RAPPORT DE STAGE

COMPRÉHENSION DES INTERACTIONS AÉROSOLS/RAYONNEMENT DANS FMR

Mohamed MOKHTARI

Office National de la Météorologie (Algérie)

Sous l'encadrement de : Yves BOUTELOUP

CNRM/GMAP (Météo-France)

Novembre-Décembre 2014

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- 1- Présentations des données d'observations
- 2- Organisation du code et les principales routines aérosols /rayonnement
- 3- Description des expériences réalisées
- 4- Résultats et discussions

CONCLUSION

Préambule

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la coopération entre l'Office National de la Météorologie et Météo France. Ce travail est une continuité de celui réalisé l'an dernier (2013) à Météo France sur les interactions aérosols/rayonnement dans FMR. Pour rappel, l'année dernière nous avons travaillé avec la version ALADIN DUST du cycle **cy36t1 op1**.

L'objectif de ce stage est double. Le premier est de mettre à jour une version d'ALADIN_DUST avec le cycle cy38t1_op2 et le deuxième est de comprendre les interactions entre les aérosols désertiques et le rayonnement et d'évaluer cette version par rapport aux observations.

Introduction

Les aérosols désertiques ont un impact important sur le bilan radiatif terrestre. Ils rétrodiffusent une partie du rayonnement solaire et absorbent le rayonnement tellurique (infrarouge). En conséquence, ils influencent considérablement la prévisibilité des modèles numériques de prévision du temps.

Après le branchement des poussières désertiques dans la version cy36t1_op1 du modèle ALADIN, une étude d'évaluation et contrôle de cette version a été entamé durant les travaux de thèse de M. Mokhtari (2012). Cette étude montre des anomalies et des biais dégradés obtenus par cette version. Par exemple, durant les épisodes intenses de soulèvement de poussière, les écarts de températures enregistrés entre la version ALADIN_DUST et les observations sur les sites de Ouagadougou, Bamako et Niamey sont de l'ordre de 5 °C (Figure 1). En outre, la diminution de flux radiatif à la surface simulé par ALADIN_DUST sur le site de Wankama est nettement marquée.

Les résultats de mon stage sur les interactions aérosols/rayonnement dans FMR, effectué à Météo France en 2013, ont permis de mettre en évidence quatre points essentiels :

- 1-Les propriétés optiques des poussières désertiques utilisées dans le schéma de CEP sont plus fortes et influencent considérablement le flux solaire incident par rapport à celles utilisées dans Miso-NH (c-à-d en mettant **NOVLP = 5**) (voir Figure 2-in_sw).
- **2-**Le rayonnement solaire réfléchi à la surface est largement sous-estimé (voir Figure 2-ousw).
- **3-**Deux erreurs compensatoires sont accumulées dans le schéma radiatif d'AALADIN. La version ALADIN_DUST absorbe/diffuse trop le flux solaire incident mais en contre partie

elle réfléchie moins le flux solaire, du coup le flux solaire net simulé est en accord (en terme de l'ordre de grandeur) avec les observations (voir Figure2-net sw)

4-L'albédo moyen de la surface calculé à partir de rapport des flux solaires observés réfléchi et incident est d'environ de 0.35 tandis que celui calculé à partir des flux solaires simulés réfléchi et incident est de l'ordre de 0.1.

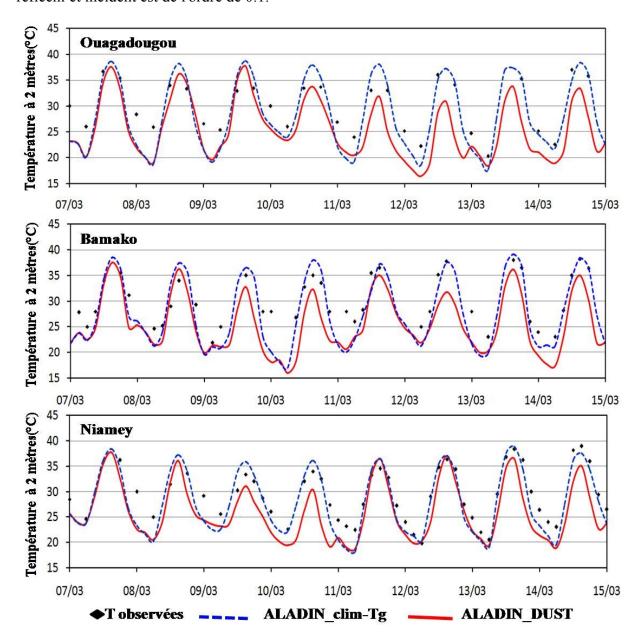


Fig. 1: Evolution de la température à deux mètres en (°C), simulée par les versions **cy36t1_op1** d'ALADIN_DUST (rouge) et ALADIN_clim-Tg (tirets bleu) comparé à la température observée pour le mois de mars pour les stations : Ouagadougou, Bamako et Niamey.

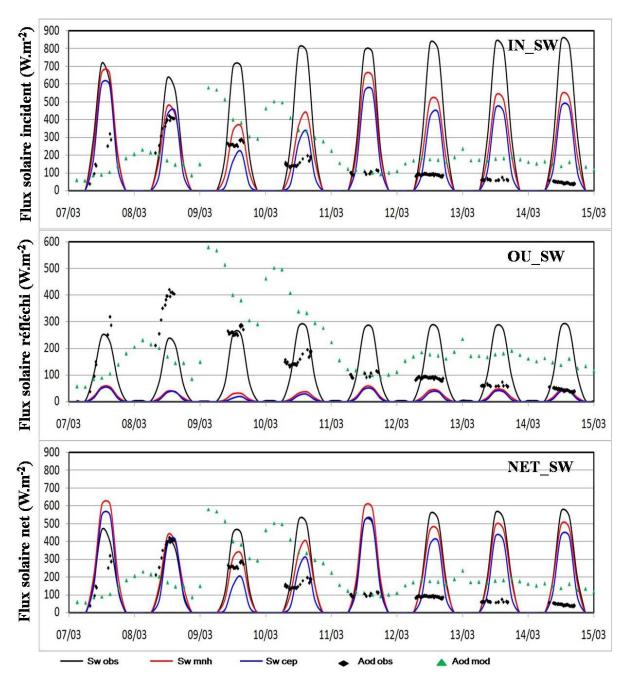


Fig. 2 : Evolution du flux solaire incident (in_sw), réfléchi (ou_sw) et net (net-sw) à la surface: observé Sw-obs (en noir), simulé par ALADIN_MNHDUST Sw-mnh (en rouge), simulé par ALADIN_CEPDUST Sw-cep (en bleu) pour la station de WANKAMA et celles des épaisseurs optiques (AOD x 100) observées à Banizoumbou (en point noir) et simulées par ALADIN_DUST (en vert) du 7 au 15 mars 2006.

Dans ce présent travail, on s'intéresse à l'étude des flux radiatifs à la surface, incident et réfléchi, dans les deux bandes spectrales solaire et thermique. Cette étude sera réalisée avec la version ALADIN DUST du cycle **cy38t1 op2.** Cela permettra, en premier lieu, d'évaluer

cette version par rapport à la version précédente (**cy36t1_op1**) et en deuxième lieu par rapport aux observations. Les observations utilisées dans cette études sont les flux solaires et thermiques incidents et réfléchis mesurés sur le site de Wankama durant la période de 7-15 mars 2006.

Ce rapport est organisé comme suit : Après cette introduction, nous présenterons dans le premier chapitre le site de mesure de Wankama et l'instrument utilisé pour la mesure des flux radiatifs à la surface. Puis, nous expliciterons l'organisation du code et les principales routines intervenant dans l'interaction aérosols/rayonnement dans le deuxième chapitre. Le troisième chapitre sera consacré à la description des expériences réalisées et les buts de chaque expérience. Le quatrième chapitre, sera consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Enfin, nous conclurons nos résultats et nous exposerons les perspectives offertes par l'étude.

1. Présentations des données d'observations

Les données d'observation utilisées dans cette étude sont les flux radiatifs à la surface mesurés dans les deux domaines de longueurs d'onde, le solaire et l'infrarouge. L'instrument utilisé pour la mesure de ces deux flux radiatifs est le radiomètre net CNR1 de Kipp et Zonen (Figure 3). Ce radiomètre est destiné à l'analyse de l'équilibre du rayonnement solaire et infrarouge. La gamme spectrale totale qui est mesurée est, approximativement, 0.3 à 50 µm. Ce domaine spectrale couvre aussi bien le rayonnement solaire 0.3 à 3 µm, et le rayonnement dans l'infrarouge 5 à 50 µm. Le rayonnement solaire est mesuré par deux Pyranomètres, l'une pour la mesure du rayonnement incident (direct et le diffus) et l'autre, qui fait face vers le bas, pour la mesure de rayonnement solaire réfléchi. A partir de ces deux pyranomètres, l'albédo, qui est le rapport du rayonnement réfléchi et incident, peut également être déterminé. Le rayonnement infrarouge est mesuré par deux pyrgéomètres. L'une pour la mesure du rayonnement infrarouge du ciel et l'autre pour la surface de la terre.

Nous avons, aussi, utilisé les données d'AOD pour comparer le contenu en aérosol simulé et observé. Ceci facilitera l'interprétation et l'exploitation des données de flux radiatif simulées et observées. Pour les observations AOD, nous avons utilisé celle de site de Banizoumbou, puisque Wankama dépourvu d'un instrument photomètre qui permet la mesure de l'AOD. En effet, le site de Banizoumbou est situé aux environ de 15 km de celui de Wankama (Figure 4). Et vue l'ampleur de la tempête de sable qui a touché tout l'Afrique de l'ouest le 6-13 mars

2006, on peut considérer que les mesures AOD de Banizoumbou sont représentatives des valeurs à Wankama.



Fig. 3: CNR1 Radiomètre net de Kipp et Zonen

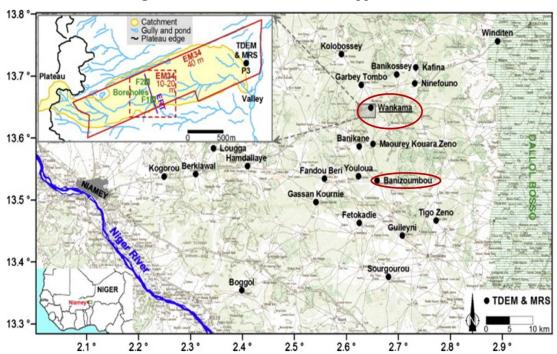


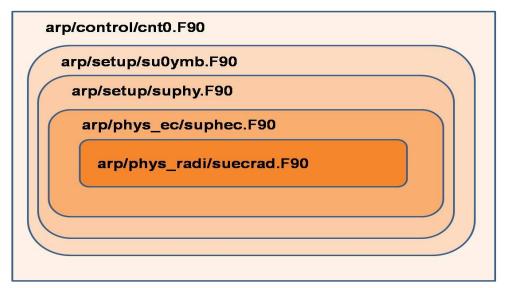
Fig. 4 : Localisation des sites de mesure Wankama et Banizoumbou

2. Organisation du code et les principales routines aérosols /rayonnement

Dans cette partie on présente, en premier lieu, les principales routines permettant l'initialisation des différents paramètres relatifs aux propriétés optiques et les coefficients d'absorption dans les deux gammes spectrales, shortwave et longwave. Ensuite, nous illustrons, depuis aplpar.F90, l'enchainement des routines de rayonnement qui tiennent compte de l'interaction entre aérosols/rayonnement.

2.1. Routines de setup

a) Organisation du code sous cnt0.F90



b) Organisation du code sous : suecrad.F90



Domaine shortwave

La routine **suaersn.F90** permit l'initialisation des paramètres suivants :

RTAUA: Average optical thickness (AOT)

RPIZA: Average single scattering Albédo (SSA)

RCGA: Average assymetry factor (ASY)

Ces trios paramètres sont archivés dans le module arp/module/yoesw.F90

Pour les aérosols désertiques, ces trois paramètres sont donnés par le tableau 1 pour les six bandes spectrales dans le domaine shortwave pour le cas de la version CEP. Pour le cas de la version Miso_NH, les trois paramètres précédents sont calculés dans la routine **mpa/chem/externals/aromnh_dust.F90**. Nous notons que le choix de version Miso_NH est activé en mettant **NOVLP= 5** dans la nameliste **NAERAD**.

Tableau 1 : Paramètres optique relatifs aux aérosols désertiques

	Intervalles Spectraux (µm)	RTAUA	RPIZA	RCGA
1	0.185-0.25	1.09212	0.7504584	0.784592
2	0.25-0.44	1.09212	0.7504584	0.784592
3	0.44-0.69	1.09212	0.7504584	0.784592
4	0.69-1.19	0.93449	0.9245594	0.698682
5	1.19-2.38	0.84958	0.9279543	0.691305
6	2.38-4.00	0.65255	0.8531531	0.702399

Domaine longwave

La routine **suaerl.F90** permit l'initialisation des coefficients d'absorption **RAER**.

Ce paramètre est archivé dans le module « arp/module/yoesw.F90 »

Pour les aérosols désertiques les coefficients d'absorption sont donnés par le tableau 2 pour les 16 bandes spectrales considérées dans le domaine longwave.

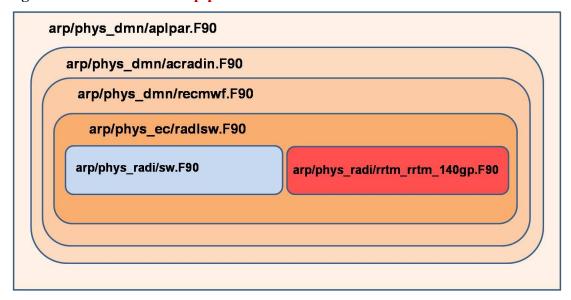
Tableau 2 : Coefficients d'absorption relatifs aux aérosols désertiques pour le long-wave

		16 bandes spectrales	RAER
1	1-2	10-250-500	0.014897
2	3-4-5	500-630-700-820	0.016369
3	6-8-9	820-980, 1080-1180-1390	0.019789
4	7	980-1080	0.030777
5	10-11-12-13-14-15-16	1390-1480-1800-2080-2250-2380-2600-3000	0.013341
6		Not used	0.014321

2.2. Routines de paramétrisations

La routine principale des paramétrisations physique pour ALADIN/ARPEGE est **aplpar.F90.** Ci-dessous, nous illustrons l'organisation du code à partir de cette routine. On s'intéresse uniquement aux routines rayonnement dont les aérosols désertiques interagissent.

a) Organisation du code sous aplpar.F90



A partir de la routine **radlsw.F90**, le calcul pour les deux domaines spectraux shortwave et longwave est séparé.

b) Organisation du code sous sw.F90

Domaine shortwave

A partir de la routine **sw.F90**, le calcul dans le domaine spectral shortwave se fait en deux étapes distinctes, une étape pour le premier intervalle spectral en shortwave (0.185/0.25-0.68 Micron) et une autre pour le proche infrarouge (0.68 - 4.00 Micron).

Premier interval spectral (ultraviolet et visible)

```
arp/phys_radi/sw.F90=>
arp/phys_radi/sw1s.F90=> (First spectral interval)
arp/phys_radi/swclr.F90=> (clear-sky computation)
```

Proche infrarouge

```
arp/phys_radi/sw.F90=>
arp/phys_radi/swni.F90=> (Near-Infrared spectral intervals)
arp/phys_radi/swclr.F90=> (clear-sky computation)
```

```
arp/phys_radi/sw1s.F90

arp/phys_radi/sw1s.F90

arp/phys_radi/swclr.F90

arp/phys_radi/swclr.F90
```

Domaine longwave



3. Expériences réalisées

Nous avons réalisé 4 expériences:

3.1. Expérience 1 :

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence la sensibilité des flux solaires incident, réfléchi et net à la variation de l'albédo de surface.

Nous avons réalisé pour cette expérience deux simulations :

- Simulation de contrôle (EXP_CTRL): simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 en utilisant l'albédo de surface issu de la base de données ECOCLIMAP 1. L'albédo de surface pour cette base de données est représenté par la Figure 5 pour la zone d'étude. Le site Wankama est aussi pointé sur la carte d'albédo (2.65 E , 13.65 N).
- Simulation **EXP_ALB** : simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1 op2 en multipliant l'albédo de surface par 1.3.

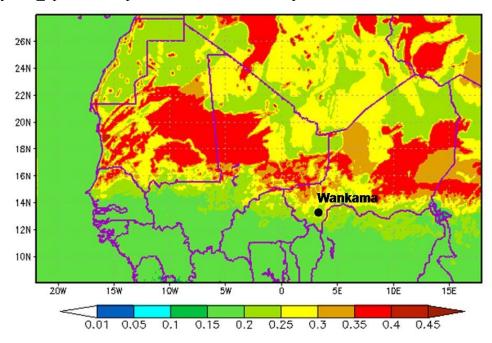


Fig. 5 : Albédo de surface pour SURFEX (ECOCLIMAP 1)

3.2. Expérience 2 :

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence l'impact radiatif des poussières désertiques.

Nous avons réalisé pour cette expérience deux simulations :

- Simulation de contrôle (EXP_CTRL): simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 en utilisant l'albédo de surface issu de la base de données ECOCLIMAP 1. C'est la même que celle de l'expérience 1.
- Simulation EXP_IMP: simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 en multipliant l'albédo de surface avec 1.3 et en diminuant l'impact radiatif des poussières dans le domaine shortwave de 25%.

3.3. Expérience 3 :

Dans cette expérience nous avons effectué une correction à l'effet radiatif des poussières en introduisant une fonction polynomiale qui est en fonction de l'épaisseur optique.

Cette fonction est définie comme suit :

$$f(AOD) = 1$$
 $si \ AOD < 0.5$
 $f(AOD) = 0.022 \ AOD^2 - 0.194 \ AOD + 1.052$ $si \ 0.5 < AOD < 3.5$
 $f(AOD) = 0.64$ $si \ AOD > 3.5$

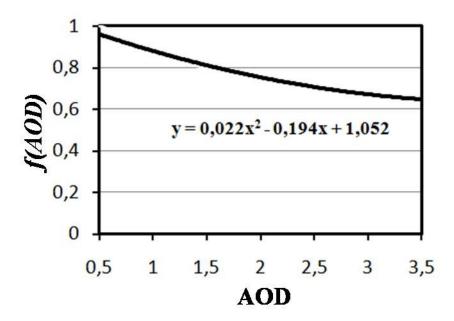


Fig. 6 : Fonction qui permet la correction de l'impact radiatif des poussières désertique

Nous avons réalisé pour cette expérience deux simulations :

- Simulation de contrôle (EXP_CTRL): simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 en utilisant l'albédo de surface issu de la base de données ECOCLIMAP 1. C'est la même que celle de l'expérience 1.
- Simulation EXP_COR: simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle
 cy38t1_op2 en multipliant l'albédo de surface avec 1.3 et en introduisant une fonction
 polynomiale permettant de corriger l'impact radiatif des poussières.

3.4. Expérience 4 :

L'objectif de cette expérience est de prospecter l'intérêt du branchement des dusts dans les régions à fortes concentrations de poussières.

Nous avons réalisé pour cette expérience deux simulations.

- Simulation de contrôle (EXP_CTRL): simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 en utilisant l'albédo de surface issu de la base de données ECOCLIMAP 1 c'est la même que celle de l'expérience 1.
- Simulation **EXP_0DST**: simulation réalisée avec la version ALADIN_DUST du cycle **cy38t1_op2** en mettant les DUST à zéro. L'albédo de surface utilisé pour cette simulation est celui issu de la base de données ECOCLIMAP1.

4. Résultats

4.1. Résultats de l'expérience 1 :

4.1.1. Flux solaire

La figure 7 montre l'évolution des flux solaires incident, réfléchis et net observés et simulés par ALADIN_DUST du 7 aux 15 mars 2006 superposé avec les épaisseurs optiques (AOD x 100) observées et simulées par ALADIN_DUST. Le flux solaire observé est représenté par la ligne noire, le flux solaire simulé par ALADIN_DUST, version de contrôle, est illustré par la ligne rouge et celui simulé par ALADIN_DUST, version EXP_ALB, est représenté par la ligne bleue. Les épaisseurs optiques observées et simulées sont représentées par des marqueurs noirs et rouge, respectivement.

L'analyse de la figure 6 permet de tirer les conclusions suivantes :

a) Flux solaire incident à la surface (IN SW)

- L'effet radiatif des poussières est repéré sur les mesures des flux solaires incidents à la surface durant les journées de forte AOD (7, 8 et 9 mars). Pour une différence

maximale de **3.8** sur l'AOD (8 mars) par rapport à la journée non poussiéreuse (14 mars), le flux solaire diminue d'environ **220** W.m⁻².

- De même, les deux simulations EXP_CTRL et EXP_ALB ont révélé cette diminution du rayonnement incident à la surface, mais avec des grandeurs très marquées, notamment pour la journée du 9 mars (358 W.m⁻² pour la version de contrôle et 342 W.m⁻² pour la simulation EXP ALB).

b) Flux solaire réfléchi à la surface (OU SW)

Le principal résultat qui peut être tiré de la Figure 7 est que les résultats de la simulation EXP ALB sont nettement améliorés par rapport à ceux de la version de contrôle.

c) Flux solaire net à la surface (NET_SW)

Le flux solaire net observé à la surface est calculé à partir des flux solaires incident et réfléchi observés à la surface.

L'analyse de la Figure 7 montre que l'impact des poussières désertiques est très fort. Si on prend, par exemple, la journée du 11 mars où on a la charge d'aérosols simulée est légèrement au-dessus de l'observation, on remarque que le flux solaire net simulé par EXP_CTRL est supérieur à celui observé.

Nous avons calculé l'Albédo de surface à partir des flux réfléchi et incident observés et simulés pour la période 7-15 mars 2006:

$$ALB = MOY (OU SW/IN SW)$$

OBS = 0,351 EXP_CTRL = 0,261 EXP_ALB = 0,34

La valeur d'albédo calculée à partir des flux solaires réfléchi et incident dans le cas de la version EXP_ALB est nettement meilleur que celui de la version de contrôle.

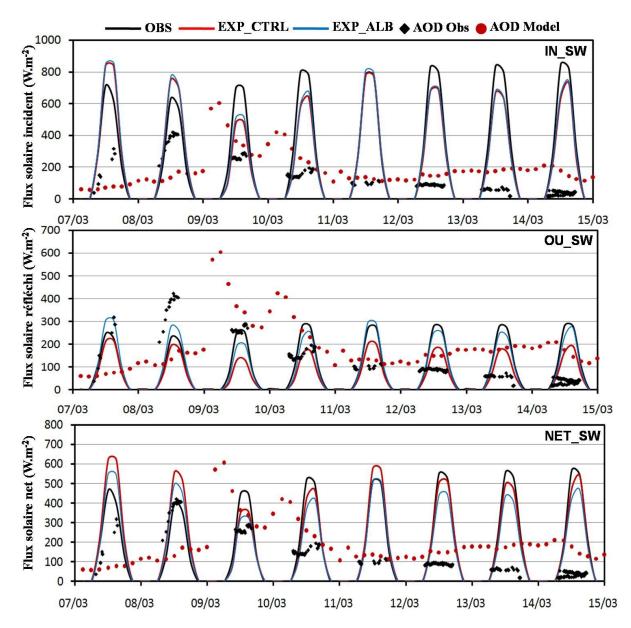


Fig. 7 : Evolution du flux solaire incident (IN_SW), réfléchi (OU_SW) et net (NET_SW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge** : **EXP_CTRL** et bleu : **EXP_ALB.** Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

4.1.2. Flux thermique

Les résultats exposés dans la Figure 8 concernent l'évolution des flux thermique incident, terrestre et net observés et simulés par ALADIN_DUST du 7 aux 15 mars 2006 superposé avec les épaisseurs optiques observées et simulées par ALADIN DUST.

L'analyse de la Figure 8 montre que:

- Le flux thermique terrestre à la surface est sous estimé par rapport à l'observation. Cette sous estimation est due à l'impact indirect des poussières désertiques. En effet, l'impact fort des poussières désertiques sur le rayonnement solaire induit à des diminutions considérables

des températures à la surface ce qui diminue, en conséquence l'émission de rayonnement terrestre.

- Les flux thermiques simulés par les deux versions EXP_CTRL et EXP_ALB sont identiques.

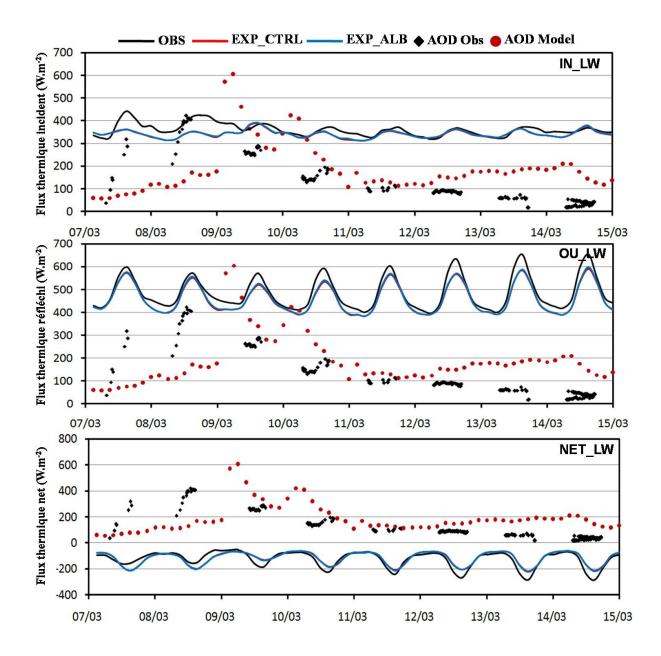


Figure 8 : Evolution du flux thermique incident (IN_LW), terrestre (OU_LW) et net (NET_LW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge: EXP_CTRL et bleu : EXP_ALB.** Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

4.2. Résultats de l'expérience 2

4.2.1. Flux solaire

La figure 9 montre l'évolution des flux solaires incident, réfléchi et net observés et simulés par ALADIN_DUST du 7 aux 15 mars 2006 superposé avec les épaisseurs optiques (AOD x 100) observées et simulées par ALADIN_DUST. Le flux solaire observé est représenté par la ligne noire, le flux solaire simulé par ALADIN_DUST, version de contrôle, est illustré par la ligne rouge et celui simulé par ALADIN_DUST, version EXP_IMP, est représenté par la ligne bleue. Les épaisseurs optiques observées et simulées sont représentées par des marqueurs noirs et rouge, respectivement.

L'analyse de la figure 9 montre que les résultats de la simulation EXP_IMP sont beaucoup meilleurs par rapport à la version de contrôle.

Nous avons représenté dans les figures 10, 11 et 12 l'évolution des flux radiatifs incident, réfléchi et net à la surface en fonction de l'AOD pour les échéances 9:00, 12:00, 15:00 et 18:00 de la période 7-15 mars 2006.

Les courbes de tendances montrent que l'impact radiatif moyen des poussières désertiques sur le flux solaire incident observé à 12:00 et à 15:00 varie entre 66 à 70 w.m⁻².AOD⁻¹ contre (99-103 w.m⁻².AOD⁻¹ et 119 à 128 w.m⁻².AOD⁻¹ pour les simulations EXP_IMP et EXP_CTRL, respectivement.

Un autre résultat qui peut être tirer des courbes de tendances est que en absence d'aérosol (AOD=0), le flux solaire incident observé vaut 869 à 851 w.m⁻² contre 896 à 911 w.m⁻² pour la version de contrôle et 934 à 938 w.m⁻² pour la version EXP_IMP. Cela permet d'avancer que le flux solaire incident est surestimé dans le schéma FMR en absence d'aérosol.

De même, l'analyse des courbes de tendances des flux radiatifs nets montre que l'impact radiatif moyen des poussières désertiques sur le flux solaire net observé à 12:00 et à 15:00 varie entre 51 à 52 w.m⁻².AOD⁻¹ contre (69-72 w.m⁻².AOD⁻¹ et 91 à 98 w.m⁻².AOD⁻¹ pour les simulations EXP_IMP et EXP_CTRL, respectivement.

Un autre résultat qui peut être tiré des courbes de tendances est qu'en absence d'aérosol (AOD=0), le flux solaire net observé varie entre 581 à 563 w.m⁻² contre 668 à 679 w.m⁻² pour la version de contrôle et 626 à 629 w.m⁻² pour la version EXP_IMP. Cela permet d'avancer que le flux solaire net est surestimé dans le schéma FMR en absence d'aérosol.

Tableau1 : Gradient des flux radiatifs incidents, réfléchi et net par rapport à l'AOD en W.m⁻².AOD⁻¹.

	OBS			EXP_CTRL		EXP_ALB			
	IN_SW	OU_SW	NET_SW	IN_SW	OU_SW	NET_SW	IN_SW	OU_SW	NET_SW
9:00	40.3	10.8	29.4	46.3	11.4	34.8	40.7	13	27.6
12:00	66.5	14.9	51.5	119.8	28	91.8	99.3	29.6	69.7
15 :00	70.8	18.3	52.4	128.6	30.4	98.1	103.7	31.2	72.4
18:00	35.7	8.7	26.9	52	12.7	39.3	43.4	13.6	29.7

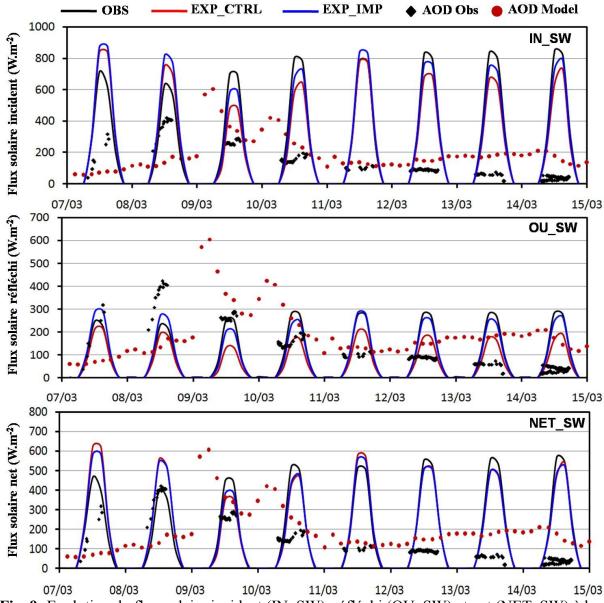


Fig. 9: Evolution du flux solaire incident (IN_SW), réfléchi (OU_SW) et net (NET_SW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP_CTRL** et bleu: **EXP_IMP.** Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

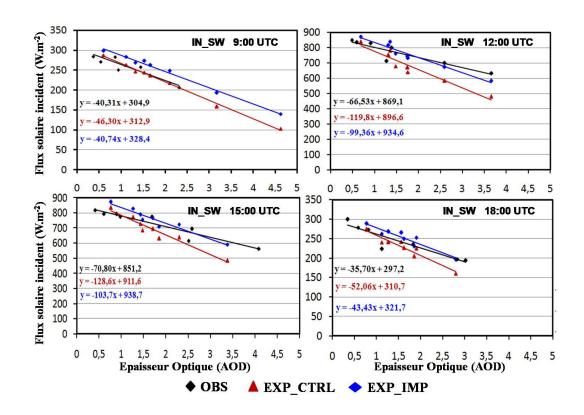


Fig. 10: Evolution du flux solaire incident (IN_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**Noir : observations, rouge : EXP_CTRL et bleu : EXP_IMP.**

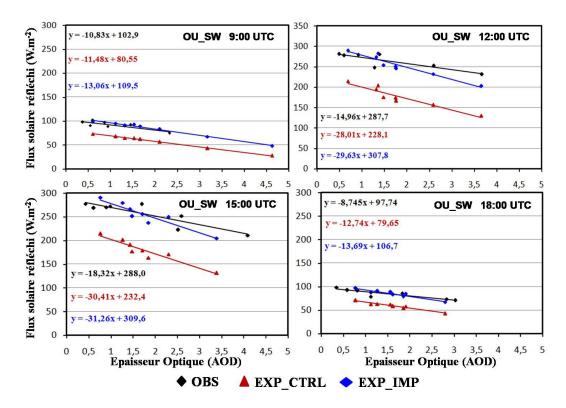


Fig. 11: Evolution du flux solaire réfléchi (OU_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (rouge : EXP CTRL et bleu : EXP IMP.

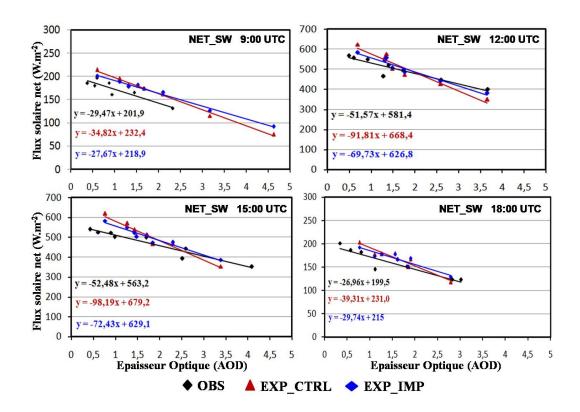


Fig. 12: Evolution du flux solaire net (NET_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP CTRL** et bleu: **EXP IMP**.

4.2.2. Flux thermique

Les résultats exposés dans la Figure 13 montrent l'évolution des flux thermique incident, terrestre et net observés et simulés par ALADIN_DUST du 7 aux 15 mars 2006 superposé avec les épaisseurs optiques observées et simulées par ALADIN DUST.

L'analyse de la Figure 13 montre que:

- Le flux thermique terrestre à la surface est sous estimé par rapport à l'observation. Cette sous estimation est due à deux phénomènes :
- 1- l'impact indirect des poussières désertiques. En effet, l'impact fort des poussières désertiques sur le rayonnement solaire induit à des diminutions considérables des températures à la surface ce qui diminue, en conséquence l'émission de rayonnement terrestre.
- 2- c'est possible que les coefficients d'absorption alloués aux aérosols désertique dans ALADIN sont forts.
- 3- Les flux thermiques simulés par la version EXP_IMP sont meilleurs par rapport à ceux de la version EXP_CTRL.

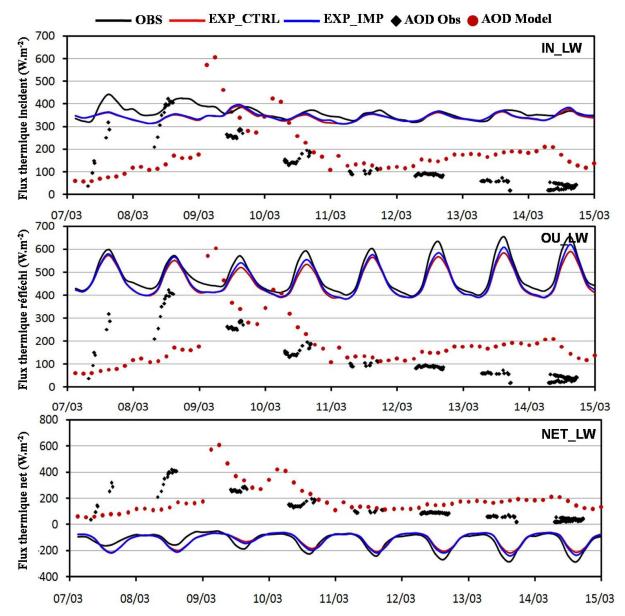


Figure 13: Evolution du flux thermique incident (IN_LW), réfléchi (OU_LW) et net (NET_LW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP_CTRL** et bleu: **EXP_IMP.** Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

4.3. Résultats de l'expérience 3

4.3.1. Flux solaire

La figure 14 montre l'évolution des flux solaires incident, réfléchi et net observés et simulés par ALADIN_DUST du 7 aux 15 mars 2006 superposé avec les épaisseurs optiques (AOD x 100) observées et simulées par ALADIN_DUST. Le flux solaire observé est représenté par la ligne noire, le flux solaire simulé par ALADIN_DUST, version de contrôle, est illustré par la

ligne rouge et celui simulé par ALADIN_DUST, version EXP_COR, est représenté par la ligne bleue. Les épaisseurs optiques observées et simulées sont représentées par des marqueurs noirs et rouge, respectivement.

L'analyse de la figure 14 montre que les résultats de la simulation EXP_COR sont nettement améliorés notamment dans les cas à fortes AOD.

Les courbes de tendances présentées dans les figures 15, 16 et 17 montrent une forte corrélation entre les flux incident, réfléchi et net simulés par la version EXP_COR et les observations.

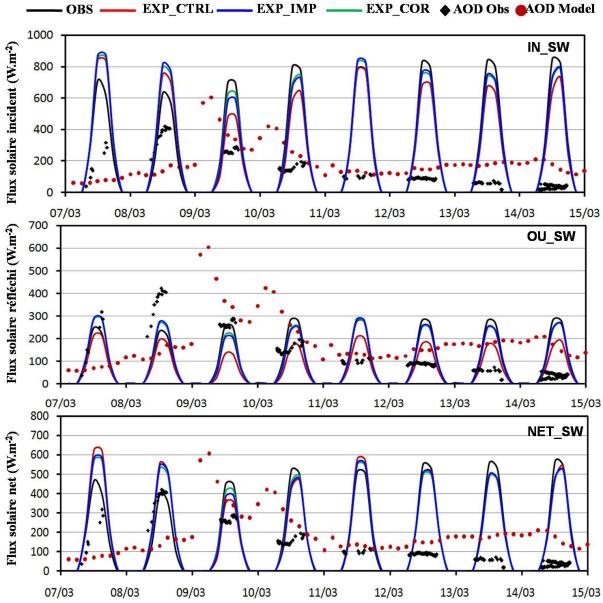


Fig. 14: Evolution du flux solaire incident (IN_SW), réfléchi (OU_SW) et net (NET_SW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP_CTRL**, **bleu**: **EXP_IMP** et vert **EXP_COR**. Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

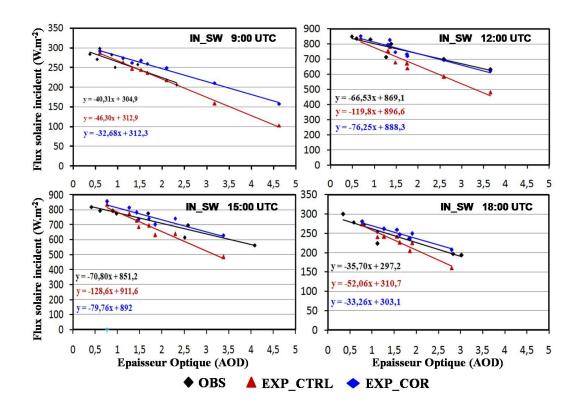


Fig. 15: Evolution du flux solaire incident (IN_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**Noir : observations, rouge : EXP_CTRL et bleu : EXP_COR.**

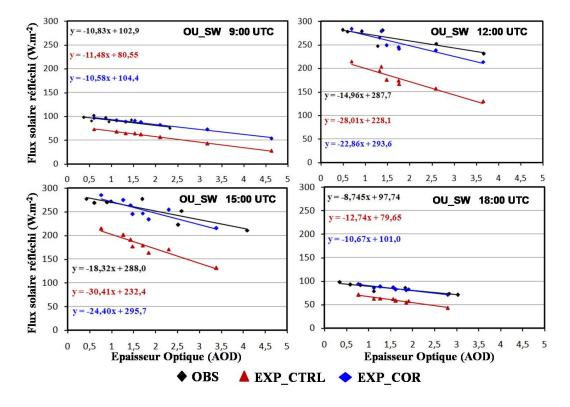


Fig. 16: Evolution du flux solaire réfléchi (OU_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP CTRL** et bleu: **EXP COR.**

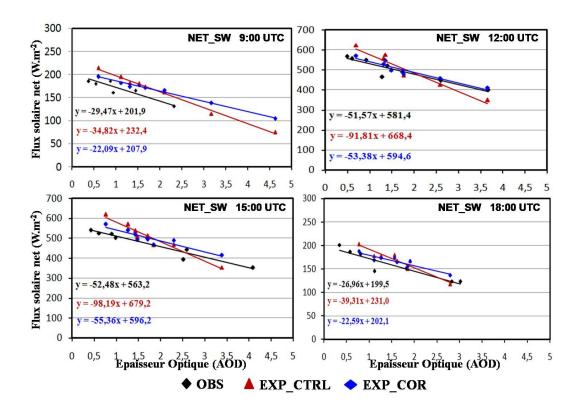


Fig. 17: Evolution du flux solaire net (NET_SW) à la surface en fonction de l'épaisseur optique, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (rouge : EXP CTRL et bleu : EXP COR.

4.4. Résultats de l'expérience 4

Cette expérience montre une inter-comparaison entre les flux solaires et thermiques observés et simulés par les versions EXP CTRL et EXP 0DST.

Dans cette expérience nous allons montrer le comportement d'ALADIN sans poussières dans le cas d'une situation intense de soulèvement de poussières.

a) Flux solaires

L'analyse de la Figure 19 montre que les flux solaires incident et net sont beaucoup surestimés dans la version EXP_0DST. Le flux solaire incident simulé par EXP_0DST dépasse 900 w.m⁻² durant toute la période 7-15 mars 2006. De même pour le flux solaire net simulé par EXP_0DST qui est au-dessus de 700 w.m⁻² à l'exception de la journée de 9 mars 2006.

b) Flux thermiques

Les flux terrestres émis et net sont en bon accord avec les observations à l'exception des journées 7 et 8 mars.

Durant les nuits de la période 7-15 mars, le flux thermique émis et net simulé par les deux versions EXP_CTRL et EXP_0DST sont presque identique. Par contre, durant les journées, les flux thermiques émis et net de la version EXP_0DST sont meilleurs par rapport à ceux de la version EXP_CTRL.

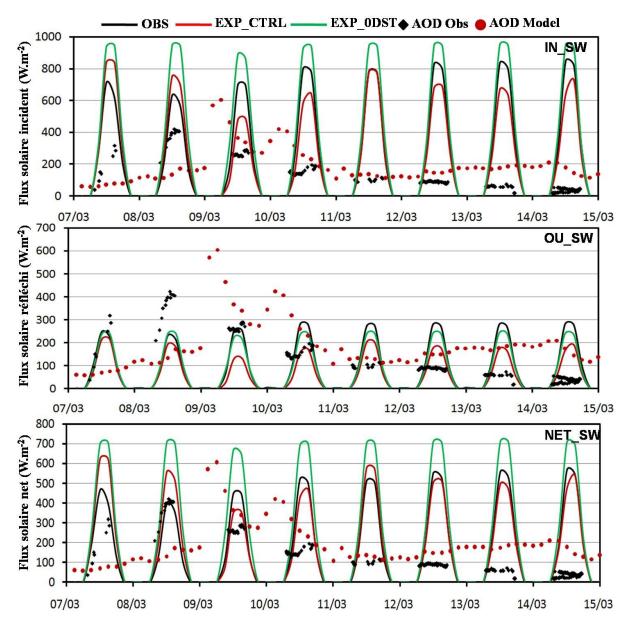


Fig. 18: Evolution du flux solaire incident (IN_SW), réfléchi (OU_SW) et net (NET_SW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP_CTRL** et vert: **EXP_0DST.** Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

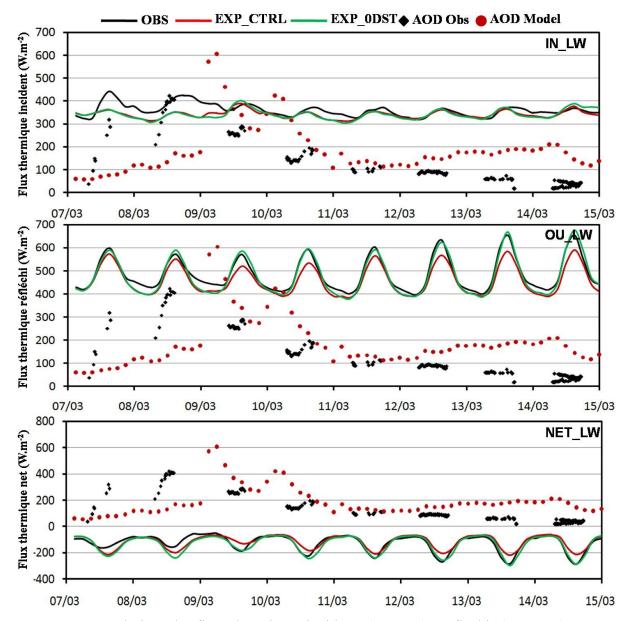


Figure 19: Evolution du flux thermique incident (IN_LW), réfléchi (OU_LW) et net (NET_LW) à la surface, observé (en noir) et simulé pour la période 7-15 mars 2006 sur le site de Wankama. (**rouge**: **EXP_CTRL** et vert : **EXP_0DST**. Les épaisseurs optiques observées (AOD x 100) sont représentées en pointillées noires et simulées sont représentées en pointillées rouges.

4.5. Évaluation de la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2

L'inter-comparaison des températures à 2 mètre entre les trois versions d'ALADIN_DUST montre deux résultats importants :

- Amélioration de la version ALADIN_DUST du cycle cy38t1_op2 par rapport à celle du cycle cy36t1_op1 et cela du aux perfectionnements, notamment dans la physique, introduites dans cette version.
- Légère Amélioration de la version EXP_COR par rapport à celle de la version de contrôle.

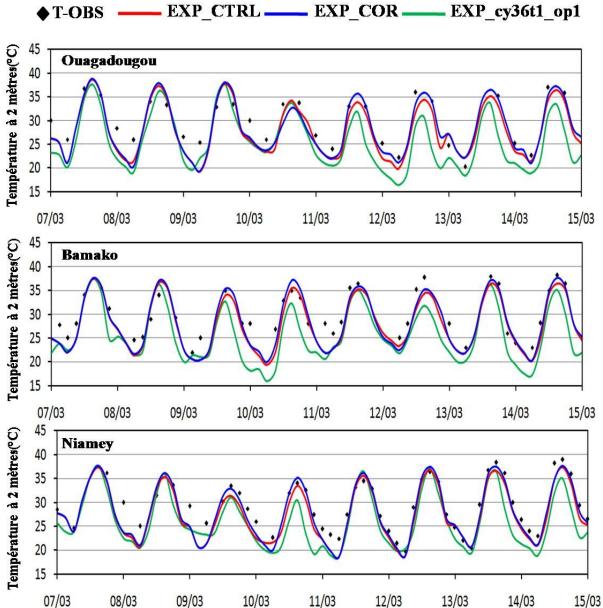


Fig. 20: Evolution de la température à deux mètres en (°C), simulée par les versions **cy36t1_op1** d'ALADIN_DUST (vert) (résultats stage Mokhtari 2013) et la version ALADIN_DUST **cy38t1_op2** EXP_CTRL (rouge) et EXP_COR (bleu) comparé à la température observée pour le mois de mars pour les stations : Ouagadougou, Bamako et Niamey.

Conclusion

Ce rapport s'inscrit dans le contexte d'évaluation et contrôle de la version ALADIN_DUST du cycle **cy38t1_op2**. Son objectif était de comprendre les interactions entre rayonnement et aérosols désertiques dans le schéma FMR. Cette étude permet de tirer les conclusions suivantes:

- La correction effectuée sur l'albédo de surface permet d'avoir des résultats meilleurs notamment pour les flux solaires réfléchis.
- La version ALADIN sans poussières surestime beaucoup les flux solaires incident et net.
- La double correction effectuée à la fois sur l'albédo de surface et l'impact radiatif des poussières permet d'avoir des résultats très satisfaisant notamment pour le flux solaire. Cette double correction permet aussi de corriger les températures à 2 mètres simulées par ALADIN DUST.

Les résultats exposés dans cette étude concernent un site de mesure et une situation météorologique. Pour ces raisons cette étude sera élargi à des études séminaires sur d'autres sites de mesures et d'autres situations météorologiques afin de généraliser nos résultats, notamment l'apport avantageux de la correction introduite sur l'impact radiatif des poussières désertiques. Aussi, il est aussi intéressant de tester la nouvelle base de données ECOCLIMAPII pour voir si cela va corriger les anomalies soulevées sur l'albédo.