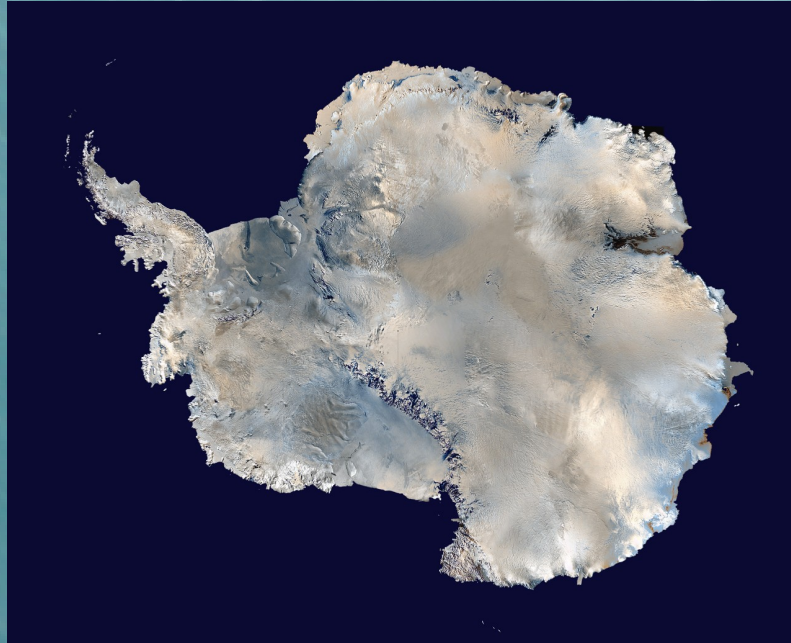


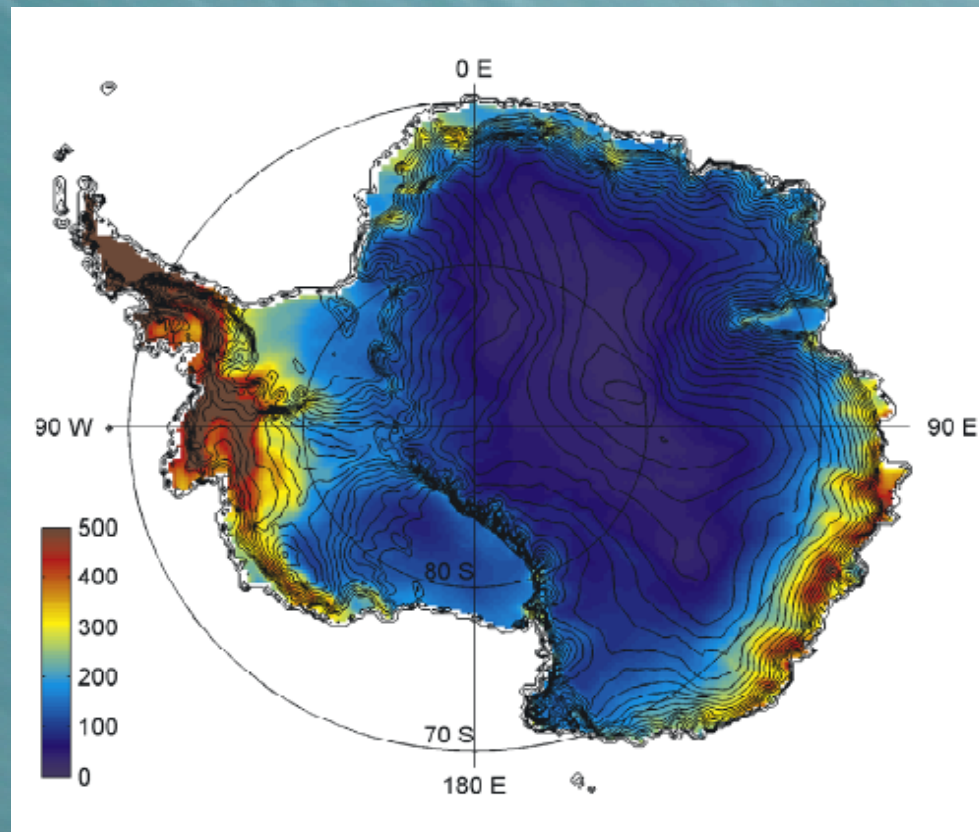
# Antarctic precipitation from passive microwave satellite remote sensing



Cyril Palerme, master's project 2011  
(with contrib C. Genthon, N. Champollion, G. Picard, C. Claud)

# Les précipitations en Antarctique

- Accumulation de la calotte
- Essentiellement sous forme solide
- Environ 170mm/an (équivalent eau) en moyenne (Van de Berg et al., 2006)
- Contraste spatial important



Carte d'accumulation de l'Antarctique ( $\text{kg.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ )  
(Arthern et al., 2006)



# Antarctic precipitation

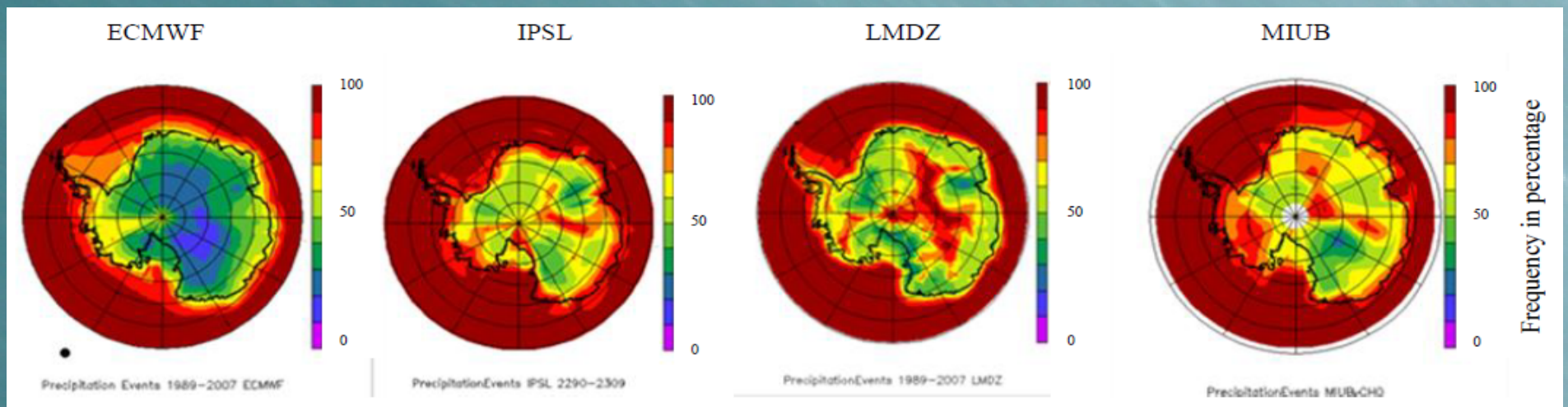
The IPCC 2007 (CMIP3) models predict a precipitation increase between 0 and 50% at the end of the century (Genthon et al., 2009)

Current accumulation ~170mm/year  
50% increase => 3.3 mm/year negative contribution to sea-level rise

We barely know current Antarctic precipitation

We don't know how to measure

Models disagree with respect to such simple statistics as the number of precipitation events per year



Annual frequency of precipitation events (Barandun, 2009)

# Overall project

- build a climatology of Antarctic precipitation statistics from satellite remote sensing with in-situ control if/as possible
- Evaluate (CMIP5) models , scale with respect to precipitation

## Here

- Build / test an algorithm to detect and count precipitation events in coastal Antarctica from satellite passive microwave data

# Study area

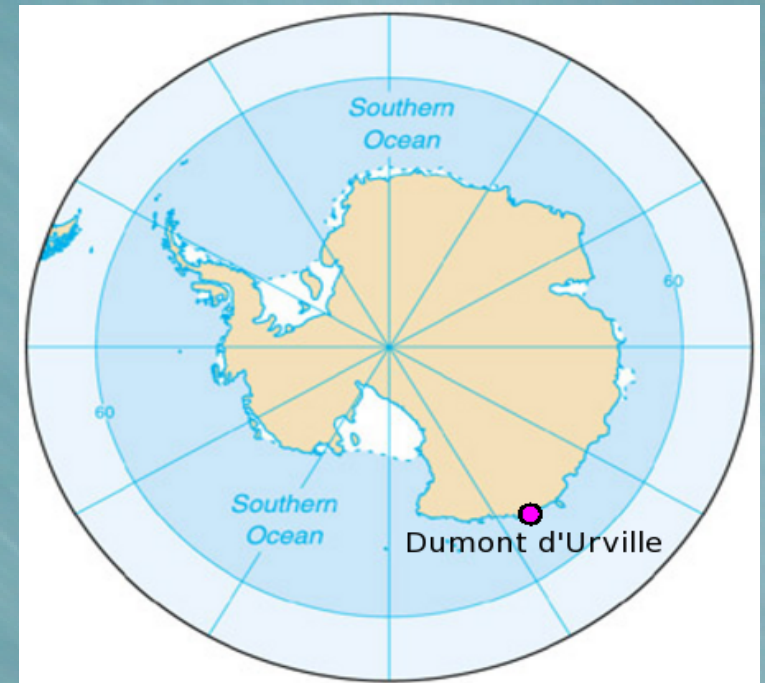
Afin de mettre au point une méthode de détection, nous avons travaillé aux alentours de la base de Dumont d'Urville, à 100 km de la côte.

## Advantages :

- Precipitations are larger at the coasts
- Logistical access / support : In situ observation (logistically) possible

## Drawbacks :

- Melting if too close to the coast
- Catabatic winds



La base française de Dumont d'Urville en Terre Adélie (<http://www.legos.obs-mip.fr>).



# Validating : ERA Interim

## Modèle numérique du Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme CEPMMT :

- Couverture globale de la planète
- Trois composantes : les surfaces continentales, l'océan, et l'atmosphère.
- Analyses : température, vent, couverture nuageuse...
- Prévisions à court terme : précipitations, flux de chaleur latente et sensible...

## Réanalyses ERA interim :

- Données toutes les six heures de 1989 à aujourd'hui.
- Résolution spatiale d'environ 100 km.

# The satellite data

## Satellite passive microwaves:

- Polar orbits: Most of Antarctica covered (miss only areas of low precipitation / accumulation), frequent overpasses
- Earth-emitted energy: day and night data
- Little affected by the atmosphere (except some frequencies e.g. 22, 85 or 183 GHz): not affected by cloud cover

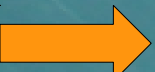

# The satellite data

## Passive microwave remote sensing

-Brightness temperature :

$$T_b = \int_{\text{Volume}} \epsilon \times T_{\text{réelle}} dV$$

-Fresh snow  Emissivity is larger than that of older snow

 Detect brightness temperature changes related to emissivity changes  But what with brightness temperature change due to real temperature change

-The lower the microwave frequency, the thicker the depth of the emitting snow pack

85 GHz: ~ 20cm

37 GHz: ~ 90cm

18 GHz: ~ 3m

(e.g. Rott et al., 1993).



# Les données satellites

AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS) : embarqué sur le satellite Aqua de la Nasa depuis 2002



Satellite aqua (<http://fr.wikipedia.org>)

AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit) : embarqué sur les satellites NOAA-15 depuis 1998, NOAA-16 depuis 2000, et NOAA-17 depuis 2002



Satellite NOAA 15 (<http://www3.sympatico.ca>)

## Bindschadler's method (Bindschadler et al., 2005)

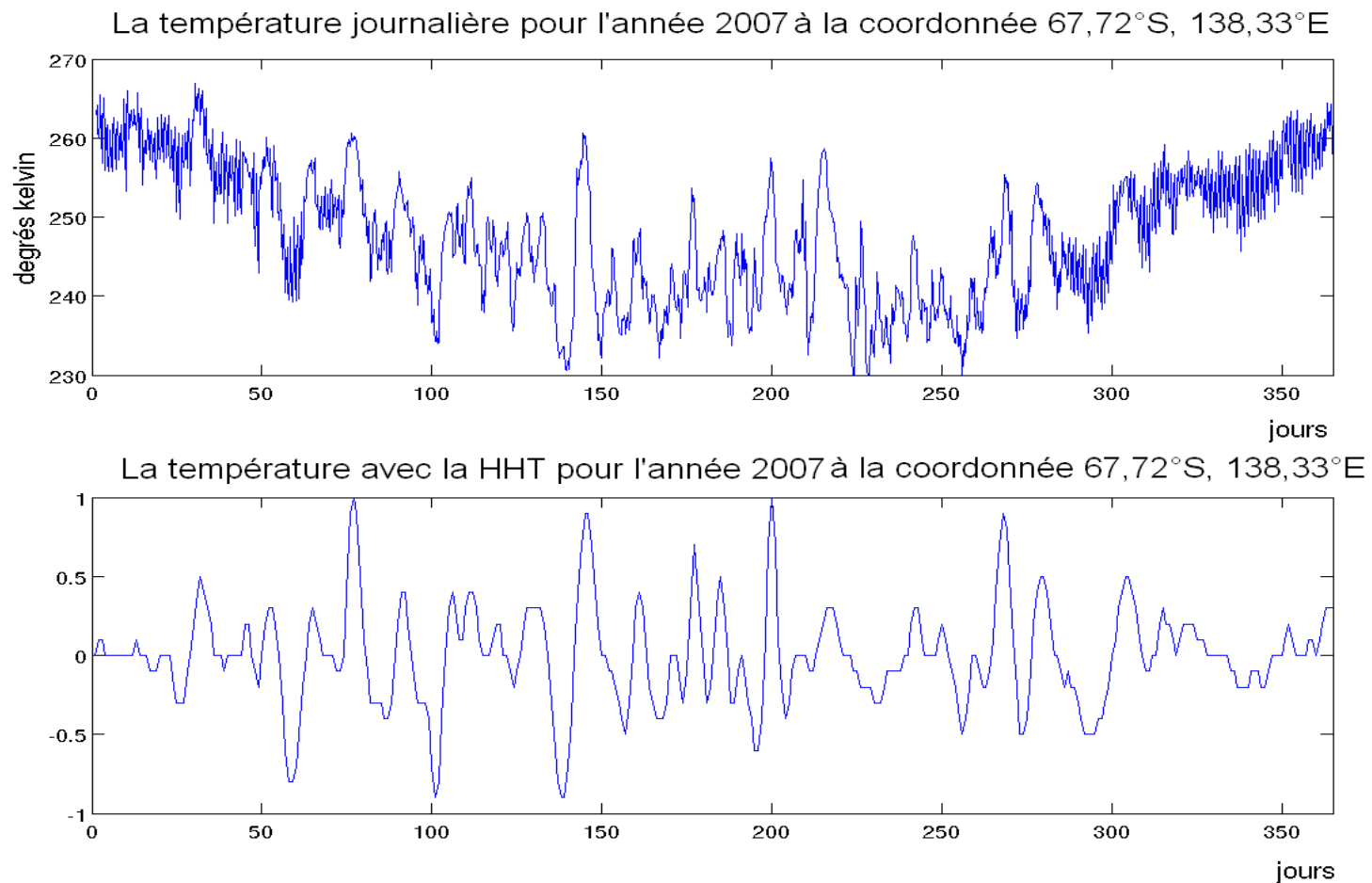
- Detect fresh snow using 85 GHz vertical polarization with Hilbert-Huang Transform (HHT) filter
- Measure quantity with lidar altimeter (Icesat/GLAS)

Here first step only

# Méthode de Bindschadler (Bindschadler et al., 2005)

Intérêts de la Hilbert-Huang Transform (HHT) : filtre passe bande, centre le signal sur zéro.

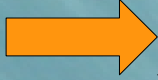

Algorithme développé au LGGE par Isaline Gravaud et Ghislain Picard en 2008





# Bindschadler's method (Bindschadler et al., 2005)

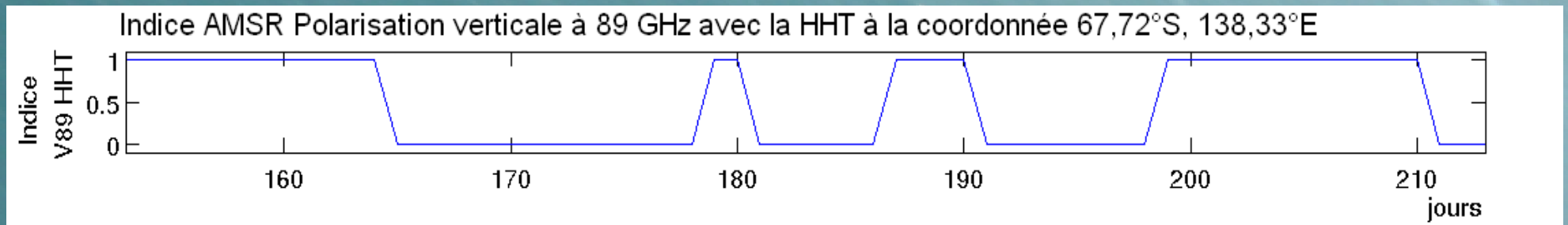
## Algorithm :

- HHT-filtered 85 GHz vertical polarization  $> 0$   Fresh snow on surface
- HHT-filtered 85 GHz vertical polarization  $< 0$   No fresh snow

## Station Mc Murdo reports in 2001 :

- 69% success for detection of fresh snow
- 65% success for detection no fresh snow

Difficulty with precipitation event counting: time resolution of single event



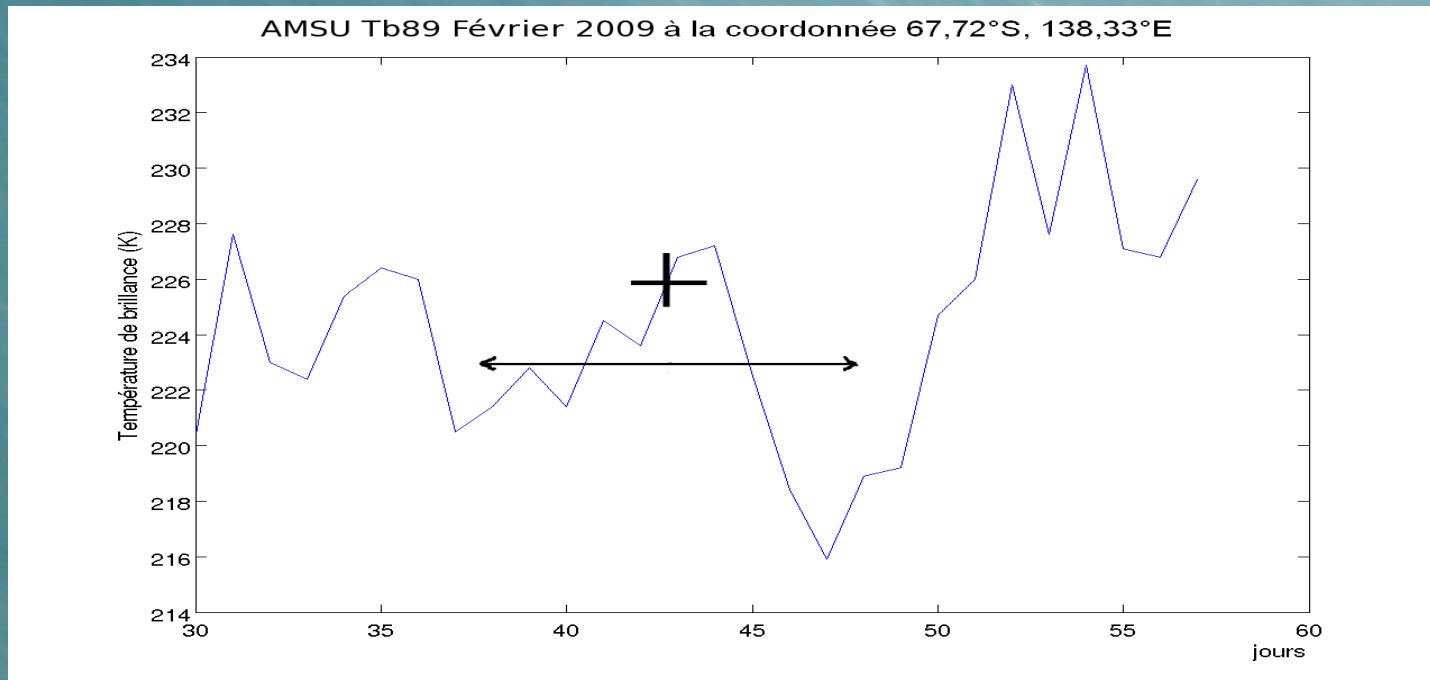
# Our algorithm

There is more than 85 GHz HHT to detect precipitation. Four precipitation event indices combined:

-Vertical polarized 89 GHz with  $HHT > 0$  (~Bindchadler's method)

-H/V ratio (less sensitivity to temperature / more sensitivity to surface), 19 and 37 GHz  $>$  mean over d-5 to d+5

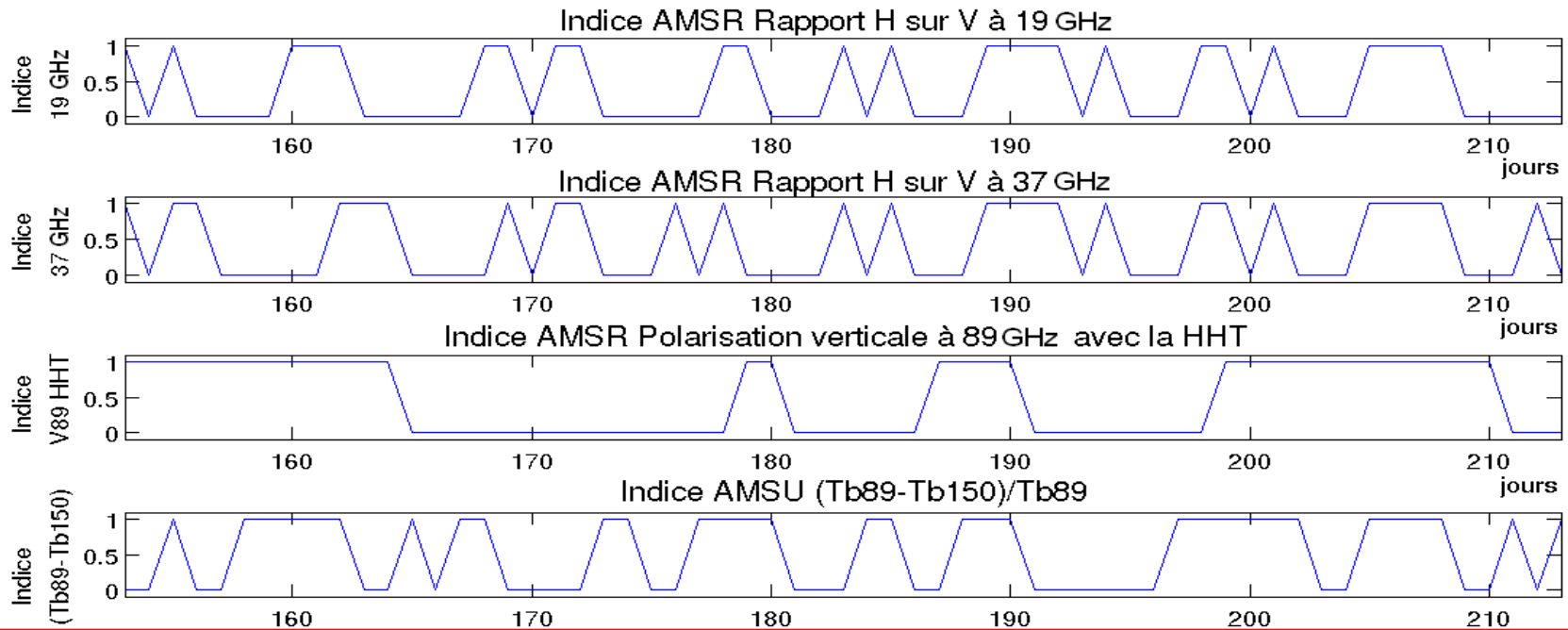
-(Tb89-Tb150)/Tb89 ratio  $<$  mean over d-5 to d+5



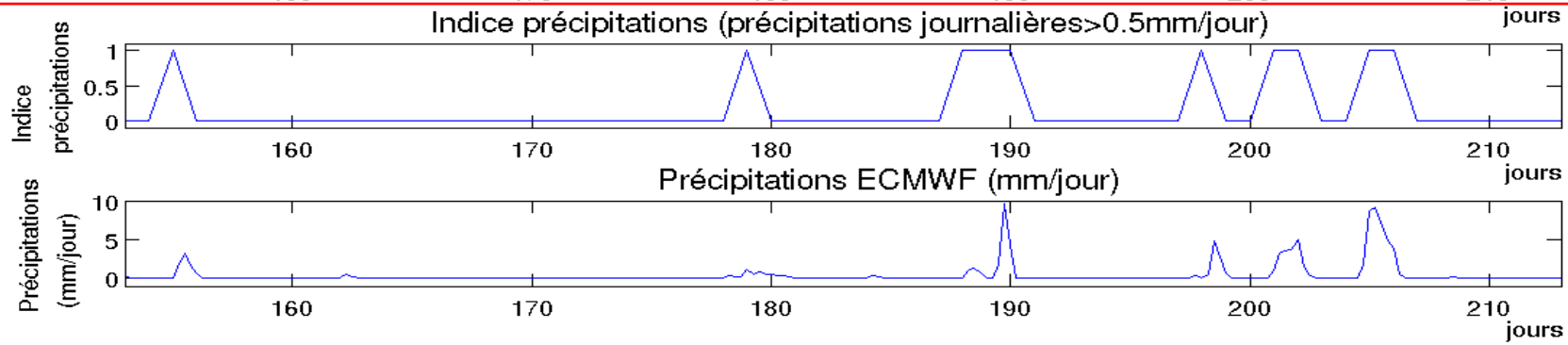
# The algorithm

- 4 satellite indices + 1 ERA precipitation threshold defined :

Données satellites



ERA interim



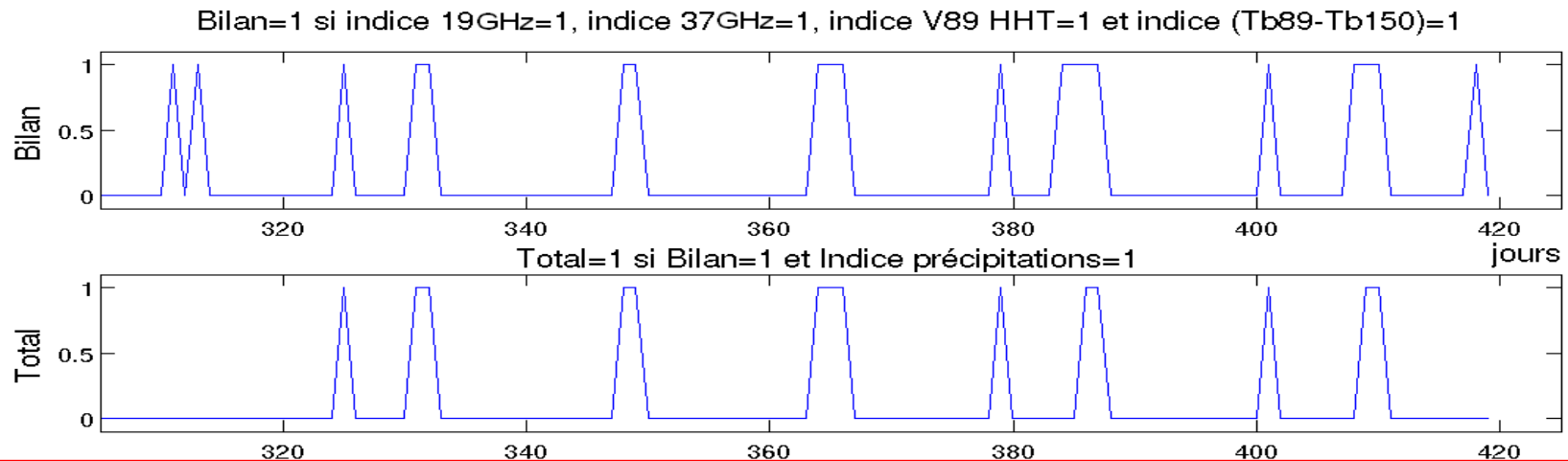
Période du 1er Juin au 31 Juillet 2008, à la coordonnée 67,72°S, 138,33°E.



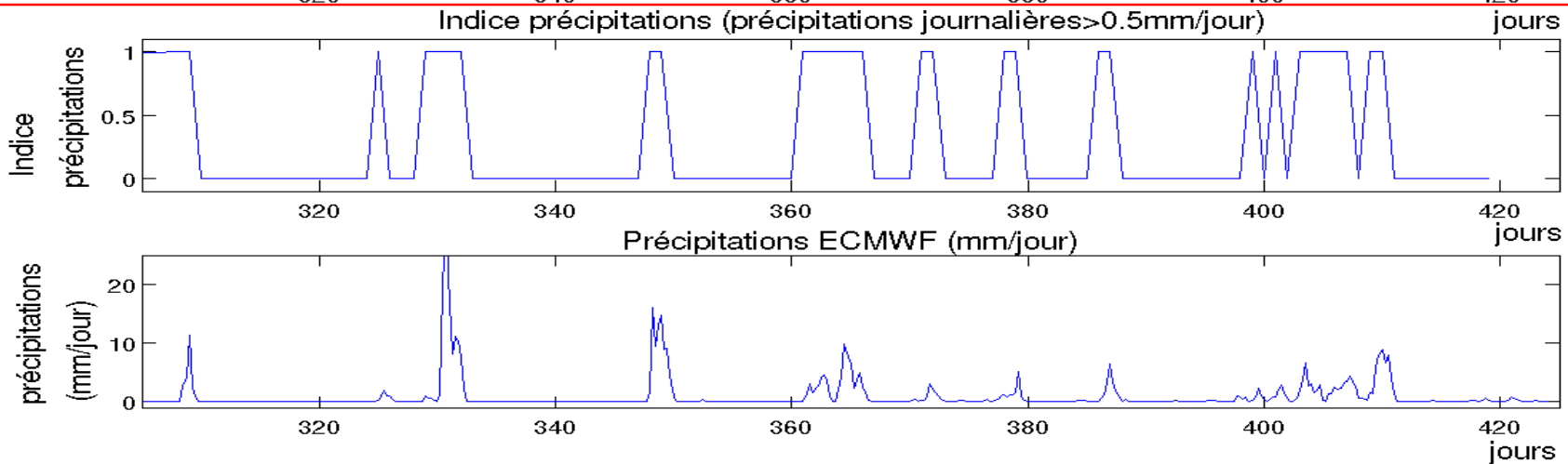
# The algorithm

- 4 indices = 1 → Combined satellite = 1
- Comb Sat = 1 + ERA precip index = 1 → “Success”

Données satellites



ERA interim



Période de Novembre 2005 à Février 2006, à la coordonnée 67,72°S, 138,33°E.

## Results : How many sat events coincide with ERA precip > 0.5 mm/day (are not false alarm)

Période	Proportion des évènements du bilan correspondant à des précipitations journalières supérieures à 0,5mm/jour d'ERA interim	Fréquence des évènements du bilan (nombre d'évènements/mois)
Novembre 2003 à Octobre 2009	181/235 => 77,0 %	3,26
Étés (novembre à février) de 2003-2004 à 2008-2009	44/74 => 59,5 %	3,08
Hivers (mars à octobre) de 2004 à 2009	137/161 => 85,1 %	3,35

➔ 29,8% des jours dans ERA Interim dépassent le seuil de 0,5mm/jour

➔ Résultats meilleurs en hiver qu'en été ➔ Rôle de la fonte (Picard et al., 2007)?

➔ 3,26 évènements de précipitation par mois en moyenne

➔ La fréquence des évènements semble peu dépendre de la saison

## Results (Lower precip threshold)

Période	Proportion des évènements du bilan correspondant à des précipitations d'ERA <u>interim</u>
Novembre 2003 à Octobre 2009	207/235 => 88,0 %
Étés (novembre à février) de 2003-2004 à 2008-2009	59/74 => 79,7 %
Hivers (mars à octobre) de 2004 à 2009	148/161 => 91,9 %

 Certains évènements détectés par notre algorithme sont inférieurs au seuil de 0,5mm/jour dans les réanalyses ERA Interim



## Results : Conversely, how many ERA events go undetected ?

Période	Proportion des évènements de précipitation <u>d'ERA interim</u> > 0,5mm/jour non détectés avec notre méthode	Fréquence des évènements de précipitation <u>d'ERA interim</u> > 0,5mm/jour (nombre d'évènements/mois)
Novembre 2003 à Octobre 2009	107/288 => 37,2 %	4,00
Étés (novembre à février) de 2003-2004 à 2008-2009	39/83 => 47,0 %	3,46
Hivers (mars à octobre) de 2004 à 2009	68/205 => 33,2 %	4,27

- ➔ Better results in winter than in summer
- ➔ 4 precipitation events > 0,5 mm/day per month on average
- ➔ That is 22,6 % more than detected
- ➔ More frequent in winter than in summer

# Discussion


Score de Heidke (Heidke Skill Score)

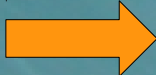
$$HSS = \frac{PC - PChas}{1 - PChas}$$


PC = Prévisions (détections) correctes (à la fois des évènements et des non évènements)

PChas = Prévisions correctes dues au hasard

HSS varie entre 1 et moins l'infini

HSS > 0  Résultats meilleurs que des prévisions dues au hasard

HSS = 0,34  34 % des détections correctes ne sont pas dues au hasard

Incertitudes d'ERA interim  Proportion des évènements d'ERA interim supérieurs à 0,5mm/jour non détectés par notre algorithme (37,2%)

## Discussion

- ERA I analyzes / precipitation forecast quality
- Impact of snow melt on emissivity (Picard et al., 2007)
- Hoar frost (Shuman et al., 1993)
- Snow fall followed or associated with strong wind (Massom et al., 2003)
- Spatial resolution for snow fall detection, for ERA interim vs satellite comparison



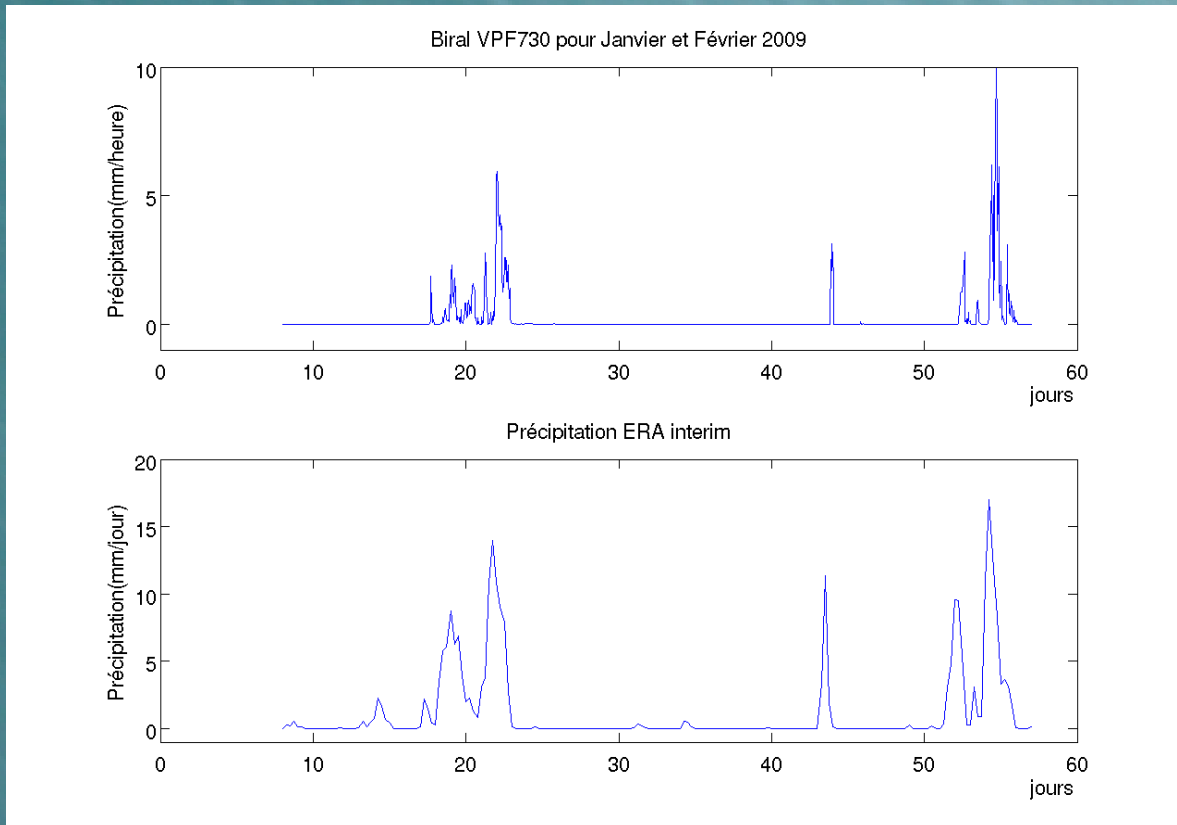
## Conclusions

- A satellite passive microwave precipitation detection algorithm
- No in-situ validation (yet), ERA Interim control => subject to analyzes uncertainties
- Encouraging success scores but more work needed
- Quelques problèmes persistent : action du vent juste après une chute de neige, formation de givre de surface...

# Perspectives

-Un disdromètre (Biral VPF 730) envoie des mesures de précipitation depuis Janvier 2011

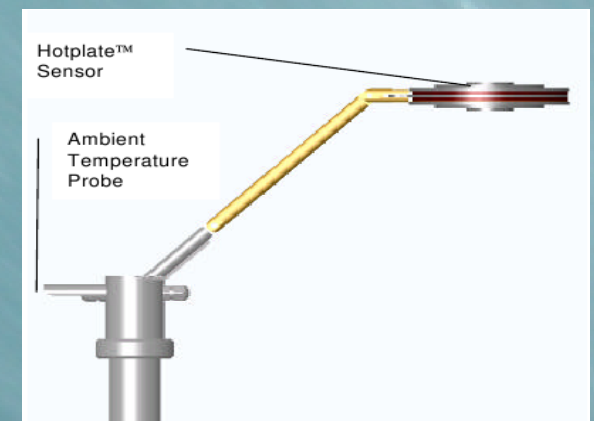
-Un nouveau capteur va être installé lors des prochaines missions en Antarctique pour mesurer les précipitations



Comparaison des données de précipitation du Biral VPF 730 et d'ERA interim pour Janvier-Février 2009



Le capteur Biral VPF 730



Le capteur YES TPS-3100 Hotplate

# Perspectives

- PhD thesis (Cyril)
- Further improve microwave algorithm
- Use of complementary sat data (i.e. IR, cloud detection)
- In situ observations
- Build a full scale climatology
- Evaluate / validate climate models



Base de Cap Prud'homme  
(<http://www.annee-polaire.fr>)



# References

- Arthern, R.J., Winebrenner, D.P., Vaughan D. G. (2006). Antarctic snow accumulation mapped using polarization of 4.3-cm wavelength microwave emission. *Journal of Geophysical Research*, 111, D06107.
- Barandun M. (2009). Studies of Antarctic precipitation statistics. Internship report.
- Bindshadler, R., Choi, H., Shuman, C., Markus, T. (2005). Detecting and measuring new snow accumulation on ice sheets by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98, 388-402.
- Bromwich, D.H., Guo, Z., Bai, L., and Chen, Q. (2004). Modeled Antarctic Precipitation Part I : Spatial and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17, 427-447.
- Lythe, M.B., Vaughan, D.G. (2001). Bedmap : a new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica. *Journal of Geophysical Research*, 106, 11,335-11,351.
- Genthon, C., Krinner, G., Castebrunet, H. (2009). Antarctic precipitation and climate-change predictions : horizontal resolution and margin vs plateau issues. *Annals of Glaciology*, 50, 55-60.
- Gravaud I. (2008) Détection des évènements de précipitation en Antarctique par télédétection micro-onde passive. Rapport de stage.
- Huang, N.E, Shen, Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen, N., Tung, C.C., Liu H.H. (1998). The empirical decomposition and the Hilbert spectrum for non linear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society of London, A*, 454, 903-995.
- Huang, N.E., Zhaohua W. (2008). A review on Hilbert-Huang Transform : method and its applications to geophysical studies. *Reviews of Geophysics*, 46, RG2006.
- Massom, R.A., Pook, M.J., Comiso, J.C., Adams, N., Turner, J., Lachlan-Cope, T., Gibson, T.T. (2003). Precipitation over the interior East Antarctic ice sheet related to midlatitude blocking high activity. *Journal of Climate*, 17, 1914-1928.
- Picard, G., Fily, M., Gallée, H. (2007). Surface melting derived from microwave radiometers : a climatic indicator in Antarctica. *Annals of Glaciology*, 46, 29-34.
- Rott, H., Sturm, K., Miller, H. (1993). Active and passive microwave signatures of Antarctic firn by means of field measurements and satellite data. *Annals of Glaciology*, 17, 337-343.
- Shuman, C.A., Alley, R.B., Anandakrishnan, S. (1993). Characterization of a hoar-development episode using SSM/I brightness temperatures in the vicinity of GISP2 site, Greenland. *Annals of Glaciology*, 17, 183-188.
- Van de Berg, W.J., Van den Broeke, M.R., Reijmer, C.H., Van Meijgaard, E. (2006). Reassessment of the Antarctic surface mass balance using calibrated output of a regional atmospheric climate model. *Journal of Geophysical Research*, 111, D11104.

Cyril's report available on line (but in French): <http://lgge.osug.fr/~christo/calva/home.shtml>