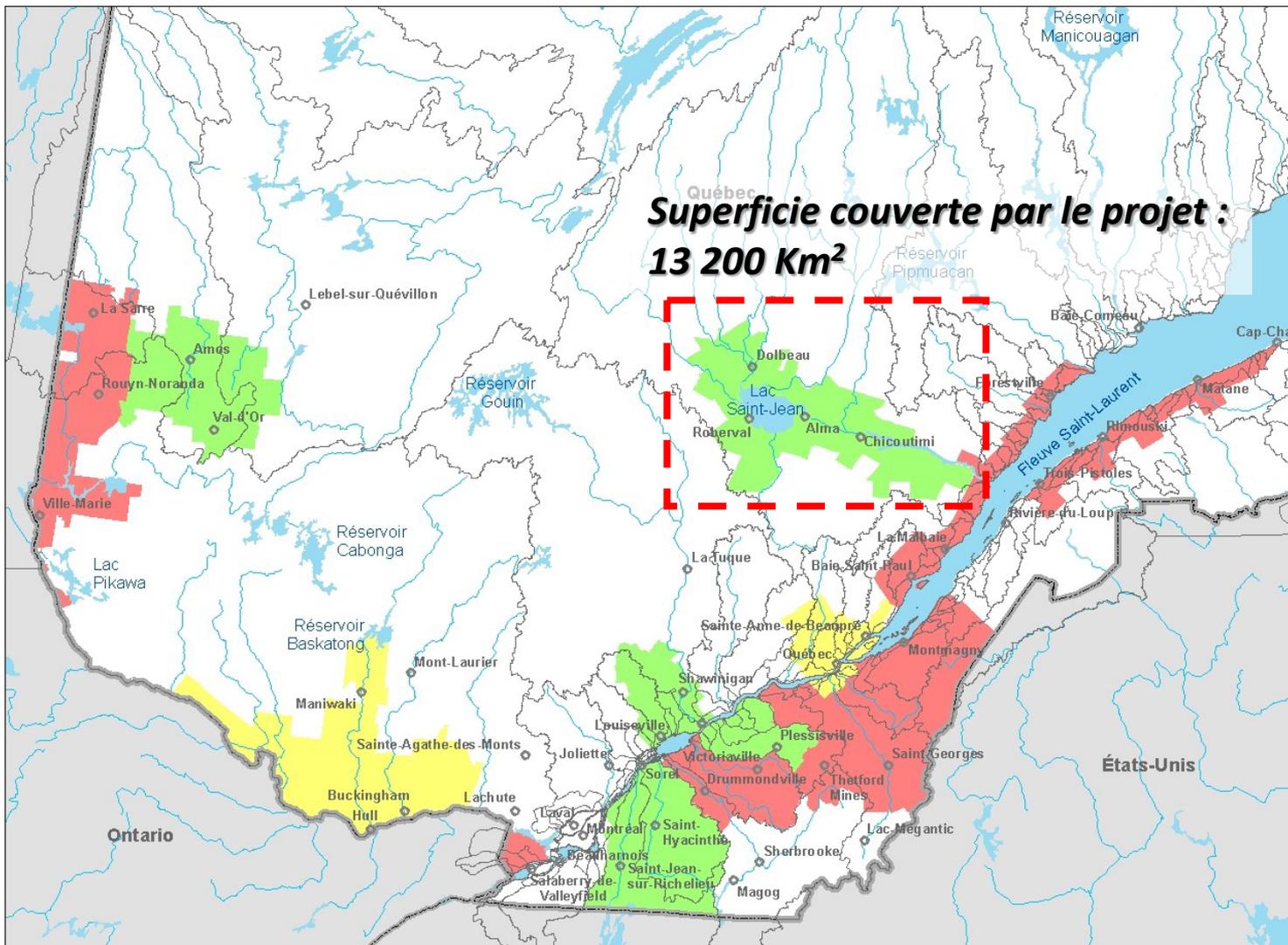


IDENTIFICATION DE TRACEURS DE L'ÉVOLUTION
DE L'EAU SOUTERRAINE
EN FONCTION DU MILIEU AQUIFÈRE
AU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN

Julien WALTER¹,

Romain CHESNAUX¹, Damien GABOURY¹, Vincent CLOUTIER²

Le PACES-Saguenay-Lac-Saint-Jean



Couverture territoriale du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES)

Bassin versant

Couverture

- Projet PACES 1
- Projet PACES 2
- Projet PACES 3

Métadonnées

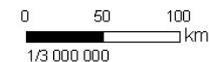
Système de référence Géodésique : NAD 83 ellipsoïde GRS80
 Projection cartographique : Conforme conique de Lambert

Sources

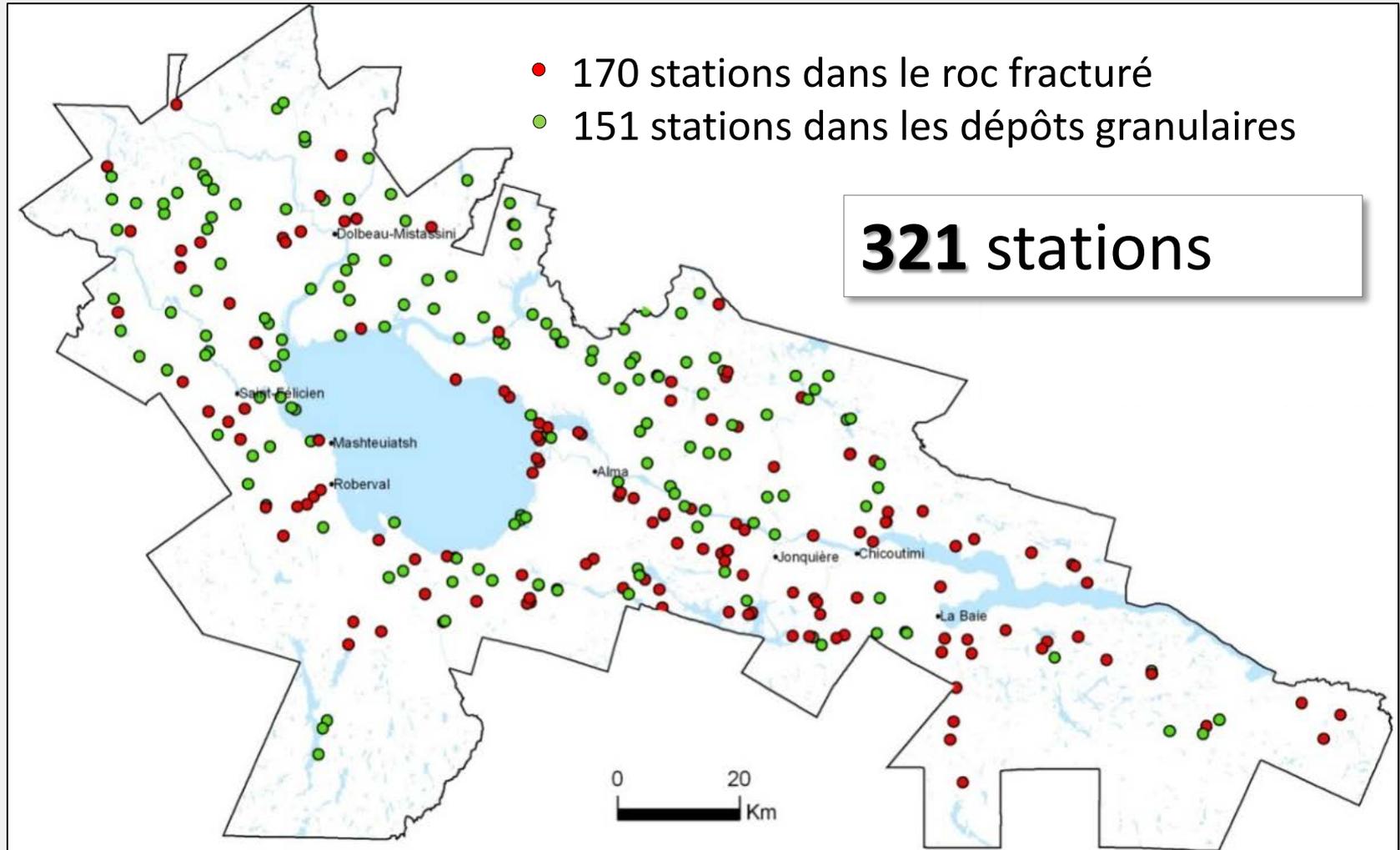
Données	Organisme
Base générale et administrative du Québec (BGAQ), à l'échelle de 1/2 000 000	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Couverture territoriale du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES)	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs Groupe de recherche interuniversitaire sur les eaux souterraines (GRIES)

Réalisation

Direction des politiques de l'eau Service de l'aménagement et des eaux souterraines
 © Gouvernement du Québec, avril 2012

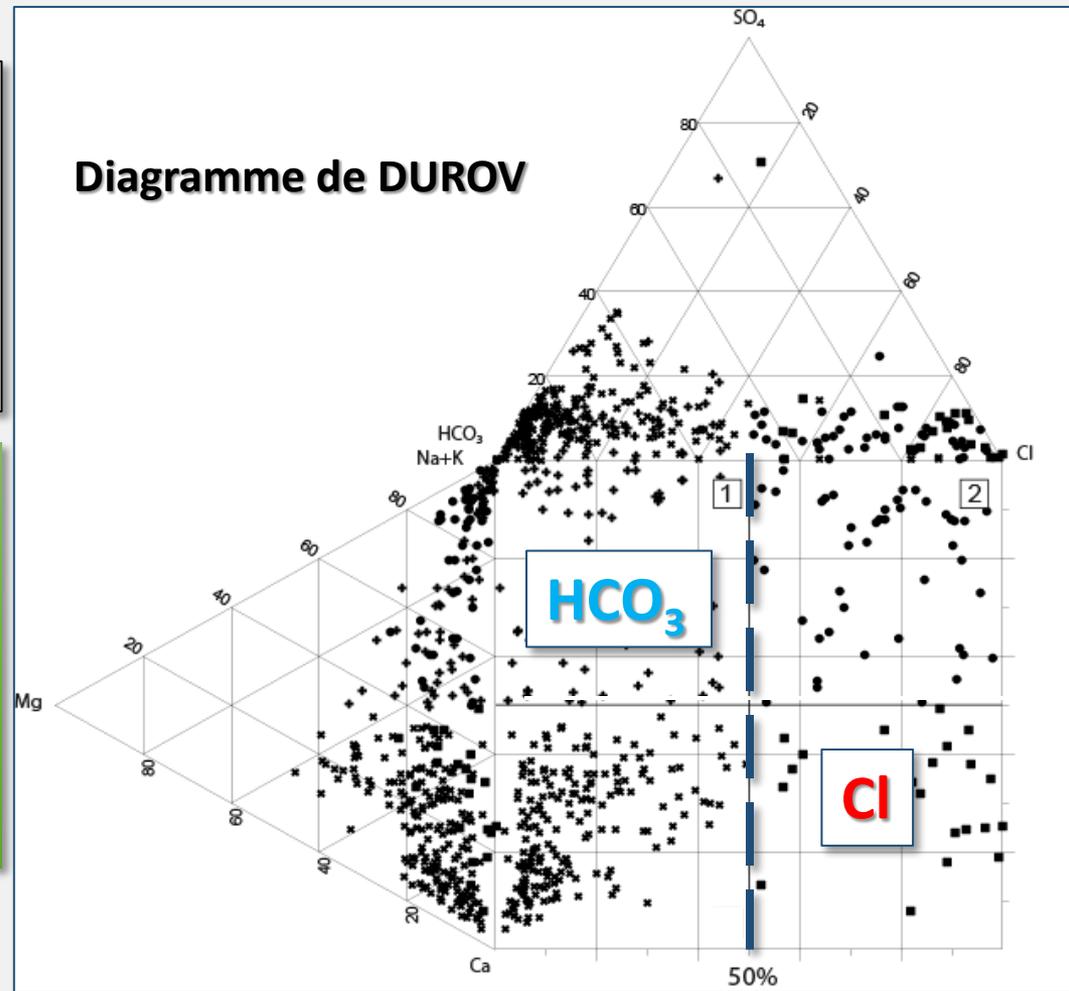


Échantillonnage hydrogéochimique



4 Groupes d'échantillons

- Type d'aquifère
(Roc or Granulaire)
- Type d'eau
(chloruré or bicarbonaté)



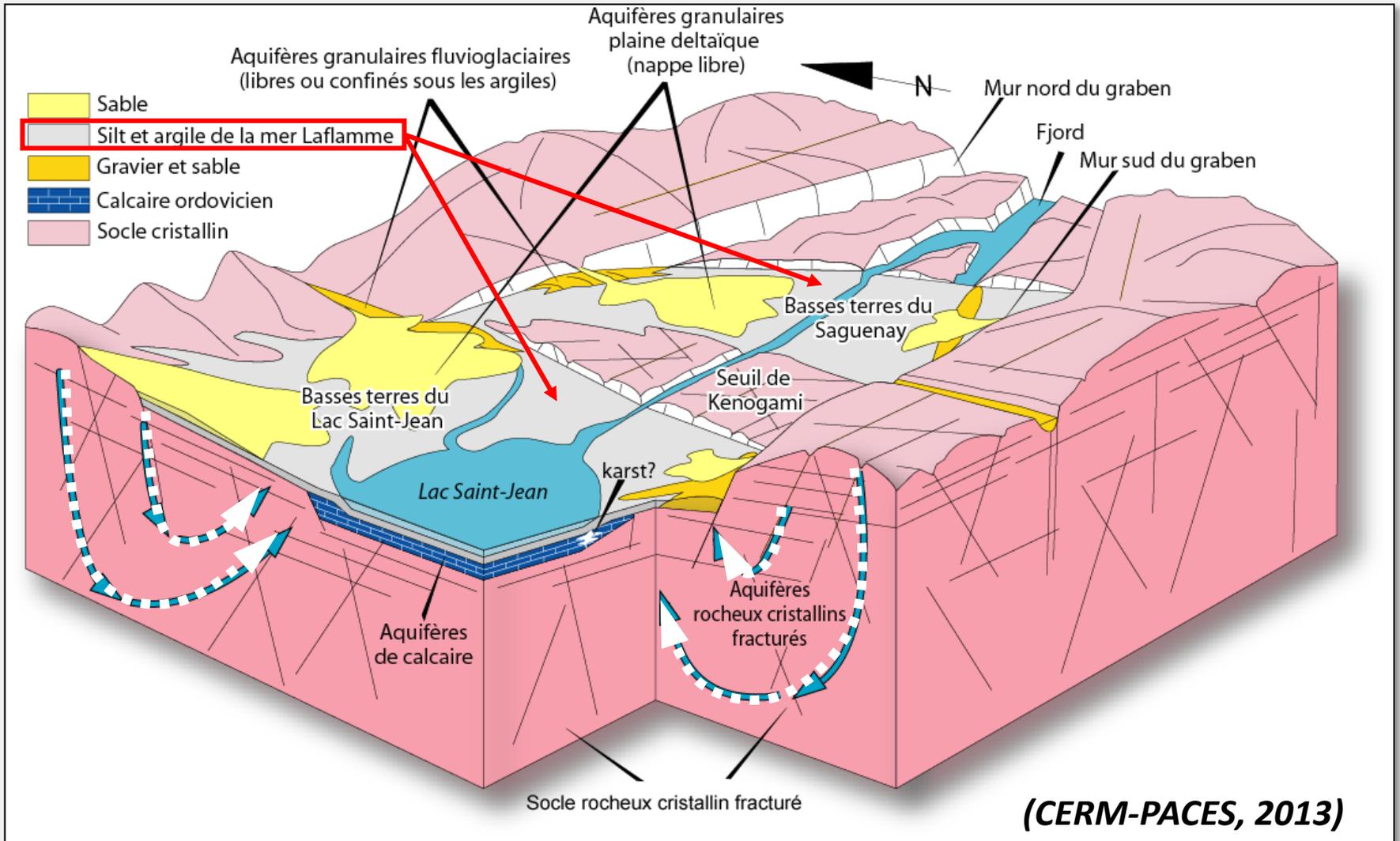
Type d'eau (faciès)	N	TSD (mg/L)	Qualité de l'eau
(Na,Ca)-Cl Roc	46	1861.9	Salée
(Na,Ca)-Cl Granulaire	19	1167.8	Salée
(Na,Ca)-HCO ₃ Roc	124	291.0	Fraîche
(Na,Ca)-HCO ₃ Granulaire	132	170.1	Fraîche ⁴

Valorisation de la base de données hydrogéochimiques

Détermination de pôles hydrogéochimiques régionaux (*endmembers*)

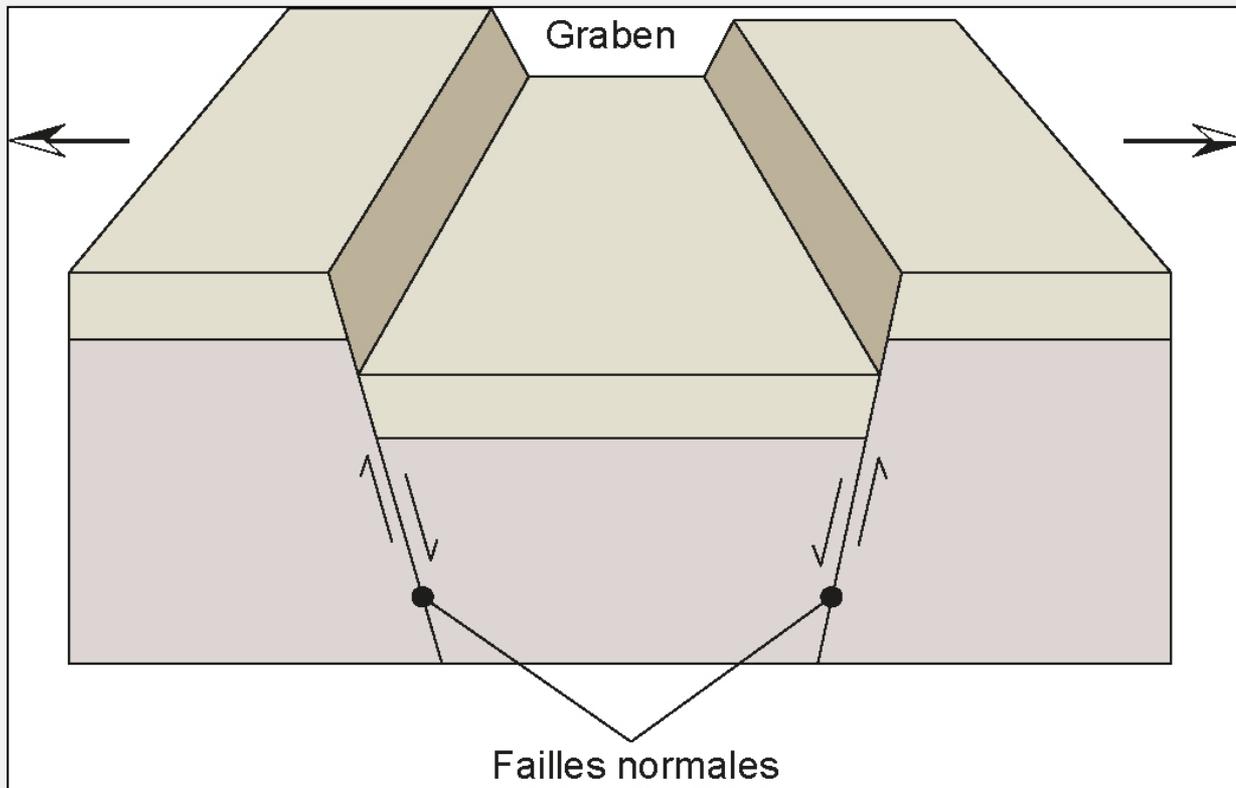
- 3 pôles ont été définis:
 - Eau de recharge (roc et dépôt indifférenciés)
 - Eau salée dans le roc (Interaction eau/roche)
 - Eau salée dans le dépôt (influence des argiles de confinement)

Bloc diagramme conceptuel

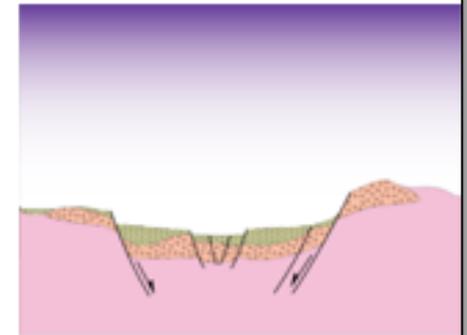


(CERM-PACES, 2013)

Le Graben du Saguenay

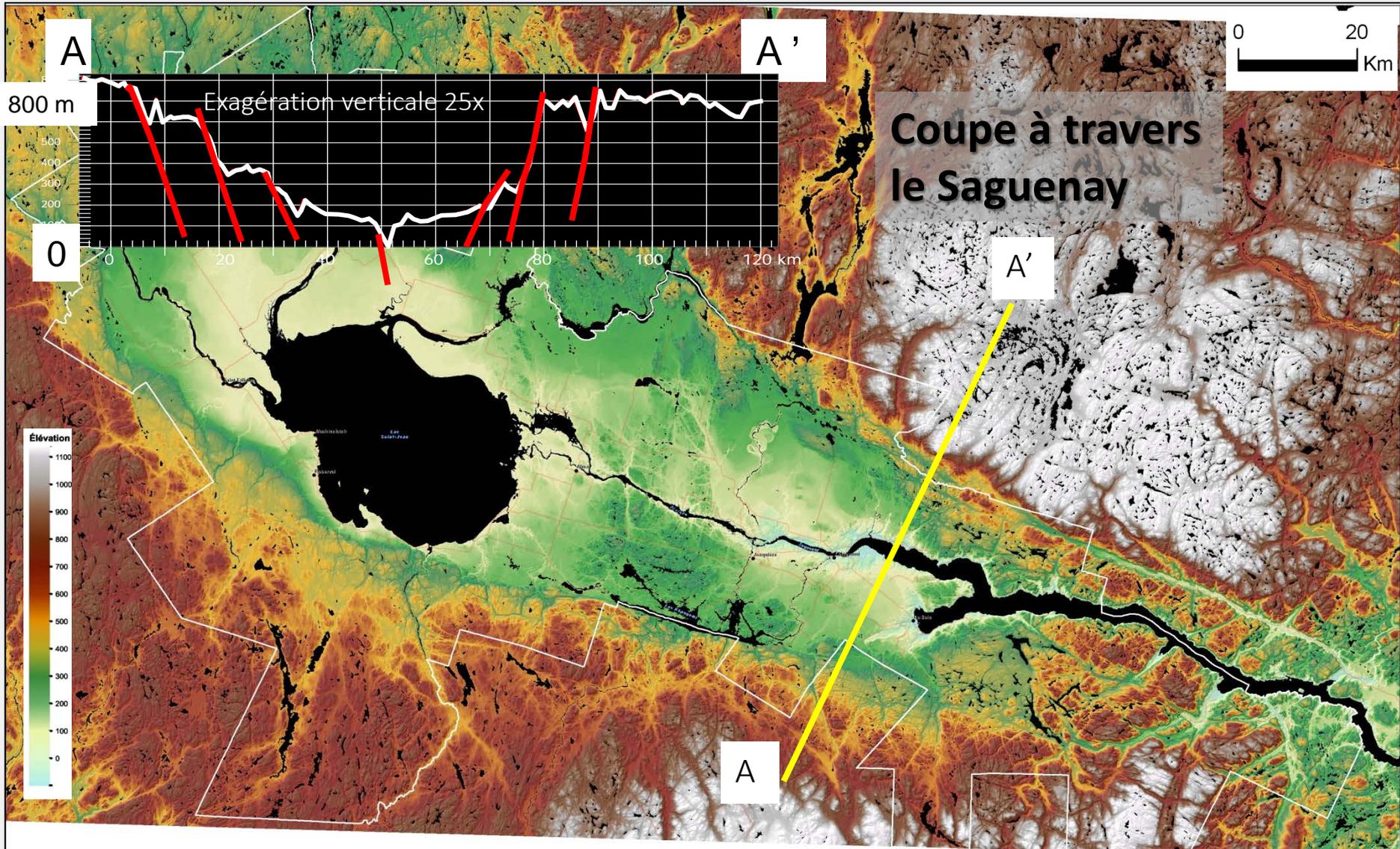


180 millions
d'années



Graben du
Saguenay

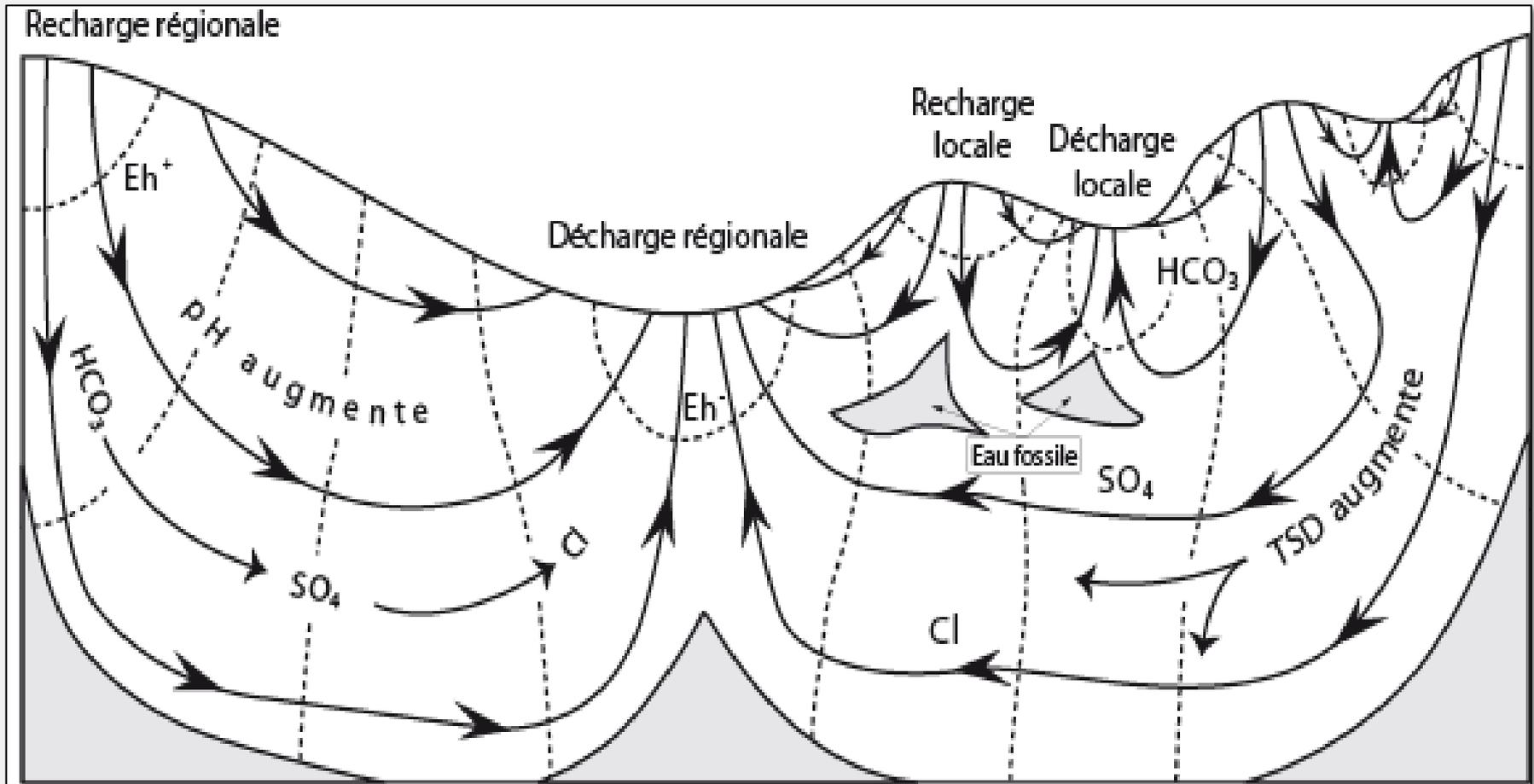
Relief de la région SLSJ



Modèle numérique d'altitude (Source MRN)

Modèle d'écoulement gravitaire

➔ *Décharge d'eaux profondes au temps de residence long*



(modifié de Tóth, 1999)

Valorisation de la base de données hydrogéochimiques

Identification de pôles hydrogéochimiques régionaux (*endmembers*)

- 3 pôles ont été définis:
 - Eau de recharge (roc et dépôt indifférenciés)
 - Eau salée dans le roc (Interaction eau/roche)
 - Eau salée dans le dépôt (influence des argiles de confinement)
- Analyses en grappe (Hierarchical cluster analysis – [HCA](#))
 - Test de similarité/dissimilarité des échantillons
- Diagrammes binaires (corrélation entre les paramètres chimiques)
- Analyses Factorielle – [AF](#) (covariances des paramètres chimiques)

HCA

51 échantillons choisis



ES recharge

Cluster 1 & 2



ES salées du roc

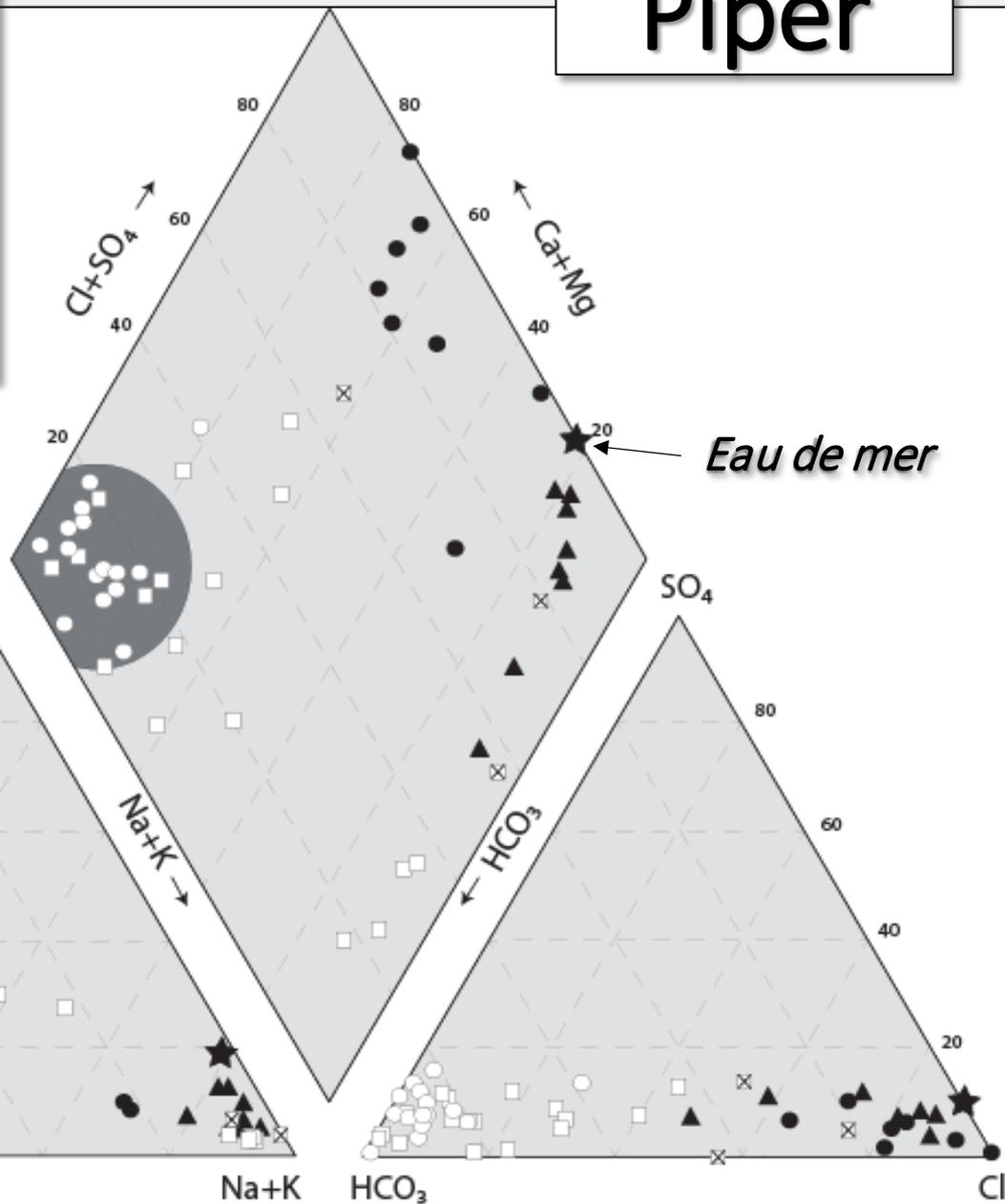
Cluster 3



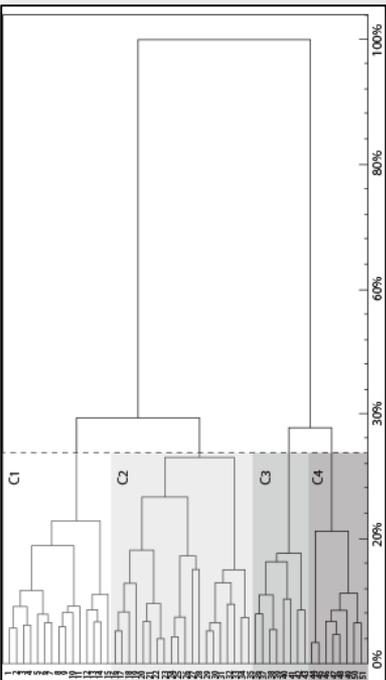
ES salées du granulaire

Cluster 4

Piper



Eau de mer



Dendrogramme

HCA

51 échantillons choisis



ES recharge

Cluster 1 & 2

ES salées du roc

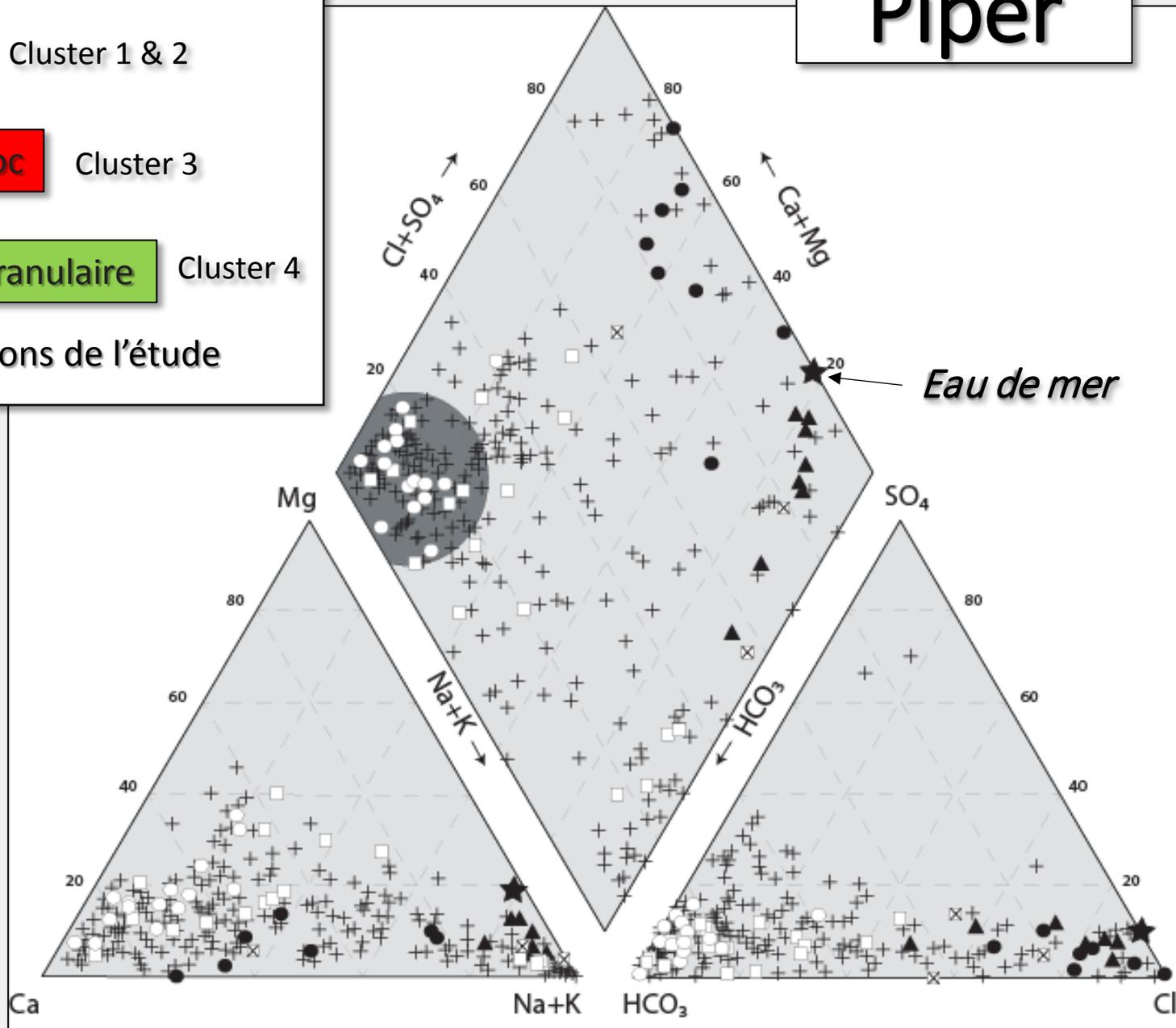
Cluster 3

ES salées du granulaire

Cluster 4

Autres échantillons de l'étude

Piper

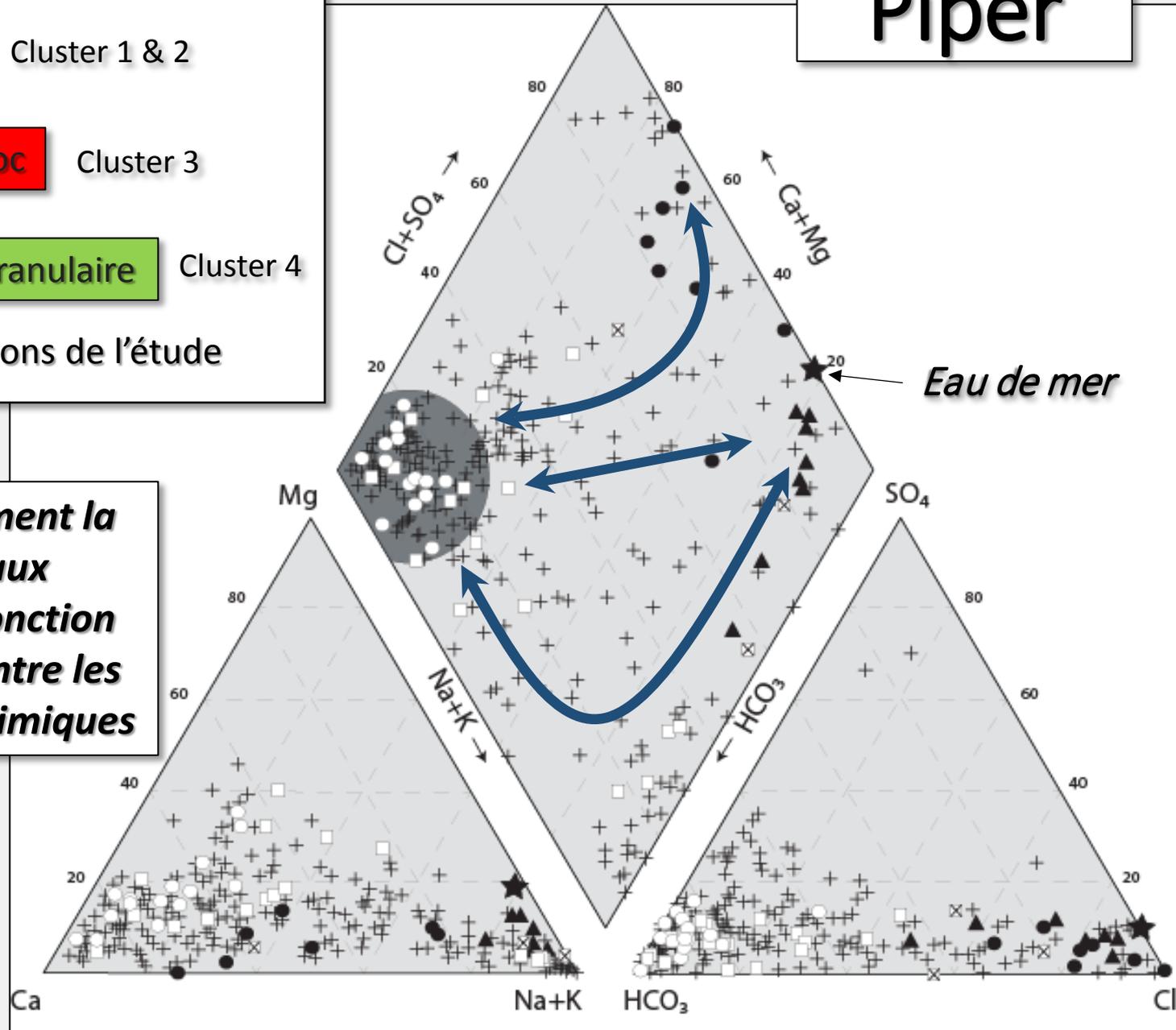


HCA

51 échantillons choisis

- ES recharge Cluster 1 & 2
- ES recharge Cluster 1 & 2
- ES salées du roc Cluster 3
- ▲ ES salées du granulaire Cluster 4
- + Autres échantillons de l'étude

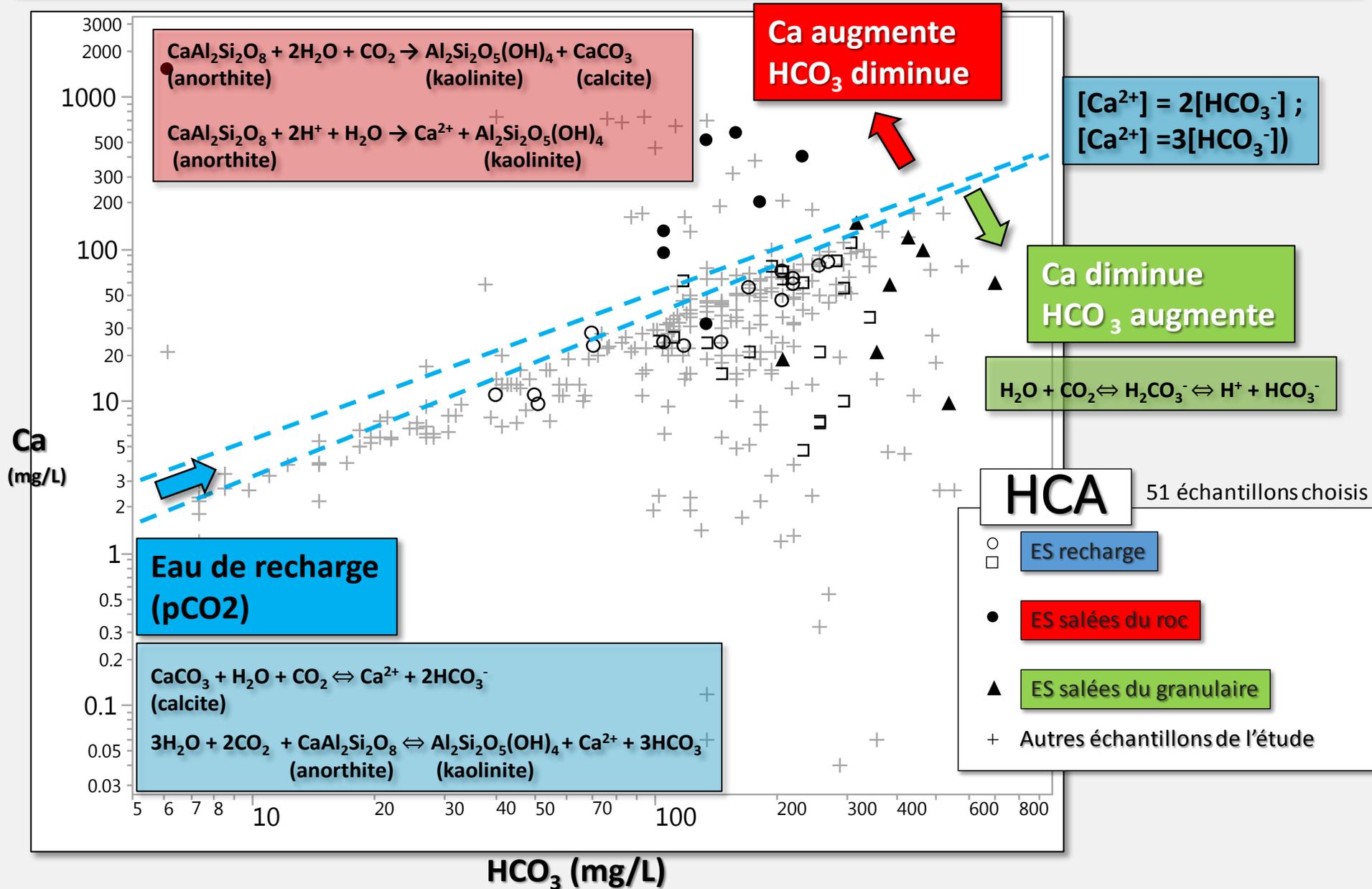
Piper



Discuter spatialement la dynamique des eaux souterraines en fonction de leur position entre les pôles hydrogéochimiques

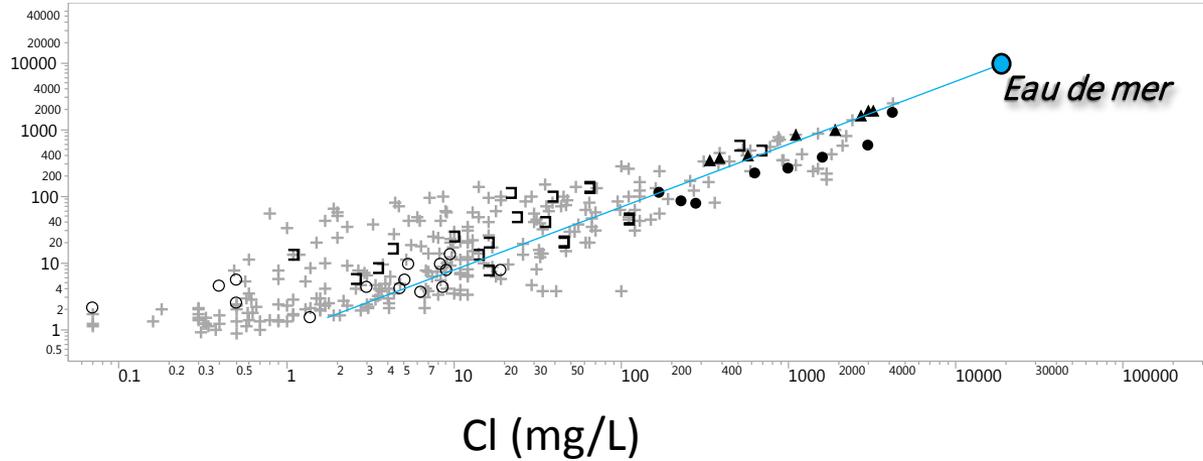
- Évolution naturelle
- Mélange et dilution

Origine de la recharge et évolution naturelle



Interaction eau/roche *vs.* dilution eau de mer

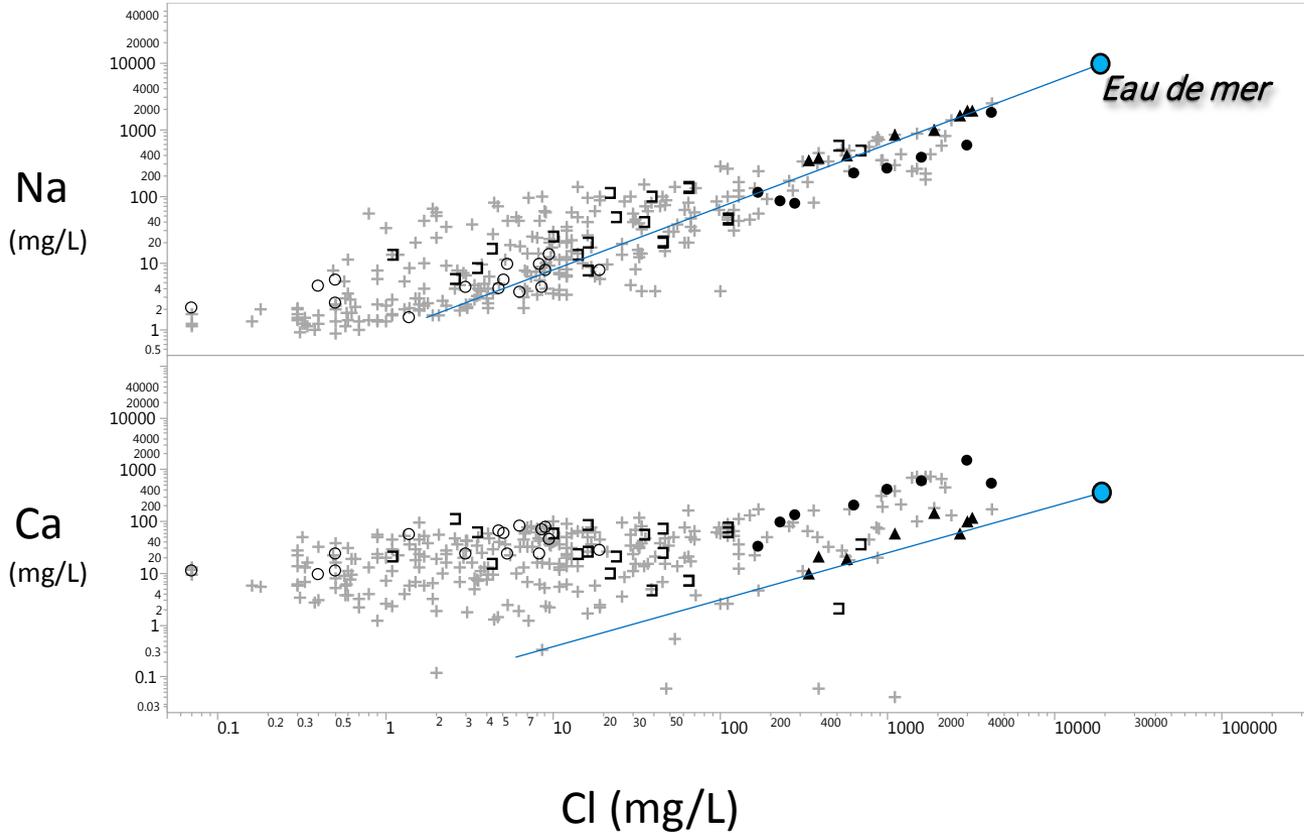
Interaction eau/roche vs. dilution eau de mer



HCA 51 échantillons choisis

- ES recharge
- ES salées du roc
- ▲ ES salées du granulaire
- + Autres échantillons de l'étude

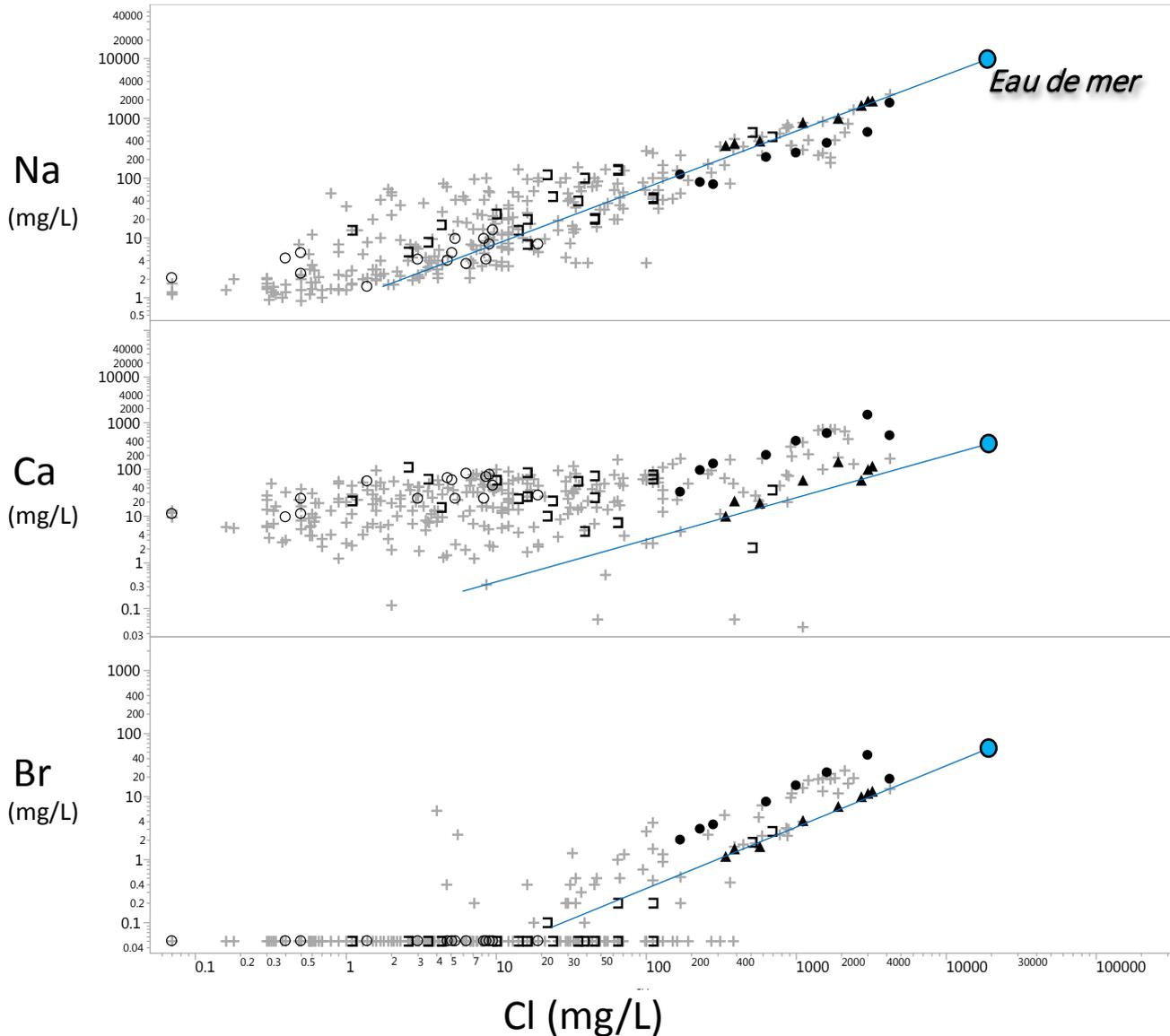
Interaction eau/roche vs. dilution eau de mer



HCA 51 échantillons choisis

- ES recharge
- ES salées du roc
- ▲ ES salées du granulaire
- + Autres échantillons de l'étude

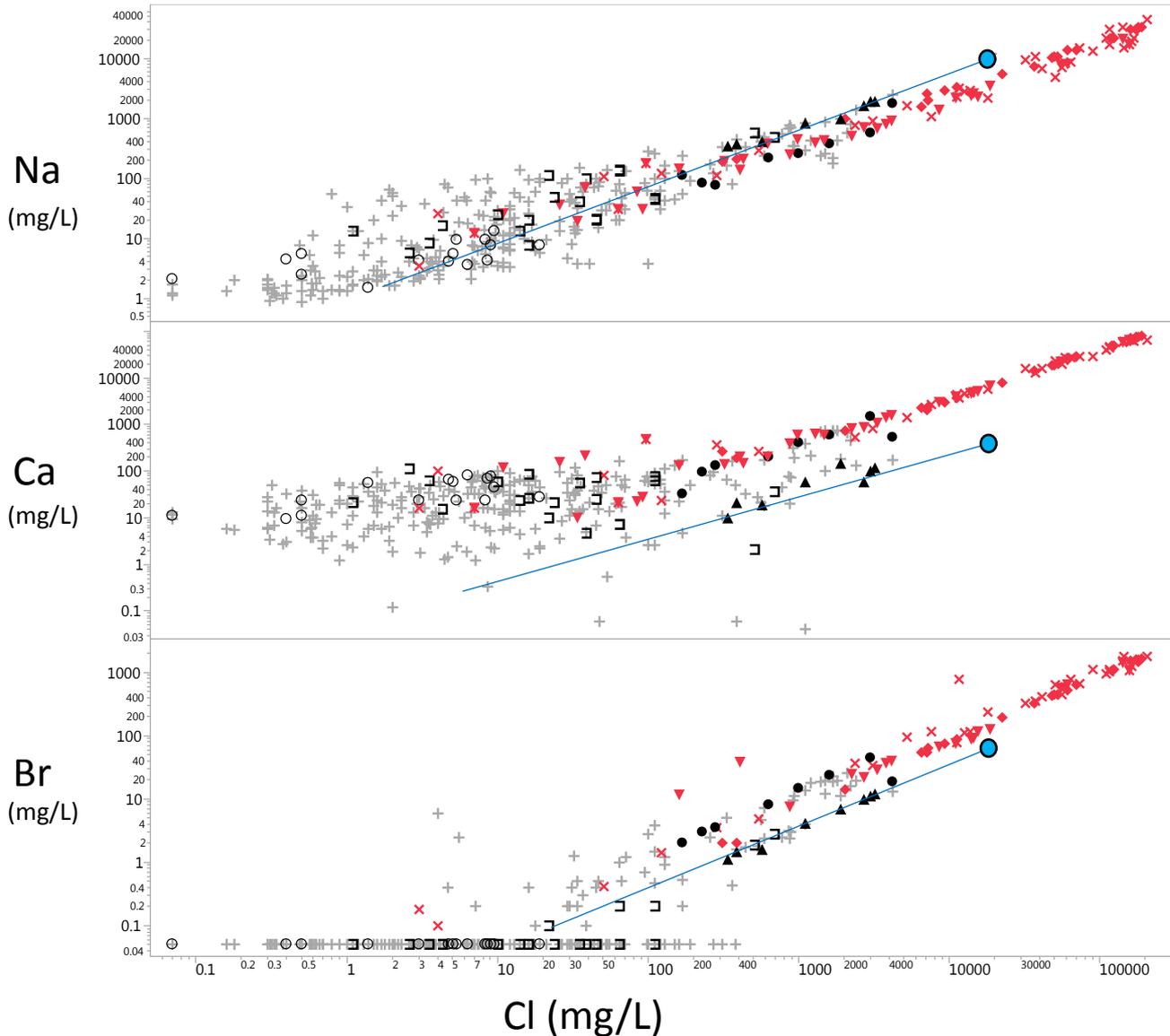
Interaction eau/roche vs. dilution eau de mer



HCA 51 échantillons choisis

- ES recharge
- ES salées du roc
- ▲ ES salées du granulaire
- + Autres échantillons de l'étude

Interaction eau/roche vs. dilution eau de mer

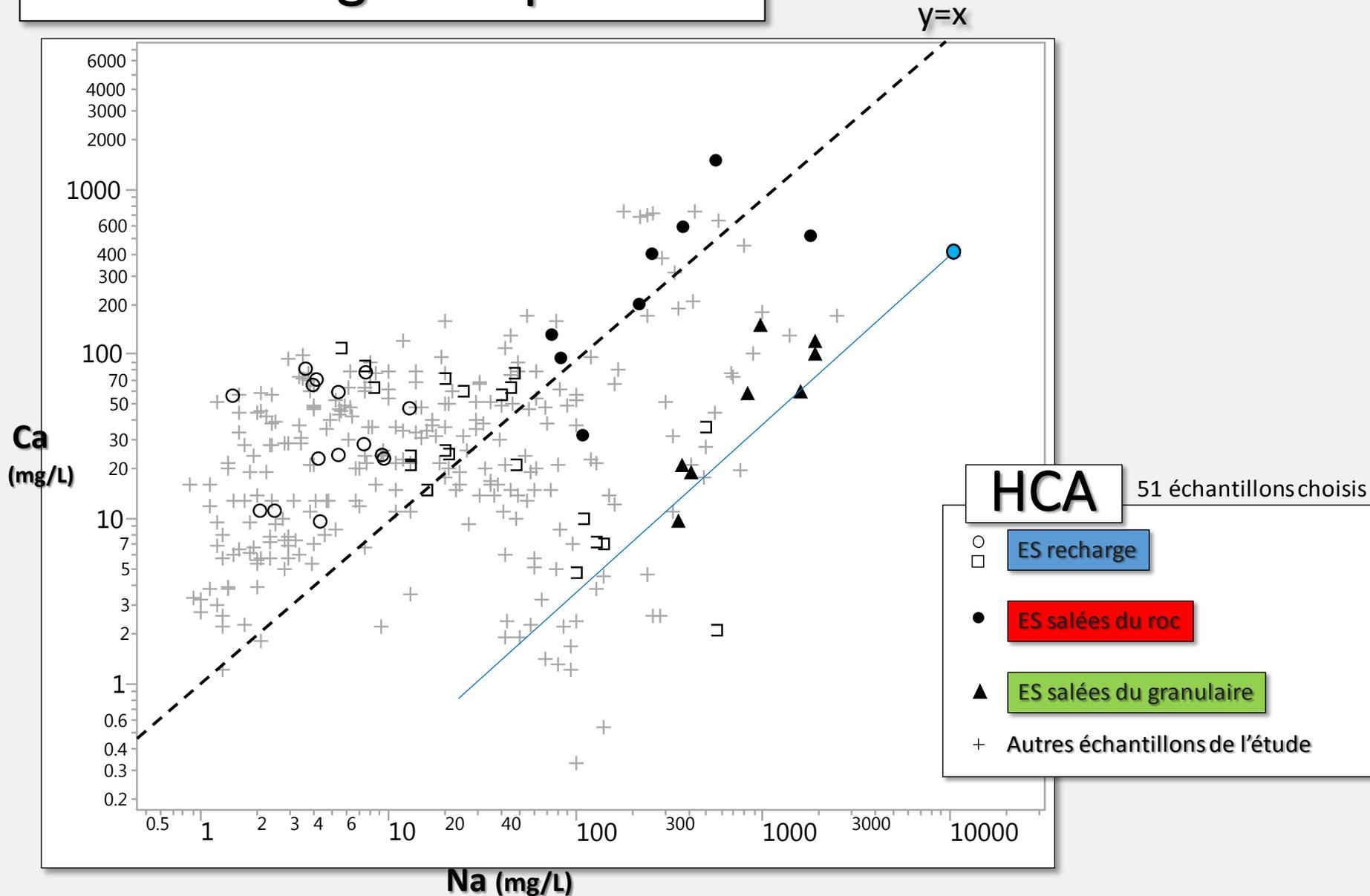


HCA 51 échantillons choisis

- ES recharge
- ES salées du roc
- ▲ ES salées du granulaire
- + Autres échantillons de l'étude

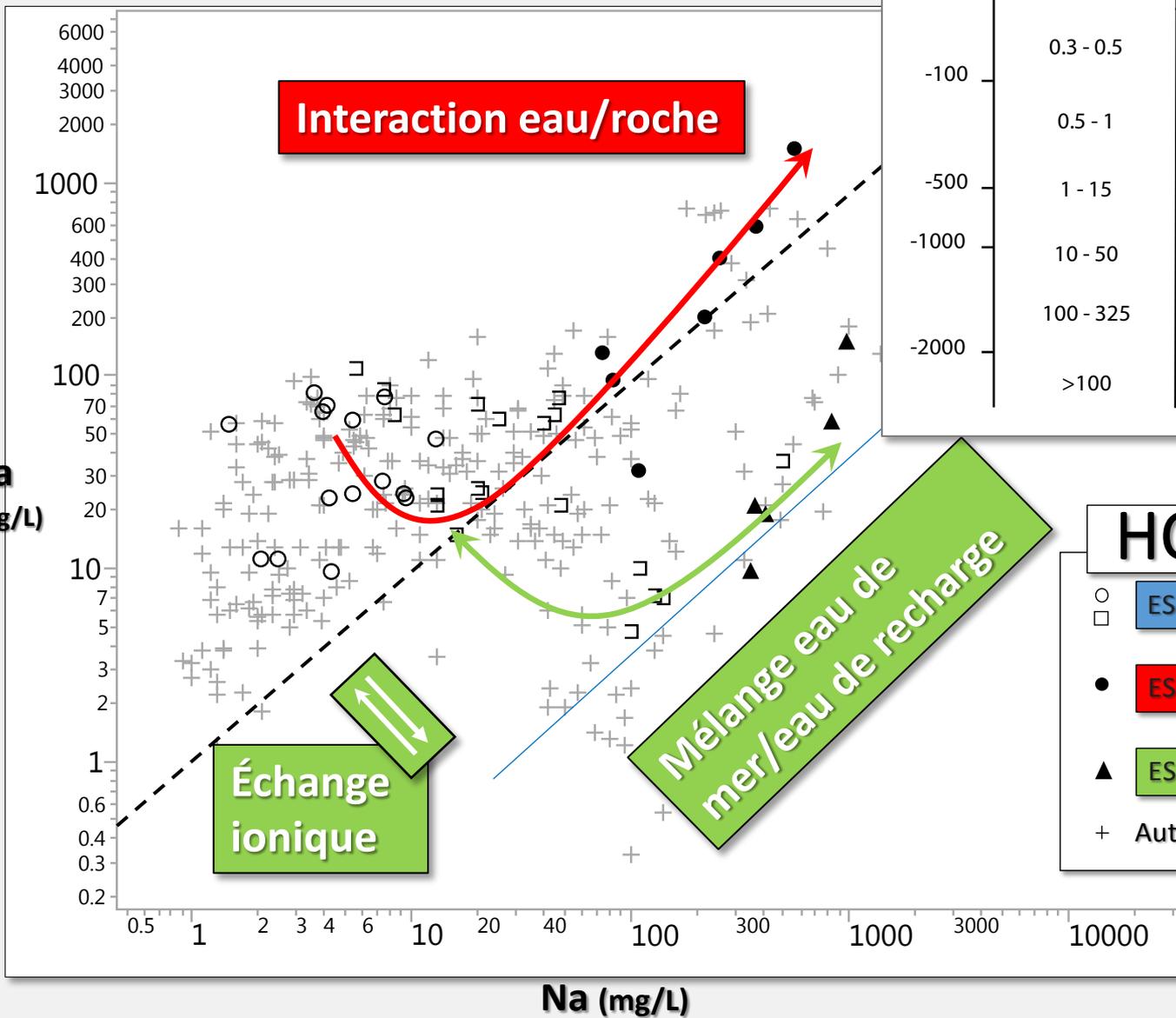
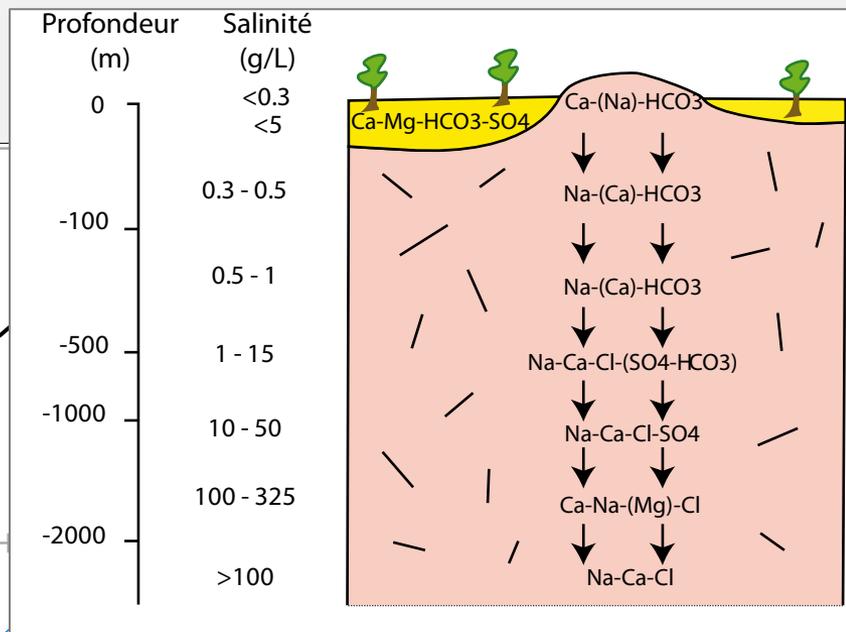
***Compilation
saumures du
Bouclier Canadien***

Interaction eau/roche et échange ionique



Interaction eau/roche et échange ionique

(Modifié de Gascoyne et Kamineni, 1994)



HCA

51 échantillons choisis

- ES recharge
- ES recharge
- ES salées du roc
- ▲ ES salées du granulaire
- + Autres échantillons de l'étude

Détermination des traceurs: *Analyse Factorielle*

51 échantillons choisis

Parameter
<i>K</i>
<i>HCO3</i>
<i>Mg</i>
<i>Si</i>
<i>NH4</i>
<i>F</i>
<i>B</i>
<i>Mo</i>
<i>Na</i>
<i>Ca</i>
<i>Ba</i>
<i>Sr</i>
<i>SO4</i>
<i>Fe</i>
<i>Mn</i>
Explained variance
Explained variance (%)
Cumulative % of variance

Détermination des traceurs: *Analyse Factorielle*

51 échantillons choisis

Parameter	Factor 1
K	0,868
HCO3	0,709
Mg	0,698
Si	0,667
NH4	0,642
F	0,163
B	0,503
Mo	-0,115
Na	0,598
Ca	0,016
Ba	-0,109
Sr	0,213
SO4	0,607
Fe	0,255
Mn	0,140
Explained variance	3,768
Explained variance (%)	25,1
Cumulative % of variance	25,1

Détermination des traceurs: *Analyse Factorielle*

51 échantillons choisis

**Interaction
eau/argile**

Parameter	Factor 1	Factor 2
<i>K</i>	0,868	0,207
<i>HCO3</i>	0,709	0,235
<i>Mg</i>	0,698	0,217
<i>Si</i>	0,667	-0,340
<i>NH4</i>	0,642	0,494
<i>F</i>	0,163	0,899
<i>B</i>	0,503	0,776
<i>Mo</i>	-0,115	0,768
<i>Na</i>	0,598	0,695
<i>Ca</i>	0,016	-0,046
<i>Ba</i>	-0,109	0,149
<i>Sr</i>	0,213	0,469
<i>SO4</i>	0,607	0,220
<i>Fe</i>	0,255	-0,141
<i>Mn</i>	0,140	0,162
Explained variance	3,768	3,333
Explained variance (%)	25,1	22,2
Cumulative % of variance	25,1	47,3

Détermination des traceurs: *Analyse Factorielle*

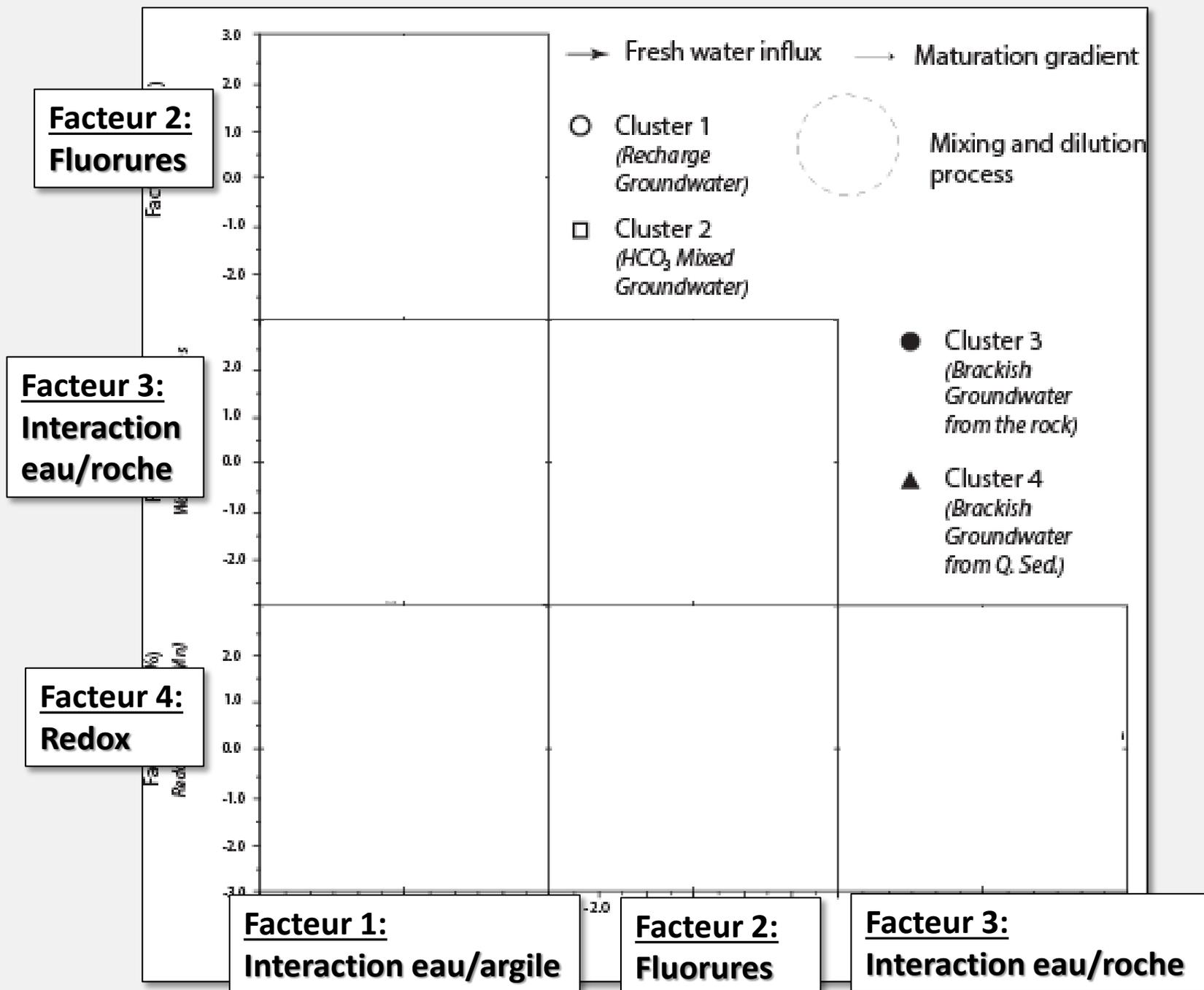
51 échantillons choisis

Parameter	Interaction eau/argile	Fluorures	
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>K</i>	0,868	0,207	-0,030
<i>HCO3</i>	0,709	0,235	-0,219
<i>Mg</i>	0,698	0,217	0,450
<i>Si</i>	0,667	-0,340	0,083
<i>NH4</i>	0,642	0,494	0,047
<i>F</i>	0,163	0,899	0,066
<i>B</i>	0,503	0,776	0,145
<i>Mo</i>	-0,115	0,768	0,204
<i>Na</i>	0,598	0,695	0,232
<i>Ca</i>	0,016	-0,046	0,926
<i>Ba</i>	-0,109	0,149	0,828
<i>Sr</i>	0,213	0,469	0,791
<i>SO4</i>	0,607	0,220	0,616
<i>Fe</i>	0,255	-0,141	0,081
<i>Mn</i>	0,140	0,162	0,397
Explained variance	3,768	3,333	3,099
Explained variance (%)	25,1	22,2	20,6
Cumulative % of variance	25,1	47,3	68,0

Détermination des traceurs: *Analyse Factorielle*

51 échantillons choisis

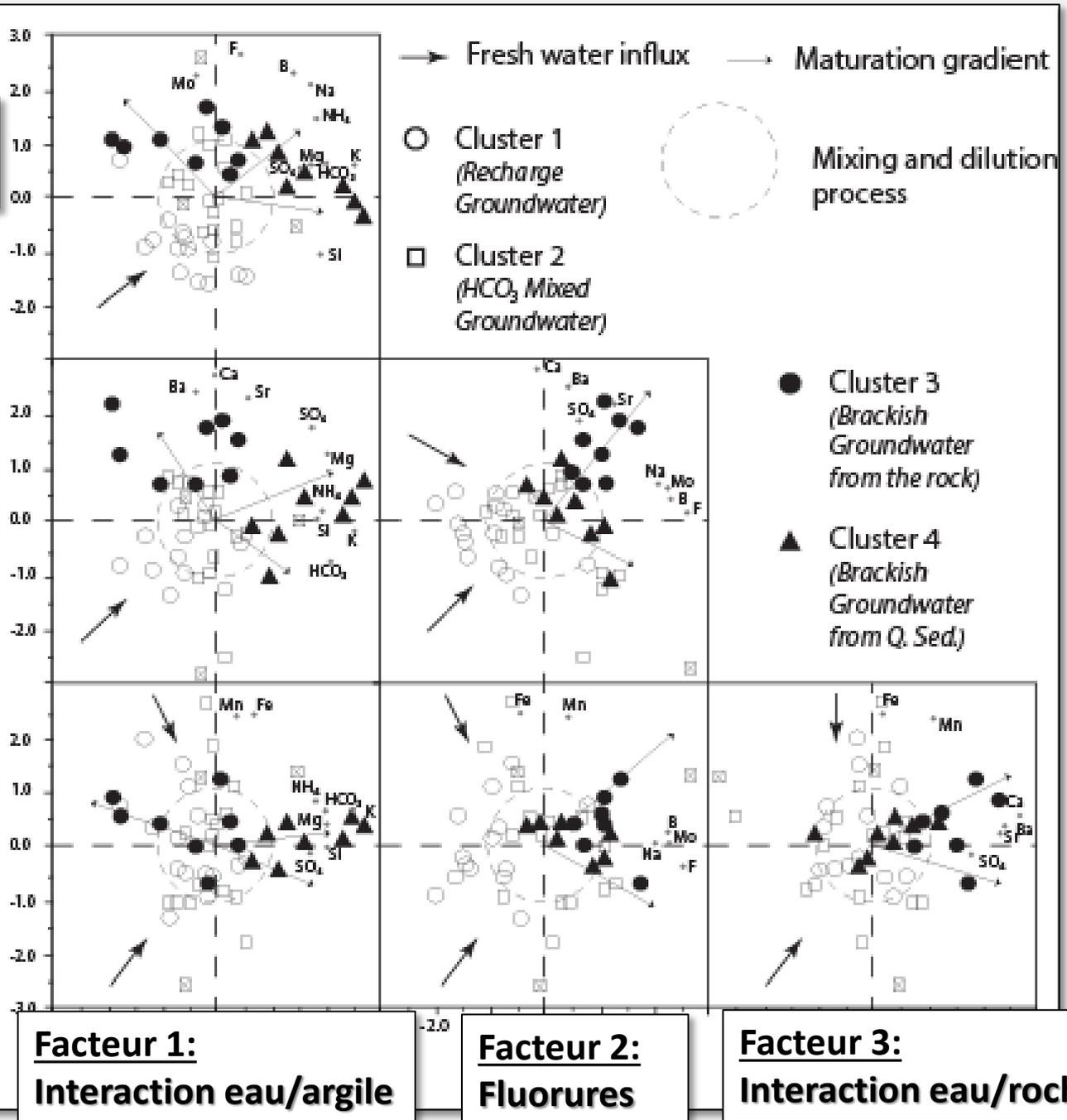
Parameter	Interaction eau/argile	Fluorures	Interaction eau/roche	Redox
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
K	0,868	0,207	-0,030	0,243
HCO3	0,709	0,235	-0,219	0,218
Mg	0,698	0,217	0,450	0,148
Si	0,667	-0,340	0,083	0,001
NH4	0,642	0,494	0,047	0,284
F	0,163	0,899	0,066	-0,122
B	0,503	0,776	0,145	0,099
Mo	-0,115	0,768	0,204	0,041
Na	0,598	0,695	0,232	0,029
Ca	0,016	-0,046	0,926	0,203
Ba	-0,109	0,149	0,828	0,145
Sr	0,213	0,469	0,791	0,087
SO4	0,607	0,220	0,616	-0,028
Fe	0,255	-0,141	0,081	0,824
Mn	0,140	0,162	0,397	0,800
Explained variance	3,768	3,333	3,099	1,629
Explained variance (%)	25,1	22,2	20,6	10,8
Cumulative % of variance	25,1	47,3	68,0	78,8

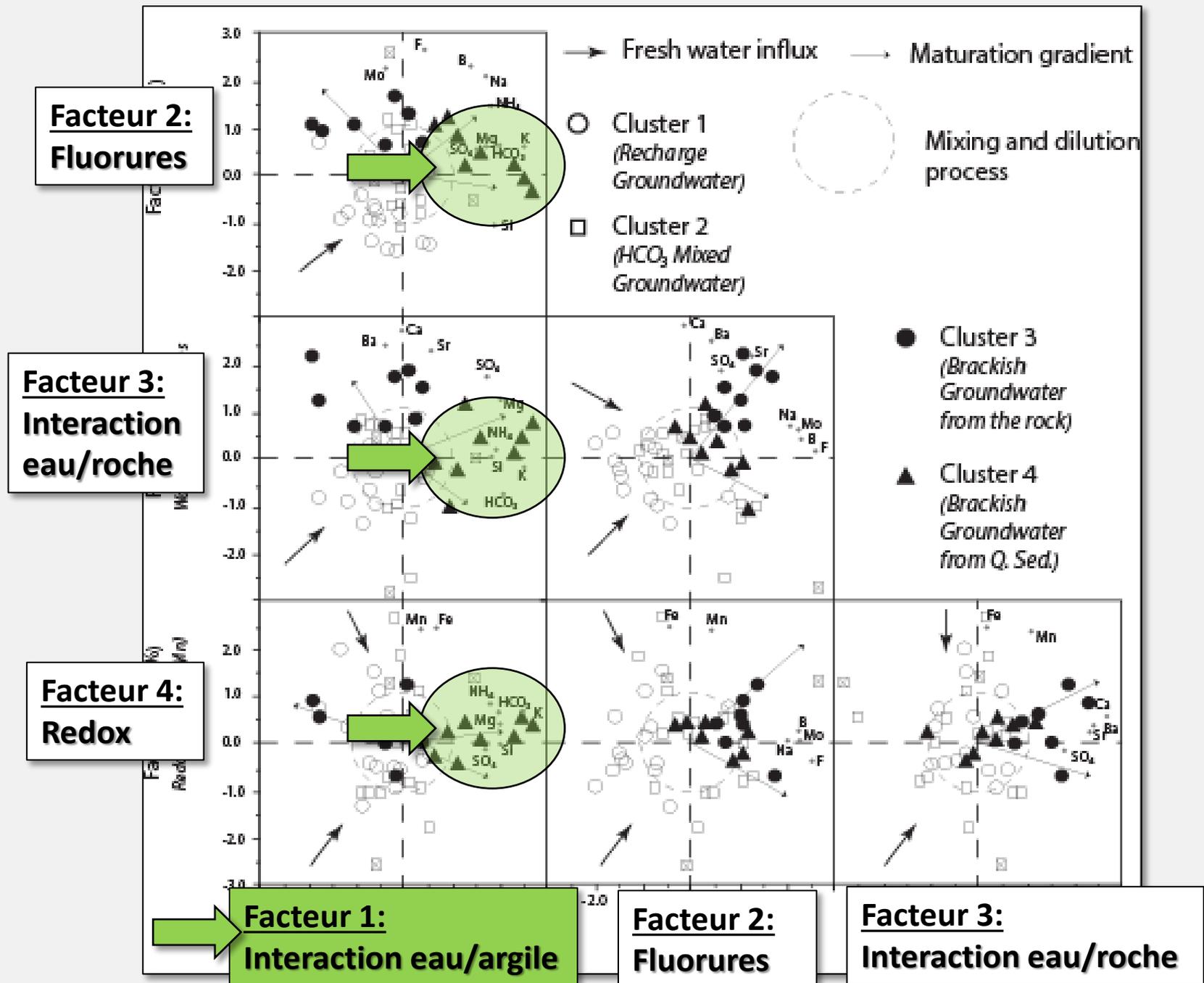


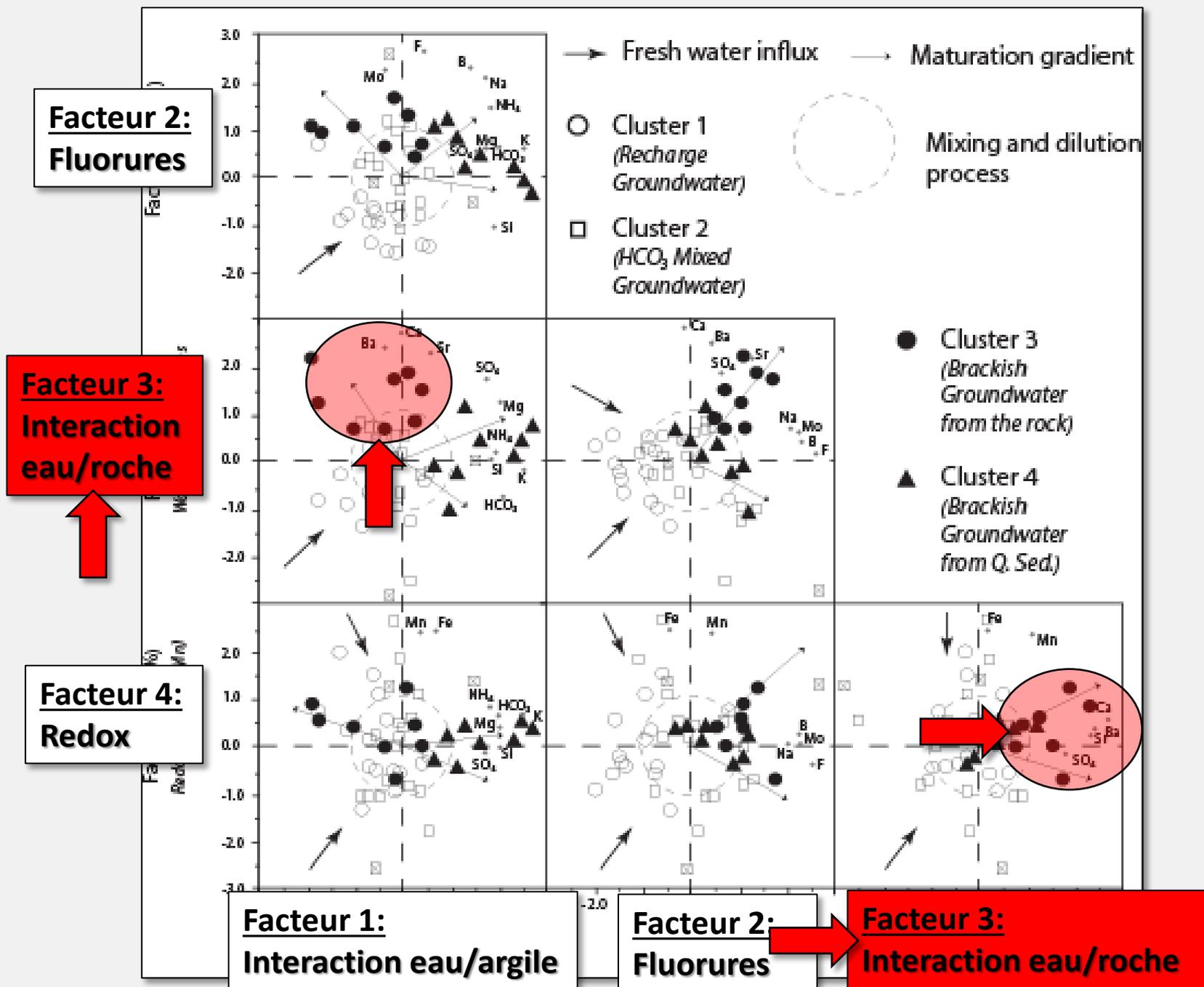
**Facteur 2:
Fluorures**

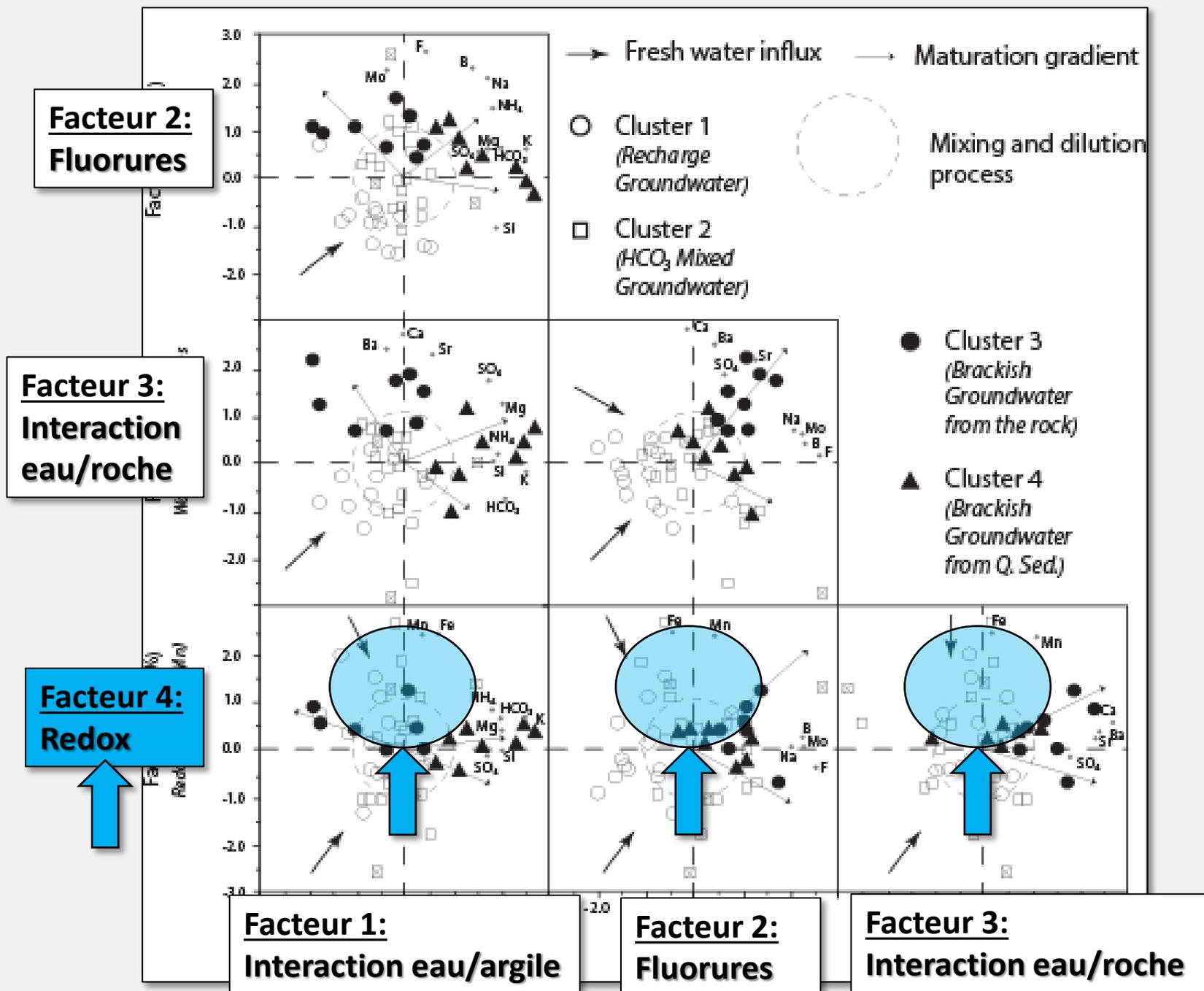
**Facteur 3:
Interaction
eau/roche**

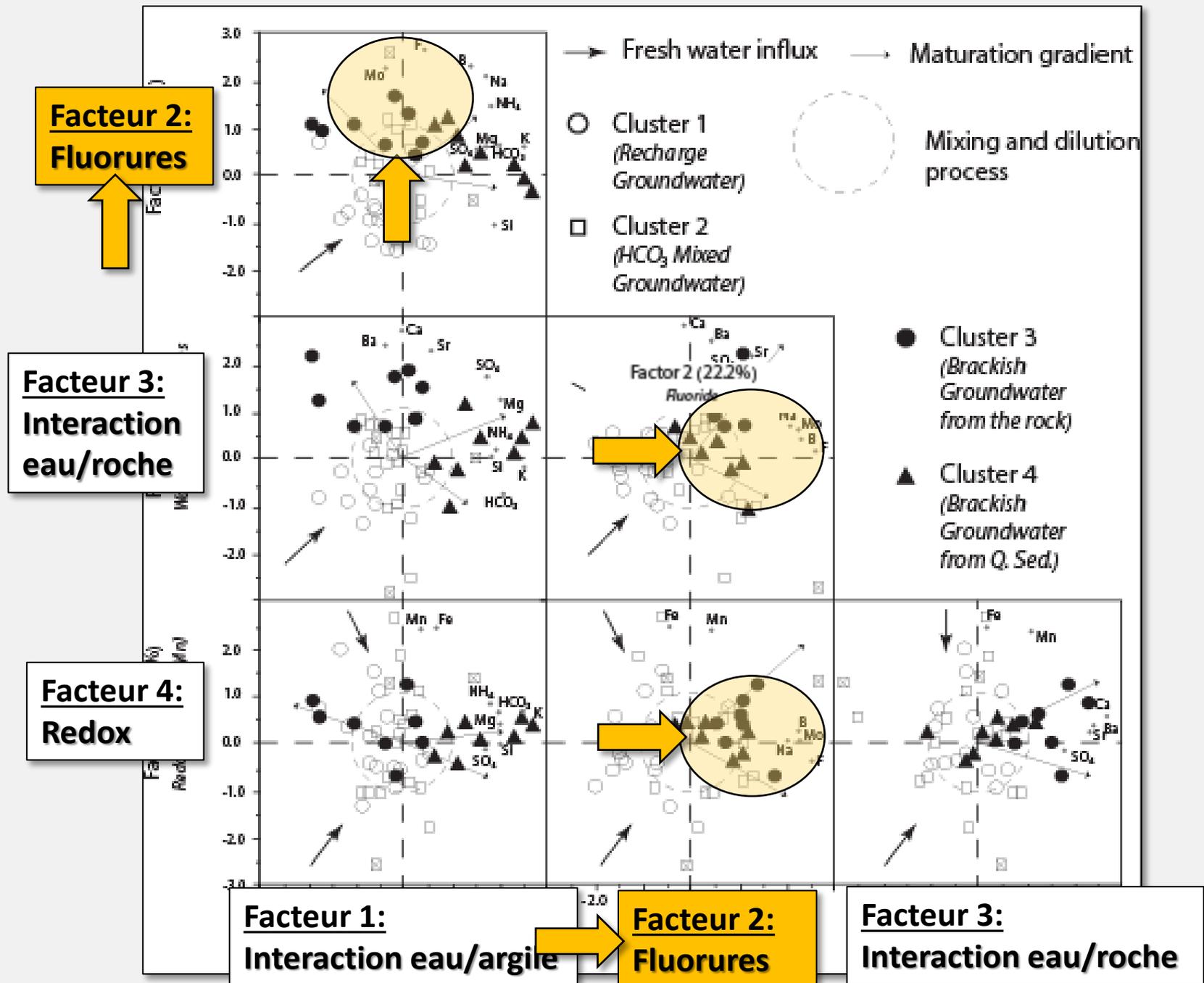
**Facteur 4:
Redox**











Perspectives d'avenir

- Investiguer l'origine des traceurs à partir de la géologie régionale et des conditions hydrogéologiques
 - Échantillonnage multiniveaux avec obturateurs gonflables
 - Laboratoire expérimentaux (autoclave/*batch*)
- Cartographier la dynamique des eaux souterraines au SLSJ en fonction de leur contenu en traceurs
- Prédire dans le temps et l'espace l'évolution de la qualité de l'eau souterraine (suivi temporel du contenu en traceurs)

REMERCIEMENTS



*Fonds de recherche
Nature et
technologies*

Québec 

Rio Tinto
Alcan

*Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs*

Québec 



MARIA-CHAPDELAINE



