

Approche multivariée des facteurs influençant le bilan de masse d'un glacier arctique

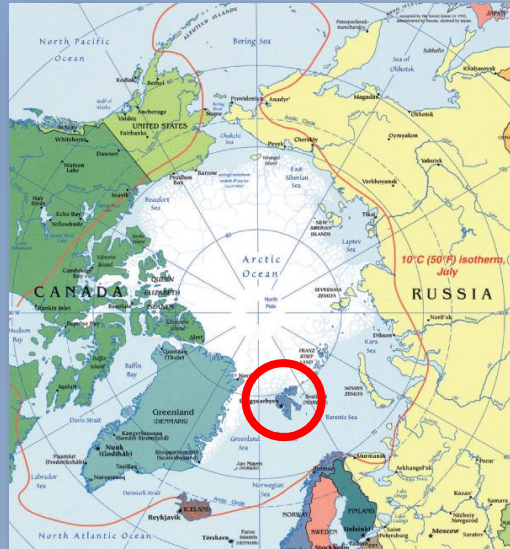
Sophie Schiavone¹, F. Tolle¹, E. Bernard¹, JM. Friedt², M. Griselin¹, D. Joly¹

¹ThéMA CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, France

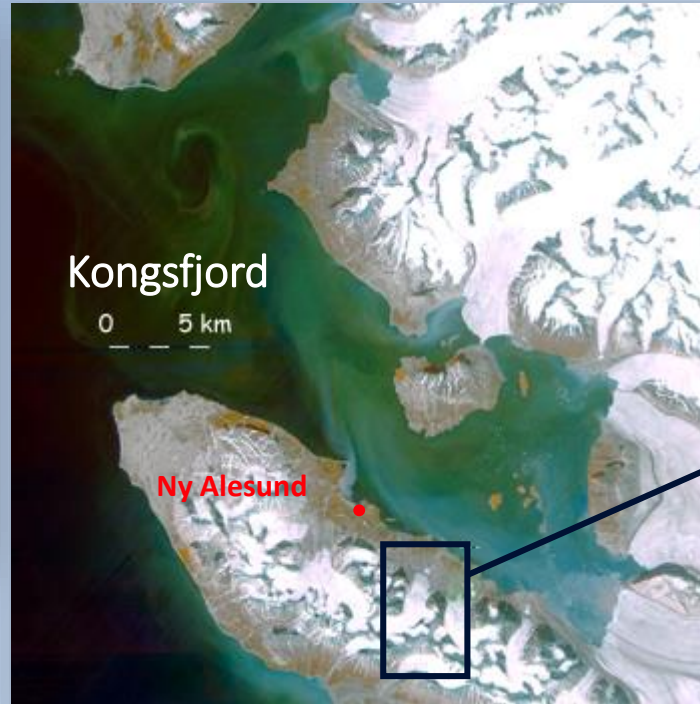
²FEMTO-ST CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, France



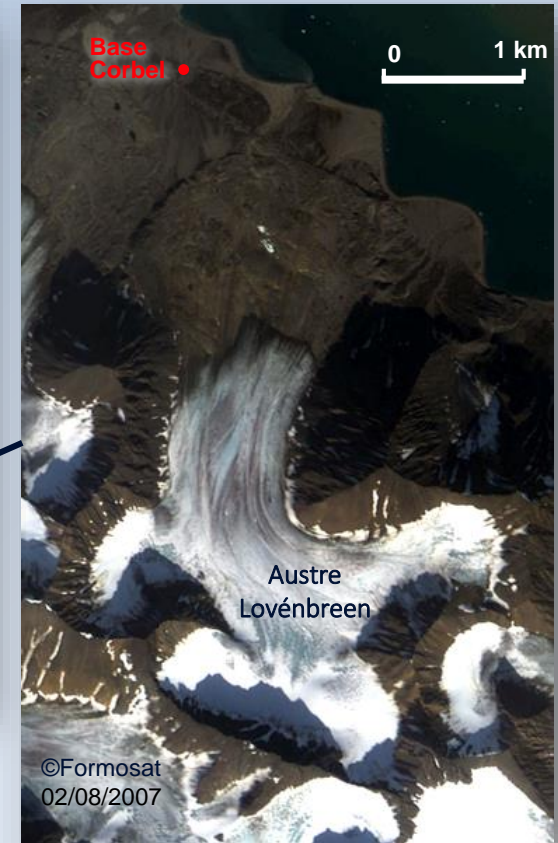
Zone d'étude - Austre Lovénbreen



Spitsberg – 79° N

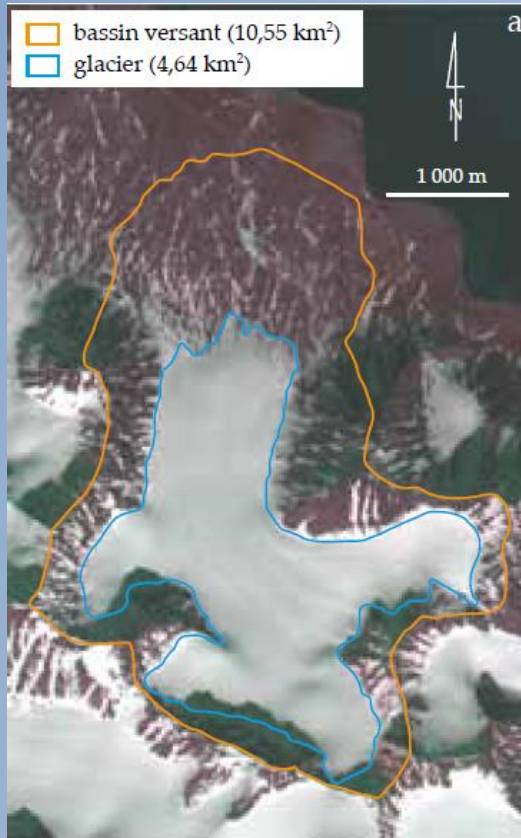


Austre Lovénbreen,
6 km au sud-est de Ny Alesund

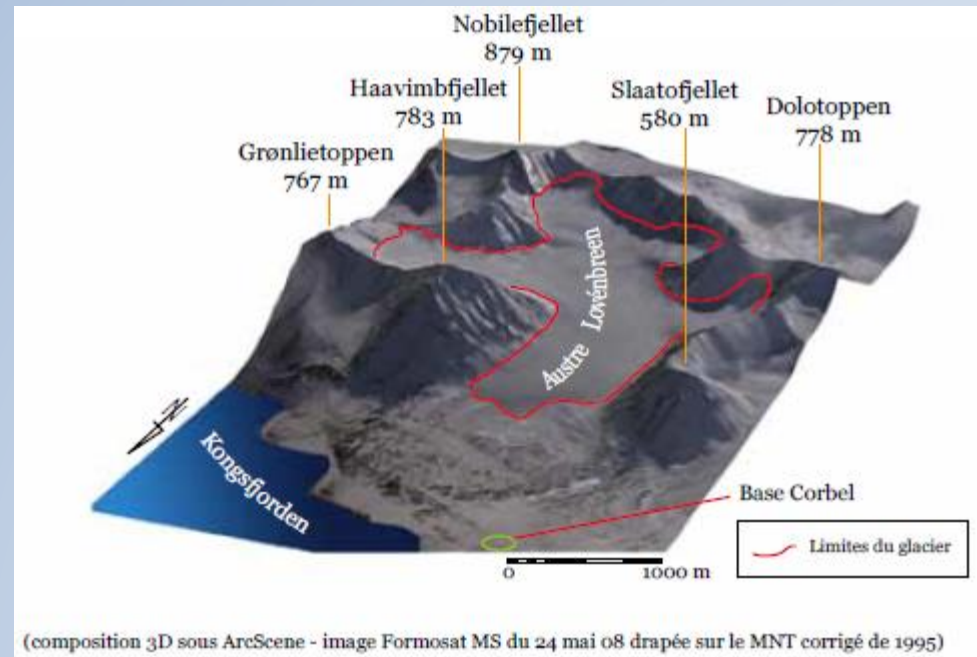


©Formosat
02/08/2007

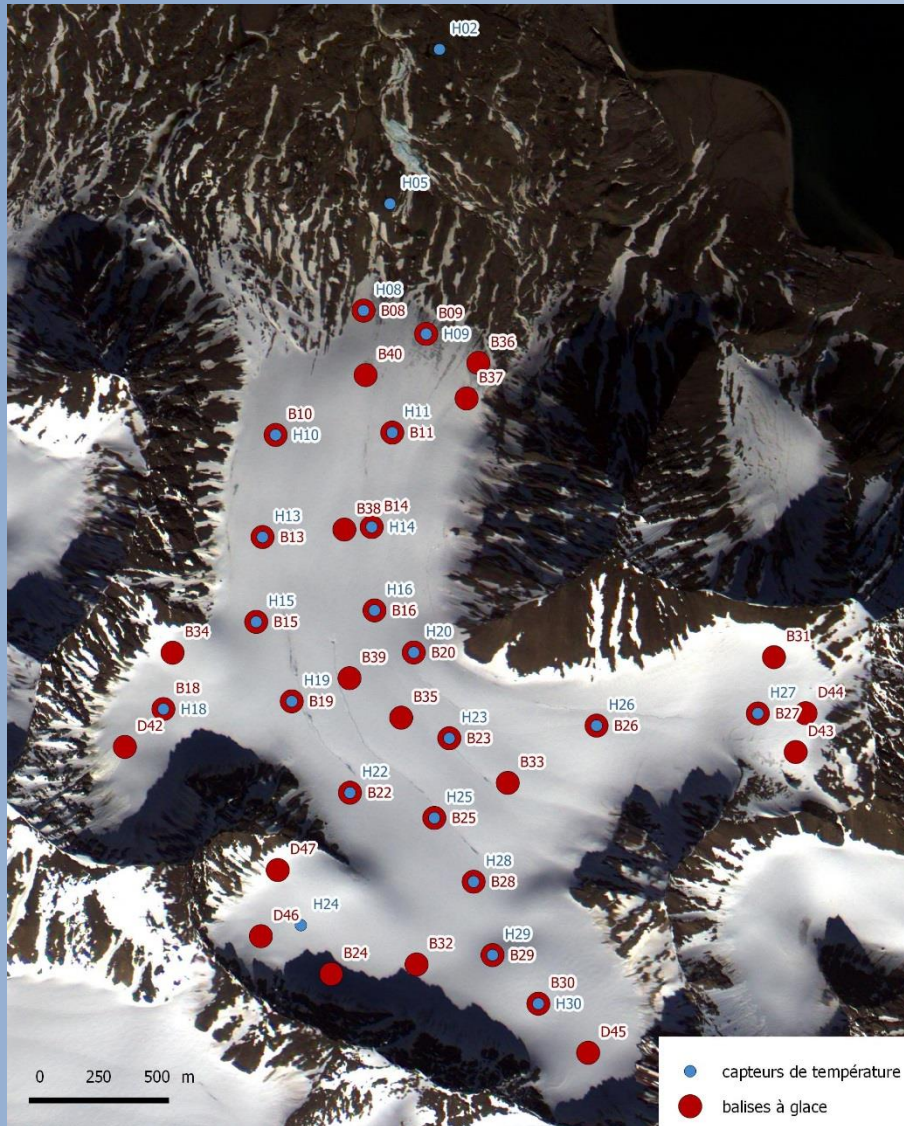
Zone d'étude - Austre Lovénbreen



- Surface du glacier : 4,64 km²
- Surface du bassin versant : 10,57 km²



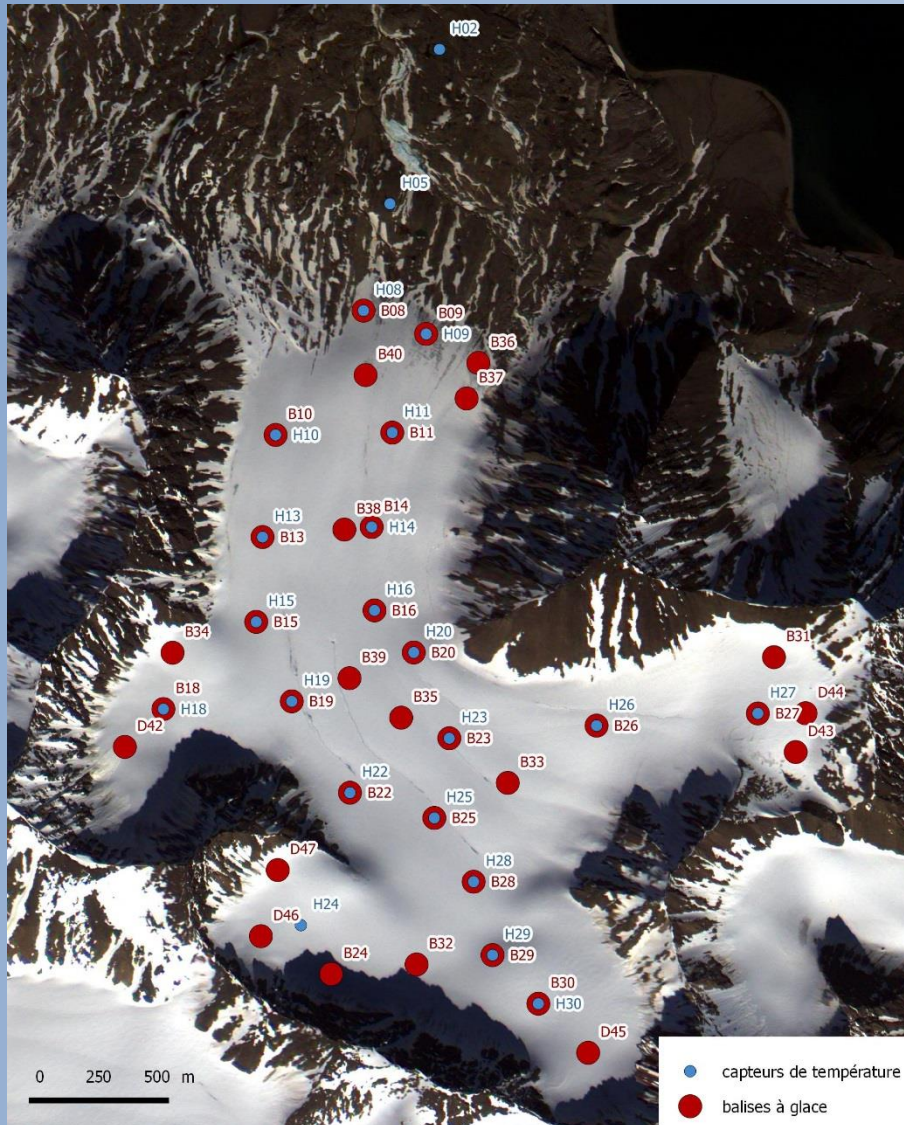
Le réseau d'observation



- 20 capteurs de température sur le glacier.
(enregistrement horaire)



Le réseau d'observation

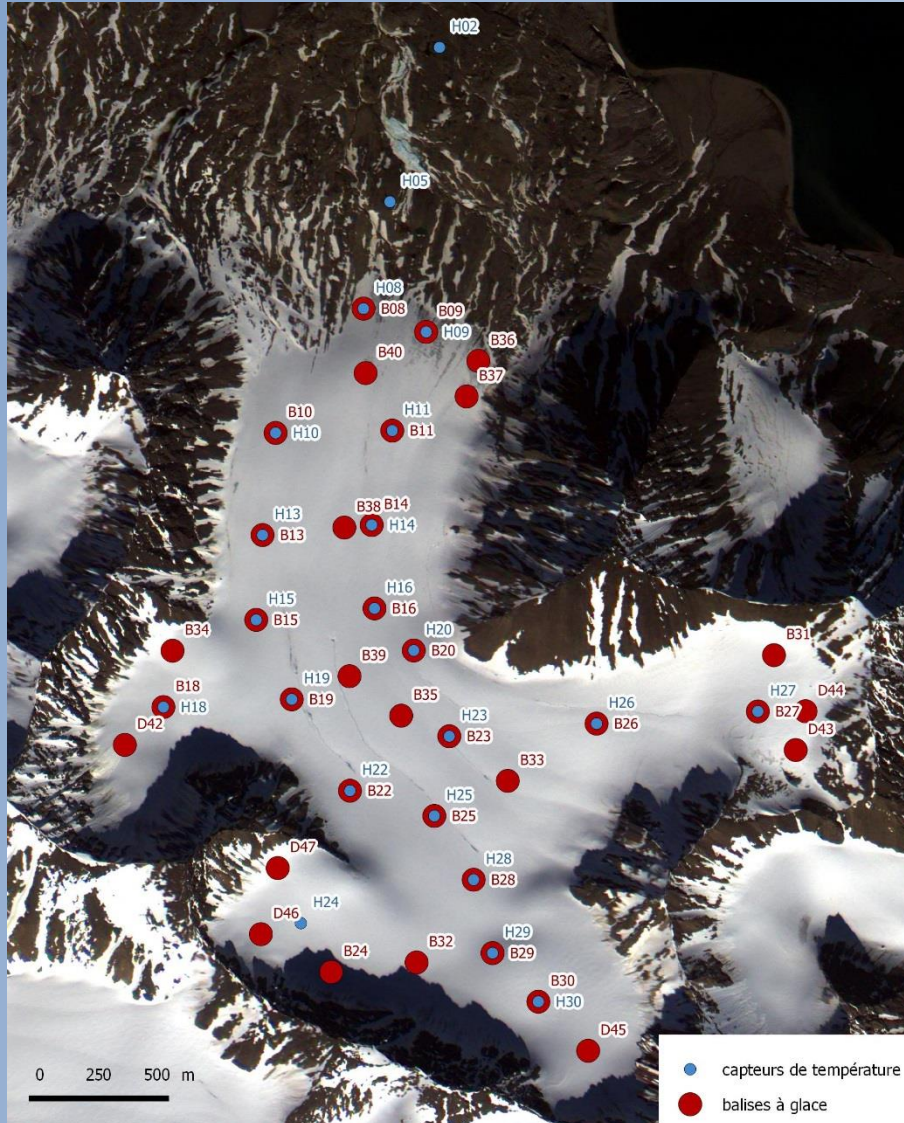


- 20 capteurs de température sur le glacier.
(enregistrement horaire)
- Mesures sur le manteau neigeux : hauteur, densité,... par carottage
(fin avril chaque année)



pesée de la carotte de neige

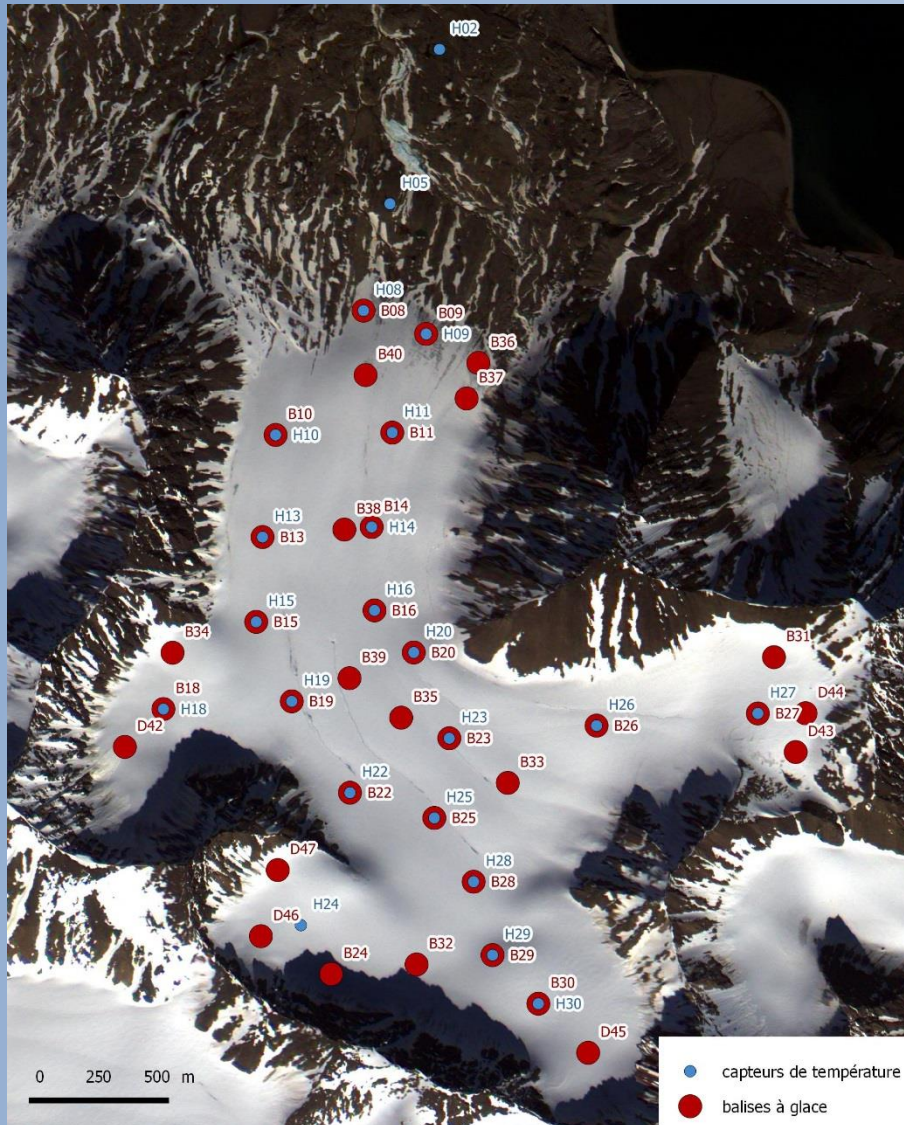
Le réseau d'observation



- 20 capteurs de température sur le glacier.
(enregistrement horaire)
- Mesures sur le manteau neigeux : hauteur, densité,... par carottage
(fin avril chaque année)
- Mesures glaciologiques : 37 balises à glace.
mesure du bilan annuel (bilan de masse)
(en septembre)



Le réseau d'observation



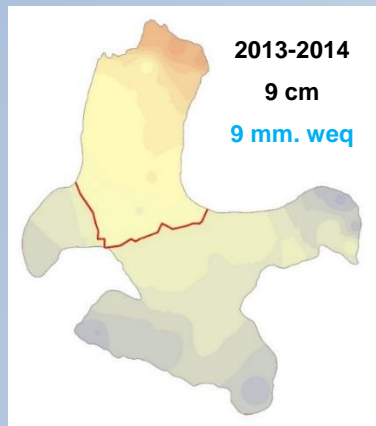
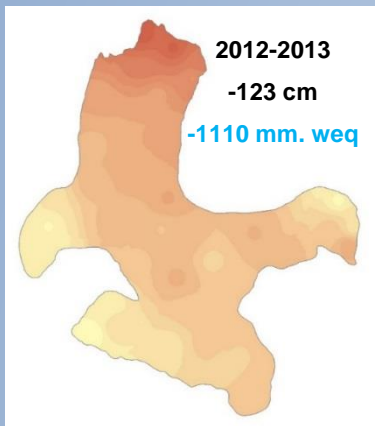
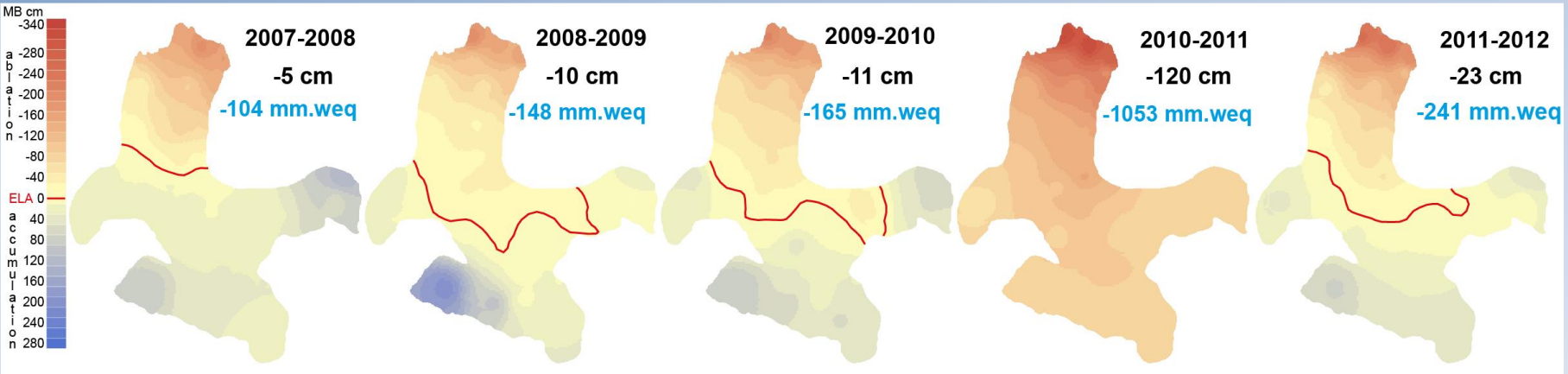
- 20 capteurs de température sur le glacier.
(enregistrement horaire)
- Mesures sur le manteau neigeux : hauteur, densité,... par carottage
(fin avril chaque année)
- Mesures glaciologiques : 37 balises à glace.
mesure du bilan annuel (bilan de masse)
(en septembre)
- Données de précipitation extrapolées de Ny Alesund

Gradient altitudinal appliqué :

+15% /100m (jusqu'à 400m)

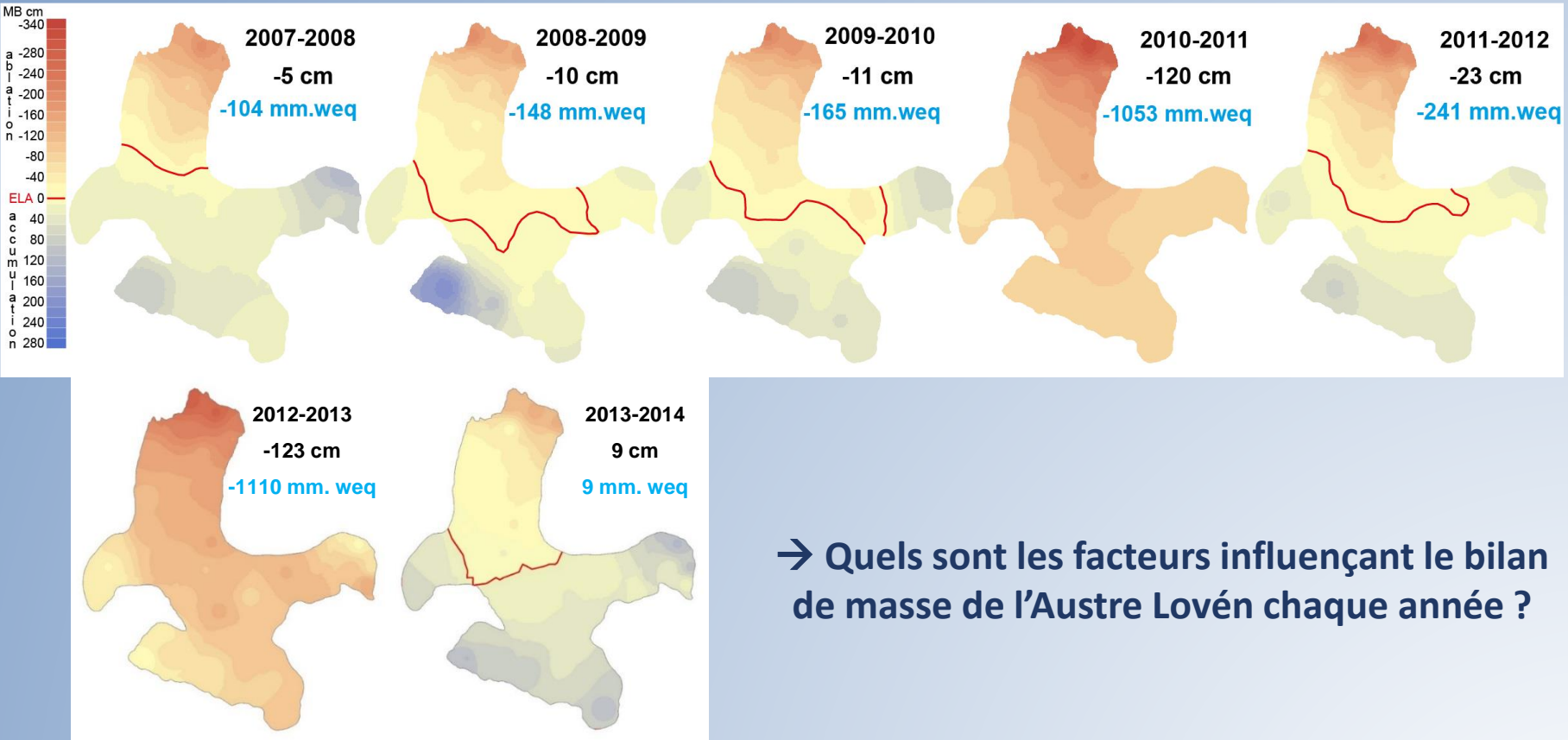
+10% /100m

Bilan de masse de l'Austre Lovén



Bilan de masse
Austre Lovénbreen 2007-2014
(cm de glace and mm.weq)

Bilan de masse de l'Austre Lovén



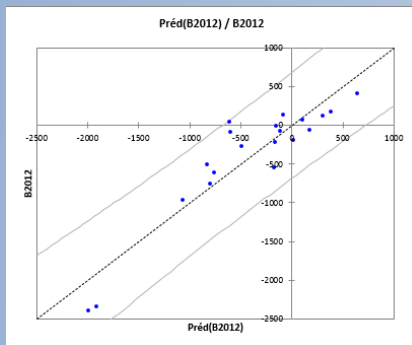
→ Quels sont les facteurs influençant le bilan de masse de l'Austre Lovén chaque année ?

Données et méthodes

- Variables explicatives choisies :
 - Degrés-jours positifs
 - Précipitations liquides
 - Accumulation de neige hivernale (bilan spécifique)
- **Variable à expliquer → le bilan de masse**
- Approche par analyses multivariées

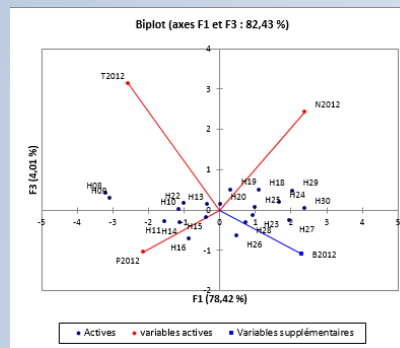
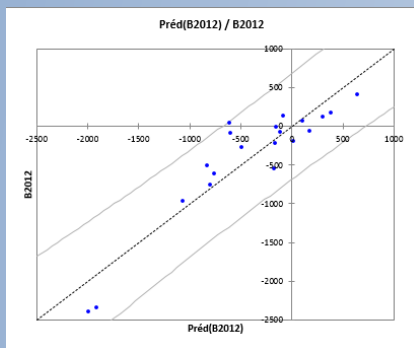
Données et méthodes

- Variables explicatives choisies :
 - Degrés-jours positifs
 - Précipitations liquides
 - Accumulation de neige hivernale (bilan spécifique)
- Variable à expliquer → le bilan de masse
- Approche par analyses multivariées
 - **Régression linéaire multiple** : expliquer un phénomène Y par la conjonction des variations de plusieurs phénomènes X (les variables explicatives).



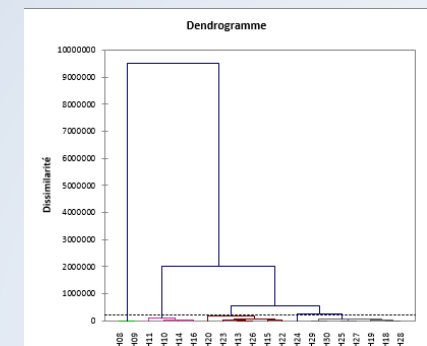
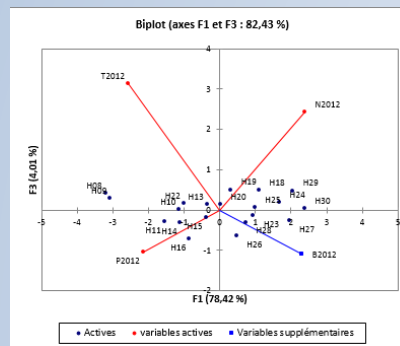
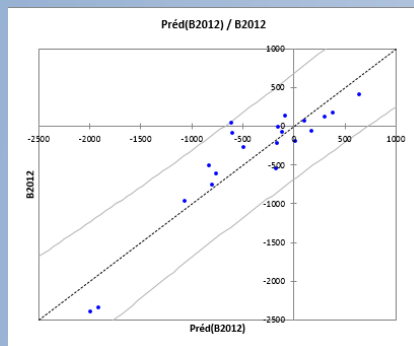
Données et méthodes

- Variables explicatives choisies :
 - Degrés-jours positifs
 - Précipitations liquides
 - Accumulation de neige hivernale (bilan spécifique)
- Variable à expliquer → le bilan de masse
- Approche par analyses multivariées
 - Régression linéaire multiple
 - **Analyses en Composantes Principales (ACP)** : rendre intelligible un ensemble d'observations dont la structure profonde n'est pas immédiatement décelable.

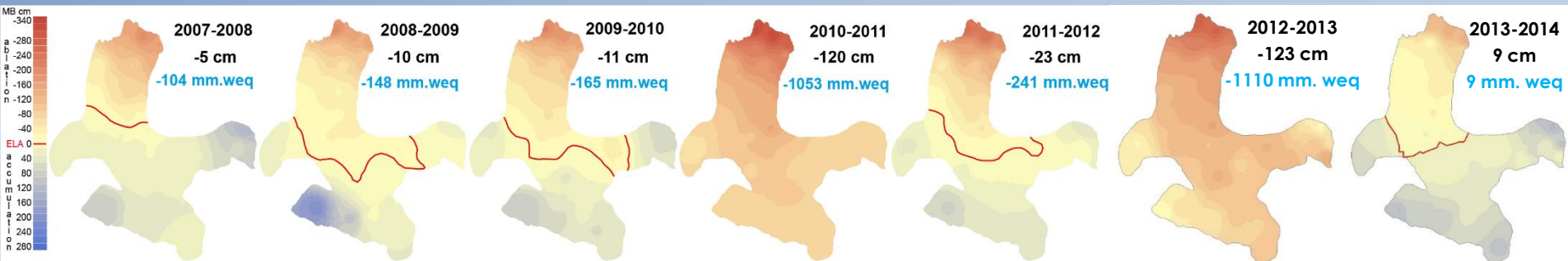


Données et méthodes

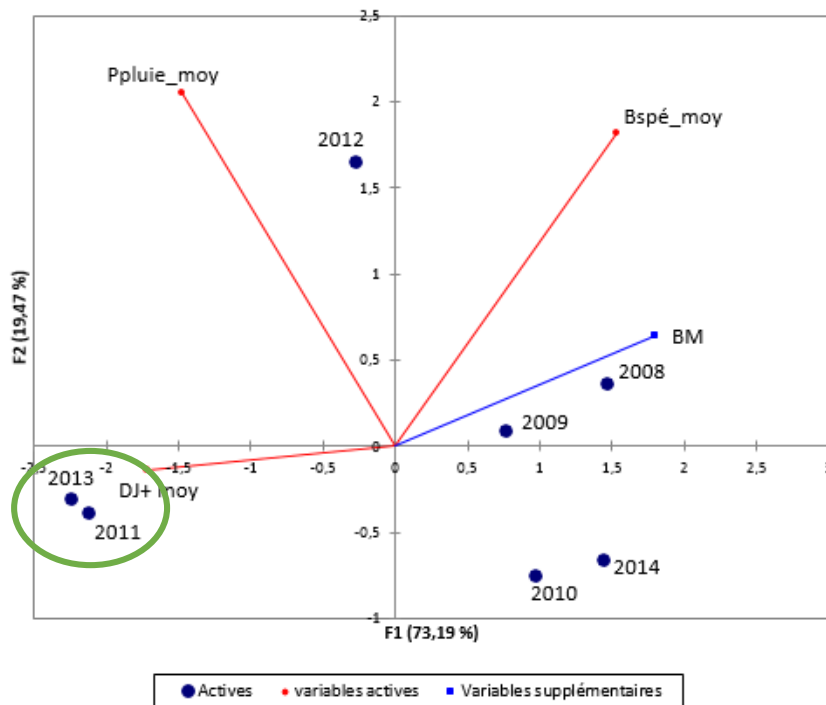
- Variables explicatives choisies :
 - Degrés-jours positifs
 - Précipitations liquides
 - Accumulation de neige hivernale (bilan spécifique)
- Variable à expliquer → le bilan de masse
- Approche par analyses multivariées
 - Régression linéaire multiple
 - Analyses en Composantes Principales (ACP)
 - **Classifications mixtes** (Classification Ascendante Hiérarchique + k-means)



Résultats – 2007-2014

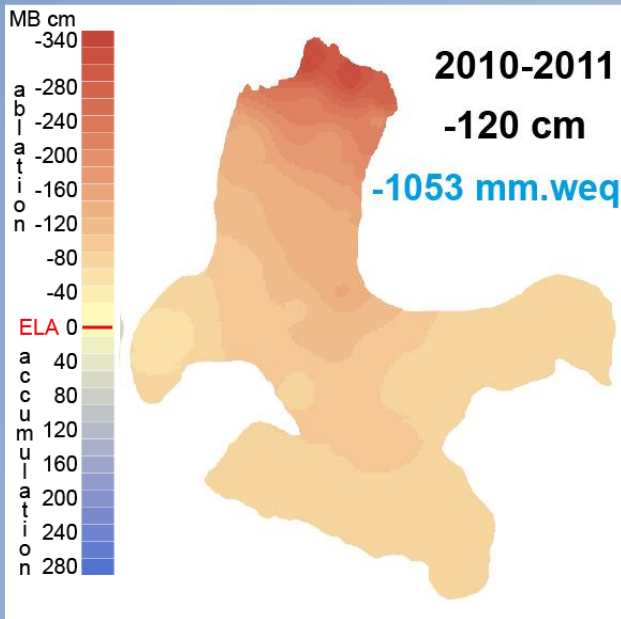


Biplot (axes F1 et F2 : 92,66 %)



Année	DJ+ moy	P moy	BS moy	BM
2008	226	174	833	-104
2009	321	155	826	-148
2010	270	120	694	-165
2011	454	254	515	-1053
2012	322	315	840	-241
2013	381	305	406	-1110
2014	247	105	744	10
moy.	317	204	694	-402
	°C	mm	mm.weq	mm.weq

Résultats – 2011



- **Modèle de régression linéaire**

Nb. var	Variables	R ²
1	DJ+ 2011	0,625
2	DJ+ 2011 / P 2011	0,708
3	DJ+ 2011 / P2011 / N2011	0,759

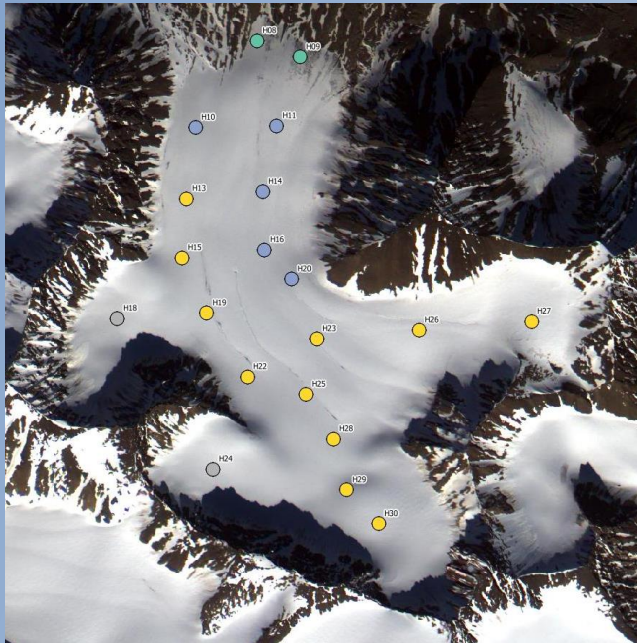
← meilleur modèle

- Chaque variable étudiée a affecté le bilan de masse en 2011.
- Les degrés-jours positifs sont le facteur principal

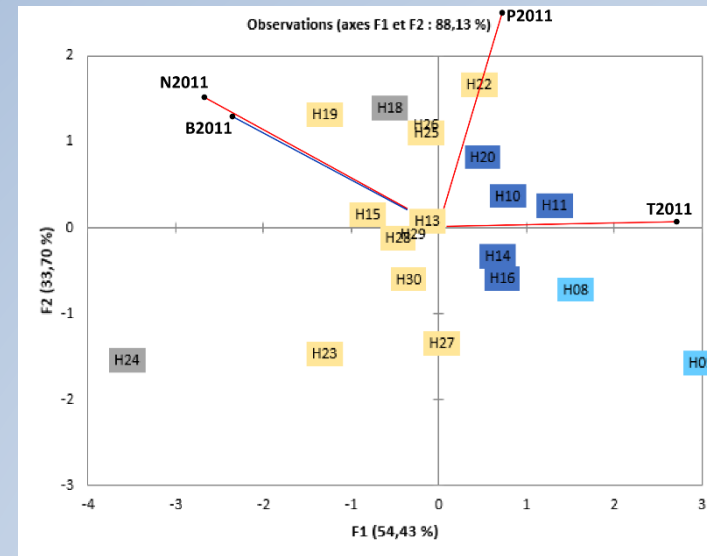
Année	DJ+ moy	P moy	N moy	BM
2008	226	174	833	-104
2009	321	155	826	-148
2010	270	120	694	-165
2011	454	254	515	-1053
2012	322	315	840	-241
2013	381	305	406	-1110
2014	247	105	744	10

- 2011 a été une année chaude et pluvieuse combiné à une faible accumulation de neige.

Résultats - 2011



- Classification des capteurs de température et ACP



- 4 classes :

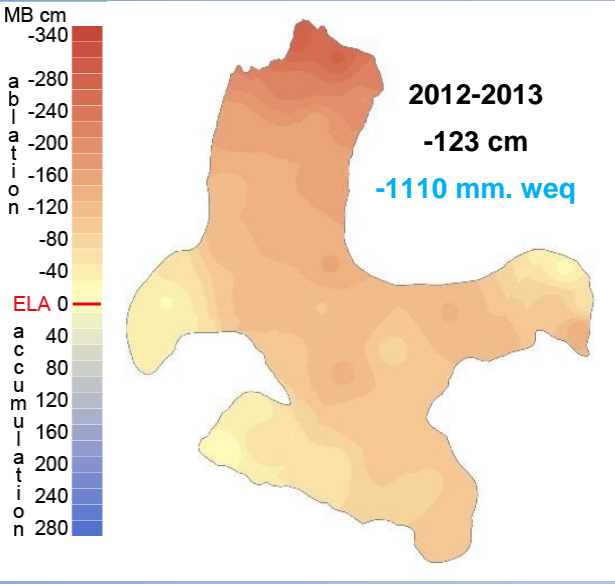
BM --
↓
BM -



Classe	T2011	P2011	N2011	B2011
1 (H08)	575	239	408	-3042
2 (H14)	487	247	440	-1431
3 (H25)	426	275	562	-900
4 (H18)	437	275	680	-432

- C'est le bilan de masse qui explique principalement les classes.
- Les degrés-jours positifs permettent de discriminer le front et la langue du glacier.

Résultats – 2013



- **Modèle de régression linéaire**

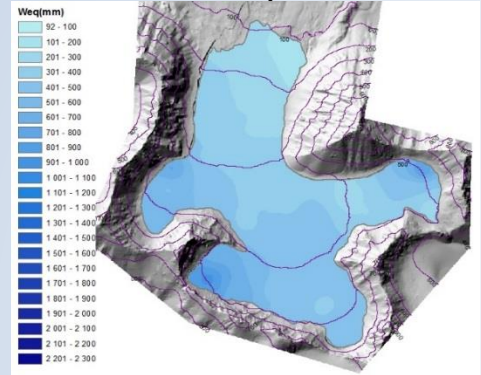
Nb. var	Variables	R ²
1	DJ+ 2013	0,678
2	DJ+ 2013 / BS 2013	0,821
3	DJ+ 2013 / BS 2013 / P 2013	0,826

meilleur modèle

- Les degrés-jours positifs ont eu la plus grande influence sur le bilan de masse en 2013.

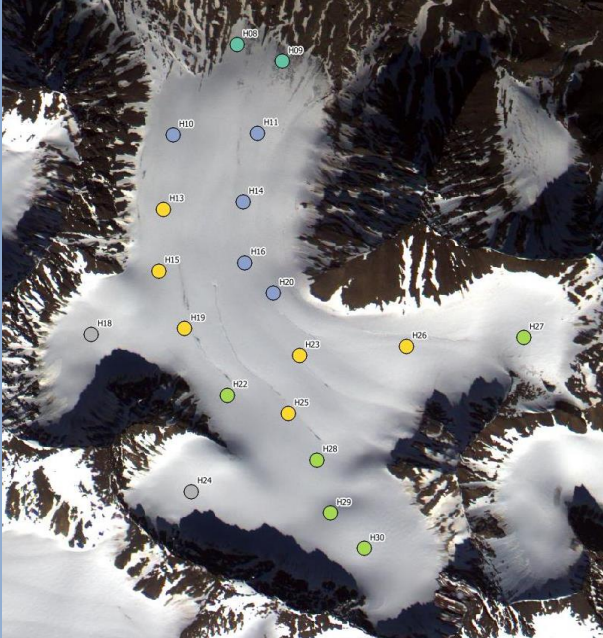
- Rôle non négligeable du bilan spécifique (plus faible enneigement enregistré)
- Les précipitations liquides n’ont pas eu un rôle déterminant bien qu’élévées.

Année	DJ+ moy	P moy	BS moy	BM
2008	226	174	833	-104
2009	321	155	826	-148
2010	270	120	694	-165
2011	454	254	515	-1053
2012	322	315	840	-241
2013	381	305	406	-1110
2014	247	105	744	10

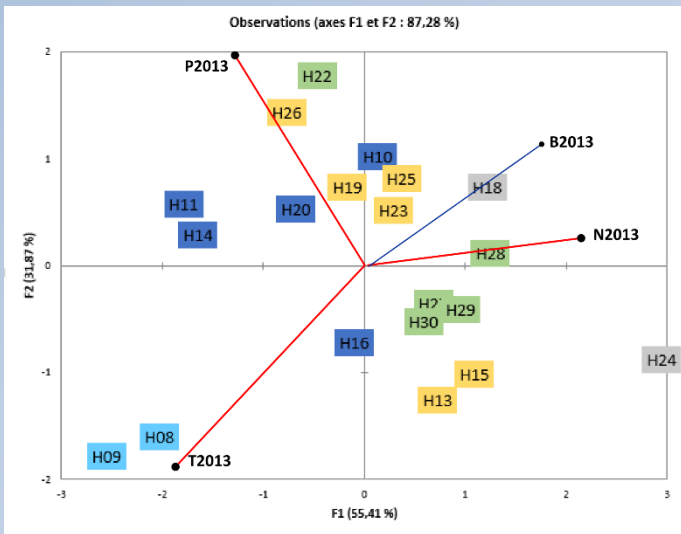







bilan spécifique 2013

Résultats - 2013



- Classification des capteurs de température et ACP



- 5 classes : BM --     

Classe	T2013	P2013	N2013	B2013
1 (H08)	516	303	251	-2574
2 (H20)	382	323	334	-1467
3 (H23)	328	313	371	-1224
4 (H27)	342	297	401	-981
5 (H18)	308	313	497	-351

- L'accumulation de neige hivernale permet de discriminer.

- Les degrés-jours positifs est le facteurs explicatif n°1 des bilans de masse catastrophiques.
- Les cirques ouest semblent « préservés »
- Les années extrêmes les facteurs statistiques ne répondent pas à un ordre rigoureux or il existe une structure spatiale.

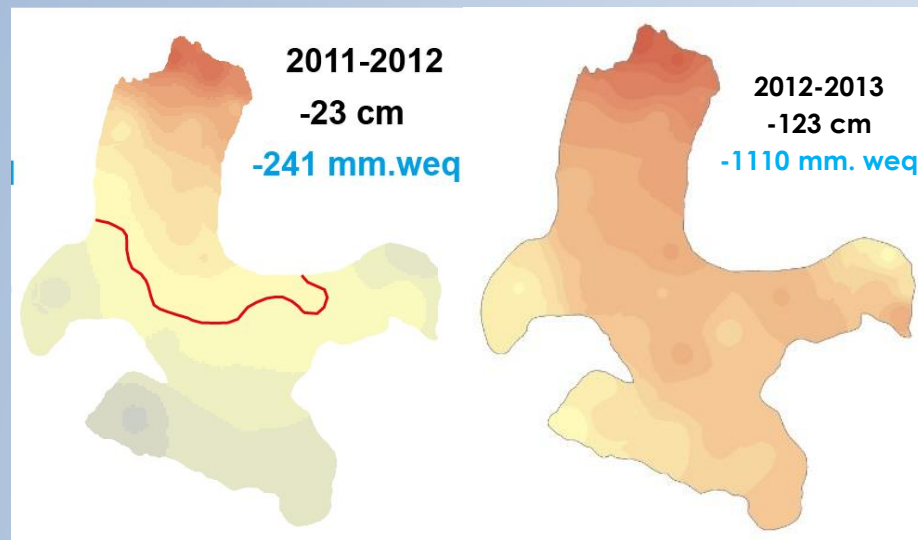
Résultats – Comparaison 2012 – 2013

- 2 modèles de régression linéaire similaires

Nb. var	Variabes	R ²
1	DJ+ 2012	0,788
2	DJ+ 2012 / N 2012	0,844
3	DJ+ 2012 / N 2012 / P 2012	0,852

Nb. var	Variabes	R ²
1	DJ+ 2013	0,678
2	DJ+ 2013 / N 2013	0,821
3	DJ+ 2013 / N 2013 / P 2013	0,826

→ Donc quelles ont été les différences principales entre une année « normale » (2012) et une année extrême (2013) ?



Résultats – comparaison 2012 – 2013

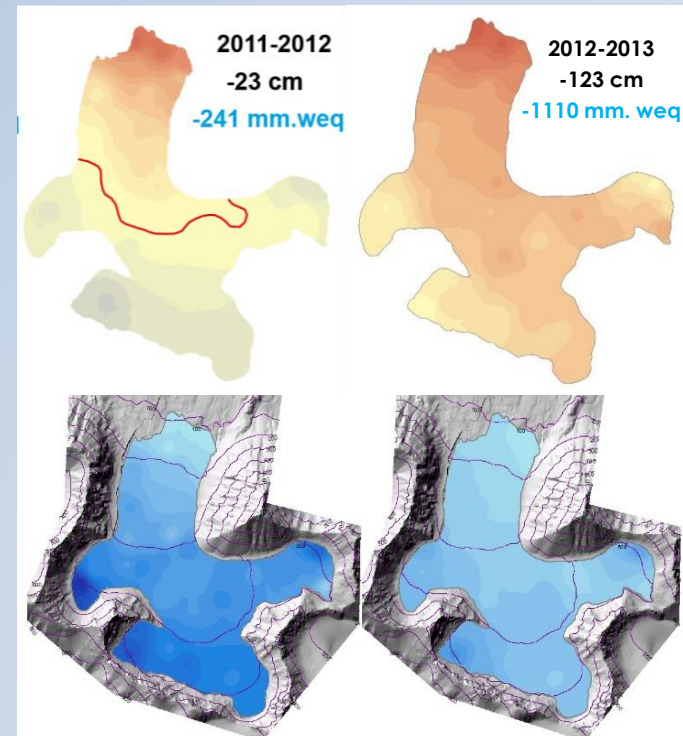
- 2 modèles de régression linéaire similaires

Nb. var	Variables	R ²
1	+DD 2012	0,788
2	+DD 2012 / N 2012	0,844
3	+DD 2012 / N 2012 / P 2012	0,852

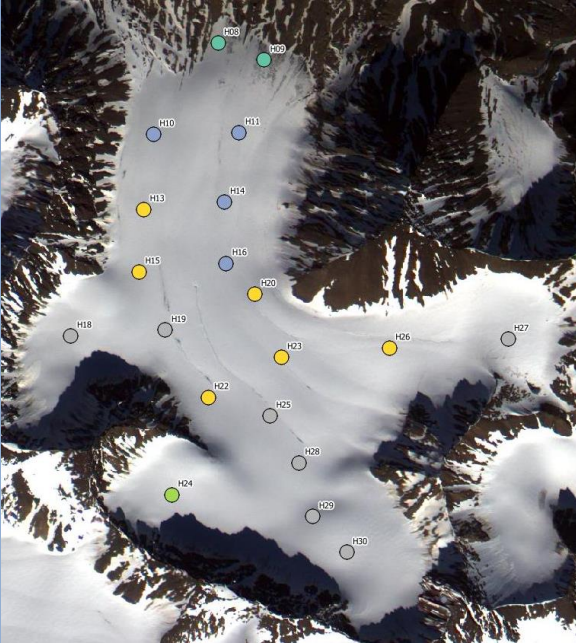
Nb. var	Variables	R ²
1	+DD 2013	0,678
2	+DD 2013 / N 2013	0,821
3	+DD 2013 / N 2013 / P 2013	0,826

→ Donc quelles ont été les différences principales entre une année « normale » (2012) et une année extrême (2013) ?

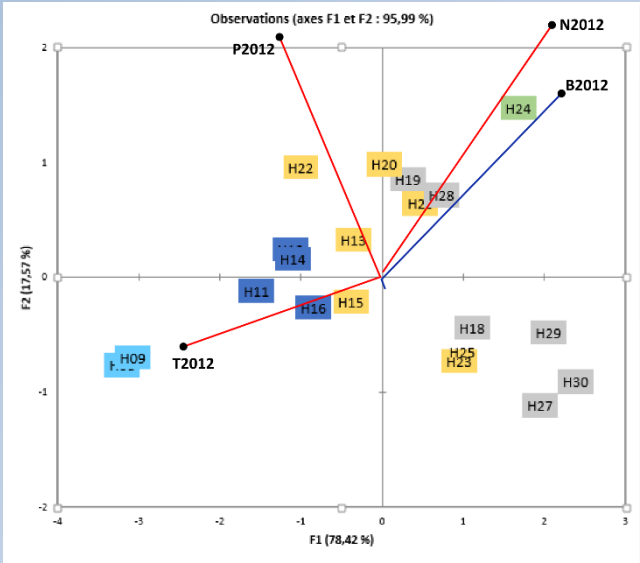
Année	DJ+ moy	P moy	N moy	BM
2008	226	174	833	-104
2009	321	155	826	-148
2010	270	120	694	-165
2011	454	254	515	-1053
2012	322	315	840	-241
2013	381	305	406	-1110
2014	247	105	744	10



Résultats - 2012, une année « normale »



- Classification des capteurs de température et ACP

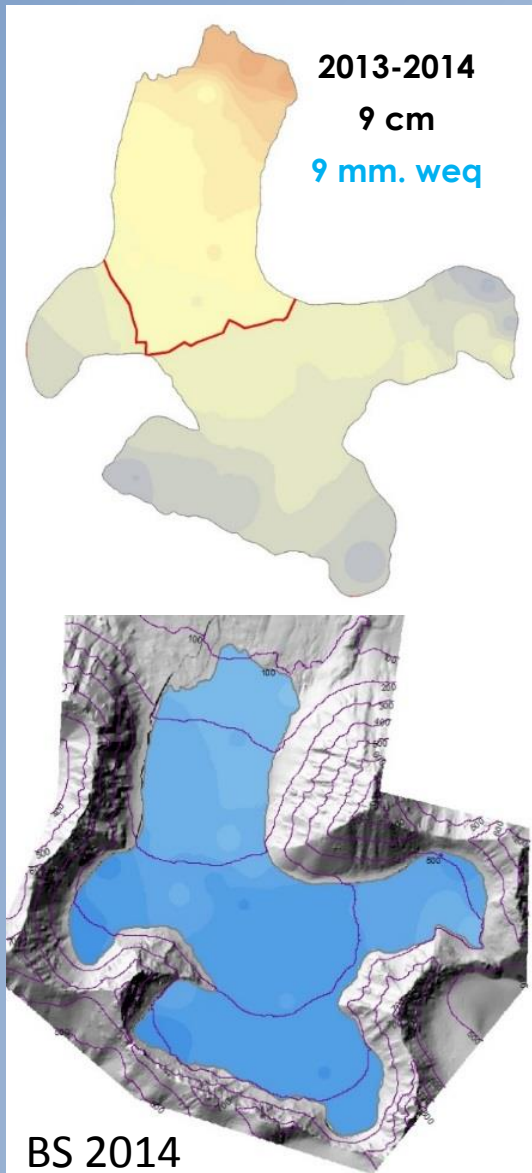


- 5 classes : BM -
- ↓
- BM +

Classe	T2012	P2012	N2012	B2012
1 (H09)	452	402	182	-2340
2 (H14)	334	387	575	-756
3 (H13)	325	354	822	-279
4 (H18)	291	225	1016	138
5 (H24)	233	342	1392	410

- L'accumulation de neige hivernale influence la discrimination.

Résultats – 2014, une année « positive »



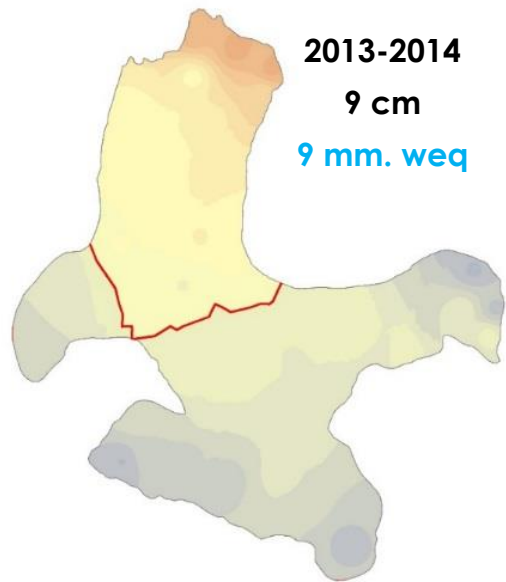
Nb. var	Variables	R ²
1	N 2014	0,577
2	N 2014 / DJ+ 2014	0,643
3	N 2014 / DJ+ 2014 / P 2014	0,640

- Une grande influence de l'accumulation de neige hivernale sur le bilan de masse.

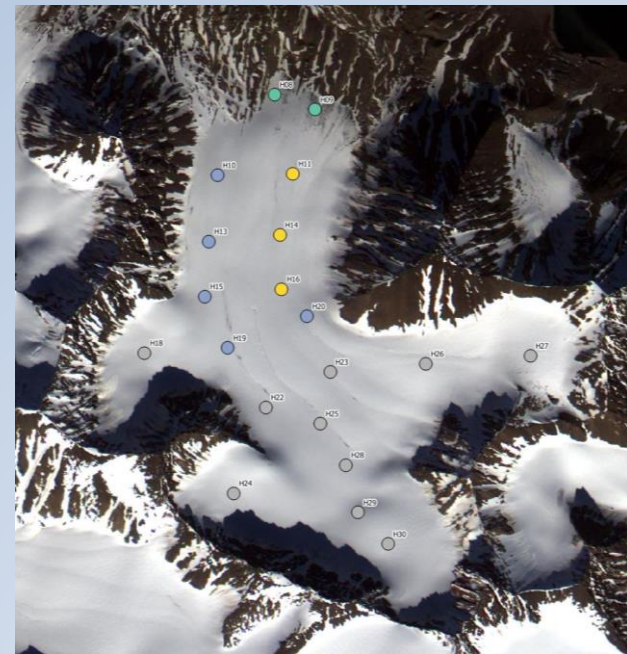
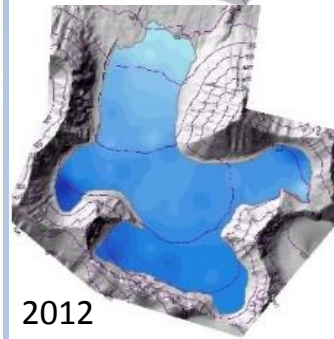
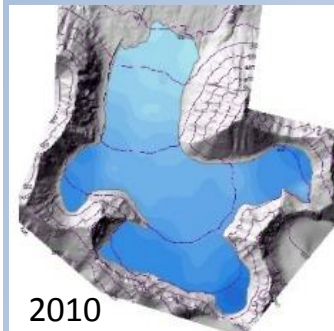
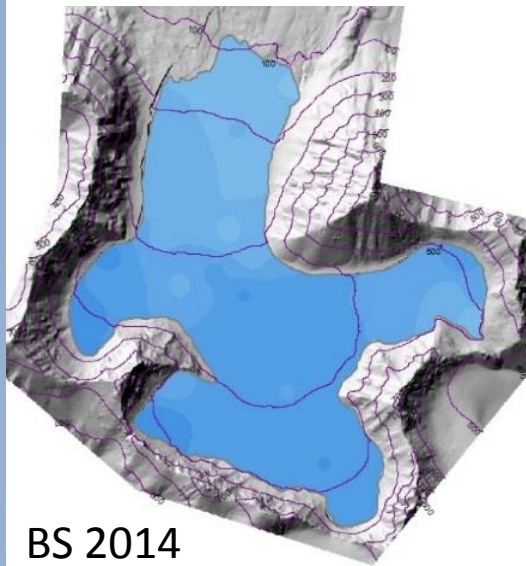
Année	DJ+ moy	P moy	N moy	BM
2008	226	174	833	-104
2009	321	155	826	-148
2010	270	120	694	-165
2011	454	254	515	-1053
2012	322	315	840	-241
2013	381	305	406	-1110
2014	247	105	744	10

- Une accumulation de neige qui n'est pas la plus forte...

Résultats – 2014, une année « positive »

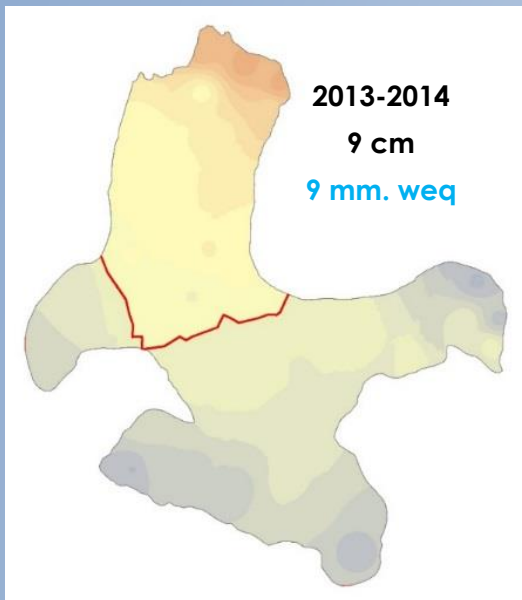
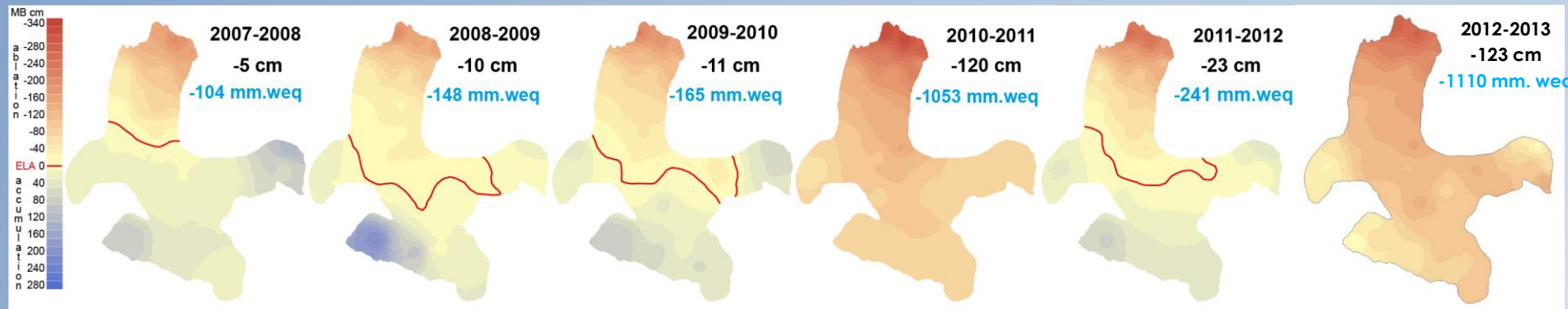


- Une accumulation de neige qui n'est pas la plus forte...
... mais qui est très bien distribuée sur le glacier.



Classe	T2014	P2014	N2014	B2014
1 (H08)	383	136	560	-1260
2 (H13)	259	99	651	-180
3 (H14)	248	136	570	-387
4 (H29)	189	81	832	162

Résultats – 2014, une année « positive »



- Les conditions sont les mêmes sur la partie haute du glacier.
- La langue a significativement moins fondue que les autres années.

→ Un bilan de masse positif en 2014

Conclusion et perspectives

- L'analyse multivariée apporte un nouveau regard sur la base de données.
- Les méthodes statistiques sont complémentaires.
- Deux bilans de masses équivalents peuvent être causés par différents facteurs
(exemple des années extrêmes)
- Les cirques semblent « préservés » et dissymétrie de la langue
- Perspectives de travail :
 - Dériver de nouvelles variables
 - Augmenter le nombre de points étudiés (par interpolation et extraction)

Merci pour votre attention

