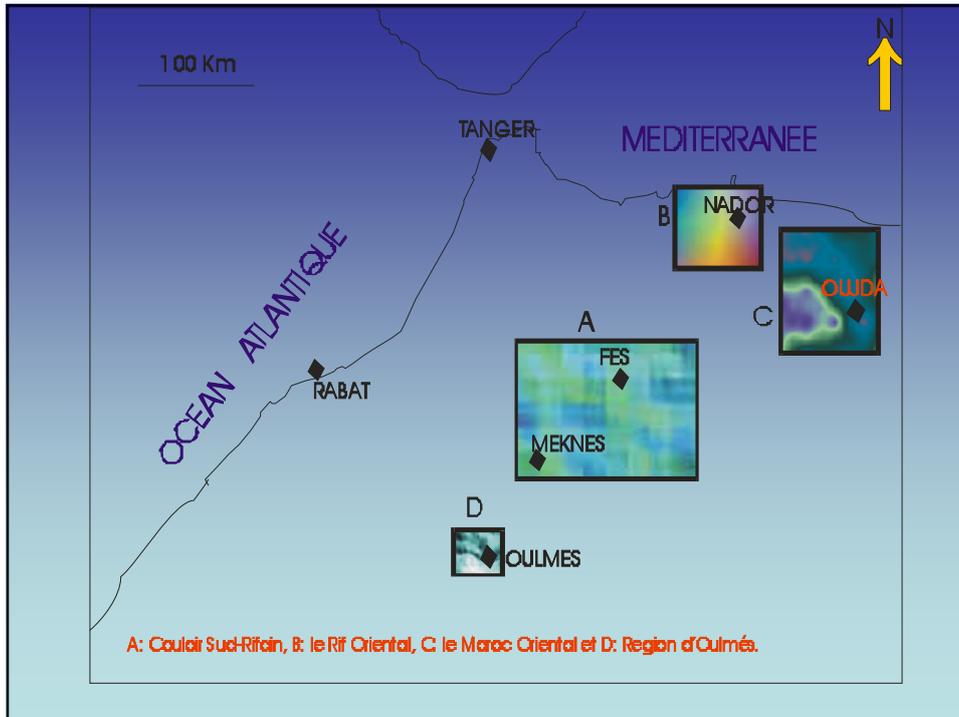
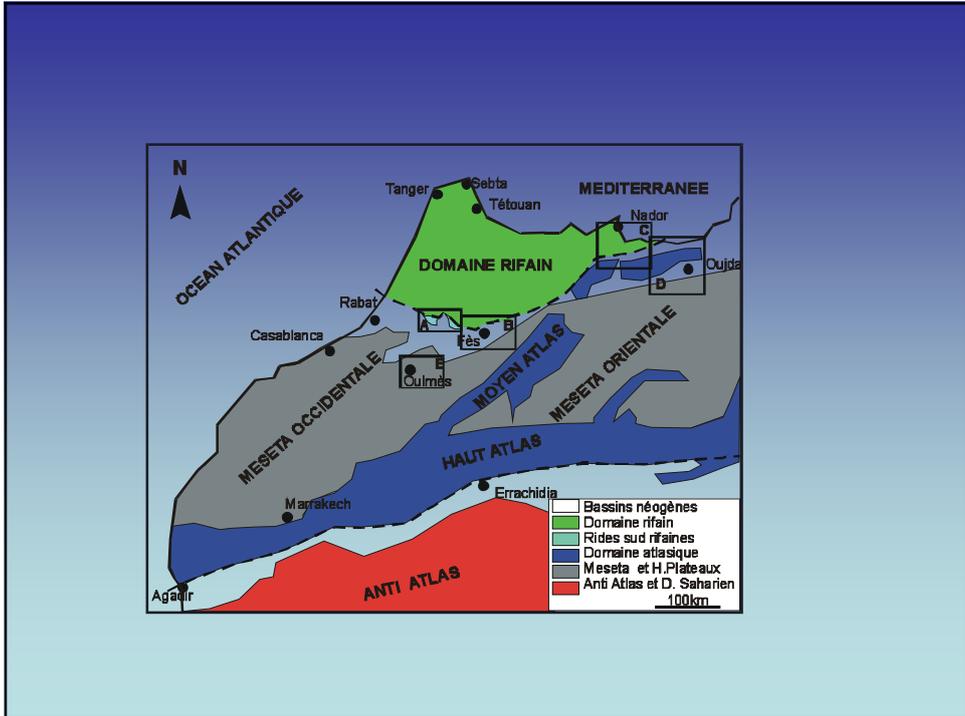


**Aspectos hidroquimicos y isotópicos de las aguas termales del corredor surrifeño (Norte de Marruecos)**

Karim El Morabiti





**El corredor surribeño está limitado por:**

**Tres unidades estructurales:**

**al norte el Rif**

una cadena alpina cuya historia se extiende del triás al Mioceno superior y esta caracterizada por cabalgamientos, retrocabalgamientos y metamorfismo alpino

**al sur la Meseta y el medio Atlas**

material esencialmente carbonatado de edad jurásico.  
zocalo paleozoico estructurado por la tectónica hercénica

**la parte occidental del corredor surribeño**

**los ridos surribeños**

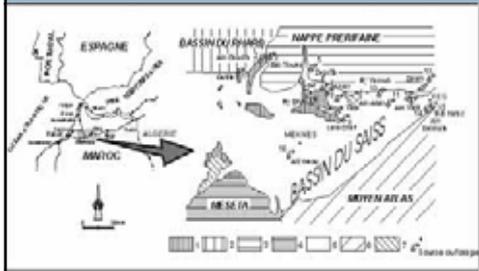
relieves jurásicos separados por depresiones de terrenos neógenos y cuaternarios

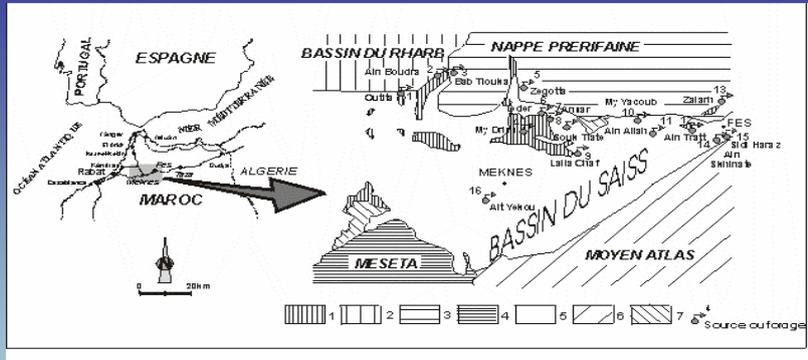
**la cuenca de saiss**

Antefosa de la cadena alpina rifena que ha sido generada a partir del tortoniense superior. La historia tectono sedimentaria de la zona, ha sido efectuada en dos periodos separados por un largo periodo de emersion:

-El primer periodo se extiende del triás al bajociense superior

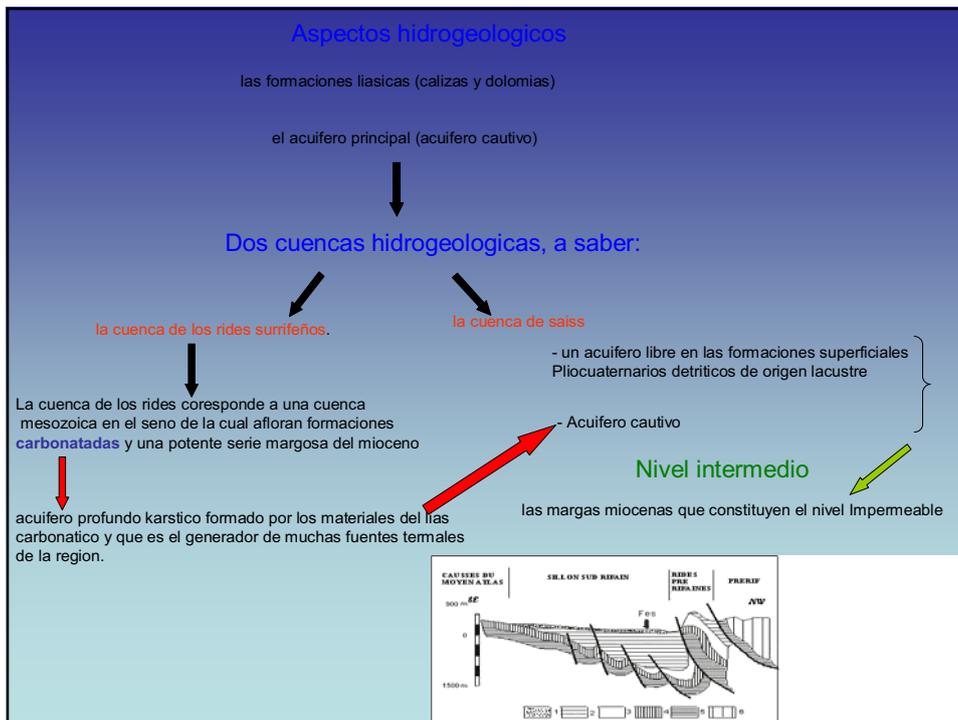
- El segundo periodo de edad mio-pliocena que se efectua gracias a una compresión general relacionada con el acercamiento de las placas africana y europea.





Situation géographique du couloir sud-rifain occidental.

- 1 : Jurassique des Rides ; 2 : Bassin du Rharb ; 3 : Nappe pré-rifaine ; 4 : Méséta ;  
 5 : matériaux plio- quaternaires ; 6 : Moyen Atlas et 7 : Trias salifère. (EL MORABITI, K. et al. 1998 ; EL MORABITI, K. 2000)



## El criterio de la termalidad de Schoeller

- Aguas termales:  $T^{\circ} \text{ agua} > T^{\circ} \text{ aire} + 4^{\circ}\text{C}$

$T^{\circ} \text{aire}$  varia entre 17 et 19°C

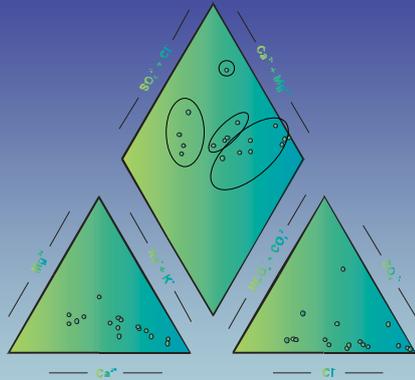


Agua termal,  $T \geq 23^{\circ}\text{C}$

	T°	pH	cond.	Cl	So <sub>4</sub>	Hco <sub>3</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Si <sub>2</sub>	No <sub>3</sub>	Li <sup>+</sup>	Br	NATURE
Outita	40	6,9	11530	2197,5	917,7	268,4	378,6	111,9	1277,2	30,9	6,05	11,4	0,2	0,56	3	source
Boudra	24	7,9	880	102,95	138,8	326,35	111,68	29,61	50,79	5,7	0,57	12,1		0,055		source
Tiouka	24	7,03	45300	10150	100,8	389,79	403,5	283,4	5161,1	41,12	35,56	9,5	26,9	7,54	3,3	source
My.Driss	32	7,04	4400	447,3	720	414,8	344,82	93,35	244,67	5,56	7,03	6,6	0,2	0,062	1	source
Teder	25	6,9	1100	170,4	24	256,2	58,5	10,97	110,8	4,4	0,548	7		0,058		source
Ansar	24,5	7,2	913	96	32	316	137	47	265	10	6	5,9	29	0,02	0,32	source
Souk Tlat	28	6,8	9700	136,32	35,52	228,75	42,7	13,57	63,5	5,18	0,327	7,3		0,028		source
Tratt	25	7,18	1720	276,9	139,2	365	51,1	31,8	237,06	4,3	2,63	7,8		0,178		source
Zalah	37	7,1	8350	2094,5	192	292,8	121,29	47,32	1359,3	25,36	2,508	8,8	0,4	1,161	3	source
My Yacoub	53	6,7	48250	17767,7	38,4	305	1434	419,8	11315,3	404,5	64,98	14	15,6	26,34	31	source
Lalla Chafia	35	7,4	1245	386,9	7	390,4	81,1	38,7	165,6	3,6	0,3	8,4		0,1		source
Ait Yekkou	36,9	7,4	2400	511,2	71	347	70	32	310	2,5		16				forage
Ain Allah	45	7,42	660	69,6	67,2	366	49,77	30,5	54,6	0,75	0,14	6,2		0,009	0,2	forage
S.Harazem	33	7,4	1370	266,9	16,8	335,5	80,6	24,3	176,8	2,64	2,24	4,5	0,3	0,031	0,5	source
Skhinate	37	7,08	2450	494,8	46,56	314,7	90,47	57,02	224,8	9,06	0,827	3,1		0,21	0,6	source

Résultats des analyses physico-chimiques des eaux thermales du couloir sud-rifain. (Les concentrations sont exprimées en mg/l, cond. : conductivité électrique en µS/cm et T° : température en degré Celsius).

### Clasificación hidroquímica



La gran mayoría de las aguas termales Presentan concentraciones en bicarbonatos importantes



Acuífero carbonatado del lias

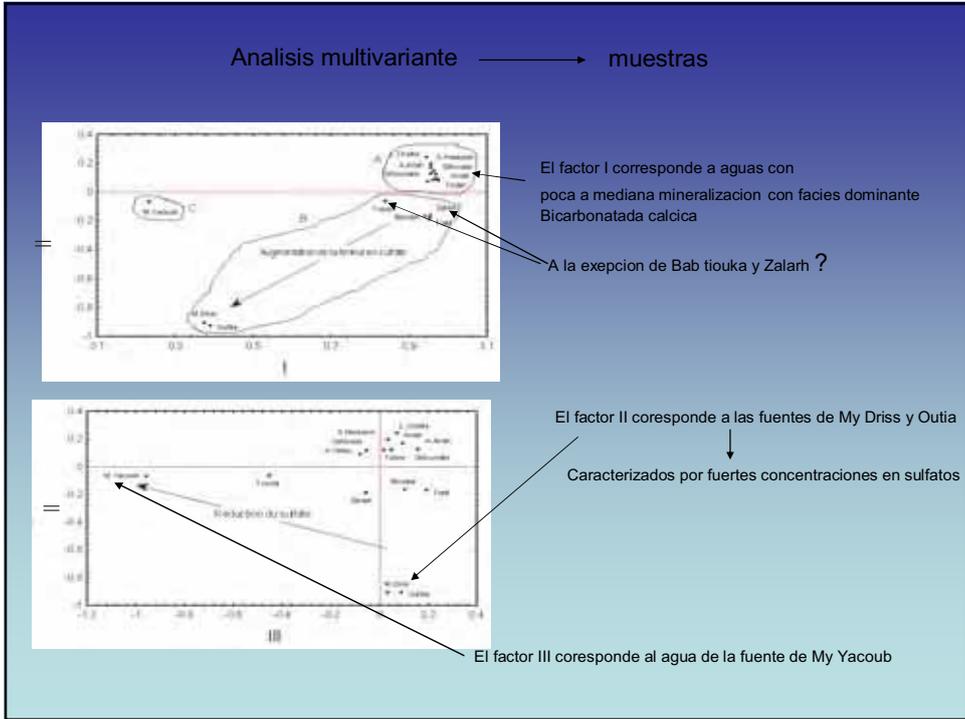
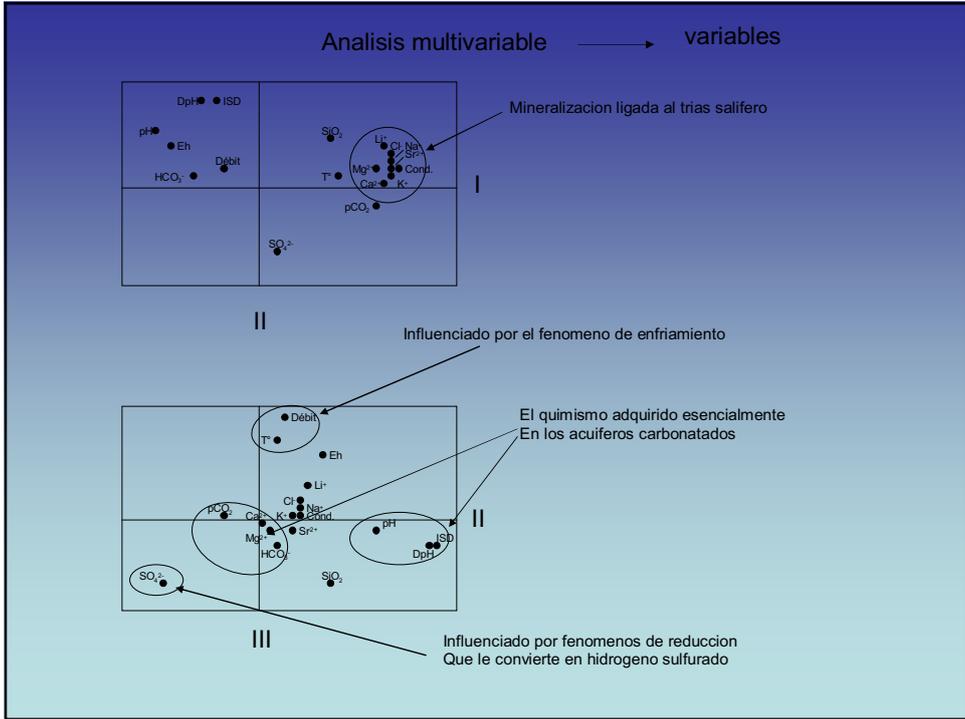
Cuatro tipos de agua

- Agua bicarbonatada calcica
- Agua clorurada Sodica
- Agua clorurada sodica y/o sulfatada Calcica
- Agua sulfatada calcica

- Circulación puramente carbonatada
- Circulación carbonatada con influencia Triasica
- Circulación a dominancia triasica
- Circulación a dominancia yesifera

### Relaciones iónicas

	SO/Cl	Cl/HCO	SO/HCO
Outita	} >1	} >0,5	} <1
Boudra			
Tiouka			
skhinate			
Teder			
Ansar			
Souk Tlat			
Tratt			
Zalarh			
My Yacoub			
Lalla Chafia	} <1	} >1	
Ait Yekkou			
Ain Allah			
S.Harazem			
My driss			<1



## Modelización de los estados de equilibrio en profundidad

Caracterizar las condiciones termodinámicas del contacto agua-roca en profundidad

Conocer los estados de equilibrio en profundidad

Determinar la temperatura de profundidad

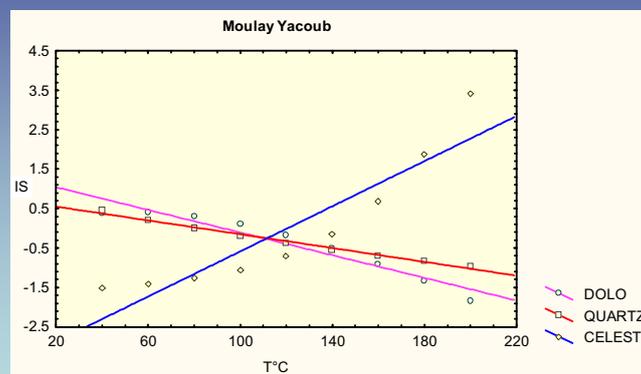
### Metodología

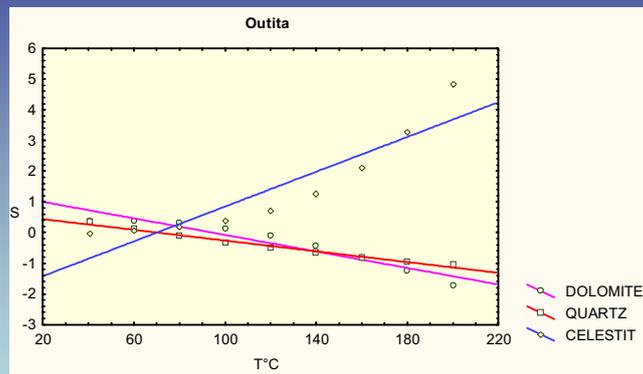
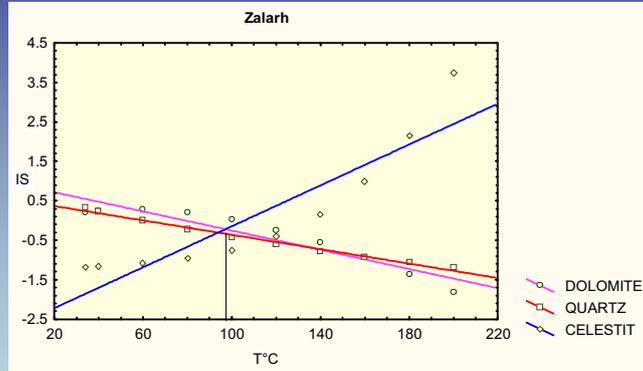
Determinación de diferentes especies químicas del fluido a T y pH de surgencia

Aumentar la temperatura

Calcular el grado de saturación y de sub-saturación de la fase acuosa con  
Un conjunto de minerales presentes en la roca acuífera cuya solubilidad aumenta  
Rapidamente con la temperatura

En nuestro estudio hemos escogido los minerales siguientes:  
Dolomita, cuarzo y celestina; representando respectivamente  
a los materiales carbonatos, silicatos y evaporíticos.





Grado de variacion de las temperaturas en profundidad en el corredor surrifeno  
 Varía entre 60 y 112°C

## Estudio isotopico

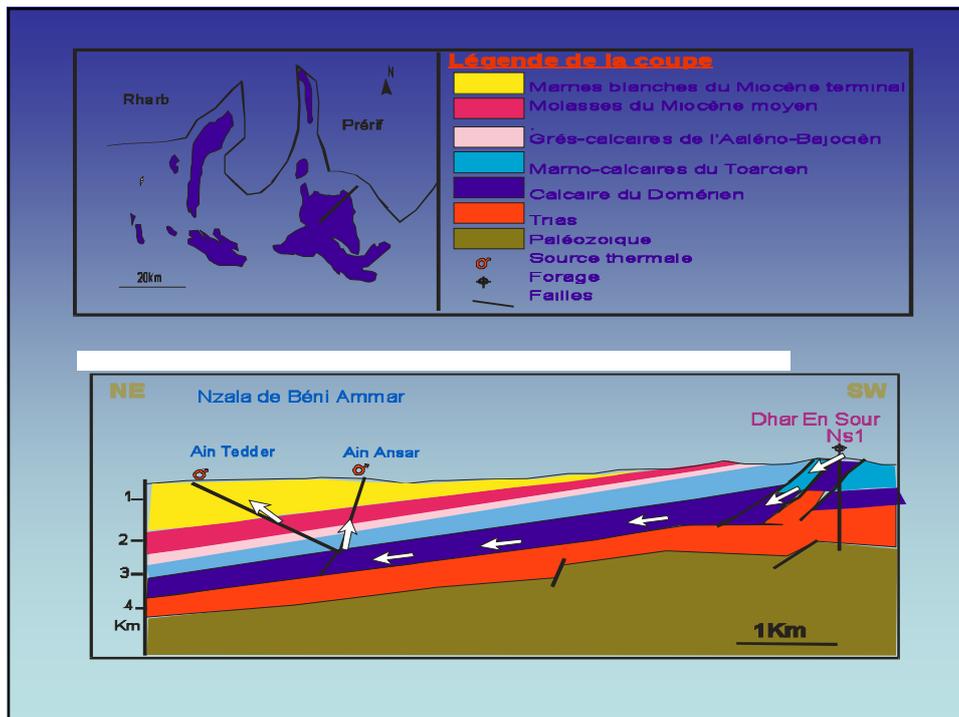
Los resultados de las muestras que han sido recogidas en nuestra zona (aguas termales y tambien aguas superficiales) Han demostrado que la mayoría se sitúan a proximidad de la línea meteorica mundial por lo que estas aguas no han sido evaporadas y tambien son de origen meteorico procedentes del oceano atlantico.

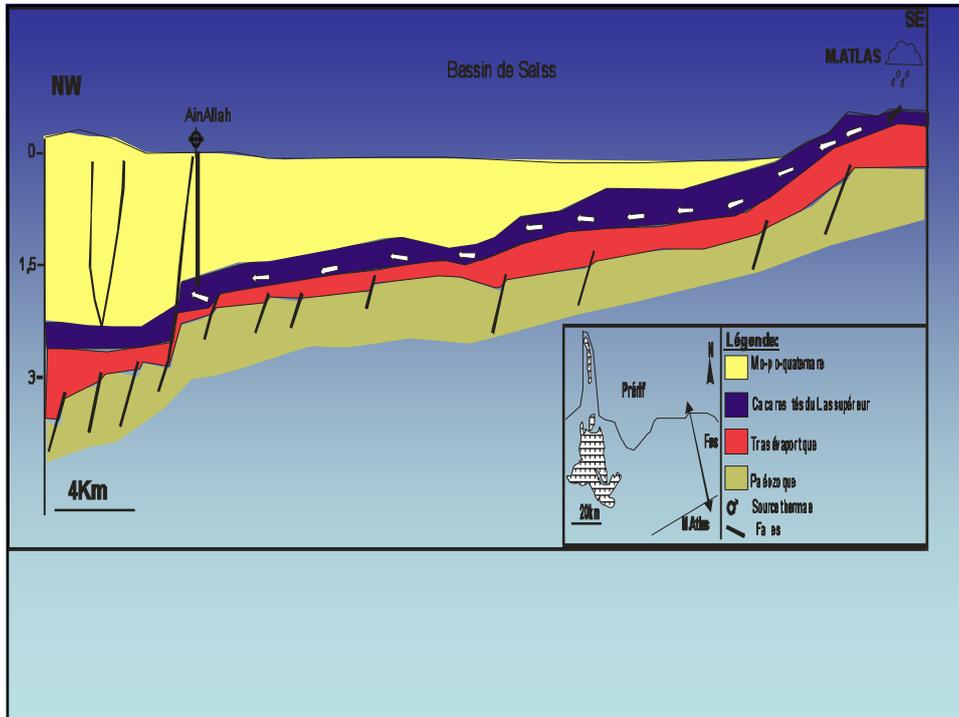
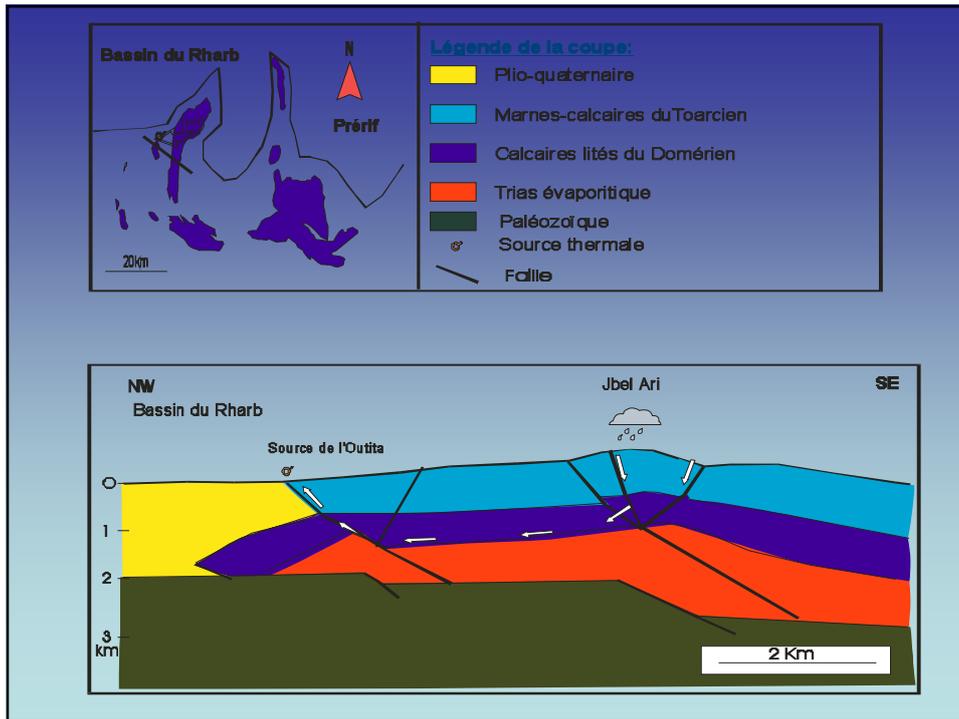
La totalidad de estos datos analiticos, asi que los datos de la station GNIP de Fes se alinean segun un gradiente altitudinal de pendiente  $-0,25 \pm 0,03\text{‰}$  por 100 m de elevacion, este valor es coherente con Otras regiones de Marruecos

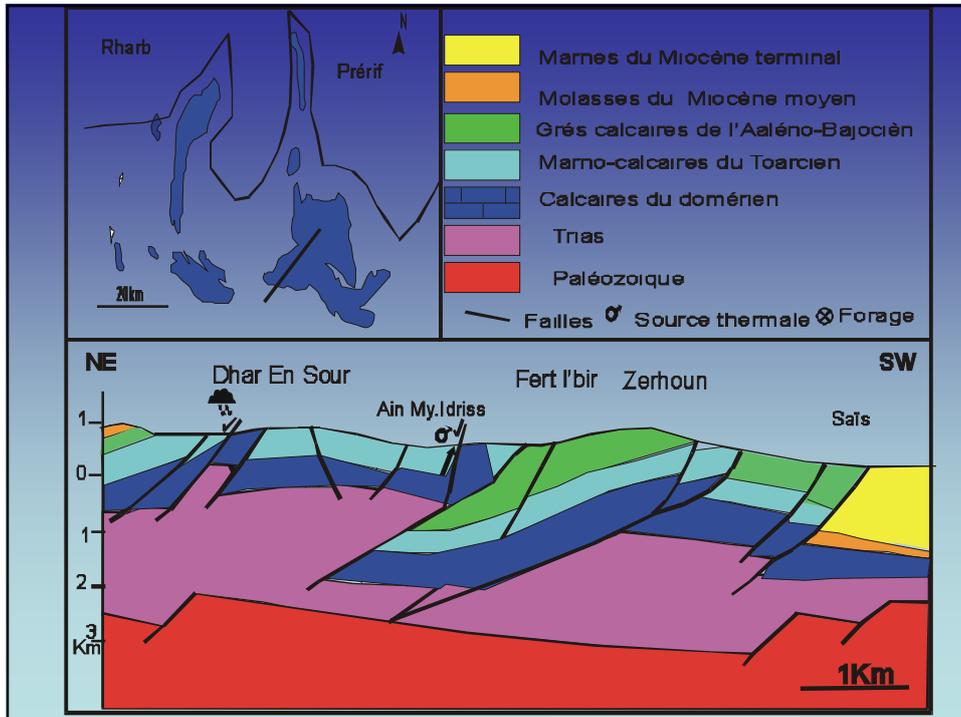
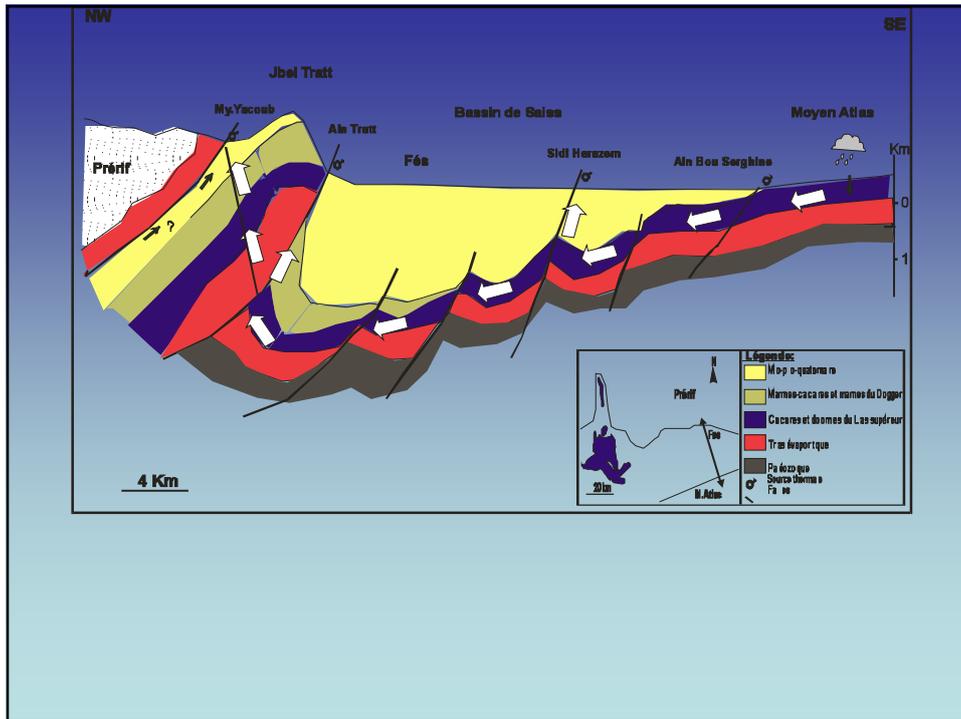
los gradientes asi determinados nos permiten estimar las altitudes de recarga de diferentes fuentes termales

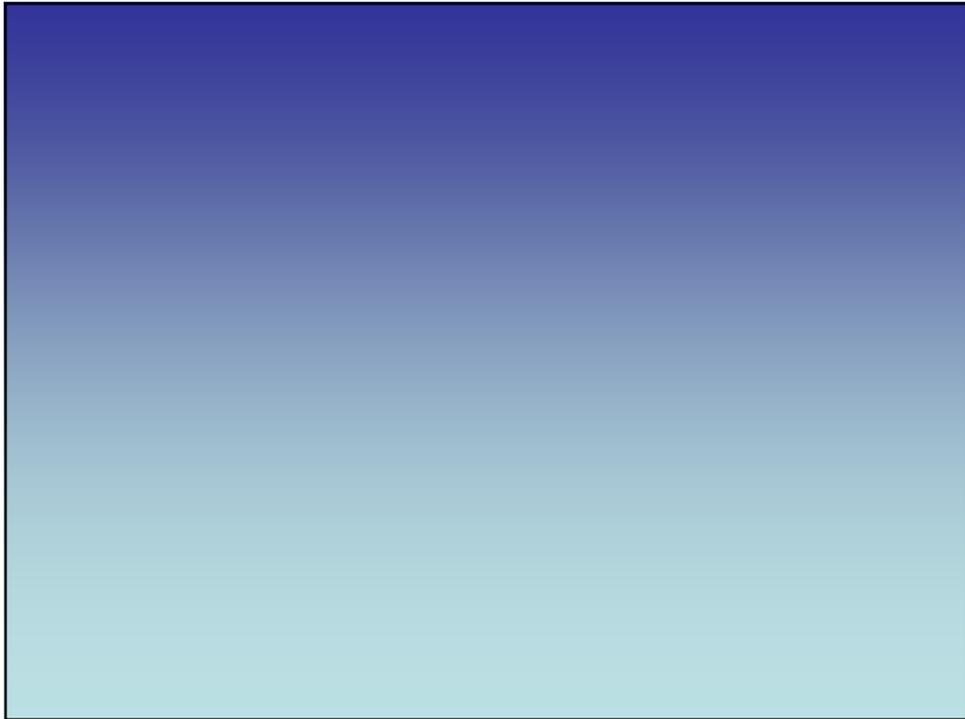
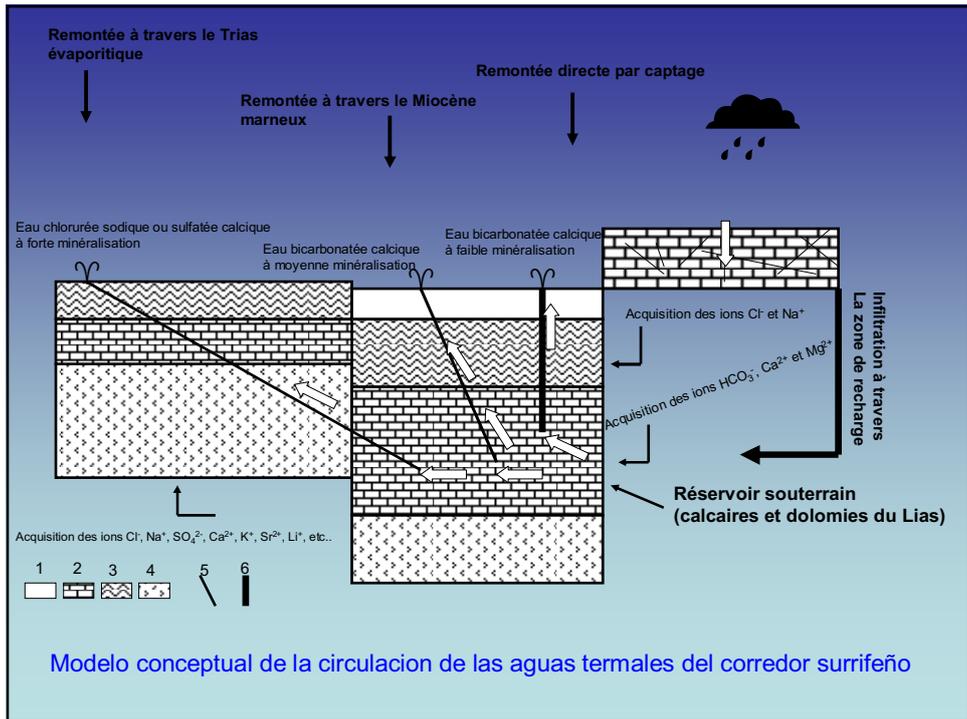
la mayoría de las fuentes se recargan en el medio Atlas Donde aflora el acuífero karstico

	Altitud de recarga en m
Ait yekou	990
Ain Allah	970
Zalarh	925
Lalla Chafia	1015
Skhinate	1265
My Driss	840
My Yacoub	1015
Outita	605
Tratt	680
S.Harazem	1260
Ansar	760
Matmata	630









L'analyse et l'interprétation des différentes méthodes utilisées dans ce travail (classification hydrogéochimique analyse multivariable et modèle conceptuel) avec la connaissance des différents aspects géologiques et hydrogéologiques de la région, nous permettent de penser à l'existence à très grandes profondeurs de NaCl ou de saumures hyperchlorurées. La présence de ces chlorures pourrait s'expliquer par des anomalies salifères liées aux conditions paléogéographiques de la sédimentation triasique. Ceci montre qu'il y a sûrement un dépôt de l'halite au Trias, expliqué par les différents dômes de sels rencontrés dans la région, ou par l'existence des paléodiapirs coincés sous les formations chevauchantes.

En ce qui concerne la présence du soufre, et en dehors même des hydrocarbures, pétroles et bitumes qu'on y rencontre, les marnes sont elles-mêmes souvent chargées de matières organiques, et l'on conçoit que l'on se trouve dans des conditions tout à fait favorables à la réduction des sulfates que les eaux ont recueillis dans leur contact avec le Trias évaporitique.

Ainsi, les séries gypsifères du Miocène du couloir sud-rifain sont d'une importance particulière. L'hydrogène sulfuré généré après la réduction bactérienne des gypses se dissout dans les eaux d'infiltration simples et ainsi se forment les eaux simples à hydrosulfures.

Parfois l'hydrogène sulfuré est en contact avec des eaux qui sont génétiquement liées au Miocène ou bien aux formations plus anciennes. Dans ce cas là se forment les eaux minérales chlorurée-sodiques à hydrosulfurées (Na-Cl et H<sup>2</sup>S), contenant souvent aussi le Br en quantité importante (Moulay Yacoub, Outita, Tiouka et Zalarh). Si la minéralisation des eaux est causée surtout par le lessivage de gypse, on trouve des eaux sulfatées, à hydrosulfures comme pour Moulay Driss.

La caracterización de las aguas a circulación profunda, por la complejidad de los factores que intervienen sobre su mineralización, su condición de emergencia, su origen, se basa sobre la adquisición y la interpretación de numerosos parámetros.

Sin embargo, muchas emergencias termales en Marruecos y sobre todo en la zona surrifina, son a menudo mezclas de aguas procedentes de diferentes niveles acuíferos: aguas procedentes de reservorios profundos y adquieren sus características al contacto de diferentes terrenos, aguas de reservorios semi profundos y también superficiales, resulta de esto que el estudio de estas aguas termales está confrontado a una gran variabilidad de parámetros como la temperatura, la conductividad, Los iones específicos (en particular los cloruros). De hecho para proponer una hipótesis hidrogeológica aceptable sobre el origen Del agua, es conveniente tener en cuenta ciertos factores de orden estratigráfico, estructural, mineralógico y hidroquímico.

La zona de estudio se sitúa en límite de tres unidades estructurales: al norte el Rif, al sur la Méséta y el medio Atlas, y que Corresponde a la parte occidental del couloir surrifeno, que comprende los rídes surrifenos y la cuenca de saiss (fig 1). Los rídes Surrifenas son constituidas por relieves jurásicos separados por depresiones de terrenos neógenos y cuaternarios. La cuenca De saiss situada al pie del preif y de los rídes surrifenos es una pre depresión de la cadena alpina rifina que ha sido generada A partir del tortoniense superior. La historia tectono sedimentaria de la zona, ha sido efectuada en dos periodos separados por un largo periodo de emersión:

- El primer periodo se extiende del trias al bajociense superior
- El segundo periodo de edad mio-pliocena que se efectúa gracias a una compresión general relacionada con el acercamiento
- De las placas africana y europea.

El sillón surrifeno está formado en el mioceno superior después del colapso de los bordes septentrionales de la meseta occidental Y del causse del medio atlas. También se caracteriza por su situación entre dos grandes unidades muy diferentes: Al norte, el Rif que representa una cadena alpina cuya historia se extiende del trias al Mioceno superior y está caracterizada Por cabalgamientos, retrocabalgamientos y metamorfismo alpino. Al sur la unidad de Marruecos central con sustrato paleozoico Estructurado por la tectónica hercénica y la causse del medio atlas a material esencialmente carbonatado de edad jurásico.

Muchos estudios hidrogeológicos han confirmado que las formaciones liásicas (calizas y dolomias), representan el acuífero principal (acuífero cautivo) de la alimentación de prácticamente todas las fuentes termales de la región. La zona está dominada por facies impermeables o poco permeables: margas, arcillas, esquistos o flyches. Solamente las cadenas carbonatadas y las llanuras pueden representar acuíferos de gran importancia. Como hemos visto en la geología podemos dividir nuestra zona en dos cuencas hidrogeológicas a saber: la cuenca de Saïss y la cuenca de los rídes surrifenos.

La cuenca de los rídes corresponde a una cuenca mesozoica en el seno de la cual afloran formaciones carbonatadas y una potente serie margosa del mioceno. Las formaciones del mesozoico son representadas por el lias calcareo y dolomítico muy fracturado a carácter discontinuo. Hacia el norte, los rídes surrifenos, presentan a la vez un acuífero freático. En los materiales del jurásico medio y también el acuífero profundo kárstico formado por los materiales del lias carbonático y que es el generador de muchas fuentes termales de la región.

La cuenca de Saïss presenta una superficie de 2100 km<sup>2</sup>, está situada entre los rídes surrifenos al NW, el prerif y el medio Atlas al sur. Esta cuenca está caracterizada por la presencia de un acuífero libre en las formaciones superficiales Pliocuatnarios detríticos de origen lacustre. Mientras que las formaciones carbonatadas del lias constituyen el acuífero profundo de la cuenca, estos dos niveles acuíferos están separados por las margas miocenas que constituyen el nivel impermeable. El acuífero libre está constituido principalmente por las arenas llamadas « fauves », las areniscas y las calizas. La presencia del acuífero se manifiesta por la presencia de muchos manantiales y también por un centenar de sondeos. La alimentación de este acuífero se efectúa principalmente por las precipitaciones, mientras que el flujo viene del medio Atlas hacia la parte sur de la cuenca. El lias constituye el principal acuífero de la cuenca. Aflora en el medio Atlas y se esconde en la cuenca de Saïss bajo los terrenos miocenos cuyo espesor crece del sur hacia el norte. Los estudios geofísicos efectuados en el lias muestran que el colapso de los materiales liásicos se manifiesta por fallas subverticales de dirección NE-SW que generan un sistema de gradín (figura2).

