

# L'émergence thermominérale

P. Pouchan

Institut de Géodynamique, Professeur, Université Michel de Montaigne-Bordeaux 3

A l'origine, c'est-à-dire avant tout aménagement, l'émergence d'une eau minérale ou thermominérale apparaît comme un événement singulier, voire rare, dans le paysage hydrogéologique. Le point précis de l'émergence, encore appelé griffon, se distingue plus précisément des sources ordinaires par sa minéralisation et/ou par sa température.

L'omniprésence du soufre et de son odeur, la proximité des volcans contribuent à faire admettre depuis près de cinq siècles avant Jésus-Christ, une origine parfois infernale, souvent mystérieuse, mais toujours profonde à l'eau minérale.

L'attribution de vertus particulières n'est sans doute pas étrangère à cette vision primitive. Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques propriétés et le mécanisme de leur manifestation.

Point sur le plan de la surface du sol, la source d'eau minérale correspond à un axe. Cet axe qui met en relation privilégiée les horizons géologiques profonds avec la surface, procède de l'intersection d'au moins deux plans (plans de faille) et souvent beaucoup plus.

Un minimum de complexité lui confèrera une forme contournée et indescrivable dans son détail (fig. 1).

La possibilité de montée et d'émergence de l'eau implique une fracturation ouverte et une permanence de l'ouverture. La distension apparaîtra, par exemple dans la conjugaison de failles normales avec des failles coulissantes, la décompression affectera la périphérie de massifs à caractère intrusif (granite par exemple).

Le déplacement du griffon ou son colmatage par un travertin (self-sealing) pourra fossiliser l'émergence. Mais on peut penser que dans beaucoup de cas, la sismicité constitue un facteur d'entretien.

## I ■ LA TEMPÉRATURE - LA THERMALITÉ ■

La Terre produit de la chaleur selon un flux correspondant à la désintégration des radionuclides présents dans la croûte, de 1 à 2 microcalories par seconde et par centimètre carré. Cette valeur qui est la moyenne pour le globe est aussi celle des bassins sédimentaires. Des valeurs plus élevées peuvent localement être observées, liées à l'activité magmatique actuelle ou récente.

Le gradient géothermique qui traduit le flux est de l'ordre de 0,03 °/m en moyenne mais il peut atteindre localement et exceptionnellement 10 fois cette valeur.

L'exploration pétrolière et géothermique de ces dernières décennies a fourni quelques indications à ce sujet.

La figure 2 montre le graphe des valeurs relevées en forage en fonction de la profondeur pour le Bassin d'Aquitaine et la droite de régression correspondant à l'application de la loi de FOURIER indiquerait un gradient moyen de 2,8 °C/100 m de profondeur pour le Bassin d'Aquitaine.

En zone montagneuse, les phénomènes peuvent être différents. On peut envisager par exemple que certains massifs granitiques intrusifs possèdent une chaleur résiduelle non entièrement dissipée. La montée de la profon-

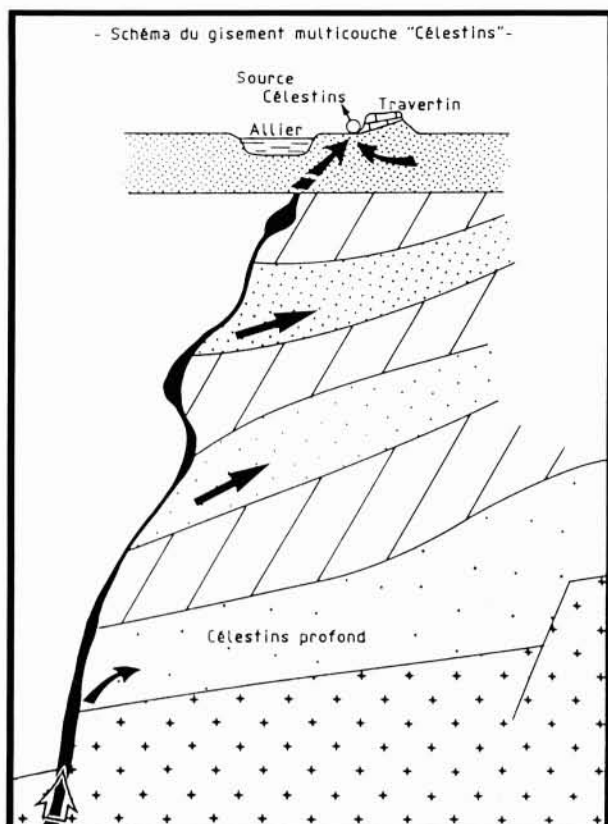
### Mineral water springs

*Considered schematically, the path followed by hot and mineral water as it rises from a deep reservoir to the spring in the plane of the ground surface is often a complex axis.*

*In every case studied, the assumption of a juvenile origin (originating in the ground) has today been abandoned in favour of a meteoric origin. Underground exploration has made it possible to construct illustrative geological models and, more recently, semi-quantitative models which take into account the terrestrial heat flux (the geothermal gradient), the residence time of ground water and, more rarely, the rock-water chemical exchanges at different temperatures.*

*In practice the result of the sum total of existing knowledge is an increasing tendency to replace the original natural water path by the artificial path of a direct borehole to the deep reservoir.*

*The outcome is improved control of mineral water quality and better performance from the shafts.*

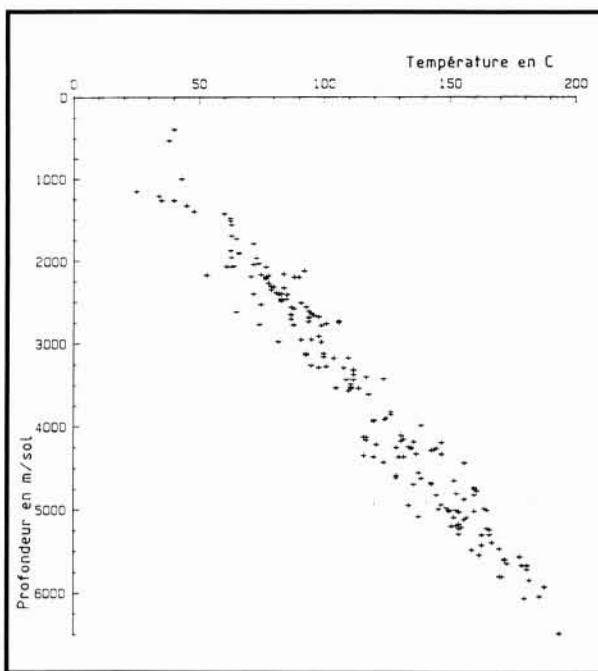


1. Schéma du gisement multicouche « Célestins ».

deur vers la surface de roches acides à capacité calorifique élevée, se traduira par un réchauffement des terrains encaissants du voisinage immédiat et un refroidissement de la masse montante. La température des eaux thermominérales de la région dacquoise correspond au premier cas (fig. 3, 4, 5). La température des eaux thermominérales de Cauterets s'expliquerait mieux par le deuxième cas (fig. 6).

II ■ L'ADVECTION ■

L'axe thermal lié à la fissuration locale va permettre la montée rapide de l'eau issue de la profondeur vers la



2. Graphe des points (température de test - profondeur) pour le Bassin Aquitain (218 valeurs).

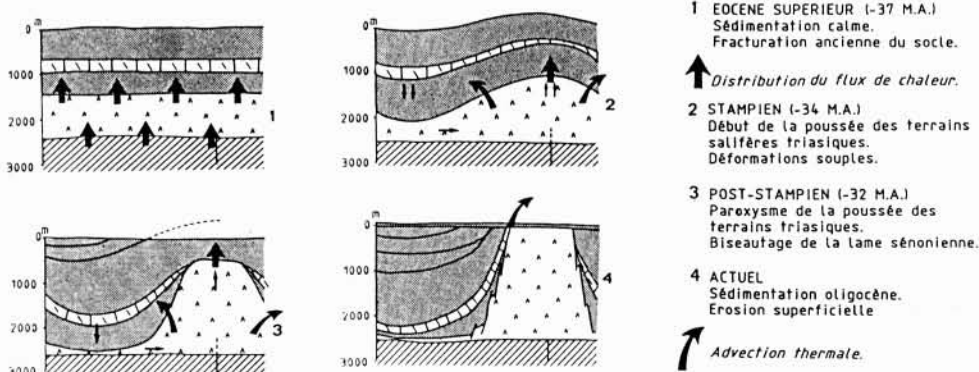
surface et cette manifestation locale de convection forcée correspond à un transfert de chaleur par advection. Selon la vitesse, les échanges avec le terrain encaissant (épontes) sont variables mais on constate souvent que les pertes sont faibles et le régime stationnaire.

Cette dernière particularité a conduit le législateur à prendre en compte le critère de stabilité de température comme caractéristique première d'une eau minérale.

III ■ LA TEMPÉRATURE À L'ORIGINE - LES GÉOTHERMOMÈTRES ■

La détermination de la température à l'origine, c'est-à-dire au droit de l'aquifère profond a fait l'objet ces dernières années de recherches plus poussées et les études géo-

STADES DE MISE EN PLACE D'UN DIAPIR TYPE DAX



3. Stades de mise en place d'un diapir type Dax.

chimiques ont permis la mise en œuvre de « géothermomètres » chimiques dont le plus connu est le géothermomètre à silice.

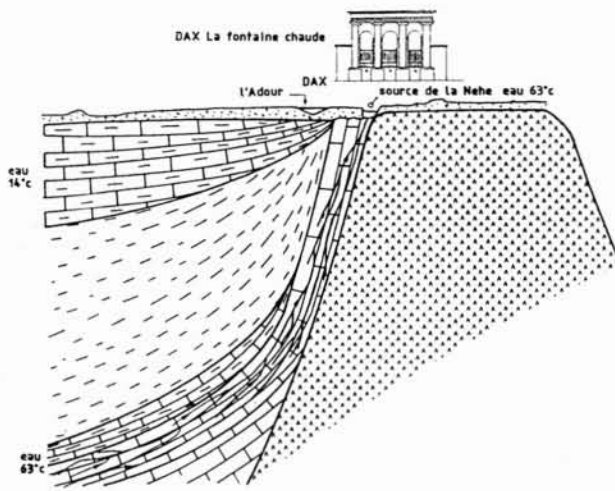
Sans entrer dans le détail, disons que la solubilité de la silice des minéraux des roches est fonction principalement de la température (à pH constant) et que la réaction est difficilement réversible pour une solution sursaturée. C'est ainsi que les courbes de saturation en silice dissoute à partir des phases minérales peuvent être utilisées (après correction) pour déterminer le maximum de température atteinte par l'eau (fig. 7).

à-dire une concentration en sels dissous, souvent largement supérieure à celle admise pour l'eau potable. Disons, de ce point de vue, qu'elles posséderaient une potabilité momentanée.

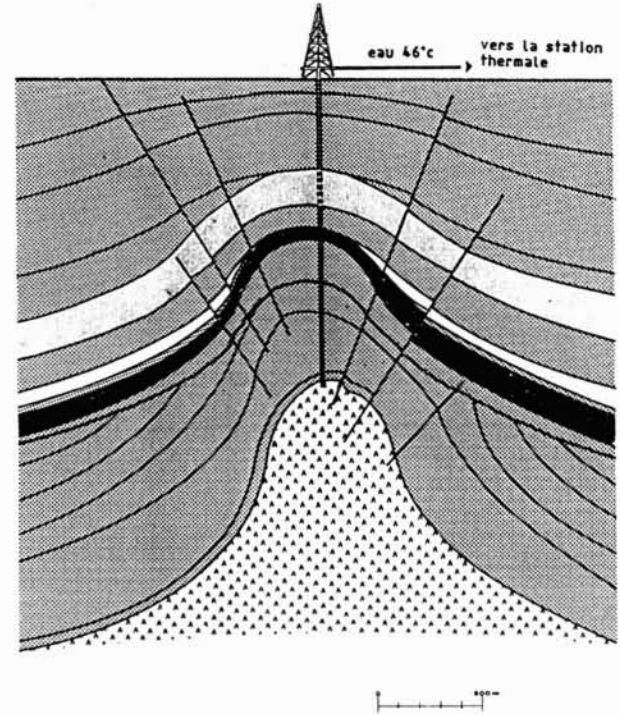
L'acquisition de la composition chimique et les propriétés qui lui sont liées font l'objet d'une discussion par d'autres auteurs. Dans le même esprit que celui exprimé pour la température, la stabilité de la minéralisation est un critère de reconnaissance admis par le législateur.

#### IV ■ LA MINÉRALISATION ■

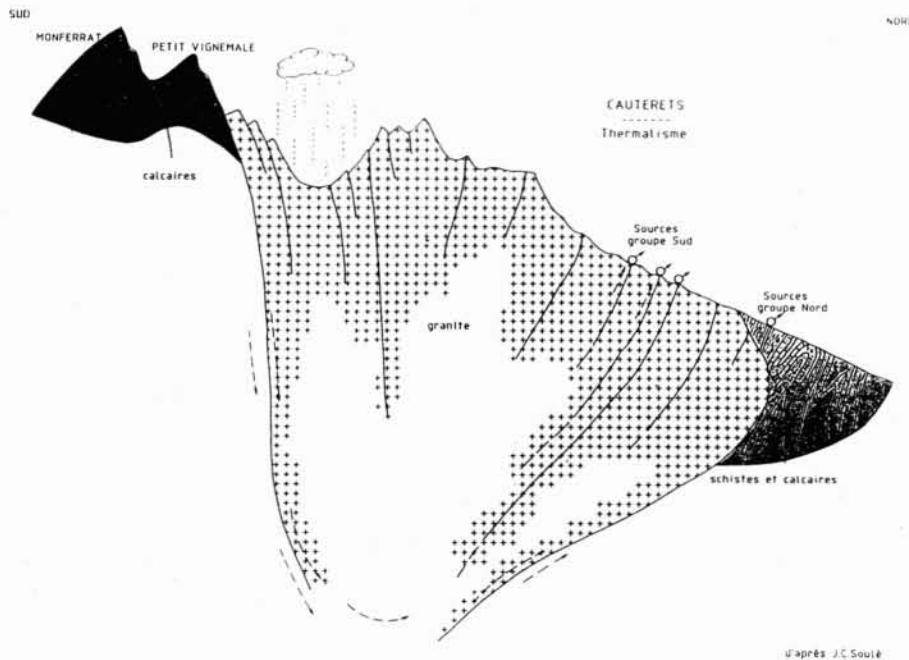
Les eaux minérales *stricto sensu* peuvent admettre après avis de l'Académie de Médecine une minéralisation, c'est-



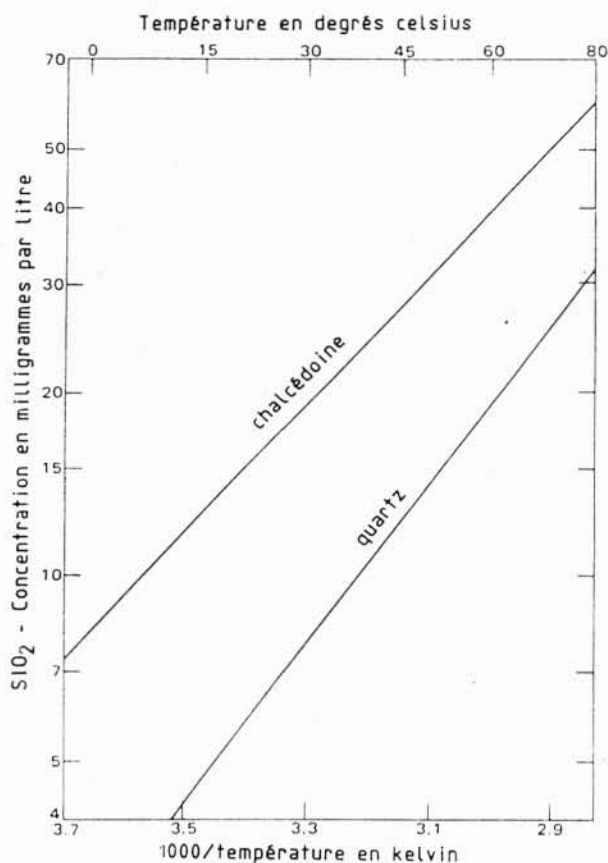
4. Environnement de la fontaine chaude de Dax.



5. Forage pour eau thermale.



6. Situation des eaux thermales de Cauterets.



**7. Variation de la silice dissoute avec la température.**

La spécificité de la composition chimique guidera plutôt l'usage médical.

**V ■ L'ORIGINE - LA FIN D'UN DÉBAT ■**

L'affinement des connaissances évoquées ci-dessus, joint aux progrès de la chimie isotopique, a clarifié le débat

paisible opposant les partisans d'une origine juvénile (ou endogée) évoquée par SUESS aux partisans de l'origine vadose (ou météorique).

En effet, s'il est indéniable que la cristallisation d'un magma s'effectue avec libération d'eau, l'entretien d'un tout petit débit nécessiterait la solidification d'un volume plus que respectable.

D'un autre point de vue, les mesures pratiquées sur les isotopes stables ou radioactifs, l'étude des gaz rares dissous, ont largement montré une origine météorique pour la quasi-totalité des eaux souterraines profondes même si l'on admet leur caractère « fossile ».

Il convient toutefois de remarquer que si l'eau est d'origine vadose, il n'en va pas forcément de même pour la phase gazeuse dissoute telle que le CO<sub>2</sub>, qui, elle, peut avoir une origine magmatique et minéraliser l'eau de manière spécifique.

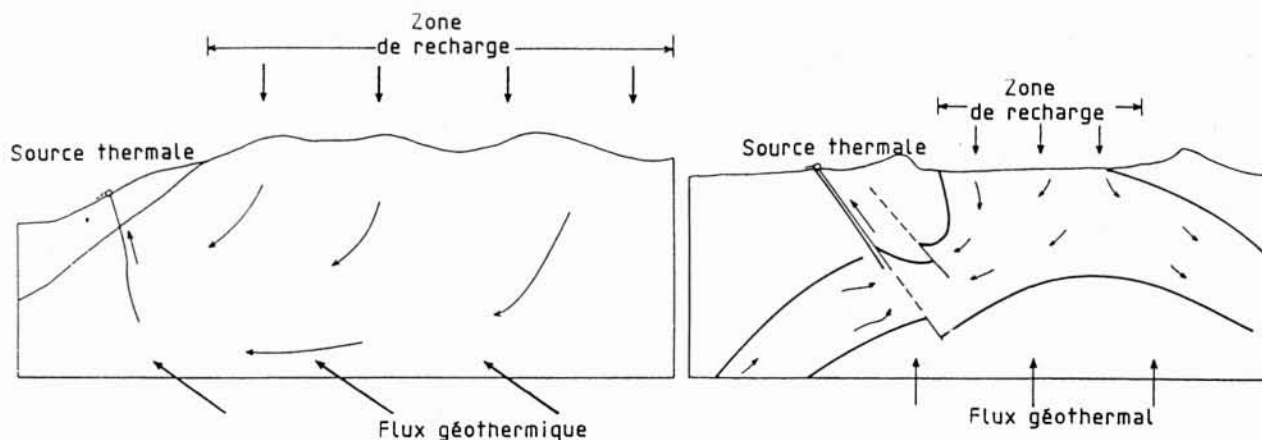
**VI ■ LA VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES ET LES MODÈLES ■**

Les coupes géologiques et hydrogéologiques plus ou moins détaillées, telles que celles présentées aux figures 1, 3, 4, 5, 6, constituent des modèles explicatifs intéressants et souvent fructueux pour une mise en valeur, mais ils sont insuffisants pour la compréhension globale du phénomène géothermal. Un petit nombre de chercheurs tente de réaliser une approche plus quantitative par la mise en œuvre de modèles numériques.

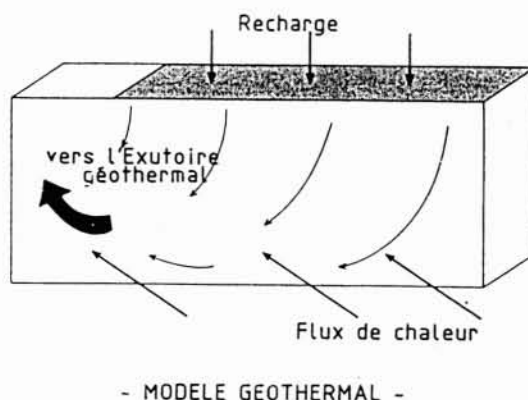
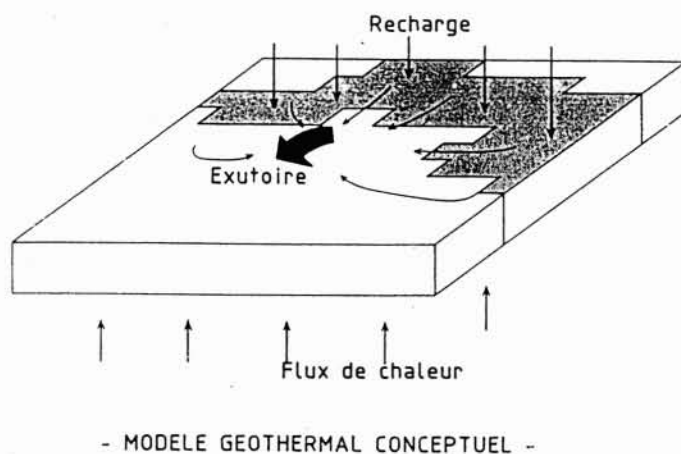
La figure 8 présente la vision d'un prototype de gisement géothermal tel qu'il est établi par U.S. Geological Survey à partir des sources de Hot Springs en Arkansas. La figure 9 fournit le modèle conceptuel correspondant.

Les données d'entrée du modèle sont les suivantes :

- épaisseur de l'aquifère,
- porosité,
- conductivité hydraulique,
- conductivité thermique,
- flux de chaleur,



**8. Coupe d'un prototype géothermal.**



### 9. Modèle géothermique conceptuel et modèle géothermique (d'après Bedingter *et al.*).

- taux de recharge (alimentation).

La condition de gisement, c'est-à-dire le choix de l'horizon géologique (aquifère) vecteur de l'eau minérale, s'effectue à partir de la cohérence fournie par le modèle entre les paramètres observés et calculés pour deux ou plusieurs cas d'hypothèse.

Les paramètres de validation dans chaque cas seront par exemple :

- température,
- débit,
- concentration en silice,
- âge  $^{14}\text{C}$ ,
- recharge maximum dans la zone d'alimentation.

Outre la vérification de conditions de gisement, la modélisation numérique apportera ici des données quantitatives tout à fait valorisantes.

### Bibliographie

- ANNALES DES MINES (1975). — Fichier des sources d'eaux minérales françaises : propriétaire, exploitant, cadre géologique, caractéristiques, actes administratifs.
- ANNALES DES MINES (1983). — Fichier des sources d'eaux minérales françaises, n° 8-9.
- BEDINGER M.S. *et al.* (1979). — *The waters of Hot Springs National Park, Arkansas. Their nature and origin.* U.S. Geol. Surv. Prof., Paper 1044 C, 31 p.
- BERTHIER F. (1982). — *Circulations profondes en milieu fissuré de socle. Cas des anomalies minérales du Cézaillier (Massif Central français) - implications.* Jubilé Castany, 16-17 nov. 1982, Doc. B.R.G.M., 45, pp. 83-95.
- DAZY J., SARROT-REYNAUD J. et BLAVOUX B. (1984). — *Données nouvelles sur quelques sources carbo gazeuses du sud-est de la France.* 108<sup>e</sup> Cong. nation. Sociétés savantes, Grenoble, 1983. Sciences, I, pp. 235-251.
- DE LAUNAY (1989). — *Recherche, captage et aménagement des sources thermominérales.* Paris : Baudry et Cie, Bull. Soc. géol. Fr., 1985, n° 7.
- MAISONNEUVE J. et RISLER J.J. (1979). — *La ceinture périalpine carbogazeuse de l'Europe occidentale.* Bull. B.R.G.M., (2), Sect. 3, 2, pp. 109-120.
- MERCIER-BATARD F. et RISLER J.J. (1982). — *Les gaz associés aux eaux thermominérales.* Presse Thermale et Climatique, 119, 3, pp. 139-149.
- POUCHAN P., PELISSIER-HERMITTE G. et ALEZINE Th. (1991). — *Essai de modélisation d'un aquifère thermal en structure diapir.* S.H.F., XXI<sup>e</sup> Jour. Hydr., Sophia-Antipolis, Q n° 1, R n° 15.
- POUCHAN P., CANELLAS J., NGUYEN Ba, PELISSIER-HERMITTE G., COURTÈS C. (1991). — *Aspects de l'hydrothermalisme landais.* Jour. Fr. Hydrol., fasc. 1, pp. 9-16.
- RISLER J.J. (1973). — *Carte des eaux minérales et thermales de la France au 1/1 000 000 ;* publication du B.R.G.M., Service Géologique National.
- SCHOELLER H. (1962). — *Les eaux souterraines.* In : chapitre VII, Géochimie des eaux souterraines, Masson, Paris, pp. 324-329.
- SOULE J.C. (1991). — *Conséquences des influences des conditions climatiques sur l'exploitation des sources thermales.* Ex : Eaux sulfurées de Luchon et Cauterets. Coll. Géol. et Santé, coll. A.G.S.O.
- TERROIRS ET THERMALISME (1992). — *Les eaux minérales françaises.* Dir. Ch. Pomerol et J. Ricour, Ed. B.R.G.M., Orléans, 288 p.