

Interactions entre microphysique et dynamique dans les lignes de grains d'Afrique de l'ouest.

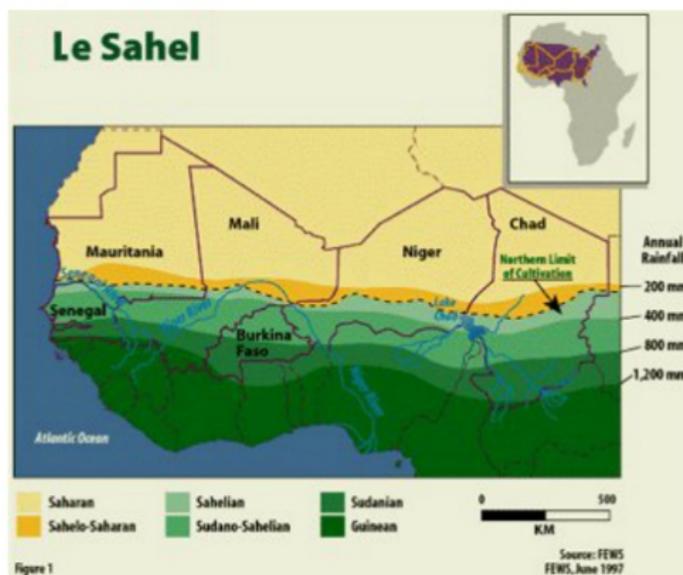
Thomas NOEL

LATMOS

7 Juillet 2010

Directeurs de thèse : Nicolas Viltard, Virginie Marécal et Georges Scialom.

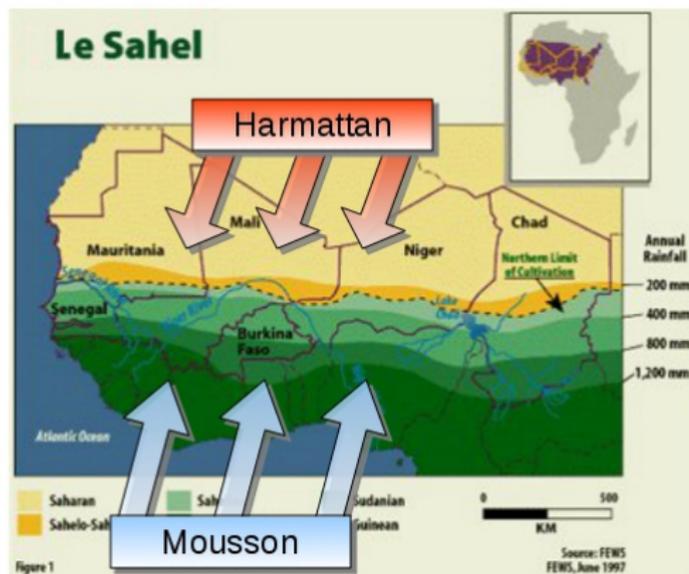
L'Afrique de l'Ouest



Afrique de l'Ouest

Les Systèmes convectifs apportent 90 % des précipitations dans la zone sahélienne

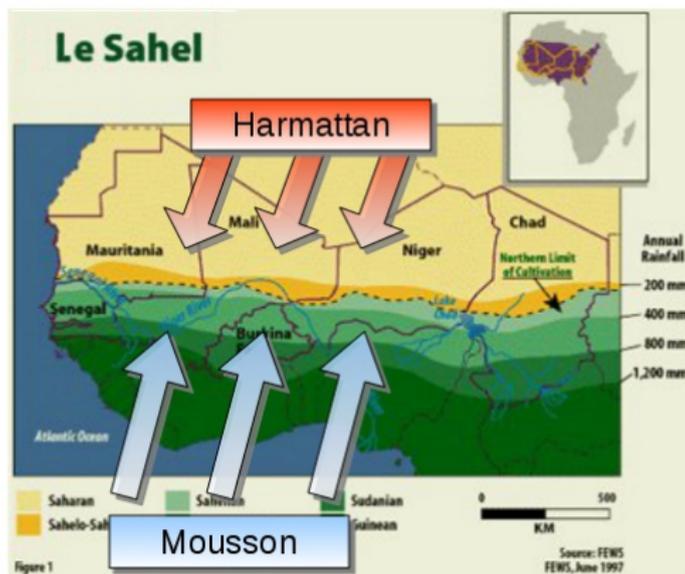
L'Afrique de l'Ouest



La Mousson

Les Systèmes convectifs apportent 90 % des précipitations dans la zone sahélienne

L'Afrique de l'Ouest



La Mousson

Les Systèmes convectifs apportent 90 % des précipitations dans la zone sahélienne

Précipitations

Déficit en eau depuis les années 1970
Pouvant atteindre 50% pour la période 1970-1989
par rapport à la période 1950-1969 dans les régions du Sahel

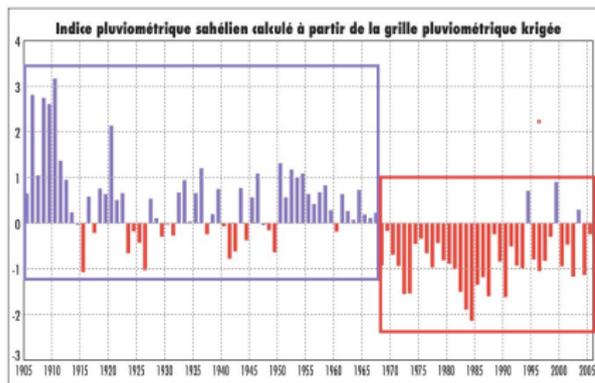
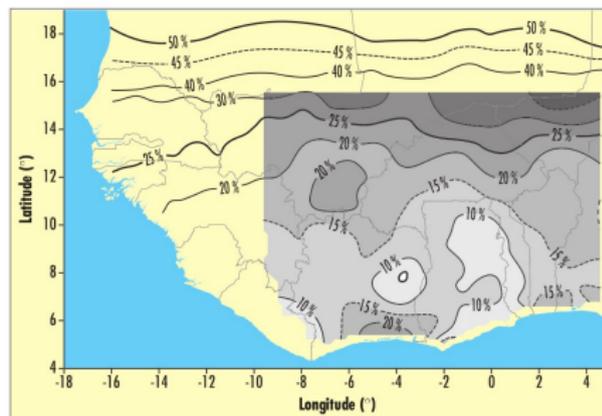


Diagramme temporel de l'indice pluviométrique

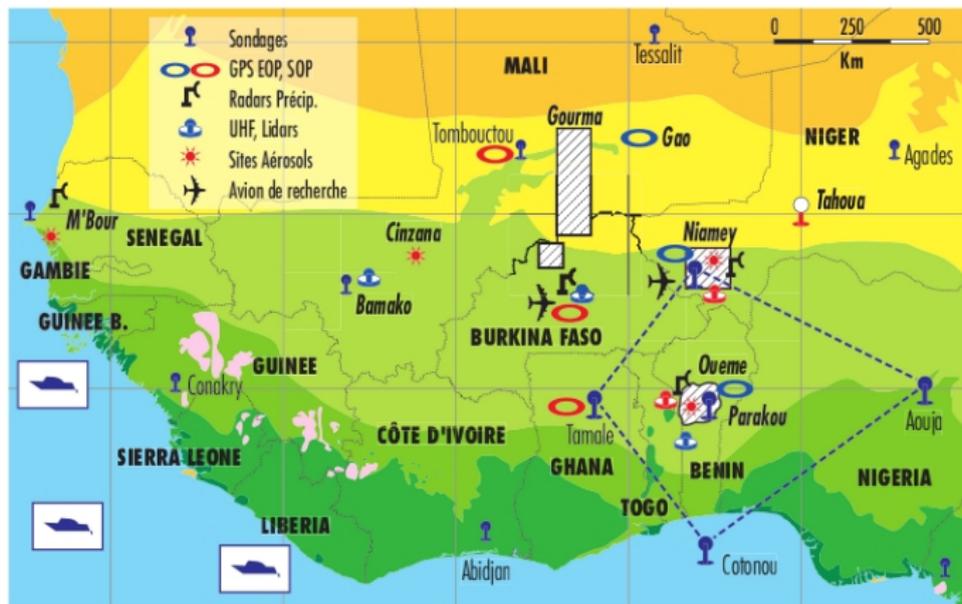


Carte du déficit relatif en pluviométrie

Redelsperger et al. (2006)

AMMA

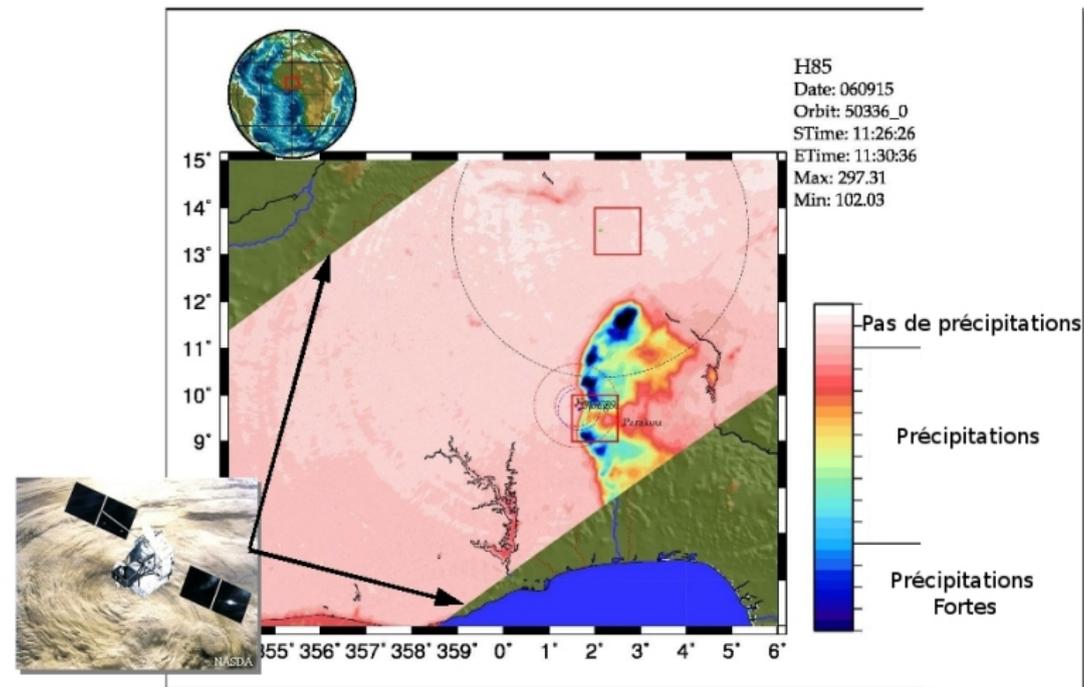
Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine : AMMA.



Dispositif régional d'AMMA (2006)

Ligne de grains

observation satellite



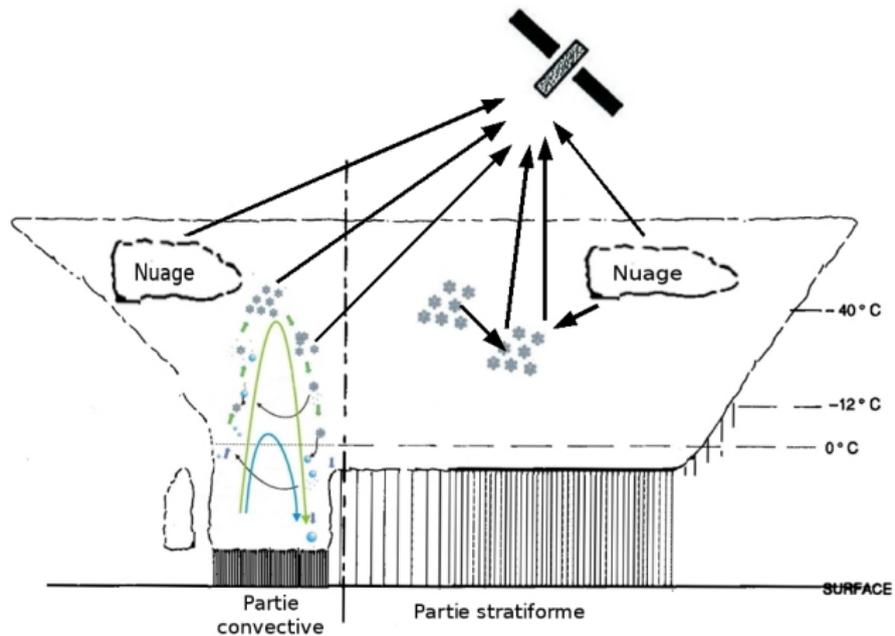
Objectifs

caractériser la relation entre température de brillance
et taux de pluie au sol.

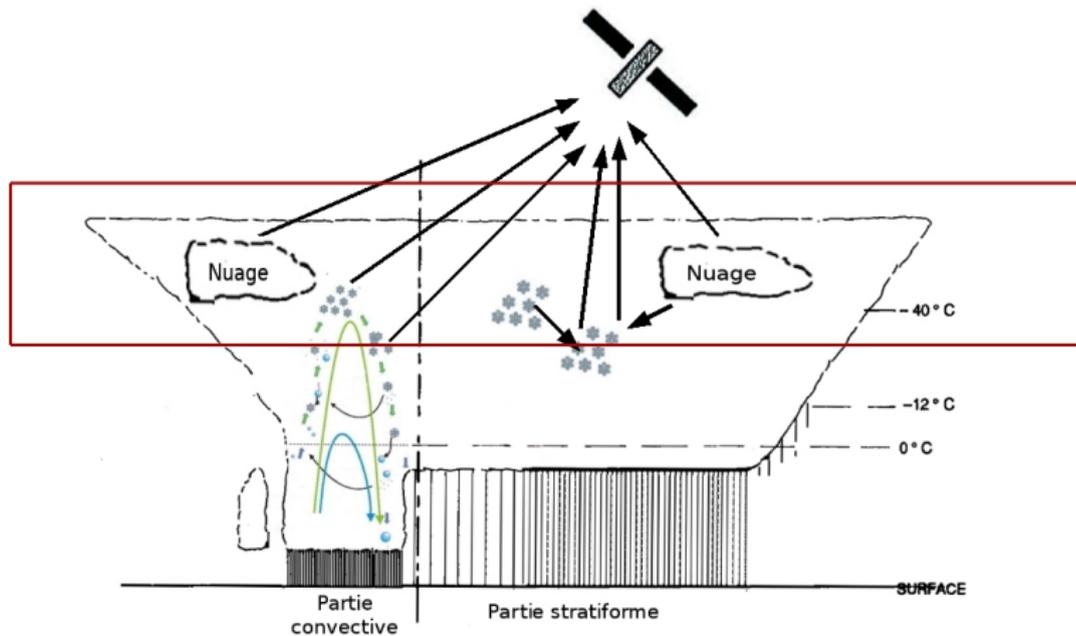
Améliorer la connaissance de la microphysique des lignes de grains

- Caractériser la relation entre dynamique et processus microphysiques.
- Identifier les processus microphysiques principaux.
- Déterminer l'influence du type de glace précipitante sur la structure des précipitations.

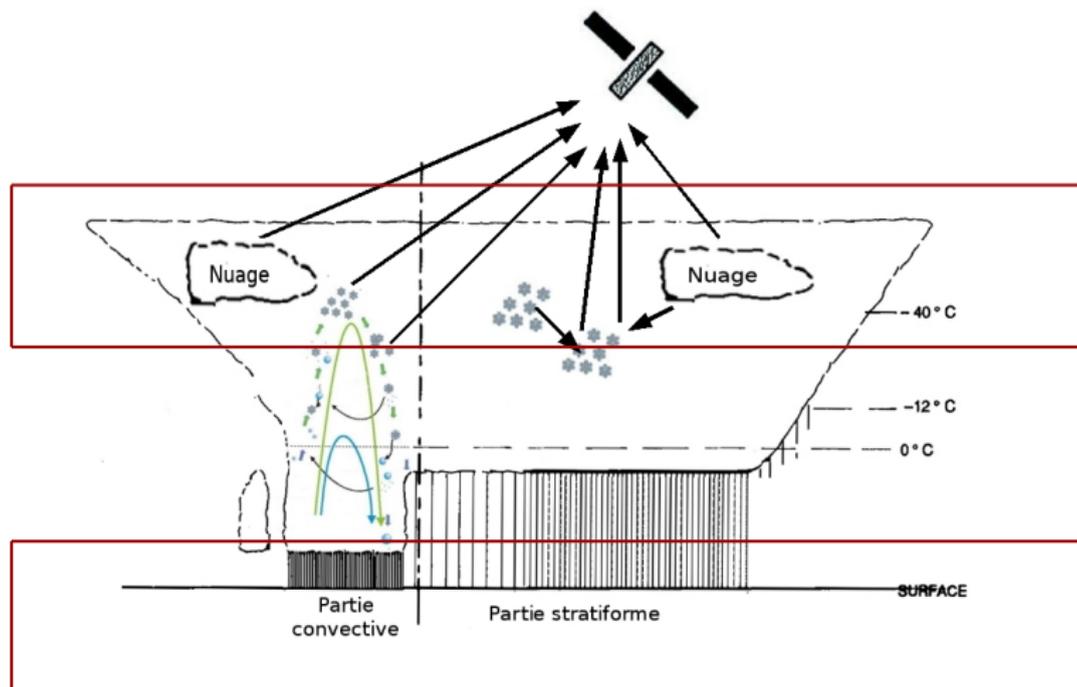
Observation satellite



Observation satellite



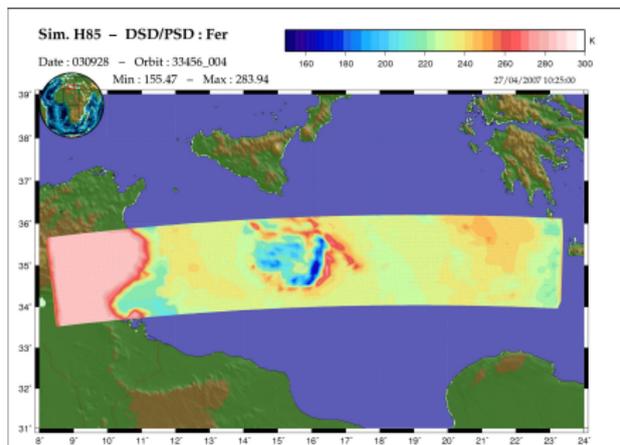
Observation satellite



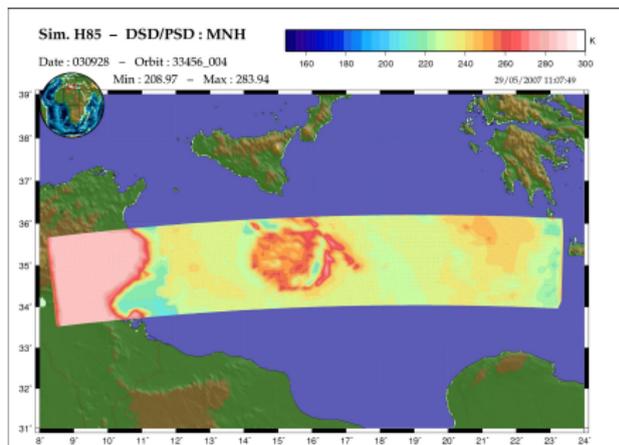
Comment caractériser la relation entre température de brillance
et taux de pluie au sol ?

Température de brillance

Relation entre glace précipitante et température de brillance



Paramétrisation de la glace avec une densité indépendante du diamètre.

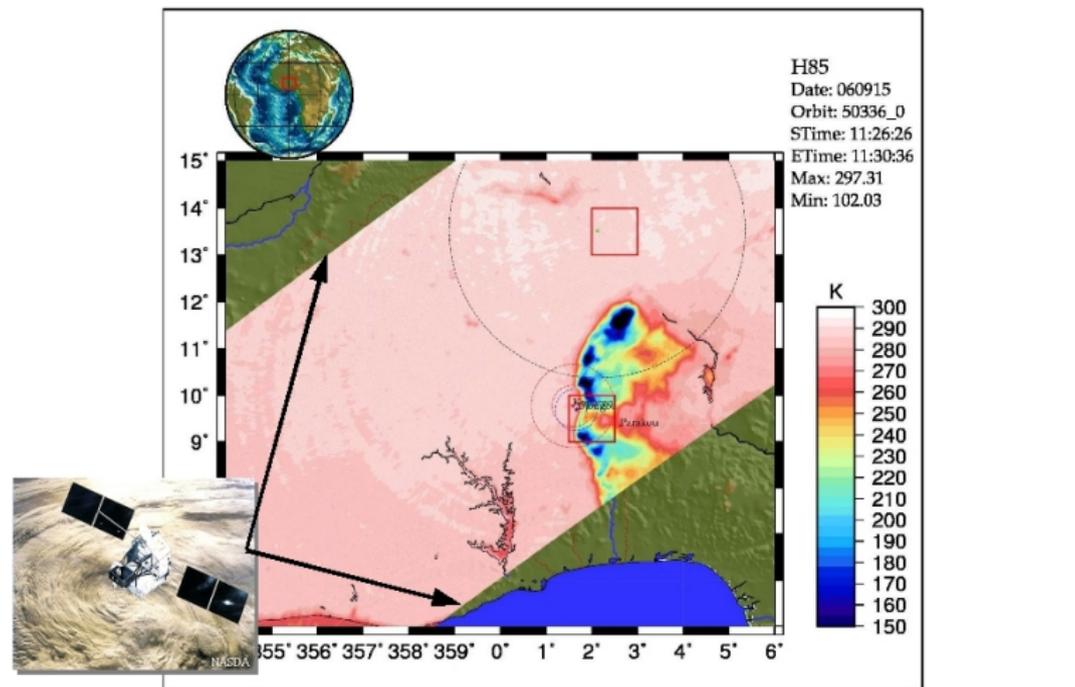


Paramétrisation de la glace avec une densité variable.

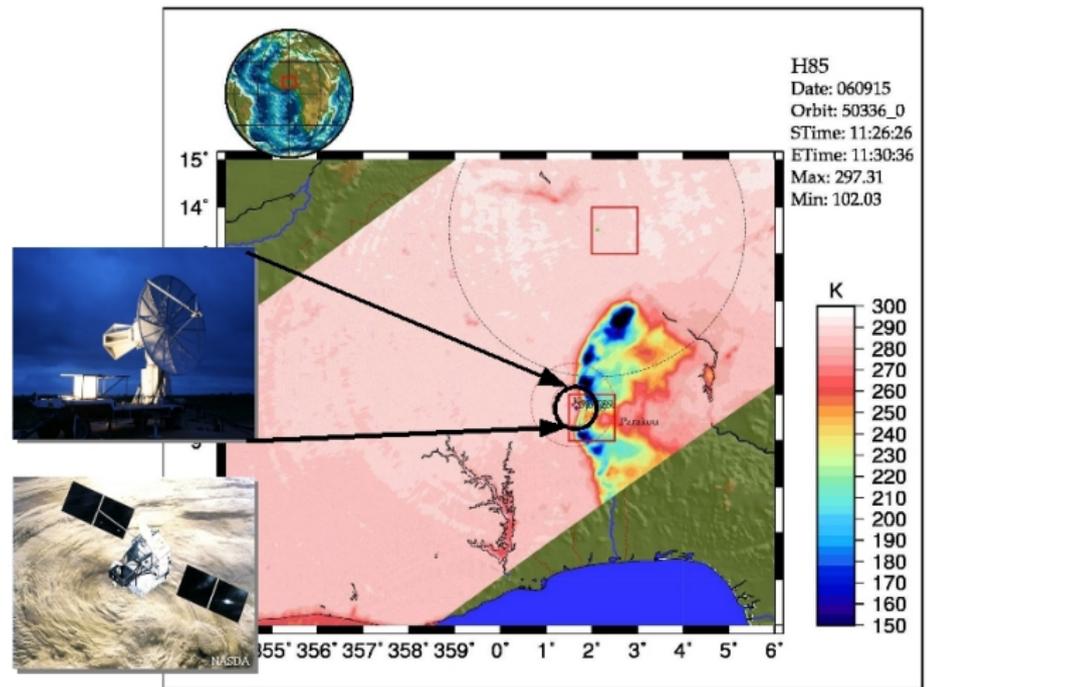
Détermination d'espèces de glace précipitante représentatives des lignes de grains pour le calcul des températures de brillances.

- 1 Introduction
- 2 La ligne de grains du 28 juillet 2006
 - Observations
 - Restitutions
 - Cas simulé
 - Processus microphysiques
- 3 Glace précipitante
 - Importance glace précipitante
 - Hydrométéores les plus probables
 - Glace précipitante et taux de pluie
- 4 Températures de brillance (TB)
 - Modèle de transfert radiatif
 - Relations TB - Contenu en glace et pluie
 - Relations TB - Processus
- 5 Conclusions et perspectives

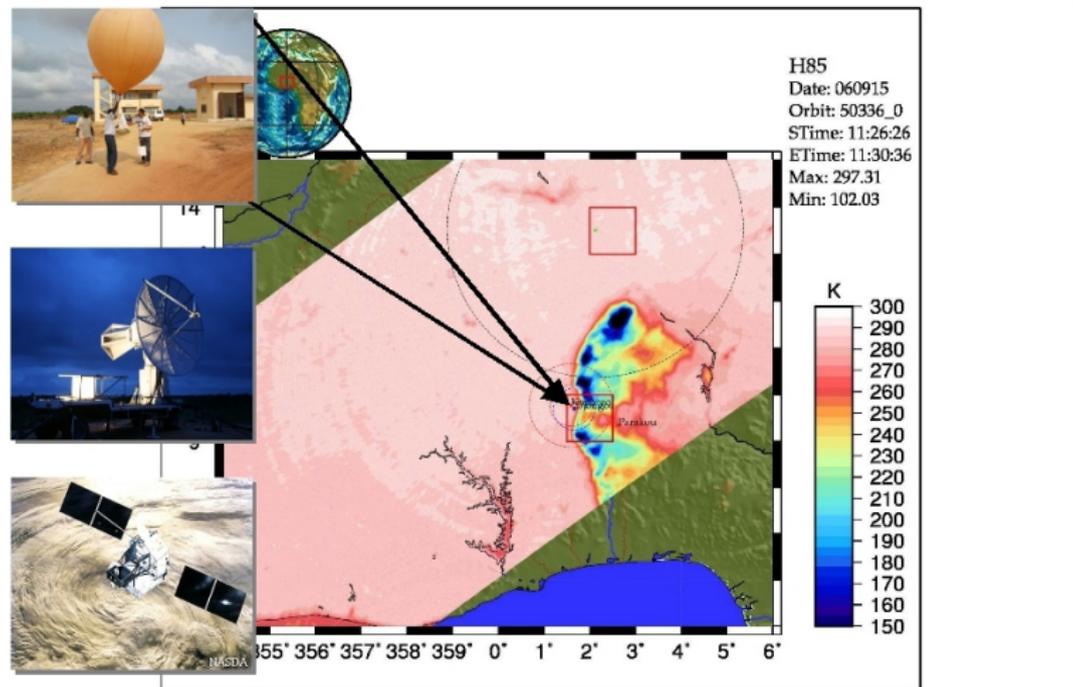
Moyens d'observations



Moyens d'observations



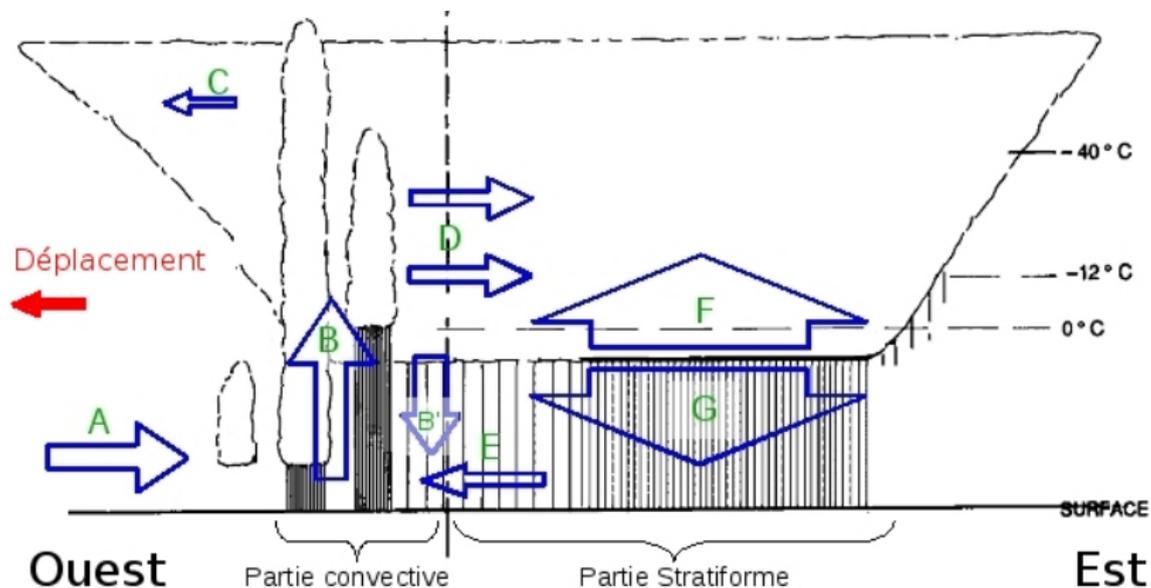
Moyens d'observations



Dynamique et microphysique

Dynamique

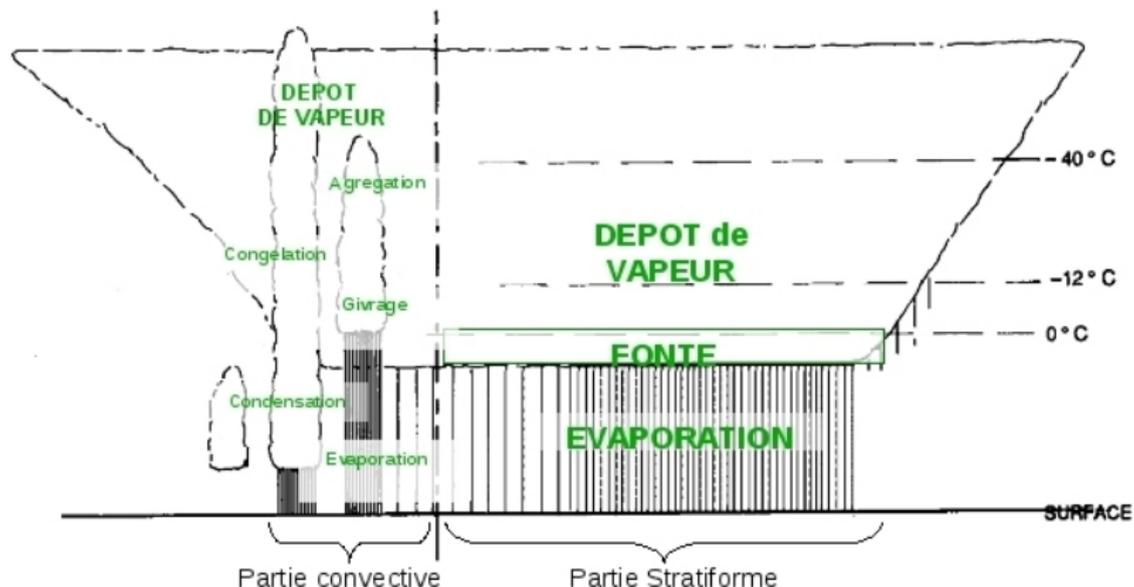
Houze (1977), Chong et al. (1987) Houze (2004)



Dynamique et microphysique

Microphysique

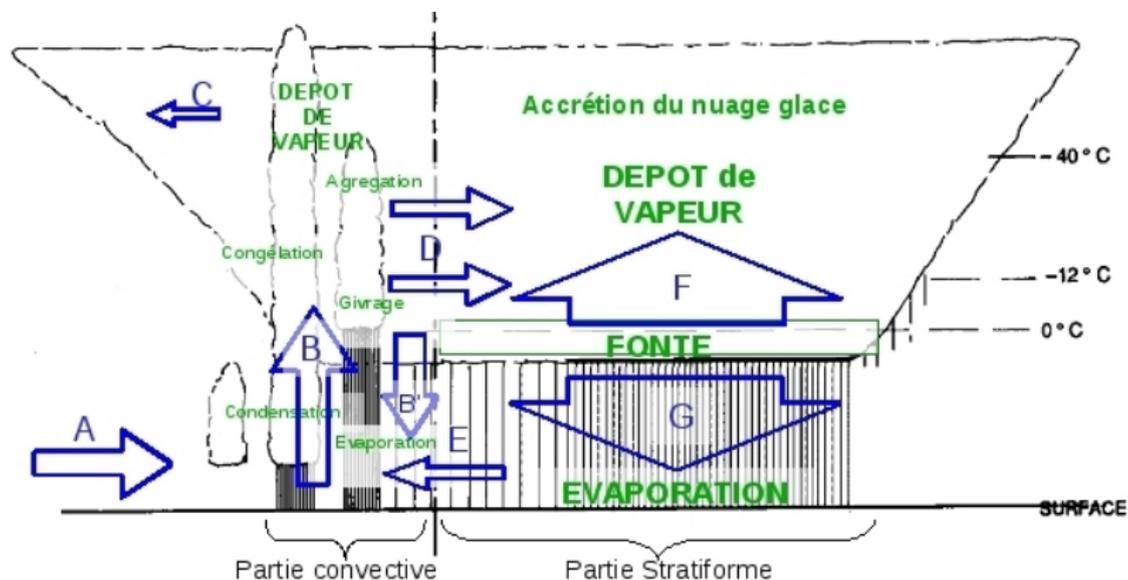
Houze (1977), Chong et al. (1987) Houze (2004)



Dynamique et microphysique

Relations entre dynamique et microphysique

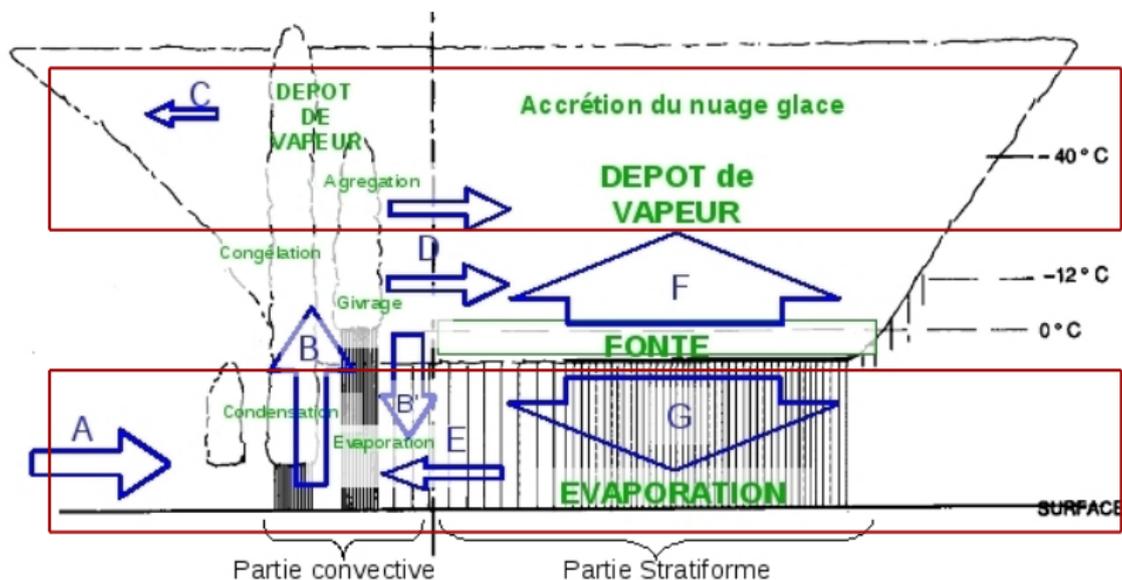
Houze (1977), Chong et al. (1987) Houze (2004)



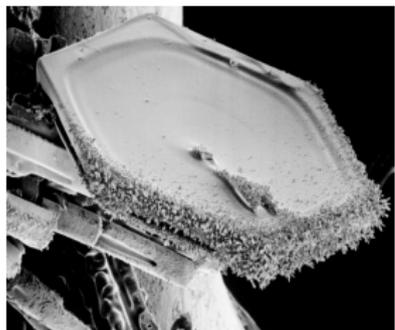
Dynamique et microphysique

Relations entre dynamique et microphysique

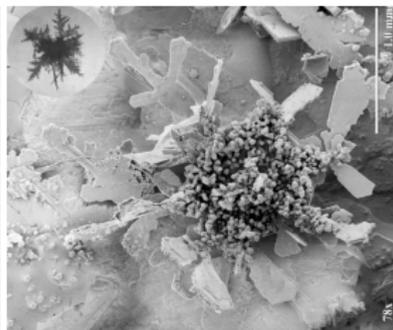
Houze (1977), Chong et al. (1987) Houze (2004)



Hydrométéores précipitants (<http://emu.arsusda.gov/snowsite/selected/select1.html>)



Plaquette hexagonale



Agrégat



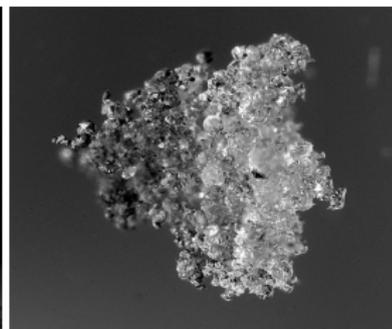
Grêlons



Dendrite hexagonale

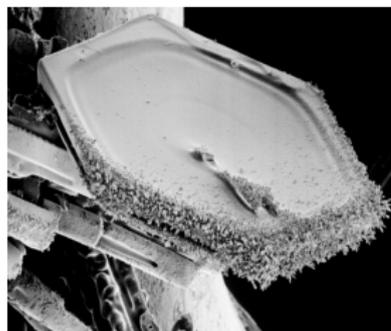


Cristal hexagonal



Graupel

Hydrométéores précipitants (<http://emu.arsusda.gov/snowsita/selected/select1.html>)



Plaquelette hexagonale



Agrégat



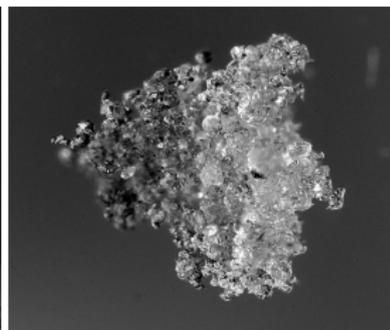
Grêlons



Dendrite hexagonale

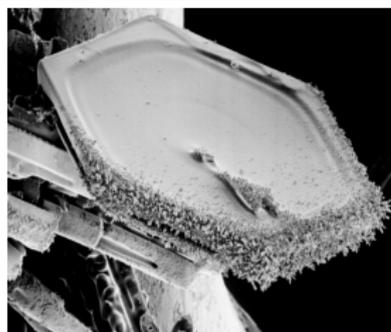


Cristal hexagonal



Graupel

Hydrométéores précipitants (<http://emu.arsusda.gov/snowsita/selected/select1.html>)



Plaquelette hexagonale



Agrégat



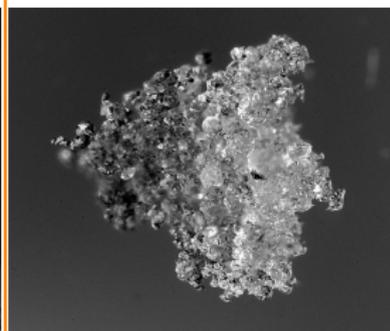
Grêlons



Dendrite hexagonale

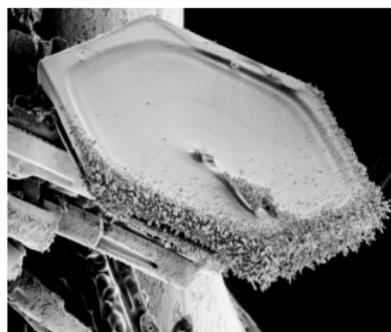


Cristal hexagonal

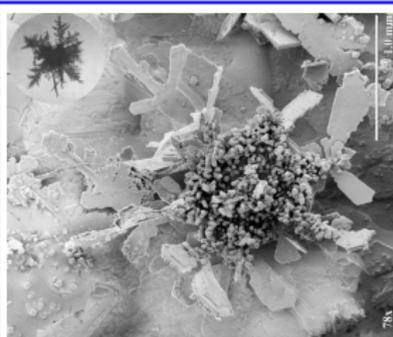


Graupel

Hydrométéores précipitants (<http://emu.arsusda.gov/snowsite/selected/select1.html>)



Plaquelette hexagonale



Agrégat



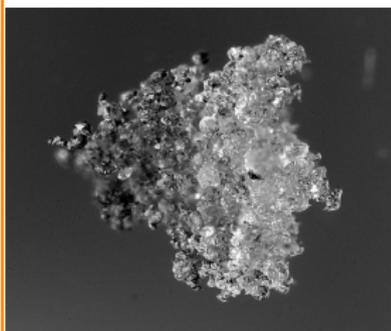
Grêlons



Dendrite hexagonale

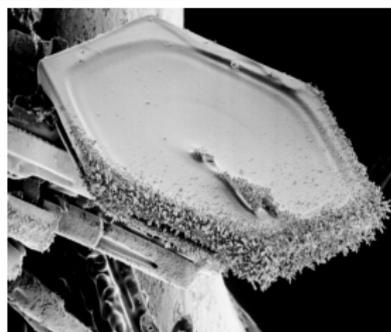


Cristal hexagonal

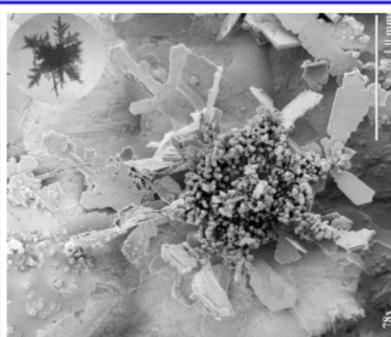


Graupel

Hydrométéores précipitants (<http://emu.arsusda.gov/snowsite/selected/select1.html>)



Plaquelette hexagonale



Agrégat



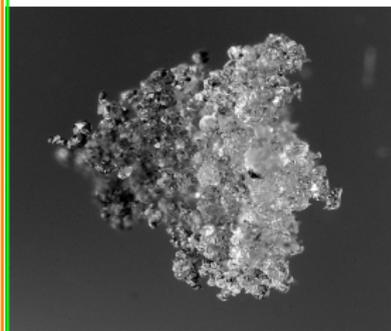
Grêlons



Dendrite hexagonale

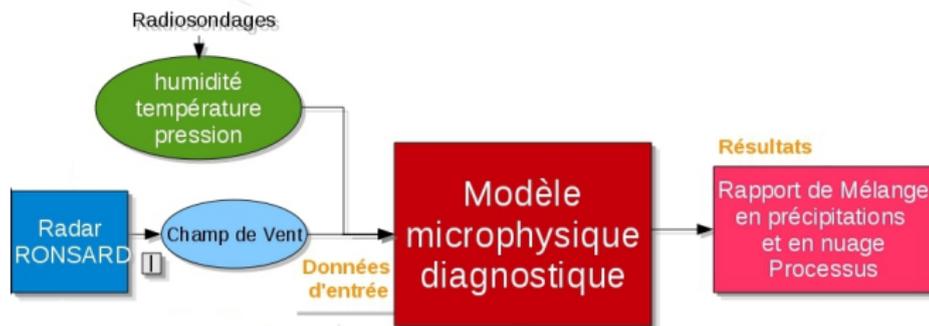


Cristal hexagonal



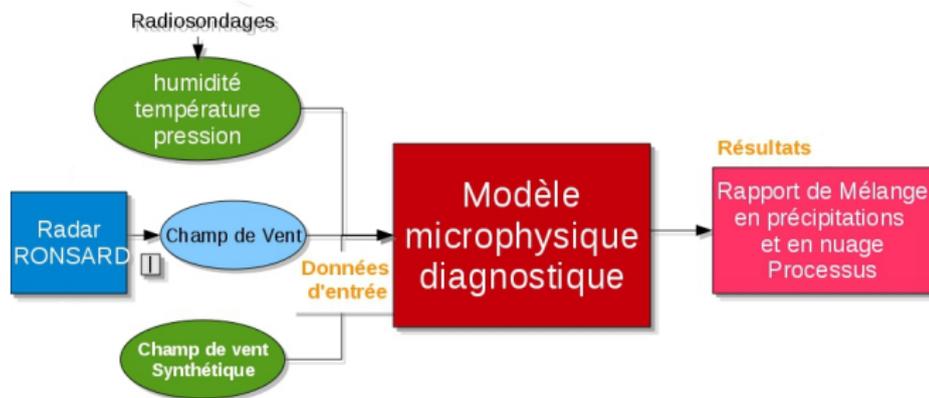
Graupel

Modèle microphysique et Observations



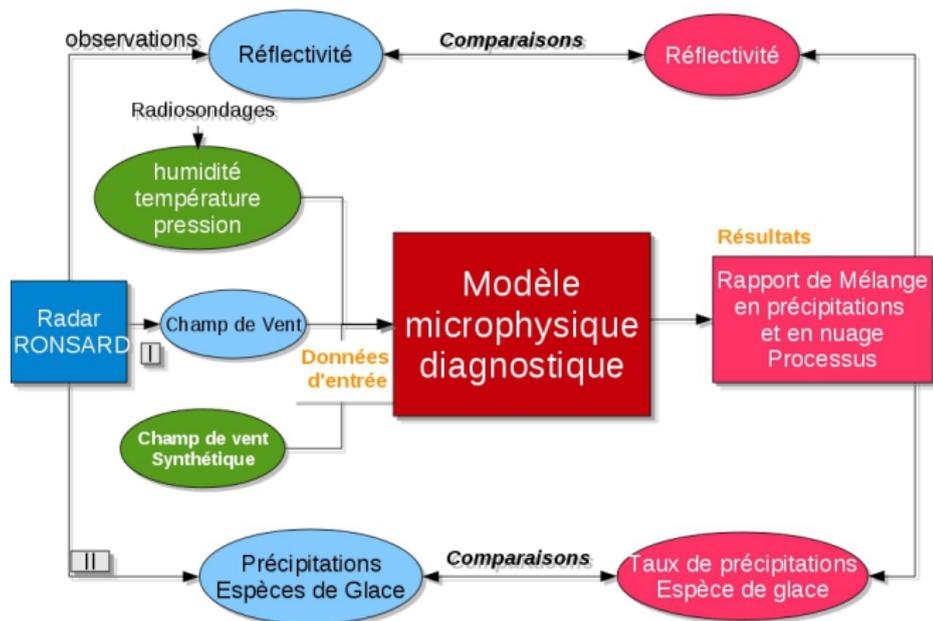
I - Restitution du champ de vent, Yvon Lemaître.

Modèle microphysique et Observations



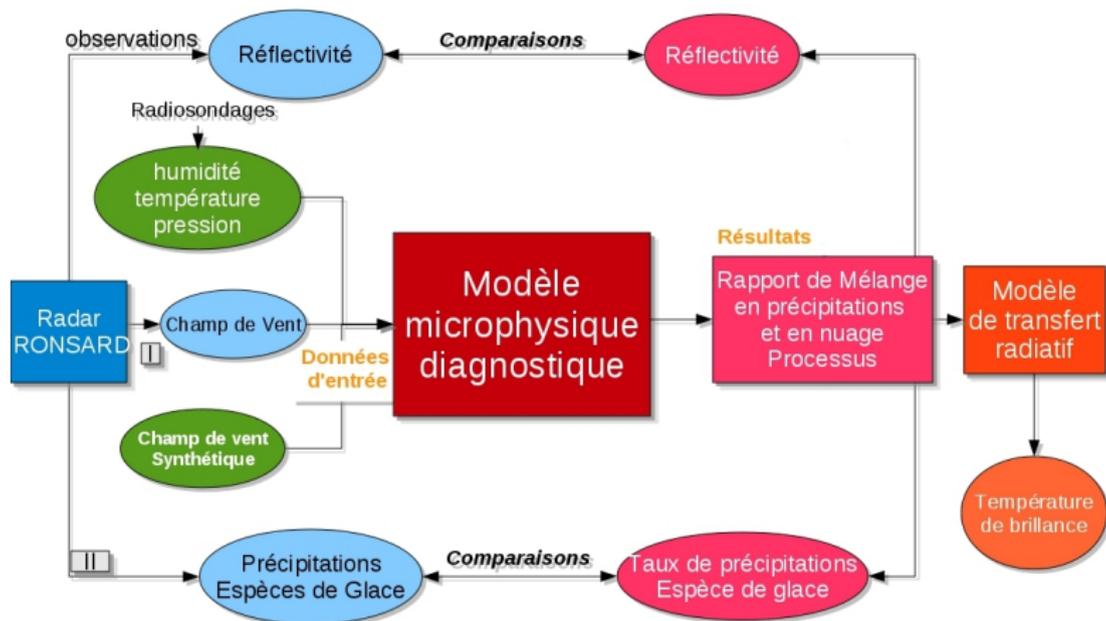
I - Restitution du champ de vent, Yvon Lemaître.

Modèle microphysique et Observations



I - Restitution du champ de vent, Yvon Lemaître.
 II - Classifications Polarimétriques, Evaristo (2009).

Modèle microphysique et Observations



I - Restitution du champ de vent, Yvon Lemaître.
 II - Classifications Polarimétriques, Evaristo (2009).

Le modèle microphysique

Développé par Hauser pour COPT 81 puis par Marécal pour FRONTS 87

Equations de continuité de la masse d'eau résolues par le modèle :

Nuage glace (qci) :

$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q_{ci} - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} q_{ci}) = S_{ci}$$

Nuage liquide (qcl) :

$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q_{cl} - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} q_{cl}) = S_{cl}$$

Précipitations glacées (qg) :

$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q_g - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} q_g) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_g q_g)}{\partial z} = S_g$$

Précipitations liquides (qr) :

$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q_r - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} q_r) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_r q_r)}{\partial z} = S_r$$

Eau total (qt) :

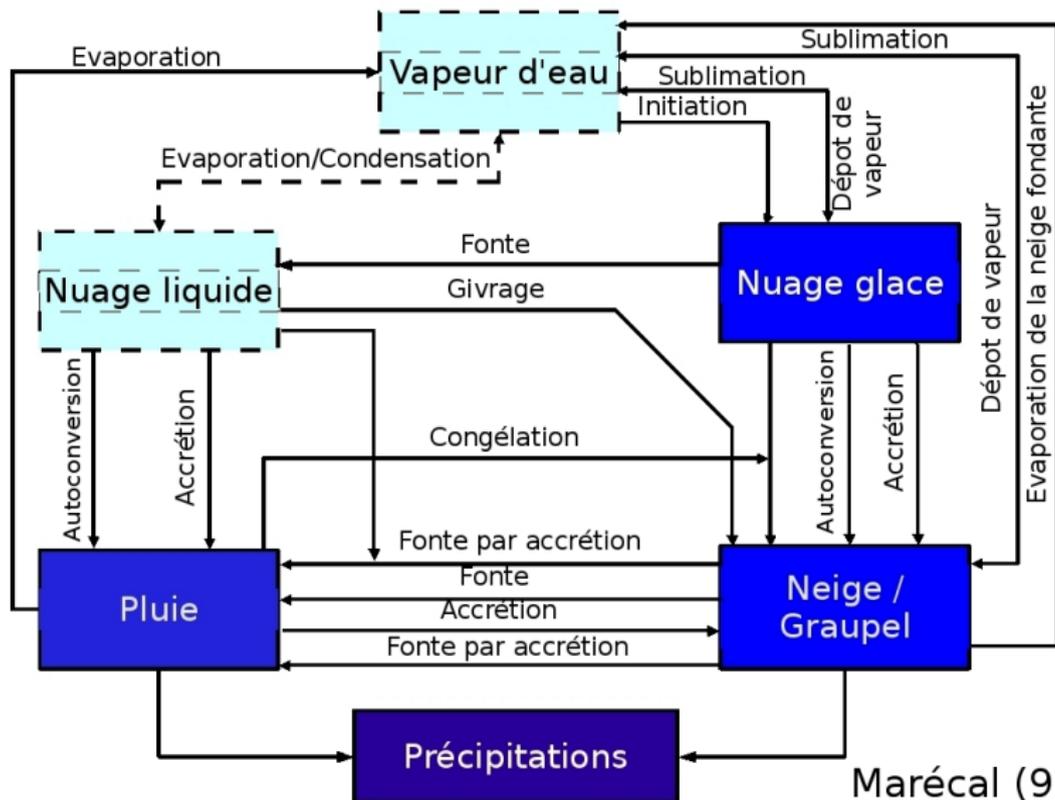
$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} q_t - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} q_t) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_r q_r)}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho V_g q_g)}{\partial z} = 0$$

Equation thermodynamique pour la résolution de la température potentielle :

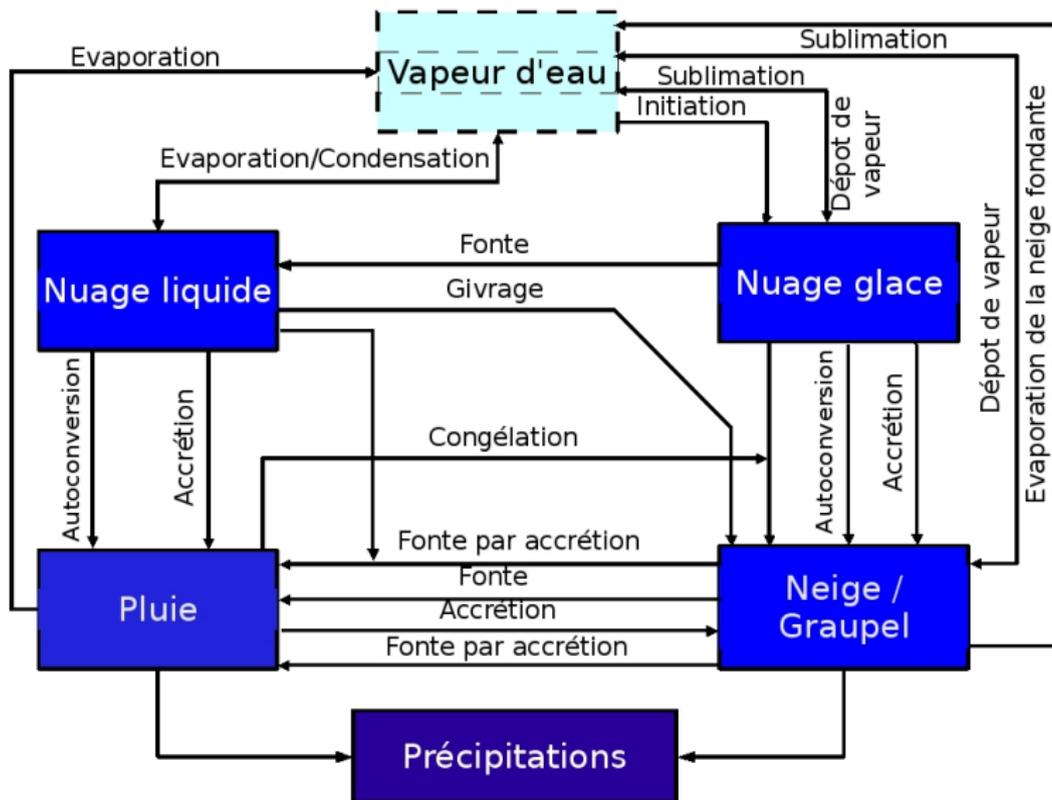
$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} \Theta - \vec{\nabla} (K_{diff} \vec{\nabla} (\Theta - \Theta_0)) = S_\Theta \quad (1)$$

Terme d'advection Terme de diffusion Terme de sédimentation Terme source-puit

Le modèle microphysique

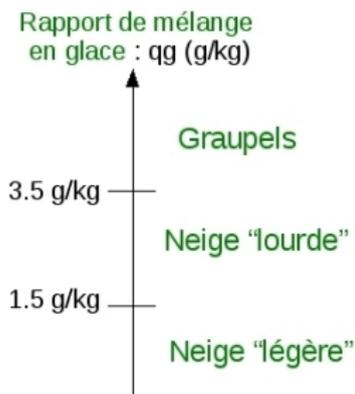


Le modèle microphysique



Développements

- Modulation des propriétés de la glace précipitante en fonction du rapport de mélange en glace (Seuils en accord avec Szeto et Cho (1994)).



- Résolution du rapport de mélange en nuage liquide
- Généralisation des distributions en taille des hydrométéores

- 1 Introduction
- 2 La ligne de grains du 28 juillet 2006
 - Observations
 - Restitutions
 - Cas simulé
 - Processus microphysiques
- 3 Glace précipitante
 - Importance glace précipitante
 - Hydrométéores les plus probables
 - Glace précipitante et taux de pluie
- 4 Températures de brillance (TB)
 - Modèle de transfert radiatif
 - Relations TB - Contenu en glace et pluie
 - Relations TB - Processus
- 5 Conclusions et perspectives

La ligne de grains du 28 juillet 2006

La ligne de grains du 28 juillet 2006 a été observée par le radar RONSARD, on a donc accès à un certain nombre de données :

- Réflectivité
- Champs de vent restitués
- Classifications polarimétriques
- Radiosondages

Ligne de grains documentée dans d'autres études :

- Lamrani 2008
- Evaristo 2009

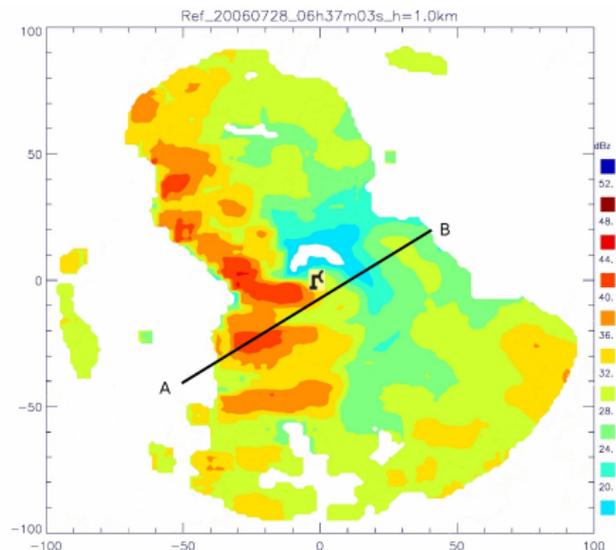


Fig.: Coupe horizontale de réflectivité autour du RONSARD

La ligne de grains du 28 juillet 2006

La ligne de grains du 28 juillet 2006 a été observée par le radar RONSARD, on a donc accès à un certain nombre de données :

- Réflectivité
- Champs de vent restitués
- Classifications polarimétriques
- Radiosondages

Ligne de grains documentée dans d'autres études :

- Lamrani 2008
- Evaristo 2009

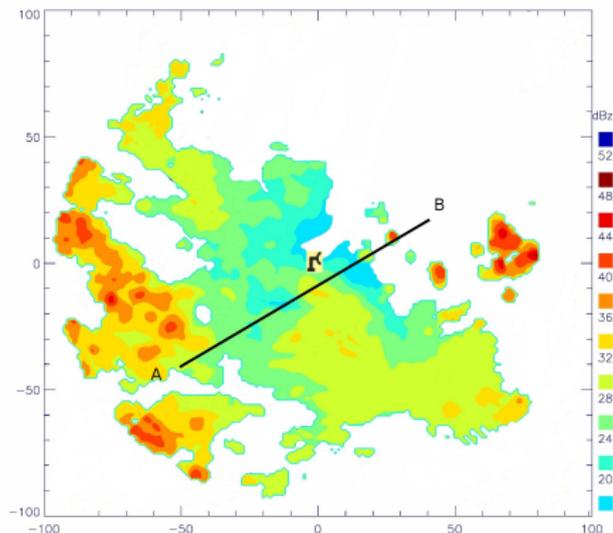
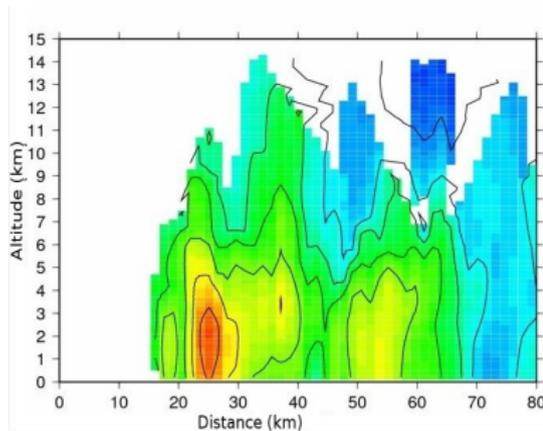


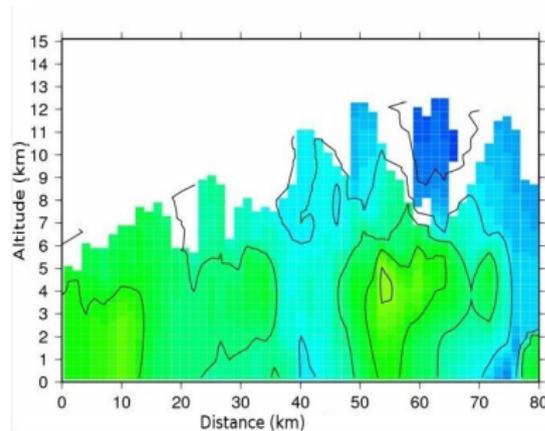
Fig.: Coupe horizontale de réflectivité autour du RONSARD

Réflexivité

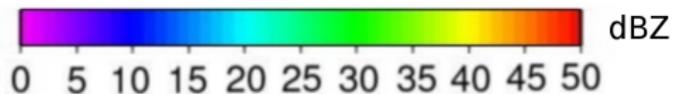
Observations du RONSARD



Réflexivité - 6h37

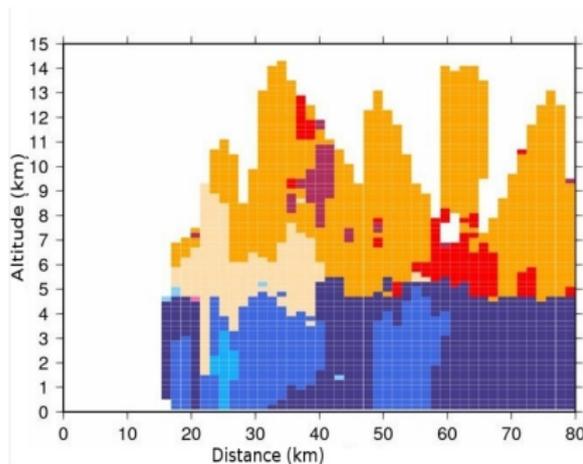


Réflexivité - 7H43

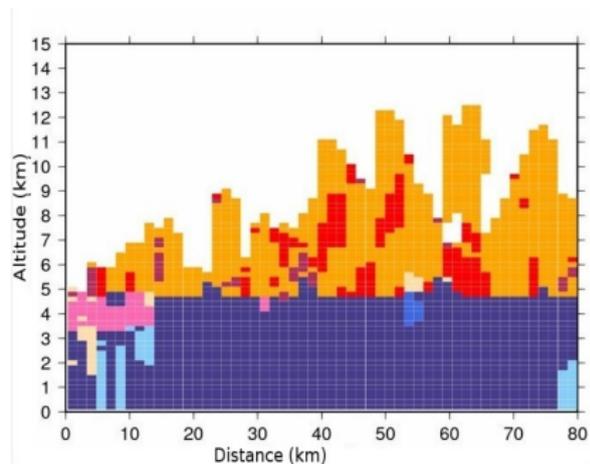


Classifications polarimétriques

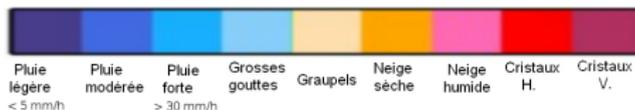
Evaristo (2009)



Classification - 6h37



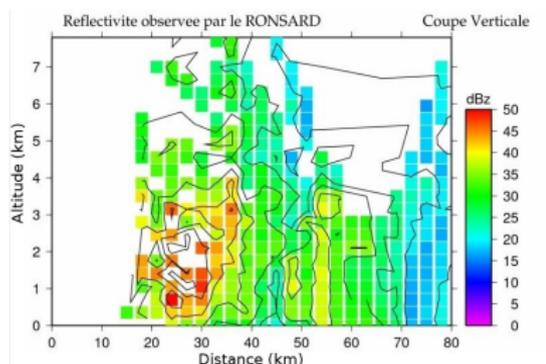
Classification - 7h43



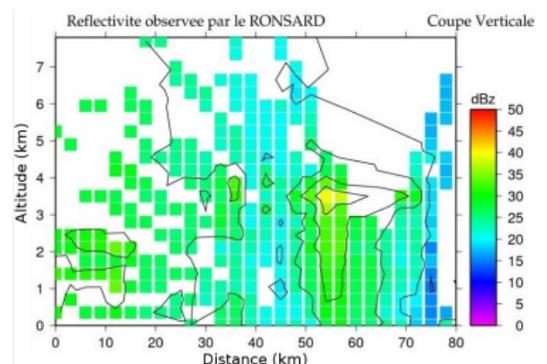
Evaristo (2009)

Champ de vent

Champ de vent du RONSARD restitué à partir de 2 séries de 2 observations séparées d'une heure (6h37 et 7h43)



Réflexivité - 6h37



Réflexivité - 7h43

Radiosondage Etat initial du modèle

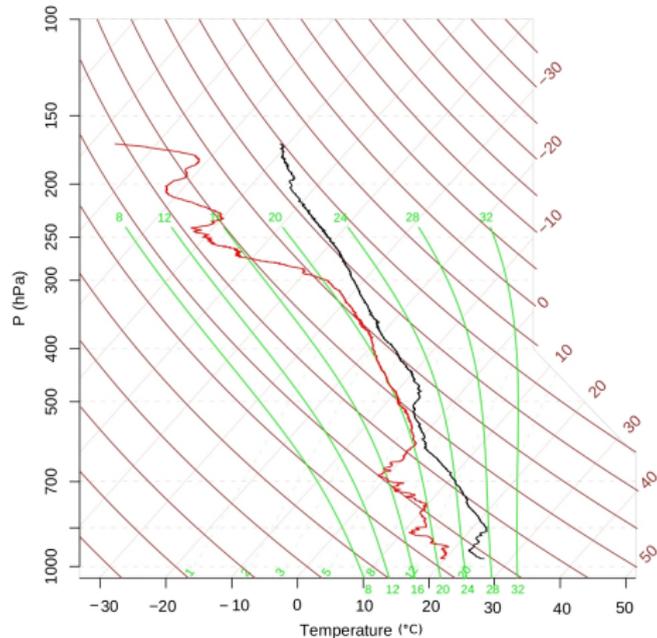
Radiosondage

- Température
- Pression
- Humidité

Emagramme du radiosondage de Parakou du 28 juillet 2006 à 10h.



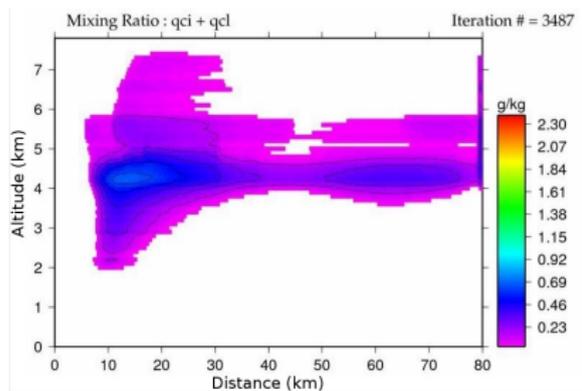
Radiosondage du 2006-07-28 à 10h



La ligne de grains du 28 juillet 2006

Sorties du modèle microphysique

Champ de vent de composite de "7h05" - Radiosondage de 10h .

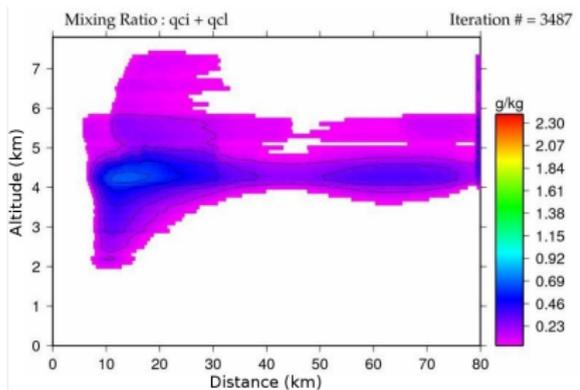


Nuage

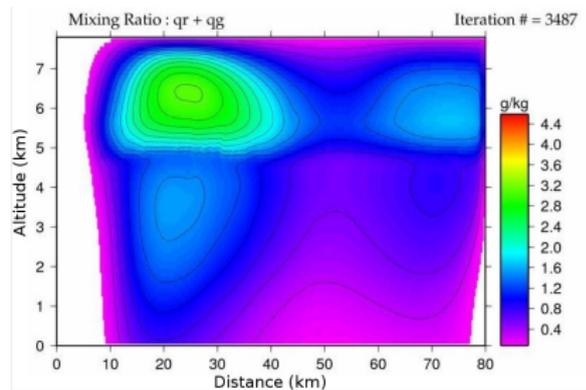
La ligne de grains du 28 juillet 2006

Sorties du modèle microphysique

Champ de vent de composite de "7h05" - Radiosondage de 10h .



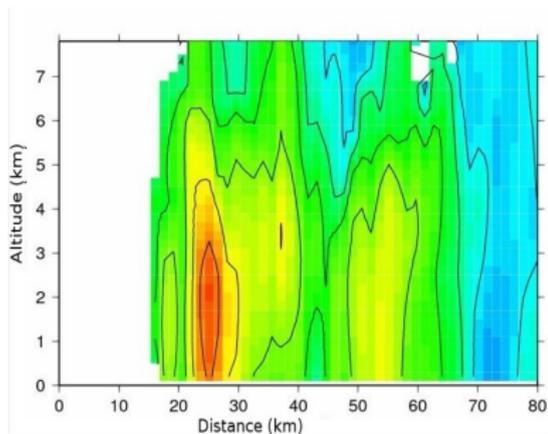
Nuage



Precipitations

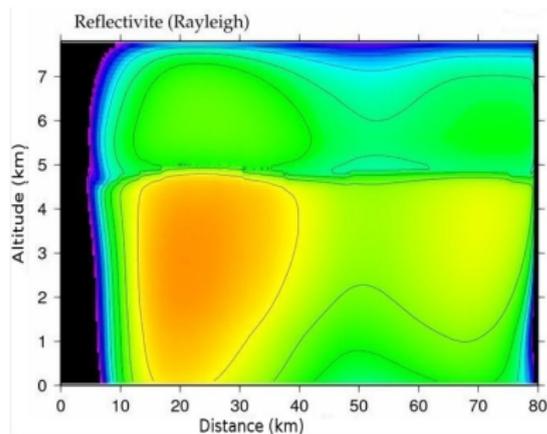
Validation avec le radar

Observation



Réflectivité - 6h37

Restitution

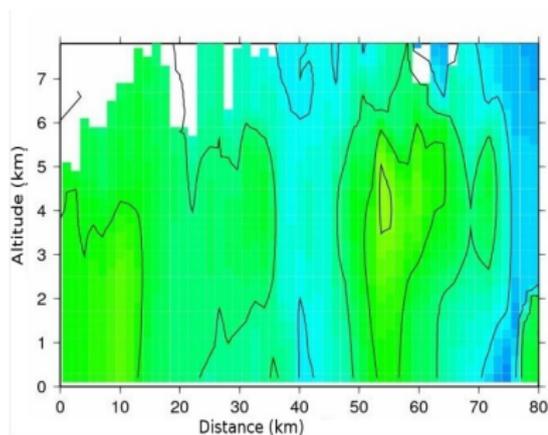


Réflectivité (dBZ)



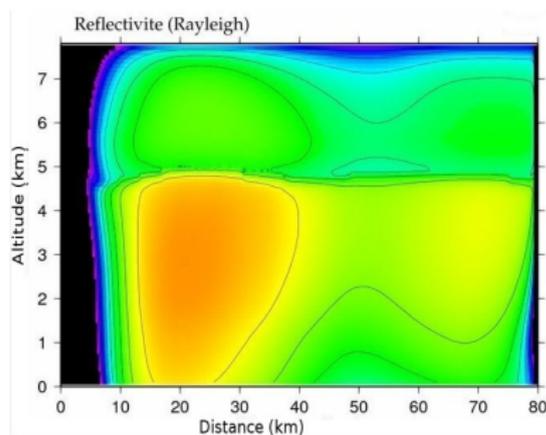
Validation avec le radar

Observation



Réflectivité - 7h43

Restitution

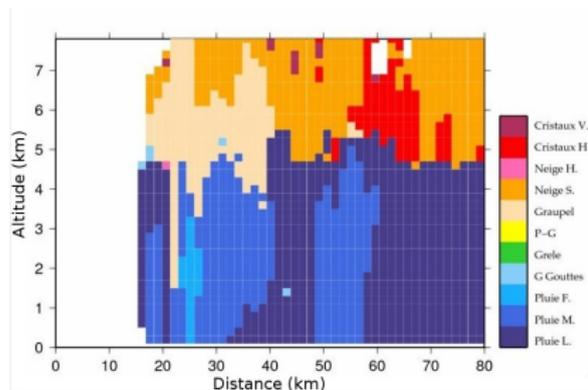


Réflectivité (dBZ)



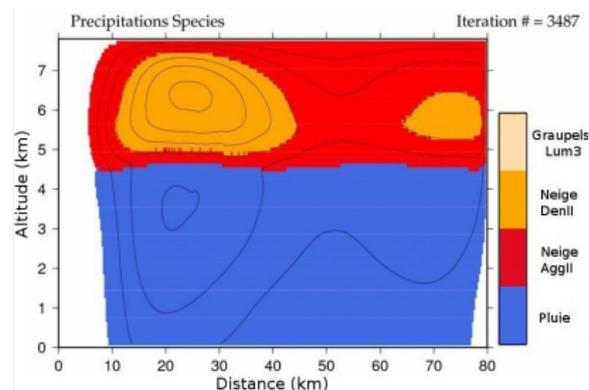
Validation avec le radar

Classification



Classification - 6h37 - Evaristo (2009)

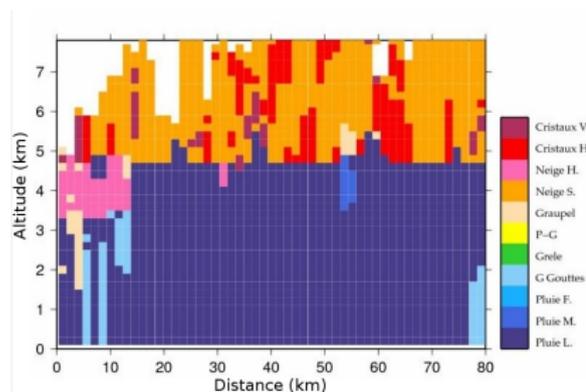
Restitution



Répartition des hydrométéores

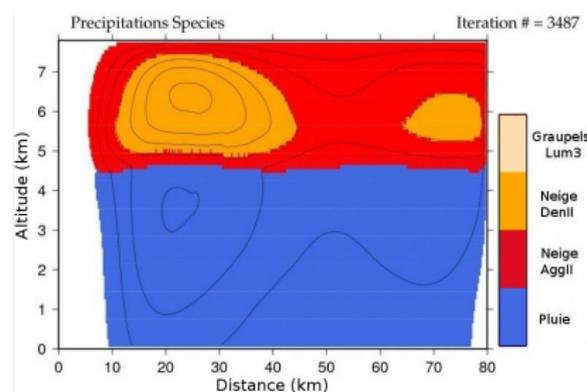
Validation avec le radar

Classification



Classification - 7h43 - Evaristo (2009)

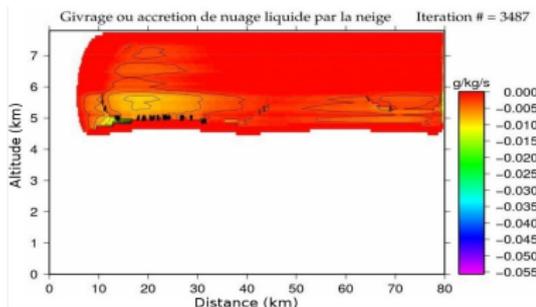
Restitution



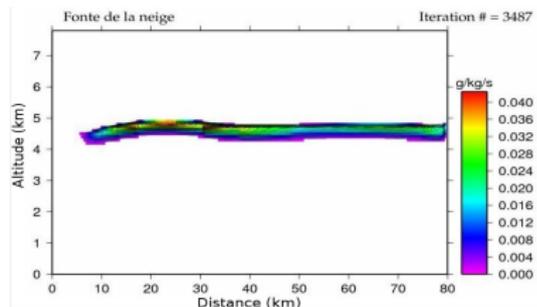
Répartition des hydrométéores

Processus microphysiques

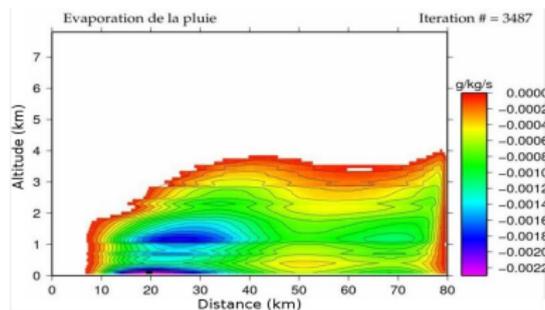
Sorties du modèle microphysique



Givrage



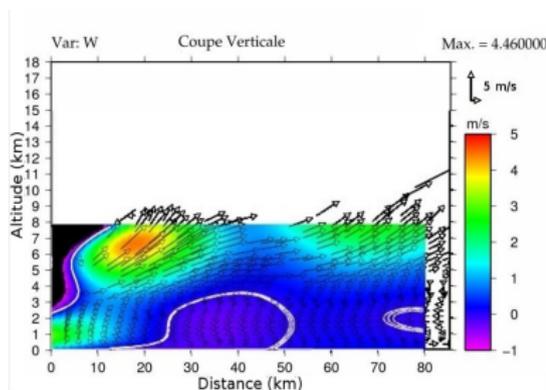
Fonte



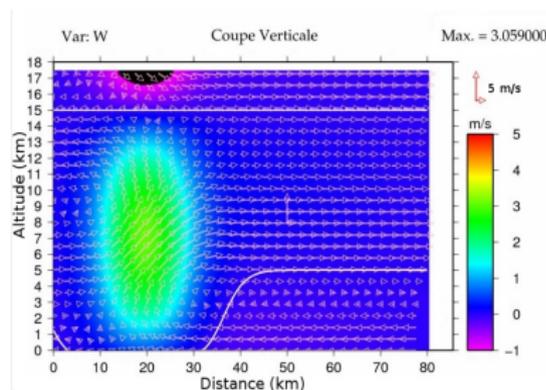
Evaporation

Champ de vent

Champ de vent synthétique avec les caractéristiques des champs de vent du RONSARD.



Champ restitué (Lemaître)

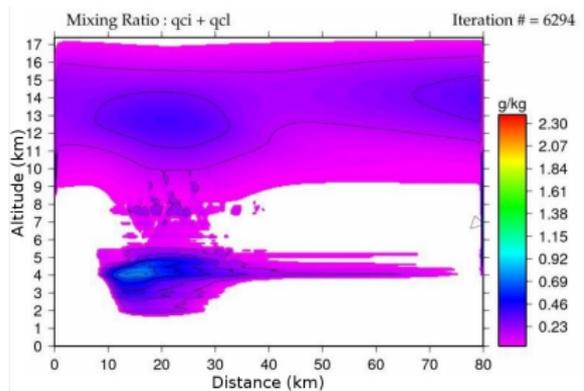


Champ synthétique

Champs restitués

Sorties du modèle microphysique

Champ de vent synthétique - Radiosondage de 10h .

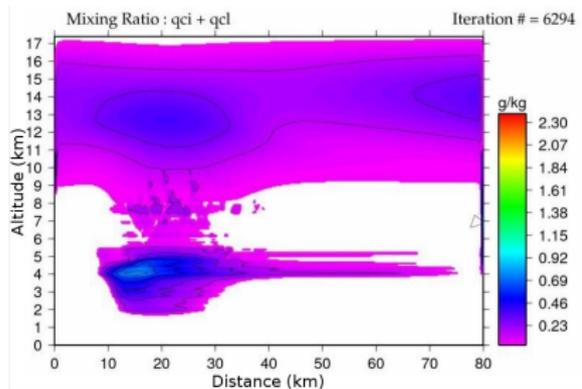


Nuage

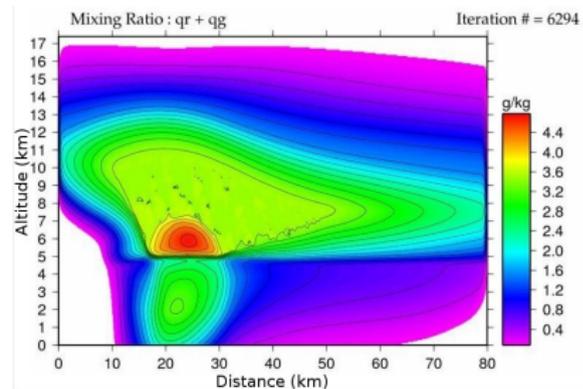
Champs restitués

Sorties du modèle microphysique

Champ de vent synthétique - Radiosondage de 10h .



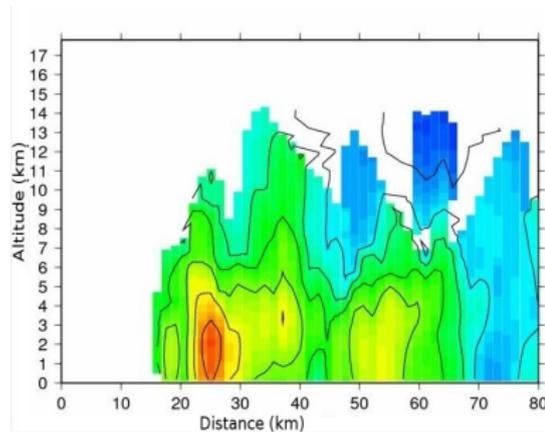
Nuage



Précipitations

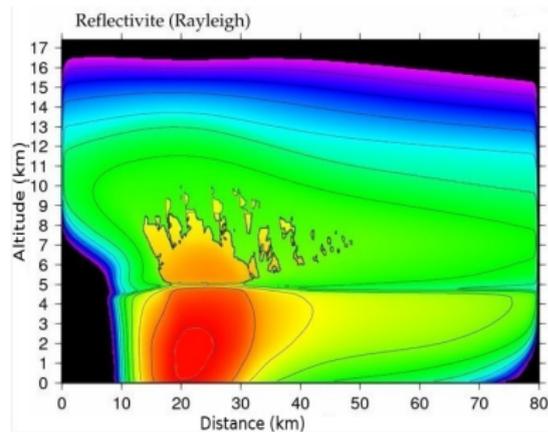
Validation avec le radar

Observation

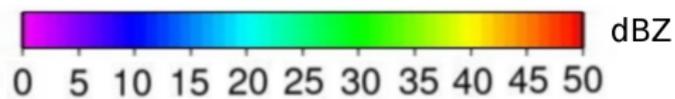


Réflectivité - 6h37

Restitution

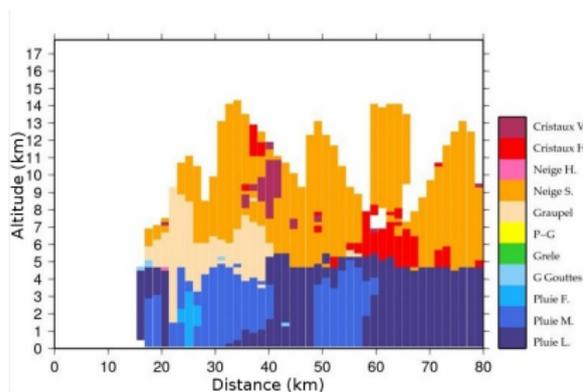


Réflectivité (dBZ)



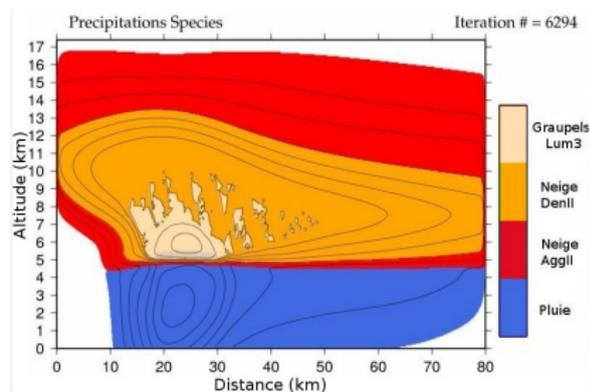
Validation avec le radar

Classification



Classification - 6h37 - Evaristo (2009)

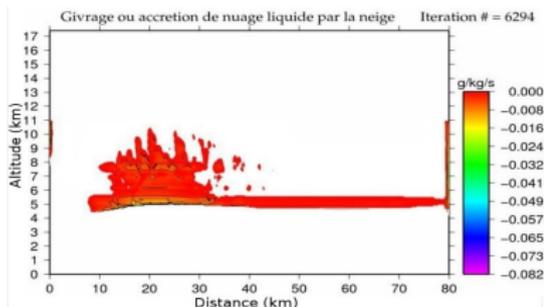
Restitution



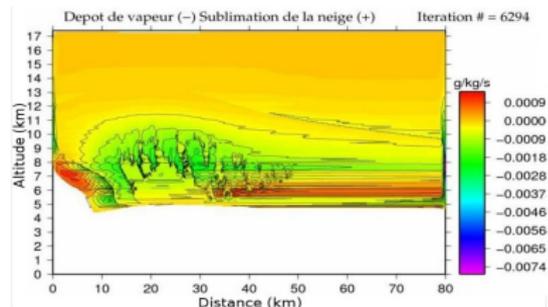
Répartition des hydrométéores

Processus en phase glace

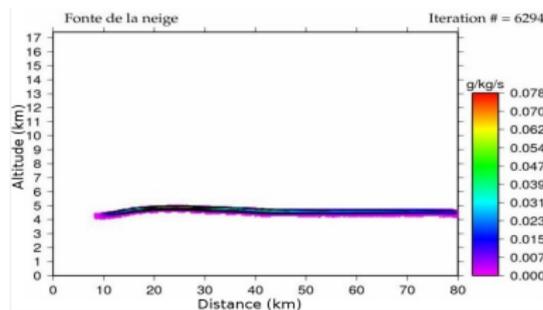
Sorties du modèle microphysique



Givrage



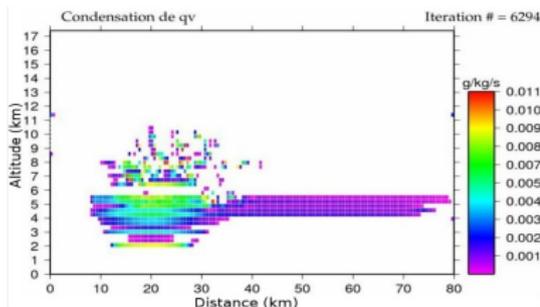
Dépôt de vapeur



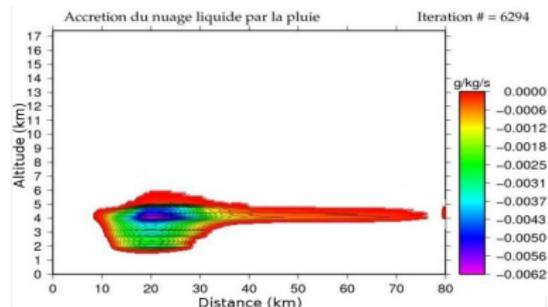
Fonte

Processus en phase liquide

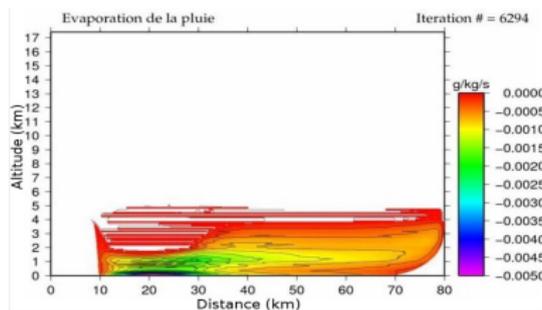
Sorties du modèle microphysique



Condensation

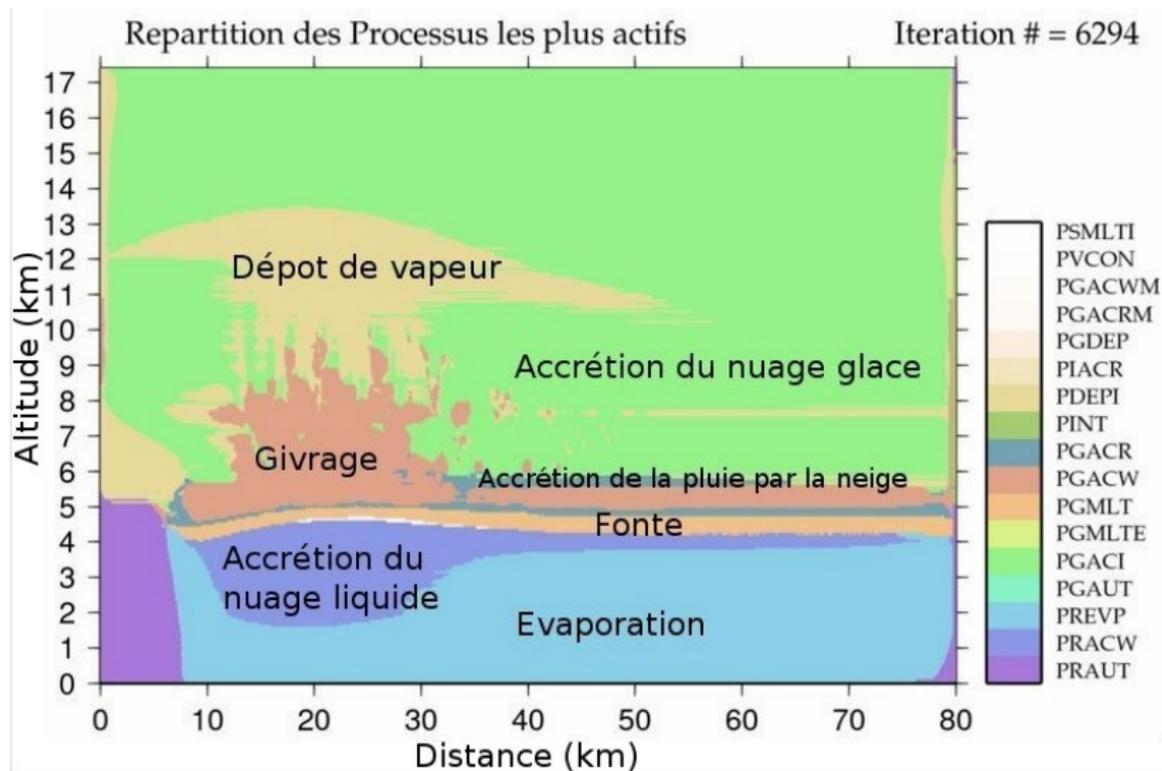


Accrétion du nuage liquide



Evaporation

Répartition des processus microphysiques



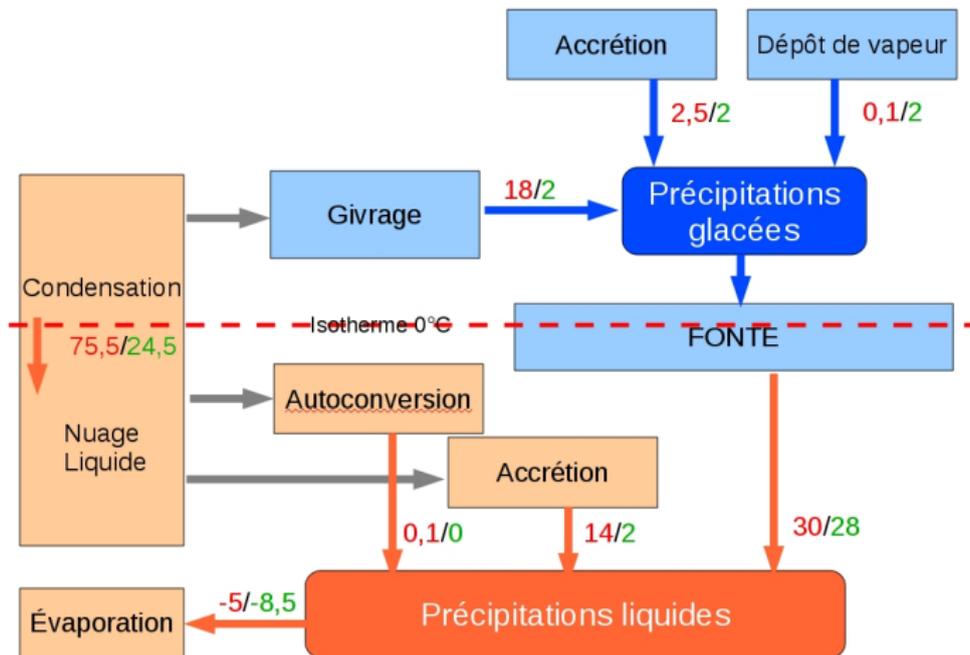
Importance relative des processus

Importance des différents processus exprimée en pourcentage du terme source des précipitations liquides

		Ligne de grains	Partie convective	Partie Stratiforme
Terme source de la pluie	-	15-75 km	15-35 km	45-75 km
	$10^{-2} \text{ g.kg}^{-1} . \text{s}^{-1}$	50	30	20
Accrétion	%	20.5	31.5	3
Fonte	%	62	47	85.5
Autres processus	%	17.5	21.5	11.5
Évaporation	%	-18.5	-11	-30

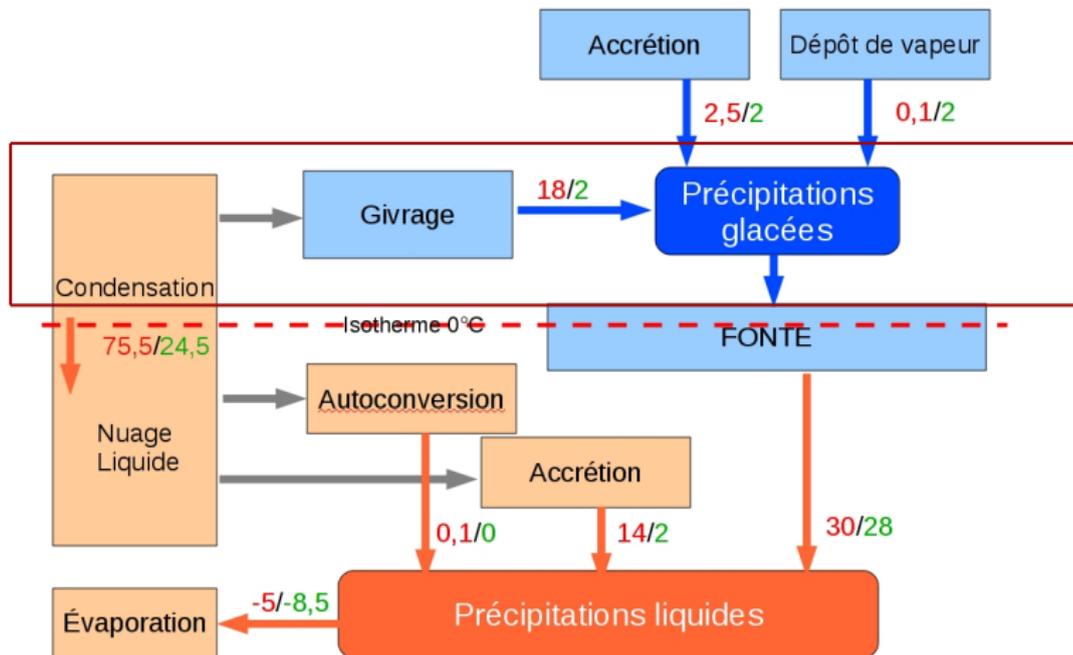
Importance de l'accrétion et de la fonte dans la partie convective
 Importance de la fonte dans la partie stratiforme

Processus et précipitations



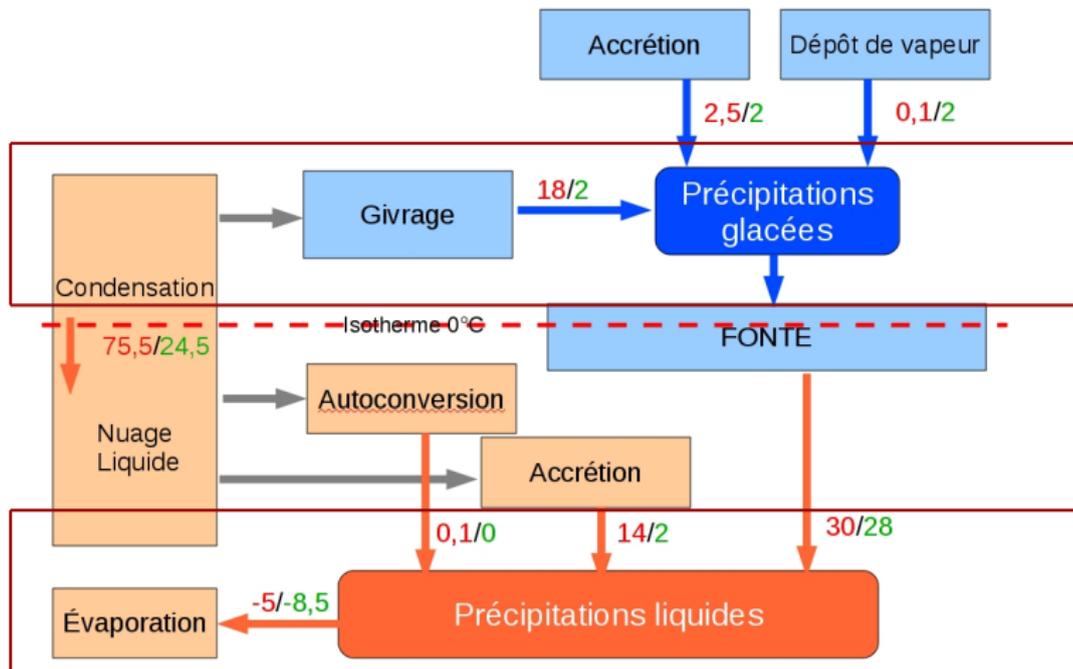
Partie convective / Partie stratiforme

Processus et précipitations



Partie convective / Partie stratiforme

Processus et précipitations



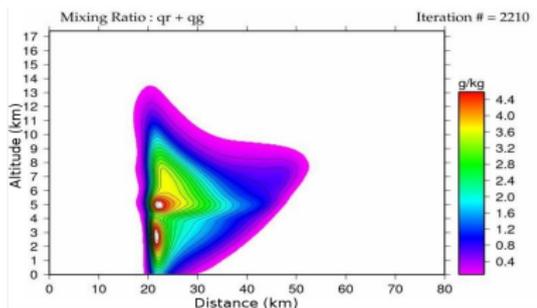
Partie convective / Partie stratiforme

Conclusion étude de la ligne de grains du 28 juillet 2006

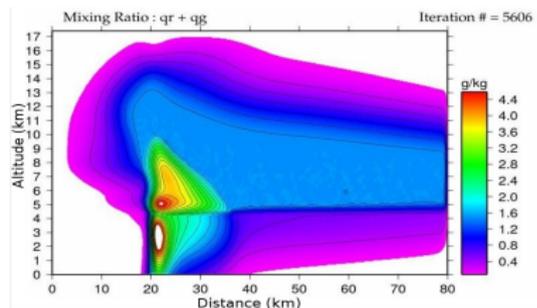
- Restitutions en accord avec les observations du RONSARD et les classifications.
- Identification des processus importants.
- Rôle de la glace précipitante et de la fonte dans la formation des précipitations.

- 1 Introduction
- 2 La ligne de grains du 28 juillet 2006
 - Observations
 - Restitutions
 - Cas simulé
 - Processus microphysiques
- 3 Glacé précipitante**
 - **Importance glacé précipitante**
 - **Hydrométéores les plus probables**
 - **Glacé précipitante et taux de pluie**
- 4 Températures de brillance (TB)
 - Modèle de transfert radiatif
 - Relations TB - Contenu en glacé et pluie
 - Relations TB - Processus
- 5 Conclusions et perspectives

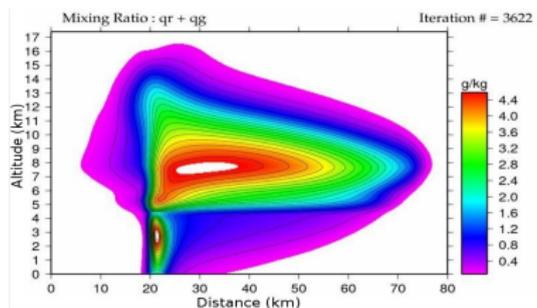
Importance de la glace précipitante



Graupels lourds uniquement

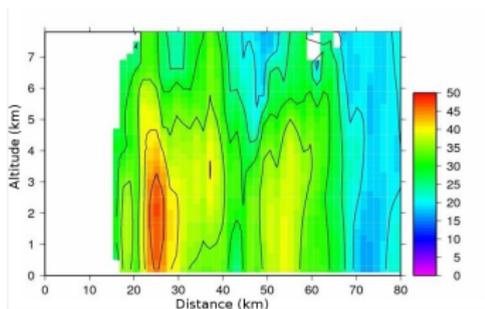


Graupels denses et neige légère

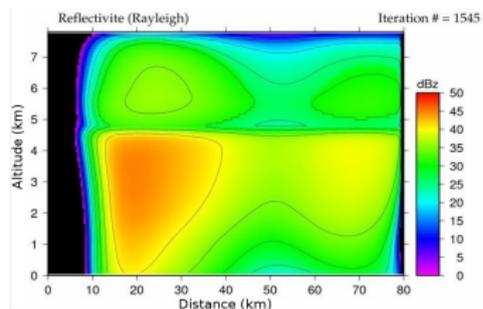


Dendrites uniquement

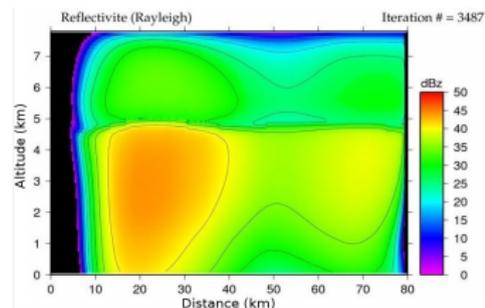
Détermination des hydrométéores les plus probables.



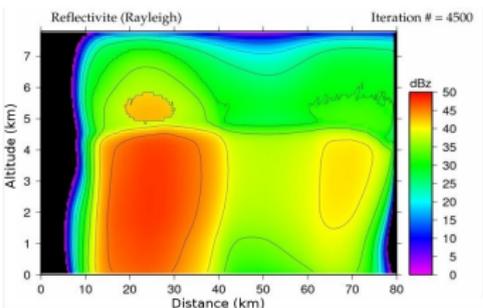
Réflectivité radar



Agrégats (Aggla et Agglb)



Dendrites (II) et agrégats (AggII)

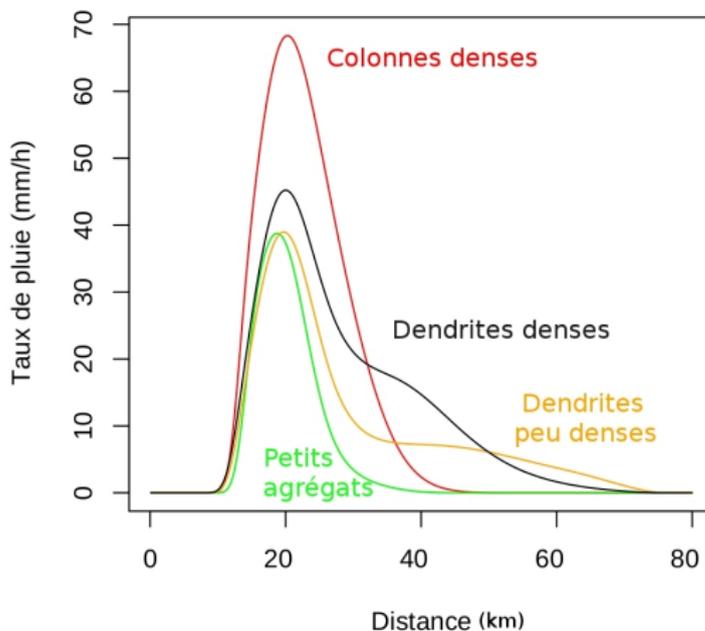


Lump, colonne et dendrites

Taux de pluie

Champ de vent synthétique - Neige

Taux de pluie au sol



Influence du type de glace précipitante sur les processus

Champ de vent synthétique - Graupels et neige

Convection		Glace précipitante			
Terme source total de la glace précipitante	10^{-2} $g.kg^{-1}.s^{-1}$	Agrégats	dendrites II	dendrites 9	Colonnes
		42	29	29	30
Dépôt de vapeur	%	55	48	41	29
Givrage	%	21	32	35	42
fonte	%	-21	-26	-37	-59

Partie stratiforme		Glace précipitante			
Terme source total de la glace précipitante	10^{-2} $g.kg^{-1}.s^{-1}$	Agrégats	dendrites II	dendrites 9	Colonnes
		45	17	13	08
Dépôt de vapeur	%	60	47	40	27
Givrage	%	11	9	11	30
fonte	%	-26	-102	-130	-107

L'activité des processus dépend du type d'hydrométéore
 Importance du transport Partie convective -> Partie stratiforme

Conclusion glace précipitante et taux de pluie

- Influence du type de neige représenté sur le taux de précipitations au sol.
- Précipitations convectives importantes lorsque la neige est dense.
- Précipitations stratiformes importantes lorsque la neige est peu dense.

- 1 Introduction
- 2 La ligne de grains du 28 juillet 2006
 - Observations
 - Restitutions
 - Cas simulé
 - Processus microphysiques
- 3 Glace précipitante
 - Importance glace précipitante
 - Hydrométéores les plus probables
 - Glace précipitante et taux de pluie
- 4 **Températures de brillance (TB)**
 - **Modèle de transfert radiatif**
 - **Relations TB - Contenu en glace et pluie**
 - **Relations TB - Processus**
- 5 Conclusions et perspectives

Modèle de transfert radiatif

Sorties du modèle

Contenu en eau et en glace :
Nuage liquide et glace
Graupel et neige
pluie

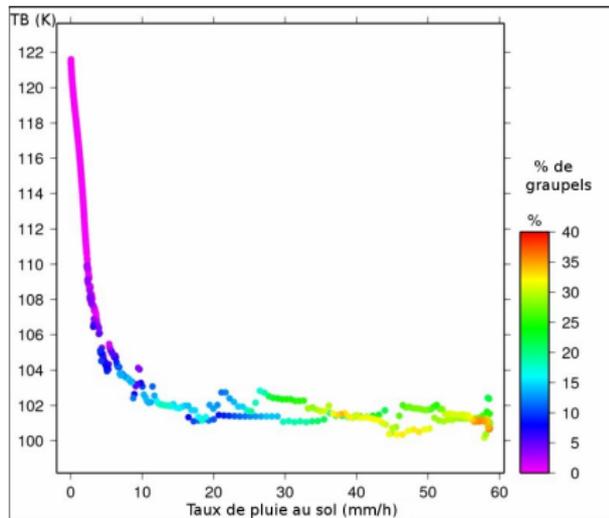
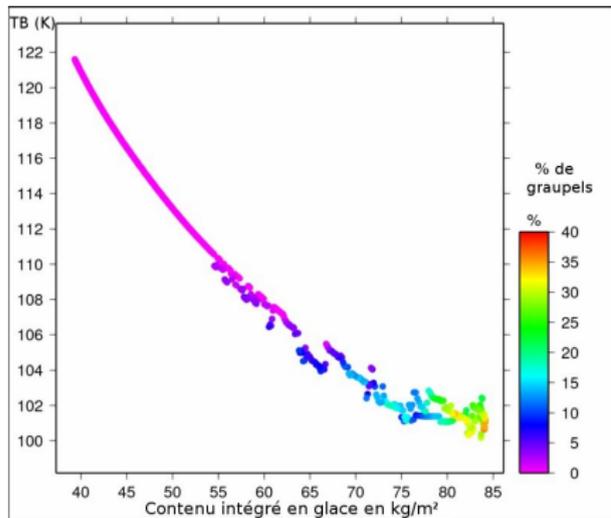
Modèle
de transfert
radiatif

Kummerow et Weinman (1988)
Modèle plans parallèles
Utilisant l'approximation d'Eddington

Température
de brillance

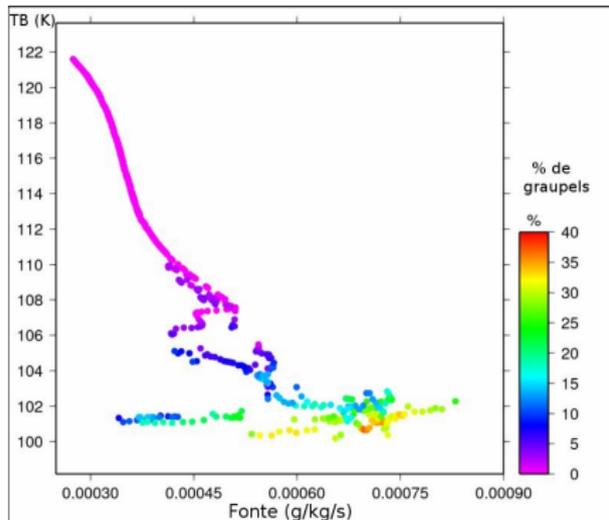
32 GHz
85 GHz / 92 GHz
157 GHz

Température de brillance

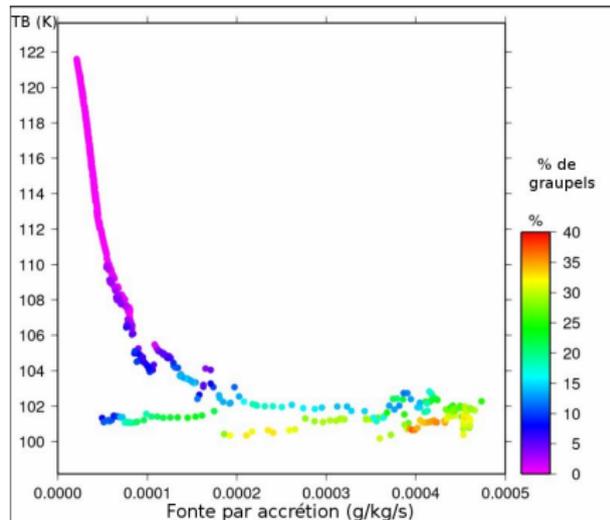


Relation linéaire entre contenu en glace et température de brillance
Relation entre taux de pluie et température de brillance modulée par le pourcentage de graupels

Relations Température de brillance - Processus



Fonte



Fonte par accréation

- 1 Introduction
- 2 La ligne de grains du 28 juillet 2006
 - Observations
 - Restitutions
 - Cas simulé
 - Processus microphysiques
- 3 Glace précipitante
 - Importance glace précipitante
 - Hydrométéores les plus probables
 - Glace précipitante et taux de pluie
- 4 Températures de brillance (TB)
 - Modèle de transfert radiatif
 - Relations TB - Contenu en glace et pluie
 - Relations TB - Processus
- 5 Conclusions et perspectives

Conclusions

- Restitutions de la ligne de grains du 28 juillet 2006 en accord avec les observations du RADAR et des classifications polarimétriques
- Corrélation entre intensité des processus microphysiques et l'intensité du vent(U , W et U/W).
- Trois espèces de glace sont nécessaires pour restituer la partie convective et la partie stratiforme de la ligne de grains
- Établissement d'une carte de répartition des processus les plus actifs (champs de vent synthétiques ou réels)

Conclusions

- Importance des précipitations glacées dans la formation de la pluie : 50 % dans la convection , 90 % dans la partie stratiforme.
- Processus source de la glace précipitante : Givrage ($\sim 25\%$), Dépôt de vapeur ($\sim 32\%$) et Accrétion de la pluie par la neige ($\sim 36\%$).
- Processus source de la pluie : Fonte par accrétion ($\sim 16\%$), Accrétion du nuage liquide ($\sim 20\%$) et Fonte ($\sim 62\%$)
- Importance de la condensation dans formation du nuage liquide et de l'évaporation dans les basses couches ($\sim 18\%$).
- Problèmes numériques et des données d'initialisation :
 - Problèmes de sondes pour les radiosondages de Parakou.
 - Difficulté de la restitution des champs de vent avec un seul radar.
 - Instabilités numériques de la méthode de restitution microphysique.

Perspectives

- Améliorer le critère de sélection entre graupels et neige.
- Affiner les propriétés de la glace représentatives des lignes de grains (relations masse-diamètres, vitesse-diamètre, PSD (gamma) . . .)
- Réaliser une statistique sur de nombreux cas pour généraliser les résultats obtenus :
 - Campagne de validation de Mégha-Tropique à Niamey (2010)
 - Comparaisons avec les mesures in-situ
- Etablir les relations entre températures de brillances, processus microphysiques et taux de pluie au sol.
- Améliorer l'estimation des pluies par satellite.

Merci

Merci