



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

54 rue Molière, Domaine Universitaire
BP 96
38402 Saint Martin d'Hères

Etude des précipitations en Antarctique



Laurène GIORDANINO
Parcours : Physique, Maths et Mécanique (L2)
Stage d'excellence de deuxième année de licence
du 1er juin au 30 juillet 2010
Maître de stage : Christophe GENTHON



UNIVERSITE
JOSEPH FOURIER
SCIENCES. TECHNOLOGIE. MEDECINE



Remerciements

Tout d'abord, je remercie le Département Licence Science et Technologie de l'UJF de m'avoir offert l'opportunité d'acquérir une expérience professionnelle en faisant ce stage d'excellence.

Je remercie Christophe Genthon pour avoir su me donner l'envie de faire mon stage au LGGE et pour m'avoir accueillie au laboratoire.

Je remercie Alexandre Trouvilliez pour avoir été autant disponible et pour m'avoir fait partager toutes ses connaissances et aussi son expérience sur les deux mois qu'il a passés en Antarctique.

Sommaire

Remerciements.....	2
Sommaire.....	3
1. Introduction.....	4
1.1 Présentation du laboratoire.....	4
1.2 Présentation du domaine d'étude.....	5
2. Etude des précipitations.....	6
2.1 Instruments de mesure utilisés en Antarctique.....	6
2.1.1 Le VPF730.....	6
2.1.2 Le FlowCapt.....	7
2.2 Interprétation des données du Biral VPF730 et des FlowCaps.....	8
2.2.1 Repérage d'épisodes de précipitations.....	8
2.2.2 Traitement des données.....	9
2.2.3 Episodes de précipitations uniquement.....	10
2.3 Modèles de précipitation.....	10
2.3.1 Le modèle ECMWF.....	10
2.3.2 Le modèle GPCP.....	11
2.3.3 Récupération de données.....	11
2.4 Comparaison des quantités de précipitations.....	11
2.4.1 Sources de données.....	11
2.4.2 Graphiques.....	11
2.4.3 Comparaison des modèles GPCP et ECMWF.....	13
3. Conclusion.....	15
4. Références.....	16
Annexes.....	17

1. Introduction

1.1 Présentation du laboratoire

Le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE) est une Unité Mixte de Recherche sous la double tutelle du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et de l'Université Joseph Fourier (UJF, Grenoble I).

Au CNRS, le LGGE dépend principalement de l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU) mais également de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS) pour ce qui concerne ses travaux sur le matériau glace, et de l'Institut Ecologie et Environnement (IEE) pour la part plus environnementale du LGGE. A l'Université, le LGGE est rattaché à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble (OSUG) ainsi qu'aux pôles Terre-Univers-Environnement-Société (TUNES) et Sciences des Matériaux et Ingénierie (SMING). Il bénéficie largement du support technique de l'Institut Polaire Français Paul-Emile Victor (IPEV) pour les opérations dans les régions polaires. Par ailleurs, le LGGE accueille des chercheurs de l'Institut de Recherche et Développement (IRD) qui travaillent sur les glaciers tropicaux.

Le LGGE a bâti sa renommée scientifique sur l'étude du climat et de la composition de l'atmosphère. Ces études portent sur le présent mais aussi sur les évolutions passées au travers des archives que constituent la neige et la glace accumulées au cours du temps. Cependant le LGGE possède d'autres savoirs-faire très compétitifs centrés sur la neige et la glace, comme l'étude physique et mécanique du matériau glace, les échanges chimiques air-neige ou encore l'acquisition de données sur le terrain et par satellite. Les recherches menées allient des développements technologiques et analytiques à une approche de modélisation numérique touchant à des domaines variés, de l'atmosphère aux écoulement des masses de glace. Les régions polaires Antarctique et Arctique sont des terrains d'action privilégiés mais l'expérience du LGGE s'étend aussi aux zones de montagne : étude des glaciers alpins, andins et himalayens, pollution des vallées alpines. Ces études contribuent à la compréhension d'importants problèmes scientifiques qui sont souvent des enjeux de société tels que l'effet de serre, la variabilité du climat et de l'environnement, le bilan de masse de la cryosphère, la pollution à l'échelle globale et régionale ou encore les risques glaciaires.

Pour mener à bien ces études, le laboratoire dispose de quarante chercheurs et enseignants-chercheurs, vingt ingénieurs, techniciens, administratifs et environ vingt-cinq étudiants en thèses et visiteurs. Ce personnel est divisé en quatre équipes de recherche :

- Climat : passé, présent, projections (CLIPS)
- Chimie atmosphérique, neige et glace (CHANG)
- Dynamique de l'écoulement et physique de la déformation du matériau glace (EDGe)
- Cryosphère, hydrosphère et climat de montagne (CHyC)

Les recherches conduites par l'équipe CLIPS, à laquelle je suis rattachée, visent à une meilleure compréhension des mécanismes régissant l'état moyen et la variabilité du système climatique terrestre, sa sensibilité à différents forçages et les rétroactions entre ses composantes, en focalisant cette activité sur les régions polaires et notamment l'Antarctique.

Les questionnements scientifiques abordés par l'équipe couvrent différentes échelles de temps, du passé, du présent et du futur (de la minute jusqu'aux cycles glaciaire-interglaciaires).

Les champs d'action spécifiques conduisent d'une part à décrire (notamment par le travail de terrain ou

l'analyse des carottes de glace), comprendre et modéliser la météorologie et le climat polaire, d'autre part à comprendre certains processus physiques ou biogéochimiques ayant un impact sur le climat ou gouvernant les variables climatiques (ou les signaux permettant de les reconstituer dans le passé) aux pôles.

Les méthodologies utilisées par l'équipe combinent l'intégration d'observations originales (terrain, satellites, carottes de glace) et de la modélisation, depuis celle des processus (modèle à aire limitée, modèle de densification du névé, ...) jusqu'à la simulation à grande échelle (dont celle des cycles biogéochimiques ou celle du couplage entre climat et calottes de glace).

Les activités de l'équipe CLIPS se déclineront pour ces prochaines années en trois axes majeurs:

- Climat polaire, processus atmosphériques et bilan de masse de surface
- Physique de la neige et du névé polaire
- Forçages et rétroactions climatiques, cycles biogéochimiques

Elles sont soutenues par plusieurs projets européens, des projets nationaux (Agence Nationale de la Recherche, INSU-LEFE, GDRI, soutien IPEV pour le terrain polaire) ou encore un service d'observation labellisé par l'INSU.

1.2 Présentation du domaine d'étude : l'Antarctique

L'Antarctique est le continent des superlatifs. Tout d'abord, il est le continent le plus méridional de la Terre. Il est situé au pôle Sud et est entouré de l'océan Austral. Sa superficie est de 14 millions de km² et 98% de sa surface est recouverte de glace. Il n'y a pas de population humaine permanente mais de nombreuses équipes de chercheurs y vivent une partie de l'année, voire toute l'année.

L'Antarctique est le continent le plus froid, le plus sec et le plus venteux. Puisqu'il n'y tombe que peu de précipitations, excepté sur les côtes où les précipitations sont de l'ordre de 200 mm par an, l'intérieur du continent constitue techniquement le plus grand désert du monde. Avec une température moyenne de -10°C près des côtes, des matériaux capables de résister au froid sont indispensables. Des vents catabatiques pouvant aller jusqu'à 320 km/h, combinés au froid, peuvent arracher ou briser des instruments de mesure comme des anémomètres : il faut donc les fixer solidement avec des sangles ou des haubans.

C'est en raison de ces conditions extrêmes qu'il est difficile d'obtenir des données précises sur les précipitations en Antarctique. Mais ces données révèlent un grand intérêt au niveau mondial : elles aident à prédire les variations de la calotte antarctique et donc du niveau des mers car, avec une couche de glace antarctique représentant 90% de la glace terrestre, les variations vont avoir des effets considérables à partir d'un seuil de variation très faible.

De nombreuses bases scientifiques sont installées en Antarctique mais celles qui nous intéressent sont la base française de Dumont D'Urville (DDU) en Terre Adélie et la base franco-italienne de Concordia à Dôme C (voir figure 1). Des points de repères sont installés le long de la route reliant la station DDU et celle du Dôme C. Ceux qui nous intéressent principalement sont Cap Prud'homme (situé sur la côte) et D3 (situé à 300m de la côte).



Figure 1 : Situation des bases scientifiques de DDU et de Dôme C

2. Etude des précipitations

2.1 Les instruments de mesure

Des stations météorologiques automatiques sont installées en certains points de la route reliant DDU au Dôme C. Elles comportent notamment des anémomètres et des thermomètres. Mais les instruments qui m'intéressent et dont je vais étudier les données sont le VPF730 et le FlowCapt.

2.1.1 Le Biral VPF730

Le VPF730 est un appareil produit par l'entreprise Biral. Un VPF730 est installé à Cap Prud'homme. Il mesure la visibilité, les précipitations, le type de précipitation et la vitesse de chute des hydrométéores. Cet appareil comporte trois têtes : une émettrice et deux réceptrices. Les récepteurs sont situés à 35° et à 130° dans le plan horizontal. La tête émettrice émet un rayon infrarouge qui sera diffracté vers les récepteurs s'il y a une précipitation. La puissance du rayon ainsi que le temps de diffraction permettent de connaître la vitesse de chute et la taille des particules. A l'aide d'une matrice taille-vitesse et de la température, l'appareil déduit le type de particule (Annexe 1). Lorsqu'il n'y a pas de précipitation, le rayon émis ne sera pas diffracté et donc non capté par les récepteurs.



Figure 2 : le VPF730 à Cap Prud'homme (C.Genthon)

2.1.2 Le FlowCapt

Le FlowCapt est un driftoanémomètre : il permet de quantifier le vent et le flux de neige. Un FlowCapt composé de trois tubes verticaux d'un mètre de long chacun est installé sur le site de D3.

Le FlowCapt a initialement été développé par le Cemagref de Grenoble et est maintenant commercialisé en Suisse par la société IAV technologie. Il est basé sur un principe acoustique. Chaque tube constituant le FlowCapt est équipé d'un microphone capable d'enregistrer le bruit causé par les impacts des grains de neige et de fournir un flux exprimé en $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Un transport de neige par le vent va donc créer une pression acoustique sur le micro du fait de la présence de très nombreuses particules. Cette pression acoustique est en lien avec le transport de la neige par le vent. Le vent est lui aussi générateur d'une pression acoustique, cependant les spectres en fréquence du vent sont beaucoup plus bas que ceux de la neige soufflée.

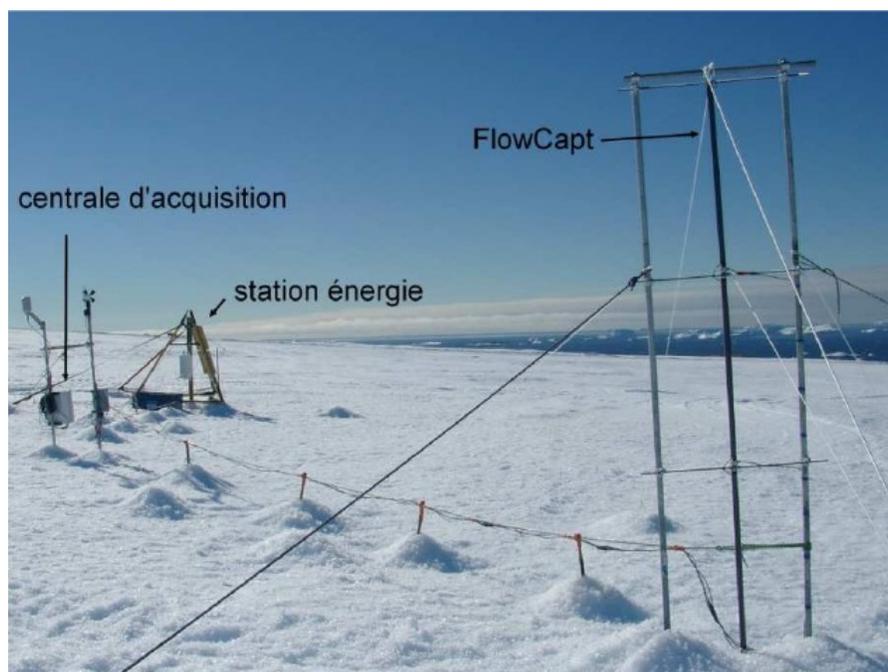


Figure 3 : les FlowCaps à D3 (C.Genthon)

2.2 Interprétation des données du Biral-VPF730 et des Flowcaps

2.2.1 Repérage d'épisodes de précipitations

Le VPF730 fait des acquisitions toutes les heures. En étudiant le nombre de particules enregistré chaque heure par cet instrument, je peux déterminer lorsqu'il y a un événement de précipitations, c'est-à-dire lorsqu'un certain nombre de particules est détecté pendant plusieurs heures successives (Annexe2). J'étudie les données enregistrées entre janvier 2009 et février 2010. Suite à des problèmes de fonctionnement de l'appareil dus à son alimentation, les données n'ont pu être enregistrées sur de longues périodes :

- entre le 26 février et le 18 mai 2009
- entre le 29 juin et le 29 octobre 2009
- entre le 23 novembre et le 10 décembre 2009.

Pour chaque évènement, je récupère la vitesse du vent enregistrée à Cap Prud'homme correspondant à chaque heure de l'évènement. Là aussi, il manque des données de vitesse du vent sur de longues périodes. Ayant les vitesses du vent à D1, j'ai observé la corrélation des vitesses à D1 avec celles à Cap Prud'homme sur la période janvier-février 2009 (période pour laquelle j'ai des données aux deux situations géographiques).

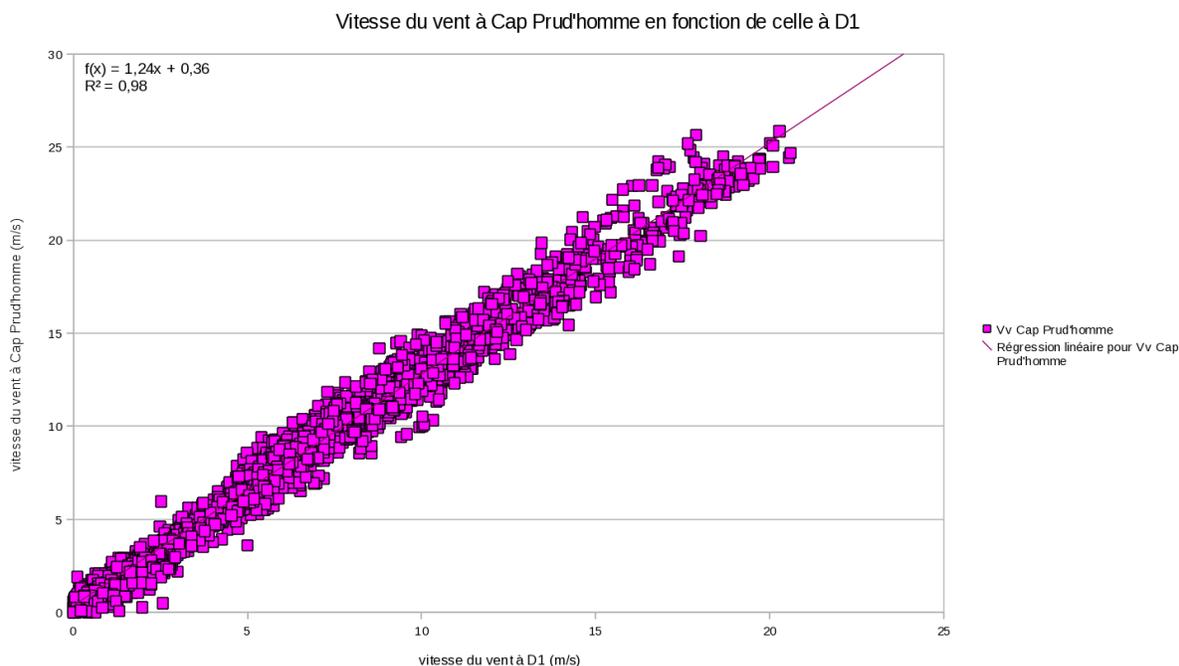


Figure 4 : corrélation entre les vitesses du vent à D1 et à Cap Prud'homme

La corrélation entre les deux vitesses étant bonne (le coefficient de corrélation linéaire au carré étant de 0,98), j'ai pu calculer les vitesses de vent manquantes à Cap Prud'homme selon la régression linéaire :

$$VitesseCapPrud'homme = 1,24 \times VitesseD1 + 0,36$$

J'ai aussi récupéré la matrice correspondant à chaque épisode obtenue par le VPF730 (Annexe 3).

2.2.2 Traitement des épisodes

Grâce à un programme créé par Alexandre Trouvilliez, la matrice et les valeurs de la vitesse du vent permettent d'obtenir quatre graphiques caractérisant chaque épisode.

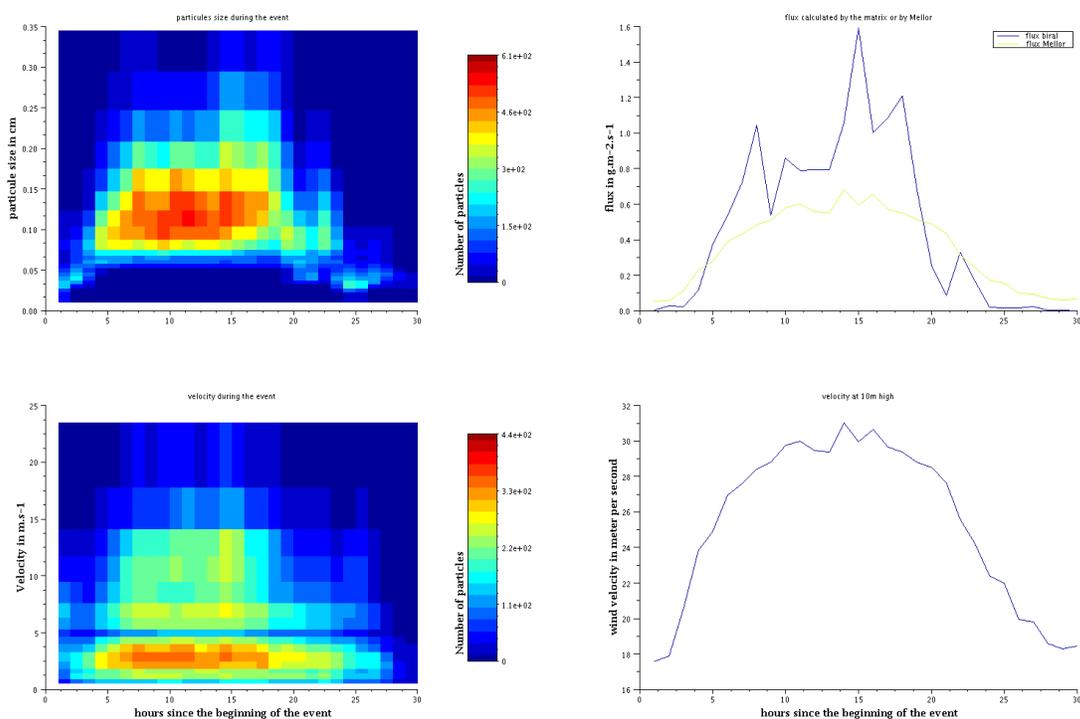


Figure 5 : graphiques obtenus par le programme pour l'épisode 34 (30/10/2009)

Le premier graphique (en haut à gauche) représente la taille des particules en fonction du temps (l'axe du temps est gradué en heures).

Le deuxième graphique (en bas à gauche) représente la vitesse des particules en fonction du temps.

Le dégradé de couleur montre la densité de particules. Par exemple, on voit sur le premier graphique qu'il y a un saut de particules : le VPF730 n'a pas détecté de particules de taille inférieure à 0,5 mm. Il n'a détecté que des grosses particules. Cela peut venir du fait que l'appareil peut confondre plusieurs petites particules avec une seule grosse particule (Bellot et al., 2010).

Le troisième graphique (en haut à droite) représente le flux de particules (en $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) en fonction du temps.

Le quatrième graphique (en bas à droite) représente la vitesse du vent en fonction du temps.

Ce programme calcule également le flux (en $\text{g.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$) de précipitation du VPF730 avec une calibration du Cemagref faite spécialement pour les particules de neige lors de l'hiver 2010 dans les Alpes (Bellot et al., 2010).

2.2.3 Episodes de précipitations uniquement

Le VPF730 compte toutes les particules qu'il détecte, et les particules détectées sont à la fois des particules de précipitation et de neige soufflée. Les données du VPF730 ne correspondent donc pas uniquement aux précipitations puisque la neige soufflée vient s'ajouter à ces données.

Le FlowCapt, quant à lui, est conçu pour détecter uniquement la neige soufflée. En combinant les données du VPF730 et celles du FlowCapt, on peut déterminer les périodes auxquelles il n'y a que des précipitations : ce sont les périodes où le VPF730 détecte des particules alors que les flux des trois tubes du FlowCapt sont nuls. Durant ces périodes, la vitesse du vent doit être faible, inférieure à 10 m/s, pour confirmer qu'il n'y a pas de neige soufflée.

2.3 Modèles de précipitation

2.3.1 Le modèle ECMWF

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) est une organisation intergouvernementale soutenue par 32 Etats. Les principaux objectifs du Centre sont :

- le développement de méthodes numériques pour la prédiction météorologique à moyenne portée
- la préparation de prévision de temps à moyenne portée pour les services météo des Etats membres
- la recherche technique destinée à améliorer ces prévisions
- le stockage de données météorologiques appropriées.

Le comportement de l'atmosphère est régi par des lois physiques que l'on peut exprimer par des équations mathématiques. En résolvant ces équations, nous aurons une description de l'état futur de l'atmosphère, dérivé d'un état actuel, qui pourra être interprété en terme de temps (« weather ») : pluie, températures, ... Cependant, ces équations sont complexes et il n'existe pas de solution exacte. Des techniques de modélisation numérique sont alors employées pour donner des solutions approchées. Dans ces modèles numériques, les champs sont représentés par une série finie de nombres. En utilisant les formes approchées des équations, les données futures peuvent être calculées par ordinateur. La représentation de champs avec des valeurs numériques approchées est appelée discrétisation.

ECMWF prédit le comportement de l'atmosphère dans la moyenne portée jusqu'à dix jours.

Quelques facteurs importants influençant l'évolution de l'atmosphère ont lieu à très petite échelle, comme le chauffage du sol par le soleil, la turbulence de l'air près du sol et à de hautes altitudes. Ils ne peuvent pas être représentés correctement par la discrétisation. Nous devons représenter leurs effets en

tenant compte de leur influence sur le comportement des paramètres à grande échelle.

Des conditions initiales sont nécessaires afin de démarrer le modèle. Des observations sont utilisées pour calculer le temps en chaque point du modèle. Les prévisions sont faites pour un certain pas de temps (par exemple, les 15 prochaines minutes). Ces prévisions fournissent des conditions initiales pour prédire le temps du pas suivant (les 15 minutes qui suivent), et ainsi de suite.

Des conditions initiales pour le modèle global ECMWF sont préparées en faisant la synthèse des valeurs observées au cours d'une période de 24 heures et des prévisions à courte portée fournies par le modèle global lui-même. Les observations et les prévisions de modèle sont toutes les deux nécessaires à la construction de valeurs initiales.

2.3.2 Le modèle GPCP

L'analyse de précipitation du GPCP (Global Precipitation Climatology Project) a été lancée pour avoir une meilleure compréhension de modèle spatial et temporel de la précipitation mondiale. Ainsi, différents types de mesure de précipitation comme des stations de pluviomètre, des satellites géostationnaires, des sondes à infrarouge (par exemple AIRS, Atmospheric Infrared Sounder) ont été combinés pour estimer les précipitations sur le globe, divisé en une grille avec une résolution de 2,5 degrés.

2.3.3 Récupération de données

Grâce au logiciel Ferret, les valeurs de précipitation à Cap Prud'homme (coordonnées : 140°Est, 66°Sud) ont été récupérées sur la période de janvier 2009 à février 2010 pour ECMWF, et pour les mois de janvier et février 2009 pour GPCP. ECMWF donne des valeurs par pas de six heures alors que GPCP donne les quantités de précipitation par jour.

2.4 Comparaison des quantités obtenues par les différentes méthodes

2.4.1 Sources de données

La première source (en bleu sur les graphiques) est le VPF730 qui donne la quantité de précipitation équivalente en eau à chaque heure. Ces quantités sont sommées afin d'avoir la quantité de précipitation par jour en mm.

La deuxième source (en rouge sur les graphiques) correspond au flux extrait par le programme d'A.Trouvilliez. Nous avons estimé la masse volumique des précipitations détectées par le VP730 à 200 kg/m³. Cela nous a permis de calculer la quantité équivalente en eau en mm par heure selon la formule

$$\text{suivante : } \textit{quantité équivalente} = \frac{\textit{flux} \times 60}{200 \times 10^{-2}} .$$

La troisième source (en vert sur les graphiques) est le modèle GPCP.

La quatrième source (en jaune sur les graphiques) est le modèle ECMWF.

Afin d'effectuer une comparaison, toutes les données ont été ramenées à la quantité de précipitation accumulée par jour.

2.4.2 Graphiques

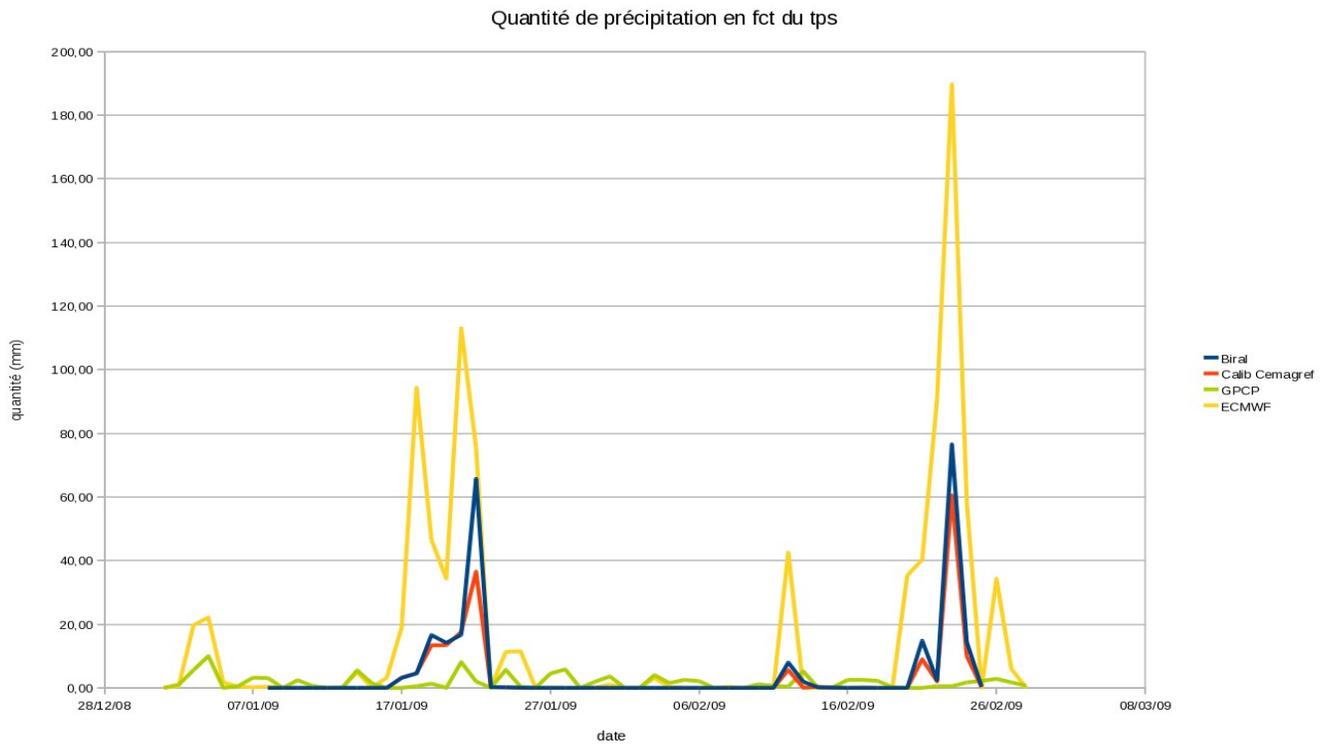


Figure 6 : Quantité de précipitation par jour en janvier et février 2009 à Cap Prud'homme

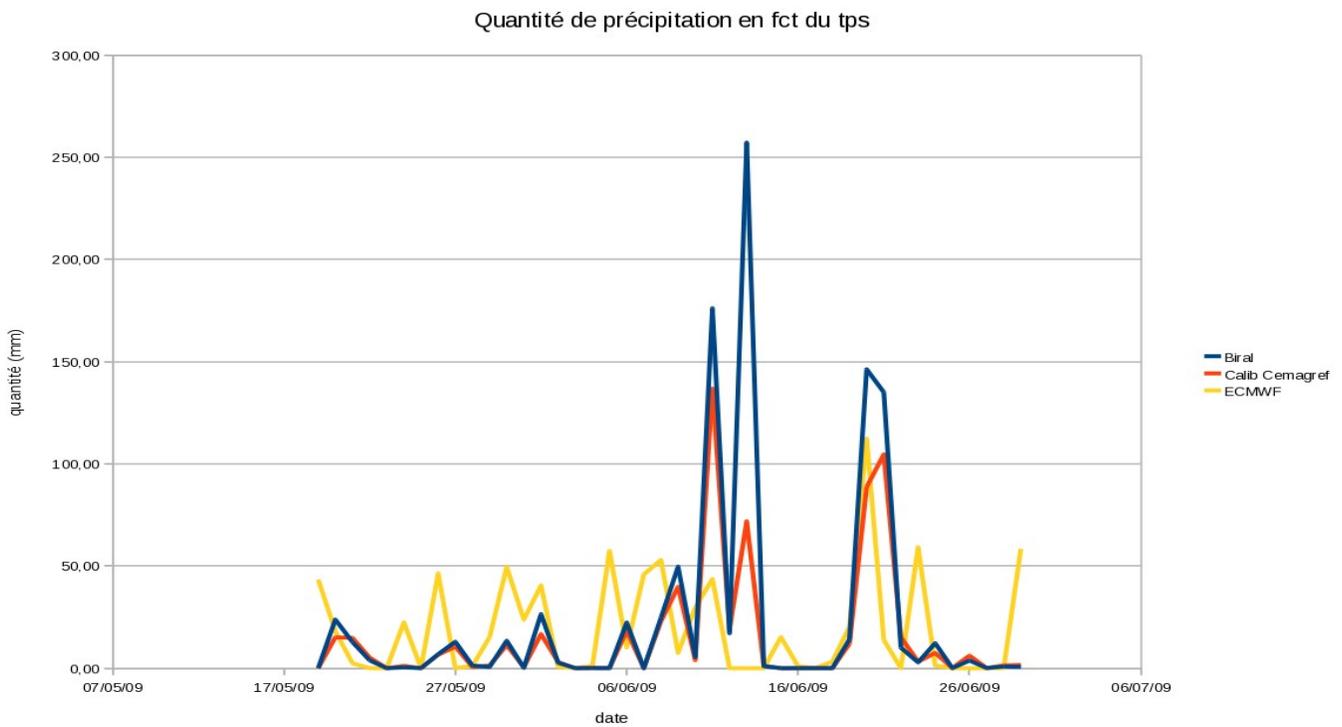


Figure 7 : Quantité de précipitation par jour en mai et juin 2009 à Cap Prud'homme



Figure 8 : Quantité de précipitation par jour en novembre et décembre 2009 à Cap Prud'homme

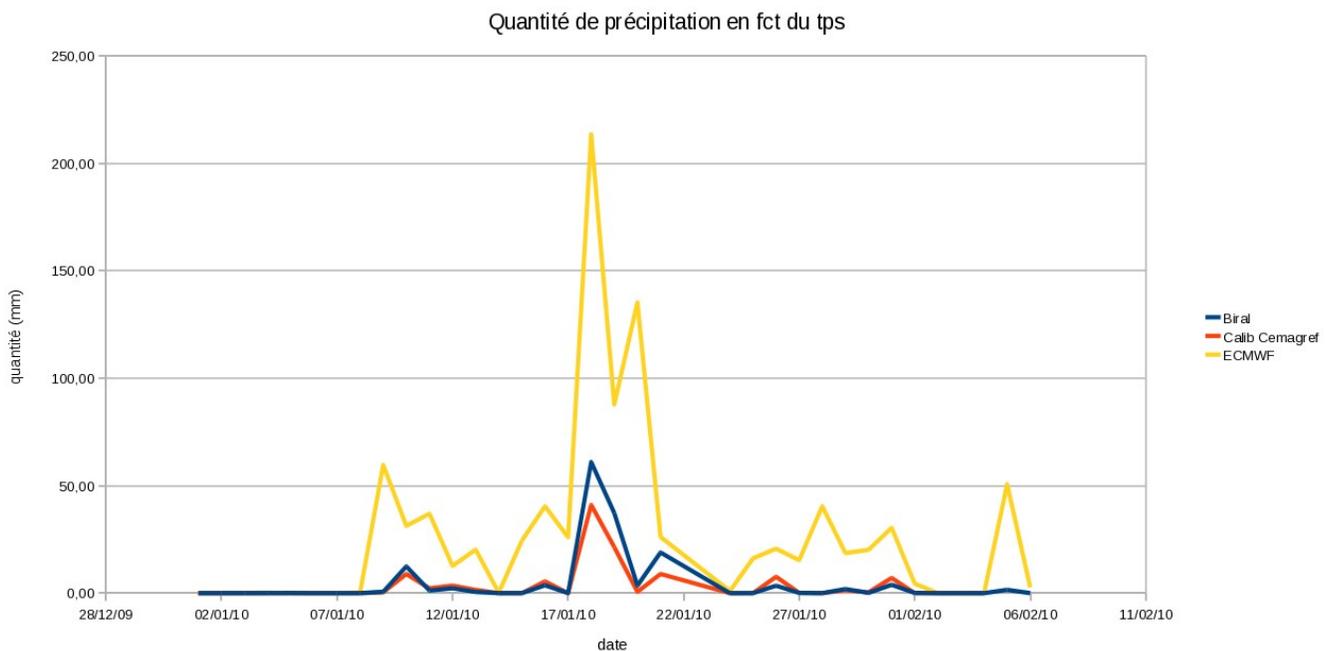


Figure 9 : Quantité de précipitation par jour en janvier et février 2010 à Cap Prud'homme

Je peux donc observer qu'il y a une très bonne corrélation entre les données du VPF730 et le flux calculé avec la calibration du CEMAGREF, ce qui ne surprend guère.

Le modèle ECMWF correspond à ces deux sources en terme d'évènement mais pas en terme de quantité : des précipitations sont repérées aux mêmes périodes mais les quantités ne coïncident pas. En ce qui concerne le modèle GPCP, il ne correspond ni en terme d'évènement, ni en terme de quantité, ce qui est explicable par le fait que les conditions en Antarctique sont extrêmes (région très froide, très sèche, très venteuse) et ne correspondent pas aux conditions « classiques » des autres continents.

2.4.3 Comparaison des modèles GPCP et ECMWF

Les modèles GPCP et ECMWF ne correspondent ni en terme d'évènement, ni en terme de quantité en Antarctique. L'Antarctique étant une région aux conditions extrêmes, de meilleurs résultats devraient être observables dans une région plus « classique ». J'ai donc comparé les données de ces deux modèles à Grenoble et j'obtiens une meilleure correspondance : les quantités ne correspondent toujours pas mais il y a une correspondance en terme d'évènement.

Les données du modèle GPCP ne sont donc pas valables dans une région aux conditions extrêmes mais le sont dans une région aux conditions « classiques ».

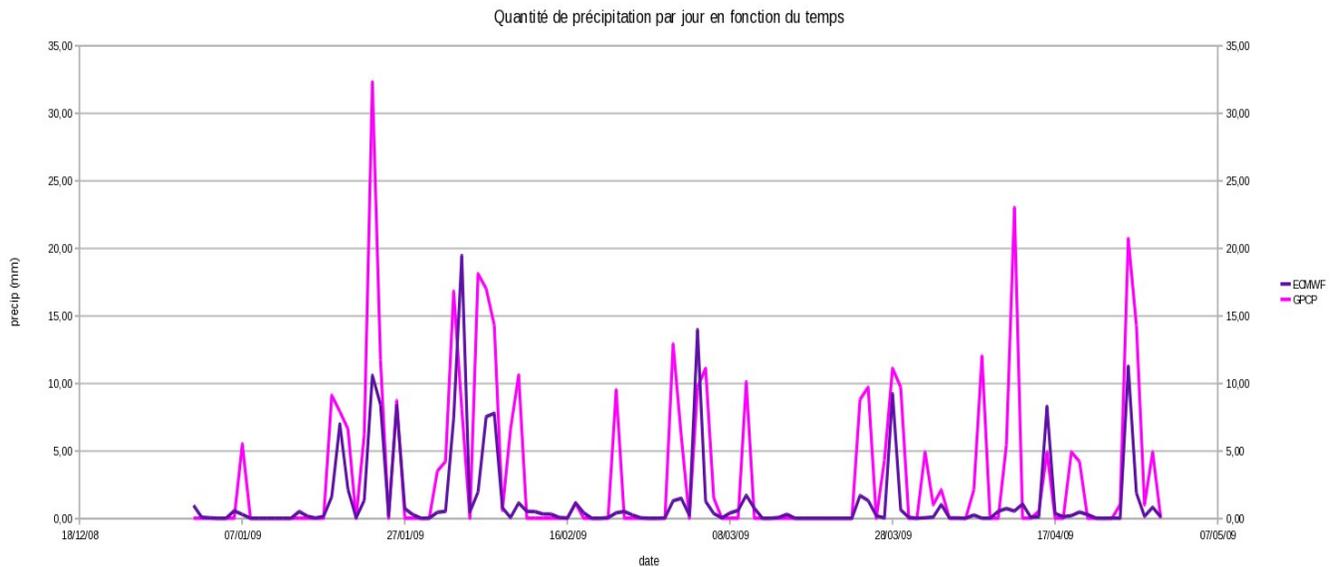


Figure 10 : Quantité de précipitation par jour en janvier et février 2009 à Grenoble

3. Conclusion

Les conditions extrêmes de l'Antarctique en font une région très difficile à étudier, et les modèles météorologiques ne sont généralement pas prévus pour ce type de région. Néanmoins, des instruments comme le VPF730 permettent d'obtenir des données, malgré quelques dysfonctionnements.

La prochaine expédition antarctique est prévue, comme chaque année, durant l'été austral, c'est-à-dire de début novembre à mi-mars. Le VPF730 devrait être remplacé par un autre VPF730 avec des batteries plus robustes, ce qui devrait permettre d'éviter les dysfonctionnements et limiter les absences de données. Il devrait aussi y avoir l'installation d'un Snow Particle Counter (SPC) qui est un appareil fiable pour mesurer la neige soufflée ou les précipitations suivant son emplacement.

Ce stage m'a permis de connaître le monde de la recherche, et plus précisément, le métier de chercheur. Il est indispensable d'être autonome. Suivant ce que l'on veut obtenir, il faut trouver quels logiciels vont être utiles, créer soi-même des programmes, aller chercher des informations. Il faut aussi estimer soi-même la charge de travail et le temps à lui consacrer. La curiosité est une qualité indispensable et il ne faut pas hésiter à prendre d'initiatives. J'ai aussi remarqué à quel point l'anglais était utile. Beaucoup de personnes travaillant au laboratoire sont étrangères, et il faut donc parler anglais pour communiquer entre collègues. Il faut aussi maîtriser l'écrit et le vocabulaire scientifique car de nombreux articles sont rédigés en anglais.

Ensuite, ce stage m'a permis de progresser en informatique. J'ai appris à travailler sous Linux et j'ai utilisé des logiciels que je ne connaissais pas ou que je connaissais peu : Scilab, Nedit, Excel, Ferret ... Enfin, ce stage m'a apporté des connaissances dans un domaine que je ne connaissais pas du tout et qui m'a beaucoup plu : la climatologie. Etant en licence de physique, mathématiques et mécanique, je n'avais pas beaucoup de notions en géophysique et étude de l'environnement. Je voulais découvrir un nouveau domaine tout en restant dans la physique, et pour cela, je suis ravie d'avoir eu l'occasion de faire ce stage.



4. Références

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)

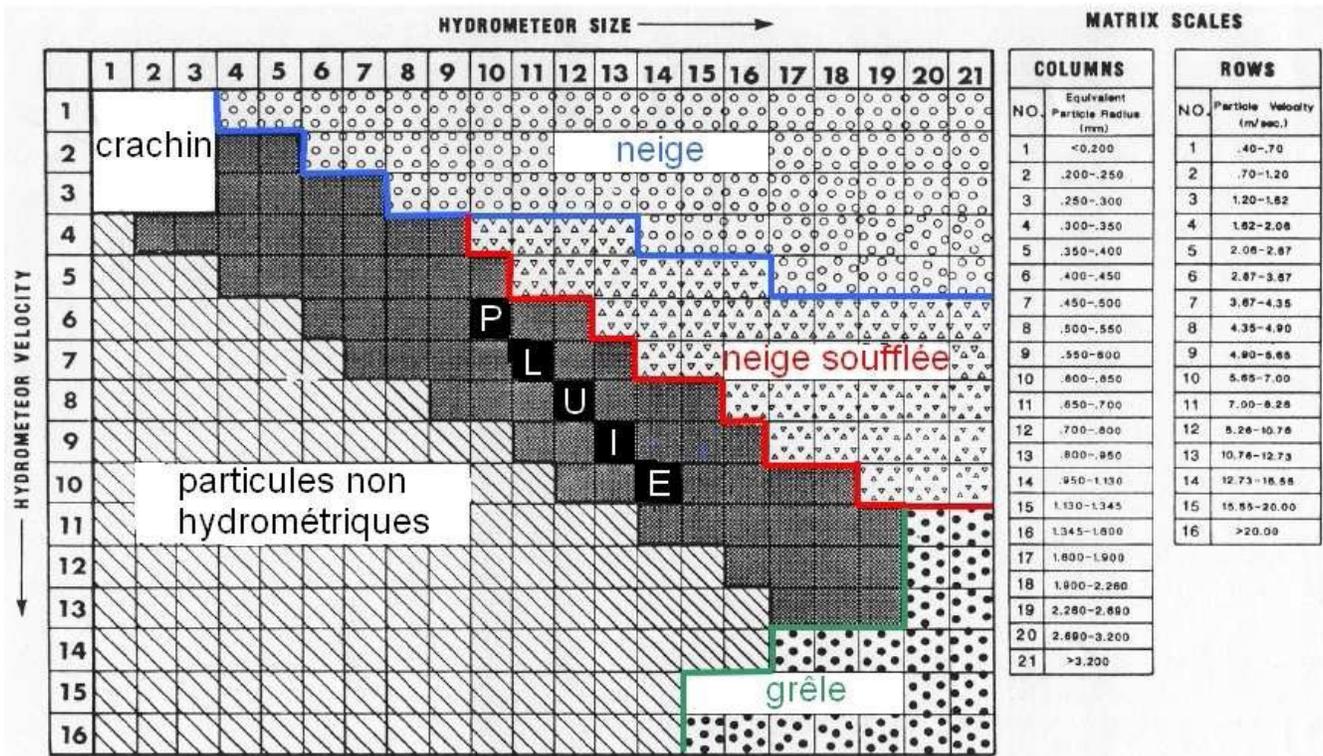
M.Barandun, Studies of Antarctic precipitation statistics (rapport de stage)

ECMWF, <http://www.ecmwf.int/>

GPCP, <http://precip.gsfc.nasa.gov/>

Annexes

Annexe 1 : matrice taille-vitesse permettant de déterminer le type de particule détectée par le VPF730



Annexe 2 : événements de précipitation repérés entre janvier 2009 et février 2010

Les événements en bleu correspondent à ceux dont la vitesse du vent à été calculée grâce à celle de D1.

Événement	Date début	Date fin	Durée (h)	Nb particules max	Nb particules total	Vitesse vent max (m/s)	Vitesse vent min (m/s)
1	17/01/2009 15:00	17/01/2009 22:00	07:00:00	48292	102424	12,92	6,5
2	18/01/2009 09:00	20/01/2009 17:00	56:00:00	95083	1744900	25,85	4,36
2bis	18/01/2009 13:00	19/01/2009 18:00	29:00:00	95083	1132823	25,85	10,24
3	21/01/2009 00:00	23/01/2009 08:00	56:00:00	121398	2404570	19,28	3,65
3bis	21/01/2009 17:00	22/01/2009 19:00	26:00:00	121398	2036175	19,28	8,81
4	23/01/2009 20:00	24/01/2009 10:00	14:00:00	6142	43635	25,08	22,05
5	12/02/2009 19:00	13/02/2009 02:00	07:00:00	104141	384562	13,74	3,77
6	14/02/2009 19:00	15/02/2009 02:00	07:00:00	25330	46756	17,7	7,51
7	21/02/2009 05:00	22/02/2009 02:00	21:00:00	85901	854425	11,16	2,55
8	22/02/2009 11:00	22/02/2009 17:00	06:00:00	54532	111067	9,3	1,38
9	23/02/2009 04:00	24/02/2009 05:00	25:00:00	127551	1519749	21,08	0,43
10	24/02/2009 09:00	25/02/2009 07:00	22:00:00	42833	458824	17,77	2,16
11	20/05/2009 00:00	20/05/2009 21:00	21:00:00	127761	1138979	19,47	7,85
12	21/05/2009 09:00	22/05/2009 11:00	26:00:00	37790	341756	19,24	1,8
13	22/05/2009 14:00	22/05/2009 18:00	04:00:00	19541	32225	17,2	10,54
14	24/05/2009 17:00	24/05/2009 22:00	05:00:00	5559	13254	3,94	0
15	25/05/2009 21:00	26/05/2009 03:00	06:00:00	3170	8115	10,95	3,22
16	26/05/2009 19:00	27/05/2009 07:00	12:00:00	65021	511304	13,66	5,35
17	27/05/2009 17:00	28/05/2009 09:00	16:00:00	28887	182379	24,22	12,1
18	29/05/2009 18:00	30/05/2009 00:00	06:00:00	15172	48904	22,37	17,08
19	30/05/2009 09:00	30/05/2009 20:00	11:00:00	84735	635118	6,72	4,4
20	31/05/2009 13:00	02/06/2009 19:00	54:00:00	90678	1261642	19,01	6,27
21	04/06/2009 19:00	05/06/2009 03:00	08:00:00	3696	21613	13,89	9,57
22	05/06/2009 22:00	06/06/2009 13:00	15:00:00	88532	647716	7,85	3,72
23	08/06/2009 00:00	12/06/2009 17:00	113:00:00	90421	3710929	27,26	3,82
24	13/06/2009 01:00	13/06/2009 18:00	17:00:00	68540	730139	34,55	4,77
25	14/06/2009 05:00	14/06/2009 08:00	03:00:00	25731	64075	23,46	16,84
26	16/06/2009 22:00	17/06/2009 10:00	12:00:00	4024	15419	5,24	2,67
27	19/06/2009 04:00	21/06/2009 22:00	66:00:00	120066	2300300	27,28	15,17
28	22/06/2009 14:00	23/06/2009 03:00	13:00:00	31400	249714	22,23	11,54
29	23/06/2009 17:00	25/06/2009 09:00	40:00:00	85956	890670	13,12	4,64
30	26/06/2009 01:00	27/06/2009 11:00	34:00:00	24101	180845	17,65	6,24
31	28/06/2009 17:00	29/06/2009 06:00	13:00:00	23417	156924	18,64	11,19
32	16/07/2009 19:00	17/07/2009 12:00	17:00:00	11689	31052	15,79	3,82
33	18/07/2009 12:00	18/07/2009 19:00	07:00:00	3627	11146	12,09	4,86
34	30/10/2009 05:00	31/10/2009 11:00	30:00:00	77117	1487593	30,24	15,5
35	21/12/2009 23:00	22/12/2009 12:00	13:00:00	2133	7916	23,95	20,82
36	27/12/2009 11:00	28/12/2009 05:00	18:00:00	55633	193613	19,06	14,65
37	09/01/2010 22:00	10/01/2010 18:00	20:00:00	64142	388615	21,28	15,93
38	11/01/2010 05:00	11/01/2010 14:00	09:00:00	22195	97859	20,29	18,2
39	12/01/2010 00:00	12/01/2010 06:00	06:00:00	12894	34185	6,83	4,27
40	13/01/2010 11:00	13/01/2010 16:00	05:00:00	6856	24409	5,5	0,44
41	16/01/2010 12:00	16/01/2010 20:00	08:00:00	16091	69175	7,71	4,56
42	18/01/2010 08:00	19/01/2010 22:00	38:00:00	182962	1930811	20,39	9,09
43	20/01/2010 16:00	21/01/2010 10:00	18:00:00	56903	438099	26,18	6,07
44	26/01/2010 04:00	27/01/2010 02:00	22:00:00	11863	54195	8,75	3,14
45	29/01/2010 00:00	29/01/2010 06:00	06:00:00	33721	92516	25,22	22,15
46	29/01/2010 14:00	29/01/2010 17:00	03:00:00	5789	9695	19,6	19,02
47	30/01/2010 22:00	31/01/2010 20:00	22:00:00	38831	254431	10,37	3,21
48	05/02/2010 15:00	06/02/2010 03:00	12:00:00	50765	119211		

Annexe 3 : exemple de matrice d'un épisode (épisode 46)

2010-01-29 14:00:00 AC: 000.01,00060

2010-01-29 14:00:00 PM:

M000
M000,000,001
M000,000,001,006
M000,000,000,005,000,000,001
M000,000,000,009,001,002,001
M000,000,000,002,006,000,002,001,000,000,000,001
M000,000,000,003,005,013,004,002,000,001
M000,000,000,001,002,009,003,003,002,003,000,000,002
M000,000,000,000,006,014,009,004,002,000,001,001
M000,000,000,001,018,033,024,010,010,005,004,004,001
M000,000,000,000,009,017,012,006,004,000,001,002
M000,000,000,000,007,017,004,004,002
M000,000,000,000,004,007,001
M000
M000
M000

2010-01-29 15:00:00 AC: 000.11,00060

2010-01-29 15:00:00 PM:

M000,002
M000,010
M000,011,001,001
M000,005,004,001,001
M000,003,007,009,001,000,001
M000,003,012,010,006,003,002
M000,001,005,021,012,007,004,001,001,001
M000,002,004,016,007,005,001,003,001
M000,000,000,022,010,005,003,001,001,000,001
M000,000,000,046,017,012,012,007,002,002,001,002,001
M000,000,000,025,017,007,005,003,003,000,001,001
M000,000,000,022,009,006,002,002,001,001
M000,000,000,014,006,000,002
M000,000,000,007
M000
M000

2010-01-29 16:00:00 AC: 000.03,00060

2010-01-29 16:00:00 PM:

M000
M000,001
M000
M000,004,000,001
M000,002,001,000,001
M000,002,005,006,003
M000,000,000,006,006,002,000,001
M000,000,001,002,001,000,000,000,001,001
M000,000,000,005,002,002,001,001,001,001
M000,001,000,013,007,004,002,002,001,002,001
M000,000,000,009,008,002,001,000,001,000,001
M000,000,000,004,004,003,000,001
M000,000,000,005,001,000,001
M000,000,000,006
M000
M000

2010-01-29 17:00:00 AC: 000.00,00060

Annexe 4 : quantité de précipitation par jour entre janvier 2009 et février 2010

Les cases grises représentent des absences de données. Les cases violettes représentent les événements de précipitation.

Date	Quantité de précipitation par jour (mm)			
	Biral	Calib Cemagref	GPCP	ECMWF
01/01/09			0,00	0,00
02/01/09			1,00	0,52
03/01/09			5,60	19,68
04/01/09			10,00	22,13
05/01/09			0,00	1,64
06/01/09			0,50	0,42
07/01/09			3,20	0,17
08/01/09	0,00	0,00	3,10	0,38
09/01/09	0,00	0,00	0,00	0,08
10/01/09	0,00	0,00	2,40	0,00
11/01/09	0,00	0,00	0,60	0,00
12/01/09	0,00	0,00	0,00	0,04
13/01/09	0,00	0,00	0,00	0,15
14/01/09	0,00	0,00	5,50	4,96
15/01/09	0,00	0,00	1,40	0,08
16/01/09	0,00	0,00	0,00	3,20
17/01/09	3,15	3,24	0,00	19,02
18/01/09	4,52	4,58	0,50	94,30
19/01/09	16,60	13,38	1,30	46,54
20/01/09	14,14	13,41	0,00	34,33
21/01/09	16,67	17,57	8,10	113,05
22/01/09	65,71	36,52	2,00	75,46
23/01/09	0,22	0,21	0,00	0,21
24/01/09	0,13	0,22	5,70	11,30
25/01/09	0,07	0,00	0,30	11,46
26/01/09	0,00	0,00	0,00	0,00
27/01/09	0,00	0,00	4,50	0,10
28/01/09	0,00	0,00	5,80	0,02
29/01/09	0,00	0,00	0,00	0,00
30/01/09	0,00	0,00	1,90	0,06
31/01/09	0,00	0,00	3,60	1,07
01/02/09	0,00	0,00	0,00	0,00
02/02/09	0,00	0,00	0,00	0,06
03/02/09	0,00	0,00	4,00	3,03
04/02/09	0,00	0,00	1,50	0,25
05/02/09	0,00	0,00	2,50	0,04
06/02/09	0,00	0,00	2,10	0,00
07/02/09	0,00	0,00	0,00	0,00
08/02/09	0,00	0,00	0,00	0,36
09/02/09	0,00	0,00	0,00	0,04
10/02/09	0,00	0,00	1,10	0,02
11/02/09	0,00	0,00	0,60	0,02
12/02/09	7,97	5,59	0,40	42,50
13/02/09	1,93	0,06	5,20	0,00
14/02/09	0,13	0,34	0,00	0,00
15/02/09	0,06	0,12	0,20	0,00
16/02/09	0,00	0,00	2,50	0,00
17/02/09	0,02	0,00	2,50	0,19
18/02/09	0,00	0,00	2,20	0,00
19/02/09	0,00	0,00	0,20	0,00
20/02/09	0,00	0,00	0,00	35,32
21/02/09	14,84	9,00	0,00	40,26
22/02/09	2,39	2,04	0,50	90,57
23/02/09	76,54	60,50	0,50	189,72
24/02/09	14,42	10,02	1,70	58,44
25/02/09	0,37	0,19	2,20	0,02
26/02/09			2,80	34,26
27/02/09			1,70	5,95
28/02/09			0,70	0,00

Date	Quantité de précipitation par jour (mm)			
	Biral	Calib Cemagref	GPCP	ECMWF
01/05/09				71,60
02/05/09				44,33
03/05/09				8,09
04/05/09				2,90
05/05/09				0,08
06/05/09				0,00
07/05/09				19,21
08/05/09				7,44
09/05/09				21,74
10/05/09				129,41
11/05/09				37,31
12/05/09				0,32
13/05/09				0,76
14/05/09				20,52
15/05/09				11,10
16/05/09				0,46
17/05/09				0,00
18/05/09				0,00
19/05/09	0,00	0,00		43,34
20/05/09	23,76	15,09		18,08
21/05/09	12,78	14,83		2,40
22/05/09	3,85	5,17		0,00
23/05/09	0,00	0,00		0,00
24/05/09	0,39	1,14		22,39
25/05/09	0,04	0,00		0,04
26/05/09	6,81	6,57		46,41
27/05/09	12,94	10,53		0,00
28/05/09	1,25	0,56		1,07
29/05/09	0,60	1,28		15,20
30/05/09	13,42	11,25		49,52
31/05/09	0,16	0,47		23,73
01/06/09	26,47	16,71		40,49
02/06/09	2,64	2,97		0,58
03/06/09	0,00	0,00		0,08
04/06/09	0,08	0,11		1,03
05/06/09	0,04	0,07		57,37
06/06/09	22,35	18,24		10,13
07/06/09	0,00	0,00		45,83
08/06/09	24,67	23,00		52,93
09/06/09	49,68	39,81		7,48
10/06/09	5,45	3,93		29,55
11/06/09	176,08	136,76		43,66
12/06/09	17,10	19,01		0,00
13/06/09	257,13	71,83		0,00
14/06/09	0,96	1,22		0,00
15/06/09	0,00	0,00		15,19
16/06/09	0,00	0,00		0,92
17/06/09	0,03	0,03		0,06
18/06/09	0,01	0,00		3,17
19/06/09	14,19	11,94		20,31
20/06/09	146,21	88,58		112,31
21/06/09	134,99	104,61		13,81
22/06/09	10,00	15,12		0,00
23/06/09	2,86	3,17		59,20
24/06/09	12,24	7,47		1,30
25/06/09	0,03	0,10		0,00
26/06/09	3,73	6,15		0,00
27/06/09	0,07	0,06		0,00
28/06/09	0,77	1,34		0,08
29/06/09	0,66	1,56		58,38
30/06/09				103,34

Date	Quantité de précipitation par jour (mm)			
	Biral	Calib Cemagref	GPCP	ECMWF
29/10/09	0,00	0,00		25,77
30/10/09	390,79	216,46		78,68
31/10/09	52,39	27,53		2,31
01/11/09	0,00	0,00		1,57
02/11/09	0,00	0,00		1,62
03/11/09	0,00	0,00		3,93
04/11/09	0,00	0,00		0,19
05/11/09	0,00	0,00		0,04
06/11/09	0,00	0,00		0,08
07/11/09	0,00	0,00		0,00
08/11/09				0,00
09/11/09				1,56
10/11/09				0,11
11/11/09	0,00	0,00		0,00
12/11/09	0,00	0,00		0,15
13/11/09				0,38
14/11/09				0,00
15/11/09				0,00
16/11/09				0,00
17/11/09	0,00	0,00		0,00
18/11/09	0,00	0,00		1,60
19/11/09	0,00	0,00		0,86
20/11/09	0,00	0,00		0,00
21/11/09	0,00	0,00		0,00
22/11/09	0,00	0,00		0,04
23/11/09				0,36
24/11/09				0,02
25/11/09				2,44
26/11/09				0,02
27/11/09				0,00
28/11/09				0,00
29/11/09				0,00
30/11/09				0,00
01/12/09				4,92
02/12/09				103,91
03/12/09				1,22
04/12/09				0,04
05/12/09				4,27
06/12/09				0,04
07/12/09				0,34
08/12/09				9,98
09/12/09				18,06
10/12/09				3,41
11/12/09	0,01	0,00		0,65
12/12/09	0,00	0,00		0,04
13/12/09	0,00	0,00		0,00
14/12/09	0,00	0,00		0,00
15/12/09	0,00	0,00		0,53
16/12/09	0,00	0,00		0,04
17/12/09	0,00	0,00		0,38
18/12/09	0,00	0,00		1,77
19/12/09	0,00	0,00		1,26
20/12/09	0,00	0,00		5,07
21/12/09	0,17	0,02		21,94
22/12/09	0,23	0,11		1,58
23/12/09	0,00	0,00		0,00
24/12/09	0,00	0,00		0,00
25/12/09	0,00	0,00		0,00
26/12/09	0,00	0,00		0,34
27/12/09	6,41	6,31		17,13
28/12/09	0,01	0,00		0,80
29/12/09	0,00	0,00		0,00
30/12/09	0,00	0,00		0,10
31/12/09	0,00	0,00		0,08

Date	Quantité de précipitation par jour (mm)			
	Biral	Calib Cemagref	GPCP	ECMWF
01/01/10	0,00	0,00		0,02
02/01/10	0,00	0,00		0,00
03/01/10	0,00	0,00		0,08
04/01/10	0,00	0,00		0,25
05/01/10	0,06	0,00		0,02
06/01/10	0,00	0,00		0,00
07/01/10	0,00	0,00		0,00
08/01/10	0,00	0,00		0,34
09/01/10	0,65	0,41		59,66
10/01/10	12,44	8,94		31,32
11/01/10	1,21	2,25		36,96
12/01/10	2,29	3,51		12,68
13/01/10	0,55	1,51		20,26
14/01/10	0,00	0,00		0,23
15/01/10	0,00	0,00		24,47
16/01/10	3,68	5,47		40,44
17/01/10	0,01	0,00		26,02
18/01/10	61,00	41,03		213,55
19/01/10	37,23	21,41		87,81
20/01/10	3,52	0,63		135,27
21/01/10	18,94	8,94		26,15
22/01/10				7,40
23/01/10				0,50
24/01/10	0,00	0,00		1,01
25/01/10	0,00	0,00		16,19
26/01/10	3,48	7,63		20,71
27/01/10	0,11	0,13		15,34
28/01/10	0,02	0,00		40,44
29/01/10	1,94	1,40		18,64
30/01/10	0,13	0,36		20,16
31/01/10	3,90	7,07		30,40
01/02/10	0,10	0,00		4,43
02/02/10	0,00	0,00		0,00
03/02/10	0,00	0,00		0,00
04/02/10	0,00	0,00		0,00
05/02/10	1,53			50,62
06/02/10	0,02			2,67