Bertrand Pajot, inspecteur général de l'éducation nationale, doyen du groupe des sciences et technologies du vivant de la santé et de la Terre
Raymond Cirio, président du centre briançonnais de géologie alpine
Société de géologie française

La problématique générale du stage, dans lequel l'excursion présentée ci-dessous s'est déroulée, est centrée sur les ressources géologiques, objet d'un intérêt renouvelé, et enjeu de développement industriel et économique.
Ce travail constitue donc un appui pour aborder la thématique des programmes de lycée, Enjeux planétaires et contemporains, en particulier au niveau terminale scientifique, dans le contexte géologique de la chaîne alpine et de la géothermie.

Dans le cadre de la ré-industrialisation de la France et des enjeux de développement du vingt-et-unième siècle, les ressources géologiques font l'objet d'un intérêt renouvelé. Ce stage qui mêle études de terrain et conférences, permet de faire se rencontrer acteurs industriels et de la recherche avec les professionnels de l'éducation pour partager informations et connaissances sur les grandes orientations actuelles de ce champ scientifique. Il est l'occasion d'identifier les opportunités de métiers et de formation en sciences et technologies du vivant, de la santé et de la Terre, pour pouvoir les présenter aux élèves lors de leur parcours de formation.

Thème de l'excursion du 25 septembre 2015 :
Géothermie et tectonique : la zone de failles de la Haute Durance

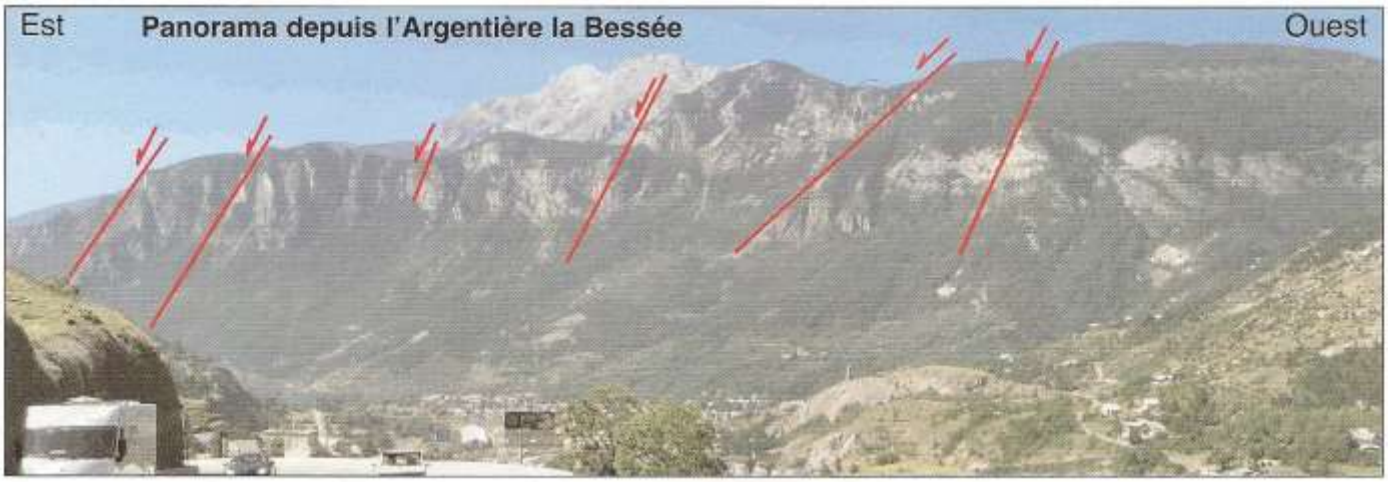
Contexte tectonique
La zone briançonnaise au sud-est du Pelvoux est découpée par un réseau dense de failles tardi-alpines, qui correspondent à la dernière phase tectonique de la chaîne. En effet, ce système de failles recoupe toutes les structures liées aux phases compressives (plis, chevauchement, schistosités …). Il est composé principalement de failles normales à décrochantes, dextres longitudinales à l'arc alpin, et de failles conjuguées senestres et normales, transverses à l'axe de la chaîne. En termes de paléo-contraintes, l'extension est radiale à la chaîne près du Front Pennique et multidirectionnelle, plus à l'est. Le champ de contraintes décrochant est compatible avec le champ extensif. La tectonique actuelle, vue par la sismotectonique et la géodésie, permet aussi de reconnaître plusieurs failles actives dans la région et elle est cohérente avec la fracturation observée sur le terrain. Il y a donc un lien cogénétique direct entre les failles observées en surface et l'activité actuelle de la chaîne.
Cette excursion est dédiée à l'observation du système des failles de la Haute Durance et à ses liens avec la sismicité et la géothermie.

Raymond Cirio président du centre briançonnais de géologie alpine
Christian Sue, professeur à l'université de Franche-Comté Besançon ; domaine de recherche principal : les déformations crustales et la mécanique de la fracturation en contexte orogénique.

Premier arrêt

Document n°1 : Panorama de L'Argentière La Bessée

Document n°2 : Lecture du panorama de L'Argentière La Bessée



Le paysage de l'argentière La Bessée présente un réseau de failles normales.

Ce système extensif correspond à la haute chaîne alpine.

http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/terre/montagnes/extension/alpes#structurales

Les arguments déduits des analyses structurales, des études sismo-tectoniques et des mesures géodésiques permettent de donner la conclusion suivante : « on peut affirmer que l'extension dans l'arc alpin affecte un volume très important dans les zones internes puisqu'elle s'étend de l'arrière de Dora Maira jusqu'au sud-est du massif de l'Aar et concerne les 15 à 20 premiers kilomètres de la croûte ».

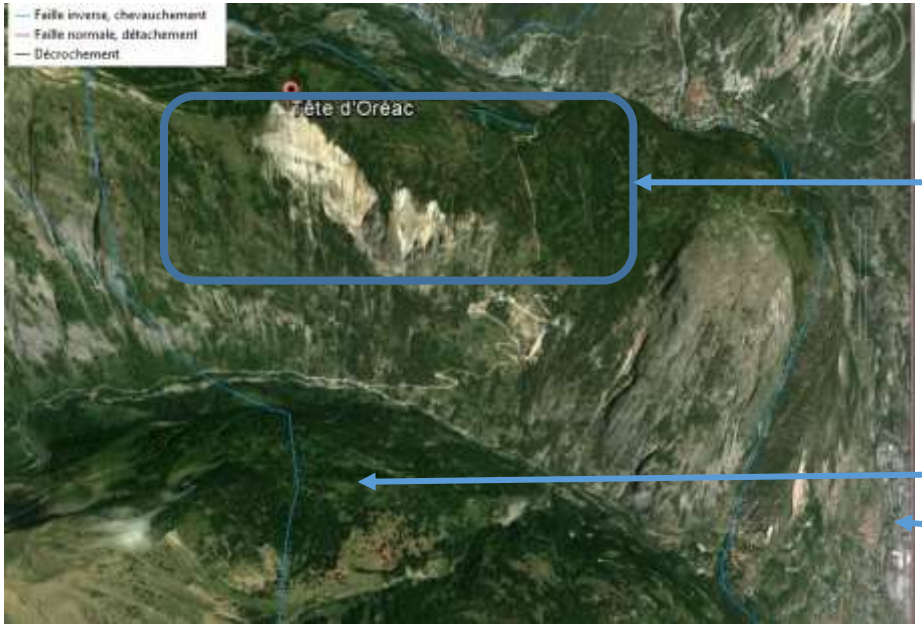
Les arrêts suivants de l'excursion permettent d'observer certaines de ces failles normales.

Deuxième arrêt

Document n°3 : Le vallon du Fournel : localisation et panorama

Panorama

Arrêt



Document n°4 : Localisation du site avec GOOGLE EARTH

Panorama

Arrêt

L'argentière La Bessée

Document n°5

Panorama Ouest du vallon du Fournel

Panorama Est du vallon du Fournel, tête d'Oréac

Document n°6 : Panorama Est du vallon du Fournel : agrandissement

Document n°7 : Image GOOGLE EARTH et carte géologique au 1/50 000 BRGM pour le panorama ouest de l'arrêt n°2 (avec quelques extraits de la légende)

Chevauchement pennique frontal

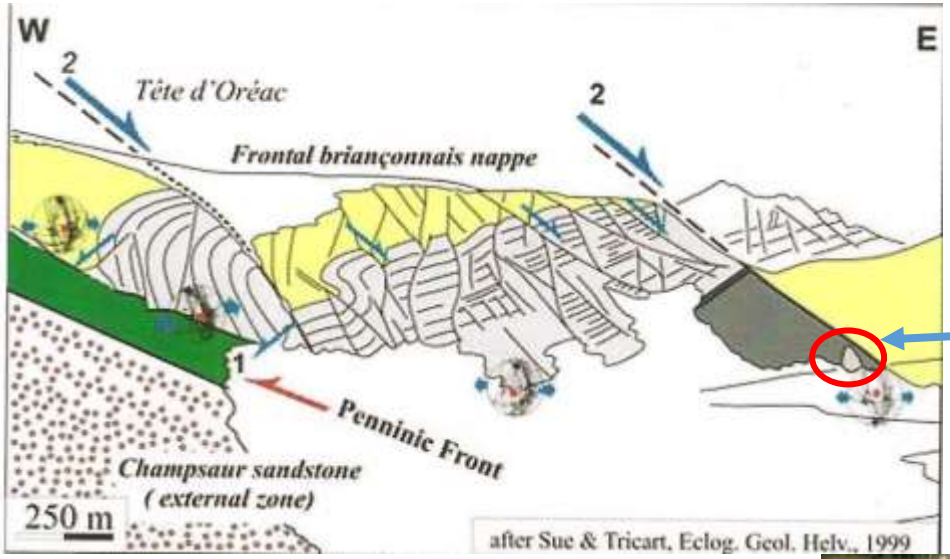
Zone briançonnaise : Calcschistes planctoniques (Crétacé supérieur et Paléocène)

Zone briançonnaise : Dogger

Zone briançonnaise : Trias

Terrains autochtones et parautochtones (couverture sédimentaire) : Grès du Champsaur (Priabonien terminal à Oligocène inférieur)

L'ellipse rouge sur la carte géologique correspond à l'ellipse rouge sur la photographie de l'agrandissement du panorama est.



Document n°8 : Lecture géologique du paysage de la tête d'Oréac
Les terrains du Crétacé en jaune et du Jurassique en gris clair sont décalés par des failles normales, ils chevauchent la nappe des grès du Champsaur et surmontent des quartzites triasiques en gris sombre.

Localisation du faciès des quartzites transformées par la faille

Document n°9 : Localisation avec GOOGLE EARTH

Troisième arrêt

Document n°10 :

Faille normale et quartzites transformées, des documents 8 et 9

Miroir de la faille (dans l'ombre)

Quartzites transformées correspondant à l'ellipse rouge des documents 8 et 9

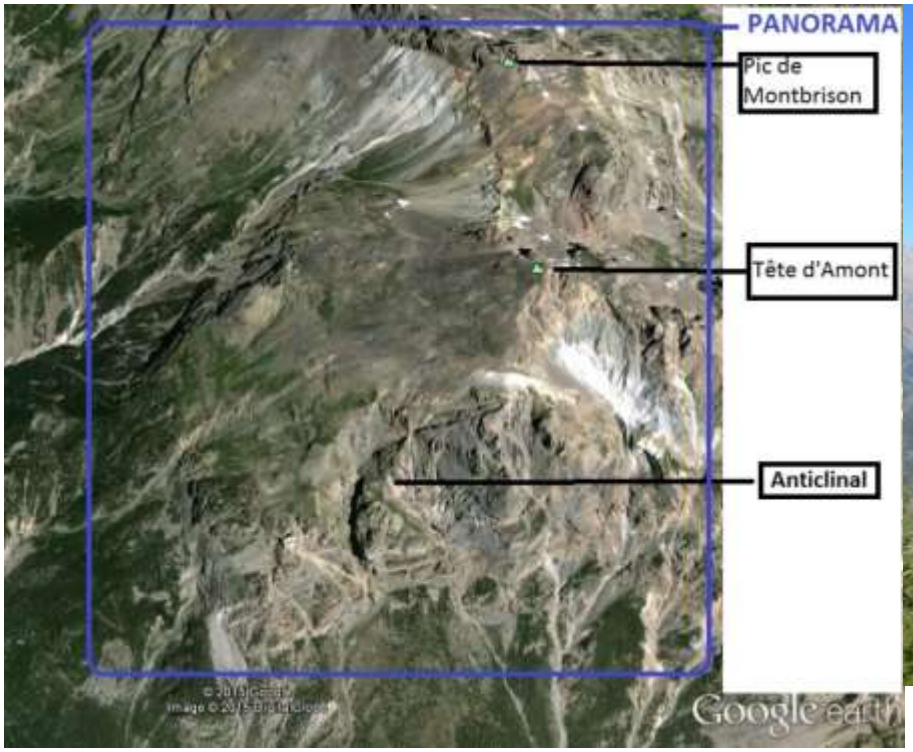
Document 11 :
Fragment du miroir de faille, strié

Document 12 :
Fragment du miroir de faille comportant des brèches tectoniques formées au cours du fonctionnement de la faille par le frottement des terrains Jurassique et Crétacé.

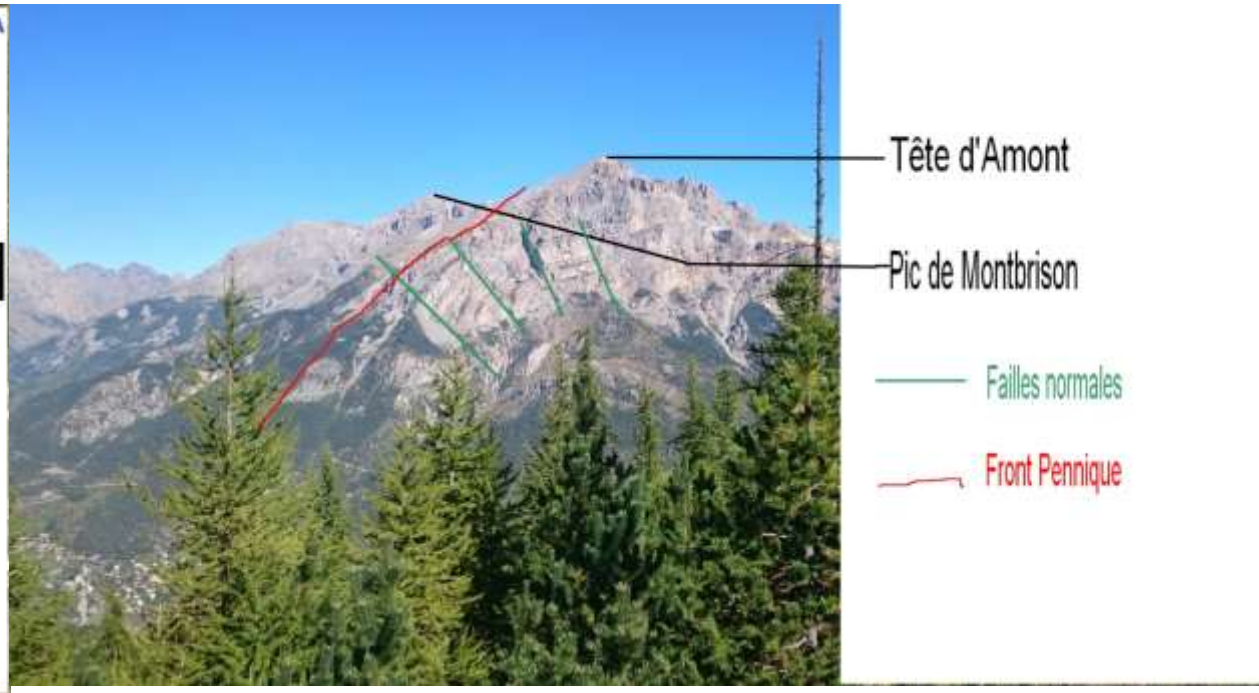
Quatrième arrêt

Document 13 : Panorama de la Tête d'Amont et du pic de Montbrison depuis le col de la Pousterle.

Document 14 : localisation du paysage précédent sur une image GOOGLE EARTH

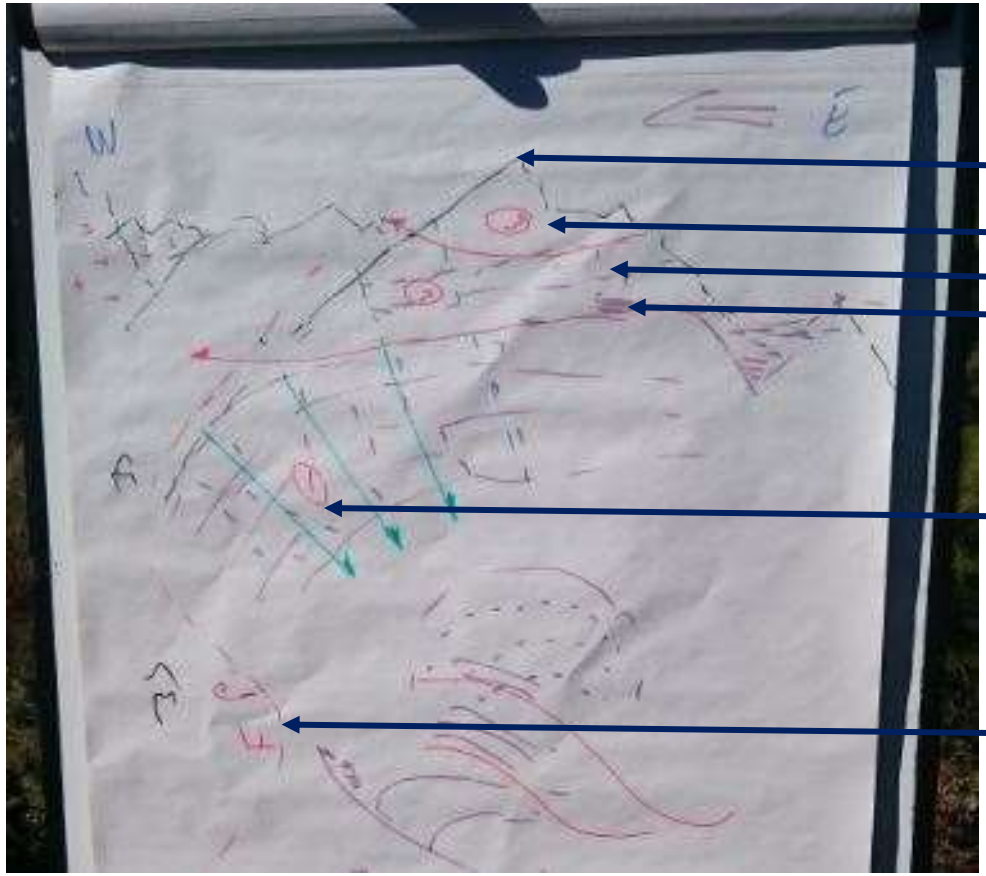


Document 15 : Interprétation du panorama de la Tête d'Amont



Document 16 : Croquis d'interprétation du paysage de la Tête d'Amont, par Christian Sue

Croquis réalisé sur place par Christian Sue montrant le front pennique (FP), l'anticlinal dans l'écaille 1 et son réseau de failles normales associées au mouvement d'extension, surmonté des écailles 2 puis 3. Les terrains des trois écailles sont d'âge triasique ; des intercalations de gypse sont à l'origine du décollement des différentes écailles observées.



Cinquième arrêt : Plan de Phazy, source chaude de La Rotonde

Documents 17 et 18 : La source actuelle aux alentours de 27°C

Emplacement originel protégé par la construction en rotonde

Emplacement actuel de la source distant d'une vingtaine de mètres

Séisme du 19 mars 1935 :
https://www.azurseisme.com/Seisme-de-l-embrunais-1935.html
Ce fort séisme s'inscrit dans l'activité sismique briançonnaise. Son épicentre est à Saint Clément, il a eu lieu à 7h21, heure locale. Les systèmes des failles normales-décrochantes de Serenne et de la Haute Durance en sont probablement à l'origine.
Il a ébranlé la construction et enterré la source. Depuis cet évènement, cette dernière émerge à l'extérieur du bâtiment.

Document 19 : Les origines des eaux des sources de La Rotonde et de Font Chaude

Parcours de l'eau

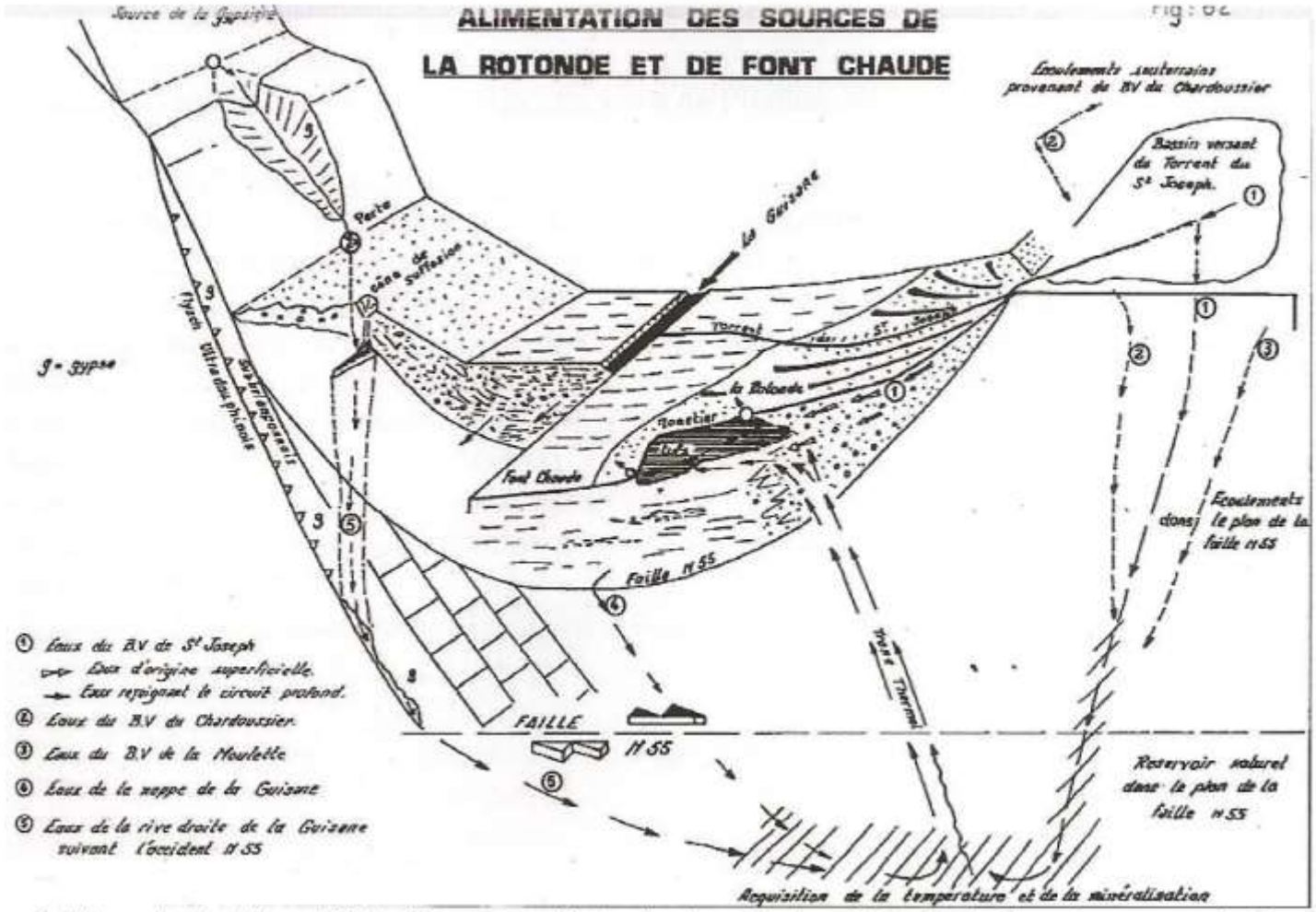


Schéma de la thèse d'Eric Carenco : Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de la Guisane (Hautes-Alpes)

http://geologie.ecrins-parcnational.fr/data/pdf/PAC-0055-Hydrogeologie.pdf
Eric CARENCO « Inventaire du patrimoine géologique du Parc national des Ecrins », 2004

Les conditions d'émergence des sources.
La source de la Rotonde émerge à l'amont de l'accumulation des tufs, alors que la source de Font-Chaude se trouve au niveau de la plaine alluviale de la Guisane, au bas des tufs. Il est évident que ces sources sont liées au système de failles conjuguées (N 55 et N 110), qui ont joué lors d'une phase tectonique cassante au Miocène puis lors de rejeux plus récents du Pléistocène, ainsi qu'aux failles subméridiennes qui sont les plus récentes. Un système de failles profondes permet des circulations suffisamment importantes pour assurer le réchauffement de l'eau et une remontée rapide le long des fractures.

Document 20 : Explications sur le site

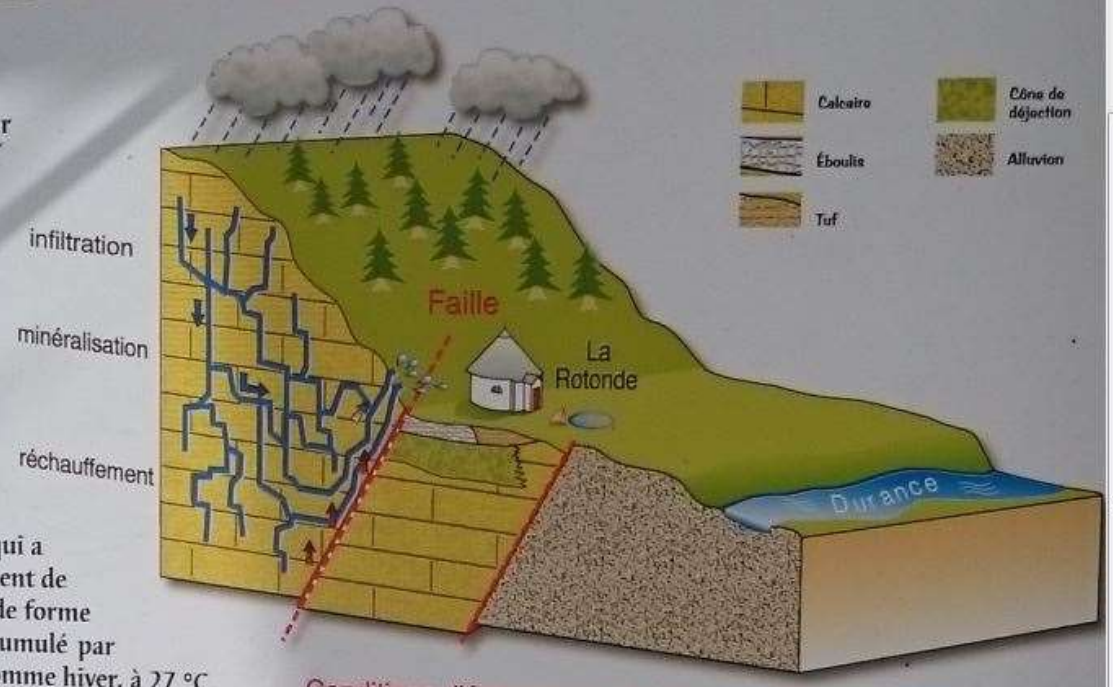
Pour le grand public et sur le panneau photographié ci-dessous, la température de la source de la Rotonde est constante mais des études menées par les scientifiques ont montré qu'elle varie avec le temps car elle est nettement influencée par un régime d'écoulement superficiel. Après une pluie ou la fonte des neiges, la température baisse et le débit augmente à cause d'un mélange important avec les eaux de surface.

On observe des concrétions blanchâtres à rougeâtres, c'est le tartre, la précipitation du calcaire, plus ou moins ferrugineux. De plus, en dessous des tuyaux ou sur les rebords de la fontaine, on voit de petites protubérances, les stromatolithes, vivants ou morts. Les stromatolithes étant des bio-constructions de cyanobactéries.

... DES EAUX MINÉRALES SALÉES ET CHAUDES, VENUES DES PROFONDEURS DE LA TERRE

UN LONG VOYAGE

L'émergence des sources de « La Rotonde » et « des Suisses » se localise sur la faille de La Durance, où plusieurs nappes géologiques se chevauchent. Les eaux superficielles s'infiltrent dans les calcaires perméables (Trias) qui sont bordés par deux épaisses couches imperméables : la nappe du Flysch de l'Embrunais (série schisteuse noire et calcaréo – grèseuse) et la nappe briançonnaise (gypses et cargneules triasiques). L'eau, en circulant dans cette faille injectée de gypse, se minéralise et se réchauffe. Elle se charge en chlore et en sodium, qui en se combinant produisent du sel (chlorure de sodium), et en gaz carbonique.



Conditions d'émergence des sources du Plan de Phazy

DEUX SOURCES JAILLISSENT ICI

• La Source de « La Rotonde » :

située devant la Rotonde, l'eau émerge d'un rocher en marbre rose de Guillestre, qui a été érigé ici, à l'aplomb de l'endroit où la source a été retrouvée après le tremblement de terre de 1935. Puis l'eau s'écoule successivement en cascade dans quatre bassins de forme circulaire et s'achemine par le haut d'un mur de concrétion (dépôt calcaire accumulé par l'eau). Son débit est d'environ 8 m³/ heure et sa température est constante, été comme hiver, à 27 °C.

• La Source « des Suisses » :

La source, située plus au nord, est canalisée et utilisée pour la climatisation des serres situées en contrebas. Son débit est d'environ 18 m³ / heure. Sa température constante est de 26, 5 °C.

SYNTHESE :

http://www.insu.cnrs.fr/node/5282

« Les failles actives du Briançonnais : entre tectonique des plaques européennes et équilibre isostatique de la chaîne des Alpes
Un réseau dense de 30 repères géodésiques repartis sur une surface de 50 x 60 km² dans la région de Briançon, Alpes du Sud-Ouest, a été mesuré lors de 3 campagnes GPS successives, en 1996, 2006 et 2011. Le but de ces recherches est de quantifier la déformation actuelle dans cette zone sismiquement active. La région de Briançon est caractérisée par une sismicité relativement importante dans le cadre français (elle est la zone la plus active en France métropolitaine) localisée le long de failles actives orientées globalement NNW-SSE. Les caractéristiques mécaniques des séismes indiquent majoritairement une extension E-W, avec une composante mineure en mouvement latéral dextre. […] Ce mouvement très faible est estimé de 0 à 0.5 mm/an d'extension E-W et éventuellement une légère composante de mouvement latéral dextre, en fonction de la localisation du pôle de rotation de la plaque Adriatique qui n'est pas encore connue précisément. […] En termes de mouvements verticaux, les mesures montrent une surrection du réseau de l'ordre de 1 à 2 mm/an, soit 10 fois plus rapide que les mouvements horizontaux. Cette surrection est cohérente avec des observations à l'échelle de l'arc alpin où elle est localisée au centre de la chaîne dans les zones de haute topographie. Si les mouvements latéraux des failles actives du Briançonnais peuvent s'expliquer par le mouvement relatif en rotation des plaques européenne et adriatique, les mouvements de surrection, associés à une tectonique extensive, s'interprètent par un rôle prépondérant des forces de volume (isostasie) intrinsèque à la structure de la croûte au niveau des Alpes. Ces dernières mettent en jeux à la fois des processus profonds (dynamique de subduction car des pans de la plaque Afrique sont passées sous l'Europe au cours des dernières dizaines de millions d'années, interaction croute-manteau) et des processus de surface (rebond postglaciaire, réponse isostatique à l'érosion). Les mesures GPS sur la longue durée pourront donc apporter des premières contraintes sur des interactions entre la croûte terrestre et le manteau qui semblent représenter une part significative de la déformation dans un contexte d'activité tectonique lente. »

Document relu par M. Christan SUE que nous remercions doublement, pour la sortie et pour sa relecture.

Michel BRIVET, professeur de sciences de la vie et de la Terre au collège Evarist GALOIS de Meyzieu, formateur ESPE à Lyon
Sylvie CHABROL, inspectrice d'académie-inspectrice pédagogique régionale de l'académie de Lyon