



Développement et évaluation d'un modèle tridimensionnel de nuage mixte à microphysique détaillée :

Application aux précipitations orographiques

Céline Planche

Sous la direction de : A. Flossmann
W. Wobrock



LES PRÉCIPITATIONS

Motivation :

- ▶ précipitations diluviennes → inondations avec dommages humains et matériels considérables



LES PRÉCIPITATIONS

Motivation :

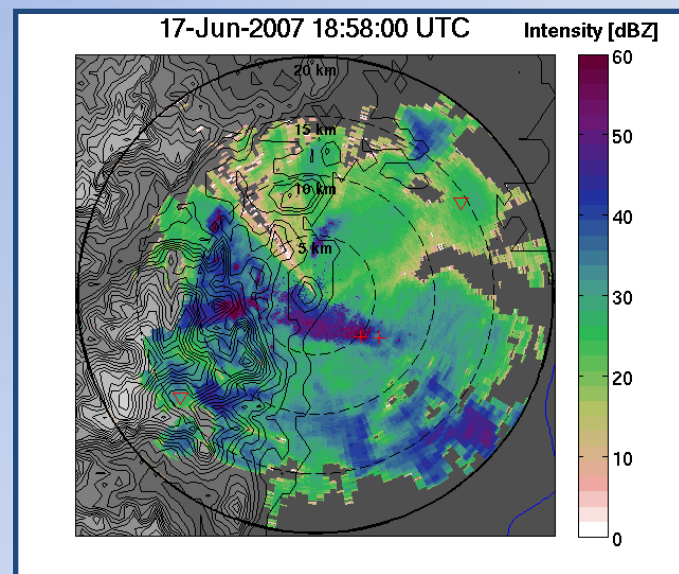
- ▶ précipitations diluviennes → inondations avec dommages humains et matériels considérables
- ▶ zones montagneuses = crues éclairs



LES PRÉCIPITATIONS

Motivation :

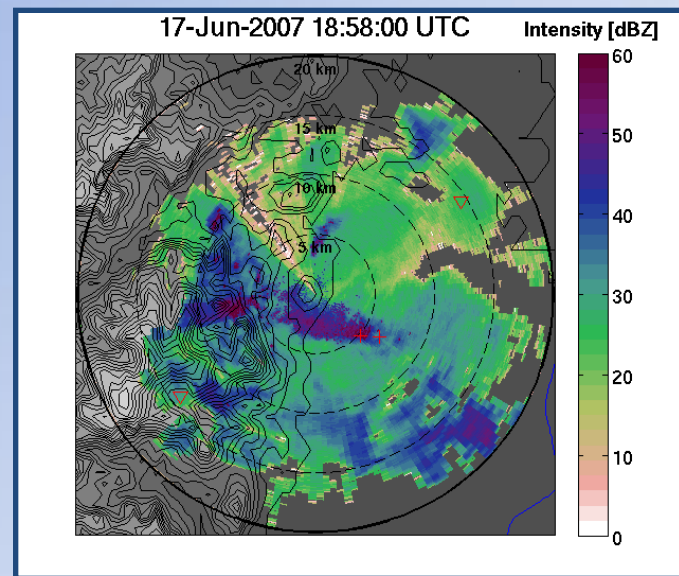
- ▶ précipitations diluviennes → inondations avec dommages humains et matériels considérables
- ▶ zones montagneuses = crues éclairs
- ▶ hétérogénéités spatiales et temporelles
- ▶ difficilement prévisibles



LES PRÉCIPITATIONS

Motivation :

- ▶ précipitations diluviennes → inondations avec dommages humains et matériels considérables
- ▶ zones montagneuses = crues éclairs
- ▶ hétérogénéités spatiales et temporelles
- ▶ difficilement prévisibles
- ▶ études à petite échelle nécessaires



OBSERVATIONS À L'ÉCHELLE LOCALE



Radar en bande X

- Radar : mesure des champs précipitants
 - ▶ haute résolution spatiale (60 m)
 - ▶ haute résolution temporelle (30 s)
 - ▶ portée maximale (20 km)
 - ▶ angle d'élévation (5°)

OBSERVATIONS À L'ÉCHELLE LOCALE



Radar en bande X

- Radar : mesure des champs précipitants
 - ▶ haute résolution spatiale (60 m)
 - ▶ haute résolution temporelle (30 s)
 - ▶ portée maximale (20 km)
 - ▶ angle d'élévation (5°)
 - ▶ limitation : 1 seul angle d'élévation
→ structure verticale inconnue
 - ▶ mesure indirecte : besoin d'hypothèses pour estimer les précipitations au sol

OBSERVATIONS À L'ÉCHELLE LOCALE

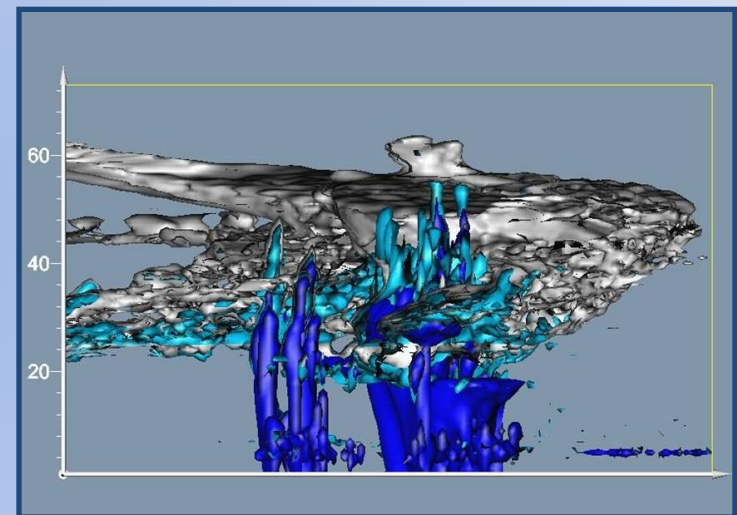


Radar en bande X

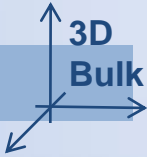
- Radar : mesure des champs précipitants
 - ▶ haute résolution spatiale (60 m)
 - ▶ haute résolution temporelle (30 s)
 - ▶ portée maximale (20 km)
 - ▶ angle d'élévation (5°)
 - ▶ limitation : 1 seul angle d'élévation
→ structure verticale inconnue
 - ▶ mesure indirecte : besoin d'hypothèses pour estimer les précipitations au sol
- Pluviomètre : mesure directe et ponctuelle

MODÉLISATION À L'ÉCHELLE LOCALE

- ▶ caractérisation des champs précipitants à haute résolution spatiale
- ▶ comprendre les nombreux processus et leurs interactions
- ▶ comprendre la dynamique et la microphysique mises en jeu dans les précipitations
- ▶ validation de la modélisation par les observations
- ▶ nécessité de la meilleure représentation possible des processus microphysiques



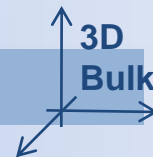
OUTILS DE MODÉLISATION



Modélisation: Couplage d'un schéma dynamique et microphysique

schéma dynamique 3D
Clark et al. (1996, 2007)

OUTILS DE MODÉLISATION



Modélisation: Couplage d'un schéma dynamique et microphysique

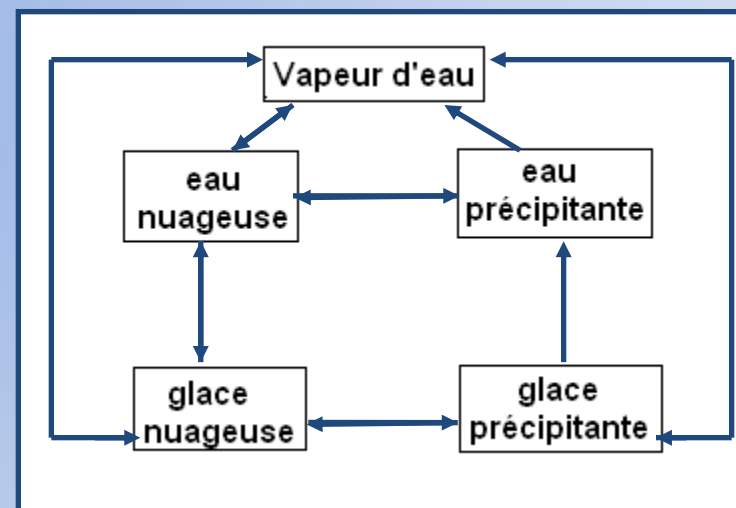
schéma dynamique 3D

Clark et al. (1996, 2007)

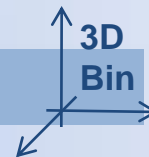
schéma microphysique paramétrée :
« type bulk »

Contenus en eau nuageuse / précipitante
→ 1 paramètre : la masse

Contenus en glace nuageuse / précipitante
→ 2 paramètres : masse & nombre



OUTILS DE MODÉLISATION

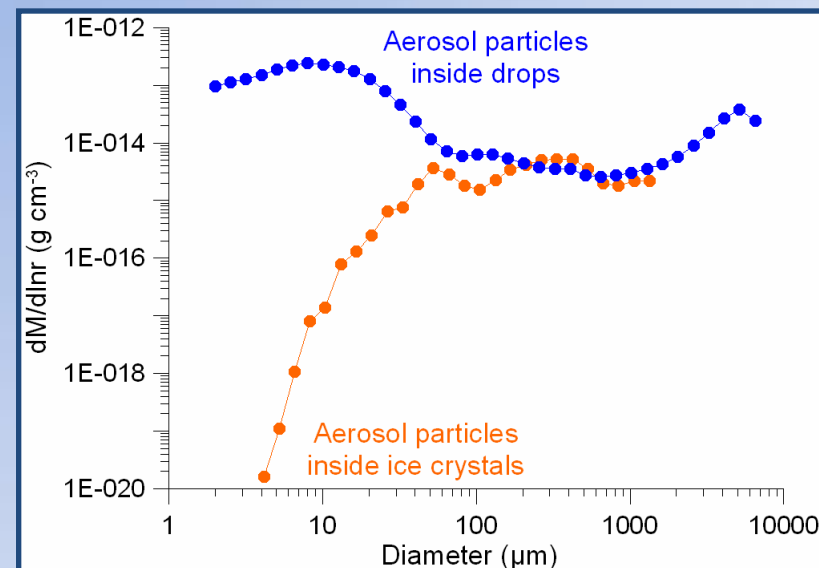
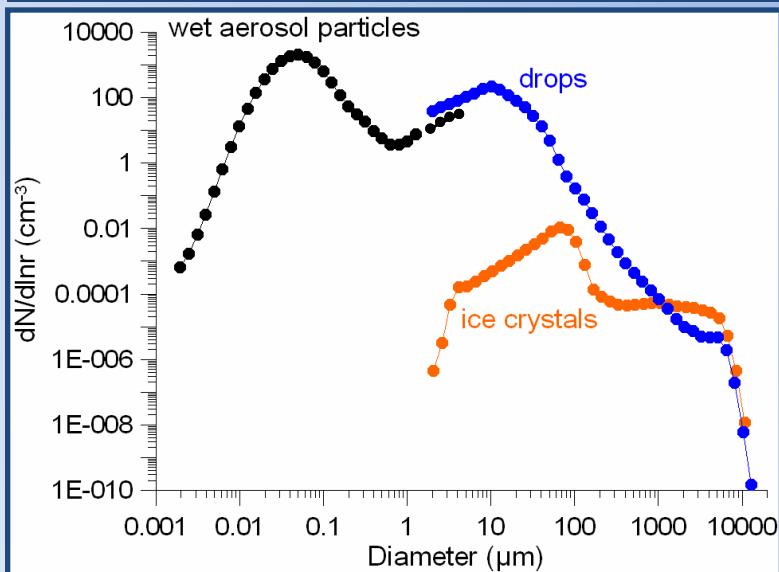


Modélisation: Couplage d'un schéma dynamique et microphysique

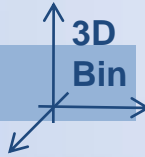
schéma dynamique 3D
Clark et al. (1996, 2007)

**schéma microphysique
détaillée : DESCAM « type bin »**

5 distributions pour décrire les
hydrométéores



OUTILS DE MODÉLISATION

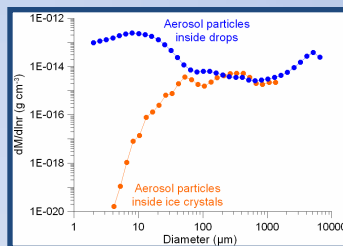
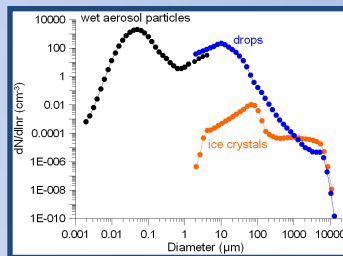


Modélisation: Couplage d'un schéma dynamique et microphysique

schéma dynamique 3D
Clark et al. (1996, 2007)

**schéma microphysique
détaillée : DESCAM « type bin »**

5 distributions pour décrire les
hydrométéores



- Processus microphysiques chauds :

Croissance et activation des particules
d'aérosol, désactivation des gouttelettes,
croissance des gouttes par
condensation et collision-coalescence

- Processus microphysiques froids :

Nucléations homogène et hétérogène,
croissance par dépôt de vapeur
d'eau, givrage et fonte

INTRODUCTION : OBJECTIF DE CE TRAVAIL DE THÈSE

Objectif de la thèse :

Compréhension de la distribution spatiale et temporelle des précipitations convectives en terrain complexe :

- leur modélisation
- comparaison avec des observations radars
- étudier la microphysique des précipitations : de la formation du nuage (rôle des particules d'aérosol) à sa conversion en précipitations (bande brillante)

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- 1) Étude dynamique :**
 - localisation des précipitations
 - 2) Étude microphysique :**
 - quantification des précipitations
 - 3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :**
 - fonte des cristaux
- Conclusions et perspectives**

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1) Étude dynamique :

- localisation des précipitations

2) Étude microphysique :

- quantification des précipitations

3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :

- fonte des cristaux

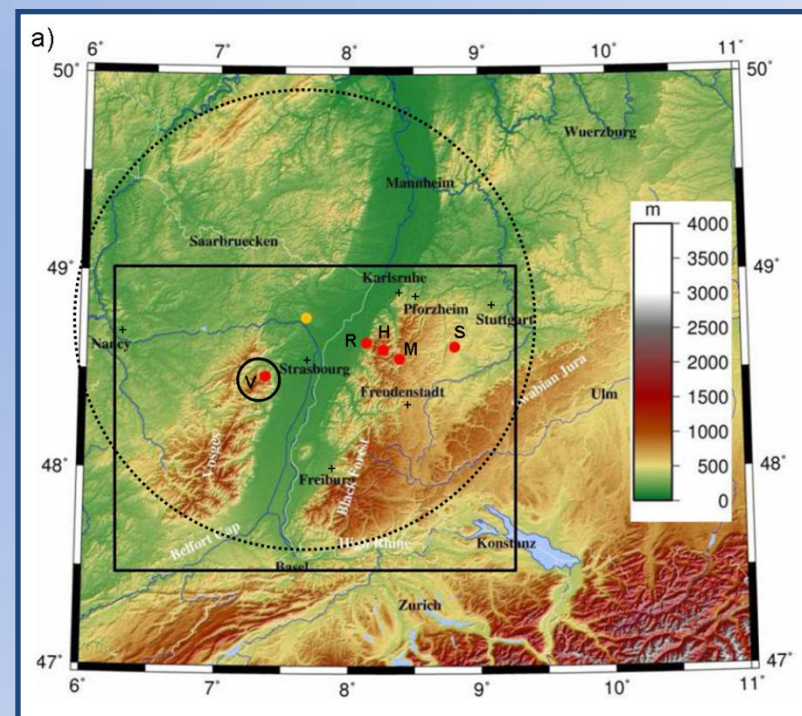
Conclusions et perspectives

CAMPAGNE COPS (CONVECTIVE AND OROGRAPHICALLY INDUCED PRECIPITATION STUDIES)



Objectif: améliorer la prévision des précipitations sur les reliefs complexes

- ▶ Lieu : frontière franco – allemande en été 2007
- ▶ Dispositif expérimental : 5 super-sites de mesures



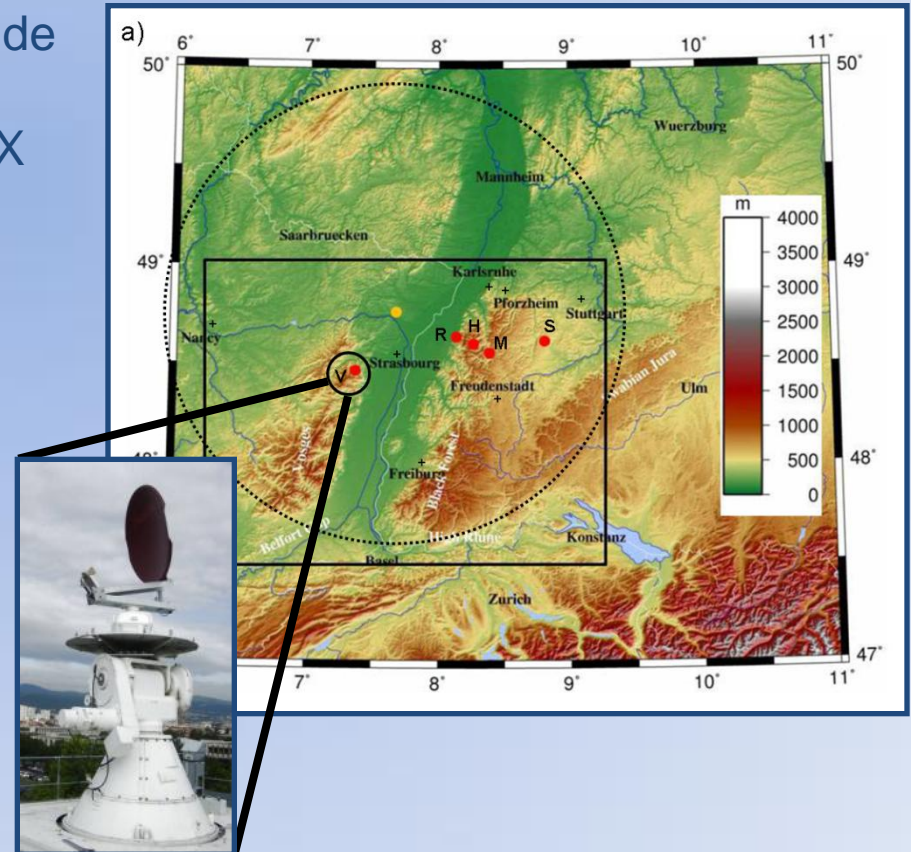
CAMPAGNE COPS (CONVECTIVE AND OROGRAPHICALLY INDUCED PRECIPITATION STUDIES)



Objectif: améliorer la prévision des précipitations sur les reliefs complexes

- ▶ Lieu : frontière franco – allemande en été 2007
- ▶ Dispositif expérimental : 5 super-sites de mesures
- ▶ But : modélisation du radar en bande X

	Radar X LaMP
Portée max	20 km
Résolution spatiale	60 m
Résolution temporelle	30 s
Angle d'élévation	5°



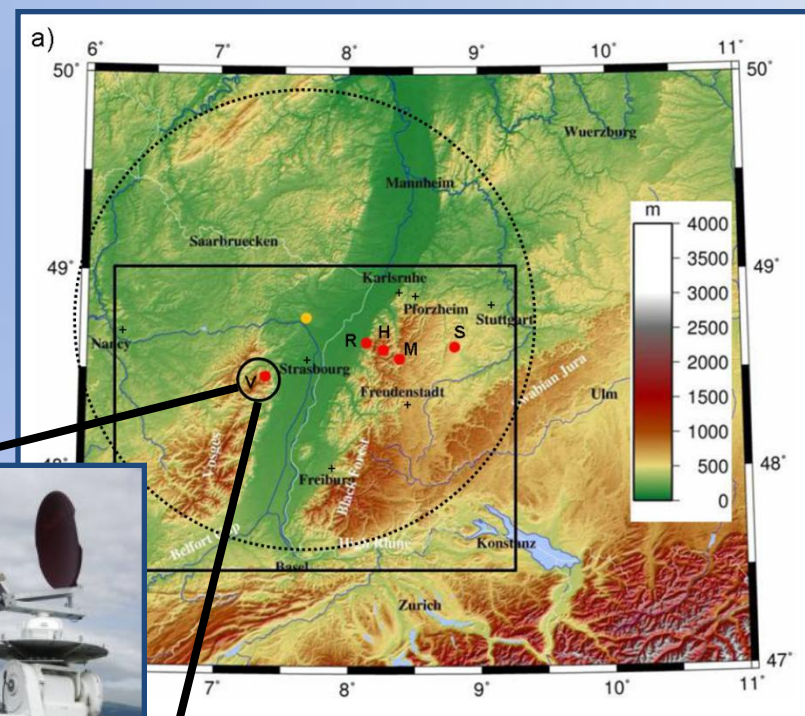


CAMPAGNE COPS (CONVECTIVE AND OROGRAPHICALLY INDUCED PRECIPITATION STUDIES)

Objectif: améliorer la prévision des précipitations sur les reliefs complexes

- ▶ Lieu : frontière franco – allemande en été 2007
- ▶ Dispositif expérimental : 5 super-sites de mesures
- ▶ But : modélisation du radar en bande X
- ▶ Données utilisées : radars + pluviomètres du super-site V

	Radar X LaMP
Portée max	20 km
Résolution spatiale	60 m
Résolution temporelle	30 s
Angle d'élévation	5°



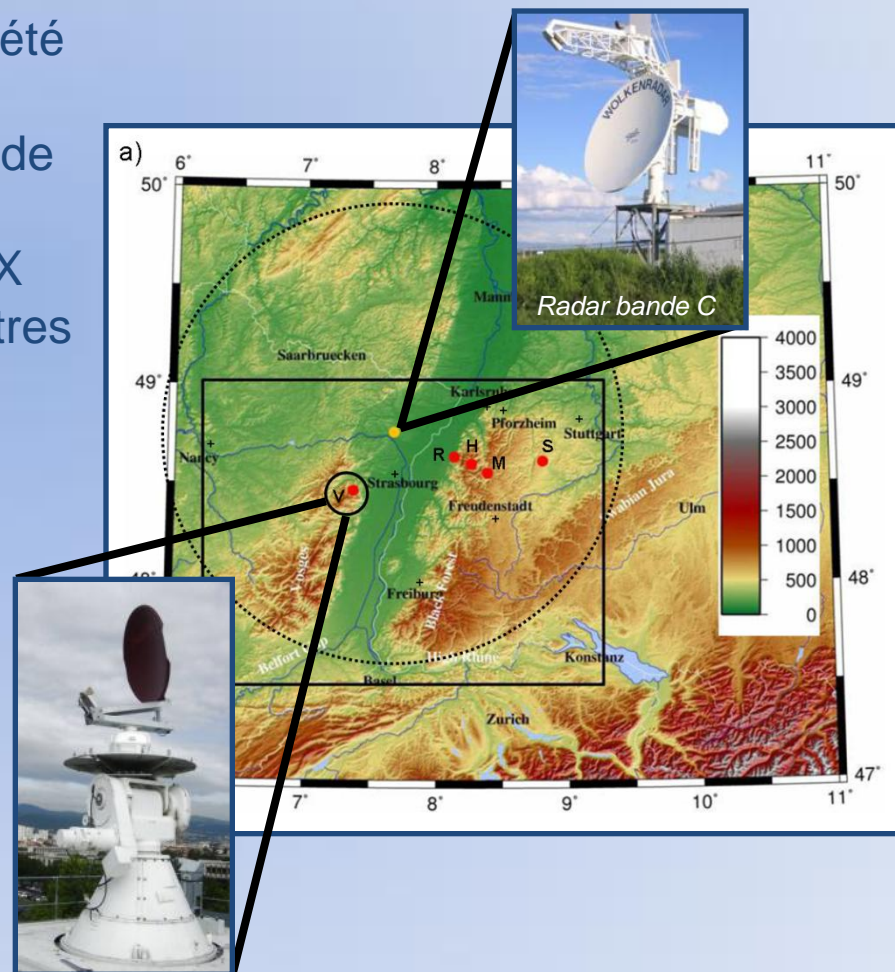
CAMPAGNE COPS (CONVECTIVE AND OROGRAPHICALLY INDUCED PRECIPITATION STUDIES)



Objectif: améliorer la prévision des précipitations sur les reliefs complexes

- ▶ Lieu : frontière franco – allemande en été 2007
- ▶ Dispositif expérimental : 5 super-sites de mesures
- ▶ But : modélisation du radar en bande X
- ▶ Données utilisées : radars + pluviomètres du super-site V

	Radar X LaMP	Poldirad DLR
Portée max	20 km	120 km
Résolution spatiale	60 m	300 m
Résolution temporelle	30 s	10 min
Angle d'élévation	5°	2°



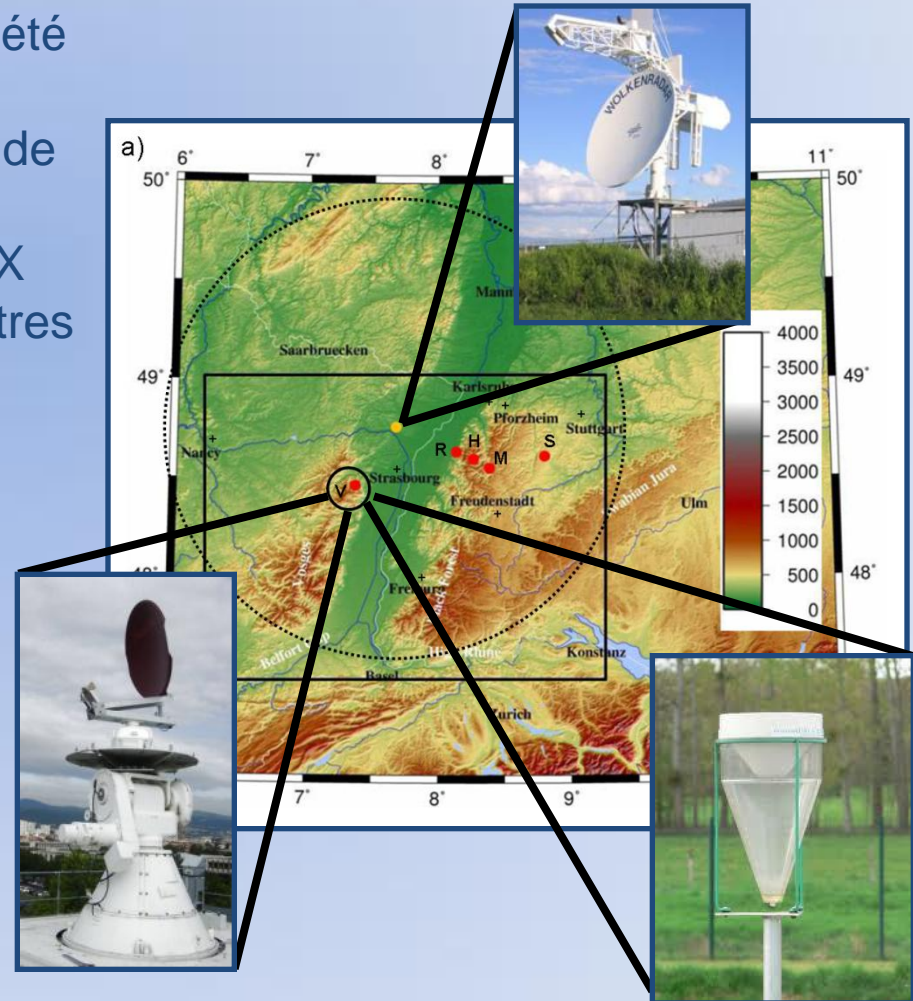
CAMPAGNE COPS (CONVECTIVE AND OROGRAPHICALLY INDUCED PRECIPITATION STUDIES)



Objectif: améliorer la prévision des précipitations sur les reliefs complexes

- ▶ Lieu : frontière franco – allemande en été 2007
- ▶ Dispositif expérimental : 5 super-sites de mesures
- ▶ But : modélisation du radar en bande X
- ▶ Données utilisées : radars + pluviomètres du super-site V

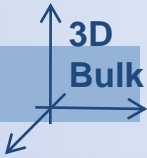
	Radar X LaMP	Poldirad DLR
Portée max	20 km	120 km
Résolution spatiale	60 m	300 m
Résolution temporelle	30 s	10 min
Angle d'élévation	5°	2°



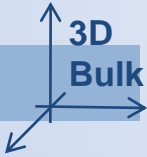
COPS IOP-15A 12 AOÛT 2007



Description de la situation :



COPS IOP-15A 12 AOÛT 2007



Description de la situation :

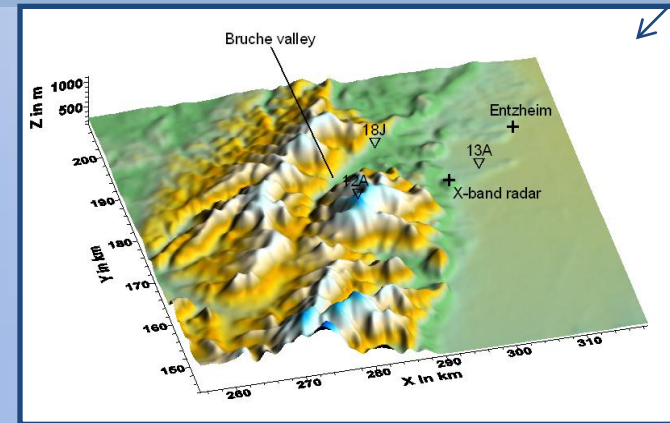
- ▶ formation sur les crêtes des Vosges
- ▶ cellule convective d'environ 1,5h
- ▶ principalement constituée d'eau liquide

COPS IOP-15A 12 AOÛT 2007



Description de la situation :

- ▶ formation sur les crêtes des Vosges
- ▶ cellule convective d'environ 1,5h
- ▶ principalement constituée d'eau liquide



Stratégie de simulation :

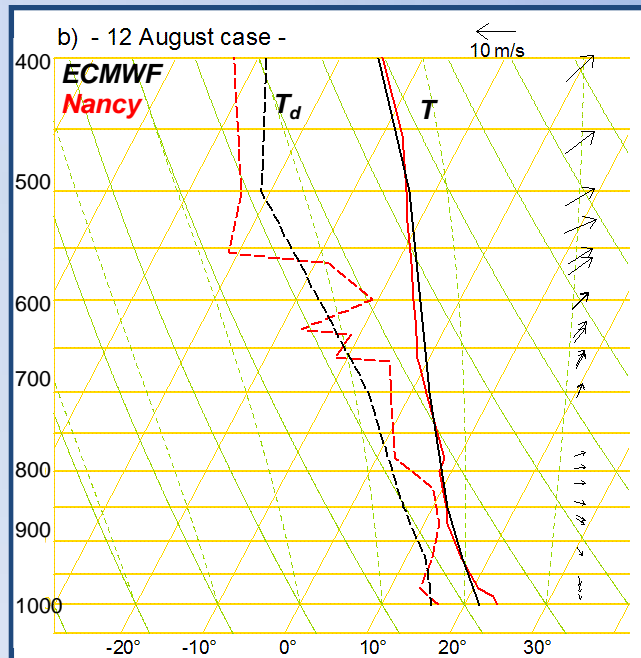
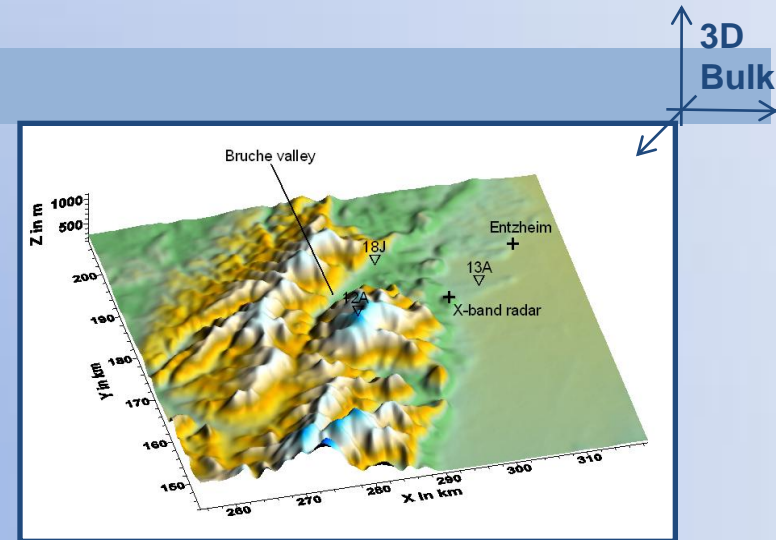
- ▶ 3 domaines imbriqués
- ▶ données thermodynamiques et dynamiques du modèle européen ECMWF

COPS IOP-15A 12 AOÛT 2007



Description de la situation :

- ▶ formation sur les crêtes des Vosges
- ▶ cellule convective d'environ 1,5h
- ▶ principalement constituée d'eau liquide



Stratégie de simulation :

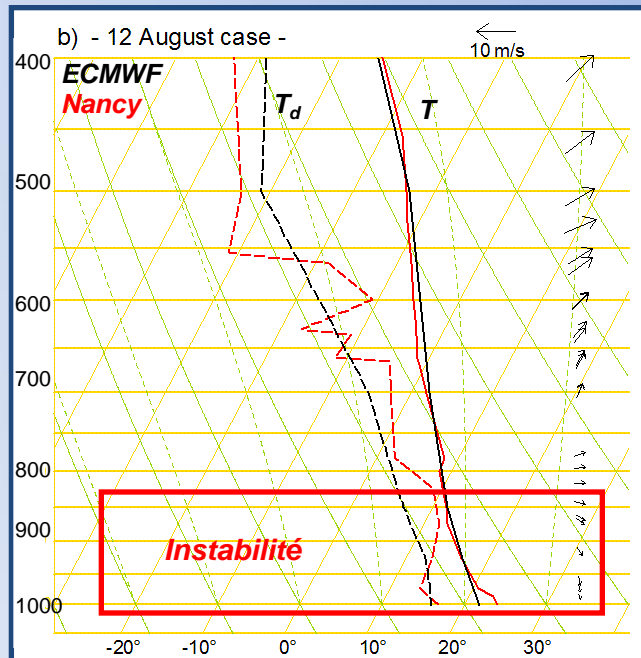
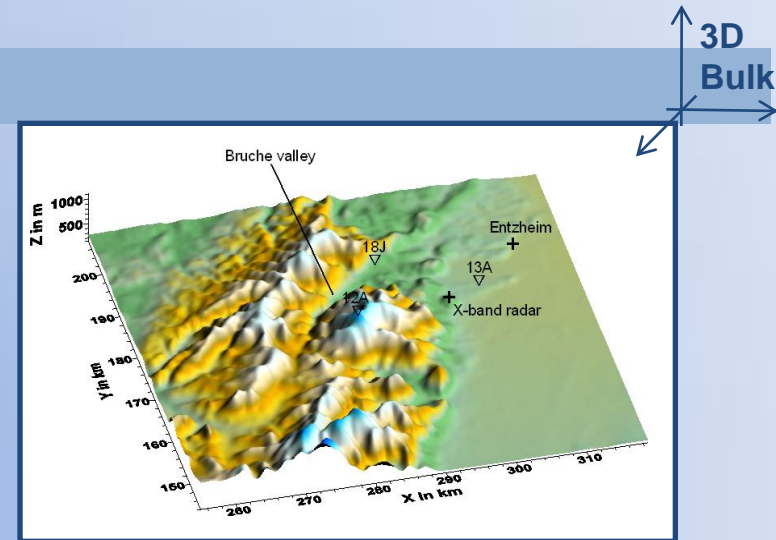
- ▶ 3 domaines imbriqués
- ▶ données thermodynamiques et dynamiques du modèle européen ECMWF
- ▶ Super-site V : sondage de Nancy, 12h UTC

COPS IOP-15A 12 AOÛT 2007



Description de la situation :

- ▶ formation sur les crêtes des Vosges
- ▶ cellule convective d'environ 1,5h
- ▶ principalement constituée d'eau liquide



Stratégie de simulation :

- ▶ 3 domaines imbriqués
- ▶ données thermodynamiques et dynamiques du modèle européen ECMWF
- ▶ Super-site V : sondage de Nancy, 12h UTC

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité radar :

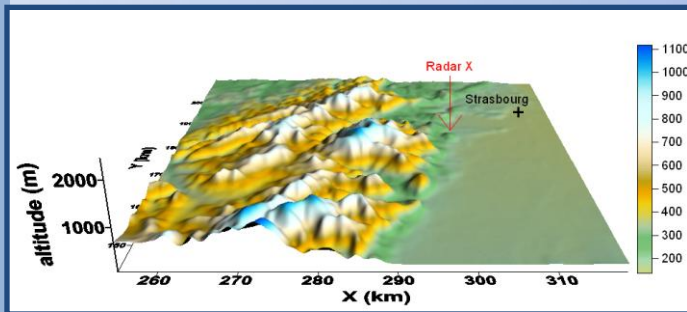
Comparaison entre observations radar et simulations selon la même représentation



LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité radar :

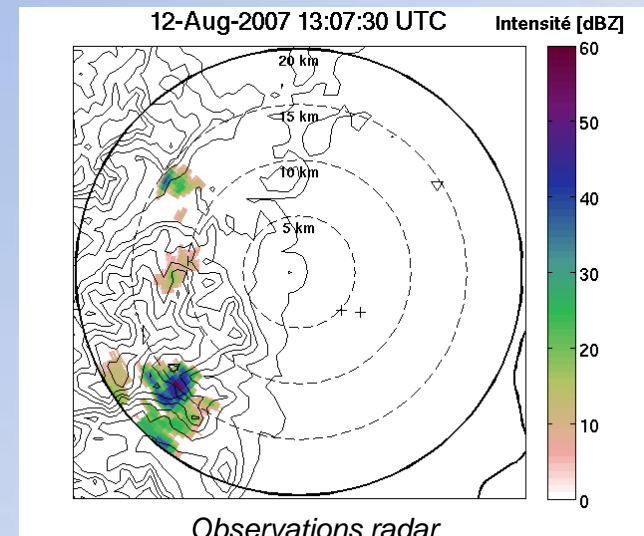
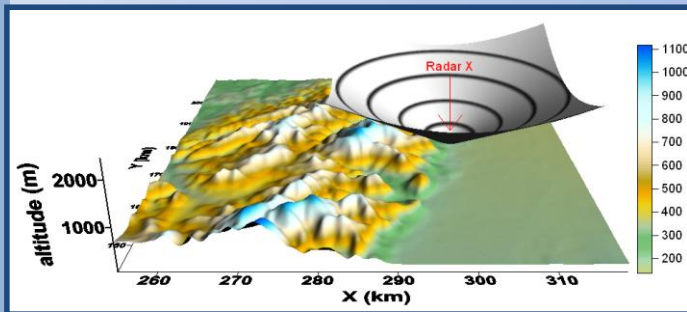
Comparaison entre observations radar et simulations selon la même représentation



LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité radar :

Comparaison entre observations radar et simulations selon la même représentation

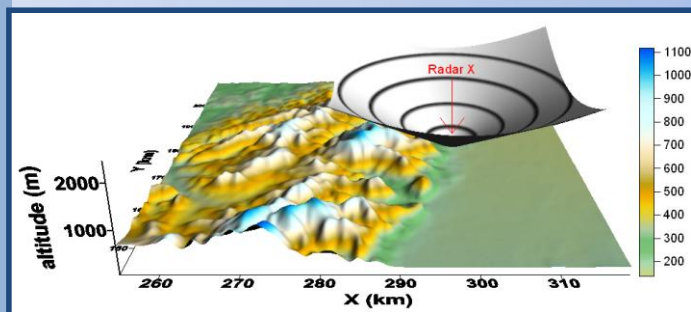




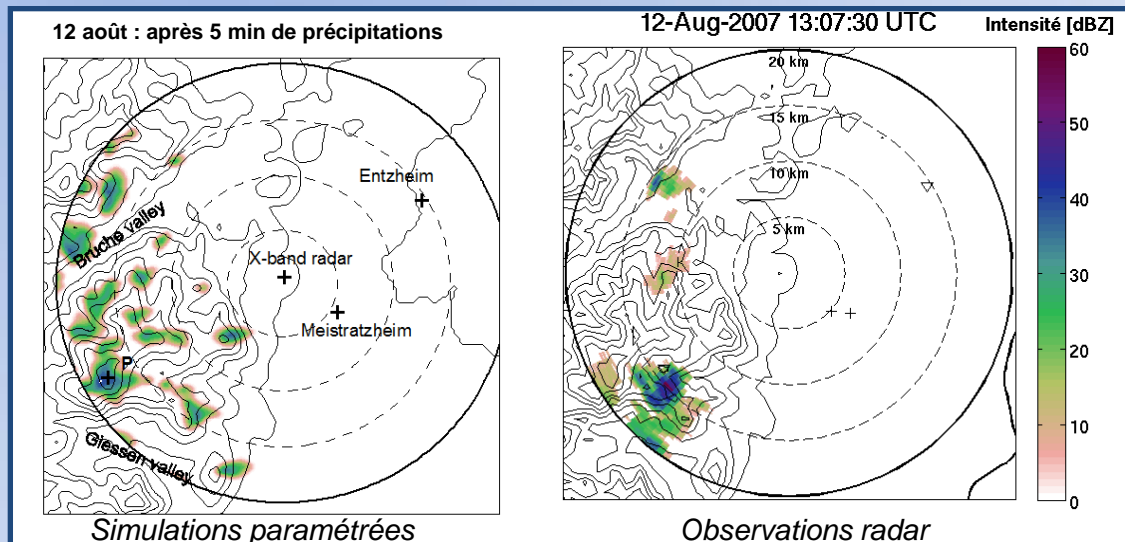
LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité radar :

Comparaison entre observations radar et simulations selon la même représentation *après 5 min de précipitations*



► Reproduction raisonnable de la localisation de la convection (champ morcelé)



LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Vent à la surface :

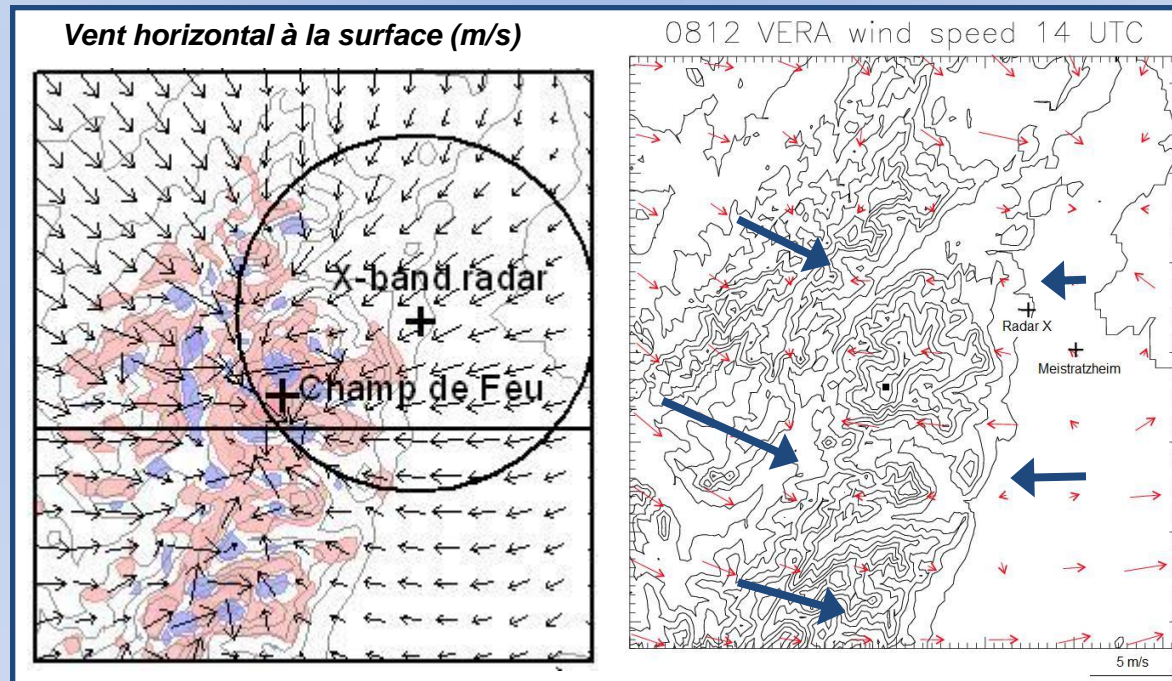
Comparaison avec des observations au sol (analyses VERA , Univ. de Vienne)

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Vent à la surface :

Comparaison avec des observations au sol (analyses VERA , Univ. de Vienne)



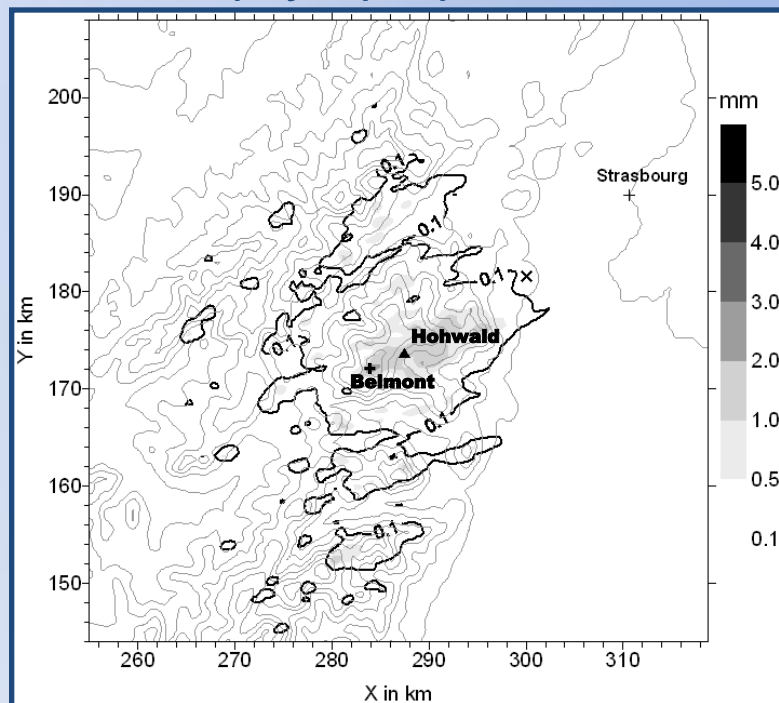
- Reproduction raisonnable des données de VERA pour le vent de surface (sauf bords Sud-Est)

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Accumulation des pluies à 70 min :



*Simulation avec la
microphysique paramétrée*



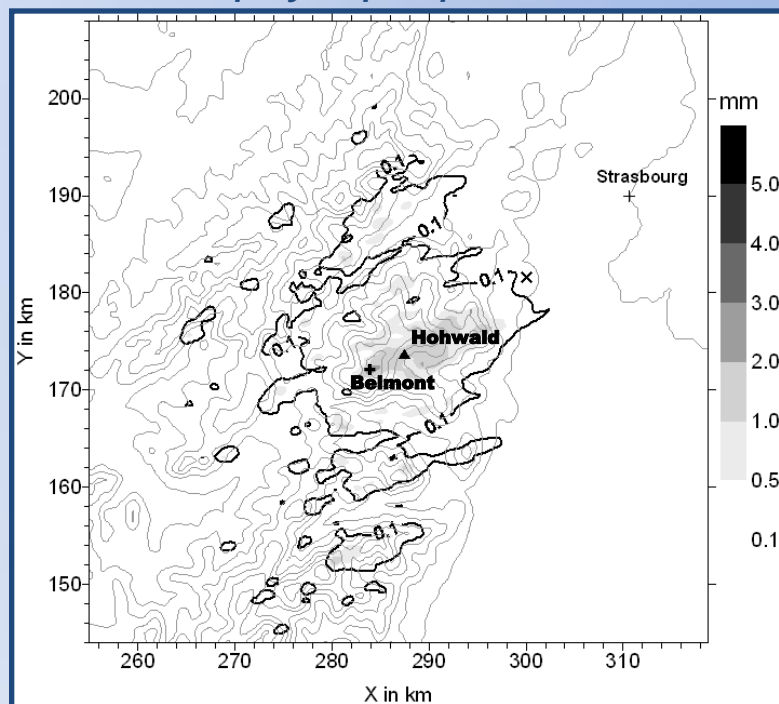
Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	1,5
Belmont	12,0	2,65
Strasbourg	0,0	0,0

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Accumulation des pluies à 70 min :



*Simulation avec la
microphysique paramétrée*



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	1,5
Belmont	12,0	2,65
Strasbourg	0,0	0,0

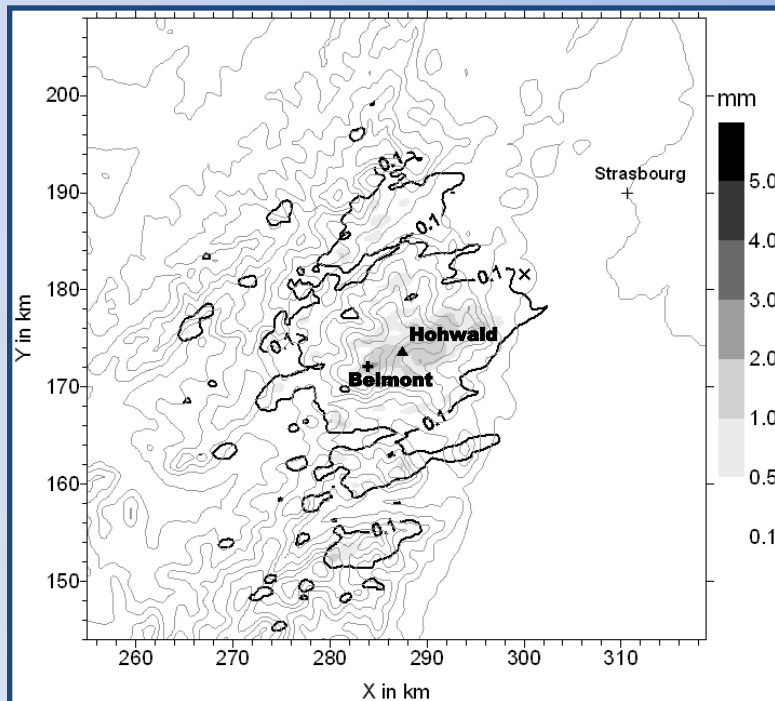
► Les cumuls de pluie au sol observés sont largement sous-estimés par les simulations

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Accumulation des pluies à 70 min :



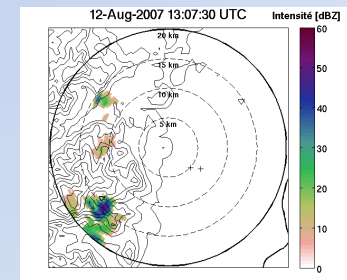
*Simulation avec la
 microphysique paramétrée*



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	1,5
Belmont	12,0	2,65
Strasbourg	0,0	0,0

► Les cumuls de pluie au sol observés sont largement sous-estimés par les simulations

► Le champ de précipitation est plus morcelé par rapport aux observations radar



LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS

Bilan :



LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Bilan :

- ▶ convergence des flux + instabilité des basses couches
= développement convectif sur les crêtes des Vosges

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Bilan :

- ▶ convergence des flux + instabilité des basses couches
= développement convectif sur les crêtes des Vosges
- ▶ localisation correcte des précipitations

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Bilan :

- ▶ convergence des flux + instabilité des basses couches
= développement convectif sur les crêtes des Vosges
- ▶ localisation correcte des précipitations
- ▶ intensité des précipitations sous-estimée

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Bilan :

- ▶ convergence des flux + instabilité des basses couches
= développement convectif sur les crêtes des Vosges
- ▶ localisation correcte des précipitations
- ▶ intensité des précipitations sous-estimée



Cas des 18 juillet & 13 août : dynamiques différentes (dans manuscrit)
localisation correcte des précipitations par le modèle à microphysique paramétrée

LOCALISATION DES PRÉCIPITATIONS



Bilan :

- ▶ convergence des flux + instabilité des basses couches
= développement convectif sur les crêtes des Vosges
- ▶ localisation correcte des précipitations
- ▶ intensité des précipitations sous-estimée



Cas des 18 juillet & 13 août : dynamiques différentes (dans manuscrit)
localisation correcte des précipitations par le modèle à microphysique paramétrée

Prochaine étape : améliorer la quantification des précipitations

Meilleure prise en compte de la microphysique → représentation détaillée de
DESCAM

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- 1) Étude dynamique :
 - localisation des précipitations
 - 2) Étude microphysique :
 - quantification des précipitations
 - 3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :
 - fonte des cristaux
- Conclusions et perspectives

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1) Étude dynamique :

- localisation des précipitations

2) Étude microphysique :

- quantification des précipitations

3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :

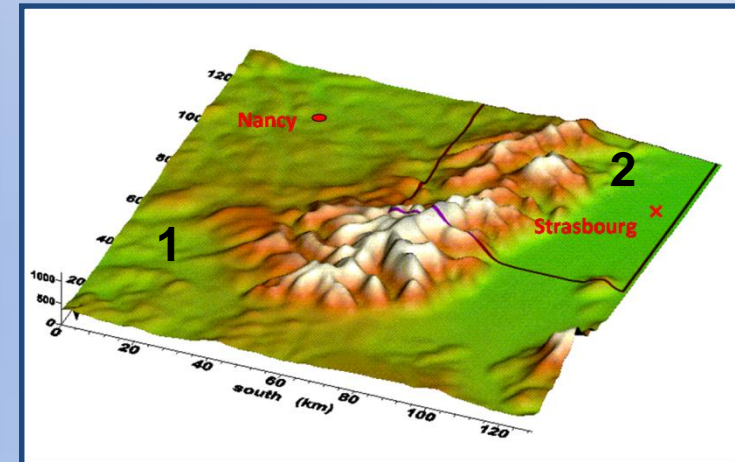
- fonte des cristaux

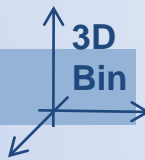
Conclusions et perspectives

QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cas COPS 12 août : Stratégie de modélisation

- ▶ temps de calcul trop long pour 3 domaines ; utilisation de 2 domaines (1h de simulation = 24h x 16 CPU)
- ▶ étude paramétrée : ECMWF + sondage ; utilisation sondage Nancy, 12hUTC



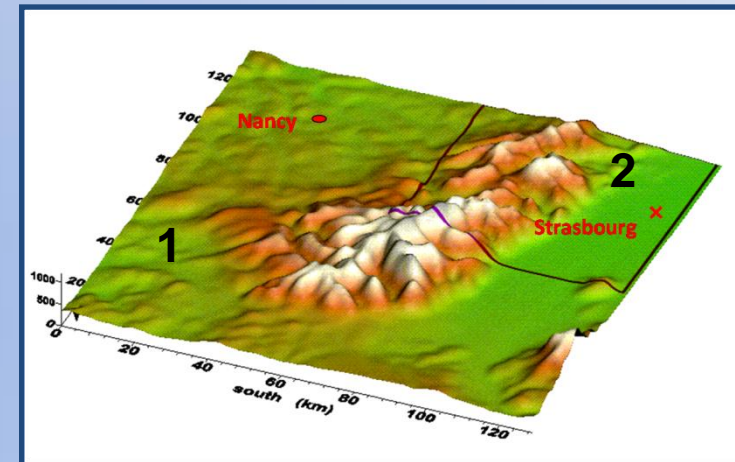


QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cas COPS 12 août : Stratégie de modélisation

- ▶ temps de calcul trop long pour 3 domaines ; utilisation de 2 domaines (1h de simulation = 24h x 16 CPU)
- ▶ étude paramétrée : ECMWF + sondage ; utilisation sondage Nancy, 12hUTC

	Domaine 2
Surface d'étude	64 x 64 km ²
Résolution verticale	200 m
Résolution horizontale	250 m
Pas de temps dynamique	3 s

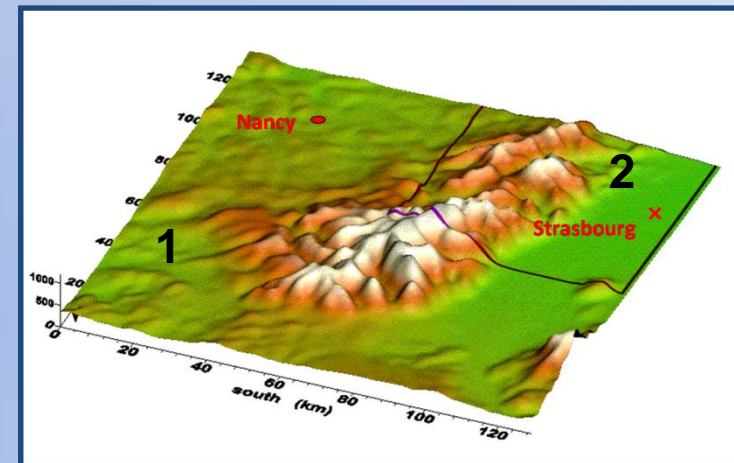


QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cas COPS 12 août : Stratégie de modélisation

- ▶ temps de calcul trop long pour 3 domaines ; utilisation de 2 domaines (1h de simulation = 24h x 16 CPU)
- ▶ étude paramétrée : ECMWF + sondage ; utilisation sondage Nancy, 12hUTC

	Domaine 2
Surface d'étude	64 x 64 km ²
Résolution verticale	200 m
Résolution horizontale	250 m
Pas de temps dynamique	3 s
Distribution initiale en aérosols	Jaenicke (1988)
Concentration en aérosols (CL)	≈1400 cm ⁻³



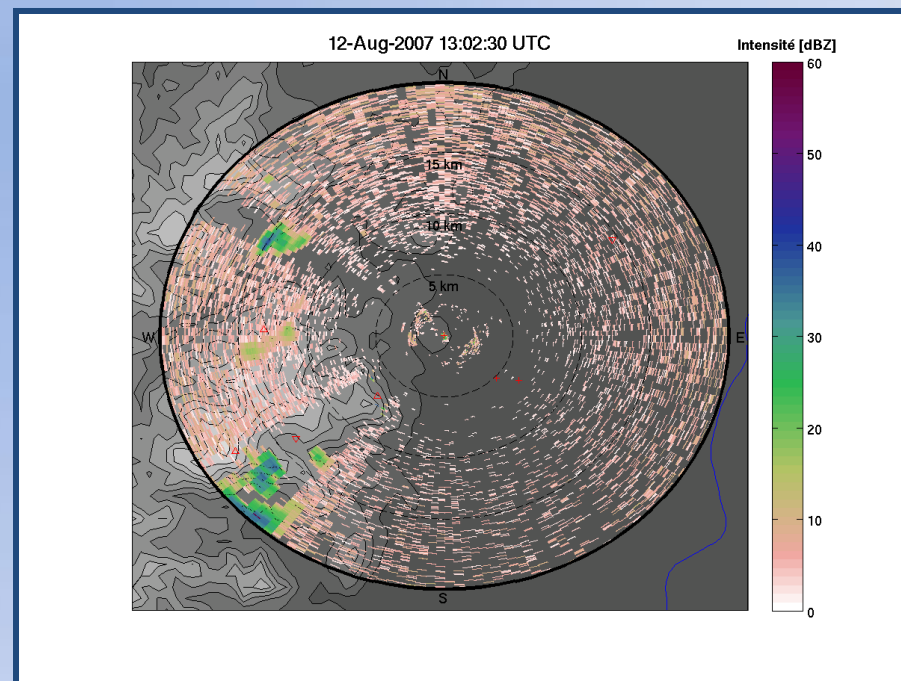
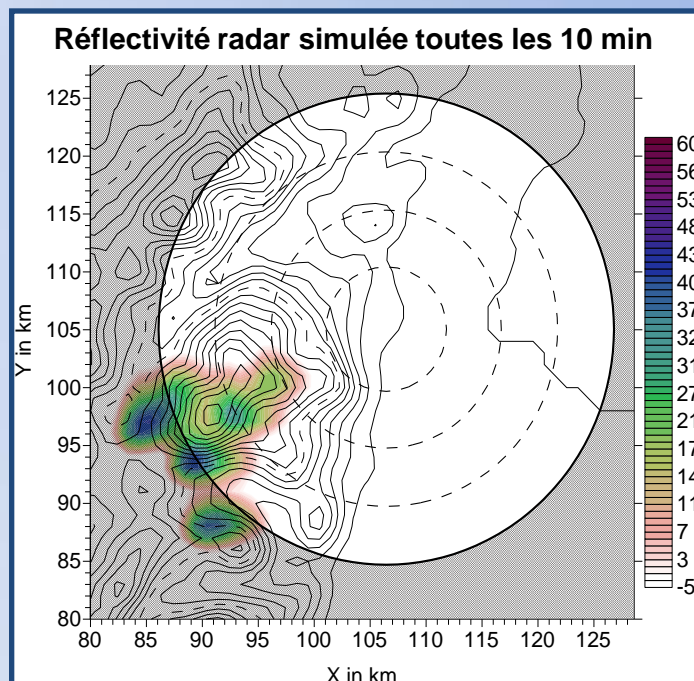
- ▶ concentration décroissante exponentiellement jusqu'à 3km, puis reste constante



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

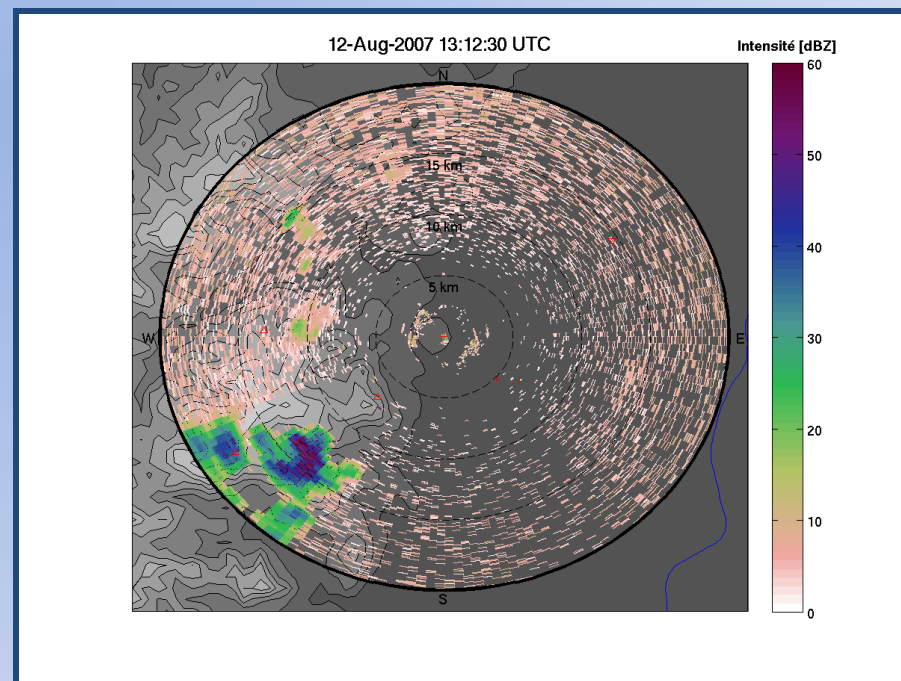
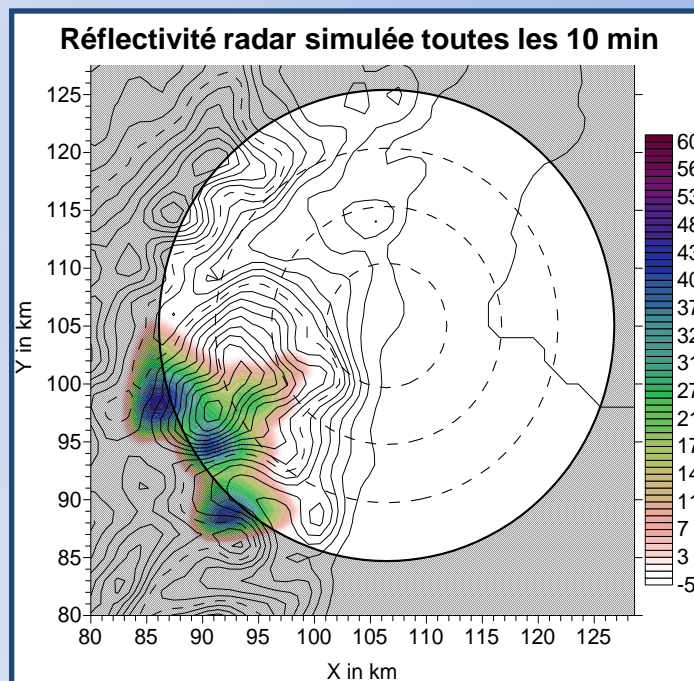
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

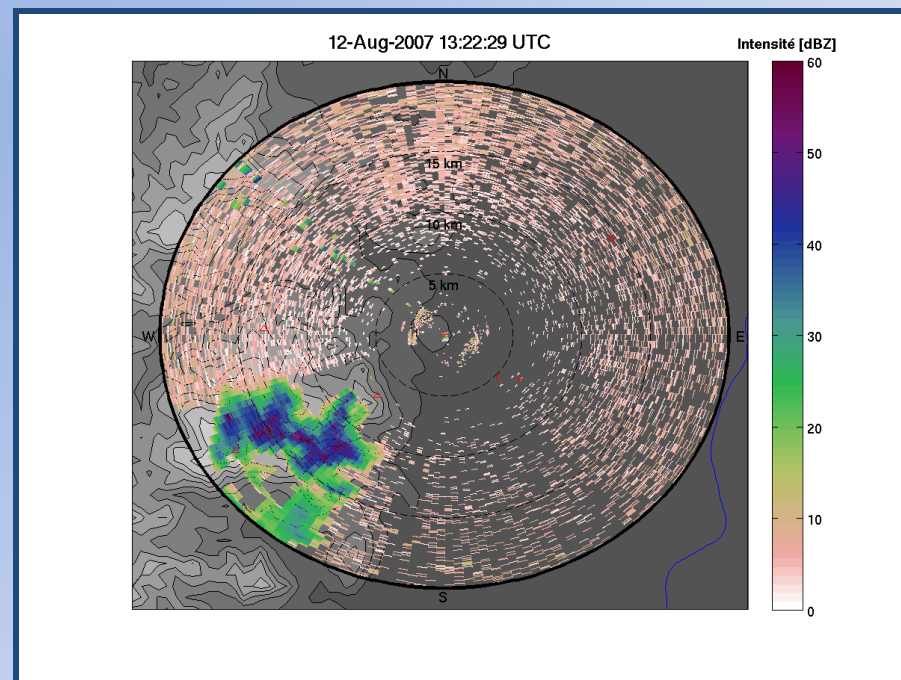
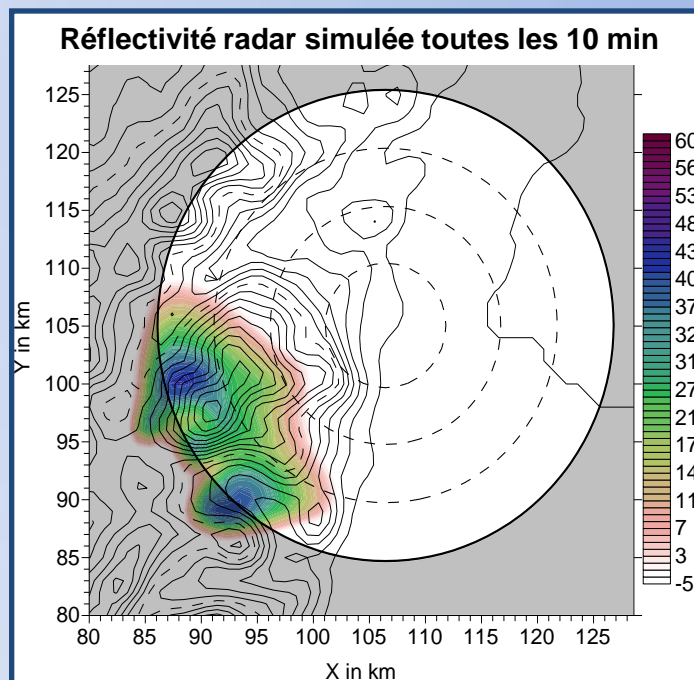
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

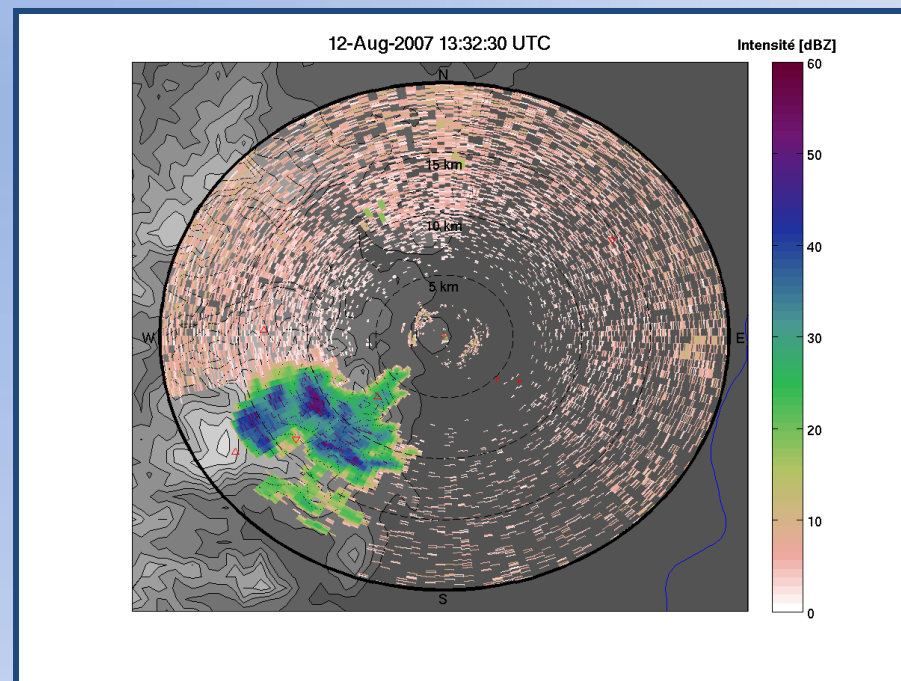
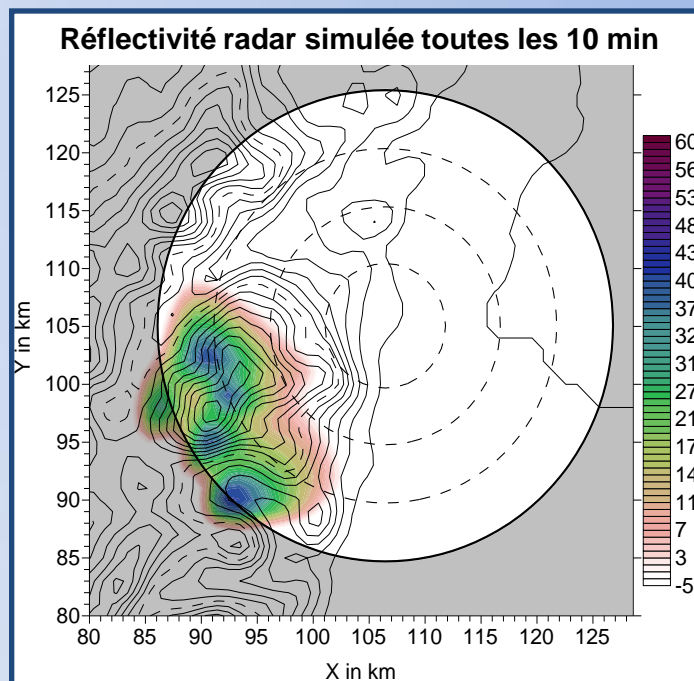
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

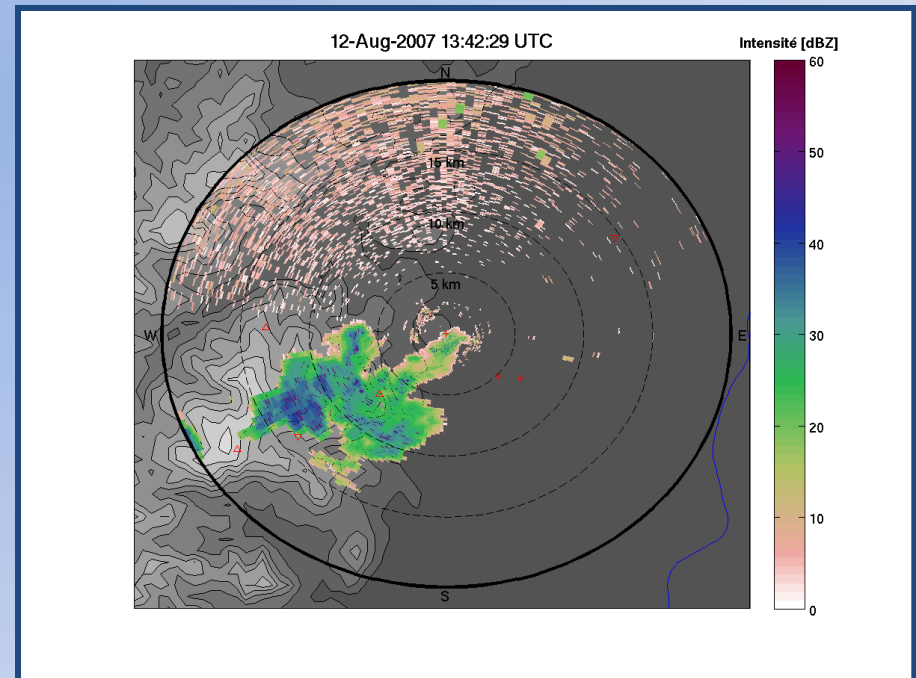
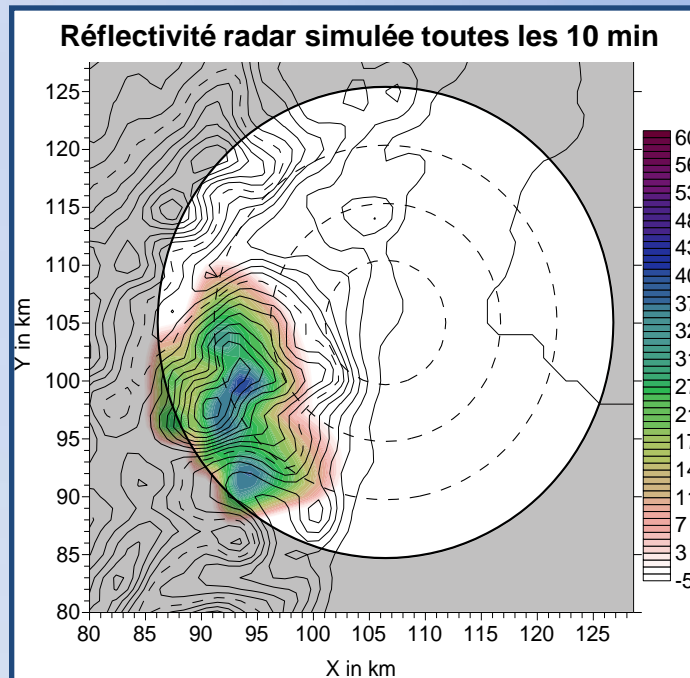
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

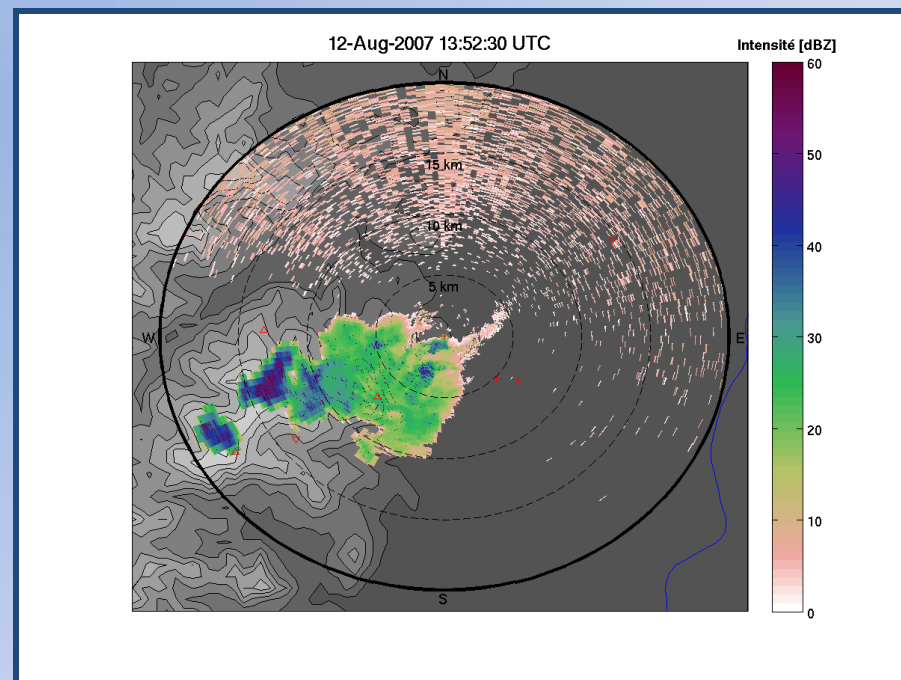
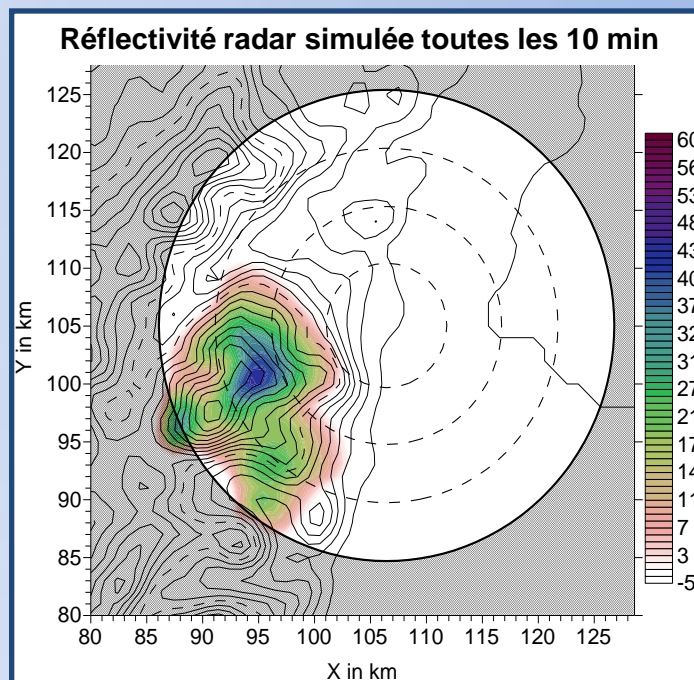
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

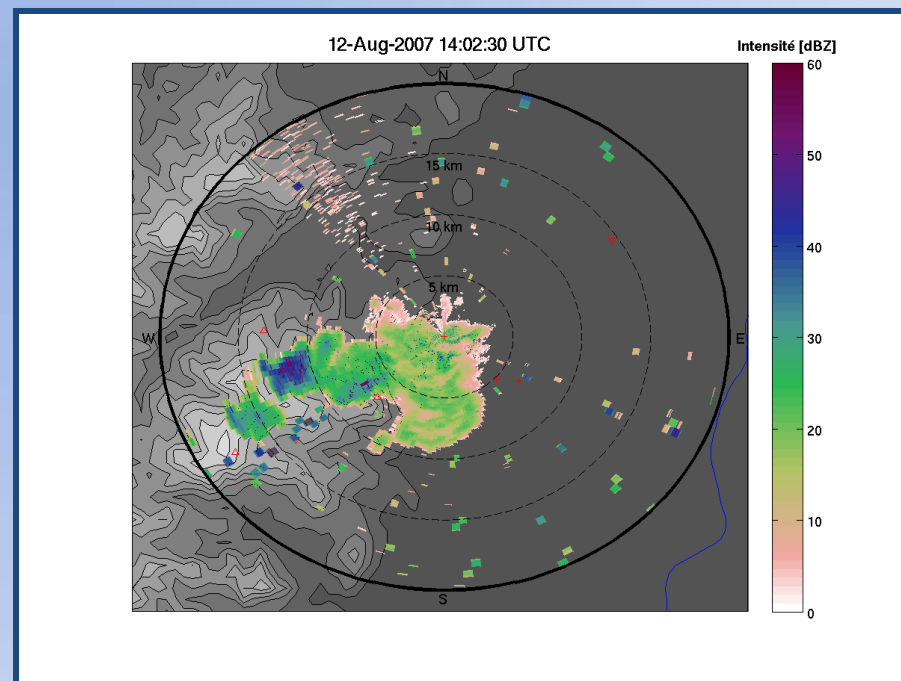
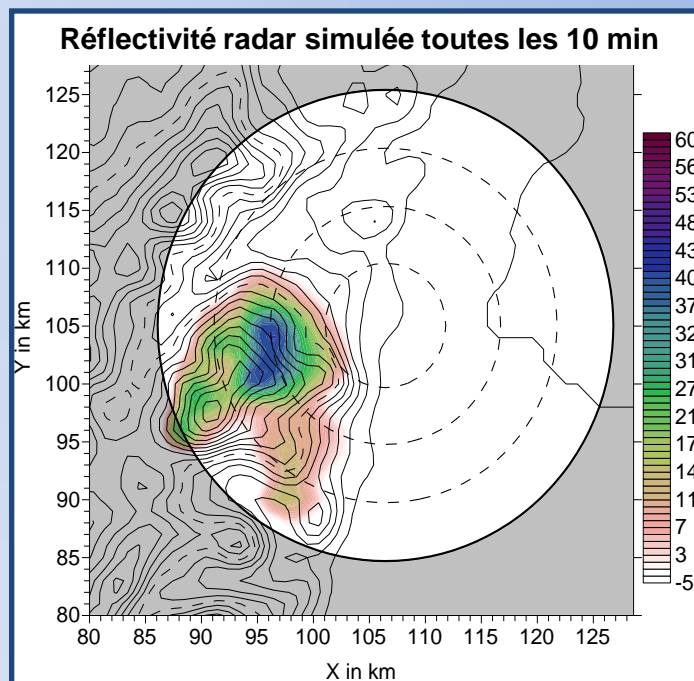
14h02



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar bande X :

Comparaison entre observations radar et simulations pendant 1h de précipitations



13h02

13h12

13h22

13h32

13h42

13h52

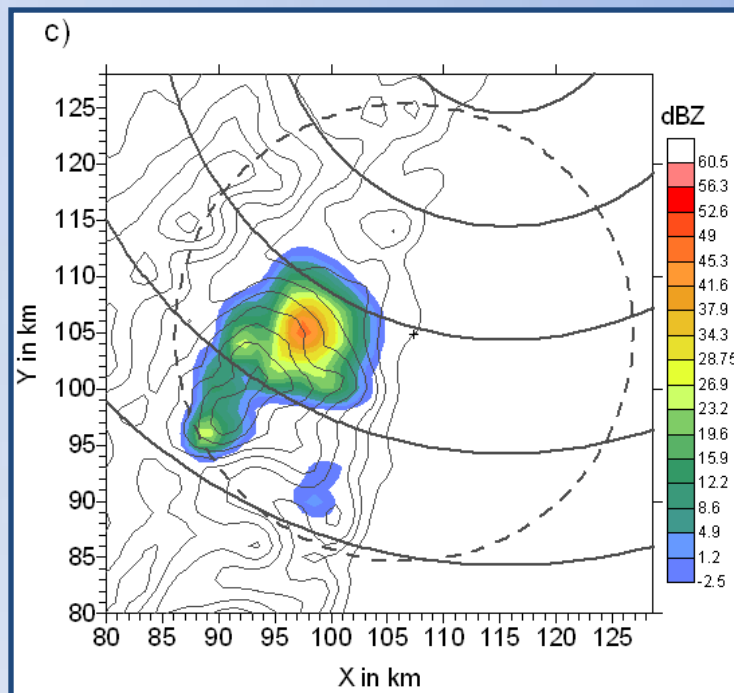
14h02



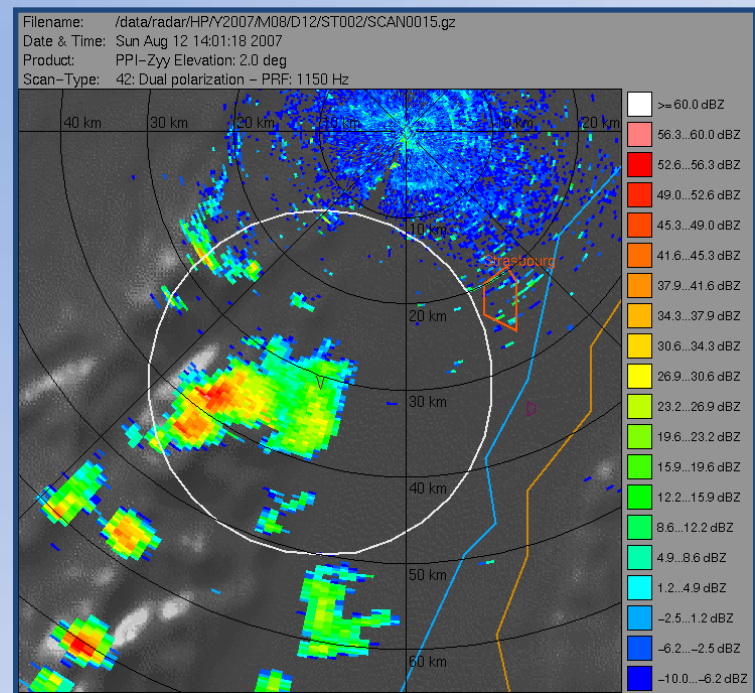
QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Réflectivité du radar POLDIRAD :

Simulation avec DESCAM 3D
après 1 h de précipitations



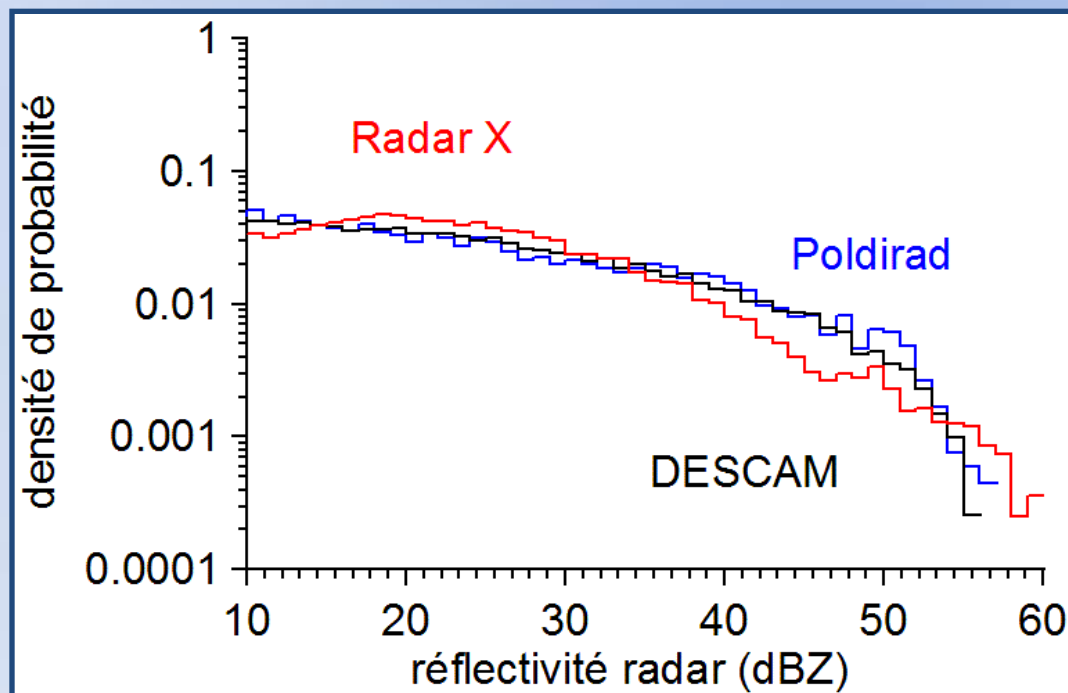
Observation du radar POLDIRAD
en bande C du DLR



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Étude quantitative simulations vs. observations radar :

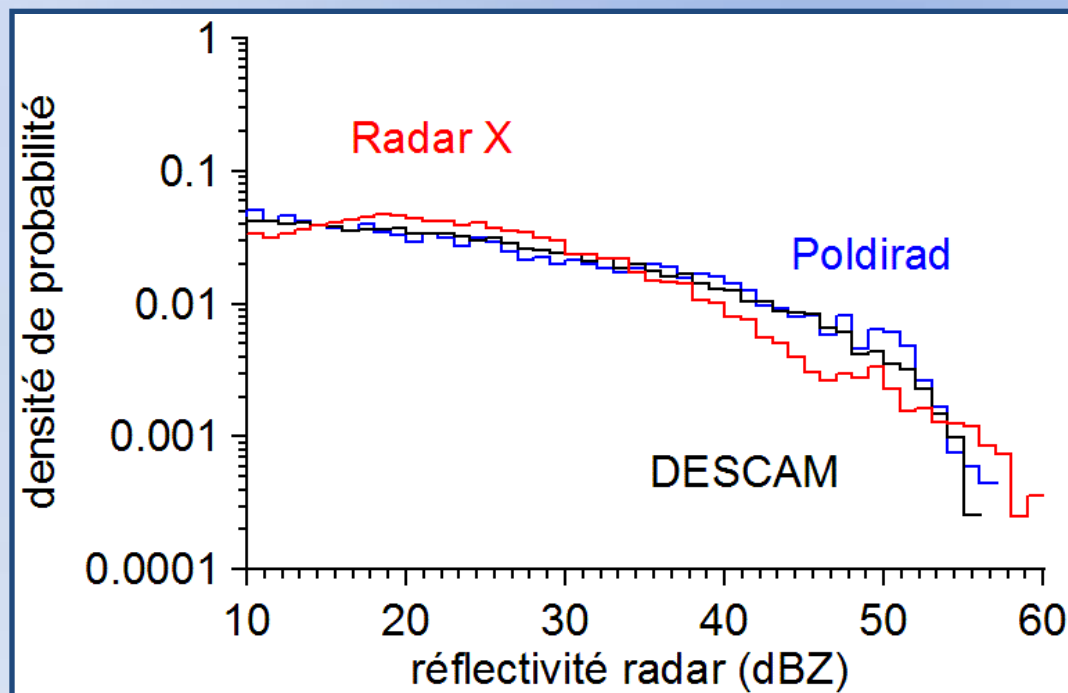
Comparaison entre les densités de probabilité des observations radar de 13 à 14hUTC et des simulations pendant 1h de pluie.



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Étude quantitative simulations vs. observations radar :

Comparaison entre les densités de probabilité des observations radar de 13 à 14hUTC et des simulations pendant 1h de pluie.



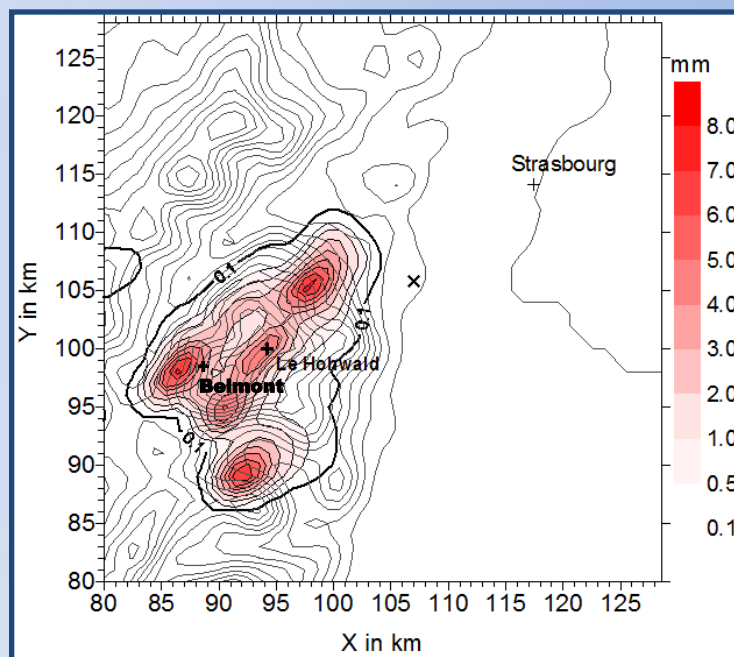
► Bonne reproduction du système convectif observé sur le relief complexe des Vosges.



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cumul de pluie au sol :

Simulation avec DESCAM 3D
après 90 min de précipitations



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	5,1
Belmont	12,0	4,0
Strasbourg	0,0	0,0

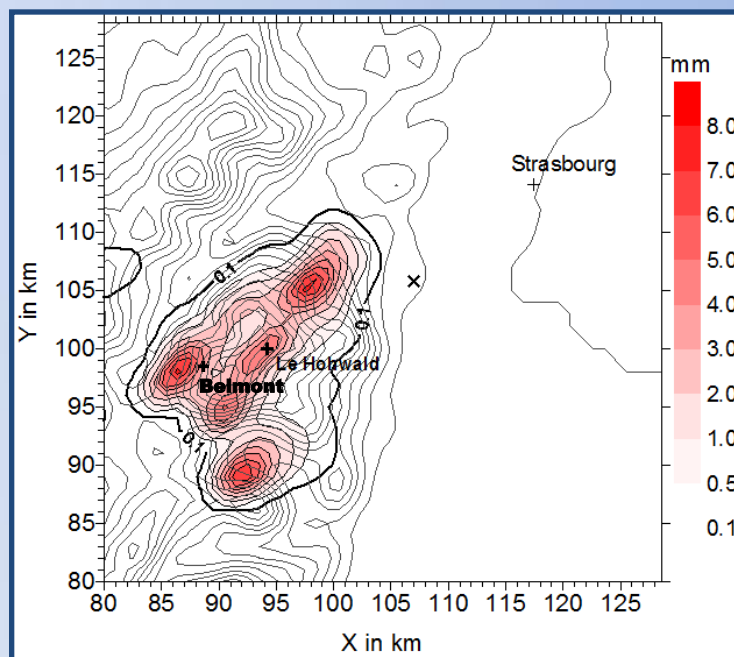
► Cumul de pluie max : 7,42 mm



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cumul de pluie au sol :

Simulation avec DESCAM 3D
après 90 min de précipitations



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	5,1
Belmont	12,0	4,0
Strasbourg	0,0	0,0

► réseau de pluviomètres plus dense souhaitable

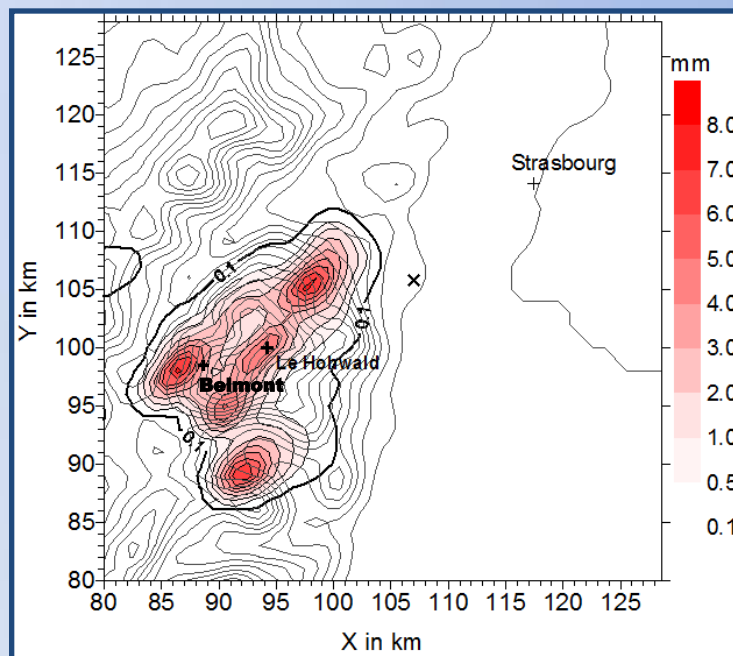
► Cumul de pluie max : 7,42 mm



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cumul de pluie au sol :

Simulation avec DESCAM 3D
après 90 min de précipitations



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	5,1
Belmont	12,0	4,0
Strasbourg	0,0	0,0

► Cumul de pluie max : 7,42 mm

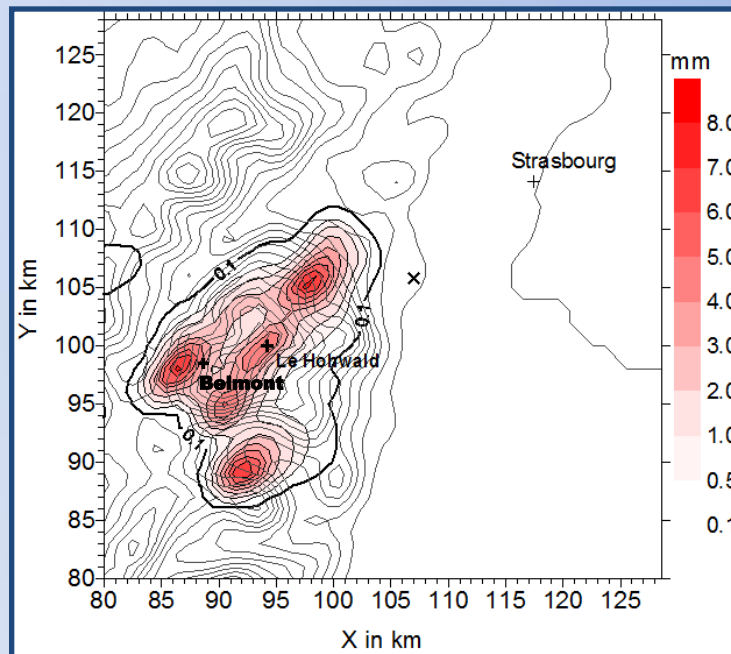
- réseau de pluviomètres plus dense souhaitable
- les cumuls de pluie au sol simulés meilleurs avec la microphysique détaillée



QUANTIFICATION DES PRÉCIPITATIONS

Cumul de pluie au sol :

Simulation avec DESCAM 3D
après 90 min de précipitations



Pluviomètres	observé (mm)	simulé (mm)
Le Hohwald	5,2	5,1
Belmont	12,0	4,0
Strasbourg	0,0	0,0

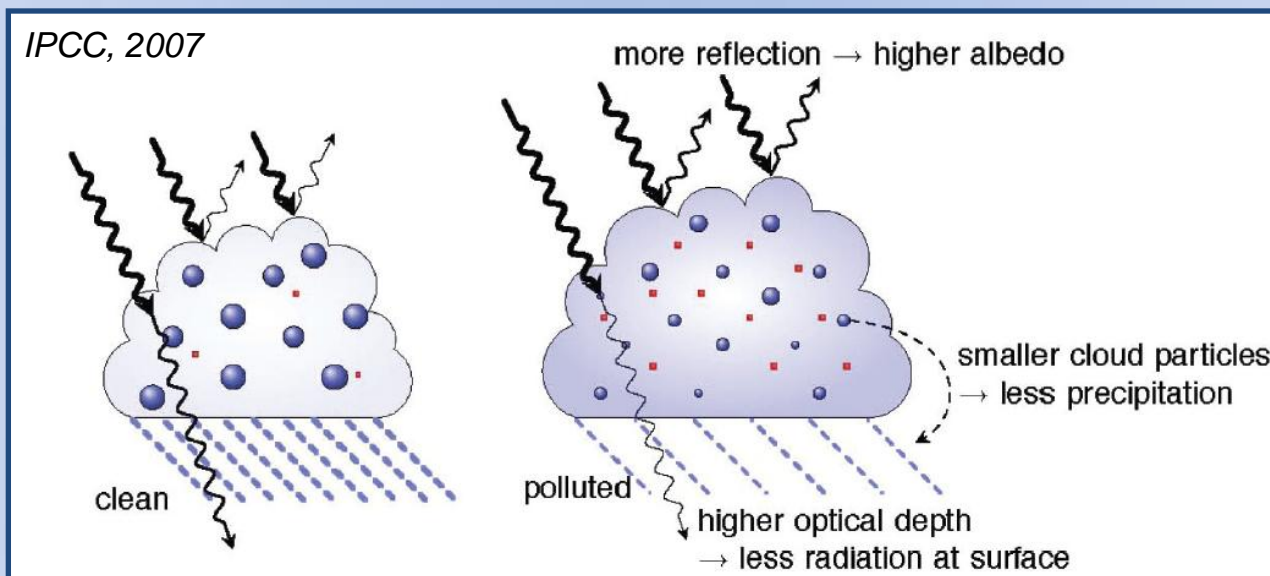
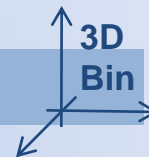
► Cumul de pluie max : 7,42 mm

► réseau de pluviomètres plus dense souhaitable

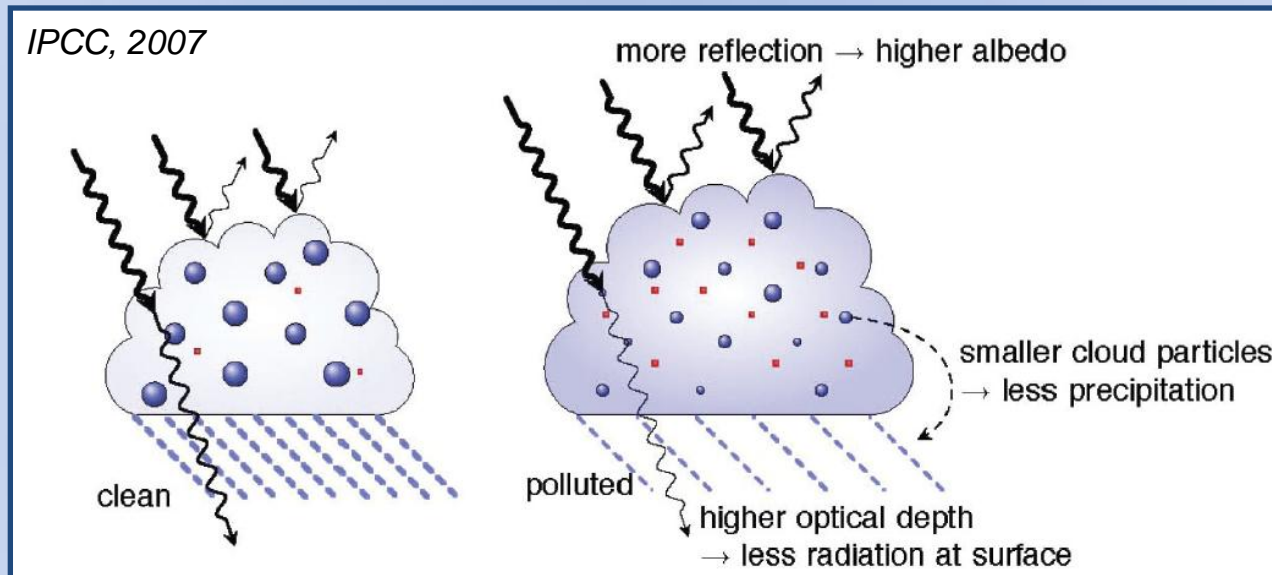
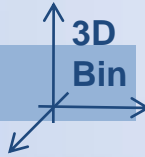
► les cumuls de pluie au sol simulés meilleurs avec la microphysique détaillée

► impact des propriétés physico-chimiques des aérosols

EFFET DES PARTICULES D'AÉROSOL SUR LES PRÉCIPITATIONS

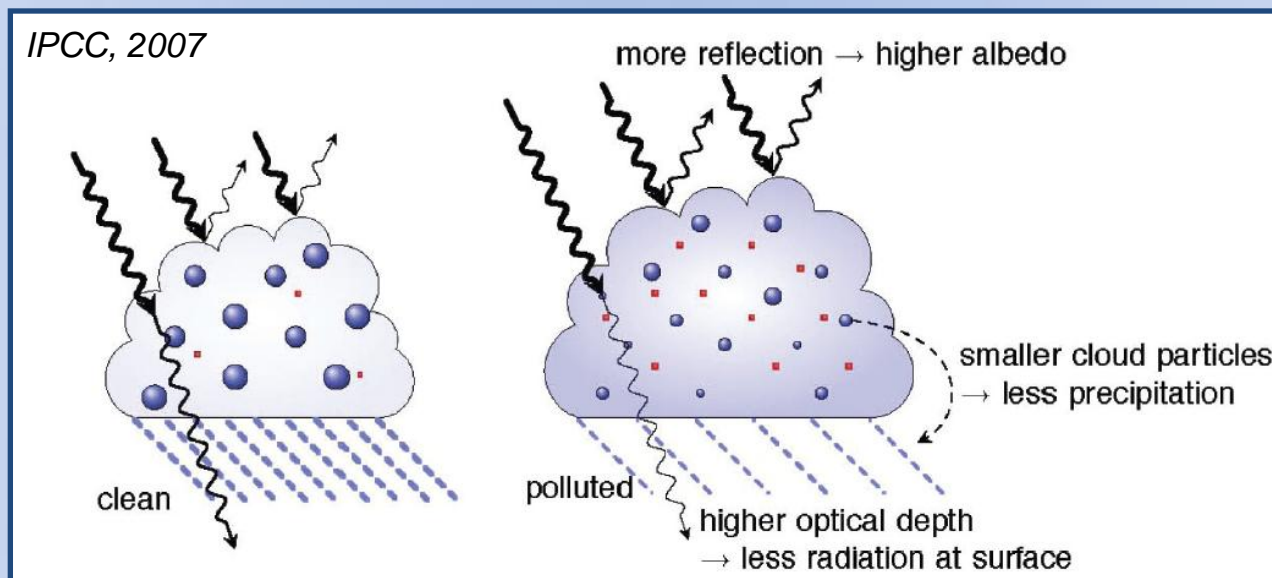
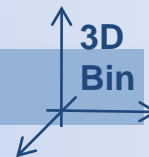


EFFET DES PARTICULES D'AÉROSOL SUR LES PRÉCIPITATIONS



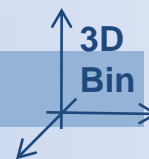
- Caractéristiques des nuages sensibles aux propriétés physico-chimiques des particules d'aérosol.

EFFET DES PARTICULES D'AÉROSOL SUR LES PRÉCIPITATIONS

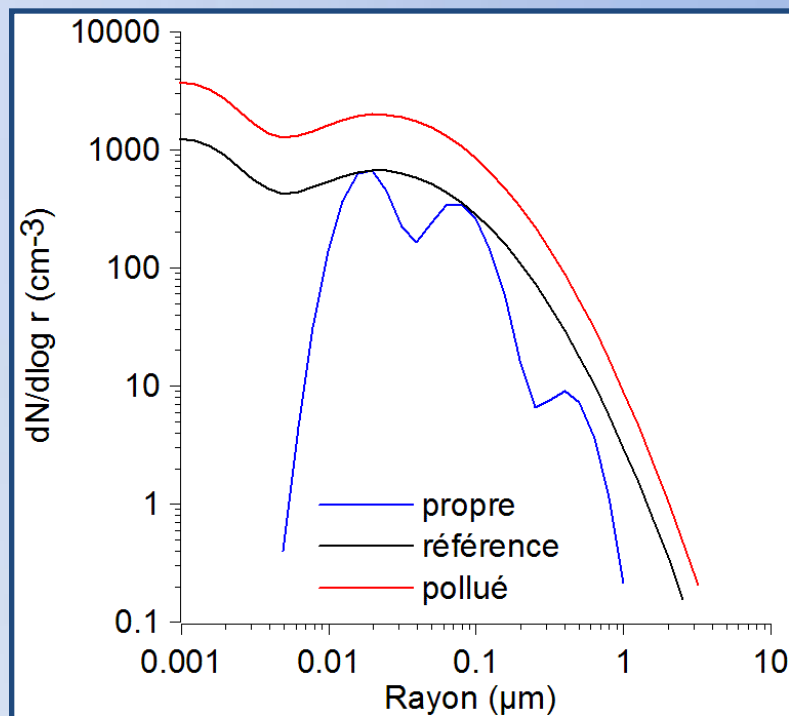


- ▶ Caractéristiques des nuages sensibles aux propriétés physico-chimiques des particules d'aérosol.
- ▶ Modification des propriétés physiques (nombre) et chimiques (solubilité) des aérosols pour comprendre leur rôle sur l'évolution du système convectif et les précipitations.

PROPRIÉTÉS PHYSICO-CIMIQUES DES AÉROSOLS



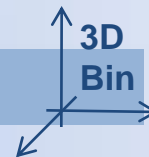
Distributions / solubilité des aérosols :



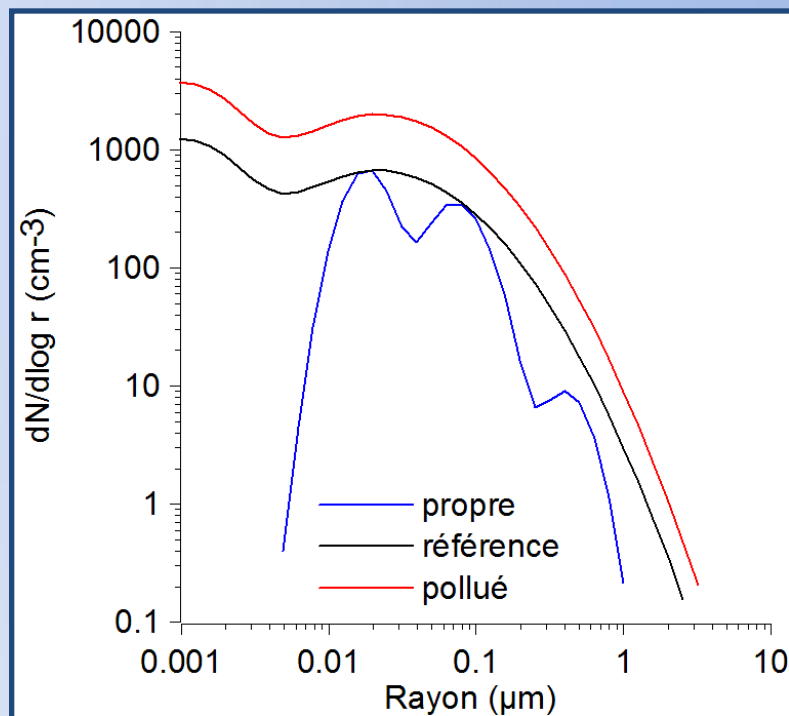
Référence :

- ▶ composés de sulfate d'ammonium
- ▶ aérosols 100% solubles
- ▶ nombre d'aérosols $\sim 1400 \text{ cm}^{-3}$
(Jaenicke, 1988)

PROPRIÉTÉS PHYSICO-CIMIQUES DES AÉROSOLS



Distributions / solubilité des aérosols :

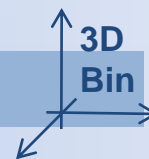


Référence :

- ▶ composés de sulfate d'ammonium
- ▶ aérosols 100% solubles
- ▶ nombre d'aérosols ~1400 cm⁻³ (Jaenicke, 1988)

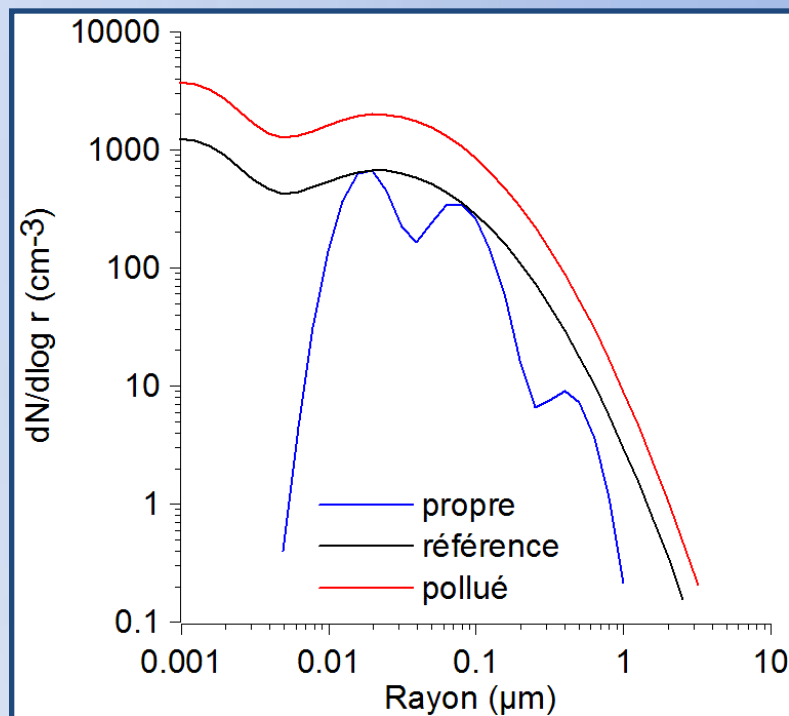
Test sur le nombre :

- ▶ Cas pollué ~4200 cm⁻³
- ▶ Cas propre ~400 cm⁻³ (marin très propre, ACE2)



PROPRIÉTÉS PHYSICO-CIMIQUES DES AÉROSOLS

Distributions / solubilité des aérosols :



Référence :

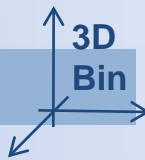
- ▶ composés de sulfate d'ammonium
- ▶ aérosols 100% solubles
- ▶ nombre d'aérosols $\sim 1400 \text{ cm}^{-3}$ (Jaenicke, 1988)

Test sur le nombre :

- ▶ Cas pollué $\sim 4200 \text{ cm}^{-3}$
- ▶ Cas propre $\sim 400 \text{ cm}^{-3}$ (marin très propre, ACE2)

Test sur la solubilité :

- ▶ aérosols 50% solubles
- ▶ aérosols 5% solubles

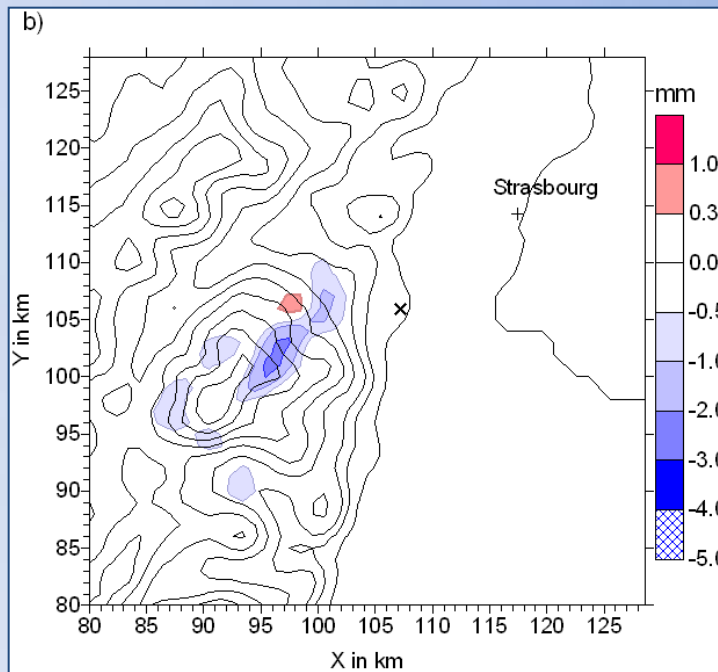


PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS

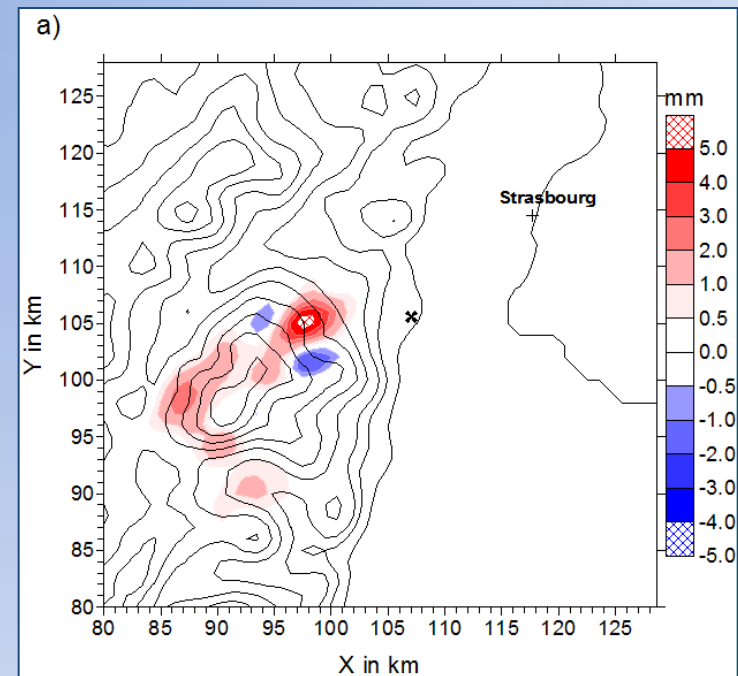
Impact du **nombre** des aérosols sur les précipitations au sol :

Différence des cumuls de pluie après 1,5h de précipitations

Référence – propre
augmentation moyenne de 15%

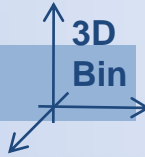


Référence – pollué
diminution moyenne de 25%



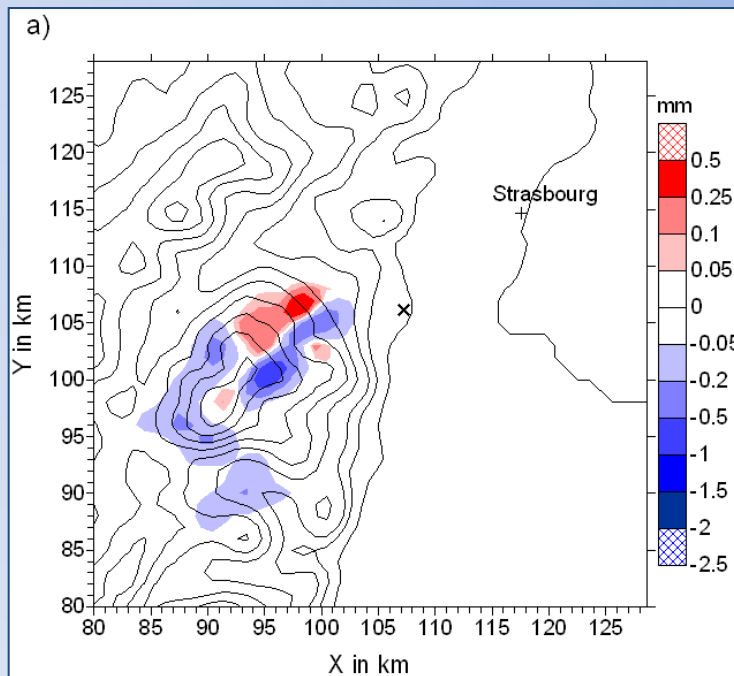
PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES AÉROSOLS

Impact de la **solubilité** des aérosols sur les précipitations au sol :

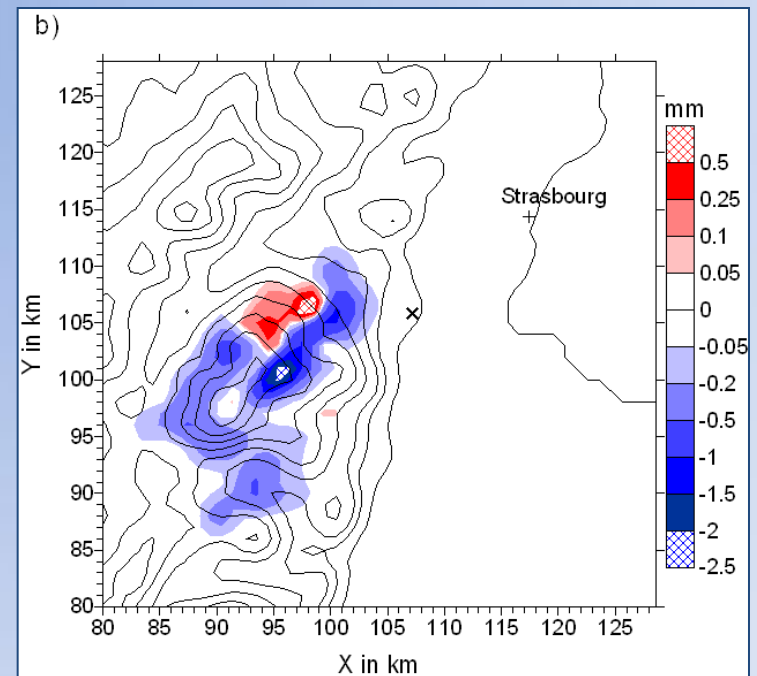


Différence des cumuls de pluie après 1,5h de précipitations

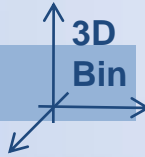
100% soluble – 50% soluble
augmentation moyenne de 5%



100% soluble – 5% soluble
augmentation moyenne de 10%

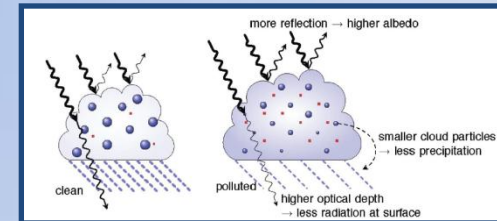


PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES AÉROSOLS

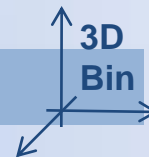


Synthèse des études de sensibilité :

- ▶ Impact du nombre plus important que celui de la solubilité sur les cumulus de pluie au sol.
- ▶ Les précipitations au sol diminuent en **moyenne** quand la pollution en nombre de particules augmente ou que leur solubilité diminue.
- ▶ **Localement** des comportements contraires sont simulés montrant des interactions aérosols – nuages – précipitations plus complexes.

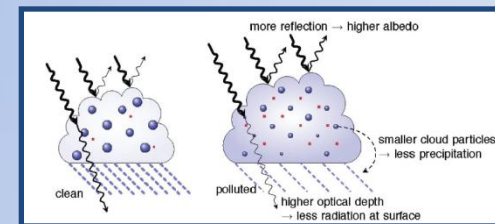


PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES AÉROSOLS



Synthèse des études de sensibilité :

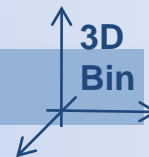
- Impact du nombre plus important que celui de la solubilité sur les cumuls de pluie au sol.
- Les précipitations au sol diminuent en **moyenne** quand la pollution en nombre de particules augmente ou que leur solubilité diminue.
- **Localement** des comportements contraires sont simulés montrant des interactions aérosols – nuages – précipitations plus complexes.



Compréhension de ces interactions :

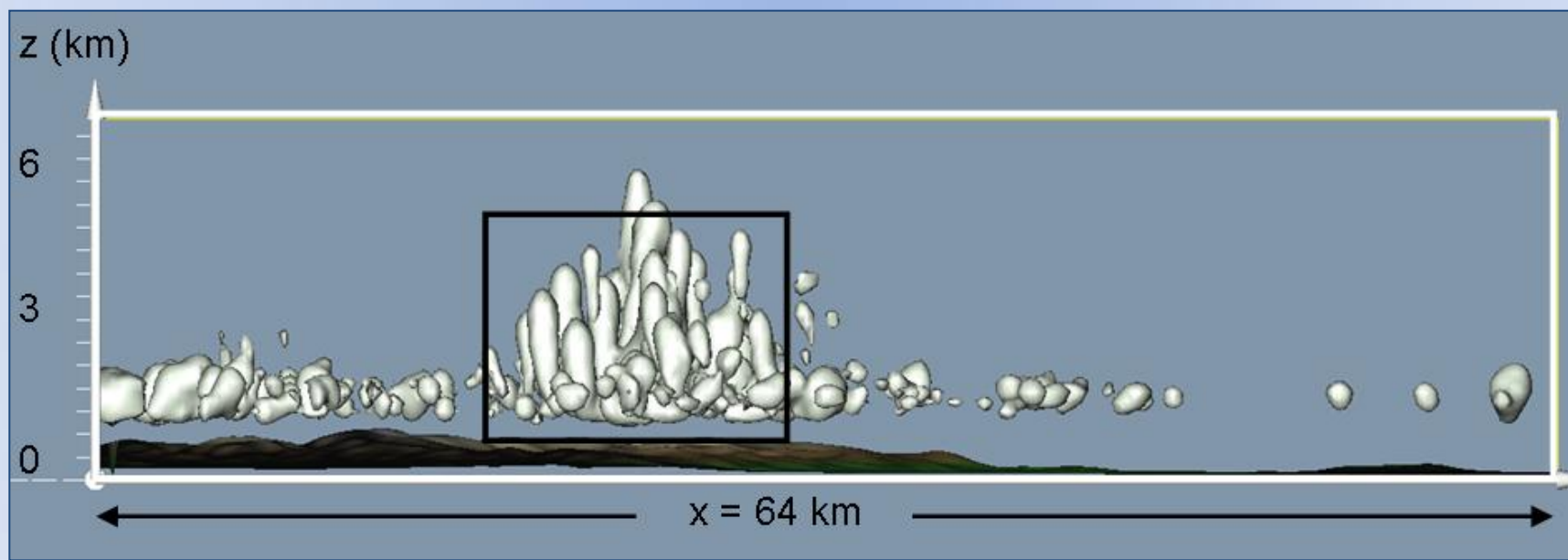
Étude de l'impact des propriétés physico-chimiques des aérosols sur les caractéristiques internes au nuage.

INTERACTIONS AÉROSOLS - NUAGES

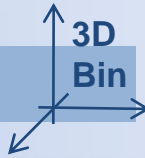


Sélection de la zone d'étude :

Tous les points du modèle dans un volume de $15 \times 15 \times 4.6 \text{ km}^3$ lors des **30 premières minutes** de formation du nuage et des précipitations

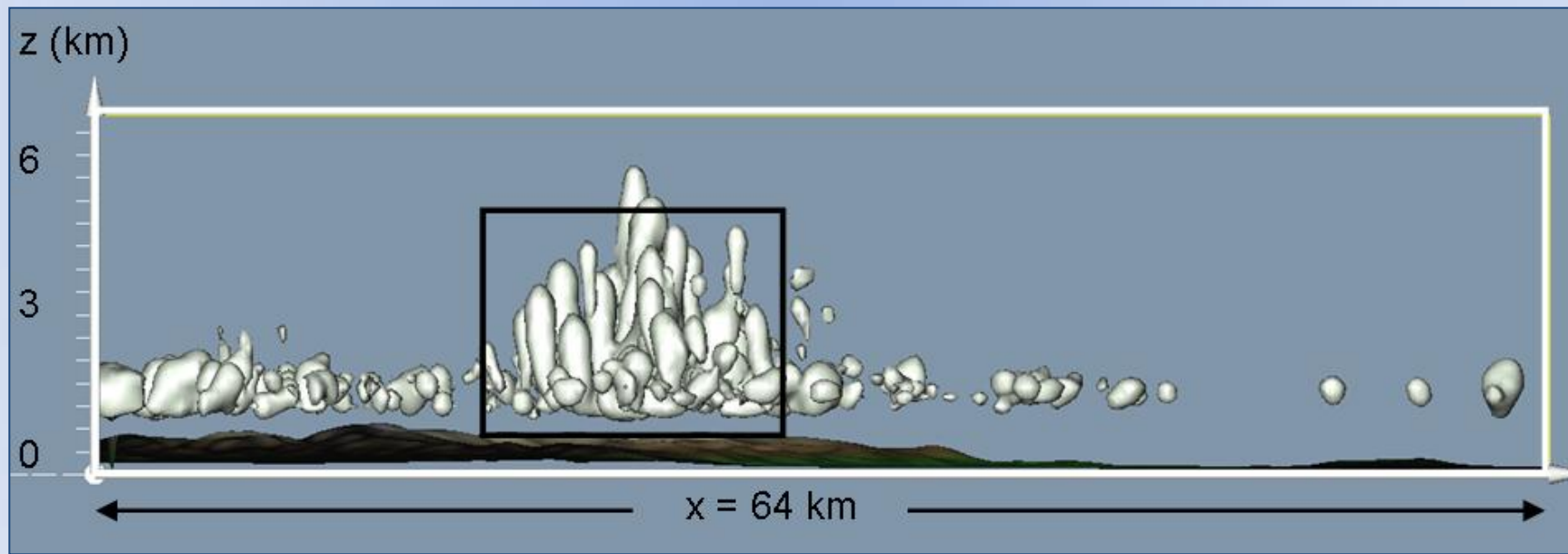


INTERACTIONS AÉROSOLS - NUAGES



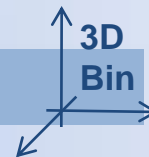
Sélection de la zone d'étude :

Tous les points du modèle dans un volume de $15 \times 15 \times 4.6 \text{ km}^3$ lors des **30 premières minutes** de formation du nuage et des précipitations



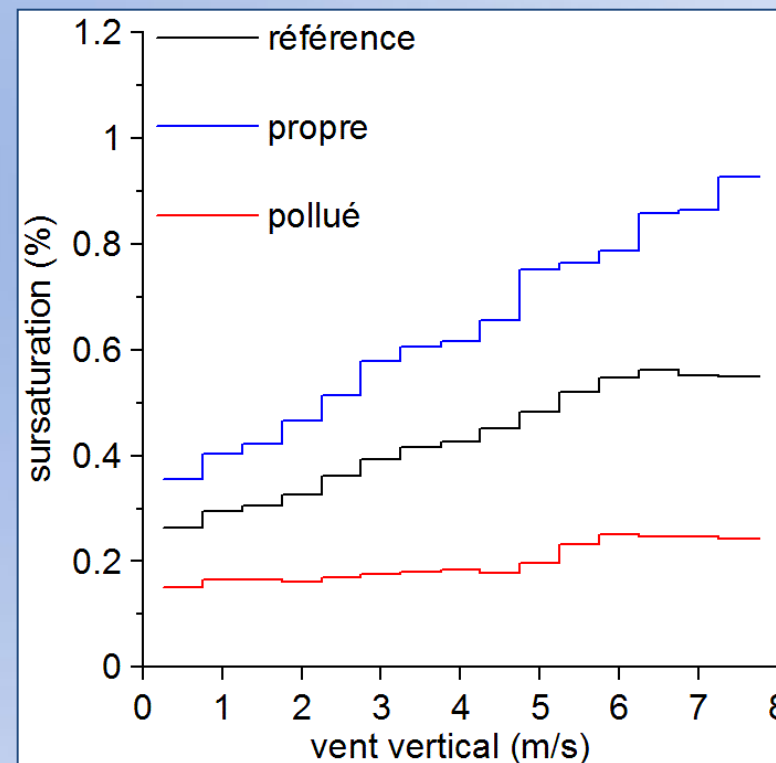
- Une série 4D de 3.1 millions de valeurs pour T, RH, w et LWC.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS

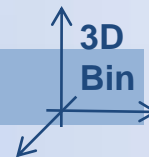


Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$



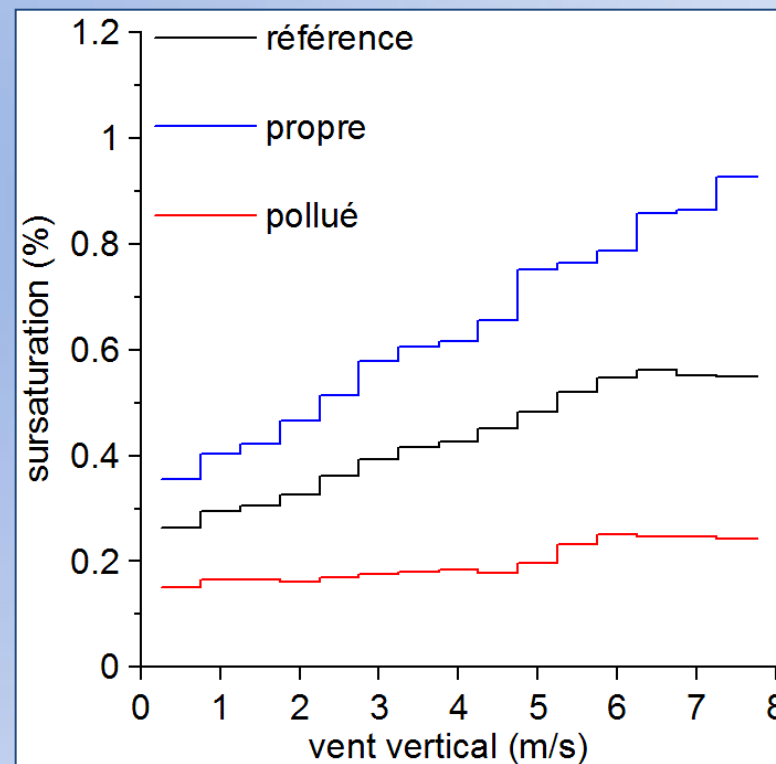
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS



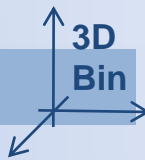
Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

► à fortes vitesses verticales, production importante d'excès de vapeur d'eau non consommée par les hydrométéores



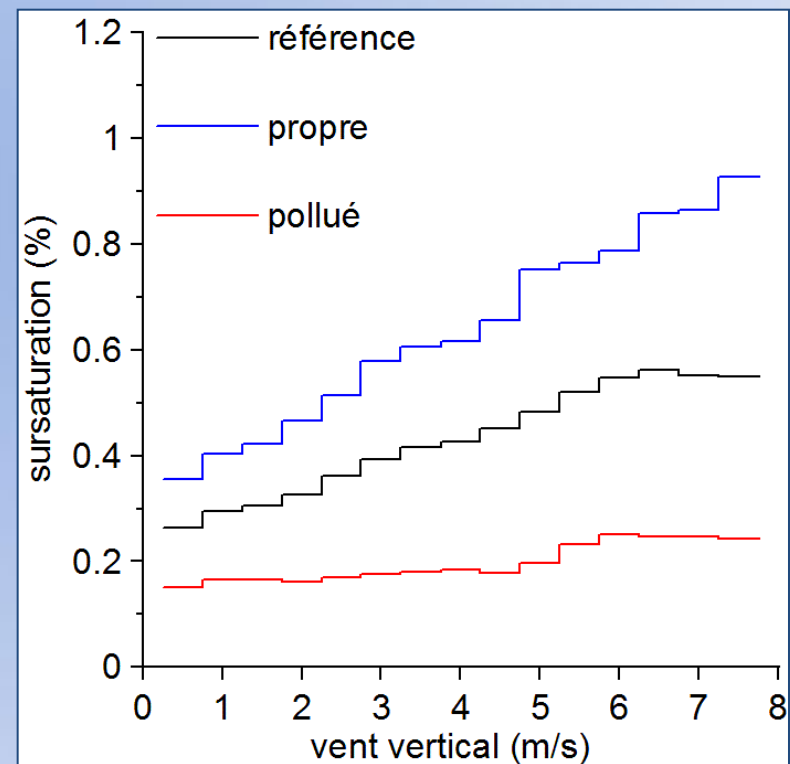
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS



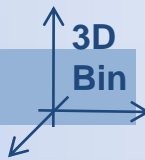
Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

- ▶ à fortes vitesses verticales, production importante d'excès de vapeur d'eau non consommée par les hydrométéores
→ forte sursaturation résiduelle.



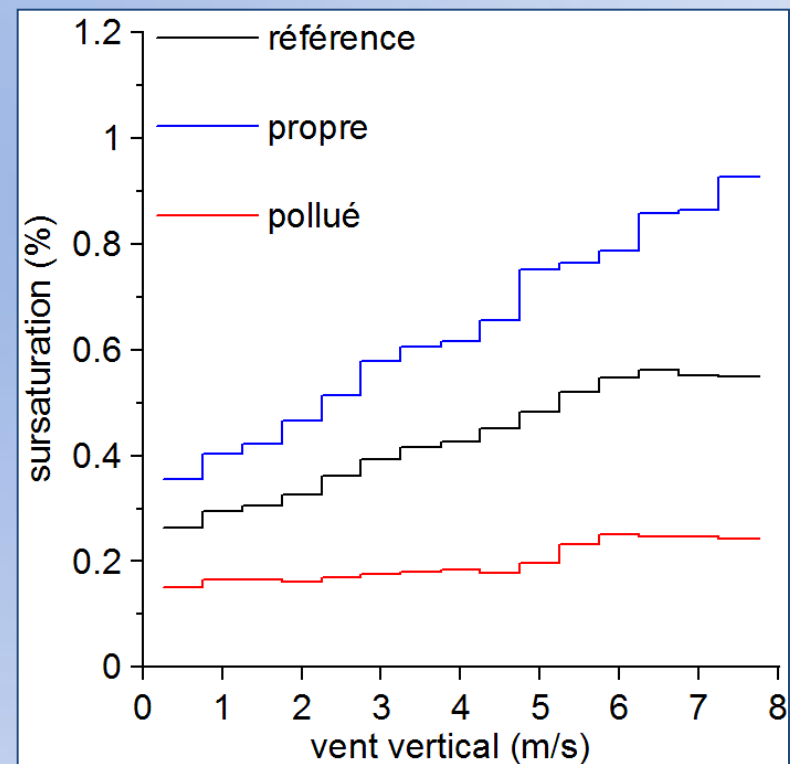
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS



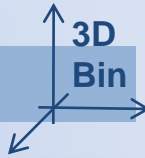
Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

- ▶ à fortes vitesses verticales, production importante d'excès de vapeur d'eau non consommée par les hydrométéores
→ forte sursaturation résiduelle.
- ▶ un grand nombre d'aérosols permet une consommation importante de la vapeur d'eau



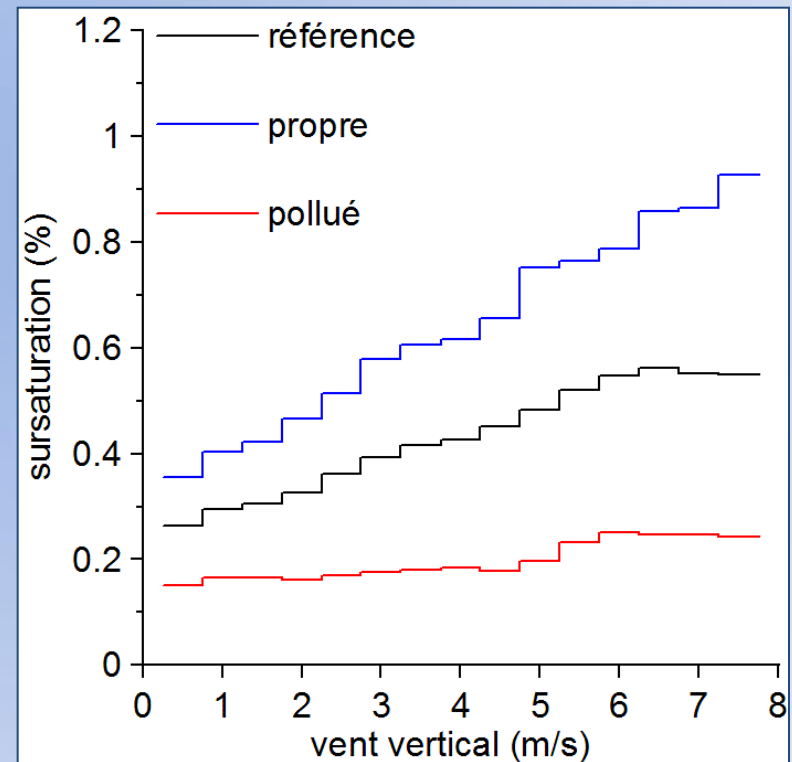
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS



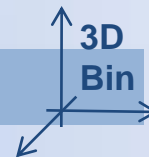
Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

- ▶ à fortes vitesses verticales, production importante d'excès de vapeur d'eau non consommée par les hydrométéores
→ forte sursaturation résiduelle.
- ▶ un grand nombre d'aérosols permet une consommation importante de la vapeur d'eau
→ diminution de la sursaturation résiduelle.



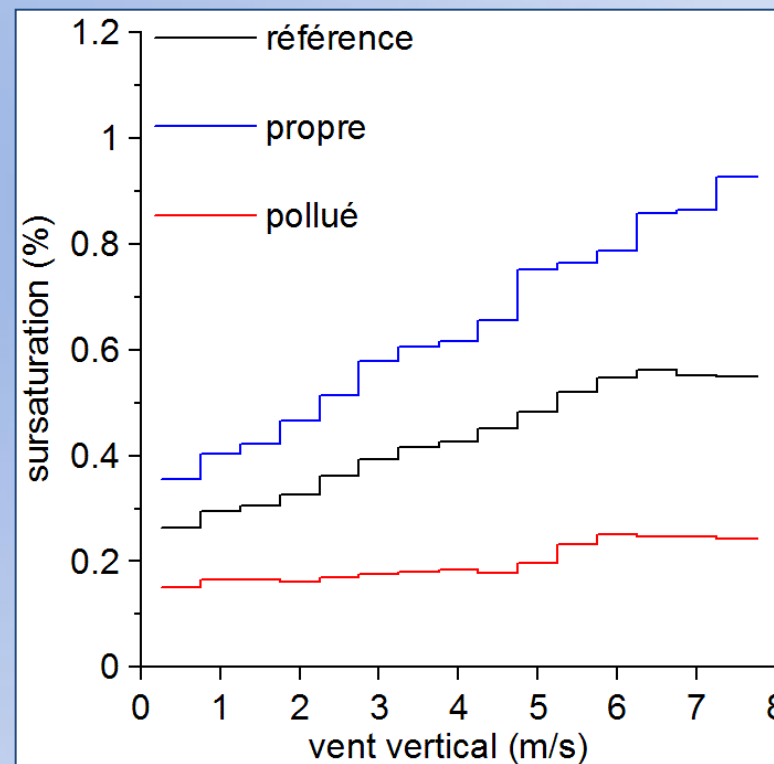
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES AÉROSOLS



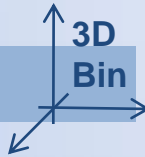
Impact du **nombre** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

- ▶ à fortes vitesses verticales, production importante d'excès de vapeur d'eau non consommée par les hydrométéores
→ forte sursaturation résiduelle.
- ▶ un grand nombre d'aérosols permet une consommation importante de la vapeur d'eau
→ diminution de la sursaturation résiduelle.
- ▶ influence plus importante sur la sursaturation nuageuse (200%) que sur les précipitations au sol (25%)

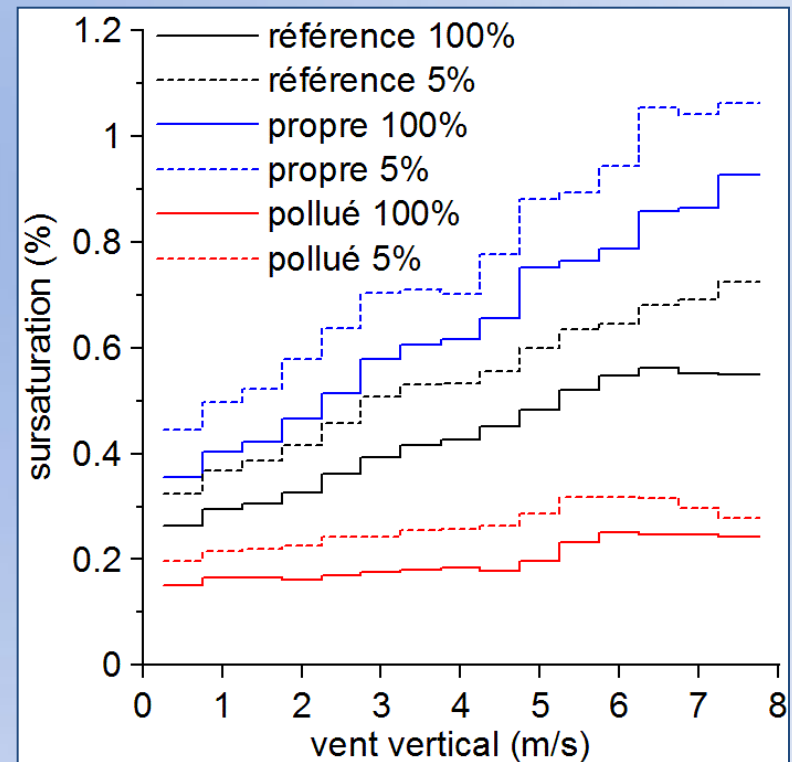


PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES AÉROSOLS

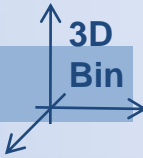


Impact de la **solubilité** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$



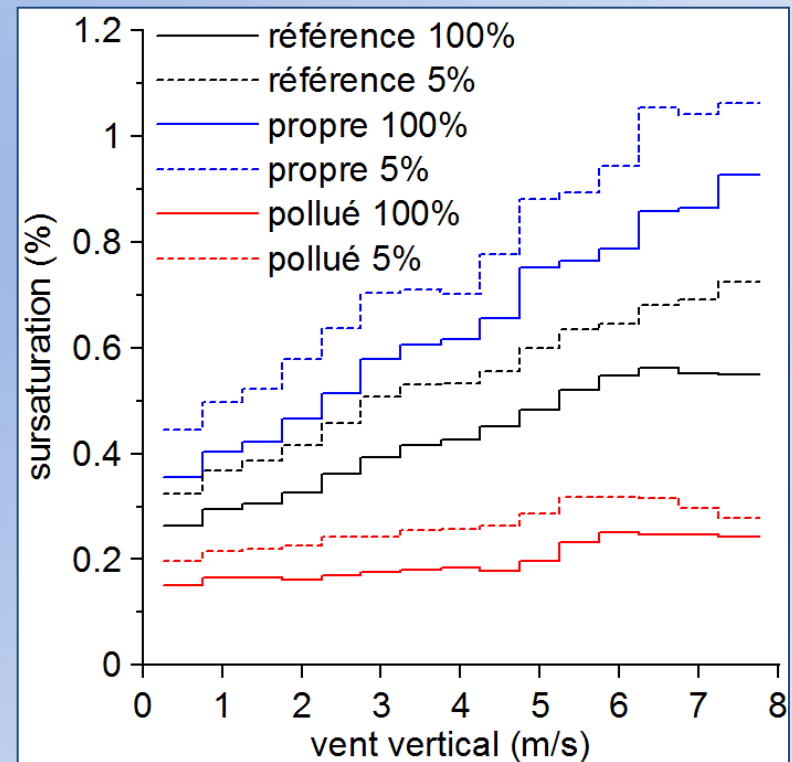
PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES AÉROSOLS



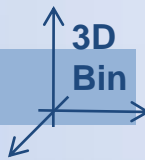
Impact de la **solubilité** des aérosols sur la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

► les aérosols moins solubles utilisent moins de vapeur d'eau et provoquent une augmentation de la sursaturation

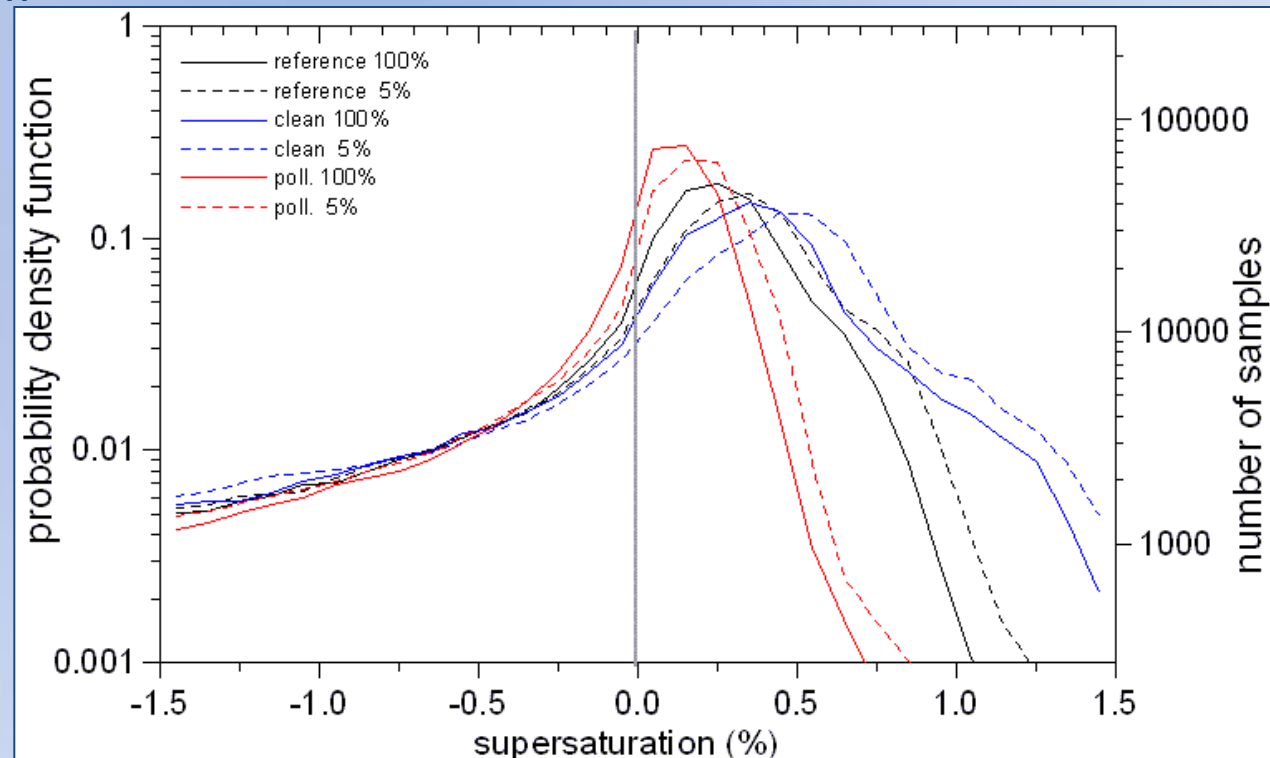


PROPRIÉTÉS PHYSICO - CHIMIQUES DES AÉROSOLS

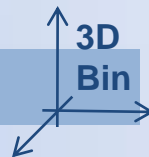


Impact des propriétés des aérosols sur la densité de probabilité de la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \in [-1.5 ; + 1.5 \text{ \%}]$
et $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$*



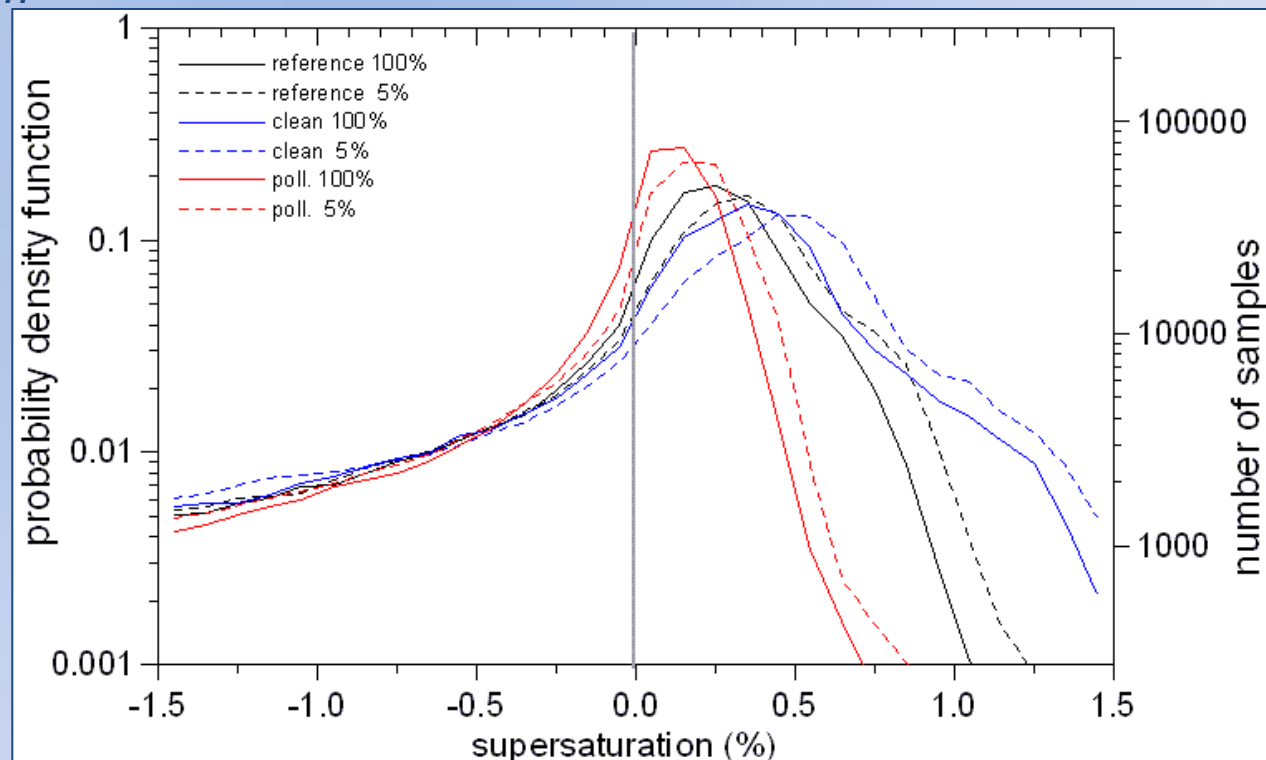
PROPRIÉTÉS PHYSICO - CHIMIQUES DES AÉROSOLS



Impact des propriétés des aérosols sur la densité de probabilité de la sursaturation nuageuse :

*Critères : $S \in [-1.5 ; + 1.5 \text{ \%}]$
et $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$*

► $\approx 25\%$ de zones sous-saturées dans le cas pollué, 18% dans tous les autres cas ($\approx 270\,000$ valeurs).



ÉTUDE MICROPHYSIQUE

Conclusions :

► Résultats de DESCAM 3D :

- validation du modèle à l'aide des observations radars sur un relief complexe
→ **localisation** correcte des précipitations

Forme du champ de précipitations moins morcelé que dans l'étude paramétrée

ÉTUDE MICROPHYSIQUE

Conclusions :

► Résultats de DESCAM 3D :

- validation du modèle à l'aide des observations radars sur un relief complexe
→ **localisation** correcte des précipitations
Forme du champ de précipitations moins morcelé que dans l'étude paramétrée
- estimation du modèle à l'aide de 3 pluviomètres

ÉTUDE MICROPHYSIQUE

Conclusions :

► Résultats de DESCAM 3D :

- validation du modèle à l'aide des observations radars sur un relief complexe
→ **localisation** correcte des précipitations
Forme du champ de précipitations moins morcelé que dans l'étude paramétrée
- estimation du modèle à l'aide de 3 pluviomètres
→ **quantification** raisonnable des précipitations

ÉTUDE MICROPHYSIQUE

Conclusions :

► Résultats de DESCAM 3D :

- validation du modèle à l'aide des observations radars sur un relief complexe

→ **localisation** correcte des précipitations

Forme du champ de précipitations moins morcelé que dans l'étude paramétrée

- estimation du modèle à l'aide de 3 pluviomètres

→ **quantification** raisonnable des précipitations

► **Interactions aérosols - précipitations au sol** : les précipitations au sol diminuent en moyenne quand le nombre de particules augmente ou leur solubilité diminue (mais localement comportement inverse)

ÉTUDE MICROPHYSIQUE

Conclusions :

► **Résultats de DESCAM 3D :**

- validation du modèle à l'aide des observations radars sur un relief complexe

→ **localisation** correcte des précipitations

Forme du champ de précipitations moins morcelé que dans l'étude paramétrée

- estimation du modèle à l'aide de 3 pluviomètres

→ **quantification** raisonnable des précipitations

► **Interactions aérosols - précipitations au sol** : les précipitations au sol diminuent en moyenne quand le nombre de particules augmente ou leur solubilité diminue (mais localement comportement inverse)

► **Interactions aérosols - nuage** : augmentation du nombre des aérosols provoque une diminution de la sursaturation nuageuse qui limite la croissance par condensation des gouttelettes en modifiant la dynamique du système.

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1) Étude dynamique :

- localisation des précipitations

2) Étude microphysique :

- quantification des précipitations

3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :

- fonte des cristaux

Conclusions et perspectives

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1) Étude dynamique :

- localisation des précipitations

2) Étude microphysique :

- quantification des précipitations

3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :

- fonte des cristaux

Conclusions et perspectives

AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Contexte :

- ▶ modèle capable de reproduire les systèmes observés lors de COPS



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Contexte :

- ▶ modèle capable de reproduire les systèmes observés lors de COPS
- ▶ cependant, cas de bande brillante visibles dans les observations radars de nuages en phase glace faussent l'estimation des précipitations



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Contexte :

- ▶ modèle capable de reproduire les systèmes observés lors de COPS
- ▶ cependant, cas de bande brillante visibles dans les observations radars de nuages en phase glace faussent l'estimation des précipitations
- ▶ auparavant bande brillante non reproduite par le modèle



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Contexte :

- ▶ modèle capable de reproduire les systèmes observés lors de COPS
- ▶ cependant, cas de bande brillante visibles dans les observations radars de nuages en phase glace faussent l'estimation des précipitations
- ▶ auparavant bande brillante non reproduite par le modèle

Modélisation de la bande brillante :

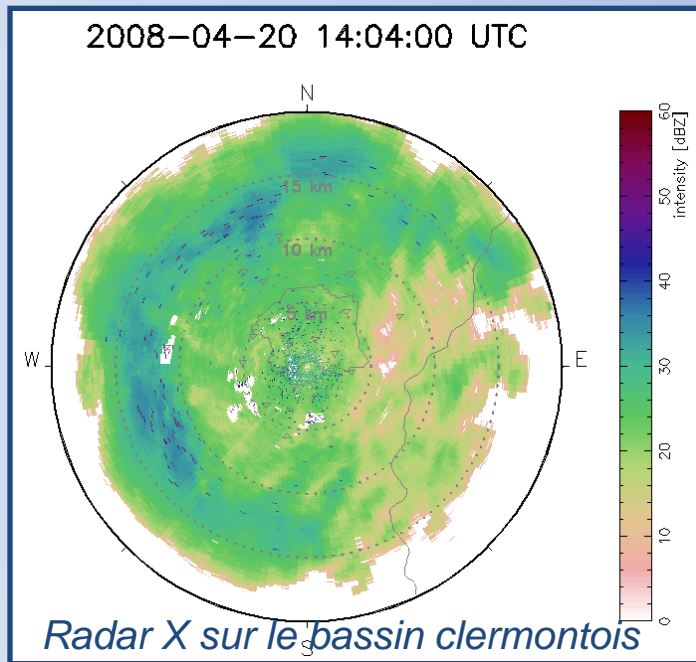
Permettre de comprendre les processus microphysiques mis en jeu dans cette zone complexe.





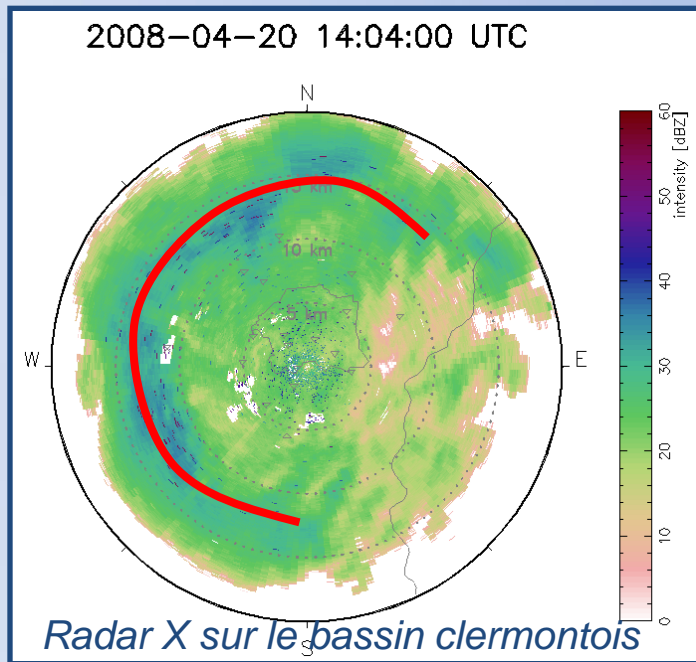
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Observations de la bande brillante :



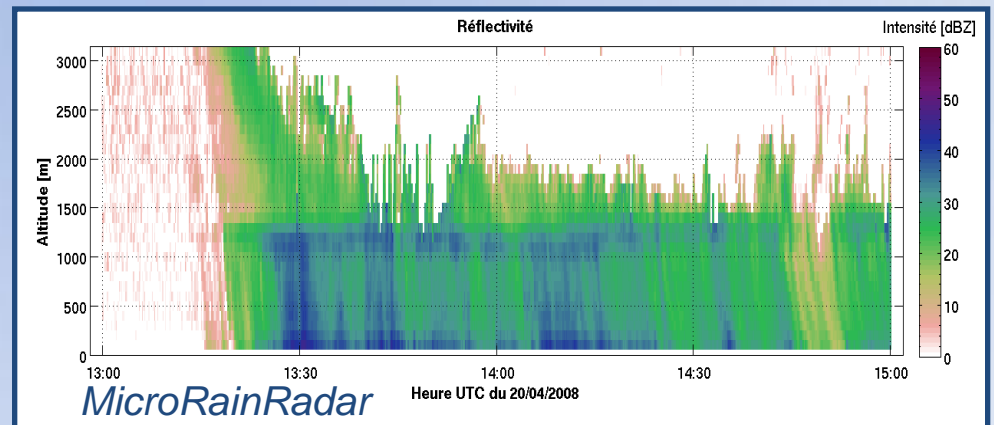
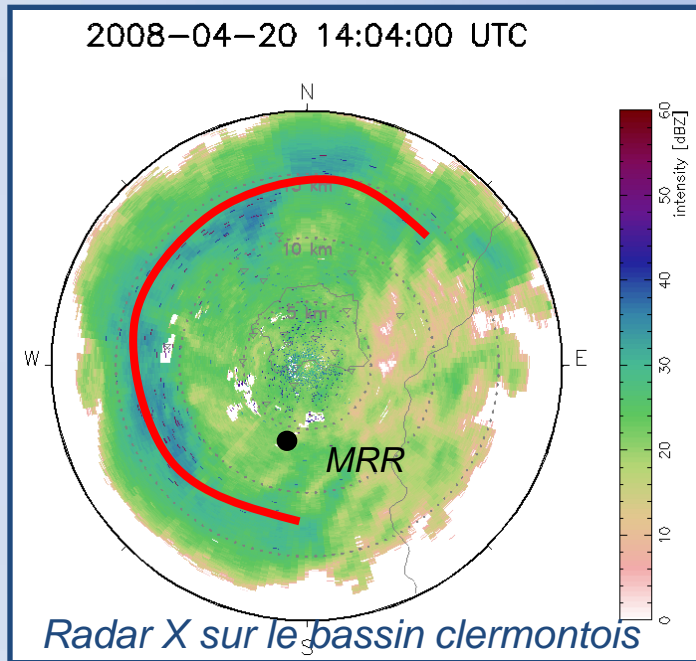
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Observations de la bande brillante :



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

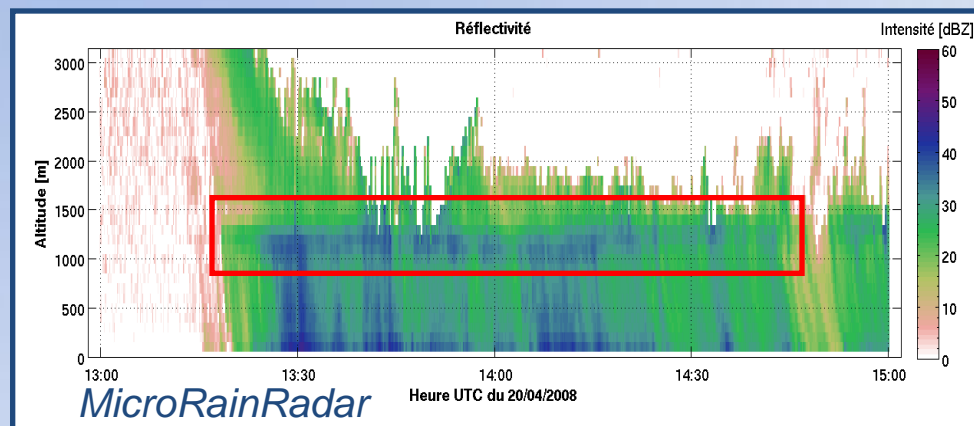
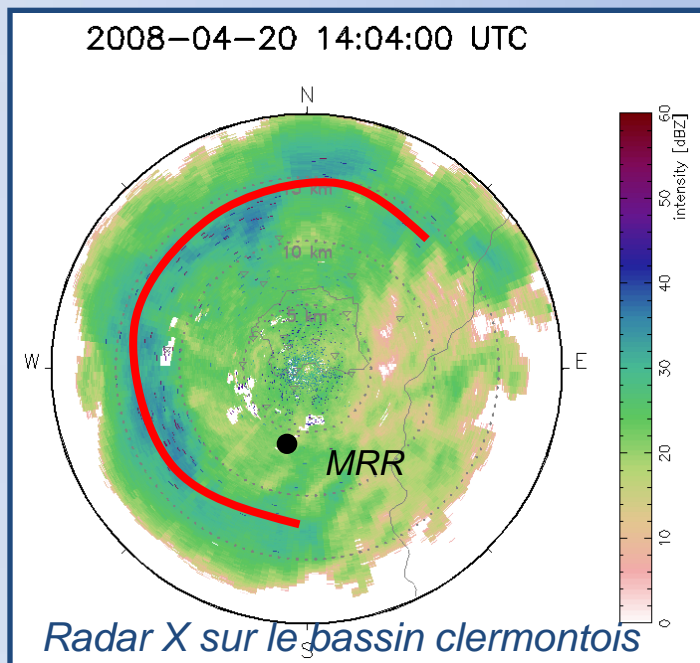
Observations de la bande brillante :





AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

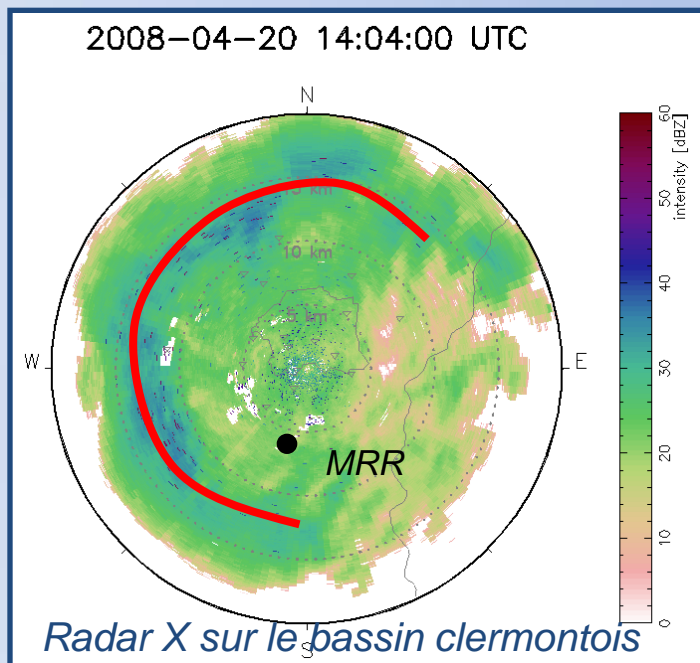
Observations de la bande brillante :





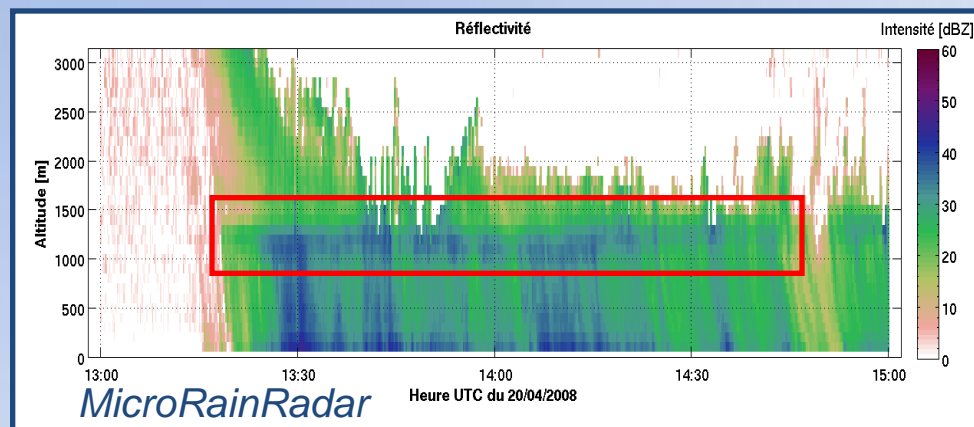
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Observations de la bande brillante :



► Bande brillante :

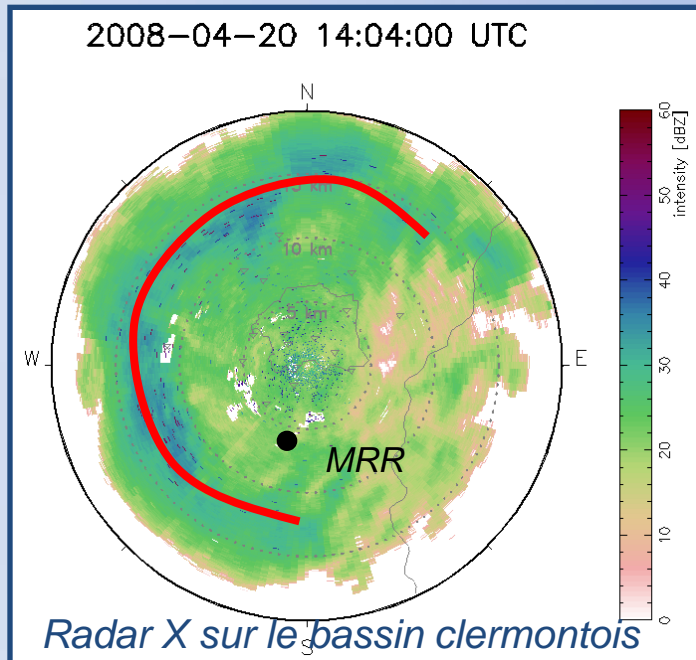
- hydrométéores en phase mixte
- propriétés diélectriques, tailles et vitesses de chute





AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

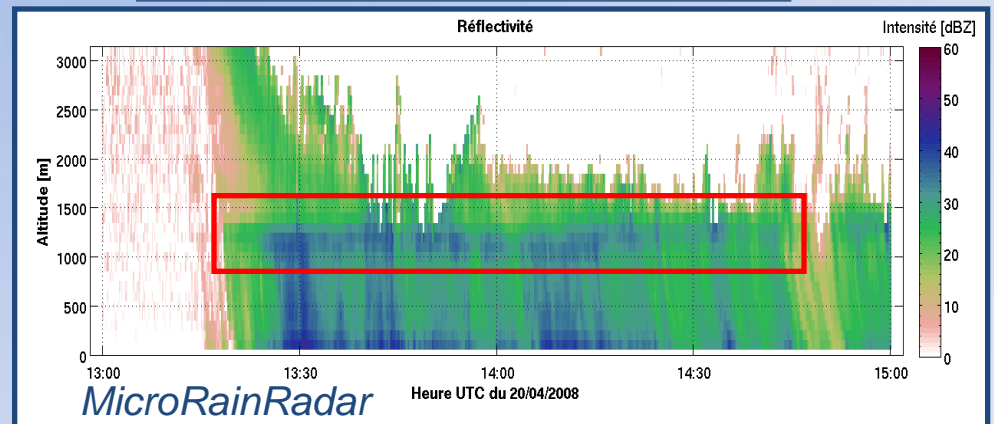
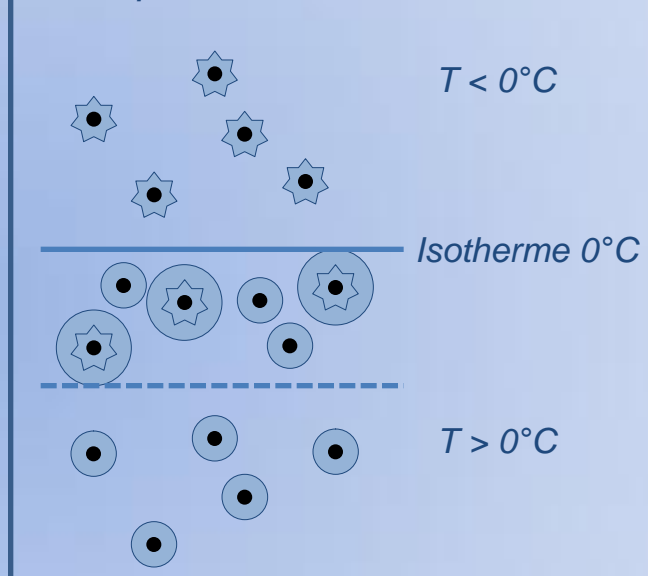
Observations de la bande brillante :



► Bande brillante :

- hydrométéores en phase mixte
- propriétés diélectriques, tailles et vitesses de chute

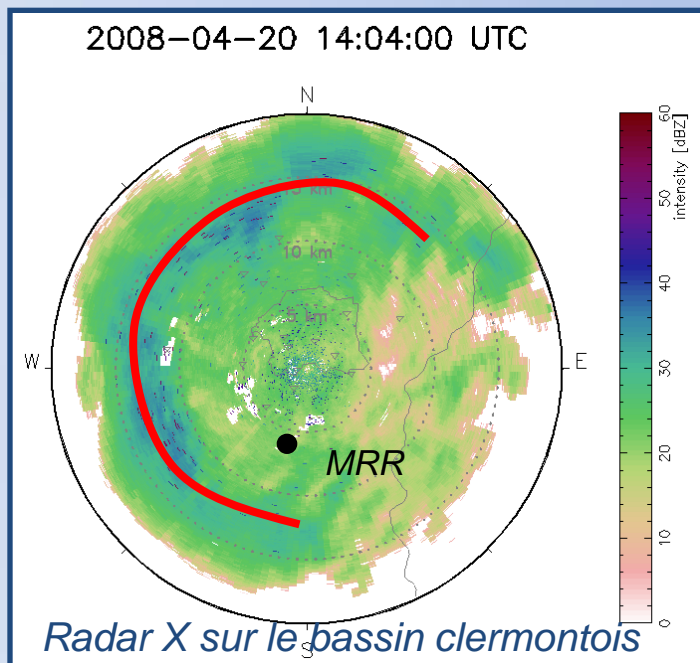
Atmosphère réelle





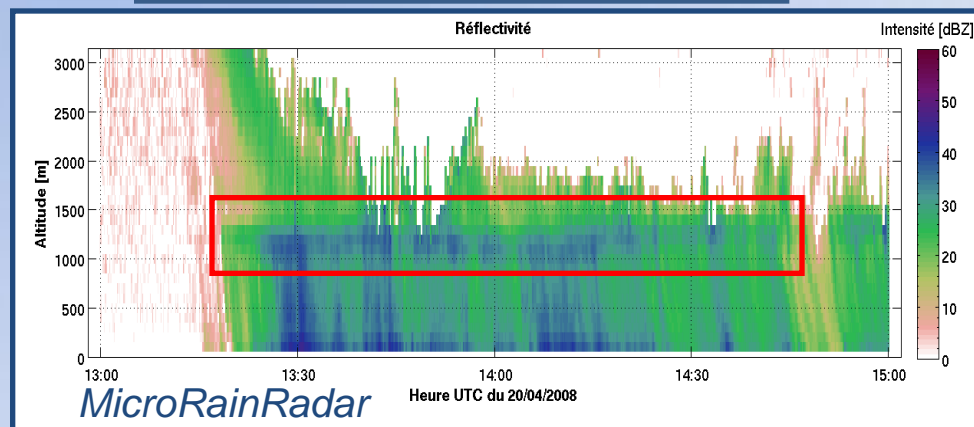
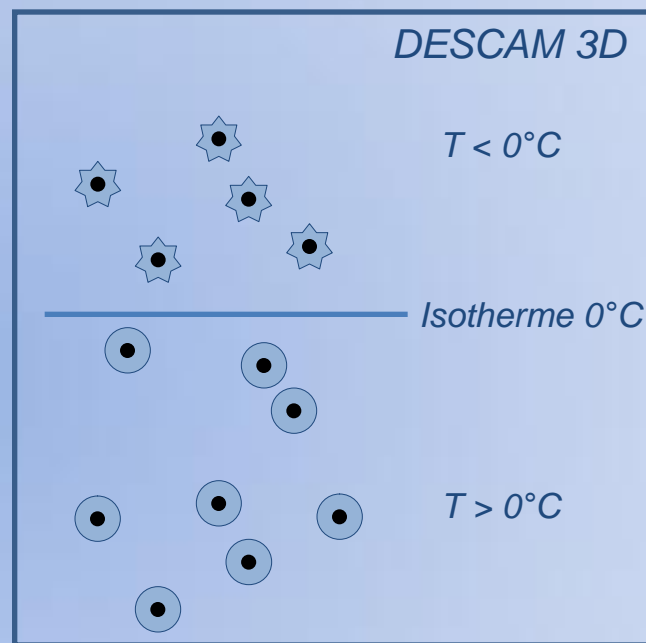
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Observations de la bande brillante :



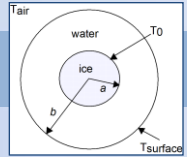
► Bande brillante :

- hydrométéores en phase mixte
- propriétés diélectriques, tailles et vitesses de chute



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

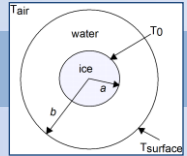
Paramétrisation du taux de fonte :



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

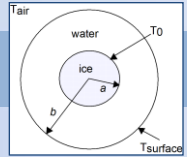
Paramétrisation du taux de fonte :

- basée sur les travaux de Mason (1956) et les expériences de Rasmussen et Pruppacher (1982).

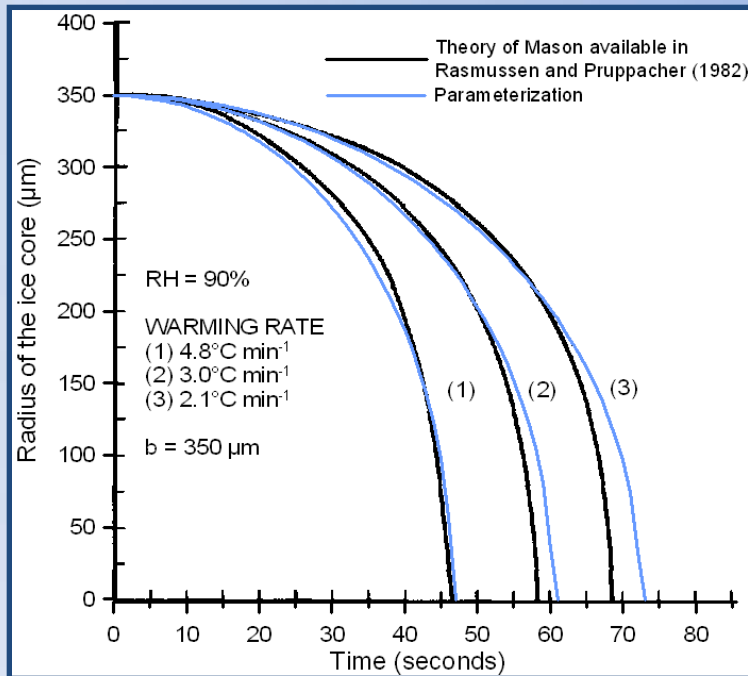


AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

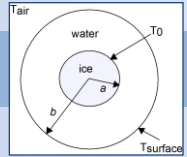
Paramétrisation du taux de fonte :



- basée sur les travaux de Mason (1956) et les expériences de Rasmussen et Pruppacher (1982).



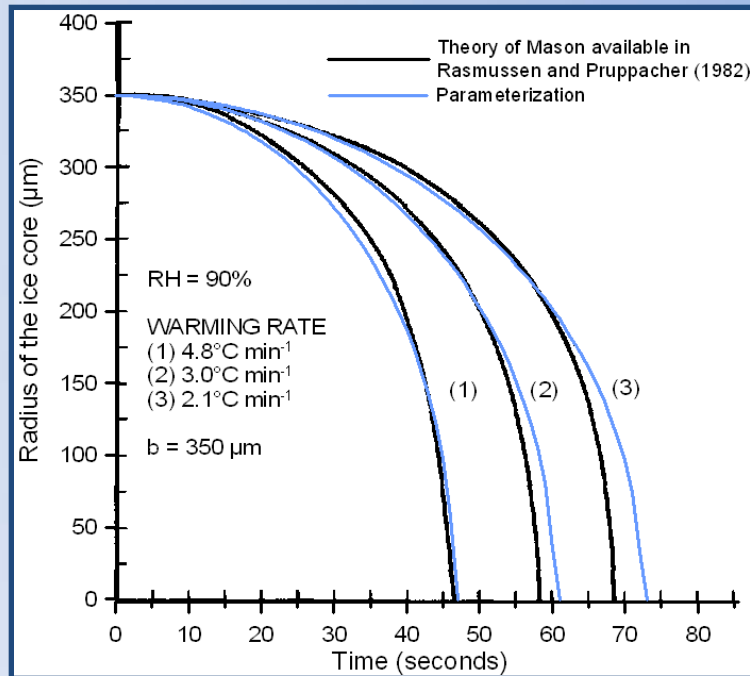
- **taux de fonte** fonction de T , RH et $m_{i,r}$
- biais expérience - paramétrisation < à 10%



AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Paramétrisation du taux de fonte :

- basée sur les travaux de Mason (1956) et les expériences de Rasmussen et Pruppacher (1982).



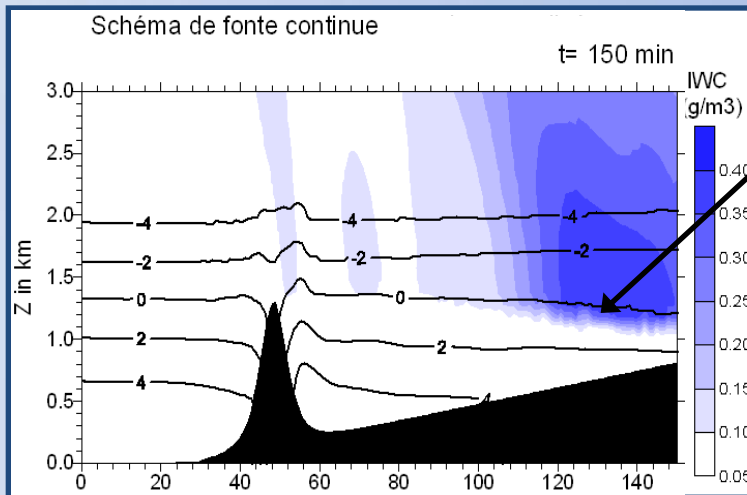
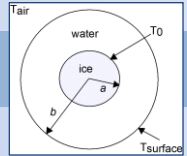
- **taux de fonte** fonction de T , RH et $m_{i,r}$
- biais expérience - paramétrisation < à 10%

Processus microphysiques ajoutés :

- fonte
- agrégation
- collision gouttes-cristaux subissant la fonte

AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

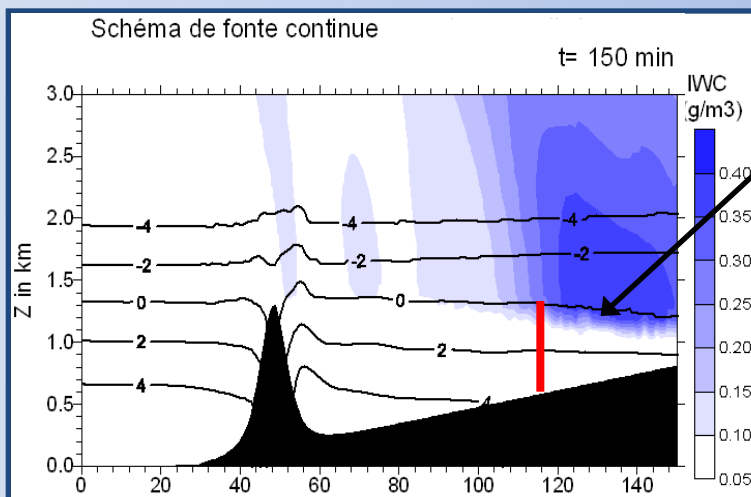
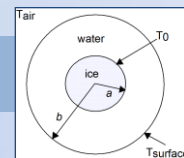
Simulation stratiforme idéalisée :



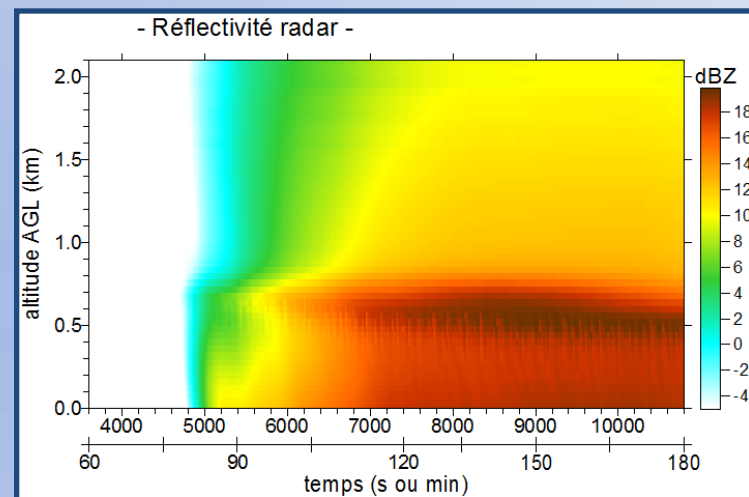
*Glace présente
à des $T > 0^\circ\text{C}$*

AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Simulation stratiforme idéalisée :

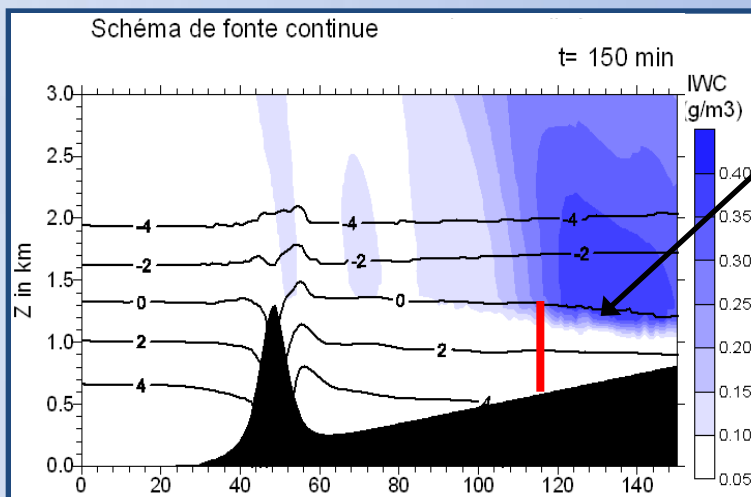
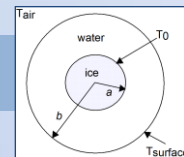


*Glace présente
à des $T > 0^\circ\text{C}$*

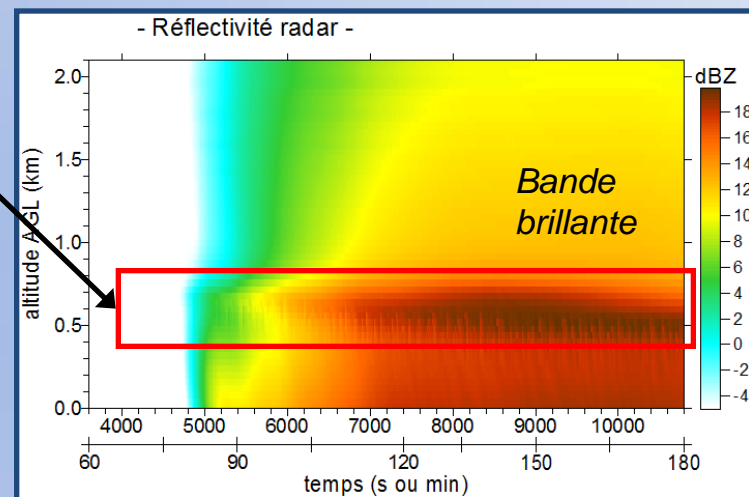


AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Simulation stratiforme idéalisée :

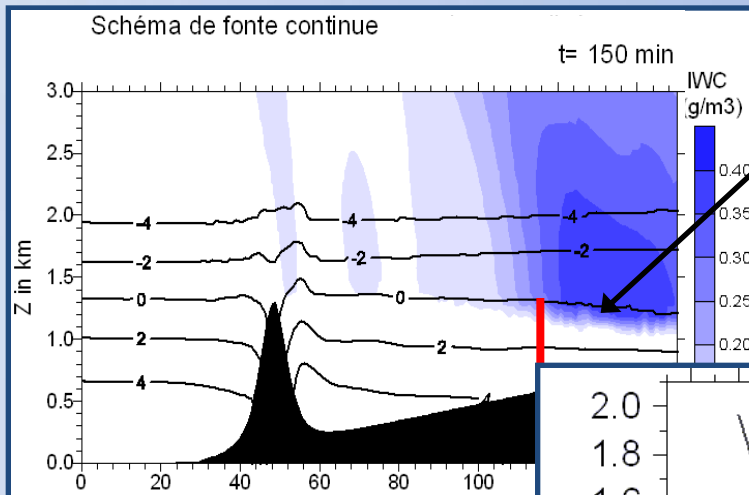
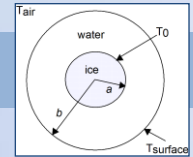


*Glace présente
à des $T > 0^\circ\text{C}$*

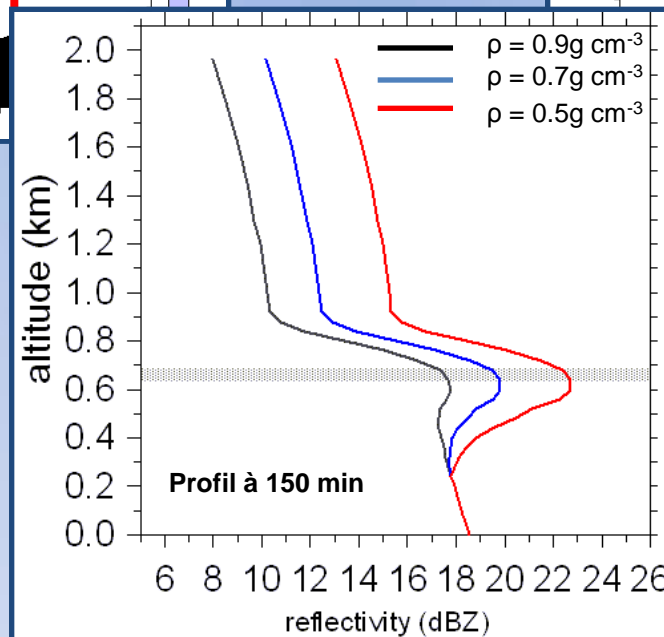
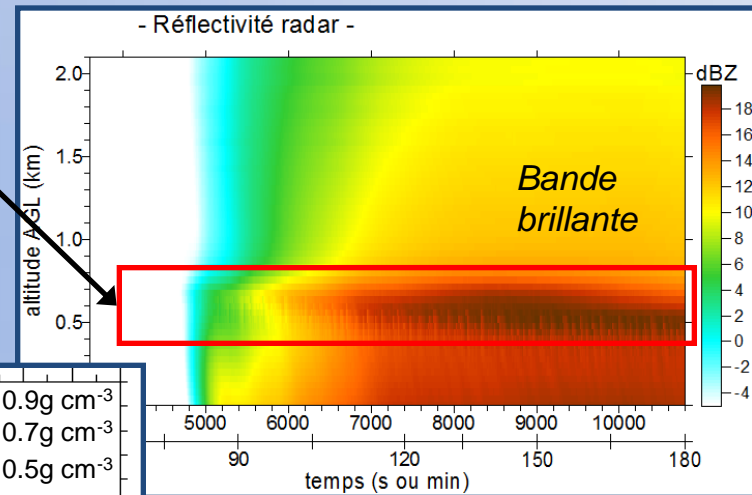


AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Simulation stratiforme idéalisée :



Glace présente à des $T > 0^\circ\text{C}$

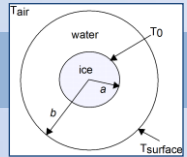


- Variabilité de la bande brillante :
- la masse volumique des cristaux

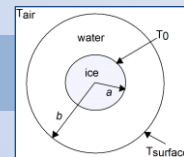
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE

Conclusions :

- **DESCAM 3D** : développement des processus microphysiques liés aux hydrométéores en phase mixte (fonte, agrégation, collision gouttes-cristaux fondus).



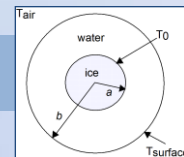
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE



Conclusions :

- ▶ **DESCAM 3D** : développement des processus microphysiques liés aux hydrométéores en phase mixte (fonte, agrégation, collision gouttes-cristaux fondus).
- ▶ **Bande brillante** : similaire aux observations radars ; son intensité dépend de la masse volumique des cristaux.

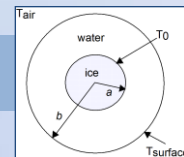
AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE



Conclusions :

- ▶ **DESCAM 3D** : développement des processus microphysiques liés aux hydrométéores en phase mixte (fonte, agrégation, collision gouttes-cristaux fondus).
- ▶ **Bande brillante** : similaire aux observations radars ; son intensité dépend de la masse volumique des cristaux.
- ▶ **Aide à l'interprétation des observations radar** : informations sur la microphysique en phase mixte dans la bande brillante et amélioration du calcul des précipitations au sol

AMÉLIORATION DE LA RÉFLECTIVITÉ RADAR SIMULÉE



Conclusions :

- ▶ **DESCAM 3D** : développement des processus microphysiques liés aux hydrométéores en phase mixte (fonte, agrégation, collision gouttes-cristaux fondus).
- ▶ **Bande brillante** : similaire aux observations radars ; son intensité dépend de la masse volumique des cristaux.
- ▶ **Aide à l'interprétation des observations radar** : informations sur la microphysique en phase mixte dans la bande brillante et amélioration du calcul des précipitations au sol

→ **Perspective à court terme:**

Tester cette représentation sur une situation observée sur le bassin clermontois (MicroRainRadar + radar en bande X) et dans le cadre des campagnes (aéroportée + radars) en cours (MeghaTropiques) ou à venir (HyMex).

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- 1) Étude dynamique :
 - localisation des précipitations
 - 2) Étude microphysique :
 - quantification des précipitations
 - 3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :
 - fonte des cristaux
- Conclusions et perspectives

PLAN DE LA PRÉSENTATION

- 1) Étude dynamique :
 - localisation des précipitations
- 2) Étude microphysique :
 - quantification des précipitations
- 3) Amélioration de la réflectivité radar simulée :
 - fonte des cristaux

Conclusions et perspectives

CONCLUSIONS

Localisation et quantification des précipitations :

CONCLUSIONS

Localisation et quantification des précipitations :

► **localisation des précipitations :**

- importance de la représentation du relief
- description précise des conditions thermodynamiques (surtout l'humidité) des basses couches

CONCLUSIONS

Localisation et quantification des précipitations :

► localisation des précipitations :

- importance de la représentation du relief
- description précise des conditions thermodynamiques (surtout l'humidité) des basses couches

► quantification des précipitations :

- précipitations sensibles à la concentration des particules d'aérosol
- précipitations sensibles, mais à un degré moindre, à la solubilité des aérosols
- aérosols affectent les précipitations au sol mais également la dynamique et la thermodynamique du nuage

Planche et al., 2010

CONCLUSIONS

Reproduction de la bande brillante :

► **représentation des processus microphysiques efficaces dans la formation des pluies :**

- amélioration de la conversion de la glace et de l'eau nuageuse en pluie au sol
- amélioration des interactions microphysiques dans la zone complexe de l'isotherme 0°C
- reproduction de la bande brillante
- variation de la bande brillante selon la taille et la forme des cristaux de glace

CONCLUSIONS

Reproduction de la bande brillante :

► **représentation des processus microphysiques efficaces dans la formation des pluies :**

- amélioration de la conversion de la glace et de l'eau nuageuse en pluie au sol
- amélioration des interactions microphysiques dans la zone complexe de l'isotherme 0°C
- reproduction de la bande brillante
- variation de la bande brillante selon la taille et la forme des cristaux de glace

➔ **Disponibilité d'un outil de modélisation de la pluie sur un terrain complexe à l'échelle d'un bassin versant observable à l'aide d'un radar à haute résolution.**

PERSPECTIVES

► Améliorer le modèle :

- différentes morphologies des cristaux de glace
- améliorer la formation de la glace (nucléation hétérogène en fonction du type de particules et production secondaire)

PERSPECTIVES

► Améliorer le modèle :

- différentes morphologies des cristaux de glace
- améliorer la formation de la glace (nucléation hétérogène en fonction du type de particules et production secondaire)

► Aide aux modèles de prévision :

- comparaison avec des paramétrisations bien établies utilisées dans les modèles de méso-échelle (Meso-NH, AROME, WRF...)
- possibles améliorations de la représentation des nuages et des précipitations dans les modèles méso-échelle

PERSPECTIVES

► Améliorer le modèle :

- différentes morphologies des cristaux de glace
- améliorer la formation de la glace (nucléation hétérogène en fonction du type de particules et production secondaire)

► Aide aux modèles de prévision :

- comparaison avec des paramétrisations bien établies utilisées dans les modèles de méso-échelle (Mésos-NH, AROME, WRF...)
- possibles améliorations de la représentation des nuages et des précipitations dans les modèles méso-échelle

► Nowcasting pour Clermont communauté :

- compréhension de la répartition des précipitations locales pour développer un outil d'aide à la gestion des bassins de rétention de la ville
- impact du climat changeant à l'échelle locale

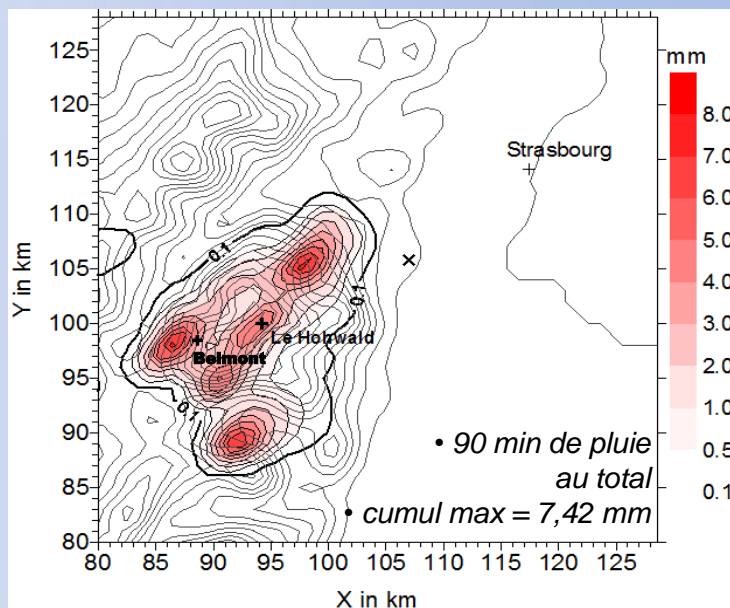


ANNEXES

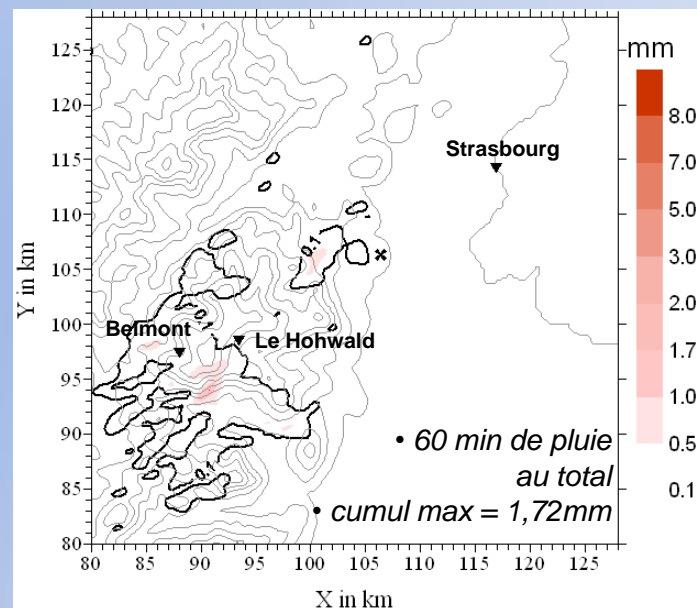
COMPARAISON DU 12 AOÛT 2007 : SIMULATION PARAMÉTRÉE - DÉTAILLÉE

Même initialisation :

- sondage de Nancy, 12h UTC
- 2 domaines imbriqués ($\Delta x_1 = \Delta y_1 = 1 \text{ km}$; $\Delta x_2 = \Delta y_2 = 250 \text{ m}$ & $\Delta z_1 = \Delta z_2 = 200 \text{ m}$)



Microphysique détaillée



Microphysique paramétrée

► Système convectif simulé avec la microphysique paramétrée n'est pas réalimenté dynamiquement → cycle de vie plus court que dans les simulations détaillées

COÛT CALCUL

Couplage entre les schémas dynamique et microphysique :

Schéma dynamique

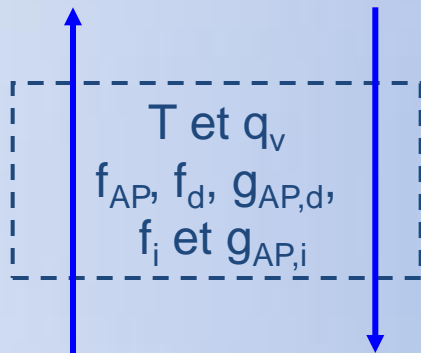


Schéma microphysique

Clark et Hall (2007)

- non hydrostatique, anélastique, résout les équations pour :

u, v, w, θ, P, ρ and q_v

- transporte les variables microphysiques $f_{AP}, f_d, g_{AP,d}, f_i$ et $g_{AP,i}$.

5 distributions x 39 bins = 195 variables microphysiques par point de grille

Temps de calcul : ~200 fois plus coûteux que le modèle utilisant la microphysique paramétrée

ÉTUDE STATISTIQUE DU NUAGE

impact du nombre des aérosols sur la chaleur latente libérée :

*Critères : $S \geq 0\%$, $LWC > 0.1 \text{ g m}^{-3}$
et $w \in [0.25; 7.75 \text{ m s}^{-1}]$*

- ▶ chaleur latente libérée augmente avec w , plus faible pour la cas pollué.
- ▶ modification de la flottabilité et donc de la dynamique du cas pollué

