

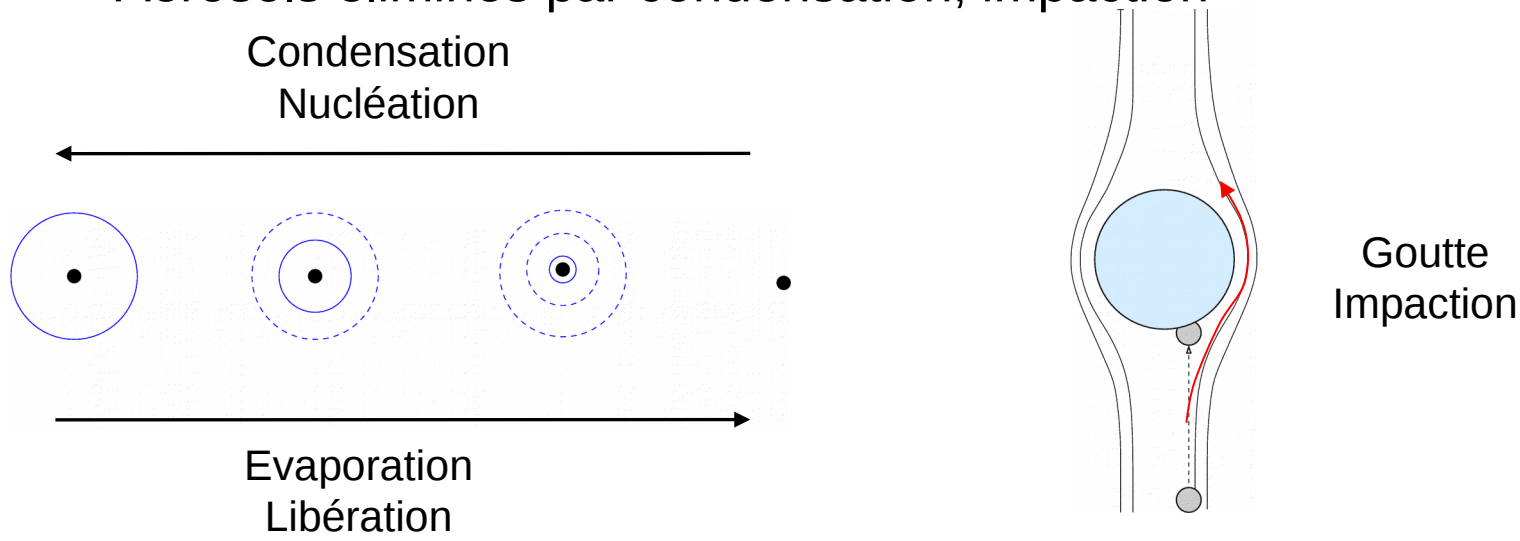
Déport de la représentation du
transport et du lessivage des
aérosols hors du schéma convectif et
du schéma de condensation de
grande échelle

Jean-Yves Grandpeix, Romain Pilon

Radionucléides ^7Be et ^{210}Pb

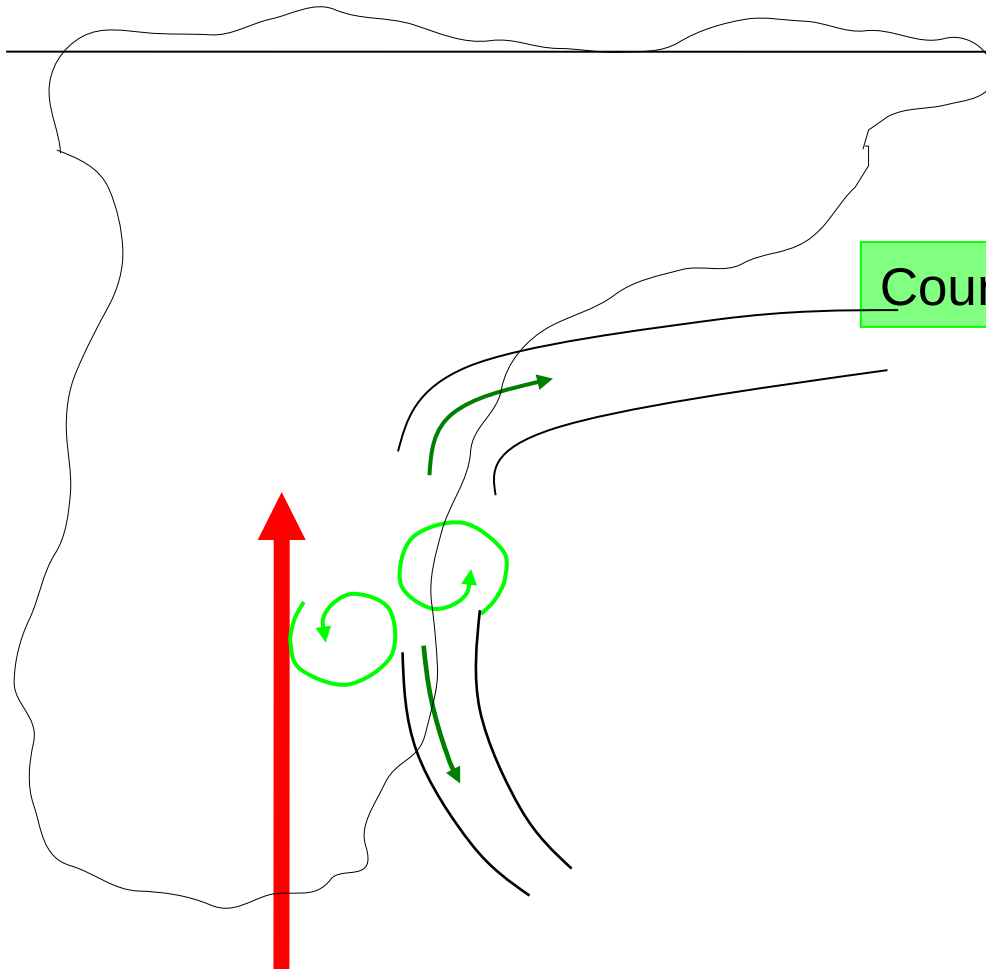
Sources : Be : stratosphere et haute troposphere ; Pb : surfaces continentales
Transportés par les aérosols

- Devenir du radionucléide = radioactivité + devenir de l'aérosol qui le transporte
- Aérosols éliminés par condensation, impaction



Impaction assez inefficace pour capturer ces aérosols ($\sim 1\mu\text{m}$: mode accumulation)

- Demi vies : 53 jours pour le ^7Be , 22 ans pour le ^{210}Pb
- Dans les précipitations : 1 atome de ^7Be par goutte d'eau
- 1 mBq Be = 6643 atomes
- 1 mBq Pb = 10^5 atomes



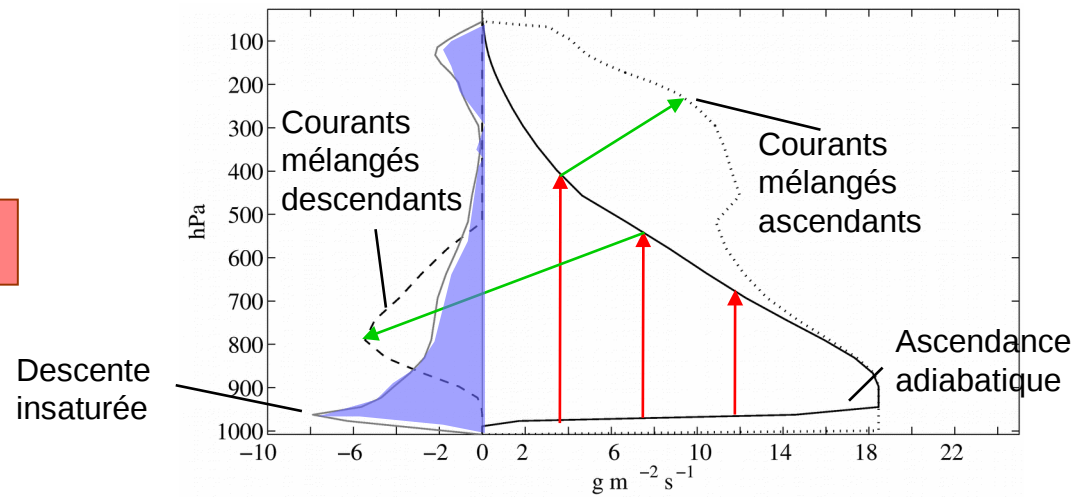
Courants ascendants adiabatiques

Courants mélangés

Fraction d'eau nuageuse +
fraction d'air environnement =
mixture

Chaque mixture ↘ ou ↗

Mixture ↗ → précipitations



Flux de masses convectifs
(simulation 1D)

transport

$$\begin{aligned}\rho (\partial_t \tilde{C})_{sat} &= (C^a - \tilde{C}(z)) \int_{z_b}^{z_t} [M_m (1 - F)]_{z' \rightarrow z} dz' \\ &+ \int_{z_b}^{z_t} [M_m F]_{z' \rightarrow z} (\tilde{C}(z') - \tilde{C}(z)) dz' \\ &- \tilde{M} \partial_z \tilde{C} + \rho (\partial_t \tilde{C})_{scav}\end{aligned}$$

élimination/lessivage

$$\begin{aligned}\rho (\partial_t \tilde{C})_{scav} &= -\alpha_a C^a \int_{z_b}^{z_t} [M_m (1 - F)]_{z' \rightarrow z} \varepsilon(z') dz' \\ &- \alpha_a C^a \int_{z_b}^z [M_m (1 - F) \varepsilon_m]_{z' \rightarrow z} (1 - \varepsilon(z')) dz' \\ &- \beta_m \int_{z_b}^{z_t} [M_m F \varepsilon_m]_{z' \rightarrow z} \tilde{C}(z') dz'\end{aligned}$$

De z à z'

F fraction d'air de l'environnement entraîné
 M_m flux de masse du courant mélangé
 ε_m fraction d'eau convertie en précipitation dans les mixtures

ε fraction d'eau convertie en précipitation à l'épluchage de l'ascendance adiabatique

α_a, β_m fractions d'aérosols activés

Paramétrisation

Effets des courants saturés

transport

$$\begin{aligned} \rho (\partial_t \tilde{C})_{sat} &= (C^a - \tilde{C}(z)) \int_{z_b}^{z_t} [M_m (1 - F)]_{z' \rightarrow z} dz' \\ &+ \int_{z_b}^{z_t} [M_m F]_{z' \rightarrow z} (\tilde{C}(z') - \tilde{C}(z)) dz' \\ &- \tilde{M} \partial_z \tilde{C} + \rho (\partial_t \tilde{C})_{scav} \end{aligned}$$

Vecteurs

&

Matrices

stockés lors de la paramétrisation convective (dans *cv3_tracer*) ; calculs effectués dans *cvltr_scav* appelé par *phytrac*.

élimination/lessivage

$$\begin{aligned} \rho (\partial_t \tilde{C})_{scav} &= -\alpha_a C^a \int_{z_b}^{z_t} [M_m (1 - F)]_{z' \rightarrow z} \varepsilon(z') dz' \\ &- \alpha_a C^a \int_{z_b}^z [M_m (1 - F) \varepsilon_m]_{z' \rightarrow z} (1 - \varepsilon(z')) dz' \\ &- \beta_m \int_{z_b}^{z_t} [M_m F \varepsilon_m]_{z' \rightarrow z} \tilde{C}(z') dz' \end{aligned}$$

De z à z'

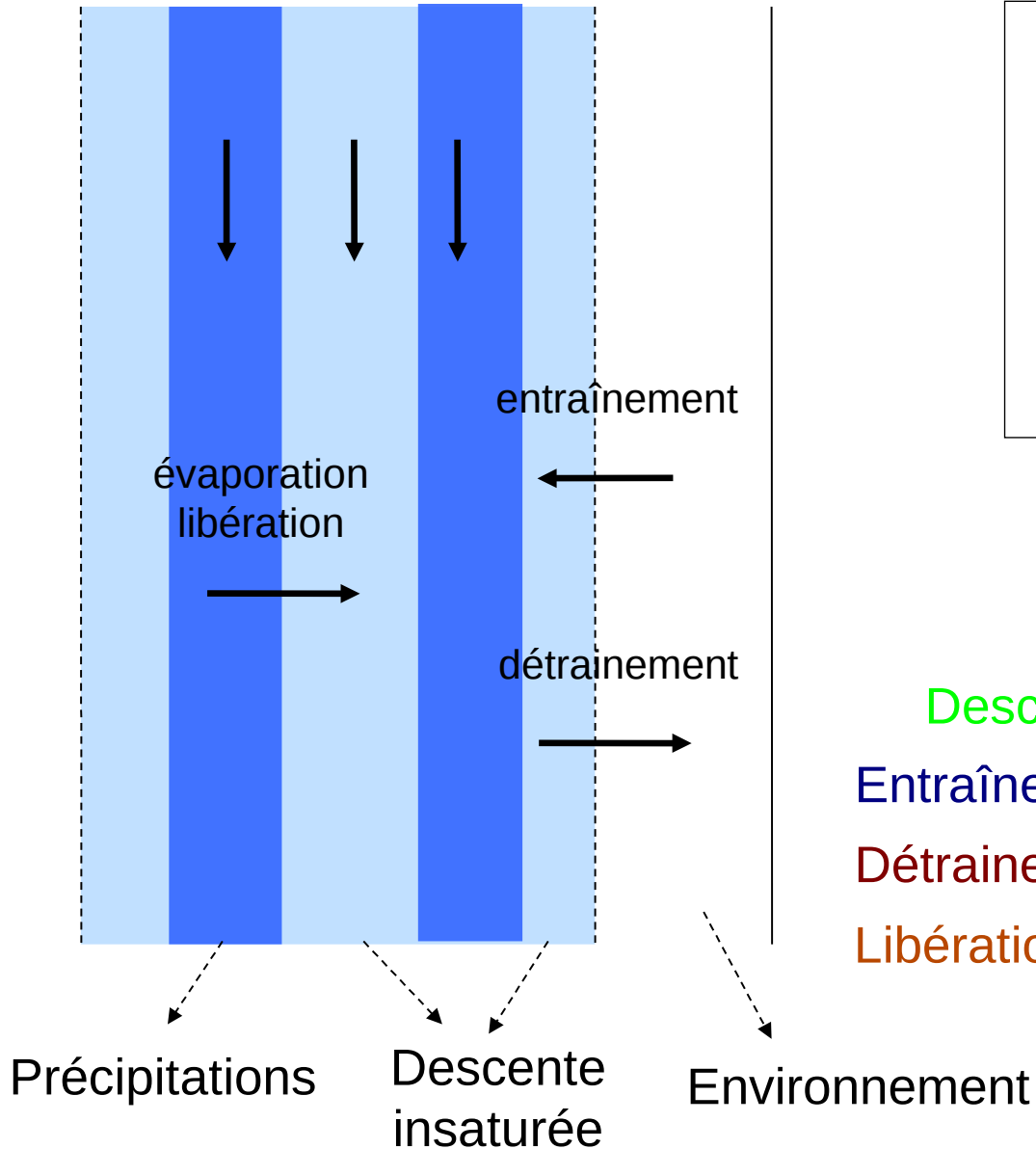
F fraction d'air de l'environnement entraîné
 M_m flux de masse du courant mélangé
 ε_m fraction d'eau convertie en précipitation dans les mixtures

ε fraction d'eau convertie en précipitation à l'épluchage de l'ascendance adiabatique

α_a, β_m fractions d'aérosols activés

Paramétrisation

Devenir des traceurs dans les descentes précipitantes



$$\rho (\partial_t \tilde{C})_{unsat} = d C_v^p - e \tilde{C} - \frac{\partial(\tilde{M}\tilde{C})}{\partial z}$$

$$\partial_z M_p = e - d$$

$$\rho (\partial_t \tilde{C})_{unsat} = d (C_v^p - \tilde{C}) + M_p \partial_z \tilde{C}$$

$$-\partial_z (M_p C_v^p) + e \tilde{C} - d C_v^p + d_z \Psi C_p^p = 0$$

Descente des traceurs

Entraînement de traceurs de l'environnement

Déentraînement des traceurs de la descente C_v^p

Libération des traceurs C_p^p contenus dans la pluie

Descentes précipitantes

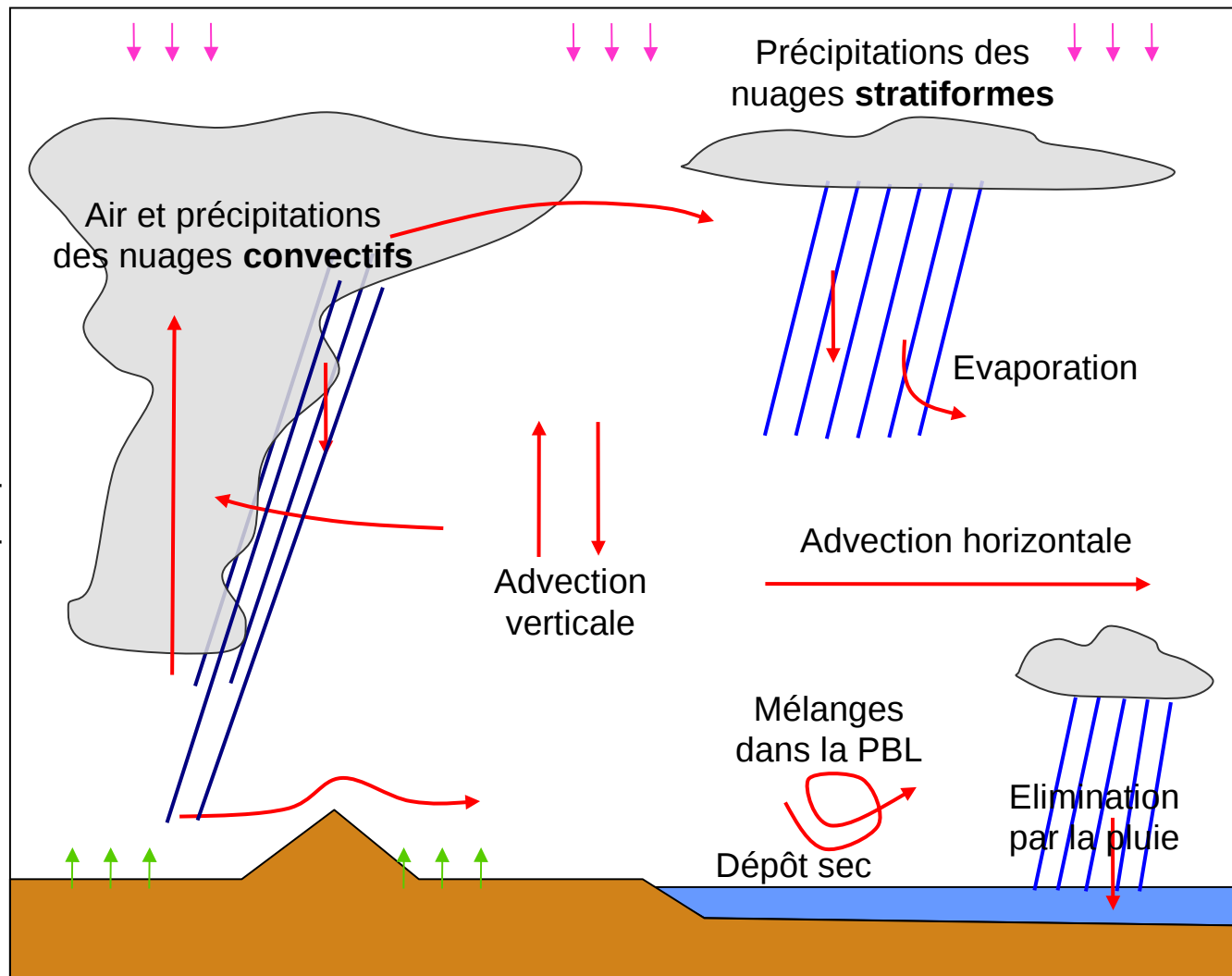
$$\begin{cases} -\partial_z(M_p C_v^p) & + e\tilde{C} - dC_v^p & + \frac{d\Psi}{dz} C_p^p = 0 \\ -\partial_z(PC_p^p) & + \partial_z P_a C_p^a + \partial_z P_m C_p^m & - \frac{d\Psi}{dz} C_p^p = 0 \end{cases}$$

Les flux de masse d'air M_p et de précipitation P ainsi que l'évaporation $d\Psi/dz$ sont stockés lors de la paramétrisation convective. La résolution du système d'équations différentielles est effectuée dans `cvltr_scav` appelé par `phytrac`.

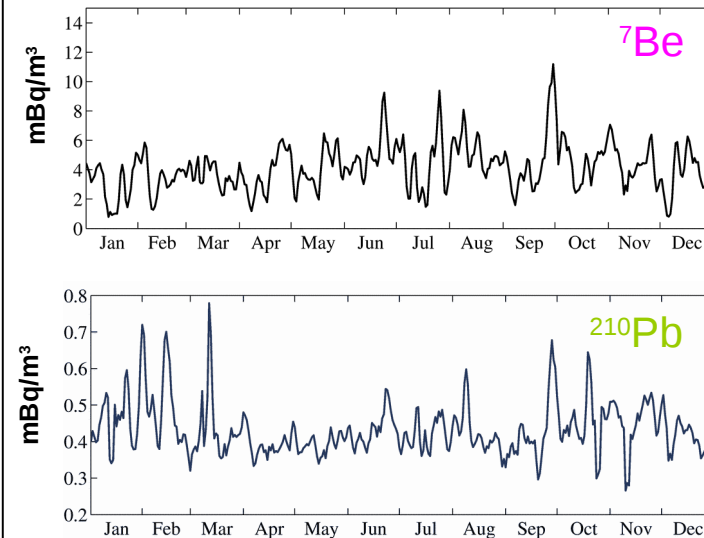
Radionucléides et traceurs :

Demi-vie plus longue que les processus de transport et d'élimination :

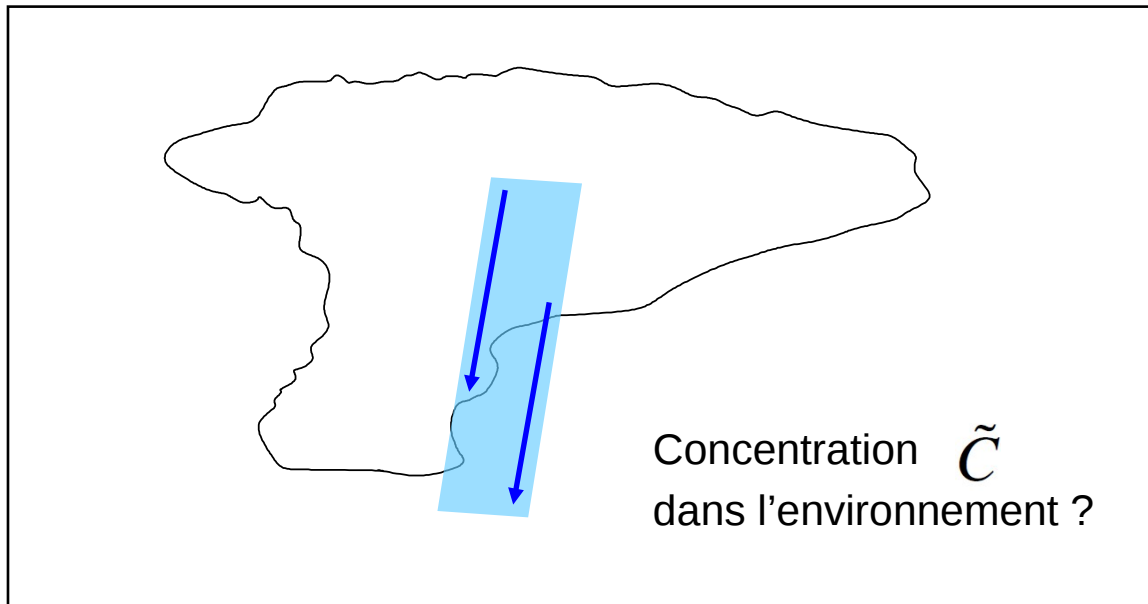
Valeur moyenne et variabilité dominées par transport et lessivage



- Transport non-nuageux
- Transport nuageux
- Lessivage



Concentrations journalières mesurées dans l'air à la surface à Tahiti (2007)



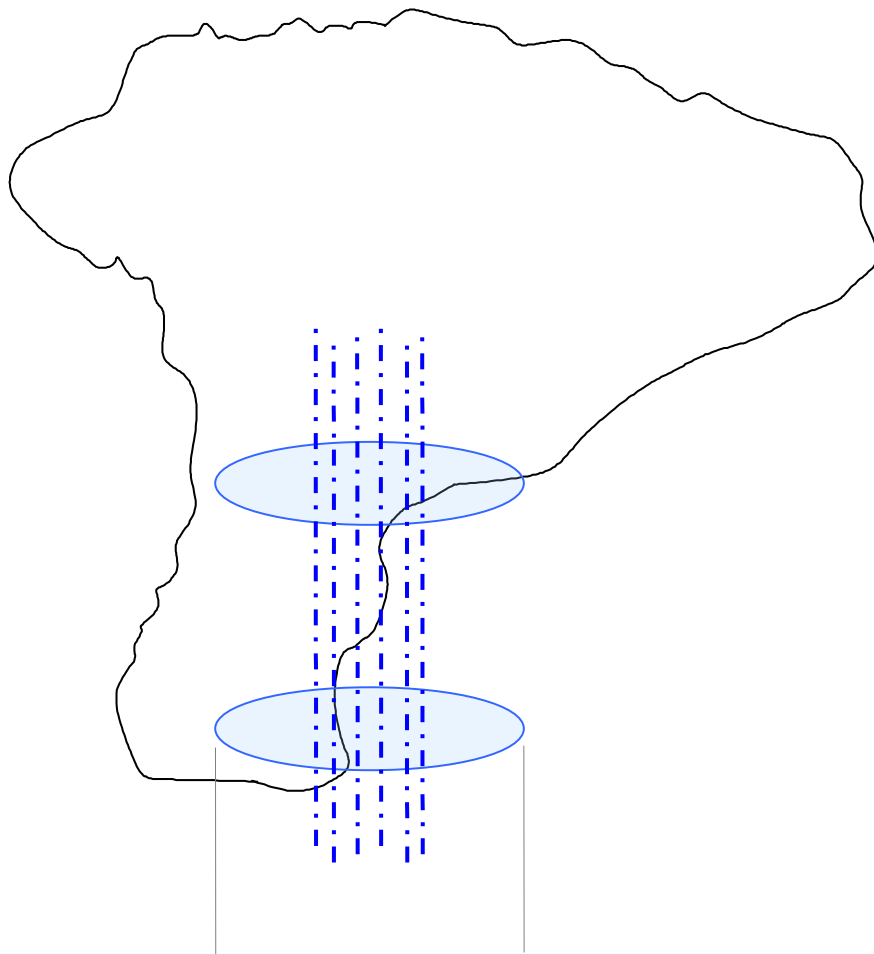
- Courants saturés
- Descente précipitante

$$\rho (\partial_t \tilde{C})_{cv} = \rho (\partial_t \tilde{C})_{sat} + \rho (\partial_t \tilde{C})_{unsat}$$

↙
Courants saturés

↘
Descente précipitante

Effet de la convection profonde sur les traceurs de l'environnement



Section constante

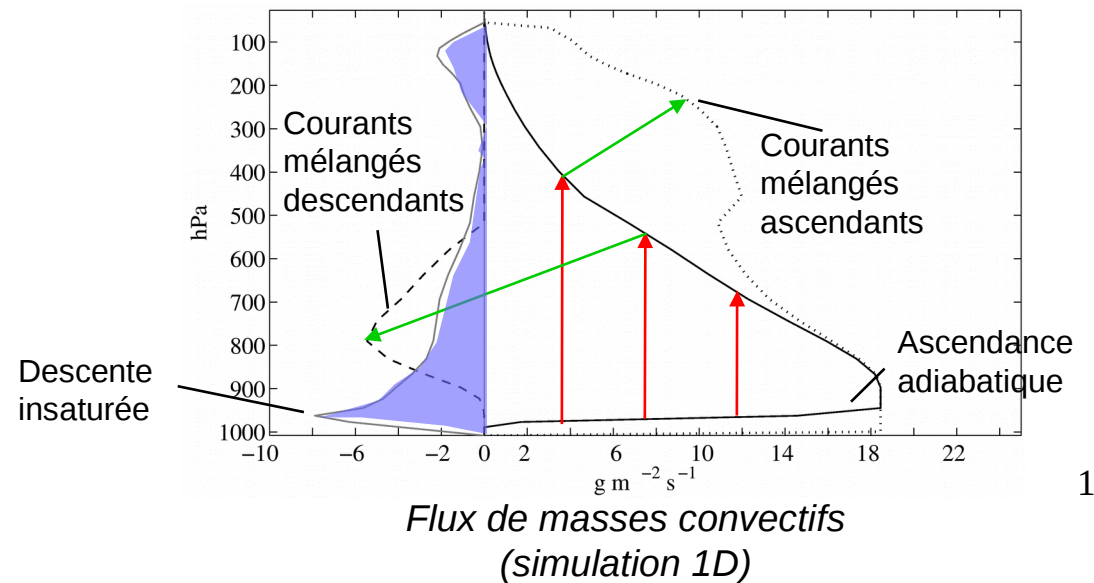
Evaporation
des précipitations



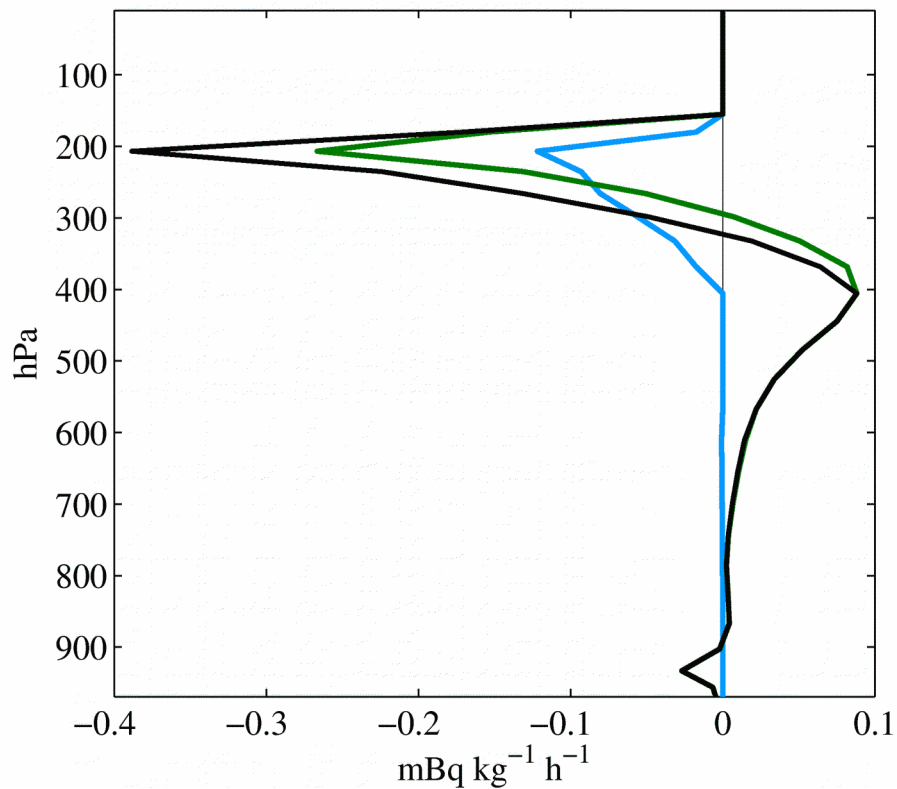
Puits froid
flottabilité négative



Courants insaturés



Radionucléide ${}^7\text{Be}$ (simulation 1D)

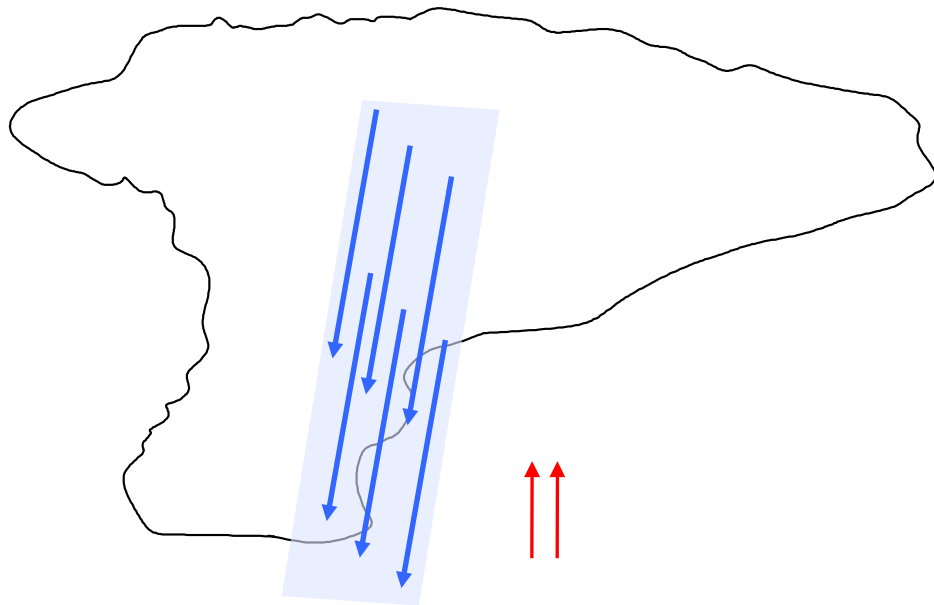


Tendances induites sur l'environnement

- Courants saturés $(\partial_t \tilde{C})_{sat}$
- Transport par l'air $(\partial_t \tilde{C})_{trsp}$
- Elimination lors de la formation des précipitations $(\partial_t \tilde{C})_{scav}$

Paramétrisation

Effets des descentes précipitantes



$$\rho (\partial_t \tilde{C})_{unsat} = d C_v^p - e \tilde{C} - \frac{\partial(\tilde{M}\tilde{C})}{\partial z}$$

$$\partial_z M_p = e - d$$

$$\rho (\partial_t \tilde{C})_{unsat} = d (C_v^p - \tilde{C}) + M_p \partial_z \tilde{C}$$

Descente précipitante

C_v^p

phase
gazeuse

M_p

Flux de la descente insaturée

e

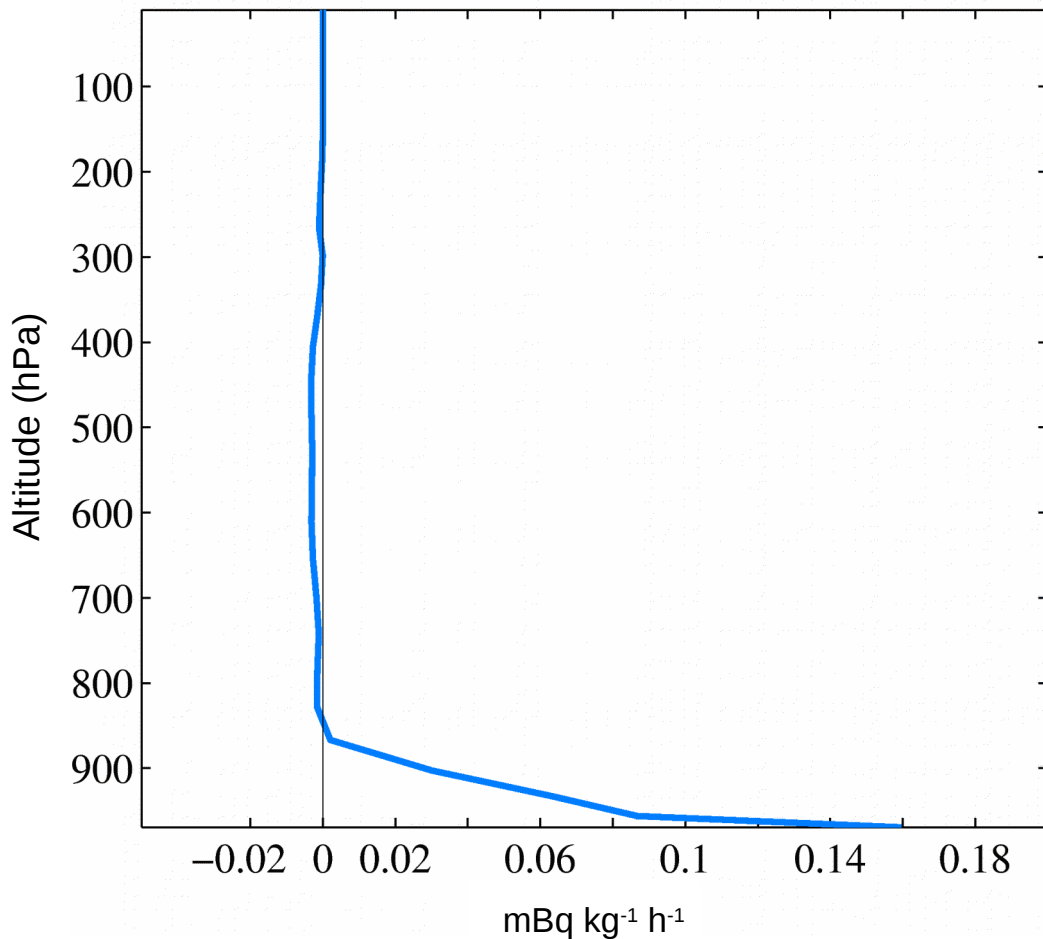
Flux de masse entraîné

d

Flux de masse détrainé

Pour connaître la concentration dans l'air de la descente C_v^p , il faut expliciter les échanges entre la pluie, l'air de la descente et l'environnement.

Radionucléide ^7Be



Processus affectant les concentrations de traceurs dans l'environnement

- Impaction
- Libération par évaporation
- Détrainement de la descente vers l'environnement

Tendance induite par la descente précipitante sur l'environnement (Simulation 1D)

Paramétrisation

Nuages stratiformes

Pas de courants atmosphériques associés aux nuages stratiformes dans le modèle

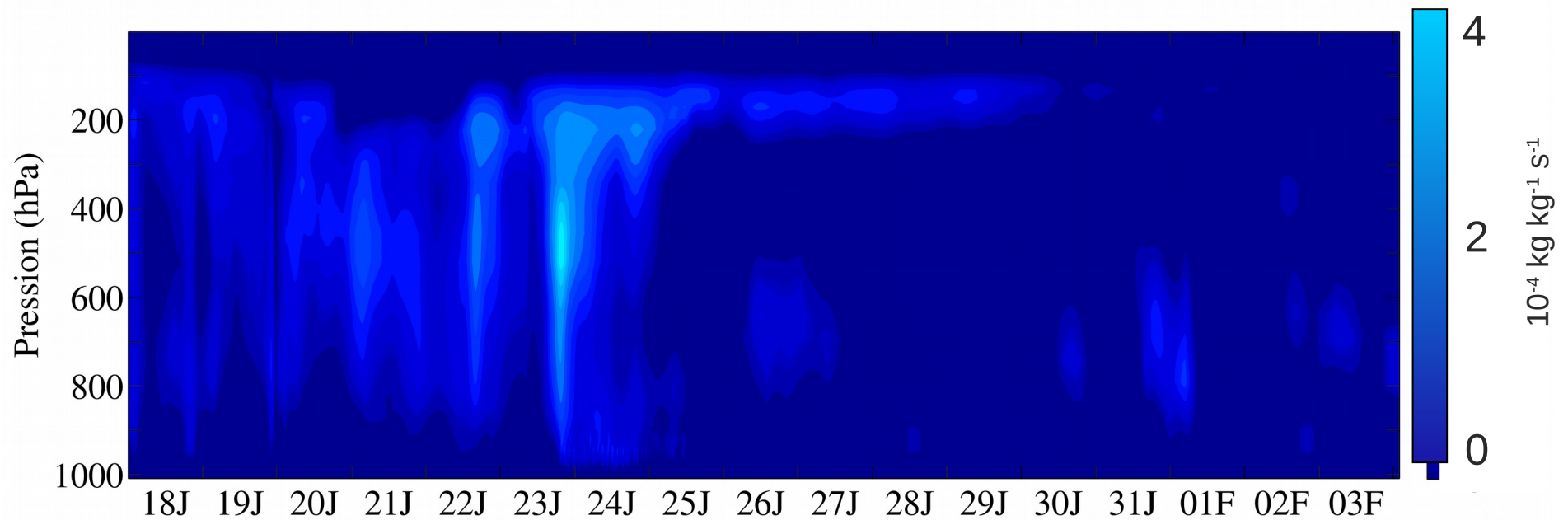
Transport par les précipitations

Effets des processus stratiformes $(\partial_t \tilde{C})_{\text{strati}} = (\partial_t \tilde{C})_{\text{nucl}} + (\partial_t \tilde{C})_{\text{imp}} + (\partial_t \tilde{C})_{\text{ev}}$

Hypothèse :

Elimination par nucléation \propto taux de conversion de l'eau nuageuse en précipitation

Parametre clef : **fraction de traceur dans la phase condensee, ici : 0.1**
(~ Croft et al. 2010, glace)



Simulation 1D (cas TWP-ICE)

Taux de conversion en précipitations dans les nuages stratiformes

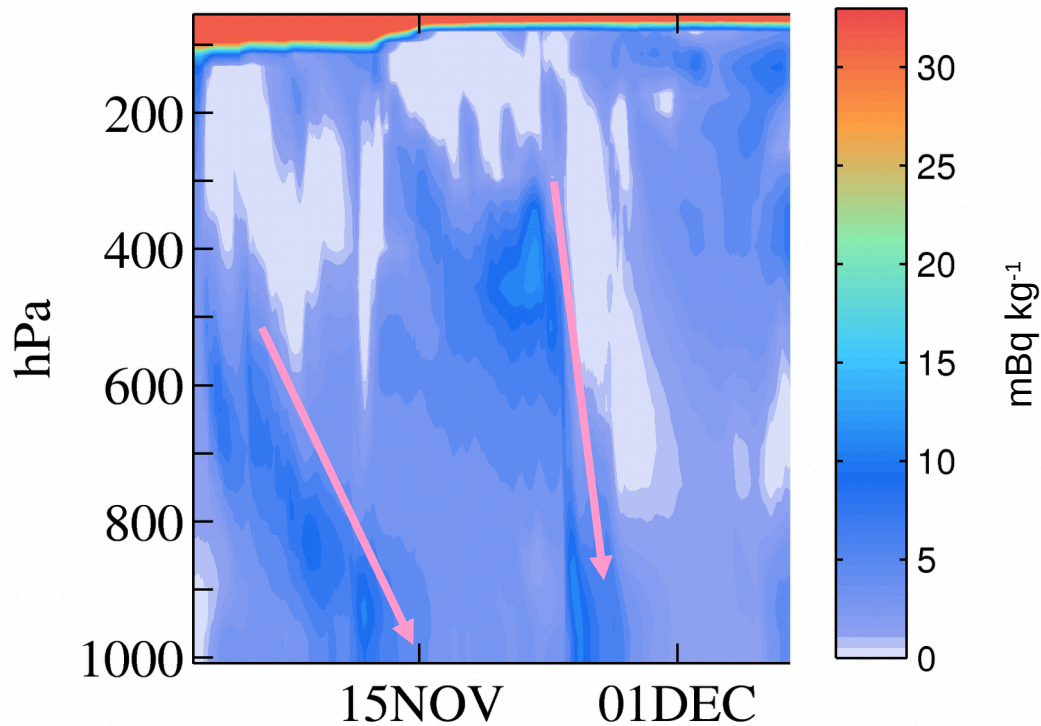
Paramétrisation

Nuages stratiformes

- Evaporation : restitution des traceurs à l'environnement

Quantités de traceurs libérés $\propto \sqrt{\text{Flux de précipitations}}$

- Impaction : efficacité de collision (0,1%) ==> peu d'effet

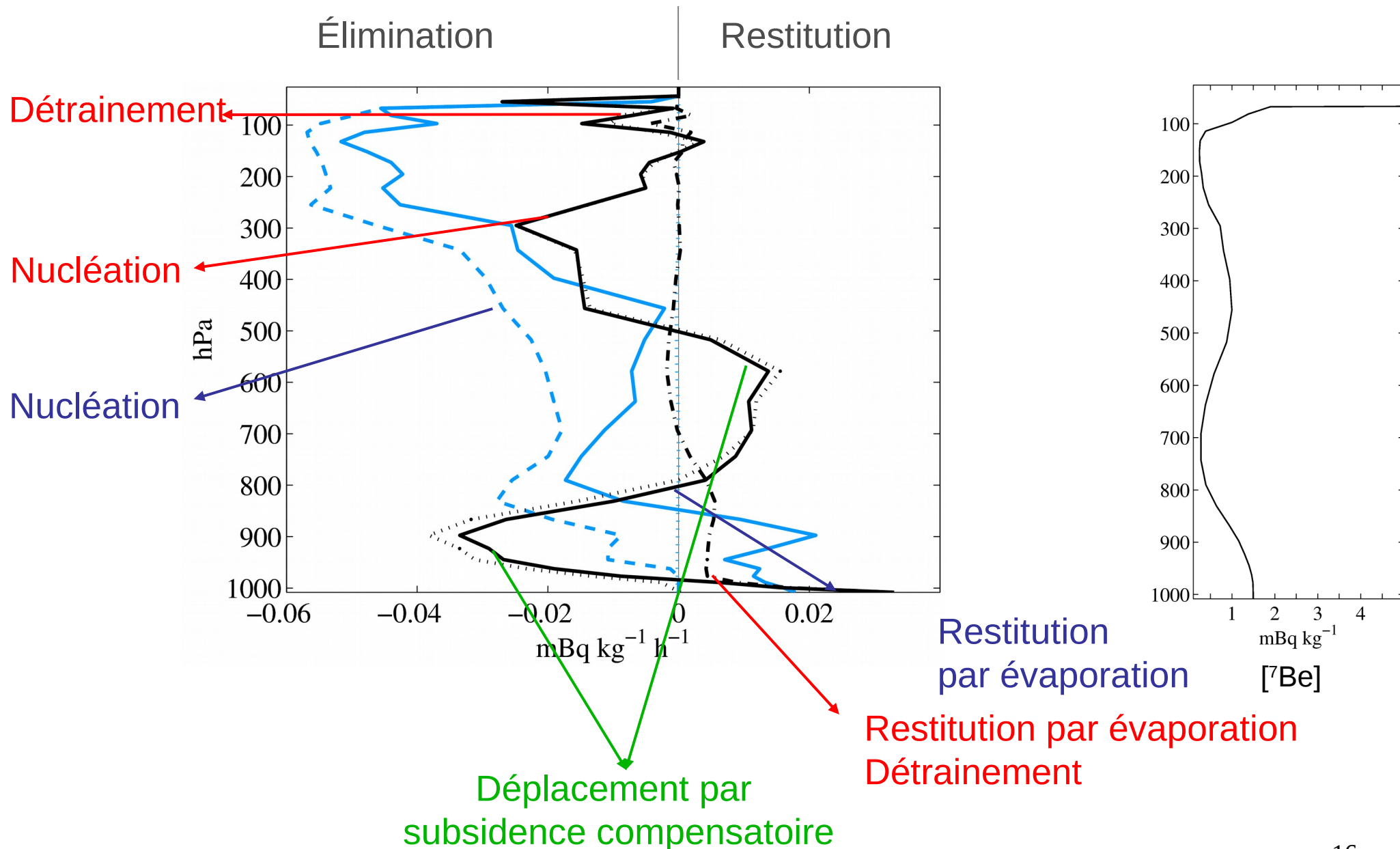


Transport par éliminations
et libérations successives

Concentrations de ${}^7\text{Be}$ (mBq kg^{-1})
Simulation 1D (cas TOGA COARE)

Effets des processus sur la distribution

Exemple : convection océanique intense (simulation 1D)



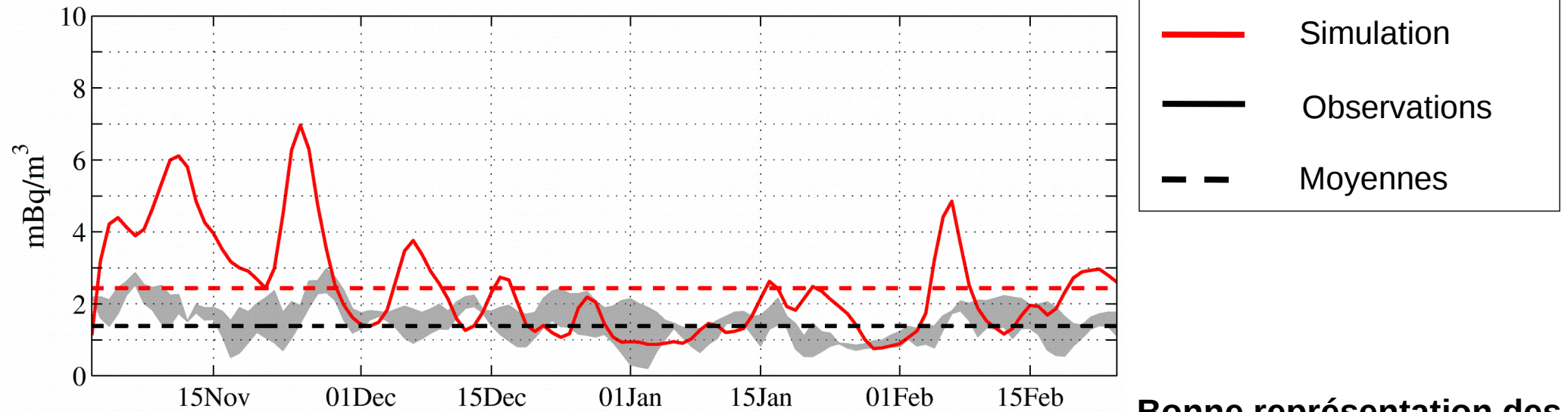
- Tendence stratiforme
- - - Tendence nucléation stratiforme
- Tendence convection profonde
- Tendence courants saturés
- - - Tendence descente précipitante

Concentrations à la surface

Confrontation à des observations

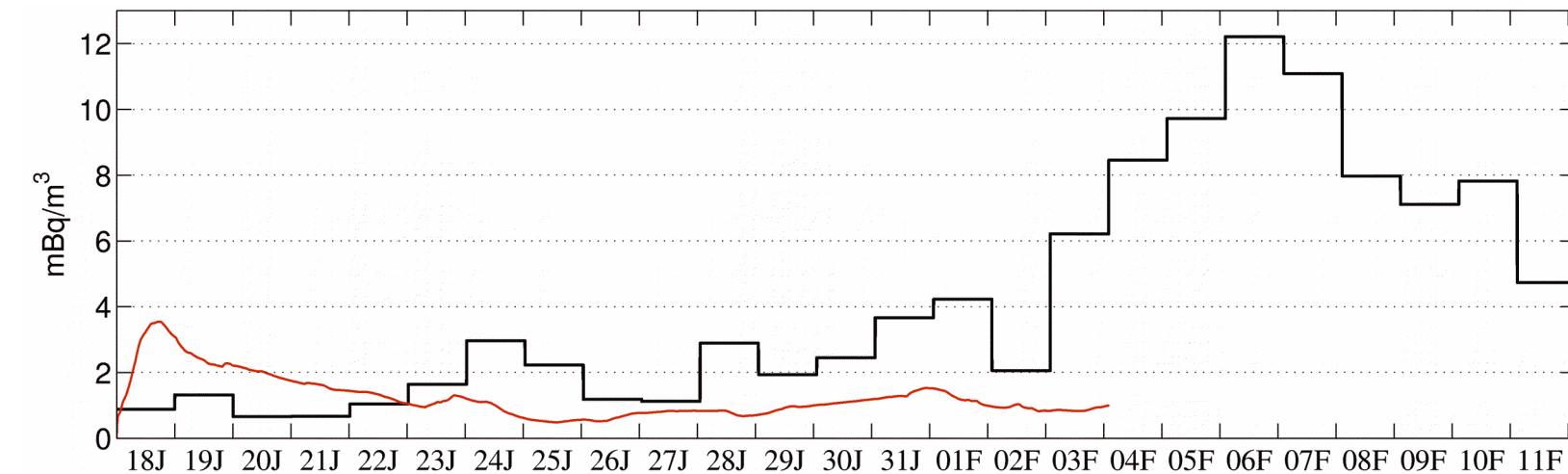
1D

TOGA COARE : Océan Pacifique Ouest

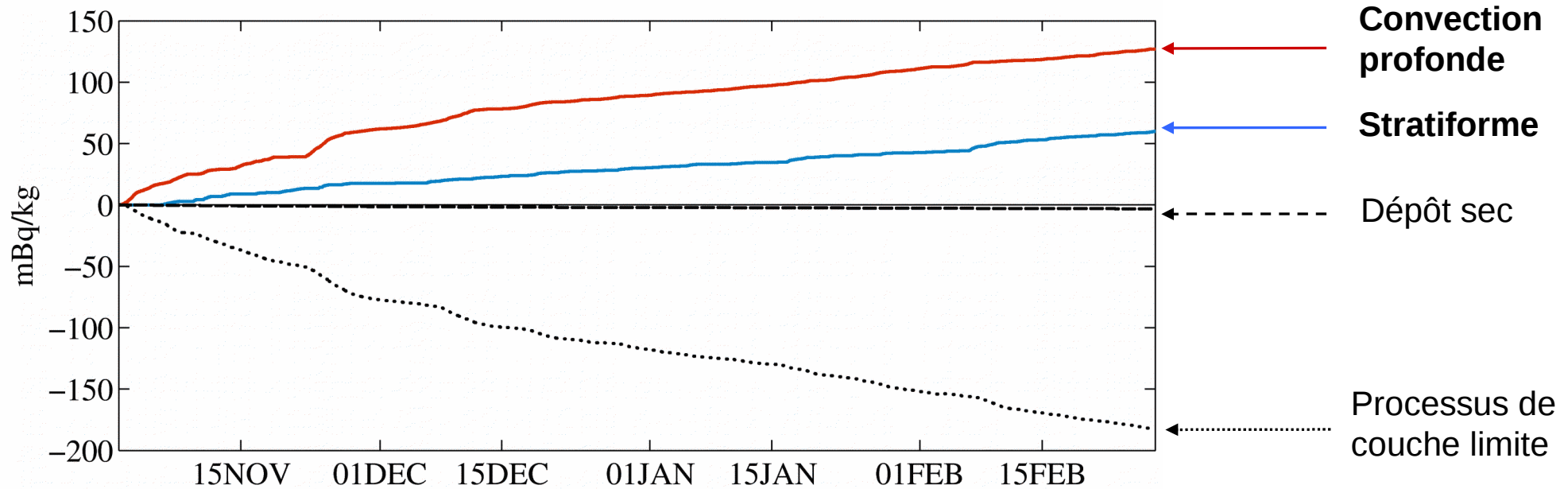


Bonne représentation des ordres de grandeur et de la variabilité

TWP-ICE : Darwin, Australie



Quel processus domine à la surface ?

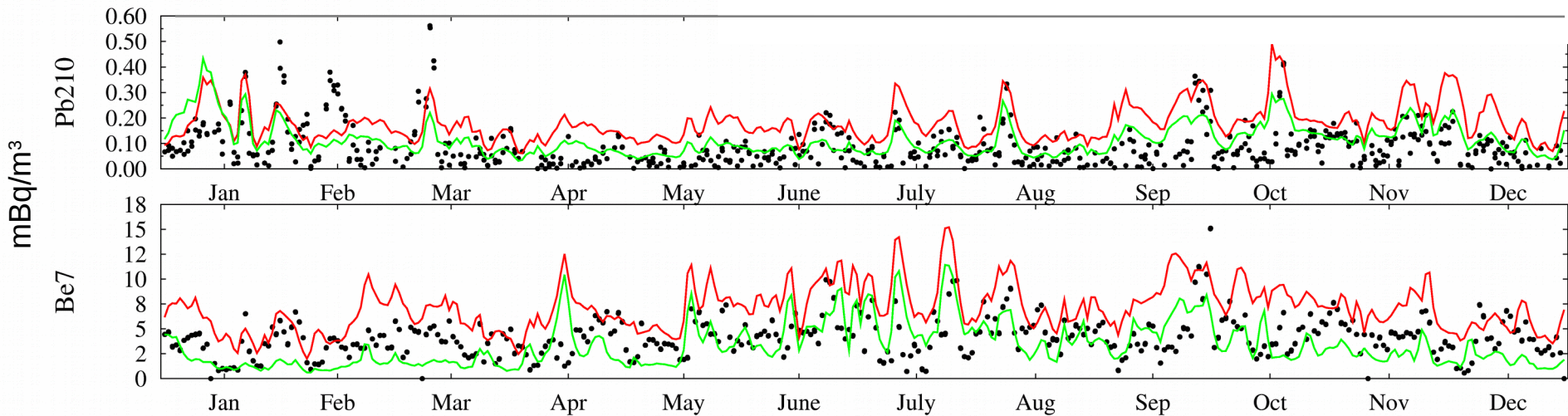


Cumules des tendances sur le ${}^7\text{Be}$ dans la première couche du modèle (TOGA COARE)

- Prédominance de la convection profonde
- Les processus de couche limite équilibrent les effets des processus associés à la convection profonde et aux nuages stratiformes

Concentrations dans l'air

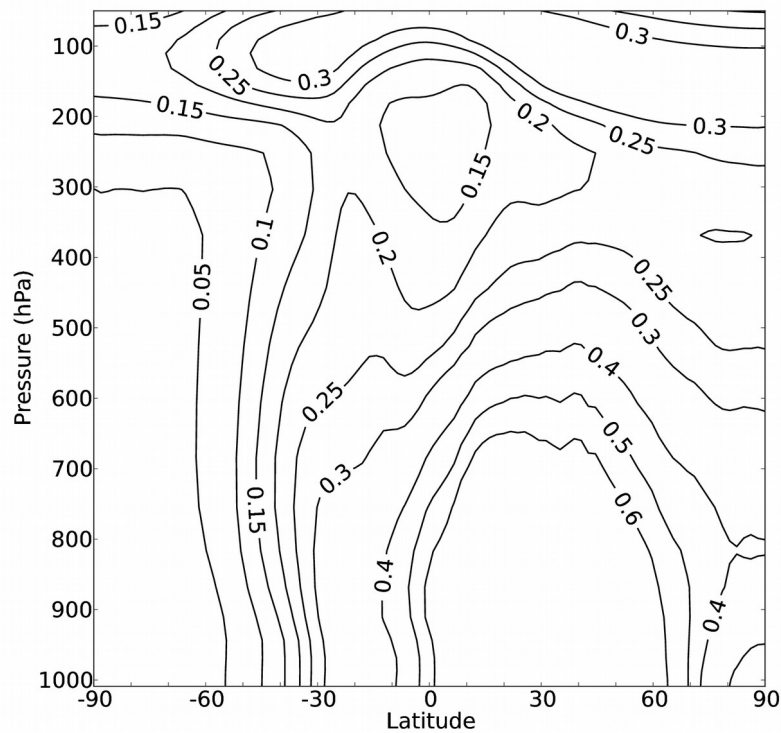
- Point de départ : surestimation des concentrations de ^7Be et de ^{210}Pb simulées
- Hors de l'ITCZ, le lessivage convectif est censé diminuer les concentrations



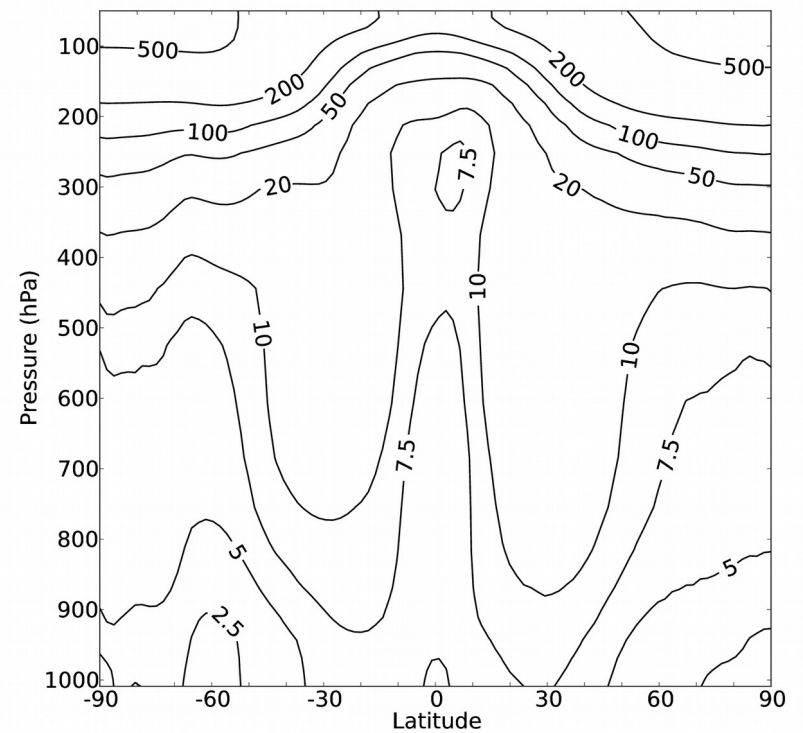
Simulation guidée, Tahiti, 2007

- Sans lessivage convectif
 - Avec lessivage convectif
 - Observations
- Lessivage stratiforme
sans libération par évaporation

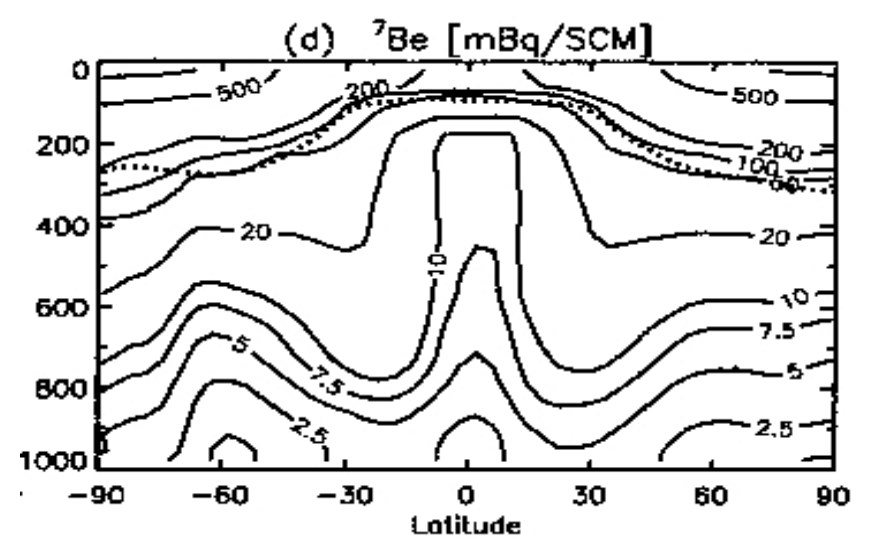
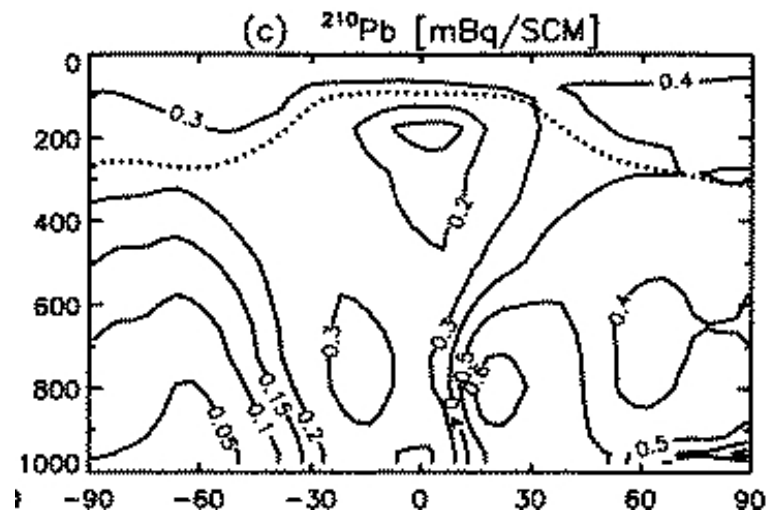
Diminution des concentrations : moyennes plus proches des observations



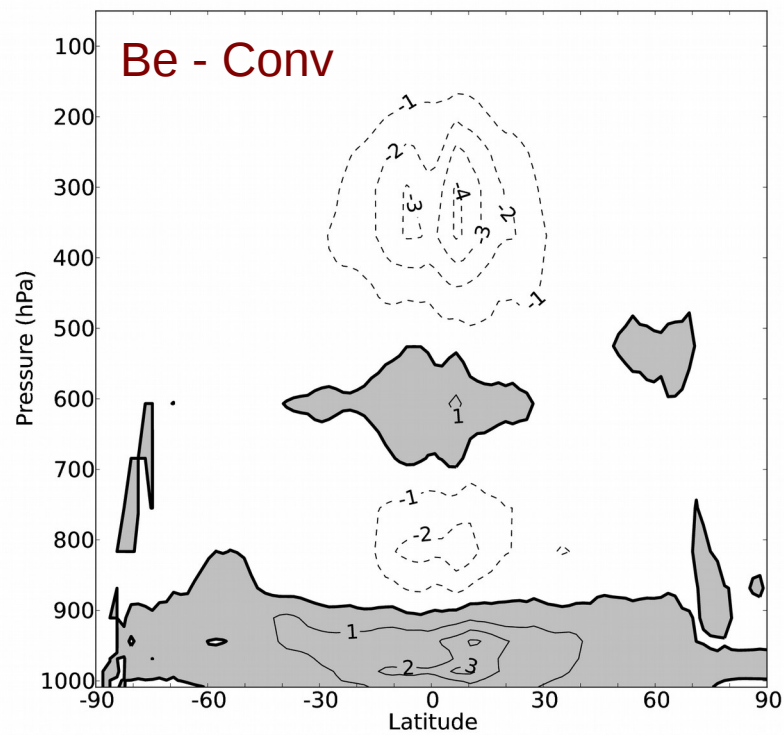
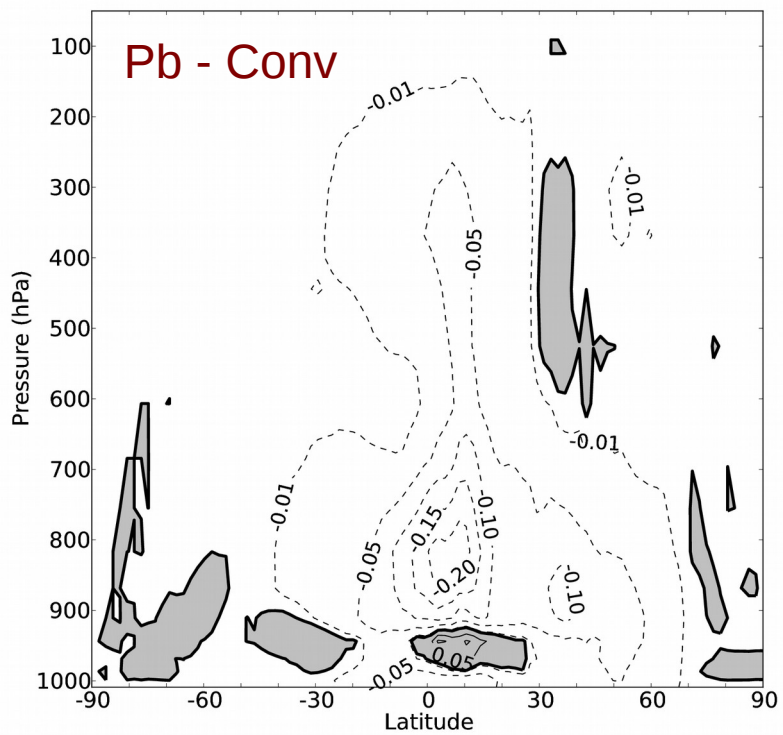
Moyenne zonale ^{210}Pb



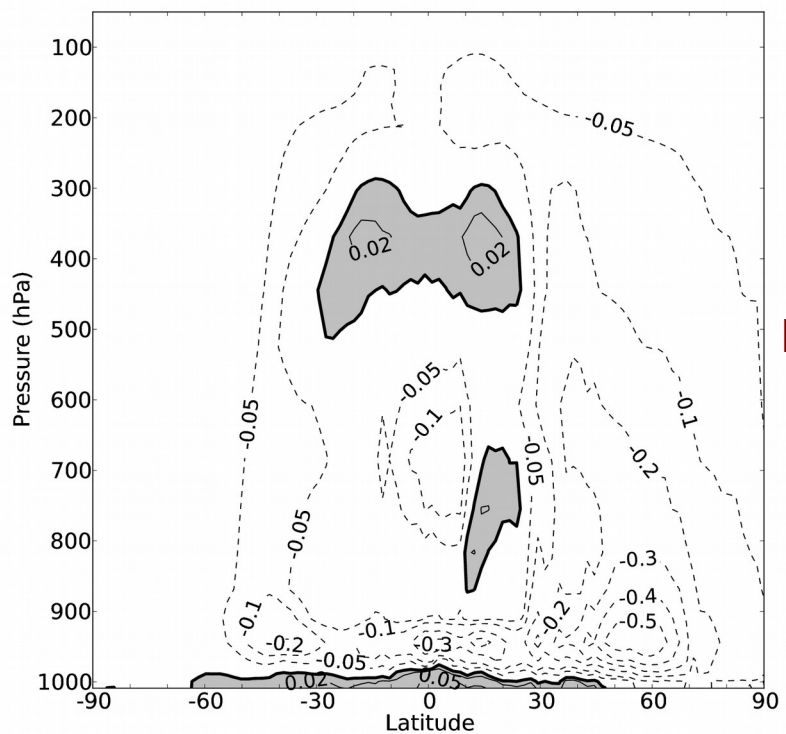
Moyenne zonale ^7Be



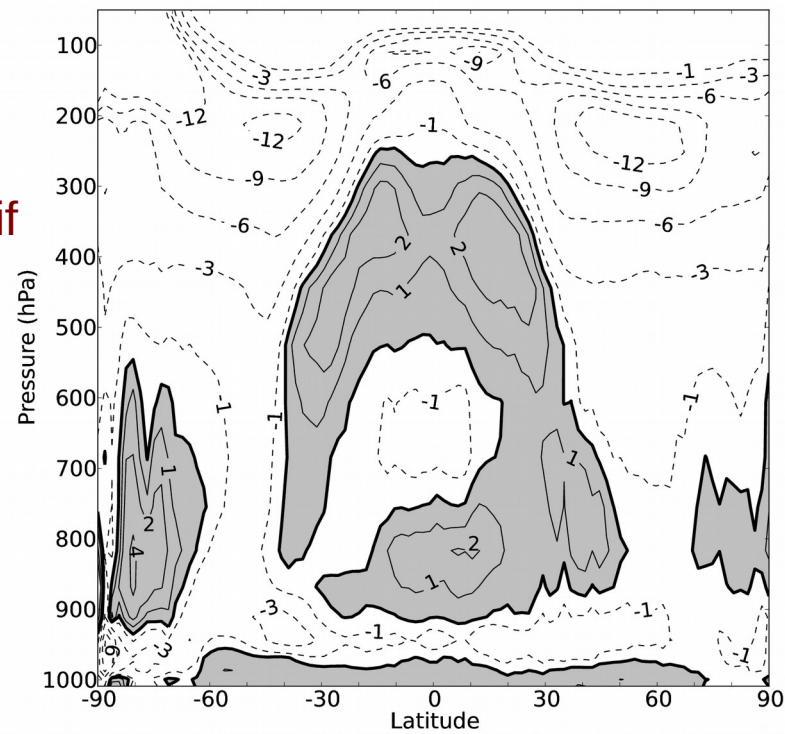
Liu et al., 2001



**Tendances
(mBq/kg/h)**



Be - Stratif



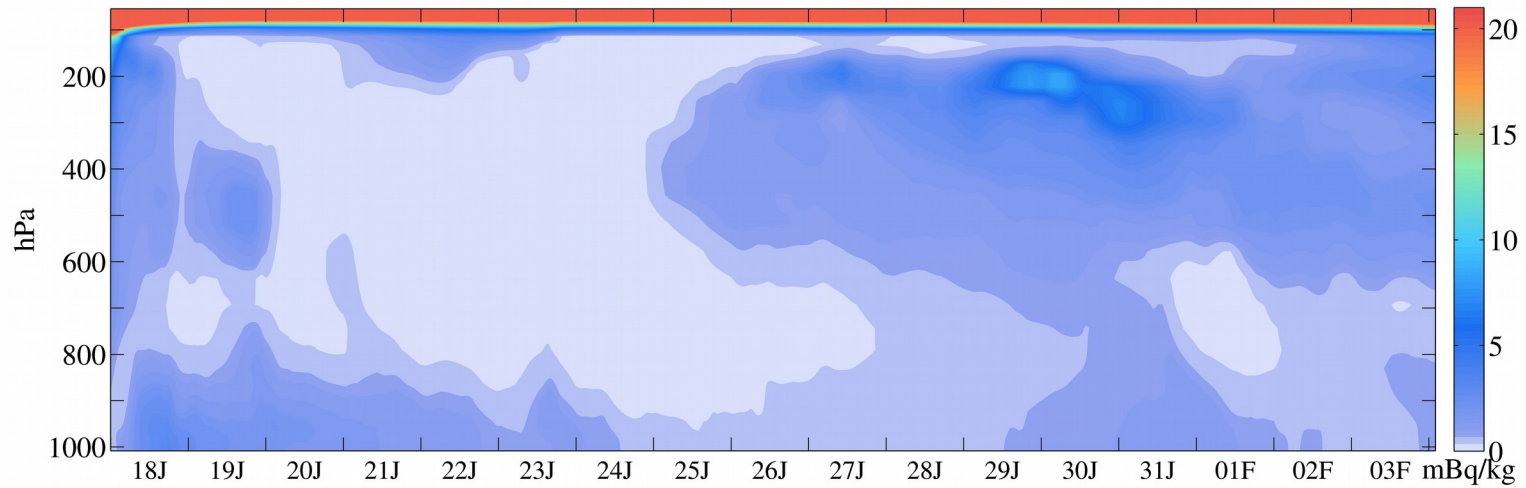
Conclusion

- Paramétrisation du lessivage convectif → ordres de grandeur raisonnables des valeurs moyennes et des concentrations de ^7Be et de ^{210}Pb .
- Dans LMDZ : lessivage convectif < lessivage stratiforme mais **impact sur concentration à la surface plus important.**

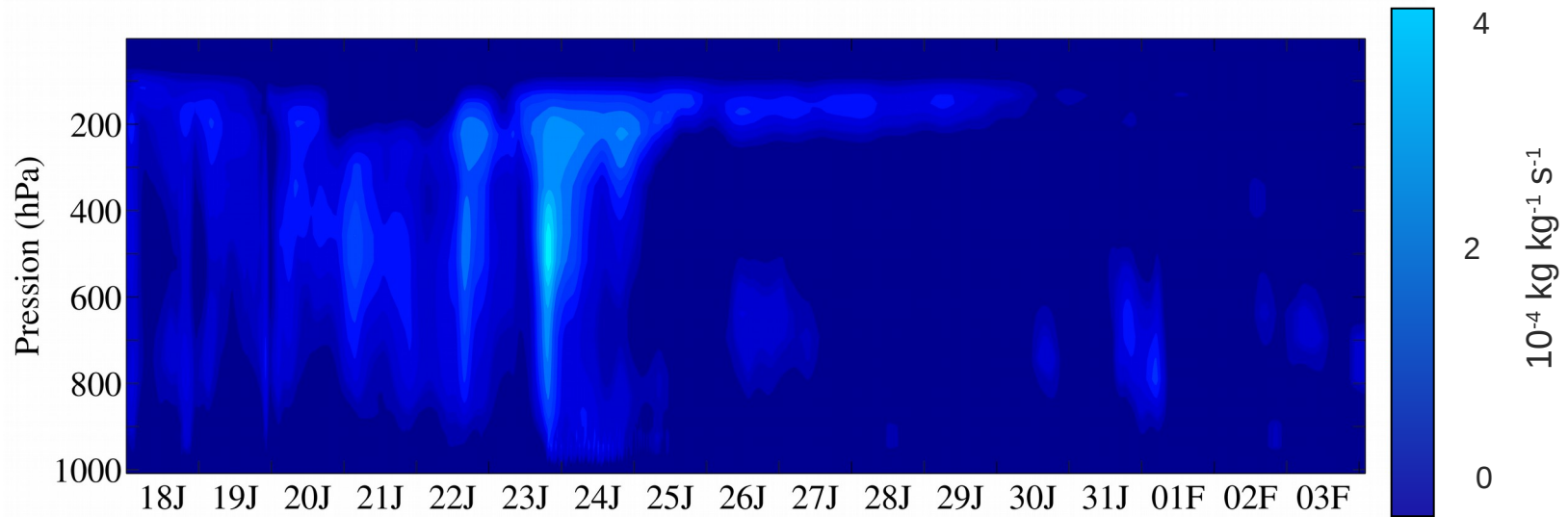
Perspective :

- Étude conjointe des radionucléides et des isotopes stables de l'eau devrait fournir des contraintes sur les paramétrisations.
- **Remettre en question l'hypothèse du contrôle du taux d'élimination des traceurs par le taux de conversion en précipitation.**
- Distinguer les nucléations liquides et glacées.

Applications aux diverses espèces d'aérosols : tout est à faire ...



Concentrations de ^7Be

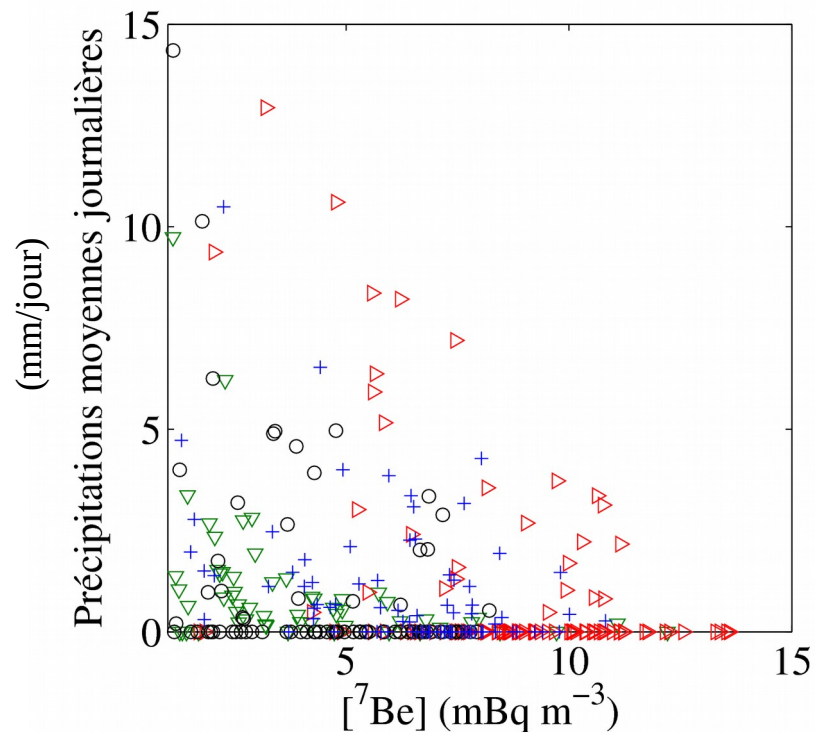


Taux de conversion en précipitations dans les nuages stratiformes

Processus nuageux et radionucléides

Relation entre précipitations et concentrations à la surface

Précipitations et observations de ^7Be lors de périodes de convection intense à Darwin



Concentrations élevées \longrightarrow Précipitations faibles

Précipitations fortes \longrightarrow Concentrations faibles

▽ Janvier – Mars 2006 ▷ Septembre – Décembre 2006
○ Mars – Mai 2009 + Octobre – Décembre 2009

- De quels nuages, de quelles altitudes proviennent ces précipitations ?
- Niveaux des concentrations en rapport avec les précipitations ?