



# ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA TERRE



## Quantification des flux naturels d'H<sub>2</sub> : étude de cas

Directeur de thèse : Alain Prinzhofer

Co-directeur de thèse : François Guyot

Laboratoire de rattachement : Géochimie-Cosmochimie, IPGP

Direction de Géologie-Géochimie-Géophysique, IFP

On découvre progressivement que de l'H<sub>2</sub> est émis sur la planète localement de manière relativement abondante et parfaitement naturelle et continue. Mais l'H<sub>2</sub> étant une excellente source d'énergie et une molécule très mobile, il tend à être consommé (de manière biologique ou abiotique) ce qui explique le peu d'accumulations piégées en subsurface. Quand il accède à l'atmosphère, il est perdu dans l'espace n'étant pas retenu par l'attraction terrestre s'il n'est pas transformé pendant son transfert. Se pose donc la question: peut-on envisager une exploitation directe des flux d'H<sub>2</sub> sur la planète comme source d'énergie primaire pérenne et propre ?

Le flux naturel d'H<sub>2</sub> pourrait, de fait, être regardé comme une nouvelle source d'énergie primaire et comme un modèle soutenable de production d'énergie propre (simple émission d'H<sub>2</sub>O, pas d'émission de gaz à effet de serre) et renouvelable (flux continu, génération d'H<sub>2</sub> synchrone de l'émission).

Les travaux récents, effectués notamment à l'IFP, ont montré que la genèse de l'H<sub>2</sub> naturel trouve son origine principale dans des réactions entre le manteau supérieur et l'hydrosphère (interaction roches ultrabasiques – eau), par oxydation des métaux (Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, ...) et réduction de l'eau. Quand le processus est engagé, il génère des conditions très réductrices capables de déstabiliser d'autres molécules (réduction du CO<sub>2</sub> se transformant en CH<sub>4</sub>, probablement déstabilisation de composés azotés qui peut être une source supplémentaire d'H<sub>2</sub>, ...). Ce processus est associé à l'expulsion d'eaux hyperalcalines (chargées en ions OH<sup>-</sup>) à pH très élevé (entre 11 et 12). Ces eaux, en migrant vers la surface, induisent une chaîne de réactions diagénétiques qui est mal comprise (avec notamment précipitation de calcite, d'aragonite et de brucite qui se déstabilise ensuite et se transforme progressivement en magnésite, ...). Cette chaîne de réactions diagénétiques est associée à la capture du CO<sub>2</sub> atmosphérique lors de la précipitation des carbonates.

Par ce sujet de thèse, nous proposons, sur un chantier (Oman, en cours d'étude à l'IFP), (1) de quantifier les flux (flux de gaz dans les sources, flux de gaz dans les fractures, notamment par une étude basée sur une cartographie des émissions à l'aide de détecteurs analyseurs d'H<sub>2</sub> portables et de l'analyse d'images satellite), (2) d'étudier les processus de migration de l'H<sub>2</sub> (localisation à grande échelle, localisation de détail dans les réseaux de fractures) et (3) d'étudier la chaîne de processus

diagénétiques associée à cette migration d'H<sub>2</sub> (lames minces, DRX, MEB, inclusions fluides, analyses  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$ , datations U/Th des carbonates) à la fois dans les systèmes de fractures et en surface.

Une telle étude permettrait de mieux évaluer si l'exploitation directe des flux naturels d'H<sub>2</sub> est une chose concrètement envisageable. En effet, cette étude devrait fournir (1) un ordre de grandeur des volumes et des flux de gaz émis, (2) des exemples de référence de ce qu'est concrètement une sortie d'H<sub>2</sub> (où sort l'H<sub>2</sub>? s'agit-il de flux diffus dans un réseau de fractures ou focalisés dans un système de failles?, ce qui est important dans la perspective d'une production), (3) de mieux comprendre les processus de fixation du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et d'effectuer un bilan carbonates / émissions d'H<sub>2</sub> (on s'attend à ce que la carbonatation soit associée à la quantité d'ions OH<sup>-</sup> émise qui est à relier avec la quantité d'H<sub>2</sub> émise). Cette dernière approche permettra aussi d'estimer la durée de vie à long terme (plusieurs milliers d'années) des flux d'H<sub>2</sub> par une datation des carbonates associés. Une bonne compréhension des processus de carbonatation associés aux flux d'H<sub>2</sub> fournira également un exemple naturel de processus d'utilisation du CO<sub>2</sub> de l'air dans des réactions minérales qui pourrait servir de référence pour développer des procédés artificiels de capture et piégeage du CO<sub>2</sub> atmosphérique.