

Impact du schéma de surface sur la simulation de la météorologie locale au SIRTA

A. Campoy, A. Ducharne, F. Cheruy, F. Hourdin, J.-C. Dupont, M. Haeffelin

(Sisyphé/UPMC, LMD/IPSL, IPSL)

Résumé

La paramétrisation des conditions de surfaces influence fortement les simulations d'un modèle atmosphérique. Nous couplons ici différents schémas de surface au modèle atmosphérique LMDZ dans un contexte local et confrontons les résultats obtenus aux mesures d'un site d'observation météorologique.

Les différentes simulations étudiées présentent de fortes ressemblances l'hiver. C'est l'été que le choix du schéma de surface joue un rôle important sur les résultats, notamment en termes d'évaporation. Nous mettons ainsi en avant l'impacte des conditions de surface sur le bilan radiatif et sur l'état de la couche limite atmosphérique.

Introduction

Un modèle de circulation atmosphérique permet de simuler l'état de l'atmosphère. Sa circulation est conditionnée par la distribution inhomogène de l'énergie solaire traversant l'atmosphère. Les conditions limites à son sommet paramétrées dans un modèle déterminent donc ses simulations.

Les conditions limites de surface ont aussi toutes leur importance. Un modèle de circulation atmosphérique doit, entre autre, disposer des flux turbulents (sensible et latent) à la surface terrestre. Le modèle atmosphérique LMDZ peut être couplé au modèle de sol ORCHIDEE. Ces deux modèles sont alors en interaction sur chaque surface continentale modélisée. Les flux de surface simulés par ORCHIDEE dépendent alors des conditions atmosphériques fournies par LMDZ et de l'hydrologie utilisée. En effet, l'impacte de l'évaporation sur le bilan radiatif à la surface est tel qu'il donne à l'hydrologie un rôle clef lors des simulations numériques.

Nous nous proposons de tester ici, grâce à LMDZ, différents schémas de surface et de comparer leurs résultats aux données locales enregistrées par le SIRTA (Site Instrumenté de Recherche par Télédétection Atmosphérique, situé à Palaiseau en Ile-de-France, IPSL)

1) Simulations zoomées guidées

La validation d'un modèle de climat à l'échelle globale nécessite d'avoir à sa disposition un jeu de données issues d'observations de plusieurs sites d'instrumentation météorologique. La pertinence d'une validation sera alors fonctions des caractéristiques temporelles et spatiales des observations disponibles.

Un modèle climatique peut aussi être validé à l'échelle locale. Ce type de validation est moins contraignant en termes de données météorologique observées car les mesures d'un seul site météorologique sont nécessaires. Ainsi, le modèle couplé de l'IPSL (LMDZ-ORCHIDEE) a pu être comparé aux données mise à disposition par le SIRTA. En effet, il est possible d'utiliser le modèle de l'IPSL en mode "zoomée" afin d'étudier au mieux une région particulière. Le maillage utilisé est alors resserré sur la région étudié afin de la modéliser avec précision.

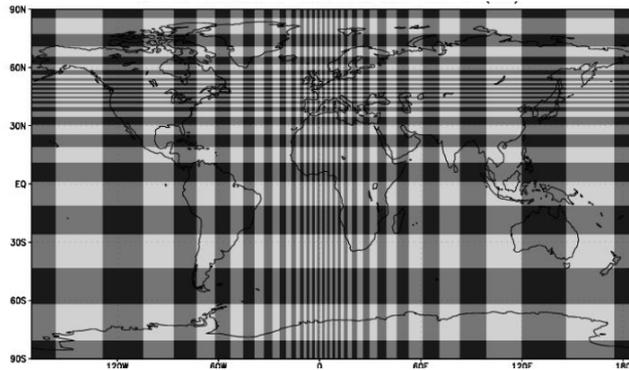


Fig.1 : Maillage resserré sur l'Ile-de-France utilisé pour notre étude.

Un guidage de quelques variables atmosphériques (Température, Humidité, Pression, Vents horizontaux) sur 19 niveaux verticaux c'est rajouté à l'opération de zoom. Les analyses du centre spatial européen (ECMWF) ont permis de guider le modèle sur la période 2006-2007.

Pour chacune de ces variables (notée X), le modèle atmosphérique LMDZ calcule à chaque pas de temps ses variations F(X). A ces variations, on ajoute la différence entre la variable correspondante analysée par le centre européen et celle du modèle divisée par une constante de temps τ .

Eq.1 :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = F(X) + \frac{X^a - X}{\tau}$$

La puissance de ce guidage peut ainsi être choisie pour chaque maille du modèle grâce à la constante de temps τ . Dans le cadre de notre étude, la puissance du guidage est très faible à l'intérieur du zoom (τ fort) afin de laisser une plus grande liberté au modèle sur la région de l'Ile-de-France. La puissance du guidage augmente en s'éloignant du zoom (τ faible). Ainsi les mailles grossières conservent un climat moyen réaliste, malgré leur incapacité à représenter les phénomènes de petite échelle spatiale.

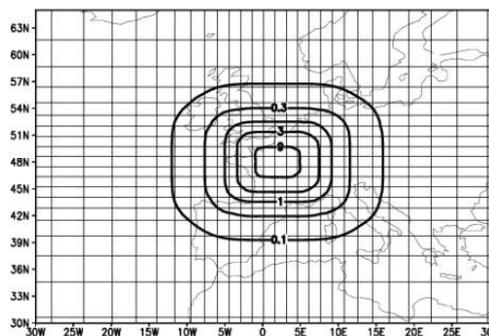


Fig.2 : Distribution de la constante de temps τ

De telles simulations peuvent être comparées aux mesures locales du SIRTA. Cette expérience a déjà été réalisée il y a quelques années pour valider de nouvelles paramétrisations physiques du modèle LMDZ (Coindreau et al., 2007, Mon. Weather Rev., 135:1474:1489). Cette étude a mis en évidence l'importance du schéma de surface utilisé sur le climat simulé. En effet les processus de surface, notamment l'évaporation des sols, conditionnent le bilan radiatif et donc le climat qui en résulte.

2) Les différents schémas de sol

Nous testons différents schéma de surface lors de simulations zoomées guidées et comparons les résultats aux observations du SIRTA. Pour chacun de ces schémas, les températures du sol sont déterminées à l'aide d'une discrétisation sur 7 niveaux de profondeur. Une diffusion thermique est paramétrée entre chacun de ces 7 niveaux.

En surface, un bilan des différents flux radiatifs permet d'imposer une condition limite. Les conditions de surfaces déterminent ainsi les températures du sol. Une autre condition limite est paramétrée en profondeur en imposant un flux thermique nul au delà du dernier niveau de sol.

La différence principale entre les différents schémas de sol utilisés réside dans le calcul de l'évaporation des eaux de surface à partir des conditions atmosphériques. Ce calcul dépend de la paramétrisation de l'hydrologie continentale de chaque schéma présenté ci-dessous :

Beta:

Ce schéma est issu de modèle hydrologique simple Bucket. Un réservoir d'eau est attribué à chaque maille de surface. A chaque pas de temps, le contenu de ces réservoir évolue en fonction de la quantité d'eau précipitée et évaporée. Le contenu du réservoir détermine alors le rapport β entre l'évaporation réelle (E_r) et potentielle (E_p).

$$Eq.2 : \quad E_r = \beta \cdot E_p$$

β traduit la capacité du sol à fournir l'eau nécessaire à l'évaporation réclamée par l'atmosphère. La valeur de l'évaporation potentielle étant déterminée par LMDZ grâce à l'opération suivante :

$$Eq.3 : \quad E_p = C_d \cdot \rho \cdot V \cdot (Q_{sat} - Q)$$

Où C_d un coefficient qui caractérise la rugosité, ρ la masse volumique de l'air, V la vitesse du vent horizontale proche de la surface, Q et Q_{sat} l'humidité spécifique réelle et maximale de l'air.

Le schéma bêta est obtenue en fixant le contenu des réservoirs d'eau du modèle Bucket. Ainsi le coefficient β reste constant (ici 0.25), l'évaporation simulé à la surface du sol ne dépend alors que des conditions atmosphériques à la surface.

Choisnel:

Ce schéma est celui utilisé par le modèle de sol ORCHIDEE. L'hydrologie y est décrite grâce à la modélisation de deux réservoirs d'eau, un superficiel et l'autre profond.

Un bilan hydrique est réalisé à la surface (convergence d'humidité: Pluie – Evaporation) et le réservoir superficiel voit son contenu en eau évoluer. Ce premier réservoir alimente le second, traduisant ainsi un drainage des eaux de surface en profondeur.

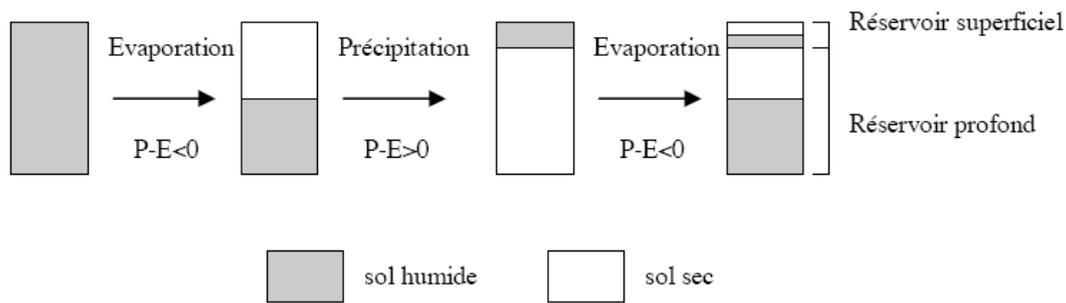


Fig.3 : Diagramme schématique de l'évolution des deux couches de sol de l'hydrologie Choisisnel

Plus le réservoir de surface est plein, et plus la surface sera capable de satisfaire la demande en évaporation de l'atmosphère (béta grand). A contrario, si ce réservoir est asséché, le sol sera incapable de fournir une évaporation satisfaisante vers l'atmosphère.

Cwrr:

Ce schéma utilise aussi le modèle de sol ORCHIDEE mais avec une nouvelle hydrologie issue du modèle irlandais CWRR. Il s'agit d'une représentation du sol à l'aide de 11 couches superposées verticalement. Ces couches modélisent une profondeur totale de 2m. L'épaisseur des couches double à chaque pas de profondeur depuis la surface vers le sous-sol.

Chacune de ces couches possède son propre contenu en eau (θ). La discrétisation verticale proposé par les 11 couches permet de résoudre l'équation de Darcy en milieu non saturé et donc de déterminer le flux vertical d'eau (q) au travers de chacune des couches.

$$Eq.4 : \quad q = -D(\theta) \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z} + K(\theta)$$

Où D et K représente les fonctions de conductivité et diffusivité hydraulique, dépendants du contenu en eau θ .

Une équation de continuité contraint aussi le contenu en eau des couches :

$$Eq.5 : \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial z} - S$$

Où S est un terme de puits qui peut prendre en compte de nombreux phénomènes tels que l'extraction de l'eau du sol par les plantes et son évaporation vers l'atmosphère. Cette évaporation sera fonction des conditions atmosphérique proche de la surface (évaporation potentielle) mais aussi de l'humidité du sol.

Une condition limite est appliquée à la surface. L'infiltration d'eau dans le sol y dépend d'un bilan hydrique entre les précipitations, le ruissellement de surface et l'évaporation.

De plus, le contenu en eau des premières couches de sol caractérise le transfère d'eau du sol vers l'atmosphère. Plus les couches superficielles contiennent d'eau et plus le sol sera capable de satisfaire la demande en évaporation.

3) Résultats

Voici les évaporations modélisées avec les différents schémas de sol présentés ci-dessus et déduites des mesures du SIRTA:

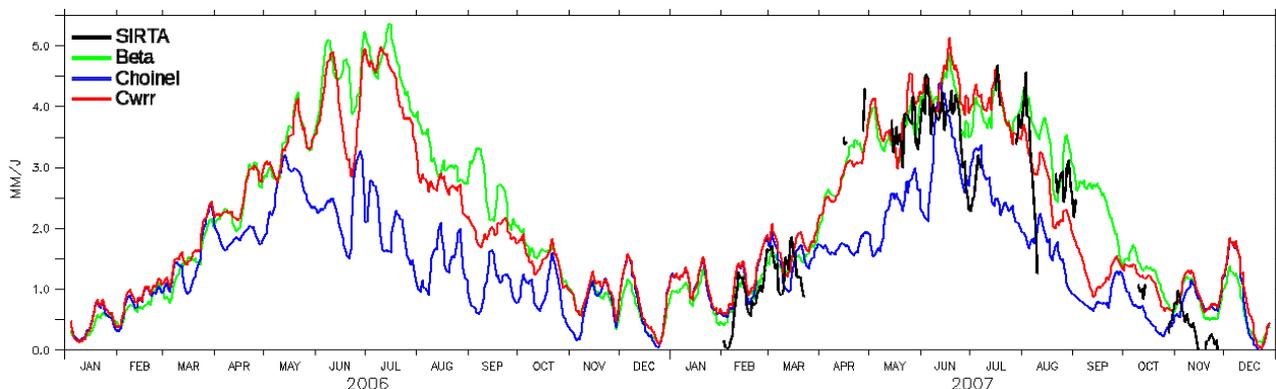


Fig.4 : Evaporation journalière (mm/jour) sur la période 2006-2007 en moyenne glissante sur 7 jours

Durant les périodes hivernales, les modèles simulent des évaporations semblables et comparables à celles déduites par les mesures du SIRTA. En revanche, l'été, le modèle Choïnel présente une évaporation sous-estimée. Ceci peut être expliqué par l'incapacité de ce modèle à conserver suffisamment d'eau disponible pour l'évaporation dans son réservoir superficiel.

Le graphique suivant présente:

- l'humidité volumique du sol à 5cm de profondeur enregistré au SIRTA
- le contenu du réservoir de surface du modèle Choïnel
- l'humidité relative de la première couche de sol du modèle Cwrr.

Le tout relativement au maximum atteint par chacune de ces variables sur la période 2006-2007

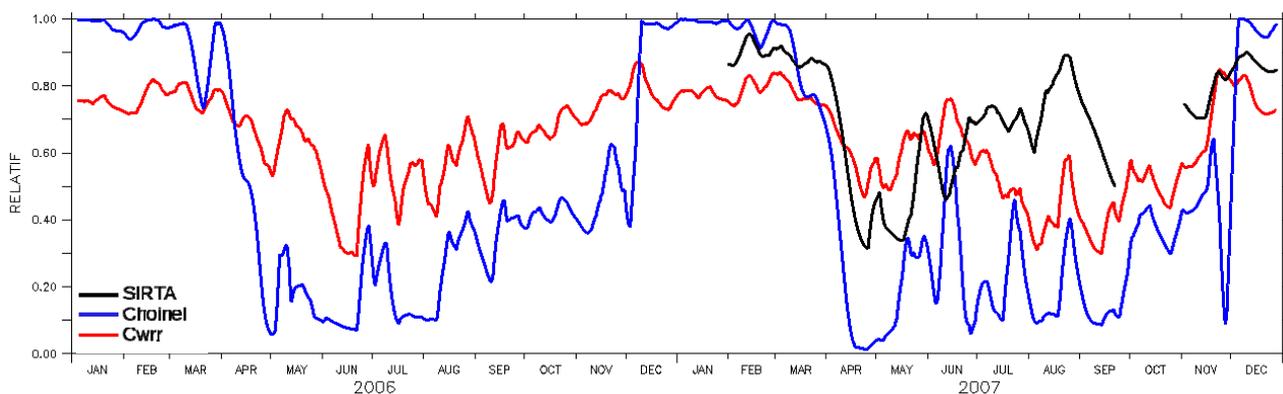


Fig.5 : Evolution du contenu en eau superficielle en moyenne glissante sur 7 jours

Ce graphique confirme bien que le modèle Choïnel voit son contenu en eau superficielle chuter durant l'été. Ses variations sont relativement trop importantes par rapport à celles enregistrées dans les premiers centimètres du sol au SIRTA. Le modèle Cwrr quand à lui permet de conserver suffisamment d'eau disponible pour l'évaporation l'été.

L'évaporation de l'eau du sol vers l'atmosphère constitue un flux d'énergie en raison de l'énergie nécessaire au changement d'état de l'eau liquide en vapeur: le flux de chaleur latente. Le flux de chaleur sensible caractérise quand à lui la conduction thermique entre l'atmosphère et le sol du à la différence de température entre ces deux domaines.

Les flux de chaleur sensible et latente constituent deux composantes du bilan radiatif indissociable l'une de l'autre. L'évaporation et la conduction thermique avec l'atmosphère conditionne la température du sol. Le graphique suivant présente le flux de chaleur sensible mesuré au SIRTA et issue des différentes simulations.

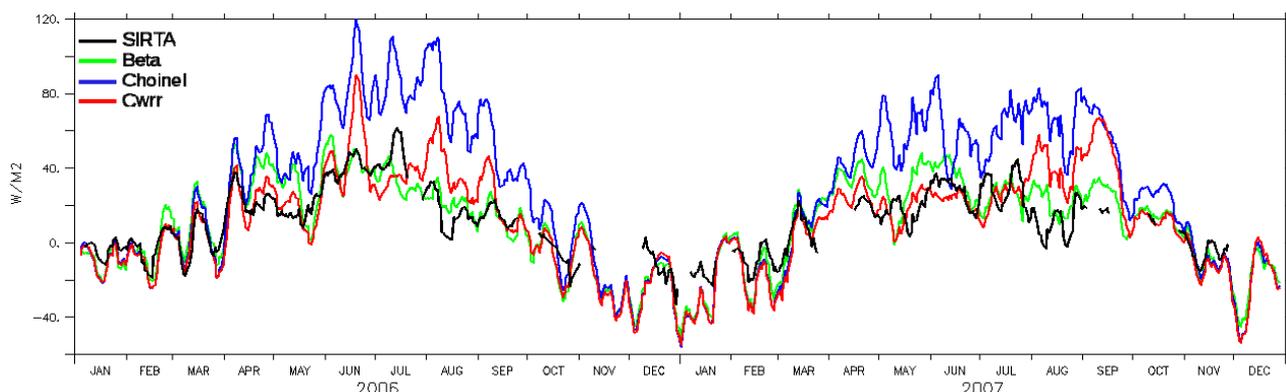


Fig.6 : Evolution du flux sensible (W/m^2) en moyenne glissante sur 7 jours.

Le graphique de la Figure 4 est à observer avec celui de la Figure 2. Tout comme pour l'évaporation, les différents modèles représentent correctement le flux sensible l'hiver. C'est l'été que les modèles présentent le plus de différence. Notamment le modèle Choïnel qui surestime le flux sensible, corrigeant ainsi la sous-estimation de l'évaporation représentée sur la Figure 2.

Le bilan radiatif à la surface n'est donc pas le même selon le modèle de sol utilisé. L'atmosphère n'est donc pas traversée par les mêmes flux. La température de l'air est, en dehors des phénomènes de convection, le résultat d'un bilan énergétique des différent flux qui traversent l'atmosphère. Les différences que présentes les différents modèles de sol en termes de flux de chaleur sensible et latent entraînent donc des températures de l'atmosphère différentes proche de la surface. Le graphique suivant représente la température de l'air à 2m d'altitude.

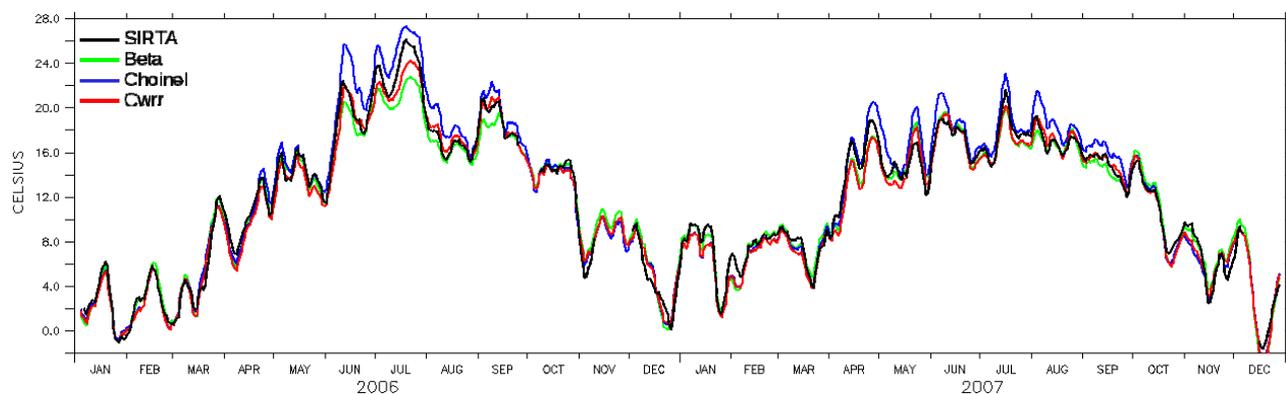


Fig.7 : Evolution de la température de l'air ($^{\circ}C$) à 2m du sol en moyenne glissante sur 7 jours

Ce graphique met en évidence un biais chaud l'été avec le modèle Choïnel. Le sol, incapable d'évaporer suffisamment d'eau devient trop chaud. Le modèle Cwrr à 11 couches de sol est celui qui

couplé à LMDZ entraîne une meilleure représentation des températures observées aux SIRTAs. Sa capacité à conserver suffisamment d'eau évaporable l'été permet d'avoir un bilan radiatif proche de celui observé et donc d'imposer des conditions limites superficielles plus réalistes au modèle atmosphérique.

Nous allons maintenant nous intéresser à une autre variable atmosphérique traduisant la pertinence des évaporations simulées: l'humidité de l'air proche de la surface. Cette humidité peut être exprimée spécifiquement en kg d'eau par kg d'air sec.

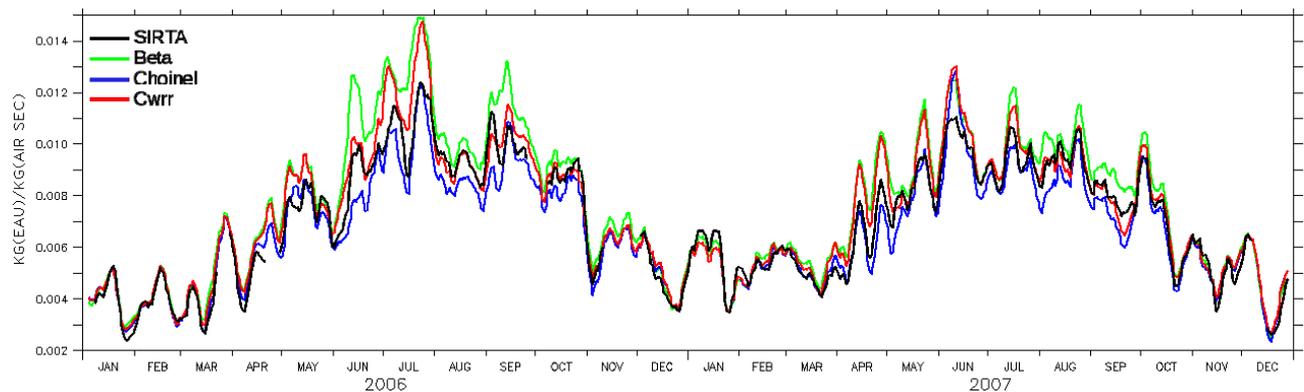


Fig.8 : Evolution de l'humidité spécifique à 2m en moyenne glissante sur 7 jours

Encore une fois, les différents schémas de surface présentent de fortes similitudes l'hiver. En revanche l'été, l'utilisation du modèle Choïnel entraîne une humidité spécifique sous-estimée tandis que celles des modèles Béta et Cwrr la surestiment.

L'humidité de l'air peut aussi être observée relativement par rapport à l'humidité maximale que peut contenir l'atmosphère: l'humidité saturante. Il s'agit de l'humidité au-delà de laquelle on observe une condensation de la vapeur d'eau. Cette valeur dépend, entre autres, de la température de l'air.

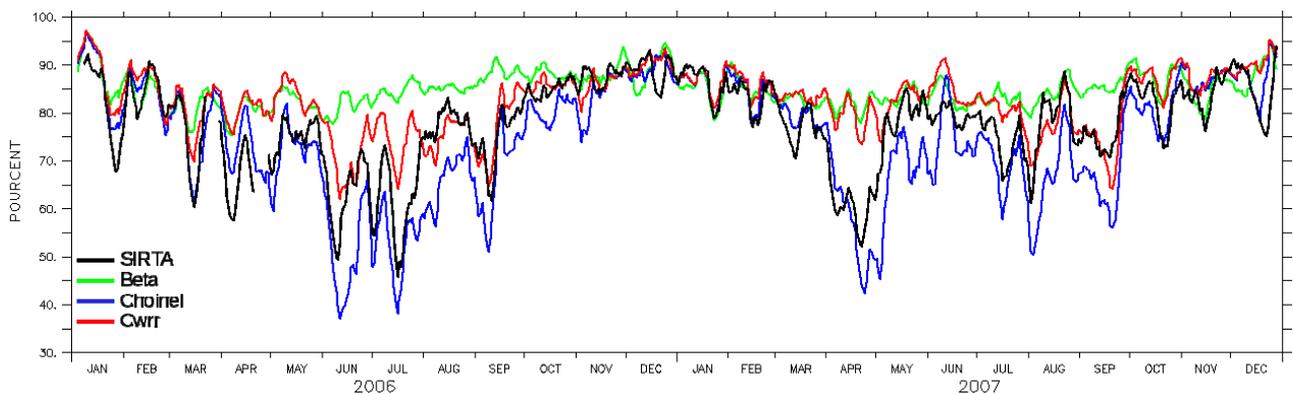


Fig.9 : Evolution de l'humidité spécifique à 2m en moyenne glissante sur 7 jours

On observe à nouveau de fortes similitudes entre les schémas de surface l'hiver. Remarquons que le modèle Béta entraîne une humidité relative quasi constante. La complexité de l'hydrologie utilisée par ORCHIDEE (Choïnel et Cwrr) trouve ici toute son importance. En effet, les variations d'humidité relative qu'entraînent ses deux schémas de sol sont comparables à celles observées par le Sirta. Notons que l'hydrologie Choïnel est plus performante au printemps tandis que l'hydrologie Cwrr l'est plus vers la fin de l'été.

4) Conclusion

Nous avons mis en évidence l'importance du schéma de surface lors de l'utilisation d'un modèle de circulation atmosphérique. LMDZ est en effet fortement sensible aux conditions de surface. Le développement d'un modèle d'hydrologie continentale est donc essentiel pour le réalisme d'un modèle météorologique tant les interactions hydriques entre le sol et l'atmosphère influencent le climat.

Les trois schémas de sol présentés ci dessus (Béta, Choissnel et Cwrr) ont des complexités variés. Le modèle Béta, bien que peut réaliste permet tout de même d'obtenir de bonne conditions de surface, notamment en terme de bilan radiatif. Mais il est incapable contraindre l'atmosphère à des variations saisonnières d'humidité relative réalistes. Les modèles Choissnel et Cwrr sont eux capables d'imposer de telles variations.

L'incapacité du modèle Choissnel à maintenir un niveau d'évaporation suffisant l'été fait du modèle Cwrr le schéma de surface le plus performant parmi ceux utilisés ici. Sa représentation en 11 couche de sol est justement celle qui semble la plus réaliste. Mais ce modèle nécessite tout de même quelques améliorations. Probablement en retravaillant la paramétrisation des caractéristiques du sol modélisé.

En effet, les paramètres hydrauliques du sol (porosité, conductivité...) peuvent être configurés pour chaque maille du modèle grâce à trois types de sol aux propriétés variables (sol fin, moyen et grossier). Une carte de texture des sols (FAO) avec une précision de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ est utilisée pour déterminer la fraction de chacun des trois types de sol sur chaque maille de surface.

Or la texture du sol au SIRTA n'est pas forcément représentative de celle de l'Ile-de-France. L'infiltration des eaux de pluie dans le sol et l'évaporation des eaux de surface dépendant des paramètres du sol, une modification de ces derniers devraient avoir un impacte non négligeable lors des simulations numériques. En vue de simulations locale, une étude préalable des caractéristiques du sol considéré devrait permettre une meilleure représentation de la météorologie locale.