

# Table des matières

<b>A</b>	<b>Nouveau schéma numérique du calcul de la hauteur des poches</b>	<b>2</b>
<b>B</b>	<b>Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches</b>	<b>3</b>
B.1	Présentation du modèle . . . . .	3
B.1.1	Principes . . . . .	3
B.1.2	Aspects techniques . . . . .	9
B.2	Validations de quelques hypothèses du modèle dans les LES . . . . .	11
B.3	Évaluations des variables internes . . . . .	13
B.4	Effets sur les profils $\delta T$ , $\delta q$ et $\delta w$ . . . . .	16
<b>C</b>	<b>Liste des Acronymes</b>	<b>19</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>20</b>



# Liste des tableaux



# Table des figures

B.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 $4 \pi (R_1 + R_2) C_*\delta t$ . . . . .	6
B.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. . . . .	12
B.3	Densité totale des poches froides (wdens, en $\text{m}^{-2}$ ) et densité des poches actives (awdens, $\text{m}^{-2}$ ) (a), fraction de surface totale (sigmaw) et fraction de surface des poches actives (asigmaw) (b), rayon moyen des poches (radwk, en m), incluant celles actives (aradwk, en m) et inactives (iradwk, en m) (c), ainsi l'énergie d'affaissement (WAPE, en J/kg) et la puissance de soulèvement ( $ALP_{wk}$ , en $\text{W.m}^{-2}$ ) des poches 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. . . . .	14
B.4	Comme Fig. B.3 mais pour le cas AMMA. . . . .	15



B.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).	18
-----	--	----



# Annexes



## Annexe A

### Nouveau schéma numérique du calcul de la hauteur des poches



## Annexe B

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

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

### B.1 Présentation du modèle

Le modèle décrit une population de poches (wakes) circulaires ayant toutes 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.

#### B.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



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

---

nouvelle, ce qui conduit également à une diminution d'une unité.

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 du rayon moyen des poches vont être représentés par une évolution continue. Et, bien sur,  $\partial_t r_A$  et  $\partial_t r_I$  seront différents de  $C_*$ .

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 :

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

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  $[I^2]$  et des collisions  $AI$ . Chaque collision  $[I^2]$  entraîne la disparition de deux poches inactives et une collision  $AI$  fait disparaître une poche inactive. Cette dynamique est donnée par la relation suivante :

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



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

---

L'évolution de la densité totale est alors donnée par la relation suivante :

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

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  $[D^2]_{col}$  :

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

La géométrie de ces rencontres est illustrée sur la Figure B.1.

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, c'est-à-dire que la densité surfacique de poches ne dépend pas de la présence des poches.

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 :

$$||C_A C_I|| > r_A + r_I \quad (\text{B.1.5})$$

2. elles présentent un recouvrement non vide avec  $\mathcal{A}$  après que les rayons ont crû de par étalement à la vitesse  $C_*$  (supposée identique pour les poches actives et inactives) pendant le temps  $\delta t$  :

$$||C_A C_I|| > (r_A + C_* \delta t) + (r_I + C_* \delta t) \quad (\text{B.1.6})$$

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 situées 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 :

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



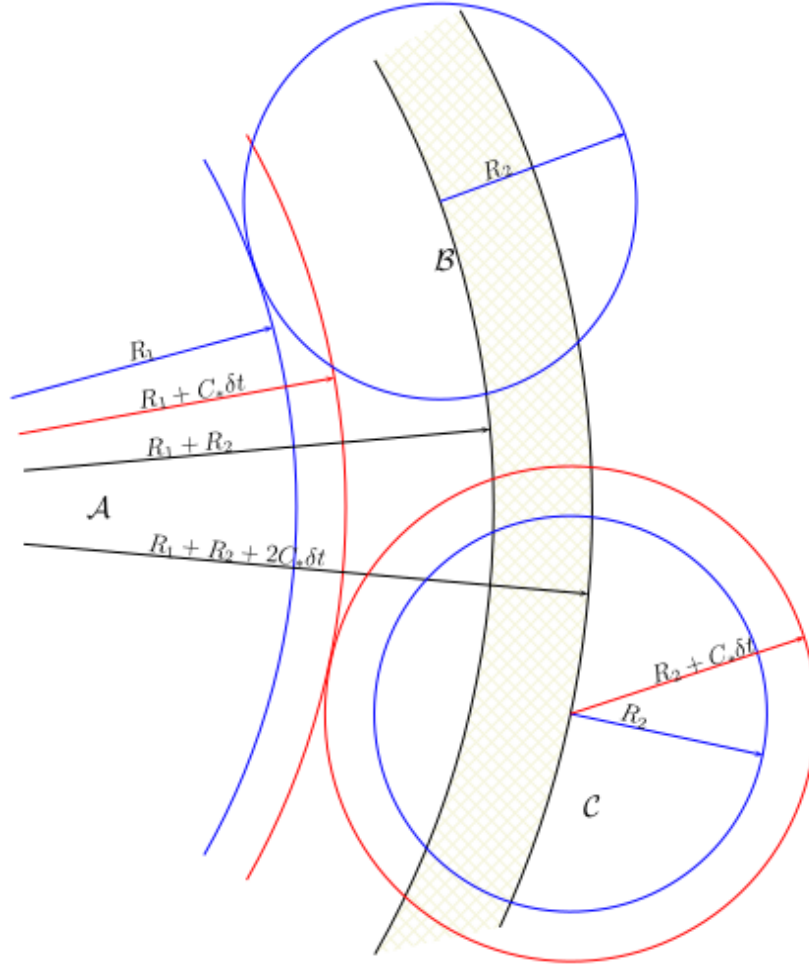


FIGURE B.1 – Schéma de la couronne des centres des poches de rayon  $R_2$  qui vont toucher la poche  $\mathcal{A}$  pendant un intervalle de temps  $\delta t$ . La poche  $\mathcal{A}$  est de rayon  $R_1$  au début de l'intervalle temporel (bord de  $\mathcal{A}$  représenté en bleu) et de rayon  $R_1 + C_*\delta t$  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  $4 \pi (R_1 + R_2) C_*\delta t$



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

---

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

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

De même :

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

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

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

où l'on a substitué  $\sigma_I$  à  $\pi r_I I^2 a_o$

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 :

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

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

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

et :

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

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  $\pi r_I^2$



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

---

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

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

soit :

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

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 entraîne 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  $2\pi r_I^2$ ) :

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

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

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

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 :

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

soit :

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



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

---

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

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

et

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

### B.1.2 Aspects techniques

#### Paramétrisation de $\tau_I$

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) :

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



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

---

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

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

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

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

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 :

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

ce qui donne :

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

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

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

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.

Le paramètre  $\tau_A$  est actuellement imposé dans le modèle, mais il doit être également paramétré.

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



## B.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 B.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 leurs fronts 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 ne sont pas associées à la 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 et 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,



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

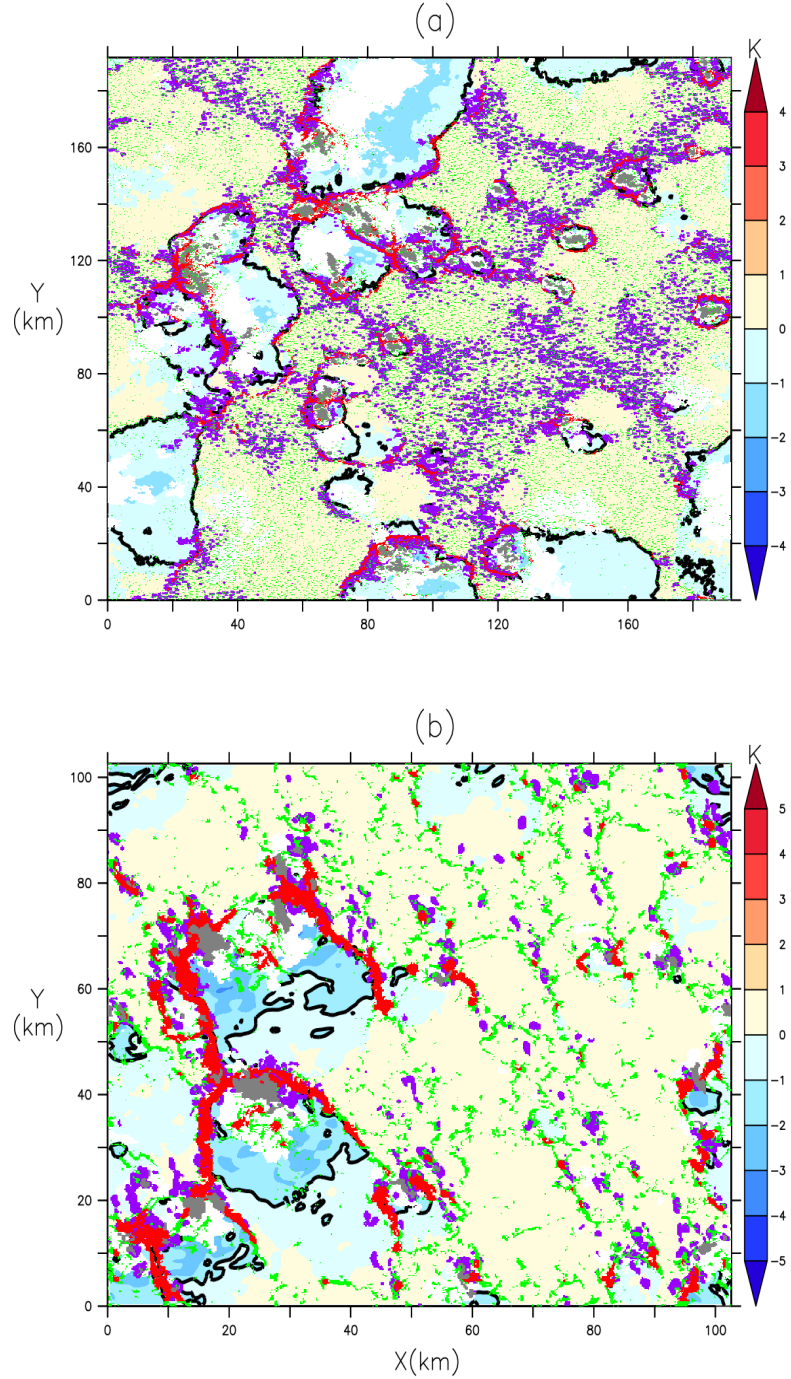


FIGURE B.2 – Même chose que la Fig.?? du chapitre ??, mais avec l'ajout des nuages bas (en violet), des nuages moyens (en blanc) et des précipitations (en gris). Les nuages bas et moyens sont calculés aux points de grille où l'eau condensée dépasse  $10^{-5}$  kg/kg, sur des moyennes d'altitudes respectives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



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

---

là où les précipitations ont lieu. 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.

### B.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 B.3 et B.4 présentent à la fois les valeurs de densité, de fraction surfacique et de rayon issues de LMDZ avec la dynamique des poches activée (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. Nous profitons aussi de cette section pour analyser les variables de  $W_{APE}$  et  $ALP_w k$  simulées par LMDZ-POPDYN et LMDZ-STAND 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  $h_{wk}$ . Des expériences de calibration automatique de htxplo ont aussi été menées afin d'ajuster certains paramètres libres, mais nous présentons ici directement les résultats, sans détailler ces étapes de calibration.

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  $4.10^{-10}$ , ce qui correspond environ à 4 poche sur  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ , très proche de celle estimée dans LES (Fig. B.3a). La densité ( $D_{wk,A}$ ) des poches actives est légèrement inférieure mais reste proche de cette valeur (Fig. B.3a). Pour le cas AMMA, LMDZ-POPDYN fournit également des valeurs de  $D_{wk,tot}$  proches de celles des LES, avec une moyenne autour de  $2.10^{-10}$  (Fig. B.4a). L'évolution temporelle de  $D_{wk,tot}$  est cohérente avec les LES : de nombreuses petites poches apparaissent puis fusionnent progressivement, entraînant une diminution de la densité et la formation de poches plus larges. Dans les deux cas,  $D_{wk,A}$  reste légèrement inférieur à  $D_{wk,tot}$  mais très proche (Fig. B.3a et Fig. B.4a), suggérant une présence de poches actives plus importantes. Cette remarque est cohérente avec les analyses



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

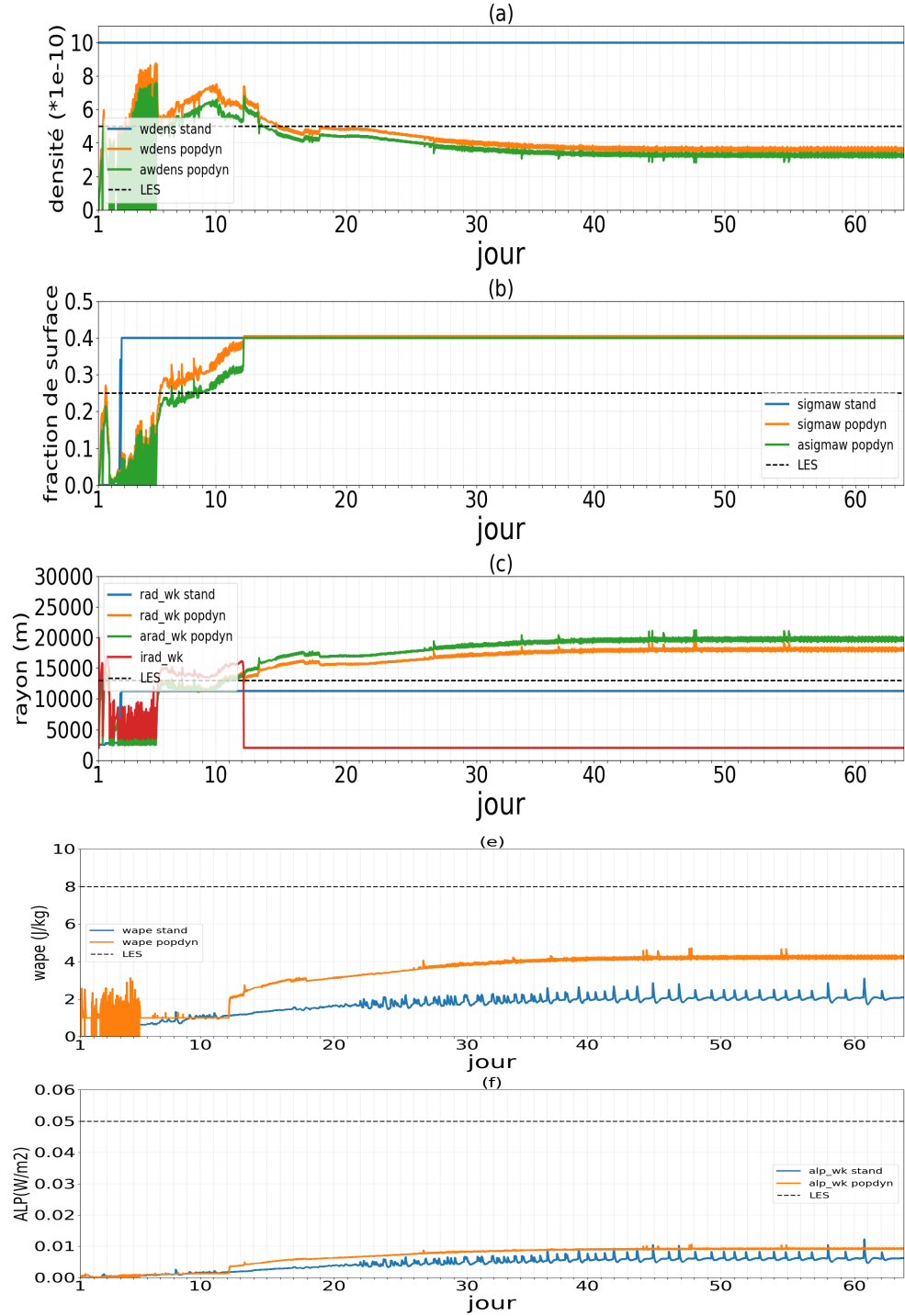


FIGURE B.3 – Densité totale des poches froides (wdens, en  $\text{m}^{-2}$ ) et densité des poches actives (awdens,  $\text{m}^{-2}$ ) (a), fraction de surface totale (sigmaw) et fraction de surface des poches actives (asigmaw) (b), rayon moyen des poches (radwk, en m), incluant celles actives (aradwk, en m) et inactives (iradwk, en m) (c), ainsi l'énergie d'affaissement (WAPE, en J/kg) et la puissance de soulèvement ( $ALP_{wk}$ , en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) des poches simulés dans LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de population des poches (LMDZ-POPDPYN) 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 B. Test d'une paramétrisation de la dynamique de population des poches

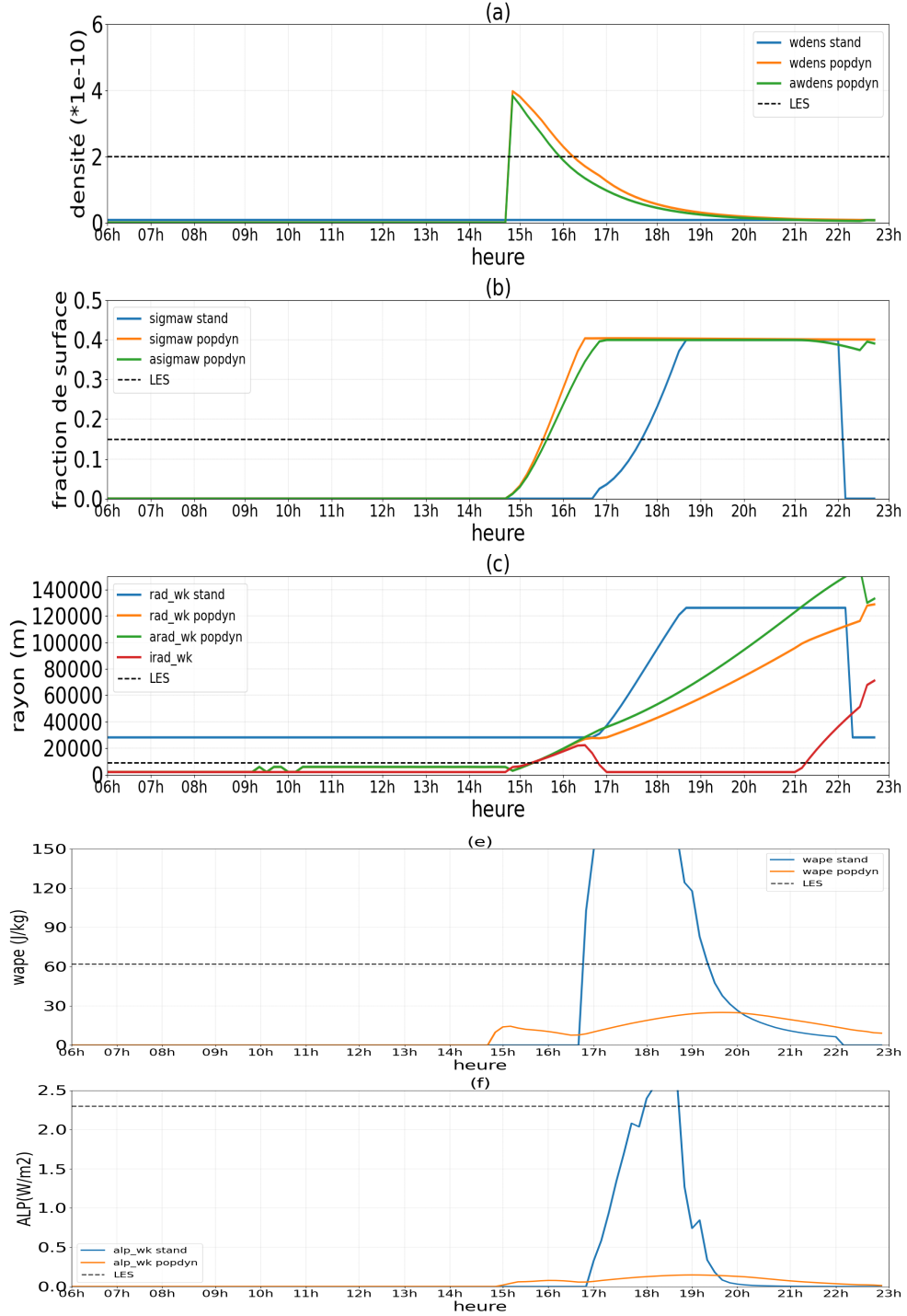


FIGURE B.4 – Comme Fig. B.3 mais pour le cas AMMA.



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

---

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.

Pour la fraction surfacique totale ( $\sigma_{wk,tot}$ ), LMDZ-POPDYN simule dans les deux cas une augmentation progressive jusqu'à atteindre 0.4, valeur à partir de laquelle elle est contrainte à rester fixe (Fig. B.3b et Fig. B.4b). En effet, le modèle impose une limite de 0.4 afin d'éviter une fusion généralisée des poches lorsque leur surface devient trop importante. Le résultat de  $\sigma_{wk,tot}$  obtenus avec LMDZ-POPDYN ~~com-~~  
~~portement constitue~~ une amélioration notable par rapport à la version standard, où  $\sigma_{wk,tot}$  atteint directement la valeur limite dès l'apparition des poches, notamment sur le cas RCE, ce qui n'est pas réaliste. La fraction surfacique des poches actives reste par ailleurs très proche de  $\sigma_{wk,tot}$ , ce qui traduit la faible contribution des poches inactives. *plus réaliste que quoi ?*

L'évolution du rayon simulé par LMDZ-POPDYN apparaît également ~~plus~~ réaliste, avec des valeurs comparables à celles des LES pour les cas RCE et AMMA (Fig. B.3c et Fig. B.4c). Dans les deux cas, le rayon des poches inactives reste inférieur à celui des poches actives. Dans le cas AMMA, on constate cependant une augmentation du rayon des poches inactives à partir de 21h, probablement liée à la dissipation de certaines poches actives.

Enfin, concernant les variables énergétiques, LMDZ-POPDYN reproduit des valeurs de  $WPE$  proches de celles des LES, bien qu'elles restent légèrement sous-estimées (Fig. B.3e et Fig. B.4e). En revanche,  $ALP_{wk}$  demeure fortement sous-estimé dans les deux cas (Fig. B.3f et Fig. B.4f).

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.

### B.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.



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

---

La figure B.5 illustre les profils simulés de  $\delta T$ ,  $\delta q$  et  $\delta w$  dans LMDZ-POPDYN et LMDZ-STAND, comparés à ceux obtenus par les LES. On constate que LMDZ-POPDYN offre une meilleure représentation du profil de  $\delta T$  dans les cas RCE et AMMA (Fig. B.5a et Fig. B.5d). Dans le cas RCE, les profils de  $\delta q$  et  $\delta w$  sont également bien reproduits (Fig. B.5b et Fig. B.5c), malgré une surestimation de l’humidité en surface des poches associées. En revanche, dans le cas AMMA, LMDZ-POPDYN sur-estime le profil de  $\delta q$  au sommet des poches, et le profil de  $\delta w$  traduit une subsidence trop faible dans les poches froides (Fig. B.5e et Fig. B.5f). Ces écarts pourraient être liés à l’absence de certains processus physiques, mais des diagnostics plus approfondis restent nécessaires.

Dans l’ensemble, les résultats mettent en évidence de bonnes performances de la paramétrisation de la densité des poches. Bien que des améliorations soient encore possibles, cette paramétrisation constitue désormais une base solide pour une prise en compte plus physique de l’évolution des poches froides dans LMDZ, avec une représentation plus robuste et réaliste de leur densité.



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

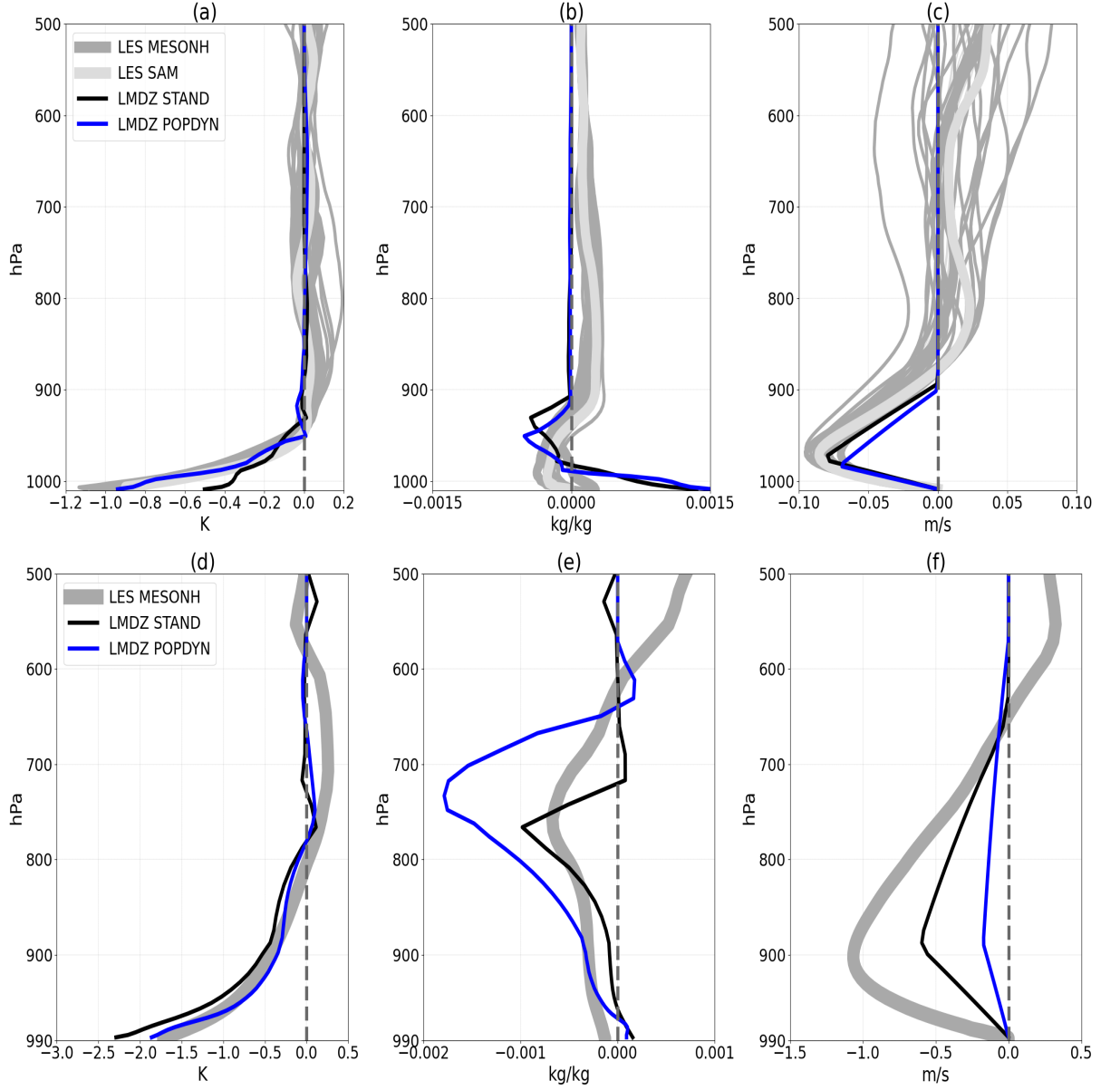


FIGURE B.5 – Profils verticaux de  $\delta T$ ,  $\delta q$  et  $\delta w$  issus des LES, comparés aux simulations LMDZ avec la paramétrisation de la dynamique de populations activée (LMDZ-POPDYN) et avec la version standard à densité de poches imposée (LMDZ-STAND), pour les cas RCE (a, b, c) et AMMA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



# Annexe C

## Liste des Acronymes

**GCM** : Global Climate Model  
**SPLA** : SimPLified Aerosol  
**LMD** : Laboratoire de Météorologie Dynamique  
**FIT** : Front InterTropical  
**AEJ** : African Easterly Jet  
**TEJ** : Tropical Easterly Jet  
**MCS** : Mesoscale Convective System  
**AMMA** : African Monsoon Multidisciplinary Analysis  
**MCS** : Mesoscale Convective System  
**MJO** : Madden-Julian Oscillation  
**NAO** : North Atlantic Oscillation  
**LLJ** : Low Level Jet  
**LPAO-SF** : Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan Siméon Fongang  
**ALE** : Available Lifting Energy  
**ALP** : Available Lifting Power  
**CIN** : Convective Inhibition  
**RCE** : Radiative-Convective Equilibrium  
**ALP** : Available Lifting Power  
**AOT** : Aerosol Optical Thickness  
**PM10** : particules de diamètre inférieur à 10 micromètres  
**WAPE** : Wake Available Potential Energy  
**SCM** : Single Column Model  
**LMDZ-WEIB** : LMDZ utilisant une distribution de weibull pour le vent de surface  
**LMDZ-MC** : LMDZ utilisant la paramétrisation des rafales de vent avec



approche Monté Carlo

**NOINTER** : sans interaction entre poussières et rayonnement

**INTER** : avec interaction entre poussières et rayonnement

**ZCIT** : Zone de Convergence Inter-tropicale

**EP** : Emissions de Poussières



# Bibliographie