

PROCESSUS DE MINERALISATION DES EAUX DANS LE TUNNEL DE LAVE DE LA COULEE 2007 DU PITON DE LA FOURNAISE



FEVRIER 2015

Bonnier J.

TABLE DES MATIERES

I	Contexte de l'étude	3
II	Comparaison des eaux de la coulée 2007 avec d'autres types d'eau du secteur ...	4
III	Variabilité spatiale et temporelle au sein de la coulée 2007	7
IV	Conclusion	10

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation des points de mesures.....	4
Figure 2 : Comparaison entre les valeurs de conductivité mesurées.....	4
Figure 3 : Caractérisation des différents faciès physico-chimiques	5
Figure 4 : Corrélacion calcium/conductivité	6
Figure 5 : Corrélacion sulfates/conductivité	6
Figure 6 : Variations longitudinales de la conductivité dans le tunnel	7
Figure 7 : Variations longitudinales de la physico-chimie dans le tunnel	8
Figure 8 : Variations temporelles de la physico-chimie des échantillons.....	9

I Contexte de l'étude

Une éruption exceptionnelle a eu lieu sur le Piton de la Fournaise entre le 2 avril 2007 et le 1^{er} mai 2007. Qualifié d'éruption du siècle, cet événement a entraîné la mise en place d'une coulée de lave sur une surface d'environ 3.6 km². Le volume de lave est estimé à 120 millions de m³. Par endroit, l'épaisseur de lave accumulée est supérieure à 50 m.

En avançant sur l'océan, le magma a dévalé les pentes sous-marines abruptes du Grand Brûlé. Le réchauffement des eaux profondes a entraîné la mort de poissons abyssaux et la découverte de nouvelles espèces comme le *Symphysanodon pitondelaournaisei*.

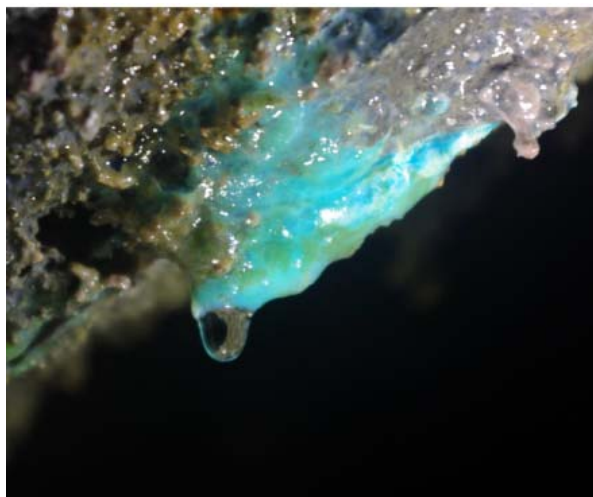
La rencontre entre l'eau et le feu a entraîné une évaporation intense et une accumulation importante d'humidité au niveau du relief. Des précipitations abondantes se sont abattues sur la zone pendant la majeure partie de l'éruption.

Après plusieurs années de refroidissement, certaines parties des tunnels de la coulée de 2007 ont été explorées par des équipes expérimentées. De nombreuses concrétions minérales inédites, jamais observées à La Réunion dans les autres tunnels existants, étaient présentes sur un linéaire d'une centaine de mètres. Au fond de cette galerie, les températures atteignaient encore plus de 100°C au début de l'année 2014.

Les concrétions minérales étaient associées à des gouttes d'eau qui perlaient depuis la voûte du tunnel. L'analyse de la conductivité de ces gouttes d'eau a montré des valeurs supérieures aux valeurs habituelles dans ce contexte. Des analyses physico-chimiques des eaux ont été réalisées afin d'identifier l'origine des phénomènes de minéralisation des eaux en lien avec la mise en place de coulées de lave.



Concrétions blanches composées de sulfates, de sodium et de potassium



Concrétions bleutées contenant du cuivre en faible proportion

II Comparaison des eaux de la coulée 2007 avec d'autres types d'eau du secteur



Figure 1 : Carte de localisation des points de mesures

Plusieurs sites de mesure ont été sélectionnés afin de comparer la physico-chimie des eaux prélevées dans la coulée 2007 avec les eaux retrouvées dans d'autres coulées. La Figure 1 présente la localisation des sites de mesure. Les prélèvements d'eau ont été réalisés dans des tunnels de lave qui se trouvent à quelques mètres sous la surface du sol. L'eau prélevée provient de gouttes qui tombent de la voûte des tunnels. En fonction de la durée qui sépare la chute des gouttes, le temps de remplissage des flacons varie de quelques minutes à plusieurs heures.

Les mesures réalisées montrent que les eaux de la galerie de la coulée de 2007 présentent des conductivités comprises entre 200 $\mu\text{S/cm}$ et 2 200 $\mu\text{S/cm}$ alors que les conductivités des eaux des coulées plus anciennes et refroidies ont des valeurs inférieures à 100 $\mu\text{S/cm}$ (cf. Figure 2).

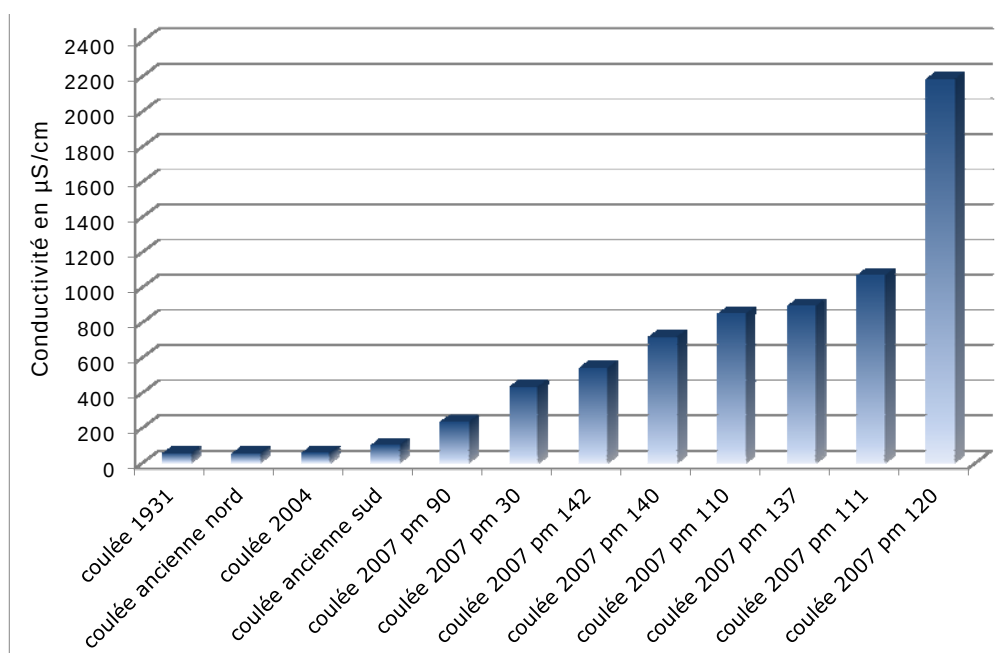


Figure 2 : Comparaison entre les valeurs de conductivité mesurées

Comme le montre la Figure 3, les eaux de la galerie de la coulée de lave de 2007 ont un faciès majoritairement hyper chloruré-sulfaté-calci-que. Seuls deux points de prélèvements ont un faciès bicarbonaté-calci-que et magnésien (points métriques 30 et 90). Deux autres ont un faciès bicarbonaté sodique et potassique (points métriques 145 et 180).

En ce qui concerne les autres coulées de lave échantillonnées, les eaux se répartissent majoritairement entre le faciès chloruré-sodique et potassique et bicarbonaté-sodique et magnésien.

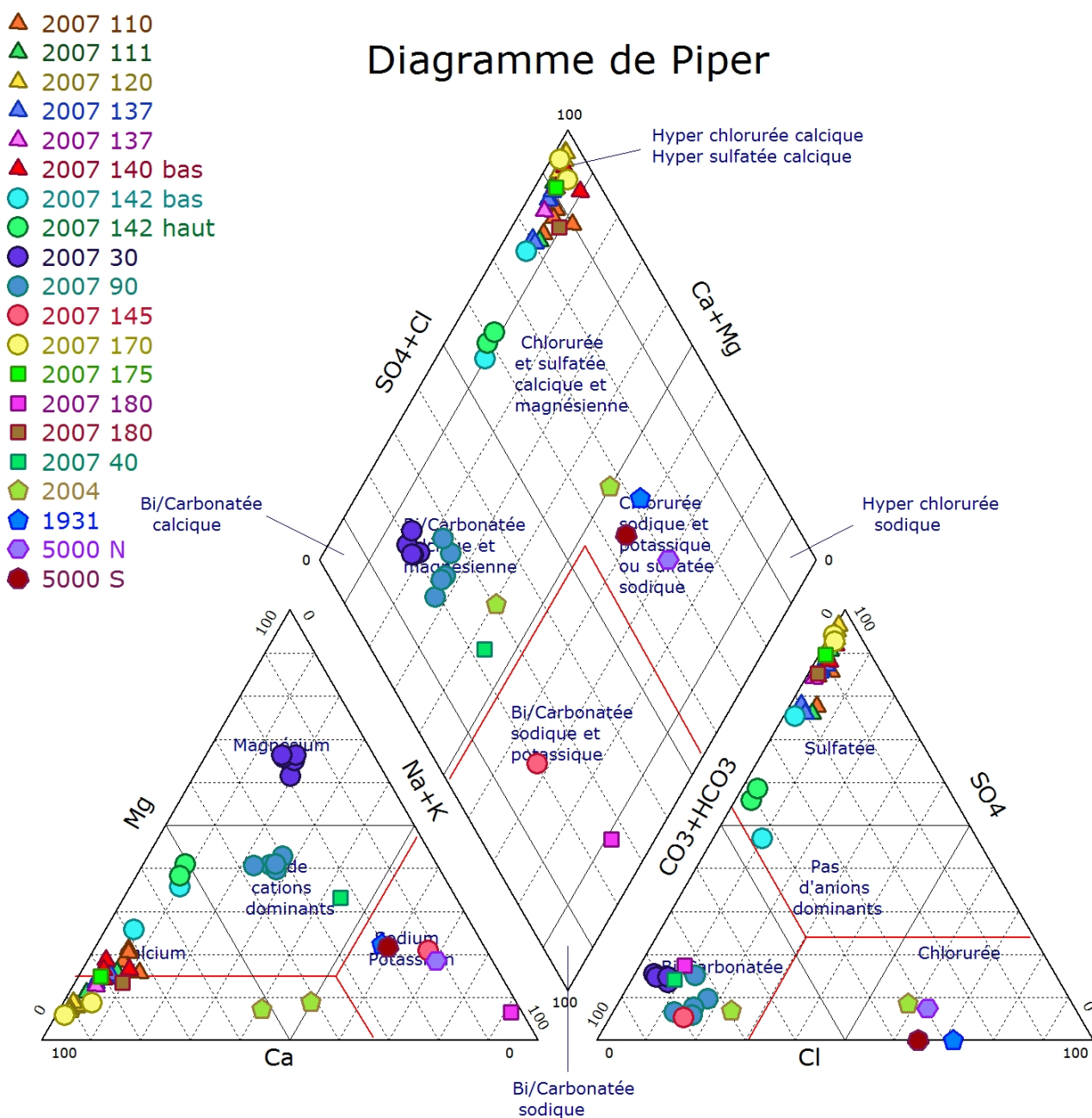
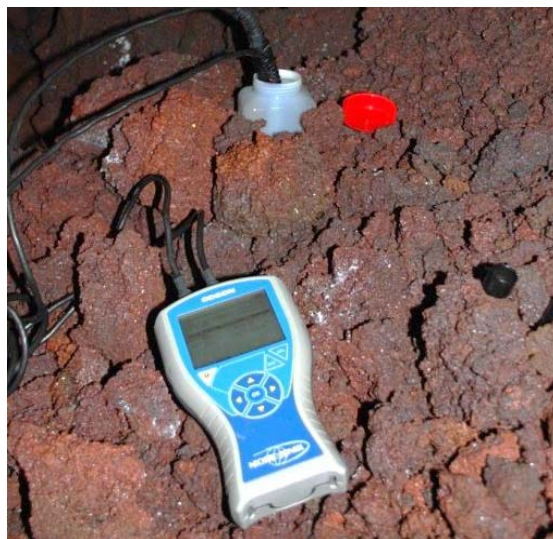


Figure 3 : Caractérisation des différents faciès physico-chimiques

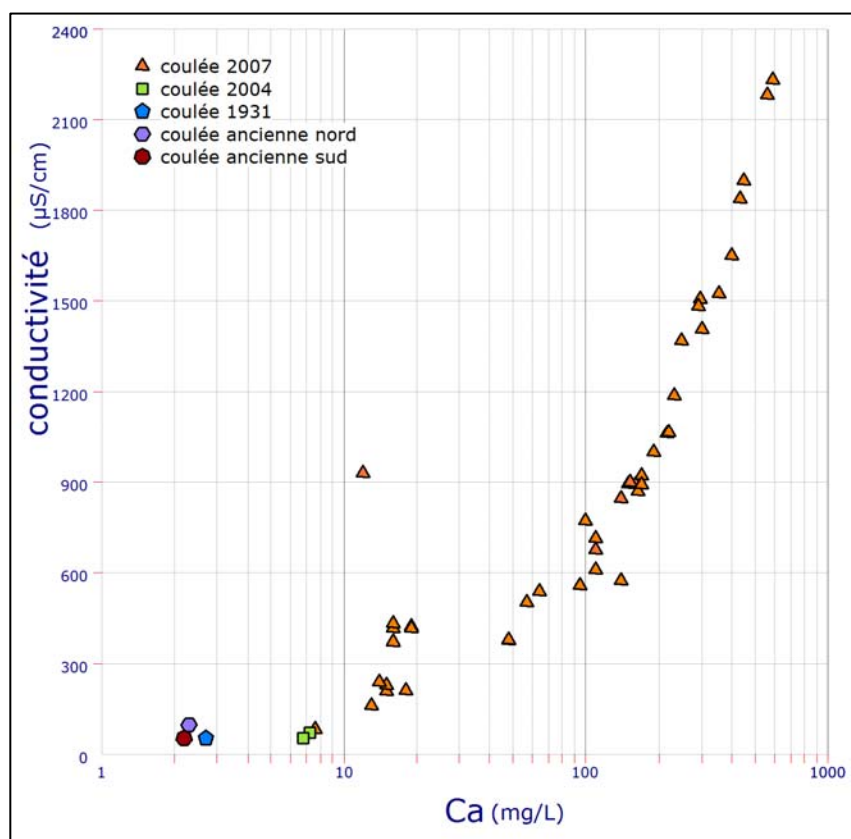


Figure 4 : Corrélation calcium /conductivité

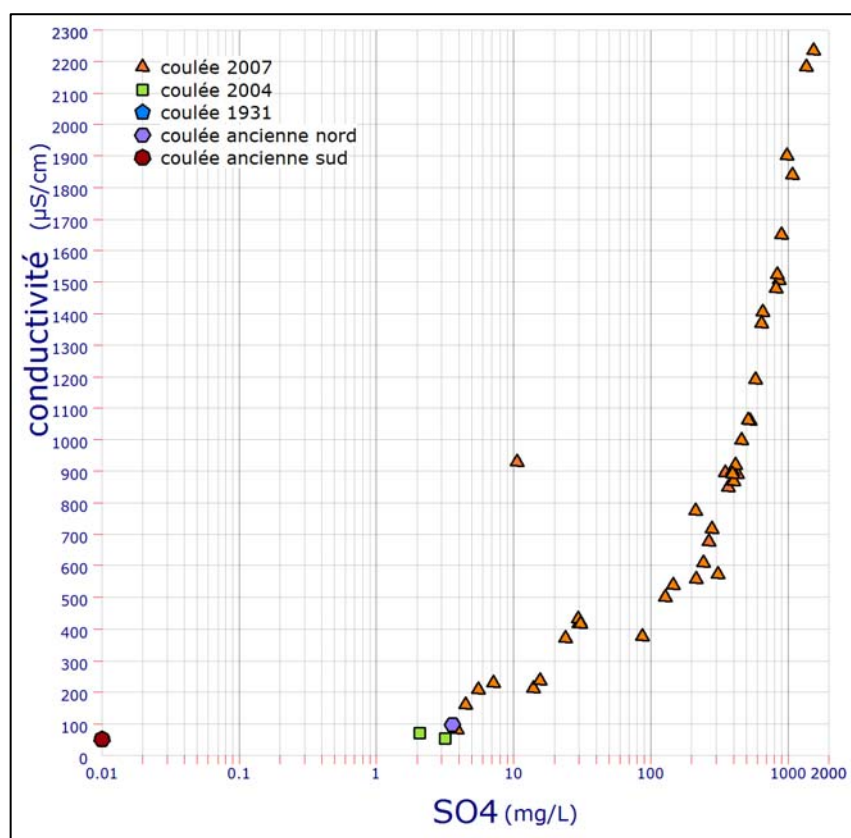


Figure 5 : Corrélation sulfates /conductivité

Les analyses réalisées sur les éléments majeurs dissous montrent que les conductivités importantes mesurées dans les eaux de la coulée 2007 sont liées à des concentrations élevées en sulfates et en calcium qui ne se retrouvent pas dans les coulées plus anciennes et de moindre étendue.

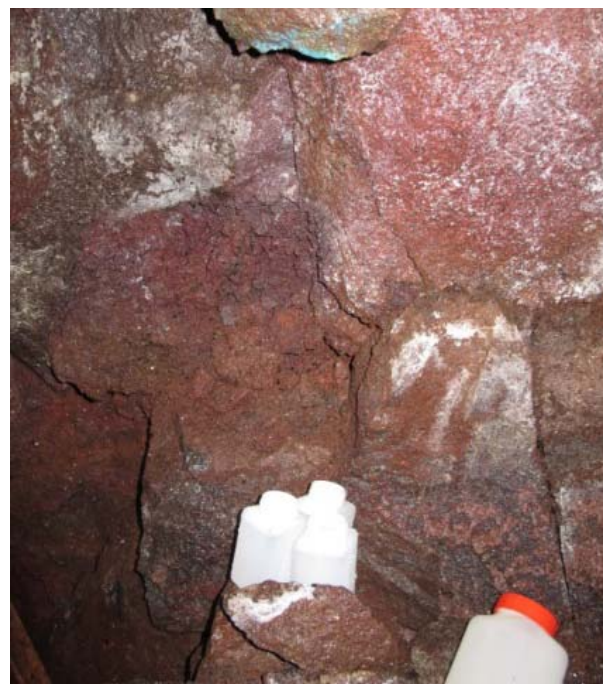
Elles révèlent également que les concentrations varient au sein de la coulée 2007 en fonction du site de prélèvement.

Ainsi, les concentrations en ions calcium et en ions sulfates varient de 7 mg/L à 592 mg/L pour le premier et de 3.9 mg/L à 1 550 mg/L pour le second au sein des échantillons prélevés dans la coulée 2007 (cf. Figure 4 et Figure 5).

Les compositions chimiques des eaux prélevées sur les autres sites de mesures montrent des concentrations 10 à 100 fois plus faibles en calcium, en magnésium et en potassium.

En ce qui concerne les anions, les sulfates, le fluor, les teneurs sont 10 à 100 fois plus importantes dans la coulée 2007 que sur les autres sites de prélèvements.

Les eaux prélevées dans la coulée 2007 montrent bien une particularité qui ne se retrouve pas sur des systèmes de plus petites dimensions.



Prélèvement des échantillons d'eau

III Variabilité spatiale et temporelle au sein de la coulée 2007

Afin d'appréhender la variabilité spatiale et temporelle des eaux présentes dans la coulée 2007, des analyses d'eau sur les éléments majeurs ont été réalisées en avril, juin, août, septembre et décembre 2013 sur 8 points fixes de prélèvements. En parallèle, des mesures in situ de la conductivité ont été réalisées sur 112 points répartis sur les 170 mètres de linéaire accessibles. Chaque point de mesure a été nommé en fonction de sa distance par rapport à l'entrée du tunnel. Dans la suite de l'étude, cette distance est appelée « point métrique » (pm).

III.1 Variabilité spatiale

Comme le montre la Figure 6, les mesures de conductivité réalisées le 31/01/2015 sur les 112 points de mesure permettent de diviser le tunnel en 4 tronçons :

- Tronçon 1 (pm 0 au pm 60) : la conductivité oscille entre un maximum et un minimum sur une distance de 10 m. Sur chacun de ces segments, la conductivité la plus basse relevée est de l'ordre de 200 $\mu\text{S/cm}$, les valeurs les plus hautes sont de 400 $\mu\text{S/cm}$ (pm 29 et 30).
- Tronçon 2 (pm 60 au pm 90) : la conductivité se stabilise sur ce tronçon à une valeur de l'ordre de 200 $\mu\text{S/cm}$.
- Tronçon 3 (pm 90 au pm 150) : cette partie du tunnel présente de fortes variations de la conductivité et des valeurs globalement plus élevées que pour les autres tronçons. Des pics de conductivité de 988, 890, 646 et 580 $\mu\text{S/cm}$ sont visibles sur les échantillons des pm 121, 135, 139 et 142.
- Tronçon 4 (pm 150 au pm 175) : la conductivité se stabilise sur ce tronçon à une valeur de l'ordre de 200 $\mu\text{S/cm}$.

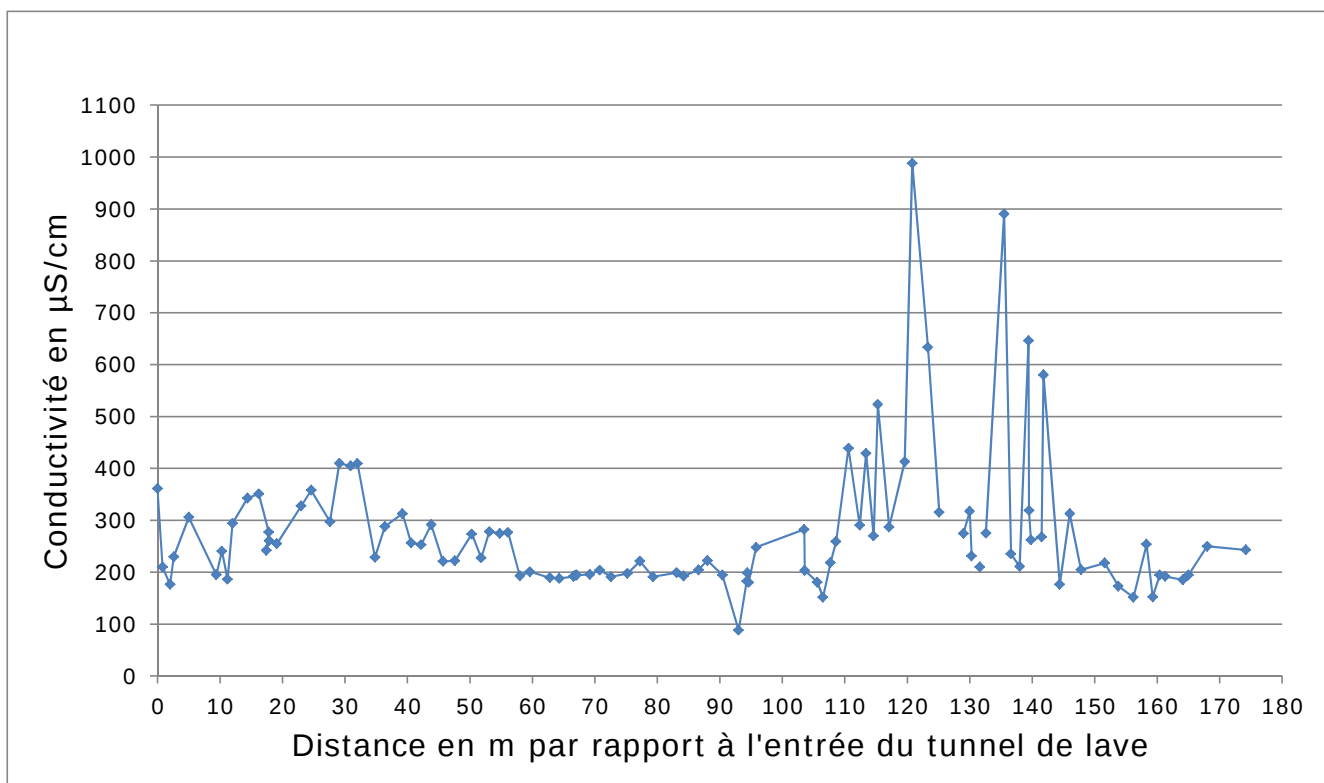


Figure 6 : Variations longitudinales de la conductivité dans le tunnel

Des analyses ont été réalisées au niveau des points métriques significatifs (30, 90, 110, 111, 120, 137, 140 et 142) afin d'identifier l'origine des valeurs globalement élevées de conductivité dans le tunnel de lave de la coulée 2007.

Comme le montre la Figure 7, les analyses révèlent que les hausses de conductivité dans le tunnel de la coulée 2007 sont corrélées avec la hausse des concentrations, par ordre d'importance, des ions sulfates et magnésium pour le tronçon 1 et des ions sulfates et calcium pour le tronçon 3.

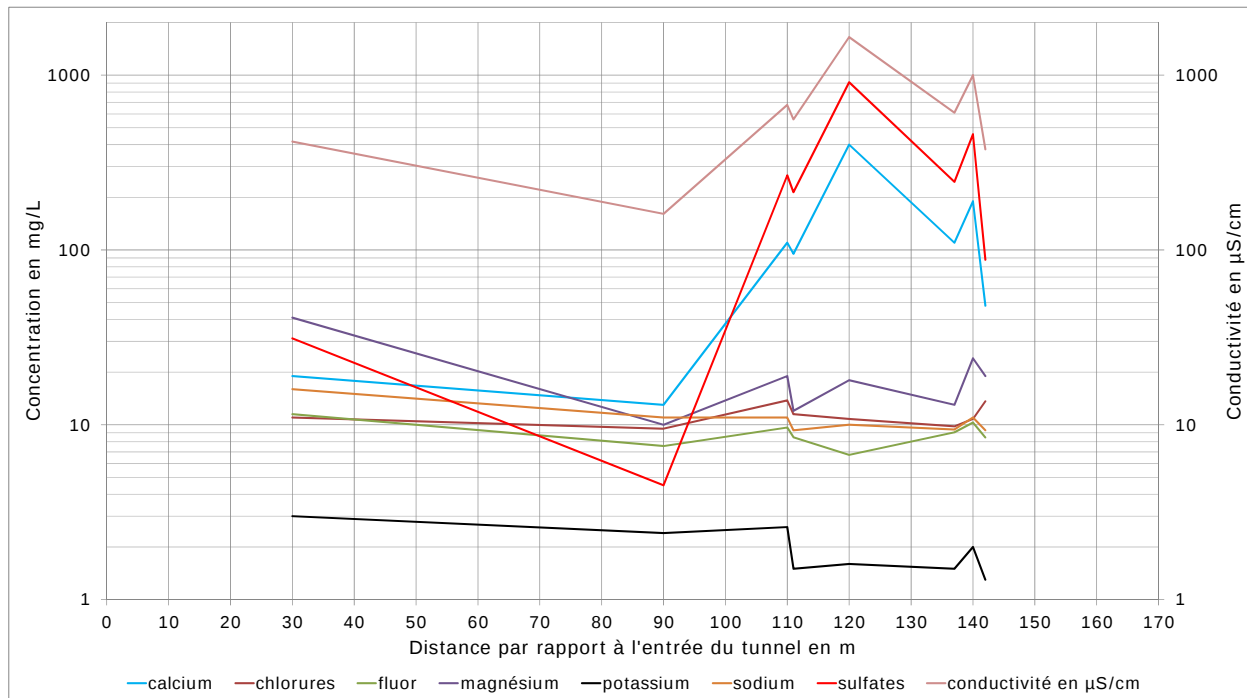


Figure 7 : Variations longitudinales de la physico-chimie dans le tunnel

III.2 Variabilité temporelle

En 2013, cinq campagnes d'analyses physico-chimiques ont été réalisées tous les 2 mois environ afin d'évaluer la variabilité temporelle de la qualité des eaux échantillonnées sur un cycle hydrologique. L'échantillonnage a porté sur les points métriques significatifs afin de ne pas multiplier le nombre d'analyse.

La Figure 8 présente les variations de la conductivité en 2013 sur 4 points de mesure ainsi que la pluviométrie mesurée sur le massif du volcan (station du Pas de Bellecombe). Les analyses montrent des variations interannuelles significatives sur les points 110, 120, 137 et 140.

A l'exception du pm 110, la conductivité augmente entre le mois d'avril et le mois de juin. Les plus fortes hausses sont enregistrées sur les pm 120, 137 et 140. Après cette hausse, les conductivités restent stables jusqu'en septembre 2013, à l'exception du pm 140 dont la conductivité est la seule à diminuer entre le 12/08 et le 09/09. Entre le mois de septembre et le mois de décembre 2013, la conductivité de tous les échantillons diminue à l'exception de l'échantillon 140 qui montre une tendance inverse des valeurs de conductivité.

Comme cela est visible sur la Figure 8, les analyses d'eau réalisées sur les éléments majeurs contenus dans les échantillons permettent d'observer les variations des espèces dissoutes qui contrôlent les variations de conductivité. Les variations temporelles de la conductivité des différents points de mesure sont contrôlées essentiellement par les variations de concentrations en ions sulfates, calcium et magnésium. Les autres ions ne semblent pas avoir une influence significative sur les variations de conductivité.

Les précipitations jouent probablement un rôle important dans ces variations en permettant une mobilisation accélérée des éléments chimiques contenus au niveau du cœur chaud de la coulée de lave. En effet, les observations in situ ont montré qu'à la suite d'événements pluvieux intenses, des flux de vapeurs d'eau chaudes circulaient dans les tunnels de lave. Les températures de ces vapeurs ne sont pas connues précisément. Elles ont entraîné la fonte partielle de matériels en plastique laissés sur place, ce qui suggère des températures nettement supérieures à 100°C. Dans le même temps, un détecteur de gaz H₂S a été laissé sur place. Il a permis de mémoriser la valeur maximale en gaz H₂S dans le tunnel. Ainsi, la hausse de température a été associée à un pic de gaz H₂S dans le tunnel qui a saturé le détecteur, probablement en raison de concentration importante en H₂S.

Parallèlement à ce phénomène de mobilisation des éléments chimiques, des précipitations moins intenses mais significatives, comme celles visibles en octobre 2013, entraînent vraisemblablement une dilution des eaux chargées associée à une baisse de la conductivité des eaux dans le tunnel.

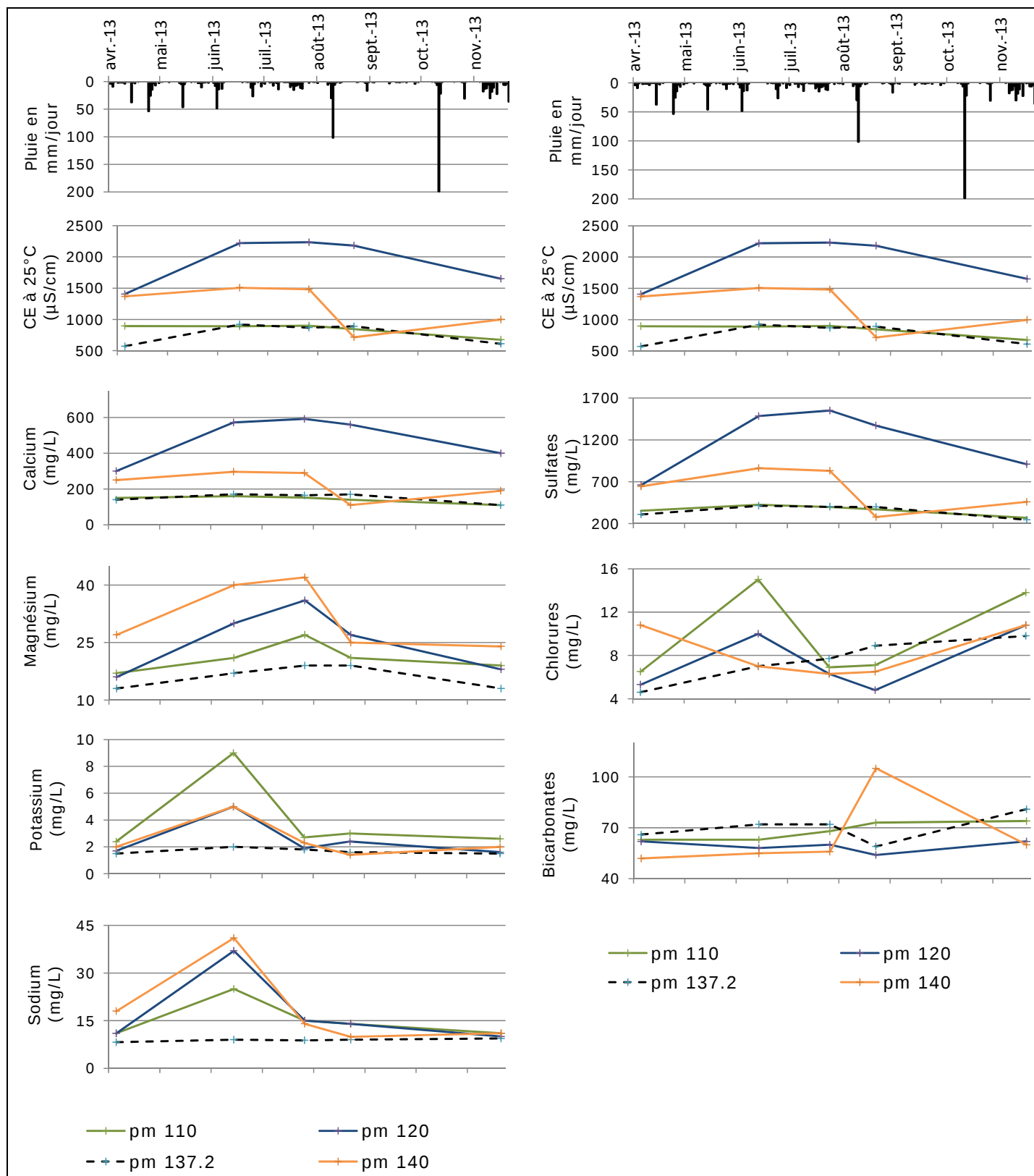


Figure 8 : Variations temporelles de la physico-chimie des échantillons

IV Conclusion

Lors de sa mise en place en 2007, l'arrivée en mer du magma avait entraîné des précipitations intenses associées à un panache de vapeur et de gaz. A la même période, des augmentations significatives de la conductivité des eaux souterraines de la nappe de base avaient été mesurées à plusieurs kilomètres au Sud, au niveau de la commune de Saint-Philippe. Les analyses complémentaires avaient permis d'expliquer ces augmentations de conductivités par une hausse des teneurs en sulfates dans la nappe souterraine.



Puits de lumière au sein du tunnel de lave

A l'heure actuelle, le phénomène se poursuit mais de manière plus locale. Les analyses réalisées sur les eaux des coulées « anciennes » (âge supérieur à 5000 ans) ou de moindre ampleur (1931, 2004) sont toujours faiblement minéralisées en comparaison des eaux de la coulée de 2007.

Cette étude a permis de décrire la minéralisation des eaux présentes dans le tunnel de la coulée 2007. Les conductivités élevées mesurées sont

liées à des concentrations importantes en sulfates, en calcium, et dans une moindre mesure en magnésium.



Prélèvement des échantillons de minéraux

Sur la base de ces premiers résultats, la coulée de 2007 semble apporter encore aujourd'hui de la chaleur, des gaz et des éléments chimiques sous forme minérale.

Dans ce contexte, les eaux qui percolent dans le tunnel se chargent plus ou moins en éléments chimiques à la faveur des contrastes de perméabilité qui contrôlent également les circulations de chaleur et de gaz.

Les précipitations ont tendance à faire baisser la conductivité et les concentrations en éléments majeurs des échantillons. Ce phénomène est particulièrement visible après la saison des pluies (en avril 2013) mais également pendant la saison sèche où deux événements pluvieux intenses (août et octobre 2013) font diminuer progressivement ces paramètres.

A l'inverse, l'entrée dans la saison sèche voit une augmentation de la conductivité des échantillons. La diminution des précipitations permet de concentrer les éléments majeurs dans les eaux contenues dans la coulée de lave.

Des analyses minéralogiques sont réalisées au laboratoire Géosciences de l'Université de La Réunion afin d'identifier les phases minérales associées à ce système. Les premiers résultats révèlent la présence d'une forme « haute température » de sulfates de sodium, jamais décrites dans ce contexte, et qui devrait apporter des informations précieuses sur les processus de refroidissement des coulées volcaniques.