Se promener et observer

Fontaine pétrifiante et fontaine d'eau chaude *près de Guillestre, Hautes-Alpes*

Frédéric Élie

septembre 2008

Copyright France.com
La reproduction des articles, images ou graphiques de ce site, pour usage collectif, y compris dans le cadre des études scolaires et supérieures, est INTERDITE. Seuls sont autorisés les extraits, pour exemple ou illustration, à la seule condition de mentionner clairement l'auteur et la référence de l'article.

« Si vous de dites rien à votre brouillon, votre brouillon ne vous dira rien ! »
Jacques Breuneval, mathématicien, professeur à l'université Aix-Marseille I, 1980

Abstract : Voici deux intéressantes curiosités dans les environs de Guillestre (Hautes-Alpes, France) : la fontaine pétrifiante de Réotier, et la fontaine d'eau chaude de Phazy. On y voit les effets du mariage de la chimie, des roches et de l'eau...

SOMMAIRE

1 - Source pétrifiante de Réotier
1-1 - Tout commence par une légende (d'après « un conte de Noël », Jean Combe, pays guillestrin)
1-2 - Comment se forme la fontaine pétrifiante ?
1-3 - Aux environs de la fontaine...
2 - Fontaine d'eau chaude du Plan de Phazy
2-1 – Situation
2-2 - Composition et propriétés des eaux de ces fontaines
2-3 - Historique : de la découverte de ces sources à aujourd'hui
Annexe A : chaleur des eaux d'infiltration
Annexe B : la remontée des eaux d'infiltration dans les failles
Bibliographie

1 - Source pétrifiante de Réotier

Entre Guillestre et Briançon, dans le département français des Hautes-Alpes, se trouve la source pétrifiante de Réotier. Lorsque qu'on la découvre, on dirait que l'eau qui s'écoule depuis les hauteurs a terminé sa course en se figeant : des espèces de stalactites semblent prolonger le ruissellement de l'eau, formant alors ce que l'on peut constater sur les photos que je présente dans cet article. Lorsque la chimie du calcium se mêle à l'écoulement des eaux, on obtient ce beau résultat.

vue d'ensemble de la source pétrifiante de Réotier (photo : F. Élie, août 2008)

1-1 - Tout commence par une légende (d'après « un conte de Noël », Jean Combe, pays guillestrin)

Antoine de Réotier était colporteur, car cultiver la terre ne suffisait pas à nourrir sa famille. Au début de l'hiver, Antoine prenait son bagage, achetait sa pacotille et partait en Provence. Cette année-là, quand il partit, sa femme avait le ventre déjà bien rond. C'était pour Noël, lui avait-on dit. Le moment venu, il avait pris le coche d'Apt à Manosque, puis de Manosque à Sisteron. Il y était le 20 décembre, mais le coche pour Gap ne partait que dans deux jours ! Alors il avait continué à pieds.
Le temps était sec, froid et beau. Antoine, bon marcheur, fit étape à La Saulce, puis Chorges, et enfin à Gap. Le 24 au matin, passant l'arête de Saint-Alban, il apercevait enfin les crêtes de Catinat. Mais le temps se gâta, de gros nuages noirs s'accumulaient sur la plaine et l'air se radoucissait lentement. A trois heures il atteignit Saint-Clément et avançait au pied des vignes quand la neige se mit à tomber. D'abord tranquillement, les flocons devinrent si drus, qu'Antoine ne voyait rien à dix pas. La neige commençait à lui brûler le visage : « Es pas poussible, tan près de l'oustaou ! »
Ne sachant plus par où aller, il se mit à genoux et dit à peu près ceci : « Notre Dame, il y a 1697 ans votre Fils est né, vous aussi vous avez eu froid, avant de trouver un âne et un boeuf pour vous réchauffer, alors ayez pitié de moi... ». Mais la tourmente redoubla. Son esprit vacillait quand soudain un coup de tonnerre le fit sursauter. Dans les éclairs il vit un monstre, un énorme monstre, aux dents blanches acérées : « Siou en enfert, es lou Grapelet o

Belzebuth ? Maria, maïre de Diou, adjude-mé ! »
Perdu pour perdu Antoine, dans un ultime sursaut de courage, tenta le tout pour le tout. Il se leva, scruta l'obscurité, il ramassa une branche morte et avança, décidé à affronter la bête immonde...
La clarté de la Lune commençait à déchirer tout doucement les nuages. Il reconnut la silhouette du monstre terrifiant aux dents tranchantes : la fontaine pétrifiante ! « M'as fa paour tu, sa ! Tu es pourtant bien belle avec ton nez de pierre et tes dents de cristal. Ton grand bassin te sert de miroir par ce temps glacé !

Exercice :

a) en quelle année se passe cette histoire ?
b) pourquoi l'air se radoucit-il doucement lorsque de gros nuages noirs s'accumulent ?
c) en quelle langue s'exprime Antoine de Réotier ?

réponses :

a) en 1697 puisque Antoine Réotier s'adresse à la sainte Vierge Marie en lui disant « il y a 1697 ans... » !
b) parce que la formation des nuages porteurs de pluie ou de neige s'accompagne de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air (transformation de l'eau à l'état gazeux en eau à l'état liquide). Or la condensation de la vapeur d'eau s'accompagne toujours d'un dégagement de chaleur qui réchauffe l'atmosphère environnante (tandis que le phénomène inverse, la vaporisation, absorbe la chaleur ; ceci explique par exemple que nous ressentions un refroidissement lorsque l'eau s'évapore de notre corps) – Voir article « transports et convection atmosphérique »)
c) il s'exprime en provençal, dérivé de la langue d'Oc, ou occitan, jadis parlé, et écrit, de la Catalogne au Piémont. Langue des troubadours, l'occitan fut d'ailleurs la langue des actes officiels des papes en Avignon à l'époque du Grand Schisme. L'écrivain Frédéric Mistral a essayé de faire admettre que le parler provençal devait retrouver ses origines occitanes, avec son orthographe et sa grammaire très élaborés, au lieu de basculer dans une écriture quasi phonétique et sa perte de rigueur syntaxique, bref en refaire une vraie langue plutôt qu'un patois pittoresque, à l'encontre de l'usage qu'en faisait l'autre écrivain provençal Roumanille.

1-2 - Comment se forme la fontaine pétrifiante ?

Ce sont les eaux de la Saulce (« *La Salce* ») qui alimentent la fontaine pétrifiante. Elles sont sur la même ligne que les sources thermales et minérales de la Rotonde du Plan de Phazy qui sont situées à 2 kilomètres sur la grande faille de la Durance (voir figure 1).
Les ***eaux d'infiltration***, issues des précipitations et de la fonte des neiges, descendent sous l'action de la gravité à travers différentes couches minérales. Au cours de leur descente, ces eaux se chauffent à raison de 3°C tous les 100 mètres.
La faille met en contact des couches minérales de nature différente (calcaires, dolomites, gypse...) et favorise la remontée des eaux. Par conséquent, lorsque les eaux d'infiltration rencontrent la grande faille de la Durance, elles remontent vers la surface en restant chaudes et y jaillissent à la température de 21°C. Ces eaux, chargées en bicarbonate de calcium, dégazent en surface en libérant du gaz carbonique et en formant un précipité de calcite, conformément à la réaction :

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \text{ (calcite)} + CO_2 \text{ (gaz carbonique)} + H_2O \text{ (eau)}$$

(voir article: eau de chaux et chimie du calcium). La proportion de calcite déposé est d'environ 140 mg/litre. Au cours de ce processus, le calcite se mélange en les pétrifiant aux matériaux environnants de la surface.

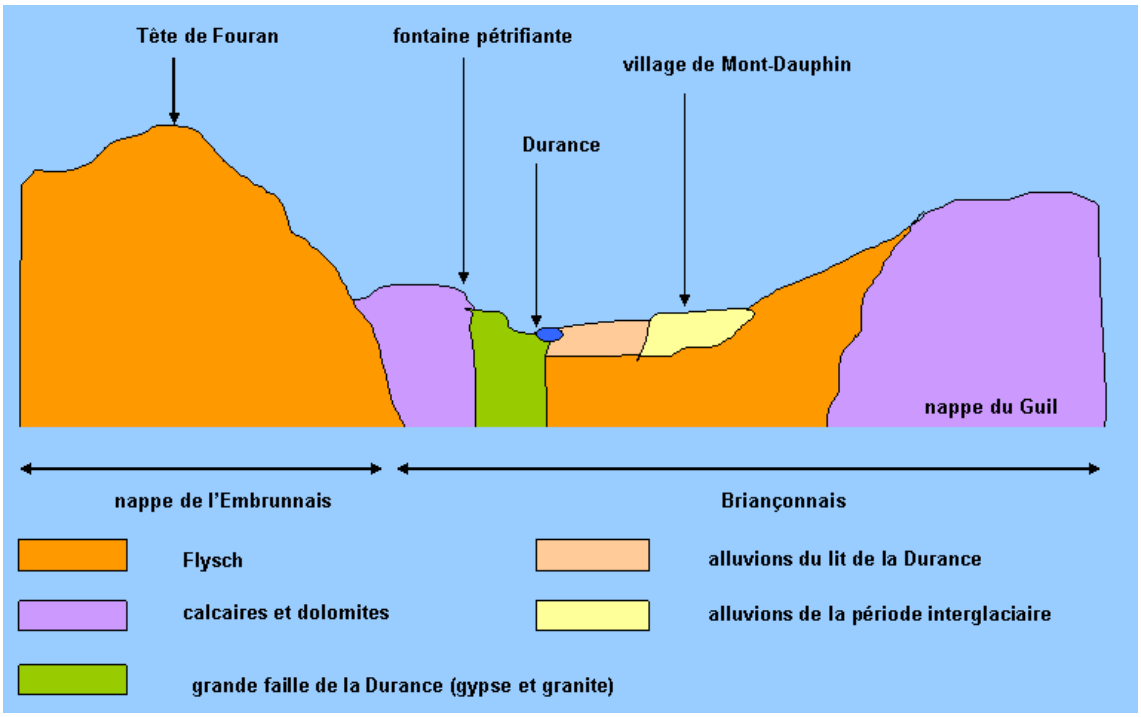


figure 1 – coupe géologique ouest-est de la vallée de la Durance à hauteur de Réotier

Et voici ce que cela donne...

La partie inférieure du bassin de la fontaine pétrifiante vue de face : la couleur rouille est due à la présence d'oxyde de fer dans le précipité de calcite
(photo : Frédéric Élie, août 2008)

Le « monstre » qu'aperçut Antoine de Réotier le soir de l'orage, avec son bassin où s'égoutte l'eau qui résulte du dégazage des eaux chargées en bicarbonate de calcium (photo : F. Élie, août 2008)

Exercice :

a) Pourquoi les eaux d'infiltration se chauffent-elles lorsqu'elles circulent dans les couches profondes ?

b) Pourquoi la faille favorise-t-elle la remontée des eaux vers la surface ?

Réponses :

a) voir annexe A

b) voir annexe B

1-3 - Aux environs de la fontaine...

Aux environs des sources thermales de cette région (source de Réotier, source du Plan de Phazy...) se trouvent, curieusement, des ***prés salés***, constitués de ***plantes halophiles*** (qui « aiment » le sel), comme au bord de la mer, et qui abritent des plantes et une faune assez particulières. Les plantes halophiles que l'on trouve, telles le Plantain maritime (Plantago maritima), le Carex à épis distants (Carex distans), la Spergulaire marginée (Spergularia media), ou encore la Puccinelle à épis distants (Pucinellia distans), parviennent à résister à l'ambiance salée grâce à leurs tailles réduites, leurs feuilles et tiges charnues qui leur permettent de réduire leur perte en eau. Quant à la faune, on citera ces sortes de libellules telles que l'Agrion de Mercure ou le Sympetrum à nervures rouges.

L'origine des plantes halophiles dans cette région des Alpes est encore inexpliquée. Plusieurs hypothèses sont proposées :

- les plantes halophiles auraient été transportées par des oiseaux migrateurs ;
- elles se seraient développées à l'époque où les vallées des Alpes étaient encore sous la mer il y a 30 millions d'années;
- la présence des eaux thermales aurait augmenté la teneur en sel du sol, le sel étant charrié par ces eaux et diffusant ensuite dans le sol suite aux évaporations.

Le site de Réotier, ainsi que celui du Plan de Phazy, et plus généralement les sites de prés salés, font l'objet d'une politique de protection écologique par l'Union Européenne : ils font partie de ***Natura 2000***.

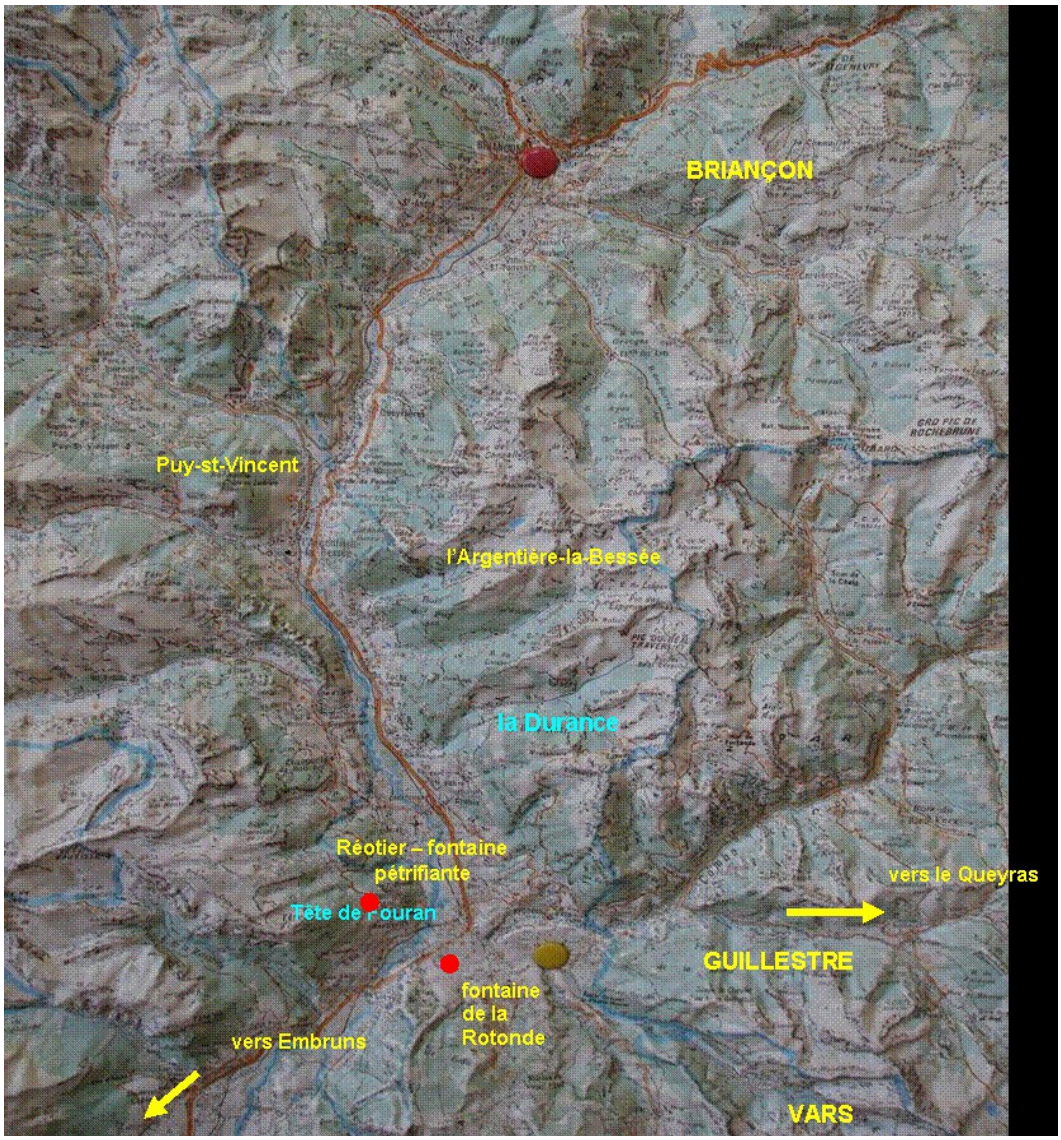
A gauche : Puccinelle à épis distants, à droite : l'Agrion de Mercure, sur le chemin qui mène à la fontaine pétrifiante de Réotier (photos : F. Elie, août 2008)

2 - Fontaine d'eau chaude du Plan de Phazy

2-1 - Situation

Les sources du Plan de Phazy appartiennent aux communes de Guillestre et de Risoul (département des Hautes-Alpes). Elles sont situées à 900 mètres d'altitude, en aval du confluent de la Durance et du Guil, rivière qui traverse Guillestre.
Sur ce site, il existe deux sources :

- la source de la Rotonde,
- la source des Suisses.



situation de la source d'eau chaude du Plan de Phazy et de la fontaine pétrifiante de Réotier

Les sources de la Rotonde et des Suisses émergent sur la grande faille de la Durance, où plusieurs couches géologiques sont superposées. Lorsque les eaux pluviales ou provenant de la fonte des neiges s'infiltrent à la surface dans la terre, elles traversent des couches calcaires perméables formées lors du Trias, et sont canalisées car ces couches sont bordées par deux épaisses couches imperméables : à l'ouest la nappe du Flysch de l'Embrunnais (composée de schiste noir, et de mélanges calcaires et grès), à l'est la nappe du Briançonnais (composée de gypses et de cargneules triasiques). Lorsque les eaux s'enfoncent dans la roche, elles s'échauffent, se minéralisent, se charge en chlorure de sodium (sel) et en gaz carbonique. En rencontrant la faille, elles remontent alors jusqu'à la surface en deux sources (la Rotonde et les Suisses) en conservant une température relativement élevée :

- Les eaux de la source de la Rotonde émergent à proximité d'une bâtisse circulaire du même nom, au niveau d'un rocher de marbre rose de Guillestre qui a été érigé afin de la repérer à l'aplomb de l'endroit où la source fut retrouvée après le tremblement de terre de 1935. L'eau de cette source s'écoule à la surface en cascade à travers quatre bassins naturels puis s'achemine le long d'un mur de concrétion calcaire d'une hauteur de 3 mètres environ. Son débit est de 8 m^3/h et sa température est de 27°C en toute saison (figure 2). En coulant l'eau dépose une substance ocre et rougeâtre mêlée d'incrustations blanches : cette substance est du tuf calcaire, résultant de l'accumulation en couches de dépôts des eaux.

- Les eaux de la source des Suisses émergent plus au nord de celle de la Rotonde. Avant

d'arriver sur le site de la Rotonde, la route franchit un petit canal alimenté par la source des Suisses. Cette source se trouve en bordure d'un petit chemin qui quitte la route de la Rotonde en direction des vignes. La source est captée entre quatre dalles de béton puis est canalisée pour ressortir à droite du chemin le long duquel elle circule en longeant un mur de concrétion calcaire de 1,5 mètre de hauteur. Son débit plus élevé (18 m^3/h) et sa température constante de 26,5°C font qu'elles sont utilisées pour la climatisation des serres situées plus bas, au bord de la Durance.

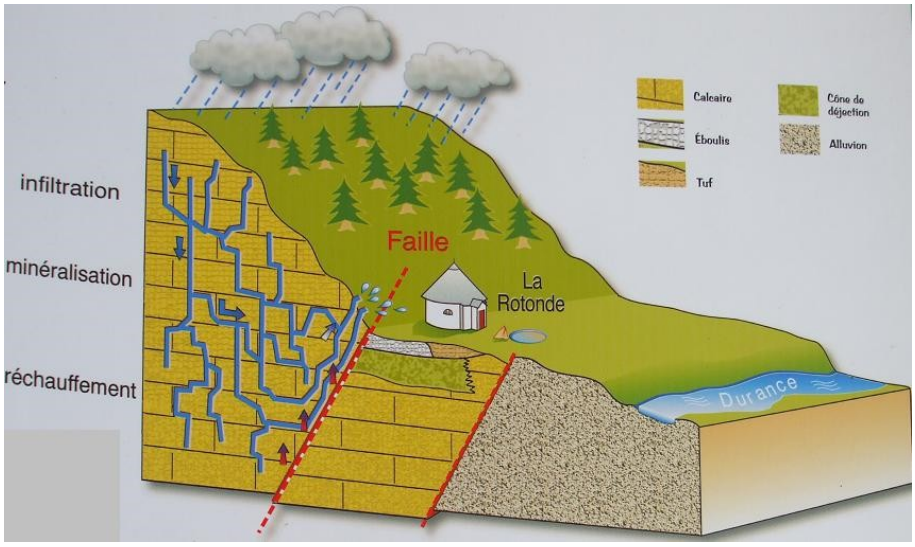


Figure 2 - source d'eau chaude de la Rotonde (Plan de Phazy) : principe

la fontaine d'eau chaude de la Rotonde du Plan de Phazy, émergeant à travers le rocher de marbre rose de Guillestre. Sur la photo de gauche, à l'arrière plan, la bâtisse circulaire qui s'appelle la Rotonde (photos : F. Élie, août 2008)

2-2 - Composition et propriétés des eaux de ces fontaines

Les premières analyses chimiques des eaux des sources de la Rotonde et des Suisses remontent à 1853, et toutes les mesures ultérieures confirment la stabilité de leur composition chimique. Très proches l'une de l'autre, les eaux du Plan de Phazy qui alimentent ces deux sources sont des eaux chlorurées, sodiques, sulfatées, calciques et magnésiennes. Comme le montre le tableau 1 ci-après, les eaux de la Rotonde sont toutefois plus minéralisées que celles des Suisses, avec une minéralisation totale de 7 g/litre ce qui est énorme (on s'en aperçoit en goûtant un peu une goutte d'eau !). On a vu que ces eaux dégagent du gaz carbonique, ce que l'on voit grâce aux petites bulles qu'elles produisent.

Composition mg/L	Calcium Ca^{2+}	Magnésium Mg^{2+}	Sodium Na^{+}	Bicarbonate HCO^{3-}	Chlorures Cl^{-}	Sulfates SO^{4-}	Fer Fe
La Rotonde	605	100	1450	965	2165	1265	0,6
Les Suisses	671	90	1060	711	1570	1480	1,25

Tableau 1 – principales compositions chimiques des sources de la Rotonde et des Suisses (source : Institut Pasteur de Lyon, 1994)

Ces eaux sont néanmoins impropres à la consommation courante compte tenu des normes en vigueur sur la composition minérale des eaux potables (décret 89-3 du 3 janvier 1989) rappelée au tableau 2 ci-après :

Composition mg/L	Magnésium Mg^{2+}	Sodium Na^{+}	Chlorures Cl^{-}	Sulfates SO^{4-}	Fer Fe
Concentrations maximales pour la consommation alimentaire	< 50	< 150	< 200	< 250	< 0,2

Tableau 2 – limites maximales des teneurs minérales pour les eaux destinées à la consommation (décret 89-3 du 3 janvier 1989)

En usage externe, l'eau de ces sources peut toutefois présenter quelque intérêt étudié par le médecin Marcel Lesbros dans sa thèse de doctorat de 1947 : arthrose, rhumatismes, problèmes hépatiques et rénaux, problèmes cutanés (eczémas, psoriasis).
En usage interne, pour lequel l'eau a des propriétés laxatives, il faut être plus réservé à cause des risques encourus. D'autant que ces eaux ne font pas l'objet de contrôles sanitaires systématiques, et les eaux thermales nécessitent d'être rigoureusement inspectées car elles peuvent toujours véhiculer des bactéries qui se développent préférentiellement à haute température. A ce sujet, notons que les ***infections*** qui peuvent être créées par les sources chaudes sont par exemple :

- le naegleria fowler, amibe vivant dans les eaux et les sols chauds et pouvant donner la méningite en traversant les sinus ;
- l'acanthamoeba ;
- la legionella qui donne la légionellose (voir article : « légionellose »)

2-3 - Historique : de la découverte de ces sources à aujourd'hui

La découverte et l'utilisation des sources du Plan de Phazy sont anciennes puisqu'elles remontent à l'époque gallo-romaine. Le Plan de Phazy se trouvait sur la voie romaine Via Domitia qui longe encore de nos jours la Durance. Les valeurs curatives de ces sources poussèrent les Romains à les considérer comme des sources sacrées. A l'époque chrétienne de l'Empire Romain, l'exploitation des sources tomba en désuétude.
Au Moyen-Age trois hôpitaux furent construits à quelques kilomètres du Plan de Phazy. Le nom « Phazy » serait le diminutif de Boniface, premier personnage à exploiter ces sources au profit de ces hôpitaux.
C'est au 18ème siècle que le sergent-major de l'hôpital de Mont-Dauphin attira l'attention des pouvoirs publics sur les vertus des eaux du Plan de Phazy. Il obtint gain de cause lorsque, en 1824, sous le règne du roi Charles X, les autorités acceptèrent la construction de l'établissement thermal de la Rotonde. Dès lors, il reçut la visite des garnisons voisines (Mont-Dauphin, Briançon) qui venaient s'y soigner ou faire des cures.
Mais un conflit de propriété du sol opposa les communes de Guillestre, Risoul et Ceillac. Le département prit alors en charge la gestion de la Rotonde, puis la remit à la commune de Guillestre. La commune de Risoul reprit alors ses contestations et, en définitive, les pouvoirs publics prononcèrent la propriété indivise des sources et de l'établissement thermal entre Guillestre et Risoul.
En 1860, par arrêté du Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, les sources de la Rotonde et des Suisses purent être exploitées à des fins médicales, et ce, sans limitation dans le temps. Les soins consistaient en bains et en boissons dans la buvette mitoyenne construite à cet effet. Toutefois, ces sources restèrent assez peu connues à l'échelle nationale : seuls les gens de la région les fréquentaient.
Un tremblement de terre survint le 19 mars 1935 et causa le tarissement des sources, ainsi que l'endommagement de la Rotonde. La source de la Rotonde fut retrouvée plus tard grâce aux travaux de recherche et de captage : on érigea alors le rocher de marbre rose de Guillestre pour la matérialiser.
Mais l'exploitation des sources déclina et plusieurs tentatives pour trouver un exploitant

échouèrent. C'est alors que, en 1980, les communes de Guillestre et de Risoul fondèrent le SIVU (Syndicat Intercommunal à Vocation Unique des eaux du Plan de Phazy) qui restaura et modernisa le site. En 1986 le SIVU tenta de relancer les activités thermales et médicales du site et créer une station thermale à Mont-Dauphin, mais en vain à cause des problèmes de financement et des difficultés techniques.
Enfin, depuis 1991, suite à des forages profonds pour le captage de l'eau thermale, le canton de Guillestre a ouvert un projet de réalisation de centre de mise en forme exploitant les eaux du Plan de Phazy, mais ce projet n'a toujours pas abouti.
Décidément, ces sources chaudes du Plan de Phazy jettent un froid !...

Annexe A : chaleur des eaux d'infiltration

La température des roches de la croûte terrestre augmente avec la profondeur ; le nombre de degrés acquis par mètre de profondeur s'appelle le ***gradient géothermique***. Ce gradient varie de 2 ou 3°C/100 m pour les zones non volcaniques (1000°C/100 m dans les zones volcaniques).
L'eau qui pénètre dans les roches va donc s'échauffer à leur contact.
La chaleur interne de la Terre provient en grande partie (87%) de la radioactivité naturelle des roches du manteau et de la croûte terrestre, notamment associée à la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. La chaleur des roches profondes se propage par conduction thermique, des couches profondes vers la surface.
L'existence du gradient géothermique est exploitée dans la production d'énergie.

Annexe B : la remontée des eaux d'infiltration dans les failles

L'écoulement des eaux d'infiltration s'effectue à travers les roches qui peuvent être considérées comme un milieu poreux hétérogène. En première approximation cet écoulement suit la ***loi de Darcy*** qui énonce que le débit volumique de l'eau d'infiltration Q, qui traverse une zone poreuse de longueur L et de section constante S, est proportionnelle à la différence de pression ΔP qui siège aux extrémités de cette zone :

$$Q = (K/\mu)S\Delta P/L$$

où μ est la viscosité du liquide qui s'écoule, et K la ***perméabilité*** caractérisant le milieu poreux. K a les dimensions d'une surface et elle est souvent exprimée en darcy qui vaut 1 μm^2. Plus elle est élevée, plus le milieu est clairsemé et le débit d'écoulement élevé. A titre d'indication le tableau ci-après donne quelques valeurs de K.

matériau	Perméabilité K (Darcy)
Terre (humus)	0,3 - 15
brique	0,005 – 0,2
calcaire	0,002 – 0,05
grès	0,0005 - 5
cigarette	1000
Fibre de verre	20 - 50
sable	20 - 200
Silice en poudre	0,01 – 0,05

Tableau A1 – valeurs de quelques perméabilités

Lorsque l'on exprime la différence de pression en hauteur d'eau H, c'est-à-dire lorsque l'on pose $\Delta P = \rho gH$ (où ρ est la masse volumique de l'eau qui s'écoule) on obtient la forme classique de la loi de Darcy pour la vitesse d'écoulement V = Q/S:

$$V = - KI$$

où I = H/L est le ***gradient hydraulique***. On montre que le régime d'écoulement dans les milieux poreux est laminaire, ce qu'exprime la relation linéaire ci-dessus. On montre également que la loi de Darcy se généralise dans les trois directions de l'espace en :

$$\mathbf{V} = - K \, \mathbf{grad} \, H$$

et que la perméabilité K dépend de la taille s des pores, de la pression P qui règne dans le milieu, de la viscosité cinématique $\nu = \mu/\rho$ de l'eau, de la température du milieu, et de la nature des réactions chimiques entre l'eau et les substances en provenance des roches, par la relation :

$$K = gk(a ;P)\alpha_k / \nu$$

où k(a ;P) est la ***perméabilité intrinsèque*** du milieu, qui dépend de la texture et de la structure du milieu poreux ; elle est du type :

$$k = a^2 f(P)$$

(théories de Hazen, Schlichter, Kozeny...). Le facteur α_k contient les interactions chimiques entre l'eau et les roches et les processus d'adsorption, de rétention, de coagulation par les ions calcium Ca^{2+}, de peptisation par les ions sodium Na^+, etc.
Ainsi l'environnement rocheux à travers duquel s'écoule l'eau de filtration a un rôle déterminant sur son régime et son état. Par exemple, lorsque l'eau s'écoule dans un milieu de grande perméabilité, entouré de milieux de perméabilité plus faible, elle est canalisée et traverse difficilement les autres milieux.
Dans tous les cas de figure, l'écoulement de l'eau dans un milieu poreux s'accompagne d'une perte d'énergie proportionnelle à – KH. On peut représenter cette situation en écrivant que le potentiel d'énergie U des forces de liaison de l'eau et du milieu rocheux, qui représente l'énergie nécessaire pour vaincre ces forces de liaison, est la contribution de deux potentiels :

- l'un U_g qui est le potentiel des forces de pesanteur et de pression dans l'écoulement en milieu saturé : il est donné par la loi de Darcy ;
- l'autre U_r est le potentiel des forces de rétention, ou ***potentiel capillaire*** : énergie nécessaire pour transformer une masse unitaire d'eau libre en eau liée par des forces capillaires avec une teneur en eau $\theta = V_e/V_m$, où V_m est le volume du milieu et V_e le volume d'eau contenue dans ce volume du milieu.

On a donc :

$$U = U_g + U_r$$

En général U et θ sont les paramètres qui caractérisent l'état de l'eau dans le milieu rocheux du sol. On a l'habitude d'exprimer le potentiel capillaire en cm de colonne d'eau (cmCE) et d'utiliser le pF qui est son logarithme :

$$pF = \log_{10} (U_r \text{ (cmCE)})$$

Suivant les valeurs du pF on classe alors le ***degré de liaison de l'eau*** dans le sol :

- milieu saturé : $U_r = 0$ (donc $pF = - \infty$). Cette situation arrive lorsque le milieu est saturé en eau, et donc toute eau supplémentaire qui arrive ne peut plus s'y lier.
- eau hygroscopique : pF > 5 (eau adsorbée) ;
- eau de rétention : pF > 3 (eau fortement liée aux grains et donc ne pouvant pas se mouvoir

sous la seule action de la pesanteur) ;
- eau de gravité : pF < 3 (eau libre, c'est-à-dire faiblement liée à son milieu : elle peut donc se mouvoir sous la seule action de la pesanteur. On dit encore eau de gravité).

En s'enfonçant dans la roche, l'eau s'échauffe mais perd de l'énergie cinétique en vertu de la loi de Darcy. Aux profondeurs élevées elle est soumise à de fortes pressions du fait de la chaleur. Sous l'action de cette pression, elle devrait alors remonter, mais elle ne le peut pas à cause des divers milieux rocheux qui freineraient son ascension. C'est pourquoi, lorsque l'eau rencontre une faille, où le passage vers la surface est plus important, elle peut remonter sous l'effet des fortes pressions qui règnent en profondeur.

Bibliographie

sur les curiosités, la géologie et l'hydrologie des Hautes Alpes :
- site : http://hautes-alpes.net

sur l'embrunais et la source de Réotier :
- site : http://www.geol-alp.com/embrunais/pages-embrunais/reotier.html

sur la géologie des failles, des sources, des roches :
- René Dars : *La géologie* – coll. « Que sais-je ? », Presses Universitaires de France, 2000
- sous la direction de Jean-Yves Daniel : André Brahic, Michel Hoffert, André Schaaf, Marc Tardy – *Sciences de la Terre et de l'univers* – Vuibert, 2000

sur les écoulements en milieux poreux :
- sous la direction de Michel Hug : *Mécanique des fluides appliquée aux problèmes d'aménagement et d'énergétique* – Eyrolles, 1975
- Etienne Guyon, Jean-Pierre Hulin, Luc Petit : *Hydrodynamique physique* – coll. Savoirs Actuels, EDP Sciences, CNRS éditions, 2001