

Els experts en fisicoquímica

El sistema hidrotermal

Problema: d'on prové l'aigua calenta de les fonts d'Escaldes?

1) Flux de calor i gradient geotèrmic

Una petita part de la calor interna de la Terra és producte de la seva formació per acreció fa 4,55 mil milions d'anys.

Però la calor interna es deu essencialment a les **desintegracions d'elements radioactius** (urani, tori, potassi). Això correspon al **90% de l'energia dissipada**.

La Terra es refreda...

En efecte, la calor interna de la Terra es dissipa lentament per la superfície.

En la part superior de l'escorça terrestre la calor es difon per conducció tèrmica a les roques. El **flux tèrmic** per unitat de superfície s'estima en **80 mW. m⁻²** (mil·liwatt per m²) de mitjana a la superfície del globus (però molt variable segons els llocs).

En el subsòl "proper" (a uns quants quilòmetres de profunditat) el **gradient**

geotèrmic $\frac{dT}{dz}$ és si fa no fa constant i s'estima en **30 graus per quilòmetre**.

S'ha determinat per mesures de temperatures precises en perforacions.



Verificació del gradient tèrmic per un massís granític (simplificat!)

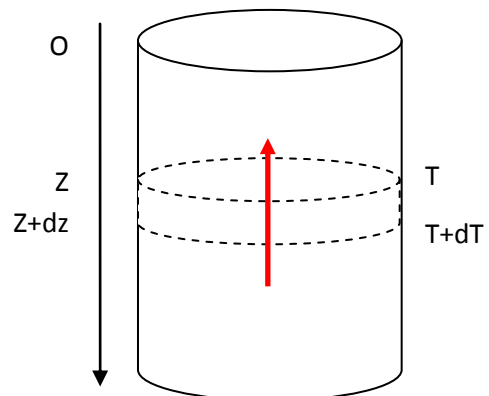
Llei de Fourier:

El flux de calor és proporcional al gradient de temperatura:

$$\Phi = \lambda S \frac{dT}{dz}$$

λ és la conductivitat tèrmica del medi concernit, en aquest cas el granit suposadament "homogeni":

$$\lambda = 2,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$



Avaluar el gradient tèrmic (suposadament constant) en aquest granit simplificat.



La temperatura màxima assolida per les aigües d'Escaldes en el curs del seu avançament pel subsòl s'ha estimat en 80 ± 5 graus.

Avaluar la profunditat assolida per les aigües d'Escaldes.

2) Zona de recàrrega de les aigües d'Escaldes

L'anàlisi isotòpica de l'aigua permet estimar l'altitud de la zona de recàrrega del sistema hidrotermal (zona a partir de la qual l'aigua s'infiltra en el subsòl).



Els isòtops estables:

Oxigen	Hidrogen
^{16}O (99.63%)	^1H (99.9852%)
^{17}O (0.0375%)	^2H (0.0148%)
^{18}O (0.1995%)	

Definim el quocient isotòpic R com la relació entre l'isòtop rar i l'isòtop abundant, per exemple:

$$R_{18} = \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}}$$

Definim les variacions respecte a una relació estàndard com és la de l'aigua de mar a 25°C anomenada SMOW (Standard Mean Ocean Water): $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{SMOW}} = 2,0052 \cdot 10^{-3}$ i calculem una variació relativa (en tant per 1000), per exemple:

$$\delta_{18} = \frac{^{18}R - ^{18}R_{\text{SMOW}}}{^{18}R_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

Aquest quocient isotòpic és (lleugerament) variable, particularment durant els canvis d'estat de l'aigua. **Les molècules més pesants són menys volàtils i per tant es concentren en les fases de condensació (aigua líquida, neu, glaç) durant els canvis d'estats (condensació del vapor d'aigua en pluja o neu...).**

És llavors demostrable, i està constatat experimentalment, que l'altitud de les precipitacions influeix sobre el quocient isotòpic i, per tant, sobre el valor de δ .

En la regió, la variació de δ_{18} en funció de l'altitud s'estima entre - 0,15 i - 0,18 per cada 100 metres.

La comparació de les aigües de pluja d'Andorra la Vella i de les aigües termals d'Escaldes ha donat els valors mitjans anuals següents: *(valors reconstituïts, en absència de dades precises)*

Aigües de pluja Andorra la Vella: - 9,35 > δ_{18} > - 10,92

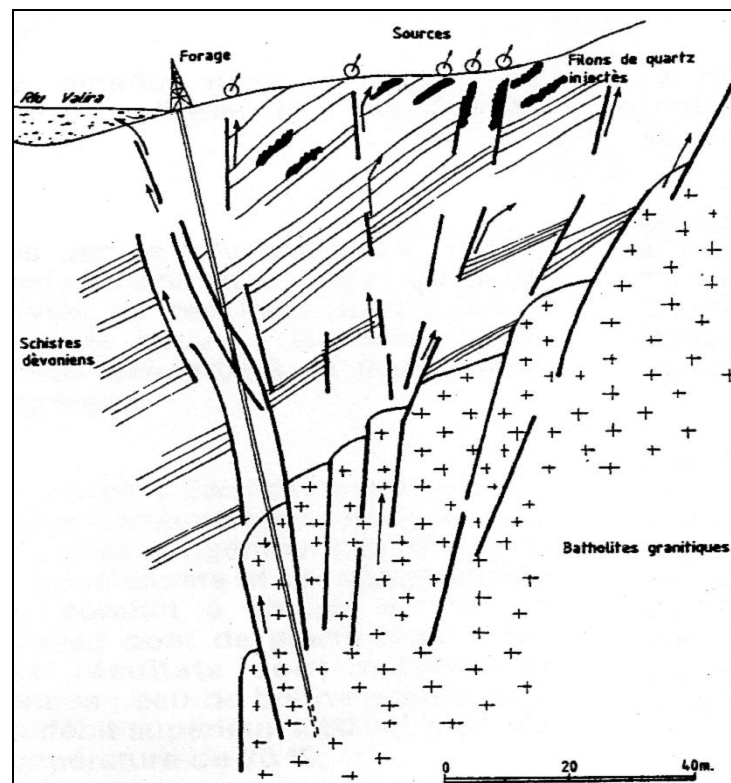
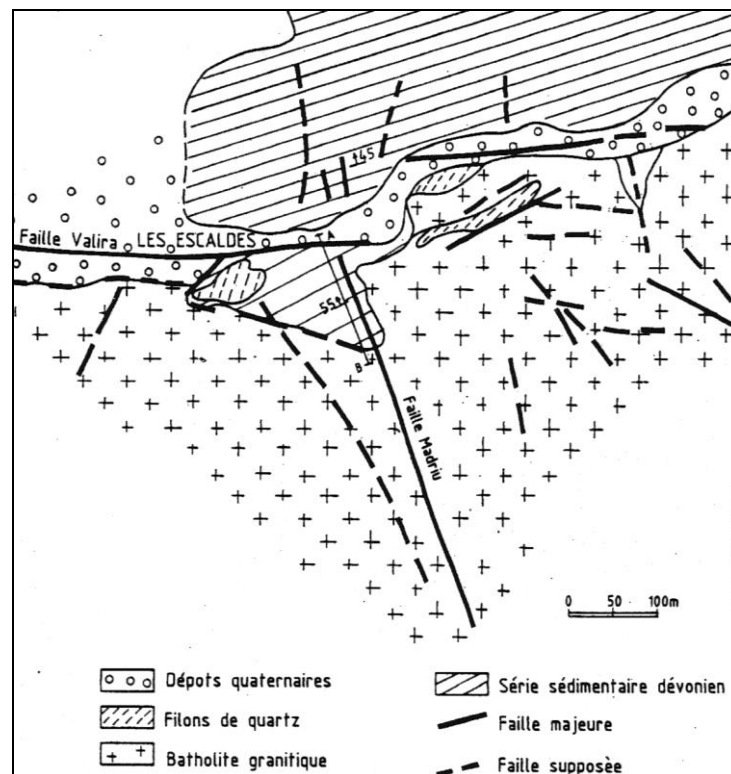
Aigües de la font d'Escaldes: - 11,25 > δ_{18} > - 13,57



**Avaluar l'altitud de la zona de recàrrega del sistema hidrotermal d'Escaldes.
Situat geogràficament la zona probable.**



3) El sistema hidrotermal



“Emplaçament geotermal d’Escaldes-Engordany” Michel Bouvet – revista Géothermie Actualités, vol. 2, n°3, 1985

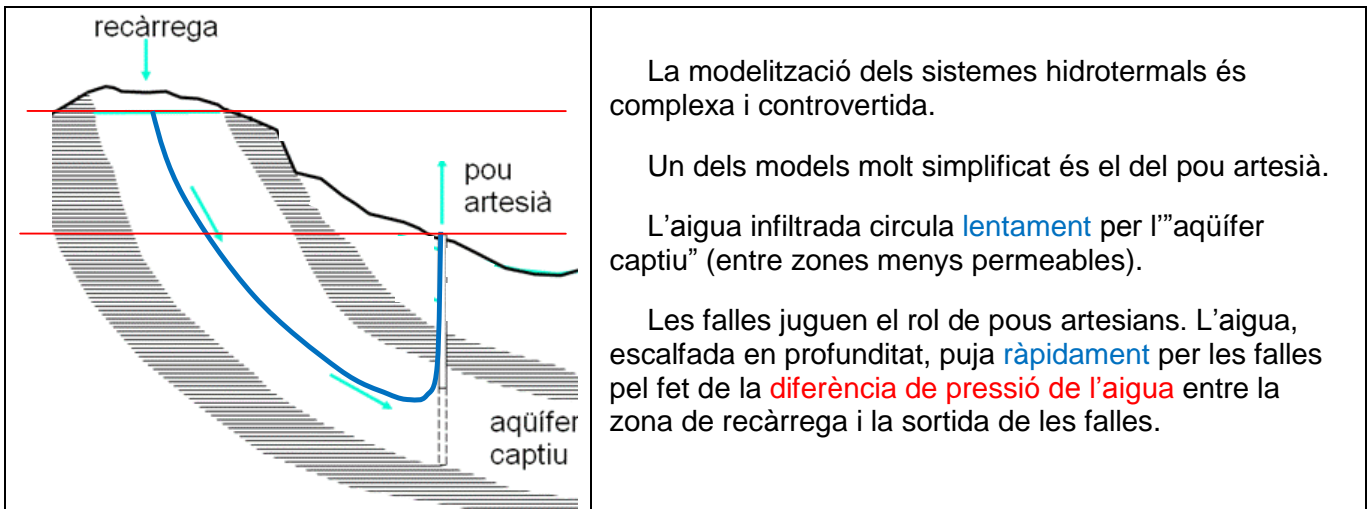
Situar aquesta zona en el mapa geològic.
 És una zona de contacte entre dos tipus de roques: quines ?

Situar Escaldes respecte al sistema de falles.
 Situar la zona de recàrrega en el mapa geològic.



4) L'edat de les aigües d'Escaldes

Els documents difosos per Caldea donen una "edat" d'11.500 anys.
Podem verificar aquesta indicació?



La mecànica dels fluids permet determinar **la conductivitat hidràulica K** del medi on l'aigua s'infiltra. Aquesta depèn de les propietats del medi porós on l'escolament té lloc (granulometria, forma dels grans, repartiment i forma dels porus, porositat intergranular) i de les propietats del fluid concernit pels escolaments (la viscositat, la massa volúmica).

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

Amb:

k: la permeabilitat intrínseca del medi porós (m^2).

ρ : la massa volúmica del fluid, l'aigua ($10^3 \text{ kg} \cdot m^{-3}$).

g: l'acceleració de la força de la gravetat ($9,8 \text{ m} \cdot s^{-2}$).

μ : la viscositat dinàmica del fluid, l'aigua (compresa entre $1,8 \cdot 10^{-3}$ i $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ segons la temperatura)

Quina és la unitat de K? Quina és la seva significació?

Calcular la conductivitat hidràulica tot suposant que el medi porós és granit homogeni (permeabilitat mitjana k compresa entre 10^{-16} i 10^{-14} m^2).



Estimar la distància recorreguda per l'aigua (sense comptar la pujada per les falles).

Estimar l'"edat" de l'aigua d'Escaldes.

Discutir la validesa del model!