

Quelle est l'influence des eaux souterraines sur les écoulements de surface dans les vallées glaciaires du Yukon du sud-ouest?

Série de conférences en hydrogéologie du
RQES-AIH, 20-02-2018

Michel Baraër

ÉTS

Le retrait glaciaire généralisé...



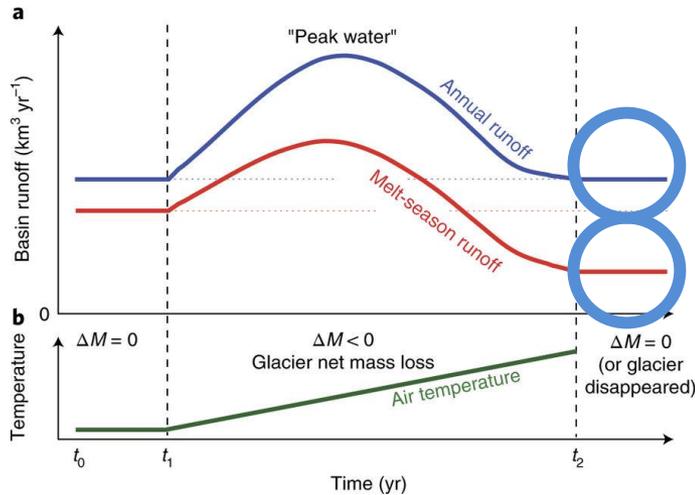
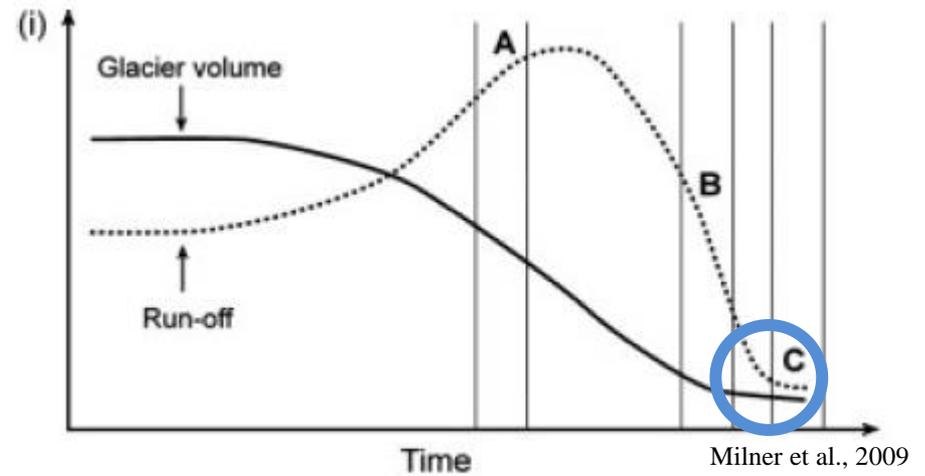
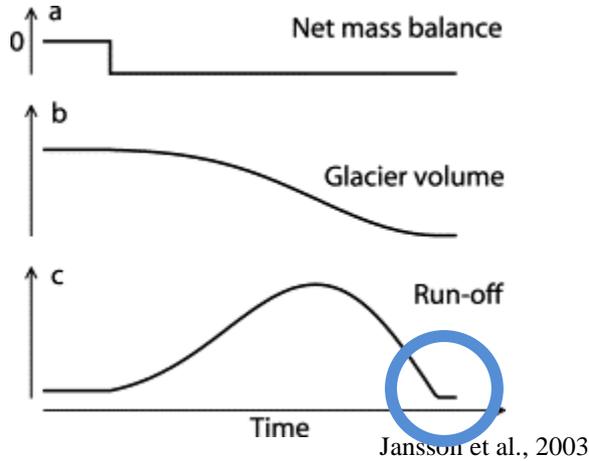
August 1987



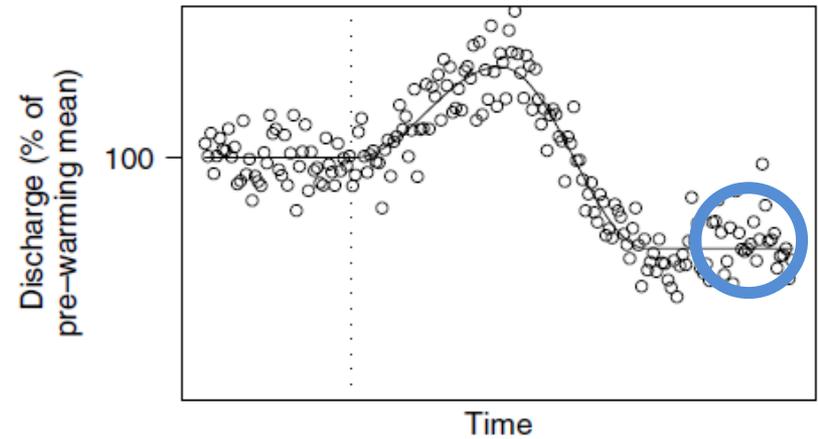
August 2015

Mer de Glace - Chamonix-Mont-Blanc

...Soulève des questions / ressources en eau

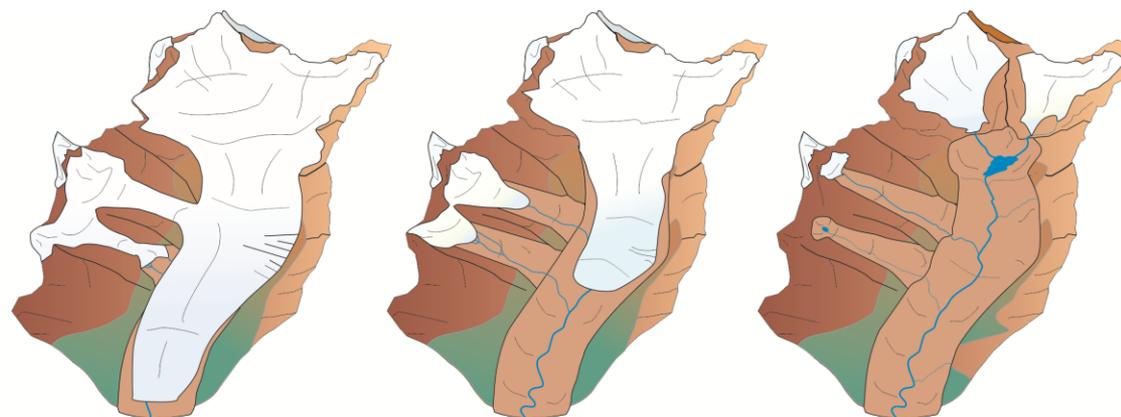


Huss et Hoch, 2018



Moore et al. 2009

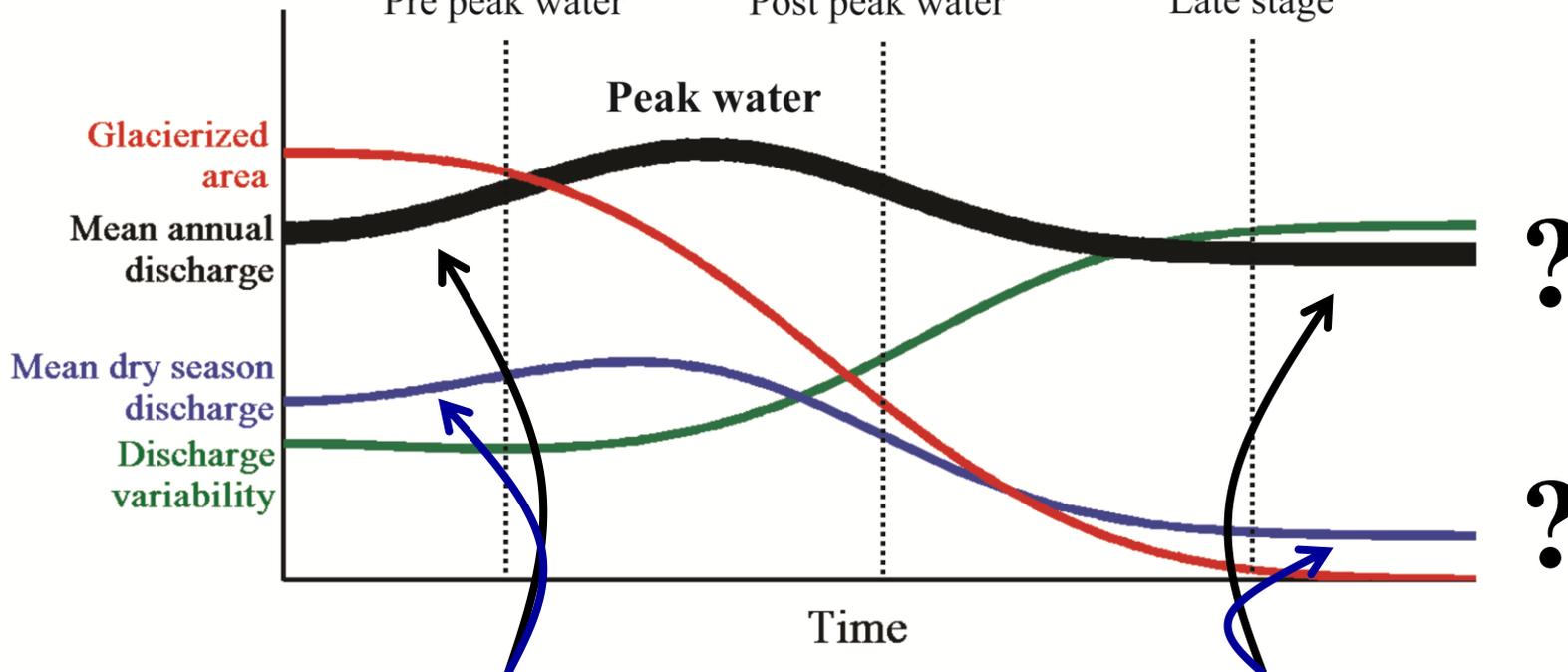
Le pic d'eau



Pre peak water

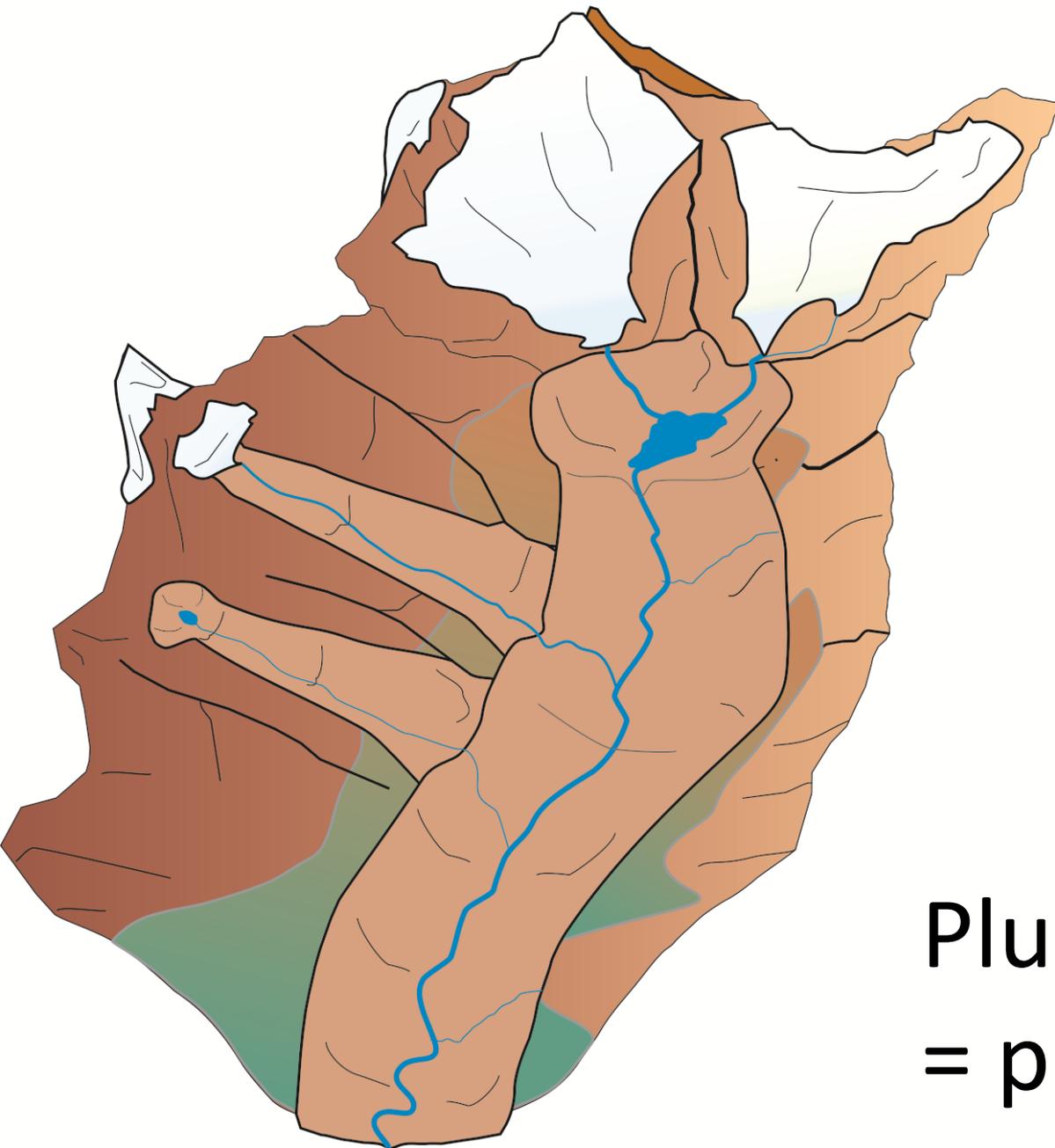
Post peak water

Late stage



Eau de fonte (neige, glace, ...)
- Ruissèlement
Eau souterraine

~~Eau de fonte (neige, glace, ...)~~
~~Ruissèlement~~
Eau souterraine



Hypothèse commune
jusqu'aux années
2000:

« Le sous-sol de ces
vallées n'est pas
propice au stockage
d'eau souterraine en
grandes quantités »
donc

Plus de glaciers
= plus d'eau

Exemples des Andes tropicales

- Contribution des eaux souterraines observable



Bolivie 2011

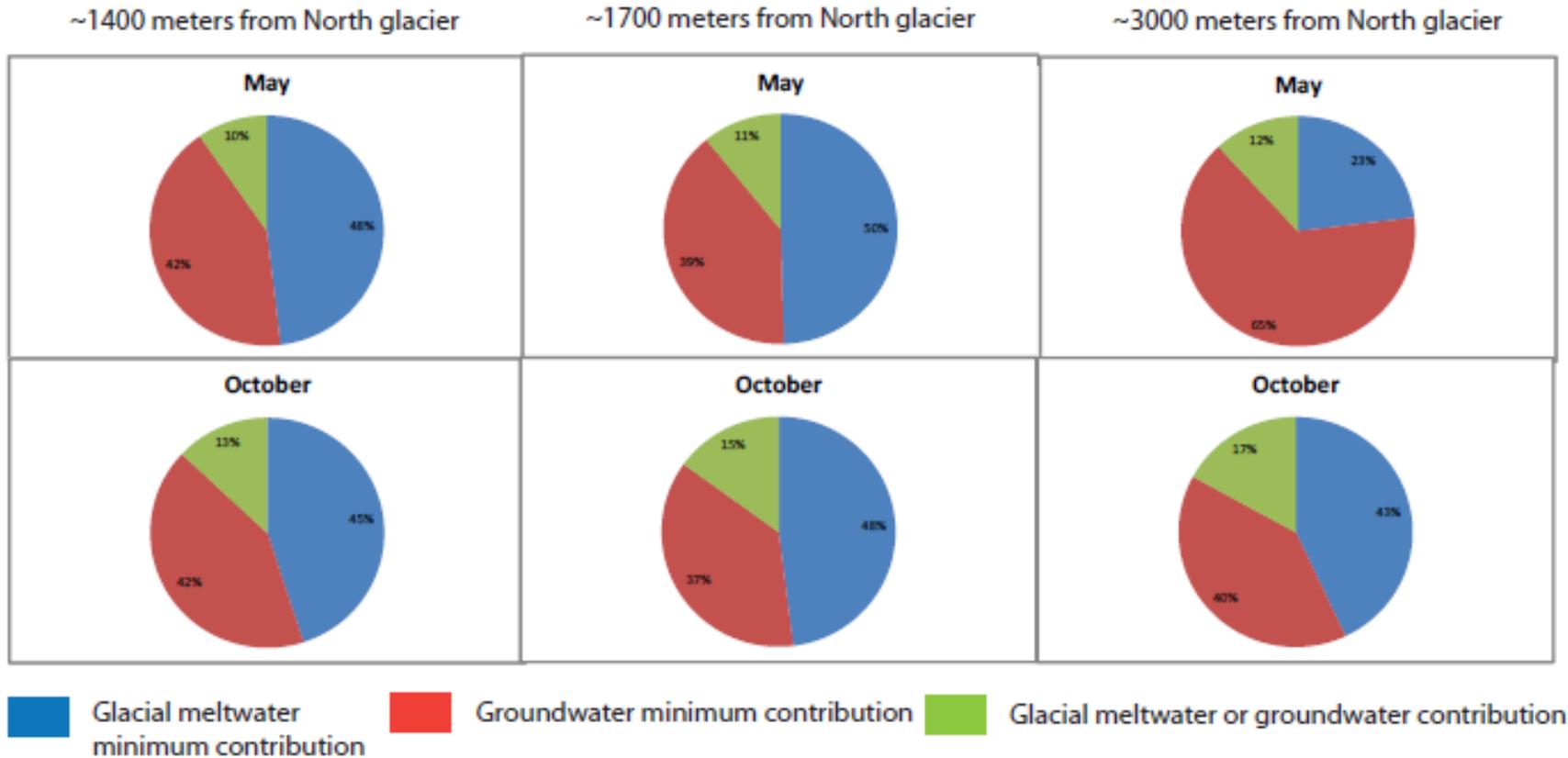
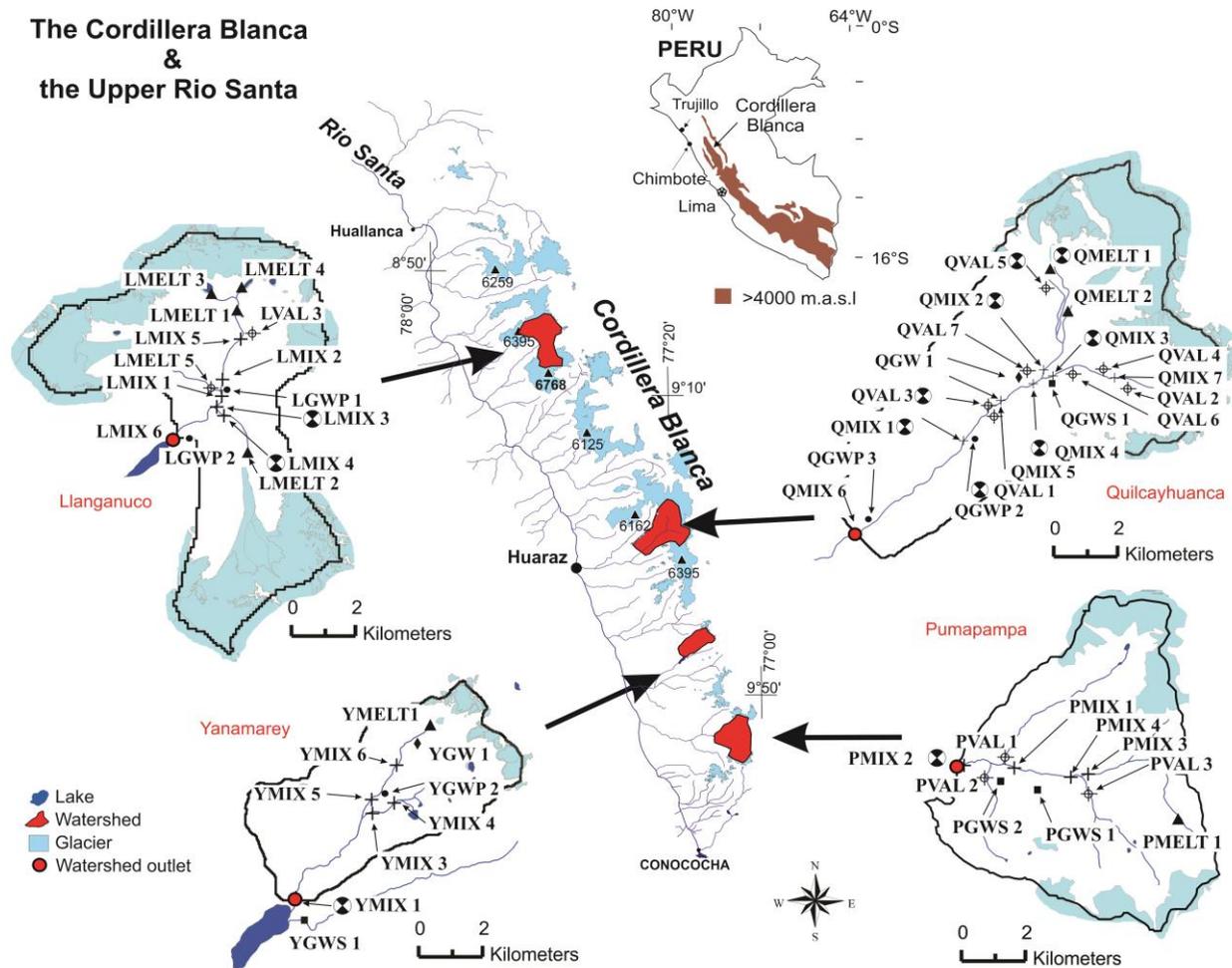


Figure 9: Comparison of relative contribution of glacial meltwater and groundwater to TS1 discharge at various distances from the north glacier at Tuni in May and October 2012. Green refers to water that may be either meltwater or groundwater.

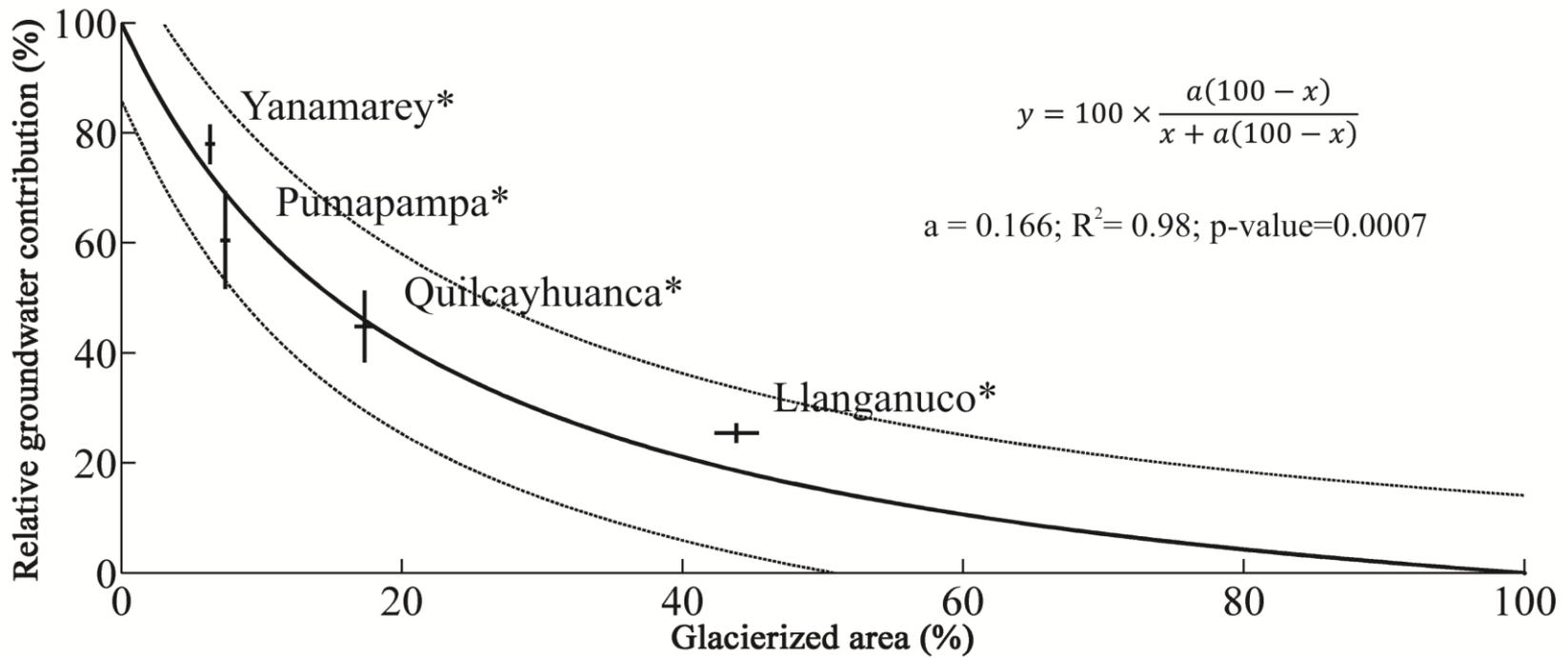
Perou 2009-2011

The Cordillera Blanca & the Upper Rio Santa

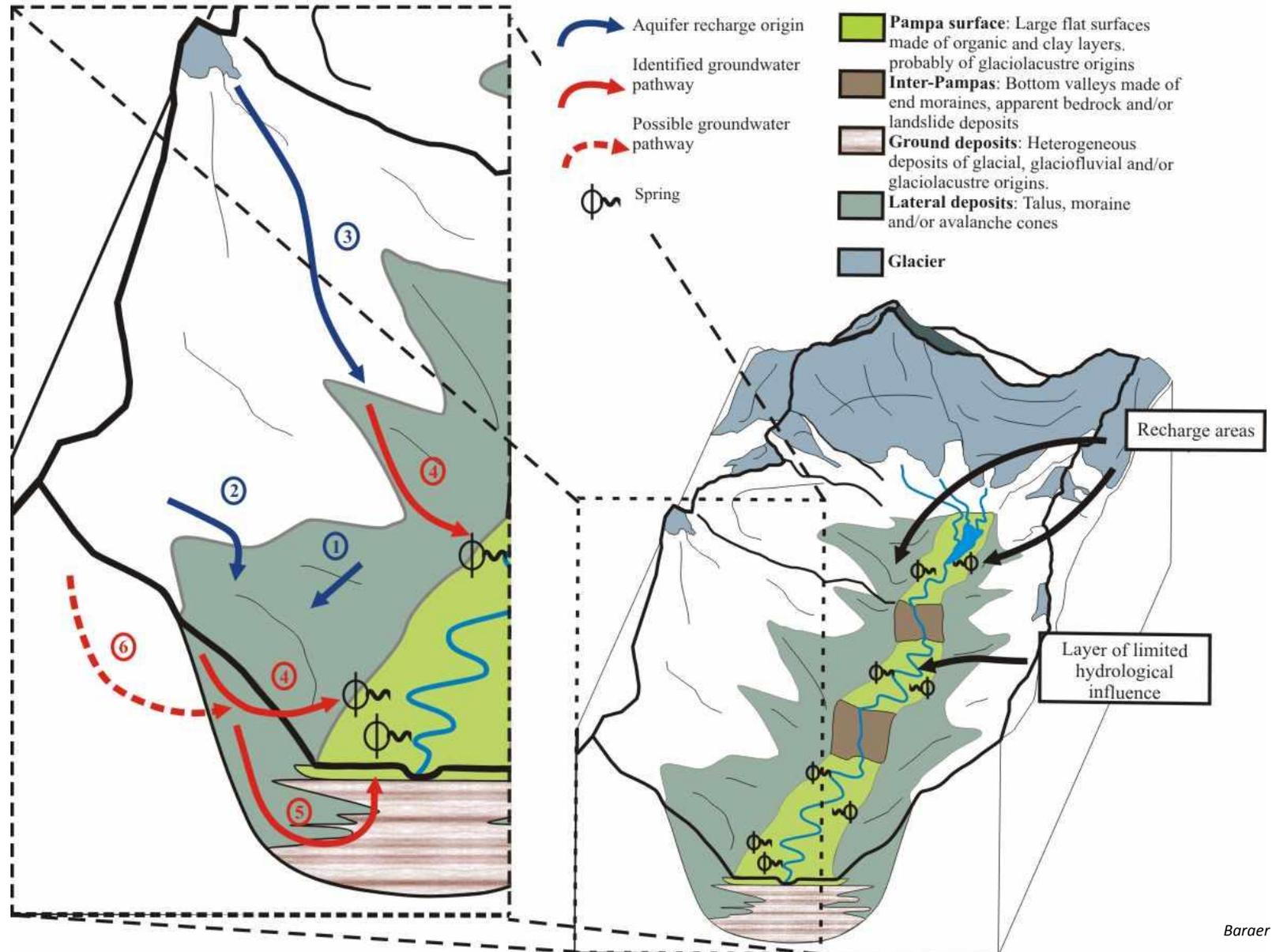


Pérou 2009-2011

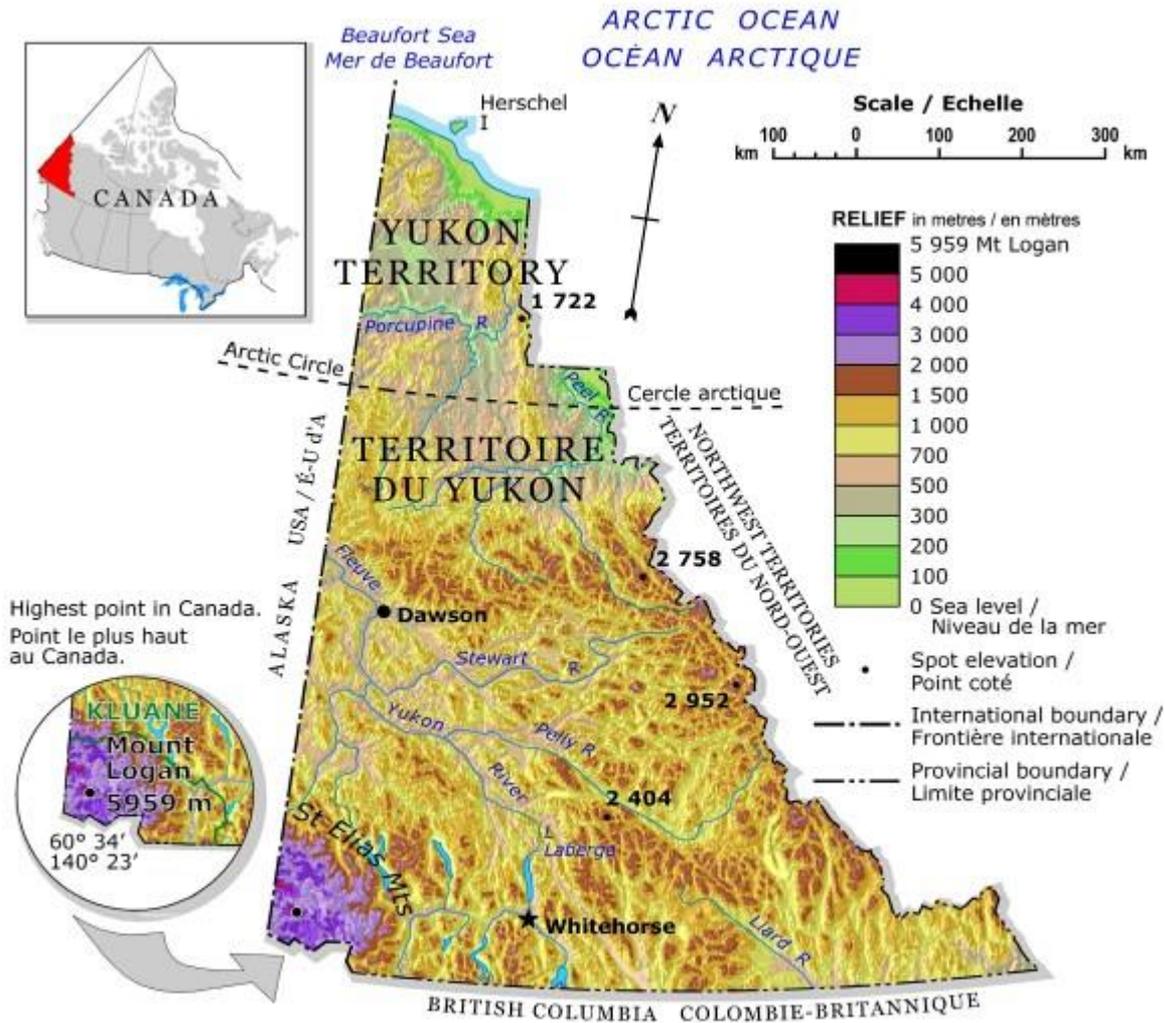
- Contribution des eaux souterraines aux eaux de surface a l'exutoire des bassin versant



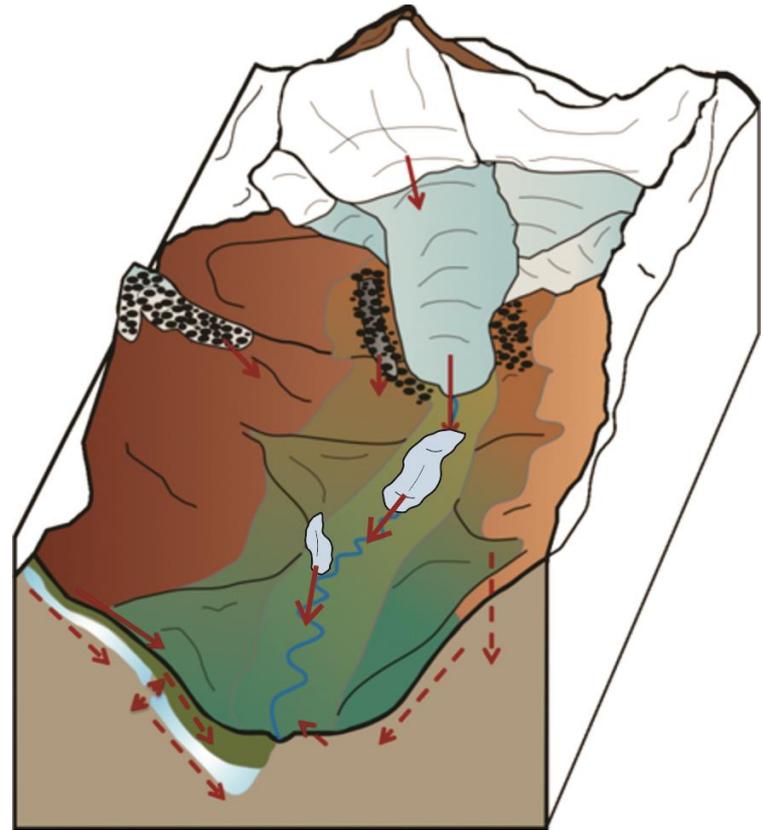
Pérou 2009-2011



Le sud-ouest du Yukon



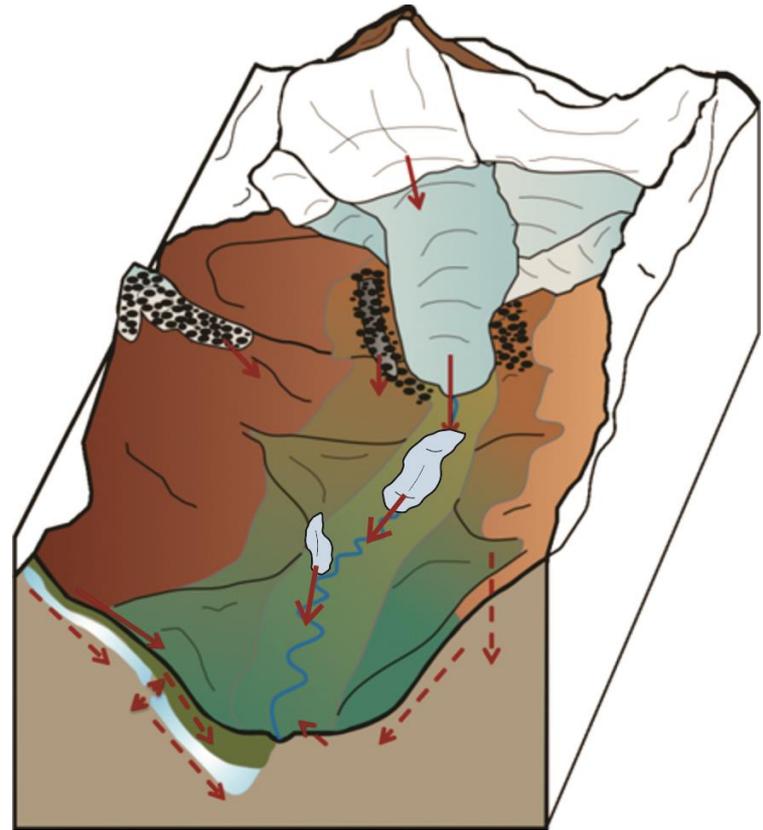
Une hydrologie complexe

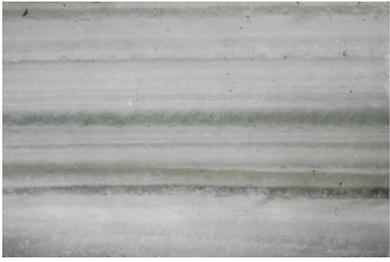


Question de recherche long terme

Quelles sources d'eau contribuent significativement aux eaux de surface dans les vallées glaciaires du Yukon du Sud ouest?

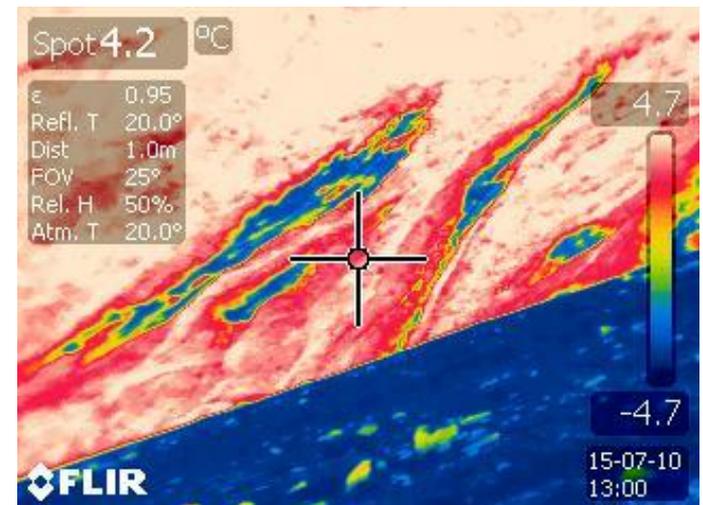
Glaciers, glaciers rocheux,
eaux souterraines
« Aufeis », glaces enterrées...?



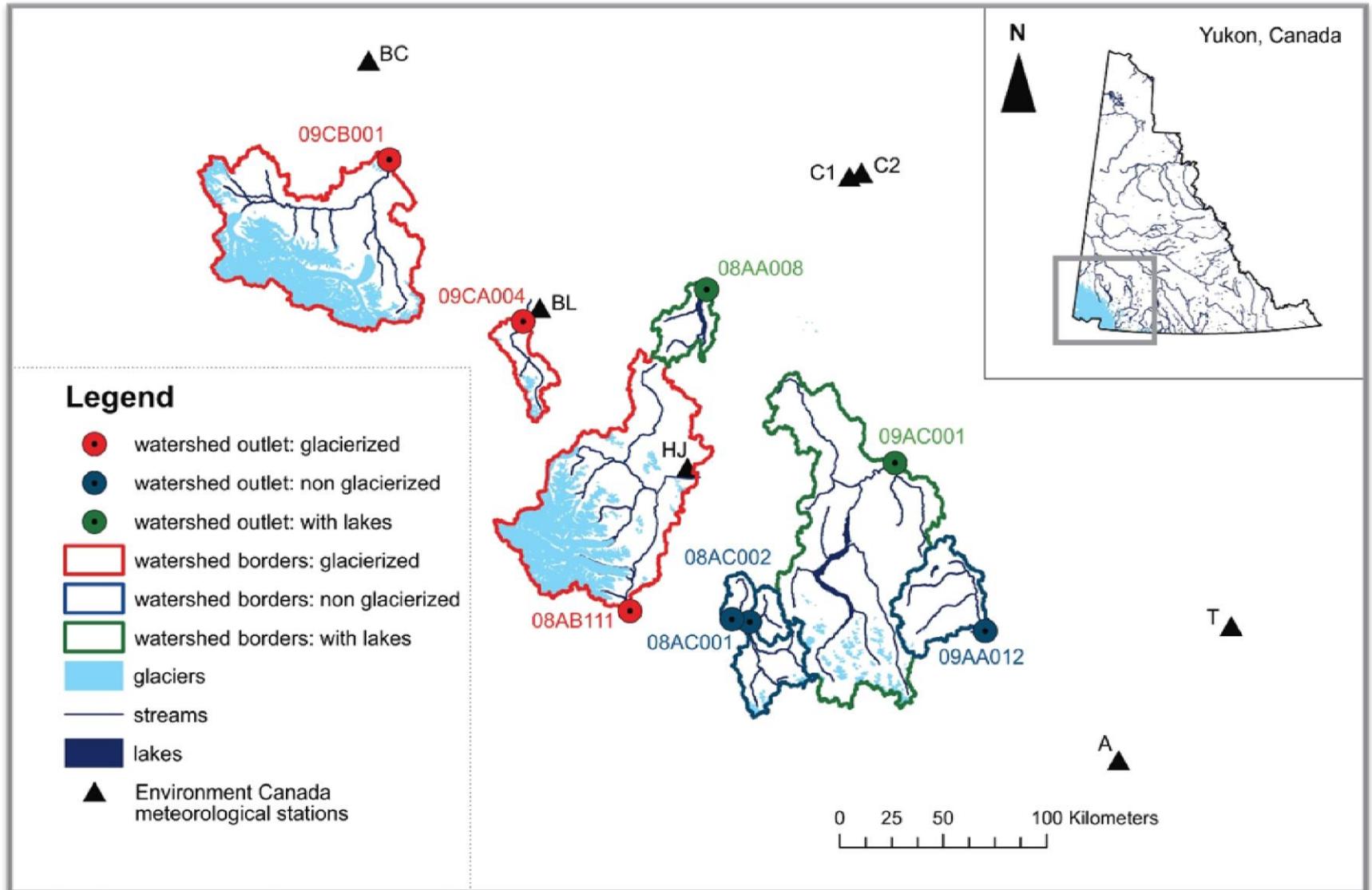


Méthodes

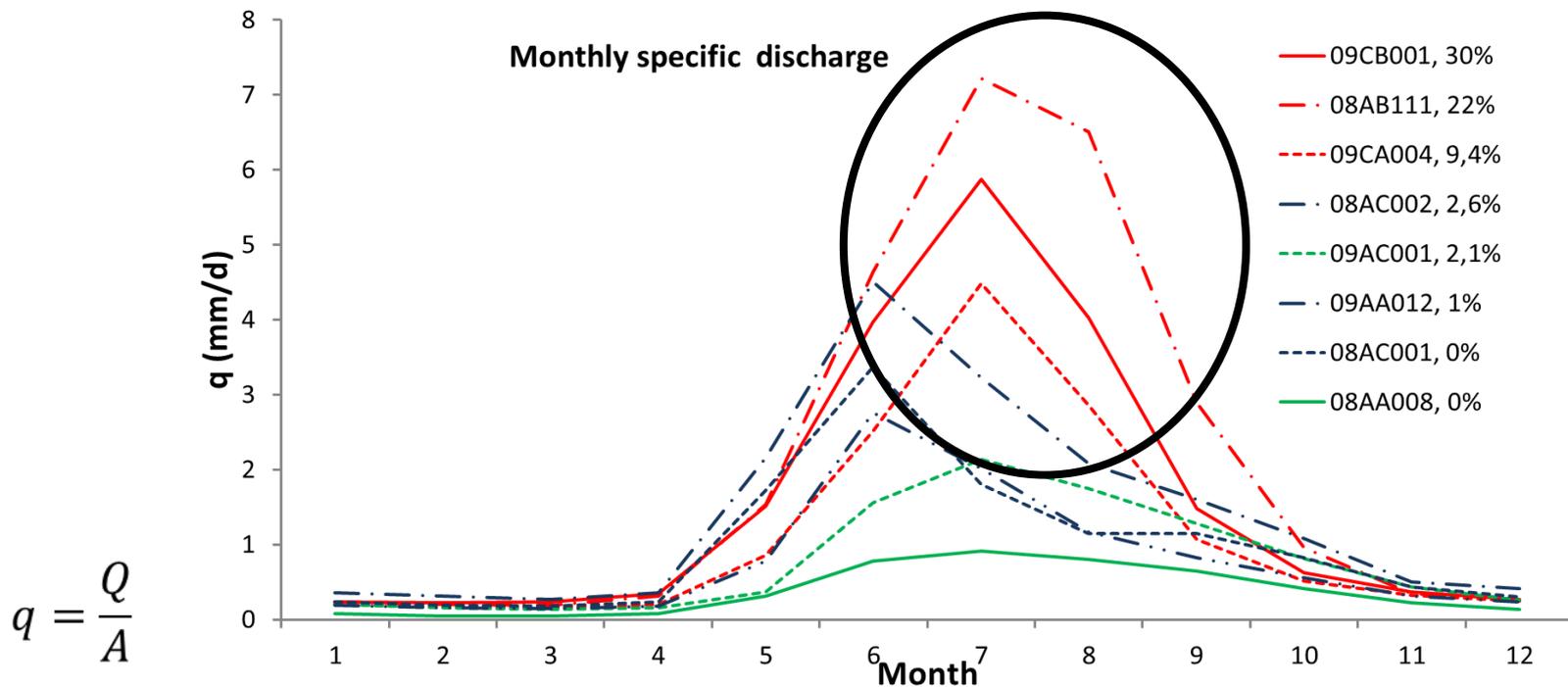
- Analyse des données historiques
- Mesures hydrométriques
- Traceurs naturels / analyse hydro chimique
(Majeurs, isotopes, MOD, pH, Conductivité, turbidité)
- Analyse de précipités cryogéniques
- Imagerie intermittente
- Géophysique
- Imagerie infrarouge



Analyse de données historiques



La forte influence des glaciers débits spécifiques mensuels

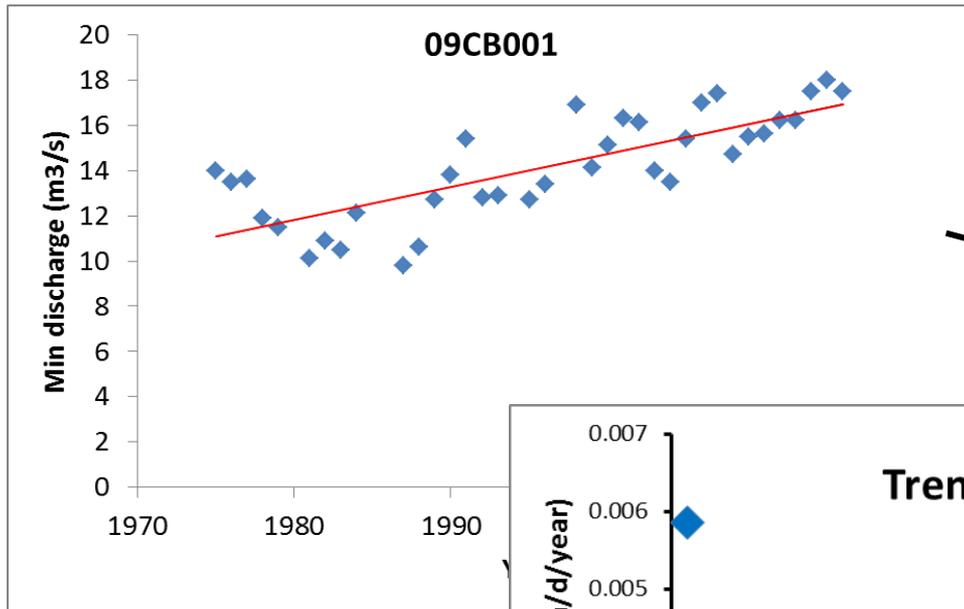


*common recording period = 19 years (90, 92, 95, 96, 99, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 14, 15)

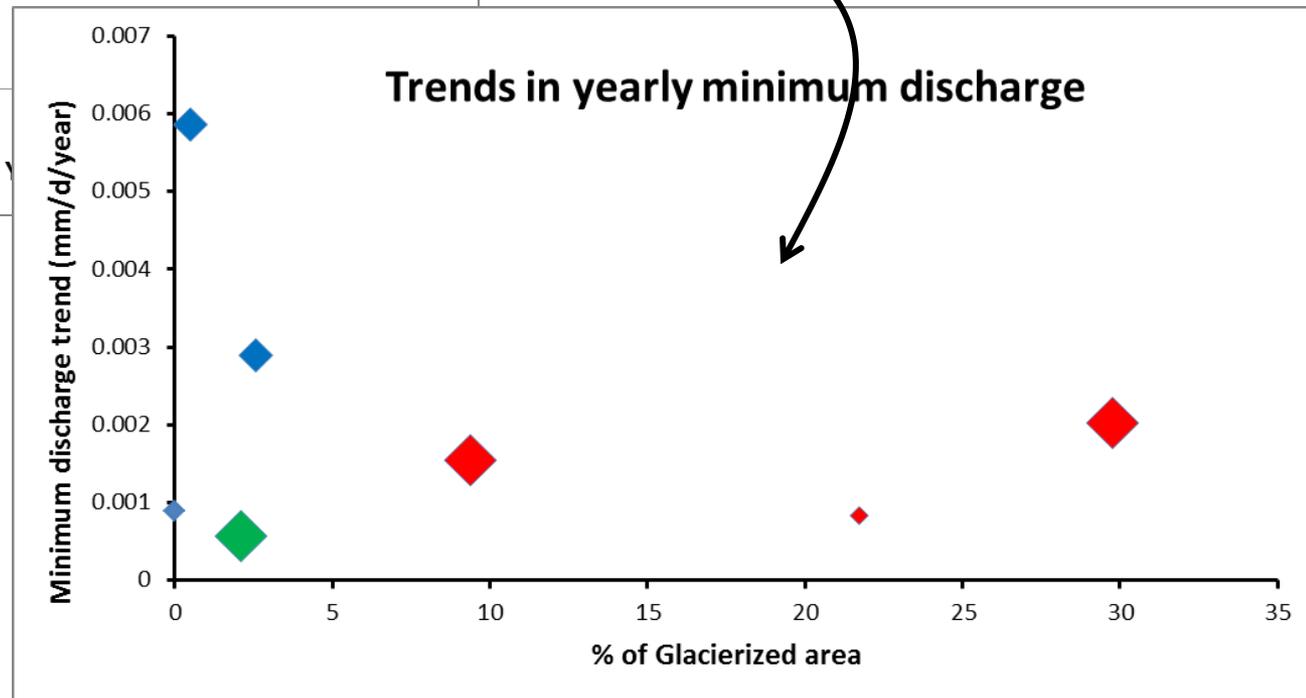
Les débits minimaux

- Une augmentation des débits minimaux des cours d'eau des régions arctique et subarctique est fréquemment rapportée dans la littérature (e.g. whitfield, 2001; Janovicz, 2011; Ge et al., 2013)
- Cette augmentation est généralement attribuée aux eaux souterraines et la fonte du pergélisol (O'donneell et al, 2012, Walvoord et Striegl, 2007)
- Qu'en est-il dans les vallées glaciaires?

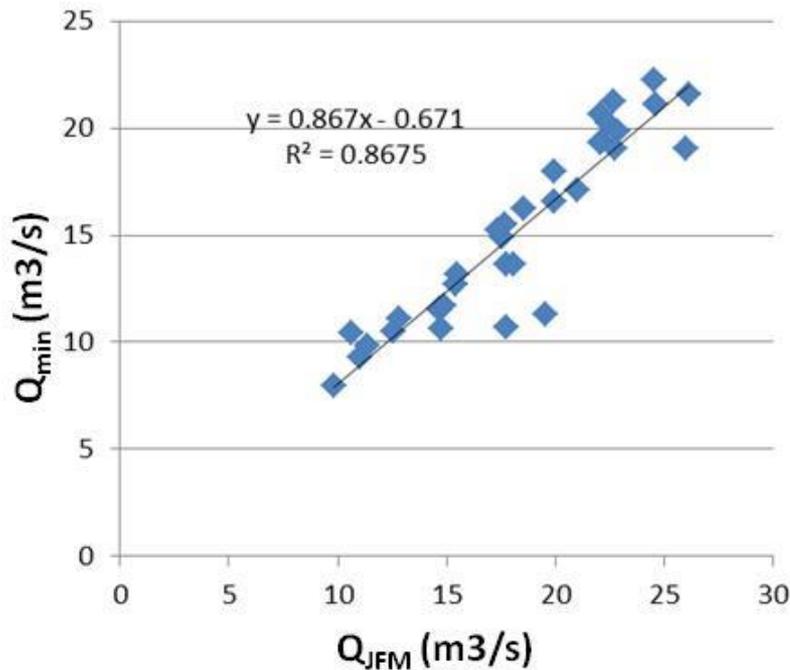
Qu'en est-t-il pour les vallées étudiées?



Pas de spécificités
apparentes liées
aux vallées
glaciaires



Des événements isolé (ex. précipitation liquides, température positive) ou une tendance saisonnière?



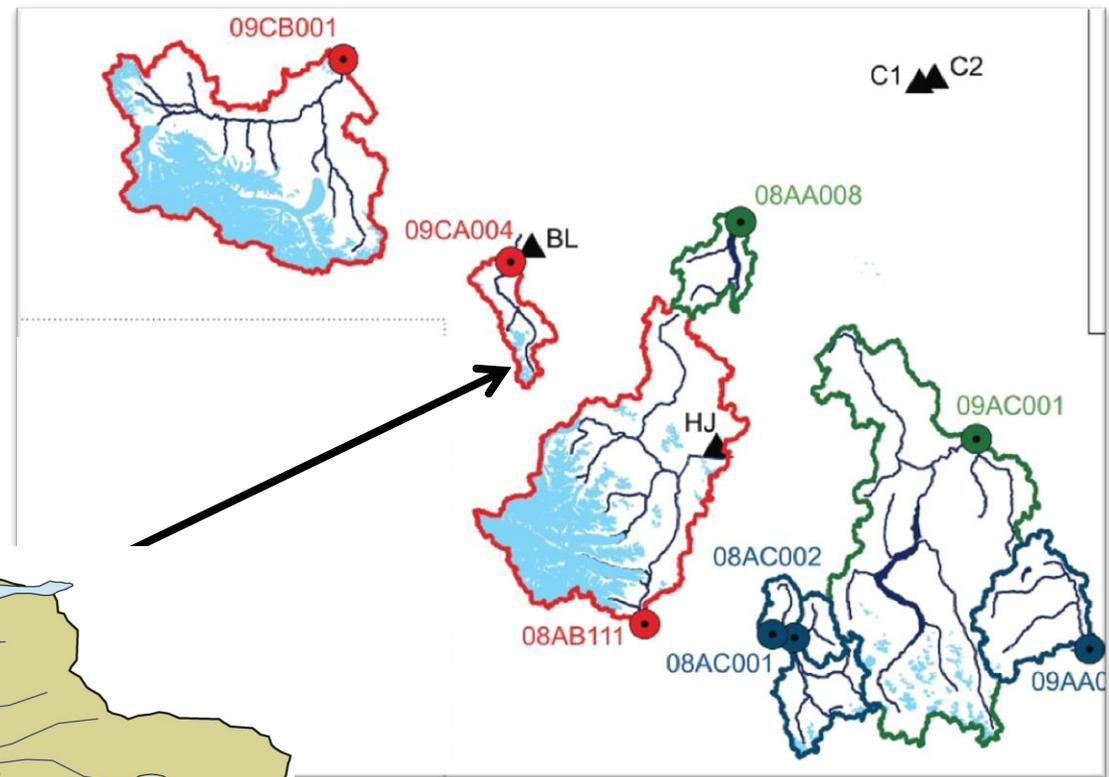
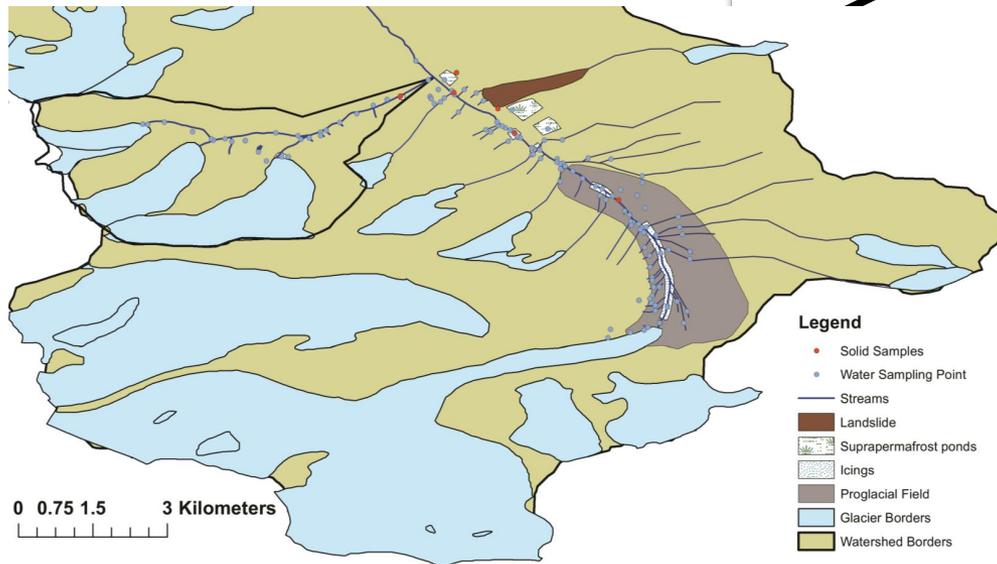
Débit minimum annuel versus débit moyens hivernal (Jan, Fev, Mar)

Par ailleurs la variabilité des débits hivernaux reste stable sur la durée de l'étude, suggérant que l'augmentation du débit n'est pas associée à des précipitations liquides ni a des redoux hivernaux plus fréquents.

Les eaux souterraines jouent donc possiblement un rôle important même dans l'hydrologie des vallées glaciaires

Le site de recherche

La haute vallée du DUKE



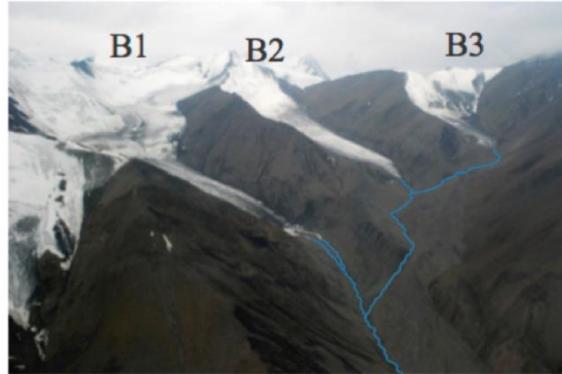
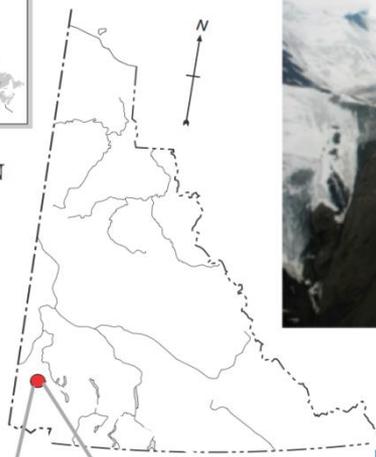
Legend

- Solid Samples
- Water Sampling Point
- Streams
- Landslide
- Suprapermafrost ponds
- Icings
- Proglacial Field
- Glacier Borders
- Watershed Borders

Le bassin B, juillet 2015

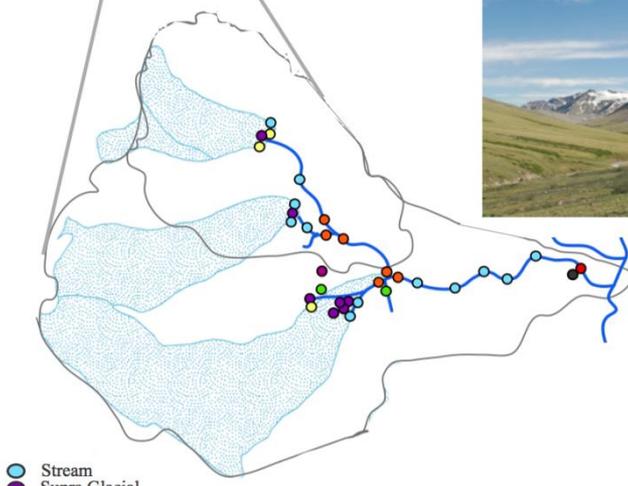


YUKON

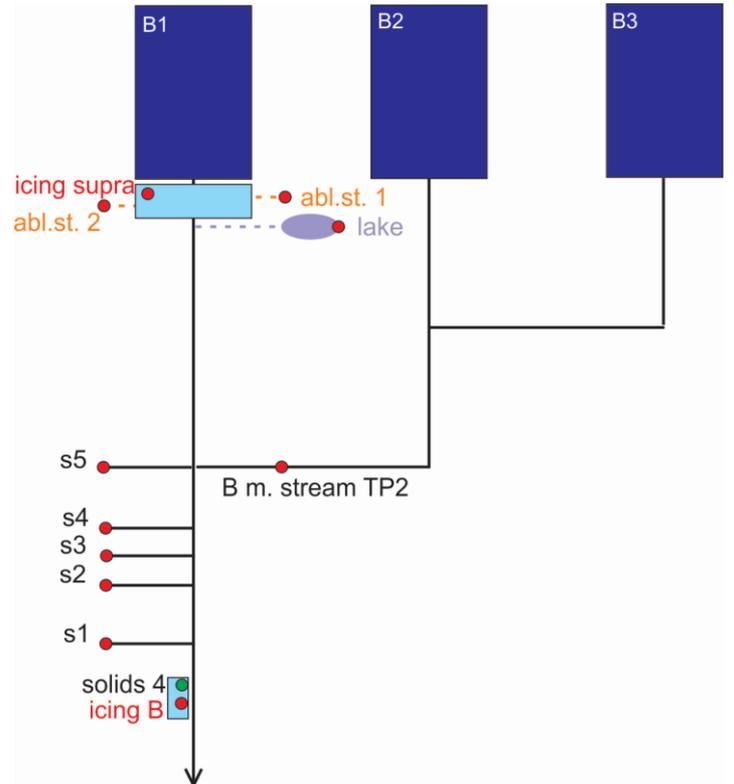
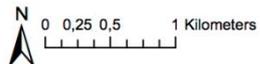


Sous bassin B: **8.3 km²**, 40% de surface glaciaire

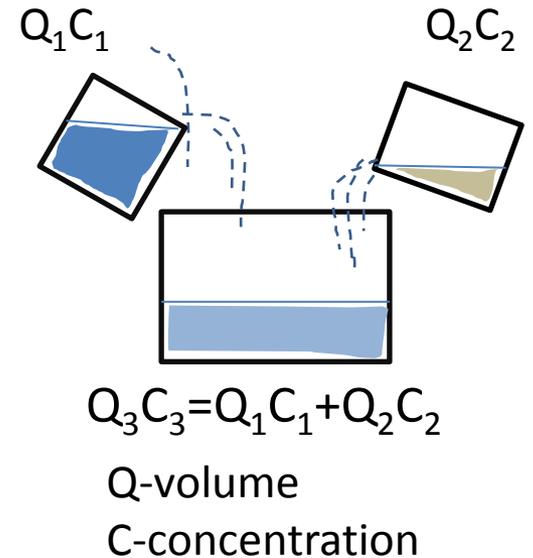
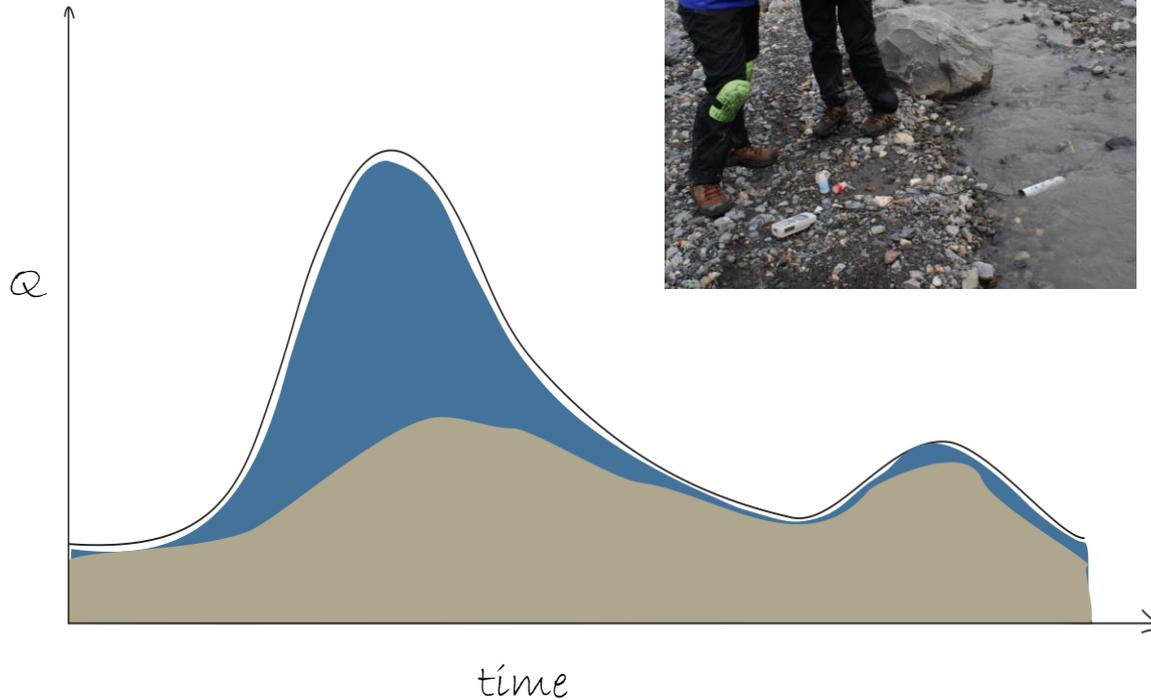
DUKE 2015 - Sampling Map



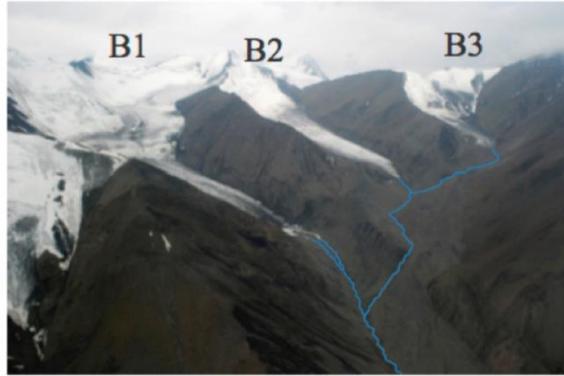
- Stream
- Supra Glacial
- Triple Point - MIX
- Proglacial
- Moraine
- Groundwater
- 24hr sampling site



Les traceurs naturels et les mesures hydrométriques



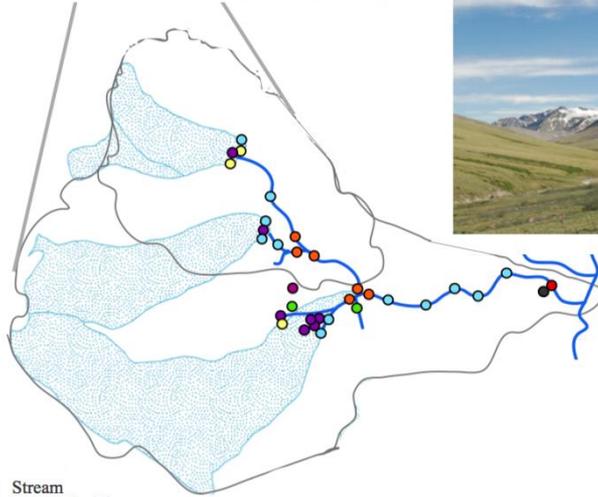
Le bassin B, juillet 2015



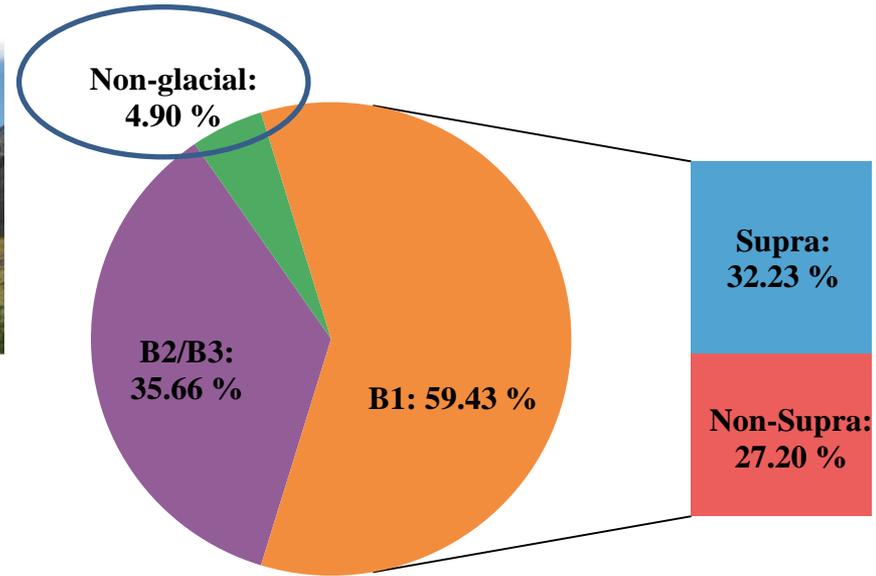
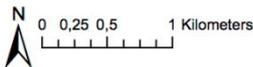
Sous bassin B: **8.3 km²**, 40% de surface glaciaire



DUKE 2015 - Sampling Map

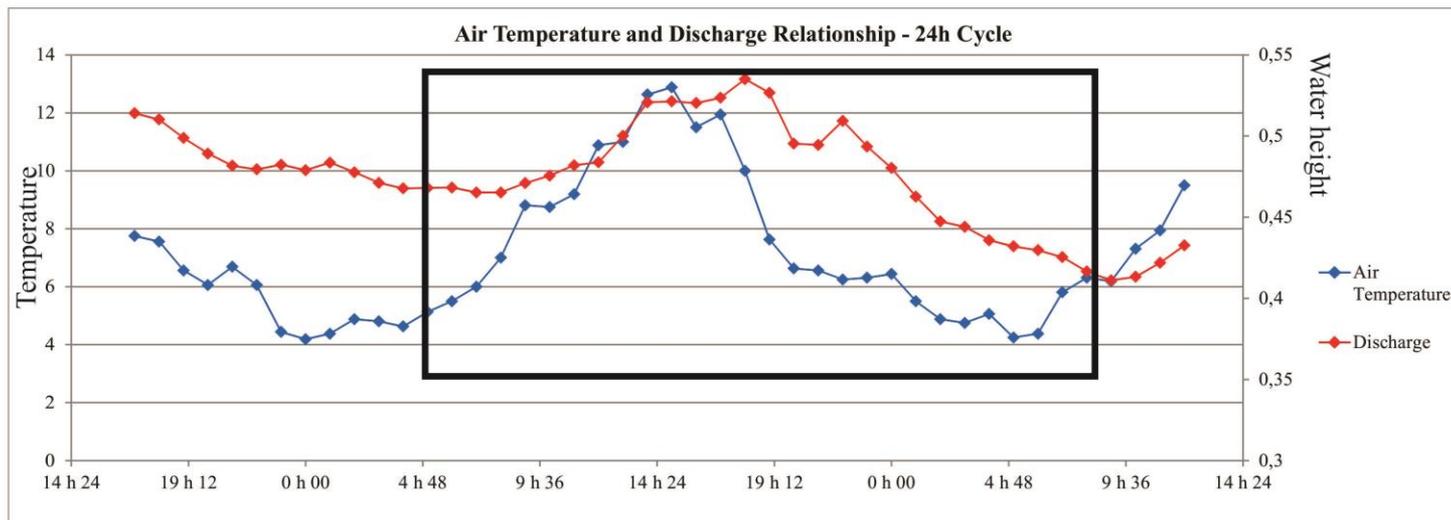
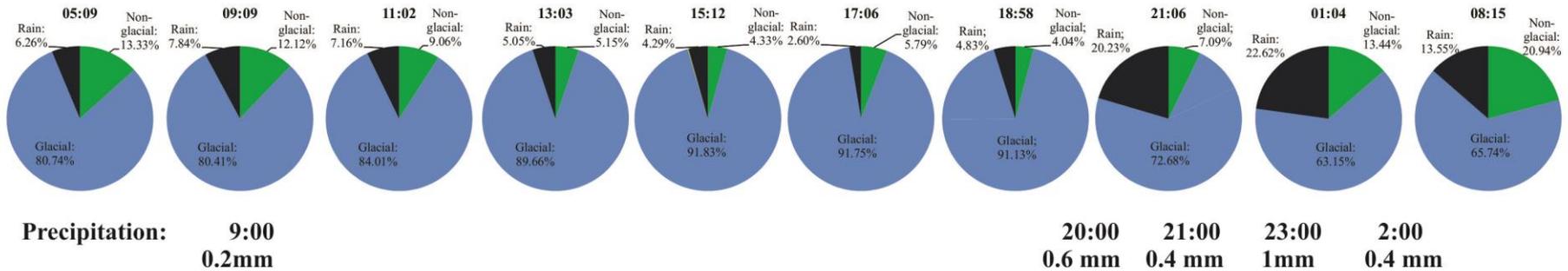


- Stream
- Supra Glacial
- Triple Point - MIX
- Proglacial
- Moraine
- Groundwater
- 24hr sampling site



Echantillonnage entre 10 et 17h

Échantillonnage sur 24 heures



L'imagerie intermittente



L'appareillage



15 juin 2015

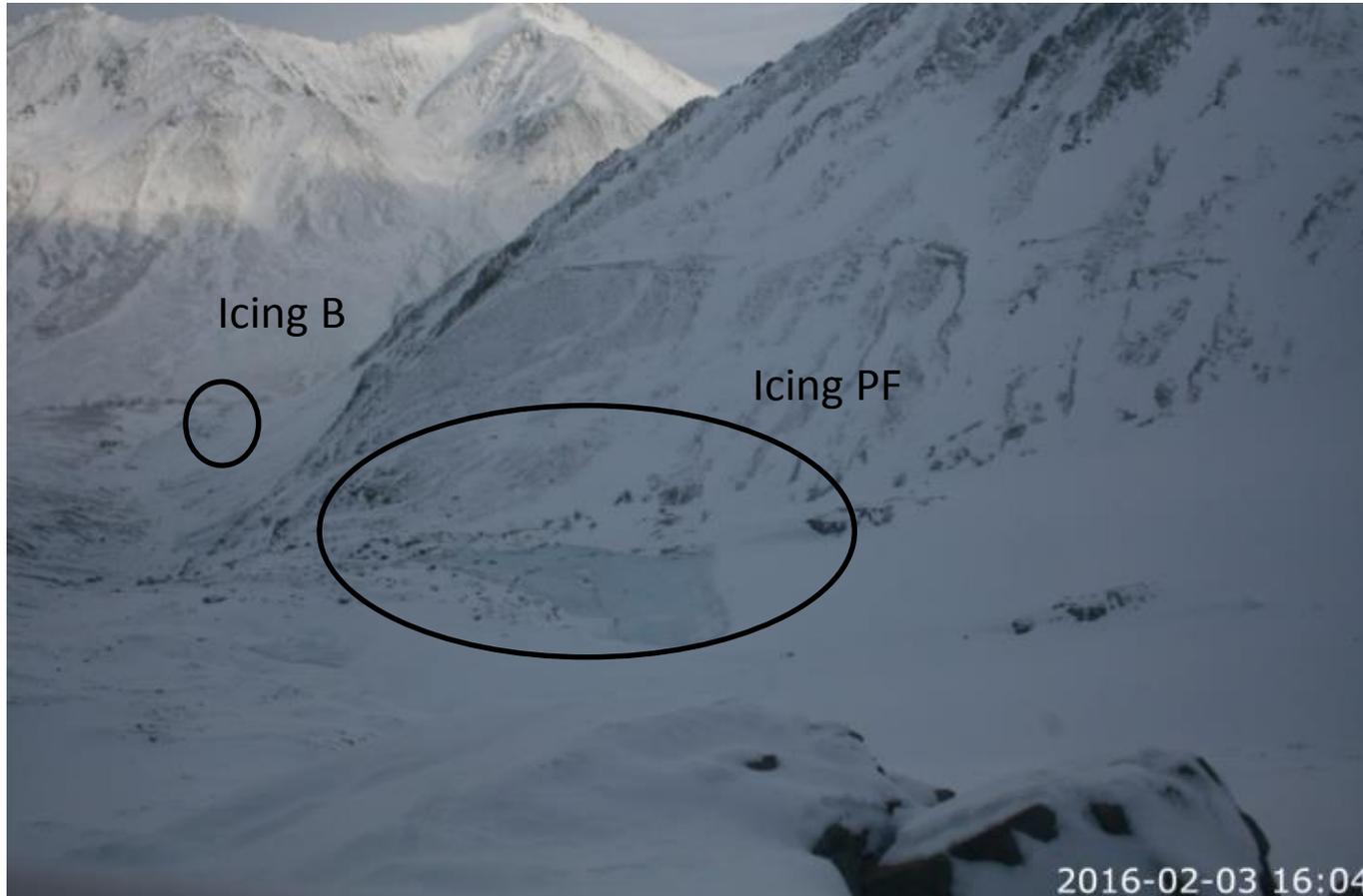


27 novembre 2015



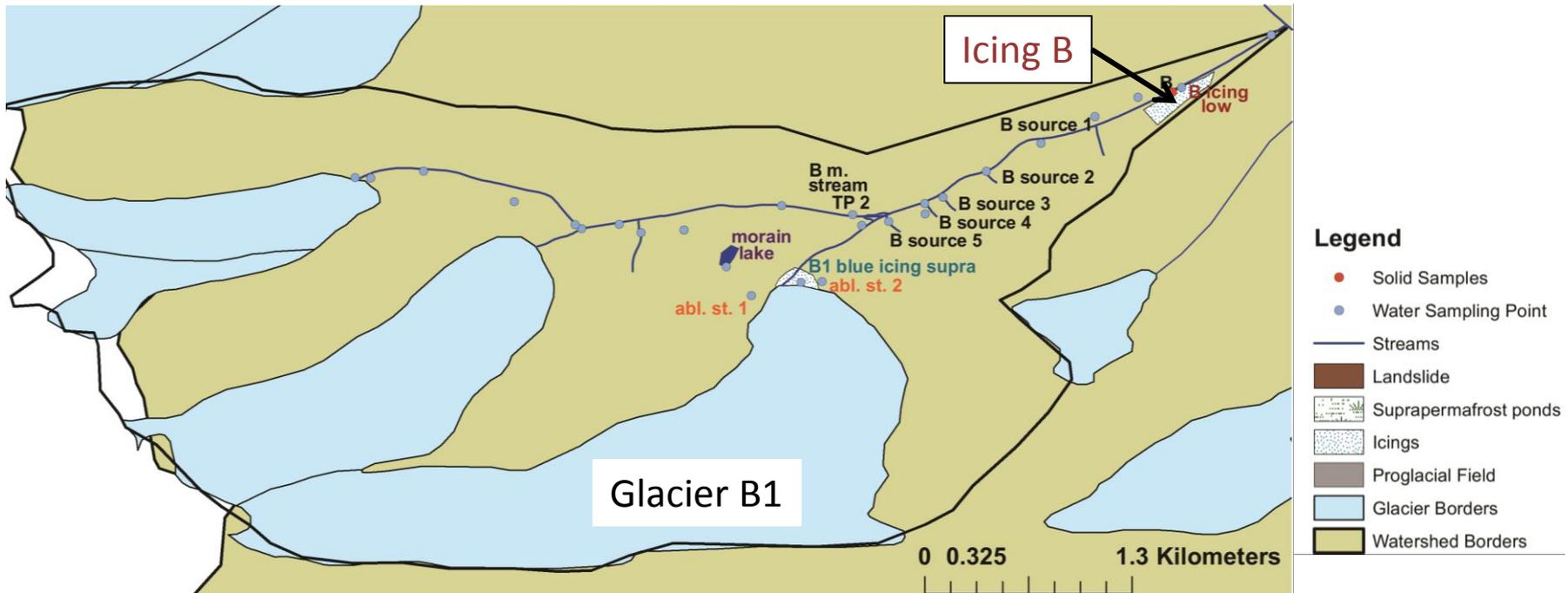
3 fevrier2016

L'imagerie intermittente

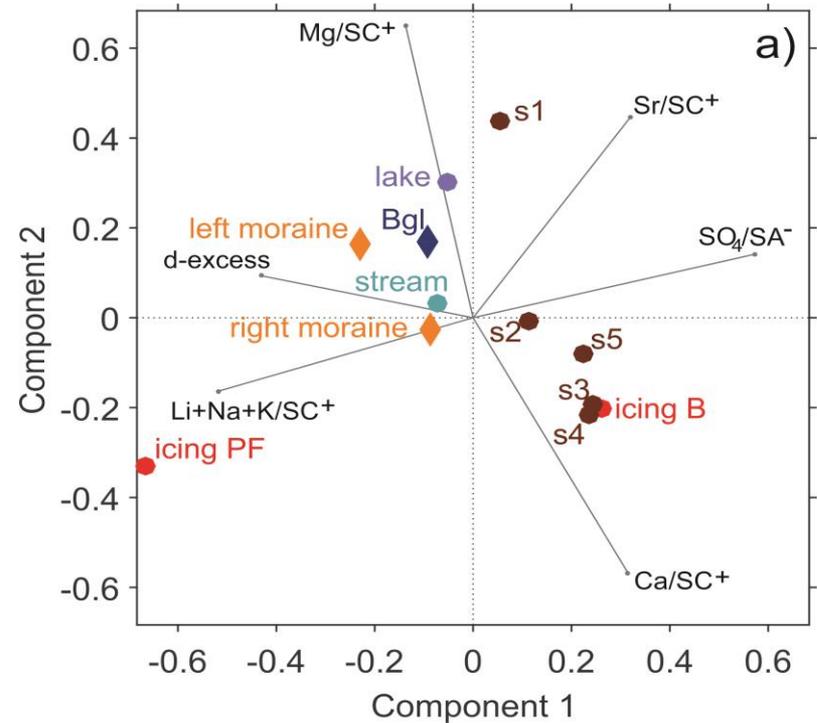
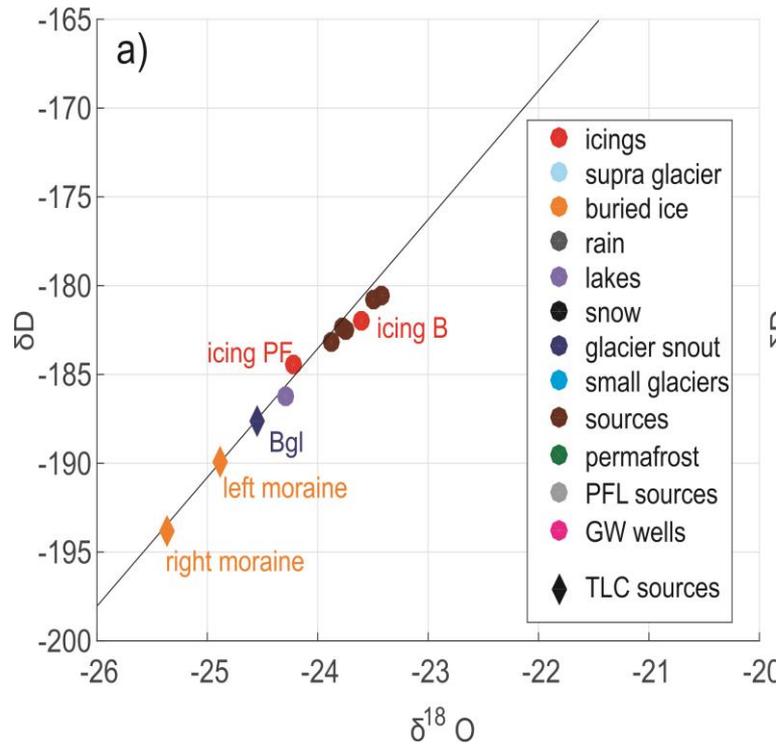


- Les sources actives inondent périodiquement la surface du enneigée du « aufies »

Vallée B, les « aufeis »



Échantillonnage des « Aufeis »



Les mesures de MOD donnent des concentration 5 fois supérieures à la médianes pour S2.

L'échantillonnage des « aufeis » suggère la présence d'une source d'eau non glaciaire active durant tout l'hivers

Les précipités Cryogenic, icing B



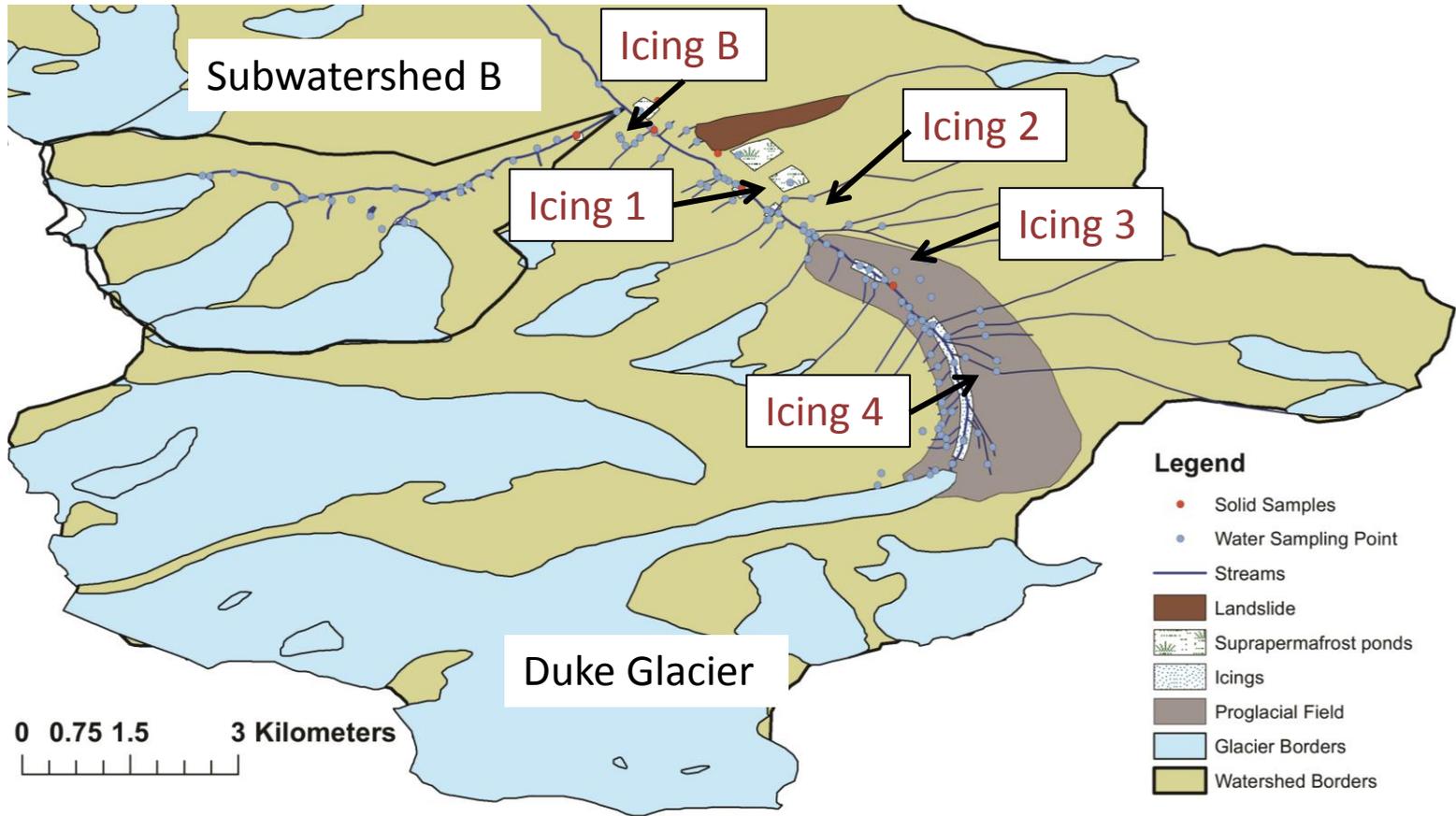
Sample	Icing	Abundant ions	
		Fluo. X	Dissolution
4	B	Al, Al ₂ O ₃ , Fe, Fe ₂ O ₃ , Si, SiO ₂	Al, Fe

Al, Fe et Si confirment l'origine non glaciale du icing B

Conclusion pour le Bassin B

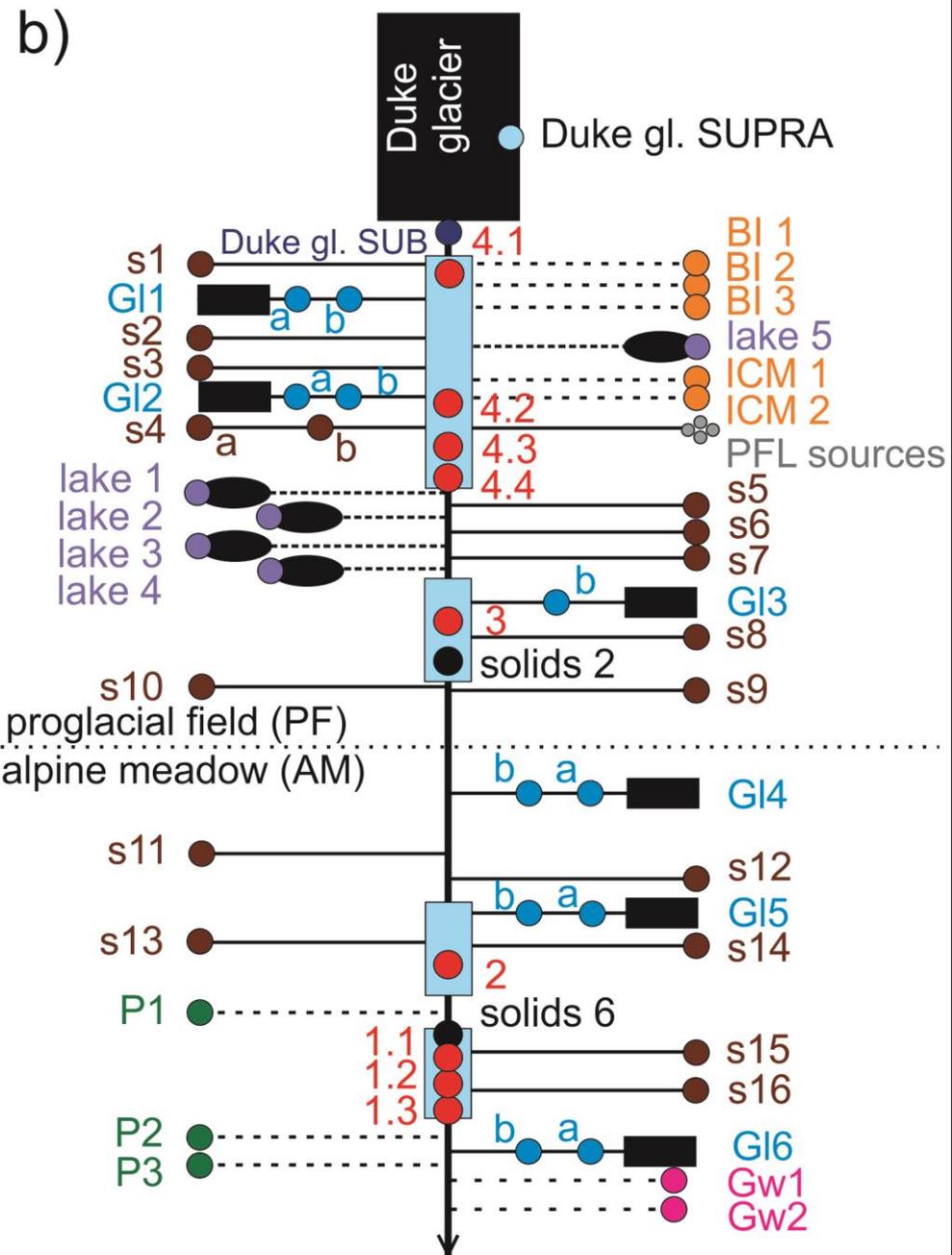
- Hydrologie dominée par les 3 glaciers
- Autres sources limitée en contribution mais non négligeables
- S2 fort probablement associée à une source l'eau souterraine active à l'année longue (observation terrain, MOD, imagerie)
- Méthodes adaptées

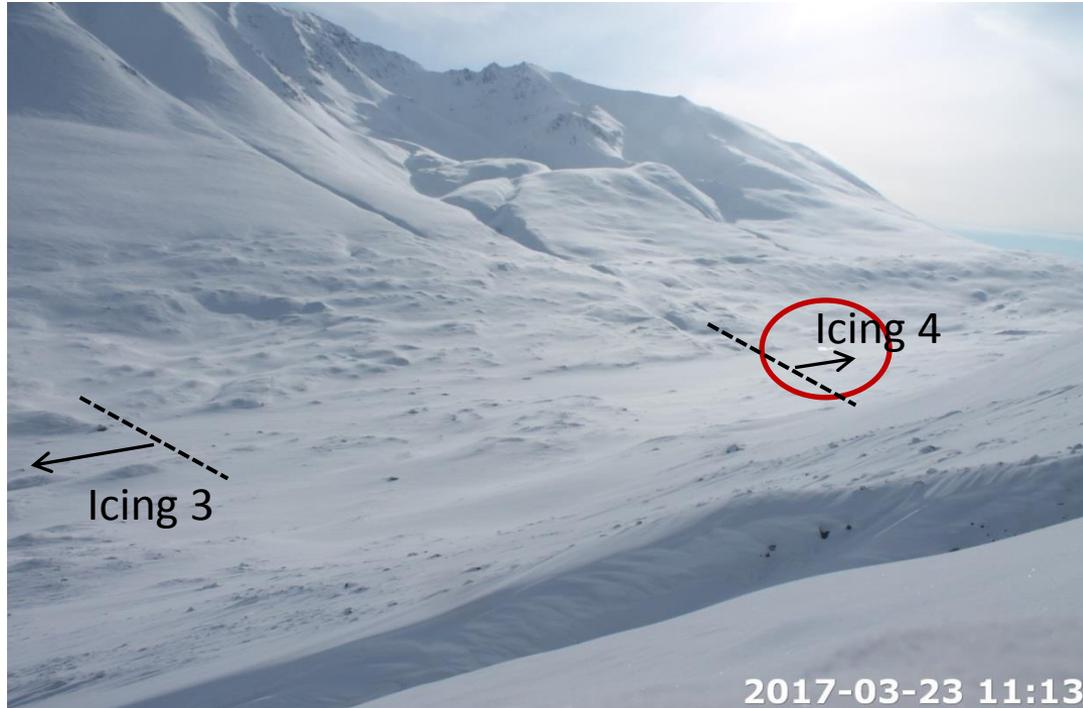
Le bassin A, juillet 2015



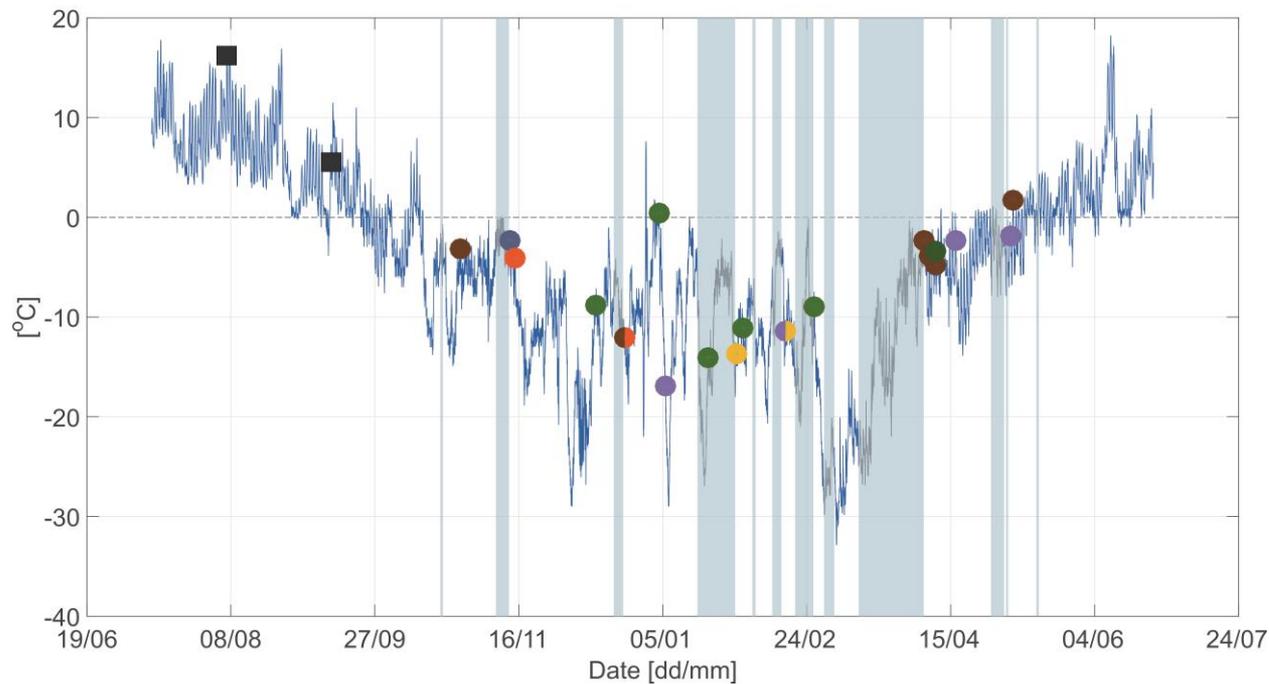
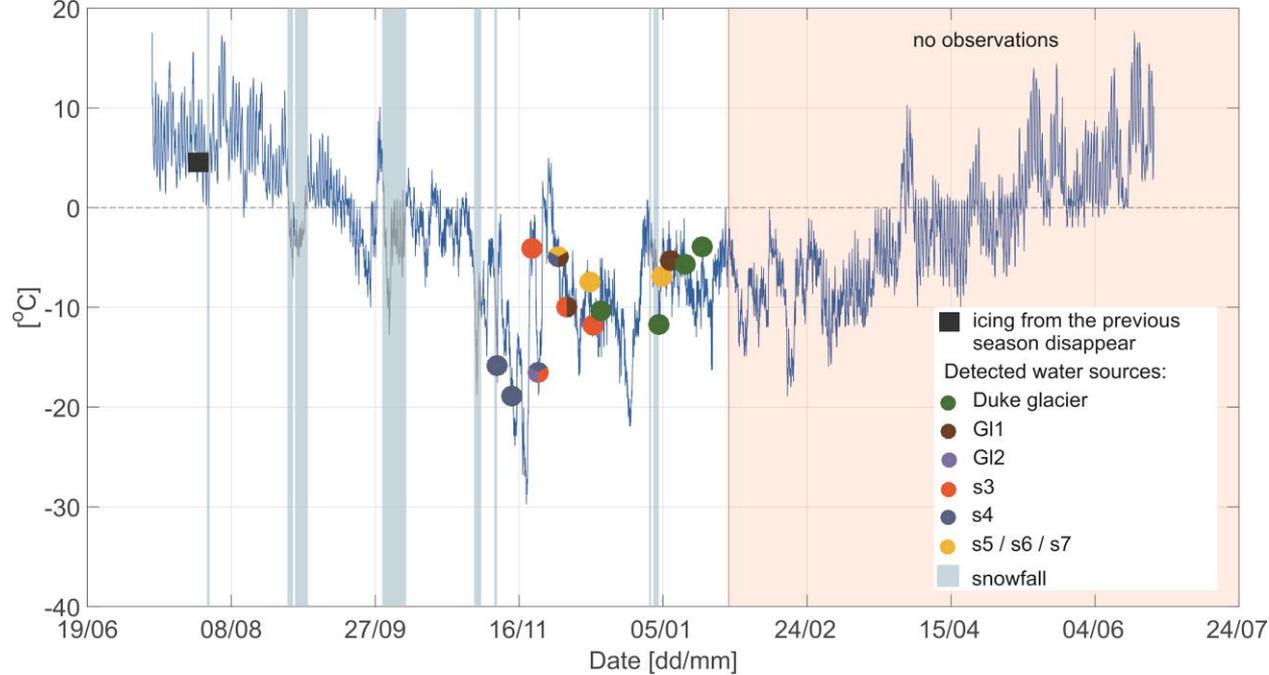
Le bassin A, juillet 2015

Un système beaucoup plus complexe que le bassin B



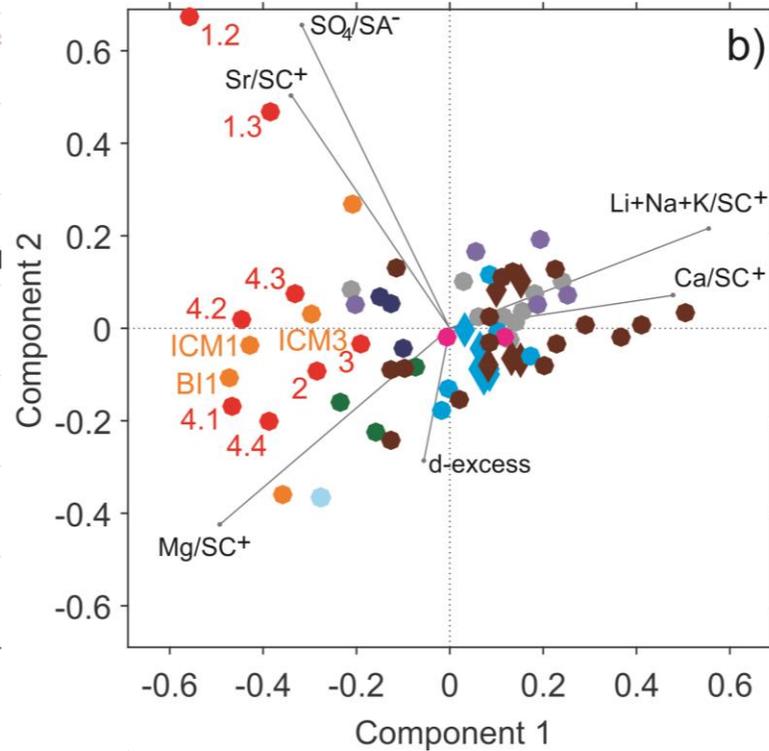
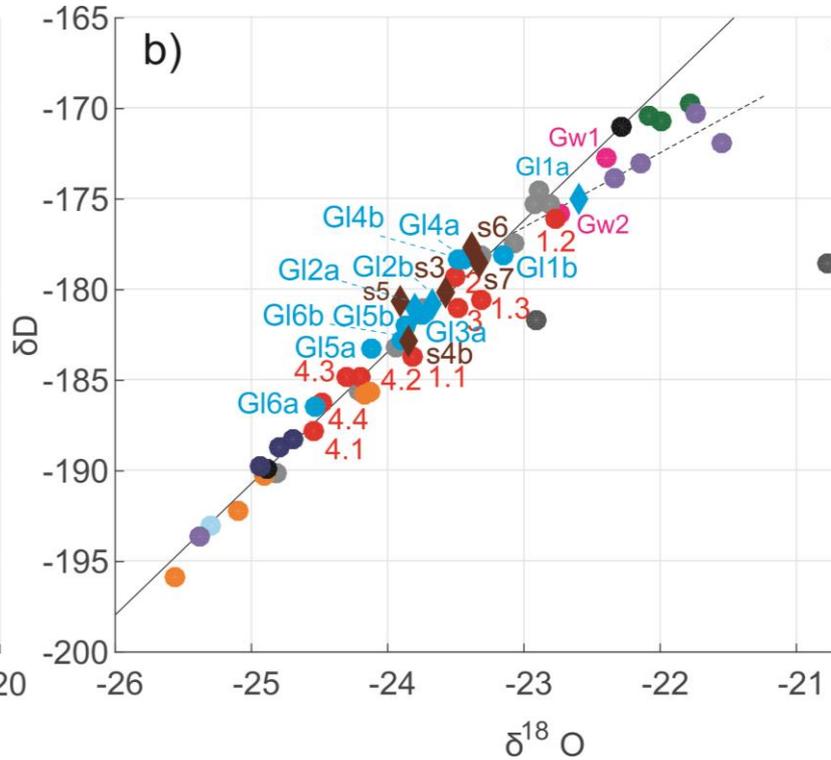


- Les sources actives inondent périodiquement la surface du enneigée du « aufies »



Analyse des
images
intermittentes
bassin A, juillet
2015

Les traceurs naturels

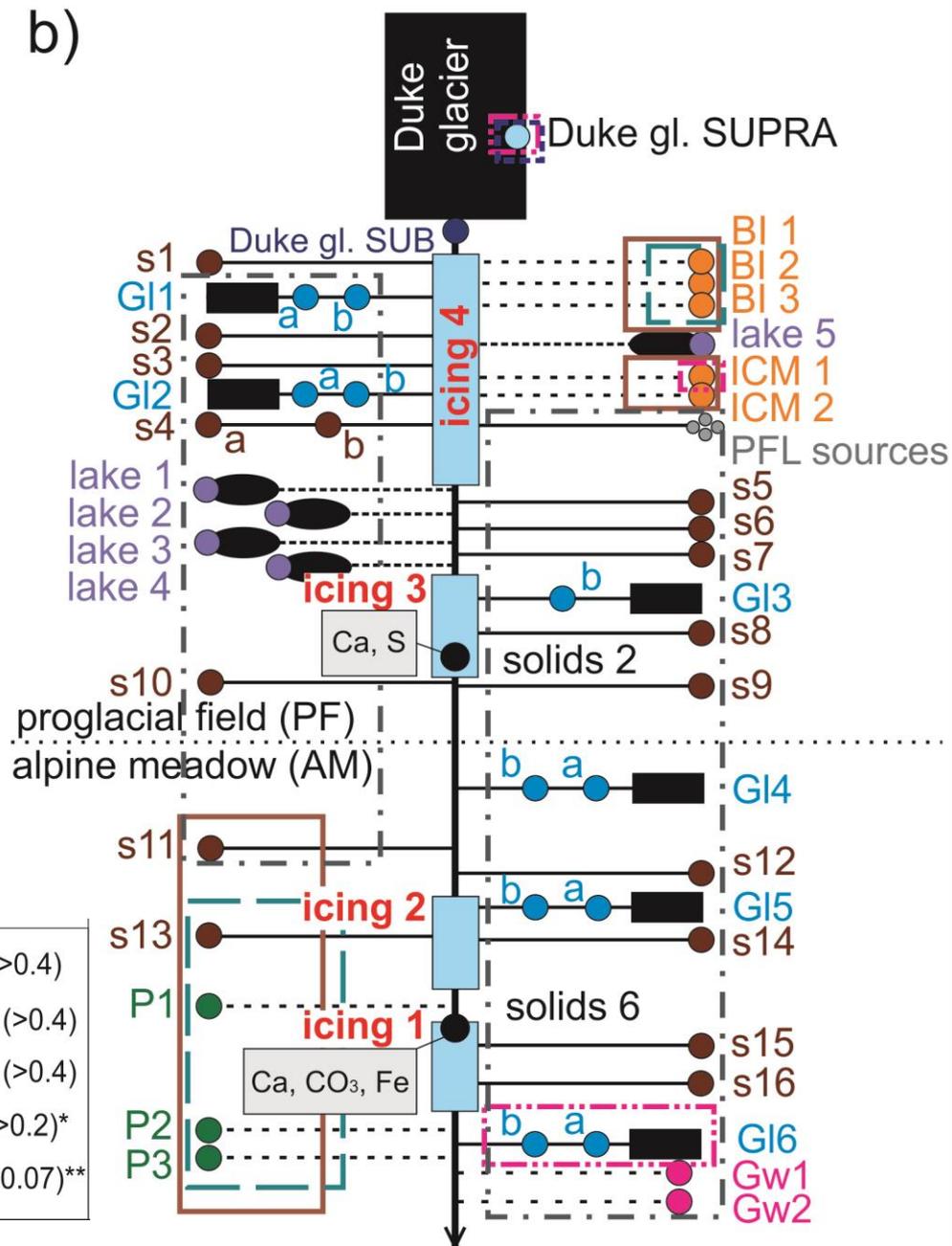


- icings
- supra glacier
- buried ice
- lakes
- stream
- glacier snout
- small glaciers
- sources
- permafrost
- PFL sources
- GW wells
- ◆ TLC sources

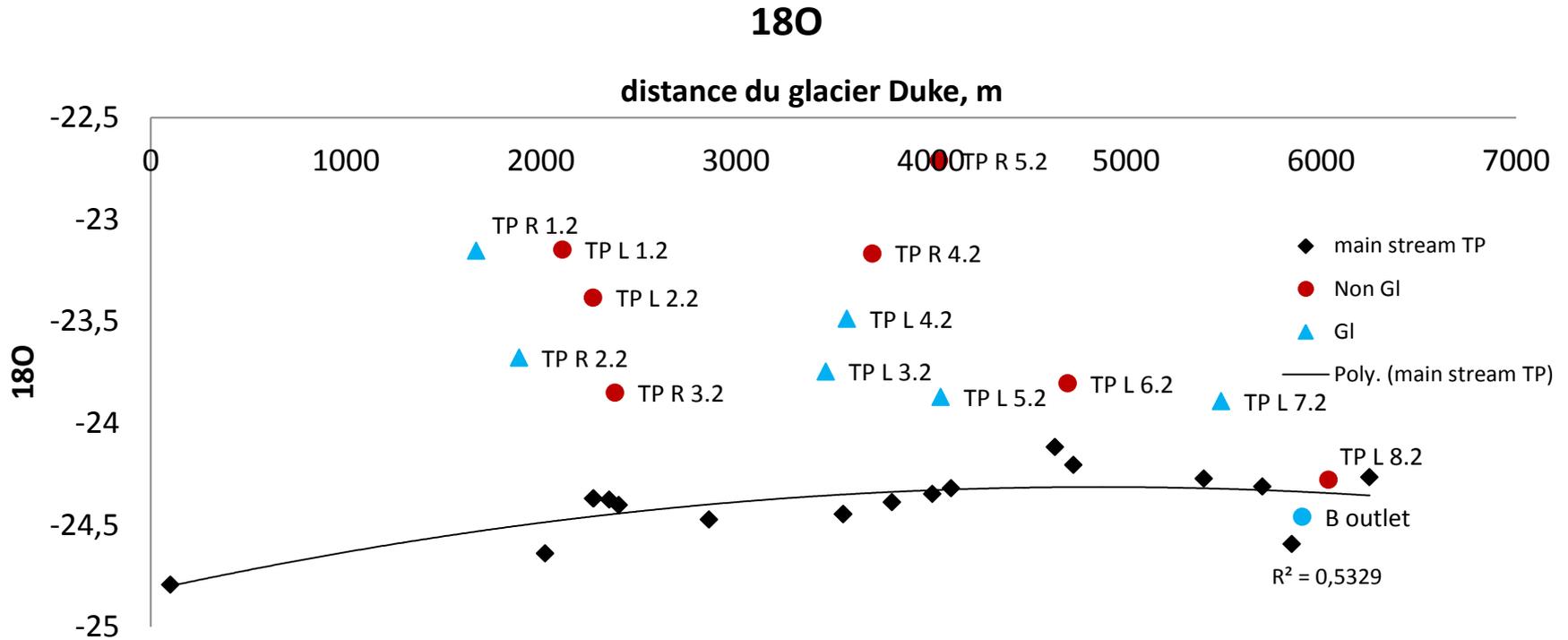
Les précipités cryogéniques

sample	icing	abundant ions	
		method 1	method 2
1		Ca, CaO, S, SO ₃	Ca, S
2	3	Ca, CaO, S, SO ₃	Ca, S
5		Al, Al ₂ O ₃ , Fe, Fe ₂ O ₃ , Si, SiO ₂	Al, Fe
6	1	Ca, CaO	Ca, Fe

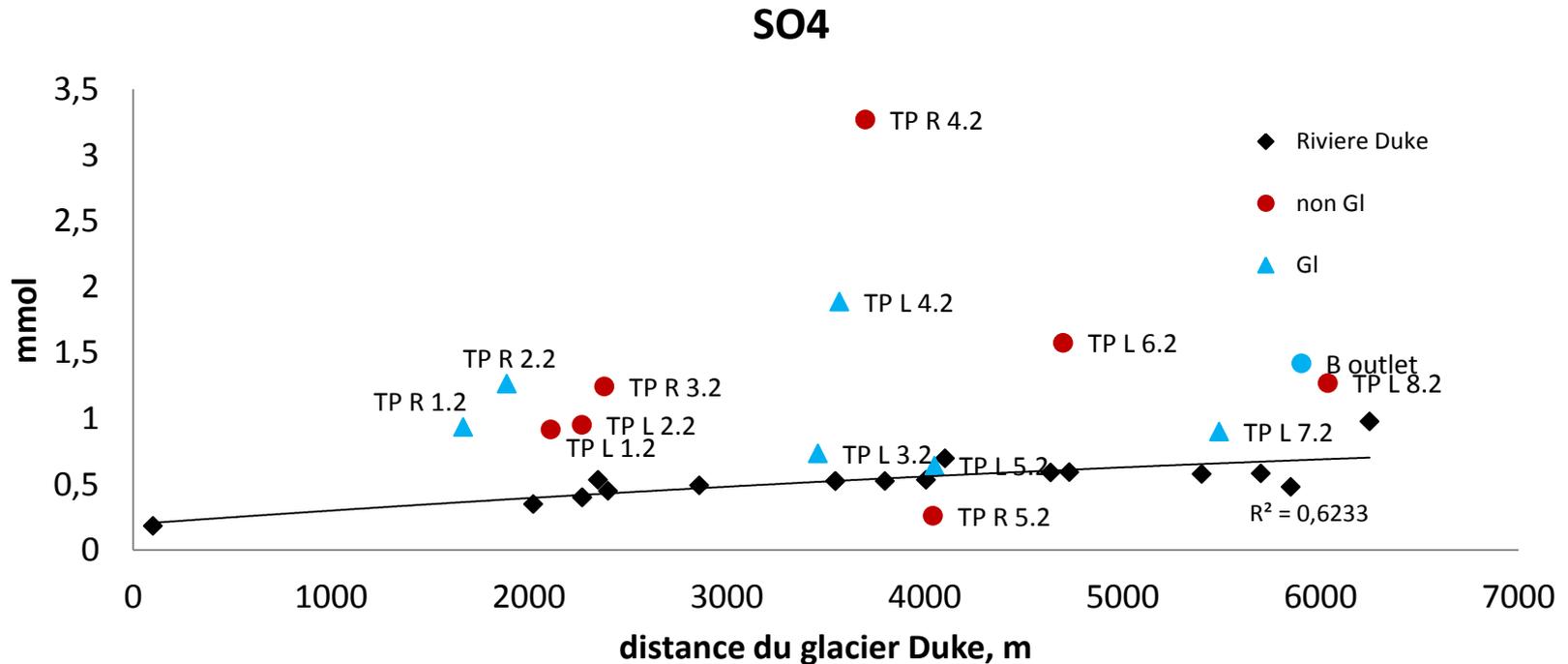
	high relative concentrations of Ca (>0.4)
	high relative concentrations of SO ₄ (>0.4)
	high relative concentrations of CO ₃ (>0.4)
	high relative concentrations of Fe (>0.2)*
	high relative concentrations of Al (>0.07)**



Les traceurs naturels



Les traceurs naturels



Indicatifs de la contribution de sources non glaciaires
mais le rapport bruit/signal est trop important pour
réaliser une analyse quantitative

Conclusion pour le bassin A

- Indication de sources d'eau non glaciaires actives durant toute l'année:
 - Aufeis
 - Précipités cryosphériques
- Evidences de la présence de sources d'eau souterraines (observation)
- Méthode de quantification des apports en eaux souterraines non adapté à la complexité du bassin

Conclusion

- Les eaux souterraines jouent un rôle hydrologique dans les vallées glaciaires du Yukon du sud-ouest
- La quantification des apports semble limitée à des bassins de petites tailles
- Il reste beaucoup de travail à faire pour mieux comprendre les processus impliqués dans ces apports (pergélisol, volume des aquifères, etc...)

