



RAPPORT DE STAGE



Station col du Lac Blanc

Hugo KERSAUDY

DUT Mesures physiques Grenoble

Du 16 avril au 23 juin 2018

Maître de stage : Christophe GENTHON

Tuteur du stage : Hervé BELLOT



SOMMAIRE

Introduction.....	3
1. Présentation des laboratoires.....	4
1.1 Le LGGE	4
1.2 L'IRSTEA.....	4
2. Le thème de recherche.....	6
2.1 Le transport de neige.....	6
2.2 Les différents modes	6
2.3 Pourquoi collaborent-ils ?.....	9
3 Objectifs et attentes du stage.....	10
4 Lieux et dispositifs expérimentaux.....	10
4.1 Lieux expérimentation.....	11
4.2 Dispositifs expérimentaux.....	12
5 Les différents capteurs utilisés	13
5.1 Capteur de mesure de flux.....	13
5.1.1 Flowcapt.....	13
5.1.2 SPC.....	15
5.2 Capteur de mesure de vent.....	16
5.2.1 WSFT.....	16
5.2.2 Anémomètre de young.....	16
6 Extraction des données.....	17
7 Comparaison des vents.....	18
8 Comparaison des flux.....	21
8.1 Calculs préliminaires	21
8.2 Comparaison des flux	22
9. Conclusion.....	23
9.1 Conclusion technique et perspectives.....	25
9.2 Bilan général.....	25
Table des annexes.	28
Bibliographie.....	37

Introduction

Mon stage se déroule conjointement dans deux centres de recherche l'IGE et l'IRSTEA.

Dans le cadre de leurs recherches scientifiques, l'IGE et l'IRSTEA sont amenés à réaliser des campagnes de mesures en Antarctique et dans les alpes française.

L'antarctique est un terrain d'expérimentation peu fréquent avec des conditions météorologiques très difficiles.

L'étude du climat de cette région est en effet indispensable pour comprendre le changement climatique à l'échelle mondiale et ses conséquences en particulier la montée des eaux.

Pour essayer de comprendre ces phénomènes, ces instituts ont installé des dispositifs expérimentaux dans ces lieux.

L'objectif de ce stage est d'extraire et d'analyser des données météorologiques obtenues par des capteurs et ensuite comparer ces capteurs.

Dans la première partie de ce rapport on va expliquer le contexte du stage en commençant par une présentation de l'IGE et de l'IRSTEA et de leurs activités puis on définira le thème du stage.

Dans un second temps on présentera les différents capteurs et sites expérimentaux.

On pourra ensuite comparer les flux et vitesse du vent obtenus par les capteurs et conclure finalement ce rapport.

1 Présentation des laboratoires

Mon stage sur le transport de neige par le vent est encadré par deux tuteurs qui viennent de deux centres de recherche différents.

Le premier centre de recherche est l'IGE qui m' a fournis un endroit ou travailler et qui finance ce stage et l'autre centre de recherche est l'IRSTEA.

1-L'Institut des Géosciences et de l'Environnement



Figure 1: logo IGE

Tout d'abord l'IGE est un laboratoire public de recherche crée au 1 er janvier 2017 à partir de la fusion du LGGE (Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement) et du LITHE (Laboratoire d'étude des Transfert en Hydrologie et Environnement).

L'IGE mène des recherches dans de nombreux domaines de l'environnement : le climat, la cryosphère et le cycle de l'eau.

Ces recherches visent à mieux comprendre ces phénomènes et les conséquences de l'action des hommes sur l'environnement.

Pour mener a bien ces recherches, l'IGE est présente dans de nombreuses zones géographiques variées: les milieux alpins, polaires, l'océan et les zones intertropicales.

L'IGE est composé de plusieurs unités de recherche CYME GLACE et ICE3 qui étudient chacune un domaine précis.

Pour ma part, j'effectue mon stage au sein de l'unité GLACE qui étudie l'évolution des calottes glaciaires et leur impact sur le réchauffement climatique.

2 L'Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture



Figure 2 : logo IRSTEA

L'IRSTEA est un organisme de recherche publique qui existe depuis plus de 30 ans.

L'IRSTEA s'appuie sur trois axes de recherche principaux :

- La gestion de la durabilité des territoires, notamment agricoles et périurbains, leurs ressources (eau), leurs productions (alimentaire et énergétique), mais aussi les flux humains, économiques et financiers.
- La prévision et la prévention des risques naturels (crues, inondations, avalanches) et environnementaux (chimiques, biologiques...).
- La préservation de la biodiversité et sa participation à la production de ressources (biomasse forestière).

L'IRSTEA est présent dans toute la France avec plus de 9 centres dont un à Grenoble.

Chaque centre accueille des unités de recherches spécifiques.

Je travaille précisément au sein de l'unité ETNA (Érosion Torrentielle, Neige et Avalanche).

2 Thème de recherche

2.1-le transport de neige

Le transport de neige est le déplacement de la neige d'un endroit A à B. Pendant ce rapport nous allons souvent parler de 'flux de neige' qui est simplement la masse de neige transportée sur une certaine surface en un certain temps ($\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$)

Le transport de neige peut s'effectuer de deux façons différentes :

- le transport de neige par le vent
- la chute de neige

Le transport de neige par le vent est le déplacement de la neige déjà tombée par l'effet de vent. La neige est transportée sur une certaine distance d'un endroit à un autre (distance parfois très importante de l'ordre du km)

La chute de neige est la chute simple des grains de neige verticalement avec ou sans vent.

Le flux de neige dépend directement d'une variable très importante, la hauteur entre le flux mesuré et le manteau neigeux.

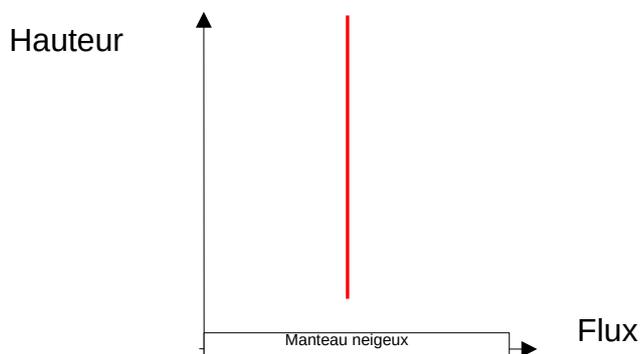


Figure 3: Profil chute de neige sans vent

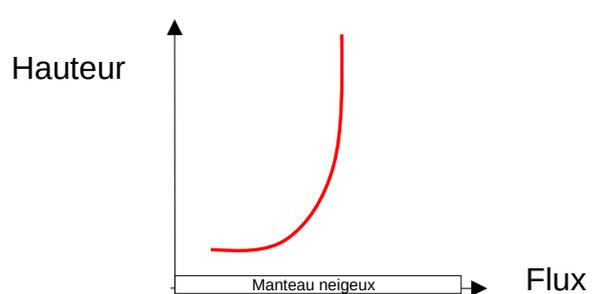


Figure 4: Profil chute de neige avec vent

Lorsqu'il y a du vent les flocons entraînés par ce vent génèrent un flux qui est directement dépendant de la vitesse du vent.

Le profil du flux de neige avec le vent est donc semblable au profil du vent avec des vent/flux faibles proche du sol.

On a les profils de flux de neige en fonction de la hauteur suivant :

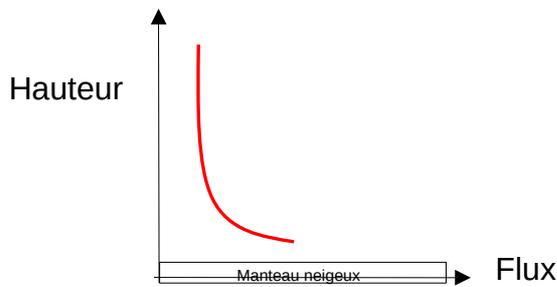


Figure 5: Profil flux transport de neige par le vent

On obtient le profil figure 5 car les flux sont plus importants près du sol.

Cela est dû à l'effet du transport de neige par le vent (Radok,1977).

La hauteur par rapport au sol influe directement sur la valeur de flux mesurée.

Le modèle théorique du flux en fonction de la hauteur établie par (Trouvilliez & all,2015) est le suivant :

$$F(H) = F(H_0) \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-m} \quad \text{Équation 1}$$

H hauteur par rapport au manteau neigeux (m)
 H_0 distance sur laquelle on intègre (m)
 m Coefficient directeur

Ce sont les profils théoriques mais dans la réalité, il y a souvent du transport de neige par le vent en même temps que des chutes de neiges ce qui complique les analyses.

2.2-Les différents modes

Le transport de neige par le vent est un phénomène très complexe.

Les physiciens ont du mal à comprendre les phénomènes physiques mais ils ont remarqué que le transport de neige par le vent (TNV) peut se classer en trois modes différents.

Ces modes sont applicables à toutes particules soumises au vent (la neige, le sable...)

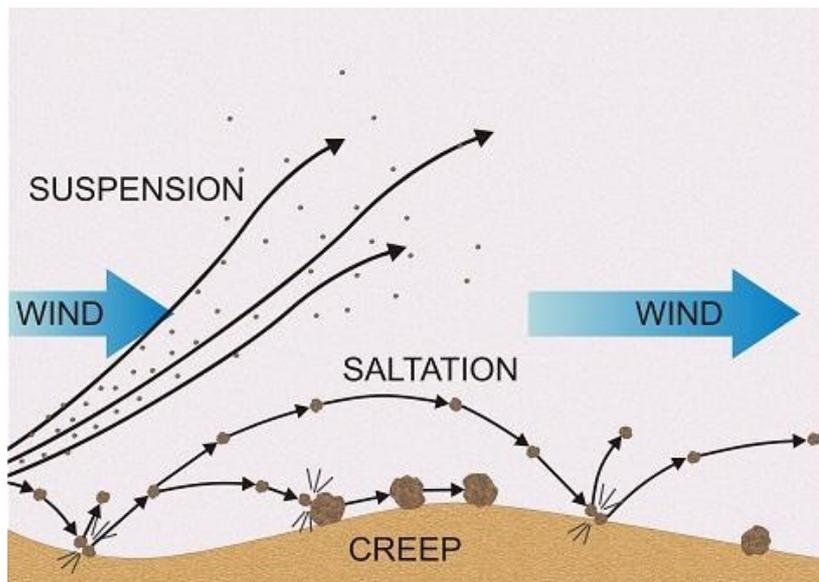


Figure 6 : modèle déplacement particules

Les trois modes sont :

-le splash ou creep : le grain de neige roule sur le sol à partir d'un vent minimal (ce phénomène a lieu entre 0 et 2 cm au dessus du sol)

-la saltation: lorsque que le vent augmente; un petit grain de neige qui saute en faisant de petit déplacement et en retombant éjecte d'autres grains de neiges

-la diffusion ou suspension qui a lieu partir de 20 cm au dessus de la neige. Ce sont les grains les plus légers qui sont transportés par le vent.

Les phénomènes physiques du splash et de la saltation sont complexes à comprendre et à modéliser Dans notre cas on va seulement s'intéresser à la diffusion.

On va donc seulement prendre en compte pour nos mesures, les valeurs au dessus de 20cm.

2.3 Collaboration entre les instituts

Je viens de présenter ces deux organismes de recherches et le thème de recherche, on va maintenant voir pourquoi ces chercheurs travaillent ensemble.

Comme on l'a vu précédemment, l'IGE étudie le bilan de la calotte glaciaire et les conséquences du réchauffement climatique.

Les chercheurs ont remarqué que la fonte de la calotte glaciaire et la montée des océans étaient en partie dues au transport de neige.

En effet en antarctique, le vent est très fort et la quantité de neige transportée par le vent est très importante.

Une grande partie de la neige transportée finit sa course directement dans la mer ce qui a pour effet de favoriser la montée des océans.

Ils veulent comprendre les processus physiques et pouvoir établir des modèles cohérents pour voir l'influence précise de ce phénomène.

L'IRSTEA étudie la gestion de l'eau et ses risques associés.

Dans notre cas les avalanches et les congères qui sont en grande partie liées au transport de neige par le vent.

En effet le transport de neige par le vent déplace la neige des endroits exposés au vent vers des endroits sous le vent ce qui forme des accumulations très importantes de neige et entraîne la formation de corniches, de congères ou de plaques à vent.

Ces accumulations de neige augmentent grandement les risques de départ d'avalanche dans les pentes à plus de 30°.

Ces deux centres de recherches avaient donc tout intérêt à collaborer et partager leurs ressources sur l'étude de ce phénomène.

3 Objectifs du stage

Comme on l'a vu précédemment le transport de neige par le vent est un phénomène très important mais difficile à analyser et à comprendre.

Pour pouvoir établir des modèles proches de la réalité les équipes de recherches ont besoin de valeurs de flux caractéristique de certains lieux.

Ils ont donc installé des centrales de mesures équipées de nombreux capteurs dans les Alpes françaises et en antarctique

Ils ont donc besoin d'avoir des mesures précises et fiables.

Depuis de nombreuses années un capteur de mesure de flux de neige le SPC (Snow Particle Counter) est installé sur les différents sites, il est considéré comme étant un capteur de référence.

Une nouvelle génération d'un autre capteur vient d'être installé le FlowCapt.

Mon travail consiste à extraire et analyser les données obtenues par les capteurs (vitesse de vent et flux) en réalisant un programme sous python.

Je dois comparer les capteurs de mesure de flux (Flowcapt et SPC).

Je devrais ensuite établir les causes des éventuelles différences et essayer d'établir des pistes d'amélioration.

4 Lieux et dispositifs expérimentaux

4.1 Lieu des expérimentations

L'IRSTEA en collaboration avec météo France possède un site expérimental dans les alpes françaises à coté de l'alpe d'huez : le site du col du lac blanc.

Les capteurs sont d'abord testés au col du lac blanc avant d'être éventuellement envoyés en antarctique.

La principale raison de l'installation de cette base est l'orientation du vent.

En effet le vent est orienté à plus de 80 % sur un axe nord sud. Il s'agit d'une véritable soufflerie naturelle : le transport de neige par le vent est donc très marqué.

De plus, le site est situé à plus de 2800 mètres d'altitudes et les conditions météorologiques sont extrêmes et se rapprochent de celles observées en antarctique. La situation du site qui est proche de la station de ski facilite les communications et éventuelles réparations (en plus de l'accès à l'électricité et aux réseaux).

Figure 7 : col du lac blanc



L'IGE quand à lui possède un site expérimental en antarctique :la base française Dumont d'Urville

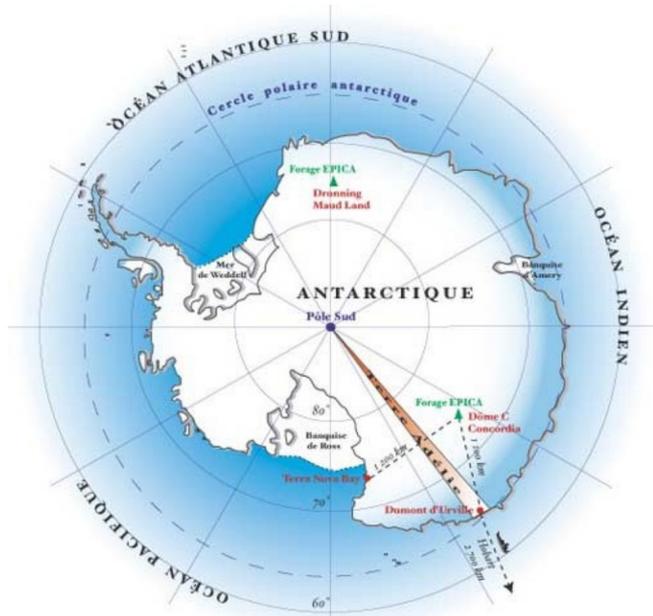


Figure 8 :Base Dumont D'Urville en antarctique

4.2 Dispositifs expérimentaux

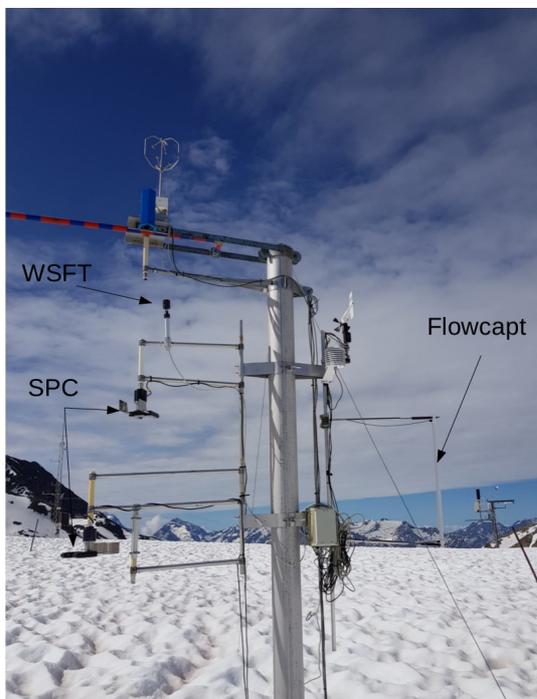


Figure 9 : dispositif expérimental col du lac blanc

Le dispositif expérimental est composé de trois SPC (capteur de flux de neige),un Flowcapt (capteur flux de neige),un WSFT (anémomètre),un anémomètre de Young et d'un capteur de hauteur (voir annexe).

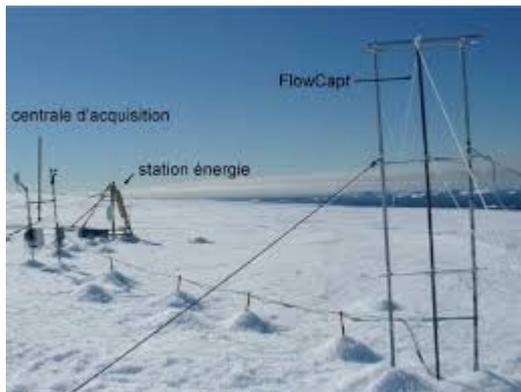


Figure 10 : dispositif expérimental Dumont D'urville antarctique

5 Les différents capteurs

Les capteurs sont soumis a des contraintes météorologiques très forte : rafales de vent , températures extrêmes.Ils sont donc extrêmement robuste. On a de nombreux types de capteurs sur ces centrales;capteur de hauteur de neige,d'humidité de température mais on va seulement s'intéresser sur deux types de capteur différents :

5.1 Capteurs de mesures de flux de neige : Le Flowcapt

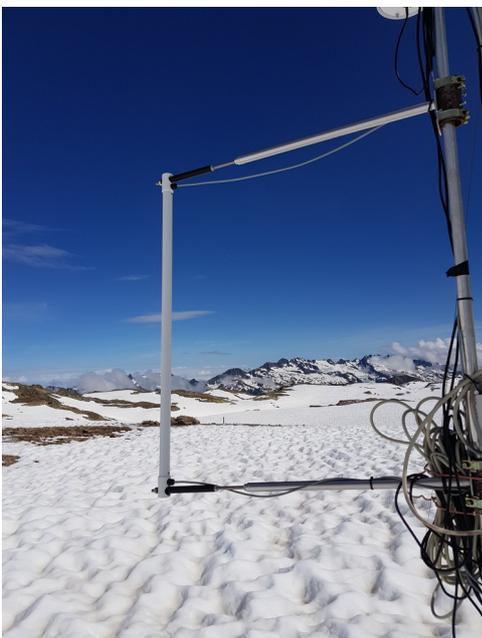


Figure 11 : Le flowcapt avec ses supports

Le FlowCapt est un capteur qui permet de quantifier le vent et le flux de neige.

Le FlowCapt a initialement été développé par le Cemagref de Grenoble et est maintenant commercialisé en Suisse par la société IAV technologie.

Les chercheurs et ingénieurs de l'IGE entretiennent de nombreux liens avec cette entreprise pour échanger des informations et pour pouvoir améliorer la prochaine génération.

Les mesures que j'ai à analyser sont celles du Flowcapt 4 ème génération.

Le FlowCapt se présente sous la forme d' un tube cylindrique vertical d'un mètre de long

Ce capteur est basé sur un principe acoustique.

Il est équipé d'un microphone aux deux extrémités capable d'enregistrer le bruit causé par les impacts des grains de neige et de fournir un flux exprimé en $\text{kg.cm}^{-2} .\text{s}^{-1}$.

Lors d'un épisode de transport de neige par le vent,les particules frappent les tubes ce qui génère un pression acoustique.

Cette pression via un transducteur est transformée en un signal qui est filtré et amplifier.

Pour connaître la correspondance entre ce signal et le flux chaque Flowcapt à été calibré.

Des particules de PVC cubiques sont envoyés à une vitesse de 1 m/s sur le capteur. Les constructeurs varient le nombre de particules envoyées sur le Flowcapt.

Une expérimentation (Chritin et al., 1999) à permis d'établir qu'il y avait une relation linéaire entre entre la pression acoustique et le transport de neige de la forme suivante :

$$P = F \times \left(\frac{U}{N}\right)^\alpha \quad \text{Équation 2}$$

avec P la puissance acoustique (Pa)

F le flux de particule ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)

U vitesse des particules m/s

N concentration des particules (m^{-3})

Selon les constructeurs, on obtient la relation suivante

$$F = A \times \text{signal}^2 \quad \text{Équation 3}$$

avec F le flux de particule ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)

Le Flowcapt nous donne directement la valeur du flux en ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$) en haut et en bas du cylindre (pour chaque capteur).

Malheureusement ces deux valeurs de flux sont intégrés sur toute la hauteur du capteur et ne donnent pas une mesure précise à une hauteur donnée.

Le SPC

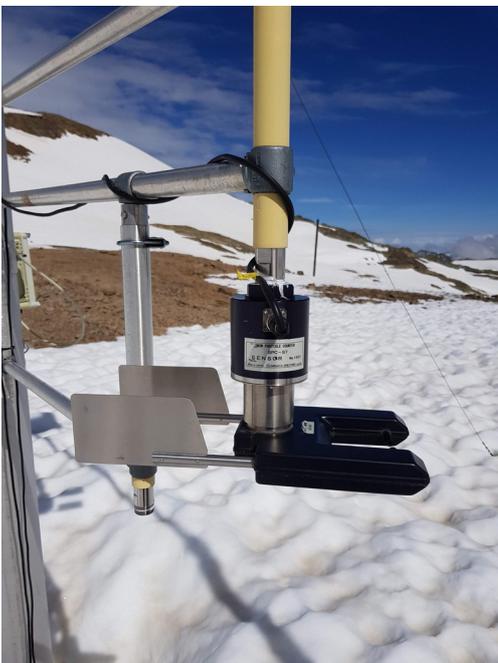


Figure 12 : Le Snow Particle Counter

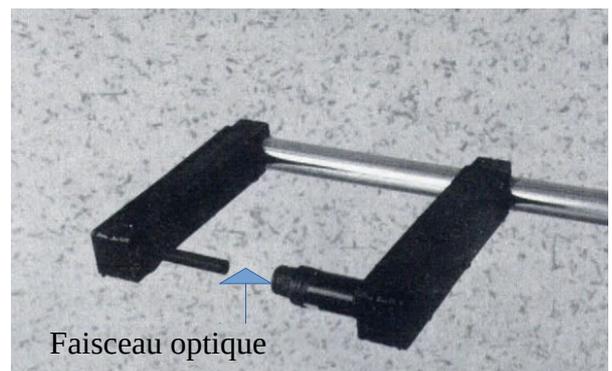


Figure 12 bis : Le Snow Particle Counter

Le SPC (Snow Particle Counter) est un capteur qui permet de quantifier le flux de neige.

Ce capteur d'origine japonaise (SPC-S7) est développé par la société Niigata Electric.

Il est constitué d'un faisceau optique qui est coupé par le passage des particules.

Le faisceau optique est une diode laser d'une longueur d'onde de 780 nm.

Le diamètre et le nombre des particules de neige transportées sont détectées par leur ombre sur des semi conducteurs photosensibles.

L'amplitude du pic d'atténuation (U) du signal est proportionnelle à la taille de la particule. Ces particules sont classées en 32 tailles discrètes de 50 à 500 μm et le capteur retourne le nombre de particules pour chaque taille toutes les secondes. Ces particules sont considérées comme sphériques.

Le SPC nous permet d'accéder à la granulométrie des particules transportées, mais également à une mesure plus précise du flux en un point grâce à une estimation de la masse volumique des particules.

On a en annexe des schémas explicatifs concernant le SPC.

Le flowcapt nous donne directement la valeur du flux en ($\text{kg}/\text{cm}^2/\text{s}$).

5.2 Capteur vitesse de vent

Le WSFT



Le WSFT est un capteur qui mesure la vitesse et la direction du vent.

C'est un capteur acoustique il émet des ultrasons entre deux plaques (voir annexe 8). Les ultrasons se réfléchissent entre les deux réflecteurs jusqu'à s'atténuer par manque d'énergie

Le capteur en déduit la vitesse et le sens du vent. Il prend en compte la pression et la température pour ajuster sa mesure.

Ce capteur est adapté à des conditions extrêmes de température.

Figure 10 : le WSFT (Wind Speed FT)

L'anémomètre de Young



L'anémomètre de young est un capteur de vitesse et de direction de vent mécanique.

La rotation des pales génère un signal sinusoïdal d' une fréquence directement proportionnelle a la vitesse du vent.

La mesure de la direction du vent est liée a l'orientation du fuselage du capteur qui est connecté à un potentiomètre interne.

Ce capteur fonctionne lui aussi dans des conditions expérimentales difficiles même si parfois il peut se bloquer a cause du gel (capteur mécanique les pièces peuvent s'user).

Figure 11 : l'anémomètre de young

6 Extraction et réagencement des données

Au départ, on ne dispose que des données bruts fournies par la centrale d'acquisition et les capteurs.

Il y a deux centrales d'acquisitions différentes CR10x (voir annexe) celle du Flowcapt et du SPC qui retournent les valeurs de flux, de vitesse de vent, de température, de hauteur par rapport à la neige, photo du site etc....

Chaque centrale renvoie des données toutes les dix minutes, ces données sont stockées dans un disque dur. Ces données sont sous la forme d'un tableau avec un nombre de colonne et de ligne défini.

Avant de tracer des graphiques ou d'analyser les données il faut les traiter.

Pour cela on va utiliser python.

Le premier travail est de regrouper (concaténer) tous les fichiers de données (un pour chaque mois) pour avoir une saison complète (en définitive on coupe une saison de mesure en deux : de novembre à décembre puis de janvier à avril pour des raisons pratiques).

Ensuite il faut affecter a chaque valeur la variable correspondante (par exemple dire que la 6 ème colonne correspond a la vitesse de vent).
Après ça il faut synchroniser les données,vérifier qu'il y est le même pas de temps entre chaque valeur.Au besoin on ajoute ou supprime des valeurs.
On exprime le temps en jours.
Pour finir, on sauvegarde les données après ce traitement, on peut ensuite directement analyser les données.
J'ai fait le programme qui réalise cela en annexe (annexe 5).

Cette partie est en fait la majorité du travail que j'ai effectué dans le cadre de ce stage,il fallait traiter plus de 3 ans de données brutes.
C'est très long et fastidieux pour moi qui découvrait le langage python et le système d'exploitation Linux.

7 Comparaison des mesures de vent

Pour tracer les différents graphiques, on utilise python (voir programme en annexe).
On trace directement les vitesses de vent du flowcapt, de l'anémomètre de young, du WSFT en fonction du temps.

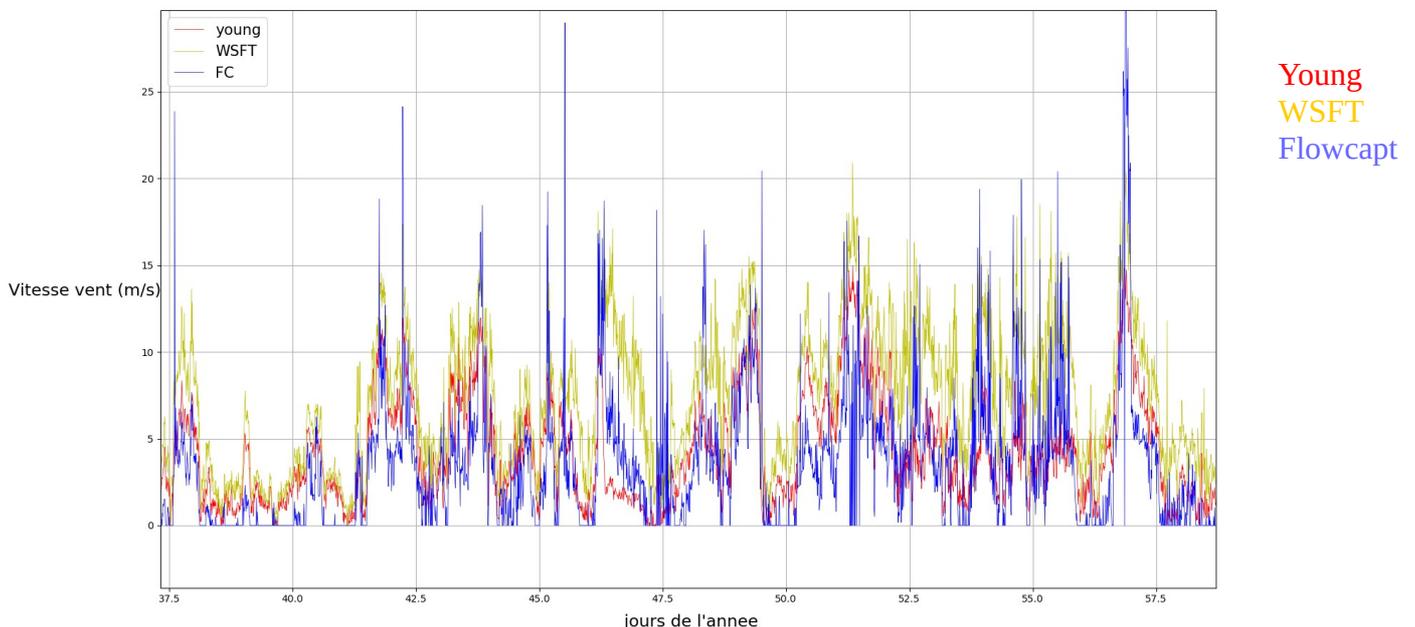
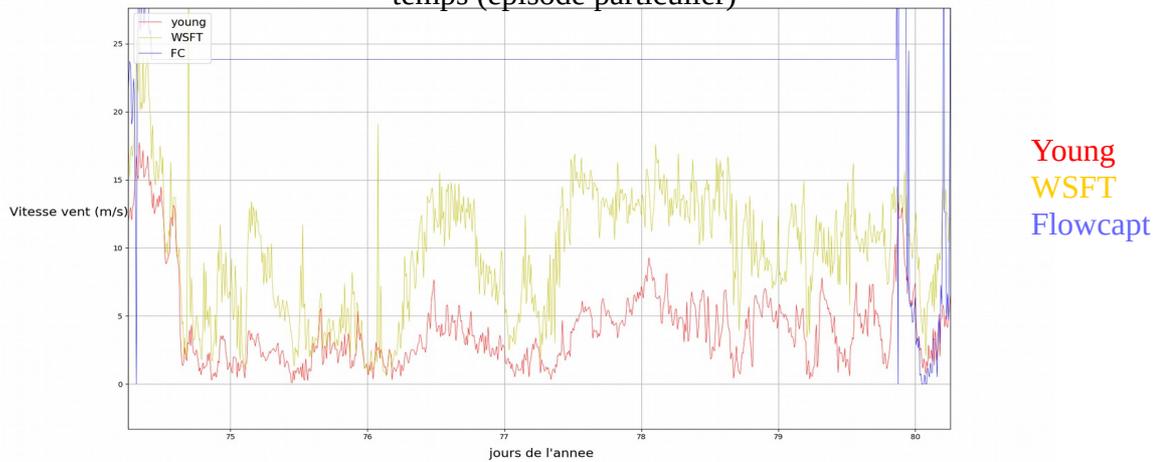


Figure 12 : Graphique représentant la vitesse du vent de trois capteurs en fonction du temps

On remarque que les trois capteurs suivent la même tendance, ils réagissent donc bien au variation de vent.

Le Flowcapt, qui n'est pas à proprement parlé un capteur de vitesse de vent (ce n'est pas son rôle principale) à souvent des pics très importants (surestime) lors des vents fort.

Figure 13 : Graphique représentant la vitesse du vent de trois capteurs en fonction du temps (épisode particulier)



De plus le flowcapt à souvent tendance à se bloquer lors de certains épisodes (figure 13).

Il n'est donc pas un capteur de vitesse de vent fiable.

Le WSFT et l'anémomètre de Young semble mieux retransmettre la vitesse du vent (dans les changements de vitesse,ils ont la même allure) même si on aperçoit un décalage entre les mesures.

Pour voir la corrélation entre ces deux capteurs qui nous intéressent on va tracer l'un en fonction de l'autre.

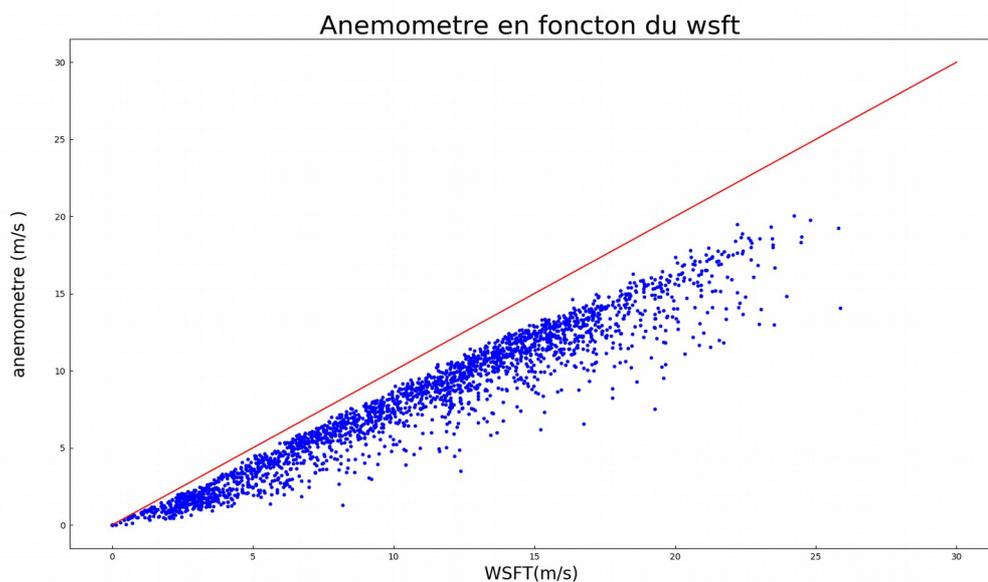


Figure 14 : Graphique représentant l'anémomètre de Young en fonction du WSFT

On remarque qu'il y a une corrélation évidente entre ces deux capteurs mais quand on trace une droite de référence, les points ne suivent pas cette droite. Soit le WSFT sur-estime la vitesse du vent soit l'anémomètre sous-estime. C'est difficile à savoir mais on remarque que parfois le WSFT a tendance à surestimer certains événements (très grands pics alors que le flowcapt et l'anémomètre ont un comportement normal). En regardant les températures, le sens du vent, et les caméras du site, on ne remarque aucune anomalie qui pourrait expliquer ces différences. Malgré cela ces deux capteurs sont très fiables et donnent une estimation de la mesure de vent tout à fait convenable.

Il serait peut-être nécessaire de mener des tests complémentaires en soufflerie pour essayer de comprendre cette différence.

8 Comparaison des flux

8.1 Calcul préliminaire du flux

On souhaite pouvoir comparer les valeurs de flux mesurés par les deux capteurs mais comme on l'a vu précédemment (page 7) le flux dépend de la hauteur par rapport au sol.

Malheureusement nos deux types de capteurs (flowcapt et SPC) ne sont pas à la même hauteur (voir figure 15).

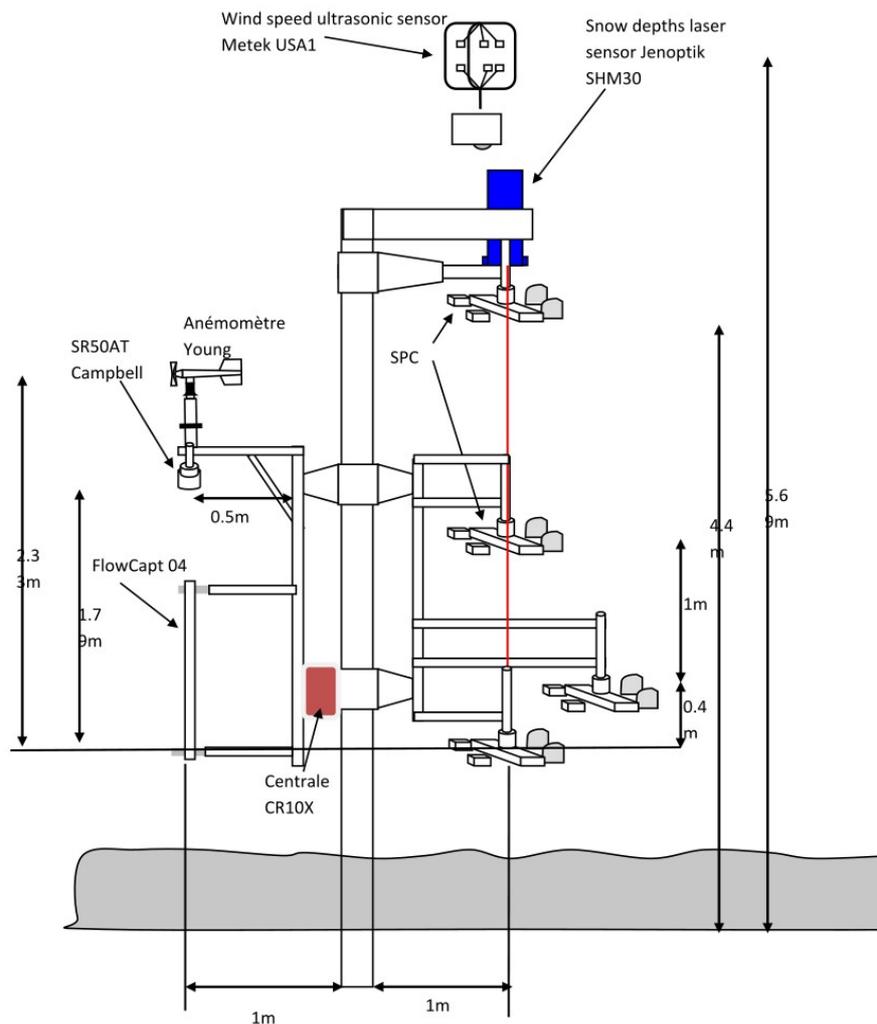


Figure 15 : Schémas du dispositif expérimental

De plus les SPC mesurent un flux à la hauteur où ils sont placés alors que les Flowcaps mesurent une valeur de flux intégré sur leur hauteur.

Pour l'instant comparer leurs mesures n'a aucun intérêt.

Pour remédier à ce problème, on va donc calculer un flux à partir des trois capteurs SPC qu'on puisse comparer avec le flowcapt.

Pour cela, mon tuteur de stage Hervé Bellot à fait une analyse préliminaire sur les données de SPC.

Cet algorithme détermine à quel types d'événement les capteurs sont confrontés (en prenant en compte les dysfonctionnement, les pannes, problèmes d'enfouissement sous la neige, le nombre de capteur en état de fonctionnement...).

L'algorithme classe tous les événements selon les cas suivants :

- Cas chute de neige concentration qui ne dépend pas de la hauteur de mesure (cf 2,1)
- Cas transport de neige par le vent qui dépend de la hauteur de mesure (cf 2,1)
- cas indéterminé
- mesures incohérentes
- période de maintenance

Pour les cas transport de neiges on calcule les paramètres a et b via une régression des moindres carrés sur le log du Flux en fonction du log de la hauteur des instruments.

$$F(H) = F(H_0) \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-m} \quad \text{Équation 4}$$

$$\begin{aligned} \ln(F(H)) &= \ln(F(H_0)) - m(\ln(H) - \ln(H_0)) \\ \ln(F(H)) &= -m \cdot \ln(H) + \ln(F(H_0)) + m \ln(H_0) \end{aligned} \quad \text{Équation 5}$$

Dans le modèle $Y = a \cdot X + b$:

$$\begin{aligned} Y &= \ln(F(H)) \\ X &= \ln(H) \\ a &= -m \\ b &= \ln(F(H_0)) + m \cdot \ln(H_0) \end{aligned} \quad \text{Équation 6}$$

Pour les cas de chute de neiges on calcule le paramètre b en faisant la moyenne des mesures valides.

Ces paramètres nous permettrons ensuite de calculer le flux correspondant.

En effet on sait que le modèle du flux est le suivant :

$$F(H) = F(H_0) \cdot \left(\frac{H}{H_0}\right)^{-m} \quad \text{Équation 7}$$

En considérant que le flowcapt à une longueur de 1 m et est situé à une hauteur donné du manteau neigeux on a le calcul suivant :

$$F(H) = F(1) \times H^{-m} \quad \text{Équation 8}$$

$$\int_{\text{hauteur}}^{\text{hauteur}+1} F(H) dh = \int_{\text{hauteur}}^{\text{hauteur}+1} F(1) \times H^{-m} dh$$

$$\int_{\text{hauteur}}^{\text{hauteur}+1} F(H) dh = \frac{F(1)}{1-m} \times [(\text{hauteur}+1)^{1-m} - \text{hauteur}^{1-m}]$$

En appliquant cette formule pour les cas de transport de neige par le vent on peut donc comparer les deux flux.(voir annexe)

On ne prend en compte que les hauteurs supérieur à 20 cm pour ne conserver que les effets de diffusions.

Pour pouvoir calculer un bon flux il faut avoir une donnée de hauteur lissée pour cela on a conçu un programme via python qui détecte les pics dues à des erreurs du capteur et les supprime.

Ce programme permet d'avoir une hauteur propre et facilement utilisable (voir annexe).

8.2 Comparaison des flux

On utilise python pour comparer ces données(voir le programme en annexe). Le Flowcapt donne deux valeurs de flux (une pour chaque microphone haut/bas).

On va donc comparer ces deux flux, théoriquement cela devrait être les mêmes.

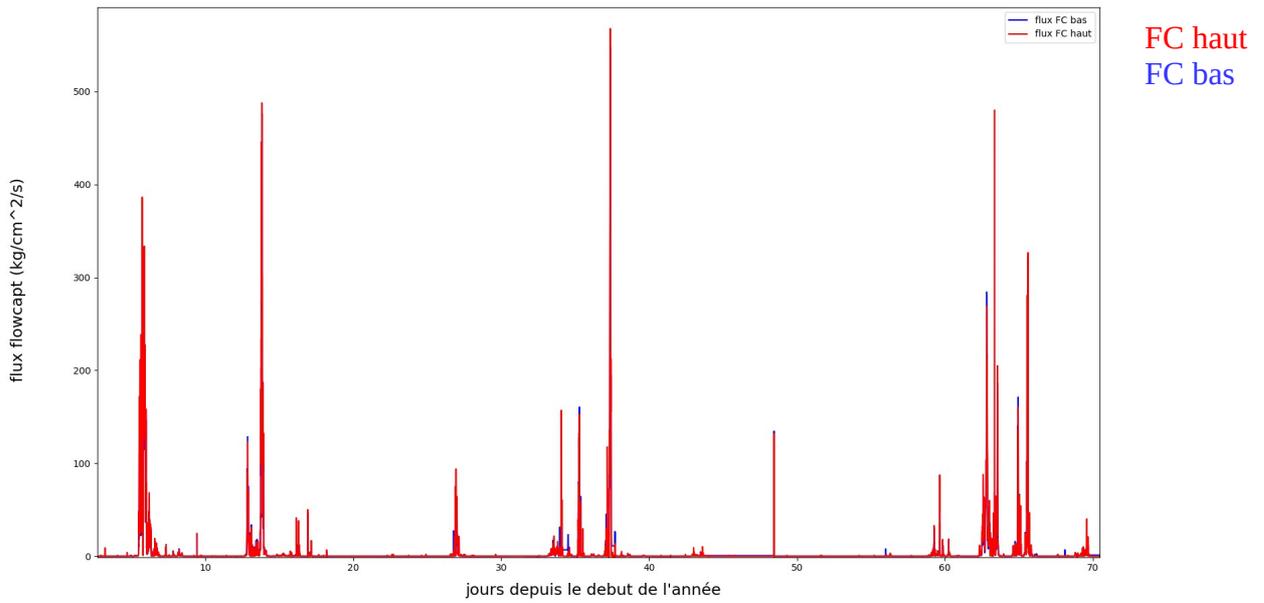
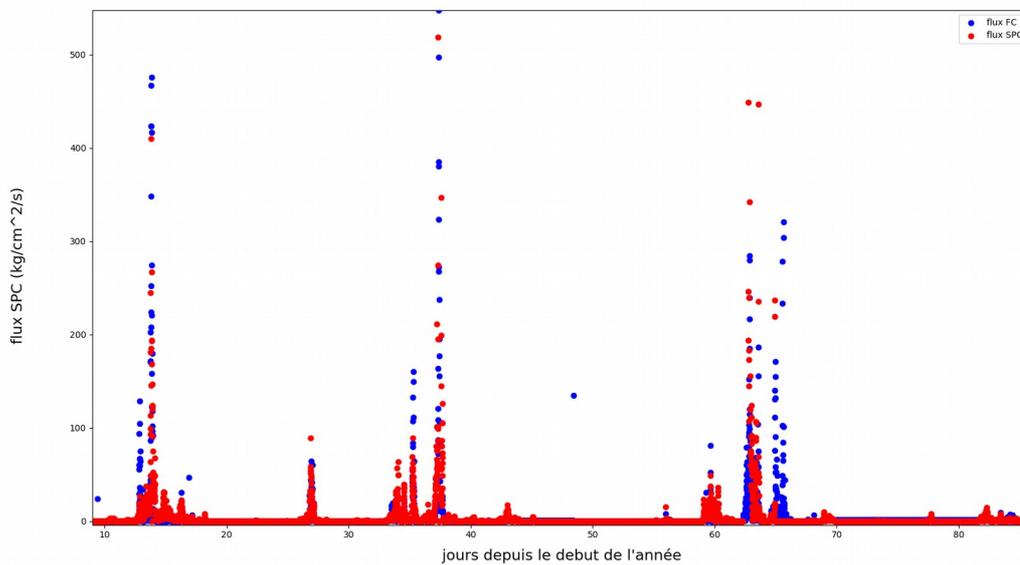


Figure 16 : Comparaison capteur haut/bas du Flowcapt

On remarque que les flux coïncident, les deux microphones donnent la même valeur de flux.

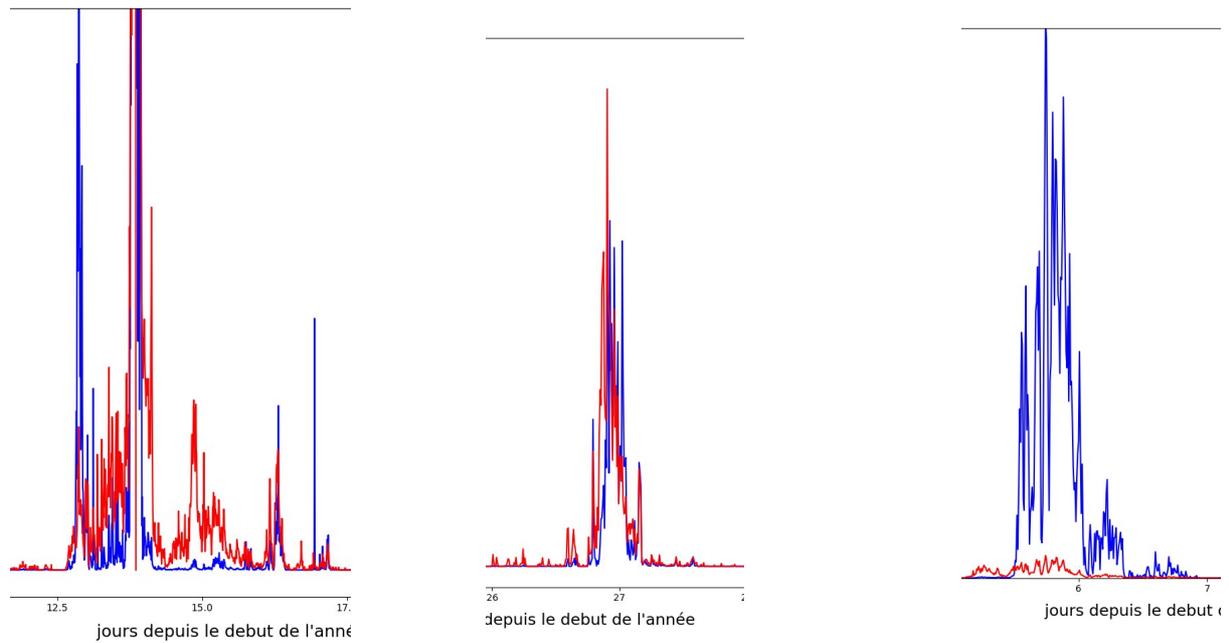
On peut donc désormais comparer le flux du SPC et du Flowcapt.

Figure 17 : Comparaison flux SPC/Flowcapt représentation point



On remarque que globalement les deux capteurs détectent les mêmes cas de transport de neige avec la même valeur de flux.

Figure 18 : Comparaison flux SPC/Flowcapt représentation lignes



En zoomant sur des événement spécifique on voit que les résultats sont moins bon.

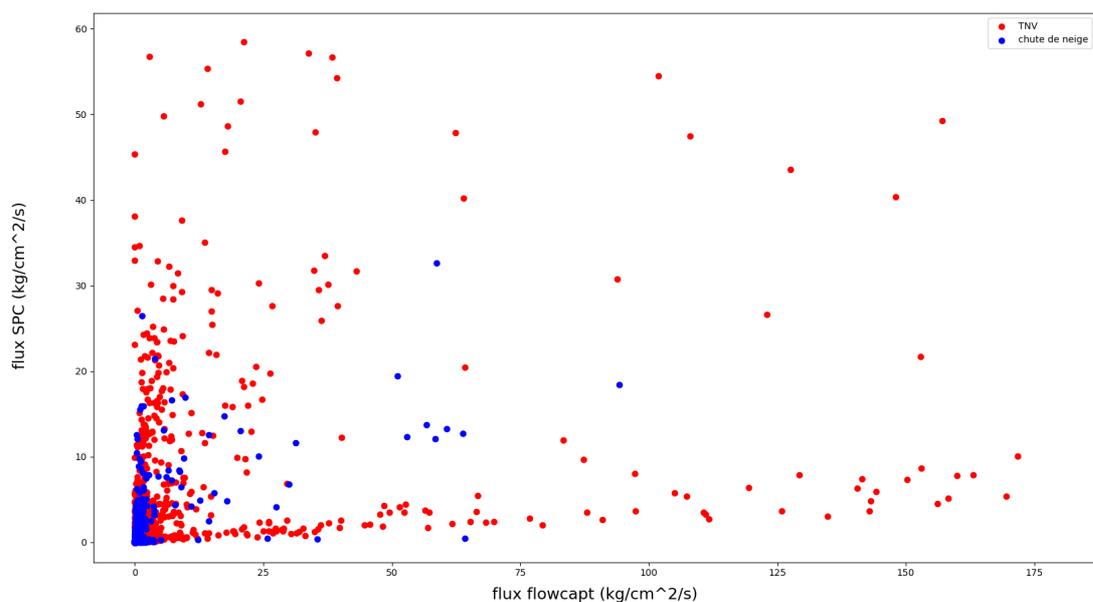
Sur celui du milieu on voit que les deux mesures des capteurs sont proches.

Mais les deux autres diffèrent complètement.

Malgré le calcul qui permet de calculer les flux à la même hauteur les flux mesurés par les deux capteurs ne sont pas les mêmes.

Quand on essaye de tracer le flux de l'un en fonction de l'autre (figure 19), on n'obtient aucune corrélation évidente même si on sépare les cas de transport de neige par le vent et de chute de neige.

Figure 19 : Flux du SPC en fonction du flux du Flowcapt selon les deux cas de transport de neige



TNV
Chute de neige

Sur la figure 19, les points rouges situés en bas du graphique correspondent à des vents très violents (plus de 20 m/s).

Les deux capteurs coïncident juste sur la détection du flux mais pas sur la valeur de flux (en tout cas pas dans suffisamment d'événements, parfois les deux capteurs mesurent la même chose mais c'est rare).

Il y a différentes explications pour ces écarts :

Tout d'abord des dysfonctionnements des capteurs qui parfois bloquent pendant un certain laps de temps sur une valeur incohérente. Cela peut aussi dépendre du seuil de détection des capteurs à partir de quel moment ils considèrent cela comme du transport de neige.

Un autre problème est la conception des capteurs.

En effet pour sa calibration le flowcapt ne prend pas en compte la vitesse et surtout la forme des particules, il considère (comme le SPC) que les particules de neiges sont sphérique alors que dans la réalité ce n'est pas du tout le cas.

Le bruit généré par l'impact d'une particule sphérique ou non est complètement différent, la vitesse d'impact change aussi le son obtenue.

Les mesures des capteurs augmentent fortement aussi souvent quand le vent est fort (>20 m/s), ce qui fausse les mesures.

9. Conclusion

9.1 Conclusion technique et perspectives

La comparaison des capteurs de vent a permis d'établir que le Flowcapt n'est pas un capteur adapté à la mesure de la vitesse de vent.

Le WSFT et l'anémomètre de Young fournissent quand à eux une bonne estimation de la vitesse du vent mais des analyses complémentaires sont nécessaires. Il faudrait sûrement rectifier leur étalonnage.

La comparaison des flux a montré que les deux capteurs sont capables de détecter les événements de transport de neige.

Malheureusement, ils ont plus de mal à quantifier les valeurs de flux.

Ces capteurs semblent mieux réussir à mesurer le flux lors des chutes de neige car le vent est moins fort.

La principale limite de ces capteurs est donc l'influence des vents forts qui faussent les mesures. C'est un véritable problème quand on connaît les conditions météorologiques en antarctique.

9.2 Bilan général

D'une façon plus général, ce stage m'a permis de découvrir le monde de la recherche et ses enjeux.

La recherche est un domaine vaste qui nécessite des connaissances dans de nombreux domaines.

Ce stage m'a permis d'apprendre les bases d'un nouveau langage de programmation : python et de mieux comprendre le lien entre recherche et instrumentation.

J'ai compris l'importance d'avoir des bases dans tous les domaines de la physique pour comprendre les phénomènes physiques et le fonctionnement des différents capteurs.

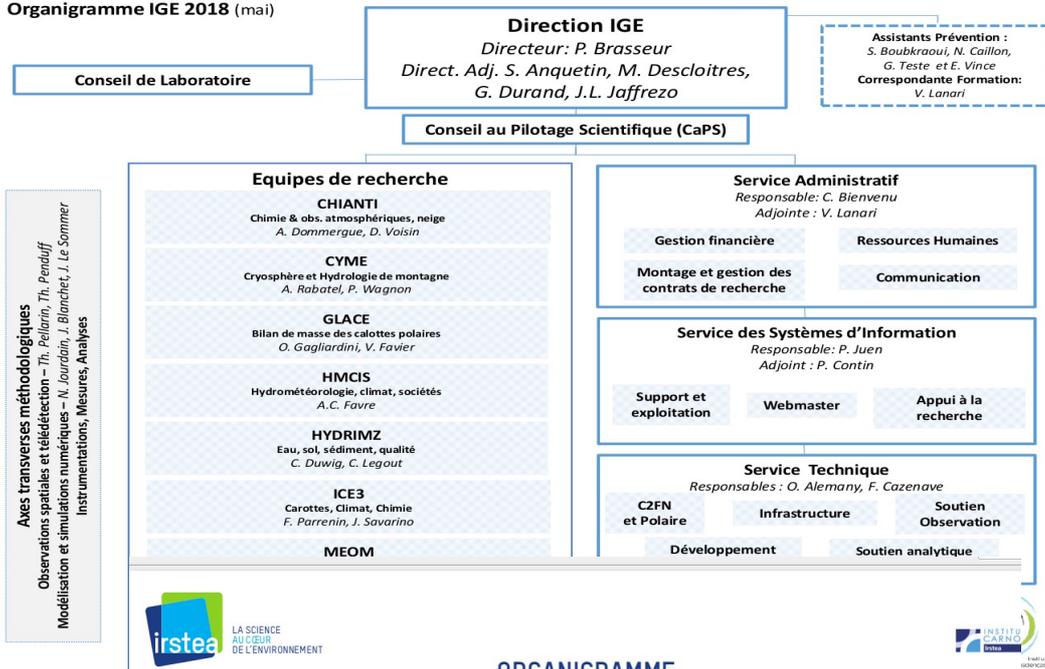
L'anglais est d'une importance primordiale, tout aussi bien pour communiquer avec les autres chercheurs et doctorants ou tout simplement lire une notice d'utilisation. Enfin je tiens à remercier mes tuteurs de stage Christophe Genthon et Hervé Bellot qui ont pris de leur temps pour répondre à mes questions et m'aider dans mon travail.

TABLE DES ANNEXES

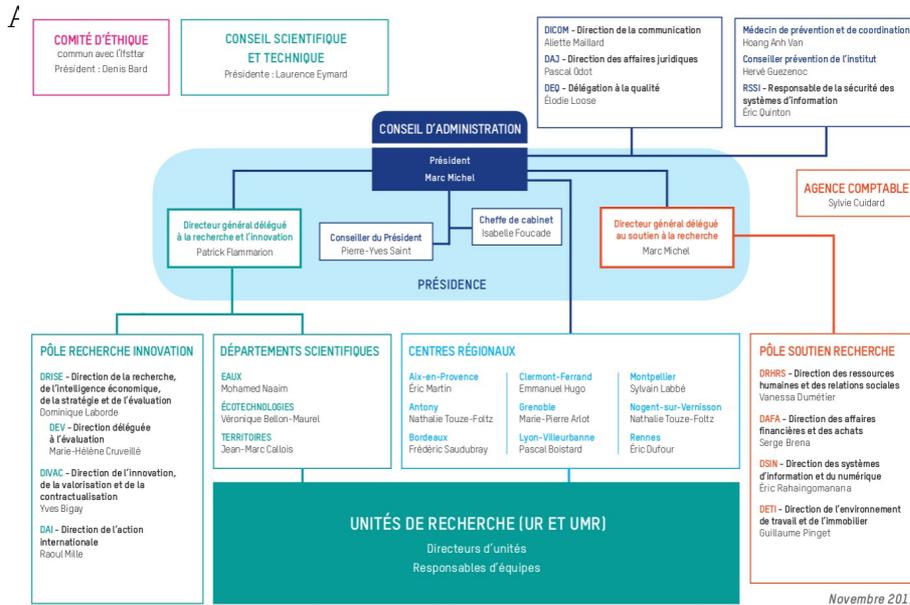
<u>Annexe 1 Organigramme IGE</u>	page 28
<u>Annexe 2 Organigramme IRSTEA</u>	page 28
<u>Annexe 3 Capteurs de mesure de hauteur</u>	page 29
<u>Annexe 4 schémas détection signal lumineux SPC</u>	page 30
<u>Annexe 5 Diagramme de processus de traitement du signal</u>	page 30
<u>Annexe 6 Centrale d'acquisition CR10X</u>	page 31
<u>Annexe 7 Schéma simplifiée du capteur</u>	page 31
<u>Annexe 8 Extrait programme extraction</u>	page 32
<u>Annexe 9 Extrait programme comparaison vent</u>	page 34
<u>Annexe 10 Extrait programme lissage hauteur</u>	page 34
<u>Annexe 11 Extrait programme comparaison flux</u>	page 35
<u>Annexe 12 Extrait programme calcul flux</u>	page 36
<u>Annexe 13 Extrait programme suppression valeurs aberrantes</u>	page 36

Annexe1 : Organigramme IGE / IRSTEA

Organigramme IGE 2018 (mai)



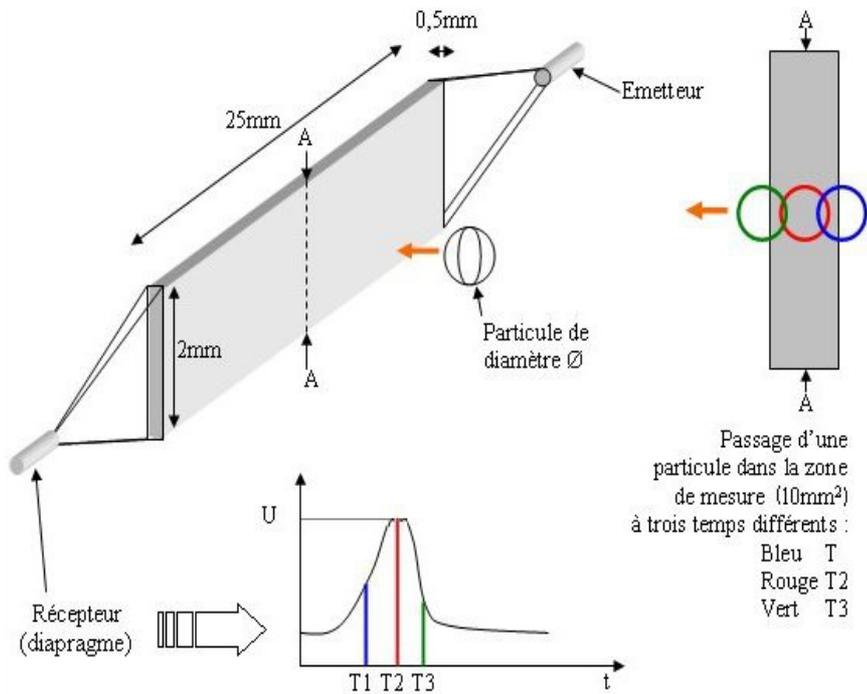
ORGANIGRAMME





Annexe 3 : Capteur de mesure de hauteur infrarouge

Annexe 4 : Schémas détection du signal lumineux du SPC



Annexe 5 : Diagramme du processus traitement du signal du SPC

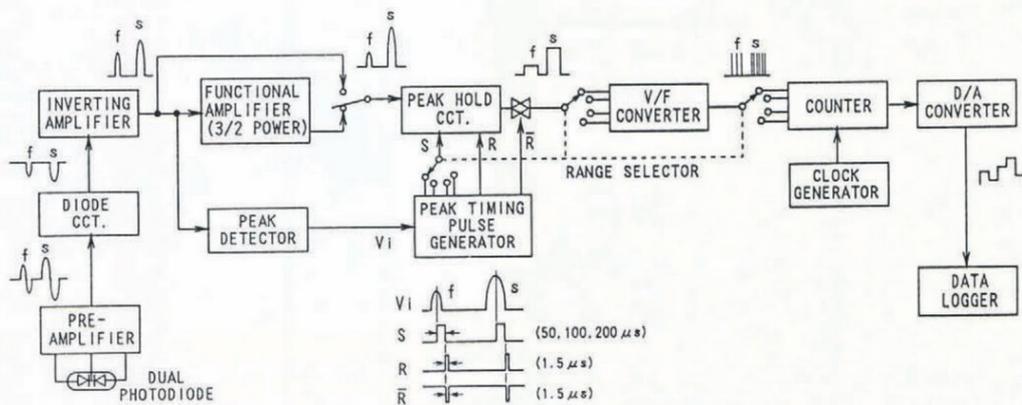
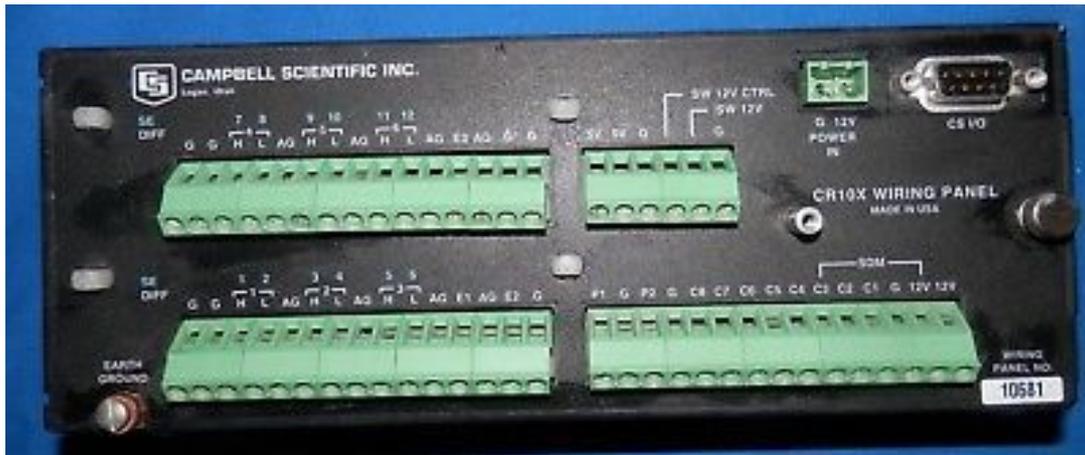
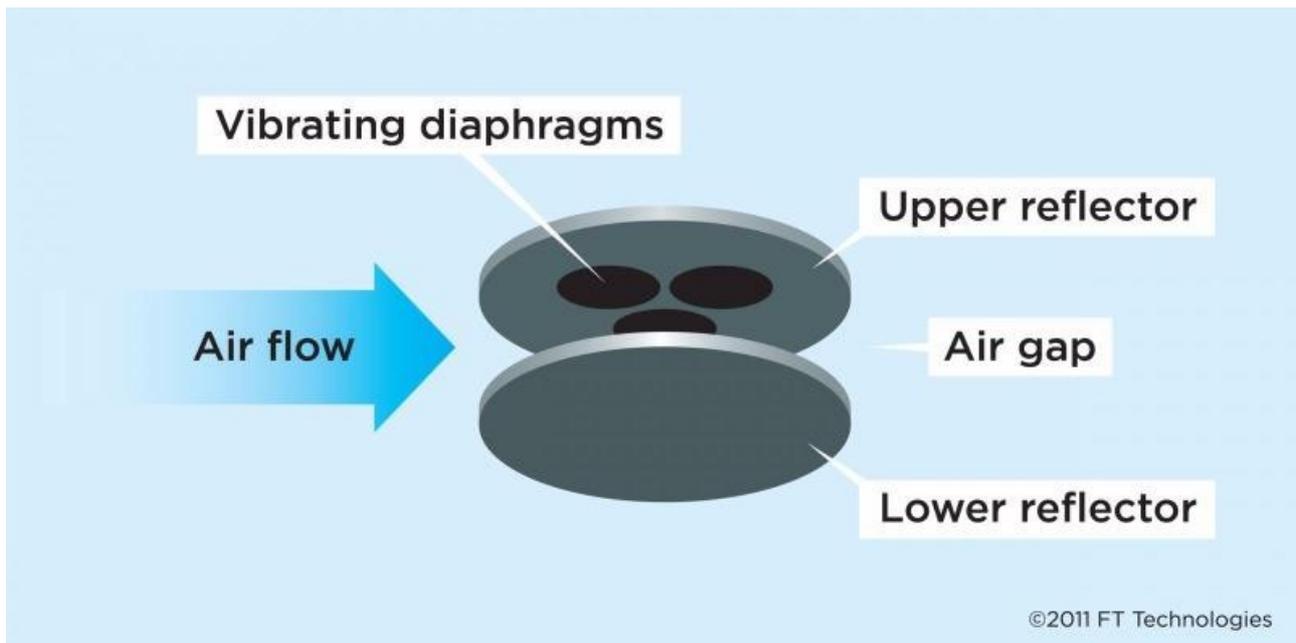


Fig. 3. Block diagram of the signal processor.



Annexe 6 : centrale d'acquisition CR10X



Annexe 7 : schéma simplifiée fonctionnement du WSFT

Annexe 8 : extrait programme extraction des données

Created on Tue May 22 12:45:31 2018

```
@author: kersaudh
```

```
"""
```

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import shelve
```

```
"Ouverture du Fichier Brut de donn e concat n es sur l'année"
"Vérification du pas de dix minutes"
"Mise en forme du vecteur Temps"
"Sauvegarde des données au format Shelve"
```

```
"-----Ouverture du fichier Brut-----"
```

```
chem="/media/kersaudh/KINGSTON/RDV herve/Flowcapt/" # data flowcapt
annee="2017A"
```

```
years,days,hour_minute,vitesse_anemo,direc_anemo,hauteur,Q,NBRech,temp,flux_minh,flux_avh,flux_maxh,flux_stdh,flux_umh,vitesse_minh,vitesse_mh,vitesse_maxh,flux_minb,flux_avb,flux_maxb,flux_stdb,flux_umb,vitesse_minb,vitesse_mb,vitesse_maxb=np.transpose(np.loadtxt(chem+'FCData'+annee+'.dat',delimiter=',',skiprows=4,usecols=(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25)))
```

```
print('Fichier ouvert')
"formatage des donnees "
```

```
FormDataFC="""Flowcapt
```

```
//00 Year_RTM
//01 Day_RTM
//02 Hour_Minute_RTM
//03 VitYoung_S_WVT
//04 DirYoung_D1_WVT
//05 HautCapt_AVG
//06 Qual_AVG
//07 NBRech
//08 Temp_AVG
//09 FluxMinH
//10 FluxAvgH
//11 FluxMaxH
//12 FluxStdH
//13 FluxSumH
//14 WindMinH
//15 WindAvgH
//16 WindMaxH
//17 FluxMinB
//18 FluxAvgB
//19 FluxMaxB
//20 FluxStdB
//21 FluxSumB
//22 WindMinB
//23 WindAvgB
//24 WindMaxB
//25 VecteurTemp"""
```

```
"Mise en forme de la date"
```

```
heure=np.floor(hour_minute/100)
minute=(hour_minute-(100*heure))
```

```
#minute[minute<0]=50
#temps=(days*24+heure+minute/60)/24
temps=days+(heure/24)+(minute/1440)
```

```
"Mise en forme du tableau de données"
```

```
DataFc=np.concatenate((np.array([years]),np.array([days]),np.array([hour_minute]),np.array([vitesse_anemo]),np.array([direc_anemo]),np.array([hauteur]),np.array([Q]),np.array([NBRech]),np.array([temp]),np.array([flux_minh]),np.array([flux_avh]),np.array([flux_maxh]),np.array([flux_stdh]),np.array([flux_umh]),np.array([vitesse_minh]),np.array([vitesse_mh]),np.array([vitesse_maxh]),np.array([flux_minb]),np.array([flux_avb]),np.array([flux_maxb]),np.array([flux_stdb]),np.array([flux_umb]),np.array([vitesse_minb]),np.array([vitesse_mb]),np.array([vitesse_maxb]),np.array([temps])),axis=0)
print('Donn e mise en forme')
```

```
"Vérification du pas de 10 minutes"
```

```
f, ax = plt.subplots()
ax.plot((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440,color='r')
ax.plot(np.ones(len(DataFc[-1,0:-1]))*11,color='b')
ax.plot(np.ones(len(DataFc[-1,0:-1]))*9,color='b')
plt.title('Verification synchro vent tour et USA1')
```

```
"Ajout des pas de temps manquant"
```

```

Pos=np.where(((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440)>11)
while (len(Pos[0])<>0):
    i=Pos[0][0]
    heure_min=DataFc[2,i]
    heure=np.floor(heure_min/100)
    jour=DataFc[1,i]
    heureminute=(heure_min-(100*heure))+10
    if np.all(minute>50):
        heure=heure+1
        minute=minute-60
    if heure>24:
        jour=jour+1
        heure=heure-25
    heure_min=(heure*100)+minute
    temps=jour+(heure/24)+(minute/1440)

    Vect=np.concatenate((DataFc[0,i]
[ np.newaxis],jour[ np.newaxis],heure_min[ np.newaxis],np.zeros(22)*np.nan,temps[ np.newaxis]),axis=0)
    Vect.shape = (np.size(Vect), 1)
    DataFc=np.concatenate((DataFc[:,0:i+1],Vect,DataFc[:,i+1:]),axis=1)
    Pos=np.where(((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440)>11)
    print(str(heure_min))

print('pas de temps manquant bouche')

"retrait des pas de temps en double"
Pos=np.where(((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440)<9)

while (len(Pos[0])<>0):
    i=Pos[0][0]
    DataFc=np.concatenate((DataFc[:,0:i+1],DataFc[:,i+2:]),axis=1)
    Pos=np.where(((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440)<9)

ax.plot((DataFc[-1,1:]-DataFc[-1,0:-1])*1440,color='g')
print('pas de temps en double retiré')

"-----Sauvegarde des données-----"

d = shelve.open(chem+'DataFC'+annee+'.dat')

d['L0'] = DataFc
d['L1'] = FormDataFC

d.close()

```

Annexe 9: extrait de programme comparaison des vents

```
plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[4,:]) # temperature
plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[22,:]) #direction vent

plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[21,:],color='r',lw=0.5,label='young') # young

plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[25,:],color='y',lw=0.5,label='WSFT') # wsft
#plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[12,:]/3.6,color='b',lw=0.5,label='FC') #FC
plt.legend(loc=2, prop={'size':15})
plt.grid()
plt.ylabel(u" Vitesse vent (m/s)",rotation=0,labelpad=60,fontsize=17)
plt.xlabel(u" jours de l'annee",rotation=0,labelpad=10,fontsize=17)

a=np.where(DataFc[-1,:]>-15)
plt.scatter(DataFc[25,:][a],DataFc[21,:][a],color='b',s=10,label='WSFT') # wsft
plt.tick_params(direction='in',pad=5)
plt.ylabel(u"anemometre (m/s )",rotation=90,labelpad=30,fontsize=20)
plt.xlabel(u"WSFT(m/s) ",rotation=0,labelpad=5,fontsize=20)
x=(0,30)
y=(0,30)

plt.plot(x,y,color='r')
plt.title(u"Anemometre en foncton du wsft ",fontsize=30)
```

Annexe 10 : extrait de programme lissage de la hauteur

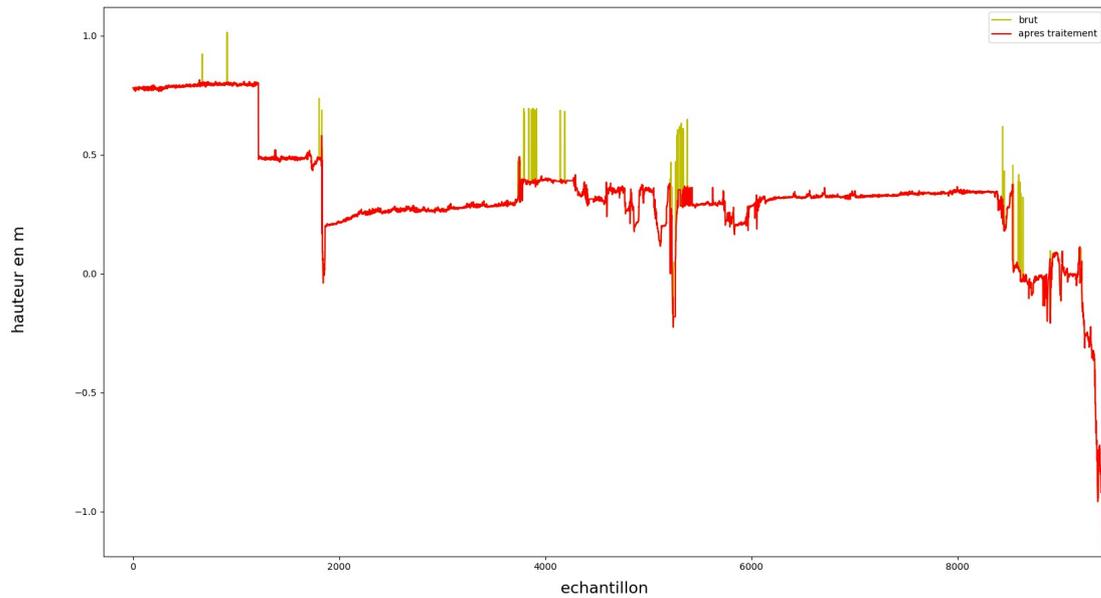
```
DiffHaut=DataFc[5,1:]-DataFc[5,0:-1]
DiffHaut[DataSHM[1,:]==0]=0 #On retire les périodes de maintenance

HautClean=DataFc[5,:]+0

Pos=np.where(DiffHaut<-0.80)#On retire les pic négatif
HautClean[Pos[0]+1]=HautClean[Pos[0]]
DiffHaut[Pos[0]+1]=0

Pos=np.where(DiffHaut>0.10)#On retire les pic positif
Pos=Pos[0]+1
for i in Pos:
    HautClean[i]=HautClean[i-1]
    a=1
    while (DataFc[5,i]<(HautClean[i+a]+0.05))&(DataFc[5,i]>(HautClean[i+a]-0.05)):
        HautClean[i+a]=HautClean[i+a-1]
        a=a+1
    if a==2:
        print(str(i))
```

Annexe 10 bis : graphique hauteur avant/après lissage



En appliquant le programme précédent on lisse la valeur de la hauteur.
En jaune on a la valeur non lissé et en rouge après traitement.
On remarque que la plupart des sauts et des pics dus aux erreurs des capteurs
ont disparu, on obtient enfin un signal propre et utilisable pour la suite.

Annexe 11 : extrait de programme comparaison flux

```
a=np.where((HautClean>0.3) & (DataFlux[3,:]=21))
plt.scatter(DataFc[-1,:][a],DataFc[18,:][a],color='b',label='flux FC ')
plt.scatter(DataFc[-1,:][a],FluxS1m[a]*10000,color='r',label='flux SPC')

plt.legend()
plt.ylim(0,600)
plt.ylabel(u" flux SPC (kg/cm^2/s)",rotation=90,labelpad=50,fontsize=17)
plt.xlabel(u" jours depuis le debut de l'année ",rotation=0,labelpad=10,fontsize=17)

#
#
#
#
a=np.where((HautClean>0.3) & (DataFlux[3,:]=11))
plt.scatter(DataFc[10,:][a],FluxS1m[a]*10000,color='r',label='TNV')
plt.xlim(0,600)
plt.legend()
plt.ylabel(u" flux SPC (kg/cm^2/s)",rotation=0,labelpad=50,fontsize=12)
plt.xlabel(u" flux flowcapt (kg/cm^2/s) ",rotation=0,labelpad=10,fontsize=12)

a=np.where((HautClean>0.3) & (DataFlux[3,:]=21))
plt.scatter(DataFc[10,:][a],FluxS1m[a]*10000,color='b',label='chute de neige')
plt.xlim(0,600)
plt.legend()
plt.ylabel(u" flux SPC (kg/cm^2/s)",rotation=0,labelpad=50,fontsize=12)
plt.xlabel(u" flux flowcapt (kg/cm^2/s) ",rotation=0,labelpad=10,fontsize=12)

'comparaison 3d'

fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.scatter(FluxS1m*10000, DataFc[18,:],DataFc[3,:], c='r', marker='o')
ax.set_xlabel('spc')
ax.set_ylabel('fc')
ax.set_zlabel('vent')
plt.legend()

'comparaison flux haut et bas'

plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[18,:],color='b',label='flux FC bas')
plt.plot(DataFc[-1,:],DataFc[10,:],color='r',label='flux FC haut')
plt.legend()
plt.ylim(0,600)
plt.ylabel(u" flux flowcapt (kg/cm^2/s)",rotation=90,labelpad=50,fontsize=17)
plt.xlabel(u"jours depuis le debut de l'année ",rotation=0,labelpad=10,fontsize=17)
```

Annexe 12 : extrait de programme calcul flux

"Calcul du Flux moyen sur 1 m en parallèle du Flow Capt ($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)"

```
DataFc= np.delete(DataFc, 20302,1)
HautClean= np.delete(HautClean, 20302)

#f, bx = plt.subplots(001)
#bx.plot(DataFc[-1,:],DataFc[5,:],color='b')
##bx.plot(DataFc[-1,0:-1],Haut,color='r')
#bx.plot(DataSHM[-1,:],DataSHM[9,:],color='g')
##

FluxS1m=np.zeros(len(DataSPCB[0]))
Pos=np.where((DataFlux[3,:]==11)|(DataFlux[3,:]==12)|(DataFlux[3,:]==14)|(DataFlux[3,:]==21)|(DataFlux[3,:]==22)|
(DataFlux[3,:]==23))
FluxS1m[Pos]=(FluxA1m[Pos]/(1+DataFlux[0,Pos]))*(((HautClean[Pos]+1)**(1+DataFlux[0,Pos]))-
(HautClean[Pos]**(1+DataFlux[0,Pos])))
```

Annexe 13 : extrait de programme exclusion des valeurs abérentes

"Exclusion des périodes où le capteur semble avoir bugé (valeur consécutives inchangé) ou valeur inférieure à zero"

```
Pos=np.where((DataFc[10,0:-1]==DataFc[10,1:]))|(DataFc[10,0:-1]<(0))
DataFc[10,Pos]=np.nan

Pos=np.where((DataFc[18,0:-1]==DataFc[18,1:]))|(DataFc[18,0:-1]<(0))
DataFc[18,Pos]=np.nan
```

Bibliographie

- H.Bellot, F.Naaim-Bouvet,A.Trouvilliez,C.Genthon, Present weather sensors tests for measuring drifting snow (article et poster)
- F-X.Cierco, F.Naaim-Bouvet, H.Bellot, Acoustic sensors for snowdrift measurements (article)
- H.Bellot, F.Naaim-Bouvet, Les capteurs de transport de neige par le vent au banc d'essai (article)
- A.Trouvilliez, Modélisation et quantification de la neige soufflée en Antarctique (rapport de stage)
- F.Fontaine rapport de stage instrumentation mesure physique