



# La géologie: une réponse aux enjeux de société



**Les eaux  
minérales  
naturelles (EMN)**

# Sommaire

- 1 – Introduction - généralités- enjeux des EMN
- 2 – Contextes réglementaire et économique
- 3 – le circuit thermal: fonctionnement et acquisition de la qualité
- 4 - Protection de la ressource
- 5 – Les sources thermales des Hautes - Alpes

## Bibliographie



Carte de France des eaux minérales sur fond géologique simplifié. Plus de 100 sites sont concernés par l'exploitation d'eau minérale pour le thermalisme et/ou

# 1 - Généralités- enjeux des EMN en France

## Grande richesse et diversité du patrimoine en EMN

- Grande diversité géologique
- Conséquences directes ou indirectes des orogénèses alpines et pyrénéennes
- 720 sources minérales reconnues en France, dont environ 400 exploitées (recensement de 1998)

# 1 - Généralités- enjeux des EMN en France

- Les EMN constituent la matière première de 2 activités économiques importantes:

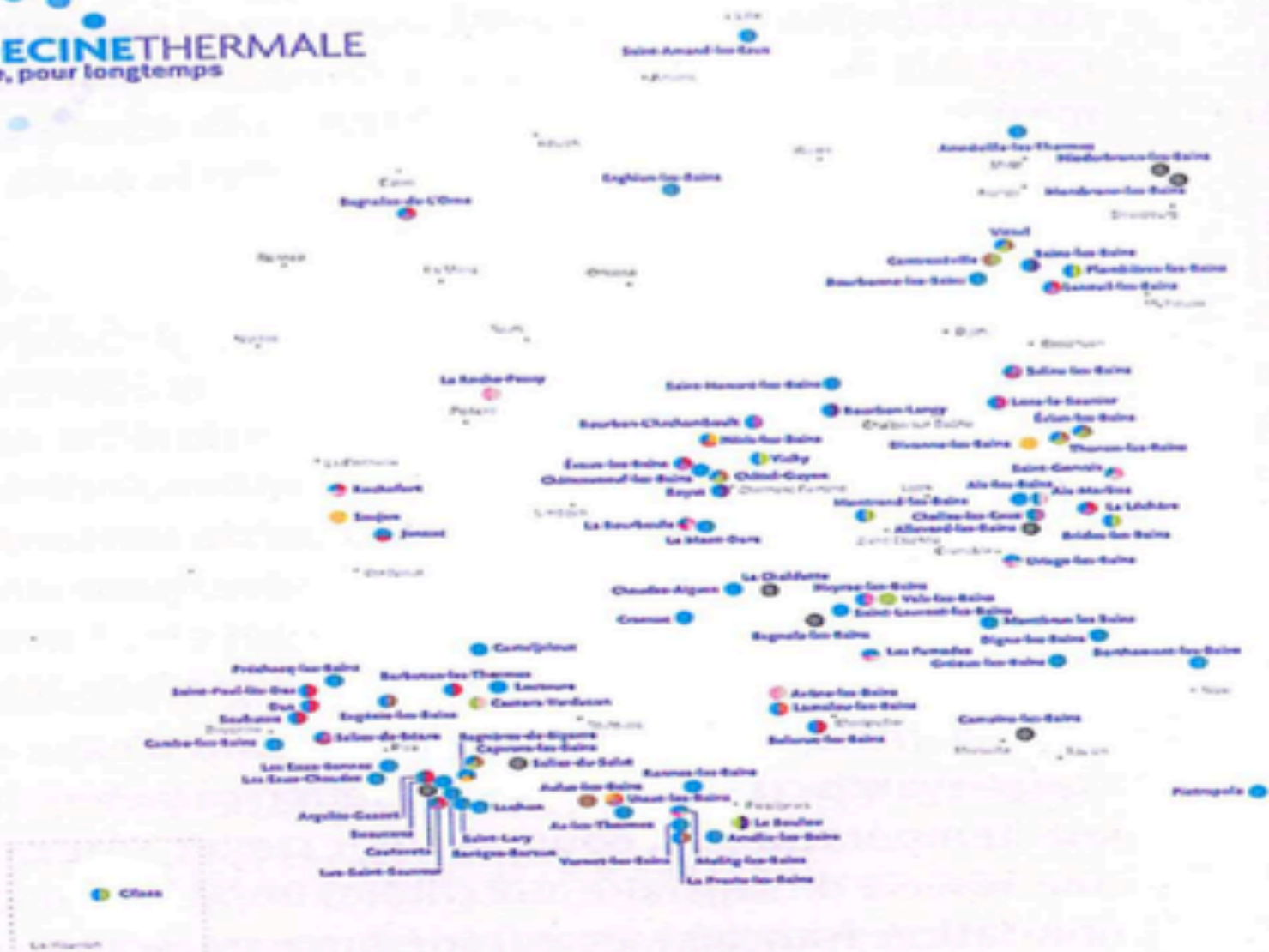
- **Le thermalisme**

- **L'embouteillage**

- 88 stations thermales en activité en 2013
- 77 noms de sources figurent sur la liste des EMN françaises reconnues par les états membres de l'UE pour 50 sites d'embouteillage

# Carte des sites d'embouteillage





- La rhumatologie
- Les voies respiratoires
- La phlébologie
- La dermatologie
- Les affections psychosomatiques
- Les affections urinaires et maladies métaboliques
- Les affections digestives et maladies métaboliques

- La neurologie
- Les maladies cardio-artérielles
- La gynécologie
- Les troubles du développement chez l'enfant
- Les affections des muqueuses bucco-linguales
- Établissement non adhérent du CHETH

Stations thermales en activité au 01/01/2012

# 1 - Généralités- enjeux des EMN en France

## Quelques chiffres 🙄 (2015)

- Consommation de 145 litres d'EMN/an/personne en France – 85 % d'eau plate, 15 % d'eau gazeuse
- La France est :
  - le 3<sup>ème</sup> producteur d'EMN en Europe – 6,5 milliards de litres/an( 3435 millions de bouteilles) pour un CA de 3,5 milliard d'euros
  - le 1<sup>er</sup> exportateur d'EMN du monde ( 40%- CA de 600 millions d'euros)
- Cette activité représente: 10 000 emplois directs, 30 000 emplois indirects



## 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

### Une même ressource pour plusieurs usages

- Selon la norme AFNOR 2000, un gisement d'eau minérale naturelle est défini comme  
*« l'ensemble de la structure géologique souterraine située au droit d'une zone géographique délimitée et de laquelle il est possible d'extraire, moyennant la mise en œuvre de techniques appropriées, de l'eau minérale naturelle »*
- A ce terme de gisement, l'hydrogéologue préfère la notion d'**hydrosystème minéral** qui rend mieux compte du caractère durable et renouvelable de la ressource, à **l'échelle humaine**.

## 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

**Le code de la santé publique a établi une définition unique des EMN et réglementé trois usages différents:**

- Utilisation à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal
- Distribution en buvette publique en dehors du cadre de la cure
- Conditionnement dans les usines d'embouteillage afin de la commercialiser pour la consommation humaine.

## 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

### Les différentes eaux de boisson :

	<b>Eau du robinet</b>	<b>Eau de source</b>	<b>Eau minérale naturelle</b>
<b>Origine</b>	Eaux superficielles et souterraines	Eaux souterraines	Eaux souterraines
<b>Protection naturelle</b>		obligatoire	obligatoire
<b>Traitements</b>	Traitement de potabilisation	Aucun traitement de potabilisation	Aucun traitement de potabilisation
<b>Composition minérale</b>	variable	Pas nécessairement stable	Obligatoirement stable
<b>Effet reconnu sur la santé</b>			Effet favorable à la santé reconnu par l'Académie de Médecine

# 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

## Définition de l'eau minérale naturelle

**Une EMN, selon le Code de la Santé Publique et une directive européenne (2003) doit répondre aux critères suivants:**

- L'origine souterraine de l'eau
- La pureté originelle (microbiologiquement saine)
- La stabilité des éléments physico-chimiques essentiels
- La température constante à l'émergence
- Le respect des conditions spécifiques d'exploitation
  - interdiction de stériliser ou de faire un traitement de potabilisation-
  - autorisation de séparer les éléments instables, tels le fer et le manganèse

# 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

## Réglementation de l'usage thermal

- C'est l'Académie nationale de médecine qui autorise l'utilisation thérapeutique d'une EMM ou d'éléments liés à son gisement (gaz, boues, péloïdes)
- Cet usage est encadré par une réglementation spécifique, avec possibilité d'un certain nombre de traitements sur l'eau:
  - Séparation des éléments instables (décantation, filtration, oxygénation),
  - Adsorption sélective sur supports de filtration recouverts d'oxydes métalliques,
  - Élimination de gaz carbonique par procédés physiques,
  - Incorporation ou réincorporation de gaz carbonique,
  - Désinfection visant à prévenir les risques sanitaires spécifiques à certains soins.

# 2 – Définition et réglementation de l'usage des EMN

## Réglementation de l'usage « eau embouteillée:

- A l'origine et jusqu'à il y a quelques décennies l'EMN embouteillée était considérée comme une prolongation de la cure thermale: pas de réglementation spécifique (norme eau du robinet)
- Depuis 1980, l'Europe a souhaité harmoniser les pratiques des différents états membres, avec une directive cadre qui a fait l'objet de plusieurs ajouts et reprises ( notamment: limites de concentration, traitements ou adjonction autorisés...)
- Chaque Etat membre a construit sa propre réglementation sur la base de ces directives européennes (via le Code de la santé publique pour la France).
- Depuis 2007 les procédures d'autorisation d'exploitation d'une EMN et de protection de la ressource sont gérées au niveau local (ARS). L'autorisation est donnée par PA après consultation éventuelle de l'académie nationale de médecine.

Antimoine	5,0	µg/l
Arsenic total	10	µg/l
Baryum	1,0	mg/l
Bore	Pas de limite provisoirement	
Cadmium	3,0	µg/l
Chrome	50	µg/l
Cuivre	1,0	mg/l
Cyanures	70	µg/l
Fluorures	5,0	mg/l
Plomb	10	µg/l
Manganèse	500	µg/l
Mercure	1,0	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0,1	mg/l
Sélénium	10	µg/l
Couleur	Aucun changement anormal, notamment une couleur inférieure ou égale à 15	
Odeur et saveur	Aucun changement anormal, notamment pas d'odeur détectée.	

### 3- Le circuit thermal – fonctionnement et acquisition de la qualité

- Pour l'**hydrogéologue**, une EMN est:  
«une eau de pluie infiltrée en profondeur qui acquiert ses caractéristiques physico-chimiques au cours d'écoulements très lents, puis rejoint rapidement la surface à la faveur d'accidents géologiques ou de structures particulières »
- Ressource équilibrée à **l'échelle humaine** (si respect des équilibres entrées-sorties), transitoire à **l'échelle géologique**



### **Infiltration et apports en minéraux**

L'eau s'infiltré dans le sol et acquière ses propriétés minérales. Elle suit des voies géologiques millénaires qui lui garantissent sa pureté originelle.

### **Pluie et ruissellement**

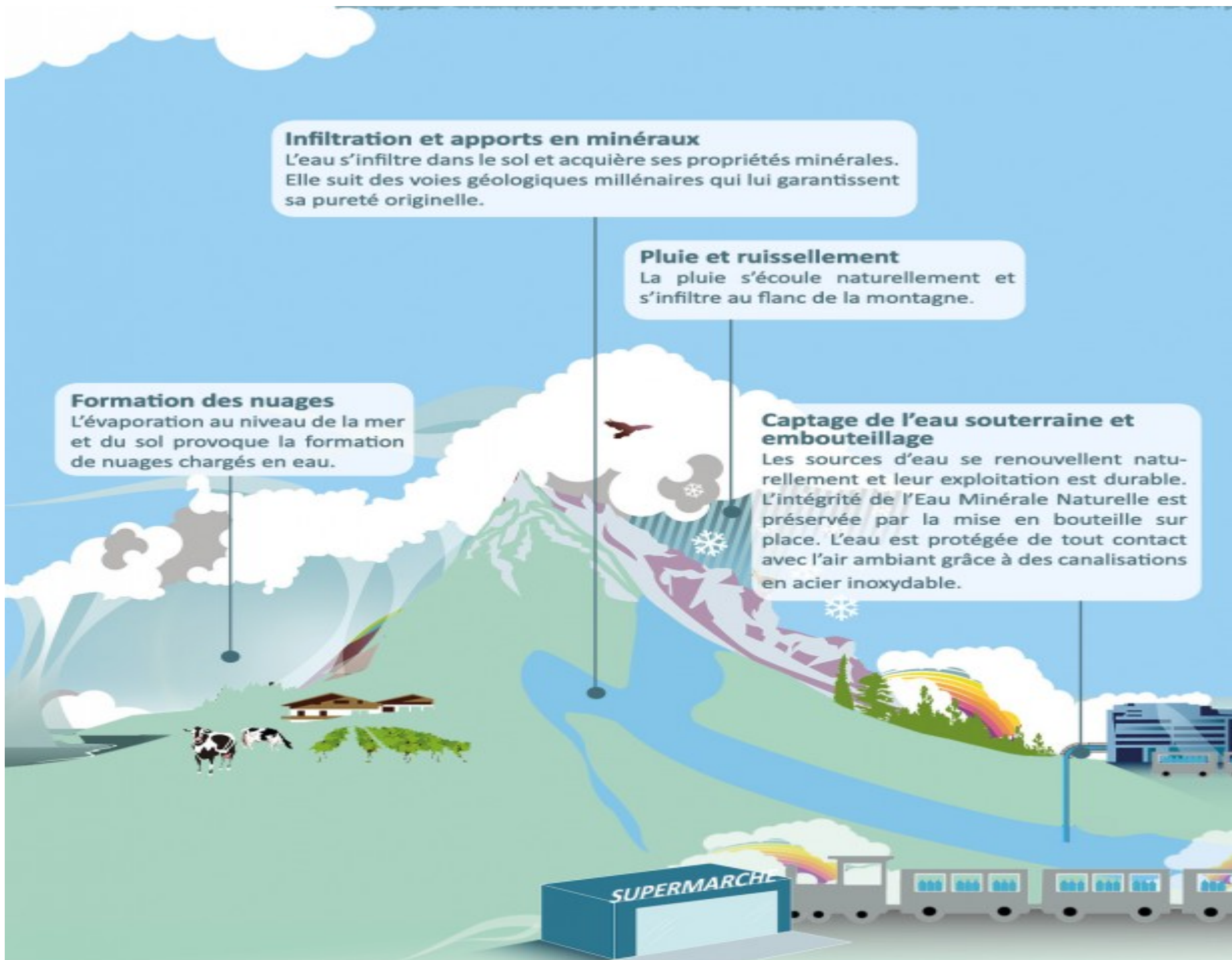
La pluie s'écoule naturellement et s'infiltré au flanc de la montagne.

### **Formation des nuages**

L'évaporation au niveau de la mer et du sol provoque la formation de nuages chargés en eau.

### **Captage de l'eau souterraine et embouteillage**

Les sources d'eau se renouvellent naturellement et leur exploitation est durable. L'intégrité de l'Eau Minérale Naturelle est préservée par la mise en bouteille sur place. L'eau est protégée de tout contact avec l'air ambiant grâce à des canalisations en acier inoxydable.



### 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

- **Le circuit d'une EMN se fait selon 3 grandes étapes :**
  - A - aire d'alimentation
  - B - réseau ou colonne de percolation
  - C – axe vertical de collecte (drain)

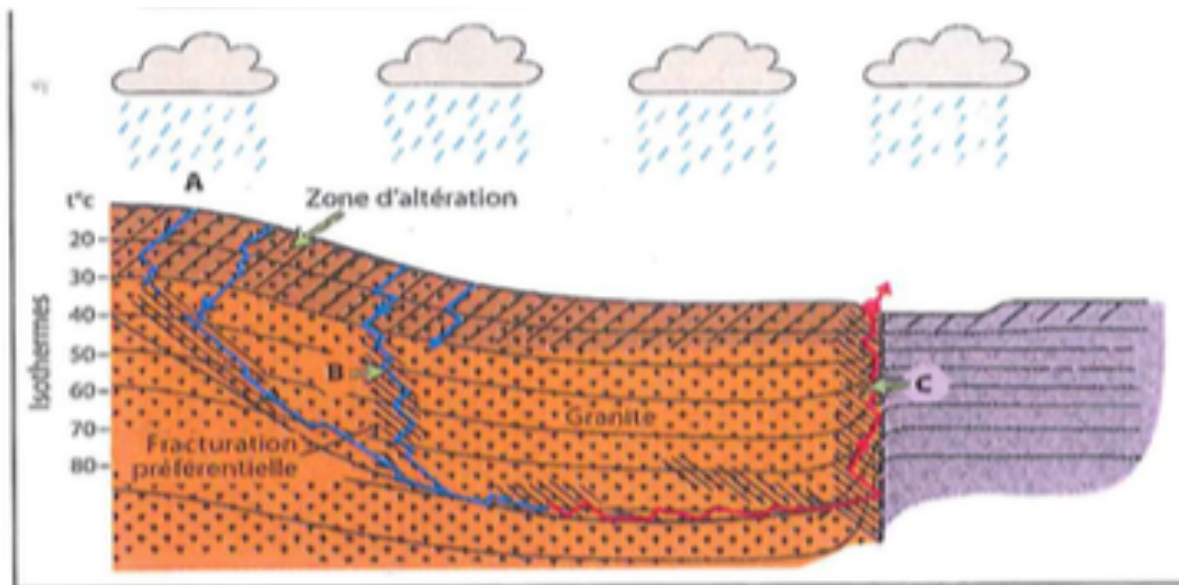


Figure 1. Schéma type du circuit de l'eau thermique. A : aire d'alimentation, B : réseau d'infiltration, C : drain de collecte et zone d'émergence (d'après Blavoux et Berthier 1985).

# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

- Les moteurs permettant cette circulation sont :
  - Les différences d'altitude entre aire d'alimentation et émergence (**moteur principal**)
  - L'augmentation de la température en profondeur (baisse de la viscosité)
  - L'effet éventuel « gas lift » en présence de CO<sub>2</sub> lors de la diminution de la pression à la remontée (**artésianisme**)

# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

- Quelques notions sur :
  - le flux de chaleur ou flux géothermique
  - le gradient géothermique
  - les géothermomètres
  - La datation et le temps de séjour des EMN

# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

## Les structures géologiques à l'origine du patrimoine thermal

- **Les structures du domaine cristallin:**

- massifs hercyniens bousculés par les orogénèses alpine et pyrénéenne
- infiltration sur les hauteurs de massifs granitiques
- grande profondeur d'infiltration (plusieurs km) avec des vitesses très lentes
- drainage au croisement des accidents méridiens et varisques NE-SW et NW – SE, réactivés et ouverts par la distension oligocène
- La circulation profonde ne concerne qu'une petite fraction des eaux infiltrées en altitude et donc forages avec faibles débits

(le Massif Central, les Vosges, Le Morvan, les Cévennes, la chaîne axiale Pyrénéenne ...)

*Badoit, Vichy, Royat, Châtelguyon, Avène, Salvetat, Bagnères de Luchon ...*

# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

- **Les structures du domaine sédimentaire**

- Le circuit thermal est alimenté par la branche descendante assez pentue d'une structure synclinale
- Les eaux s'infiltrent rapidement au coeur de la structure (aquifère captif)
- Cheminement jusqu'aux émergences par la présence de conditions structurales favorables
- Les flux qui traversent les structures sédimentaires concernent la totalité de l'eau infiltrée et peuvent donner des débits importants

## Bordure des bassins sédimentaires

*Aix les bains, Jonzac, Montrond- les -Bains (plaine du Forez), Dax, Eugénie les Bains*

VV-INVV



Jura

La Charve

Précipitations 9°C

Massif des B

Le Revard

Aix les Bains  
Sources 42°C

Forage Ariana  
Forage Reine Hortense  
Forage Chevalley

Lac du Bourget

Acquisition de la thermalité  
(gradient géothermique = 1°C/33 m)

Remontée, réduction des sulfates,  
Evacuation H<sub>2</sub>S

Acquisition de la minéralisation  
SO<sub>4</sub>, Ca, Cl, Na

75°C

— Failles principales

→ Circulation des eaux

Alluvions du Sierroz

Sédiments de fond de lac

Molasses tertiaires

Evaporites triasiques

Urgonien

Hauterivien

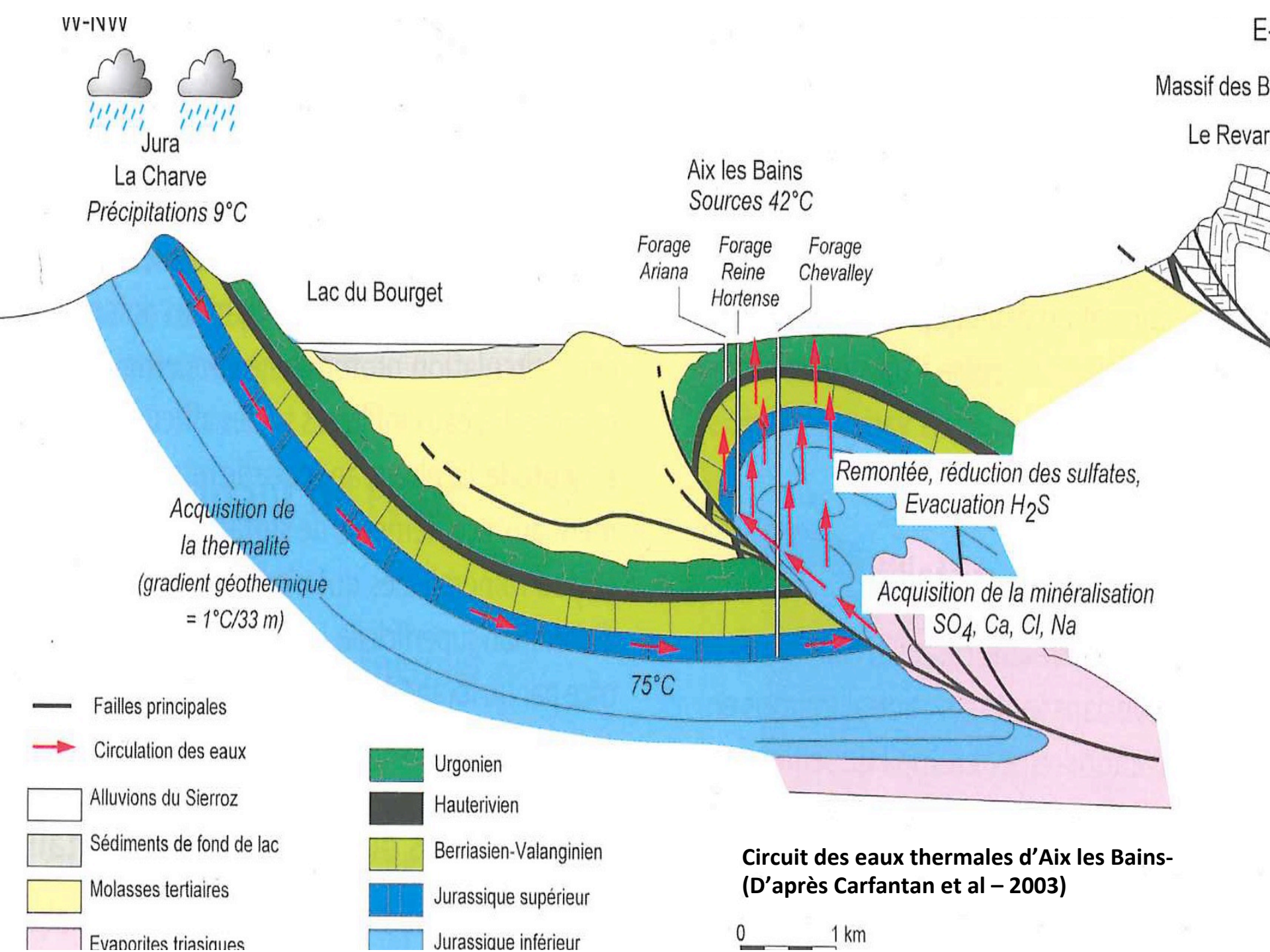
Berriasien-Valanginien

Jurassique supérieur

Jurassique inférieur

**Circuit des eaux thermales d'Aix les Bains-  
(D'après Carfantan et al – 2003)**

0 1 km



### 3- Le circuit thermal – fonctionnement et acquisition de la qualité

- **Origine de la minéralisation des EMN**

- Les éléments chimiques sont majoritairement dissous au cours du trajet de l'eau
- Un faible % d'éléments est apporté par l'eau de pluie
- Plus rarement des éléments sont remontés depuis la profondeur (CO<sub>2</sub> par exemple)

- **Les mécanismes de la mise en solution**

- Mise en solution instantanée (sel, gypse ...)
- Mise en solution des carbonates de Ca et Mg (calcaire, dolomie)
- Hydrolyse des silicates



# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

## Les éléments constitutifs des EMN

Neuf éléments majeurs constituent 99 % de la minéralisation des EMN

- 4 anions (bicarbonates, sulfates, chlorures, nitrates)
- 4 cations (sodium, calcium, magnésium, potassium)
- La silice

## Les eaux carbogazeuses

- Eaux avec présence de  $\text{CO}_2$  libre en excès
- Et aussi eaux très riches en bicarbonates ( $\text{HCO}_3$ )
- Le  $\text{CO}_2$  est d'origine profonde et il dissout des minéraux (hydrolyse des silicates ou attaque des carbonates) lors de sa remontée

# 3- Le circuit thermal –fonctionnement et acquisition de la qualité

## Les différents faciès d'EMN

Selon leur composition et la prédominance de tel ou tel autre élément, les EMN sont rattachées à différents faciès.

### Par exemple:

- Bicarbonaté et sulfaté
- Bicarbonaté calcique
- Chloruré sodique
- Sulfaté calcique et magnésienne
- Sulfurée sodique

100% frutta  
 senza zuccheri  
 senza conservanti

**VALORI NUTRIZIONALI**  
 per 100 ml

Energia	40	100	100
di cui da zuccheri	0	0	0
Proteine	0,1	0,1	0,1
di cui da latte	0	0	0
di cui da uova	0	0	0
di cui da cereali	0	0	0
di cui da frutta	0	0	0
di cui da legumi	0	0	0
di cui da oli e grassi	0	0	0
di cui da altri	0	0	0

La **Salvetat**  
**CITRON VERDELLI**  
 Ac. MALTEATTIVANTE

1,25L

100% frutta  
 senza zuccheri  
 senza conservanti

100% frutta  
 senza zuccheri  
 senza conservanti

1778  
 Saint-Galmier  
**BADOIT**  
 FINEMENT AÉRILLANTÉ

50 cl

100% acqua minerale  
 naturalmente gassata  
 in situ. 88,5 mg/l di calcio  
 e 4,7 mg/l di magnesio.

100% acqua minerale  
 naturalmente gassata  
 in situ. 88,5 mg/l di calcio  
 e 4,7 mg/l di magnesio.

  
**evian.**  
 ACQUA MINERALE NATURALE  
 NATURALMENTE GASSATA


50cl

**Mineralizzazione e Gasificazione**  
 L'acqua minerale di Evian proviene dal giacimento di  
 Saint-Galmier, in Francia. È un'acqua minerale  
 naturalmente gassata in situ. È ricca in calcio  
 e magnesio. L'acqua minerale di Evian è  
 naturalmente gassata in situ. È ricca in calcio  
 e magnesio. L'acqua minerale di Evian è  
 naturalmente gassata in situ. È ricca in calcio  
 e magnesio.



50cl

## 4 - Protection de la ressource

 C'est l'unique garantie de la qualité puisque l'EMN ne peut être traitée pour remédier à une détérioration.

### Trois niveaux de protection

- **Zone d'émergence** : la plus vulnérable car l'EMN traverse un environnement d'eaux banales superficielles.  
Forage étanche en partie superficielle, périmètre sanitaire d'émergence
- **Protection rapprochée réglementaire**: activités humaines réglementées, voire interdites.
- **Politique de protection partenariale de l'impluvium**

## 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

- Le [département des Hautes-Alpes](#) ne comporte actuellement aucune station thermale exploitée avec un agrément thérapeutique ni aucune usine d'embouteillage d'eau de boisson
- Seul le site des sources du [Monêtier-les -bains](#) fait l'objet d'une exploitation de thermalisme ludique depuis 1999 et surtout 2008 (établissement Les Grands Bains de Monêtier)
- Dans le passé, à partir de l'époque Romaine ( 300-400 après JC) et jusqu'en 1958, ce site a été exploité en tant qu'établissement thermal et eau de boisson consommée sur place
- Plusieurs sources d'eau thermale ont cependant été recensées et étudiées

# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

Un inventaire du potentiel thermal des Hautes-Alpes réalisé en 1991 ( par le BRGM) a permis de distinguer **trois types de sources**:

- **Sources très chaudes** ( $T \geq 50 - 60^{\circ} \text{C}$ ), liées à la remontée du dôme cristallin de Remollon : **Remollon, Rousset** – non exploitées
- **Sources chaudes** ( $T = 20 \text{ à } 50^{\circ} \text{C}$ ), situées dans la zone du Briançonnais (au sens structural et lithologique – domaine alpin interne), avec deux groupes: **Monétier-les-bains et Plan-de-Phazy** – exploitées
- **Sources froides** ( $T < 20^{\circ} \text{C}$ ), liées soit aux terrains du Trias, soit aux « terres noires » du Jurassique: **Lardier, La Saulce, St Pierre d'Argençon, Aspres- sur- Buëch**. Non exploitées



# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.1- Le groupe des sources de Monêtier-les-bains:

Il comprend trois sources:

- La **liche des chamois**, située en rive droite de la Guisane, sous le massif du Combeynot, à flanc de versant. Non captée.
- Les sources de **La Rotonde** et de **Font Chaude** localisées au Monêtier-les-bains, captées et exploitées. Depuis 2008 un forage au niveau de Font Chaude alimente les Grands Bains (eau à 44 °C, refroidie à 37 °C, déferitisée et filtrée)



# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.1- Les sources du Monêtier-les -bains: source de la Rotonde

- **Contexte géologique:** plaine alluviale de la Guisane- contact entre zones externes dauphinoises et zones internes sub-briançonnaises. Structures chevauchantes vers l'ouest, injectées de Trias gypsifère.
- **Emergence- captage:** la source émerge sur la bordure d'un épais massif de travertin, à mi-pente du cône de déjection du torrent St Joseph, affluent de la Guisane. Ce torrent emprunte le tracé d'une faille NE-SO
- **Caractéristiques physico-chimiques:**
  - **Débit:** 80 à 180 m<sup>3</sup>/h ( forte influence des précipitations)
  - **T =** 16 à 38 °C (sortie « naturelle » ), 44°C en sortie du forage
  - **pH:** 5,9 à 7,7
  - **Chimie:** fortes teneurs en SO<sub>4</sub>, Cl, Na ... présence de Ca, F et Li – influence des évaporites du Trias. Eaux chlorurées calciques et sodiques.
- **Vertus médicinales réputées:** embarras gastriques, rhumatismes, fractures, arthrites, certaines maladies de la peau

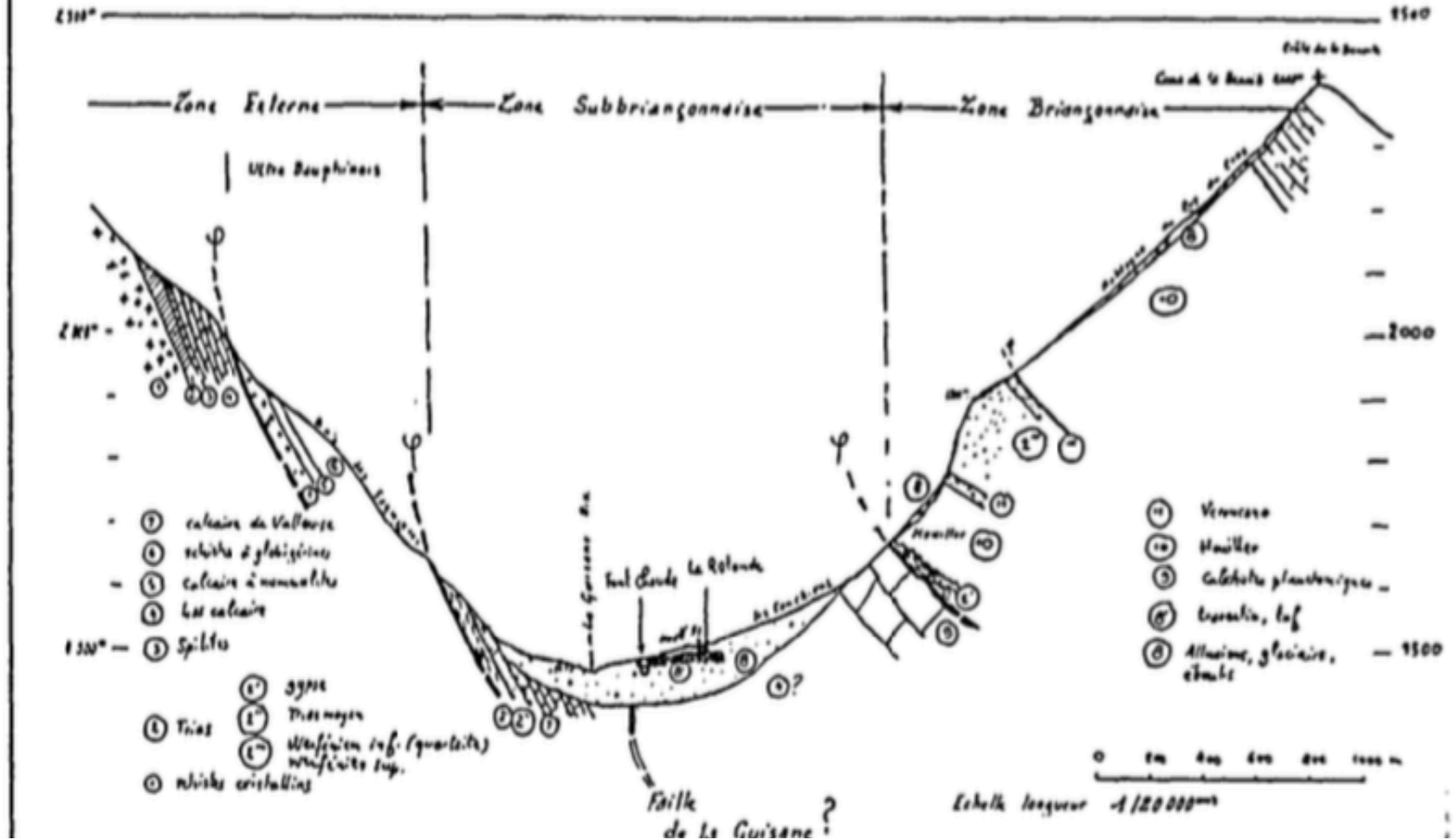




# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

Monétier- source de la Rotonde

Coupe perpendiculaire à la vallée



# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.2 - Le groupe des sources de Plan de Phazy

Il comprend trois sources:

- Les sources de la **Rotonde** et des **Suisses** (communément appelées sources du Plan de Phazy)
- La Fontaine pétrifiante de **Réotier**

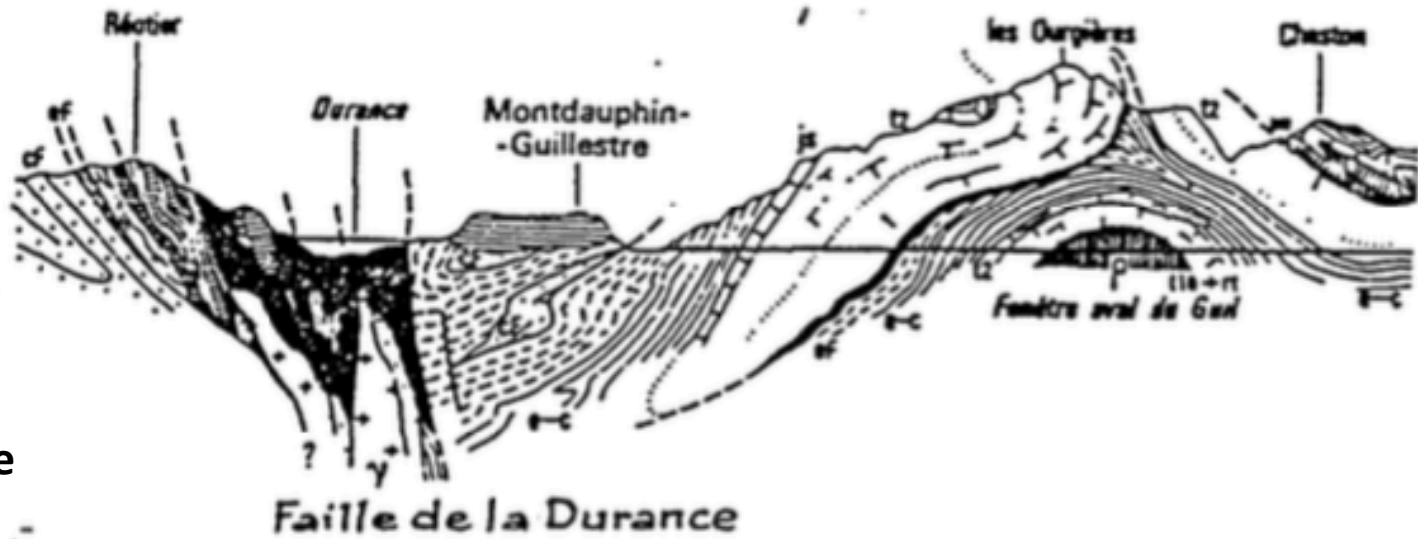
# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.2 - Le groupe des sources de Plan de Phazy

- **Contexte géologique:** le site se trouve au niveau de plusieurs contacts anormaux chevauchants vers l'ouest qui séparent différentes nappes de charriage. Le contact entre certaines de ces nappes se fait par l'intermédiaire de la faille sub-verticale de la Durance.
- **Emergence - captage (source de la Rotonde):** l'émergence est localisée au droit de la zone de faille, masquée par différents matériaux (alluvions, éboulis, cône de déjection, travertins)
- **Caractéristiques physico-chimiques (sources de la rotonde et des suisses):**
  - Débit : 10 à 20 m<sup>3</sup>/h en cumulé pour les deux sources (4 fois moins pour La Rotonde)
  - Température: 27 à 28 °C
  - forte minéralisation en Cl, SO<sub>4</sub>, Na, Ca, HCO<sub>3</sub>, Mg ... traces de Li, Fe, F, Cs, Rb- légère radioactivité due à l'émanation de radon- Gaz: CO<sub>2</sub>, N. Faciès chloruro-sulfaté sodico-calcique.
  - les fortes teneurs en CaCO<sub>3</sub> permettent le dépôt d'un massif de travertin ferrugineux (couleur ocre) par dégazage du CO<sub>2</sub> d'équilibre à la faveur d'une rupture de pente à l'émergence (aération)
- **Vertus médicinales réputées:** maladies de la peau, rhumatismes, infections respiratoires, affections articulaires

W-SW

E-NE



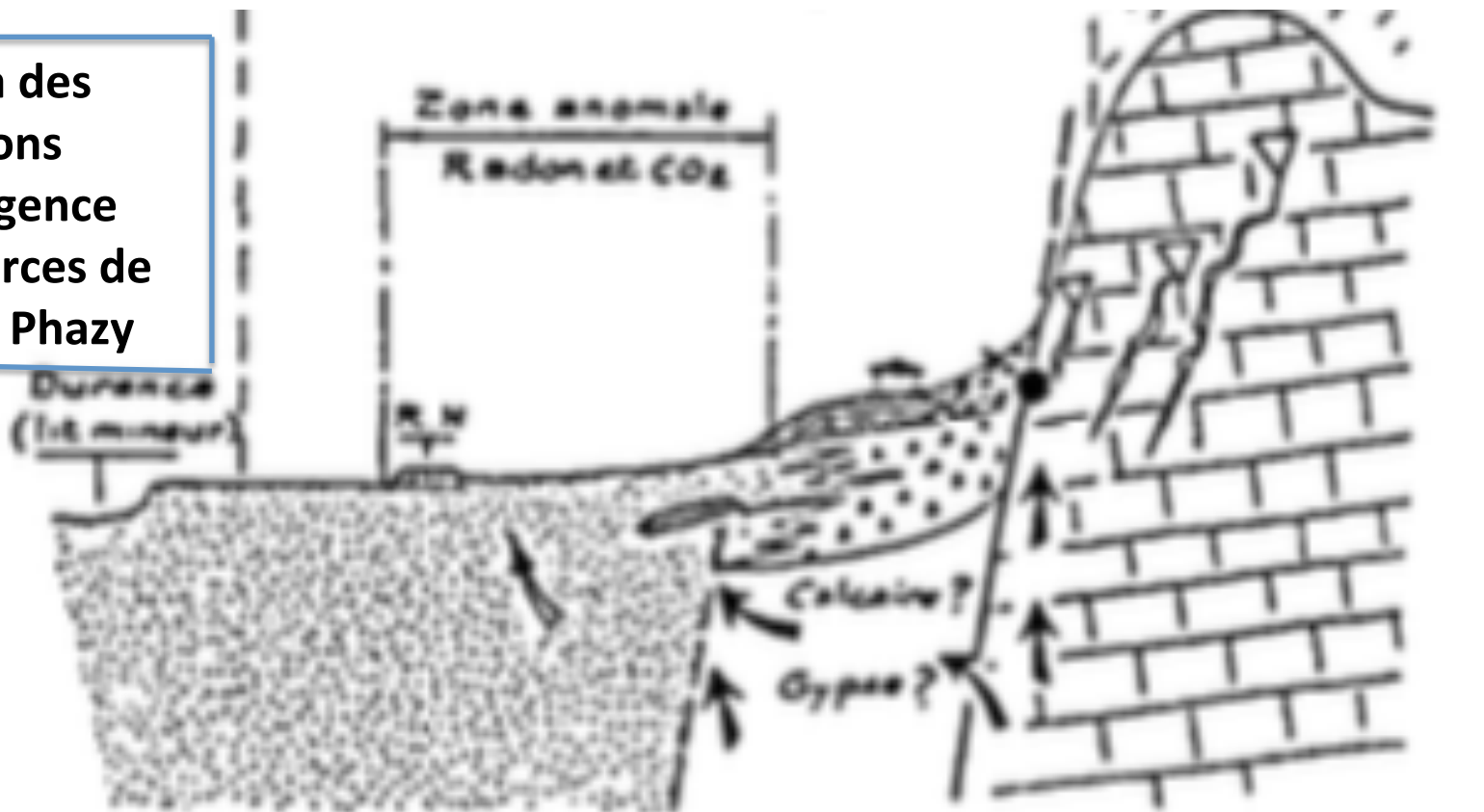
Faïlle de la Durance

Sources de  
Plan de  
Phazy –  
Contexte  
géologique

- Tiré de la  
carte  
géologique  
1/50000



Schéma des conditions d'émergence des sources de Plan de Phazy



- |  |                                 |  |                      |  |         |
|--|---------------------------------|--|----------------------|--|---------|
|  | Alluvions                       |  | Cone de déjection    |  | Éboulis |
|  | Tuf                             |  | Calcaire             |  | Faille  |
|  | Aven                            |  | Ascendance thermique |  |         |
|  | Salle de capture "La Boucaille" |  | Ascendance par       |  |         |



## Source du plan de Phazy- Analyses chimiques des cations - anions

SOURCE	DOCUMENT RELATIF A L'ANALYSE DE LA SOURCE	DATE	MINERALISATION TOTALE (g/l)	Cations ou ions + (mg/l)						Anions ou ions-(mg/l)				
				Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	CO <sub>3</sub> + HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	
RISOUL indéterminé	TRIPPIER	1838		151,6	140,3	2138,8		7,8		<u>Mn</u> 23,8	474,4	3131,6	2080,81	
LA ROTONDE	GUEYARD	1853	7,0	619,4	221,7	1545,7					408,7	2368,5	1778,4	
LA ROTONDE	Pr. MOREL	1928		677,3	133	1569,3	65,7	1,6			911	2443	1566	
LA ROTONDE	Dr. LESBROS	1946		730		1570	43				2	2290	1500	
	POULAIN	1977	7,3	658	107	1014	40	1,44	-		957,7	2328	1440	17,3
	GRIMAUD en mM/kg <sup>(2)</sup>	1987		15,76	4,26	63,8	1,01					64,8	12,3	0

**Sources de Plan de Phazy (rotonde et Suisses)-  
Chimie des éléments traces**

	F	Se	SiO <sub>2</sub>	Li	Zn	Fe	Rb	Cs
RIHAUD (1987) μM/l <sup>(1)</sup>	45	-	3,16 (10 <sup>-4</sup> M/kg)	269,9	-	17,9	1,87	0,56
BOULAIN (1977) μg/l	1,10	10,5	23	2,46	0,126	1,44	non dosé	non dosé
ESBROS (1947) μg/l							présence	présence

<sup>1)</sup> micromole par kg

# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.2 - Le groupe des sources de Plan de Phazy

Une zone à la **biodiversité** riche et particulière: faune et flore des pré-salés ( sels+ humidité)

Site classée Natura 2000

# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.2 – Le groupe des sources de Plan de Phazy



Agrion de Mercure  
( Coenagrion mercuriale)

# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## 5.2 Le groupe des sources de Plan de Phazy



Spergulaire maritime  
(Spergularia Salina)

# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## Source pétrifiante de Réotier



# 5- Les sources thermales des Hautes Alpes

## Source pétrifiante de Réotier



# Éléments de bibliographie:

- **Revue Géochronique** (publication BRGM-SGF) – Numéro 72, 1999 - *Qu'est ce qu'une eau minérale ?*
- **Revue Géologues** (publication de la SGF)- Numéro 175 – décembre 2012  
*Les eaux minérales de France: Thermalisme et embouteillage*
- **Rapport BRGM** - R 33971 – décembre 1991 – J.P. SILVESTRE  
« *Le thermalisme dans les Hautes alpes* »
- **Michard Gil**, *Chimie des eaux naturelles* - Principes de Géochimie des Eaux, Publisud - 2002
- **Dictionnaire de Géologie** – A. Foucault, J.F.Raoult, F.Cecca, B.Platevoet-Dunod- 2014





**Merci de votre attention**