



*Ce document contient la transcription textuelle d'une vidéo du MOOC UVED « Énergies renouvelables ». Ce n'est donc pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots, l'articulation des idées et l'absence de chapitrage sont propres aux interventions orales des auteurs.*

## *Les principes de la géothermie haute température non conventionnelle*

**Jean SCHMITTBUHL**

*Directeur de recherche – CNRS*

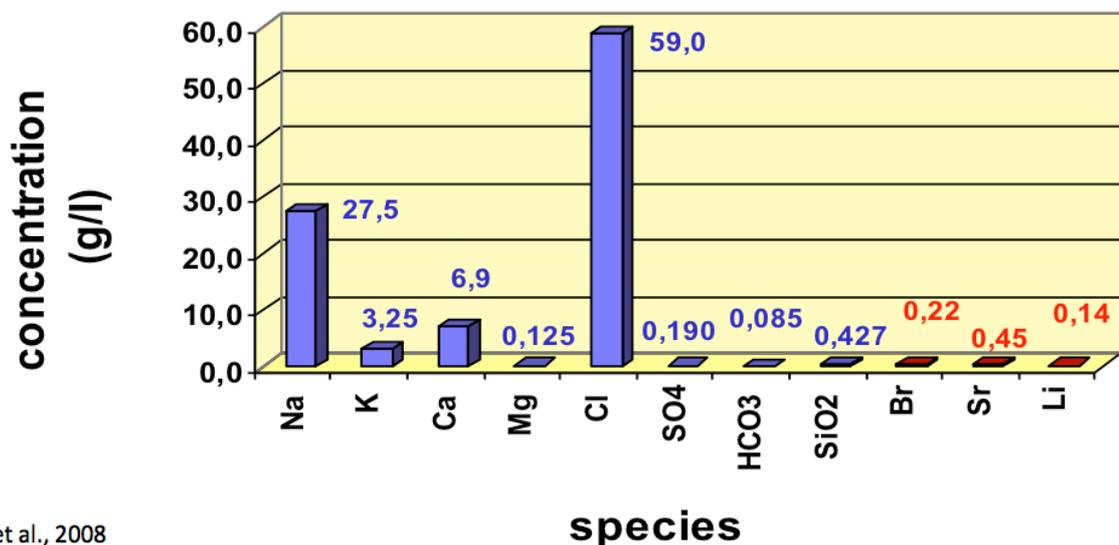
Alors la géothermie haute énergie non conventionnelle.

- Donc là, on s'intéresse à une ressource au-delà de 150 °C qui définit la géothermie haute température mais dans un cadre non conventionnel, c'est-à-dire qu'à priori on va chercher à modifier le milieu pour réussir à exploiter cette énergie et c'est souvent le cas quand on va très profond.
- Donc l'objectif, c'est de produire de l'électricité principalement et peut-être aussi un peu de chaleur.
- Et dans le cadre de cette géothermie non conventionnelle, on a eu une évolution très singulière des concepts, des principes, en grande partie suite à l'expérience de Soultz-Sous-Forêts.

Donc là je voudrais revenir un peu sur l'historique de ce concept parce qu'il est majeur et qu'il a changé le paradigme sensiblement.

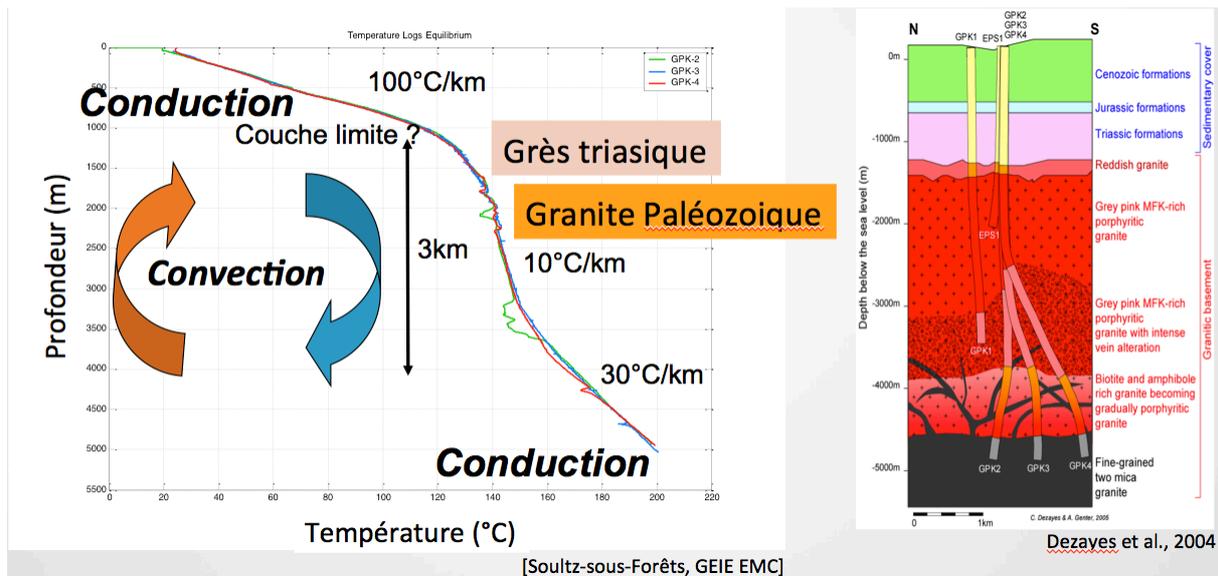
- Donc on est partis d'une idée qu'on a appelé *Hot Dry Rock* (HDR) où le principe était finalement essayer de transposer un peu la situation typique, je dirais, du bassin de Paris avec un milieu poreux naturel, dans lequel circule un fluide et on avait l'objectif d'exploiter ce fluide circulant.

- Donc la prolongation de cette idée là, ça a été de se dire, si le milieu poreux naturel n'existe pas naturellement, et bien on va essayer de le reproduire, de l'introduire dans le milieu et pour ça donc de fracturer le milieu artificiellement pour créer cet espace poreux.
- Donc ça c'était l'essence de l'idée, de créer cet aquifère en profondeur pour faire circuler un fluide artificiel, puisque dans l'idée, il n'existait pas naturellement, pour extraire cette chaleur et ensuite produire de l'électricité.
- En fait, avec l'histoire de Soultz-Sous-Forêts, on s'est aperçus qu'il y avait un fluide naturel important qui circulait, donc il y avait un espace poreux de circulation avec un fluide naturel et, ce qui est très singulier dans le cas de Soultz-Sous-Forêts, c'est que ce fluide naturel il est extrêmement salé, c'est un grand océan profond si on peut dire, avec une eau qui peut être trois fois plus salée que l'eau de mer, donc une saumure profonde qui circule.



Saniuan et al., 2008

- ⇒ Donc l'idée au départ qui était d'imaginer que la roche était sèche, n'était pas du tout validée.
- ⇒ Donc ça c'était un premier point d'évolution sensible.
- La deuxième observation qui a fait évoluer le concept, c'est que la circulation était importante et ça, on l'a vu en regardant, en essayant de comprendre le profil de température qui est mesurée dans un puits de forage à Soultz-Sous-Forêts.
- Si on s'imagine être un petit capteur qui descend dans un puits de forage à Soultz-Sous-Forêts depuis la surface jusqu'au fond du puits à 5000 mètres, on va voir la température évoluer de façon non continue.



⇒ Elle évolue très rapidement sur le premier kilomètre, dans la partie sédimentaire du système et puis ensuite, quand on va vers la partie plus profonde, en dessous des sédiments, en fait la température n'évolue pratiquement plus, elle évolue dix fois moins, une dizaine de degrés par kilomètre, pour revenir à une évolution plus classique d'une trentaine de degrés par kilomètre.

- Et pour expliquer cette anomalie de comportement, et bien il faut penser à une circulation majeure sur plusieurs kilomètres de hauteur de grande boucle de convection.
- Donc on voit bien que l'idée au départ d'un système sec où il fallait créer complètement le milieu poreux pour arriver à une circulation n'était pas du tout pertinente et ce nouveau concept, on lui a donné un autre nom, qui s'appelle cette fois-ci EGS (ou *Enhanced Geothermal System*).

⇒ L'idée de fond, elle est assez simple, c'est de dire qu'il existe beaucoup de choses naturellement et il faut les utiliser.

⇒ Il existe d'une part un milieu où circule le fluide, c'est l'ensemble des grandes failles préexistantes et puis l'autre chose, c'est qu'il y a une circulation naturelle qu'il faut aller exploiter.

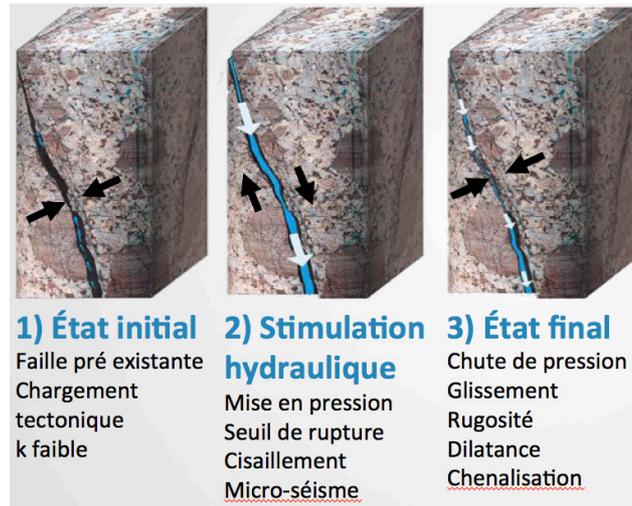
- Donc dans le nouveau concept, on ne va pas du tout chercher à créer ce réservoir, on va utiliser les failles existantes et la grande spécificité c'est d'aller créer les forages qui vont sur ces failles préexistantes pour aller prélever le fluide naturel.

- L'autre point qui a fait un peu évoluer les choses, c'est le fait qu'on a introduit des tarifs de rachat de l'électricité, fixés, et qui permettent d'avoir une planification de la ressource financière sur de nombreuses années.

Alors, le cœur de cet aspect non conventionnel, c'est modifier le milieu et la principale technique pour le faire c'est ce qu'on appelle la stimulation hydraulique.

C'est en fait la stimulation générale mais principalement utilisée c'est la stimulation hydraulique.

- Dans l'esprit, elle se différencie assez singulièrement de ce qu'on pourrait appeler la fracturation hydraulique où là on cherche à créer la fracture avec une montée en pression hydraulique, ici là on cherche à réutiliser une faille existante avec une mise en pression ce qui en fait une différence.



- Donc, si on compare ou qu'on définit trois grands stades dans ce système-là, l'état initial, c'est une fracture qui existe déjà.

⇒ Donc on ne la crée pas, on cherche à faire rejouer une fracture existante.

- La deuxième étape, c'est de mettre en pression pour arriver jusqu'à la chute de la pression effective sur la fracture et donc son cisaillement, ce qui va générer un micro séisme au moment de son glissement.

- Et puis, l'état final, c'est la reprise de l'effort mais du fait de la dilatance de la fracture, donc du fait que quand elle se cisaille, est obligée de s'ouvrir pour pouvoir se cisailer du fait de la topographie assez compliquée de ses fractures.

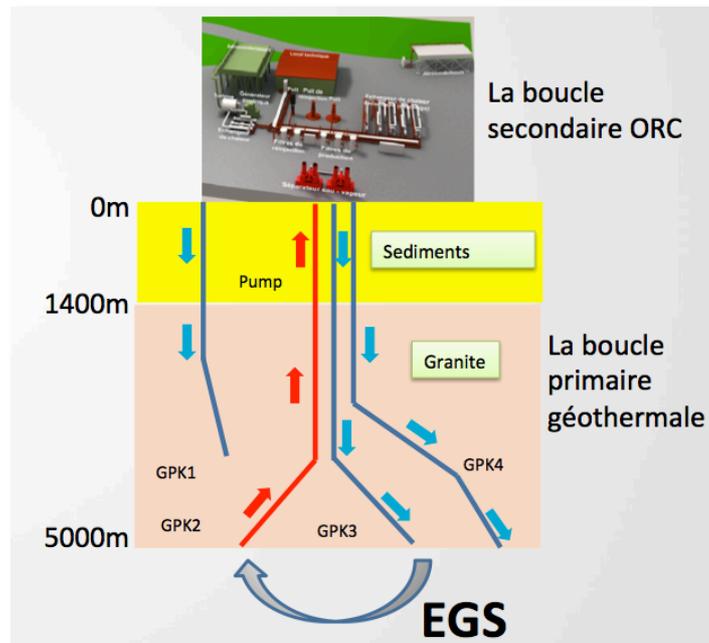
⇒ Elle est obligée de passer par-dessus les aspérités et donc elle va rester plus ouverte après qu'avant.

⇒ Donc c'est ça vraiment la stimulation que, dans un certain jargon, on appelle l'*hydro-shear*.

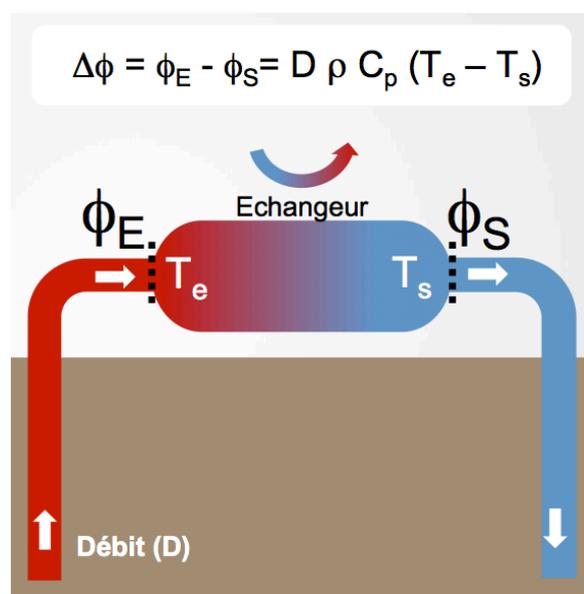
Alors, ça c'est ce qui se passe dans le sous-sol. Pour cette technologie-là, il faut aussi une installation de surface avec une centrale qui permet la circulation à grande échelle.

- Dans cette centrale, il y a principalement deux grands systèmes.

- Il y a d'une part ce qui permet de réaliser la boucle géothermale, donc la pompe et le système de fermeture de la circulation géothermale ;
  - Et l'autre partie - puisque c'est en deux sous-systèmes -, il y a un fluide spécifique qui vient prélever la chaleur qui est extraite de la boucle géothermale pour l'emmener vers une turbine qui va produire l'électricité.
- ⇒ C'est la boucle secondaire typiquement ORC.



- Donc si on fait la différence entre ces deux flux, on peut l'estimer à partir du débit ( $D$ ), de la densité du fluide ( $\rho$ ), de la capacité calorifique de ce fluide et de la différence de température entre l'entrée ( $T_e$ ) et la sortie ( $T_s$ ).



- Alors si on applique les paramètres qui sont en gros utilisés à Soultz-Sous-Forêts, on voit que le flux, le bilan est de l'ordre de 9,5 MW thermiques avec une capacité calorifique de 4200 J par kilogramme par kelvin, une densité d'environ 2000 kg par mètre cube et un débit de 25 litres par seconde, pour une température d'entrée de 160°C et une température de sortie de 70°C.
  - ⇒ Ça c'est les chiffres qui sont vraiment typiques de cette technologie et que l'on peut garder en tête.
  - ⇒ Et tout ça, c'est pour une certaine pression, une pression de production donc de pompage de l'ordre de 20 bars et une pression de réinjection qui peut être de l'ordre de 50 bars.
- Et avec ces chiffres-là, on arrivera donc à une production thermique de 9,5 MW thermiques, ce qui donnera avec le rendement de l'ordre de 10 % typiquement, une production électrique de l'ordre du mégawatt.
  - ⇒ Donc on voit que Soultz, dans ce cadre-là reste une centrale à production modérée mais on a tous les chiffres pour à peu près estimer la production d'un tel système.