UNIVERSITÉ DE FRIBOURG
UNIVERSITÄT FREIBURG

Département de Géosciences, Unité de Géographie

Departement für Geowissenschaften, Einheit Geographie

Cartographier les glaciers couverts de débris dans les groupes du Mischabel et de l'Aiguille d'Argentière

GG.0362 – Travail de recherche en géographie

Mai 2015

Superviseurs :

PhD Student Mauro Fischer

University of Fribourg

Office 336

Chemin du Musée 4

1700 Fribourg

mauro.fischer@unifr.ch

Dr. Matthias Huss

University of Fribourg

Office 334

Chemin du Musée 4

1700 Fribourg

matthias.huss@unifr.ch



Allalingletscher (*swissEduc 2005*)

Lamperti Davide

Via al pozzo 5

6932 Breganzona

davide.lamperti@unifr.ch

10-955-136

Bref Résumé

Plusieurs glaciers des Alpes Suisses sont recouverts par du débris rocheux dans leur zone d'ablation. Ceux-ci proviennent de parois rocheuses qui entourent les glaciers. La taille et la quantité de ce débris sont très variables d'un glacier à l'autre, leur épaisseur pouvant varier de quelque centimètre à plusieurs mètres notamment au niveau du front du glacier (*Mihalcea et al. 2008*). L'impact de ce débris sur le bilan de masse global et les mécanismes mis en jeux par et au sein de la couverture détritique sont encore mal compris (*Gardelle.J 2013*), mais des études ont souligné l'influence (soit positif, soit négatif) que le débris rocheux en place peut avoir sur le bilan de masse des glaciers. Le but de ce travail a été de cartographié le débris rocheux (en distinguant débris rocheux entier et partiel) sur un échantillon de glaciers suisses en partant des images aériennes. Afin de produire des outlines exploitable sur le SGI2010 (le nouveau Swiss glacier inventory). En autre ce travail a souligné que la cartographie de la couverture détritique grâce aux images aériennes peut être effectuée avec précision en suivant une certaine méthodologie.

Table de matière

Table des figures : 3
Table des tableaux : 4
1. Introduction 5
2. Régions d'étude 8
2.1. Les groupes des Mischabels. 8
2.2. Aiguille de l'Argentière 9
3. Problématique 9
4. Méthodologie 11
4.1. Matériel utilisé 11
4.2. Méthode utilisée 11
4.2.1. « Entirely debris-covered glaciers » 12
4.2.2. « Partially debris-covered glaciers » 14
4.3. Problèmes rencontrés 14
4.3.1. Images aériennes 15
4.3.2. Entirely debris-covered 15
4.3.3. Partially debris-covered 16
4.3.4. SGI2010 16
4.4. Analyse 17
4.4.1. Analyse quantitative 18
4.4.2. Analyse qualitative 18
5. Résultats 19
5.1. Cartographie du Mischabel 19
5.1.1. Glaciers analysés sur le DInSAR inventory. 19
5.1.2. Intersection avec le DInSAR Inventory. 21
5.1.3. Intersection avec le "partially et entirely debris covered" sur le DInSAR Inventory 21
5.1.4. Glacier analysés sur le SGI2010 23
5.1.5. Intersection avec le SGI2010 24
5.1.6. Intersection avec le "partially et entirely debris covered" sur le SGI2010 27
5.2. Cartographie de l'Aiguille d'Argentière 29
5.2.1. Glaciers analysés. 29
5.2.2. Intersection avec le SGI2010 30
5.2.3. Intersection avec le "partially et entirely debris covered". 31
5.3. Valeur de débris présent à l'intérieur du SGI2010 33
5.4. Problème rencontré. 36

6. Interprétation 36
6.1. Corrélation entre les divers inventaires. 36
6.2. Valeurs du “debris covered” à l’intérieur du SGI2010. 39
6.3. Précision dans la cartographie du “debris covered” grâce aux ortho-photo. 39
7. Conclusion 41
8. Bibliographie 42
9. Annexes 44
9.1. Figure 44
9.2. Tableaux 45

Table des figures :

Figure 1 : Région d’étude 8
Figure 2 : Indice utilisée pour la localisation du débris rocheux entier 13
Figure 3 : Représentation du débris rocheux partiel 14
Figure 4 : Problème dans la visualisation du débris au-traverse les images aériennes 15
Figure 5 : Problème dans la visualisation du “Entirely debris covered” 16
Figure 6 : Glaciers délimité sur le DInSAR Inventory avec aucune présence de débris rocheux 20
Figure 7 : Débris rocheux partiel délimité sur le DInSAR inventory 22
Figure 8 : Débris rocheux entier délimité sur le DInSAR inventory 23
Figure 9 : Glaciers délimité sur le SGI2010 avec aucune présence de débris rocheux 24
Figure 10 : Glaciers avec des valeurs de Rel.Diff extrème sur le SGI2010 26
Figure 11 : Débris rocheux partiel délimité sur le SGI2010 27
Figure 12 : Débris rocheux entier délimité sur le SGI2010 28
Figure 13 : Glacier délimité sur le SGI2010 sans aucune présence de débris rocheux 30
Figure 14 : Débris rocheux partiel délimité sur le SGI2010 pour le massif de l’Argentière 31
Figure 15 : Débris rocheux entier délimité sur le SGI2010 pour le massif de l’Argentière 32
Figure 16 : Pourcentage de débris rocheux partiel présent sur le SGI2010 33
Figure 17 : Glacier avec des grands pourcentages de débris par rapport à leur surface 34
Figure 18 : Pourcentage de débris rocheux entier présent sur le SGI2010 34
Figure 19 : Surface de débris rocheux entier en Km^2 présent sur le SGI2010 35
Figure 20 : Surface de débris rocheux partiel en Km^2 présent sur le SGI2010 36
Figure 21 : Précision entre les divers inventaires 38
Figure 22 : Tonalité de couleur pour le débris rocheux partiel 40
Figure 23 : Difficulté dans la délimitation du débris rocheux entier 40
Figure 24 : Glaciers délimité sur le DInSAR Inventory qui ne possèdent pas du débris entier 44

Figure 25 : Glaciers délimité sur le SGI2010 qui ne possèdent pas du débris partiel 44

Table des tableaux :

Tableau 1 : Valeurs de débris rocheux délimité sur le DInSAR inventory 21
Tableau 2 : Valeurs de débris rocheux délimité sur le SGI2010 pour le massif du Mischabel 25
Tableau 3 : Valeurs de débris rocheux délimité sur le SGI2010 pour le massif de l'Argentière 30
Tableau 4 : DInSAR Inventory 45
Tableau 5 : Glaciers composant le groupe de l'Aiguille de l'Argentière selon le SGI2010 46
Tableau 6 : Glaciers composant les groupes du Mischabel selon le SGI2010 47
Tableau 7 : Echantillon de 48 glaciers du Mischabel 48
Tableau 8 : Glacier délimité sur le DInSAR inventory avec débris rocheux partiel 49
Tableau 9 : Pourcentage de débris sur le DInSAR inventory 51
Tableau 10 : Glacier délimité sur le DInSAR Inventory avec débris rocheux entier 51
Tableau 11 : Valeur totale de débris rocheux pour le SGI2010 52
Tableau 12 : Glacier délimité sur le SGI2010 avec débris rocheux partiel 52
Tableau 13 : Surface de débris partiel totale pour chaque glacier sur le groupe du Mischabel 53
Tableau 14 : Surface de débris entier présent sur le SGI2010 pour le massif du Mischabel 54
Tableau 15 : Surface de débris entier totale pour chaque glacier sur le groupe du Mischabel 55
Tableau 16 : Valeur pour les deux typologies de débris pour le massif de l'Argentière 56
Tableau 17 : Débris rocheux partiel à l'intérieure du SGI2010 sur le massif de l'Argentière 56
Tableau 18 : Débris rocheux entier à l'intérieure du SGI2010 sur le massif de l'Argentière 57
Tableau 19 : Valeurs totales de débris rocheux entier pour le groupe de l'Argentière 57
Tableau 20 : Valeurs totales de débris rocheux partiel pour le groupe de l'Argentière 58
Tableau 21 : Valeur concernant la marge d'erreur dans l'exportation des données 58
Tableau 22 : Rapport entre la surface de glace et la surface de débris pour chaque inventaire 59

1. Introduction

Les glaciers dans les dernières années ont suscité un grand intérêt scientifique et public, considérés comme des importants indicateurs de changements climatiques. Dans certaines nations ils jouent un rôle important au niveau économique pour le tourisme, l'agriculture et la production hydroélectrique (*Knoll.C, Kerschner.H, 2009*).

Pour la totalité des glaciers des Alpes européennes, une perte de masse rapide et un retrait est signalé depuis la moitié des années 1980 (*e.g. Paul et al., 2011 ; Huss, 2012*).

L'accélération de la fonte des glaciers observée sur les Alpes européennes dans les dernières décennies a porté à la création de plusieurs inventaires qui peuvent aider à comprendre la variation spatio-temporelle des changements glaciaires (*Fischer et al., 2014*).

La reconstruction effectuée à travers un modèle pour la situation glaciaire de 1850 indiquait que sur les alpes Suisses il y avait une surface de 1735km^2 (*Maisch et al., 2000*). Sur un autre inventaire développé pour l'année 1973 la surface totale avait perdu 428 km^2 (*Fischer et al.,2014).*

Le dernier inventaire des glaciers Suisses (SGI2010) produit par *Fischer et. al 2014*, (produit grâce à une digitalisation manuelle des orthophotos aériennes) a permis d'avoir une bonne vue d'ensemble sur l'actuelle situation glaciaire des Alpes Suisses. La surface totale mise en évidence par cet inventaire équivaut à 944.33 km^2 ce qui correspond à une diminution de 27.7% par rapport aux mensurations de 1973 (*Fischer et al., 2014*).

Le logiciel ARCGIS a permis de délimiter 1420 glaciers, et de constater une diminution de 733 glaciers qui ont disparus depuis 1973 (*Fischer et al., 2014*). Dans plusieurs glaciers suisses il y a une forte présence de couverture rocheuse sur la zone d'ablation. Dans certain cas, la correcte délimitation du glacier devient problématique (Fischer et al., 2014). Plusieurs études précédentes (*Knolland Kerschner, 2009 ; Diolaiuti et al., 2012 ; Falaschi et al., 2013*) ont souligné le problème de l'individuation de la glace au-dessous de la couverture rocheuse. Ces débris sont problématiques pour pouvoir évaluer correctement la position du front du glacier, car ils se confondent bien souvent avec ceux qui constituent les moraines frontales et latérales (*Racoviteanu et al.*, 2009).

Frey et Al. 2012 (pendant la production d'un inventaire des glaciers de la partie occidentale de l'Hymalaya grâce aux images satellitaires), ont montré la possibilité de cartographier le "debris - covered" grâce à l'interférométrie radar (*Fischer et Al, 2014*).

Celle-ci est réalisable grâce à une comparaison entre deux images satellitaires représentant la même aire, prise avec le même angle local d'incidence mais avec un intervalle de temps (*Fischer et al., 2014*) choisi. Ce phénomène de décorrélation s'observe grâce aux couleurs contrastées pour chaque pixel voisin dans l'interférogramme (*Fischer et al., 2014*) ; ce qui indique si il y a eu un changement.

Pendant la saison de fusion, la décorrélation est assurée par la couche de neige humide et par l'eau présente sur la surface du glacier (*Delaloye et al., 2007*), d'où l'importance de prendre les images soit en hiver soit à la fin de l'été. Pour une analyse du débris rocheux il est inutile d'utiliser des images des mois hivernaux, vu l'accumulation de neige sur la surface glaciaire.

Delaloye et al., 2007 ont démontré que le laps de temps nécessaire pour voir un mouvement glaciaire couvert par des débris, grâce à l'interférométrie radar, en été, doit être supérieur à un jour.

Pour le SGI2010 un test de contrôle a été fait. Un échantillon de 48 glaciers du groupe du Mischabel a été analysé ainsi grâce à une digitalisation manuelle des images DInSAR avec un intervalle de temps de 11 jours (*Fischer et al., 2014*). Cette délimitation a donné une surface totale de 81.7 km^2. Une comparaison avec le SGI2010 a montré qu'il y avait une différence de 2.9km^2 correspondant à un pourcentage de 3.7% sur une surface d'étude de 81.7 km^2 : dans le SGI2010 le même échantillon des glaciers appartenant au massif des Mischabels avaient une aire totale de 78.8km^2 (*Fischer et al., 2014*).

L'accumulation de débris a eu lieu principalement pendant le petit âge glaciaire sur les moraines latérales. Dans le contexte contemporain, le changement climatique peut influencer la coulée de débris causée par le retrait glaciaire, qui en conséquence expose une large quantité de sédiments non consolidées qui peuvent être disposés sur le glacier. (Chiarle et. al. 2007). En général aujourd'hui le débris sur les glaciers provient de parois rocheuses qui sont sujettes à des altérations intenses (*Maisch et al. 1999*).

Lorsque la pente locale du glacier et raide le débris (sous forme des chute de pierre et avalanche de débris) glisse généralement plus en bas jusqu' à ce qu'une pente plus douce permet l'accumulation (*Paul.F et al., 2004*). Par contre, lorsque la zone d'accumulation est grande et la pente moins raide la plupart des débris reste dans la zone d'accumulation. Dans ce cas la masse de débris sera déplacée pendant des années dans la zone d'ablation grâce à

l'écoulement glaciaire. Les masses de débris dans la zone d'ablation forment une couverture terminale (*Ackert. 1998*).

Ce travail présentera une cartographie des "debris covered glaciers" (glacier couverte par du débris rocheux de surface variable entre quelque centimètre à quelque mètre (*e.g., Ackert et al.1998; Kääb and Weber, 2004*)), effectuée sur le massif du Mischabel et de l'Aiguille de l'Argentière appartenant aux Alpes Suisses. Le débris sera catalogué en analysant des images aériennes (orthophotos) et sera subdivisé selon deux classes indiquant des effets différents (produit par le débris) sur la fusion du glacier. Ensuite, des comparaisons avec des inventaires concernant les glaciers de la même région d'étude (SGI2010 et DInSAR inventory) seront effectués. Le but sera de comprendre si une digitalisation manuelle correcte du débris rocheux grâce à des orthophotos est suffisante pour mettre en place des données précises et vraies. Avec un résultat positif il y aura la possibilité d'examiner le débris rocheux sur l'ensemble totale des glaciers composant le SGI2010, et qui donnera la possibilité ensuite d'utiliser le "debris covered" comme paramètre, afin de mieux modéliser les changements futurs des glaciers.

2. Régions d'étude

Les deux régions d'étude (v.Fig1) sont situées dans le canton du Valais, la première la région, celle du Mischabel présente dans le Haut - Valais et la deuxième celle de l'Aiguille de l'Argentière localisée dans le Bas - Valais

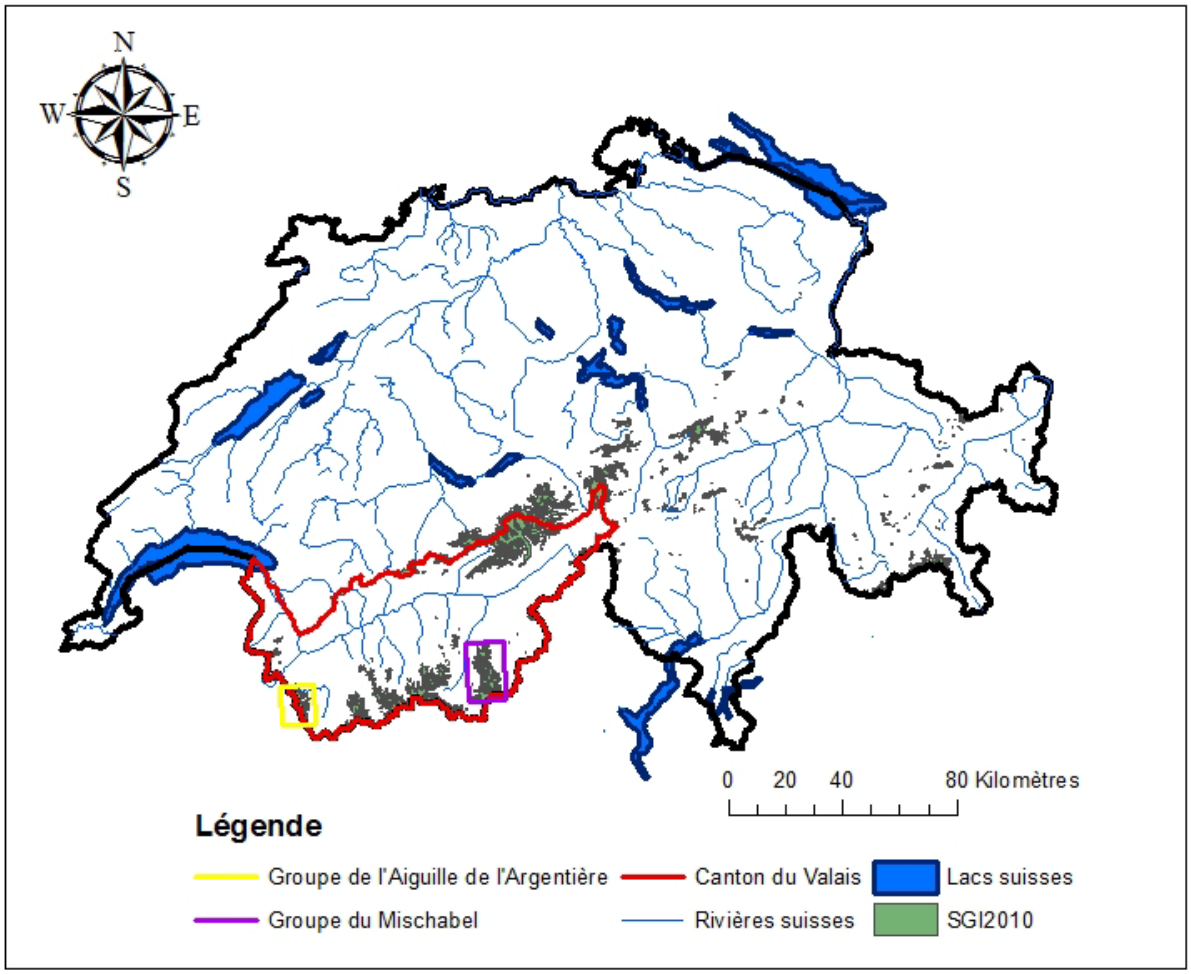

Figure 1 : Dans la figure 1 sont montrés les deux massifs étudiés à l'intérieur du contexte glaciohydrologique Suisse.

2.1. Les groupes des Mischabels.

La région du Mischabel est située entre le Mattertal (vallée de Zermatt) à est et le Saastal à l'ouest (vallée de Saas Fee).

La cartographie de la région du Mischabel comprend 67 glaciers répertoriés dans le DInSAR Inventory (*Fischer et.al., 2014*), dont 64 indiqués comme glaciers et trois signalé comme *dead ice.* Dans cette région connue comme une des plus riches régions glaciaires de la Suisse sont localisables différents glaciers sur tous les versants des montagnes qui constituent le Massif. Ces glaciers ont plusieurs dimensions, le plus grand est celui du Findelen avec une surface de 14.19 km^2 en 2010 (*Fischer et al., 2010*). Les différentes montagnes qui composent le groupe du Mischabel possèdent des hauteurs très hautes. Il y en a plusieurs qui dépassent les 4000

mètres, la plus haute est représentée par le Dom (4514 m). Les différents glaciers situés dans la zone se développent entre une hauteur de 2073 mètres (terminus du Riedgletscher) et de 4431 mètres du (point le plus haut du Kinggletscher-N).

2.2.Aiguille de l'Argentière

L'Aiguille de l'Argentière qui prend le nom de l'homonyme sommet est située dans le Bas - Valais et constitue la partie Suisse du Massif du Mont Blanc. Selon le SGI2010, dans la région il y a 24 glaciers exposés sur les versants Est, Sud-Est et Nord-Est. Le glacier avec la surface la plus vaste est celui du Saleina (6.54 km^2 en 2010). Les montagnes composante le groupe de l'Aiguille de l'Argentière possèdent des hauteurs plus basses rapport au groupe du Mischabel. En effet, le pic le plus haut est représenté par l'Aiguille de l'Argentière avec une hauteur de 3901 mètres. Les glaciers se situent entre 1850 mètres d'altitude minimale pour le glacier de la Saleina (SGI2010) et 3771 mètres d'altitude maximale mesurée sur le glacier dénommé glacier de l'A Neuve (SGI2010).

3. Problématique

Le but de ce travail est de cartographier le débris rocheux sur une partie des glaciers des Alpes suisses. Principalement, la cartographie sera effectuée sur les deux massifs décrits dans le chapitre précédent (2.1 et 2.2).

La présence d'une couverture rocheuse sur le glacier peut forcément influencer le bilan de masse (Østrem, 1959; Nakawo and Young, 1981). A dépendance de l'épaisseur du débris, la fusion du glacier peut subir une augmentation ou une diminution (Nakawo and Rana, 1999; Conway and Rasmussen, 2000). Avec une épaisseur comprise entre 1 et 5 cm la fusion du glacier peut augmenter de manière important, la présence de débris augmentera l'ablation, en absorbant l'énergie solaire reçue (leur albédo étant faible, de l'ordre de 0.2) et en la transmettant à la glace située en-dessous (Clark *et al.*, 1994). Avec une augmentation de l'épaisseur du débris rocheux il y aura un effet contraire qui portera à une diminution de la dissolution (Nicholson et Benn, 2006), la couverture jouera le rôle de barrière thermique tout en empêchant la circulation de l'air, ce qui a pour effet de réduire l'ablation (Clark *et al.*, 1994).

Dans ce travail, la cartographie du "debris covered" sera divisée en deux catégories. La première dénommée "**partially debris - covered"** qui représentera la couverture rocheuse

capable de porter une influence négative sur le bilan de masse du glacier. La deuxième catégorie sera appelée "**entirely debris - covered"** qui représentera l'épaisseur capable de porter une protection aux différents glaciers, en supposant que l'épaisseur aura une grandeur suffisante pour pouvoir protéger le glacier.

La cartographie sera effectuée avec une digitalisation manuelle, grâce au logiciel ArcGIS, au moyen orthophotos (images aériennes) enregistrées à la fin de la saison estivale pendant les années 2009 et 2011.

Pour les glaciers Suisses il n'existe pas encore un inventaire représentant seulement les zones couvertes de débris. Il sera donc impossible de faire des comparaisons (quantitative) pour savoir si dans les dernières décennies il y a eu une augmentation ou une diminution de ce phénomène.

Les différentes analyses effectuées seront comparées avec le DInSAR inventory (*Fischer et al., 2014*), catalogue produit grâce à des images DInSAR (Differential Synthetic Aperture Radar Interefrometry), avec le SGI2010 (*Fischer et al., 2014*), inventaire produit par l'intermédiaire d'une digitalisation des orthophotos et avec un échantillon plus restreint des glaciers composant le SGI2010.

Le but de cette analyse sera de répondre aux trois questions suivantes :

1.- **Dans quelles mesures les différents pourcentages du "debris covered" sont-ils significatifs pour les groupes des Mischabels et de l'Aiguille de l'Argentière qui dépassent les outlines pour l'SGI2010 et pour le DInSAR inventory ?**

2.-**Quelle est la quantité du "debris - covered" (partially et entirely) présent sur le SGI2010 et qu'est-ce que cela peut signifier pour le futur ?**

3.- **Est ce que la cartographie du debris - covered à partir des orthophotos est précise ?**

4. Méthodologie

4.1. Matériel utilisé

Le matériel utilisé pour ce travail est composé principalement de quatre éléments.

Le premier est caractérisé par le Swiss Glacier Inventory 2010 (SGI2010), qui a été produit par le chercheur Mauro Fischer, lequel a délimité les 1419 glaciers présents sur les Alpes suisses, et qui composent le SGI2010.

Le deuxième est représenté par les outlines des glaciers du Mischabel produites au moyen des images DInSAR. Celles-ci représentent un échantillon de 48 glaciers inventoriés aussi dans le SGI2010. En plus, encore dix-huit objets en mouvement qui n'ont pas été classifiés dans le SGI2010 sont répertoriés.

Le troisième élément est représenté par les SWISSIMAGE Level 2 ; celles-ci correspondent à une haute résolution (25 cm) d'ortophotographie aérienne numérique couvrant l'ensemble de la Suisse(Fischer et al. 2014).

La cartographie des divers glaciers pour le SGI2010 a été faite grâce à une digitalisation manuelle sur le logiciel ArcGIS des SWISSIMAGE Level 2.

Les images ont été prises pendant des journées sans nuage à la fin de la saison estivale (septembre - octobre) et elles représentent la situation des glaciers des Alpes suisses pendant les année 2009 et 2011 (*Fischer et al., 2014*).

Le dernier est caractérisé par les Image du swissALTI^{3d} ; ceci est un modèle altimétrique en trois dimensions qui représente la surface de la Suisse en absence de végétation et de construction de l'homme. Aussi celle-ci a été utilisée pour la production du SGI2010.

4.2. Méthode utilisée

Comme déjà décrit dans le chapitre précédent (3), la cartographie du débris rocheux a été produite grâce à l'analyse des orthophotos à haute résolution (25cm pour chaque pixel) et grâce à une digitalisation manuelle sur le logiciel ArcGIS.

Le matériel rocheux délimité sur les différents glaciers a été circonscrit sur les différentes zones glaciaires, dont la zone d'ablation et la zone d'accumulation.

Dans le prochain sous-chapitre (4.2.1 et 4.2.2) il y aura l'explication de la méthodologie utilisée pour cartographier le débris rocheux partiel et le débris rocheux entier.

4.2.1. « Entirely debris-covered glaciers »

L'individuation de ce type de débris concerne une couverture intégrale de la masse glaciaire ; en observant la zone en question le glacier n'ai pas toujours visible. La difficulté se remarque dans la détermination de présence ou absence de glace au-dessous du débris.

Pour localiser de manière correcte l'"entirely debris – covered", il y a différents indices présents sur place.

En ce qui concerne la cartographie dans la zone d'accumulation, la localisation est facile ; normalement le débris est représenté par des petits glissements de matériel rocheux (v.Fig2a.) qui s'est détaché des parois autour du cirque glacière et s'est enfin déposé sur la neige accumulée sur le glacier. Comme ces petits glissements sont contournés par le reste du glacier, il est donc facilement concevable de déterminer la présence du glacier au-dessous du glissement. Sur les petits glaciers situés en dessous des parois rocheuses, l'individuation des crevasses terminales (v.Fig2b.) permet de bien délimiter le débris sur le glacier du débris en dehors du glacier.

Dans la zone d'ablation (où il y a la majeure accumulation du débris) la localisation est plus difficile. La présence de crevasses (*Fischer et al., 2014*) visibles aussi au-dessous du débris permet une bonne localisation (v.Fig2c.). En ce qui concerne les glaciers de grandes dimensions, leurs formes dans la zone d'ablation permettent de localiser la direction de la masse glaciaire, même si elle est recouverte (v.Fig2d) ; dans ce cas l'utilisation du swissALTI^{3d} est très utile afin de bien connaître le limite des glaciers même aussi s'ils sont recouverts (v.Fig2e). Sur certains glaciers les masses entièrement recouvertes sont alternées par des zones recouvertes de manière partielle (décrites dans le chapitre prochain) même à des altitudes plus basses. Celle-ci permet d'affirmer que s'il y a de la glace à l'aval, il y en aura aussi à l'amont même si la couverture du débris ne permet pas de la voir. Un autre indice est représenté par la couleur du débris sur place. Souvent le matériel recouvrant la glace a une apparence mouillée (sombre) par rapport aux matériaux circonstants. La roche contournant le glacier est souvent d'une couleur plus claire avec une apparence plus sèche.

Les différentes moraines présentes dans la zone des glaciers permettent aussi de délimiter une certaine partie du glacier. Mais si pour les moraines centrales il y a la certitude d'avoir de la glace en dessous, les moraines latérales doivent être analysées plus attentivement. Pour celles qui montrent l'extension maximale du Petit Âge glaciaire (le petit Âge glaciaire (PAG) représente la dernière glaciation qui s'est terminée autour de l'année 1850 (Fischer et

al.,2014)), soit il faut faire attention, étant donné que certaines zones elles peuvent soit contenir encore du dead - ice soit ne plus posséder de glace.

Les différents indices présentés dans ce sous - chapitre permettent d'identifier de manière précise la majeure partie dénommée "entirely debris - covered". Afin que la localisation soit précise il faut prendre en considération les différents paramètres cités et les appliquer en fonction de la situation rencontrée.

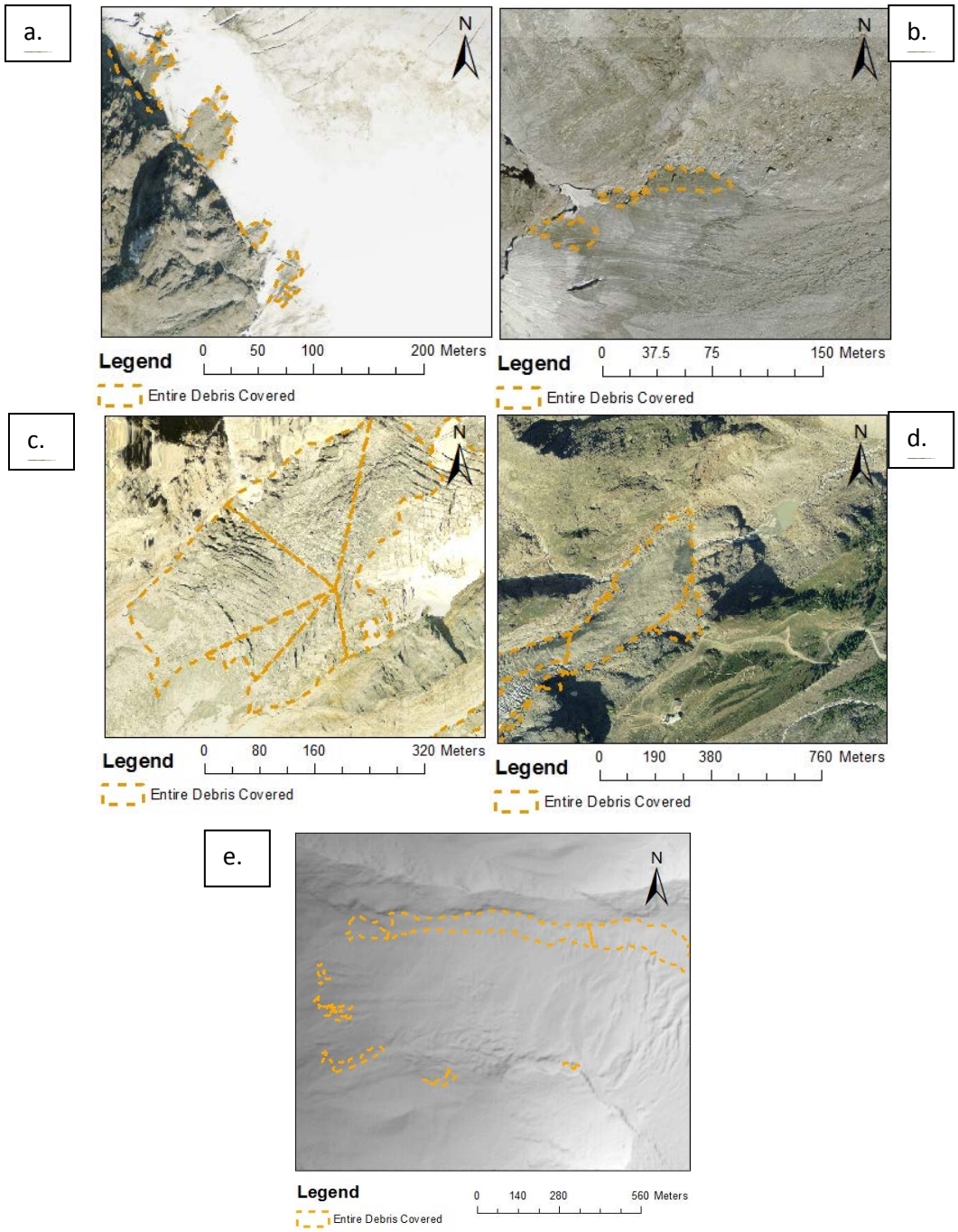

Figure 2 : Riedgletscher (a) glissement de matériels rocheux dans la zone d'ablation d'un glacier de grand dimension. Nadelgrat-E-I (b) les crevasses terminales permettent une bonne délimitation du glacier. Weingartengletscher-N-I (c)présence des crevasses dans la zone d'ablation permet de comprendre où il y a encore de la glace, Feegletscher (d) la forme de la zone d'ablation permet de comprendre où il y a de la glace entièrement couverte. Hobergletscher (e)l'image en trois dimensions du swissALTI^{3d} permet de bien visualiser la forme du glacier.

4.2.2. « Partially debris-covered glaciers »

Pour déterminer une zone de couverture partielle de débris, les paramètres utilisés sont moins nombreux par rapport à la typologie de couverture mentionnée dans le chapitre précédent (4.2.1).

Le "partially debris-covered" représente une catégorie de couverture qui n'est pas homogène et qui permet de visualiser la couleur de la glace entre les différentes parties de débris. Malgré la facilité de visualisation du débris sur les orthophotos, le choix de la méthode pour la cartographie a été plus compliqué. Afin d'avoir des zones correctement délimitées et cohérentes entre elles, la modalité suivante a été suive : avant de commencer avec la cartographie du débris sur un glacier, il faut observer attentivement le débris disposé sur la glace. Ensuite il est nécessaire de choisir le pourcentage minimal de débris présent sur la glace afin de pouvoir le nommer comme couverture partielle (v.Fig3.). Cette procédure a été faite avant de cartographier chaque glacier. Les motivations de ce choix seront exposées dans le prochain chapitre (4.3.3).

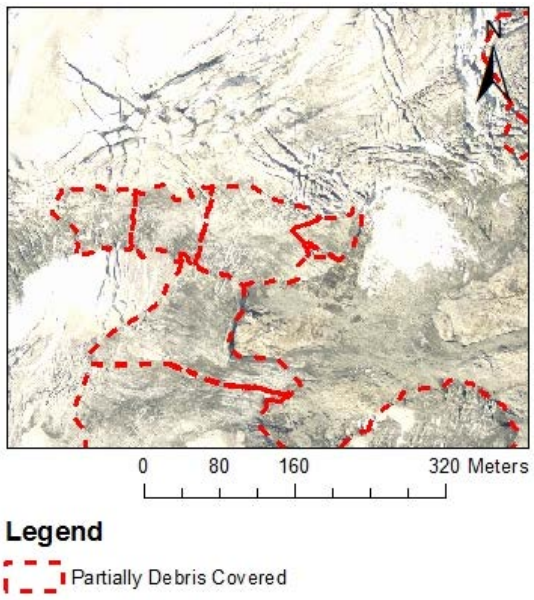

Figure 3 Feegletscher -N-I la delimitation en rouge représentent des parties de couverture partielle qui possèdent donc le pourcentage minimal pour être classifié comme couverture partielle.

4.3.Problèmes rencontrés

Pendant la cartographie du massif du Mischabel comme aussi pour celle de l'Argentière, un certain nombre de problèmes se sont rencontrés. Ces problèmes n'ont pas influencé la majeure partie de la cartographie mais il est important de les mettre en évidence afin d'avoir une vue d'ensemble sur la délimitation entière.

4.3.1. Images aériennes

Les images utilisées dans l'analyse ont déjà été décrites précédemment. Malgré la haute résolution elles ont créé des problèmes inévitables. Dans certains cas comme pour le Riedgletscher (v. Fig4a.) la présence de plusieurs parois raides à côté du glacier a porté à la formation de nombreuses zones d'ombres. A l'intérieur de ces zones, pour certains cas, il était impossible de définir la typologie de la couverture présente en place.

En plus, les différentes images qui composent la zone analysée ont été prises à des jours et heures différentes, il y avait donc une intensité du rayonnement solaire différente. L'exemple du Allalingletscher montré dans la Fig4b met bien en évidence les deux tonalités de couleur de glace sur le même glacier. Celle-ci a entrainé des problèmes pour le choix du paramètre nécessaire pour cartographier le "partially debris - covered".

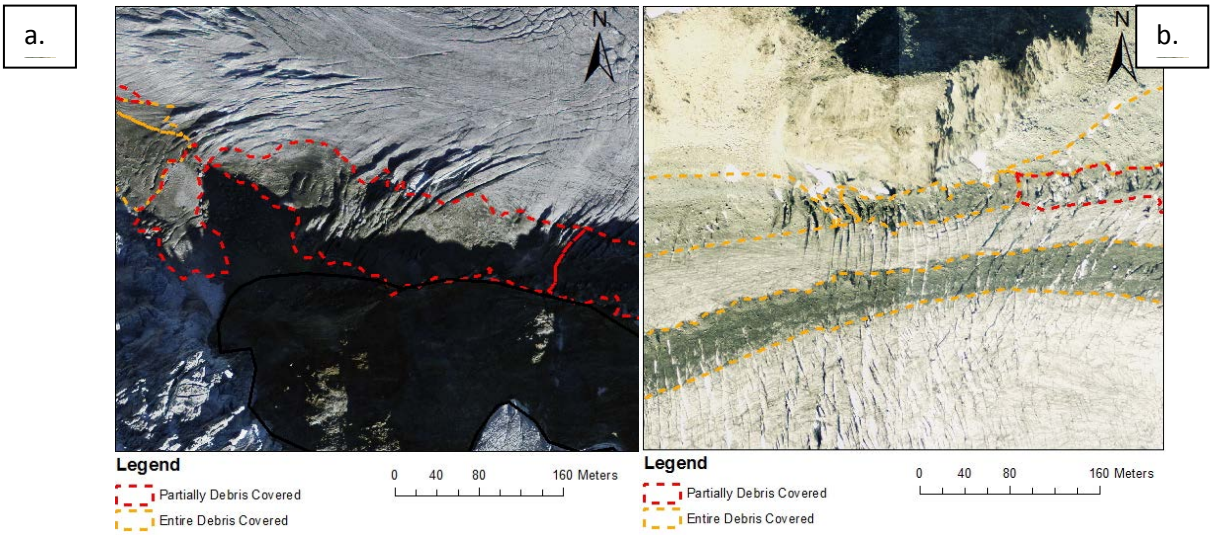

Figure 4 Riedgletscher (a) les zones d'ombre ne permettent pas de visualiser correctement le glacier, Allalingletscher (b) les deux tonalités de couleur (sombre a gauche et claire a droit) representent un problème pour le choix du paramètre.

4.3.2. Entirely debris-covered

Les différents paramètres expliqués précédemment ont été très utiles dans la localisation du "debris - covered" sur les différents glaciers. Malheureusement dans certains cas, il a été impossible d'avoir la certitude de la présence de glace au-dessous du débris. L'exemple du Weingartengletscher (montré par *Fischer et al., 2014*) concernant le groupe du Mischabel montre de manière claire le problème de la cartographie de cette typologie du débris (v.Fig5).

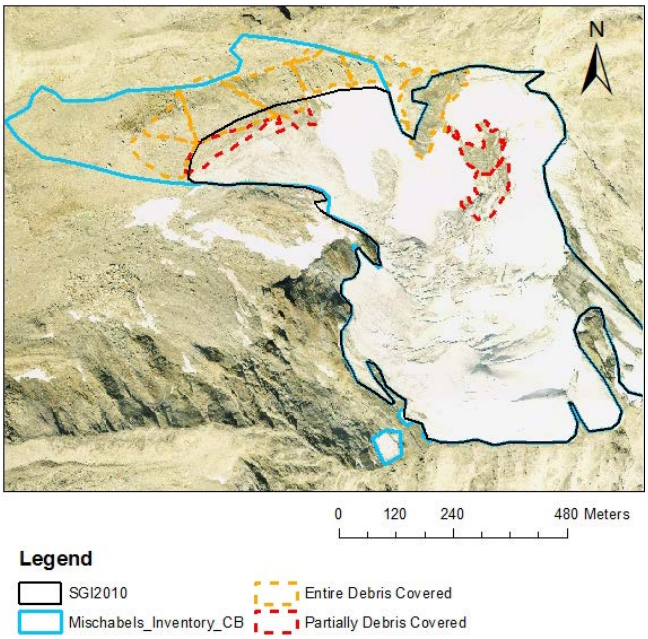

Figure 5 : Weingartengletscher S-II les outlines en bleu montrent l'analyse développée grâce aux images DInSAR, les outlines en rouge montrent le partially debris covered et celles en jaune l'entire debris covered. Admettant que les images DInSAR montrent correctement où il y a vraiment de la glace, il y a donc des zones où l'analyse au-travers les images aériennes n'a pas permis de localiser la glace couverte.

4.3.3. Partially debris-covered

Si pour la délimitation de la couverture entière du débris, il a été facile de différencier l'entière de la partielle, vu la présence de la couleur de la glace pour la deuxième catégorie, le choix entre ce qui était une couverture partielle et ce qui était seulement de la glace a pris beaucoup de temps dans la cartographie. Les différentes tonalités de luminosité des images ajoutées aux différentes tonalités de couleur de la glace (parfois très sombre) ont rendu très difficile le choix du pourcentage minimum de débris pour cartographier la catégorie en question.

4.3.4. SGI2010

La cartographie du groupe du Mischabel effectuée (*Fischer et al., 2014*) grâce aux images-aériennes a inventorié 55 glaciers mentionnés précédemment. La cartographie de la même zone développée avec les images DInSAR a mis en évidence 67 masses en mouvement. Les 12 glaciers en plus s'expliquent par plusieurs phénomènes :

- Glace morte comme par exemple celle nommée "Balfringletscher Dead Ice".
- Le Färichgletscher dont la plus grande partie représente un glacier rocheux mais dont la partie sommitale, grâce à l'observation des orthophotos relève, la présence de glace.

- Autres masses en mouvement qui peuvent être soit des glaciers rocheux, soit des éboulis fluant soit des petits glaciers totalement couverts, donc impossible à identifier avec les orthophotos.

Le test de contrôle cité dans le chapitre 4.1 a pris en considération seulement un échantillon de 48 glaciers composant le SGI2010. Pour la cartographie sur le groupe du Mischabel la décision a été prise de classifier le "debris - covered" aussi sur les sept glaciers appartenant au SGI2010 (mais qui n'apparaissent pas dans le test de contrôle) et les douze glaciers catalogués en plus par les images radar. Pour ces glaciers tout juste cités, la cartographie sera faite uniquement pour lesquels il est certain qu'il y ait de la glace au - dessous du débris rocheux. Dans le résultat et dans l'interprétation cette distinction sera soulignée afin d'avoir une vue d'ensemble correcte.

Pour la cartographie du groupe de l'Aiguille de l'Argentière la délimitation du débris a pris en compte seulement le glacier contourné par le SGI2010, afin de pouvoir faire une comparaison la plus correcte possible.

4.4.Analyse

Après la cartographie sur les deux différents secteurs, il a été possible de faire des intersections entre le polygone concernant le débris et la délimitation de différents glaciers classifiés selon le SGI2010 ou selon l'inventaire du Mischabel. Ceci a été possible grâce au logiciel ArcGIS. Ces opérations ont permis d'avoir une idée concrète de la quantité de "debris - covered" cartographié à l'intérieur des "outlines" (des inventaires cités précédemment v.4.3.4) par rapport à la surface totale du débris délimité. Ensuite, les différents polygones concernant le débris rocheux ont été regroupés, classifiés et subdivisés selon le glacier d'appartenance. Cette opération a permis de regrouper 1477 polygones (pour le groupe du Mischabel) et 843 polygones (pour le massif de l'Argentière) à l'intérieur de 75 glaciers cartographiés.

Si l'intersection entre les inventaires et les polygones de débris a été produite selon des commandes spécifiques à disposition sur le logiciel, la classification des polygones a été produite selon une sélection manuelle effectuée sur chaque "outline" de débris délimité. Les deux différentes opérations ont permis de développer des analyses de corrélation entre les débris cartographiés à l'intérieur du SGI2010 et ceux délimités à l'extérieur.

Une fois obtenus les différents tableaux de données (nécessaires à l'analyse il a été développé en parallèle une analyse quantitative et une analyse qualitative.

4.4.1. Analyse quantitative

Afin de pouvoir développer une bonne analyse quantitative permettant d'avoir une correcte vue d'ensemble sur les échantillons observés, il a été choisi de développer l'analyse de la manière suivante : pour avoir une bonne vue d'ensemble sur les diverses grandeurs des surfaces des glaciers analysés, il a été choisi de les regrouper en six groupes (0.0-0.1km^2, 0.1-0.5km^2, 0.5-1.0km^2, 1.0-5.0km^2, 5.0-10.0km^2, >10km^2).

En première partie, une analyse sera développée pour comparer la différence de surface entre la délimitation totale de débris rocheux, et celle présente à l'intérieur des deux inventaires présentés précédemment (SGI2010 et DInSAR Inventory). Celle-ci sera analysée à travers la différence relative. Cet indice permet de comparer deux grandeurs différentes, produisant le résultat sous forme de pourcentage. Vue la grandeur de certain échantillon il a été choisi de calculer la différence relative médiane et moyenne pour chacun des groupes cités dans le dernière paragraphe. En statistique la médiane représente la valeur centrale de l'échantillon, elle est donc moins influencée par des valeurs extrêmes.

La deuxième partie de l'analyse quantitative sera focalisée sur la quantité totale de débris présente sur les divers glaciers à l'intérieur du SGI2010.

4.4.2. Analyse qualitative

A côté d'une analyse quantitative, il est toujours important de mettre en place une étude de type qualitative. L'analyse quantitative mettra en évidence plusieurs anomalies. Avec une approche qualitative il sera possible d'observer dans le détail les motifs de ces anomalies.

5. Résultats

Dans ce chapitre les résultats obtenus de l'analyse du Massif du Mischabel et du Massif de l'Aiguille de l'Argentière seront présents de manière exhaustive.

5.1. Cartographie du Mischabel

5.1.1. Glaciers analysés sur le DInSAR inventory.

Le nombre total de glaciers délimités pour le DInSAR inventory correspond au chiffre de 51 (possédant donc une des deux typologies de débris rocheux ou les deux ensembles) sur une totalité de 67 (v.tableau8 et 10 en annexe). Il y a donc 16 masses glaciaires qui n'étaient pas cartographiées. Les raisons de ce manque sont regroupées dans quatre sous-groupes (montré avec un exemple pour chaque groupe dans la Fig6) et sont expliquées dans le prochain paragraphe:

- Pour sept glaciers la délimitation avec les orthophotos était impossible. Notamment l'ensemble de cet échantillon représente une partie des objets qui n'étaient pas classifiés comme glaciers dans le SGI2010.
- Pour un glacier, la présence d'une zone d'ombre n'a pas permis une analyse correcte de la localisation du "debris - covered". Aussi ce glacier n'apparaît pas dans l'Inventaire des glaciers suisses.
- Pour trois glaciers, il n'y a eu aucune cartographie vu qu'ils sont situés sur des pentes très raides, ne permettant pas une accumulation du débris rocheux. En plus, ils sont situés à des hauteurs supérieures à 4000 mètres où la probable présence de permafrost contribue considérablement à diminuer l'éventuelle chute de débris sur le glacier. Ceux - ci sont les glaciers du Dom Joch E, Dom Joch W et du Teuflesgrat N.
- Pour les derniers six glaciers, le manque de cartographie est dû principalement aux surfaces complètement blanches présentes sur les orthophotos. La cause de ce phénomène s'explique par le fait que cinq de ces glaciers sont localisés à proximité de la partie sommitale des montagnes dont les arrêtes au - dessus sont composées soit par de la neige soit par de la glace et il n'y a donc pas la possibilité d'une chute de débris. Celle-ci est détectable dans les glaciers suivants : Hoghwächt, Alphubel–W, Feechopf–W, Fluchthorn-NE, et Rimpfschattel. Pour le dernier glacier de ce groupe le Fluchthorn-E (v.Fig9a), la situation est différente respectivement aux autres. Ce glacier est disposé sur une zone d'éboulis avec une exposition sud-est, à une hauteur qui varie entre 3149 et

3039 mètres. En observant la zone, on remarque la présence de plusieurs éboulis à côté du glacier.

Ce phénomène s'explique probablement par la présence encore de neige tombé pendant l'hiver précèdent et qui recouvre le débris rocheux présent sur le glacier

Ce phénomène est assez rare, étant donné que normalement à la fin de la saison estivale, sur les hauteurs concernant ce glacier, la neige hivernale est presque totalement fondue.

Des 12 glaciers classifiés sur le DInSAR inventory mais qui n'ont pas eu une classification comme glaciers sur le SGI2010, seulement onze ont été possible de classifier pour l'analyse du "debris - covered".

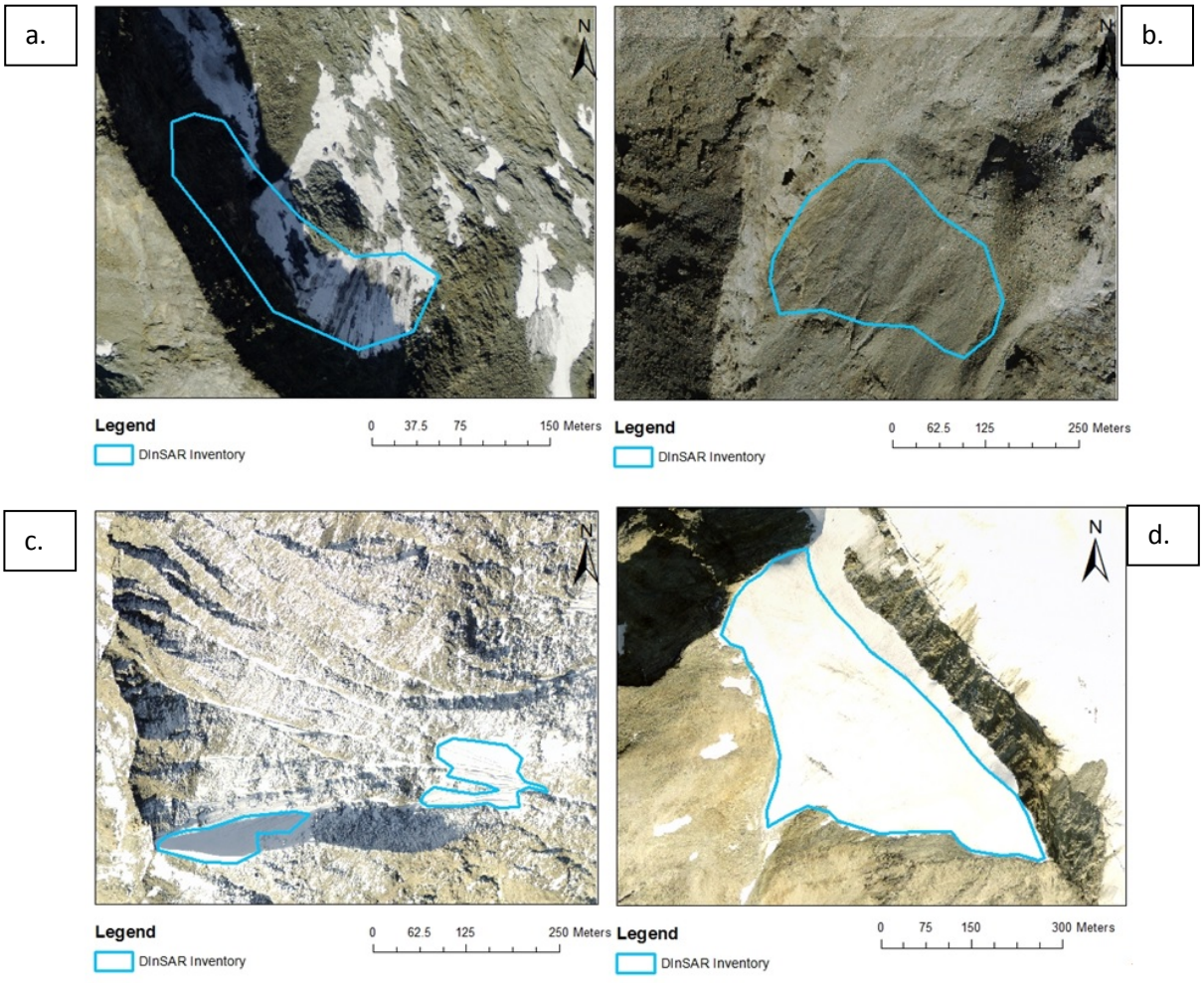

Figure 6 : Dans cette figure sont mise en évidence quatre exemples appartenant aux divers groupes cités précédemment. Le glacier du Fluehorn-N (a) qui montre une zone d'ombre. Le glacier du Gugla-NE représentant un objet délimité par le DInSAR inventory qui ne représente pas un glacier. Le Dom-Joch (c), un glacier situé sur une paroi très raide. Le Hohgwächte un glacier totalement blanc.

5.1.2. Intersection avec le DInSAR Inventory.

L'échantillon des cinquante et un glaciers observés et cartographiés pour cet inventaire est classifiable de la manière suivante : douze glaciers avec une aire entre 0.0-0.1 km^2, douze avec une aire entre 0.1 et 0.5 km^2, huit avec une aire entre 0.5 et 1.0km^2, quatorze avec une aire entre 1.0 et 5.0km^2, quatre avec une surface entre 5.0 et 10.0km^2 et le dernier avec une surface supérieure à 10.0km^2. Ces glaciers couvrent une surface totale de 82.615km^2 (v. tableau 1). La surface du débris partiel cartographié pour ces glaciers correspond à 2.6 km^2, le chiffre monte à 4.506km^2 pour le débris entier. Analysant la surface de débris cartographié à l'intérieur des "outlines" de l'inventaire, la valeur du débris partielle descende à 2.538 km^2 correspondant au 97.62 % du débris total délimité, la valeur pour le débris entier descend à 4.054km^2 égal au 89.99%.

Tableau 1 Dans ce tableau sont montré les différentes valeurs concernant les deux typologies de débris cartographié, et la quantité de débris délimité à l'intérieur du DInSAR inventory

	Surface totale	Débris partielle intersecté	Débris entière intersecté	Débris partielle totale	Débris entière totale
Surface	82.575	2.538	4.054	2.6	4.506
Pourcentage	100	97.62%	89.99%	100	100

5.1.3. Intersection avec le "partially et entirely debris covered" sur le DInSAR Inventory

La surface complète de débris partiel cartographiée à l'intérieur de cet inventaire est égale à 2.53 km^2 (v. tableau 8 en annexe). Le "partially debris - covered" représente donc seulement le 38.579% du matériel rocheux analysé. Cette typologie de débris a été retrouvée sur 42 glaciers (v. tableau 8 en annexe).

La Fig.7 met en évidence comment en général la différence relative pour cette typologie de débris est assez réduite. Les valeurs médianes montrent bien comment pour la majeur partie des glaciers la différence relative est basse, sauf pour le dernier échantillon (>10km^2) qui est représenté par un seul glacier. Dans les autres échantillons, il y a certaines valeurs extrêmes qui augmentent la moyenne.

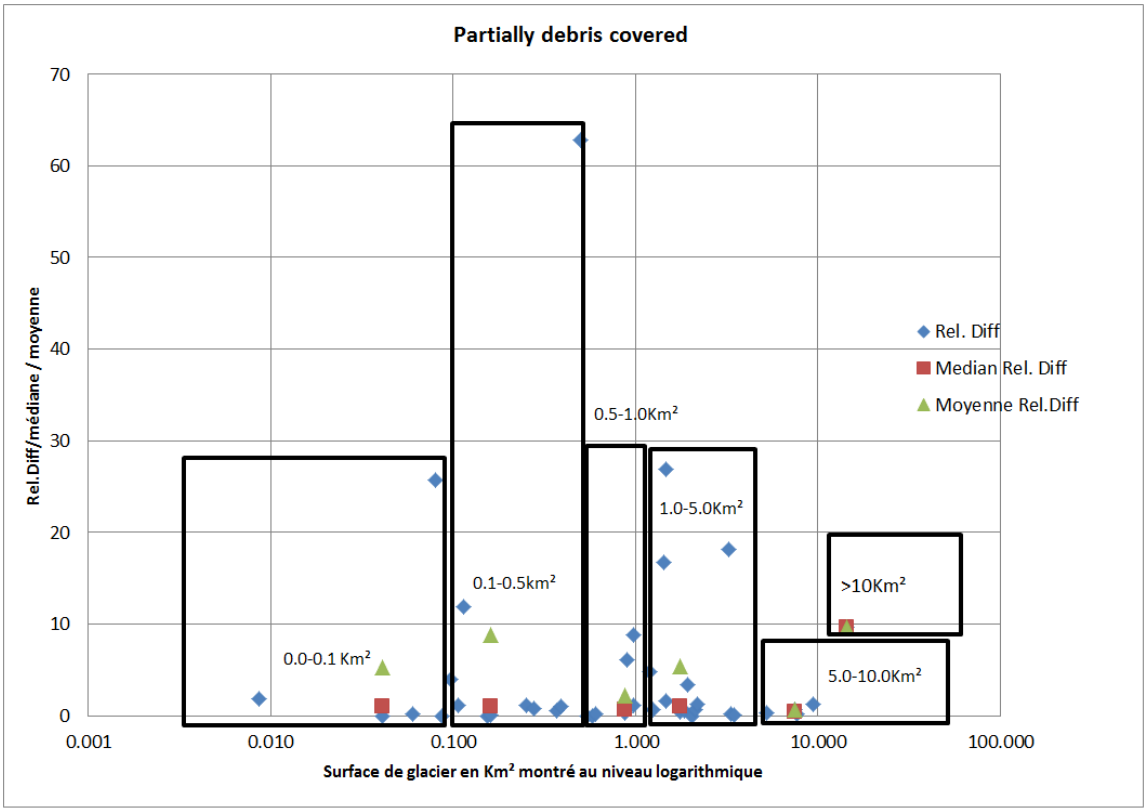

Figure 7 : ce graphique met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu), calculé entre la valeur totale de débris pour chaque glacier et celle présente à l'intérieur du DInSAR inventory, la différence relative médiane (en rouge) pour les diverses classes de dimensions et la différence relative moyenne (en vert) pour les diverses classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible elle a été transformée sur une échelle logarithmique.

La surface totale du "entirely debris - covered" intersecté avec cet inventaire correspond à 4.054 km^2 (v. tableau 10 en annexe), ce qui représente en pourcentage le 89.99% du débris total cartographié sur le massif du Mischabel. Sur l'ensemble des 51 glaciers pris en considération, 48 (v. tableau 10 en annexe) ont été délimités avec cette typologie de débris. Les deux glaciers qui ne présentent pas une couverture de débris entière sont celle du " Holaubgrat-E" et du "Alphübel sud" (v.Fig24 en annexe). Ces deux glaciers ont des dimensions très restreintes et le matériel déposé en place ne permet pas encore d'avoir une couverture classifiable comme celle de ce sous- chapitre.

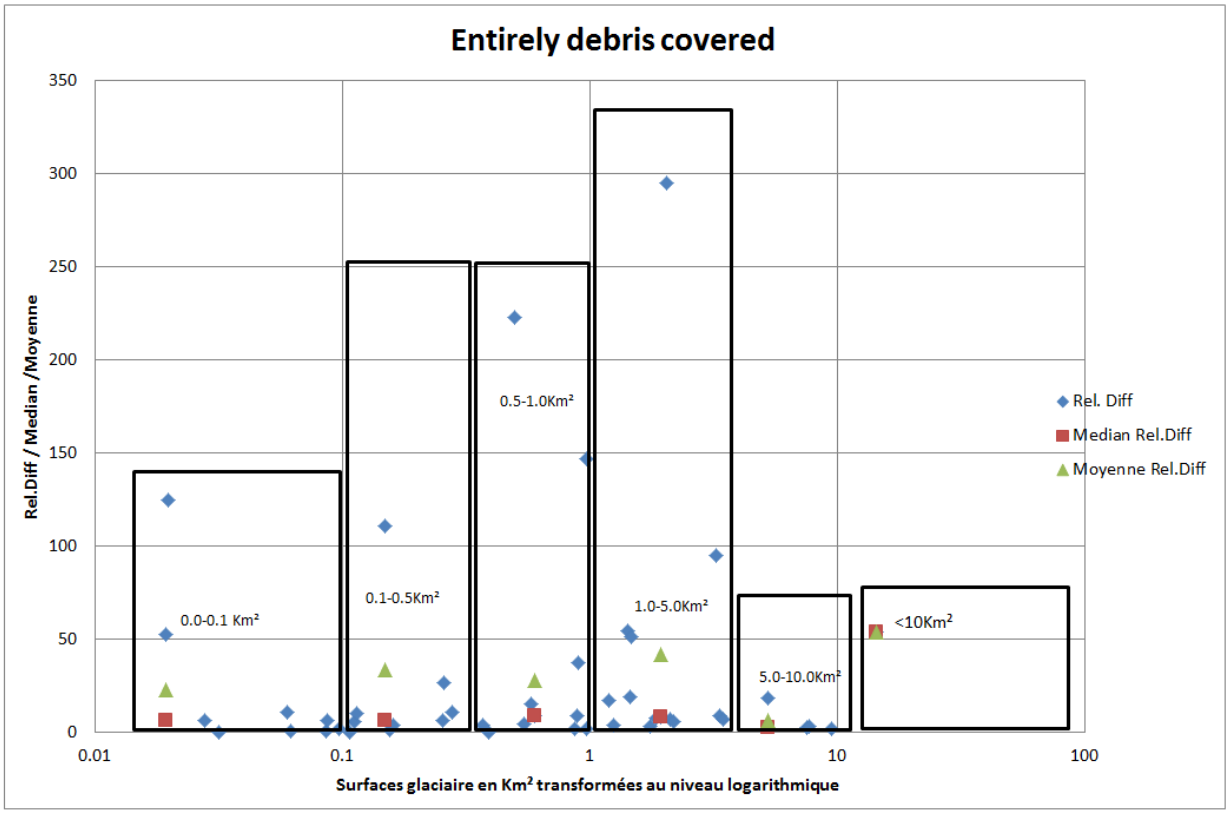

Figure 8: Cette figure met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu) calculé entre la valeur totale de débris pour chaque glacier et celle présente à l'intérieure du DInSAR Inventory, la différence relative médiane (en rouge) pour le diverses classes de dimensions et la différence relative moyenne (en vert) pour les diverses classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible elle a été transformée sur une échelle logarithmique.

La situation décrite pour le "partially debris covered" précédemment est visible aussi pour cette typologie de débris (v.Fig8). Les valeurs médianes pour les diverses classes des glaciers sont relativement basses sauf pour la dernière classe (qui est représenté par un seul glacier), pour les cinq restants il ne dépasse jamais le 10%. Elles ont par contre plusieurs valeurs extrêmes qui augmentent sensiblement la moyenne, surtout pour les premières classes des glaciers.

5.1.4. Glacier analysés sur le SGI2010

Le nombre total de glaciers, pour lesquels a été cartographié du "debris covered" sur le SGI2010 correspond au nombre de 46 (v. tableau 12 et 14 en annexe), possédant soit une couverture entière, soit une couverture partielle soit les deux couvertures ensemble, respectivement au nombre de 55 glaciers catalogués sur le groupe du Mischabel par *Fischer.M.*

Les raisons concernant le manque de débris sont les même que celles déjà décrites dans le chapitre 5.1.1, et sont représentées avec deux exemple dans la figure 9. Vu que le nombre de glaciers est différent respectivement au chapitre mentionné, voici un bref résumé concernant les neuf glaciers :

- Les trois glaciers déjà cités, pour leurs pentes très raides, le Dom Joch-W, Dom Joch-E et le Teufelsgrat-N.
- Les analogues six glaciers blancs avec aucune présence de débris rocheux à cause de leurs positions sur des plateaux autour des crêtes. C'est le cas du : Fluchthorn N-E, Feechopf, Hohgwächte, Alphübel et Rimpfschattel, et du Fluchthorn E.

Analysant la surface des glaciers pour lesquels il n'y a pas eu une cartographie du débris rocheux, il est important de remarquer qu'ils ont tous une taille de petite dimension. En effet, le glacier de taille majeure est celui du Fluchthorn N-E avec une surface de 0.26 km^2 et le plus petit, le Fluchthorn-E, avec une aire d'environ 0.018 km^2.

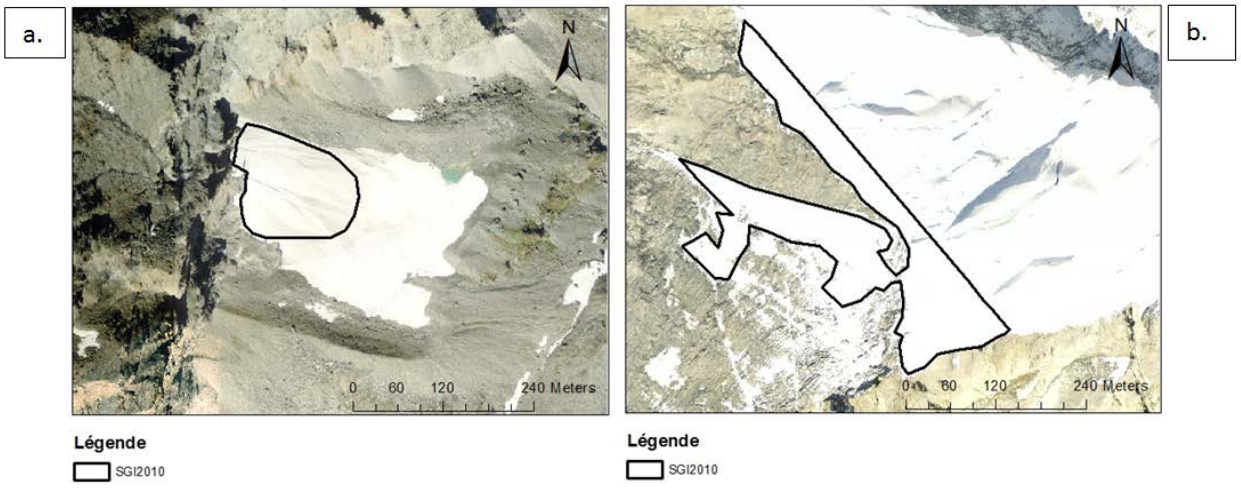

Figure 9 : Dans cette figure deux exemples appartenant aux groupes cités précédemment sont mises en évidence. Le glacier du Fluchthorn-E (a) qui montre un glacier totalement blanc. Le Teufelsgrat-N (b) un glacier situé sur une paroi très raide.

5.1.5. Intersection avec le SGI2010

Les 46 glaciers cartographiés pour l'inventaire SGI2010 ont une surface totale de 78.892km^2 (v. tableau 2). Les glaciers délimités ont été subdivisés de la manière suivante : dix ont une surface entre 0.0 et 0.1km^2, onze entre 0.1et 0.5km^2, six entre 0.5 et 1.0 km^2, quatorze entre 1.0 et 5.0km^2, quatre entre 5.0 et 10.0 km^2 et le dernier possède une surface supérieure à 10km^2.

La surface de matériel rocheux cartographié à l'intérieur du l'SGI2010 correspond à 2.453 km^2 pour le débris partiel et à 2.848 km^2 pour le débris entier, ce qui par rapport à la surface

entière délimitée pour tout le massif, correspond au 76.62 %. Donc le 23.32% de “debris - covered” est présent en dehors des “outlines” du SGI2010.

Tableau 2 : Dans ce tableau sont montré les différentes valeurs concernant les deux typologies de débris cartographié et la quantité de débris délimité à l’intérieur du SGI2010.

	Surface totale	Débris partiel intersecté	Débris entier intersecté	Débris partiel totale	Débris entier totale
Surface	78.892	2.453	2.851	2.6	4.493
Pourcentage	100%	46.281%	53.795%	100%	100%

En calculant la différence relative des divers glaciers pour les deux typologies de débris, il est important de relever que pour cinq de ceux-ci la différence est extrêmement haute par rapport aux valeurs des autres glaciers. Plus précisément, ces valeurs concernent les glaciers Kleines Bigherhorn (rel.diff 26’666%), Fallgletscher (rel.diff 14’255%), Alphübelgletscher (10’268%) et Nadelgrat-W (1’334%), pour le débris rocheux entier. Pour le débris rocheux partiel ces valeurs extrêmes intéressent le Chiessengletscher (290%) et l’Alphübel gletscher (2’669.76%). Ces valeurs s’expliquent par le fait que ces glaciers (v. Fig. 10) possèdent un grand pourcentage de débris en dehors des outlines du SGI2010 alors qu’à l’intérieur des outlines le débris est presque absent.

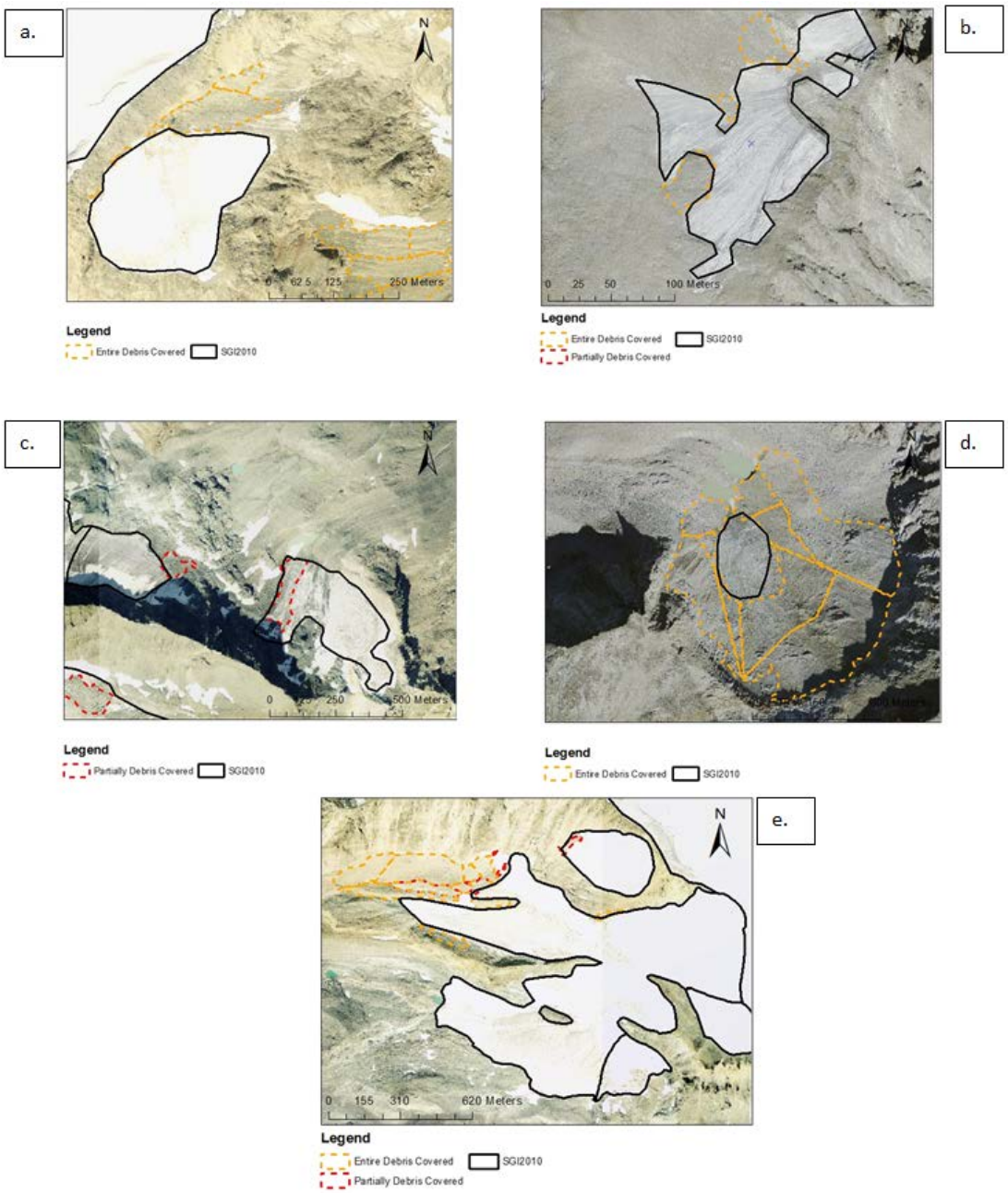

Figure 10 : dans cette figure sont montrés les glaciers qui possèdent des valeurs extrêmes de différence relative. Pour l'"entirely debris covered" le glacier du Fallgletscher (a), du Nadelgrat W (b) du Kleinesbigherhorn (d) et de l'Alphübelgletscher (e). Pour le "partially debris covered" sont montré le glacier du Chiessengletscher (c) et du Alphübelgletscher (e). Pour les cinq glaciers en question, il est à noter que la majorité du débris est présente en dehors du SGI2010.

5.1.6. Intersection avec le “partially et entirely debris covered” sur le SGI2010

La surface de débris partiel délimitée à l’intérieur du SGI2010 correspond à 2.443km^2 (v.tableau2), ce qui représente le 46.281% du matériel rocheux classifié. Les glaciers cartographiés sont 39 (v.tableau12 en annexe). Ceux sur lesquelles il n’y a pas eu une délimitation sont d’un nombre de six.

Pour cinq glaciers en question, (le Schilthorn-W, le Nadelgrat W, l’Üsserturu-SW, le Stralhorn-SE et le Langfluejoch-E), le pourcentage de débris est très limité ; les seules parties existantes sont caractérisées par des petits éboulements présents sur la glace, mais ceux-ci-ci ont reçu une catégorisation comme “entirely debris - covered”. Pour le sixième, le Fallgletscher, la raison est différente : analysant le glacier, il a été observé du débris partiel présent en place, mais entièrement situé au dehors des “outlines” du SGI2010. Les intersections effectuées par le logiciel informatique n’ont pas mis en évidence ce phénomène.

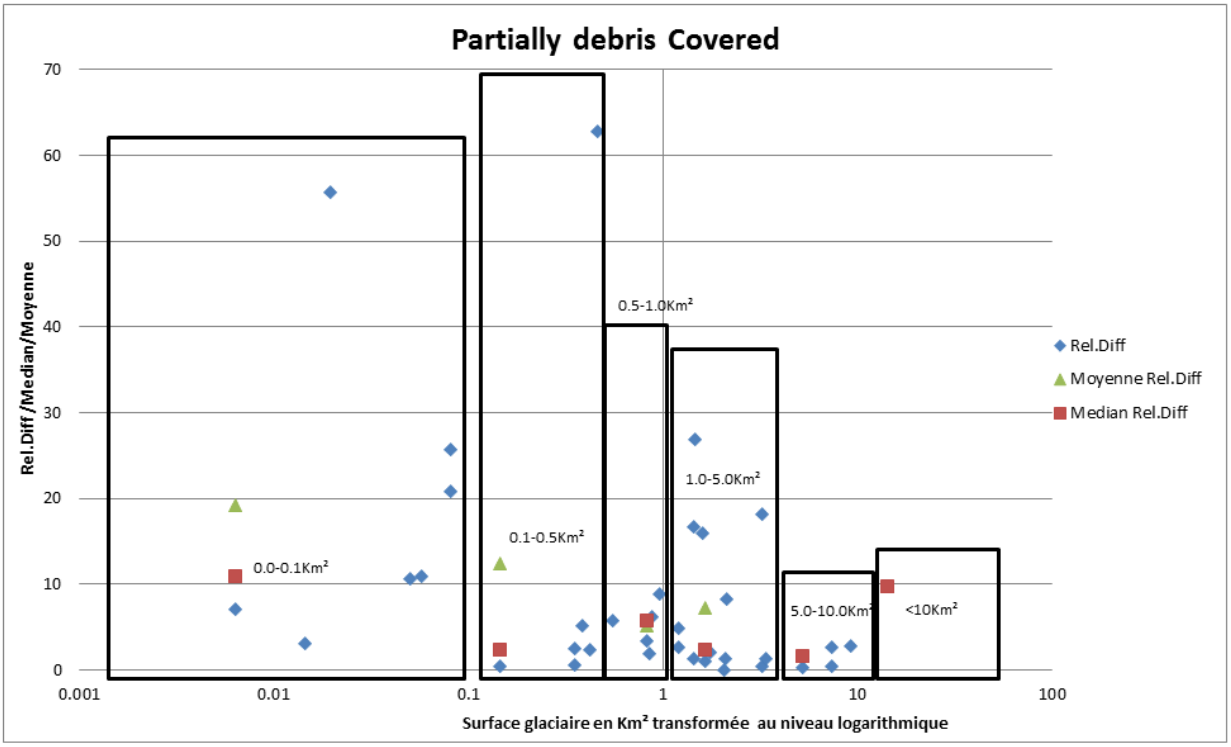

Figure 11 ce graphique met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu) calculée entre la valeur totale de débris pour chaque glacier et celle présente à l’intérieur du SGI2010, la différence relative médiane (en rouge) pour les diverses classes de dimensions et la différence relative moyenne (en vert) pour les diverses classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible elle a été transformée sur une échelle logarithmique. Pour rendre le graphique plus lisible ont été enlevé les valeurs pour les glaciers du : chiessengletscher et du alphübelgletscher (figure 10).

Dans la figure onze, il est bien visible comment pour la classe des glaciers la plus petite les valeurs moyennes et médianes sont plus hautes par rapport aux autres classes. À exception pour la dernière classe (déjà cité précédemment) qui possède seulement un seul glacier.

La surface d'"entirely debris covered" cartographiée correspond à 2.851 km^2 (v. tableau 2) qui représente le 53.795% du "debris covered" total. Sur les 43 glaciers analysés seulement deux d'entre eux n'ont pas une localisation de cette typologie de débris. Pour le glacier du Holaubgrat, la raison est que les orthophotos ne permettent pas de savoir si au-dessous des éboulis présents autour du glacier, il y ait encore de la glace. Pour celui de l'Alphubel S, situé sur une pente assez raide, les images montrent bien comment le seul débris présent est de nature partielle. L'échantillon complet est consultable en annexe sur le tableau 14.

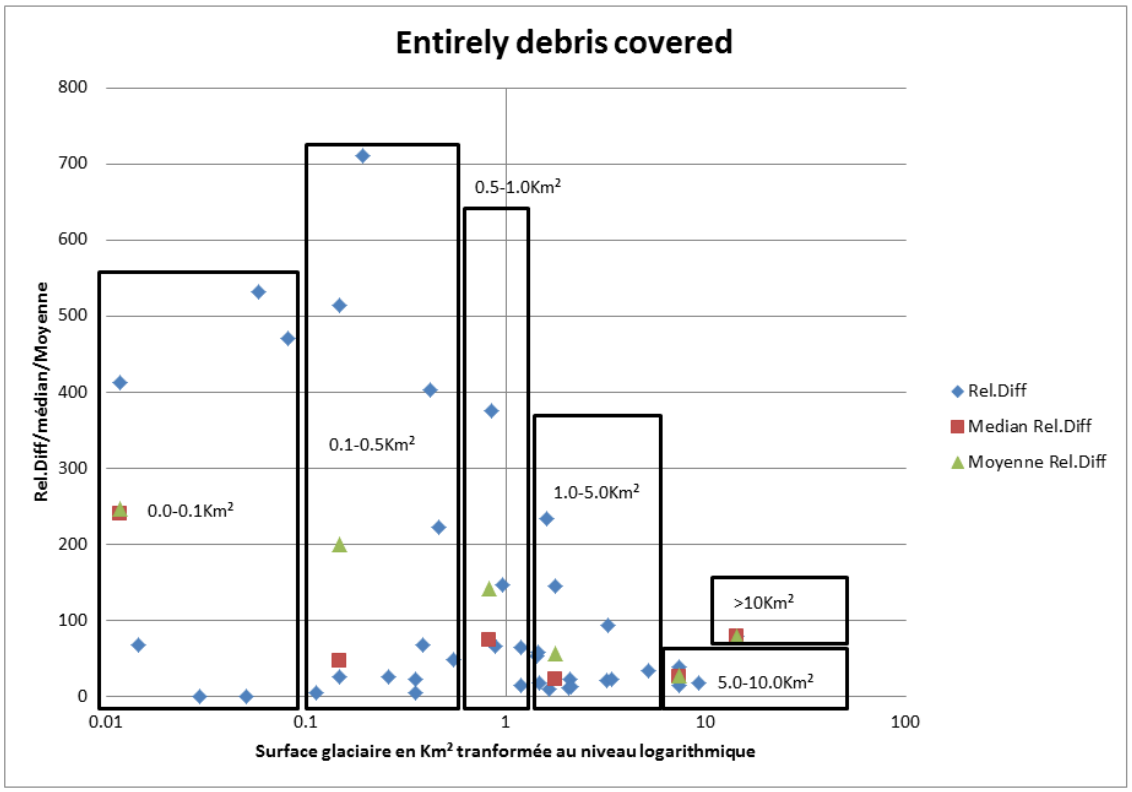

Figure 12 ce graphique met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu) calculée entre la valeur totale de débris pour chaque glacier et celle présente à l'intérieur du SGI2010, la différence relative médiane (en rouge) pour les diverses classes de dimension et la différence relative moyenne (en vert) pour les diverses classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible, elle a été transformée sur une échelle logarithmique. Pour rendre le graphique plus lisible, les valeurs pour les glaciers du Kleines Bigherhorn, du Fallgletscher, du Nadelgrat-W et de l'Alphübelgletscher ont été enlevées (v.Fig10).

Les valeurs pour cette typologie (v.Fig12) de débris sont décidément plus haute par rapport à celles montrées dans la figure onze. Les valeurs médianes et moyennes sont plus hautes pour les classes de glacier de petite dimension et entrent en diminution sur les classes de glaciers de dimension plus grande.

5.2.Cartographie de l'Aiguille d'Argentière

Dans ce chapitre, les résultats qui concernent le massif en question seront montrés. En particulier les différences entre les deux typologies de débris cartographié et les parties de débris présent à l'intérieur du SGI2010 seront montrées.

5.2.1. Glaciers analysés.

Sur un nombre total de 24 glaciers qui composent le groupe de l'Argentière (v.tableau5 en annexe), le chiffre complet de glaciers cartographiés correspond à vingt (v.tableau17 et 18 en annexe). Il y a donc quatre glaciers (v.Fig13) qui n'ont pas été cartographiés pour les raisons suivantes :

- Il est intéressant de citer que pour deux de ceux-ci, le "Portalet II" et "l'Otanes", la situation est similaire à ceux déjà décrits dans le chapitre 5.1.1 étant donné qu'ils représentent des glaciers de très petite dimension variant entre 0.0026 km^2 et 0.05 km^2. En plus, le glacier du "Portalet II", est situé sur un petit plateau entre le sommet "Le Portalet "et un sommet sans nom avec une hauteur de 3167 mètres. Sa position privilégiée lui permet de recevoir une petite protection de la chute du débris rocheux. Pour le glacier "d'Otanes" l'analyse par les orthophotos ne montre pas de débris rocheux.
- Le troisième glacier est celui du "Rond Glacier" qui représente aussi un petit glacier avec une surface de 0.01 km^2. Pour celui-ci le "debris covered" délimité est situé au-dehors des "outlines" du SGI2010.
- Le dernier cas concerne une autre catégorie de glacier. Le glacier en question est celui du " Glaciers des Grandes ". Il possède une surface de 0.8 km^2 et a donc une dimension plus grande par rapport aux glaciers cités. Il est intéressant de noter que le glacier de "l'Otanes" est situé juste sur le côté est de celui-ci.

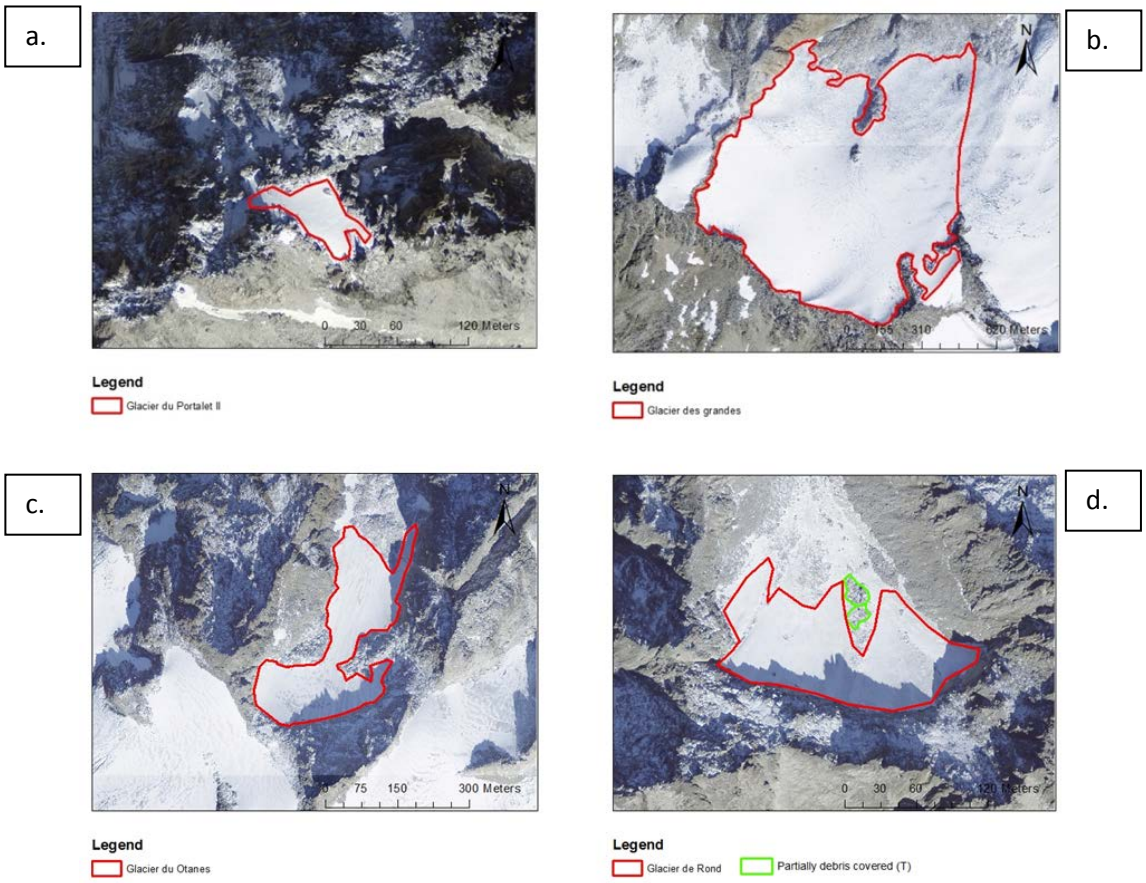

Figure 13 Ces orthophotos représentent les quatre glaciers qui n'ont pas reçus une cartographie du débris à l'intérieur du SGI2010. Ce sont les glaciers du portalet II (a), des grandes (b), de l'Otanes (c) et du Rond (d).

5.2.2. Intersection avec le SGI2010

Les 24 glaciers situés dans le massif de l'Argentière représentent une surface d'environ 21.688km^2 (SGI2010). Dix d'entre eux ont une aire qui varie entre 0.0 et 0.1km^2, cinq possèdent une aire entre 0.1 et 0.5km^2, quatre ont une aire entre 0.5 et 1.0km^2, trois ont une aire entre 1.0 et 5.0km^2, les deux dernières représentent la classe de surface entre 5.0 et le 10.0km^2. Le tableau 3 met en évidence la valeur concernant les l'intersection entre les deux typologies de débris avec le SGI2010.

Tableau 3 : Valeurs de débris présent sur le massif de l'Argentière, avec la surface (Km^2) totale et celle présente à l'intérieur du SGI2010 et le pourcentage du débris par rapport à la valeur totale.

	Aiguille d'Argentière			
	Totale		SGI2010	
	Partially	Entirely	Partially	Entirely
Surface de débris en Km²	0.404	1.011	0.378	0.846
Pourcentage %	100.00	100.00	93.440	83.692

Pour la couverture entière de débris la valeur totale correspond à 1.01km^2 alors qu'à l'intérieur du SGI2010 la valeur descend à 0.846km^2 ce qui représente le 83%. Pour la couverture partielle la valeur totale se situe à 0.404km^2, alors que la valeur intersectée à l'intérieur du SGI2010 descend à 0.378Km^2 correspondant à 83.692%.

5.2.3. Intersection avec le "partially et entirely debris covered".

La couverture de débris partiel a été localisée sur dix-huit glaciers (v.tableau17 en annexe). Ainsi sur deux glaciers il n'y a eu aucune classification des parties de débris partiel; (les glaciers "Les Rossettes" et de la "Crête Sèche N-E" v.Fig25 en annexe). Ce sont deux glaciers de petite dimension où la partie de débris cartographiée est très limitée.

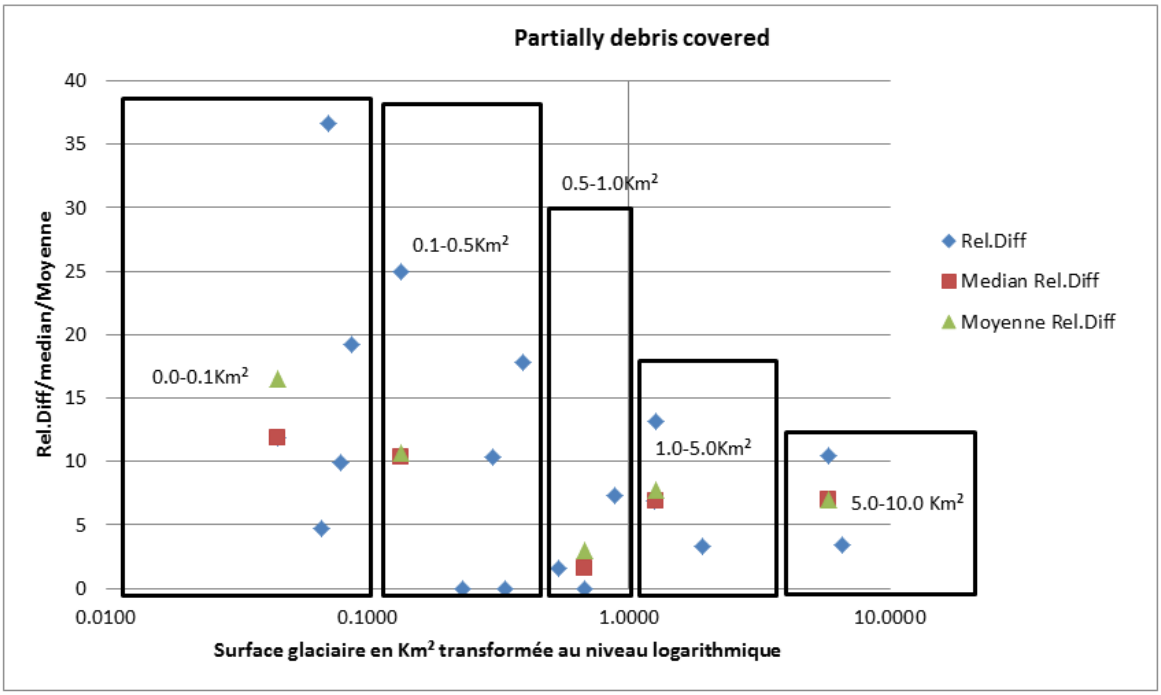

Figure 14 : ce graphique met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu) calculée entre la valeur totale de débris pour chaque glacier et celle présente à l'intérieur du SGI2010, la différence relative médiane (en rouge) pour les diverse classes de dimension et la différence relative moyenne (en vert) pour les diverses classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible elle a été transformée sur une échelle logarithmique.

Dans la Fig14 est montrée la différence relative concernant le "partially debris covered". Vu que l'échantillon de ce massif est encore plus restreint par rapport au massif du Mischabel, les indices de médiane et de moyenne sont beaucoup influencés par les valeurs très hautes. Ce graphique montre une diminution de la différence relative (moyenne et médiane) à partir de la classe la plus petite jusqu' à la troisième classe. Les deux dernières classes sont composées par trois glaciers, dont les deux plus grands. Donc l'utilisation de la moyenne et

de la médiane est inutile. Par contre en observant la différence relative pour les valeurs extrêmement hautes de chaque classe, il est bien visible comment ces valeurs diminuent avec l'augmentation de la surface glaciaires.

La surface de débris entière a été classifiée sur dix-huit glaciers (v.tableau27 en annexe). Comme dans le sous-chapitre précèdent, il y a donc deux glaciers sur le groupe de l'Aiguille de l'Argentière où il n'y a eu aucune délimitation de couverture intégrale de débris. Ces deux glaciers sont " Glaciers d'Arpettes " et de" Pentodes". Pour le premier glacier il y a la même situation décrite dans le chapitre 6.2.2. Le deuxième glacier possède une aire de 0.67 km^2 et est donc considérablement plus grand par rapport aux autres petits glaciers. Au niveau topographique il est localisable dans le côté est du "Glacier des Grands", glacier mentionné au début du chapitre.

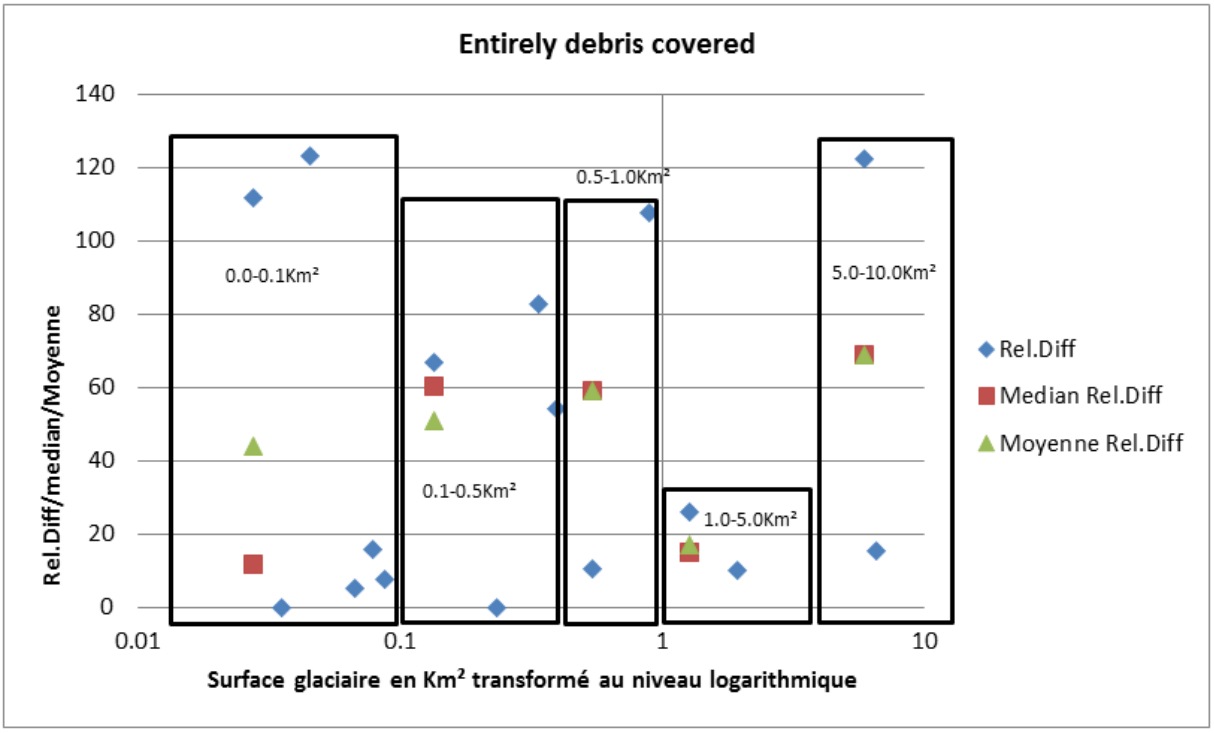

Figure 15 : ce graphique met en évidence (en ordonnée) la différence relative (en bleu) calculée entre la valeur totale du débris pour chaque glacier et celui présent à l'intérieur du SGI2010, la différence relative médiane (en rouge) pour les diverses classes de dimension et la différence relative moyenne (en vert) pour les divers classes de dimension. En abscisse est représentée la surface glaciaire en km^2 et pour rendre la figure mieux lisible, elle a été transformée sur une échelle logarithmique.

En observant la figure 15, il est bien visible comment les valeurs de différence relative les plus hautes pour chaque classe de grandeur sont assez élevés : chaque classe de glacier (sauf celle avec une surface entre 1.0 et 5.0 Km) possède au moins un glacier avec une différence relative majeur de 80%.

5.3.Valeur de débris présent à l'intérieur du SGI2010

Dans ce chapitre, seront montré le pourcentage de débris de chaque glacier présent à l'intérieur du SGI2010 sera montré. Le pourcentage est calculé en faisant un rapport entre la surface totale du glacier et la surface du débris en place. Respectivement aux chapitres derniers (5.1 et 5.2) où il y avait une distinction entre les glaciers de deux massifs, dans ce chapitre les glaciers dérivant des deux régions d'étude seront analysés comme un échantillon unique.

En observant la Fig16, il est bien visible comment le pourcentage de débris entre en diminution avec l'agrandissement de la surface glaciaire. Pour rendre plus lisible le graphique ont été enlevés deux glaciers (v.Fig17), celui du kleines Bigerhorn et celui du Holaubgrat-E qui ont un pourcentage de débris égal à 96.673% pour le premier et 57.964% pour le deuxième. Les deux appartiennent à la première classe de grandeur (0.0-0.1 km²), sur le massif du Mischabel.

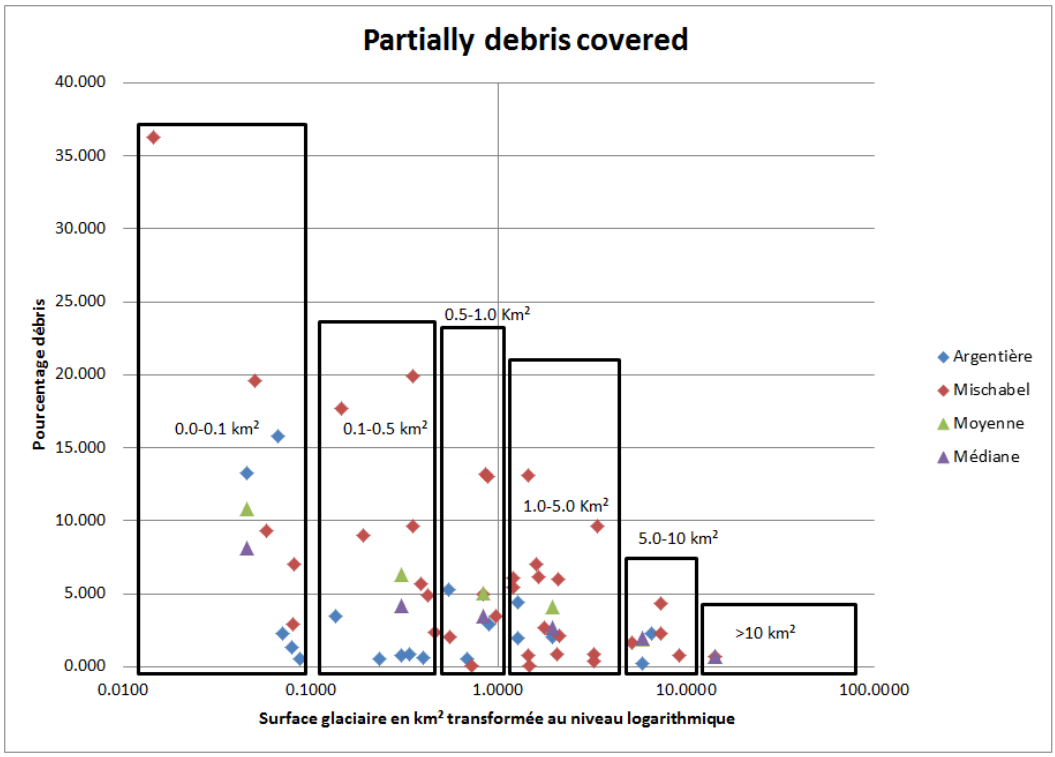

Figure 16 : ce graphique montre les glaciers appartenant aux deux massifs étudiés (en rouge et en bleu), délimités selon leur classe de grandeur. En vert sont indiquées les diverses moyennes pour chaque classe de grandeur respectivement et en violet sont indiquées les valeurs médianes pour la même classe. En ordonnée est représenté le pourcentage de débris et en abscisse est représentée la surface glaciaire transformée au niveau logarithmique. Deux glaciers celui du Kleines Bigherhorn, et du Holaubgrat, ont été enlevés des échantillons.

En singularisant les glaciers selon leur massif d'appartenance, on remarque que ceux présent dans la région du Mischabel ont des valeurs de débris majeures.

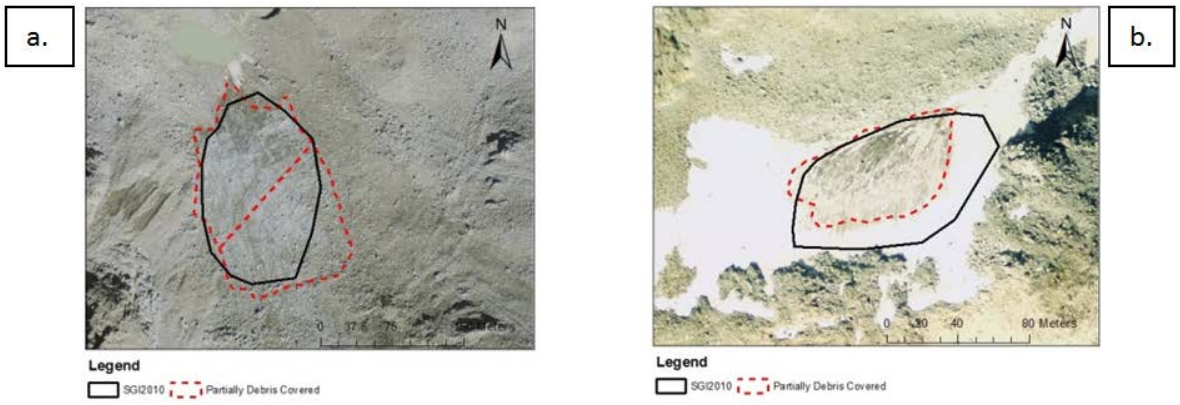

Figure 17 : ces orthophotos représentent les deux glaciers, "Kleienes Bigerhorn" (a) et "Holaubgrat" (b) qui vu leur grand pourcentage de débris en place, ont été enlevés au graphique présent dans la figure 14 pour le rendre plus lisible.

Dans la Fig18 est représentée la même situation décrite pour la Fig16 mais pour la typologie de débris entier.

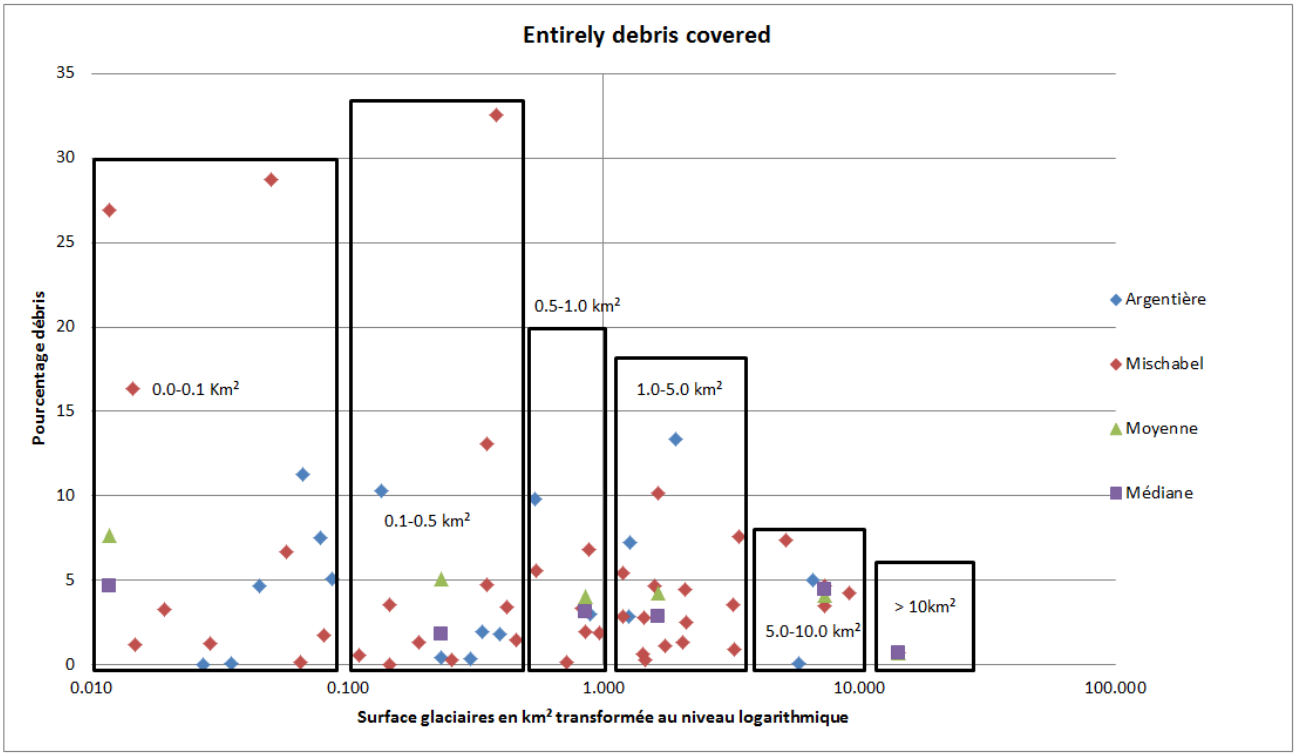

Figure 18 : ce graphique montre les glaciers appartenant au deux massifs étudiés (en rouge et en bleu), délimités selon leur classe de grandeur. En vert sont indiquées les diverses moyennes pour chaque classe de grandeur respectivement et en violet sont indiquées les valeurs médianes pour la même classe. En ordonnée est représenté le pourcentage de débris et en abscisse est représentée la surface glaciaire transformée au niveau logarithmique.

Les classes de grandeur plus petites (0.0-0.1km^2 et 0.1-0.5km^2) possèdent les glaciers avec les pourcentages les plus hauts, même si ce sont des valeurs isolées. Les indices de moyenne et médiane montrent que la médiane ne dépasse jamais le 5% et la moyenne ne dépasse jamais le 8%.

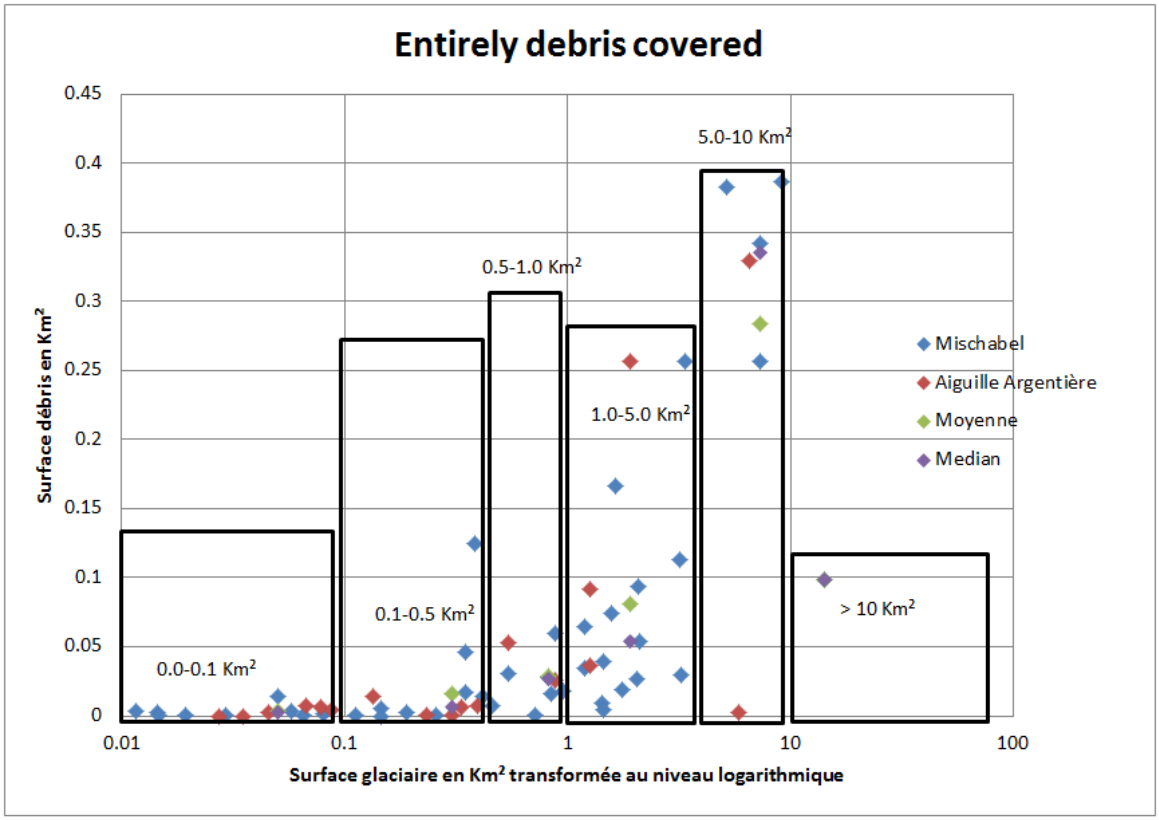

Figure 19 : ce graphique montre les valeurs de débris entier (km²) présent à l'intérieur du SGI2010 pour les deux régions d'étude en ordonnée, en abscisse est représentée la surface glaciaire en (km²) transformée au niveau logarithmique pour rendre la figure plus lisible.

Dans la Fig19 sont représentés les glaciers des deux régions d'étude avec une comparaison entre leur surface totale et leur surface de débris. On observe qu'à partir de la troisième classe de grandeur (0.5-1.0Km²) les surfaces de débris augmentent de manière considérable, dans les deux régions d'étude. Le glacier du Findelen ; qui est le glacier avec la surface la plus grande parmi les glaciers des deux régions, montre une surface de débris assez réduite par rapport à sa grandeur.

La Fig20 montre le même type de graphique que la Fig19 mais concerne l'autre typologie de débris, le débris partiel. La situation pour cette typologie de débris est très similaire à celle pour le débris entier. Etant donné que le "partially debris covered" est représenté en quantité mineure sur les glaciers étudiés par rapport à l'autre typologie de débris, cela explique comment entre la deuxième et la quatrième classe de grandeur les valeurs de surface de débris sont plus basses par rapport à "l'entirely debris covered".

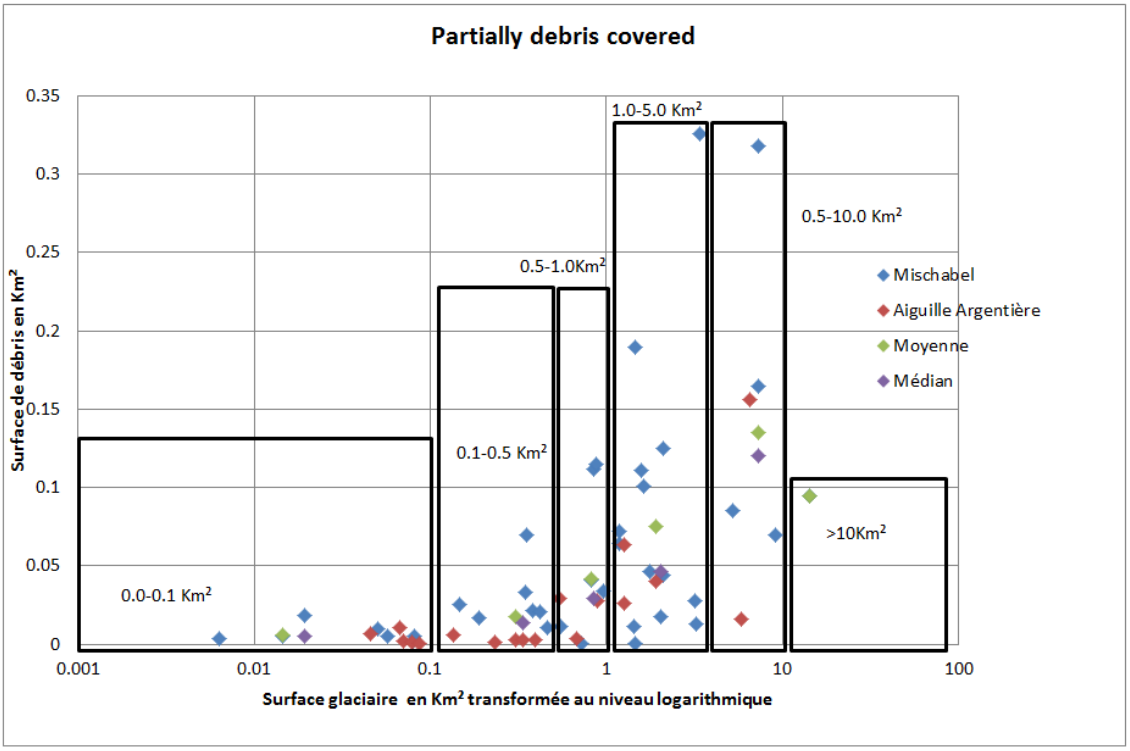

Figure 20 : ce graphique montre les valeurs de débris partiel (km²) présentes à l'intérieur du SGI2010 pour les deux régions d'étude en ordonnée, en abscisse est représentée la surface glaciaire (km²) transformée au niveau logarithmique pour rendre la figure plus lisible

5.4. Problème rencontré.

La sélection manuelle, effectuée sur les polygones afin de pouvoir classifier la quantité correcte de débris pour chaque glacier, comporte une erreur. Celle-ci est due à une sélection erronée, effectuée par le chercheur. Dans le tableau 21 en annexe est reportée la marge d'erreur. Le pourcentage pour le groupe de l'Argentière correspond à 0.51 %, ce qui correspond à 0.072 km^2. Pour les glaciers composant le groupe du Mischabel le pourcentage est de 0.509%, ce qui correspond à 0.035 km^2. Vu la marge d'erreur très petite, les résultats concernant cette étude ne sont pas influencés.

6. Interprétation

Le but de ce chapitre est de mettre en relation les différents résultats montrés précédemment afin de mettre en évidence les réponses concernant les questions de recherche formulées dans le chapitre 3.

6.1. Corrélation entre les divers inventaires.

Confrontant les valeurs de débris situées à l'intérieur des divers inventaires (v.tableau9, 11,16 en annexe), on peut affirmer que l'intersection la plus précise a été faite avec le DInSAR

inventory avec une précision de 92%. Le marge de précision diminue pour l'intersection avec le SGI2010 sur le groupe de l'Aiguille de l'Argentière avec des valeurs de pourcentage de 86%. L'intersection du même inventaire pour le groupe du Mischabel a mis en évidence des données encore plus basses avec un pourcentage de 79%. La première congruence, en observant ces données, est la différence de pourcentage entre les deux massifs pour le SGI2010.

En analysant le tableau 22 en annexe, il peut être constate comme sur le groupe de l'Aiguille de l'Argentière, qu'il y ait un rapport de 15 km^2 de glace pour chaque kilomètre carré de débris et un pourcentage de couverture (par rapport à la surface glaciaire) égal à 5.64%. Sur le groupe du Mischabel les valeurs correspondent à 11.57 km^2 de glace pour chaque kilomètre carré de débris. Le plus grand pourcentage de débris sur ce massif est clairement un indice concernant l'augmentation de la marge d'erreur. Dans le résultat, il apparaît que sur le groupe du Trient il y a un glacier qui possède plus de 50% de sa surface de débris en-dehors des outlines du SGI2010. Pour le groupe du Mischabel le nombre de glaciers avec un pourcentage du débris majeur au 50% monte à douze. Pour les premiers cas l'aire des glaciers est relativement petite alors que le groupe du Mischabel comporte des glaciers de dimensions majeures. Les figures 21a et 21b montrent que dans la majeure partie des cas la différence de valeurs sont due à une plus grande précision dans la cartographie. La création du SGI2010 a été développée pendant quatre mois de travail par *Fischer.M* (*Fischer. et. al., 2014*) avec une classification de 1420 glaciers. La délimitation du "debris - covered" a été produite entre octobre et décembre 2014 sur un nombre limité de glaciers par rapport au SGI2010. Le chercheur a donc eu plus de temps à consacrer pour l'analyse du débris en place. Pendant ce temps, il a eu la possibilité de mieux contourner la limite du débris par rapport aux limites des glaciers (v. Fig21a et Fig21b), et de mieux localiser des zones de glace entièrement couvertes.

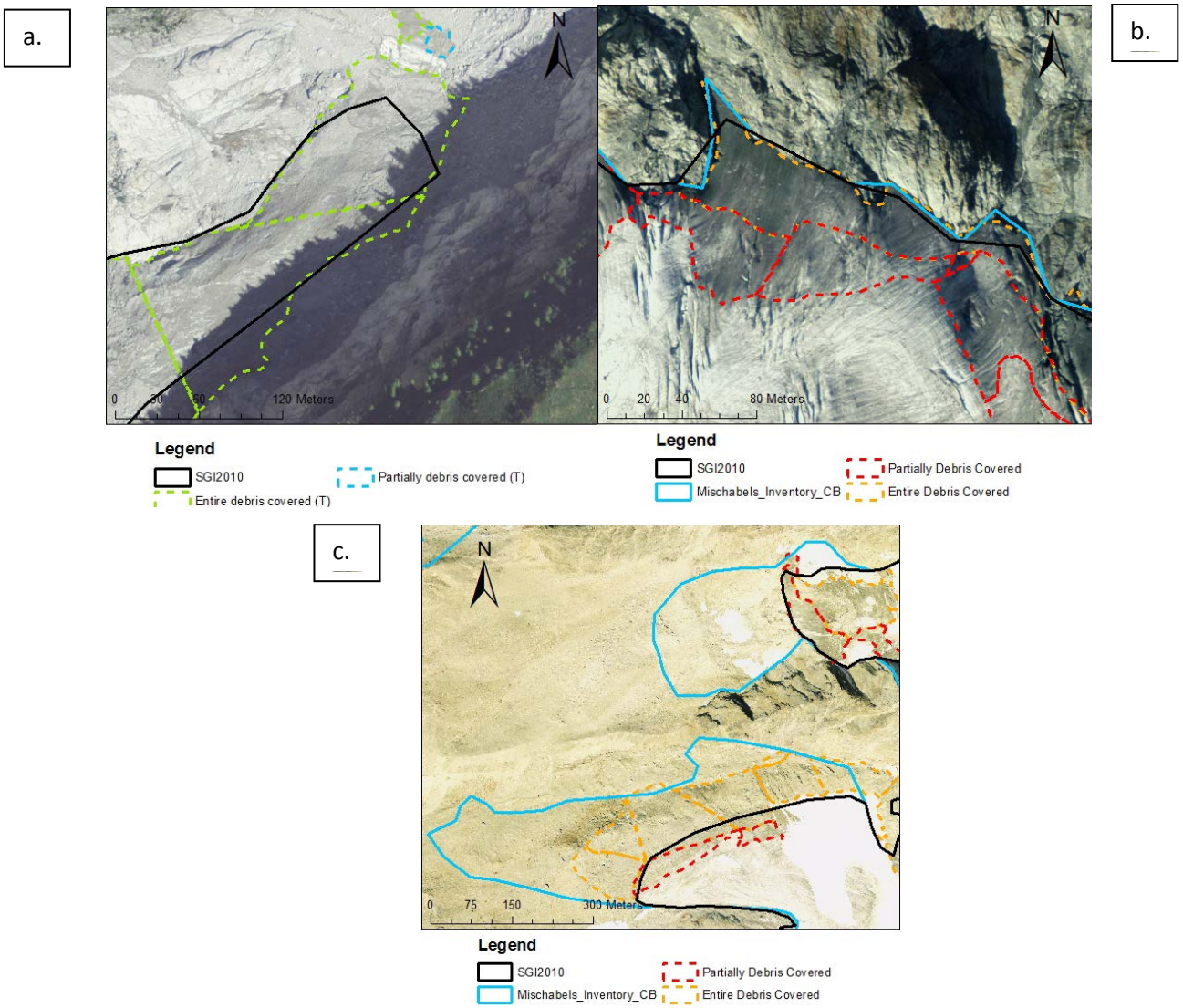

Figure 21 orthophotos des glaciers du Saleina(a), du Feegletscher S-II(b) et du Weingartengletscher-S-I en haut et du Weingartengletscher S-II en bas (c)).

La marge mineure d'erreur constatée avec l'inventaire du Mischabel indique qu'une analyse plus approfondie des orthophotos permet d'avoir des outlines similaires. Par contre, ces valeurs (concernant le DInSAR Inventory) ne représentent pas toujours la réalité. En examinant la Fig21c, concernant le Weingartengletscher, des zones sont observables à l'intérieur de cet inventaire qui sont entièrement couvertes par du débris mais n'ont eu aucune cartographie. Les différentes intersections mises en place n'ont pas permis de mettre en évidence cette marge d'erreur.

Le "debris - covered" délimité pour ce travail a été intersecté avec des inventaires concernant des glaciers. L'absence d'une étude précédente concernant le "debris covered" ne permet pas d'avoir un support pour faire une comparaison parfaite.

6.2.Valeurs du “debris covered” à l’intérieur du SGI2010.

Les valeurs concernant le débris présents à l’intérieure du SGI2010 ont permis d’avoir une bonne vue d’ensemble sur la situation de la couverture glaciaire des glaciers analysés. Les résultats des graphiques montrent que la typologie de couverture partielle représente le pourcentage plus élevé par rapport à l’autre typologie de débris. Dans la réalité comme il a été souligné dans le chapitre précèdent (5.3) il y a une grande partie de surface entièrement couverte en dehors de l’inventaire. Ces outlines pourront être utilisées dans le futur pour analyser l’influence des deux typologies de débris sur l’influence du bilan de masse des glaciers.

6.3.Précision dans la cartographie du “debris covered” grâce aux ortho-photo.

La comparaison quantitative entre les divers inventaires a indiqué que la méthodologie utilisée pour la cartographie du débris rocheux a été faite avec précision. En utilisant tous les indices montrés dans le chapitre concernant les méthodologies (4.2), il est possible de bien cartographier une grande partie des glaciers couverts par du débris rocheux.

Pour la cartographie de la couverture partielle, le 97% du débris a été classifié à l’intérieur du DInSAR Inventory. Mais la difficulté majeure pour cette typologie de débris est représentée dans le choix du paramètre utilisé pour déterminer si sur un glacier il y ait ou il n’y ait pas une couverture suffisante pour qu’elle soit classifiable comme “partially debris covered”.

Dans les polygones de débris partiel montré dans la Fig22, il y a plusieurs tonalités. Cet exemple dans la partie inférieure du Kingletscher met en évidence comment à l’intérieur des quatre polygones rouges représentés, il y ait des tonalités de couleurs différentes. En partant du centre de la figure vers l’extrémité, la couleur de la glace est remplacée par la couleur du débris. Dans ce cas le chercheur devra bien connaître le pourcentage minimal et maximal pour permettre une correcte délimitation du débris.

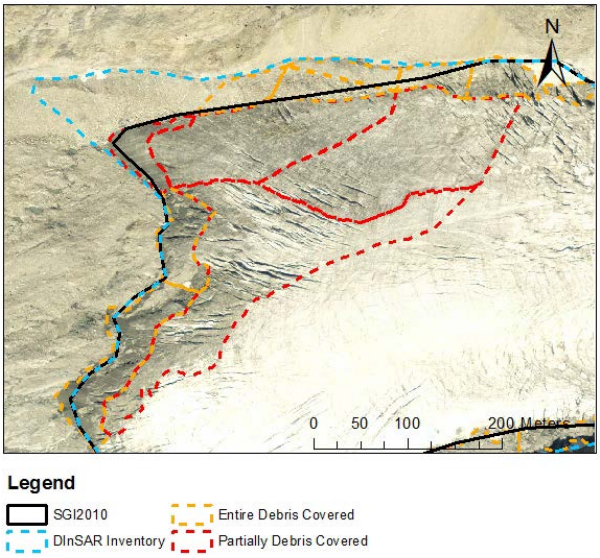

Figure 22 : cette orthophoto représente le Kingletscher-N, avec plusieurs polygones de débris partiel délimité.

Pour la cartographie de la couverture totale, la difficulté se situe évidement dans la capacité de localiser la glace en dessous du débris. Vu que le 90% de cette couverture a été classifié à l'intérieur du DInSAR inventory (en admettant que les outlines comprennent vraiment de la glace couverte), il est affirmable qu'au niveau quantitatif la précision est assez bonne. Au niveau qualitatif, dans les images suivantes, les points de force et de faiblesse de cette méthodologie sont montrés.

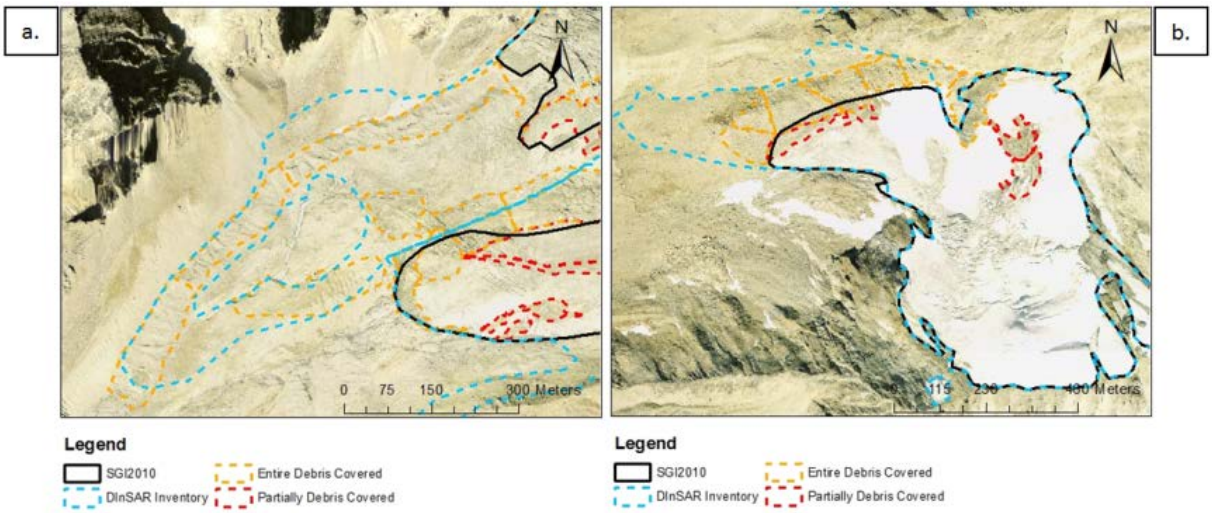

Figure 23 : ces deux ortophotos montrent le Weingartengletscher – N-I (a), et le Weingartengletscher -S-II (B)

La Fig23a montre comment, avec un glacier qui présente une grande partie de la zone d'ablation entièrement couverte, il est aussi possible de localiser des parties d'"entirely

debris covered" grâce aux différentes stries présentes sur le glacier surtout dans sa partie gauche.

Par contre sur le glacier de la Fig23b (déjà expliqué par *Fischer et.al, 2014*) sont visibles les limites de cette méthodologie. En admettant que les images du DInSAR Inventory aient montré dans la partie haute à gauche soit un mouvement rapide glaciaire soit un mouvement glaciaire signifiant. Il n'y a pas la possibilité de visualiser l'entière masse glaciaire couverte.

7. Conclusion

Dans ce travail, la cartographie du "debris covered" sur 76 glaciers de la Suisse a été développée. Les différentes méthodologies utilisées ont permis de classifier deux typologies de débris présentes sur les glaciers alpins. Celles-ci ont été confrontées avec des inventaires produits soit par des orthophotos soit par des images radar. Les diverses intersections ont mis en évidence que la localisation de ce matériel grâce aux orthophotos est possible même sans l'utilisation des images radar. Pour l'instant, les résultats obtenus ont mis en évidence qu'avec une certaine précision les délimitations ont une bonne qualité. Les outlines de débris délimité à l'intérieur du SGI2010 représentent une petite implémentation dans le nouvel inventaire des glaciers Suisses (SGI2010).

Pour les prochaines années elles pourront être utilisées comme outil pour mettre en relation une augmentation ou une diminution de ce phénomène. En outre, grâce à cet outil il y aura la possibilité d'utiliser ces polygones comme paramètre d'influence pour l'augmentation ou le ralentissement de la fonte des glaciers.

8. Bibliographie

Ackert*, R.P. Jr,* 1998: A Rock Glacier/Debris-covered Glacier System at Galena Creek, Absaroka Mountains, Wyoming. *Geogr. Ann.,* 80 A (3–4): 267–276.

Chiarle et al., 2007 Recent debris covered flow occurrences associated with glaciers in the Alps*. Global and planetary change PP123-136*

Clark, D.H., M.M. Clark & A.R. Gillepsie, 1994. Debris-covered glaciers in the Sierra Nevada, California, and the implications for snowline reconstruction, *Quaternary Research*, **41**, 139–153.

Conway, H. and L.A. Rasmussen. 2000. Summer temperature profiles within supraglacial debris on Khumbu Glacier Nepal. *IAHS Publ.* 264 (Symposium at Seattle 2000 – *Debris-Covered Glaciers*), 89–97.

Delaloye, R., Lambiel, C., Lugon, R., Raetzo, H., and Strozzi, T., 2007: Typical ERS InSAR signature of slope movement in a periglacial mountain environment (Swiss Alps). *Proceedings of the ENVISAT Symposium 2007*, July 2007, Montreux, Switzerland, ESA SP-636

Fischer.M, Huss.M, Barboux.C, Hoelzle.M, 2014. The new Swiss Glacier Inventory SGI2010 : relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. Artic, Antarctic and Alpine Research, vol. 46, No.4, 1-13

Frey.H, Paul.F and Strozzi.T, 2012: Compilation of a glacier inventory for the western Himalayas from satellite data: methods, challenges and results. *Remote Sensing of Environment*, 124: 832–843.

Gardelle.J (2013). Evolution récente des glaciers du Pamir-Karakoram-Himalaya : apport de l'imagerie satellite. Earth Sciences. Université de Grenoble, 2012. French.

Gorad.S. 2004, Revisiting a-90-year-old debate: the advantages of the mean deviation Departement of educational Studies, university of York. http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00003759.htm [consulté le 20.02.2015].

Kääb, A.Weber. M.,(2004). Development of transverse ridges on rock glaciers: Field measurements and laboratory experiments. Permafrost Periglac. Process. 15, 379–391.

Knoll.C and Kerschner.H, 2009: A glacier inventory for South Tyrol, Italy, based on airborne laser scanner data. Annals of Glaciology 50(53) 2009

Huss, M.: Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900–2100, The Cryosphere, 6, 713–727, doi:10.5194/tc-6-713-2012, 2012.

Maisch, M., Haeberli, W., Hoelzle, M., & Wenzel, J. (1999). Occurrence of rocky and sedimentary glacier beds in the Swiss Alps as estimated from glacier-inventory data. Annals of Glaciology, 28, 231– 235.

Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J., and Benz, C., 2000: *Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwundszenarien. Schlussbericht NFP 31*. Second edition. Zurich: vdf Hochschulverlag ETH Zurich, 373

Mihalcea, C., C. Mayer, G. Diolaiuti, C. D'Agata, C. Smiraglia, A. Lambrecht, E. Vuillermoz & G. Tartari, (2008). Spatial distribution of debris thickness and melting from remote-sensing and meteorological data, at debris-covered Baltoro glacier, Karakoram, Pakistan, *Annals of Glaciology*, **48**(1), 49–57.

Nakawo, M. and B. Rana. 1999. Estimate of ablation rate of glacier ice under a supraglacial debris layer. *Geogr. Ann.,* **81A**(4), 695–701.

Nakawo, M. and G.J. Young. 1981. Field experiments to determine the effect of a debris layer on ablation of glacier ice. *Ann. Glaciol.,* **2**, 85–91.

Nicholson.L et Benn. Douglas. 2006. Calculating ice melt beneath a debris layer using meterological data. *Journal of glaciology, Vol. 52, No. 178, 463-470.*

Østrem, G. 1959. Ice melting under a thin layer of moraine, and the existence of ice cores in moraine ridges. *Geogr. Ann.,* **41**(4), 228–230.

Paul, F., Frey, H., and LeBris, R.: A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: challenges and results, Ann. Glaciol., 52, 144–152, 2011.

Paul.F, Huggel.C, Kääb.(2004). Combining satellite multispectral image data and a digital elevation model for mapping debris-covered glaciers Remote Sensing of Environment 89, 510–518

Racoviteanu.A.E. Paul.B. Raup.S.J.S. Khalsa & R. Armstrong, (2009). Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space : results of the 2008 Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop, Boulder, Colorado, USA, *Annals of Glaciology*, **50**(53), 53–69.

Swisseduc.ch (2005). Allalingletscher August 2005.
http://www.swisseduc.ch/glaciers/alps/allalingletscher/index-en.html?id=4 [consulté le 03.05.2015]

9. Annexes

9.1. Figure

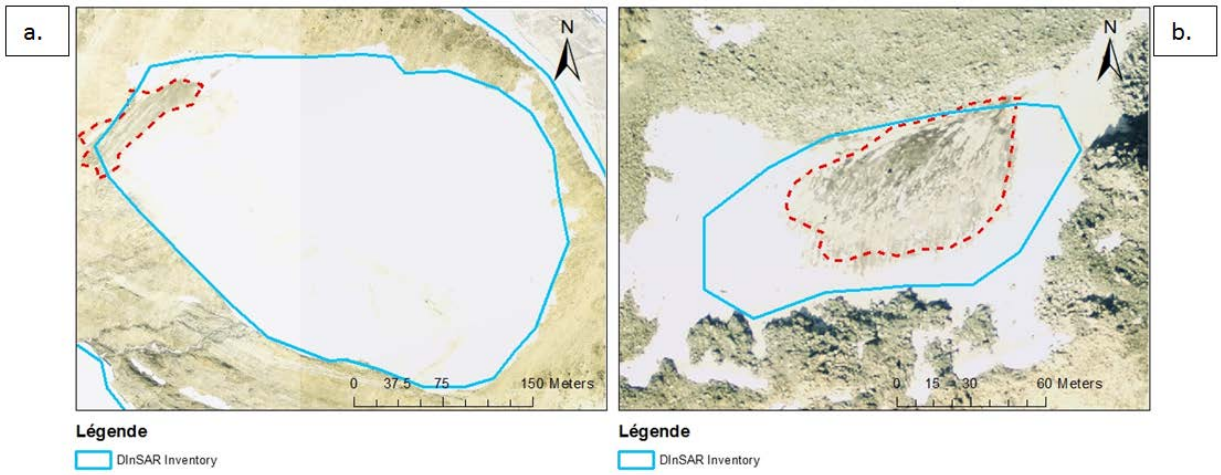

Figure 24 : Dans ces orthophotos sont représenté les glaciers du Alphübel-S (a), et celui du Holaubgrat-E (b), ce qui présentent aucune délimitation du débris rocheux entier.

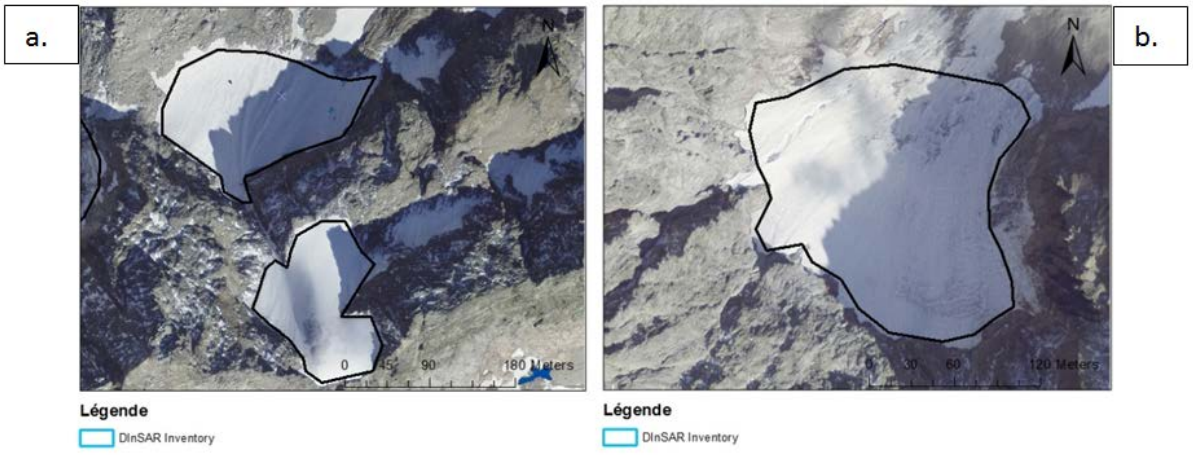

Figure 25 : Dans ces orthophotos sont représentés les glaciers les Rossettes (a), et celui de la Crête sèche (b, ce qui présentent aucune délimitation de débris rocheux partiel sur le SGI2010.

9.2.Tableaux

Ces différents tableaux ont tous été utilisés pour la rédaction de ce travail. Chaque tableau est subdivisé selon les différences grandeurs des glaciers qui correspondent aux couleurs suivantes:

0.0-0.1 Km²	0.1-0.5 Km²	0.5-1.0 km²	1.0-5.0 Km²	5.0-10.0 Km²	>10 Km²

Tableau 4 DInSAR inventory

ID inventory	Glacier Name	Area DInSAR Km²
B52/31	Hohlaubgrat-E*	0.009
B53/05	Domjoch-E*	0.016
B56/13n	Rimpfischsattel*	0.018
B55/22	Fluehorn-N*	0.018
B53/25n	Nadelgrat-W*	0.019
B53/12	Färichgletscher	0.020
B55/28n	Domjoch-W*	0.022
	BALFRINGLETSCHER - dead ice	0.028
B52/28	├£ssere Turu-SW*	0.032
B55/20	Spitzi Flue-E*	0.033
B52/25	Fluchthorn-E*	0.036
B55/21	Längflue*	0.041
B53/09	Nadelgrat-E-III*	0.044
B53/21n	Gemsplatten* - Dead Ice?	0.044
B55/01	Freiplatten-N*	0.050
B54/04	Gugla-NE*	0.051
B55/29n	Teufelsgrat-N*	0.053
B55/34n	Alphubel-W*	0.056
B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.060
B55/25	Oberrothorn-NW*	0.062
B55/15	Alphubel-S*	0.080
B55/24	Oberrothorn-N*	0.086
B88/23	Fluehorn-NW*	0.087
	FALLGLETSCHER - Dead Ice	0.097
B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.107
B53/10	Schilthorn-W*	0.111
B53/06	FALLGLETSCHER	0.114
B55/17	Feechopf-W*	0.117
B55/05	Hohgw ├ñchte*	0.121
B52/65n	Strahlhorn-SE*	0.149
B55/02	D ├£RRENGLETSCHER	0.155
B55/10	Chessi*	0.155
B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.160
B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.253
B56/01	Längfluejoch-E*	0.256

B52/26	Fluchthorn-NE*	0.266
B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E	0.278
B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.368
B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.390
B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.499
B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.544
B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.578
B52/64n	Strahlhorn-E*	0.601
B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.871
B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.885
B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.895
B55/19	Lägfluegletscher-E*	0.969
B55/09	KINGLETSCHER-S	0.970
B53/08	BIDERGLETSCHER	1.191
B55/08	KINGLETSCHER-N	1.244
B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427
B55/36n	Mellichgletscher-S*	1.458
B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)*	1.471
B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.742
B55/07	FESTIGLETSCHER	1.849
B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.936
B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.051
B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)*	2.110
B52/32	Hohlaub Gletscher*	2.177
B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235
B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.340
B53/18n	Feegletscher-N-I (Täschhorn)*	3.454
B52/63n	Schwarzberggletscher*	5.223
B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.495
B54/03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.714
B52/29	Allalingletscher*	9.419
B56/16n	Findelengletscher *	14.304
	Total	83.716

Tableau 5 Glaciers composant le groupe de l'Aiguille de l'Argentière selon le SGI2010.

	ID	Name	Surface km²
1	B85_22	Portalet-II *	0.003
2	B86_03n	Rond Glacier*	0.014
3	B85_14	Crète Sèche-NE*	0.027
4	B85_06	Les Rosettes*	0.035
5	B85_15	EVOLE GLACIER DE L'	0.046
6	B90_03	Otanes*	0.056
7	B85_21	Portalet-I*	0.067
8	B86_01	ARPETTE GLACIER D'	0.071

9	B85_18	PLINES GLACIER DES	0.079
10	B85_27n	Evole-W*	0.087
11	B85_17	Suzanne*	0.135
12	B90_05	BERONS GLACIER DES	0.234
13	B85_26n	Grande Lui*	0.303
14	B85_20	RAVINES ROUSSES GLACIER DES	0.336
15	B85_11	TREUTSE BO GLACIER DE	0.393
16	B85_13	PLANEREUSES GLACIER DES	0.538
17	B90_06n	Petoudes*	0.678
18	B90_04	GRANDS GLACIER DES	0.880
19	B85_08	GLACIER DE L' A NEUVE	0.885
20	B85_04	GLACIER DU DOLENT	1.266
21	B85_23	ORNY GLACIER D'	1.273
22	B85_07	A NEUVE GLACIER DE L'-S	1.919
23	B90_02	GLACIER DU TRIENT	5.823
24	B85_29n	Saleina*	6.541
	Total		21.688

Tableau 6 : glaciers composant les groupes du Mischabel selon le SGI2010.

	ID	Name	Surface Km^2
1	B52_31	Hohlaubgrat-E*	0.006
2	B55_25	Oberrothorn-NW*	0.012
3	B53_23n	Nadelgrat-E-I*	0.015
4	B53_25n	Nadelgrat-W*	0.015
5	B53_05	Domjoch-E*	0.016
6	B56_13n	Rimpfischsattel*	0.018
7	B52_25	Fluchthorn-E*	0.019
8	B54_01	Kleines Bigerhorn-E*	0.019
9	B55_28n	Domjoch-W*	0.022
10	B52_28	Üssere Turu-SW*	0.029
11	B55_29n	Teufelsgrat-N*	0.050
12	B55_13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.050
13	B55_34n	Alphubel-W*	0.056
14	B55_24	Oberrothorn-N*	0.058
15	B53_06	FALLGLETSCHER	0.066
16	B55_15	Alphubel-S*	0.080
17	B55_02	DÜRRENGLETSCHER	0.080
18	B53_10	Schilthorn-W*	0.111
19	B55_17	Feechopf-W*	0.117
20	B55_05	Hohgwächte*	0.120
21	B52_27	HANGENDE GLETSCHER	0.146
22	B52_65n	Strahlhorn-SE*	0.147
23	B52_33	CHESSJENGLETSCHER-E	0.190
24	B56_01	Längfluejoch-E*	0.255

25	B52_26	Fluchthorn-NE*	0.266
26	B53_20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.350
27	B53_14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.350
28	B55_32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.383
29	B55_14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.419
30	B55_37n	Längfluegletscher-N*	0.458
31	B52_64n	Strahlhorn-E*	0.545
32	B55_16	ALPHUBELGLETSCHER	0.717
33	B55_33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.822
34	B55_09	KINGLETSCHER-S	0.848
35	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.879
36	B55_19	Längfluegletscher-E*	0.962
37	B55_08	KINGLETSCHER-N	1.186
38	B53_08	BIDERGLETSCHER	1.188
39	B52_22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.424
40	B53_19n	Feegletscher-N-I (Dom)*	1.444
41	B55_36n	Mellichgletscher-S*	1.457
42	B53_11	BALFRINGLETSCHER	1.592
43	B53_07	HOHBALMGLETSCHER	1.636
44	B55_07	FESTIGLETSCHER	1.746
45	B56_14n	ADLERGLETSCHER	2.038
46	B53_17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)*	2.083
47	B52_32	Hohlaub Gletscher*	2.105
48	B55_04	HOHBERGGLETSCHER	3.203
49	B55_18	MELLICHGLETSCHER	3.234
50	B53_18n	Feegletscher-N-I (Täschhorn)*	3.373
51	B52_63n	Schwarzberggletscher*	5.172
52	B54_03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.317
53	B53_15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.331
54	B52_29	Allalingletscher*	9.171
55	B56_16n	Findelengletscher *	14.197
		Total	79.591

Tableau 7 : échantillon des 48 glaciers du Mischabel.

	Code	Glacier Name	Surface DInSAR Km²
1	B53/05	Domjoch-E*	0.016
2	B56/13n	Rimpfischsattel*	0.018
3	B53/25n	Nadelgrat-W*	0.020
4	B55/28n	Domjoch-W*	0.022
5	B52/28	Üssere Turu-SW*	0.032
6	B52/25	Fluchthorn-E*	0.036
7	B55/29n	Teufelsgrat-N*	0.053
8	B55/34n	Alphubel-W*	0.057
9	B55/15	Alphubel-S*	0.080

10	B55/24	Oberrothorn-N*	0.086
11	B53/10	Schilthorn-W*	0.111
12	B53/06	FALLGLETSCHER	0.114
13	B55/17	Feechopf-W*	0.117
14	B55/05	Hohgwächte*	0.121
15	B52/65n	Strahlhorn-SE*	0.149
16	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.160
17	B56/01	Längfluejoch-E*	0.256
18	B52/26	Fluchthorn-NE*	0.266
19	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.278
20	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.368
21	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.390
22	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.511
23	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.544
24	B52/64n	Strahlhorn-E*	0.601
25	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.871
26	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.885
27	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.895
28	B55/19	Längfluegletscher-E*	0.969
29	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.971
30	B53/08	BIDERGLETSCHER	1.191
31	B55/08	KINGLETSCHER-N	1.244
32	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427
33	B55/36n	Mellichgletscher-S*	1.458
34	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)*	1.471
35	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.742
36	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.849
37	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.936
38	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.051
39	B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)*	2.110
40	B52/32	Hohlaub Gletscher*	2.177
41	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235
42	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.340
43	B53/18n	Feegletscher-N-I (Täschhorn)*	3.454
44	B52/63n	Schwarzberggletscher*	5.224
45	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.495
46	B54/03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.714
47	B52/29	Allalingletscher*	9.419
48	B56/16n	Findelengletscher *	14.304
	TOTAL		**81.721**

Tableau 8 : échantillon de 42 glaciers délimités grâce aux images DInSar et sur lesquelles a été localisé du débris partiel.

	Code	Glacier Name	Surface DInSAR Km²	Surface débris clip Km²

1	B52/31	Hohlaubgrat-E*	0.009	0.004
2	B55/21	Längflue*	0.041	0.003
3	B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.060	0.005
4	B55/15	Alphubel-S*	0.080	0.002
5	B55/24	Oberrothorn-N*	0.086	0.006
6		FALLGLETSCHER - Dead Ice	0.097	0.004
7	B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.107	0.011
8	B53/06	FALLGLETSCHER	0.114	0.016
9	B55/02	D ├£RRENGLETSCHER	0.155	0.007
10	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.160	0.026
11	B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.253	0.029
12	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.278	0.024
13	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.368	0.034
14	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.390	0.071
15	B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.499	0.011
16	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.544	0.023
17	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.578	0.021
18	B52/64n	Strahlhorn-E*	0.601	0.012
19	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.871	0.042
20	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.885	0.015
21	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.895	0.115
22	B55/19	Längfluegletscher-E*	0.969	0.034
23	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.970	0.113
24	B53/08	BIDERGLETSCHER	1.191	0.065
25	B55/08	KINGLETSCHER-N	1.244	0.074
26	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427	0.011
27	B55/36n	Mellichgletscher-S*	1.458	0.001
28	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)*	1.471	0.190
29	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.742	0.101
30	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.849	0.047
31	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.936	0.124
32	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.051	0.018
33	B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)	2.110	0.126
34	B52/32	Hohlaub Gletscher*	2.177	0.047
35	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235	0.013
36	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.340	0.028
37	B53/18n	Feegletscher-N-I	3.454	0.330
38	B52/63n	Schwarzberggletscher*	5.223	0.085
39	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.495	0.168
40	B54/03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.714	0.319
41	B52/29	Allalingletscher*	9.419	0.071
42	B56/16n	Findelengletscher *	14.304	0.095
			81.852	2.538

Tableau 9 : Valeurs concernant le "partially et l'entirely debris covered", pour le DInSAR inventory.

	Surface Km²	Pourcentage
Partially	2.538	98%
Entirely	4.054	90%

Tableau 10: glaciers avec l'"Entirely debris covered" à l'intérieur du DInSAR inventory.

	Code	Glacier Name	Surface DInSAR Km²	Surface débris clip Km²
1	B53/25n	Nadelgrat-W*	0.019	0.002
2	B53/12	FäRICHGLETSCHER	0.020	0.011
3		BALFRINGLETSCHER - dead ice	0.028	0.022
4	B52/28	├£ssere Turu-SW*	0.032	0.000
5	B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.060	0.004
6	B55/25	Oberrothorn-NW*	0.062	0.016
7	B55/24	Oberrothorn-N*	0.086	0.024
8	B55/23	Fluehorn-NW*	0.087	0.002
9		FALLGLETSCHER - Dead Ice	0.097	0.032
10	B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.107	0.014
11	B53/10	Schilthorn-W*	0.111	0.001
12	B53/06	FALLGLETSCHER	0.114	0.014
13	B52/65n	Strahlhorn-SE*	0.149	0.000
14	B55/02	D ├£RRENGLETSCHER	0.155	0.008
15	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.160	0.006
16	B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.253	0.161
17	B56/01	Längfluejoch-E*	0.256	0.001
18	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E	0.278	0.019
19	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.368	0.046
20	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.390	0.021
21	B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.499	0.007
22	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.544	0.202
23	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.578	0.062
24	B52/64n	Strahlhorn-E*	0.601	0.042
25	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.871	0.048
26	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.885	0.098
27	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.895	0.073
28	B55/19	Längfluegletscher-E*	0.969	0.018
29	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.970	0.077
30	B53/08	BIDERGLETSCHER	1.191	0.065
31	B55/08	KINGLETSCHER-N	1.244	0.055
32	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427	0.010
33	B55/36n	Mellichgletscher-S	1.458	0.004
34	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)	1.471	0.042
35	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.742	0.177
36	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.849	0.044

37	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.936	0.229
38	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.051	0.029
39	B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)	2.110	0.107
40	B52/32	Hohlaub Gletscher	2.177	0.057
41	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235	0.029
42	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.340	0.126
43	B53/18n	Feegletscher-N-I	3.454	0.296
44	B52/63n	Schwarzberggletscher	5.223	0.437
45	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.495	0.290
46	B54/03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.714	0.463
47	B52/29	Allalingletscher	9.419	0.451
48	B56/16n	Findelengletscher	14.304	0.115
			82.486	4.054

Tableau 11 Valeurs concernant le “partially” et l'“entirely debris covered” pour le SGI2010

	Surface Km²	Pourcentage
Partially	2.453	46.3%
Entirely	2.851	53.8%

Tableau 12 “Partially debris covered” présent à l’intérieur du SGI2010 pour le massif du Mischabel

	Code	Surface		Surface clip Km²
1	B52/31	0.006	Hohlaubgrat-E*	0.004
2	B53/23n	0.014	Nadelgrat-E-I*	0.005
3	B54/01	0.019	Kleines Bigerhorn-E*	0.019
4	B55/13	0.050	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.010
5	B55/24	0.058	Oberrothorn-N*	0.005
6	B55/15	0.080	Alphubel-S*	0.002
7	B55/02	0.081	DÜRRENGLETSCHER	0.006
8	B52/27	0.145	HANGENDE GLETSCHER	0.026
9	B52/33	0.190	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.017
10	B53/20n	0.349	FEEGLETSCHER-N-II	0.034
11	B53/14n	0.350	FEEGLETSCHER-S-I	0.070
12	B55/32n	0.383	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.022
13	B55/14	0.418	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.021
14	B55/37n	0.458	Längfluegletscher-N*	0.011
15	B52/64n	0.546	Strahlhorn-E*	0.011
16	B55/16	0.719	ALPHUBELGLETSCHER	0.001
17	B55/33n	0.823	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.041
18	B55/09	0.848	KINGLETSCHER-S	0.112
19	B56/04	0.879	TRIFTJIGLETSCHER	0.115
20	B55/19	0.963	Längfluegletscher-E	0.034
21	B53/08	1.191	KINGLETSCHER-N	0.065
22	B55/08	1.191	BIDERGLETSCHER	0.072

23	B52/22	1.427	SEEWJINEN GLETSCHER	0.011
24	B53/19n	1.445	Feegletscher-N-I (Dom)	0.189
25	B55/36n	1.458	Mellichgletscher-S*	0.001
26	B53/11	1.584	BALFRINGLETSCHER	0.111
27	B53/07	1.635	HOHBALMGLETSCHER	0.101
28	B55/07	1.747	FESTIGLETSCHER	0.046
29	B56/14n	2.041	ADLERGLETSCHER	0.018
30	B53/17n	2.085	Feegletscher-N-I (Alphubel)	0.125
31	B52/32	2.108	Hohlaub Gletscher*	0.044
32	B55/04	3.200	HOHBERGGLETSCHER	0.028
33	B55/18	3.235	MELLICHGLETSCHER	0.013
34	B53/18n	3.370	Feegletscher-N-I (Täschhorn)	0.326
35	B52/63n	5.168	Schwarzberggletscher	0.085
36	B54/03	7.317	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	0.318
37	B53/15n	7.325	FEEGLETSCHER-S-II	0.165
38	B52/29	9.159	Allalingletscher*	0.070
39	B56/16n	14.196	Findelengletscher *	0.095
			Total	2.445

Tableau 13 : Surface totale de "partially debris covered" présent à l'intérieure et a l'extérieure du SGI2010 pour le groupe du Mischabel.

	Code		Surface Km²	Surface débris totale Km²
1	B52/31	Hohlaubgrat-E*	0.006	0.004
2	B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.014	0.005
3	B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.019	0.029
4	B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.050	0.011
5	B55/24	Oberrothorn-N*	0.058	0.006
6	B55/15	Alphubel-S*	0.080	0.003
7	B55/02	DÜRRENGLETSCHER	0.081	0.007
8	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.145	0.026
9	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.190	0.067
10	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.349	0.034
11	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.350	0.072
12	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.383	0.023
13	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.418	0.021
14	B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.458	0.017
15	B52/64n	Strahlhorn-E*	0.546	0.012
16	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.719	0.016
17	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.823	0.042
18	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.848	0.114
19	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.879	0.122
20	B55/19	Längfluegletscher-E	0.963	0.037
21	B53/08	KINGLETSCHER-N	1.191	0.068

22	B55/08	BIDERGLETSCHER	1.191	0.074
23	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427	0.013
24	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)	1.445	0.192
25	B55/36n	Mellichgletscher-S*	1.458	0.001
26	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.584	0.128
27	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.635	0.102
28	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.747	0.047
29	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.041	0.018
30	B53/17n	Feegletscher-N-I	2.085	0.126
31	B52/32	Hohlaub Gletscher*	2.108	0.048
32	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.200	0.028
33	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235	0.015
34	B53/18n	Feegletscher-N-I	3.370	0.330
35	B52/63n	Schwarzberggletscher	5.168	0.085
36	B54/03	RIEDGLETSCHER (Nr. 17)	7.317	0.320
37	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.325	0.169
38	B52/29	Allalingletscher*	9.159	0.072
39	B56/16n	Findelengletscher *	14.196	0.104
		Total	78.260	2.608

Tableau 14 Glacier avec l'entirely debris covered sur le SGI2010 pour le massif du Mischabel.

	Code	Glacier Name	Surface Km²	surface clip Km²
1	B55/25	Oberrothorn-NW*	0.012	0.003
2	B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.014	0.002
3	B53/25n	Nadelgrat-W*	0.015	0.000
4	B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.019	0.001
5	B52/28	Üssere Turu-SW* (Teilgl. von B52/66n)	0.029	0.000
6	B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.050	0.014
7	B55/24	Oberrothorn-N*	0.058	0.004
8	B53/06	FALLGLETSCHER	0.066	0.000
9	B55/02	DÜRRENGLETSCHER	0.081	0.001
10	B53/10	Schilthorn-W*	0.111	0.001
11	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.145	0.005
12	B52/65n	Strahlhorn-SE*	0.146	0.000
13	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.190	0.003
14	B56/01	Längfluejoch-E*	0.256	0.001
15	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.349	0.046
16	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.350	0.017
17	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.383	0.125
18	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.418	0.014
19	B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.458	0.007
20	B52/64n	Strahlhorn-E	0.546	0.030

21	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.719	0.001
22	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.823	0.028
23	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.848	0.016
24	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.879	0.060
25	B55/19	Längfluegletscher-E	0.963	0.018
26	B53/08	KINGLETSCHER-N	1.191	0.065
27	B55/08	BIDERGLETSCHER	1.191	0.034
28	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427	0.010
29	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)	1.445	0.040
30	B55/36n	Mellichgletscher-S	1.458	0.004
31	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.584	0.074
32	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.635	0.167
33	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.747	0.019
34	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.041	0.027
35	B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)	2.085	0.093
36	B52/32	Hohlaub Gletscher	2.108	0.054
37	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.200	0.113
38	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235	0.029
39	B53/18n	Feegletscher-N-I	3.370	0.257
40	B52/63n	Schwarzberggletscher	5.168	0.383
41	B54/03	RIEDGLETSCHER	7.317	0.342
42	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.325	0.257
43	B52/29	Allalingletscher	9.159	0.387
44	B56/16n	Findelengletscher	14.196	0.098
		Total	78.809	2.849

Tableau 15: Surface totale de l'entirely debris covered présente à l'intérieur et à l'extérieure du SGI2010 pour le groupe du Mischabel.

	Code	Glacier Name	Surface Km²	Débris tot Km²
1	B55/25	Oberrothorn-NW*	0.012	0.016
2	B53/23n	Nadelgrat-E-I*	0.014	0.004
3	B53/25n	Nadelgrat-W*	0.015	0.002
4	B54/01	Kleines Bigerhorn-E*	0.019	0.171
5	B52/28	Üssere Turu-SW*	0.029	0.000
6	B55/13	WEINGARTENGLETSCHER-S-I	0.05	0.014
7	B55/24	Oberrothorn-N*	0.058	0.024
8	B53/06	FALLGLETSCHER	0.066	0.015
9	B55/02	DÜRRENGLETSCHER	0.081	0.008
10	B53/10	Schilthorn-W*	0.111	0.001
11	B52/27	HANGENDE GLETSCHER	0.145	0.007
12	B52/65n	Strahlhorn-SE*	0.146	0.000
13	B52/33	CHESSJENGLETSCHER-E (Nr. 12)	0.19	0.021
14	B56/01	Längfluejoch-E*	0.256	0.001
15	B53/20n	FEEGLETSCHER-N-II	0.349	0.048
16	B53/14n	FEEGLETSCHER-S-I	0.35	0.021

17	B55/32n	WEINGARTENGLETSCHER-N-I	0.383	0.210
18	B55/14	WEINGARTENGLETSCHER-S-II	0.418	0.072
19	B55/37n	Längfluegletscher-N*	0.458	0.022
20	B52/64n	Strahlhorn-E	0.546	0.045
21	B55/16	ALPHUBELGLETSCHER	0.719	0.106
22	B55/33n	WEINGARTENGLETSCHER-N-II	0.823	0.049
23	B55/09	KINGLETSCHER-S	0.848	0.078
24	B56/04	TRIFTJIGLETSCHER	0.879	0.100
25	B55/19	Längfluegletscher-E	0.963	0.044
26	B53/08	KINGLETSCHER-N	1.191	0.075
27	B55/08	BIDERGLETSCHER	1.191	0.057
28	B52/22	SEEWJINEN GLETSCHER	1.427	0.015
29	B53/19n	Feegletscher-N-I (Dom)	1.445	0.063
30	B55/36n	Mellichgletscher-S	1.458	0.005
31	B53/11	BALFRINGLETSCHER	1.584	0.247
32	B53/07	HOHBALMGLETSCHER	1.635	0.182
33	B55/07	FESTIGLETSCHER	1.747	0.047
34	B56/14n	ADLERGLETSCHER	2.041	0.030
35	B53/17n	Feegletscher-N-I (Alphubel)	2.085	0.115
36	B52/32	Hohlaub Gletscher	2.108	0.061
37	B55/04	HOHBERGGLETSCHER	3.2	0.137
38	B55/18	MELLICHGLETSCHER	3.235	0.057
39	B53/18n	Feegletscher-N-I	3.37	0.316
40	B52/63n	Schwarzberggletscher	5.168	0.517
41	B54/03	RIEDGLETSCHER	7.317	0.476
42	B53/15n	FEEGLETSCHER-S-II	7.325	0.297
43	B52/29	Allalingletscher	9.159	0.459
44	B56/16n	Findelengletscher	14.196	0.176
		Total	78.809	4.411

Tableau 16 : Valeur pour les deux typologies de débris sur le groupe de l'Aiguille de l'Argentière.

	Aiguille d'Argentière			
	Totale		SGI2010	
	Partially	Entirely	Partially	Entirely
Surface de débris en Km²	0.404	1.011	0.378	0.846
Pourcentage %	100.000	100.000	93.440	83.692

Tableau 17 : "Partilally debris covered" délimité à l'intérieure du SGI2010 pour le groupe de l'Aiguille de l'Argentière.

	Code	Glacier Name	Surface Km²	Surface clip Km²
1	B85/15	EVOLE GLACIER DE L'	0.0455	0.006
2	B85/21	Portalet-I*	0.0668	0.011
3	B86/01	ARPETTE GLACIER D'	0.0704	0.002
4	B85/18	PLINES GLACIER DES (Teilgl. von B85/16)	0.0785	0.001

5	B85/27n	Evole-W*	0.0871	0.000
6	B85/17	Suzanne* (Teilgl. von B85/16)	0.1350	0.005
7	B90/05	BERONS GLACIER DES	0.2323	0.001
8	B85/26n	Grande Lui*	0.3031	0.002
9	B85/20	RAVINES ROUSSES GLACIER DES	0.3361	0.003
10	B85/11	TREUTSE BO GLACIER DE	0.3942	0.003
11	B85/13	PLANEREUSES GLACIER DES	0.5392	0.029
12	B90/06n	Petoudes*	0.6776	0.004
13	B85/08	A NEUVE GLACIER DE L'-N	0.8840	0.026
14	B85/04	DOLENT GLACIER DU	1.2603	0.025
15	B85/23	ORNY GLACIER D' (Nr. 108)	1.2691	0.056
16	B85/07	GLACIER DE L' A NEUVE -S	1.9200	0.039
17	B90/02	GLACIER DU TRIENT (Nr. 43)	5.8255	0.014
18	B85/29n	Saleina* (Teilgl. von B85/16)	6.5481	0.151

Tableau18 : Entirely debris covered delimité à l'intérieure du SGI2010 pour le groupe de l'Aguille de l'Argentière.

	Code	Glacier Name	Surface glacier Km²	Surface clip Km²
1	B85/14	Crête Sèche-NE*	0.02737	0.00001
2	B85/06	Les Rosettes*	0.03531	0.00003
3	B85/15	GLACIER DE L' EVOLE	0.04548	0.00212
4	B85/21	Portalet-I*	0.06684	0.00755
5	B85/18	PLINES GLACIER DES	0.07852	0.00592
6	B85/27n	Evole-W*	0.08706	0.00442
7	B85/17	Suzanne* (Teilgl. von B85/16)	0.13502	0.01390
8	B90/05	BERONS GLACIER DES	0.23225	0.00093
9	B85/26n	Grande Lui*	0.30313	0.00099
10	B85/20	RAVINES ROUSSES GLACIER DES	0.33613	0.00650
11	B85/11	TREUTSE BO GLACIER DE	0.39423	0.00712
12	B85/13	PLANEREUSES GLACIER DES	0.53922	0.05306
13	B85/08	Petoudes*	0.88405	0.02623
14	B85/04	GRANDS GLACIER DES	1.26029	0.03646
15	B85/23	A NEUVE GLACIER DE L'-N	1.26906	0.09186
16	B85/07	DOLENT GLACIER DU	1.91999	0.25719
17	B90/02	ORNY GLACIER D' (Nr. 108)	5.82550	0.00265
18	B85/29n	GLACIER DE L' A NEUVE -S	6.54807	0.32923
		Total	19.988	0.846

Tableau 19 : Surface totale de l'Entirely debris covered délimitée sur les glaciers du groupe de l'Aiguille de l'Argentière

	Code	Glacier Name	Surface glacier Km²	Surface total Km²
1	B85/14	Crête Sèche-NE*	0.02737	0.00001
2	B85/06	Les Rosettes*	0.03531	0.00003
3	B85/15	EVOLE GLACIER DE L'	0.04548	0.00472
4	B85/21	Portalet-I*	0.06684	0.00793
5	B85/18	PLINES GLACIER DES	0.07852	0.00686

6	B85/27n	Evole-W*	0.08706	0.00476
7	B85/17	Suzanne* (	0.13502	0.02320
8	B90/05	BERONS GLACIER DES	0.23225	0.00093
9	B85/26n	Grande Lui*	0.30313	0.00386
10	B85/20	GLACIER DES RAVINES ROUSSES	0.33613	0.01188
11	B85/11	TREUTSE BO GLACIER DE	0.39423	0.01096
12	B85/13	PLANEREUSES GLACIER DES	0.53922	0.05858
13	B85/08	Petoudes*	0.88405	0.05447
14	B85/04	GRANDS GLACIER DES	1.26029	0.04596
15	B85/23	A NEUVE GLACIER DE L'-N	1.26906	0.10551
16	B85/07	DOLENT GLACIER DU	1.91999	0.28369
17	B90/02	ORNY GLACIER D' (Nr. 108)	5.82550	0.00590
18	B85/29n	GLACIER DE L' A NEUVE -S	6.54807	0.38007
		Total	19.988	1.00934

Tableau20 : Surface totale de “partially debris covered” totale délimitée sur les glaciers du groupe de l’Aiguille de l’Argentière

	Code	Glacier Name	Surface Km²	Surface total Km²
1	B85/15	EVOLE GLACIER DE L'	0.0455	0.0068
2	B85/21	Portalet-I*	0.0668	0.0110
3	B86/01	ARPETTE GLACIER D'	0.0704	0.0022
4	B85/18	PLINES GLACIER DES	0.0785	0.0012
5	B85/27n	Evole-W*	0.0871	0.0006
6	B85/17	Suzanne*	0.1350	0.0059
7	B90/05	BERONS GLACIER DES	0.2323	0.0012
8	B85/26n	Grande Lui*	0.3031	0.0026
9	B85/20	RAVINES ROUSSES GLACIER DES	0.3361	0.0029
10	B85/11	TREUTSE BO GLACIER DE	0.3942	0.0029
11	B85/13	PLANEREUSES GLACIER DES	0.5392	0.0290
12	B90/06n	Petoudes*	0.6776	0.0037
13	B85/08	GLACIER DE L' A NEUVE -N	0.8840	0.0278
14	B85/04	GLACIER DU DOLENT	1.2603	0.0264
15	B85/23	ORNY GLACIER D' (Nr. 108)	1.2691	0.0638
16	B85/07	GLACIER DE L' A NEUVE -S	1.9200	0.0406
17	B90/02	GLACIER DU TRIENT (Nr. 43)	5.8255	0.0160
18	B85/29n	Saleina* (Teilgl. von B85/16)	6.5481	0.1564
		Total	20.6728	0.4010

Tableau 21 Marge d'erreur

	Pourcentage	Surface
Trient	0.51	0.0072
Mischabel	0.509	0.035

Tableau 22 rapport de surface de glace par chaque kilomètre du débris rocheux

	Aiguille Argentière	DInSAR Inventory	Mischabel SGI2010
Km^2 de glace pour chaque km^2 de débris	15.2498	12.1772	11.5701
pourcentage débris en rapport à la surface de glace	6.5575	8.2121	8.6430