

Mise en place de la microphysique des nuages dans le  
TGCM 3D IPSL

Jérémy Burgalat

1<sup>er</sup> juin 2011

# Modifications du modèle

## Généralités

Le nouveau modèle de microphysique est une adaptation du modèle de microphysique du TGCM 2D. Les traceurs sont toujours discrétisés sur une grille de rayons (actuellement 10 bins). Actuellement, 3 espèces chimiques sont prises en compte pour la condensation dans les nuages :  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  et  $C_2H_2$ . Il y a donc un total de 50 traceurs microphysique pour 5 types de traceurs (aérosols, noyaux et 3 glaces) auquel il faut ajouter au minimum les 3 traceurs chimiques correspondants aux espèces condensables des nuages.

La partie microphysique peut tourner soit en 2D soit en 3D (voir plus bas) que les nuages soient activés ou non. Cela implique quelques précautions sur l'interprétation des sorties diagnostiques de la microphysique. Tous les diagnostiques décrits dans la section *Diagnostiques microphysique* à l'exception des champs *kclld*, *tclld* et *occlld*, seront des champs 2D (latitude X altitude) identiques sur toutes les longitudes si la microphysique est exécutée en 2D (`microfi = 1`).

Actuellement, la condensation des espèces utilisées dans les processus de formation de nuages, est gérée par la clef **clouds**. Si la microphysique des nuages est activée, la variation des 3 espèces due à la condensation est gérée par ces processus et non plus par la clef **chimi** : les fractions molaires des gaz concernés sont remplacées à la fin de *phytrac.F* par celles sorties de *muphys.F* (qui sont mise à jour durant les processus microphysiques). Dans *physiq.F* l'ajout des tendances des espèces chimiques utilisées par les nuages est aussi gérée par la clef **clouds**. Attention : dans cette version, si les nuages ne sont pas activés, les tendances de la condensation fait par la chimie ne seront pas ajoutées.

La clef **clouds** active aussi la création de sources pour les 3 espèces chimiques. Pour  $C_2H_6$  et  $C_2H_2$ , la routine *sources.F* applique un taux de production (respectivement égal à  $1.2 \times 10^{-12}$  et  $0.32 \times 10^{-12} \text{ kg.m}^{-2}.s^{-1}$ ) sur les 4 dernières couches du modèle. Pour  $CH_4$ , *sources.F* calcule le flux de méthane à la surface en fonction d'un réservoir de surface.

Le réservoir de surface tient compte des précipitations<sup>1</sup> de  $CH_4$ , c'est pourquoi il a été fixé comme paramètre du fichier de démarrage `startphy.nc`, il peut être modifié soit directement dans le code soit en passant par la création d'un nouveau `startphy.nc`.

Les nuages sont couplés au transfert radiatif. Les ensembles de routines *optcv\*.F* et *optci\*.F* calculent désormais la contribution des nuages à l'opacité de l'atmosphère

---

1. Actuellement, le réservoir est infini. Pour modifier cette condition, il suffit de commenter le code qui remet le réservoir à 2 mètres au début de chaque itération de physique.

selon le même schéma que pour les aérosols. Le transfert radiatif prend en compte une fraction nuageuse (clef **xnuf**). La fraction nuageuse sert à éviter que la colonne ne soit complètement obscurcie par les nuages. Cette clef est un héritage du GCM2D qui ne devrait avoir de sens que si le transfert radiatif n'est pas calculé avec des intervalles de temps court (pour rappel, dans le modèle nuages du GCM2D le transfert radiatif peut être calculé jusqu'à 60 voir 30 fois par an uniquement). Actuellement, le modèle 3D calcule systématiquement deux fois le taux de chauffage (resp. de refroidissement) de l'atmosphère (un calcul en colonne "claire" - sans nuages - et un calcul avec nuages) puis utilise la valeur de **xnuf** pour calculer le taux de chauffage (resp. de refroidissement) selon la formule :

$$dT_{rad} = xnuf \times dT_{rad}^{cld} + (1 - xnuf) \times dT_{rad}^{noctd}$$

Le calcul se fait selon la clef (non modulable) ICLD dans *radlws.w.F* qui pourrait placée dans les clefs du modèle afin de couper la fraction nuageuse si nécessaire<sup>1</sup>. Il n'est pas possible de couper virtuellement la fraction nuageuse en la passant à 0 dans le fichier de définition *physiq.def*, le modèle fixe une seuil minimum a 0,1.

**Précisions sur le transfert radiatif :** L'ajout des nuages rend le calcul des opacités relativement couteux en temps de calcul. En effet ce calcul prend en compte les propriétés physique de la goutte tel que son rayon ou sa composition et doit donc être mis à jour a chaque appel du transfert radiatif. Actuellement, nous avons opté pour une solution peu couteuse mais pas forcément très représentative. Au premier appel, les indices optiques sont calculés en fonction d'une composition fixée des gouttes (90% de méthane et 10% de noyaux) et le modèle calcule les coefficients d'efficacité pour une taille de goutte unique de 3  $\mu\text{m}$ . Ensuite à chaque appel, le calcul des sections efficaces se fait en multipliant les coefficients d'efficacité par la surface réelle de la goutte. Au delà de 3  $\mu\text{m}$ , peu de variations des coefficients d'efficacité est attendue sur les longueurs d'onde. Ce n'est à priori pas le cas en dessous. Il est prévu à terme de tabuler ces valeurs afin d'être plus précis dans les calculs sans surcharger le temps de calcul. Les routines *optcv\_1pt\_2.F* et *optci\_1pt\_2.F* prennent en charge cette modification. Si l'on souhaite revenir au calcul complet, il suffit d'utiliser les routines *optcv\_1pt.F* et *optci\_1pt.F* à la place.

**Notes générales :** La microphysique n'a pas encore été tester en 3D (i.e : **microfi** = 2) pour une raison évidente de temps de calcul. Le transfert radiatif utilise la version simplifiée du calcul d'opacité pour la même raison.

---

1. Le calcul des taux de chauffage et des taux de refroidissement ne sont pas les plus coûteux, donc cette clef n'est pas absolument nécessaire. Si elle devait être mise en place, il ne faudra pas oublier de l'utiliser pour couper le calcul de l'opacité des nuages dans les routines *optc\*.F*

## Utilisation des clefs de la microphysique

Le modèle utilise deux nouvelles clefs **clouds** et **xnuf** concernant les processus des nuages. L'utilisation de la clef **microfi** a été modifiée.

- La clef **clouds** contrôle l'appel des processus de la microphysique des nuages et des parties du transfert radiatif liées aux nuages. Elle peut prendre deux valeurs, 1 pour activer les nuages, 0 sinon. Le modèle vérifie la bonne utilisation de la clef (impossible de faire des nuages sans microphysique).
- La clef **xnuf** contrôle la fraction nuageuse à appliquer dans le calcul du transfert radiatif. Sa valeur peut varier entre 0.1 et 1 ; elle vaut 0.5 par défaut.
- La clef **microfi** contrôle toujours l'activation de la microphysique mais permet maintenant de traiter la microphysique dans son ensemble (nuages compris) en 2D ou en 3D indépendamment de la clef **clouds**. Elle peut prendre 3 valeurs :

**microfi** = 0 → pas de microphysique.

**microfi** = 1 → microphysique 2D.

**microfi** > 1 → microphysique 3D.

## Diagnostiques microphysique

Les variables diagnostiques pour la microphysique sont stockées dans le fichier `diagmuphy.h`. Toutes les variables n'ont pas été traitées dans la partie d'écriture des diagnostiques. Liste des diagnostiques présents :

---

Sorties actuellement disponibles dans les fichiers diagnostiques

---

*preXXX* : précipitations moyennes pour l'espèce XXX.

*XXXsat* : saturation pour l'espèce XXX.

*occldXXX* : occurrences des nuages.

*kcl* : Extinction des nuages (proxy).

*tcl* : Opacité des nuages (proxy).

---

Sorties supplémentaires possibles (voir *diagmuphy.h*)

---

*flxgXXX* : Flux de glace de l'espèce XXX. (variable correspondante `flxesp_i`)

*tau\_aer* : Taux de sédimentation des aérosols. (variable correspondante `tau_aer`)

*solXXX* : Production de glace de l'espèce XXX. (variable correspondante `solesp1`)

---

1. l'indice `klev+1` correspond au sol (donc aux échanges à la surface).

Le champ *occlld* compte les occurrences de nuages compris entre deux niveaux du proxy de l'opacité (calculée de la manière suivante).

$$\tau_{proxy} = N_{noyaux} \pi R_{goutte}^2$$

Où  $N_{noyaux}$  est le nombre de noyaux sur la colonne et  $R_{goutte}$  est le rayon de la goutte.

Les niveaux sont calculés sous forme de quart de décade et peuvent être modifiés dans la routine *phytrac.F*. La statistique (normalisée à 1) prend en compte toutes les espèces (il n'est pas possible de distinguer  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  ou  $C_2H_2$ ), mais elle permet néanmoins une étude plus fine sur la formation et la localisation des nuages.

| indice | $\tau_{min}$ | $\tau_{max}$ |
|--------|--------------|--------------|
| 1      | 0.000        | 0.100        |
| 2      | 0.100        | 0.178        |
| 3      | 0.178        | 0.316        |
| 4      | 0.316        | 0.562        |
| 5      | 0.562        | 1.000        |
| 6      | 1.000        | 1.783        |
| 7      | 1.783        | 3.162        |
| 8      | 3.162        | 5.623        |
| 9      | 5.623        | 10.00        |
| 10     | 10.00        | 17.78        |
| 11     | 17.78        | 31.62        |
| 12     | 31.62        | $10^5$       |

# Annexe

## Liste des nouvelles routines

La clef *mod* indique que la routine a été partiellement modifiée (attention des fois ça peut faire très mal aux yeux), la clef *add* indique que la routine a simplement été ajoutée.

| Routines                                     | clef       | description  |
|--|------------|--|
| <b>clesphys.h</b>                            | <i>mod</i> | Ajout de 2 clefs :<br><b>clouds</b> calcul des nuages (0 ou 1).<br><b>xnuf</b> fraction nuageuse (entre 0.1 et 1).             |
| <b>clesphys.inc</b>                          | <i>mod</i> | Idem clesphys.h  |
| <b>cnuage3D.F</b>                            | <i>add</i> | Interface aux routines de condensation / nucléation des nuages; appelle n_methane.F, n_ethane.F et n_acetylene.F.              |
| <b>conf_phys.F90</b>                         | <i>mod</i> | Ajout de la lecture des clefs <b>clouds</b> et <b>xnuf</b> dans le fichier physiq.def.   |
| <b>cooling.F</b>                             | <i>mod</i> | Prise en compte de la fraction nuageuse. Calcul d'une colonne claire et d'une colonne nuageuse.                                |
| <b>diagmuphy.h</b>                           | <i>add</i> | Variables diagnostiques de la microphysique.   |
| <b>heating.F</b>                             | <i>mod</i> | Prise en compte de la fraction nuageuse. Calcul d'une colonne claire et d'une colonne nuageuse.                                |
| <b>ini_histday.h</b><br><b>ini_histmth.h</b> | <i>mod</i> | Ajout des sorties microphysiques.  |
| <b>inimuphys3D.F</b>                         | <i>add</i> | Initialisation des grilles de pression et d'altitude pour la microphysique. Initialisation des constantes de la microphysique. |
| <b>liqch4.F</b>                              | <i>add</i> | Calcul des indices optiques pour le $CH_4$ liquide.  |
| <b>liqc2h6.F</b>                             | <i>add</i> | Calcul des indices optiques pour le $C_2H_6$ liquide.  |
| <b>muphys3D.F</b>                            | <i>add</i> | Interface aux routines de la microphysique.  |

|                       |            |  |
|-----------------------|------------|--|
| <b>n_acethylene.F</b> | <i>add</i> | Condensation / nucléation de l'acéthylène.   |
| <b>n_ethane.F</b>     | <i>add</i> | Condensation / nucléation de l'éthane.   |
| <b>n_methane.F</b>    | <i>add</i> | Condensation / nucléation du méthane.  |
| <b>optci_1pt.F</b>    | <i>mod</i> | Modification des arguments et ajout du calcul des opacités des nuages.   |
| <b>optci_1pt_2.F</b>  | <i>mod</i> | Idem optcv_1pt.F<br>NOTES : version simplifiée du calcul des opacités des nuages (propriétés fixées au premier appel). |
| <b>optci.F</b>        |            |  |
| <b>optci_1pt.h</b>    | <i>add</i> | Variables contenant les constantes optiques dans l'infrarouge sur la colonne.  |
| <b>optcv_1pt.F</b>    | <i>mod</i> | Modification des arguments et ajout du calcul des opacités des nuages.   |
| <b>optcv_1pt_2.F</b>  | <i>mod</i> | Idem optcv_1pt.F<br>NOTES : version simplifiée du calcul des opacités des nuages (propriétés fixées au premier appel). |
| <b>optcv.F</b>        |            |  |
| <b>optcv_1pt.h</b>    | <i>add</i> | Variables contenant les constantes optiques dans le visible sur la colonne.  |
| <b>phyetat0.F</b>     | <i>mod</i> | Ajout du réservoir de surface en lecture dans le fichier startphy.nc.  |
| <b>phyredem.F</b>     | <i>mod</i> | Ajout du réservoir de surface en écriture dans le fichier restartphy.nc.   |
| <b>physiq.F</b>       | <i>mod</i> | Ajout du calcul des rayons moyens des gouttes pour le TR.  |
| <b>phytrac.F</b>      | <i>mod</i> | Modification de l'appel de la microphysique.   |
| <b>radlsw.F</b>       | <i>mod</i> | Prise en compte de la fraction nuageuse dans le TR (modification des appels de routines heating.F et cooling.F).       |
| <b>rattitan.F</b>     | <i>mod</i> | Ajout de l'opacité en colonne claire (common IRTAU).<br>Suppression de common et variables superflues.                 |
| <b>sfluxv.F</b>       | <i>mod</i> | Prise en compte de la fraction nuageuse (calcul d'une colonne claire ou d'une colonne nuageuse).                       |
| <b>snuages3D.F</b>    | <i>add</i> | Sédimentation des nuages.  |

---

|  |            |   |
|--|------------|---|
| <b>sources.F</b>                                 | <i>add</i> | Calcul des sources pour les gaz interagissant avec les nuages ( $CH_4$ , $C_2H_6$ et $C_2H_2$ ).    |
| <b>varmuphy.h</b>                                | <i>add</i> | Variables communes de la microphysique (grille de pression/altitude pour la colonne et constantes). |
| <b>write_histmth.h</b><br><b>write_histday.h</b> | <i>mod</i> | Ajout des sorties diagnostiques microphysique.  |

---