

# ESTIMATION DES APPORTS D'EAU SOUTERRAINE DANS DEUX RIVIÈRES DU QUÉBEC, PAR LE TRAÇAGE DU $^{222}\text{RN}$ ET DE L'ARGON

Floriane Moreira

Daniele Pinti, Marie Larocque

Congrès de l'Acfas 2015

# Introduction: objectifs de la maîtrise

- Objectif 1: comprendre l'origine du  $^{222}\text{Rn}$  dans les eaux souterraines
- Objectif 2: quantifier la décharge qui se fait de façon prédominante dans les rivières, à l'aide du  $^{222}\text{Rn}$

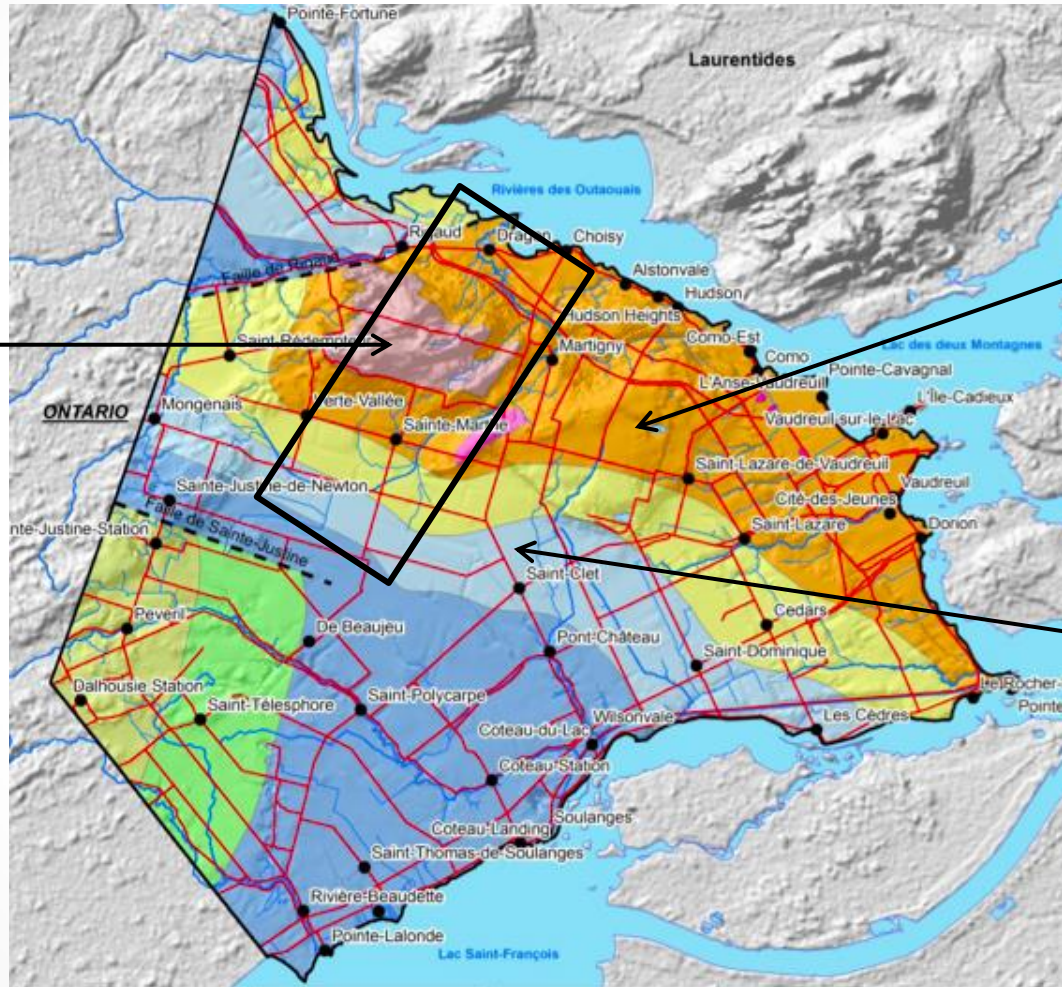
# Vaudreuil Soulange (854 km<sup>2</sup>)

Rivière à la  
Raquette:

Surface 114 km<sup>2</sup>  
Longueur 30 km

Agriculture 77,1% ; Milieu urbain 12,5%

Intrusion  
granitique  
Précambrienne



Grès du  
Potsdam  
Ordovicien

Dolomie du  
Beekmantown  
Ordovicienne



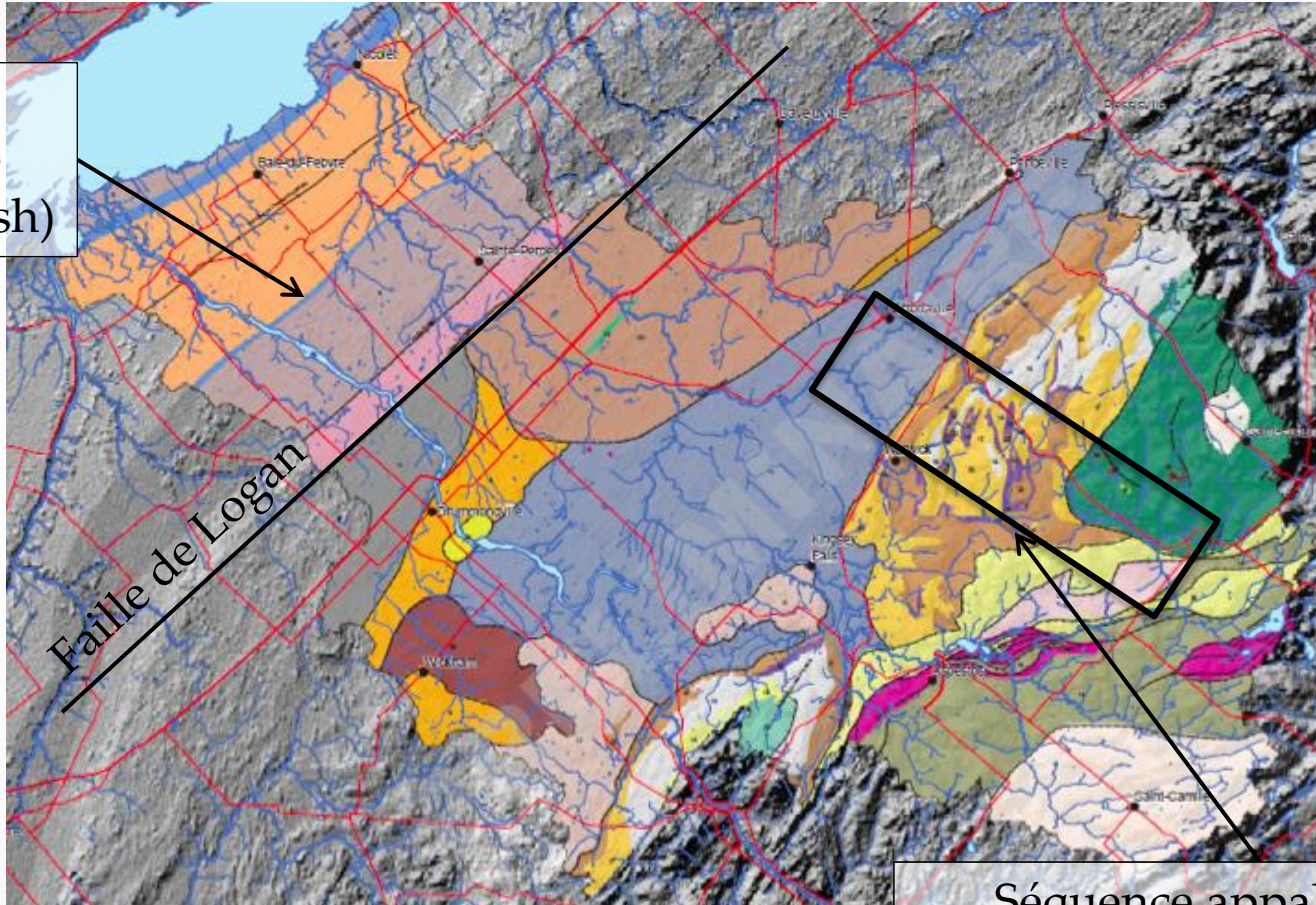
# Nicolet–Saint-François (4585 km<sup>2</sup>)

Rivière à la  
Nicolet:

Surface 137 km<sup>2</sup>  
Longueur 50 km

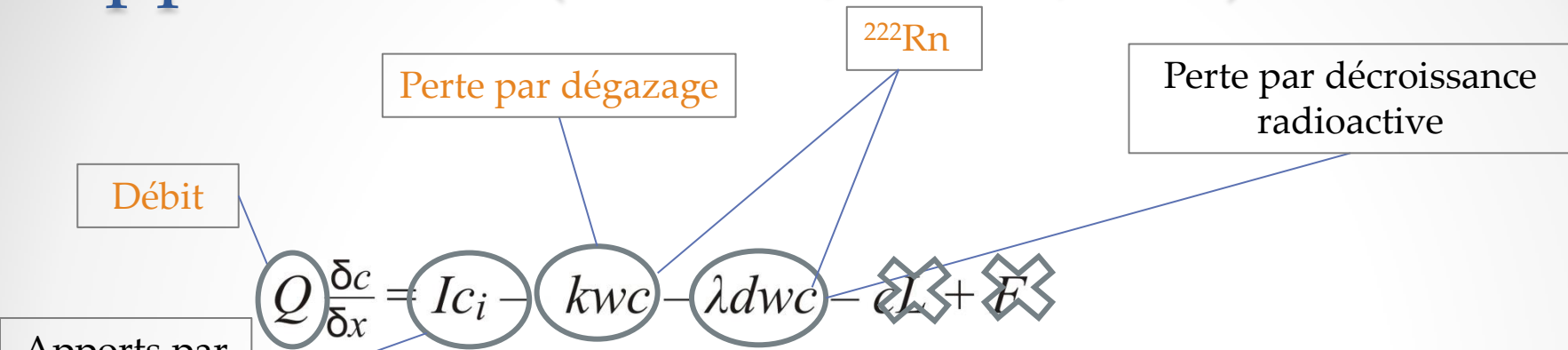
Agriculture 48% ; Milieu forestier 44,8%

Séquence  
sédimentaire  
(shales et flysh)



Séquence appalachienne:  
Méta-sédiments (grès, dolomies,  
ardoises, shistes)

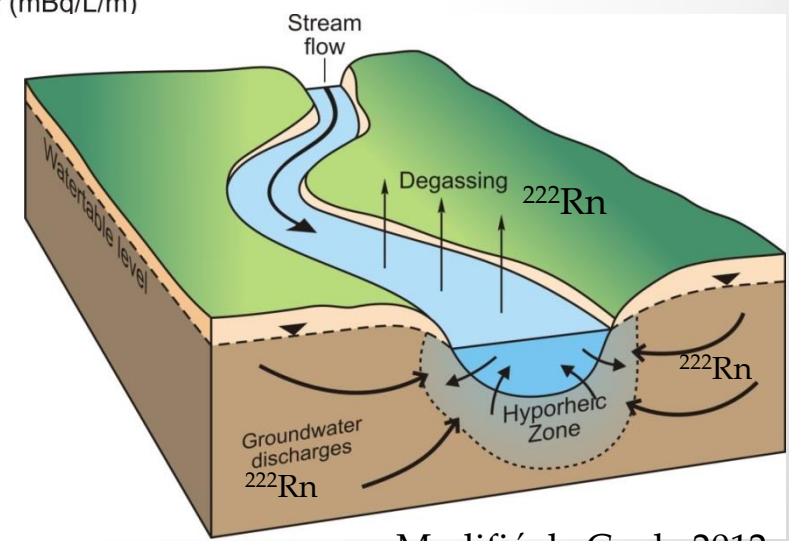
# Méthodologie: Modélisation de l'échange nappe-rivière (Radin 14; CSIRO, 2006)



Apports par les eaux souterraines

Where:

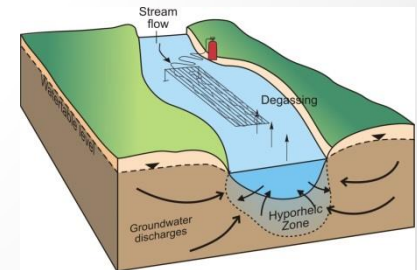
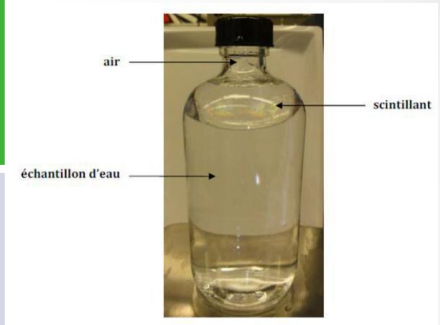
- $Q$  streamflow ( $m^3/d$ )
- $\delta c / \delta x$   $^{222}\text{Rn}$  concentration variation function of distance of the river ( $m\text{Bq/L/m}$ )
- $I$  inflows of groundwater in river ( $m^3/m/d$ )
- $c_i$  activity of  $^{222}\text{Rn}$  in groundwater ( $m\text{Bq/L}$ )
- $c$  activity of  $^{222}\text{Rn}$  in the river at distance  $x$  ( $m\text{Bq/L}$ )
- $k$  gas transfer velocity ( $m/d$ )
- $\lambda$  radioactive decay constant of  $^{222}\text{Rn}$  ( $/d$ )
- $d$  depth of the river ( $m$ )
- $w$  width of the river ( $m$ )
- $L$  rate of water loss from river by anthropic pumping ( $m^3/m/d$ )
- $F$  flux of  $^{222}\text{Rn}$  through the hyporheic zone ( $m^3/m/d$ )



Modifié de Cook, 2012

# Méthodologie: mesures sur le terrain et en laboratoire

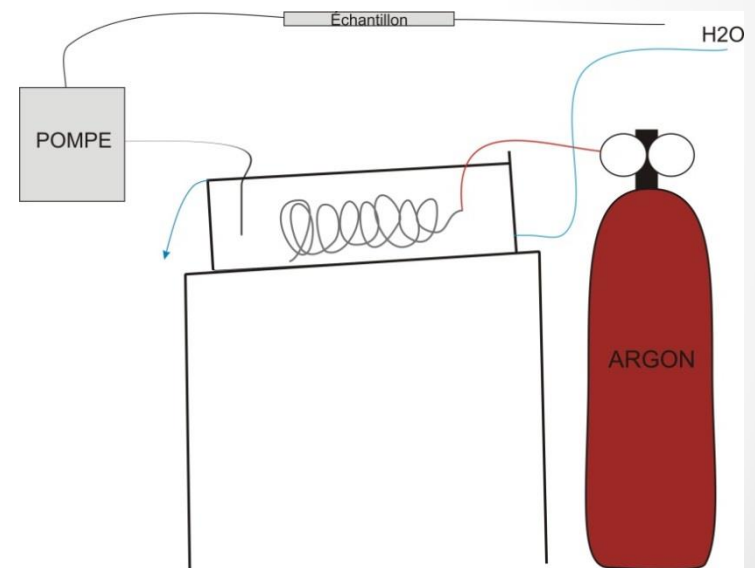
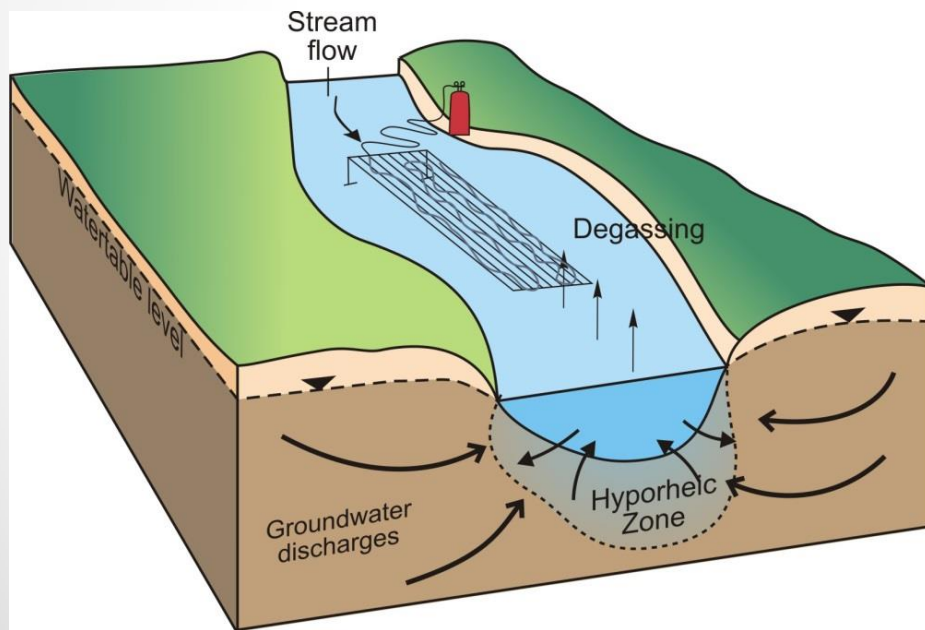
Outils	Utilité	Eaux souterrains	Eaux de surface
$^{222}\text{Rn}$	Traçage de la décharge	Oui	Oui
Débit	Effet de la dilution		+ largeur/ profondeur
Argon	Quantifier le taux de dégazage	Oui	Oui





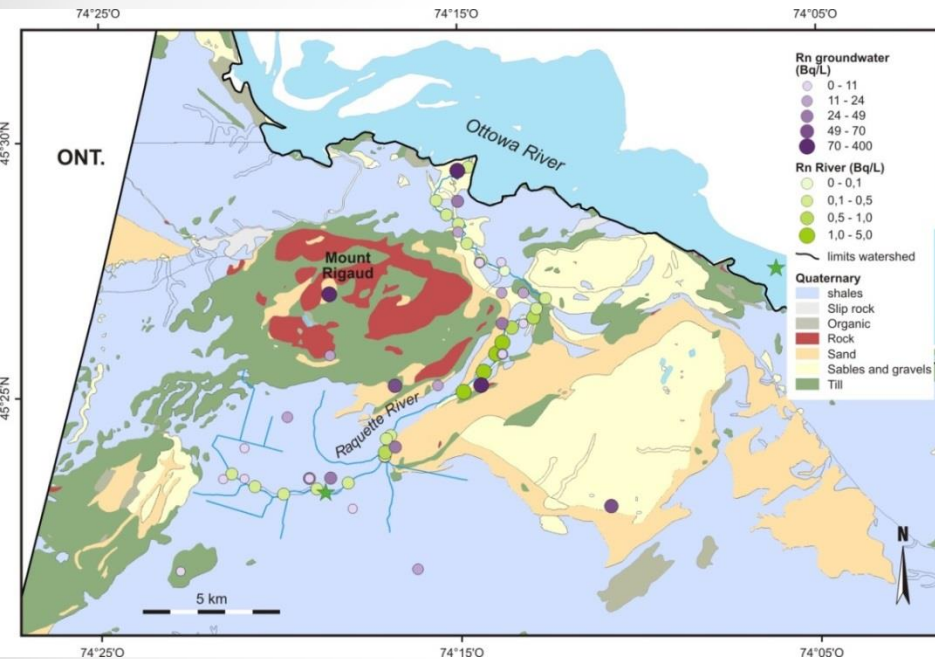
# Méthodologie: traçage à l'Argon

- Injection artificielle d'argon
- Mesures en parallèle de celle du radon
- Optimisation de la méthode en laboratoire

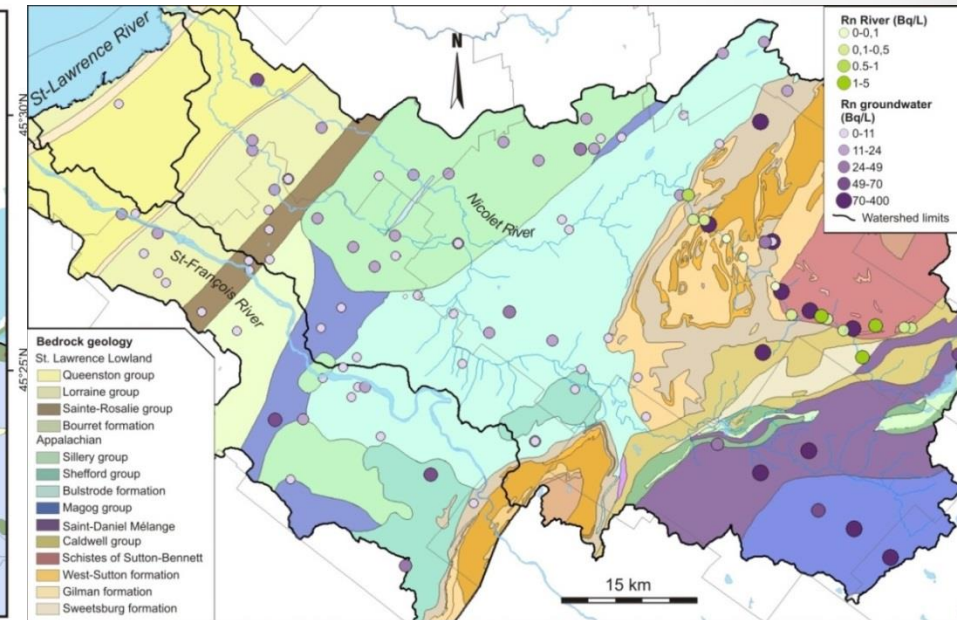


# Résultats: $^{222}\text{Rn}$ et débit

## Rivière à la Raquette



## Rivière Nicolet



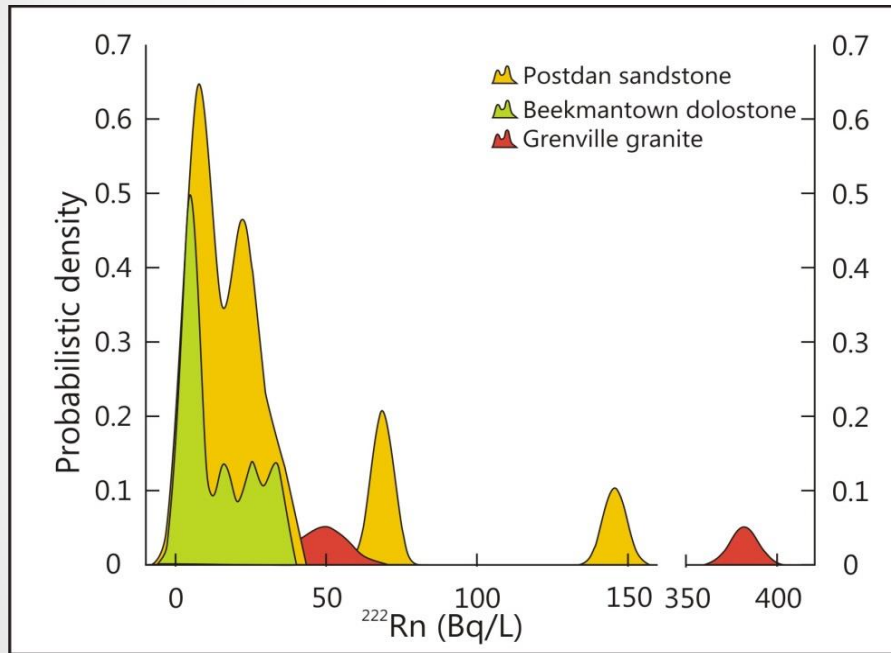
- 23 stations d'échantillonnage
- $91 < ^{222}\text{Rn} < 4300$  mBq/L
- $0,009 < Q < 0,27$  m<sup>3</sup>/s

- 13 stations d'échantillonnage
- $21,5 < ^{222}\text{Rn} < 1082$  mBq/L
- $0,014 < Q < 1,79$  m<sup>3</sup>/s



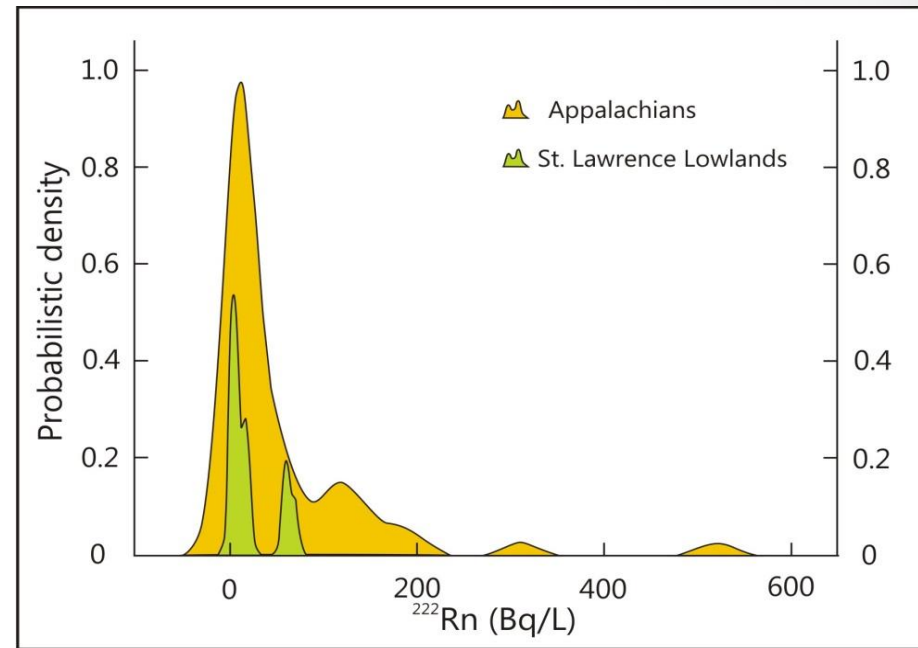
# Résultats: $^{222}\text{Rn}$ dans les eaux souterraines

## Vaudreuil-Soulange



- Potentiel plus fort dans le Grenville, mais peu de puits
- Gamme d'activité pour les grès du Postdam large

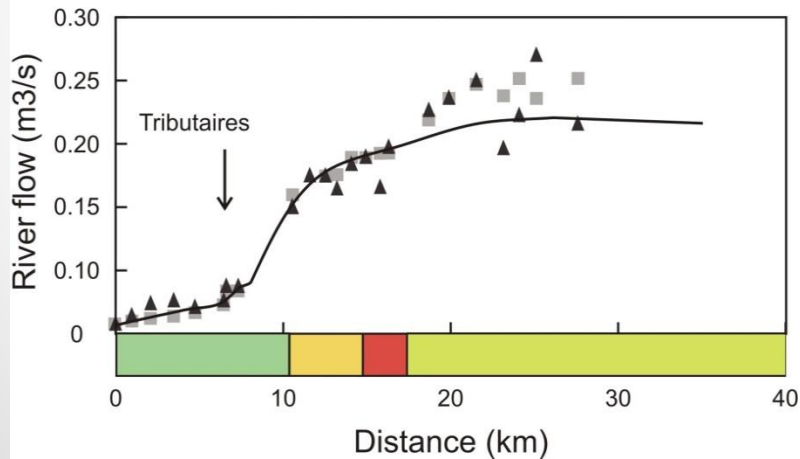
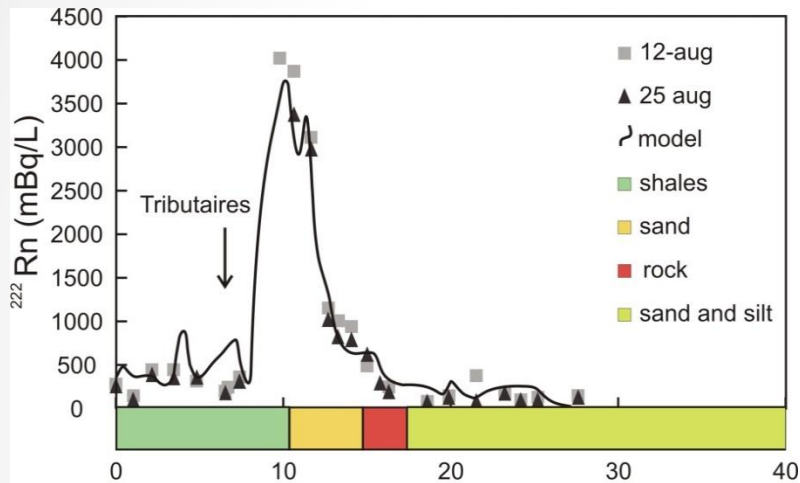
## Nicolet-bas-Saint-François



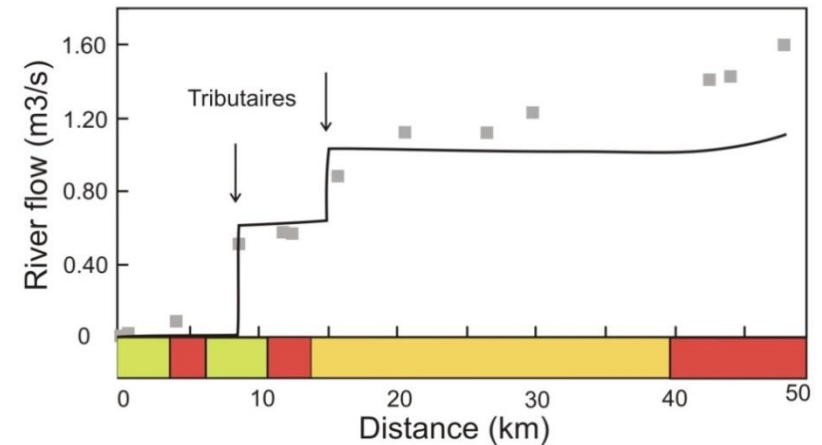
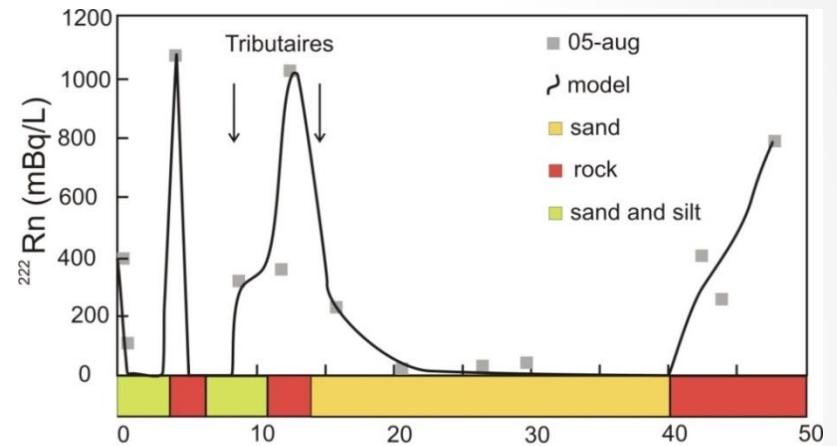
- Large gamme d'activités du  $^{222}\text{Rn}$  dans les aquifères appalachiens
- Faible activité du  $^{222}\text{Rn}$  dans les aquifères sédimentaires du St. Laurent

# Modéliastion: $^{222}\text{Rn}$ et débit

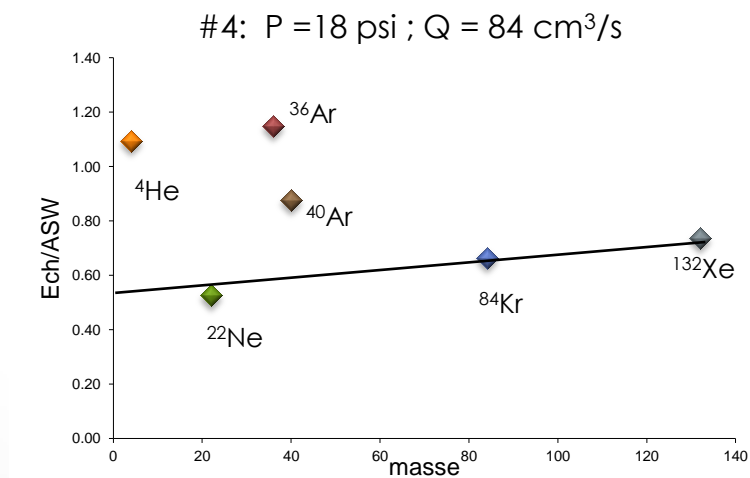
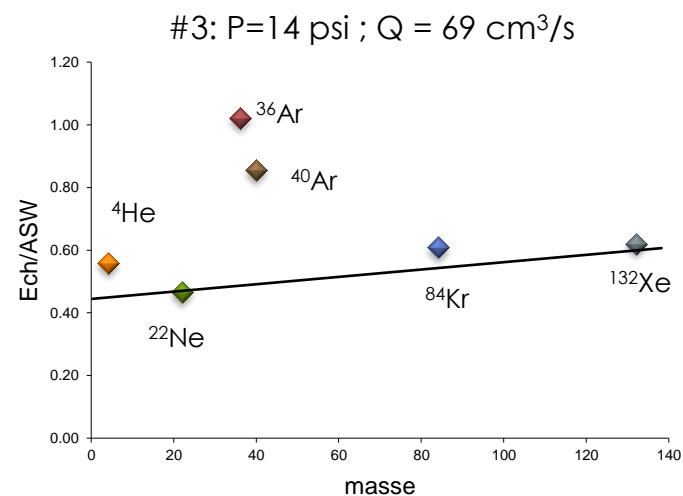
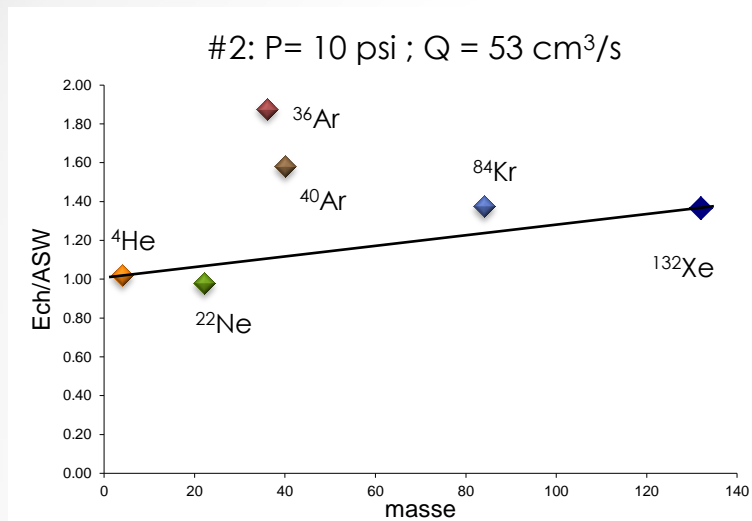
Rivière à la Raquette  
( $k=1,8\text{m/j}$ )



Rivière Nicolet  
( $k=1,9\text{ m/j}$ )

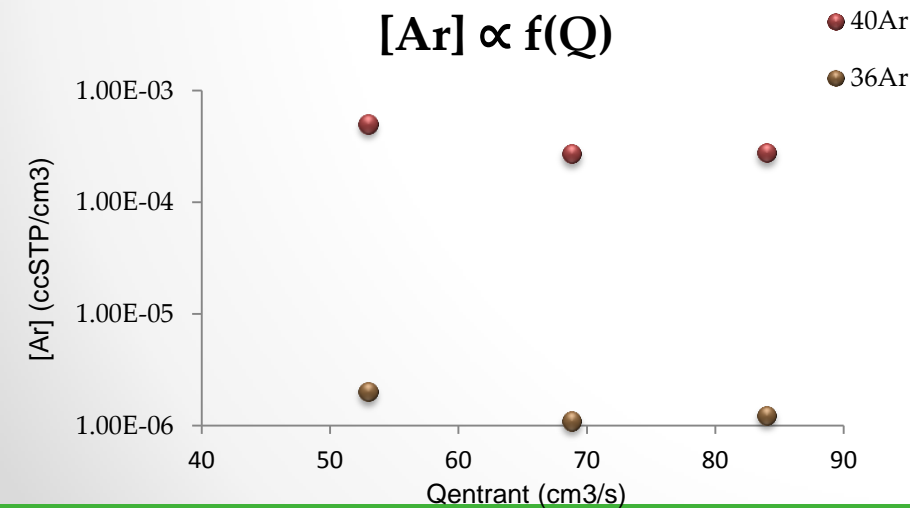
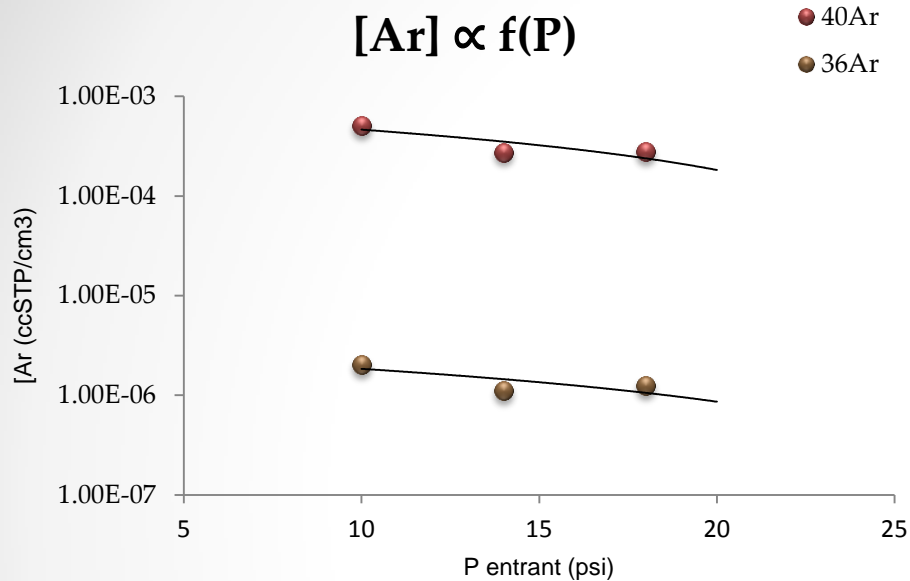


# Résultats: Injection d'argon





# Résultats: Injection d'argon



- Concentration d'argon dans l'eau diminue avec l'augmentation de la pression  
» Processus de dégazage dominant à forte pression

- Relation avec le débit peu évidente  
» Reflète sûrement la variation de la pression  
» À voir si un débit de l'ordre du m<sup>3</sup>/s, à pression constante, fait une différence

# Conclusions

- Les deux rivières possèdent des caractéristiques différentes et donc des **environnements contrastés**
- Les activités du  $^{222}\text{Rn}$  dans les eaux souterraines sont contrôlées par la **lithologie des aquifères**
- La **quantification des volumes échangés** entre les eaux souterraines et les rivières est possible
- Les premiers **tests en laboratoire** apporte un début d'informations sur l'optimisation du traçage, mais demande à être approfondis

# Merci de votre attention !

*Développement durable,  
Environnement et Lutte  
contre les changements  
climatiques*

Québec 



**COBAVER-VS**

Conseil du bassin versant  
de la région de Vaudreuil-Soulanges



CRÉ

CONFÉRENCE RÉGIONALE  
DES ÉLUS DU CENTRE-DU-QUÉBEC



CRÉ  
DE L'ESTRIE

CONFÉRENCE RÉGIONALE  
DES ÉLUS DE L'ESTRIE



Conseil de gouvernance de l'eau  
des bassins versants de la rivière Saint-François



Municipalité Régionale de Comté de  
**VAUDREUIL-SOULANGES**



GÉOMONT



**AGTCQ**

Agence de géomatique du Centre-du-Québec



**COPERNIC**

organisme de **C**oncertation **P**our l'**E**au  
des bassins versants de la **R**ivière **N**icolet

[www.copernicinfo.qc.ca](http://www.copernicinfo.qc.ca)



# Annexe I: Histoire géologique

## VS

1. Intrusion précambrienne:  
pluton syénite/granite
2. Dépôts sédimentaires:  
Grès Potsdam = milieu  
continental  
Dolomie Beekmantown =  
transition lagunaire à marin
3. Dépôts meubles:  
Dernière avancés glaciaire= till  
de Gentilly + fluvioglaciaire/  
glaciolucustres  
Déglaciation= argiles de la Mer  
de Champlain

## NSF

1. Orogène taconienne: zone  
distale, faible déformation;  
Méta-sédiments
2. Ouverture bassin du St-  
Laurent: fin de séquence  
sédimentaire, dépôts de  
marins + flysch
3. Dépôts meubles:  
Dernière avancés glaciaire= till  
de Gentilly + fluvioglaciaire/  
glaciolucustres  
Déglaciation= argiles de la Mer  
de Champlain

# Annexe II: Profil Raquette [Riv]

No Station	Y	X	Distance St1=0 km	Qmoy m <sup>3</sup> /s	Rn moy mBq/L	lar moy m	prof moy m
1	45,391630	-74,355894	0,00	0,009	277,938	1,450	0,129
2	45,387468	-74,345162	0,98	0,013	134,654	1,100	0,073
3	45,385002	-74,331929	2,13	0,018	419,940	1,015	0,199
4	45,386591	-74,316570	3,44	0,016	364,653	1,803	0,247
5	45,388362	-74,302037	4,76	0,017	339,517	2,967	0,119
6	45,397005	-74,284839	6,48	0,023	195,893	3,800	0,137
7	45,398455	-74,284697	6,64	0,030	348,101	2,900	0,131
8	45,403808	-74,281972	7,34	0,029	358,431	1,833	0,097
10	45,417815	-74,248044	10,56	0,105	3953,898	6,975	0,205
11	45,424397	-74,238584	11,62	0,118	3220,486	4,433	0,157
12	45,430128	-74,232866	12,61	0,125	1092,697	5,950	0,196
13	45,433838	-74,229873	13,24	0,108	1022,520	8,733	0,277
14	45,438657	-74,225402	14,03	0,137	868,379	8,125	0,191
15	45,441844	-74,215353	14,99	0,140	634,015	12,150	0,168
16	45,444847	-74,213946	15,81	0,130	313,340	9,175	0,293
17	45,448037	-74,209672	16,30	0,146	228,501	11,425	0,146
18	45,457207	-74,228557	18,61	0,162	91,308	4,300	0,188
19	45,460721	-74,239324	19,93	0,188	136,980	4,400	0,158
20	45,466201	-74,245963	21,57	0,200	227,837	8,850	0,271
21	45,472767	-74,249715	23,20	0,167	185,129	6,650	0,429
22	45,475688	-74,255310	24,19	0,187	116,439	5,100	0,258
23	45,480324	-74,260140	25,17	0,203	124,933	9,300	0,213
24	45,491229	-74,245081	27,59	0,184	133,308	8,850	0,228
Trib1	45,397058	-74,284840	6,49	0,007	480,649	1,100	0,038
Trib2	45,398356	-74,284698	6,63	0,002	550,124	0,850	0,070
Trib3	45,402713	-74,284052	7,13	0,003	206,009	1,200	0,041

# Annexe III: Profil VS [GW]

Échantillon	x	y	depth	Cond_electrique	222Rn	aquifer	group
VS01	-74,35521	45,39208	75	378	5,08	roc	beekmaintown
VS02	-74,34682	45,390695	46	407	3,28	roc	beekmaintown
VS03	-74,31942	45,38733	46	431	6,39	gr	
VS04	-74,31368	45,386034	61	743	25,16	roc	beekmaintown
VS05	-74,30847	47,385809	55	736	25,16	roc	Potsdam
VS06	-74,30216	45,38499	26	588	4,93	gr	
VS07	-74,28192	45,403459		741	35,60	roc	Potsdam
VS09	-74,25617	45,421236	55	424	23,19	roc	Potsdam
VS10	-74,24433	45,419415		401	9,11	roc	Potsdam
VS11	-74,23892	45,424581		293	108,84		
VS12	-74,23461	45,430237	30	296	19,16	roc	Potsdam
VS13	-74,23438	45,434136		605	8,18		
VS14	-74,22612	45,440024		497	27,26		
VS15	-74,21886	45,442933	50	401	6,38	roc	Potsdam
VS16	-74,21818	45,447094		226	12,06	roc	Potsdam
VS17	-74,22766	45,457402	64	356	4,19	roc	Potsdam
VS18	-74,2373	45,459559		380	23,55		
VS19	-74,24395	45,463984	50	324	3,83	roc	Potsdam
VS20	-74,25097	45,472829	76	692	22,65	roc	Potsdam
VS24	-74,24508	45,491229	69,5	1050	145,45	roc	Potsdam



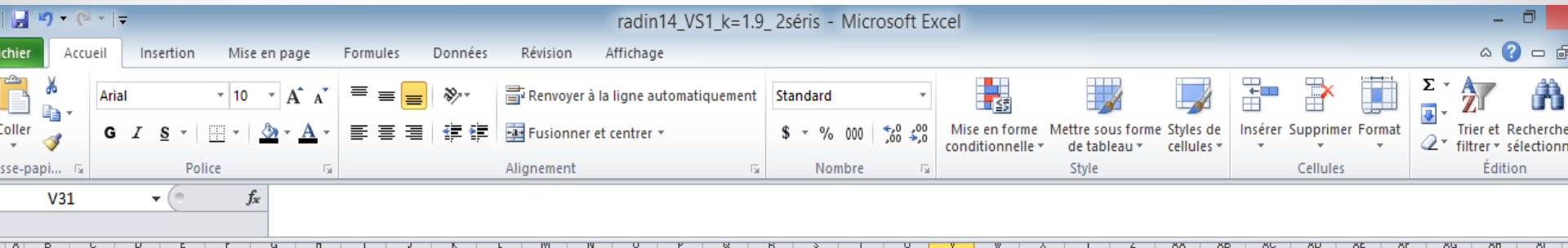
# Annexe IV: Profil Nicolet [Riv]

No Station	Y	X	Distance	Q1	LARGEUR	PROFOND EUR	RADON	RADON	COND
			km	m <sup>3</sup> /s	m	m	Bq/L	mBq/L	uS/cm
1	45,888265	-71,606868	0,40	0,014	2,8	0,081	0,39	394,6	105
2	45,889197	-71,616980	0,92	0,027	4,5	0,148	0,11	110,8	75
3	45,892224	-71,657414	4,50	0,093	9,0	0,120	1,08	1082,2	129
4	45,888710	-71,703368	9,01	0,514	13,4	0,482	0,32	315,7	105
5	45,900494	-71,725659	12,10	0,578	22,5	0,259	0,36	355,9	92
6	45,904139	-71,734680	12,80	0,568	16,5	0,673	1,02	1024,1	100
7	45,906501	-71,777103	16,10	0,882	23,7	0,262	0,23	230,7	109
8.1	45,935245	-71,798140	20,90	1,128	29,6	0,340	0,02	21,5	112
8.2	45,965861	-71,842212	26,84	1,122	18,4	0,289	0,03	30,4	126
9	45,985260	-71,865590	30,10	1,235	25,0	0,237	0,04	43,6	128
10	46,004543	-71,895674	42,90	1,81	0,0		0,41	405,5	130
11	46,005427	-71,912249	44,37	1,430	17,1	0,408	0,25	254,1	133
12	46,030174	-71,917908	48,20	1,79			0,79	790,9	167
Trib1	45,861397	-71,677854	8,99	0,36	12,600	0,269	1,09	1091	103

# Annexe V: Profil NSF [GW]

#	X	Y	PROF (m)	AQUIFÈRE	RADON	CONDUCTI VITÉ	DISTANCE (km)	distance	litho
NSF01	45,88919	-71,60394	98	ROC	28,54	247	0,2	0	Sutton
NSF02	45,88958	-71,61795		GR	111,08	51	0,92	0,72	Sutton
NSF03	45,89262	-71,65724			61,07		4,5	4,3	Sutton
NSF165	45,88655	-71,68505	1,5	ROC	168,09		8,33	8,13	Sutton
NSF04	45,89164	-71,69876		GR	13,08	52	9,01	8,81	Sutton
NSF05	45,90152	-71,72526	17	GR	26,20	72	12,1	11,9	Sutton
NSF06	45,90832	-71,74896	18	ROC	520,23	313	12,96	12,76	Sutton
NSF166	45,91104	-71,74690	1,2	GR	116,93		13,31	13,11	Sutton
NSF07	45,90370	-71,48055	23	ROC	37,10	377	16,7	16,5	Sutton
NSF167	45,99925	-71,88764	1,2	GR	72,17		22,28	22,08	Sutton
NSF182	45,93438	-71,78827	90,0	ROC	134,59		20,3	20,1	Sutton
NSF08.1	45,93536	-71,79726			104,79	103	20,94	20,74	Oak
NSF09	45,98534	-71,86518			123,28	320	24,2	24	Oak
NSF10	45,99927	-71,88626		GR	52,96	172	29,75	29,55	Oak
NSF12	46,00578	-71,91202	6	GR	6,52	418	32,03	31,83	Oak
NSF08.2	45,96819	-71,84317	91	ROC	55,67	999	26,84	26,64	Oak
NSF11	46,00518	-71,89496	52	ROC	48,61	670	27,7	27,5	Oak
NSF13	46,00741	-71,91153			28,23	604	31,3	31,1	Oak

# Annexe VI: modélisation VS

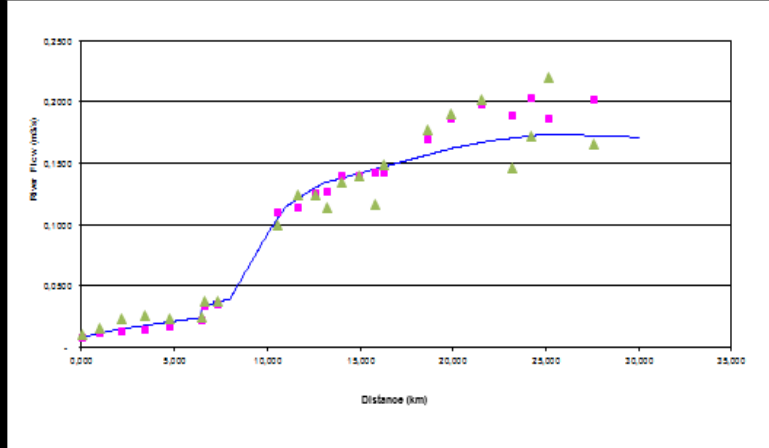
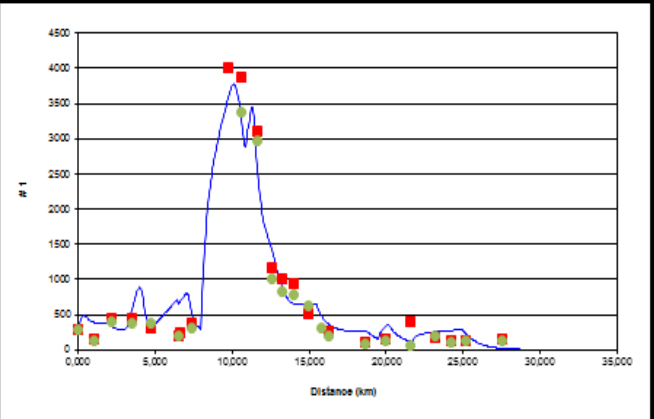
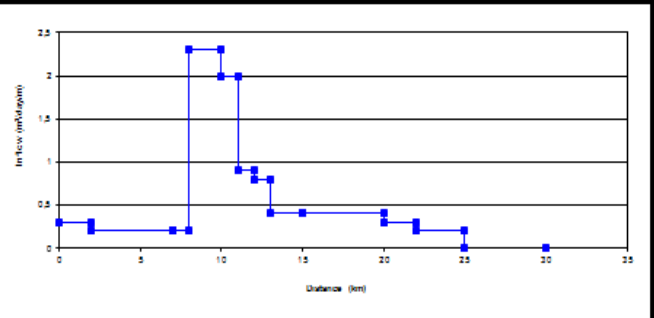


**GROUNDWATER INFLOW WORK**

Distance (km)	Inflow ( $m^3/ds/m$ )
0	0.3
2	0.3
2	0.2
7	0.2
7	0.2
8	0.2
8	2.3
10	2.3
10	2
11	2
11	0.9
12	0.9
12	0.8
13	0.8
13	0.4
15	0.4
15	0.4
20	0.4
20	0.3
22	0.3
22	0.2
25	0.2
25	0
30	0

Radon 1 (mBq/L)	
0	0
2	0
2	0
7	0
7	0
8	0
8	0
10	0
10	0
11	0
11	0
12	0
12	0
13	0
13	0
15	0
15	0
20	0
20	0
22	0
22	0
25	0
25	0
30	0



# Annexe VII: modélisation NSF

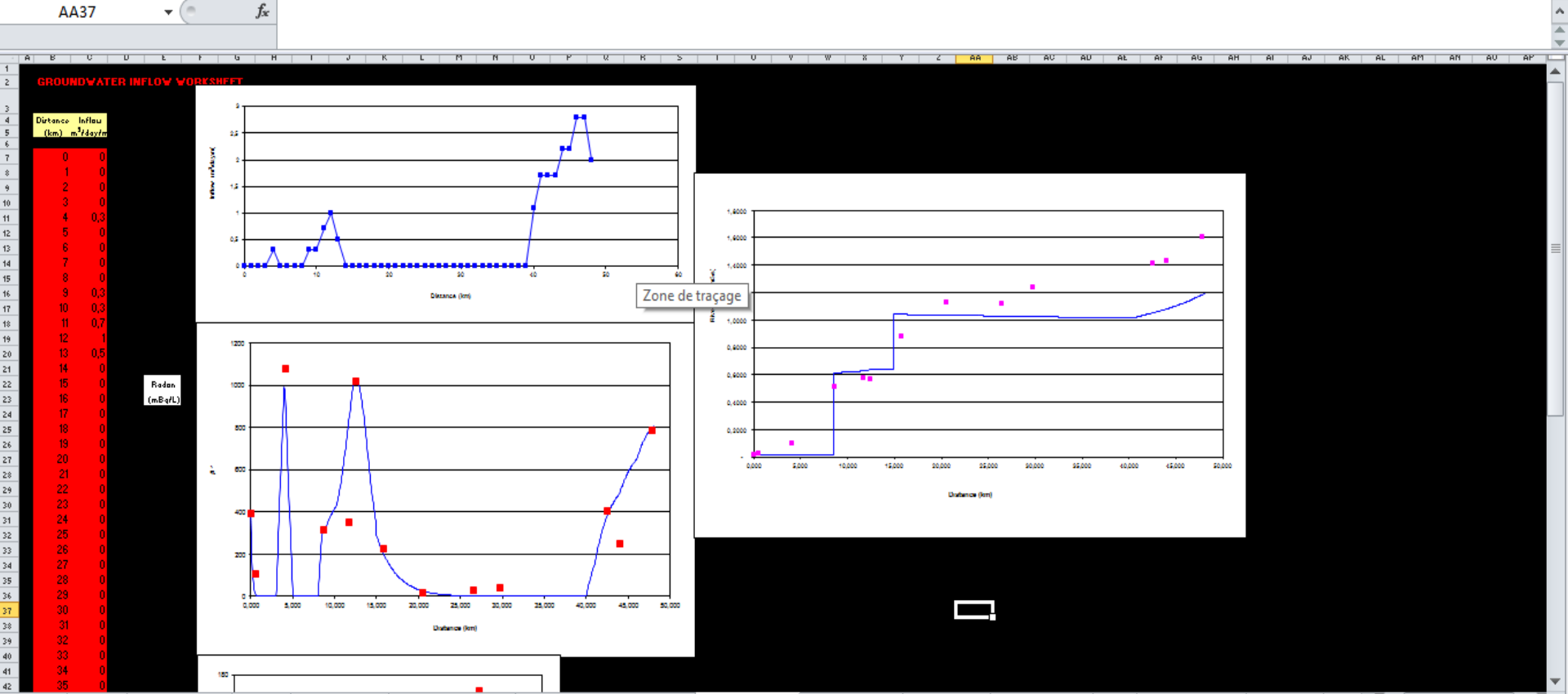
radin14\_NSF2\_ML - Microsoft Excel

Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage

Arial 10 Standard \$ % 000 +,0 -,0

Coller Presse-papi... Police Alignement Nombre Style Cellules Édition

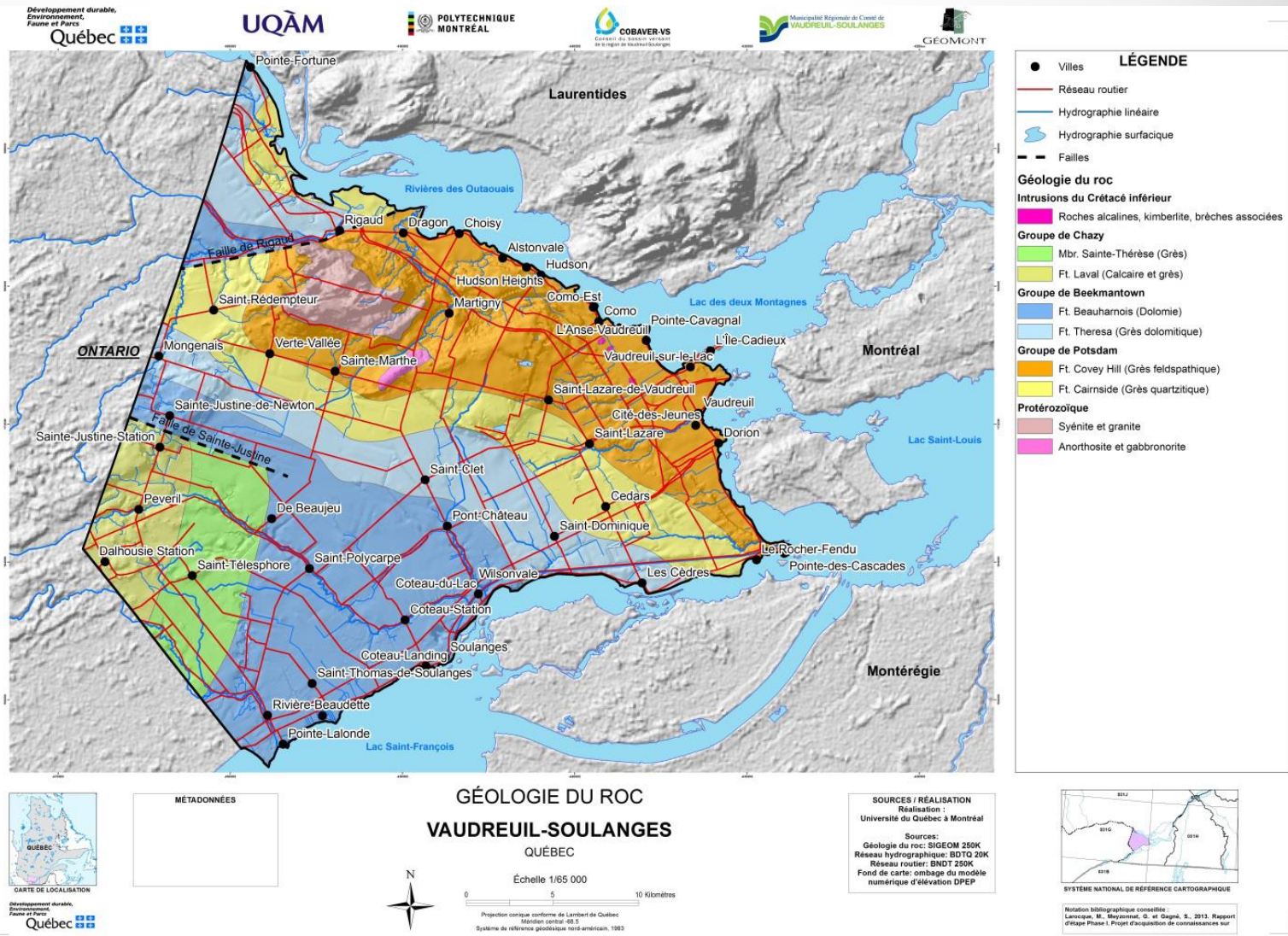
AA37



# Annexe VIII: géologie du roc VS

Province du  
Greenville:  
>> intrusion et  
granite et  
syénite

Provinces des  
Basses-Terres-  
du-Saint-  
Laurent:  
>> grès du  
Postdam et  
dolomie du  
Beekmantown



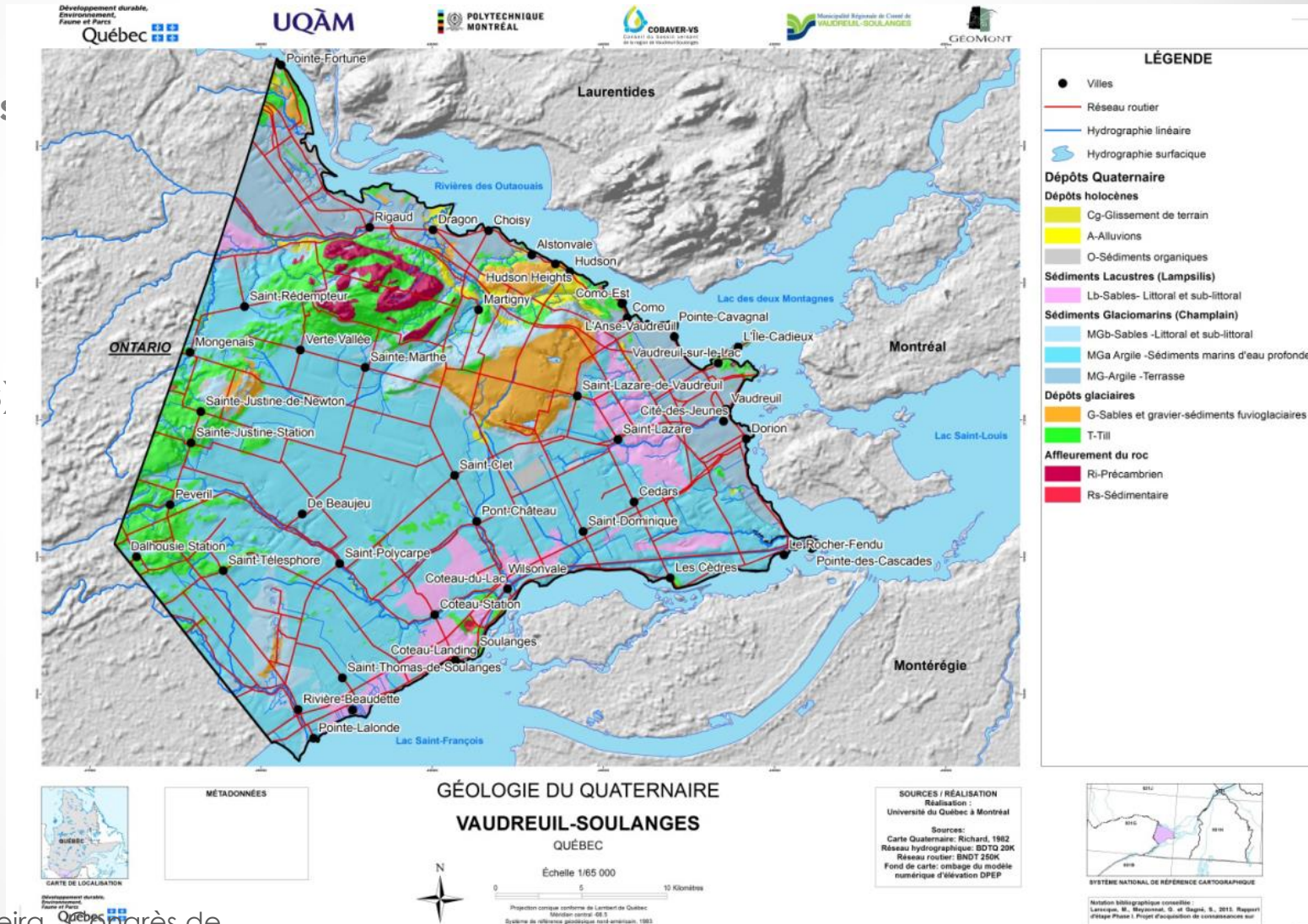


# Annexe IX: géologie du Quaternaire VS

>> Couverture de till par dessus intrusion

>> Dépôt sableux (fluvioglaciaires)

>> Argiles de la Mer de Champlain



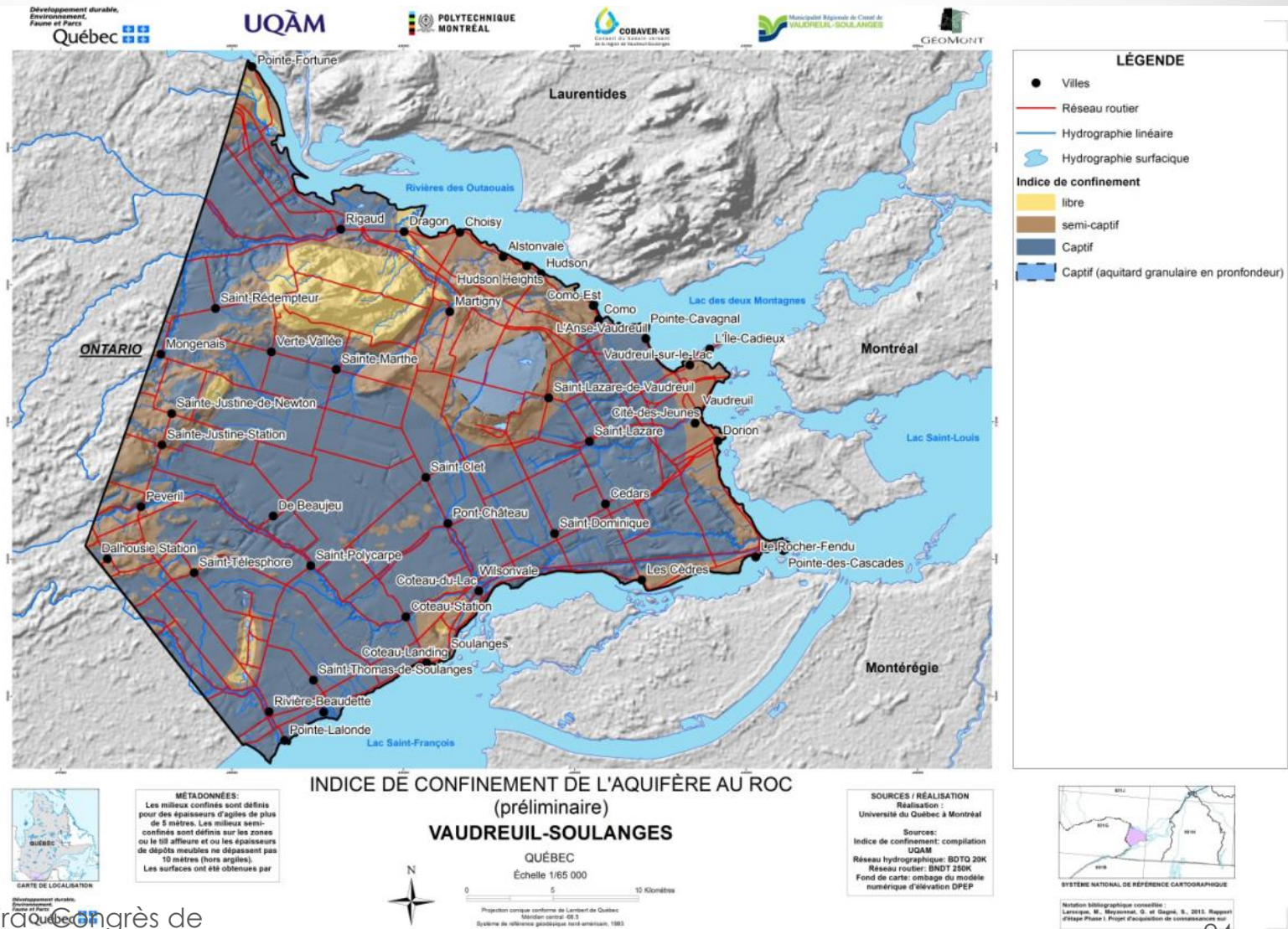
# Annexe X: indice de confinement VS

Confinement des nappes:

>> +5m d'argile = captif

>> -10 m de dépôts = semi-captif

>> till mince /sables = libre

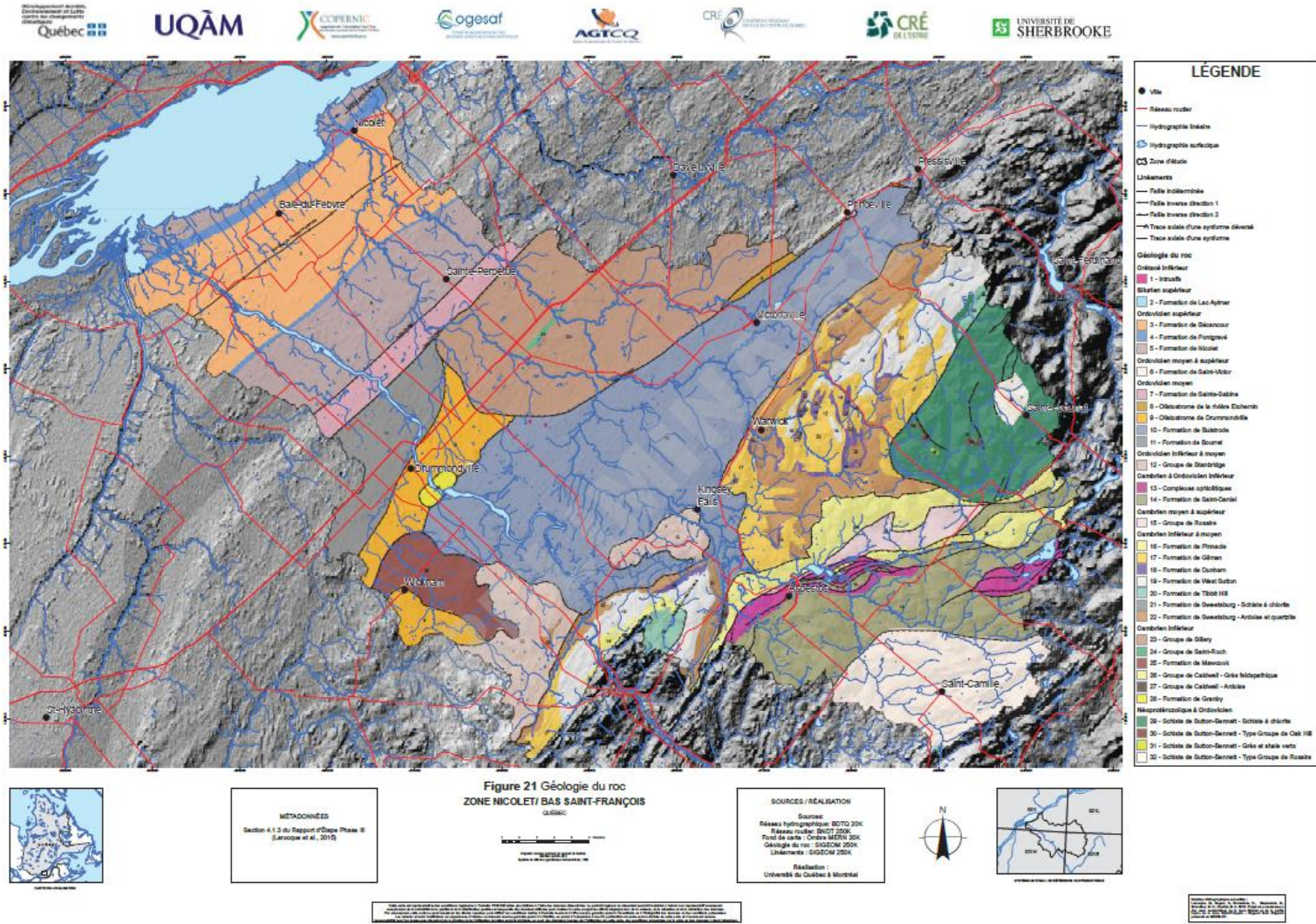




# Annexe XI: géologie du roc NSF

Province des  
Appalaches:  
>> roches  
méta-  
sédimentaire

Province des  
Basses-Terre-  
du-Saint-  
Laurent:  
>> roches  
sédimentaire (  
déformés)





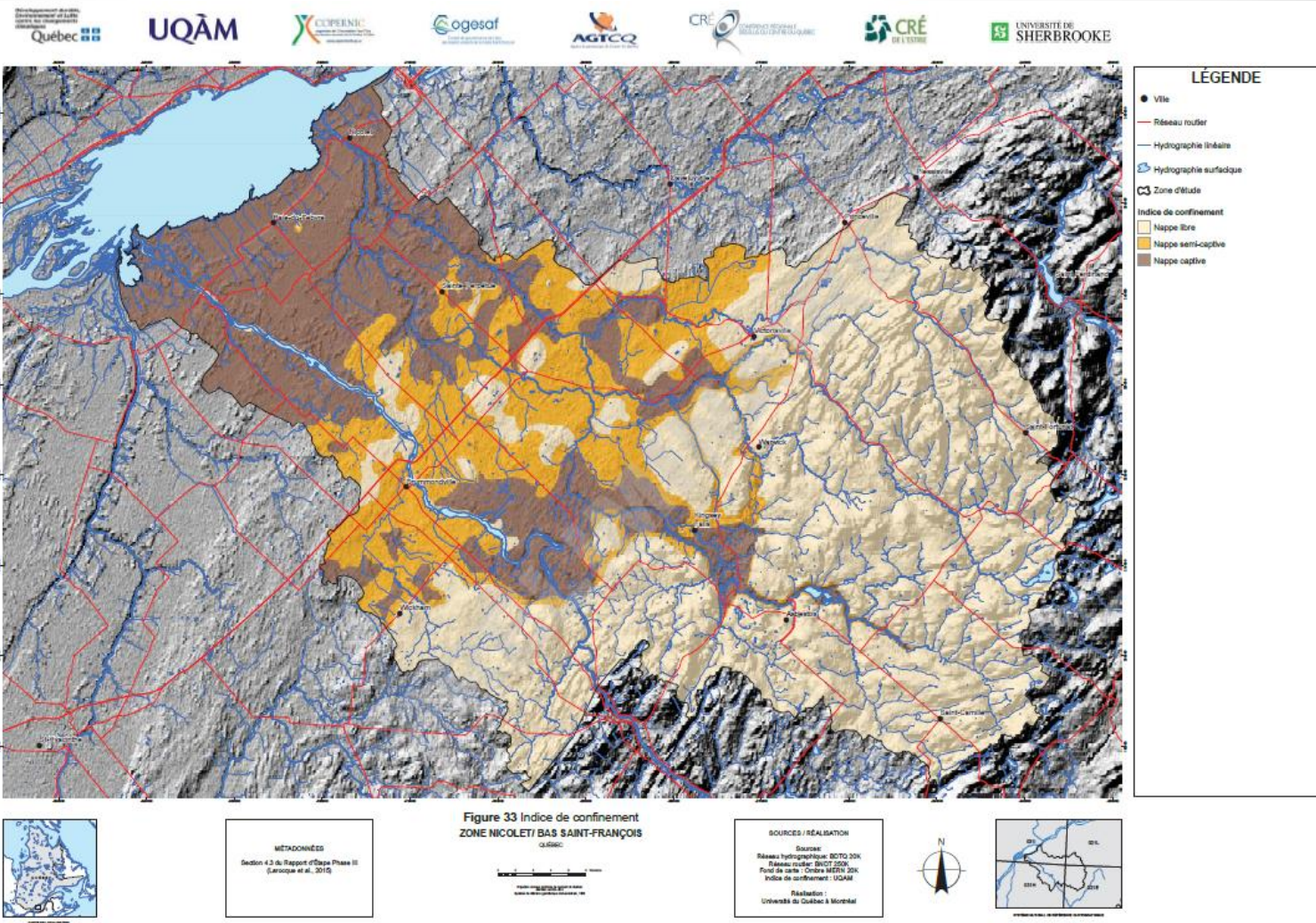




# Annexe XIII: indice de confinement NSF

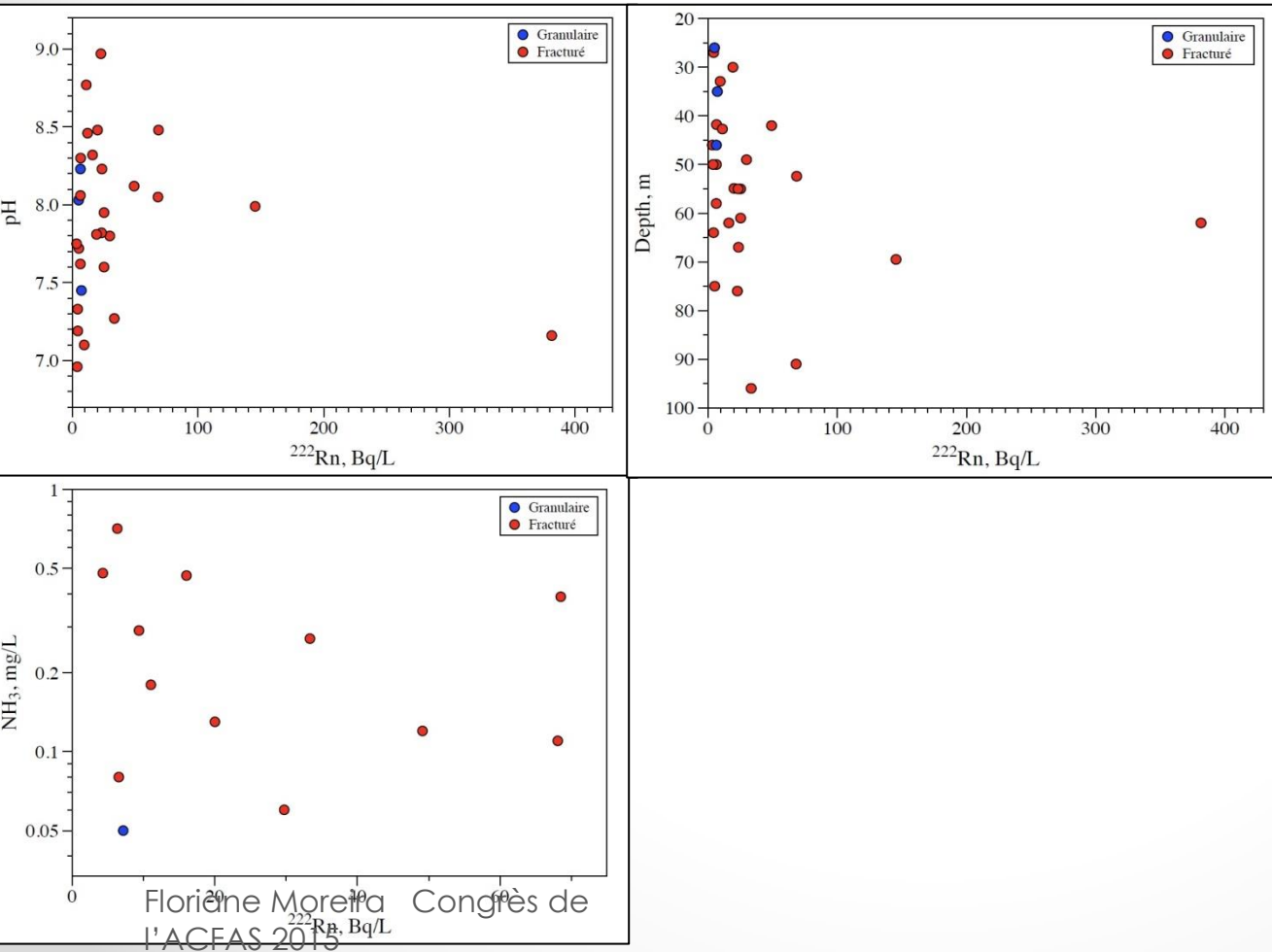
Confinement des nappes:

- >> -1m d'argile / -3m till compact = libre
- >> 1-3m d'argile / 3-5m till = semi-captif
- >> +3m d'argiles / +5m till compact = captif



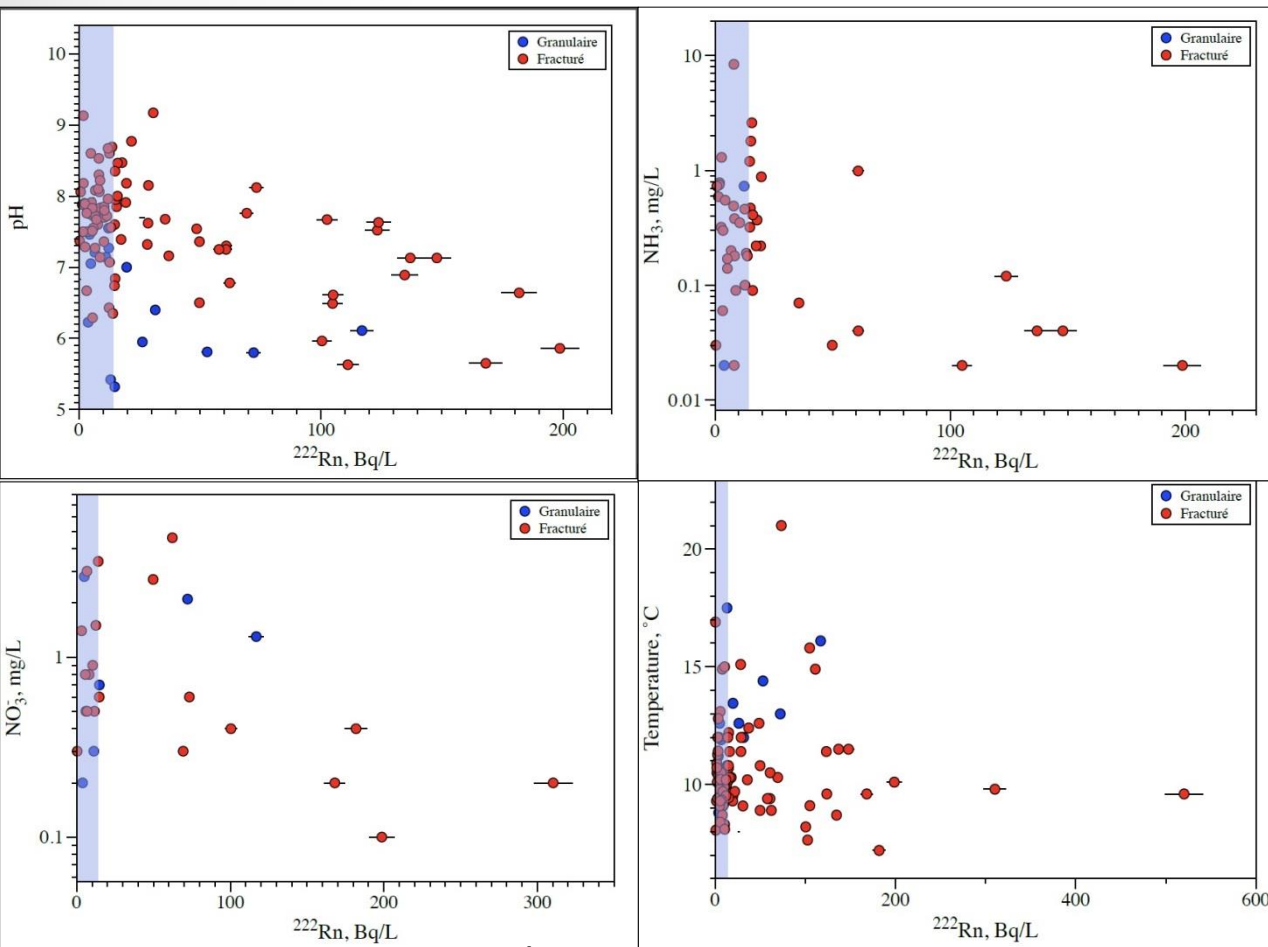


# Annexe XIV: relation $^{222}\text{Rn}$ /chimie VS



- pH en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
- Profondeur en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
- $\text{NH}_3$  en fonction du  $^{222}\text{Rn}$

# Annexe XV: relation $^{222}\text{Rn}$ /chimie NSF



- pH en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
  - Température en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
  - $\text{NO}_3^-$  en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
  - $\text{NH}_3$  en fonction du  $^{222}\text{Rn}$
- >> Relations négatives