

# Table des matières

<b>A</b>	<b>Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches</b>	<b>1</b>
A.1	Présentation du modèle . . . . .	1
A.1.1	Principes . . . . .	1
A.1.2	Aspects techniques . . . . .	7
A.2	Validations de quelques hypothèses du modèle dans les LES . . . . .	9
A.3	Évaluations des variables internes . . . . .	11
A.4	Effets sur les profils $\delta T$ , $\delta q$ et $\delta w$ . . . . .	14

# Liste des tableaux

# Table des figures

A.1	Schéma de la couronne des centres des poches de rayon $R_2$ qui vont toucher la poche $\mathcal{A}$ de rayon $R_1$ pendant un intervalle de temps $\delta t$ . La poche $\mathcal{A}$ est de rayon $R_1$ au début de l'intervalle temporel (bord de $\mathcal{A}$ représenté en bleu) et de rayon $R_1 + C_*\delta t$ à la fin de l'intervalle (bord de $\mathcal{A}$ représenté en rouge). Les poches $\mathcal{B}$ et $\mathcal{C}$ sont de rayon $R_2$ au début de l'intervalle temporel (bord dessinés en bleu) et de rayon $R_2 + C_*\delta t$ à la fin de l'intervalle (bords dessinés en rouge). $\mathcal{B}$ est la poche la plus proche de $\mathcal{A}$ rencontrant $\mathcal{A}$ pendant l'intervalle temporel ; la distance entre les centres de $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ est $R_1 + R_2$ . $\mathcal{C}$ est la poche la plus éloignées de $\mathcal{A}$ rencontrant $\mathcal{A}$ pendant l'intervalle temporel ; la distance entre les centres de $\mathcal{A}$ et de $\mathcal{C}$ est de $R_1 + R_2 + 2C_*\delta t$ . L'ensemble des centres des poches de rayon $R_2$ rencontrant $\mathcal{A}$ pendant $\delta t$ est la couronne hachurée comprise entre les cercles concentriques de $\mathcal{A}$ de rayon $R_1 + R_2$ et $R_1 + R_2 + 2C_*\delta t$ . Son aire est $4 \pi (R_1 + R_2) C_*\delta t$ . . . . .	4
A.2	Même chose que la Fig.?? du chapitre ??, mais avec l'ajout des nuages bas (en violet), des nuages moyens (en blanc) et des précipitations (en gris). Les nuages bas et moyens sont calculés aux points de grille où l'eau condensée dépasse $10^{-5}$ kg/kg, sur des moyennes d'altitudes respectives de 0 à 4 km et de 4 à 8 km. . . . .	10
A.3	Densité totale des poches froides (wdens) et densité des poches actives (awdens) (a), fraction de surface totale (sigmaw) et fraction de surface des poches actives (asigmaw) (b), ainsi que rayon moyen des poches (radwk), incluant celles actives (aradwk) et inactives (iradwk) (c), simulés dans LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de population des poches (LMDZ-POPDYN) et dans LMDZ la version standard où la densité de poches est fixée (LMDZ STAND) sur le cas RCE. Les lignes noires en pointillés représentent les valeurs correspondantes estimées dans la LES. . . . .	12
A.4	Comme Fig. A.3 mais pour le cas AMMA. . . . .	13
A.5	Profils verticaux de $\delta T$ , $\delta q$ et $\delta w$ issus des LES, comparés aux simulations LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de populations activée (LMDZ-POPDYN) et avec la version standard à densité de poches imposée (LMDZ-STAND), pour les cas RCE (a, b, c) et AMMA (d, e, f). . . . .	15

# Annexe A

## Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

On présente ici des test d'un modèle en cours de développement, proposé par Jean-Yves pour calculer la densité surfacique des poches froide (nombre de poches par unité de surface) qui était imposée jusque là.

### A.1 Présentation du modèle

~~Le modèle simule le cycle de vie des poches froides, permettant de calculer leur densité, qui était jusque là imposée dans LMDZ. Il~~ décrit une population de poches (wakes) circulaires ayant tous la même hauteur, les mêmes profils de température et d'humidité et la même vitesse d'étalement, les rayons, quant à eux, pouvant prendre deux valeurs, selon que les poches sont alimentées par des colonnes convectives ou non (auquel cas, elles s'effondrent simplement). Il s'agit de représenter, à l'aide de ce schéma très simple, une population de poches d'âges et de tailles variées, dont certaines sont alimentées par des colonnes convectives pendant que d'autre sont simplement en train de s'effondrer. En outre ces poches peuvent entrer en collision ou fusionner. Il s'agit de la troisième version de ce modèle ; c'est une sophistication de la version précédente (non présentée ici) dans laquelle tous les wakes avaient la même taille.

#### A.1.1 Principes

Le modèle suppose que les poches naissent à partir des Cumulonimbus issus des cumulus avec un taux de naissance  $B$ . Ces poches meurent par effondrement lorsque la convection ne les alimente plus. Elles peuvent également disparaître à l'occasion de leur rencontre : soit elles fusionnent, ce qui réduit leur nombre d'une unité, soit leur collision entraîne la disparition des deux poches initiales et la création d'une nouvelle, ce qui conduit également à une diminution d'une unité.

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

Le modèle décrit deux catégories de poches froides : les poches actives, alimentées par des colonnes convectives, et les poches inactives, lesquelles s'effondrent. Chaque catégorie de poche est caractérisé par un rayon spécifique :  $r_A$  pour les poches actives et  $r_I$  pour les poches inactives. La population des poches froides est ainsi décrite par trois variables :  $D$ , la densité totale des poches ;  $A$ , la densité des poches actives ; et  $I$ , la densité des poches inactives, avec la relation  $D = A + I$ .

Le modèle suppose que les processus de rencontre mènent à un changement de rayon des poches concernés. Comme le rayon des poches du modèle ne peut prendre que deux valeurs, ces changement discontinus locaux de rayons vont être représentés par une évolution continue. Et, bien sur,  $\partial_t r_A$  et  $\partial_t r_I$  seront différents de  $C_*$ .

du rayon moyen des poches

Je ne vois pas comment ca pourrait être la même chose.

Et il faut dire plus tard ce q ue sont ces évolutions.

Il existe trois types de rencontres : entre deux poches actives, entre deux poches inactives et entre une poche active et une poche inactive. Les trois taux de rencontres par unité de surface seront respectivement désignés par  $[A^2]_{col}$ ,  $[I^2]_{col}$  et  $[AI]_{col}$ .

Il est supposé que les rencontres de types  $[I^2]$  sont collisionnelle : les deux poches entrant en collisions meurent alors qu'une nouvelle colonne convective apparaît engendrant une nouvelle poche active. Les rencontres de type  $[A^2]$  et  $[AI]$ , au contraire, sont de nature fusionnelle, amenant à une nouvelle poche active à la place des deux poches incidentes. La densité des poches actives évolue donc sous l'effet des naissances, des morts (temps de vie  $\tau_A$  à paramétrer), des collisions  $I^2$  (qui apportent chacune une nouvelle poche active) et des collisions  $A^2$  (qui diminuent chacune le nombre de poches actives d'une unité). Cette dynamique est décrite par la relation suivante :

$$\partial_t A = B - \frac{1}{\tau_A} A + [I^2]_{col} - [A^2]_{col} \quad (\text{A.1.1})$$

Les poches inactives évoluent sous l'effet des morts des poches actives (lorsqu'une poche active meurt, elle devient une poche inactive), des morts des poches inactives (temps de vie  $\tau_I$  à paramétrer), des collisions  $[I^2]$  (qui font disparaître chacune une poche inactive) et des collisions  $AI$  (qui font disparaître une poche inactive). Cette dynamique est donnée par la relation suivante :

$$\partial_t I = \frac{1}{\tau_A} A - \frac{1}{\tau_I} I - 2[I^2]_{col} - [AI]_{col} \quad (\text{A.1.2})$$

L'évolution de

La densité totale des poches ~~varie alors sous l'action des naissances, des effondre-~~

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

~~ments des poches inactives et des collisions.~~ Elle est donnée par la relation suivante :

$$\partial_t D = B - \frac{D - A}{\tau_I} - ([I^2]_{col} + [A^2]_{col} + [IA]_{col}) \quad (\text{A.1.3})$$

Mais  $[I^2]_{col} + [A^2]_{col} + [IA]_{col}$  est égal au taux total de collisions, sans distinction du type de poche ; on l'écrira  $[D^2]_{col}$  :

$$\partial_t D = B - \frac{D - A}{\tau_I} - [D^2]_{col} \quad (\text{A.1.4})$$

Pour estimer les taux de rencontre  $[A^2]_{col}$ ,  $[I^2]_{col}$  et  $[AI]_{col}$  (et par conséquent,  $[D^2]_{col}$ ), nous nous plaçons dans l'hypothèse diluée.

Pour commencer, le cas des rencontres  $[AI]$  est considéré. Pour une poche active  $\mathcal{A}$  de centre  $C_A$  et de rayon  $r_A$ , les poches inactives (de rayon  $r_I$  et de centre  $C_I$ ) qui vont rencontrer  $\mathcal{A}$  pendant l'intervalle de temps  $\delta t$  sont celles vérifiant deux conditions :

1. elles n'ont pas de point commun avec  $\mathcal{A}$  pendant l'instant initial, c'est-à-dire :

$$\|C_A C_I\| > \tau_A + \tau_I \quad r_A + r_I \text{ !!!!!!!} \quad (\text{A.1.5})$$

Ca me fait peur ces  $\tau_A$  et  $\tau_I$ . Tu as compris ces équations ?

2. elles présentent un recouvrement non vide avec  $\mathcal{A}$  après que les rayons ont cru de  $C_* \delta t$  :

$$\|C_A C_I\| > (\tau_A + C_* \delta t) + (\tau_I + C_* \delta t) \quad \text{par éalement à la vitesse } C_* \text{ (supposée identique pour les poches actives et inactives)} \quad (\text{A.1.6})$$

pendant le temps  $\delta t$

L'ensemble des centres des poches inactives qui vont rencontrer  $\mathcal{A}$  pendant  $\delta t$  est donc la couronne de centre  $C_A$ , de rayon intérieur  $r_A + r_I$  et de rayon extérieur  $r_A + r_I + 2C_* \delta t$ . L'aire de cette couronne est approximativement  $2\pi(r_A + r_I)2C_* \delta t$ . Dans l'hypothèse diluée, le nombre de centres de poches inactives située dans cette couronne est  $4I\pi(r_A + r_I)C_* \delta t$ . Et comme il y a  $A$  poches actives par unité de surface, le nombre  $[IA]_{col}$  de rencontres  $[IA]$  par unité de surface et par unité de temps est :

$$[AI]_{col} = 4IA\pi(r_A + r_I)C_* \quad (\text{A.1.7})$$

Le dénombrement des rencontres  $[AA]$  se fait de la même façon que le dénombrement des rencontres  $[IA]$ , à ceci près que les rencontres sont indiscernables : la

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

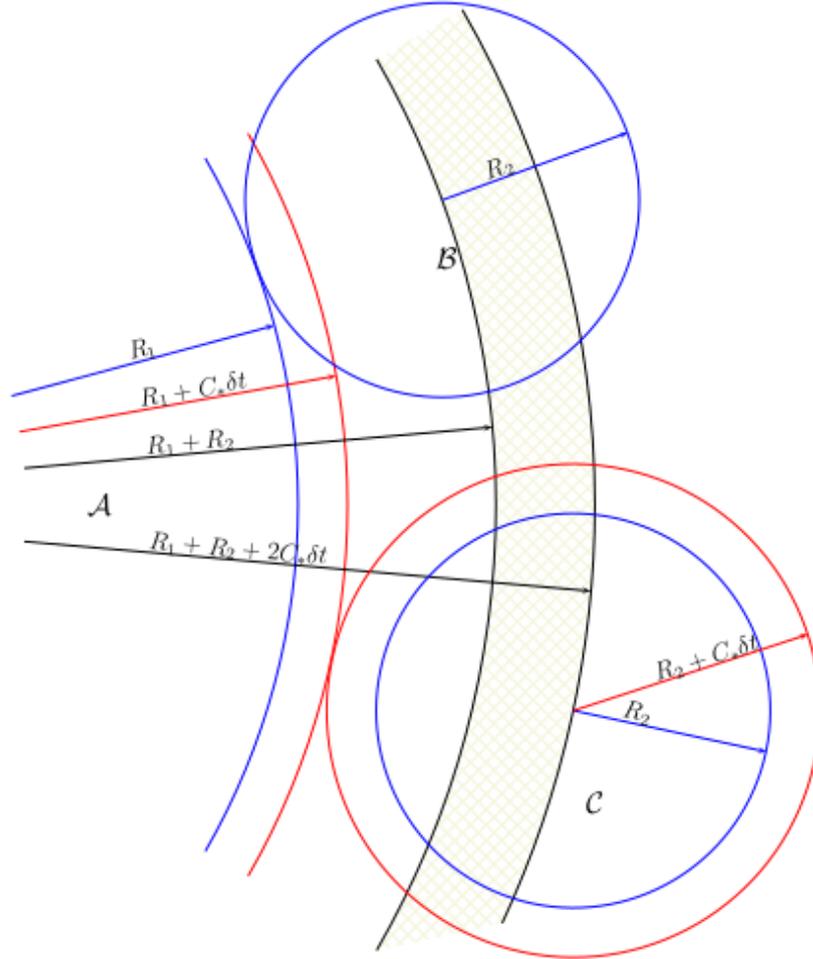


FIGURE A.1 – Schéma de la couronne des centres des poches de rayon  $R_2$  qui vont toucher la poche  $\mathcal{A}$  de rayon  $R_1$  pendant un intervalle de temps  $\delta t$ . La poche  $\mathcal{A}$  est de rayon  $R_1$  au début de l'intervalle temporel (bord de  $\mathcal{A}$  représenté en bleu) et de rayon  $R_1 + C_* \delta t$  à la fin de l'intervalle (bord de  $\mathcal{A}$  représenté en rouge). Les poches  $\mathcal{B}$  et  $\mathcal{C}$  sont de rayon  $R_2$  au début de l'intervalle temporel (bords dessinés en bleu) et de rayon  $R_2 + C_* \delta t$  à la fin de l'intervalle (bords dessinés en rouge).  $\mathcal{B}$  est la poche la plus proche de  $\mathcal{A}$  rencontrant  $\mathcal{A}$  pendant l'intervalle temporel ; la distance entre les centres de  $\mathcal{A}$  et  $\mathcal{B}$  est  $R_1 + R_2$ .  $\mathcal{C}$  est la poche la plus éloignées de  $\mathcal{A}$  rencontrant  $\mathcal{A}$  pendant l'intervalle temporel ; la distance entre les centres de  $\mathcal{A}$  et de  $\mathcal{C}$  est de  $R_1 + R_2 + 2C_* \delta t$ . L'ensemble des centres des poches de rayon  $R_2$  rencontrant  $\mathcal{A}$  pendant  $\delta t$  est la couronne hachurée comprise entre les cercles concentriques de  $\mathcal{A}$  de rayon  $R_1 + R_2$  et  $R_1 + R_2 + 2C_* \delta t$ . Son aire est  $4 \pi (R_1 + R_2) C_* \delta t$

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

rencontre de deux poches actives  $\mathcal{A}$  et  $\mathcal{B}$  va être comptée deux fois, une première fois lorsque, considérant les poches qui vont rencontrer  $\mathcal{A}$ , on trouve  $\mathcal{B}$  puis, lorsque, considérant les poches qui vont rencontrer  $\mathcal{B}$ , on trouve  $\mathcal{A}$ . Il faut donc diviser le résultat du dénombrement par deux :

$$[A^2]_{col} = 4A^2\pi r_A C_* \quad (\text{A.1.8})$$

De même :

$$[\cancel{A}^2]_{col} = 4I^2\pi r_I C_* \quad (\text{A.1.9})$$

Finalement, le taux de rencontre  $[D^2]_{col}$  s'écrit :

$$[D^2]_{col} = 4\pi C_* (\cancel{r_I} I^2 + r_A A^2 + (r_A + r_I) IA) \quad (\text{A.1.10})$$

Mais  $r_I I^2 + r_A A^2 + (r_A + r_I) IA = (A + I)(Ar_A + Ir_I)$ . En notant que  $A + I = D$  et que  $Ar_A + Ir_I = D\bar{r}$  où  $\bar{r}$  désigne le rayon moyen, le terme général de collision s'écrit :

$$[D^2]_{col} = 4\pi C_* D^2 \bar{r} \quad (\text{A.1.11})$$

Les équations d'évolution de  $D$  et de  $A$  s'écrivent alors :

$$\partial_t D = B - \frac{I}{\tau_I} - 4\pi C_* D^2 \bar{r} \quad (\text{A.1.12})$$

et :

$$\partial_t A = B - \frac{A}{\tau_A} + 4\pi C_* [I^2 r_I - A^2 r_A] \quad (\text{A.1.13})$$

La fraction surfacique ( $\sigma_A$ ) couverte par les poches actives augmente par la naissance des poches (chaque nouvelle poche a une aire  $a_o = \pi r_o^2$ , où  $r_o^2$  est un paramètre libre), par les rencontres de type  $[I^2]$  (chaque collision entraîne la création d'une poche active d'aire  $a_o$ ), par les rencontres de types  $AI$  (chaque rencontre ajoute  $\pi r_I^2$  à l'aire des poches actives, où  $r_I$  est le rayon des poches inactives) et par étalement ; elle diminue par inactivation des poches (chaque inactivation fait disparaître une

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

aire  $\pi r_A^2$  où  $r_A$  est le rayon des poches actives) :

$$\partial_t \sigma_A = B a_o + [I^2]_{col} a_o + \pi r_I^2 [IA]_{col} + 2\pi r_A A C_* - \frac{1}{\tau_A} A \pi r_A^2 \quad (\text{A.1.14})$$

soit :

$$\partial_t \sigma_A = B a_o + 4\pi C_*(r_A + r_I)\sigma_I A + 4\pi C_* r_I I a_o + 2\pi C_* r_A A - \frac{\sigma_A}{\tau_A} \quad (\text{A.1.15})$$

La fraction surfacique ( $\sigma_I$ ) couverte par les poches inactives augmente par l'inactivation des poches actives (chaque inactivation apporte une aire  $\pi r_A^2$  aux poches inactives) et par étalement ; elle diminue par mort des poches (chaque mort fait disparaître une aire  $\pi r_I^2$ ), par les rencontres de type  $[IA]$  (chaque rencontre la disparition d'une aire  $\pi r_I^2$ ) et par les rencontres de type  $[I^2]$  (chaque collision entraîne la disparition d'une aire  $2\pi r_I^2$ ) :

$$\partial_t \sigma_I = \frac{1}{\tau_A} A \pi r_A^2 + 2\pi C_* r_I I - \frac{1}{\tau_I} I \pi r_I^2 - 2\pi r_I [I^2]_{col} - \pi r_I^2 [IA]_{col} \quad (\text{A.1.16})$$

En utilisant  $\sigma_I = \pi r_I^2 I$ , il vient :

$$\partial_t \sigma_I = \frac{1}{\tau_A} \sigma_A + 2\pi C_* r_I I - \frac{1}{\tau_I} \sigma_I - 4\pi C_* [2r_I \sigma_I I + (r_A + r_I)\sigma_I A] \quad (\text{A.1.17})$$

La fraction surfacique totale ( $\sigma$ ) des poches est affectée par des rencontres de type  $[I^2]$  : chaque collision entraîne la création d'une aire  $a_o$  pendant que les deux poches incidentes disparaissent (disparition d'une aire  $2\pi r_I^2$ ). Les rencontres de type  $[A^2]$  et  $[AI]$ , qui sont de type fusionnel, laissent au contraire la fraction  $\sigma$  invariante.

L'équation d'évolution de  $\sigma$  s'écrit alors :

$$\partial_t \sigma = B a_o - \frac{\sigma_I}{\tau_I} + 2\pi \bar{r} D C_* - [I^2]_{col} (2\pi r_I^2 - a_o) \quad (\text{A.1.18})$$

soit :

$$\partial_t \sigma = B a_o - \frac{\sigma_I}{\tau_I} + 2\pi \bar{r} D C_* - 4\pi C_* r_I (2\pi r_I^2 - a_o) \quad (\text{A.1.19})$$

**Récapitulation** : il faut choisir deux variables d'état parmi les densités  $A$ ,  $I$  et  $D$ ,

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

et deux variables d'état parmi les fractions surfaciques  $\sigma_A$ ,  $\sigma_I$  et  $\sigma$ .  $A$  et  $D$  sont choisis pour les densités et  $\sigma_A$  et  $\sigma$  pour les fractions surfaciques.

Les équations s'écrivent :

$$\left\{ \begin{array}{l} \partial_t D = B - \frac{I}{\tau_I} - 4\pi C_* D^2 \bar{r} \\ \partial_t A = B - \frac{A}{\tau_A} + 4\pi C_* [I^2 r_I - A^2 r_A] \\ \partial_t \sigma = B a_o - \frac{\sigma_I}{\tau_I} + 2\pi \bar{r} D C_* - 4\pi C_* r_I (2\pi r_I^2 - a_o) \\ \partial_t \sigma_A = B a_o + 4\pi C_* (r_A + r_I) \sigma_I A + 4\pi C_* r_I I a_o + 2\pi C_* r_A A - \frac{\sigma_A}{\tau_A} \end{array} \right. \quad (\text{A.1.20})$$

On peut modifier tous les termes en  $C^*$  des deux dernières équation pour avoir des trucs du genre  $\pi C^* [rX * DY * Iz + \dots]$  (ce qui est fait dans la dernière, ou carrément  $C^* [$  et

$$\left\{ \begin{array}{l} I = D - A \\ \sigma_I = \sigma - \sigma_A \\ \sigma_I = \pi r_I I^2 \\ \sigma_A = \pi r_A A^2 \end{array} \right. \quad (\text{A.1.21})$$

LAMINE : il faut que tu (re)vérifies chacune des formules. J'essaierai de le faire aussi.

### A.1.2 Aspects techniques

#### Paramétrisation de $\tau_{AI}$

Considérons une poche inactive ayant pour rayon et hauteur initiales  $r_o$  et  $h_o$ . En supposant que la poche s'effondre adiabatiquement en gardant un volume constant (en négligeant la variation de la masse volumique et en supposant la masse constante), on obtient ( $V$  est le volume de la poche) :

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \sqrt{\frac{V}{\pi h}} \\ \partial_t h = -2C_* \sqrt{\frac{\pi h^3}{V}} \end{array} \right. \quad (\text{A.1.22})$$

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

$$\begin{cases} Wape = \frac{1}{2}h\delta\theta_{surf} \\ C_* = \sqrt{Wape} \end{cases} \quad (\text{A.1.23})$$

$$\begin{aligned} \frac{C_*}{C_{*0}} &= \sqrt{\frac{h}{h_0}} \\ \partial_t h &= -2h^2 \sqrt{\frac{\pi}{Vh_0}} C_{*0} \end{aligned}$$

La formule de  $\partial_t h$  s'intègre facilement. En exprimant tout en fonction de  $C_*$ , on obtient :

$$\left(\frac{C_{*0}}{C_*}\right)^2 = 1 + 2\frac{C_{*0}}{r_0}t \quad (\text{A.1.24})$$

Il est supposé que la poche est morte lorsque la vitesse d'expansion devient inférieure à une vitesse seuil  $C_{*t}$ . Cette vitesse seuil est atteinte au bout d'un temps  $t_I$  donné par :

$$\left(\frac{C_{*0}}{C_{*t}}\right)^2 = 1 + 2\frac{C_{*0}}{r_0}t_I \quad (\text{A.1.25})$$

ce qui donne :

$$t_I = \frac{r_0}{2C_{*0}} \left[ \left(\frac{C_{*0}}{C_{*t}}\right)^2 - 1 \right] \quad (\text{A.1.26})$$

**Application** : à chaque instant, nous connaissons le rayon  $r$  et la vitesse d'expansion  $C_*$  de la représentative. Nous connaissons donc la durée  $t_I$  qu'il lui reste à vivre :

$$t_I = \frac{r}{2C_*} \left[ \left(\frac{C_{*0}}{C_{*t}}\right)^2 - 1 \right] \quad (\text{A.1.27})$$

Supposant un régime permanent ( $D - A$ ,  $r$  et  $C_*$  constants), le nombre de poches qui meurent dans l'intervalle  $[t, t + \delta t]$  est égal au nombre de poches inactives ayant un age compris entre  $t_l - \delta t$  et  $t_l$ , doit  $(D - A)\frac{\delta t}{t_l}$ . En prenant,  $\tau_I = t_l$  nous retrouvons le terme de mortalité de l'équation.

Les paramètres libres du modèle sont : le rayon de naissance des poches ( $r_0$  et la durée de vie des poches actives ( $\tau_A$ ))

## A.2 Validations de quelques hypothèses du modèle dans les LES

Dans cette section, nous validons quelques hypothèses de base du modèle de densité à partir d'une simple analyse des poches dans les LES. La figure A.2 présente les cartes des anomalies de température à 10 m ( $T_{10m}$ ), sur lesquelles sont superposées les ascendances associées aux thermiques et aux poches froides, ainsi que les nuages bas, les nuages moyens et les précipitations pour les cas AMMA et RCE. Comme dans les sections précédentes, les poches sont identifiées par des anomalies de  $T_{10m}$  inférieures à 0.2 K pour RCE, et à -1 K pour AMMA. Les nuages bas sont identifiés comme les points de grille où l'eau condensée dépasse  $10^{-5}$  kg/kg, moyennée entre 0 et 4 km d'altitude. Les nuages moyens sont aussi calculés de façon similaire, mais moyennée entre 4 et 8 km d'altitude.

On observe que la plupart des nuages bas se forment en dehors des poches, aussi bien dans RCE que dans AMMA. On note également une forte présence de nuages bas au niveau des fronts de rafales des poches dans les deux cas. Cela s'explique par les fortes ascendances générées à ces endroits. Comme expliqué dans les sections précédentes, lorsque les poches s'étalent, elles soulèvent l'air chaud à partir de son front de rafales, déclenchant ainsi de nouvelles cellules convectives. Les nuages moyens, quant à eux, se situent généralement au-dessus des poches. Bien qu'ils précipitent souvent à l'intérieur de celles-ci, on observe également des poches où ces nuages ne produisent pas de précipitations, un constat particulièrement visible dans le cas RCE. Les poches associées à des précipitations sont en général celles présentant de fortes ascendances sur les bords et une présence assez forte de nuages bas autour. Dans les rares cas sans pluie, les ascendances sont faibles ou absentes sur les bords des poches, et donc pas de formation de nuages. Cette observation est cohérente avec l'hypothèse du modèle, selon laquelle seules les poches alimentées par la convection, dites « poches actives », peuvent déclencher de nouvelles cellules convectives pour entretenir la convection. Les poches inactives, c'est-à-dire non alimentées par la convection, s'étalent simplement puis disparaissent. Dans le cas RCE, on remarque également que ce sont les poches de petite taille qui sont souvent associées à des précipitations, tandis que les poches sans pluie tendent à être plus grandes. Cela soutient deux hypothèses du modèle : d'une part, que les poches naissent toujours actives avec un rayon initial réduit ; d'autre part, que les poches actives possèdent un rayon moyen plus petit que les poches inactives. Même pour les grandes poches contenant de la pluie, les fortes ascendances ne sont localisées que sur les bords, là où les précipitations ont lieu.

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

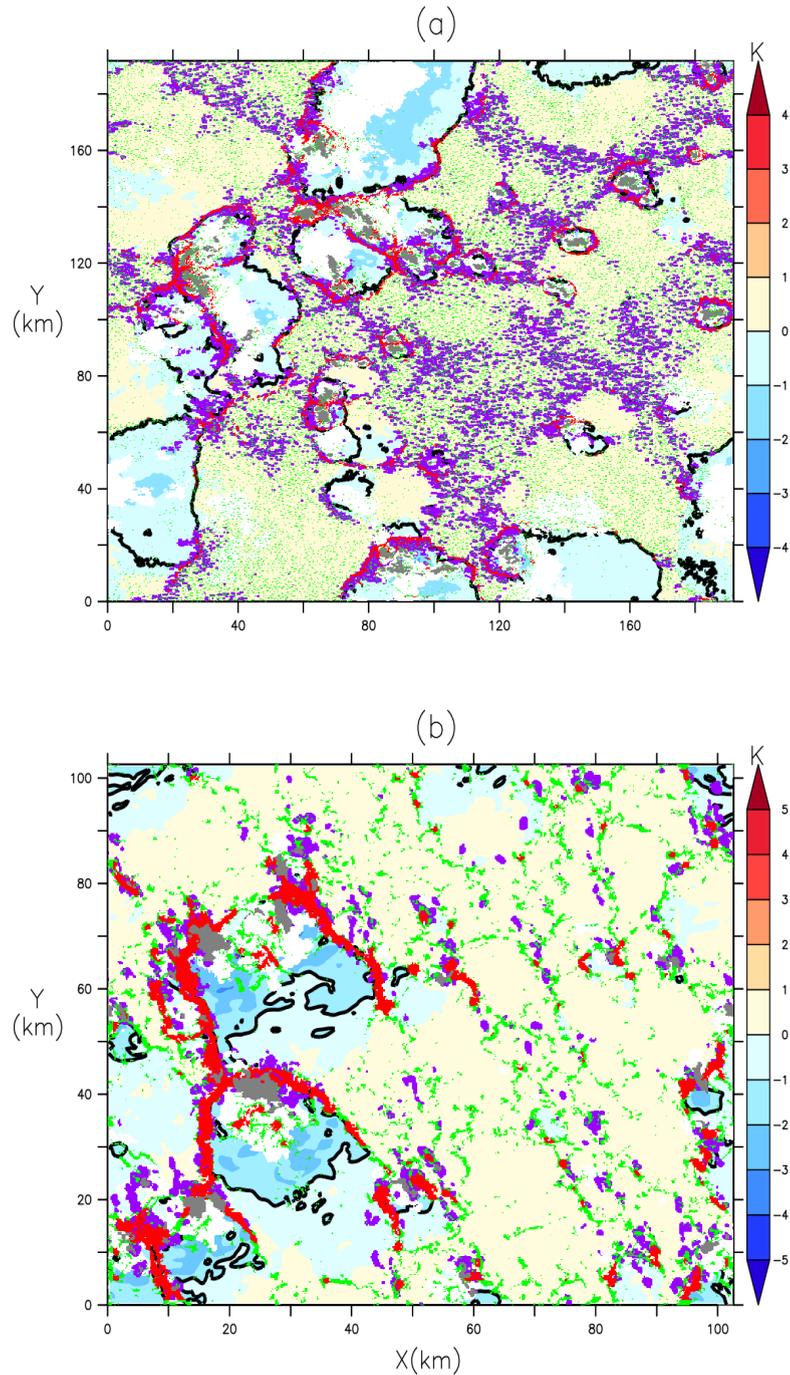


FIGURE A.2 – Même chose que la Fig.?? du chapitre ??, mais avec l'ajout des nuages bas (en violet), des nuages moyens (en blanc) et des précipitations (en gris). Les nuages bas et moyens sont calculés aux points de grille où l'eau condensée dépasse  $10^{-5}$  kg/kg, sur des moyennes d'altitudes respectives de 0 à 4 km et de 4 à 8 km.

## Annexe A. Test d’une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

Cela suggère que ces poches étaient peut-être à l’origine de petites poches actives, qui se seraient fusionnées avec une ou d’autres poches inactives, augmentant ainsi leur taille. Il serait pertinent d’utiliser les outils de détection automatique des poches afin de pouvoir suivre leur évolution temporelle, ce qui permettrait une meilleure compréhension des processus de rencontre entre poches.

### A.3 Évaluations des variables internes

Ici, nous testons le modèle de densité des poches dans LMDZ1D sur les cas AMMA et RCE et évaluons ses variables internes par rapport aux LES. Les figures A.3 et A.4 présentent à la fois les valeurs de densité, de fraction surfacique et de rayon issues de LMDZ avec la dynamique des poches activé (LMDZ-POPDYN), LMDZ avec la version standard où la densité des poches est fixée (LMDZ-STAND) ainsi que celles estimées dans LES pour les deux cas. Les simulations LMDZ-POPDYN et LMDZ-STAND intègrent les modifications apportées au schéma des poches, notamment la réduction de  $h_m$ , du coefficient  $k$  et le nouveau schéma numérique de  $h_{wk}$ . Les simulations RCE sont réalisées sur 60 jours et celle de AMMA sur la journée du 10 juillet 2006. Pour la LES, nous représentons simplement la valeur obtenue sur une moyenne calculée sur tous les instants disponible pour chacun des deux cas.

Dans le cas RCE, LMDZ-POPDYN simule en moyenne une densité totale ( $D_{wk,tot}$ ) des poches de l’ordre de  $1.10^{-10}$ , ce qui correspond environ à une poche sur 100 km  $\times$  100 km (Fig. A.3a). La densité ( $D_{wk,A}$ ) des poches actives est légèrement inférieure mais reste proche de cette valeur (Fig. A.3a), ce qui suggère une présence de poches actives plus importantes que celles inactives. Cette remarque est cohérente avec les analyses des LES de la section précédente, où l’on constatait la présence de pluie dans la majorité des poches, traduisant une densité des poches actives plus élevée que celle des poches inactives. Cependant, la valeur de  $D_{wk,tot}$  simulée par LMDZ-POPDYN sur le cas RCE reste environ cinq fois plus faible que celle estimée dans les LES, où elle est de  $5.10^{-10}$  sur ce cas. Pour le cas AMMA, LMDZ-POPDYN fournit également une  $D_{wk,tot}$  équivalente à  $1.10^{-10}$ , plus grande que celle de la version précédente, qui imposait arbitrairement une valeur de  $8.10^{-12}$  (Fig. A.4a). Là encore, cette densité simulée reste environ cinq fois inférieure à celle mesurée dans la LES.  $D_{wk,A}$  dans AMMA est aussi légèrement inférieure à  $D_{wk,tot}$ , suggérant une présence de poches actives plus importante, en cohérence avec la LES.

En ce qui concerne la fraction surfacique totale ( $\sigma_{wk,tot}$ ) des poches, LMDZ-POPDYN

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

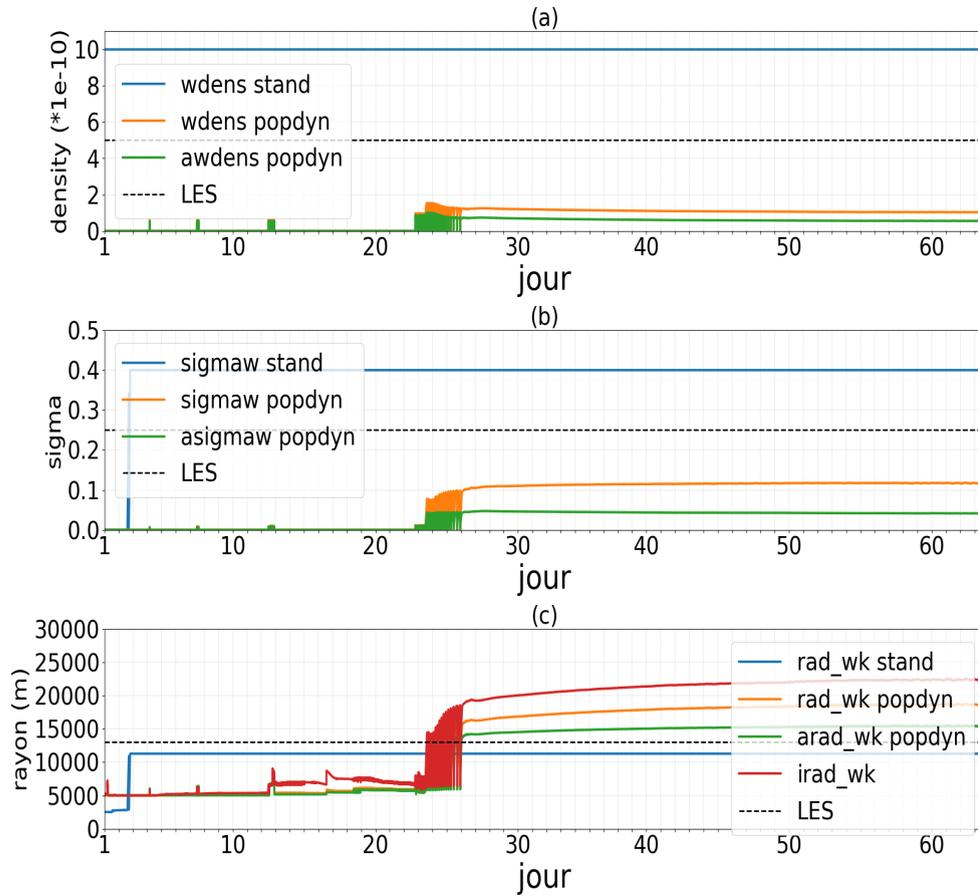


FIGURE A.3 – Densité totale des poches froides (wdens) et densité des poches actives (awdens) (a), fraction de surface totale (sigmaw) et fraction de surface des poches actives (asigmaw) (b), ainsi que rayon moyen des poches (radwk), incluant celles actives (aradwk) et inactives (iradwk) (c), simulés dans LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de population des poches (LMDZ-POPDYN) et dans LMDZ la version standard où la densité de poches est fixée (LMDZ STAND) sur le cas RCE. Les lignes noires en pointillés représentent les valeurs correspondantes estimées dans la LES.

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

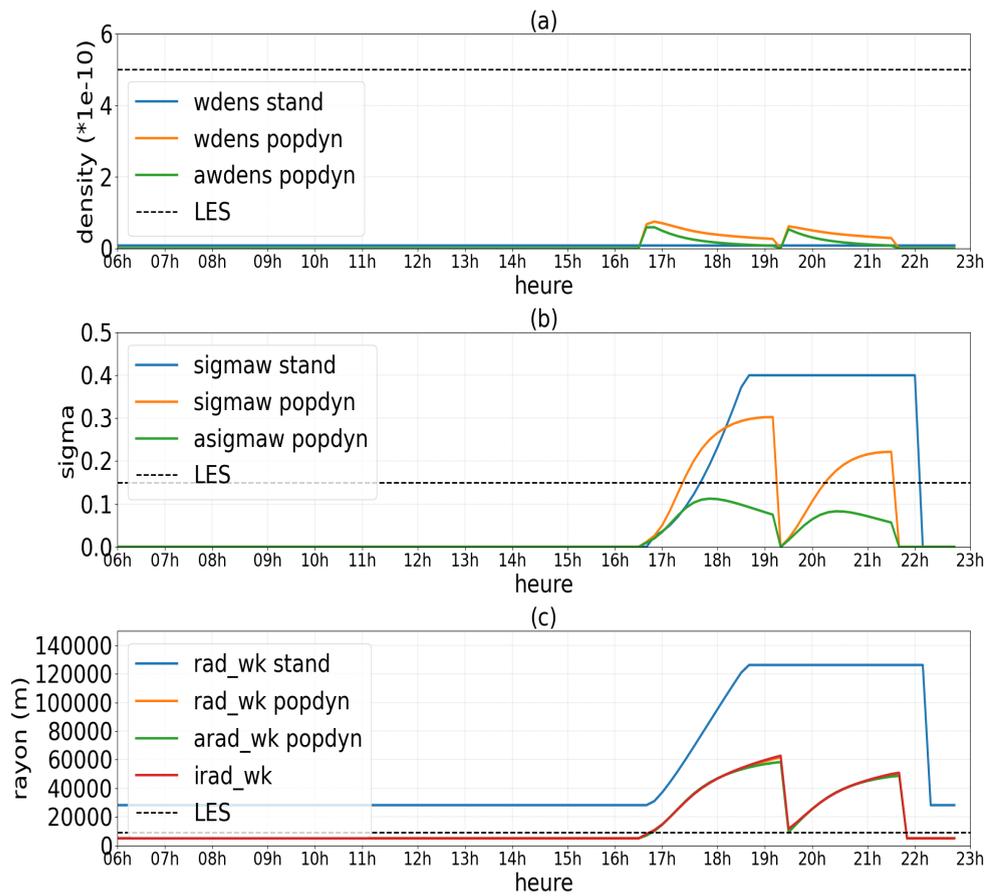


FIGURE A.4 – Comme Fig. A.3 mais pour le cas AMMA.

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

simule une valeur d'environ 15 % pour le cas RCE, soit environ deux fois plus faible que celle estimée dans la LES (Fig. A.3b). Pour le cas AMMA, LMDZ-POPDYN simule  $\sigma_{wk,tot}$  deux fois plus élevée que celle de la LES (Fig. A.4b). On observe que l'évolution de  $\sigma_{wk}$  dans LMDZ-POPDYN est plus réaliste que celle obtenue avec LMDZ-STAND, où  $\sigma_{wk}$  atteint rapidement 40 % dès l'apparition des poches et reste figée à cette valeur jusqu'à leur disparition. Ce comportement provenait du fait que, dans LMDZ-STAND, les poches ne mourraient pas et continuaient donc de grossir, avec une contrainte arbitraire imposant une limite à 40 % de la maille. En ce sens, LMDZ-POPDYN intègre une évolution de  $\sigma_{wk}$  plus physique et plus cohérente avec la dynamique réelle des poches. Par ailleurs, on observe que la fraction surfacique ( $\sigma_{wk,I}$ ) des poches inactives reste élevée dans les deux cas (Fig. A.3b et (Fig. A.4b), malgré leur faible densité. Cela pourrait s'expliquer par leurs grands rayons, comme l'illustrent les figures A.3c et A.4c. Toutefois, LMDZ-POPDYN simule aussi des rayons moyens des poches plus comparables aux LES que ceux de LMDZ-STAND pour AMMA et RCE. **On a un rayon moyen plus faible sur AMMA que sur RCE sur la LES peut être à cause du domaine très petit de AMMA. Peut être regardé les nouvelles LES AMMA avec domaine plus large**

Comme suggéré plus haut, l'utilisation des outils de détection d'objets de poches serait intéressant afin d'obtenir automatiquement la densité et le rayon moyen des poches dans les LES. Jusqu'ici, ces valeurs ont été estimées manuellement dans les LES, ce qui limite la précision. Une telle approche permettrait une validation plus rigoureuse. Il serait également pertinent de trouver une méthode permettant d'échantillonner les poches actives et inactives à partir des précipitations observées en leur sein, afin de mieux caractériser leurs propriétés géométriques respectives.

### A.4 Effets sur les profils $\delta T$ , $\delta q$ et $\delta w$

L'impact de la paramétrisation de la densité des poches sur les profils de  $\delta T$ ,  $\delta q$  et  $\delta w$  est examiné dans cette section. Les analyses sont menées à la fois dans LMDZ-POPDYN et LMDZ-STAND.

La figure A.5 présente les profils simulés de  $\delta T$ ,  $\delta q$  et  $\delta w$  dans LMDZ-POPDYN et LMDZ-STAND, comparés à ceux issus des LES. Pour le cas RCE, LMDZ-POPDYN simule des poches beaucoup plus chaudes que celles observées dans la LES (Fig. A.5a). Pour le cas AMMA, la température des poches à la surface est assez proche de celle des LES, mais les poches y apparaissent plus aplaties dans les LES que dans

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

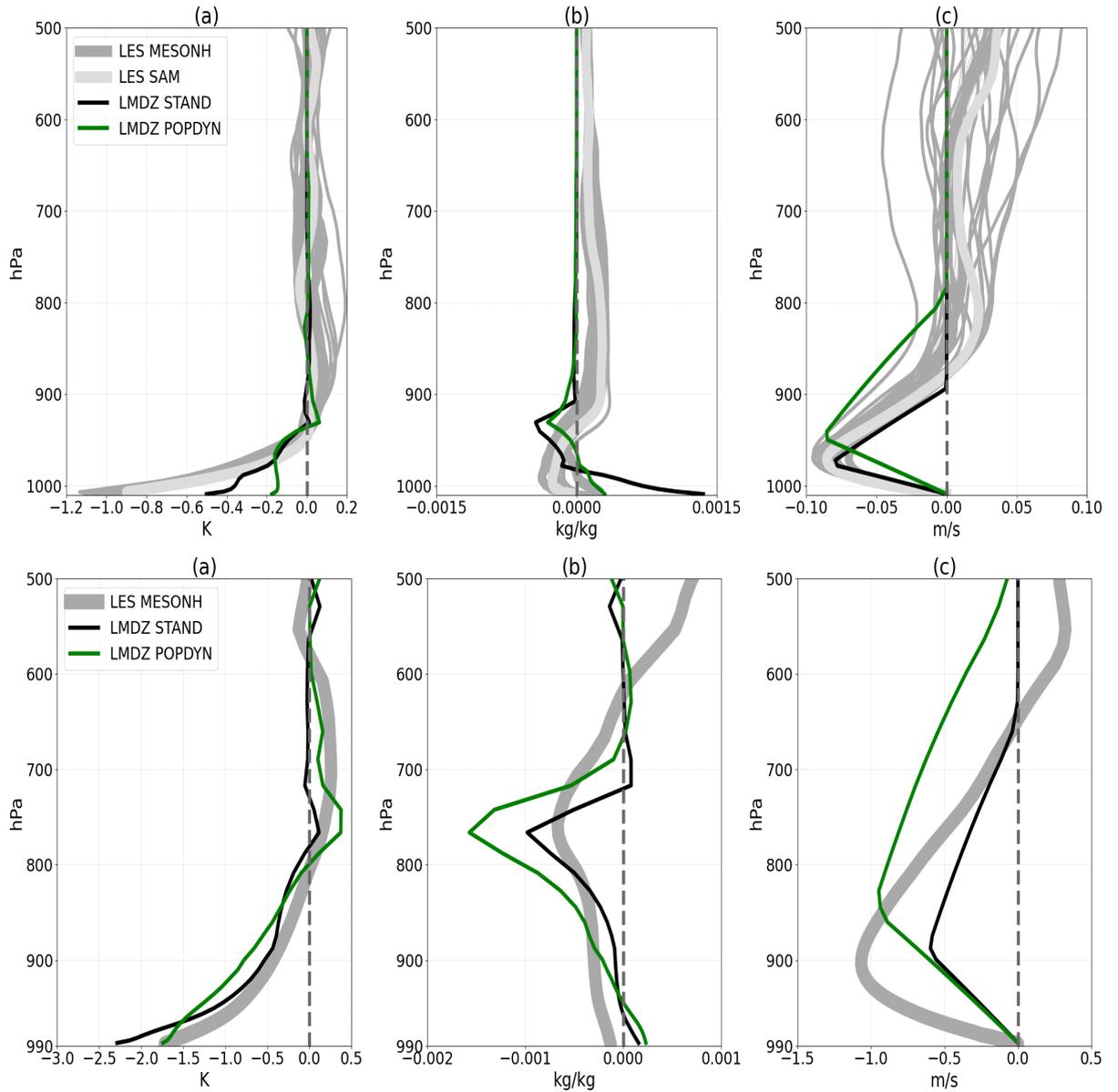


FIGURE A.5 – Profils verticaux de  $\delta T$ ,  $\delta q$  et  $\delta w$  issus des LES, comparés aux simulations LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de populations activée (LMDZ-POP-DYN) et avec la version standard à densité de poches imposée (LMDZ-STAND), pour les cas RCE (a, b, c) et AMMA (d, e, f).

## Annexe A. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

---

LMDZ-POPDYN (Fig. A.5d). Dans LMDZ-POPDYN, un biais sec est également observé au sommet des poches pour le cas AMMA, lié à une altitude trop élevée de  $h_m$ . Ce décalage s'explique par l'altitude du minimum de  $\delta w$  qui est plus haute dans LMDZ-POPDYN pour les deux cas, mais plus marqué sur AMMA (Fig. A.5c et A.5f). Ajuster cette hauteur en fonction de celle des LES permettrait d'abaisser  $h_m$  et ainsi de corriger le biais sec au sommet des poches, comme on l'a déjà montré au chapitre ???. Les biais observés sur les profils de  $\delta T$  semblent quant à eux liés à la sous-estimation de la densité.

Lors de tests intermédiaires, nous avons examiné la sensibilité du modèle de densité aux paramètres libres  $r_0$  et  $\tau_{cv}$ , dans le but de vérifier si leur réajustement pouvait améliorer la densité simulée des poches. Nous avons remarqué qu'une diminution de  $r_0$  entraîne une augmentation de la densité des poches dans RCE et AMMA. Par contre, elle induit d'importantes oscillations de la densité et de  $\sigma_{wk}$ , qui ne semblent pas liées à un simple problème numérique. Le paramètre  $\tau_{cv}$ , de son côté, a peu d'effet sur la densité mais provoque aussi des oscillations lorsque sa valeur augmente. Ces résultats suggèrent que la faible densité simulée par LMDZ-POPDYN résulterait d'une limitation dans la formulation physique actuelle de la paramétrisation que de choix paramètre libre. Néanmoins, les résultats obtenus sont encourageants et montrent que l'on progresse vers un schéma de densité plus robuste, intégrant une représentation plus réaliste des poches froides.

# Bibliographie