

Dans le cadre du projet sur la « Modélisation de l'albédo du couvert nival en zone arctique et subarctique au Québec. ». Un stage en entreprise a été accompli. Ce document informe sur les réalisations durant ce stage à OURANOS ainsi que la suite des manipulations qui se poursuivront à l'Université de Sherbrooke.

## **RAPPORT DE STAGE OURANOS**

Cadre de la maîtrise en  
géographie et télédétection  
de l'Université de Sherbrooke

Nathalie Thériault

17 mai 2013



UNIVERSITÉ DE  
**SHERBROOKE**

## Table des matières

Introduction.....	2
Contexte .....	2
Problématique .....	2
Objectif de stage .....	3
Matériel.....	3
Schéma de surface.....	3
Données mesurées.....	4
Méthode .....	4
Première partie (stage) .....	4
-Validation de la version 3.6 de CLASS- .....	4
-Familiarisation avec les données et CLASS- .....	4
-Analyse de sensibilité- .....	5
-Validation- .....	6
Deuxième partie (Université de Sherbrooke) .....	6
Résultats obtenus en stage .....	7
Références.....	44

## Introduction

### Contexte

Dans le cadre de la maîtrise en géographie et télédétection de l'Université de Sherbrooke, il est possible de faire un stage de trois mois à l'extérieur de l'Université. Puisque mon projet porte sur la « Modélisation de l'albédo du couvert nival en zone subarctique et arctique au Québec. », il s'intègre bien à la mission d'OURANOS. La problématique, qui a donné naissance à ce projet, vient d'ailleurs de l'incertitude sur la simulation de l'albédo du schéma de surface « CLASS » qui a été soulevée par le rapport d'étape #2 d'OURANOS.

### Problématique

Plusieurs modèles de simulation climatique prédisent un réchauffement sur plusieurs parties du globe, dont l'Amérique du Nord (Solomon et al, 2012). Il est important pour la société de bien comprendre ces futures variations pour pouvoir s'y adapter. Les simulations climatiques se doivent alors d'être le plus exactes possible (Royer et al, 2012).

Dans le cas du climat canadien, la neige est d'une importance capitale pour la simulation du climat (Zhao 2012). En effet, la couverture nivale maximale moyenne est de 46.8 millions de kilomètres carrés en moyenne en janvier (Ressources Naturelles Canada, 2012). La neige est un élément déterminant pour le climat puisqu'elle influence le transfert radiatif (Gustafsson *et al*, 2001) et a une faible conductivité thermique (Viterbo *et al*, 1999).

Un paramètre de la neige, primordial pour la simulation du climat, est l'albédo de la neige (Aoki *et al*, 201). Une surface enneigée aura un albédo très élevé ce qui diminuera l'absorption du rayonnement solaire. L'augmentation des surfaces à fort albédo entraîne une diminution des températures d'environ 5 à 10°C (Ressources Naturelles Canada, 2012). L'albédo de la neige est variable, selon la présence et la taille de la végétation (Marsh et al, 2010; Sturm and Douglas, 2005) et les paramètres physiques de la neige, soit la taille de grains, les caractéristiques des impuretés, l'équivalent en eau, l'épaisseur de neige et la structure. Malgré son importance, plusieurs modèles ne considèrent pas l'albédo de la neige selon une formule théorique, mais plutôt de manière empirique. Cela peut expliquer les biais entre les simulations du couvert nival et la réalité (Aoki *et al*, 2011).

Plusieurs modèles existants procurent des prévisions du manteau neigeux. Le schéma de surface Canadian Land Surface Scheme (CLASS) a été créé par Environnement Canada. Il a été développé pour être utilisé avec le modèle Canadian Global Climate Model (GCM) (Verseghy, 1991). CLASS est aussi utilisé dans le Modèle Régional Canadien du Climat, CRCM (Caya & Laprise 1999; Music & Caya 2007). Ce modèle, à 45 km de résolution, développé par l'Université du Québec à Montréal est actuellement en évaluation afin d'en améliorer la représentation du couvert de neige (Royer et al, 2012).

Afin d'améliorer la représentation des simulations du couvert de neige, il est essentiel de simuler une valeur d'albédo représentative de la réalité (Zhao 2012). De manière générale, CLASS, comme plusieurs autres modèles, sous-estime l'albédo durant l'hiver et l'automne, mais le surestime pendant la fonte printanière et l'accumulation automnale (Pedersen & Winther 2005). Le calcul de l'albédo de la neige dans CLASS est majoritairement dépendant de 4 valeurs empiriques. Il est initialisé à une valeur de 0.84 lorsque les précipitations sont supérieures à 1mm/15min. Quand la neige vieillit sans fondre, l'albédo décroît jusqu'à 0.7 et lorsque la température de la neige est supérieur à zéro ou que l'indice de fonte est non-négligeable, l'albédo décroît jusqu'à 0.5 (Verseghy 2012). Toutefois, la sensibilité de CLASS à ces paramètres est pertinente et pas étudiée pour tous les paramètres (Royer et al. 2012). Aussi, l'albédo de neige fraîche ne considère pas l'état de la précipitation neigeuse. Alors, une neige très humide rafraîchit l'albédo à 0.84 tout comme le fait une précipitation de neige fraîche (Verseghy 2012). Une autre erreur possible est en négligeant l'historique de l'albédo. Aussi CLASS, est un schéma multicouche qui dès qu'un évènement de neige est supérieur au seuil empirique indiqué, il rafraîchit l'albédo à 0.84. Il n'est pas considéré que la neige antérieure puisse avoir un albédo de 0.8 ou de 0.5 (Verseghy 2012). Dans le cas d'un albédo de couverture neigeuse à 0.5, la précipitation neigeuse peu rafraîchir l'albédo à une valeur trop élevée (Brown et al. 2010). Aussi, les impuretés ne sont pas considérées par CLASS (Verseghy 2012). Elles modifient davantage l'albédo en fin de saison puisque les impuretés des couches supérieures fondues se retrouvent en surface (Bartlett et al. 2006).

L'albédo dans les zones végétalisées est aussi problématique. En effet, selon Bartlett et al (2006) des facteurs comme la litière ainsi que la fonte rapide près des arbres ne sont pas considérés par CLASS et ils entraînent des biais. Aussi, il n'y a pas de vieillissement de l'albédo en milieu forestier ce qui explique la surestimation de l'albédo dans la fin de l'hiver (Bartlett et al, 2006).

## Objectif de stage

Globalement, le stage avait pour but de me familiariser avec CLASS en étant en contact avec les experts de ce schéma de surface. Cette première partie de la méthodologie étant essentielle pour le reste du projet. Plus précisément, il était important d'analyser les limitations du schéma lié au paramétrage empirique. Pour ce faire, plusieurs simulations ont été faites avec différentes valeurs paramétrées. Aussi, d'autres sites d'études disponibles à OURANOS ont permis de faire la validation de la version de CLASS, utilisée par l'Université de Sherbrooke, en plus de vérifier le comportement de CLASS dans divers environnements.

## Matériel

### Schéma de surface

La version de CLASS utilisée est la 3.6 en mode « offline » simple colonne. Les données mesurées pour le forcer ont été prises à la station SIRENE. Quand les données SIRENE n'étaient pas disponibles, les données NARR interpolées aux 15 minutes étaient utilisées.

Elle est lancée par Matlab et est compilée par make-3.81 de GNU, tous deux en 64 bits. Uniquement trois couches de sol sont utilisées.

### **Données mesurées**

La station SIRENE (45.3738, -71.9231) est en fonction depuis septembre 2003. Elle fournit les données nécessaires à l'exécution de CLASS en plus de permettre la validation des simulations. Un pyranomètre sensible de 400 à 1100nm était alors pointé vers le ciel, mais les données d'albédo ne sont disponibles que depuis décembre 2008 avec deux pyranomètres, sensibles de 400-2500nm, un pointé vers le sol et un vers le ciel. Les données ont été nettoyées des valeurs d'albédo trop grandes ou faibles. Les valeurs erronées peuvent s'expliquer par de la neige qui se dépose sur le capteur (Aoki et al. 2011). En plus des pyranomètres, SIRENE comprend des données de pergéomètres pointés vers le ciel et le sol, de température, de précipitation, d'Équivalent en Eau de la Neige (EEN), de hauteur de neige, de vitesse et direction du vent, de pression et d'humidité de l'air. Les données de précipitation sont prises par un pluviomètre à auget ce qui sous-estime ou néglige parfois les événements de neige (Brown 2013). Les données d'EEN sont prises par une Sonde à rayons gamma GMON. À la fin de l'hiver, les valeurs peuvent être influencées par l'humidité du sol qui est visible par cette sonde (Roy 2013). Les informations sur la hauteur de la neige proviennent du Nivomètre à Rayonnement Cosmique NRC. La hauteur mesurée en hiver est soustraite de la hauteur moyenne mesurée pendant le début de l'été (la hauteur du sol étant altérée vers la fin de l'été lorsque le gazon atteint une taille importante). Aussi, des prises de données terrains ponctuelles sont effectuées par l'équipe CARTEL travaillant sur la neige (Cartel, 2013).

### **Méthode**

La méthodologie globale du projet se retrouve sous forme d'organigramme à l'Annexe 1. Les manipulations relatives aux simulations de CLASS ont été amorcées durant le stage.

### **Première partie (stage)**

#### **-Validation de la version 3.6 de CLASS-**

Comme mentionné précédemment, le stage a porté sur les simulations de CLASS. En premier lieu, deux simulations différentes, une avec le modèle offline et un avec le modèle couplé ont été faites pour un même site. Cela a alors permis de valider que la version du schéma utilisé par l'Université de Sherbrooke donne des résultats similaires à la version utilisée par OURANOS.

#### **-Familiarisation avec les données et CLASS-**

En second lieu, une schématisation du modèle CLASS a été faite afin de mieux comprendre son fonctionnement pour le calcul de l'albédo (Annexe 2). Aussi, une appropriation des codes Matlabs, qui regroupent les données à entrer dans CLASS et qui lancent les simulations, fût une étape prenante, mais cela a permis un contrôle de qualité. Le comportement du vieillissement de CLASS selon la température a aussi été étudié (Annexe 3).

### -Analyse de sensibilité-

Ensuite, l'analyse de la sensibilité aux paramètres empirique a été faite. Soit les paramètres de l'albédo de neige fraîche (ALBSNOF = 0.84), de l'albédo de vieille neige sèche (ALBSNOD = 0.7) et de l'albédo de vieille neige mouillée (ALBSNOW = 0.5) en plus du seuil de précipitation (SART = 1mm/15min). Pour se faire, une recherche dans la littérature a été faite pour rechercher les autres variables empiriques utilisées dans les schémas ou modèles existants qui font le calcul d'albédo (Annexe 4). Aussi, les autres paramétrisations ont été analysées (Annexe 5a et 5b). Finalement, 21 simulations ont été faites pour chaque paramètre empirique.

**Tableau 1. Table des valeurs utilisées pour les simulations servant à analyser la sensibilité**

Paramètre	Valeurs simulées	Incrément	Condition lors de l'analyse des autres paramètres
ALBSNOF	0.7 à 0.9*	0.01	0.84
ALBSNOD	0.6 à 0.8	0.01	0.7
ALBSNOW	0.4 à 0.6	0.01	0.5
SART**	0.0005 à 0.0055 m	0.00025 m	0.001m

\*Les valeurs d'ALBSNOF ne sont pas centrées sur 0.84 comparativement aux autres paramètres puisqu'un albédo global de plus de 0.9 entraîne une valeur d'albédo visible supérieur à 1.

\*\*Les valeurs de SART sont choisies en fonction de l'étendue des valeurs simulées par OURANOS (Harvey 2013).

La modification apportée à CLASS pour les simulations de l'albédo de neige fraîche est simplement de modifier dans la sous-routine « SNOADD.f » la valeur de l'albédo quand la précipitation excède le SART. Pour l'albédo de vieille neige sèche ou humide, il s'agit de modifier les sous-routines « SNOALBA » et « SNOALBW ». Pour les deux cas, il faut indiquer qu'une neige sous ALBSNOD est en fonte. Plus particulièrement pour SNOALBA, les formules pour le calcul de l'albédo visible et NEAR-IR doivent être ainsi modifiées :

Formules si vieillissement
$ALVSSN(I)=0.79*(ALBSNO(I)-ALBSNOD)+(ALBSNOD+0.14)$
$ALIRSN(I)=1.21*(ALBSNO(I)-ALBSNOD)+(ALBSNOD-0.14)$
Formules si fonte
$ALVSSN(I)=0.97*(ALBSNO(I)-ALBSNOW)+(ALBSNOW+0.12)$
$ALIRSN(I)=1.03*(ALBSNO(I)-ALBSNOW)+(ALBSNOW-0.12)$

Dans le cas de SNOALBW, la rapidité de la décroissance de l'albédo doit devenir :

Formule si vieillissement
$ALBSNO(I)=(ALBSNO(I)-ALBSNOD)*EXP(-0.01*DELT/3600.0)+ALBSNOD$
Formule si fonte
$ALBSNO(I)=(ALBSNO(I)-ALBSNOW)*EXP(-0.01*DELT/3600.0)+ALBSNOW$

Ensuite, une valeur d'erreur quadratique moyenne, RMSE, a été calculée pour la période 2008-2012 (données d'albédo disponible à SIRENE) et ce pour chaque simulation. La variance des RMSE d'un même paramètre donne la sensibilité des simulations à ce paramètre.

Les paramètres d'IPCP, qui indiquent la phase de la précipitation selon différents seuils de température, auraient aussi pu être à l'étude pour la sensibilité. Toutefois, les versions futures de CLASS n'auront pas ce paramètre, puisque la phase de la précipitation sera discriminée tout au long de sa chute (Harvey 2013). 3 simulations selon l'IPCP ont alors été faites et la simulation avec la meilleure valeur de RMSE a été choisie. Les valeurs sont très similaires puisque peu de journées durant l'hiver se retrouvent dans le seuil de 0-6°C et permettent différents comportements selon l'IPCP (Annexe 6). L'IPCP 1 détermine la phase selon la limite de 0°C, une température de précipitation sous ce seuil équivaut à une précipitation neigeuse.

### **-Validation-**

En dernier lieu, la performance de CLASS été analysée selon les différents paramètres empiriques. Les comparaisons entre les résultats d'albédo simulés et observés ont été superposées avec les comparaisons d'EEN et de hauteur de neige simulées, observées et mesurées à SIRENE. Les valeurs d'albédo observé à SIRENE fluctuent grandement, ce sont alors les valeurs moyennées sur une base hebdomadaire qui ont été comparées.

Une attention particulière a été à la compréhension des simulations pour bien cibler les calculs ou les variables qui semblent problématiques. Une validation sera faite sous peu avec la base de données de Goose Bay.

### **Deuxième partie (Université de Sherbrooke)**

La continuation du projet se fera à l'Université de Sherbrooke. En premier lieu, l'analyse de sensibilité sera approfondie. Par ailleurs, cela permettra de mieux comprendre pourquoi la valeur de SART amène autant de variation de RMSE d'albédo. Aussi, les données de précipitation observée à SIRENE devront être comparées aux données météorologiques d'Environnement Canada de l'aéroport de Sherbrooke. Des anomalies des simulations font douter de la précision des données.

Ensuite, les mêmes comparaisons d'albédo, de hauteur de neige et d'EEN seront faites avec les données de Goose Bay. Il sera alors assuré que le comportement observé s'applique à divers environnements.

Il sera aussi pertinent de se pencher sur l'exactitude de transformer les données aux 3h de NARR en données au 15min en mettant l'entité des précipitations dans le premier 15 min. Il serait aussi intéressant de vérifier la disponibilité de donnée de visibilité à l'aéroport de Sherbrooke. Des données de visibilités permettent d'attribuer une pondération à chaque heure de la quantité totale de précipitation reçue en 3h.

Une première amélioration du modèle se trouverait dans l'élaboration d'une valeur de rafraîchissement de l'albédo qui s'ajusterait dans le cas d'une chute de neige très mouillée. Aussi, étudier la possibilité d'avoir deux valeurs d'albédo de rafraîchissement différentes selon les longueurs d'onde visibles et NIR sera intéressant.

À la suite de la meilleure compréhension du caractère de CLASS avec une paramétrisation empirique, une paramétrisation plus physique sera introduite. Un module de surface spécifique de la neige, SSA, par Alexandre Roy de l'Université de Sherbrooke permettra d'avoir un albédo multicouche qui évolue temporellement. La conversion de SSA à une valeur d'albédo sera faite, entre autres, à l'aide de l'article de (Gardner & Sharp 2010; Roy et al. 2012).

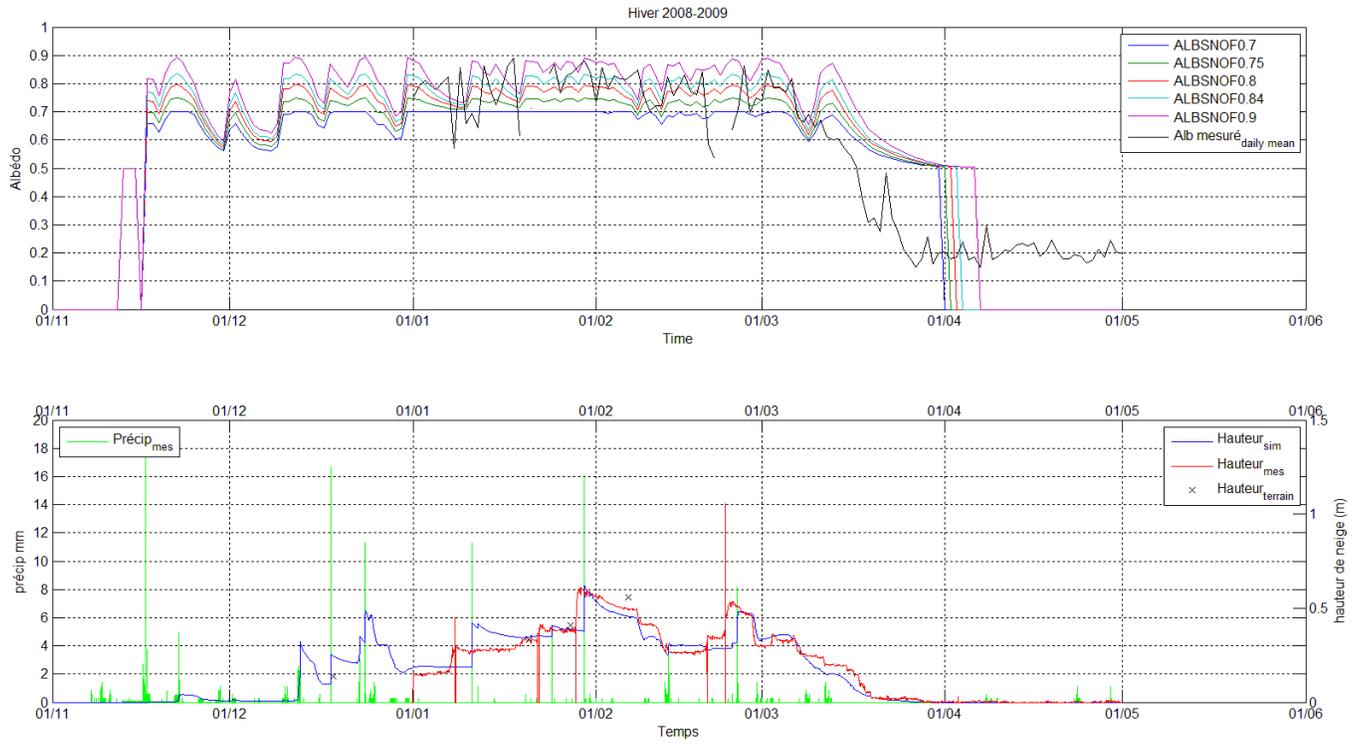
Par télédétection, il est aussi possible d'obtenir des valeurs d'albédo journalier (Wang et al. 2012; Zhao 2012). Ces valeurs permettront d'avoir une autre source de validation lorsque les valeurs observées à SIRENE sont très bruitées.

### Résultats obtenus en stage

Les graphiques suivants ont été obtenus suite aux différentes simulations d'albédo avec des paramètres d'ALBSNOF, ALBSNOD, ALBSNOW, SART. Chaque hiver est pris séparément et la hauteur de neige ou l'EEN sont ajoutés afin de voir si les croissances et décroissances de l'albédo sont justifiées.

L'albédo en période de fonte est moins bien simulé que le reste de l'hiver. Comme mentionner précédemment, les précipitations pourraient être en cause, la station SIRENE pourrait ne pas percevoir des événements de neige qui seraient observés par les pyromètres. Aussi, une précipitation de 0°C qui serait perçue par le modèle comme de la neige, mais qui serait très mouillée pourrait n'augmenter que faiblement les valeurs observées d'albédo, mais les valeurs simulées augmenteraient à 0,84. Aussi, il est possible d'observer que l'EEN observé est supérieur à l'EEN simulée, c'est aussi majoritairement le cas pour la hauteur de neige.

Bien entendu, les simulations avec différent paramètre d'albédo de vieille neige sèche influencent surtout l'albédo pendant le milieu de l'hiver contrairement aux simulations avec de la vieille neige humide où les variations sont surtout en fin de saison. Comme l'erreur de l'albédo se retrouve majoritairement en fin de saison, il sera intéressant de se pencher plus profondément sur l'ALBSNOW.



**Figure 1. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2008-2009.**

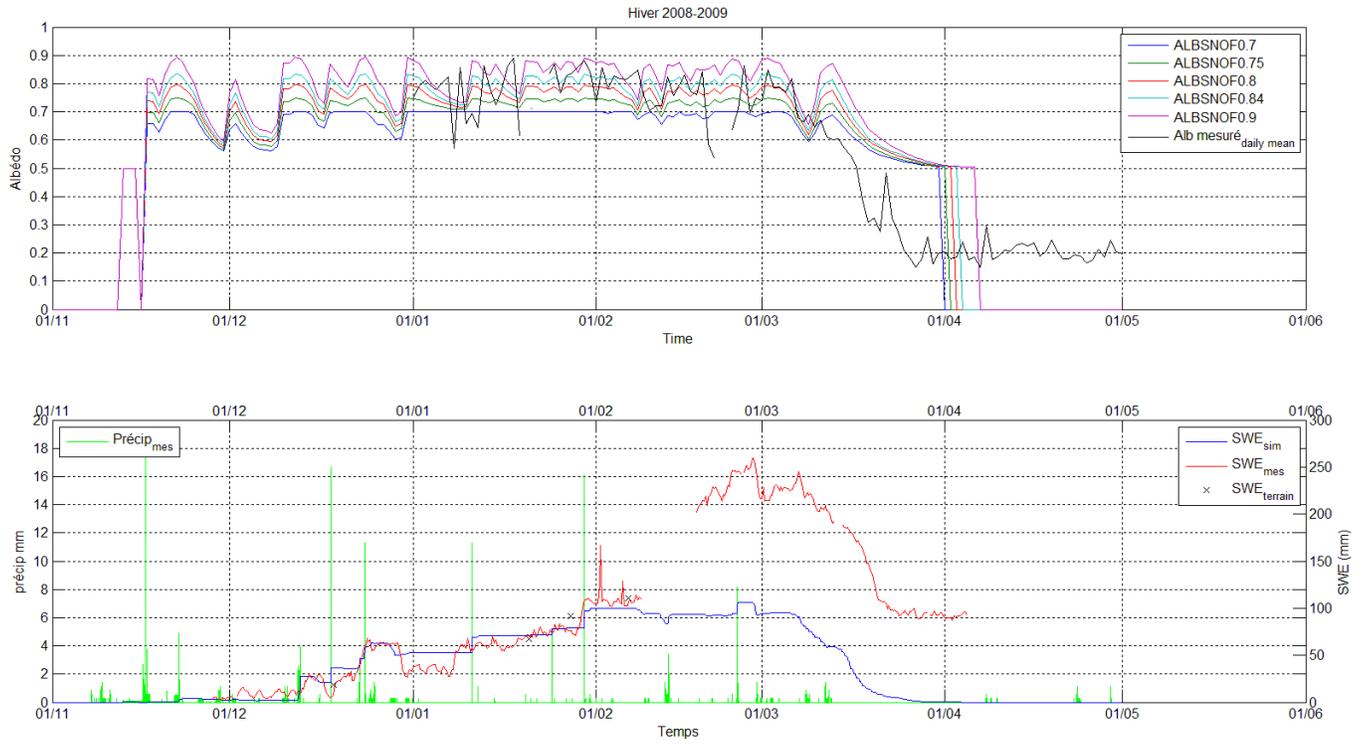


Figure 2. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec l'ÉEN. Pour l'hiver 2008-2009.



Figure 3. Graphique des simulations d'albedo selon différentes valeurs d'albedo de neige fraîche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2009-2010.

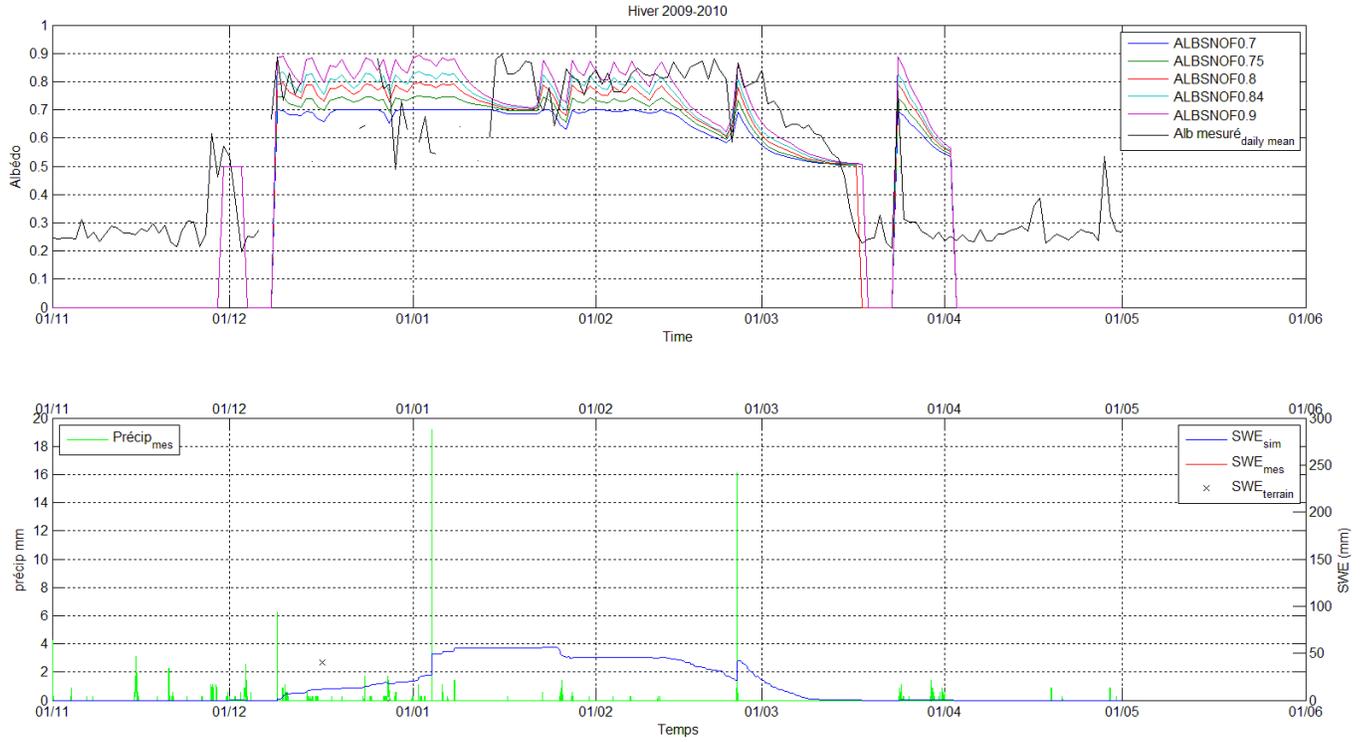


Figure 4. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2009-2010.

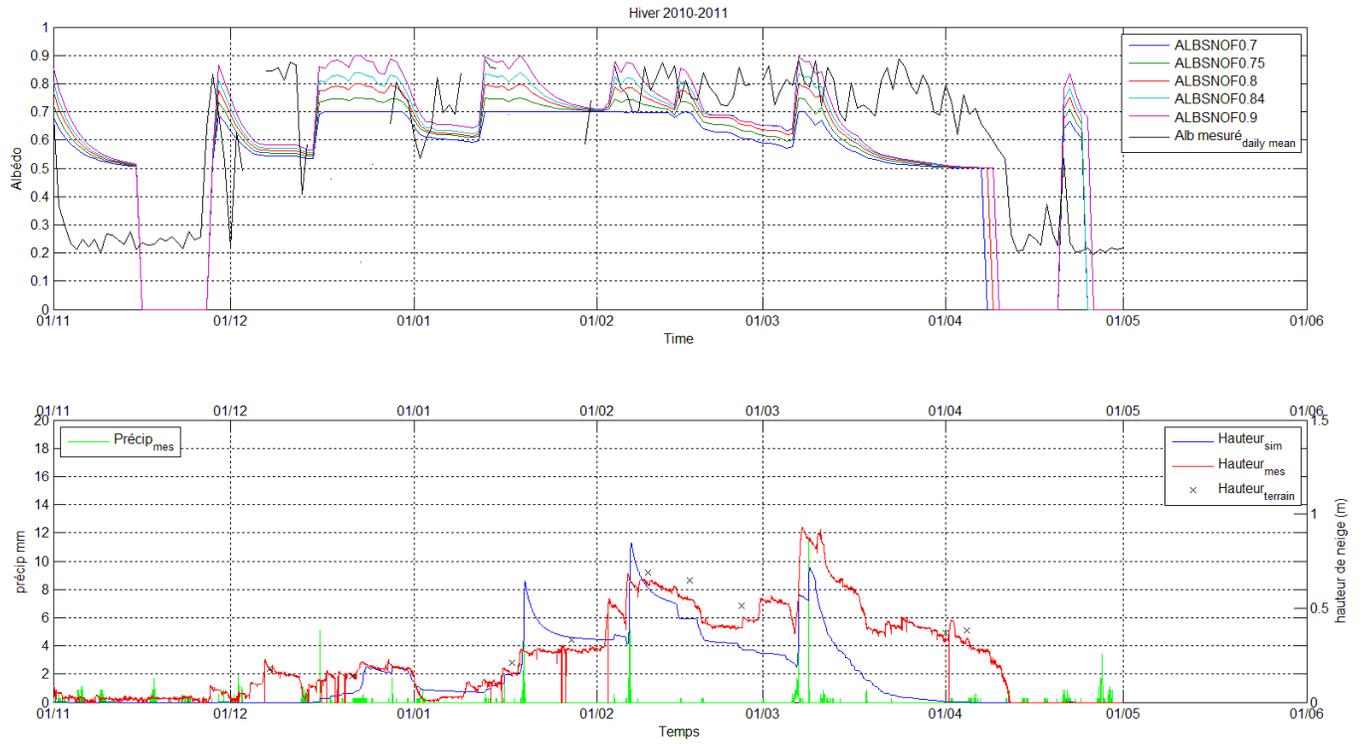


Figure 5. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2010-2011.

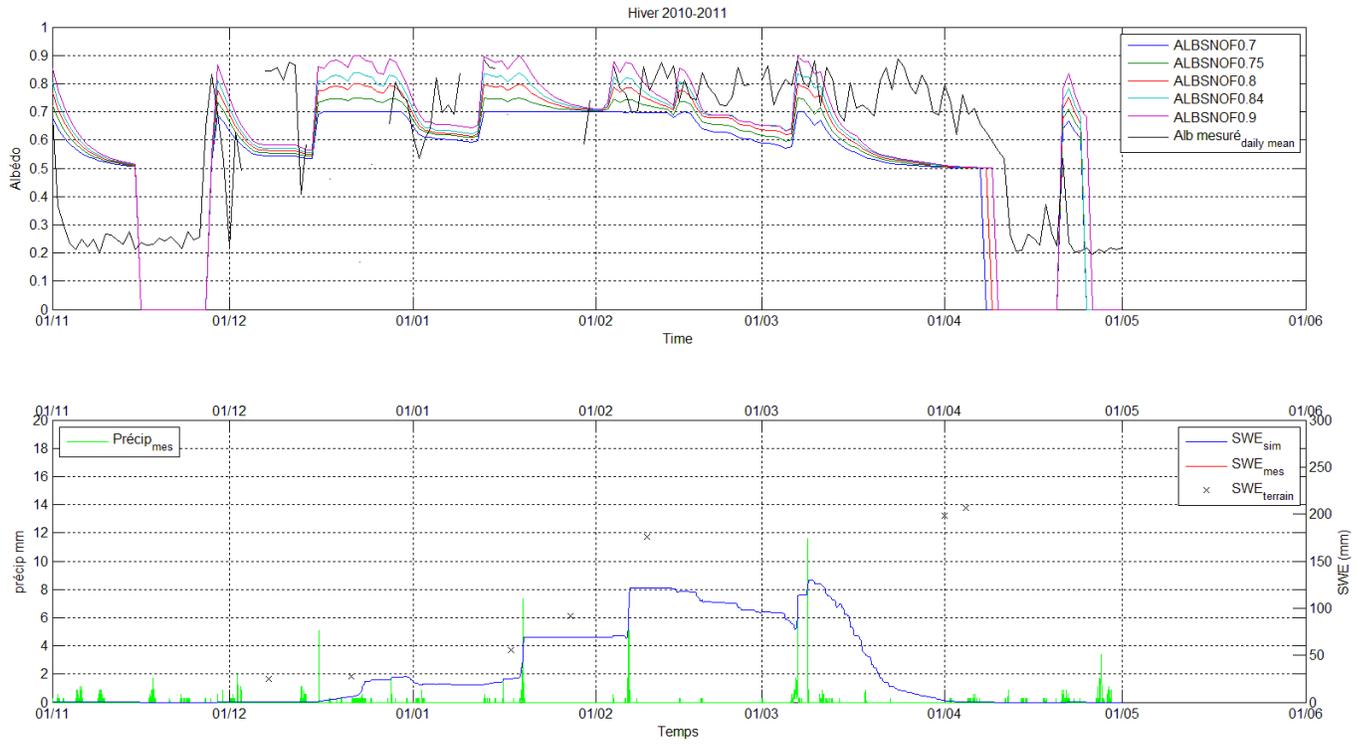


Figure 6. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2010-2011.

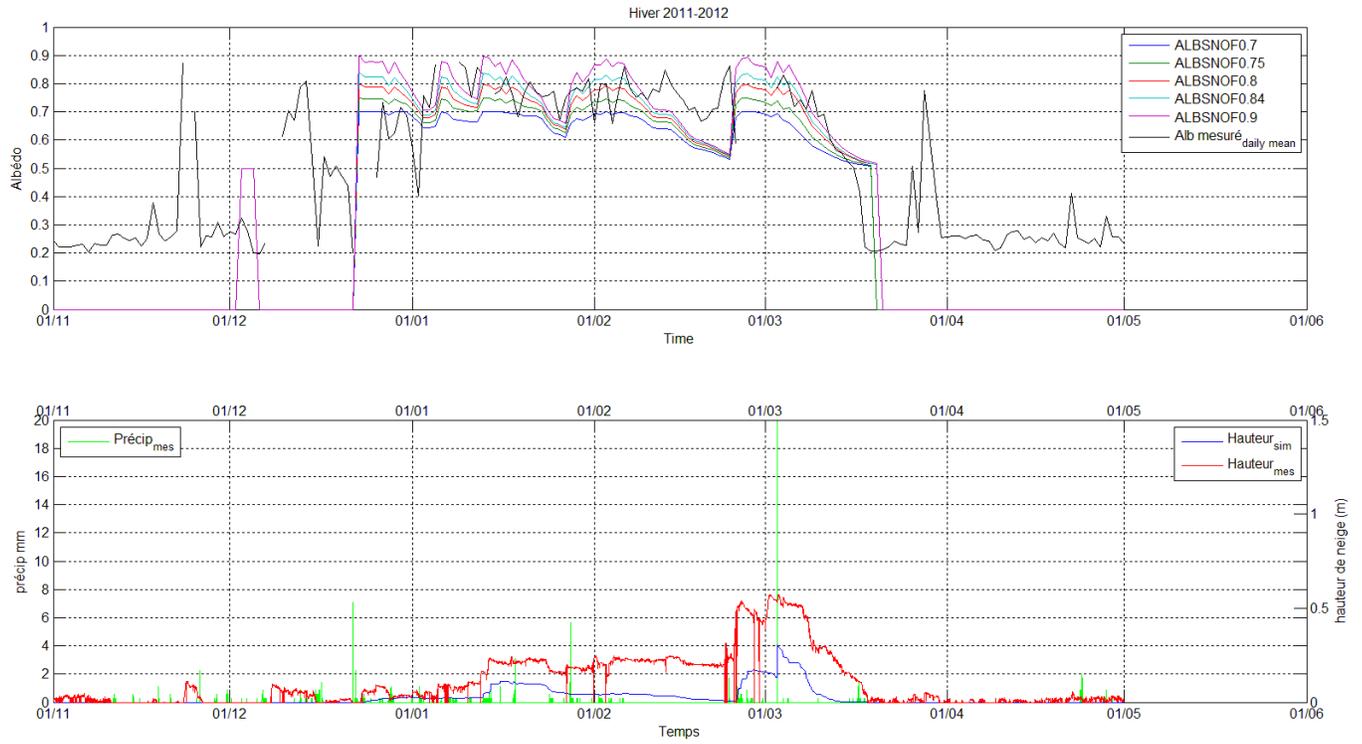


Figure 7. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2011-2012.

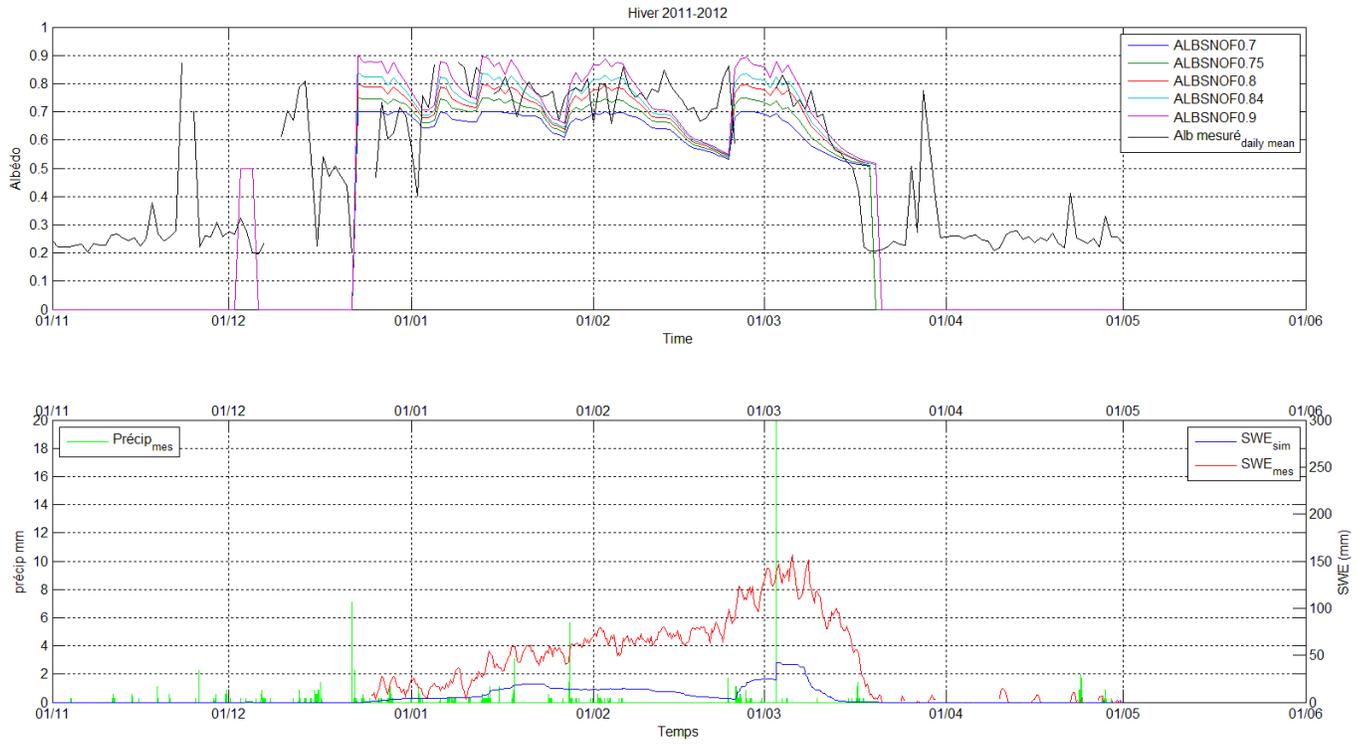


Figure 8. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de neige fraîche, mis en relation avec le EEN. Pour l'hiver 2011-2012.

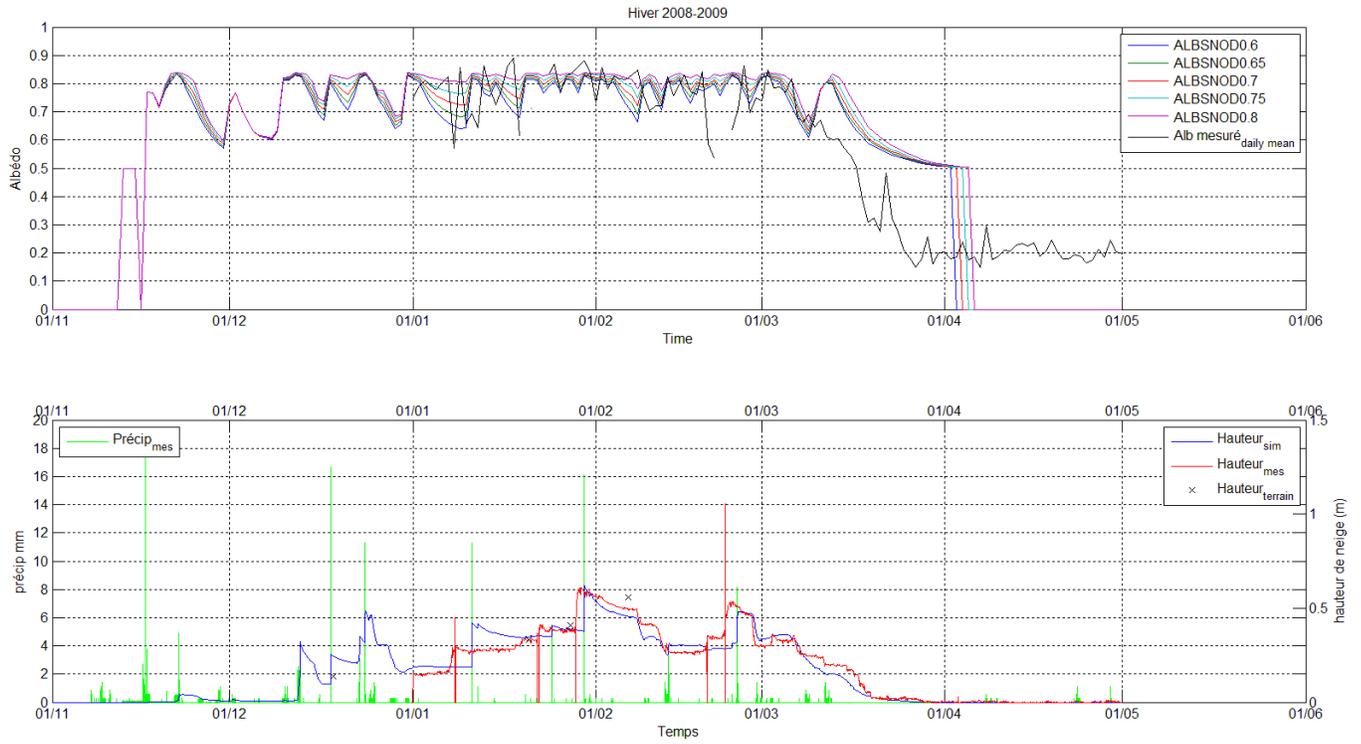


Figure 9. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2008-2009.

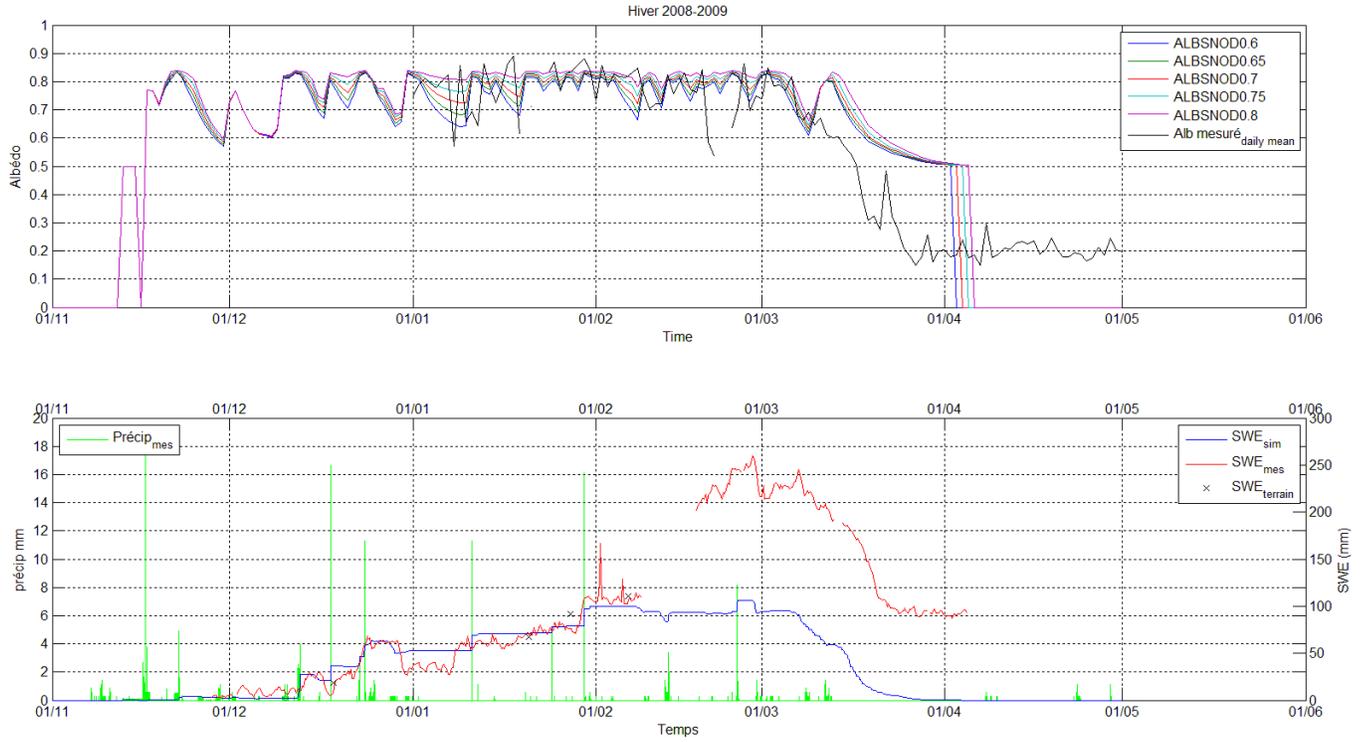


Figure 10. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2008-2009.



Figure 11. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2009-2010.

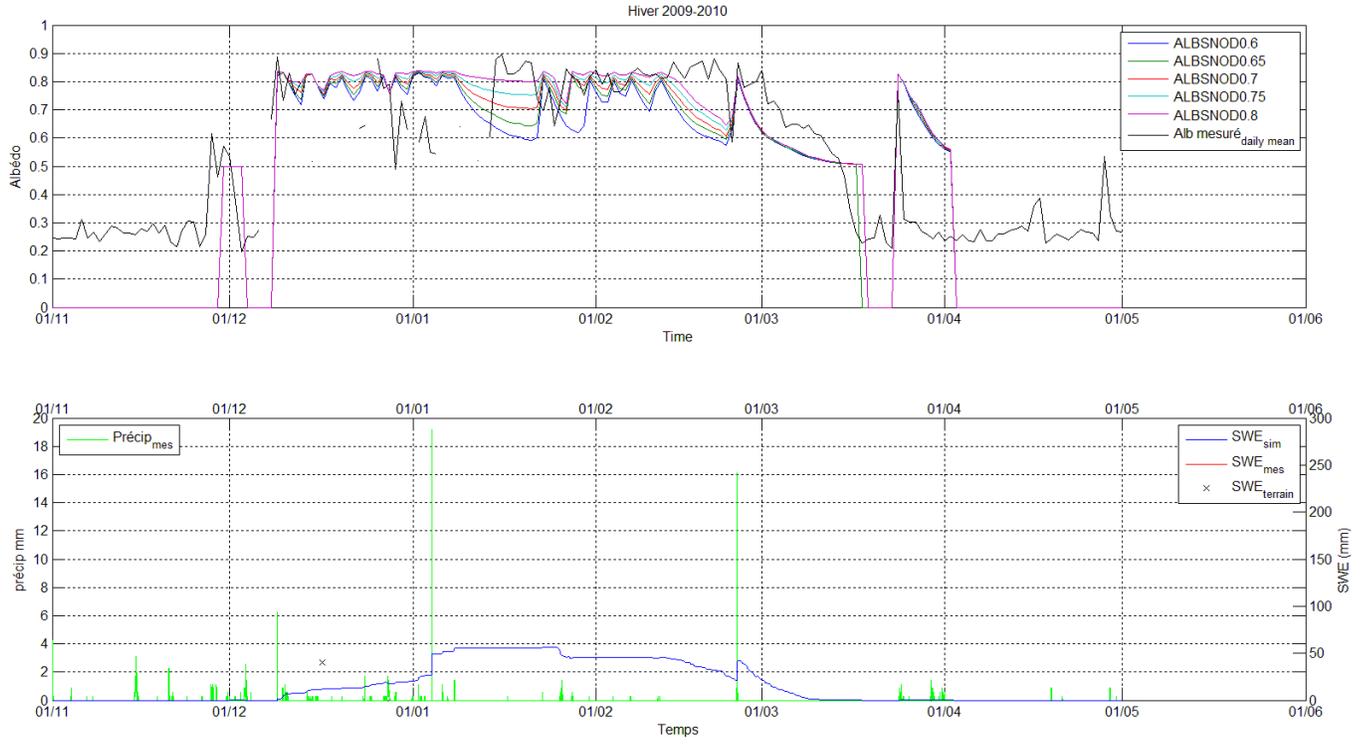


Figure 12. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2009-2010.

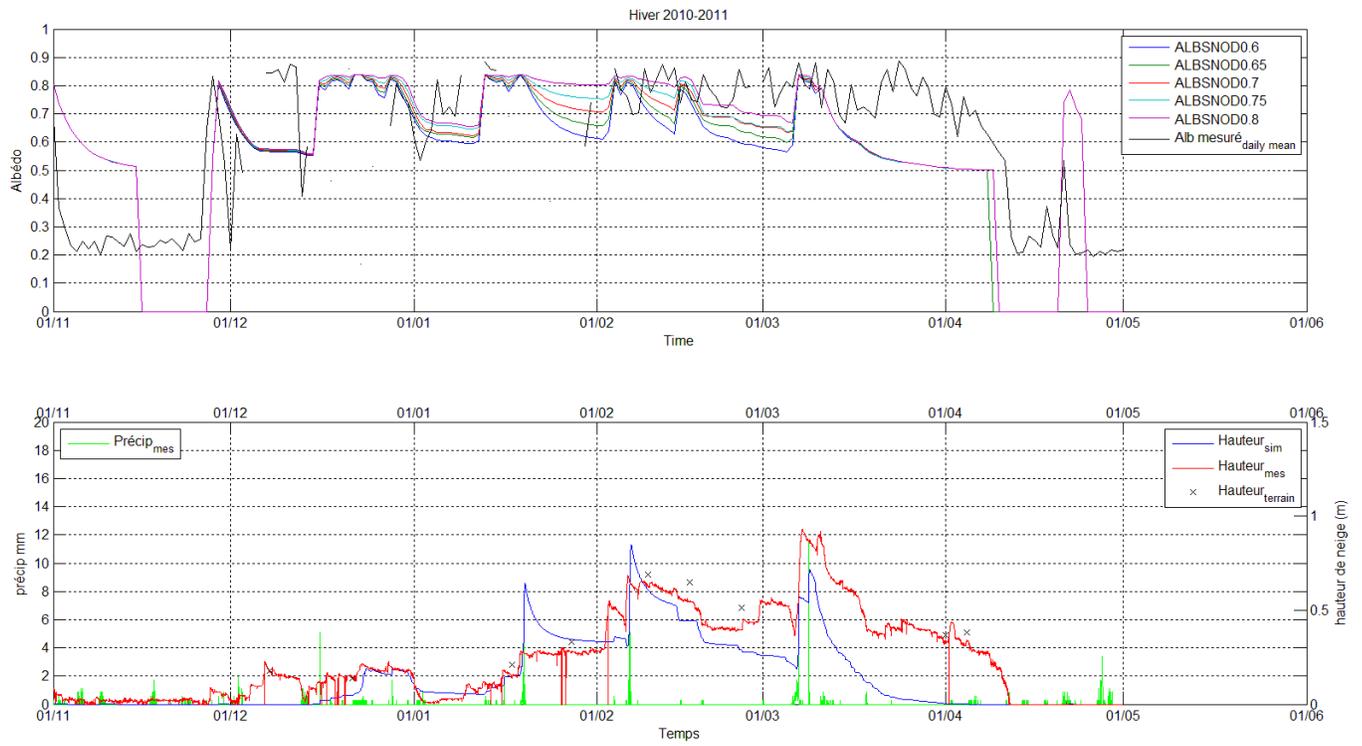


Figure 13. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2010-2011.

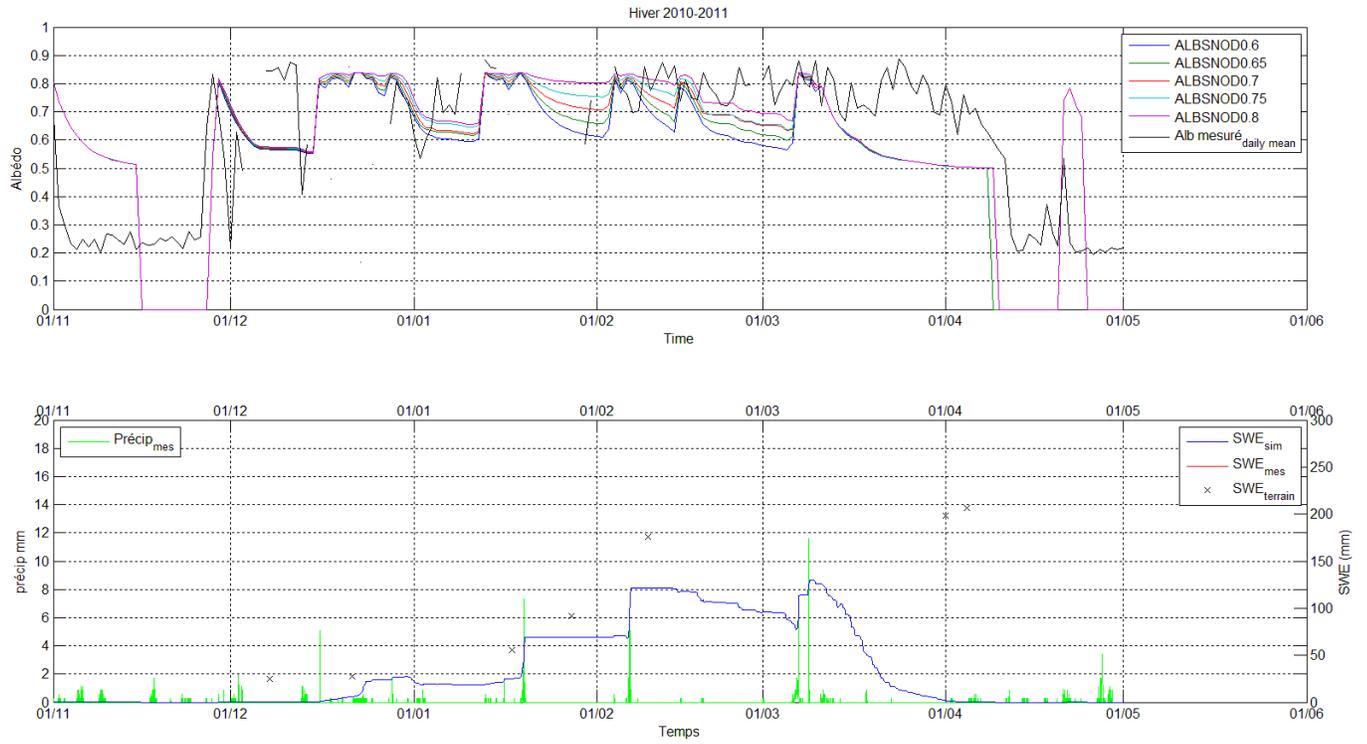


Figure 14. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2010-2011.

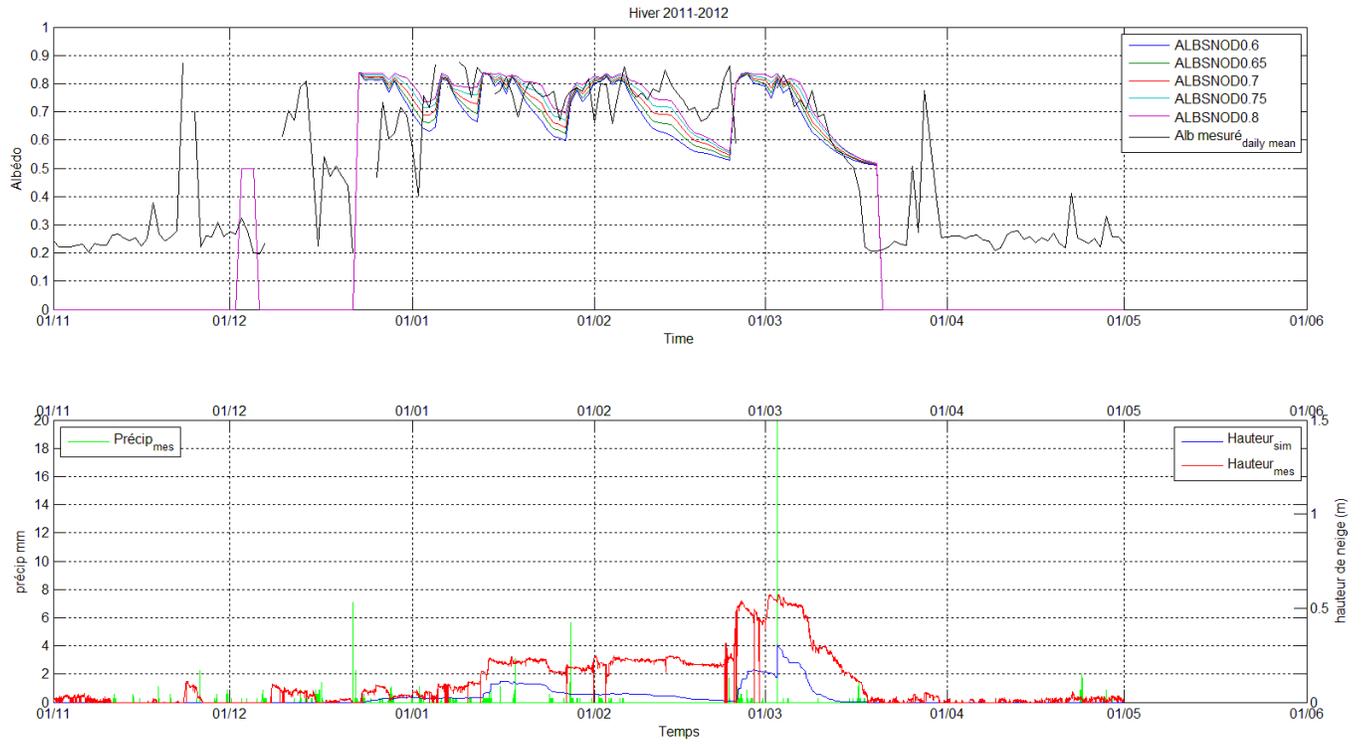


Figure 15. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2011-2012.

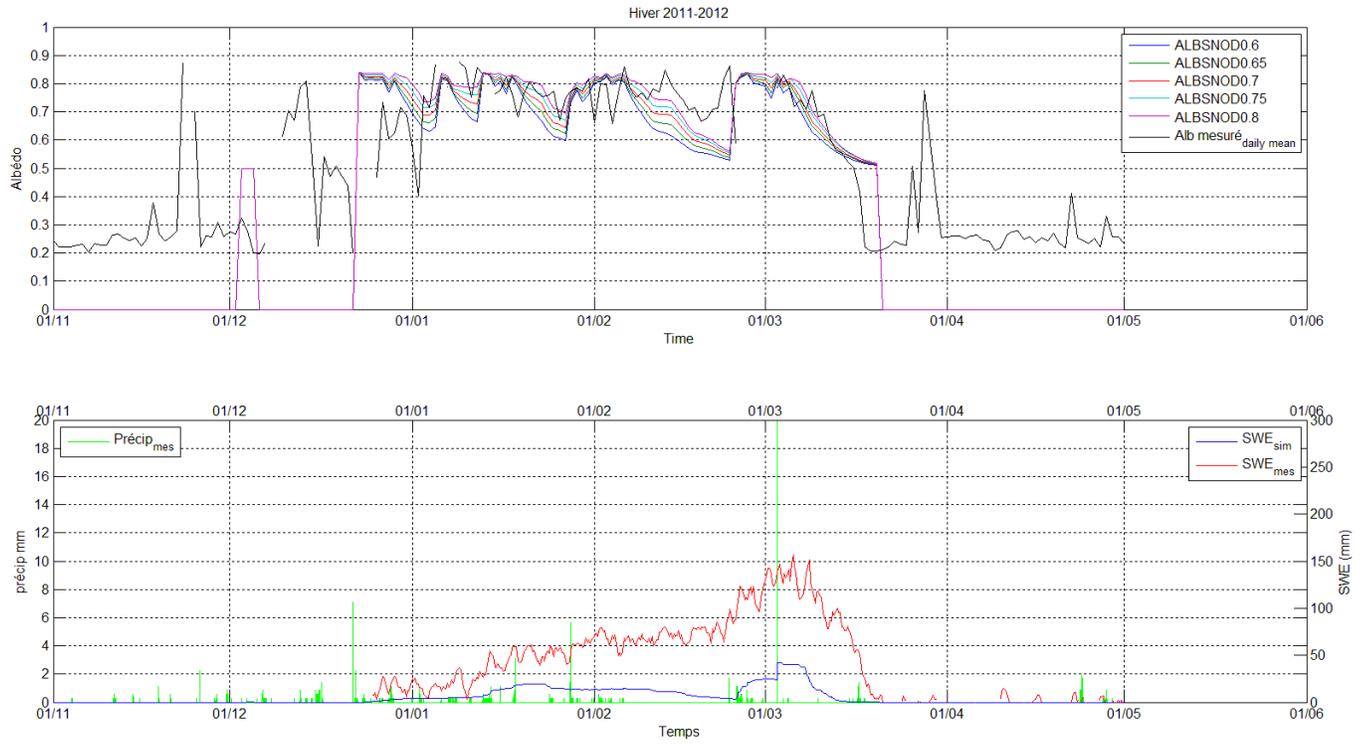


Figure 16. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige sèche, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2011-2012.

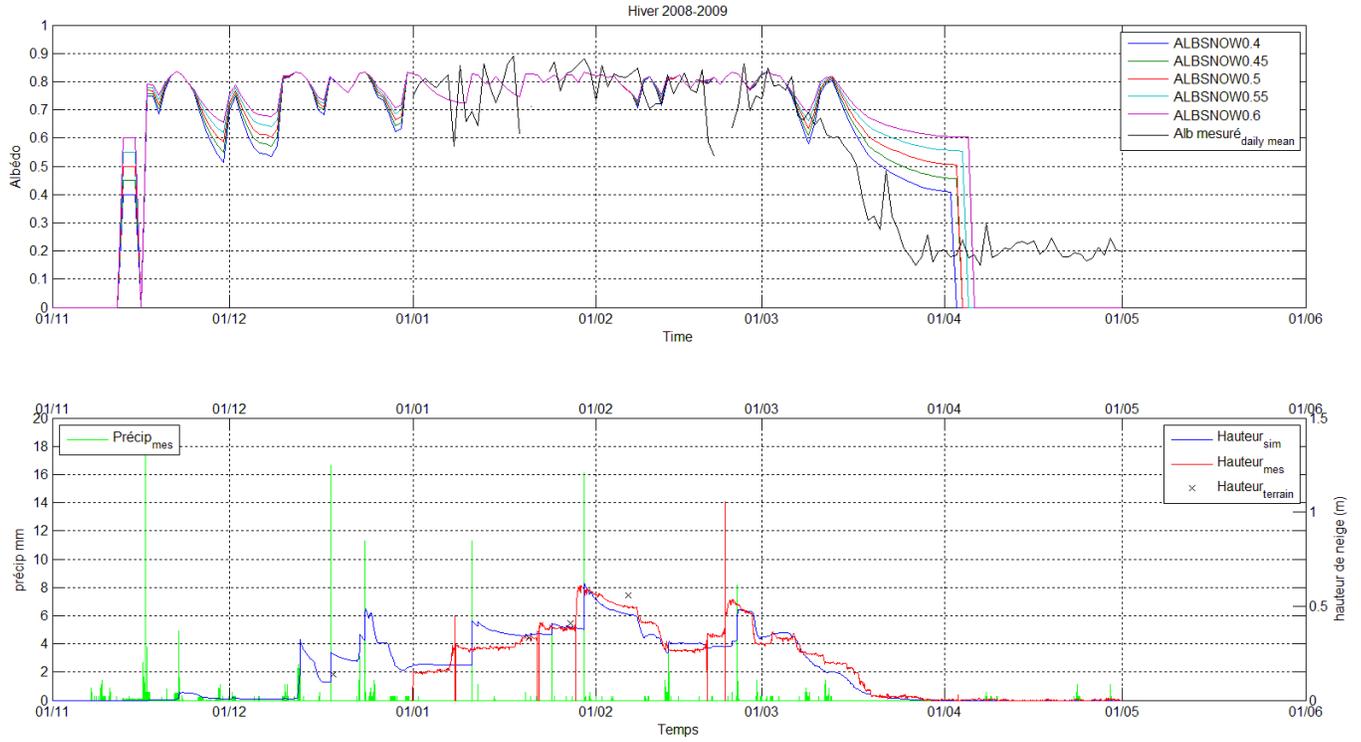


Figure 17. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2008-2009.

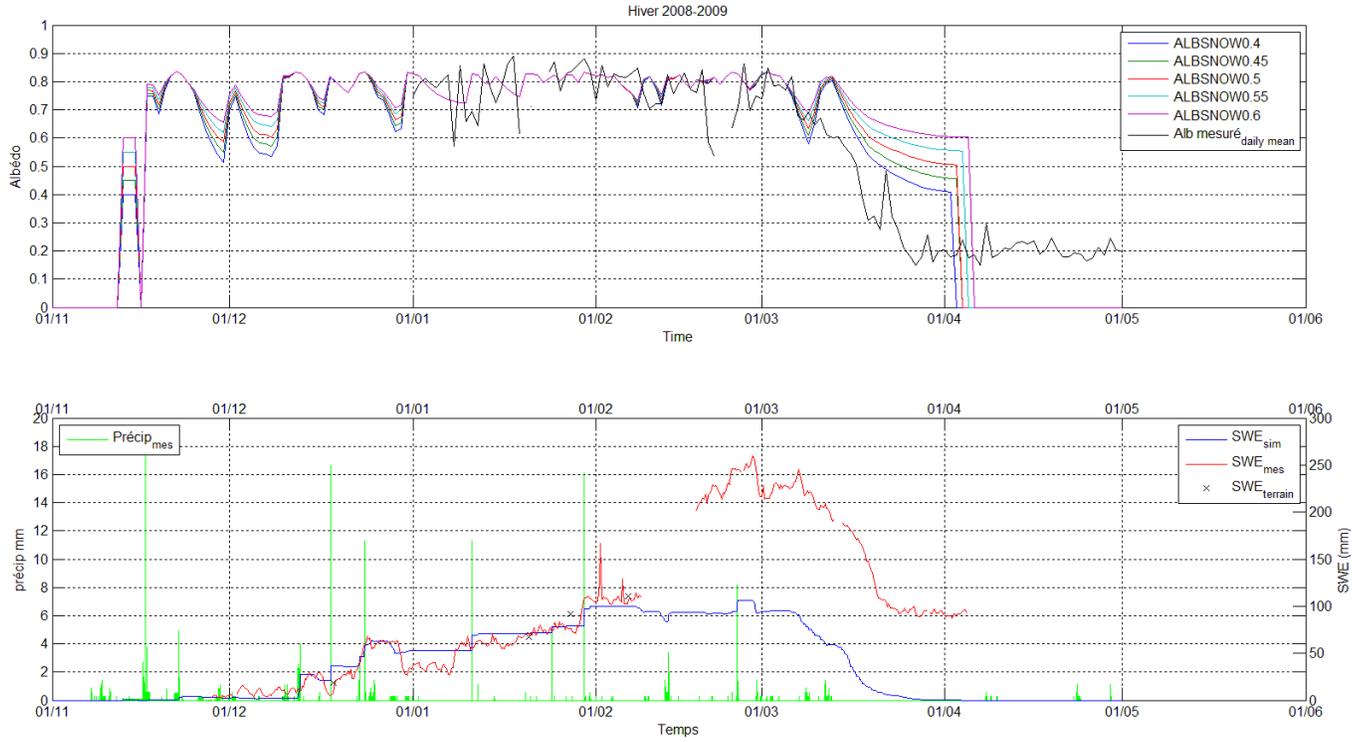


Figure 18. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2008-2009.

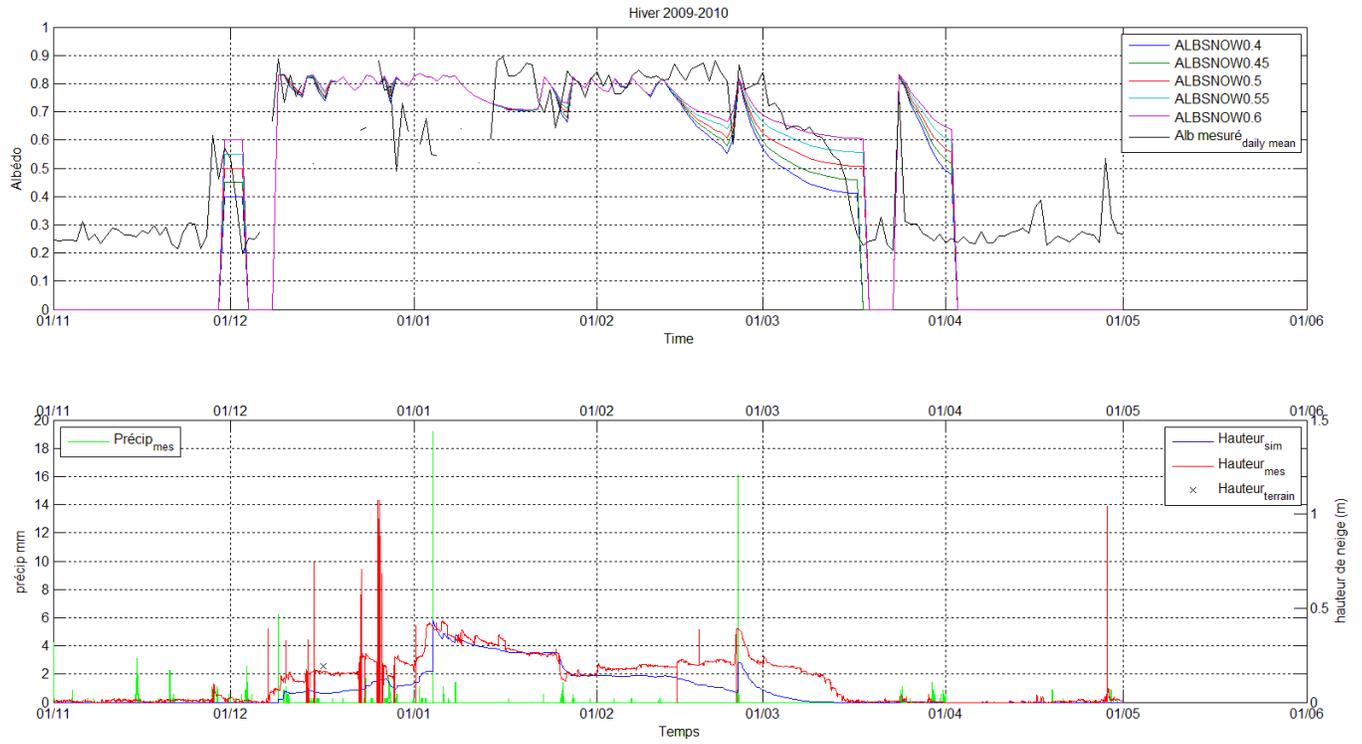


Figure 19. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2009-2010.

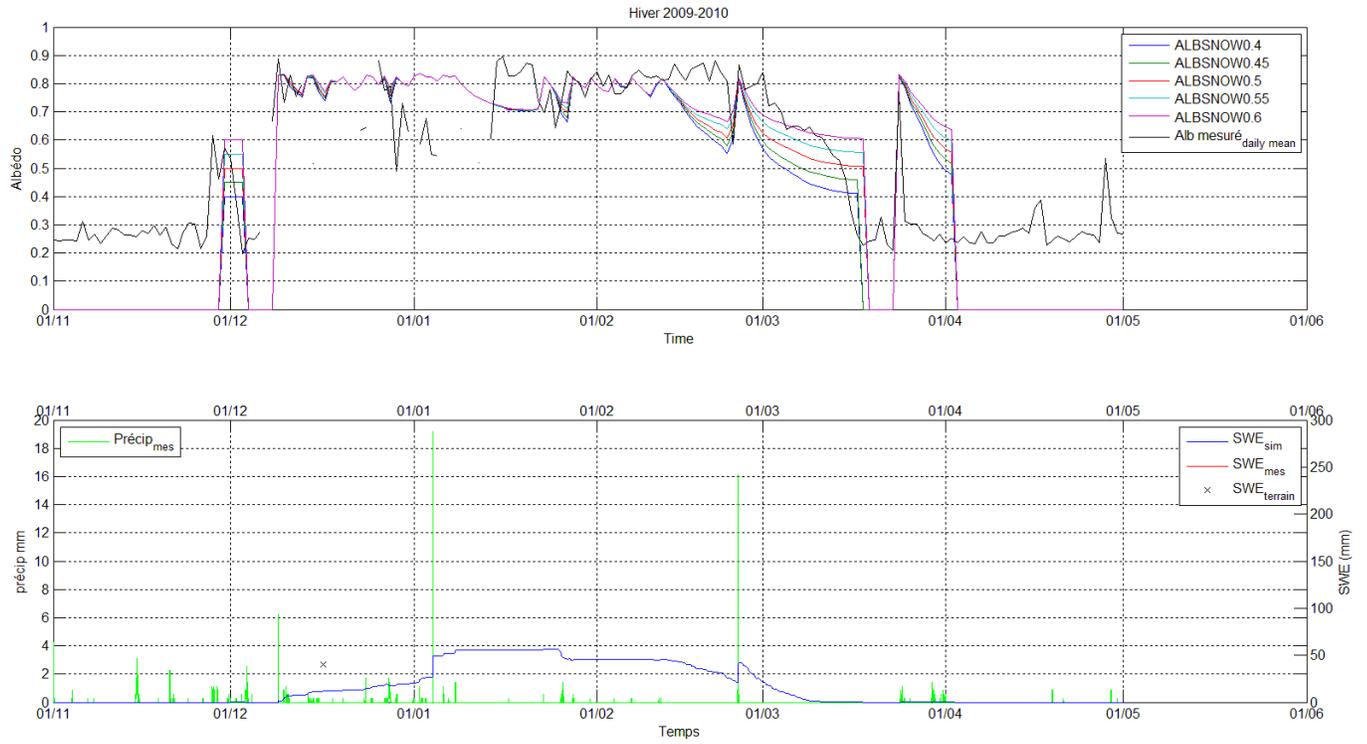


Figure 20. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2009-2010.

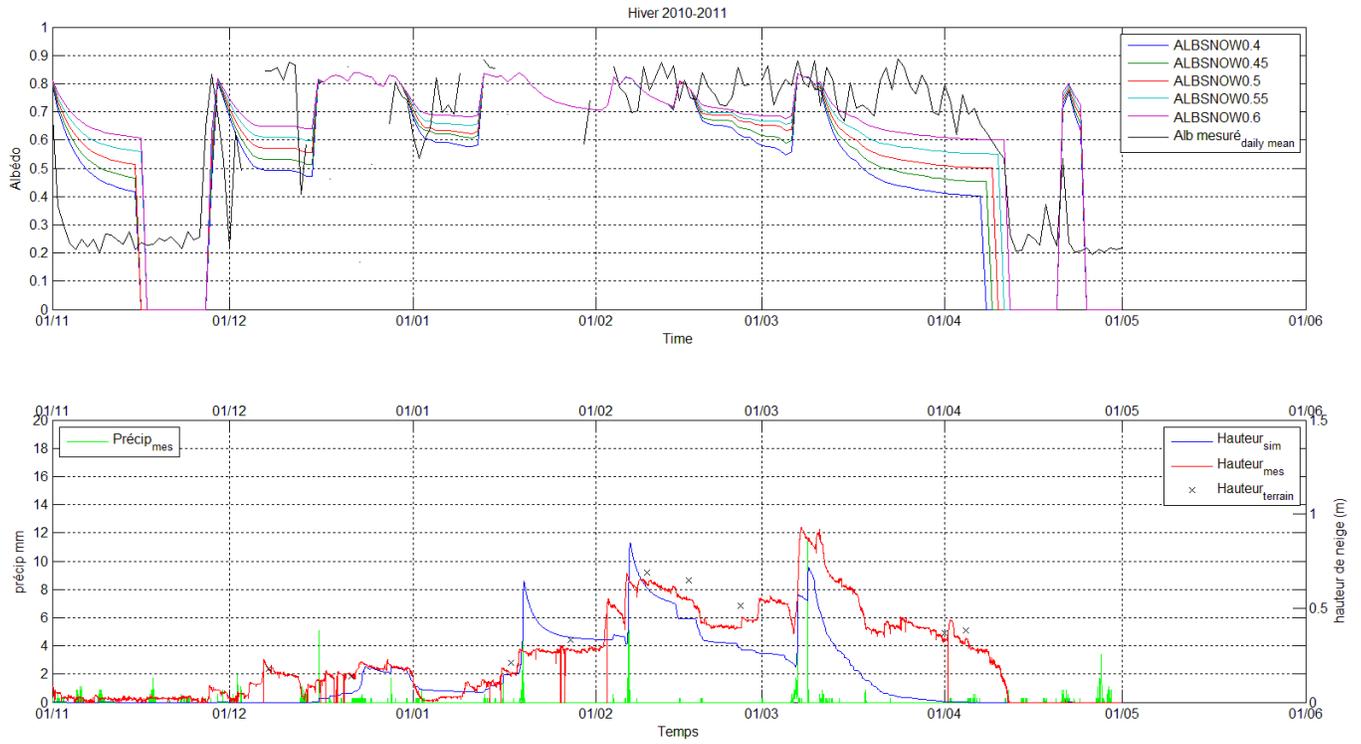


Figure 21. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2010-2011.

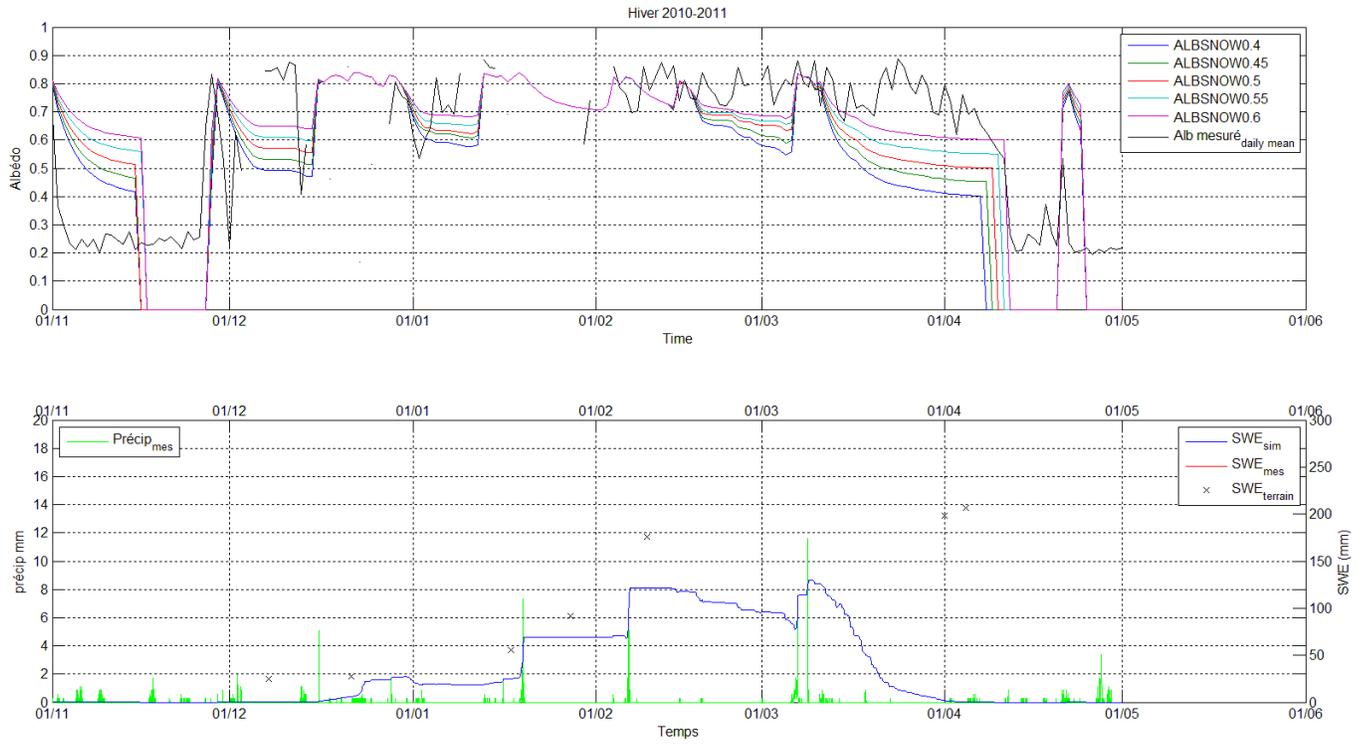


Figure 22. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2010-2011.



**Figure 23.** Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2011-2012.

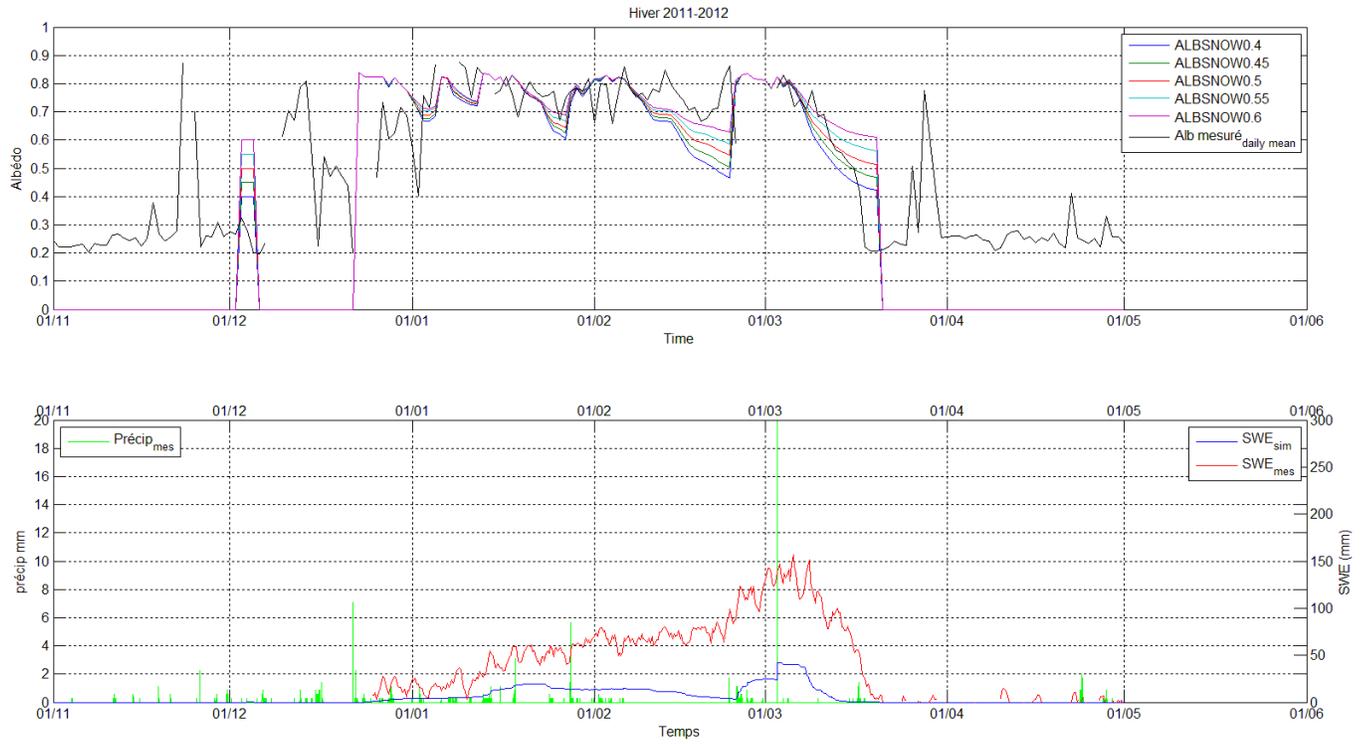


Figure 24. Graphique des simulations d'albédo selon différentes valeurs d'albédo de vieille neige mouillée, mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2011-2012.

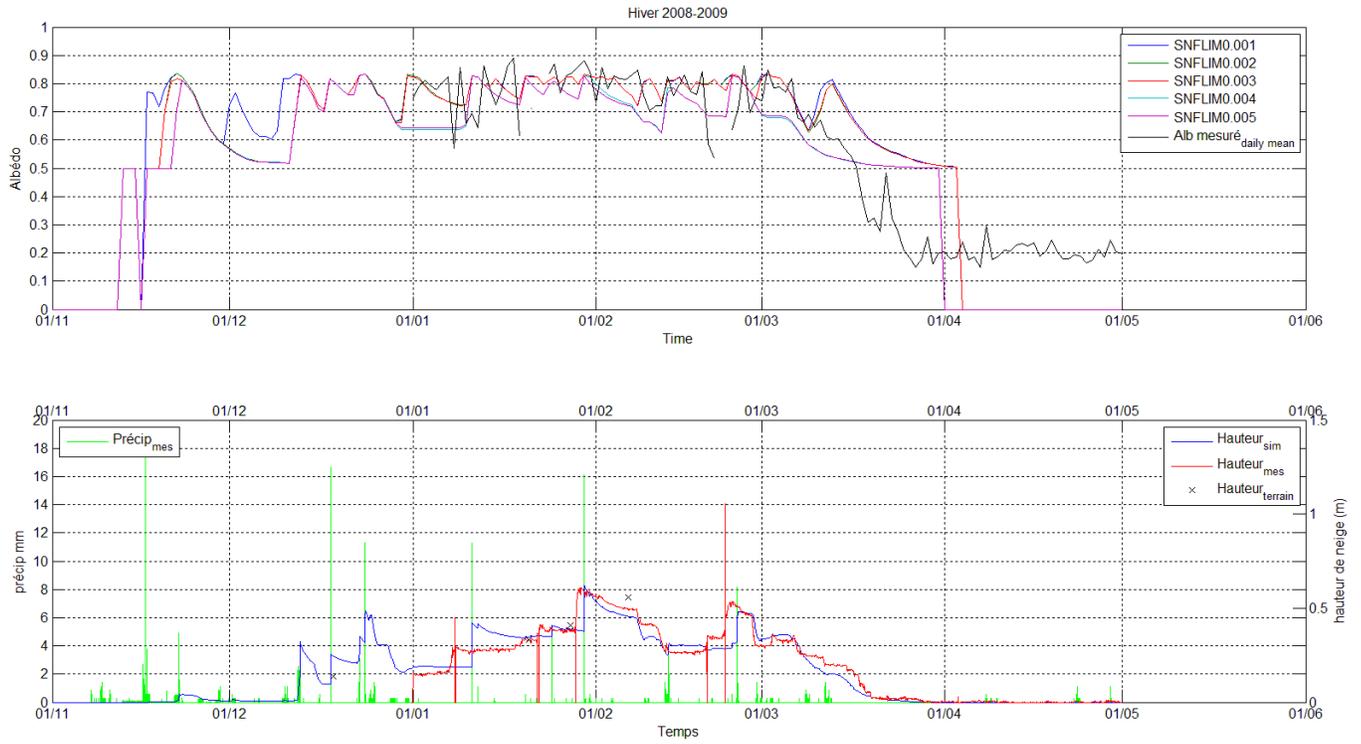


Figure 25. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2008-2009.

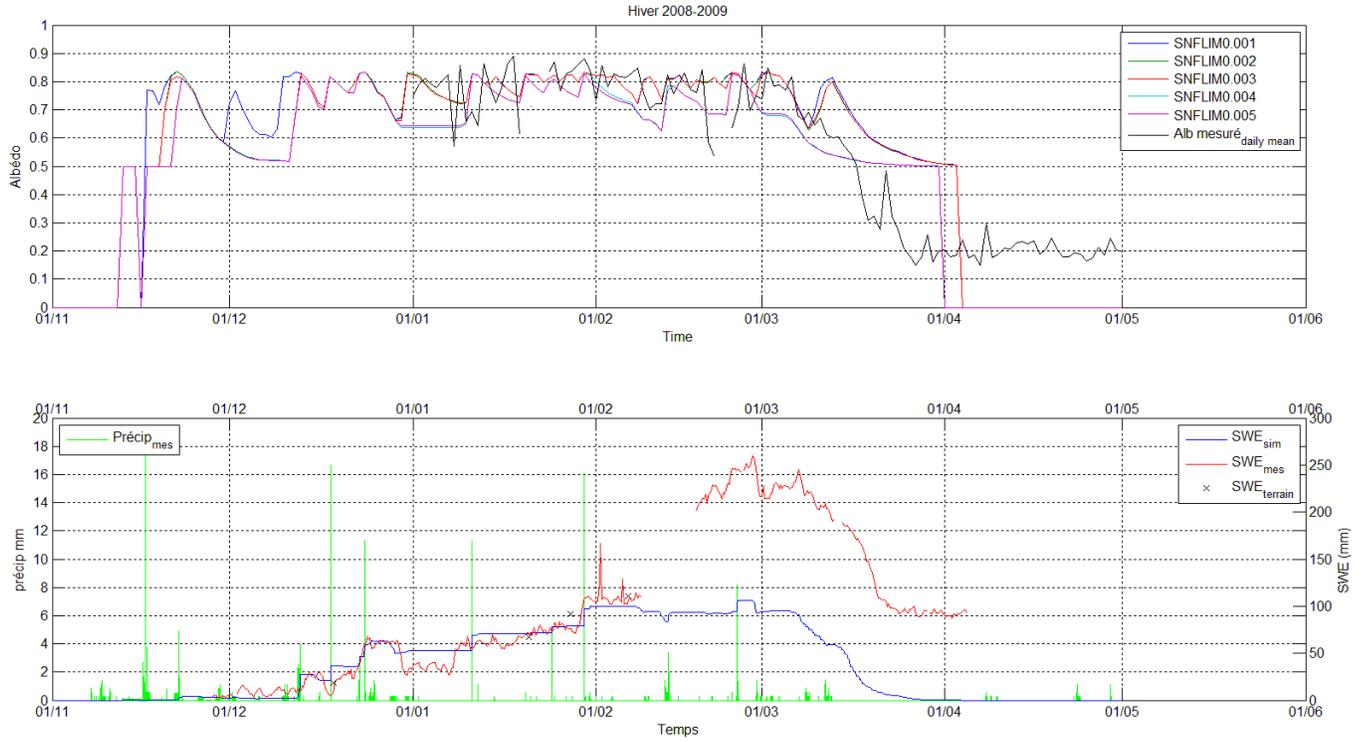


Figure 26. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec l'EE. Pour l'hiver 2008-2009.

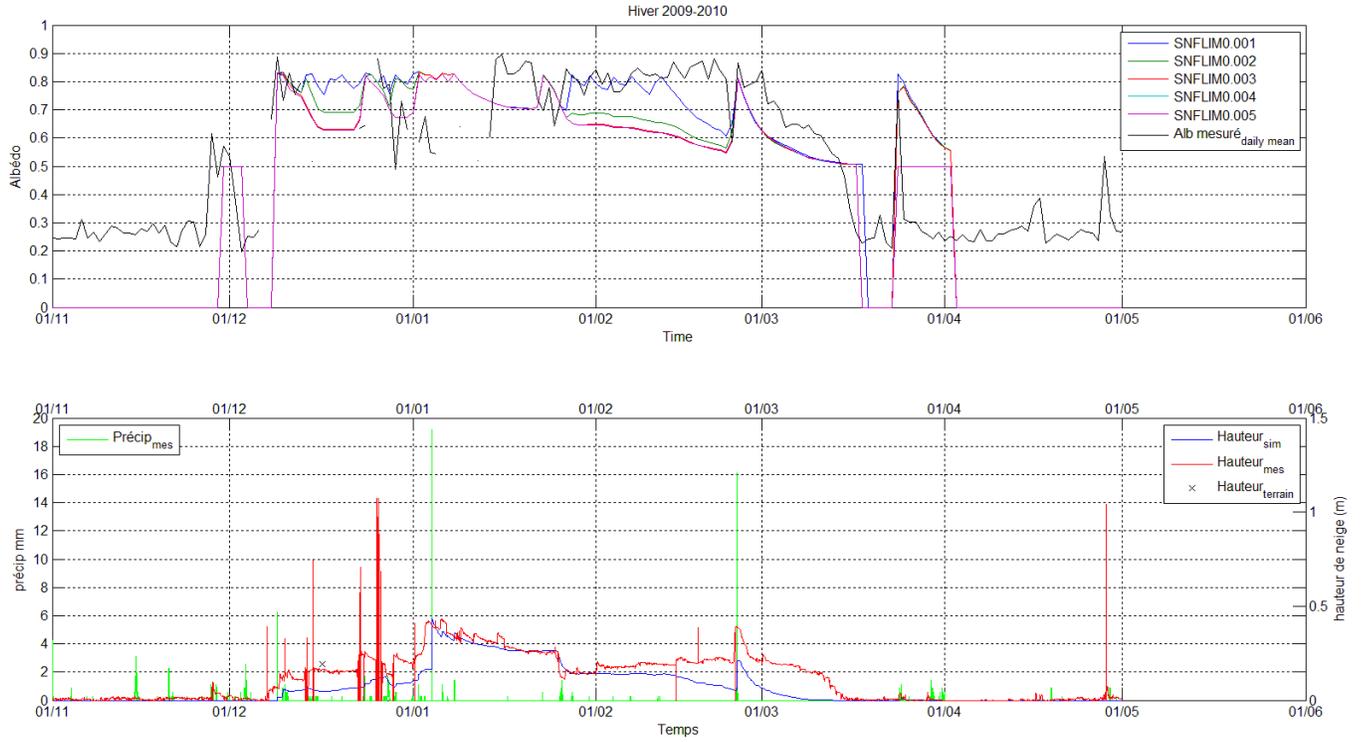


Figure 27. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2009-2010.

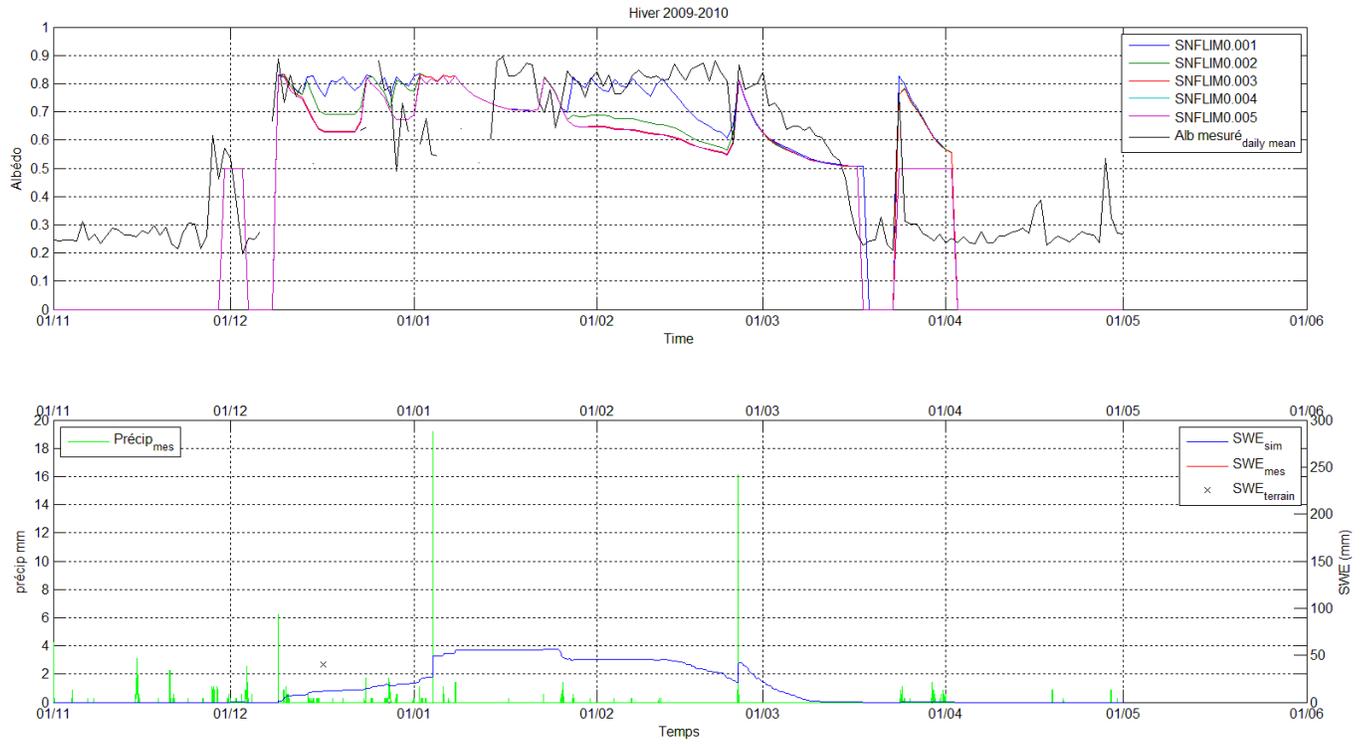
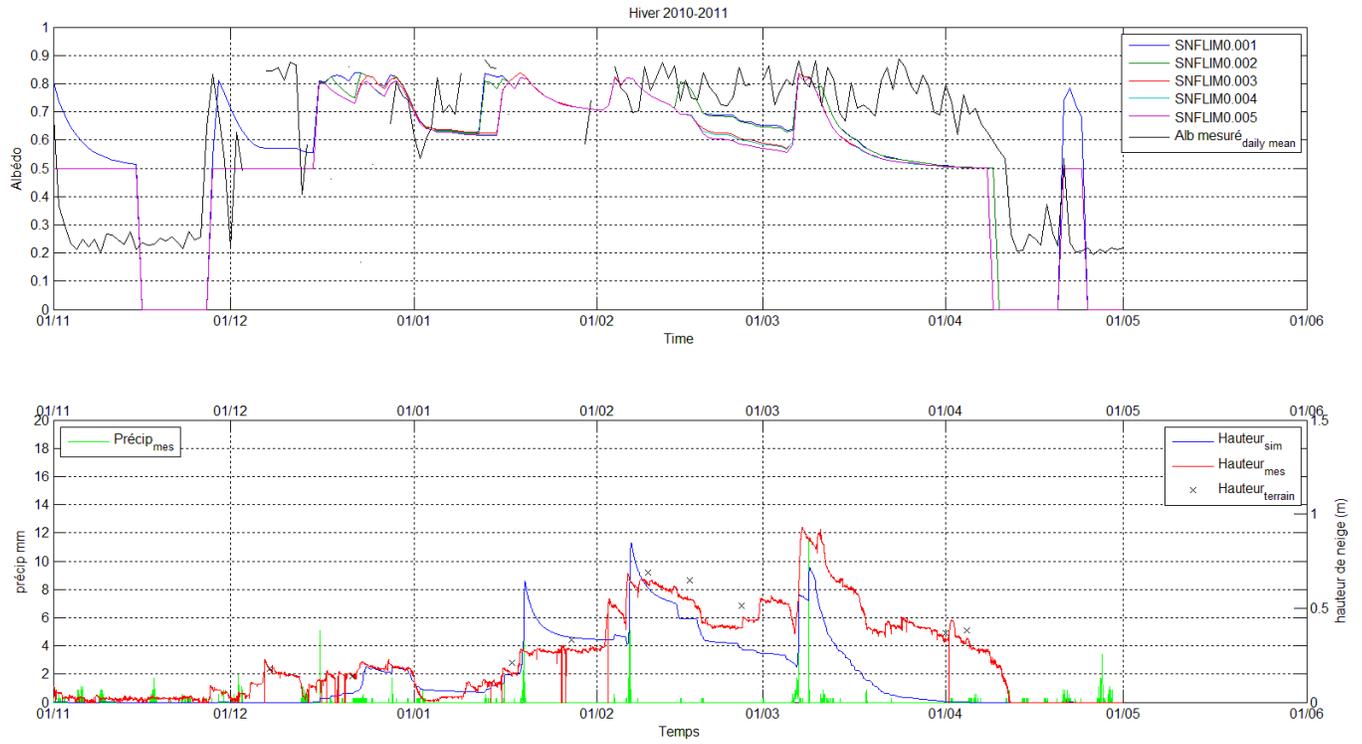


Figure 28. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec l'ÉEN. Pour l'hiver 2009-2010.



**Figure 29.** Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2010-2011.

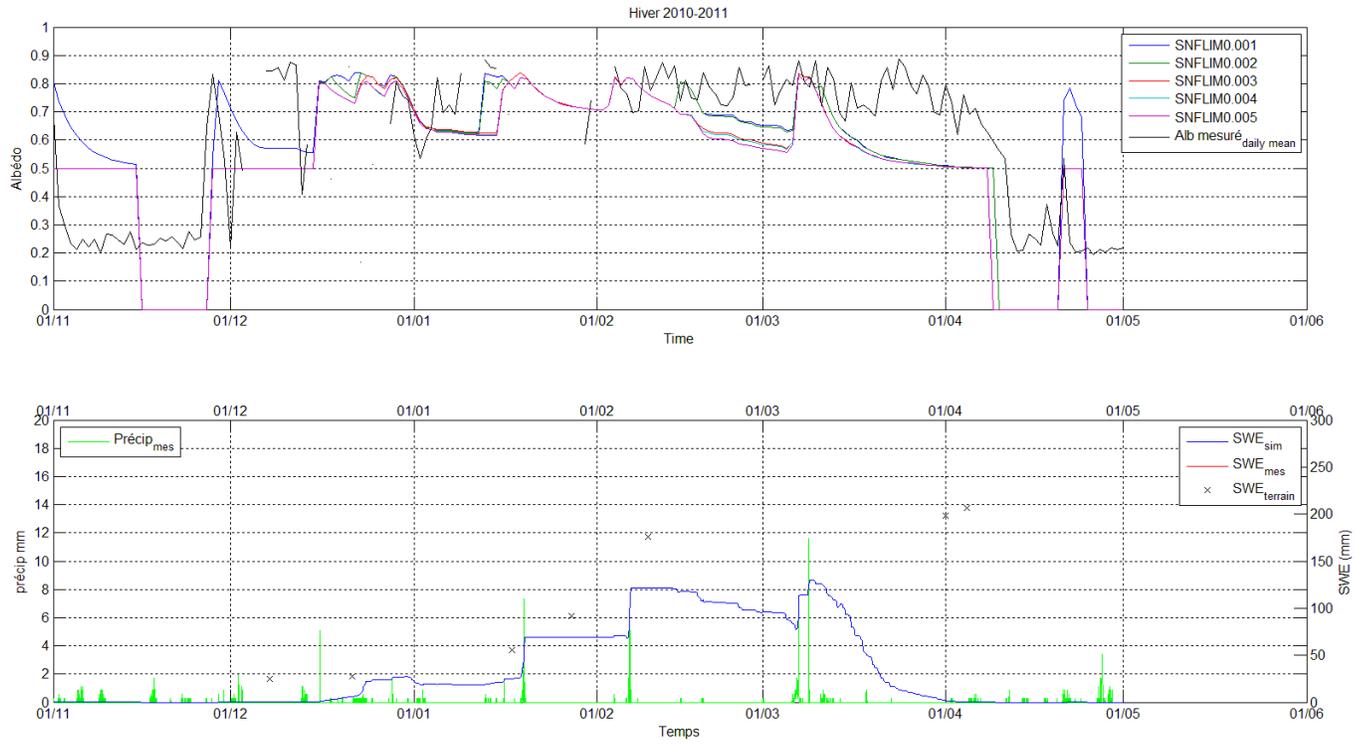


Figure 30. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec l'EEN. Pour l'hiver 2010-2011.

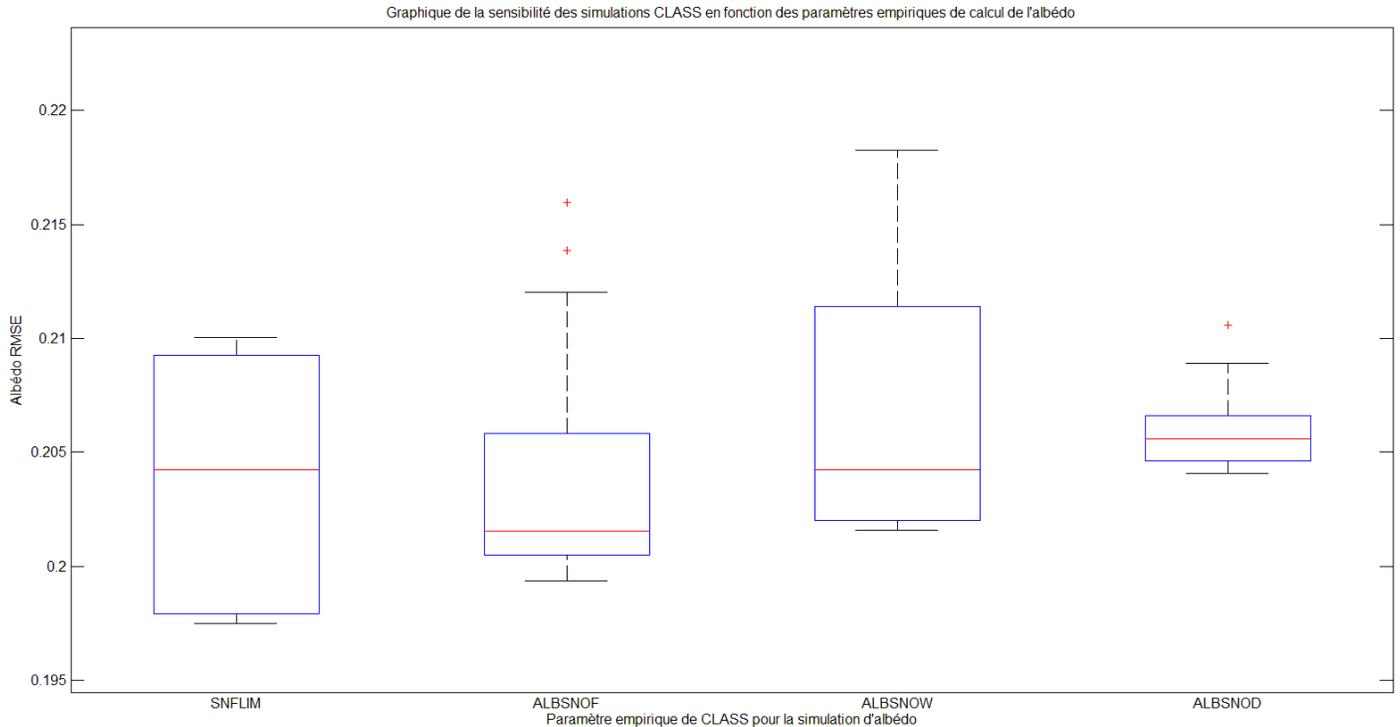


Figure 31. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec la hauteur de neige. Pour l'hiver 2011-2012.



Figure 32. Graphique des simulations d'albédo selon différents seuil de précipitation (SART), mis en relation avec l'ÉEN. Pour l'hiver 2011-2012.

Suite à l'observation temporelle de l'albédo simulé et observé, un RMSE a été fait pour chaque simulation et le diagramme en boîte suivant a été créé. Il est alors possible de voir la grande variation de l'albédo issue de la paramétrisation du SART. Aussi, la valeur de vieille neige humide peut entraîner les plus grandes erreurs de simulation de l'albédo.



**Figure 33. Graphique du [90,10] percentile des valeurs de RMSE pour chaque paramètre empirique de CLASS.**

Il est alors intéressant de vérifier comment varie l'erreur de RMSE selon les paramètres utilisés ainsi que la valeur optimale de chaque paramètre. Le paramètre de SART réagit différent des autres variables. Il se pourrait alors que certaines précipitations soient « critiques » et qu'elles influencent soudainement les simulations d'albédo. Il sera intéressant de comprendre les conditions dans lesquelles sont retrouvés ces événements de précipitation « critique », mais avant tous, les précipitations de SIRENE devront être validées. La station météorologie d'Environnement Canada situé à l'aéroport de Sherbrooke sera alors utilisée pour vérifier si les simulations de CLASS s'améliore avec une source de données externe.

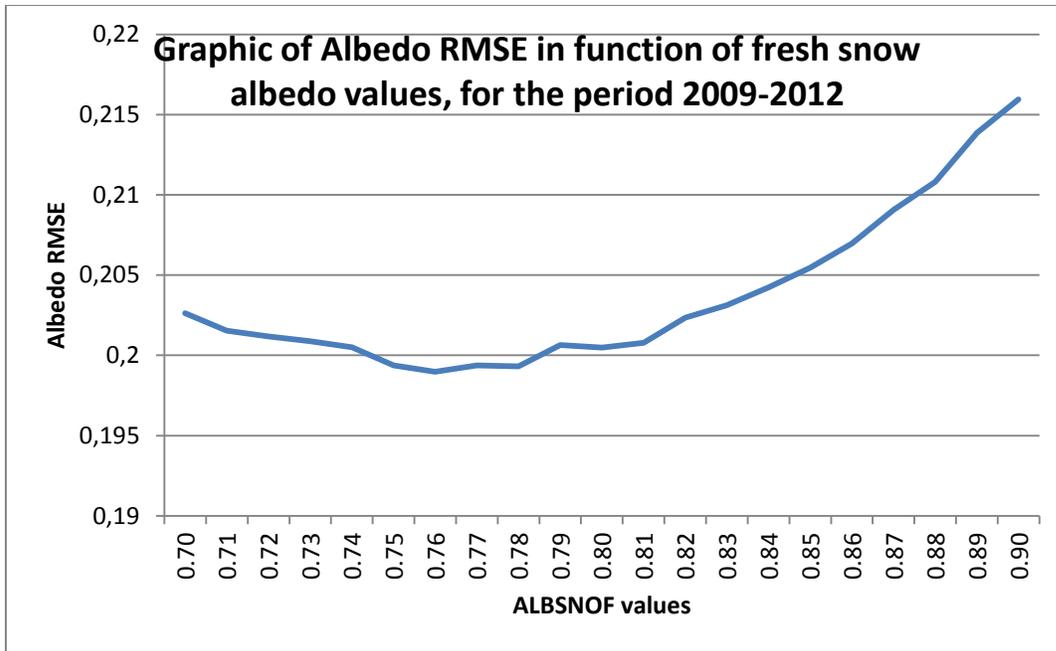


Figure 34. Graphique des résultats de RMSE d'albédo pour chaque simulation faisant varier l'albédo de neige fraîche.

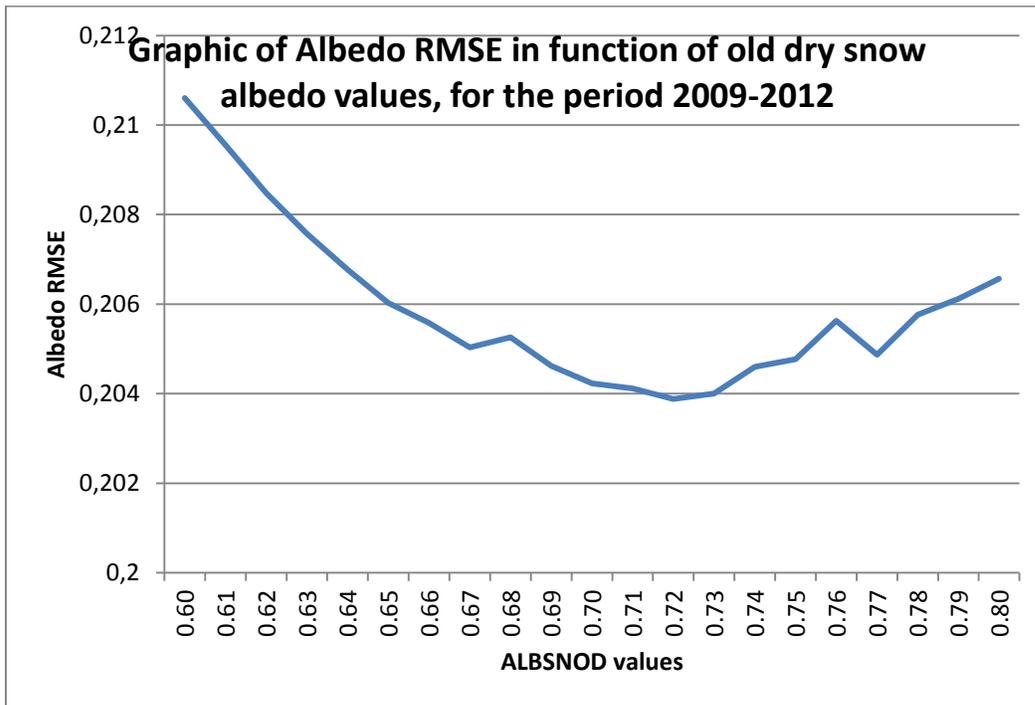


Figure 35. Graphique des résultats de RMSE d'albédo pour chaque simulation faisant varier l'albédo de vieille neige sèche.

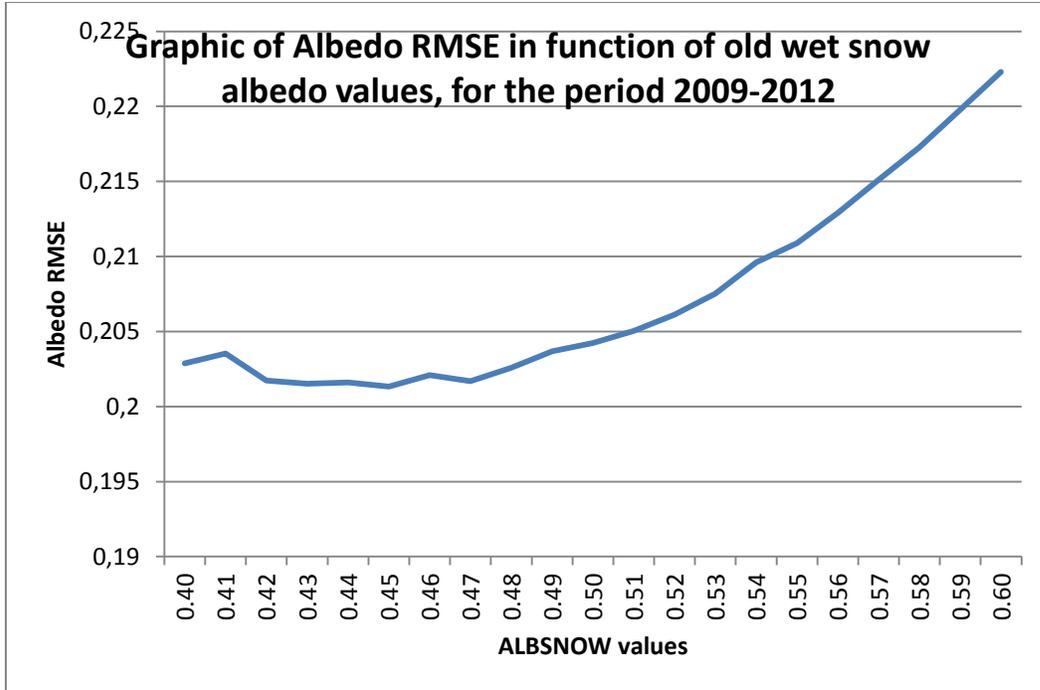


Figure 36. Graphique des résultats de RMSE d'albédo pour chaque simulation faisant varier l'albédo de vieille neige mouillée.

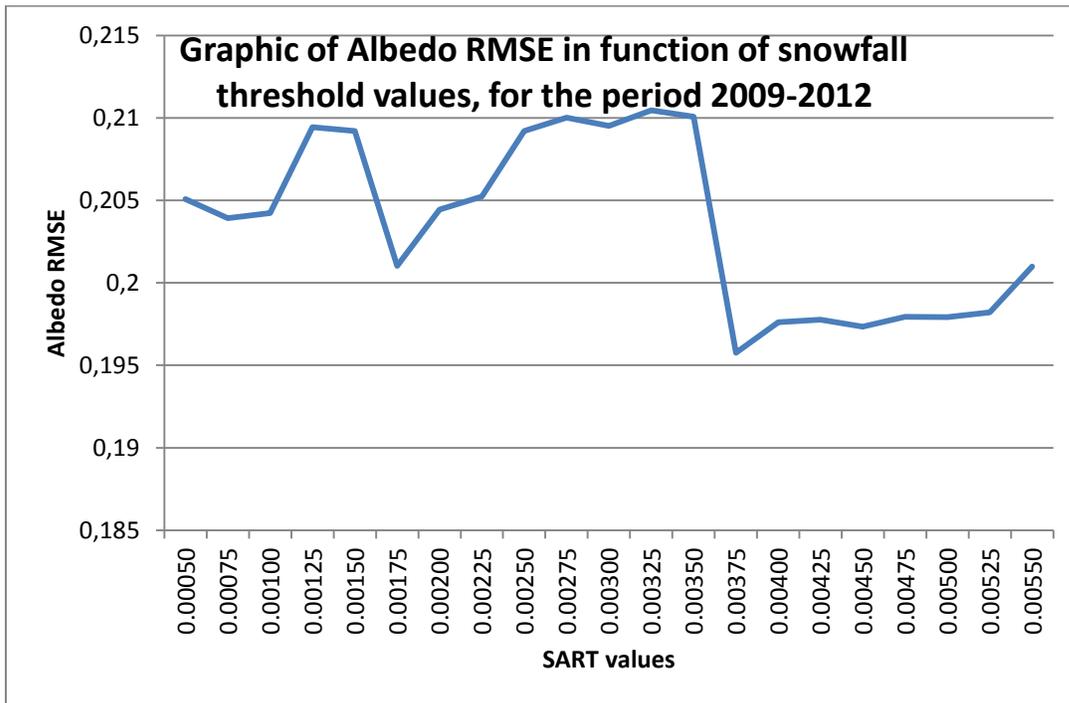


Figure 37. Graphique des résultats de RMSE d'albédo pour chaque simulation faisant varier l'albédo de seuil de précipitation (SART).

À la figure 37, une grande différence d'albédo se retrouve entre un SART de 3,5 mm et 4 mm, le phénomène est alors représenté à la figure suivante avec son impact sur l'albédo.

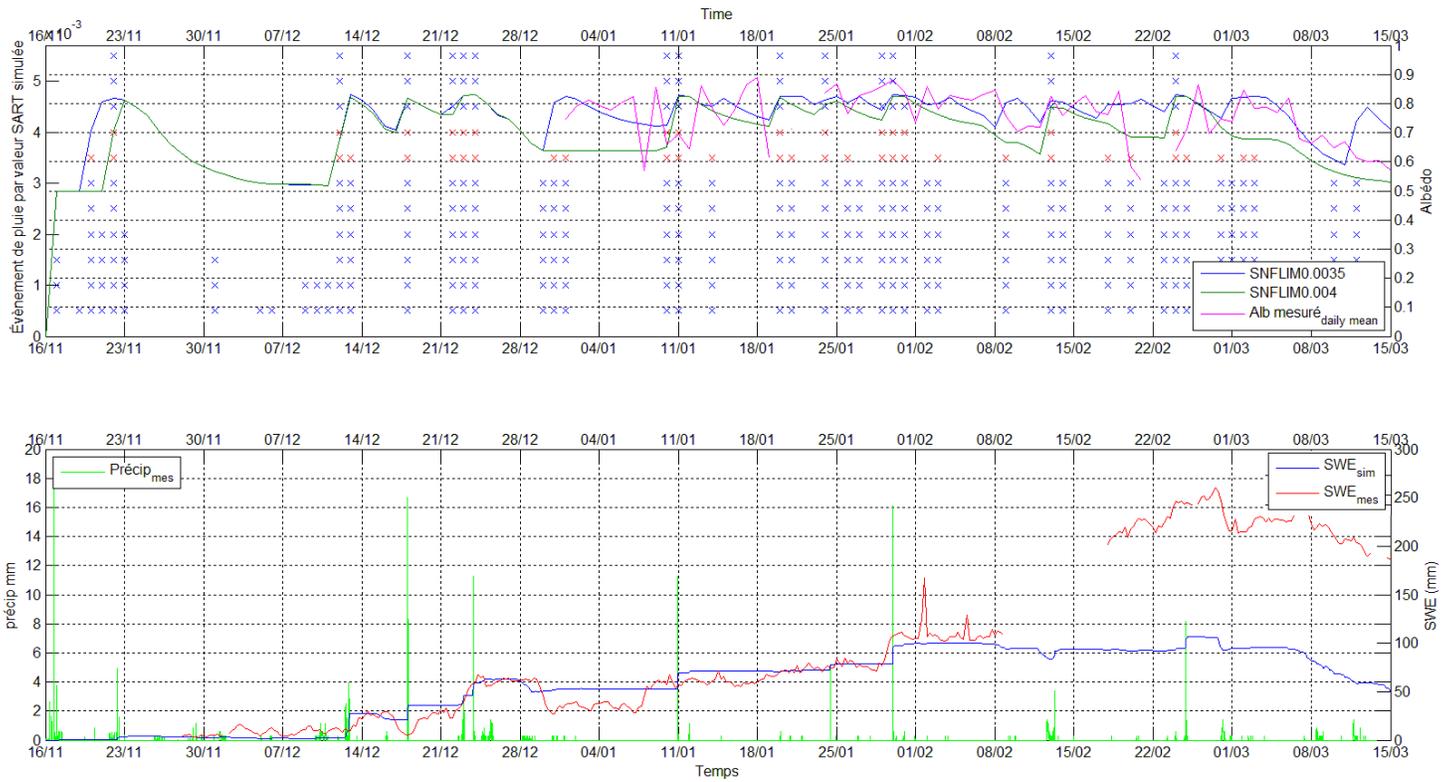


Figure 38. Graphique de comparaison du nombre d'évènements de précipitation « x » pour différent seuil de SART (sur l'axe des y) et illustration de l'impact sur l'albédo. Les « x » en rouge sont ceux dont l'albédo est représenté.

## Références

- Aoki, T. et al., 2011. Physically based snow albedo model for calculating broadband albedos and the solar heating profile in snowpack for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 116(D11), p.D11114. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2011/2010JD015507.shtml> [Accessed February 21, 2013].
- Bartlett, P.A., Mackay, M.D. & Verseghy, D.L., 2006. Modified Snow Algorithms in the Canadian Land Surface Scheme : Model Runs and Sensitivity Analysis at Three Boreal Forest Stands. , 43(3), pp.207–222.
- Brown, R. et al., 2010. Evaluation of snow cover in CLASS for SnowMIP Evaluation of Snow Cover in CLASS for SnowMIP. , (May 2013), pp.37–41.
- Caya, D. & Laprise, R., 1999. A Semi-Implicit Semi-Lagrangian Regional Climate Model : The Canadian RCM. , pp.341–362.
- Dutra, E. et al., 2010. An Improved Snow Scheme for the ECMWF Land Surface Model: Description and Offline Validation. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4), pp.899–916. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2010JHM1249.1> [Accessed May 29, 2013].
- Gardner, A.S. & Sharp, M.J., 2010. A review of snow and ice albedo and the development of a new physically based broadband albedo parameterization. *Journal of Geophysical Research*, 115(F1), p.F01009. Available at: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2009JF001444.shtml> [Accessed February 13, 2013].
- Harvey, R., 2013. Expériences MRCC 4.3.3 (CLASS 3.5a/b). , 3, pp.4–6.
- Music, B. & Caya, D., 2007. Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrometeorology*, 8(5), pp.969–988. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM627.1> [Accessed August 8, 2013].
- Pedersen, C. a. & Winther, J.-G., 2005. Intercomparison and validation of snow albedo parameterization schemes in climate models. *Climate Dynamics*, 25(4), pp.351–362. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00382-005-0037-0> [Accessed April 4, 2013].
- Roesch, A. et al., 2002. Comparison of spectral surface albedos and their impact on the general circulation model simulated surface climate. , 107(4), pp.1–18.

- Roy, a. et al., 2012. Snow specific surface area simulation using the one-layer snow model in the Canadian LAnd Surface Scheme (CLASS). *The Cryosphere Discussions*, 6(6), pp.5255–5289. Available at: <http://www.the-cryosphere-discuss.net/6/5255/2012/> [Accessed February 21, 2013].
- Royer, A. et al., 2012. Rapport d ' étape # 2. In pp. 1–8.
- Verseghy, D., 2012. Class – the canadian land surface scheme (version 3.6). , (February).
- Vionnet, V. et al., 2012. The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2. *Geoscientific Model Development*, 5(3), pp.773–791. Available at: <http://www.geosci-model-dev.net/5/773/2012/> [Accessed March 14, 2013].
- Wang, Z. et al., 2012. Evaluation of Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) snow albedo product (MCD43A) over tundra. *Remote Sensing of Environment*, 117, pp.264–280. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425711003506> [Accessed February 21, 2013].
- Wang, Z. & Zeng, X., 2010. Evaluation of Snow Albedo in Land Models for Weather and Climate Studies. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(3), pp.363–380. Available at: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2009JAMC2134.1> [Accessed March 7, 2013].
- Zhao, P., 2012. Validation of current Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) daily snow albedo product and spatial analysis based on multiple sensors. , (May).

## Annexe 1

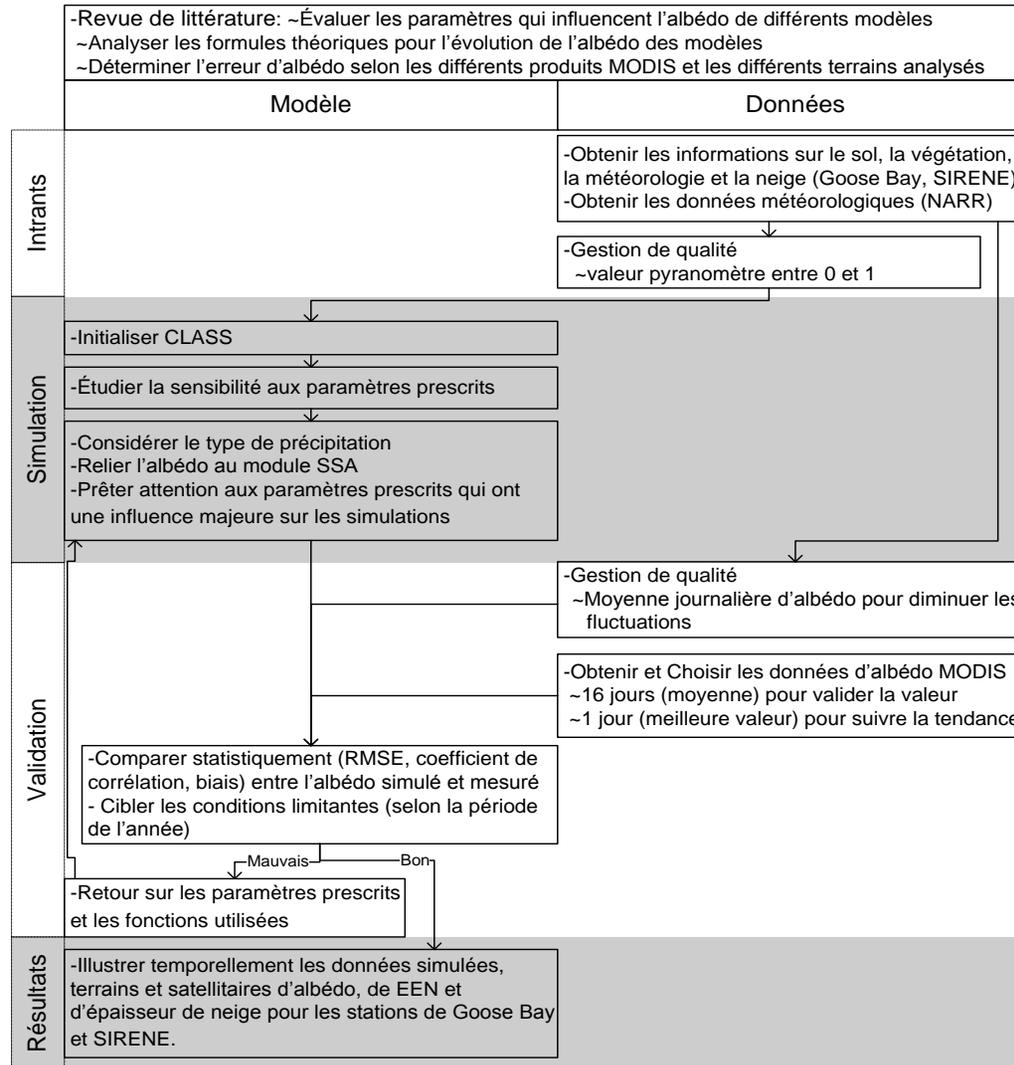


Figure 39. Organigramme général du projet. Les parties en rouge ont été accomplies dans le cadre du stage OURANOS.

Annexe 2

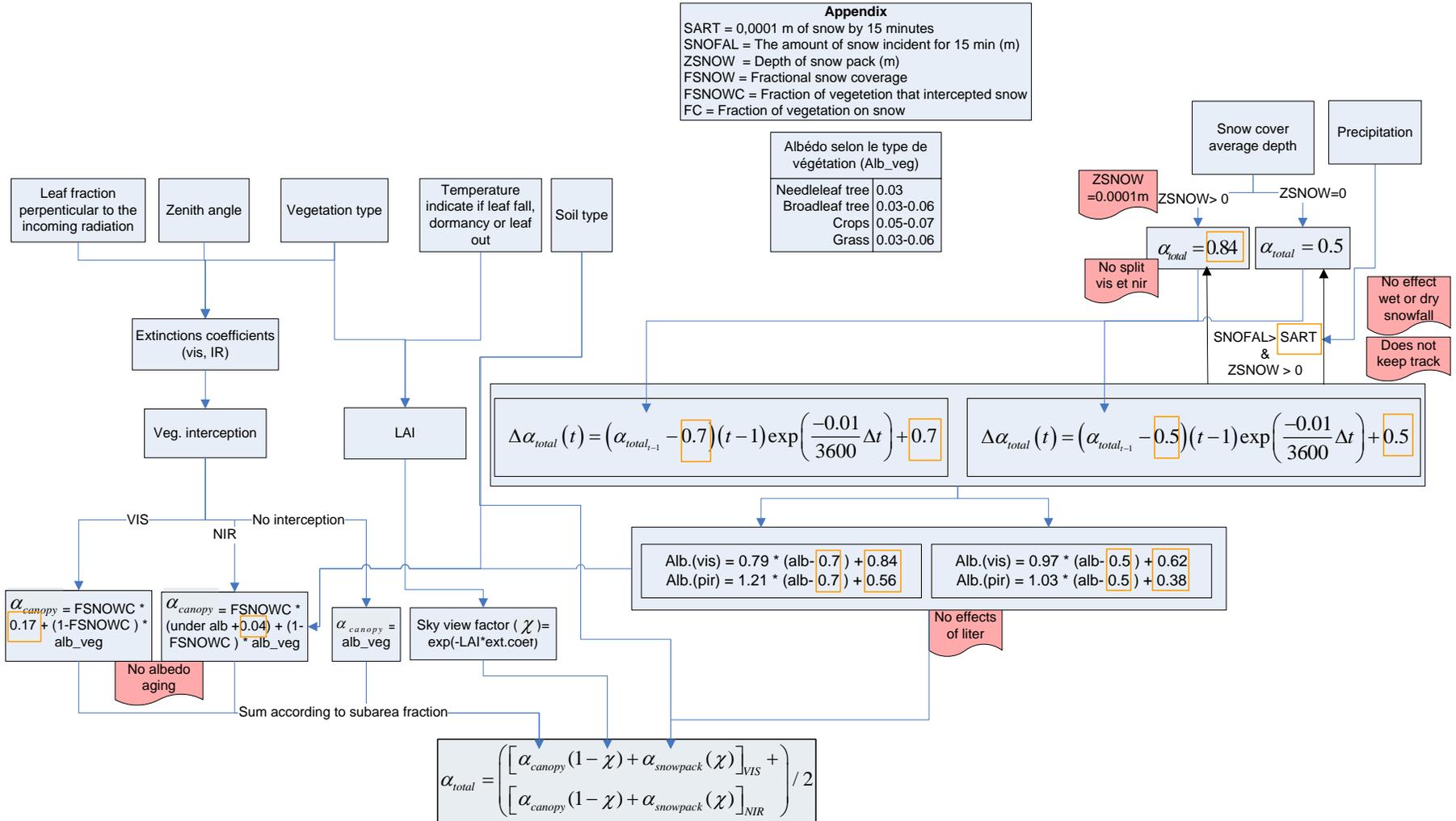


Figure 40. Organigramme du calcul de la valeur d'albédo de CLASS

## Annexe 3

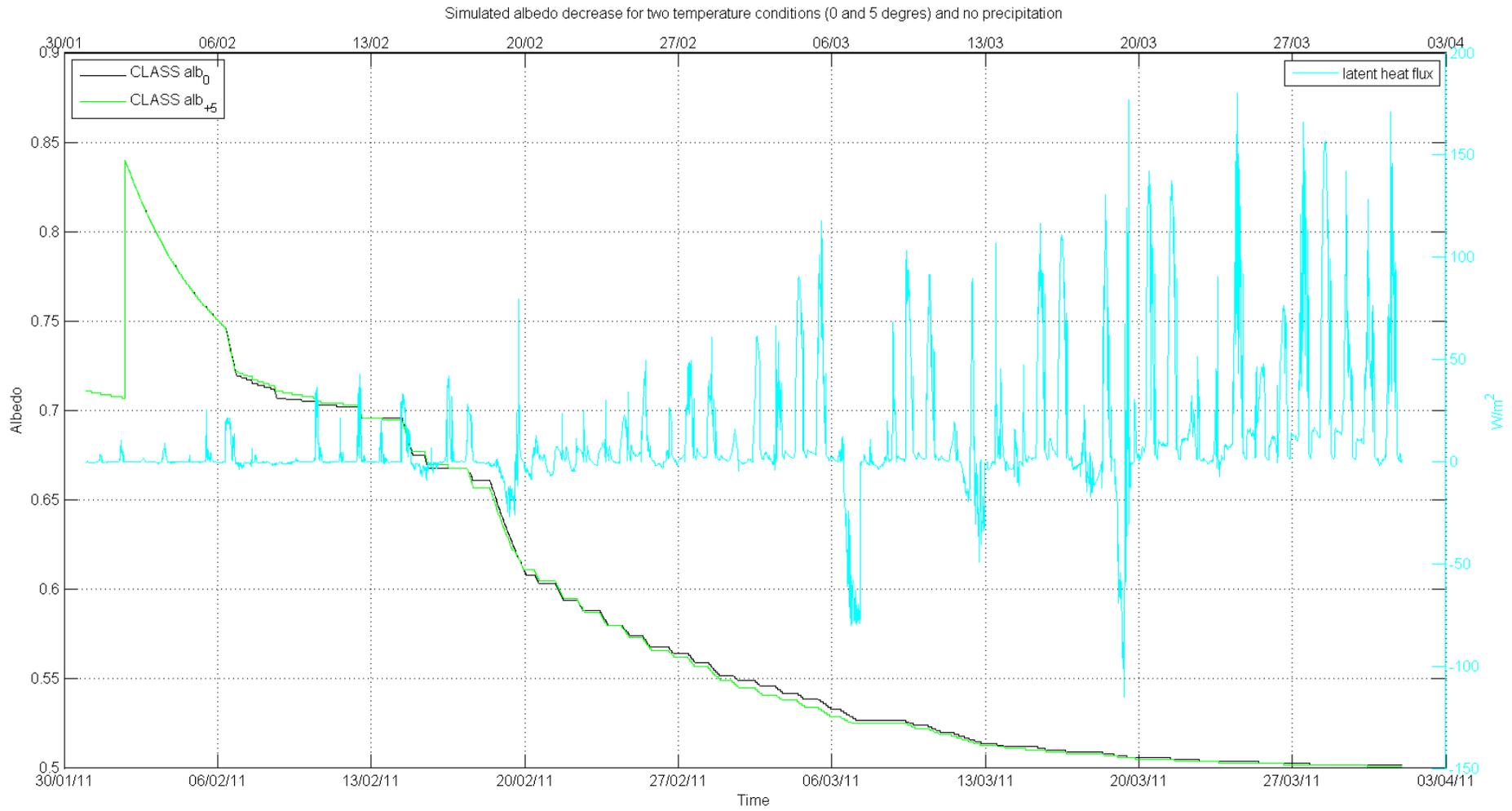


Figure 41. 2 Simulations selon une température de 0 ou de 5 degrés Celsius et sans précipitation pour créer des conditions de vieillissement ou de fonte dans CLASS

## Annexe 4

Tableau 2. Table des paramètres empiriques d'albédo de CLASS et d'autres modèles.

Models	Fresh snow albedo (max)	Melted snow albedo (min)	Old snow albedo	Albedo decay fonction	Threshold for refresh
CLASS (Verseghy 2012)	0.84	0.5	0.7	Non-melt: exponential decay with time Melt: exponential decay with time	0.001m of snow by 15minutes
ECMWF Land model (Wang & Zeng 2010)	0.85	0.5		Non-melt: constant decay with time Melt: exponential decay with time	1 kg m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
albedo adaptation of Hou et al. in NOAH for NCEP (Wang & Zeng 2010)	0.9 VIS and 0.75 NIR (diffuse snow albedo)			No aging, only function of snow fraction (related to SWE)	
NOAH in NCAR (Wang & Zeng, 2010)	0.95 VIS and 0.65 NIR			Linear function of grain growth and impurities	
CROCUS (Vionnet et al. 2012)	0.918 VIS	0.6 VIS, 0.3 NIR and 0.127 IR		Aging in function of impurities	
HTESSEL ECMWF (Dutra et al. 2010)	0.85 or 0.15 if shaded	0.5 or 0.15 if shaded		Non-melt: linear decay with time Melt: exponential decay with time	Continuous reset : $\min \left( 1, \frac{\text{Snowfall}_{(\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1})} \Delta t}{10} \right)$
UKMO (Pedersen & Winther 2005)	0.8	0.5		Linear function with temperature	
ECHAM4 Circulation Model (Roesch et al. 2002)	0.95 VIS and 0.65 NIR	0.57 VIS and 0.39 NIR		Linear function with temperature	
GISS (Pedersen & Winther 2005)	0.85			Exponential function of snow age	
ARPEGE with ISBA (Pedersen & Winther 2005)	0.85			Non-melt: constant decay with time Melt: exponential decay with time	
BATS (Pedersen & Winther 2005)	0.84			Linear dependence on snow age and non-linear dependence on solar zenith angle.	

## Annexe 5a

Tableau 3. Table des calculs pour la fraction de neige et l'albédo de différents modèles. Where f<sub>sn</sub>=snow fraction, α=albedo, W=SWE(m) (Snow Water Equivalent), Z<sub>sn</sub>=Snow depth (m)

Models	Snow fraction and albedo parameterization
CLASS (Verseghy 2012)	$f_{sn} = z_{sn} / 0.1m$ <p>if <math>z_{sn} &lt; 0.1m</math>. Else <math>f_{sn} = 1</math></p> $\alpha_{total} = \alpha_{canopy} (1 - \chi) + \alpha_{snowpack} (\chi)$ <p>where <math>\chi</math> = sky view factor of vegetation</p>
ECMWF Land model (Wang & Zeng 2010)	$f_{sn} = \min(1, \frac{W}{W_{cr}})$ <p>where <math>W_{cr}</math> (= 0.015m) is the minimal SWE for complete coverage</p>
NOAH land surface model (Wang & Zeng 2010)	$f_{sn} = 1 - \exp\left(-\alpha_s \frac{W}{W_{cr}}\right) + \frac{W}{W_{cr}} \exp(-\alpha_s)$ <p>where <math>\alpha_s</math> (= 2.6) is a distribution shape and <math>W_{cr}</math> (=0.04m for grass and =0.08 for forest) is the SWE threshold above which <math>f_{sn}</math> is 100%</p> $\alpha = \alpha_{sn-free} + f_{sn} (\alpha_{max} - \alpha_{sn-free})$
Hou et al. (2002) albedo adaptation implemented in NOAH for NCEP (Wang & Zeng 2010)	$f_{sn} = \frac{20 * W}{z_0 + 20 * W} f_H$ <p>where <math>z_0</math> is the roughness length, <math>f_H</math> is a shading factor (assumed as 1)</p> $\alpha_{dir}(\theta) = \alpha_{dif} \frac{1 + C}{1 + 2C \cos \theta}$ <p>where C varies between 0.4 and 0.1 according to vegetation type</p>
NOAH adaptation in NCAR (Wang & Zeng, 2010)	$f_{sn} = \frac{z_{sn}}{10 * z_0 + z_{sn}}$ <p>where <math>z_0</math> (=0.01m) is soil roughness</p>

	<p>if <math>SZA &lt; 60^\circ</math>, <math>\alpha_{dir} = \alpha_{dif}</math> where <math>SZA = \text{Solar Zenith Angle}</math></p> $\alpha_{dir,VIS}(\theta) = 0.95(1 - 0.2f_{age}) + 0.2 \left[ 1 - 0.95(1 - 0.2f_{age}) \right] \times \left( \frac{3}{1 + 4\cos\theta} - 1 \right)$ $\alpha_{dir,NIR}(\theta) = 0.65(1 - 0.5f_{age}) + 0.2 \left[ 1 - 0.65(1 - 0.5f_{age}) \right] \times \left( \frac{3}{1 + 4\cos\theta} - 1 \right)$ <p>where <math>f_{age} = \frac{1}{1 + \tau_{sn}}</math></p> <p>if <math>0 &lt; W \leq 800</math>, <math>\tau_{sn} = 1 \times 10^{-6} s^{-1} (r_1 + r_2 + r_3) \Delta t</math> OR if <math>W &gt; 800</math>, <math>\tau_{sn} = 0</math></p> <p>where <math>\Delta t = \text{time step (s)}</math>, <math>W = \text{SWE (kg m}^{-2}\text{)}</math></p> <p><math>r_1 = \text{grain growth (vapor diffusion)}</math>  <math>r_2 = \text{grain growth (near melting point)}</math>  <math>r_3 = \text{dirt and soot}</math></p>
<p>CROCUS (Vionnet et al. 2012)</p>	$\alpha_{0.3-0.8\mu m} = \max(0.6, \alpha_i - \Delta\alpha_{age})$ $\alpha_i = \left[ \min\left(0.92, 0.96 - 1.58\sqrt{d_{opt}}\right) \right]$ $\Delta\alpha_{age} = \left[ \min\left(1, \max\left(0.5, \frac{P}{870hPa}\right)\right) * 0.2 \frac{A}{60} \right]$ <p>where <math>A(\text{day})</math> is snow surface age, <math>P</math> is mean pressure and <math>d_{opt}</math> is empirically derived from snow grain dendricity, size and sphericity according to it dendritic context</p> $\alpha_{0.8-1.5\mu m} = \max(0.3, 0.9 - 15.4\sqrt{d_{opt}})$ $\alpha_{1.5-2.8\mu m} = 346.3d' - 32.31\sqrt{d'} + 0.88$ <p>where <math>d' = \min(d_{opt}, 0.0023)</math></p>
<p>HTESEL ECMWF (Dutra et al. 2010)</p>	$C = \min\left(1, \frac{W}{15}\right)$ <p>where <math>W</math> is SWE but with the following unit (<math>\text{kg m}^{-2}</math>)</p>

ECHAM4 Circulation Model (Roesch et al. 2002)	$\alpha = \frac{\alpha_{VIS} * SW_{VIS,inc} + \alpha_{NIR} * SW_{NIR,inc}}{SW_{VIS,inc} + SW_{NIR,inc}}$ <p>where inc is for incoming and SW for ShortWave</p>
UKMO (Pedersen & Winther 2005)	Exponential decay function of W
GISS (Pedersen & Winther 2005)	Exponential decay function of W
ARPEGE with ISBA (Pedersen & Winther 2005)	Non-linear function of W
Bats (Pedersen & Winther 2005)	Tanh function of $z_{sn}$

## Annexe 5b

Tableau 4. Table des calculs pour le vieillissement de l'albédo en condition de fonte ou de simple vieillissement pour différents modèles.  $\alpha$ =Albédo

Models	Melting parameterization	Normal condition aging
CLASS (Verseghy 2012)	$\Delta\alpha_{total}(t) = (\alpha_{total,t-1} - 0.5)(t-1)\exp\left(\frac{-0.01}{3600}\Delta t\right) + 0.5$	$\Delta\alpha_{total}(t) = (\alpha_{total,t-1} - 0.7)(t-1)\exp\left(\frac{-0.01}{3600}\Delta t\right) + 0.7$
ECMWF Land model (Wang & Zeng 2010)	$\alpha = (\alpha - \alpha_{min}) * \exp(-0.24\Delta t/86400) + \alpha_{min}$	$\alpha = \alpha - \tau_a \Delta/86400$ $\tau_a = 0.008$ when $\alpha$ decrease by 0.1 in 12.5 days
NOAH adaptation in NCAR (Wang & Zeng, 2010)	(Refers to Annexe 5a) $\tau_{sn} = 1 \times 10^{-6} s^{-1}(r_1 + r_2 + r_3)\Delta t$	(Refers to Annexe 5a) $\tau_{sn} = 0$
HTESSEL ECMWF (Dutra et al. 2010)	when $T_{sn} \geq T_f - 2$ or when snow melting( $kg\ m^{-2}s^{-1}$ ) where $T_{sn}$ (K) is the snow temperature and $T_f$ is the increased snow temperature inertia $\alpha^{t+1} = (\alpha^t - \alpha_{min}) * \exp\left(\frac{-\tau_f \Delta t}{\tau_1}\right) + \alpha_{min}$ where $\tau_f$ (0.24) and $\tau_1$ (86400 s) are time scales	$\alpha^{t+1} = \alpha^t - \frac{-\tau_a \Delta t}{\tau_1}$ where $\tau_a$ (0.008) is a linear coefficient and $\tau_1$ (86400 s) is time scale (ECMWF, 2013)
ECHAM4 Circulation Model (Roesch et al. 2002)	No differentiation	Linear function of temperatures between -5°C to 0°C
UKMO (Pedersen & Winther 2005)	No differentiation	Linear function of temperatures between -2°C to 0°C
GISS (Pedersen & Winther 2005)	No differentiation	Exponential decay function of snow age
ARPEGE with ISBA (Pedersen & Winther 2005)	Exponential decay with time	Constant decay with time
Bats (Pedersen & Winther 2005)	No differentiation	Linear dependence on snow age (function of SWE) and non-linear dependence on solar zenith angle.

## Annexe 6

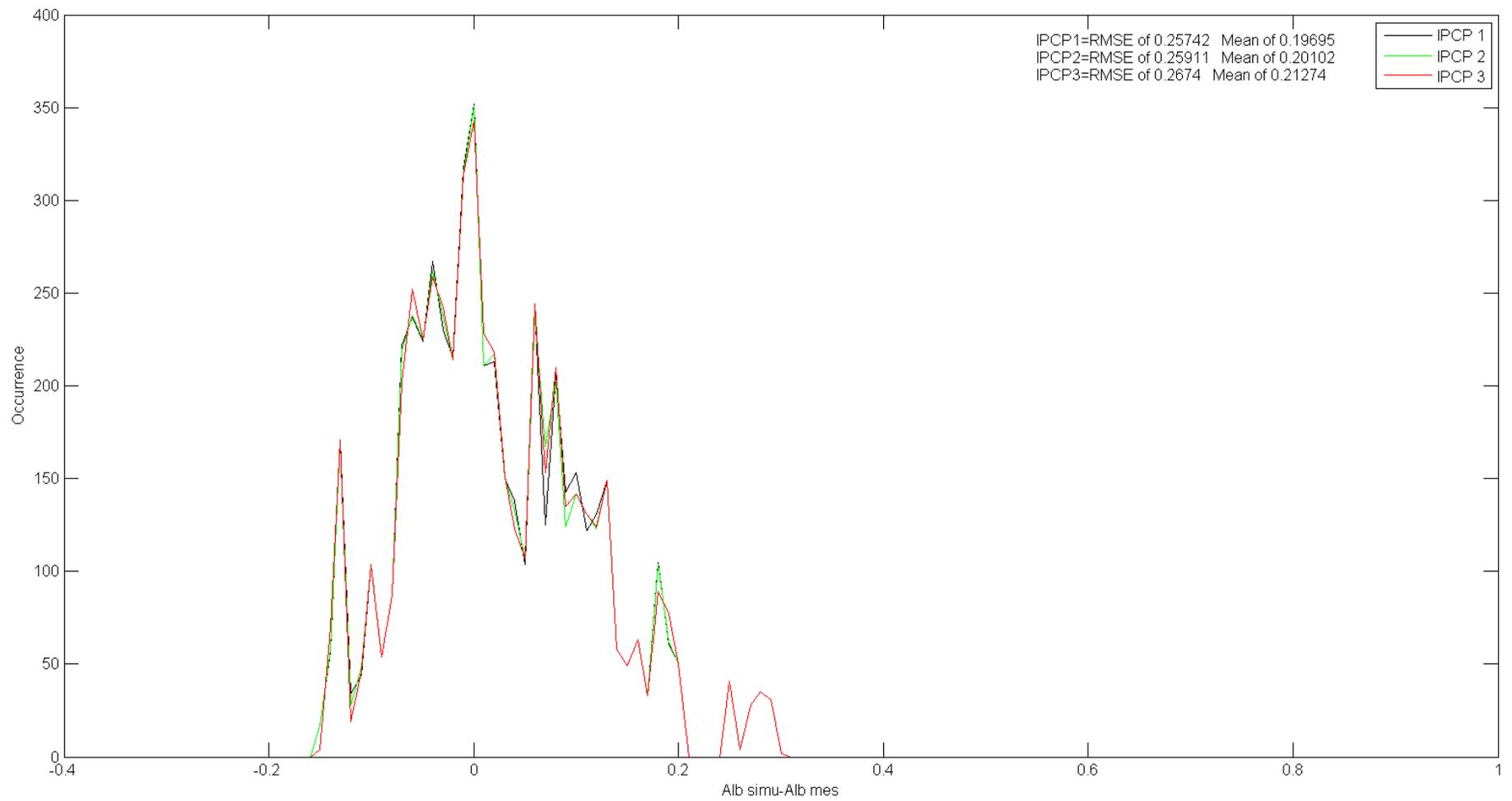


Figure 42. Graphique de l'occurrence de l'erreur pour chaque valeur d'albédo selon l'IPCP en plus des valeurs statistiques de RMSE et de la moyenne des biais pour chaque IPCP.