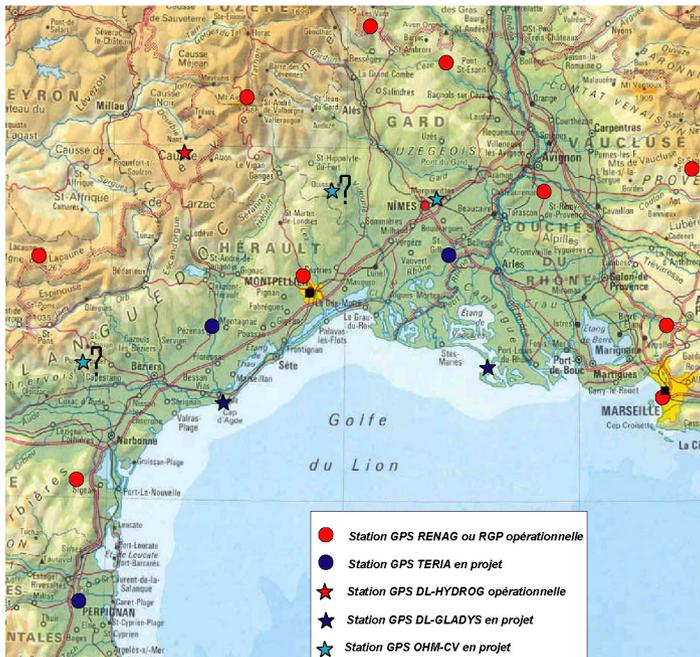
Comparaison modèle théorie



Apport de la tomographie GPS:

-> Restitution du champ 3D de densité de vapeur d'eau à partir de mesures obliques intégrées (SIWV) GPS

Réseau GPS

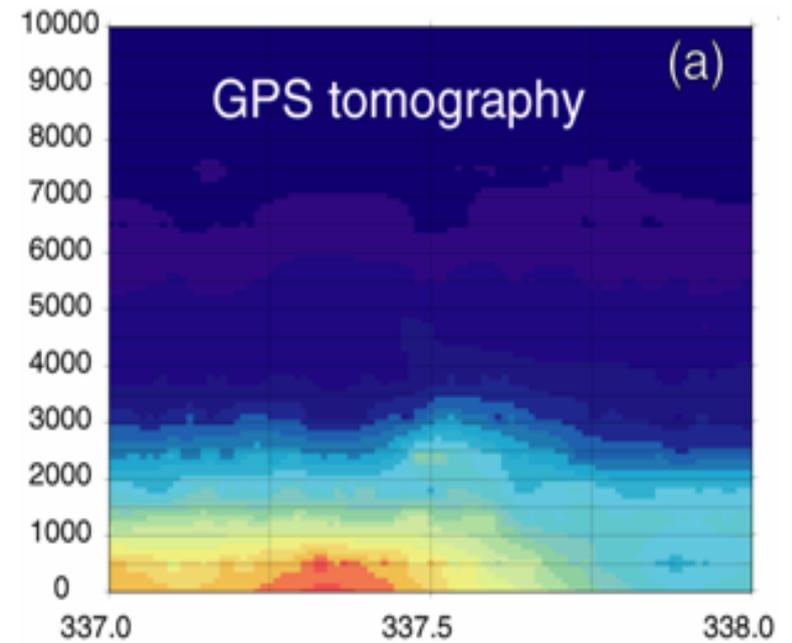


Tomographie

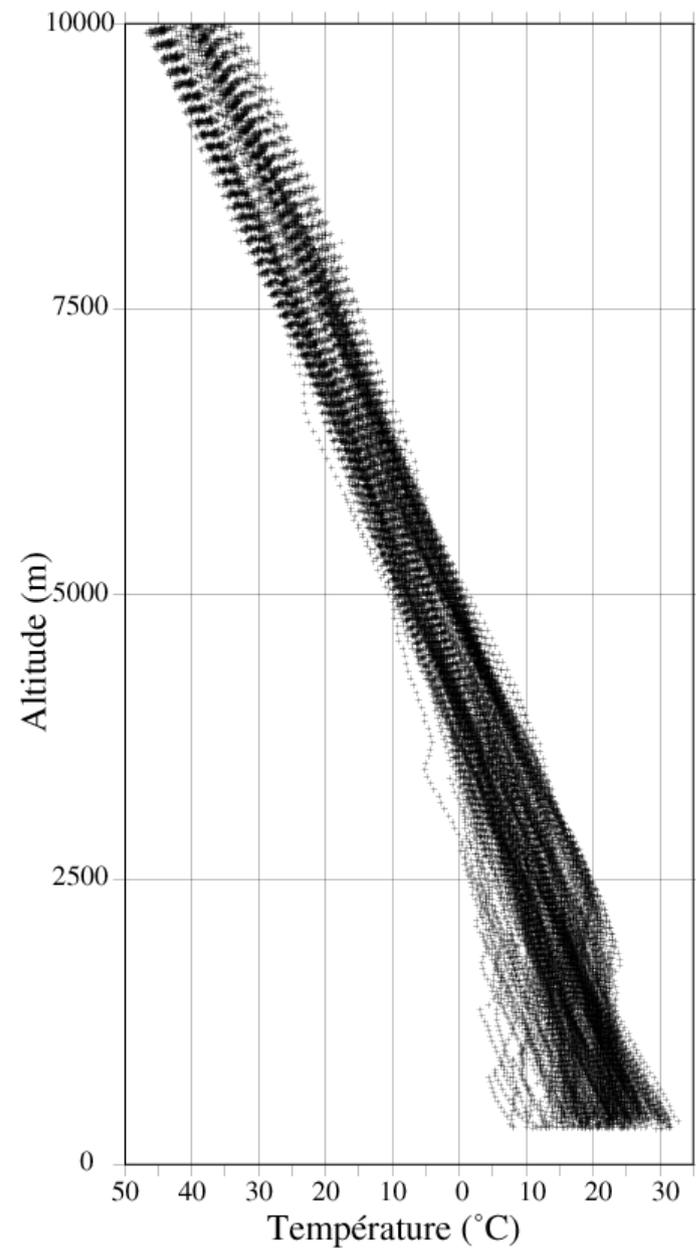
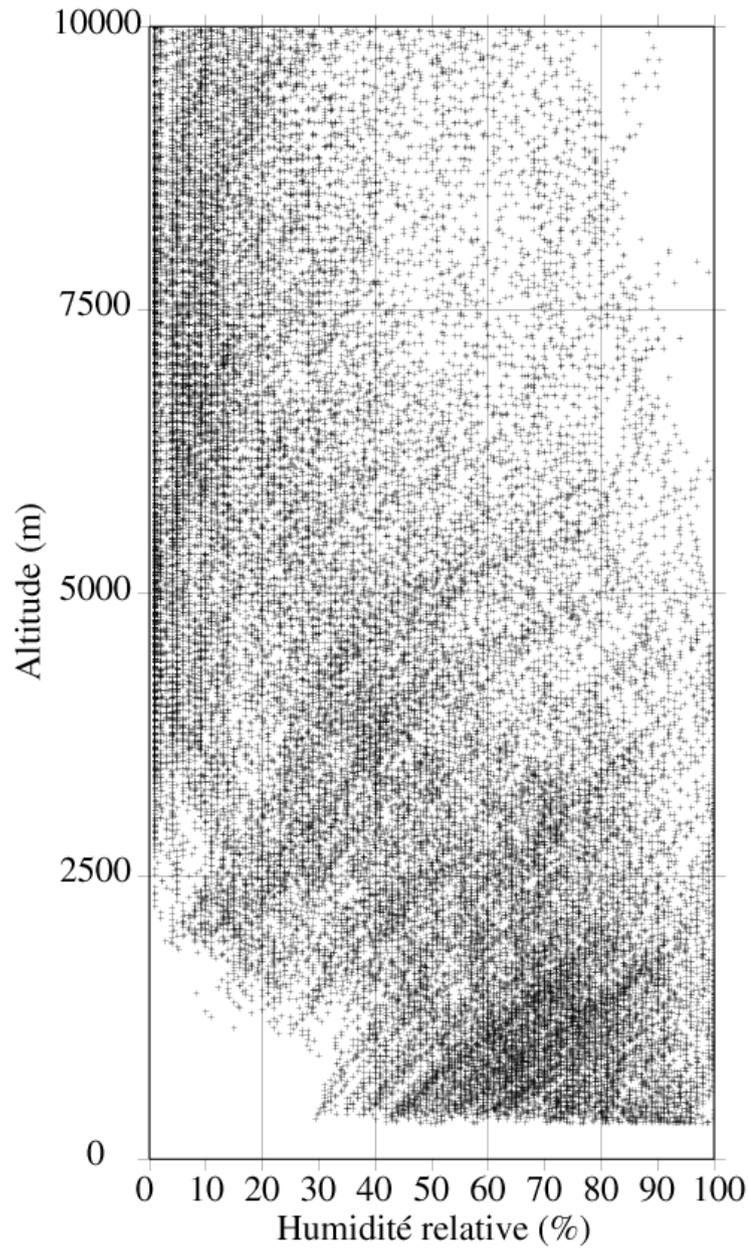


Champollion et al., 2005
Brenot et al., 2006

Champ 3D de vapeur d'eau

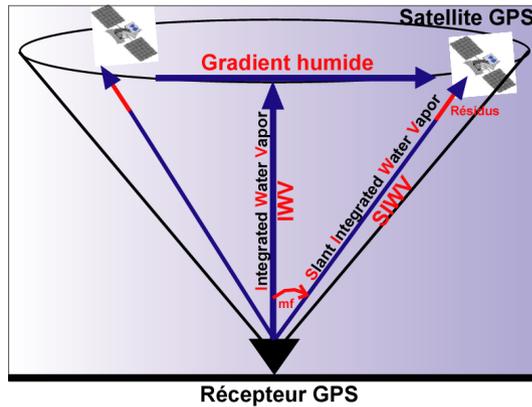


Pourquoi la 3D?

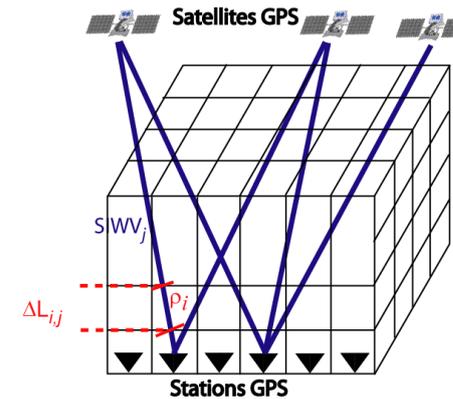


Tomographie GPS de la vapeur

Mesures intégrées



Tomographie GPS



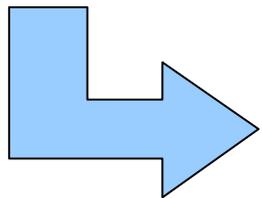
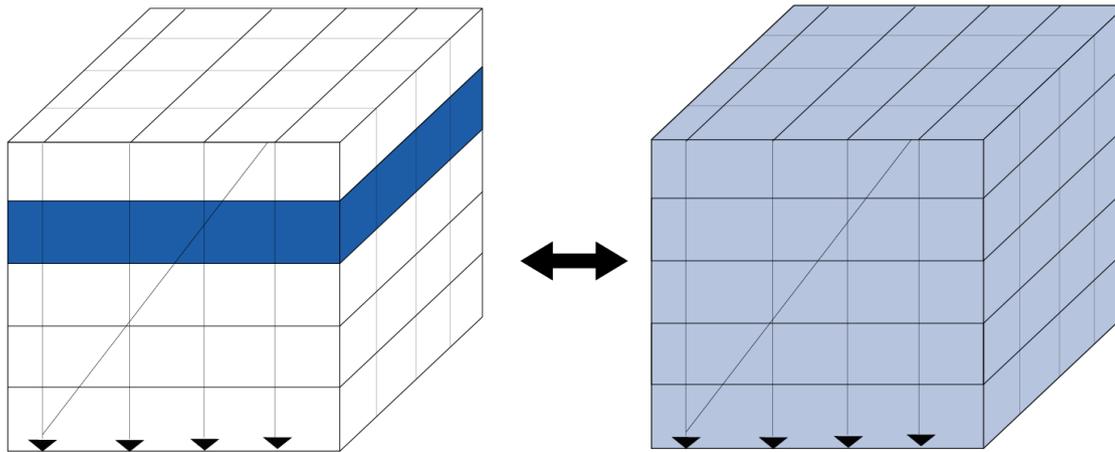
Champollion et al., 2005
Brenot et al., 2006

Résolution temporelle: 15 min / tout temps / autonome / sans calibration

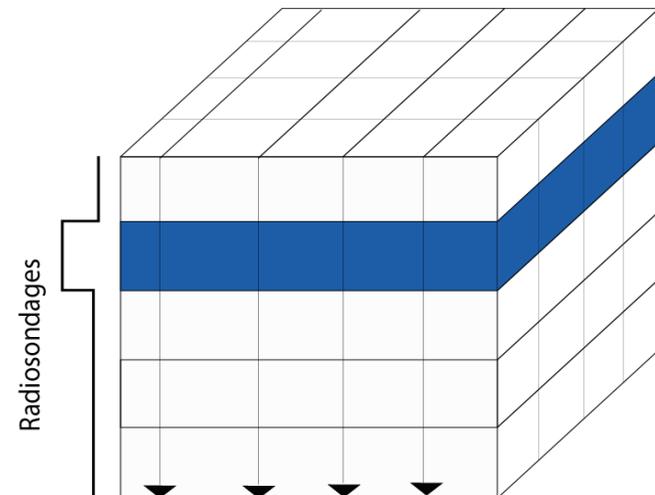
! Possibilité d'assimiler tout type de mesure de vapeur d'eau !

Limites de la tomographie

- Taille de la cellule horizontale et verticale imposée par la densité du réseau GPS
- Résolution verticale limitée par la géométrie du problème



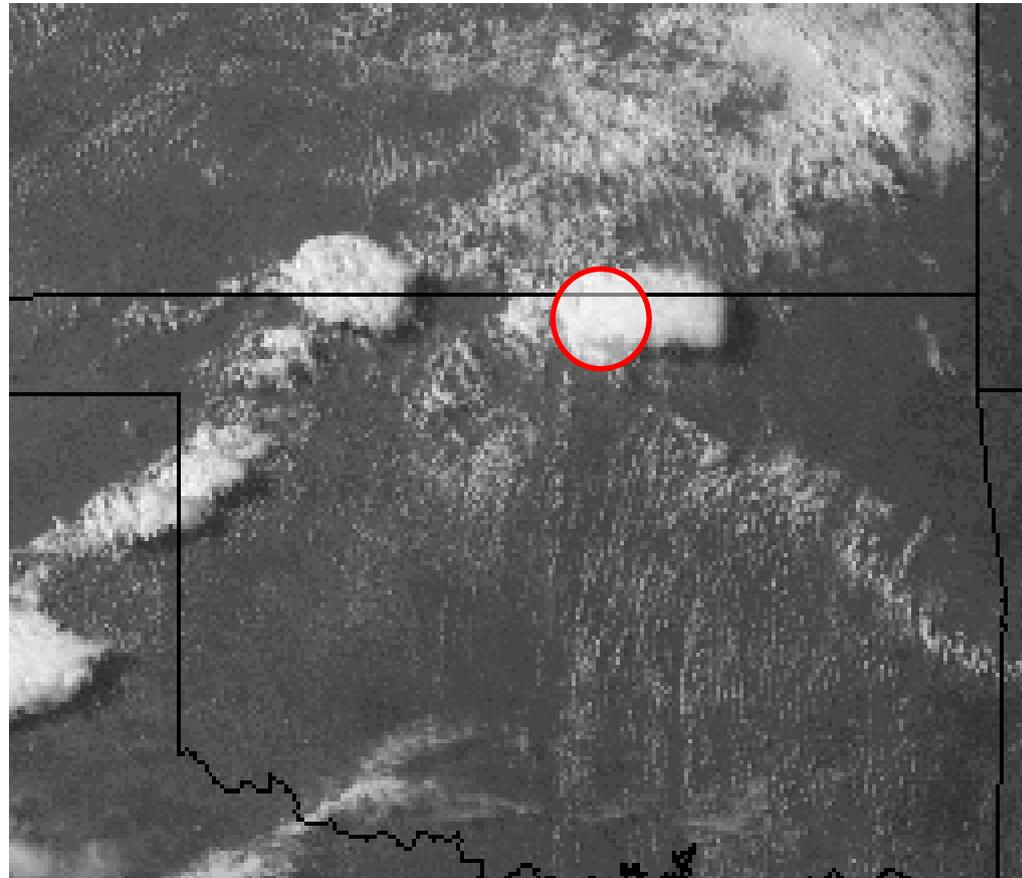
Solution:
assimilation de radiosondages



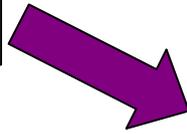
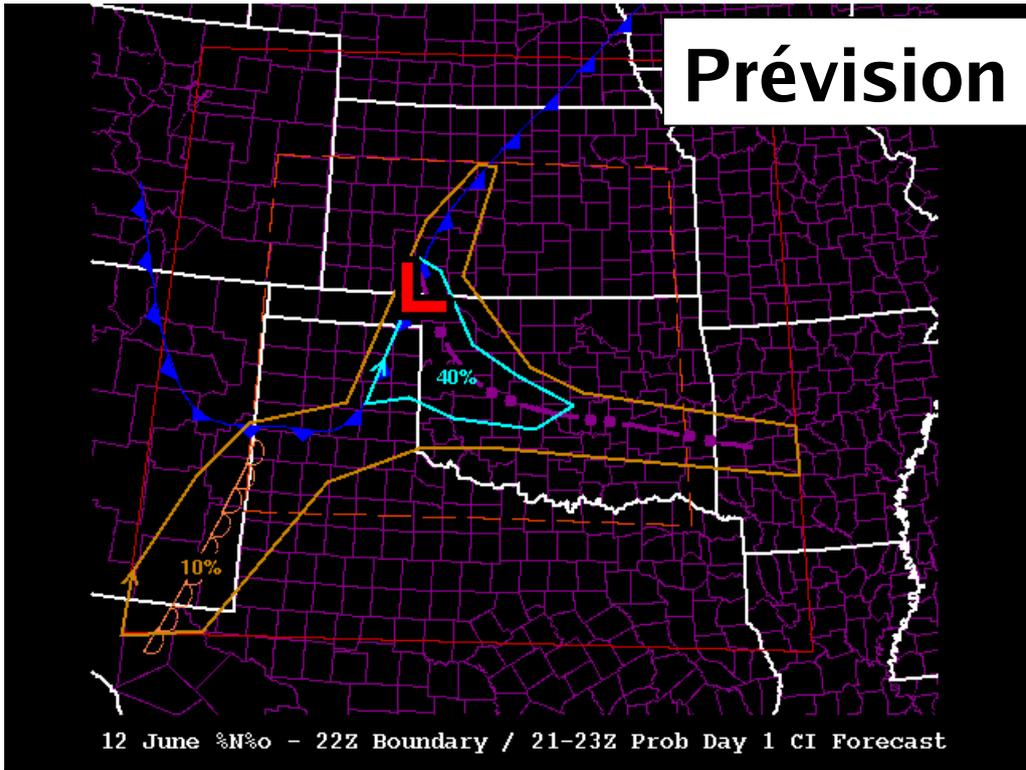
Etude de processus: Initiation de la convection

Cas du 12 Juin 2002

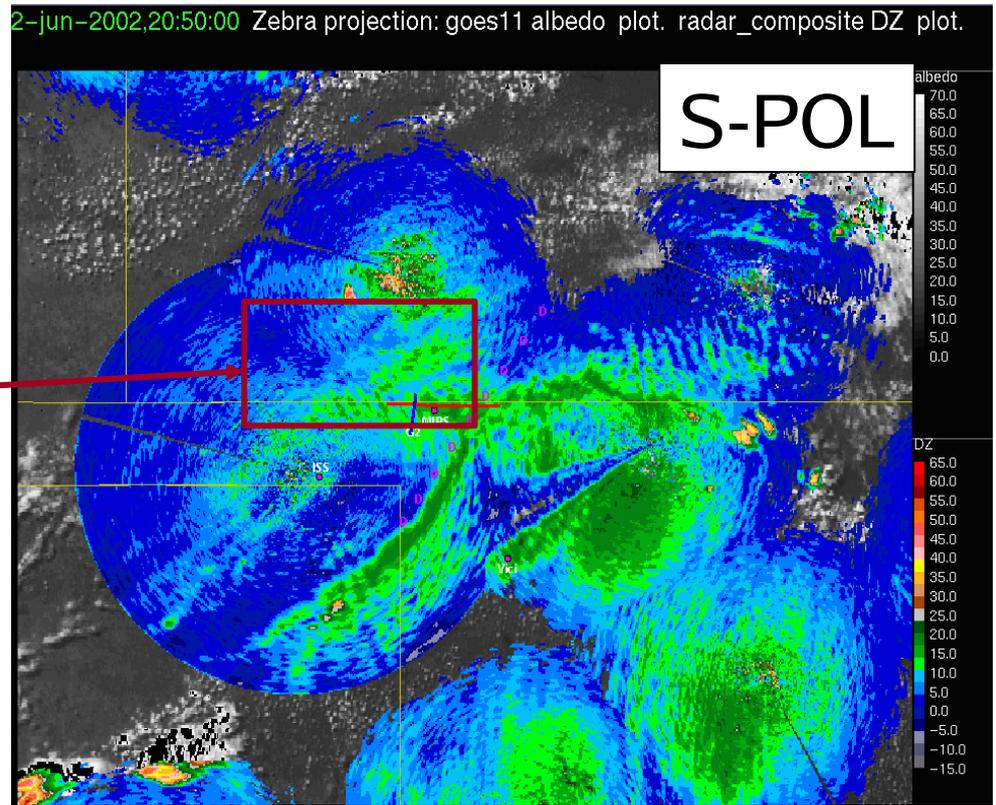
IHOP_2002



(champollion et al., soumis)



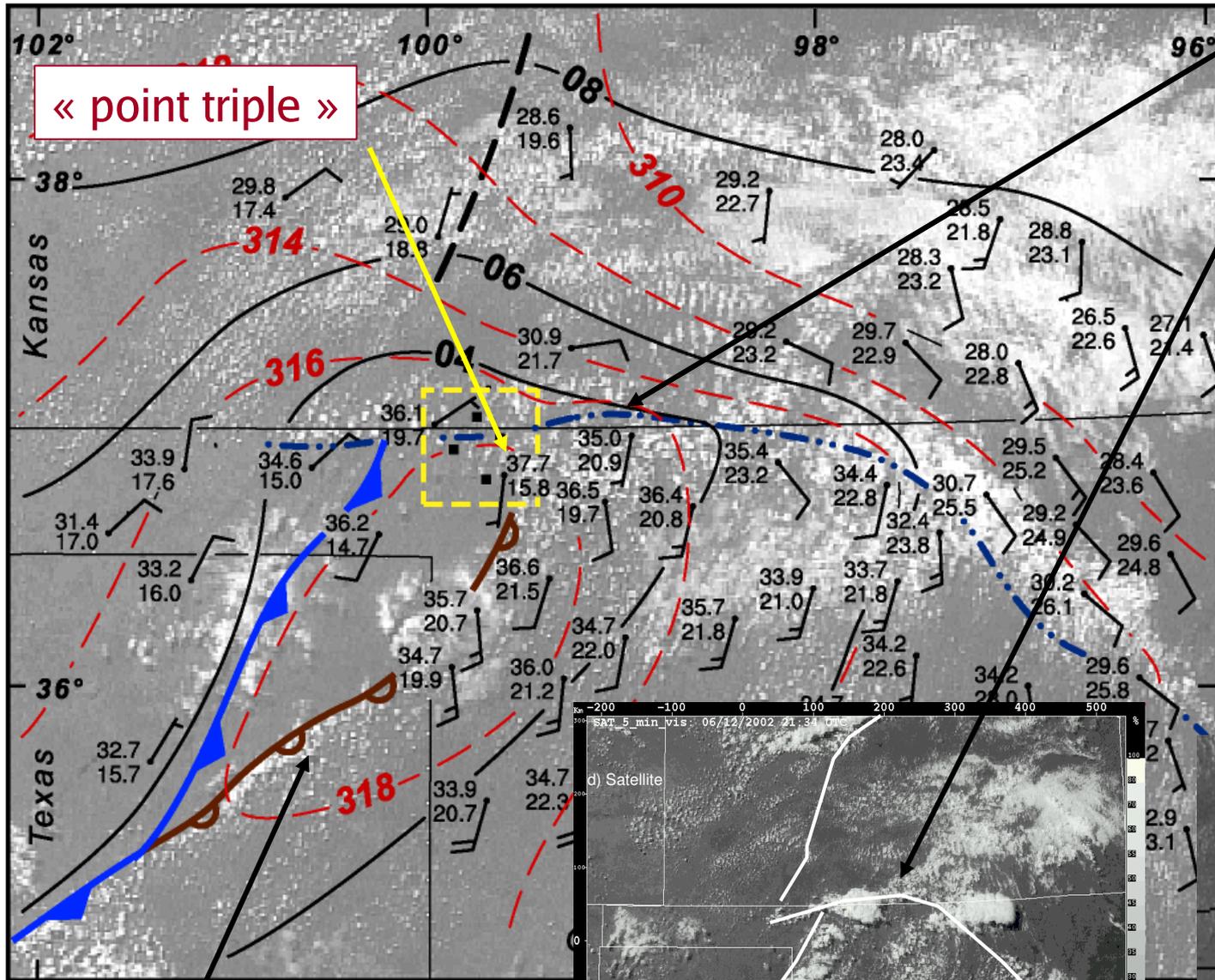
Décision: Opérations au niveau du « triple-point »



**Opérations
aéroportées**

Mauvaise prévision de l'initiation de la convection

2000 UTC 12 June 2002

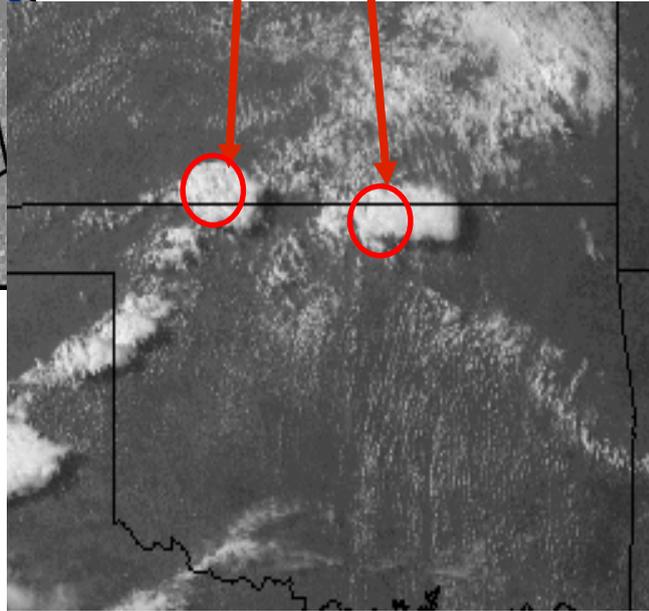
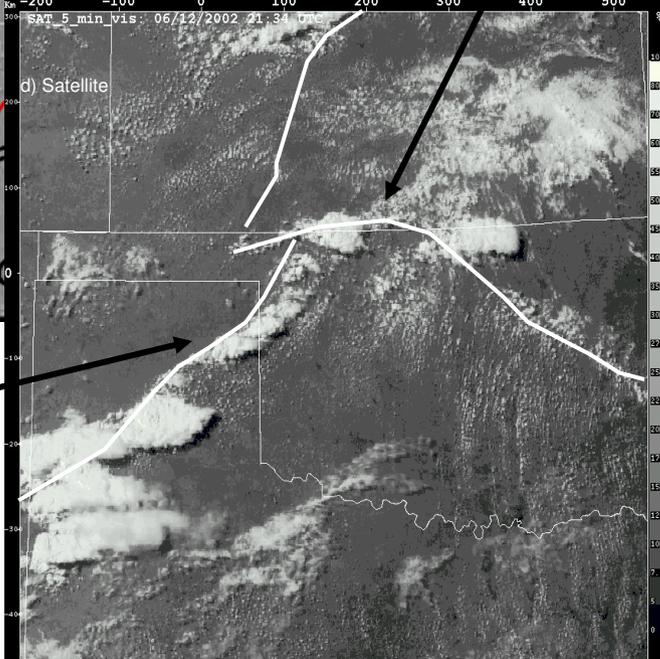


« point triple »

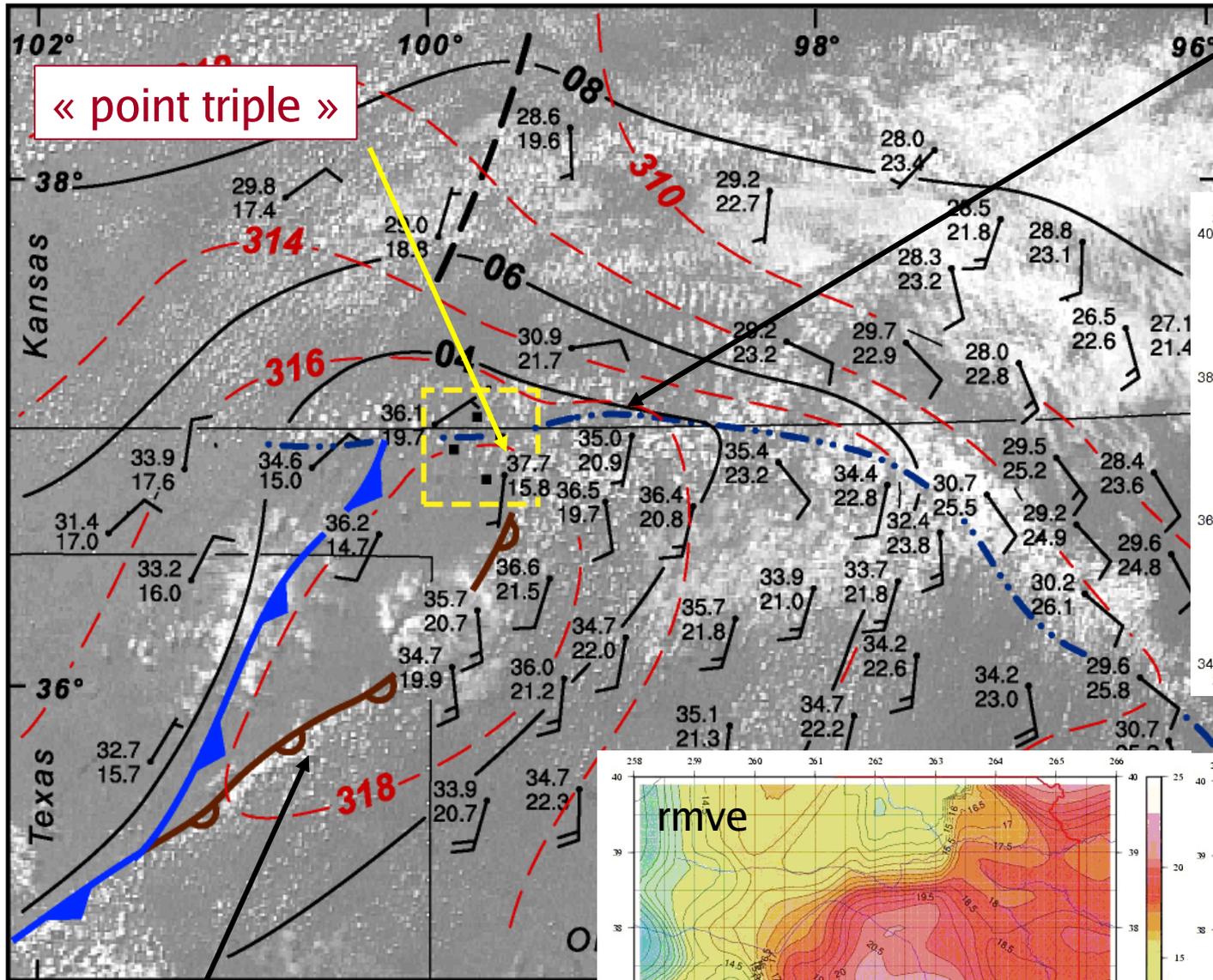
Outflow boundary

Déclenchement simultané en 2 endroits vers 2100 UTC (1600 LT)!!

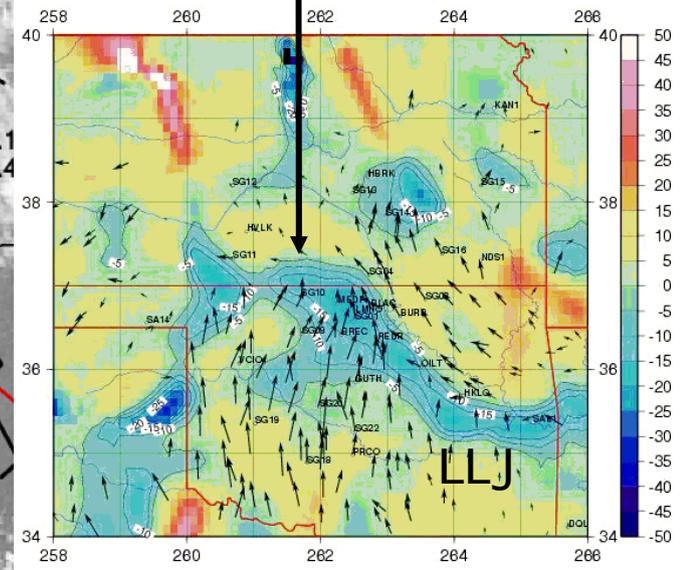
Dryline



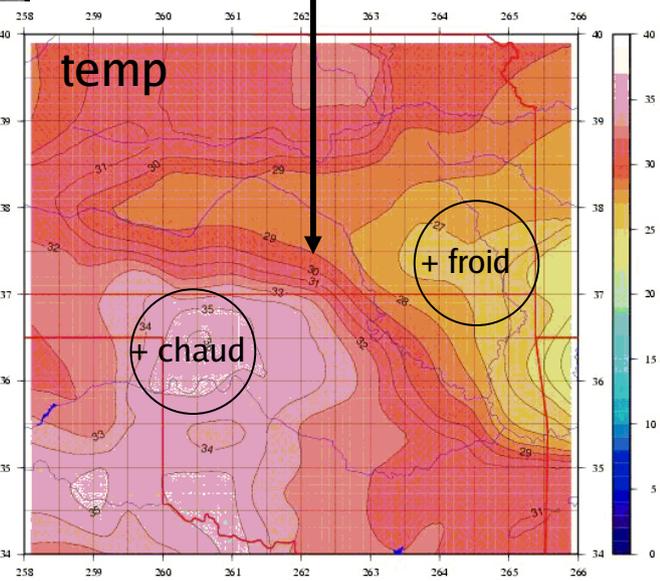
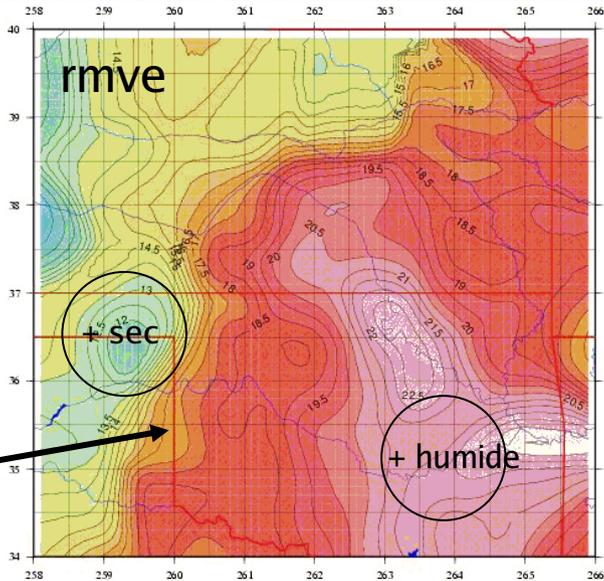
2000 UTC 12 June 2002



Outflow boundary



Dryline



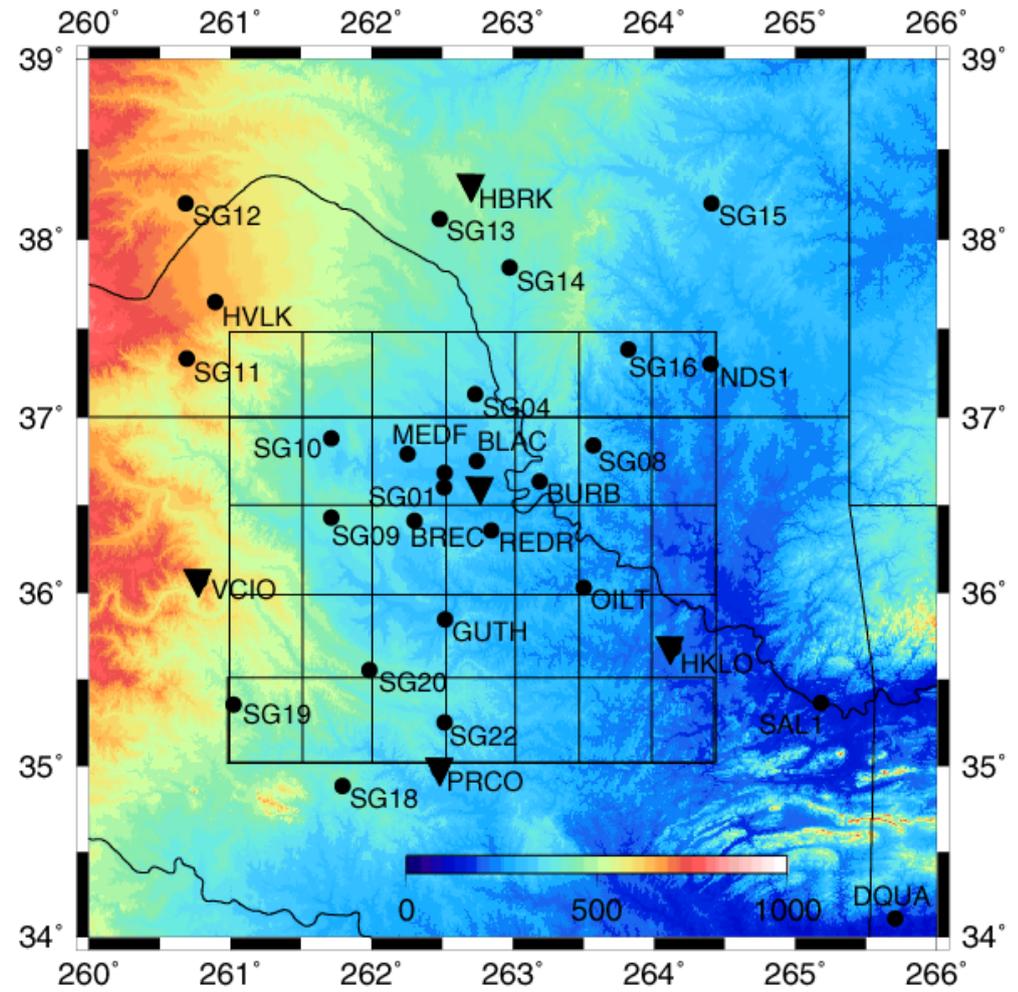
Objectifs de l'étude:

→ comprendre pourquoi la convection s'est déclenchée en deux endroits simultanément

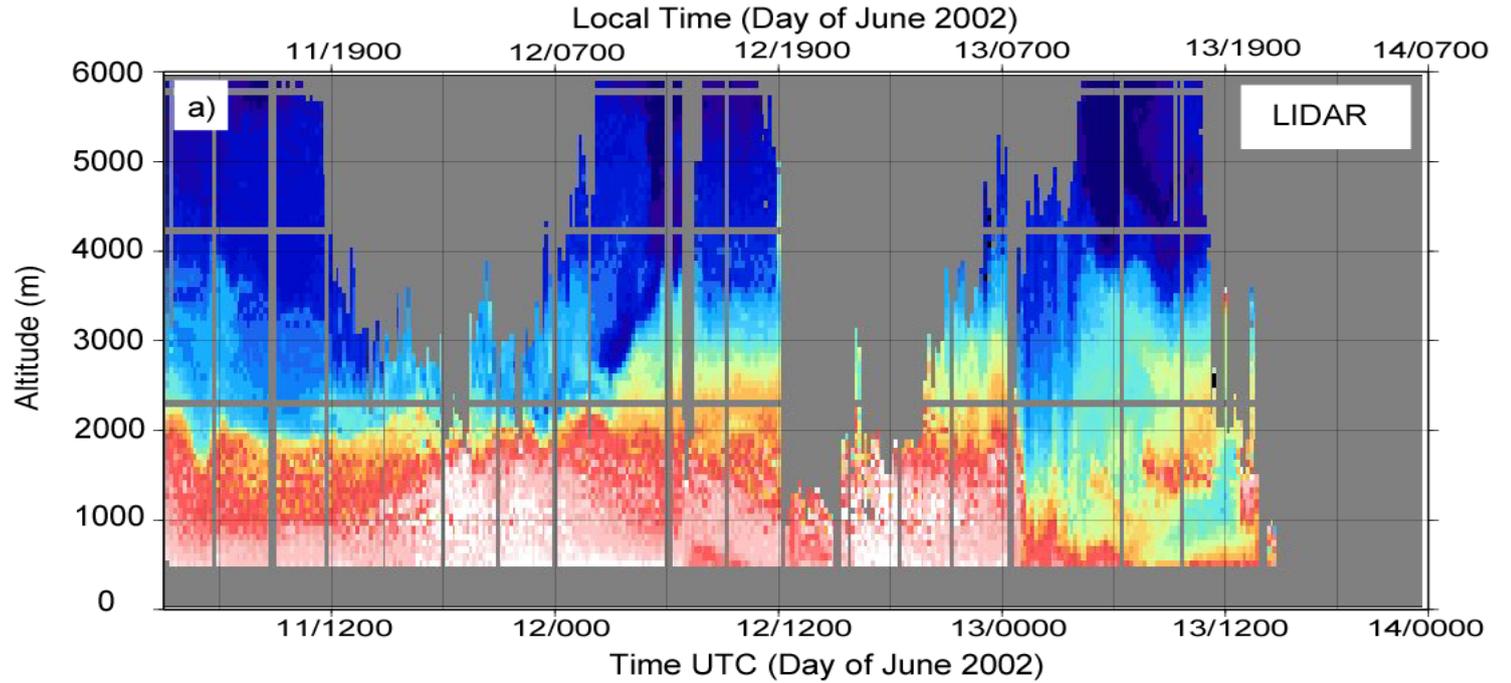
MAIS → pas de mesures avions dans la région de déclenchement à l'est

Outils:

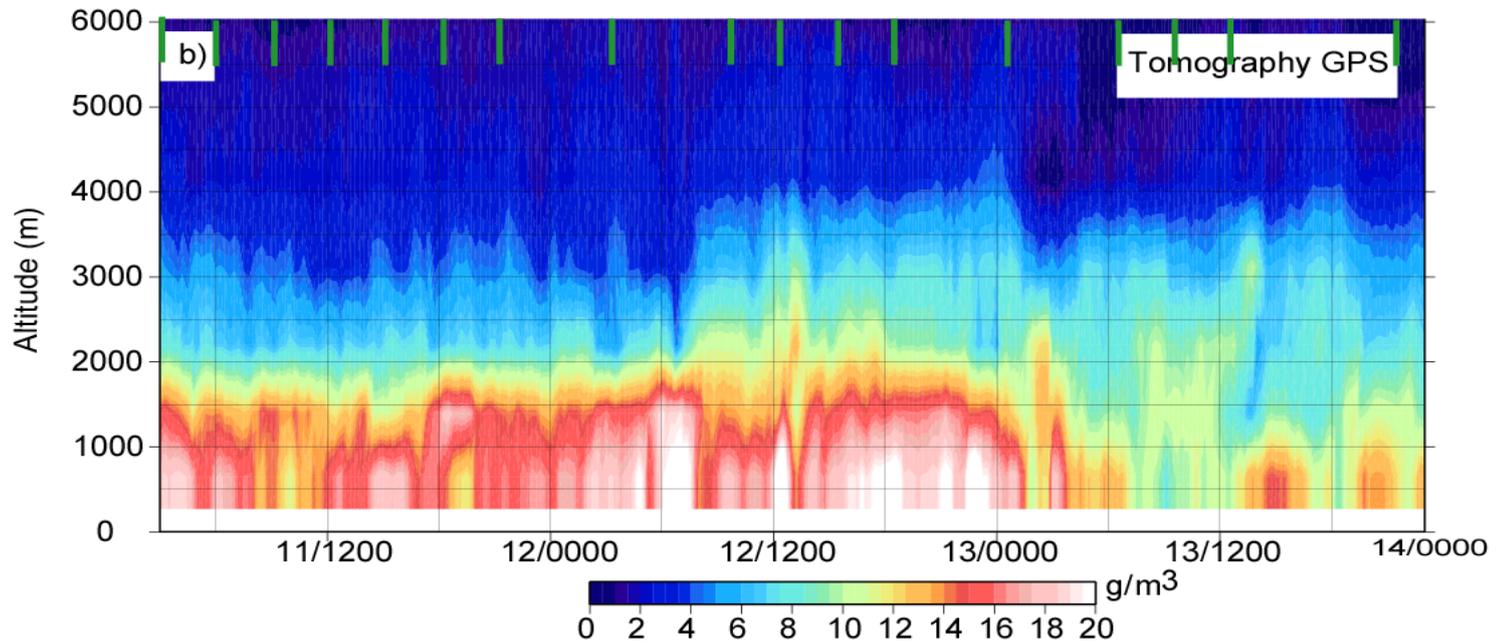
- Tomographie GPS
- Données de surface
- Radar composite
- Simulation LAPS 4-km



Comparaison Tomographie GPS / LIDAR (1)



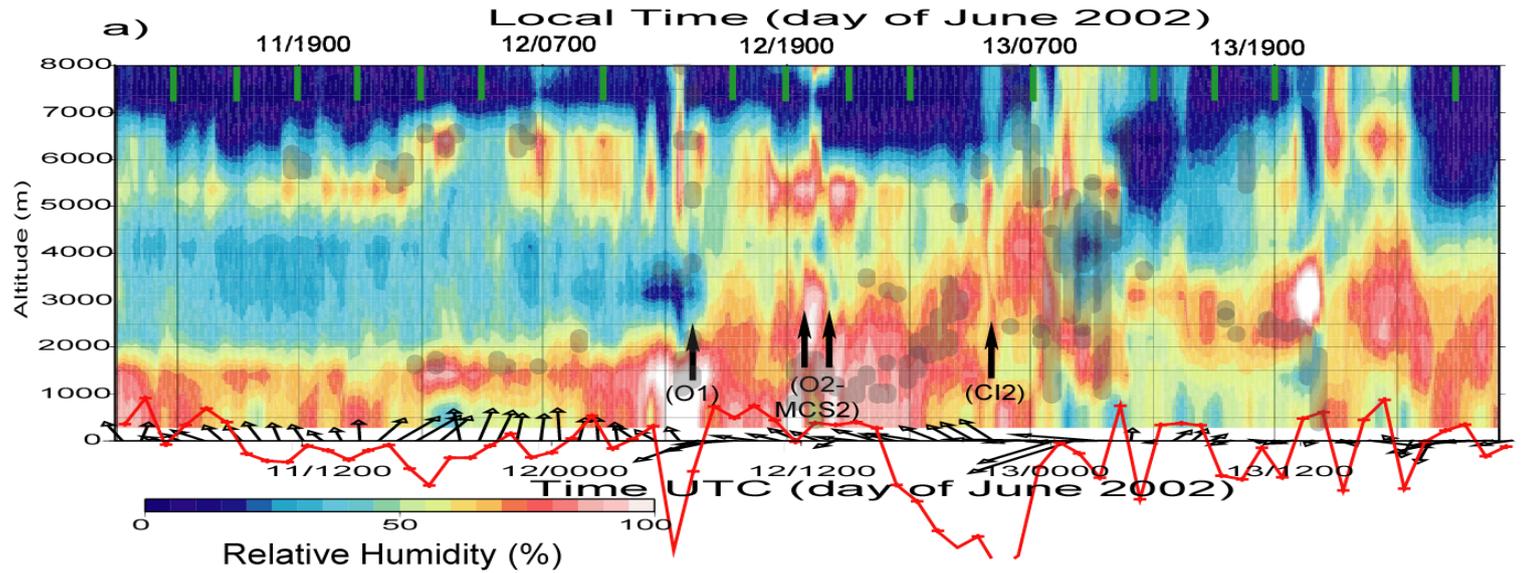
LIDAR



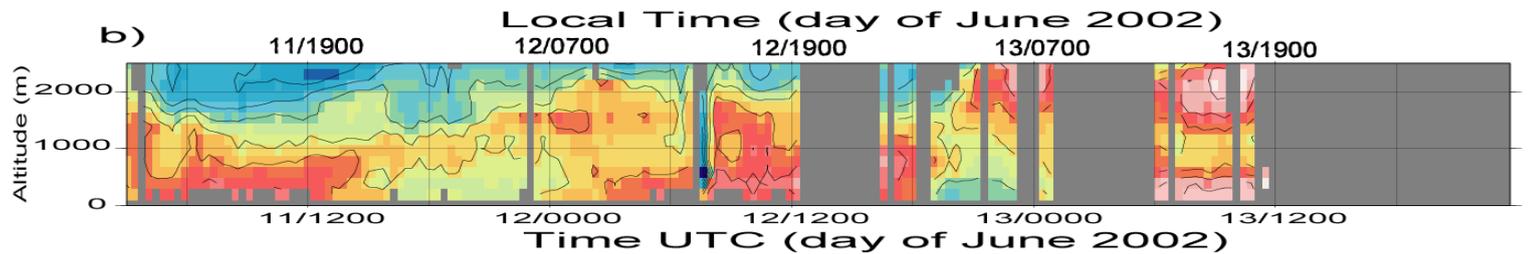
Tomographie GPS

Comparaison Tomographie GPS / LIDAR (3)

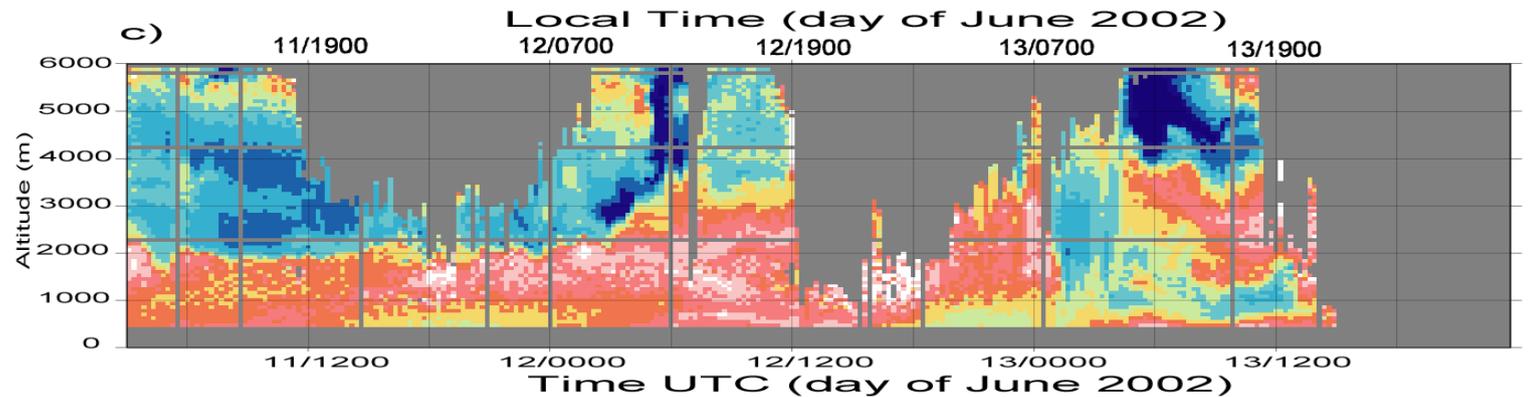
Tomographie GPS



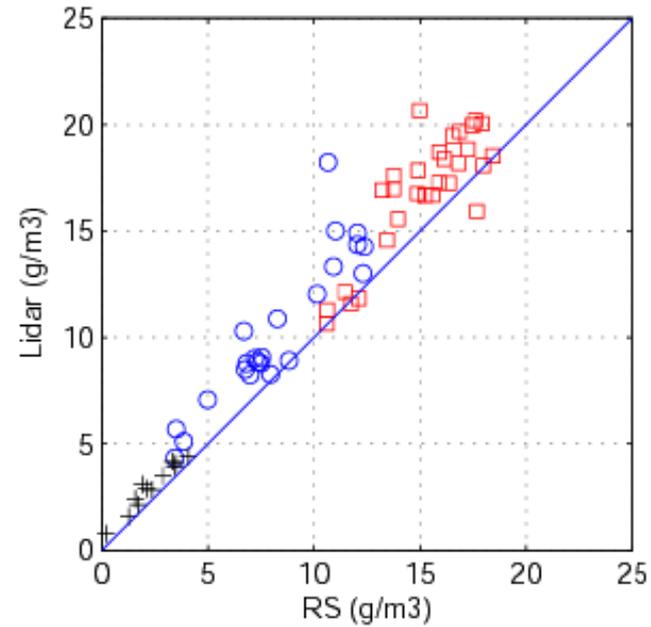
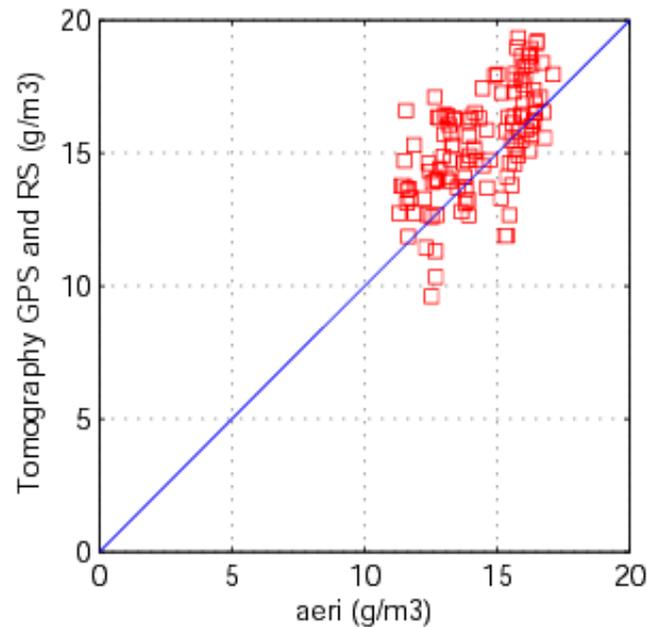
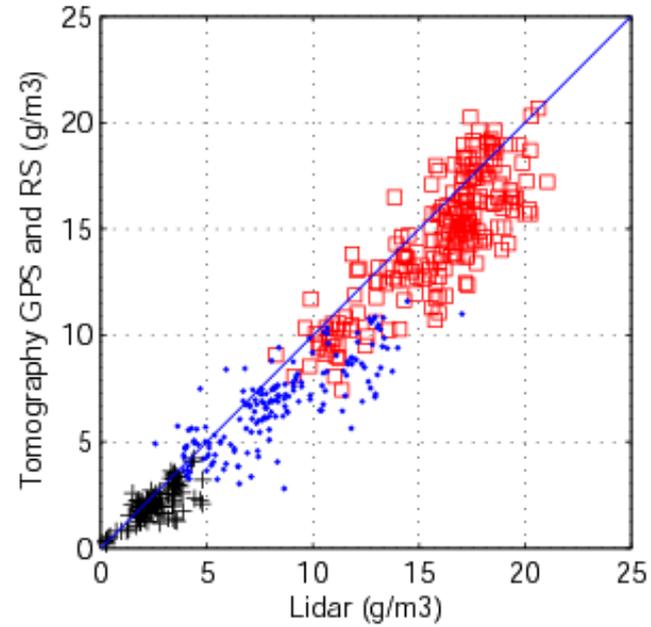
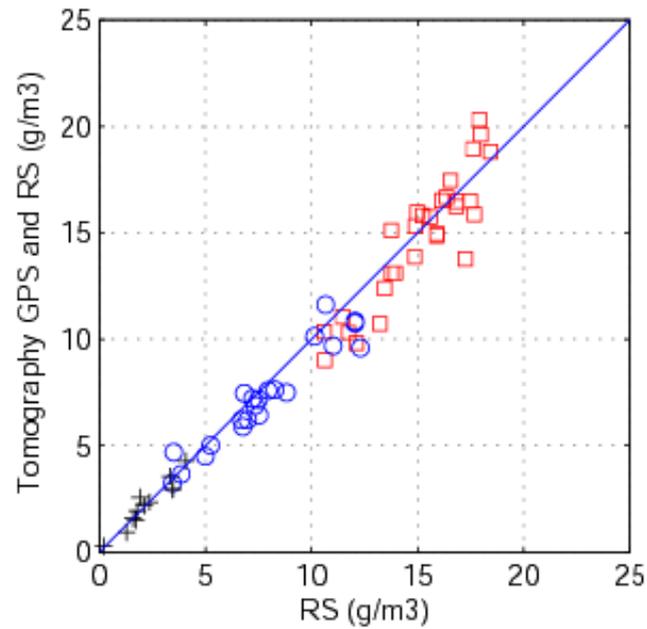
AERI



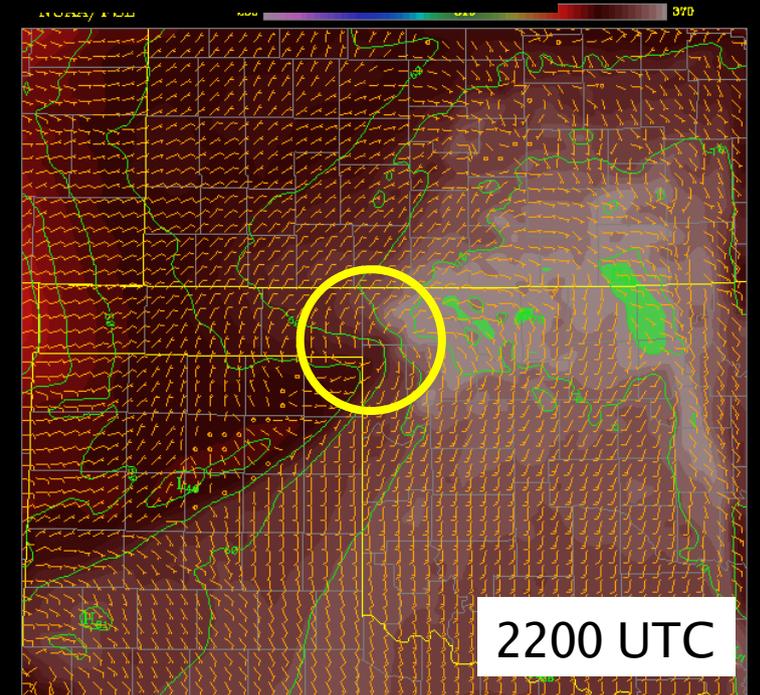
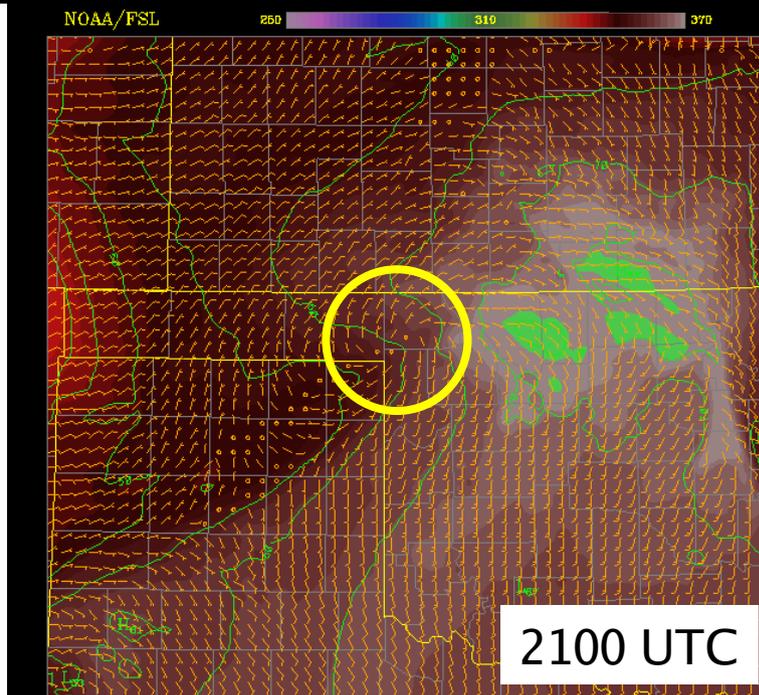
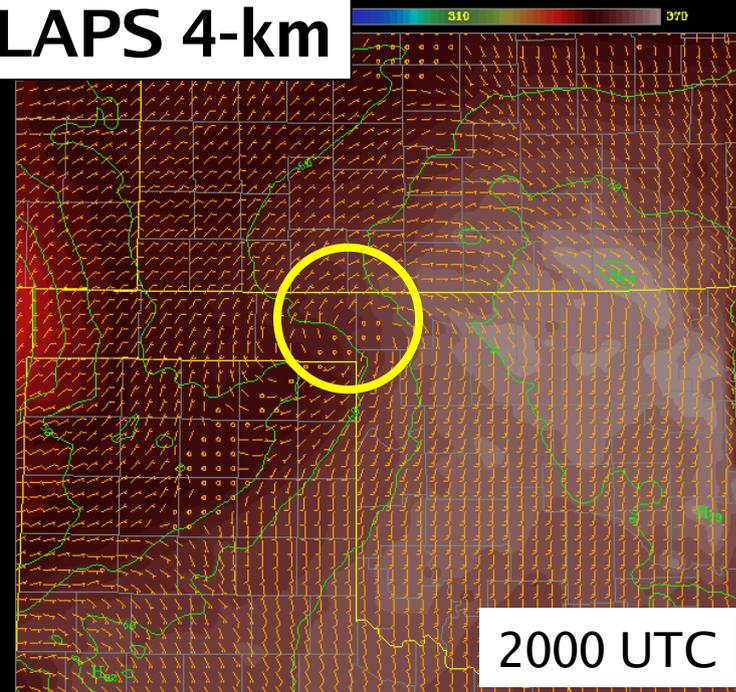
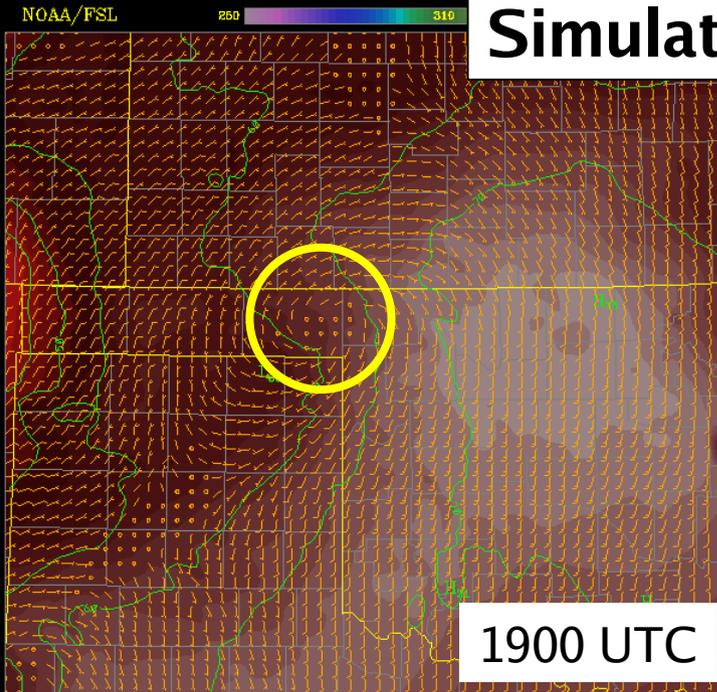
LIDAR



Comparaison Tomographie GPS / LIDAR / RS / AERI (3)

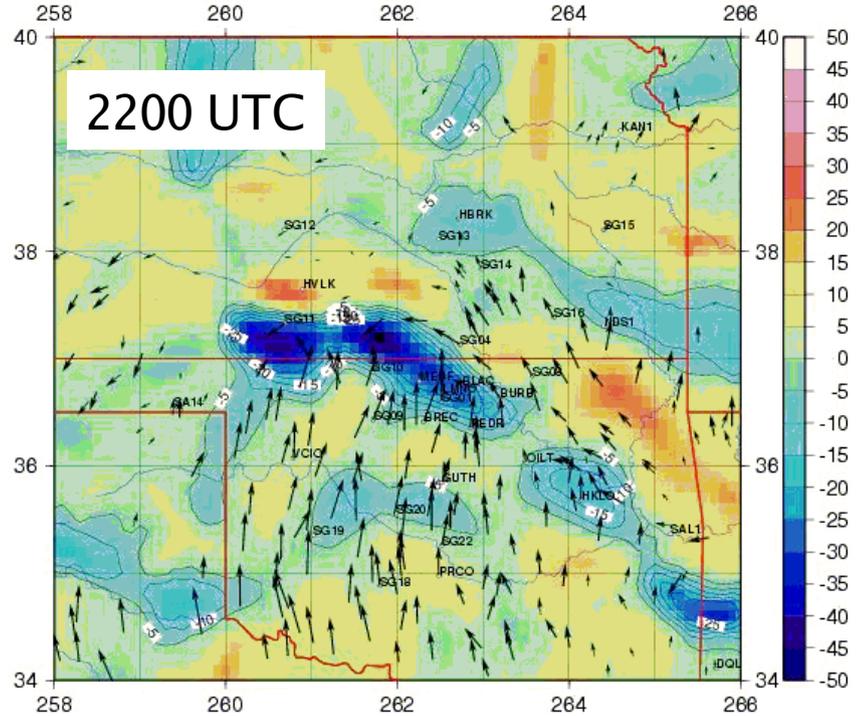
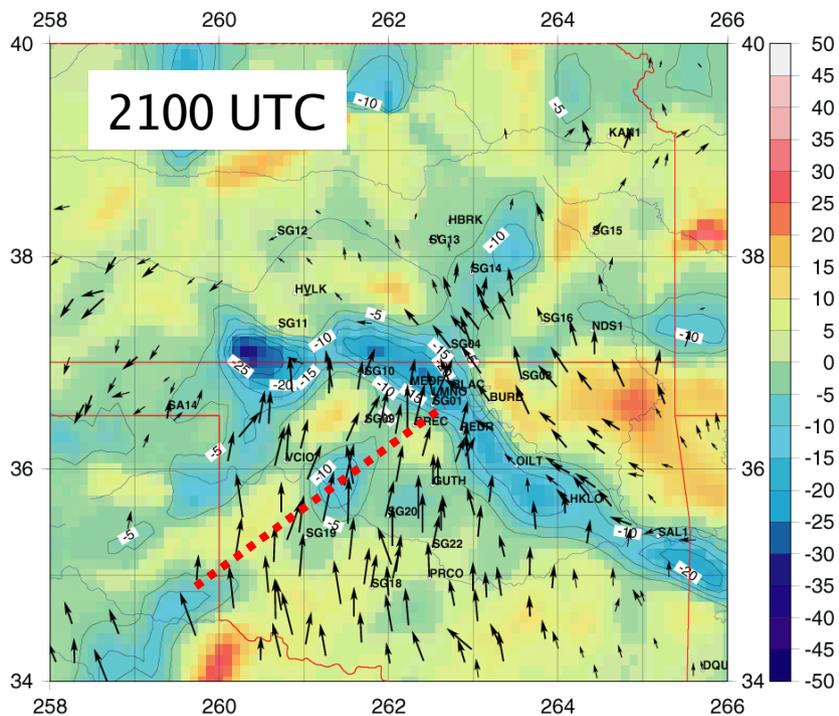
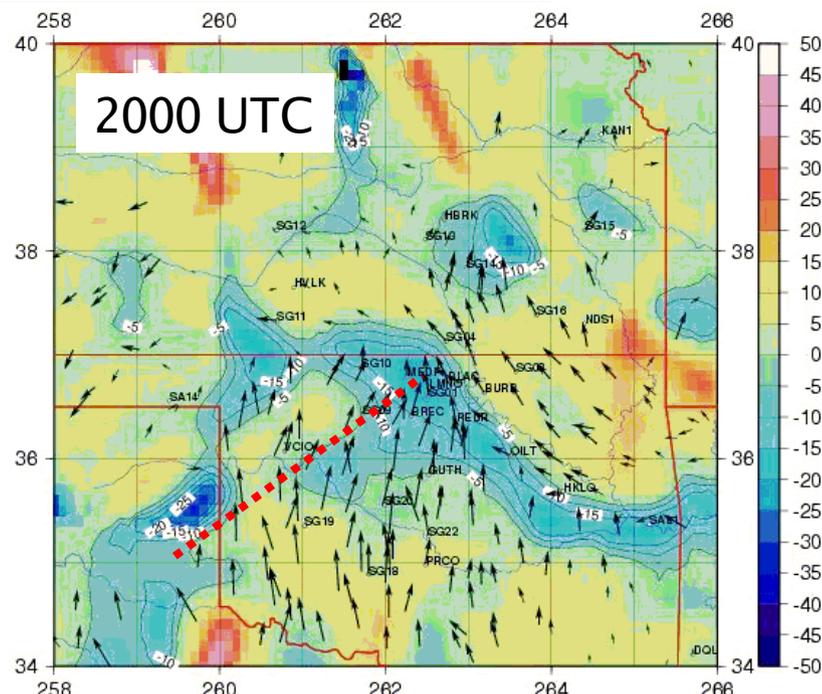
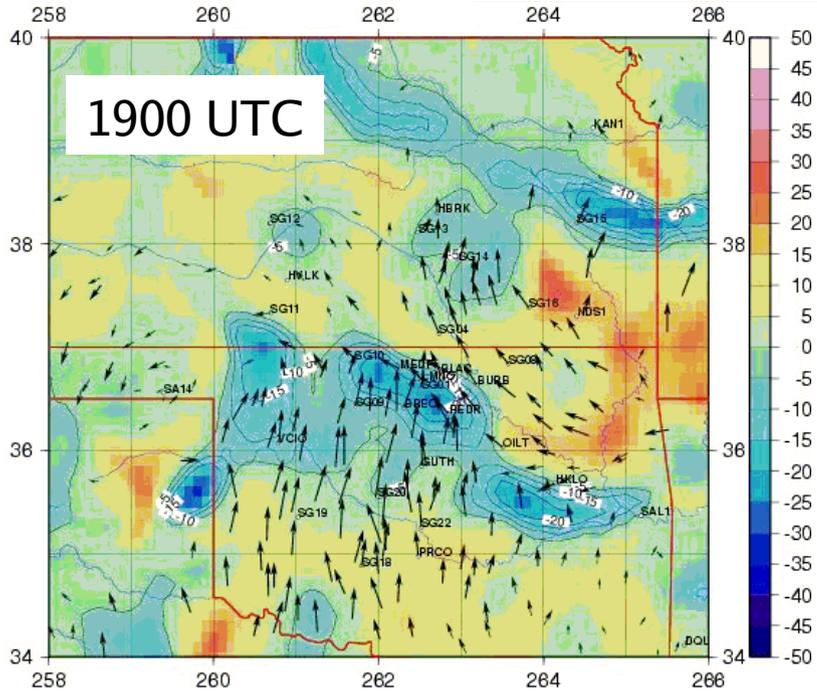


Simulation LAPS 4-km

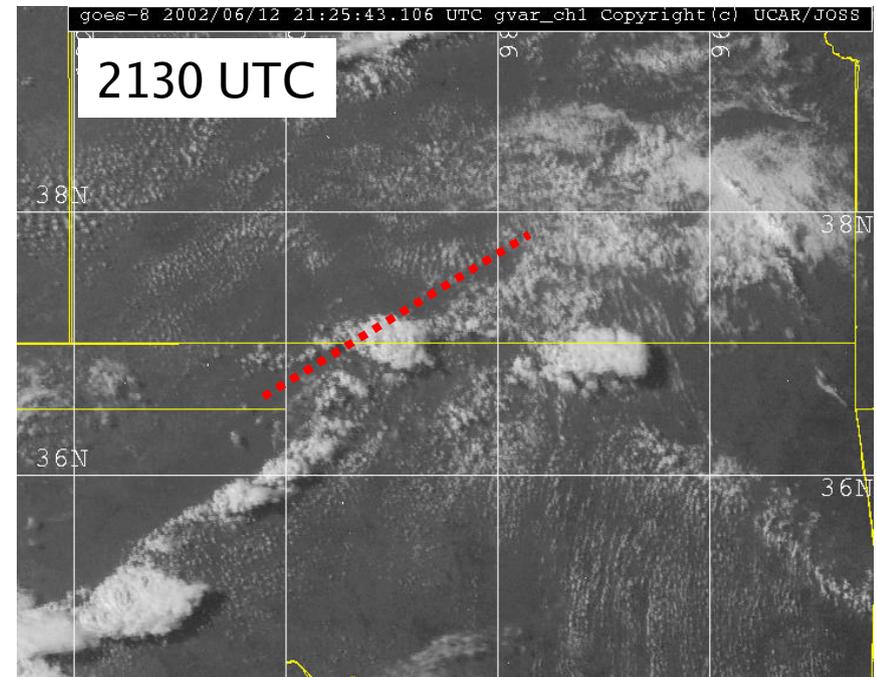
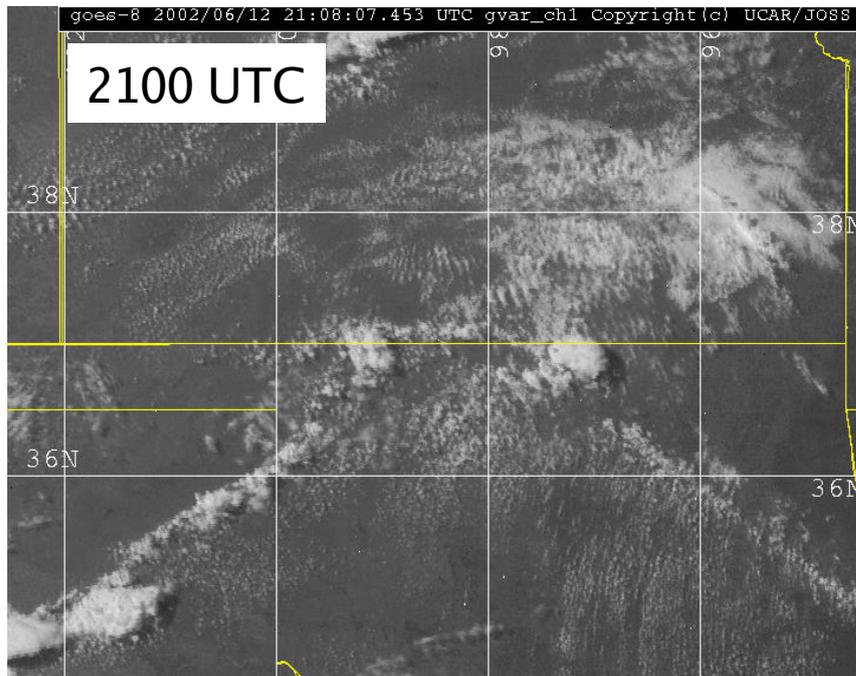
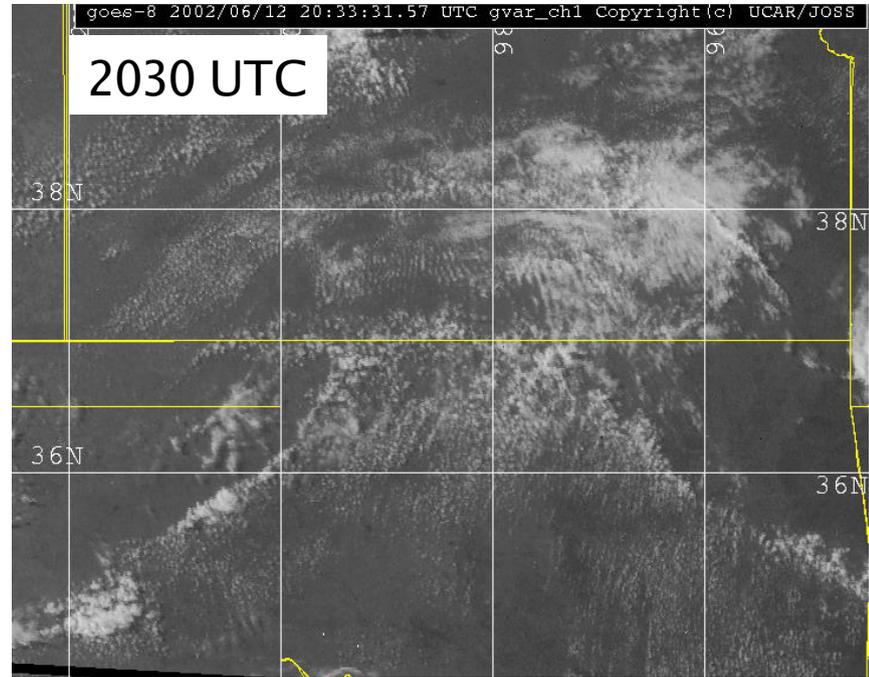
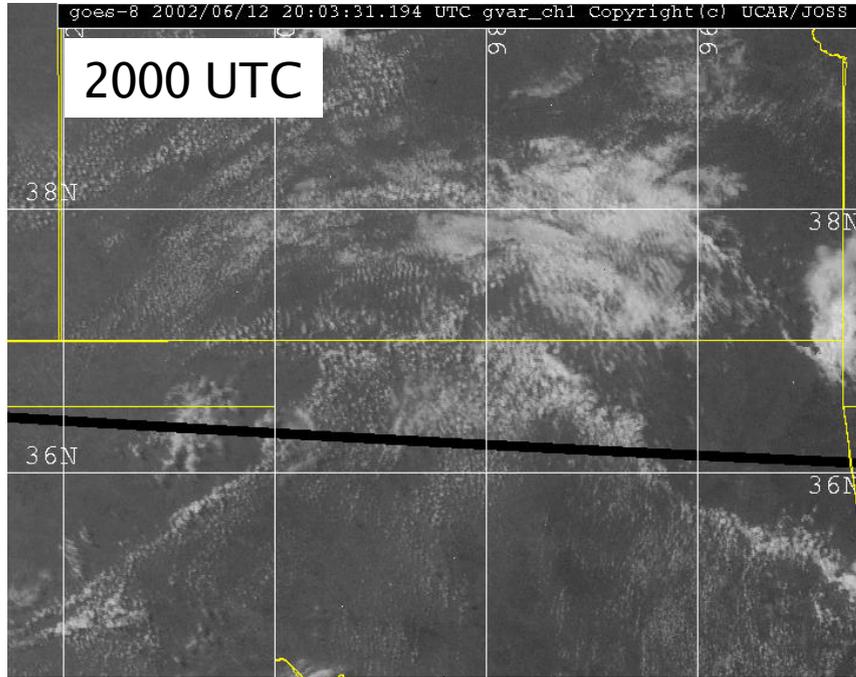


Meso-low
se déplaçant
lentement
vers l'est

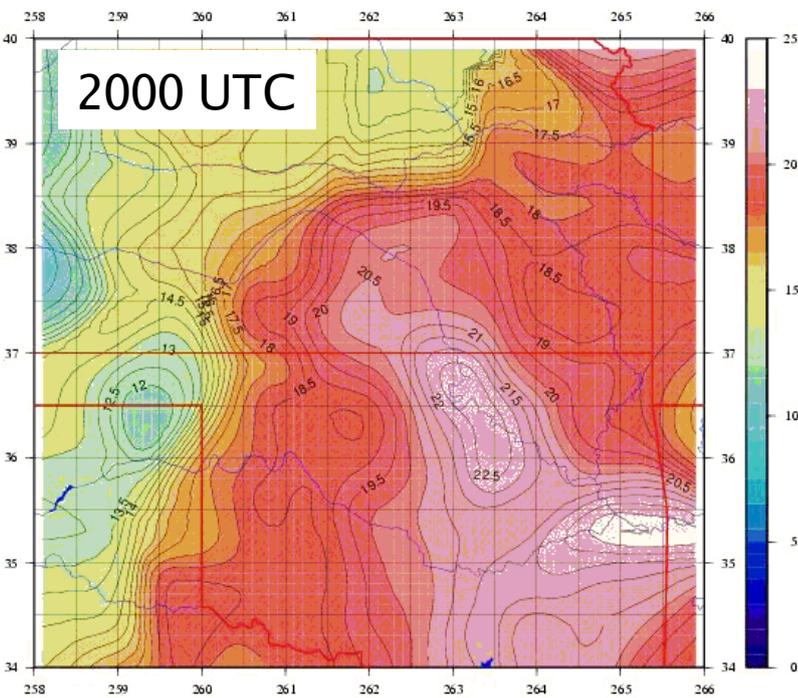
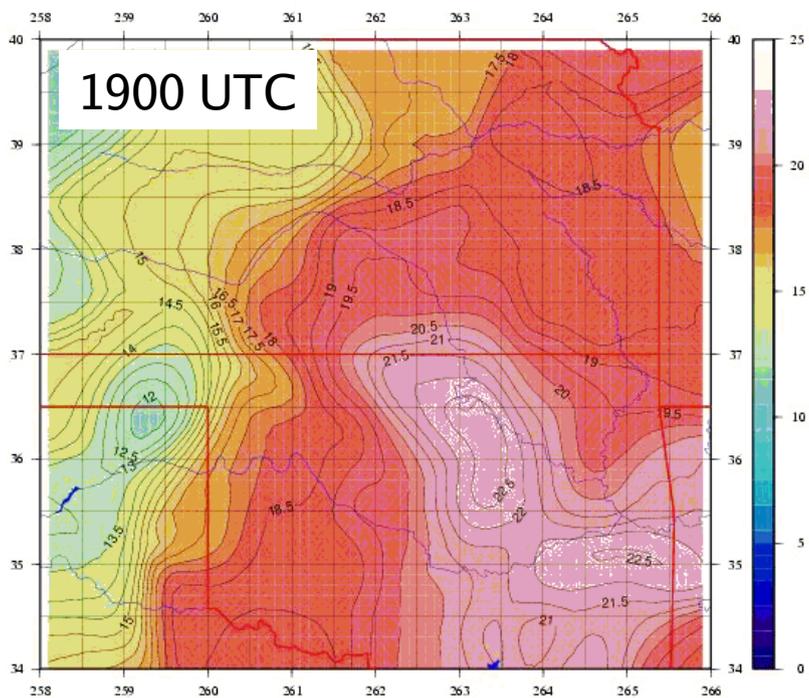
Convergence humide (surface)



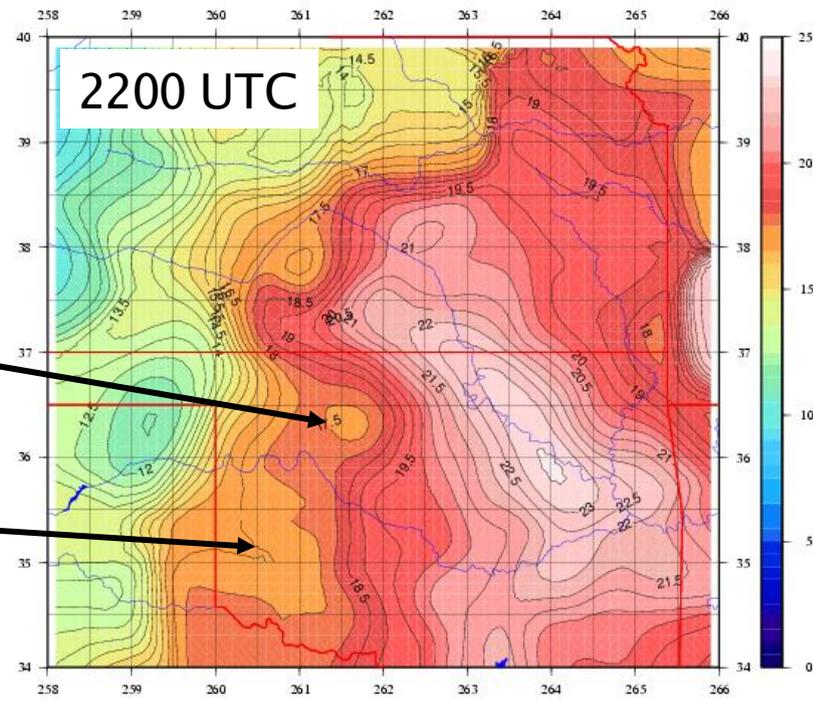
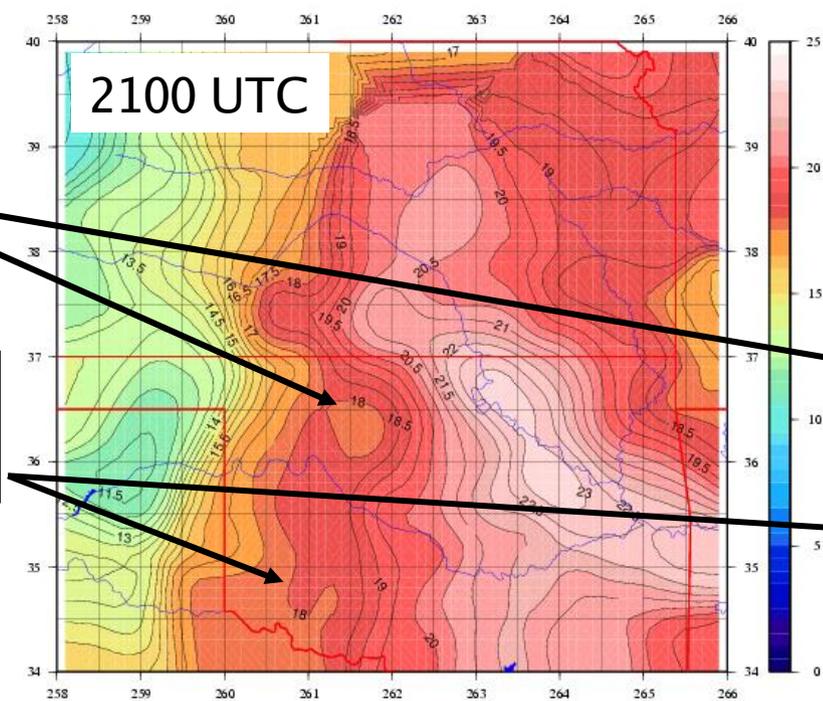
GOES 8 Visible



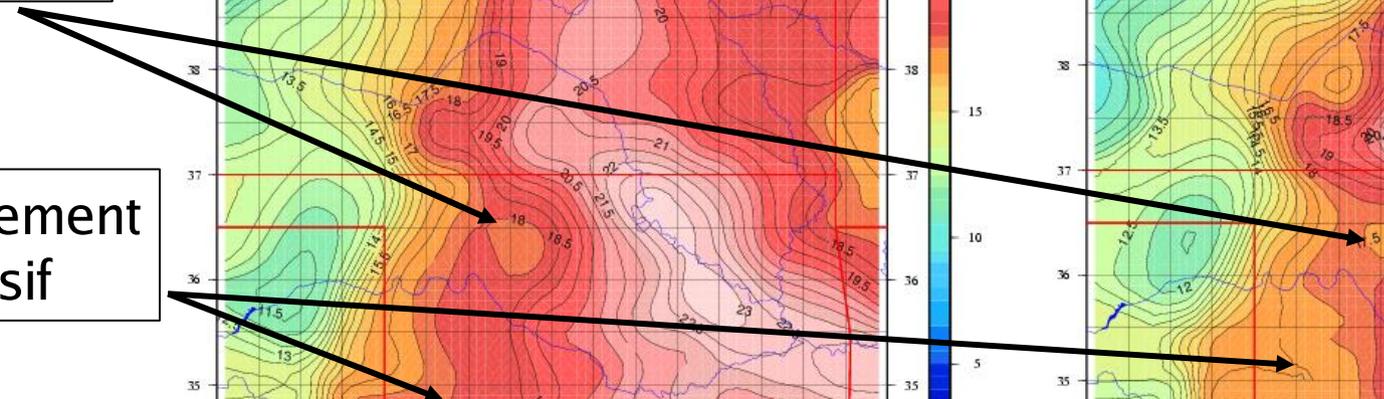
Rapport de mélange de vapeur d'eau (surface)



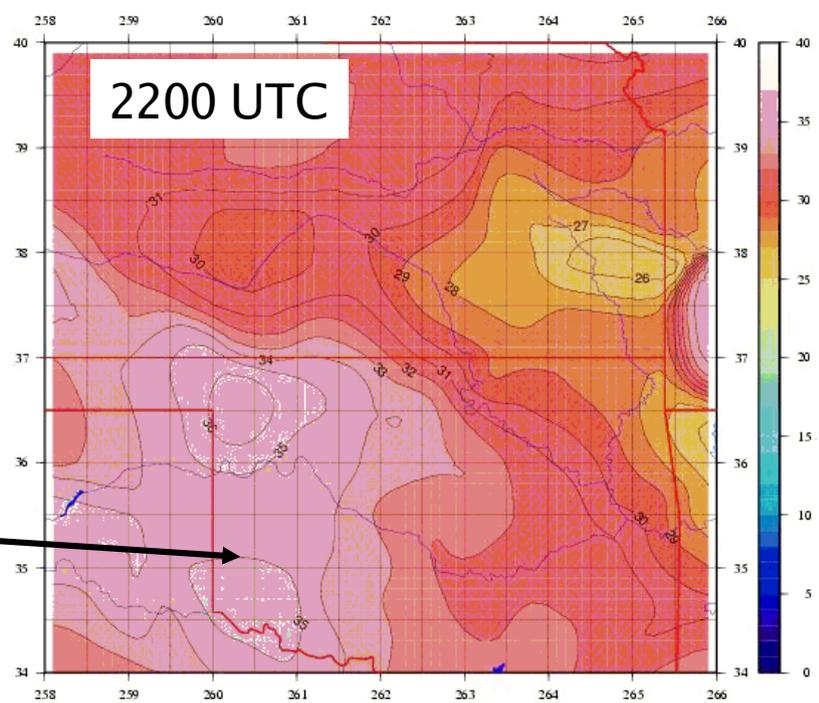
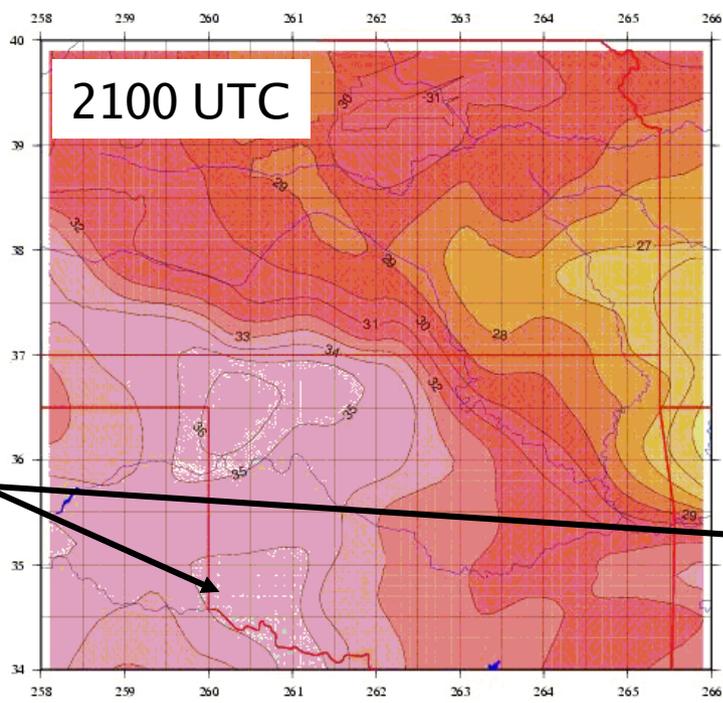
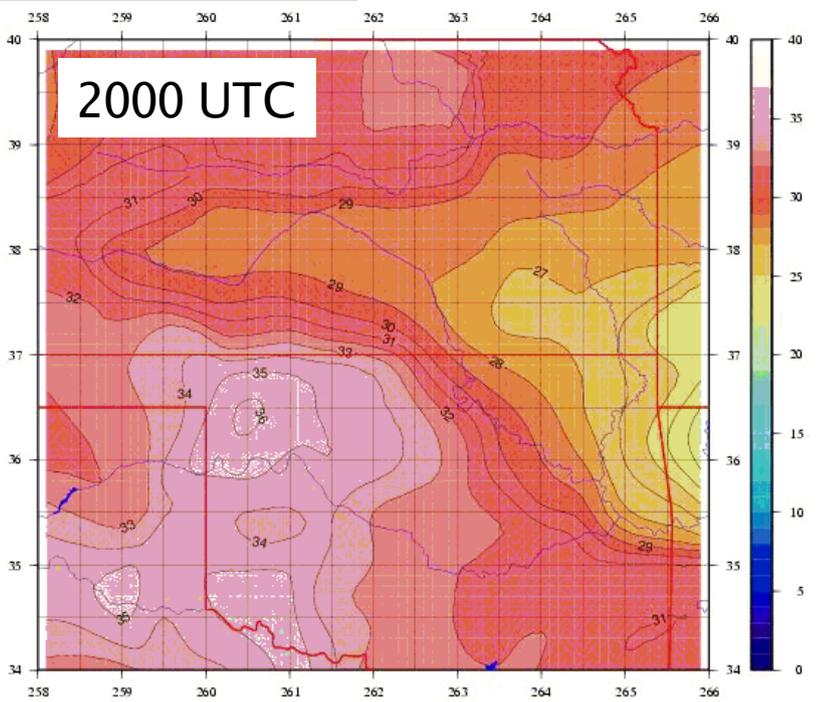
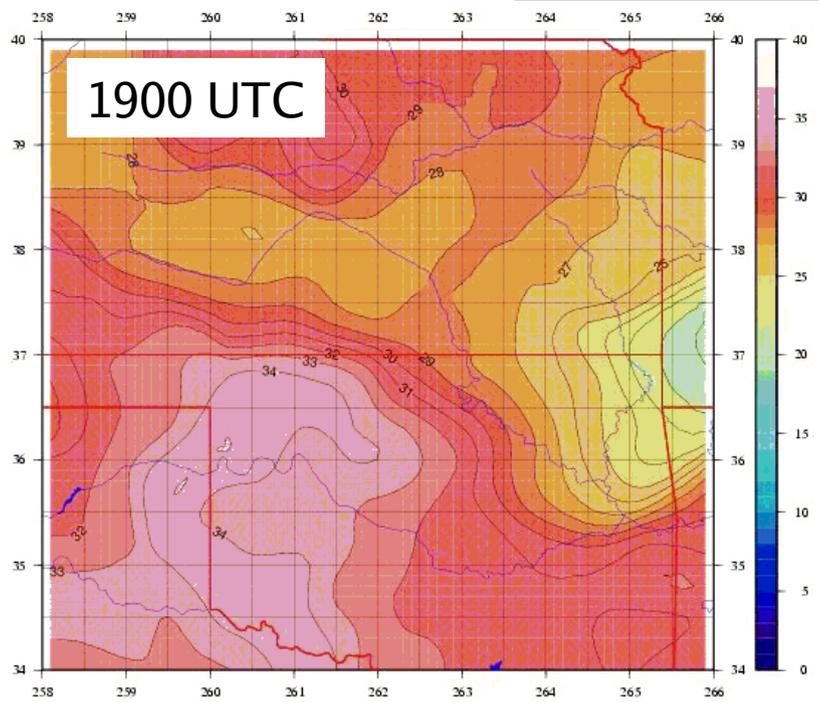
« Poche »
sèche



Assèchement
progressif



Température (surface)



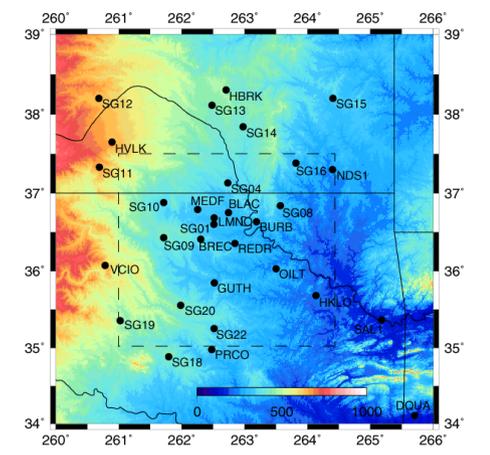
Réchauffement progressif



Tomographie GPS

« Poche sèche »

Injection d'humidité



1700 UTC

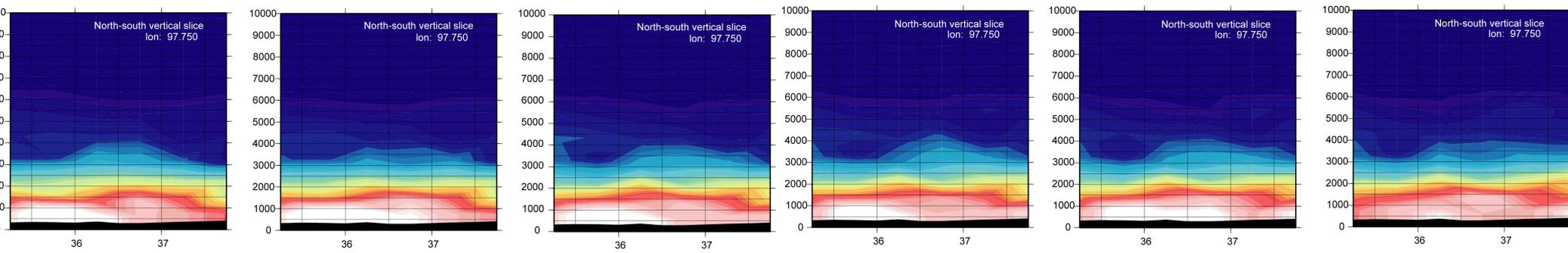
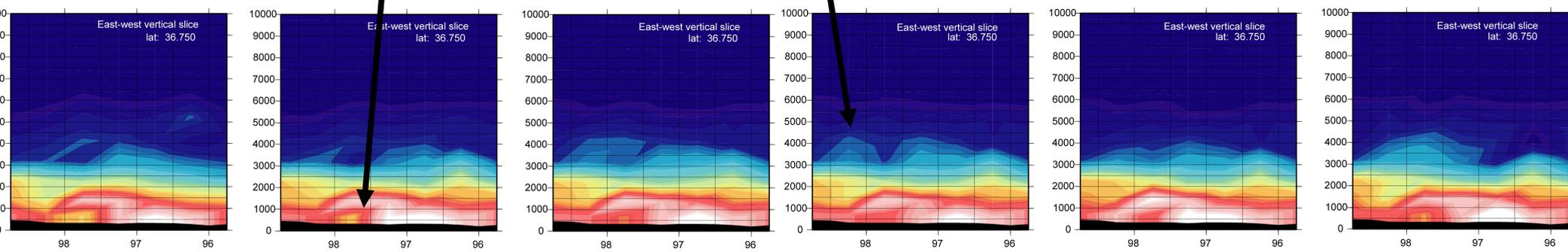
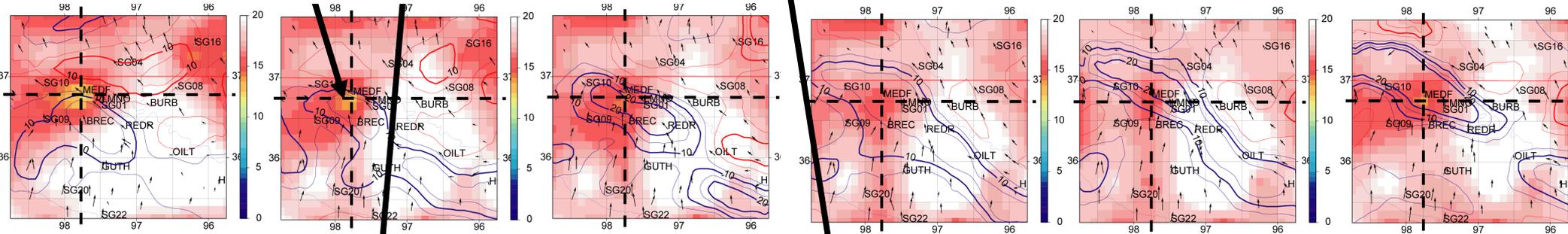
1800 UTC

1900 UTC

2000 UTC

2100 UTC

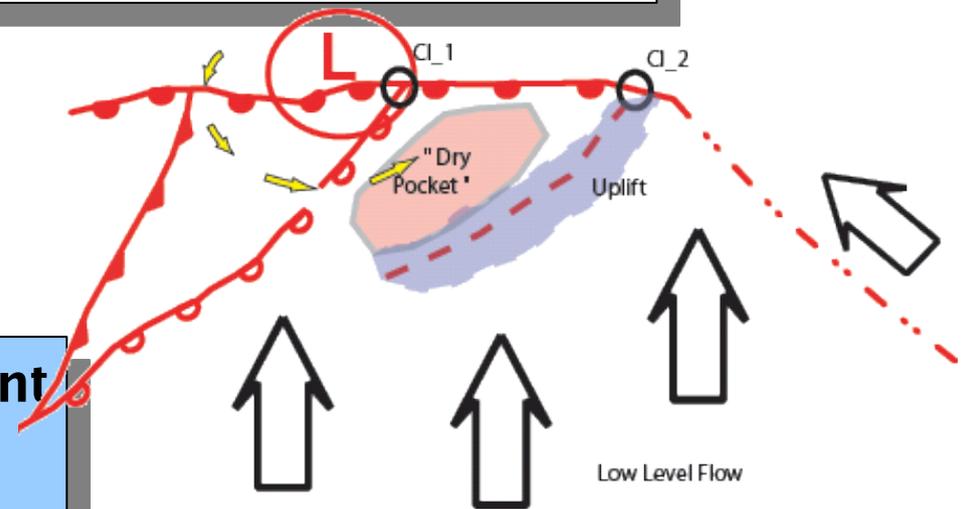
2200 UTC



Scénario proposé:

- Déplacement du meso-low vers l'est + renforcement du SLLF
- Renforcement de l'ascendance au niveau du « point triple »
- Convergence faible le long de la dryline: possibilité pour l'écoulement au sud du meso-low de « traverser » la dryline
- Pénétration d'air sec à l'est de la dryline
- Création d'une ligne de convergence à l'est de la dryline, la « poche » sèche maintenant les 2 « points triples » séparés
- L'air humide du SLLF passe au-dessus de la ligne de convergence à l'est
- Injection d'humidité en altitude au-dessus de l'outflow = déclenchement convection

Between 1800 and 2100 the 12 June

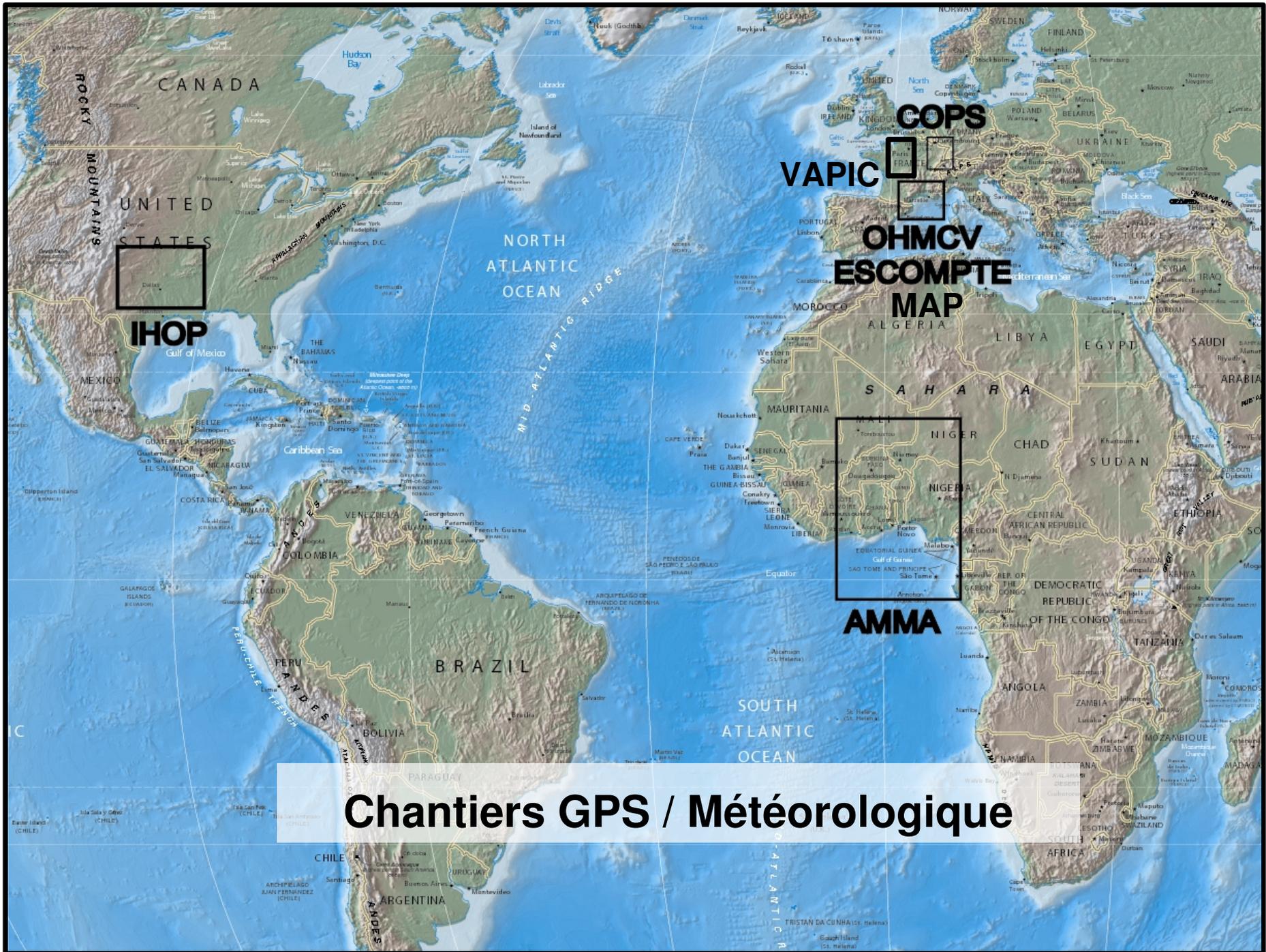


Rôle déterminant du meso-low approchant le « point triple » par l'ouest pour:

- déclenchement à l'est
- la coïncidence entre les déclenchements à l'est et à l'ouest

Conclusions et perspectives

- La télédétection (GPS et MODIS) permet l'investigation de la variabilité de la vapeur d'eau à toutes les échelles de temps et d'espace
 - Les mesures du contenu de vapeur intégrée sont complémentaires des mesures de surfaces
 - La tomographie GPS fournit la structure 3D du champ de vapeur d'eau validée par des mesures LIDAR
-
- Meilleure modélisation de la vapeur d'eau (via assimilation)
 - Possibilité de correction des mesures géodésiques (GPS / InSAR / Gravimétrie)
-
- Mise en place d'un réseau GPS pendant COPS (Validation, Assimilation, Études de cas)



IHOP

COPS

VAPIC

OHMCV

ESCOMPTE

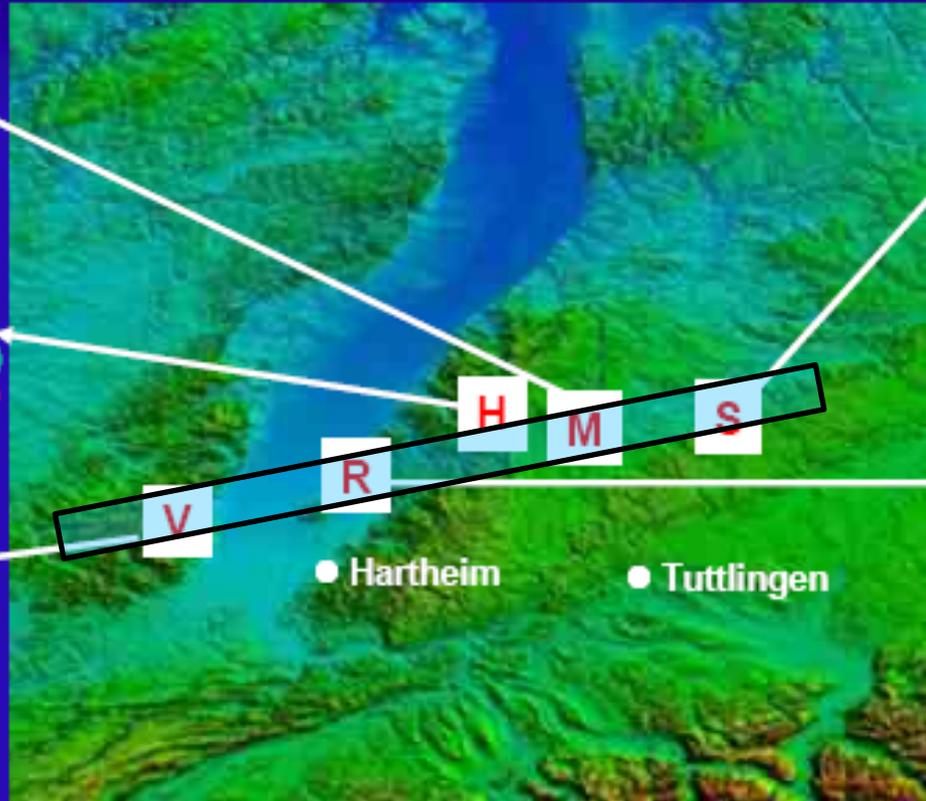
MAP

AMMA

Chantiers GPS / Météorologique

Réseau GPS envisagé pendant la campagne COPS

Supersites



M

- AMF
- RS, MWR, AERI, RWP, WACR, aerosol in-situ analysis
- HATPRO
- 90/150 GHz
- IFT MWL
- IFT WILI
- UHH MRR

H

- UHOH WV DIAL (scanning)
- UHOH RR Lidar (scanning)
- FZK WindTracer (scanning)
- FZK Cloud Radar (45° scan)
- UHOH X-Band (vertical)
- UK Radiosondes
- UK aerosol in-situ analysis

V

- CNRS WV Raman lidar
- CNRS TRESS =
Aerosol Raman Lidar
IR radiometer, sun ph.
- LaMP X-Band (scanning)
- LaMP K-Band (vertical)
- MF Radiosondes
- MF Surf. Flux Stations (3)
- MF soil moisture (1-3)
- MF UHF prof., sodar

S

- FZK WTR
- UV MRR
- UV Radiosondes
- UV Tethersonde
- CNS MW radiometer (or at V?)
- UK Doppler (or at V?)

R

- UNIBAS Raman lidar
- UK Doppler lidar
- UK radiometer
- UHH cloud radar
- TARA
- UK Radiosondes
- UK sodar

Lidars
Cloud radars
Precip. radars
Radiometers
Radiosondes
Sodars

Black-Forest valley entrances

- FZK and UBT Sodars (entrance of Murg and Kinzig V.)
- UF Sodar (entrance of Rench V.)
- 2 UK sodars (entrance of Nagold V., center of Murg V.)

Transect of MRRs from E to W (UHH)

Between S1 and S3

- FZK RS station (mobile)

Rhine valley

- FZK RS station (mobile)



Ecole et Observatoire
des Sciences de la Terre



- Développements:

- Mesures aéroportées
- Mesures en mer

