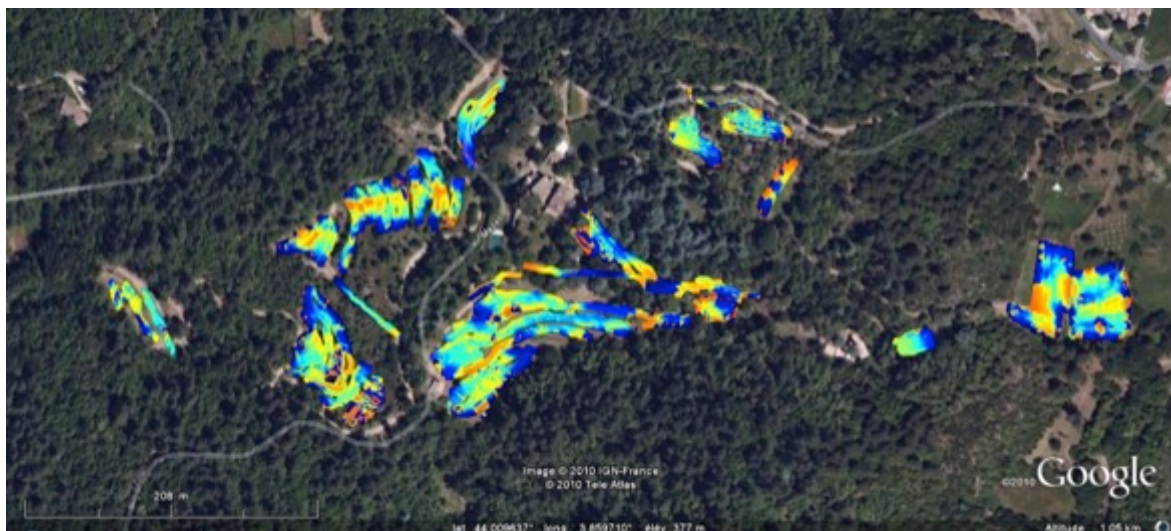




ECOLE ET OBSERVATOIRE DES SCIENCES DE LA TERRE
Institut de Physique du Globe de Strasbourg
(Unité Mixte de Recherche UDS-CNRS 7516)
Equipe de Recherche
« Dynamique de la Lithosphère et des bassins sédimentaires »

CARTOGRAPHIE MAGNETIQUE ANALYSES D'EAUX et de SOLS de MAZET

Hubert WHITECHURCH
Emilie NODOT



2011

Institut de Géologie - 1, rue Blessig – 67084 STRASBOURG Cedex
hubert.whitechurch@unistra.fr

Table des matières

I- INTRODUCTION	3
II- GEOLOGIE DE MAZET	3
1. Contexte géologique de Mazet.....	3
2. Le granite et le schiste des Cévennes	6
3. La couverture sédimentaire	8
4. Déformation par plissement dans le faisceau de failles cévenol	11
III. LES MESURES MAGNETIQUES.....	12
1. Introduction	12
2. Présentation du site d'étude.....	12
3. Méthodologie	16
4. Traitement des données.....	17
5. Interprétation des données : localisation et caractérisation de dipôles	17
16. Résultats généraux.....	19
17. Conclusions	24
IV. LES ANALYSES D'EAU	25
1. Introduction	25
2. Les prélèvements.....	25
3. Les éléments analysés et leur signification	25
4. Les méthodes analytiques.....	27
5. Les résultats	28
16. Conclusions	30
V. LES ANALYSES DE SOLS	36
1. Stratégie d'échantillonnage	36
2. Nature du sol.....	36
3. Préparation des échantillons.....	36
4. Résultats	37
5. Conclusions.....	38
VI . CONCLUSIONS GENERALES	42
VII. ANNEXES.....	44
1. La carte d'échantillonnage des eaux et des sols.....	45
2. Le tableau périodique des éléments chimiques.....	46
3. Les éléments dans la croûte terrestre.....	47
4. La fiche géologie de Mazet.....	48
5. La fiche les eaux de Mazet.....	50
6. La fiche : les sols de Mazet.....	51

I- INTRODUCTION

Une étude géologique et une campagne de mesures ont été réalisées, à la demande de la société Sevene, en juin et en août 2010, pour caractériser le socle de Mazet, ses sols et les eaux qui y circulent. L'étude géologique, à partir des affleurements dans et autour de la propriété a permis de déterminer la nature des terrains constituant le sous-sol de Mazet. Des mesures magnétiques complémentaires, effectuées sur les terrasses de Mazet ont permis de mettre en évidence les grandes structures du sous-sol granitique (failles, corps intrusifs comme des filons, éventuels contacts entre roches de nature différente). Les prélèvements d'eaux pour analyse chimique en éléments majeurs et traces avaient pour but de déterminer leur origine et, le cas échéant, le parcours de ces eaux dans les roches. Les prélèvements de sols ont été effectués pour réaliser des analyses en éléments majeurs et traces afin d'en déterminer la nature et l'origine. Les traitements des données magnétiques ont été réalisés à l'Institut de Physique du Globe (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre de l'Université de Strasbourg). Les analyses des eaux et des sols ont été réalisées au Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de la Surface (Ecole et Observatoire des Sciences de la terre de l'Université de Strasbourg). Après avoir présenté le contexte géologique de Mazet, les résultats des études magnétiques, les analyses d'eaux et de sols seront discutés. La conclusion de cette étude permet de mettre en évidence le caractère exceptionnel de la situation géologique de Mazet, la nature de ses sols et l'origine des eaux qui y circulent. Par ailleurs, ces mesures constituent une base de données qui servira à toutes nouvelles analyses pour suivre l'évolution de la composition des sols et des eaux, voire même des modifications éventuelles du champ magnétique dégagé par les roches.

II- GEOLOGIE DE MAZET

1- Contexte géologique de Mazet

Mazet est situé à l'extrémité Sud du socle du Massif Central, essentiellement composé de schistes, de gneiss et de granites formés au cours de l'orogénèse (=formation d'une chaîne de montagne) hercynienne ou encore appelée varisque formée au pendant l'ère primaire ou Paléozoïque dans l'échelle des temps stratigraphique (Fig. 1) entre 450 et 300 Ma (*Ma = millions d'années*). Par comparaison, l'orogénèse alpine (*formation des Alpes*) s'est faite pendant l'ère tertiaire ou cénozoïque entre 65 Ma et l'actuel.

La propriété de Mazet est située à un point triple géologique granite-schistes des Cévennes-roches sédimentaires (voire l'extrait de carte au 1/50.000ème du Vigan du BRGM et son agrandissement, Fig. 2 avec la légende de la carte Fig.3).

Les constructions de Mazet (maisons, séchoir, ateliers) et la plus part des terrasses sont installées sur le granite de Saint Guiral-Liron-Aigoual. Ce granite (*plus précisément, monzonitique à granodioritique*) a été daté de l'ère primaire ou Paléozoïque à 306 Ma, au Kasimovien ou encore appelé Stéphanien dans le Massif central (=un étage du Carbonifère supérieur de l'ère paléozoïque dans l'échelle des temps stratigraphique, Fig. 1). Le contact avec les schistes des Cévennes est situé en bas de la propriété vers la route qui mène d'Ayrolle à Saint Hippolyte du Fort. Le contact avec les roches sédimentaires est situé au NE de la propriété, dans la parcelle de Santa Maria et au Nord à Pailhes.

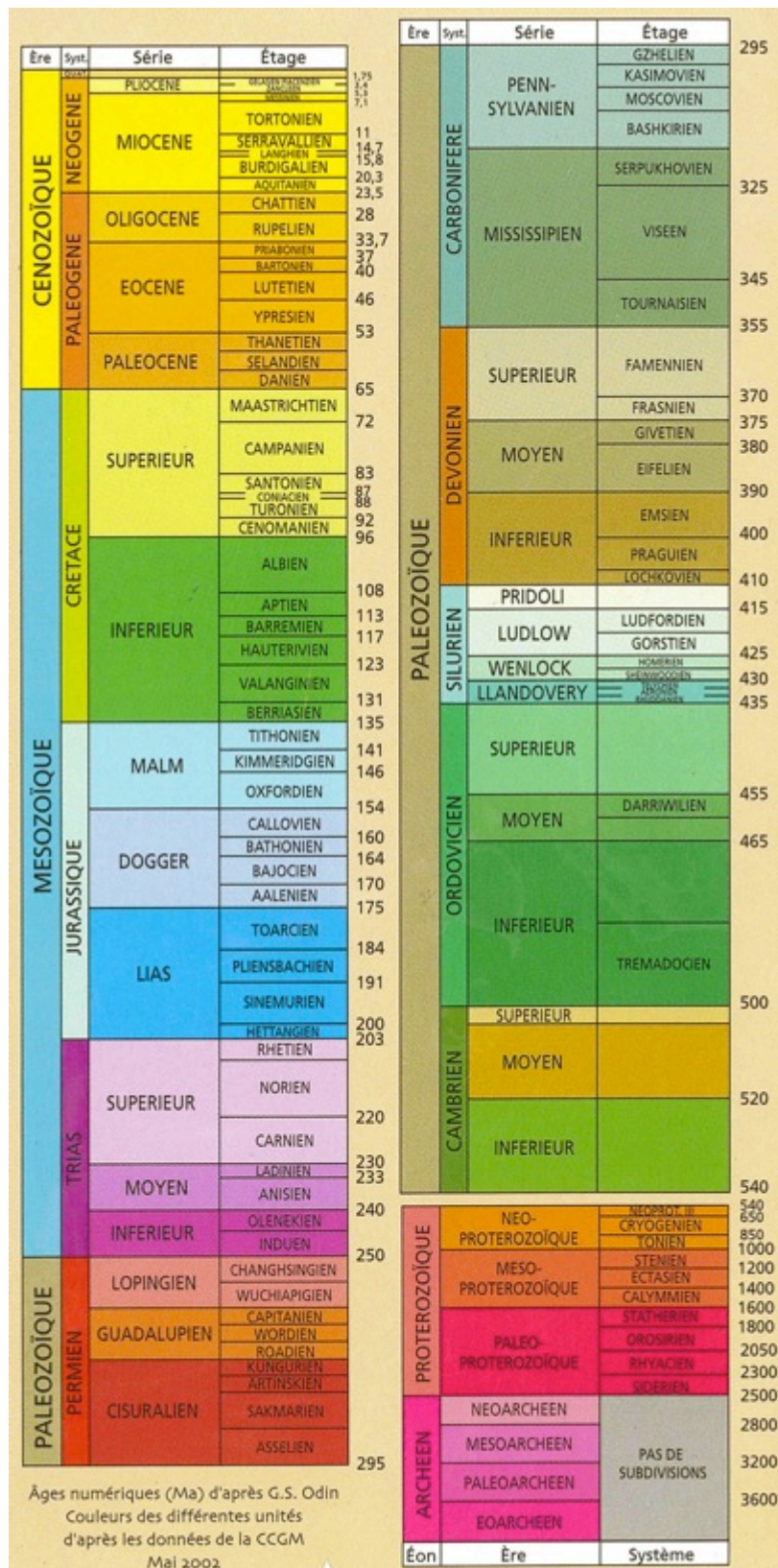


Fig.1 – Echelle des temps stratigraphiques ; les étages de la colonne de droite sont caractérisés par la présence dans les sédiments d'associations de fossiles caractéristiques ; les âges isotopiques absolus sont donnés en millions d'années par les chiffres à droite des colonnes

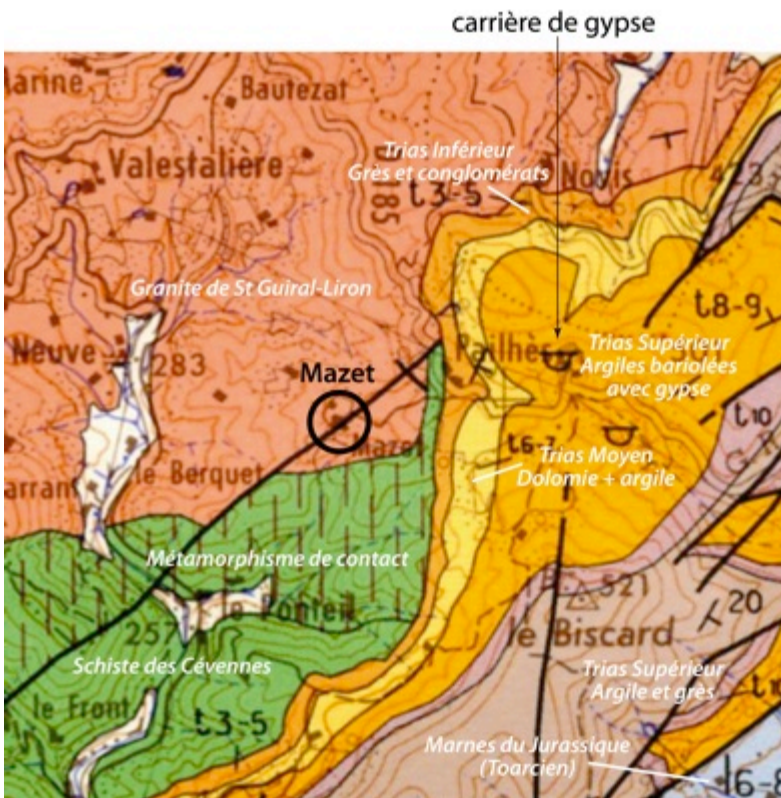
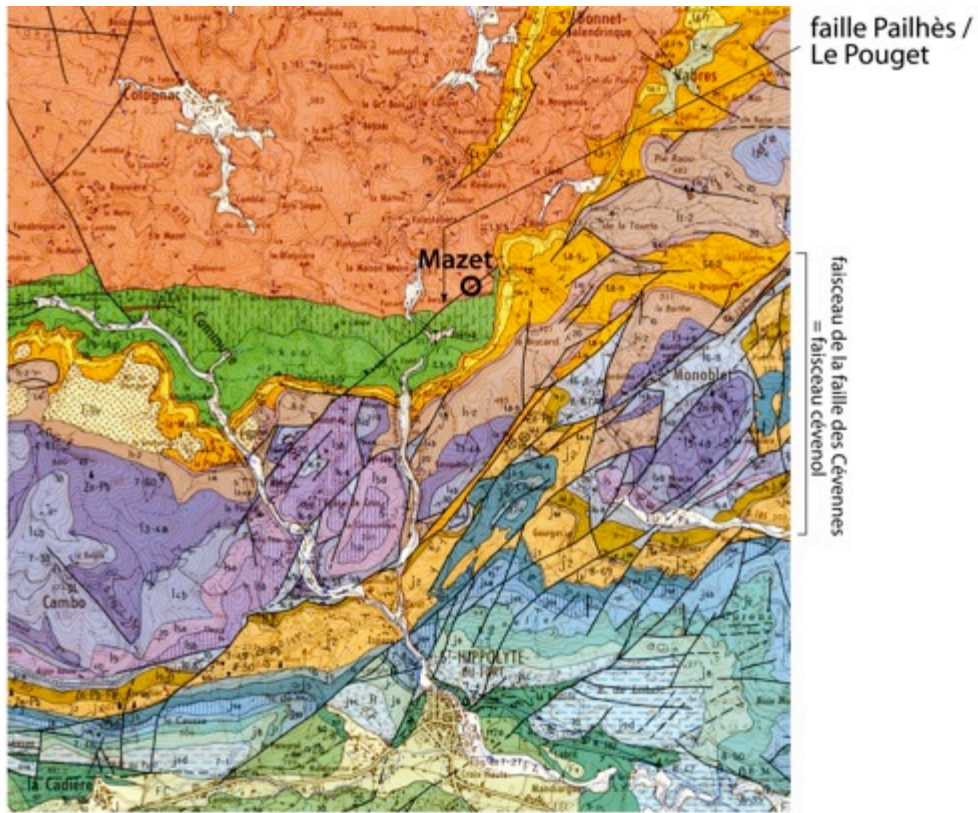


Fig. 2 – Extrait de carte au 1/50.000ème du Vigan du BRGM, avec un agrandissement dans la figure du bas situant Mazet dans son contexte géologique au Nord du faisceau de la grande faille des Cévennes au point triple granite de St Guiral-Liron-schistes des Cévennes-sédiments du Trias) et sur la faille qui va de Pailhès à Le Pouget



Fig. 3- Légende de la carte géologique des Fig. 1 et 2

2. Le granite et le schiste des Cévennes

Le granite sur lequel est construit Mazet est un granite porphyroïde (= roche à grands cristaux), riche en sodium. Il est composé de grands cristaux de plusieurs centimètres d'orthose (=feldspath en tablettes blancs de composition $KAlSi_3O_8$), de quartz de quelques millimètres (minéral incolore à éclat gras en cassure de composition SiO_2), d'albite de quelques millimètres à un centimètre (=plagioclase en lattes de couleur blanche verdâtre et de composition $NaAlSi_3O_8$), de biotite en cristaux en feuillet hexagonaux de 5 millimètres (=mica noir en feuillet de composition $KMg_3AlSi_3O_{10}OH_2$) et d'aiguilles d'amphibole d'environ 5 millimètres (minéral prismatique vert très sombre de composition $Ca_2NaMg_4Al_3Si_6O_{22}OH_2$). Il est recoupé par des filons de taille variable de quelques centimètres jusqu'à des épaisseurs de 2 à 3 mètres, d'orientation NE-SW et E-W. Ces filons sont composés de pegmatites (=roches filoniennes à très grands cristaux de quartz, feldspath, micas et autres), d'aprites (roches filoniennes à grains fins à quartz et albite), et de lamprophyres (roches filoniennes sombres à biotite et amphibole).



Fig. 4- Les cristaux visibles du granite : grands cristaux d'orthose blancs, la biotite noire, les plagioclases et le quartz en gris



Fig. 5- Le granite avec les cristaux d'orthose blancs orientés recoupé par un filon d'aplite

Ce granite est intrusif dans les schistes des Cévennes à quartz et micas (*schiste=roche métamorphique cohérente qui a subi des recristallisations par élévation de température et de pression, caractérisée par un débit « schisteux » ou en feuillets, liés à la présence de mica noir, biotite*). Ces schistes peuvent être observés au Sud de la propriété le long de la

route D39 dans les premiers virages en descendant vers Saint Hippolyte du Fort. Au contact avec le granite se développe, un métamorphisme de contact (=transformations minéralogiques liées à l'augmentation de la température au moment de l'intrusion du granite), pour donner des cornéennes juste au contact (roches dures comme de la corne, à grains très fins de quartz et feldspath) et plus loin du contact, des schistes à cordiérite et andalousite (minéraux prismatiques qui cristallisent en fonction de la diminution de la température en s'éloignant du contact, pour le premier de couleur bleu foncé et de composition $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ pour le second, noir et de composition Al_2SiO_5). Ces schistes sont plus âgés que le granite et ont été datés dans la région de Mazet à 480 Ma, du Cambrien (=un étage géologique de l'ère paléozoïque dans l'échelle des temps stratigraphique de la Fig. 1).

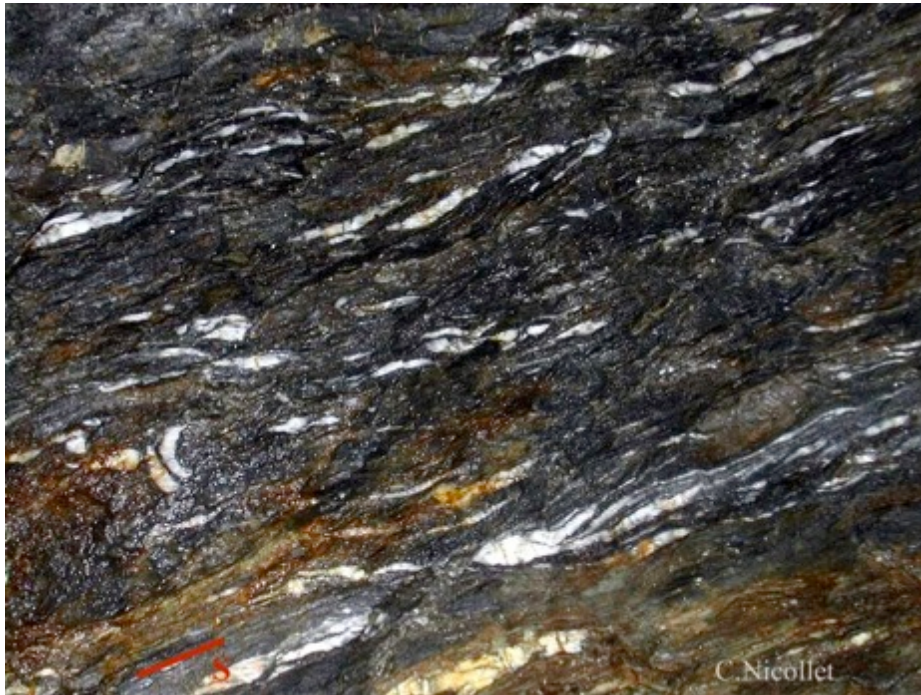


Fig. 6 – Les schistes des Cévennes ; l'orientation du débit schisteux est soulignée par le trait rouge S.

3. La couverture sédimentaire

La couverture sédimentaire, déposée par transgression marine (arrivée de la mer pendant l'ère secondaire ou Mésozoïque sur le socle schisteux et granitique érodé en pénéplaine à la fin de l'ère paléozoïque, au Permien entre 295 et 250 Ma), débute par des sédiments qui affleurent au Nord–Est de Mazet à Pailhes et tout le long de la route qui va vers Monoblet, ainsi que vers le Sud le long de la route qui longe la rivière Vessalière qui va d'Ayrolle vers Saint Hippolyte du Fort.



Fig. 7 – Surface d'érosion horizontale (trait rouge) du granite de l'Aigoual (le même que celui de Saint-Guiral-Liron) sur laquelle sont déposés, en discordance, les sédiments du Trias.

Cette couverture sédimentaire débute par des grès et conglomérats du Trias moyen (=étage géologique de l'ère secondaire ou Mésozoïque, noté t_{3-5} sur la carte et daté de 245 à 230 Ma) que l'on observe dans la partie supérieure de la parcelle de Santa Maria) et qui se compose de conglomérats ou de brèches à éléments de socle



Fig. 8 – Brèches à éléments de socle (granite et gneiss) et des premiers sédiments déposés sur le socle datés du Trias.

Cette formation conglomératique se poursuit par une formation argilo-carbonatée (dolomies) du Muschelkalk (=étage géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque, noté t_{6-7} sur la carte et daté de 230 à 215 Ma) et se termine par des argiles bariolées du Keuper (= étage

géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque, noté t_{8-9} sur la carte et daté de 215 à 200 Ma) qui contiennent du gypse (minéral gris de composition $CaSO_4$), visibles le long de la route, juste après Pailhès vers Monoblet.



Fig. 9 – Le gypse exploité pour faire du plâtre

Au dessus de ce Trias transgressif, on trouve des calcaires et dolomies (=calcaires magnésiens) du Lias (=étage géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque, noté l_1 à l_6 sur la carte et daté de 200 à 176 Ma) puis des calcaires roux surmontés de dolomies et des marnes du Dogger (=étage géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque, noté j_1-j_2 sur la carte et daté de 175 à 154 Ma) puis des calcaires en plaquettes surmontés par des calcaires récifaux massifs du Malm (= étage géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque, noté j_5-j_9 sur la carte et daté de 154 à 135 Ma). Ces roches sédimentaires s'observent sur la route qui longe la Vestalière d'Ayrolle à Saint Hippolyte du Fort. Cette dernière ville est construite sur les calcaires et les marnes du Berrasiens-Valanginien (=étage géologique de l'ère secondaire ou mésozoïque au Crétacé inférieur, noté n_1-n_2 sur la carte et daté de 145 à 134 Ma).



Fig. 10 – Contact entre un calcaire blanc et une dolomie brun-rouge du Lias



Fig. 11- Contact entre des alternances marnes noires- calcaires et un calcaire récifal du Malm sur le haut de la photo

4. Déformation par plissement dans le faisceau de failles cévenol

Ces formations sédimentaires non déformées constituent l'essentiel du plateau et du sous-sol des Causses tabulaires, constitués de couches sédimentaires horizontales ou à faible pendage. Dans la région de Saint Hippolyte du Fort-Monoblet-Mazet, ces formations sont recoupées et plissées par des failles appartenant au grand faisceau de failles décrochantes sénestre NE-SO des Cévennes ou appelé faisceau Cévenol car il s'agit d'une grande zone de déformation faillée large de 5 à 10km) (= *faille décrochante : faille dont le mouvement des blocs séparés par la faille est horizontal ; sénestre : lorsque l'on est sur un compartiment de la faille, on regarde celui qui est de l'autre côté de la faille se déplacer vers la gauche*). Ce faisceau de failles des Cévennes limite au Sud le Massif Central de Gange à Alès. Localement, ce faisceau est localisé entre saint Hippolyte du Fort, Ganges et la Causse de Pompignan (Fig. 3). Mazet lui-même est installé sur une grande faille NE-SO parallèle au faisceau des Cévennes qui a été cartée de Pailhès à Le Pouget.

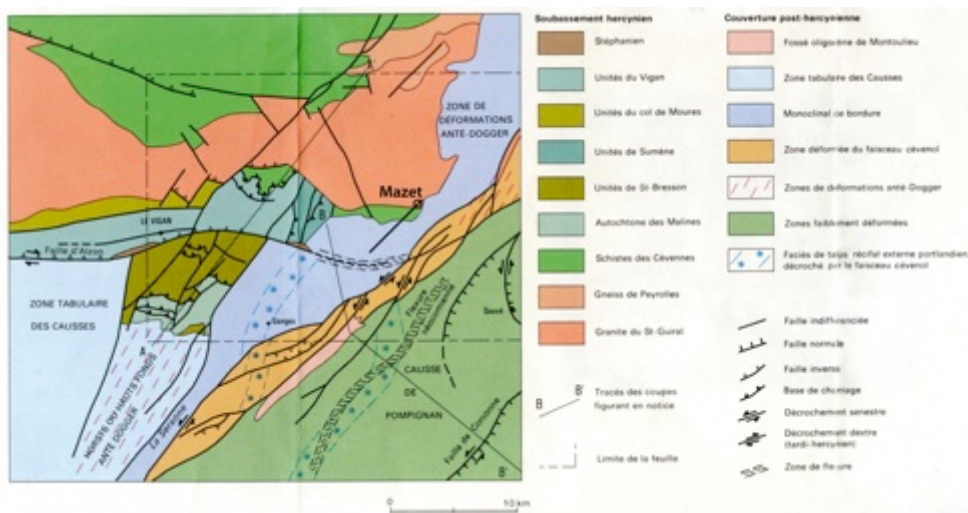


Fig. 12 – Schéma structural de la carte du Vigan montrant la position de Mazet sur le granite de Saint-Guiral-Liron sur la faille de Pailhes-Le Pouget et la zone de déformation par failles décrochantes du faisceau cévenol (en bleu et bistre sur la carte)

La coupe géologique (Fig. 4) montre le granite intrusif dans les schistes des Cévennes et les roches sédimentaires qui recouvrent le granite et les schistes au Nord de Mazet à Pailhès et ceux, faillés et déformés par plissement qui affleurent le long de route qui va de Mazet à Saint Hippolyte du Fort sur le flanc Est de la vallée de la Vestalière.

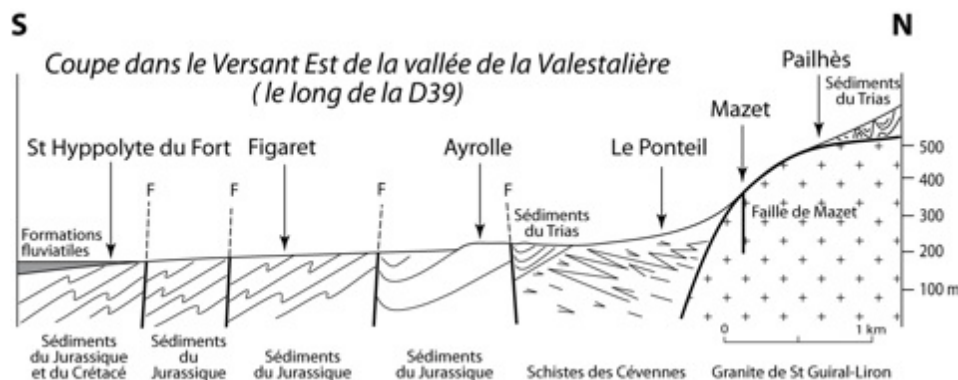


Fig. 13- Coupe géologique le long de la route allant de Mazet à Saint Hippolyte du Fort

III. LES MESURES MAGNETIQUES

1. Introduction

Le champ magnétique terrestre est le produit d'un effet de dipôle magnétique généré par des mouvements dans le noyau externe liquide, composé d'un alliage fer-nickel en fusion, situé au centre de la terre entre 2900 et 5150 km de profondeur. Ce champ magnétique est d'une extrême importance pour la vie, car la magnétosphère qui entoure la Terre protège les espèces vivantes des rayonnements de particules, produites par désintégration radioactive, émises par le soleil, notamment au moment des grandes éruptions solaires. L'intensité de ce champ est une fonction de la latitude et varie d'une intensité aux pôles qui est double de celle mesurée à l'équateur.

A Mazet, l'intensité du champ magnétique terrestre est de l'ordre de 47000 nT (=nano-Tesla). Les roches de la croûte terrestre (35km d'épaisseur sur les continents) contiennent des oxydes et hydroxydes de fer qui leur confèrent des propriétés magnétiques dont l'intensité dépend de la concentration de ces minéraux. Le magnétisme dégagé par les roches va donc modifier le champ magnétique à la surface de la Terre. Le champ magnétique mesuré par les instruments est donc un champ totalisant celui produit par le noyau terrestre et celui dégagé par les roches. Les cavités dans les roches modifient également le champ magnétique mesuré.

Ce sont les variations du champ magnétique total qui sont mesurées (=le champ magnétique de la terre à Mazet + le magnétisme dégagé par les roches ; les anomalies magnétiques sont positives quand la valeur du champ magnétique dégagé par les roches s'ajoute à la valeur du champ terrestre ou négatives quand elle se retranche). Elles donnent des indications sur la nature et la structure des roches du sous-sol. Mazet étant construit sur le granite de Saint Guiral-Liron, les structures naturelles pouvant être mises en évidence et susceptibles d'induire des anomalies dans le champ magnétique mesuré, sont des failles ou des filons, riches oxydes de fer. Il ne faut évidemment pas oublier que la présence d'éléments anthropiques, notamment de tout objet contenant du fer, est susceptible de générer des anomalies qui n'ont rien à faire avec la nature.

2. Présentation du site d'étude

La prospection magnétique a été menée sur tous les sites de la propriété à la fois intéressants et accessibles. La zone étant marquée par le relief, seuls les chemins et les terrasses (en grand nombre) ont été cartographiés. Pour faciliter l'étude et l'interprétation, on a subdivisé le domaine en 5 parties notées de A à E, comme on peut le voir ci-dessous.

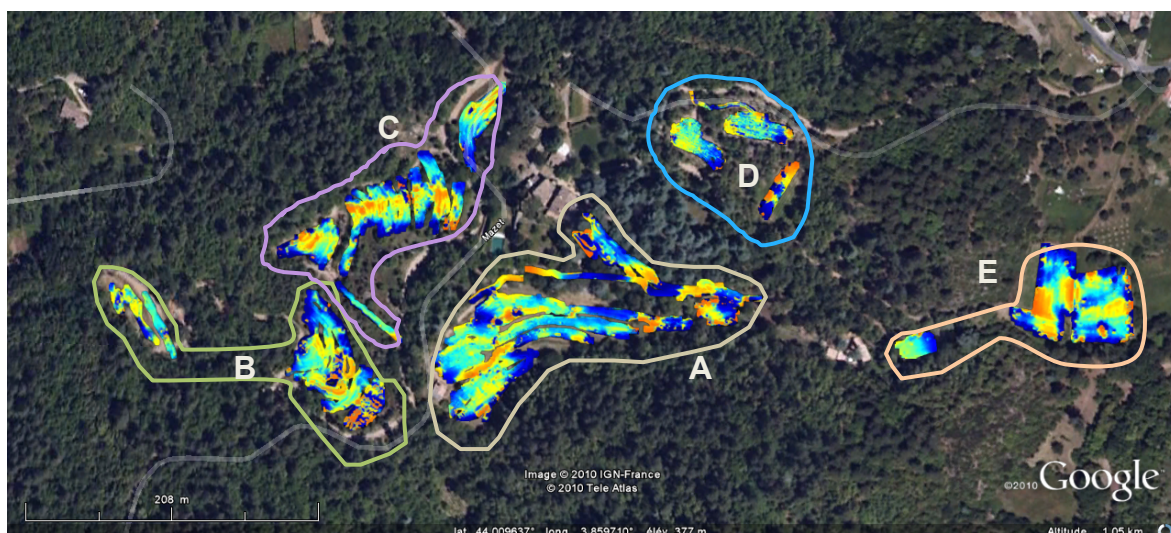


Fig. 14 - Zones cartographiées sur l'image satellite

D'un point de vue géologique, Mazet repose sur le granite de Saint Guiral-Liron. Le sol de type « ranker » (sol sur granite peu évolué) est recouvert par une fine couche d'humus d'épaisseur très inégale. On observe donc du plus profond vers la surface :

- granite
- arène granitique
- sol de type « ranker »
- fine couche d'humus.

Un réseau de faille orienté NE-SW entaille le granite. Des filons Est-Ouest recoupent le granite.

Au cours de ces 2 journées, de nombreux fichiers de mesure et de calibration ont été enregistrés, on en présente la liste dans les 2 tableaux ci-dessous.

Nom du fichier	Nature du fichier	Zone de cartographie	Zone selon plan géomètre	Description de la zone	Commentaires
15060810	Calibration	Mazet A			Pas de GPS
15060812	Calibration	Mazet A			Pas de GPS
15060815	Cartographie	Mazet A		jardin	Pas de GPS
15060829	Cartographie	Mazet A		chemin devant source	Pas de GPS
15060832	Cartographie	Mazet A		chemins	
15060843	Cartographie	Mazet A		terrasse	Clôture
15060849	Cartographie	Mazet A		chemins	
15060856	Cartographie	Mazet A		terrasses	
15060926	Cartographie	Mazet A		terrasses	
15060941	Cartographie	Mazet A		terrasses	
15061015	Cartographie	Mazet B		terrasses	
15061027	Cartographie	Mazet B		terrasses	
15061325	Cartographie	Mazet B	Bassins		
15061332	Cartographie	Mazet B	Bassins	Terrasse humide	
15061347	Cartographie	Mazet B		chemin	Peu de GPS
15061411	Cartographie	Mazet C		terrasses	
15061426	Cartographie	Mazet C		terrasses	
15061439	Cartographie	Mazet C		terrasses	
15061519	Cartographie	Mazet C	St Georges	terrasse	
15061530	Cartographie	Mazet C	St Georges	terrasse	
15061540	Calibration	Mazet A			
15061543	Calibration	Mazet A			

Nom du fichier	Nature du fichier	Zone de cartographie	Zone selon plan géomètre	Description de la zone	Commentaires
16060725	Calibration	Mazet A			
16060727	Calibration	Mazet A			
16060741	Cartographie	Mazet E	Santa Maria	pré	Présence d'un puits et d'une clôture
16060814	Cartographie	Mazet E	Santa Maria	vigne	
16060820	Cartographie	Mazet D	St Gabriel	cassis	Rangées trop étroite pour passer
16060827	Cartographie	Mazet E	Santa Maria	vigne	
16060847	Cartographie	Mazet D	St Raphaël	pulsatile	
16060854	Cartographie	Mazet D	St Raphaël	Chemin + grande bardane	
16060913	Cartographie	Mazet A		Jardin + passage devant source	
16060922	Calibration	Mazet A			
16060924	Calibration	Mazet A			Calibration ratée à cause de l'approche d'un chien
16060927	Calibration	Mazet A			

Ces quelques photos illustrent les difficultés rencontrées au cours de cette campagne. On constate ainsi la présence de nombreux arbres justifiant de la mauvaise qualité des données GPS parfois inutilisable. Le relief n'a pas vraiment constitué un obstacle puisque ce sont les terrasses qui nous intéressaient. Enfin on notera la présence de certains objets métalliques ou non en surface (puits, morceaux de tracteurs, clôtures...).

- Mazet A



Photo 1



Photo 2

- Mazet B



Photo 3

- Mazet C



Photo 4

- Mazet D



Photo 7



Photo 8

- Mazet E



Photo 9



Photo 10



Photo 11



Photo 12

3. Méthodologie

Le matériel utilisé pour les mesures est le suivant :

- Quatre magnétomètres « fluxgate » type Bartington (mesure simultanée du champ magnétique à 25 et 75 cm de part et d'autre de la route suivie par l'opérateur) ; leur hauteur par rapport au sol est de 0.5 m ; précision environ 1 nT ; cadence 30 mesures par seconde.
- Récepteur GPS Trimble 5800 utilisé pour le positionnement des mesures magnétiques ; précision d'environ 10 cm lorsque le ciel est dégagé. La cadence est de 1 mesure par seconde. En présence de bâtiments et/ou si le ciel est partiellement masqué par de la végétation, la précision peut être très fortement dégradée. Dans le cas d'une végétation dense obstruant le ciel, il est possible d'avoir une perte complète du signal GPS. Dans ces cas, l'opérateur se doit de marcher à vitesse constante pour aider au repositionnement des mesures magnétiques (par une interpolation linéaire).

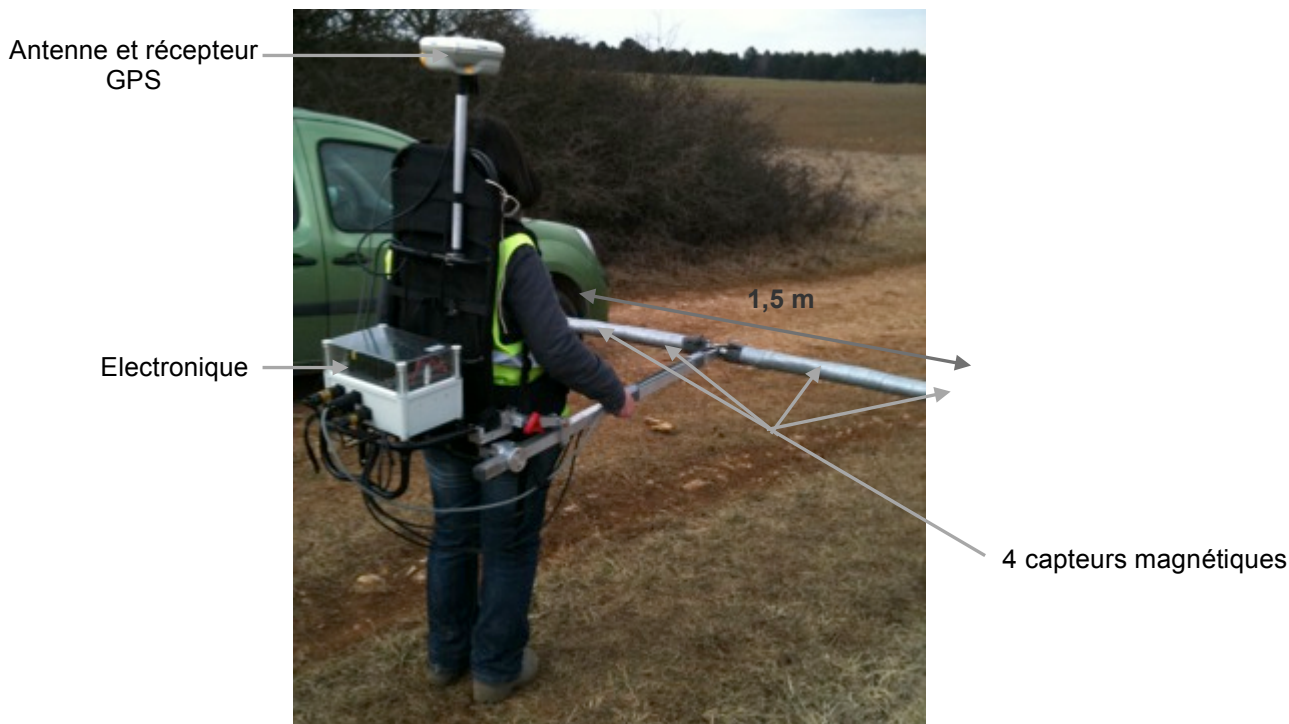


Fig. 15- Sac à dos et perche constituant le système de mesure

Chaque cartographie est précédée et suivie par des mesures magnétiques en un point fixe permettant de calibrer les capteurs fluxgate. La cartographie elle même consiste à suivre un profil tous les deux mètres, ce qui permet d'obtenir un profil magnétique tous les 0,5 m. Des traverses sont également réalisées pour contrôler une éventuelle dérive des capteurs magnétiques.

4. Traitement des données

Les mesures magnétiques et GPS sont stockées dans une mémoire flash. L'opérateur dispose d'un petit boîtier à deux boutons : l'un permet de débiter et interrompre les mesures (début et fin de fichier) ; l'autre de marquer un enregistrement particulier lorsque le bouton est actionné, ce qui permet d'indiquer en particulier les débuts et fins de profils. Après chaque cartographie, les données de la mémoire flash sont transférées sur un PC et sauvegardées. Le traitement des données est réalisé par un programme informatique mis au point et maintenu par l'EOST. Ce programme a pour objet, de contrôler les données et de calculer une grille d'anomalie magnétique. Plus particulièrement, les opérations suivantes sont généralement faites :

- Lecture et contrôle des données magnétiques,
- Lecture et contrôle des données GPS,
- Calcul de la localisation des données magnétiques à l'aide des mesures GPS,
- Vérification des débuts et fin de profils,
- Vérification des données magnétiques par édition des profils,
- Calcul de l'anomalie magnétique sur profils,
- Calcul de la grille d'anomalie magnétique.

5. Interprétation des données : localisation et caractérisation de dipôles

De nombreuses méthodes d'interprétation ont été publiées pour caractériser les corps aimantés produisant les anomalies magnétiques. Les méthodes sont multiples car il existe en méthodes potentielles (gravimétrie, magnétisme) une forte indétermination à la caractérisation des objets aimantés. Le logiciel de l'EOST contient une palette assez complète des méthodes d'interprétation. La méthode de caractérisation de dipôles (Munsch et al., 2007) semble être la mieux adaptée pour l'interprétation des mesures faites à Mazet.

Pour la caractérisation précise des aimantations on suppose que l'objet est un dipôle, c'est-à-dire une structure ponctuelle ayant pour inconnues, sa localisation (trois inconnues) et son vecteur aimantation (trois inconnues). L'interprétation est menée directement sur les profils, ce qui est le principal avantage de la méthode. En effet, les données brutes sont directement utilisés alors que l'utilisation de la grille d'anomalie, qui présente des avantages par ailleurs, conduit à une caractérisation moins précise du fait de l'altération des données inhérente au calcul des valeurs aux nœuds de la grille et à l'imprécision de la localisation par le GPS.

On se place dans un repère cartésien avec P la localisation du dipôle et \vec{m} son vecteur aimantation. Le potentiel magnétique scalaire au point Q est (Talwani et Heirtzler, 1964)

$$\Omega = \frac{\vec{m} \times \overrightarrow{PQ}}{PQ^3}$$

Si le champ d'anomalie est petit comparé au champ magnétique régional, nous obtenons (Blakely, 1995)

$$F = -\vec{\nabla} \Omega \times \vec{R} = -\vec{\nabla} \left(\frac{\vec{m} \times \overrightarrow{PQ}}{PQ^3} \right) \times \vec{R}$$

avec \vec{R} la direction du champ magnétique régional :

$$\vec{R} = (R_x, R_y, R_z)^T = (\cos i \cos d, \cos i \sin d, \sin i)^T$$

et i l'inclinaison et d la déclinaison du champ magnétique régional.

En utilisant les coordonnées cartésiennes, nous obtenons

$$F = \frac{\left\{ m_x \left[2(P_x - Q_x)^2 - (P_y - Q_y)^2 - (P_z - Q_z)^2 \right] + 3m_y (P_x - Q_x)(P_y - Q_y) + 3m_z (P_x - Q_x)(P_z - Q_z) \right\} R_x}{\left[(P_x - Q_x)^2 + (P_y - Q_y)^2 + (P_z - Q_z)^2 \right]^{5/2}} +$$

$$\frac{\left\{ m_x (P_x - Q_x)(P_y - Q_y) + m_y \left[-(P_x - Q_x)^2 + 2(P_y - Q_y)^2 - (P_z - Q_z)^2 \right] + 3m_z (P_y - Q_y)(P_z - Q_z) \right\} R_y}{\left[(P_x - Q_x)^2 + (P_y - Q_y)^2 + (P_z - Q_z)^2 \right]^{5/2}} +$$

$$\frac{\left\{ m_x (P_x - Q_x)(P_z - Q_z) + 3m_y (P_y - Q_y)(P_z - Q_z) + m_z \left[-(P_x - Q_x)^2 - (P_y - Q_y)^2 + 2(P_z - Q_z)^2 \right] \right\} R_z}{\left[(P_x - Q_x)^2 + (P_y - Q_y)^2 + (P_z - Q_z)^2 \right]^{5/2}}$$

On considère la direction du champ magnétique régional connue (Mandea et al., 2000). Le champ magnétique est donc complètement déterminé par la localisation du dipôle $\vec{P} = (P_x, P_y, P_z)^T$ et de son aimantation $\vec{m} = (m_x, m_y, m_z)^T$. L'équation ci-dessus est donc une fonction scalaire de six variables $F^{(\vec{P}, \vec{m})}(x, y, z)$. Disposant des données des profils à quatre magnétomètres, on peut alors inverser les données, c'est-à-dire calculer les six

paramètres (\vec{P}, \vec{m}) qui donnent la meilleure estimation des données au sens des moindres carrés

$$\chi^2 = \sum \left(\frac{F^{(\vec{P}, \vec{m})} - M}{\sigma_M} \right)^2$$

avec M les données mesurées. On suppose que les erreurs sur les données sont identiques et donc $\sigma_M = 1$. Il n'a pas été trouvé de méthode pour linéariser l'équation et nous utilisons la méthode de Lagarias et al. (1998) pour trouver les six paramètres. Cette méthode suppose une valeur initiale de \vec{P} : \vec{P} est fixé au centre de la fenêtre de recherche à une profondeur de 1. L'aimantation est fixée en intensité à 1 et en direction parallèle à celle de champ magnétique régional. Le calcul est fait pour chaque profil et dans une fenêtre définie par l'opérateur. Enfin la méthode permet de calculer une barre d'erreur pour chacun des six paramètres.

Une méthode complémentaire est aussi utilisée à partir de la grille d'anomalie. La grille d'anomalie magnétique est utilisée pour calculer le signal analytique. Par définition le signal analytique d'une grille d'anomalie magnétique $f(x, y)$ est

$$s(x, y) = \sqrt{\left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right]^2 + \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right]^2 + \left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial z} \right]^2}$$

avec $\left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right]$, $\left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right]$ et $\left[\frac{\partial f(x, y)}{\partial z} \right]$ les dérivées partielles de la grille d'anomalie dans les trois directions. L'avantage du signal analytique est qu'il est très peu sensible aux directions du champ magnétique et des aimantations : les anomalies sont toujours positives et les valeurs les plus fortes sont à l'aplomb des plus fortes variations d'aimantations. Dans le cas qui nous intéresse ici, c'est-à-dire des structures à peu près ponctuelles, le signal analytique forme des taches à peu près circulaires, avec un maximum à l'aplomb de l'objet. La profondeur de l'objet peut être estimée par inversion linéaire des valeurs du signal analytique au voisinage du maximum.

Finalement à la suite des interprétations, on fournit deux tableaux de localisation des objets aimantés, l'un issu de l'inversion des données sur profil, l'autre du signal analytique

6. Résultats généraux

a- Mazet A

L'échelle utilisée (équipopulation ou équirépartie) pour la représentation des données n'est pas linéaire et permet de distinguer aussi bien les très fortes anomalies que les plus faibles.

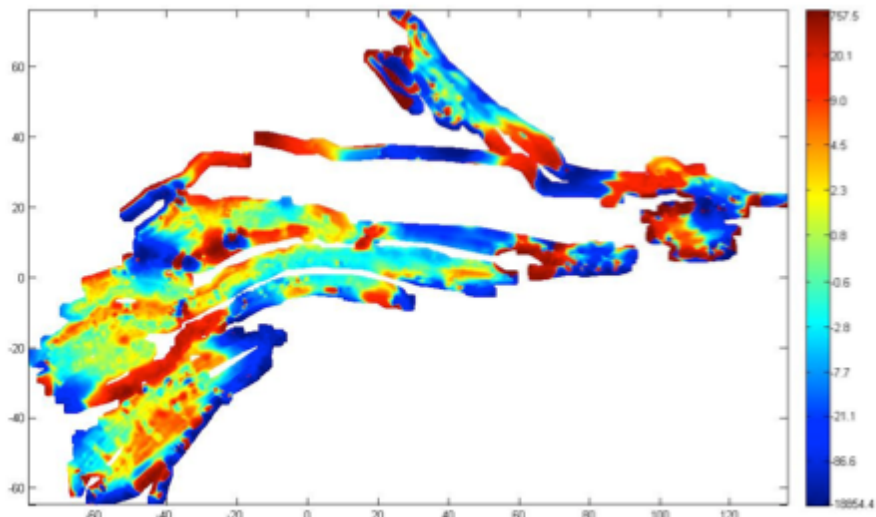


Fig. 16 - Carte d'anomalie magnétique de la zone A en équipopulation

La carte ci-dessous figure la zone dite Mazet A interprétée, cette carte est la plus riche et la plus intéressante. On y a replacé la source ainsi que le séchoir. Les zones entourées d'un trait vert pointillé correspondent à des objets anthropiques de surface (objets métalliques notamment).

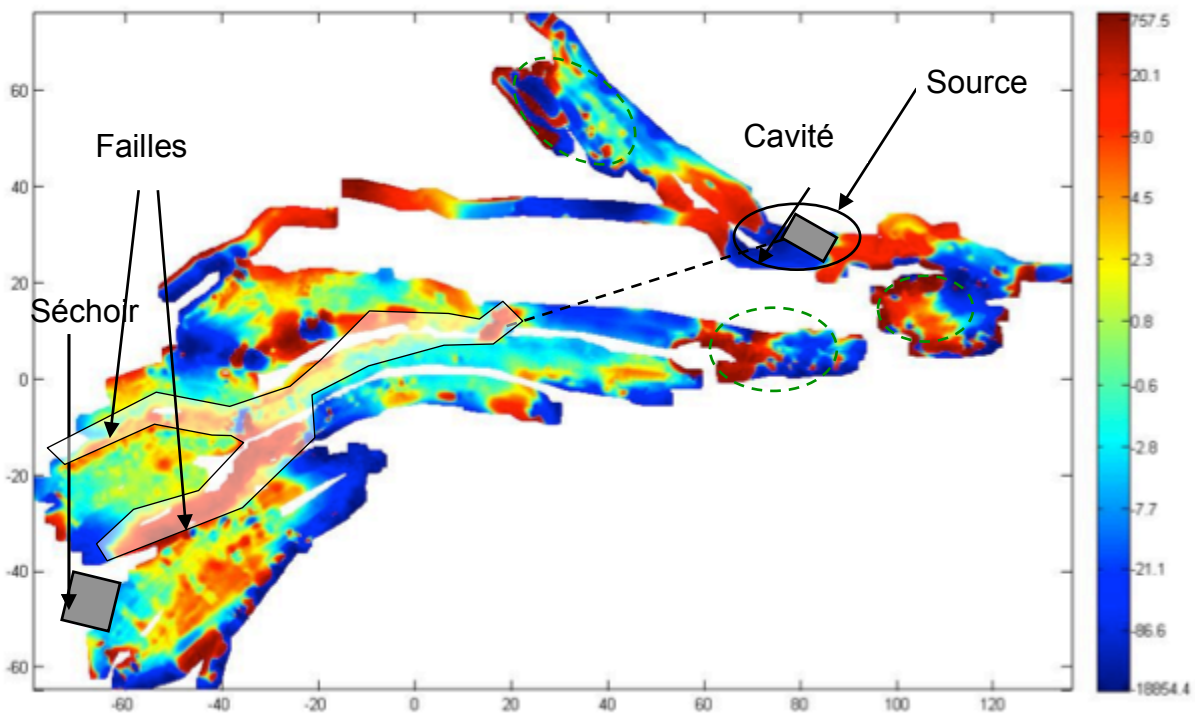


Fig. 17 - Carte d'anomalie magnétique de la zone A interprétée. Deux anomalies allongées et étroites correspondant à des failles sont entourées. Une troisième faille possible est située plus au Nord mais est perturbée par des objets anthropiques. L'importante anomalie autour du forage indique une cavité. Les anomalies liées à des objets anthropiques sont entourées par des ellipses en pointillés.

On note la présence d'anomalies positives et négatives continues allongées dans une direction NE-SO parallèle à la faille des Cévennes. Ces anomalies allongées positives et négatives juxtaposées témoignent de la présence de failles dont les parties endommagées (=gouge) contiennent du granite altéré par des circulations d'eau et précipitation de minéraux magnétiques telles que la magnétite Fe_3O_4 et l'hématite Fe_2O_3 , qui donnent cette couleur orangée au granite, notamment à droite du chemin qui descend vers le séchoir. L'amplitude de l'anomalie due à cette faille, caractérisée par une déformation cassante du

granite, est d'environ 30nT (=nano Tesla). Ce réseau de failles converge vers la source (forage) en ce que l'on appelle un noeud de failles, sans doute constitué de granite très fracturé et oxydés par les circulations d'eau, voire même une cavité réservoir de l'eau caractérisé par une ampleur d'anomalie magnétique forte (450 nT).

Deux anomalies, situées à l'Est de la source et au Sud correspondent à des anomalies anthropiques ou morceaux de pièces en métal (entourées de pointillés).

Notons que les fortes anomalies en bord de carte sont dues au grillage.

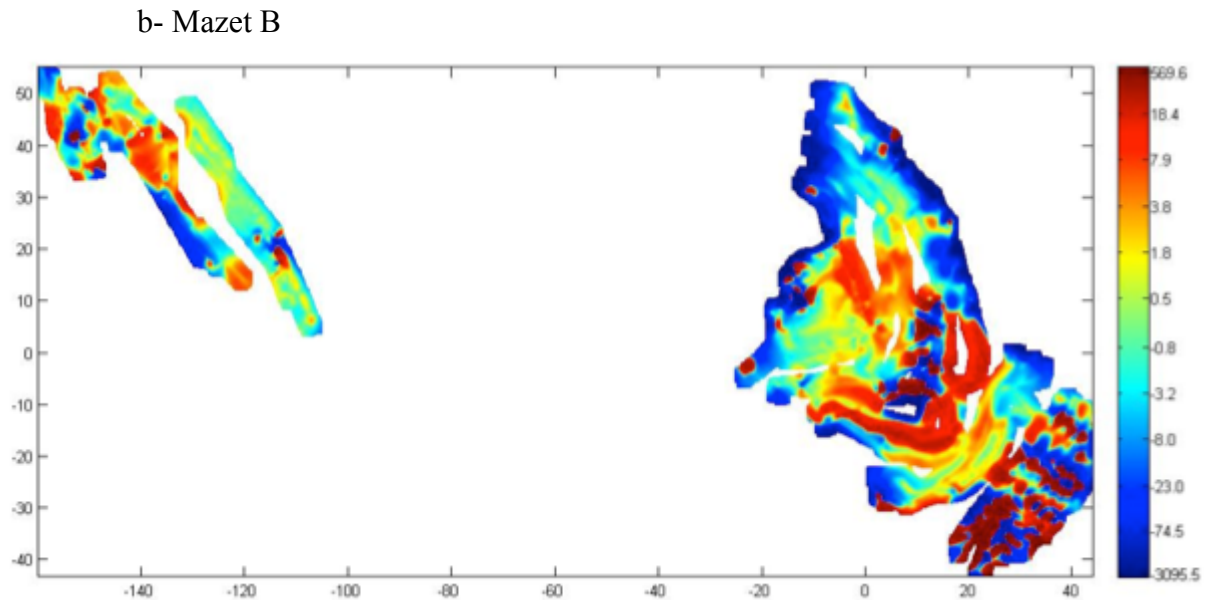


Fig. 18 - Carte d'anomalie magnétique de la zone B interprétée

Cette carte présente principalement du bruit dû au relevé et au mauvais positionnement GPS (« leveling »). Il est difficile d'en faire une interprétation. On note tout de même la présence de très fortes anomalies très sûrement d'origine anthropique (grillage).

c - Mazet C

On présente maintenant la zone Mazet C, située au nord-ouest de la précédente.

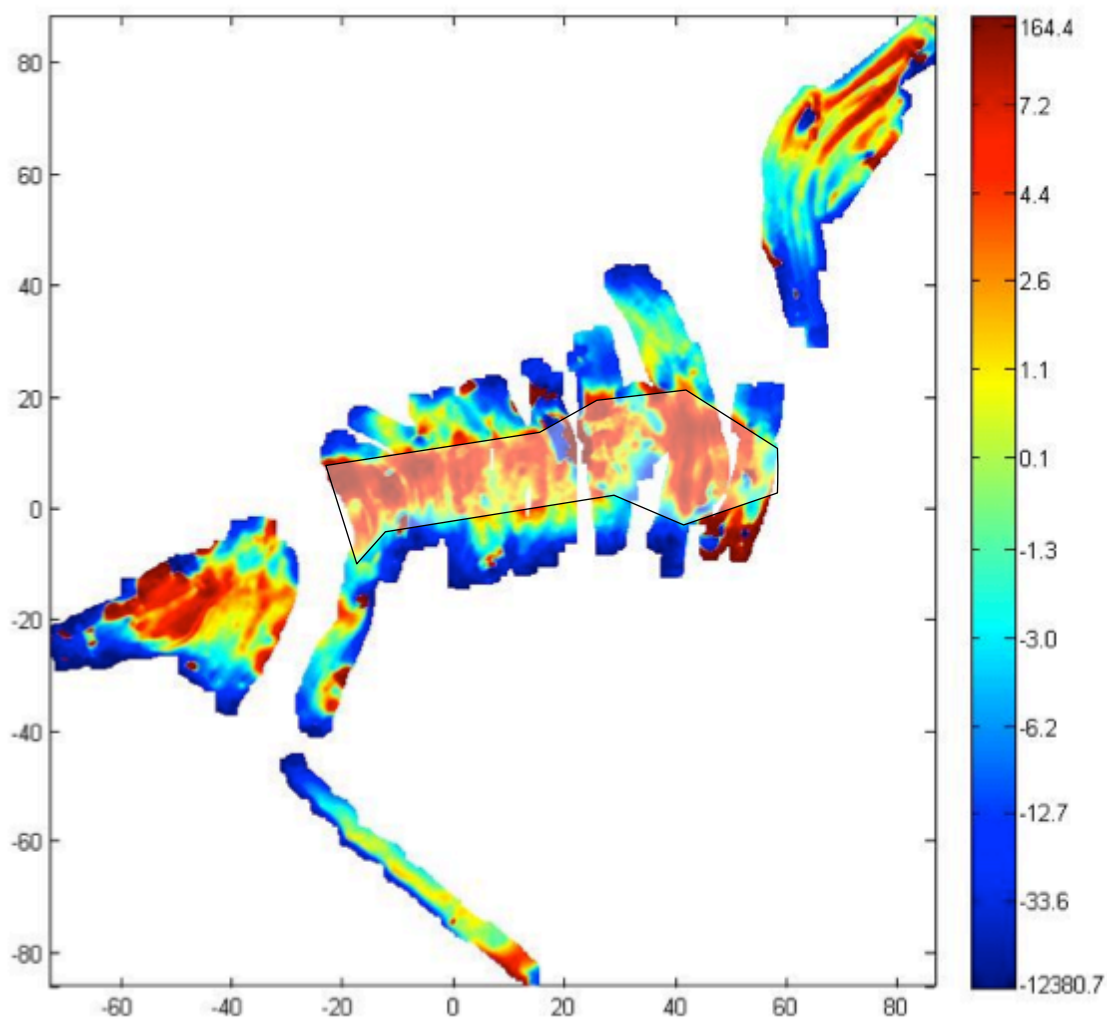


Fig. 19 - Carte d'anomalie magnétique de la zone C interprétée. L'anomalie large entourée correspond à un filon enraciné profondément d'orientation Est-Ouest

On constate la présence d'une anomalie large et linéaire, globalement orientée est-ouest. L'amplitude de cette anomalie est de 15-20 nT. Sa direction Est-Ouest ne correspond pas aux directions de failles dans la région. Cette anomalie est sans doute liée à la présence d'un filon de roches volcaniques vertical, intrusif dans le granite mais s'enracinant profondément, expliquant la largeur de l'anomalie.

d- Mazet D

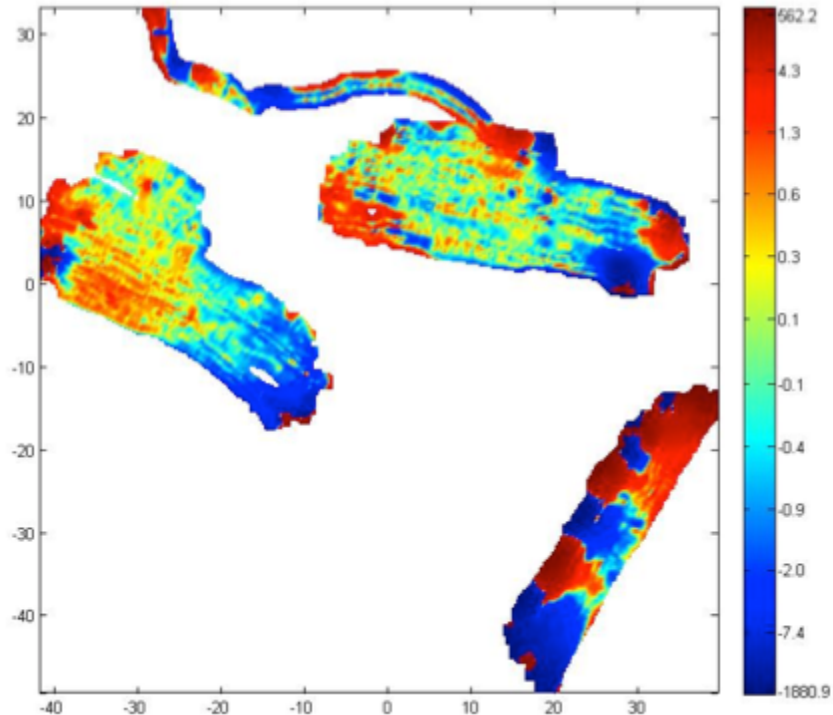


Fig. 20 - Carte d'anomalie magnétique de la zone D interprétée

Les fortes anomalies observées sur la portion sud-est de cette carte sont d'origine anthropique. Il s'agit en effet de piquet en métal maintenant les plans de cassis. Concernant le reste de la carte, les anomalies sont de très faible amplitude et aucune structure remarquable ne ressort.

e- Mazet E

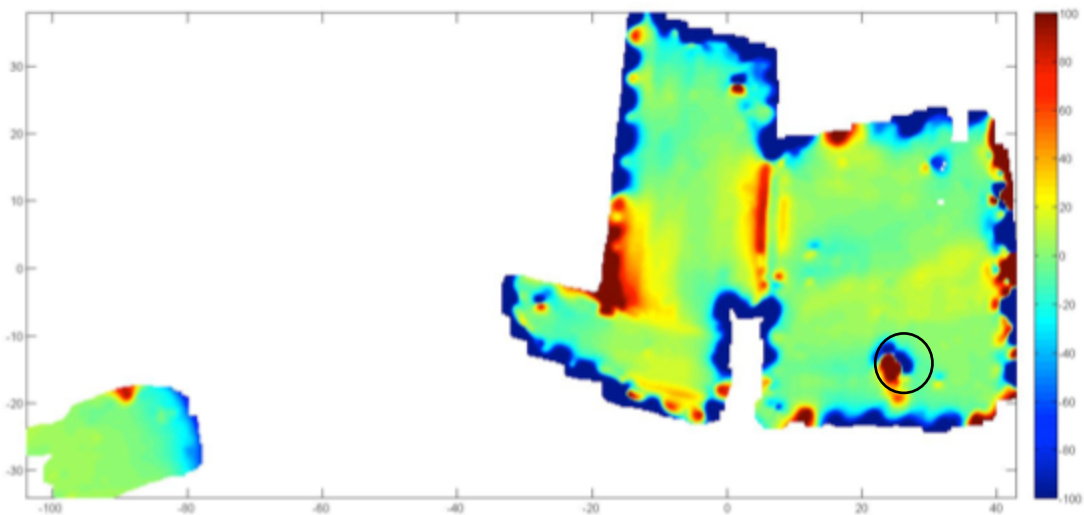


Fig. 21 - Carte d'anomalie magnétique de la zone E à l'échelle normale de -100 à 100 nT. La zone entourée correspond au puit et à sa galerie sous-jacente et les anomalies en bordure de la zone, à du grillage

La carte d'anomalie magnétique de la zone E révèle la présence de fortes anomalies sur le contour des cartes. Elles sont dues au grillage entourant les prés concernés. Un autre couple d'anomalies est lié à la présence d'un puits (entouré sur la carte).

Sur la carte d'anomalie à l'échelle équi-répartie ci-dessous, on constate, en marge des anomalies déjà citées, une anomalie de faible amplitude entourée (-5 à 5 nT) traversant la partie est de la carte d'Est en Ouest. Cette anomalie pourrait correspondre là aussi à un filon traversant le granite

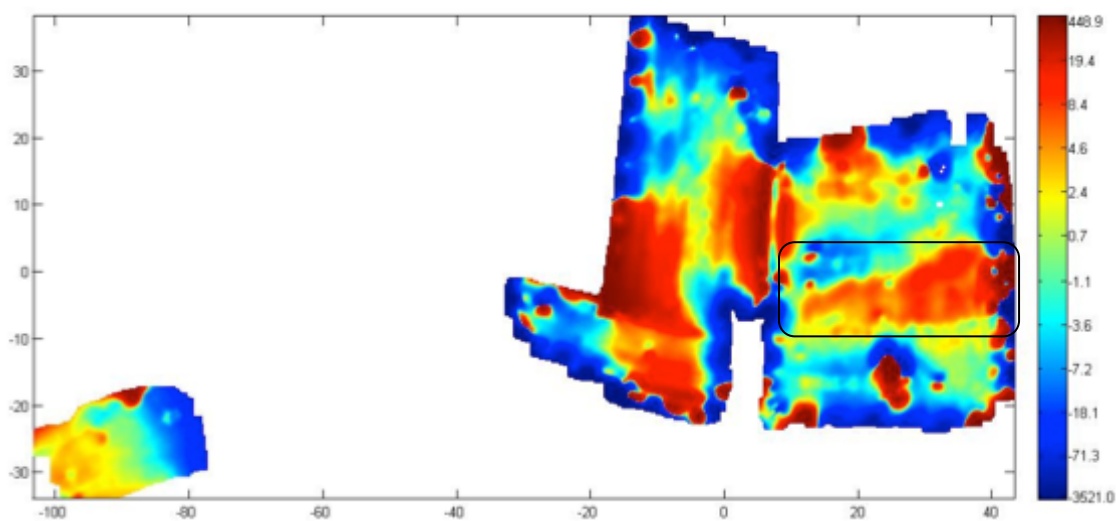


Fig. 22 - Carte d'anomalie magnétique de la zone E de 450 à 3521 nT. La zone entourée correspondant à un filon d'orientation Est-Ouest. L'anomalie arrondie au Sud du filon correspond au puits

7- Conclusions

L'interprétation des mesures magnétiques de la zone A, indique l'existence de deux failles (peut-être trois, qui ont des directions NE-SO. Ces failles se rejoignent en un nœud qui est le forage. A cette jonction, une anomalie magnétique importante, matérialisée par un dipôle (anomalie magnétique positive /anomalie négative) qui matérialise une zone faillée altérée et donc riche en minéraux magnétiques, avec présence d'une cavité qui stocke l'eau pour expliquer l'ampleur de l'anomalie.

Dans la zone C, située à l'Ouest de Mazet, apparaît une association d'anomalies magnétique positive et négative assez large, de direction Est-Ouest, ne correspondant pas au réseau de failles NE-SO des failles. Cette anomalie pourrait correspondre à un filon de roche magmatique, riche en minéraux magnétiques, intrusif dans le granite, mais profond.

Dans les autres secteurs D et E, il n'y a pas d'anomalies naturelles clairement interprétables.

Dans le secteur E, il n'y a pas d'anomalies magnétiques en dehors de deux qui ont une direction Nord Sud, liées à des éléments, anthropiques et une Est-Ouest liée à l'existence d'un filon.

En conclusion, il existe à Mazet, des anomalies allongées interprétables en terme de réseaux de failles. Ces failles sont liées sans doute à la grande faille indiquée sur la carte géologique au 50 millième, de Pailhès au Le Pouget et qui passe par Mazet. C'est un réseau de faille parallèle à la faille principale qui passe dans le vallon qui borde les champs à l'Est de la maison. Cette faille est elle-même parallèle à la faille des Cévennes. Elles se rejoignent en un nœud qui l'endroit du forage, marquée par l'existence d'une anomalie importante, interprétée en terme de granite fracturé et comportant des cavités. Un deuxième type d'anomalie plus large et orientée Est-Ouest correspond à l'existence de filons intrusifs dans le granite.

IV. LES ANALYSES D'EAU

1. Introduction

Les compositions des eaux naturelles non traitées sont très différentes les unes des autres. Elles peuvent être riches en sels minéraux, calciques, magnésiennes, bicarbonatées, fluorées, sodiques, acidulées, sulfatées ou peu minéralisées. Leur composition reflète, pour partie, la composition des roches dans lesquelles elles circulent. Une eau fortement minéralisée est riche en sels minéraux (notamment en magnésium > 50 mg/l) et contient de fortes teneurs en calcium, supérieure à 150 mg/l. Ces eaux sont nommées « eaux dures ou calcaires » par opposition aux « eaux douces », contenant moins de calcium, de magnésium et de sulfates.

2. Les prélèvements

Huit échantillons d'eau ont été prélevés (plan en annexe) :

- ME1 dans le puits de la parcelle de Santa Maria
- ME2 tuyau de sortie de la source en galerie au dessus du bassin de récolte d'eau, situé en dessous de la parcelle de Santa Maria
- ME3 source ou résurgence derrière l'atelier
- ME4 forage
- ME5 source du petit bassin des vieux champs
- ME6 grand bassin de la Bourdaine
- ME7 petit bassin de la Bourdaine
- ME8 source dans le vallon situé à l'Ouest du séchoir

3. Les éléments analysés et leur signification

a- Rappel des composants essentiels de l'eau :

Anhydride carbonique- CO_2 , se combinant partiellement à l'eau, il forme l'acide carbonique H_2CO_3 qui est l'agent essentiel de l'agressivité de l'eau dans laquelle il est partiellement dissocié en ions.

Oxygène, O_2 - Azote, N_2 (se dissolvent dans l'eau sans se dissocier)

Hydrogène sulfuré (H_2S), légère dissociation : $H_2S = 2 H^+ + S^{2-}$

Sels de bases fortes et d'acides forts, totalement dissociés en ions. Les plus importants sont les sulfates SO_4^{2-} et les chlorures Cl^- . Une eau qui a été par exemple en contact avec des terrains gypseux (sulfate de calcium - $CaSO_4$) se chargera d'anions SO_4^{2-} et de cations Ca^{2+} , selon la réaction : $Ca SO_4 = Ca^{2+} + SO_4^{2-}$

Sels de bases fortes et d'acides faibles, presque totalement dissociés en ions. Les plus importants sont les sels de calcium, Ca^{2+} , et en particulier les sels de l'acide carbonique : bicarbonate de calcium, $Ca(HCO_3)_2$ et carbonate de calcium $CaCO_3$.

b- Rappel des éléments fondamentaux

Les Molécules neutres sont H_4SiO_4 , H_2CO_3 , H_2O et les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , H^+ , OH^- , Ca^{++} .

b- Rappel des éléments caractéristiques.

Ce sont les ions autres que les précédents. Ils peuvent se trouver ou non dans l'eau à laquelle ils confèrent son caractère particulier, par exemple : anions SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} ... et les cations Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , H^+ ...

Alors que les éléments fondamentaux sont toujours présents dans les eaux naturelles, les éléments caractéristiques ne le sont pas toujours.

d-Rappel des définitions essentielles.



- *pH*, il représente la concentration en ions hydrogène, $[\text{H}^+]$, exprimé par le cologarithme de cette concentration, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$
- *Alcalinité, ou TAC* (Titre Alcalimétrique Complet) qui représente la dureté carbonatée de l'eau : bases et sels d'acides faibles (carbonate et bicarbonate, silicates).
- *Sels d'acides forts (SAF)*, qui expriment la dureté non carbonatée (ou permanente) donnée principalement par les chlorures et les sulfates.

e- Les Terres Rares

Les Terres Rares, constituent une série de 15 éléments allant du lanthane (La 57) au lutécium (Lu 71). Les terres rares sont généralement subdivisées en 2 groupes, les Terres Rares légères (du La au Eu) et les Terres Rares lourdes (du Gd au Lu).

Contrairement à ce que suggère leur nom, les Terres Rares (groupe d'éléments qui vont du lanthane, La au lutécium, Lu) ne sont pas si rares. La plus abondante, le cérium (Ce) est plus répandue dans l'écorce terrestre que le cuivre alors que le plus rare, le thulium (Tm) est 4 fois plus abondant que l'argent (Ag). Les Terres Rares sont présentes naturellement dans un très grand nombre de minéraux. On peut citer les deux principaux, la monazite dans le granite (phosphate de terres rares et de thorium) et la bastnaésite dans les sédiments (fluorocarbonate à forte teneur en REE notamment en Ce). La signature en Terres Rares dans les eaux est héritée en partie de l'interaction entre les eaux et leur encaissant (roches et sédiments). Les Terres Rares peuvent également être apportées dans l'environnement par certaines activités humaines (catalyse, métallurgie, verres et céramiques et aussi certaines lampes). Certains fertilisants phosphatés sont aussi susceptibles de contribuer à la contamination des sols par les Terres Rares.

4. Les méthodes analytiques

Le pH des eaux est mesuré avec une électrode combinée, après avoir été étalonnée par deux solutions NIST (pH 4,00 et 7,00). Le pH est donné avec une erreur de $\pm 0,05$ unité pH. Les concentrations des anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et PO_4^{3-}) et des cations (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) sont déterminées de façon simultanée par chromatographie ionique (appareil : DIONEX ICS-3000) avec une incertitude inférieure à 2 %. Le carbone organique dissous est déterminé par une méthode thermique par un COTmètre (appareil : SHIMADZU TOC VCph). Les valeurs de carbone organique dissous sont données à $\pm 0,1$ ppm avec une limite de détection de 0,3ppm. L'acide silicique est déterminé par colorimétrie à flux continu (appareil : Technicon). La justesse des différents paramètres est vérifiée par l'utilisation d'étalons certifiés (Perade-20 et Rain97) et la reproductibilité par une eau minérale (Mont Roucous).

Les autres éléments sont dosés pour les éléments majeurs, par ICPAES (« Ion Condensed Plasma Atomic Emission Spectrometry » ; appareil : JobinYvon JY124) et pour les éléments en traces à l'ICPMS (« Ion Condensed Plasma Mass Spectrometry ; appareil : Thermo Scientific XSeriesII). La solution à 4g/l, après filtrage, est directement introduite dans l'ICP-AES. La même solution, diluée 100 fois, est introduite dans l'ICP-MS. Les courbes d'étalonnages sont réalisées avec 5 solutions : un blanc (750 mg tétraborate de lithium pur fusionné et mis en solution) et 4 standards internationaux. Les 4 autres standards sont insérés dans la séquence, espacés tous les 6 échantillons, afin de contrôler les dérives éventuelles des spectromètres et d'affiner l'étalonnage



Fig.23- Chromatographie ionique



Fig.24 - ICP-MS

5. Les résultats

Les résultats des analyses sont présentés sur le tableau 3 (page 30)

D'une manière générale, les eaux de Mazet sont de pH neutre à légèrement basique ou encore dit alcalin (« *eaux alcalines* »), entre 6,92 et 7,86 ($pH=7-8$; *au dessus de 7, les eaux sont basiques, en dessous elles sont acides*). En comparaison l'eau de pluie est acide ($pH=5,5$). Les eaux de Mazet peuvent être qualifiées de tamponnées (*rééquilibrées d'un point de vue chimique par la circulation dans les roches, notamment essentiellement dans les calcaires en couverture des granites et dans les granites*).

Ce sont également des eaux douces (teneur en calcium inférieure à 63 mg/l) et avec des teneurs en magnésium faible (inférieure à 21,36 mg/l). La différence entre la somme des cations et des anions montre que la balance est en faveur des anions sauf pour ME 3. Le décalage en faveur des anions montre la présence d'anions d'origine organiques mesurés avec l'alcalinité. Cependant, la charge organique reste faible car la teneur en carbone organique dissous est faible (NPOC inférieur à 1,90 ppm).

Il n'y a pas de pollution en nitrate (NO_3 inférieur à 4,34 mg/l), ni de pollution en Pb ou en métaux de transitions (Cr, Ni, Cu, Zn...). L'absence de pollution en Terres Rares, traceurs d'engrais phosphaté ou de pesticides, marque l'absence de pollution en ces deniers matériaux. L'eau du forage (ME4) contient un plus d'oligoéléments que les autres échantillons (en zinc ou Zn, rubidium ou Rb, yttrium ou Y, zirconium ou Zr, d'antimoine ou Sb, arsenic ou As, seul élément à des teneurs légèrement au dessus des normes de 0,2 mg/l au lieu de 0,1mg/l mais acceptable pour la consommation). En revanche, la comparaison de la composition chimique en éléments essentiels des eaux du forage (ME4) avec des eaux minérales connues (Tableau 2) montre que cette eau est proche de la composition de l'eau d'Evian, un peu plus salée (plus de sodium et de chlore, plus de sulfate).

	Alpes	Alpes	Vosges	Vosges	Vosges	Cévennes	Norme
	Evian	Thonon	Hépar	Vittel	Contrex	Forage/Mazet	Eaux/potables
pH	7,2	7,4	7			7,82	6,5-9
Bicarbonate	357	142	403	402	403	240	
Calcium	78	108	555	202	486	63	
Magnésium	24	14	110	36	84	18,96	50
Sulfate	10	13	1479	306	1187	55,87	250
Sodium	5	3	14	3,8	9,1	10,58	200
Chlorure	4,5	9			8,6	7,2	250
Nitrate	3,8	12	2,9	4,6	2,7	0,09	50
Potassium	1	1,4	1			1,17	12

Tableau 2 - Composition en éléments majeurs d'eaux minérales connues les résultats sont donnés en mg/l. La colonne de droite indique les normes officielles de potabilité de l'eau en concentration d'éléments maximum (voir tableau 3)

Trois "types" d'eau ont été identifiés : type 1 (ME1, ME2 et ME3), type 2 (ME4 et ME5) et type 3 (ME6, ME7 et ME8). Le type 3 se différencie le plus, le type 1 et 2 montrent des similitudes.

Le type 1 représente un premier pôle, constitué par la composition de 3 échantillons prélevés, dans la galerie d'eau à Santa Maria, au tuyau sous la source en dessous de la parcelle et à sa sortie et dans le ruisseau derrière l'atelier. Ce sont les eaux les plus chargées, plus riches en Ca, en Ba, en Sr, en Zn, en Cl, en SO₄, en HCO₃, en alcalinité, en carbone organique dissous avec les pH les plus élevés. Les teneurs relativement élevées en potassium (K) indique des circulations à travers une végétation abondante. La bonne corrélation entre le calcium (Ca), le sulfate (SO₄) et le baryum (Ba) indiquerait que ces eaux ont traversé des niveaux sédimentaires de gypse ou anhydrite, associé à du sel, sans doute ceux dans le Trias, au dessus de Mazet (carrière de gypse de Pailhès). Toutes les caractéristiques montrent une interaction forte avec des carbonates (calcaires et dolomies) et du gypse dans lesquels ces eaux ont circulé.

Le type 3, représente un deuxième pôle, constitués de la composition des eaux prélevées dans les sources alimentant les bassins de la Bourdaine, situé tout en bas de Mazet, et à la sortie du drain d'une autre source située à proximité du séchoir. Ce sont les eaux les moins chargées avec les teneurs les plus faibles en Ca, Mg, Cl, HCO₃, SO₄, avec l'alcalinité la plus faible mais plus riche en H₄SiO₄, Rb, Sr, Zn, As. Les teneurs faibles dans le premier groupe d'éléments excluent que ces eaux aient été en contact depuis longtemps avec des roches sédimentaires situées au dessus du granite. Les teneurs plus élevées en Si et les autres éléments provenant de la dissolution des minéraux du granite à des températures plus élevées que celles de la surface. Ces caractéristiques sont typiques d'eaux qui ont circulé dans le granite depuis longtemps. Les teneurs très basses en uranium (U, de 0,5 à 2ppb) de ces « eaux granitiques » par rapport à celles du granite (6,21ppm) indique à la fois, un pH élevé des eaux souterraines ayant circulé dans le granite et l'absence de complexes carbonatés dans l'eau qui favorisent la fixation de cet élément. Ces constats vont dans le sens d'une circulation profonde dans les granites.

Le type 2 sont des eaux de mélange entre et le type 1 et le type 3, présentant des caractéristiques des deux. Ces eaux se différencient principalement du type 1 par ses teneurs en Si, Na, Mn, Zn, As, Sr, Rb et en Ba, en U plus fortes. Les teneurs élevées en Mn

et sans doute d'autres éléments de transition sont liées à l'absorption sur des argiles transportées dans ces eaux.

Les diagrammes de la Fig. 25 montrent bien une corrélation linéaire entre les deux pôles extrêmes des types 1 et 3, indiquant des mélanges entre les deux types d'eaux « granitiques » et « sédimentaires » avec les eaux « de mélange » du forage situés entre les deux pôles. Le diagramme de la Fig. 26 indique lui aussi clairement le passage des eaux « sédimentaires » du haut de la propriété (ME1 à ME5) dans les calcaires, dolomies et évaporites, alors que les eaux « granitiques » échantillonnées dans le bas de la propriété (ME6 à ME8) ont bien circulé dans le granite.

Les températures calculées avec les géothermomètres classiques (*équilibre chimique utilisant la silice dissoute, très sensible aux passages dans les granites, mais aussi certains cations, Na, K, Ca, Na, Rb*), montrent que les eaux ayant circulé dans les granites ou se mélangeant avec les eaux de surface sont issus, à l'origine, de réservoirs profonds. Une partie de ces eaux ont été portées à des températures de l'ordre de 300°C, notamment pour expliquer la quantité de silice dissoute (sous la forme de H_4SiO_4) dans ces eaux. Ceci oblige de faire remonter une partie des « eaux granitiques », participant aux eaux « de mélanges », de la profondeur, sans doute par circulation convective.

La Fig. 27 montre la répartition des Terres Rares, normalisés aux shales ou à la composition du granite de Mazet. On constate dans ces eaux des teneurs très basses en Terres Rares par rapport aux sédiments et au granite. Les rapports plus bas Sm/Nd (= 0,16) et du Lu/La (= 0,01) du type 3 va dans le sens de la circulation d'eaux dans les granites, comparé aux rapport plus élevés Sm/Nd (= 0,23 à 0,28) des autres échantillons et du Lu/La (=0,06) de type 1 et 2, interprétés comme étant le résultat de circulation d'eaux ayant été en contact avec des sédiments. L'enrichissement relatif en Terres Rares lourdes (de l'Eu au Yb) par rapport aux Terres rares légères (du La à l'Eu) montre simplement que la solubilité des Terres rares lourdes est plus importante que celle des Terres Rares légères au moment de la circulation des eaux dans le granite.

Enfin, la Fig. 28 montre que les eaux de Mazet, ayant circulé en surface ou traversé les sédiments ont des teneurs en sodium (Na) et chlore (Cl) relativement importantes plus voisines de la teneur des pluies côtières prélevées à Frontignan que celles prélevées sur le Causse Blandas (Vigan) ou sur le Mont Lozère. Les eaux ayant circulé dans les granites ont des teneurs plus faibles, toutefois suffisamment élevées pour supposer qu'elles ont circulé en profondeur (dissolution de l'albite et du quartz, libération des inclusions fluides salées) Par comparaison, les teneurs des eaux de l'Hérault et du Gardon sont nettement moins riches en ces éléments et plus proches des compositions des eaux de pluie des Causses (thèses et rapports BRGM).

6. Conclusions

Les eaux de Mazet sont, d'une manière générale, bien équilibrées et douces. Elles sont non polluées. Elles sont très riches en oligo-éléments Les différences de composition en certains éléments de transition dans les eaux du forage ME4 ou encore ME5, bien qu'un peu au dessus des normes de potabilité strictes, sont non toxiques. Elles ont sans doute circulé sur une concentration métallifère du granite et/ou ne pas avoir été mobilisés dans la précipitation classique de sulfures dans les failles. Les éléments dans les eaux ayant circulé dans les granites, dont la variation est réputée être contrôlée par la précipitation de sulfures ou par l'élaboration de molécules complexes dans les failles, sont : Mo, Co, Ni, Zn, Ag, W, U, Fe, et Sb.

Les eaux de Mazet ont deux origines différentes. Celles échantillonnées, dans le haut de la propriété ont des caractéristiques d'eaux ayant circulé dans des calcaires, dolomies et gypse que l'on trouve en sédiments de couverture du granite. Celles échantillonnées dans la partie basse de la propriété ont des caractéristiques d'eaux ayant circulé dans des granites. Celles du forage ont des caractéristiques intermédiaires entre les deux : ce sont des eaux de mélange, compatible avec le noeud de failles situé au droit du forage et repéré en analyse des anomalies magnétiques. Enfin, les analyses biologiques effectuées le 8/8/2011 sur les eaux du forage montrent une concentration plus élevée que la limite des valeurs guides du Code de santé publique, en spores de bactéries sulfito-réductrices. La quantité de 11M/100ml ne représentent aucun danger pour la santé, les bactéries en question n'étant d'aucune façon toxiques.

La Fig. 29 montre un schéma de circulation possible des eaux de Mazet

cote-site	pH Labo	Conduc 20°C µS/cm	Cations										Anions								NPOC .ppmC
			NH4+ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Mg2+ mg/l	Ca2+ mg/l	H+ mg/l	summe cations mg/l	HC03-- mg/l	Al(0+H+ mg/l)	Cl- mg/l	NO3- mg/l	SO4--mg/l	PO4-- mg/l	summe anions mg/l	Espece neutres H4SiO4 mg/l				
ME1	7,86	387,00	7,45	8,97	3,13	13,63	1,32	0,00	0,00	34,50	216,00	3,60	11,75	4,38	33,02	<0,001	52,76	14,40	1,40		
ME2	7,87	299,00	0,00	7,03	1,95	11,29	1,02	0,00	0,00	33,60	156,00	2,60	8,96	4,04	26,98	<0,001	42,58	18,53	1,10		
ME3	7,79	417,00	2,61	7,36	1,95	16,61	1,55	0,00	0,00	48,24	258,00	4,30	8,91	0,51	28,22	<0,001	41,94	18,14	1,40		
ME4	7,82	443,00	0,91	10,58	1,17	18,96	1,58	0,00	0,00	53,72	240,00	4,00	7,20	0,09	55,87	<0,001	67,16	38,02	0,80		
ME5	7,54	325,00	0,00	10,18	1,95	12,35	1,09	0,00	0,00	39,04	174,00	2,90	12,92	0,46	27,57	0,00	43,85	32,26	1,90		
ME6	6,92	135,00	0,00	8,90	1,95	4,47	0,31	0,00	0,00	20,42	59,40	7,19	7,19	2,91	10,58	0,00	21,67	35,33	0,80		
ME7	7,06	150,00	0,00	8,62	3,13	5,75	0,31	0,00	0,00	23,88	86,00	1,10	7,13	6,84	12,86	0,00	27,94	33,89	0,70		
ME8	7,37	225,00	0,00	8,90	2,74	5,96	0,75	0,00	0,00	25,06	126,00	2,10	6,74	5,83	12,73	0,00	27,41	36,77	0,60		

Concentration en éléments en traces (métaux de transition et oligo-éléments en ppb= 0,001 mg/l)

élément isotope	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Sn	Sb	Ba	Pb	Th	U
ME1	51	52	55	59	60	65	66	75	85	88	89	90	118	121	137	208	232	238
ME2	0,74	4,9	0,43	0,16	2,13	2,25	3,20	0,81	1,63	246	0,0213	0,054	0,038	0,321	1,75	0,045	0,011	3,34
ME3	0,54	3,5	0,35	0,11	1,34	0,62	4,29	1,12	1,87	151	0,0155	0,012	0,013	0,371	1,32	0,017	0,003	2,49
ME4	0,29	5,2	0,75	0,15	1,75	0,80	4,09	2,88	1,57	232	0,0245	0,015	0,011	0,422	204	0,015	0,003	3,10
ME5	0,69	4,2	318	0,17	1,91	0,53	17,6	23,1	4,33	661	0,0728	0,025	0,013	4,08	96,9	0,017	0,004	18,1
ME6	0,98	2,0	16,6	0,13	1,36	0,97	6,05	3,64	7,49	240	0,0151	0,008	0,013	0,259	124	0,053	0,002	1,46
ME7	1,01	1,9	1,42	0,03	0,560	0,31	7,23	1,59	8,80	93,7	0,0218	0,003	0,009	0,134	23,5	0,015	-	1,13
ME8	1,18	3,3	0,10	0,08	1,12	0,39	9,61	1,24	9,41	114	0,104	0,004	0,012	0,145	30,2	0,025	0,009	0,562

Concentration en Terres Rares (éléments du Lanthane au Lutétium en ppb=0,001mg/l)

élément isotope	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ME1	739	140	141	146	147	153	157	159	163	165	166	169	172	175
ME2	0,018	0,016	0,022	0,0099	0,0028	-	0,0032	-	0,0020	0,0003	0,0014	-	0,0013	-
ME3	0,014	0,012	0,0014	0,0078	0,0018	-	0,0026	-	0,0012	-	0,0006	-	0,0006	-
ME4	0,012	0,008	0,0016	0,0098	0,0027	-	0,0032	-	0,0021	0,0003	0,0014	-	0,0013	-
ME5	0,010	0,008	0,0008	0,0053	0,0010	-	0,0020	-	0,0021	0,0005	0,0025	-	0,0022	-
ME6	0,021	0,025	0,0032	0,0154	0,0030	-	0,0028	-	0,0019	-	0,0021	0,0003	0,0074	0,0016
ME7	0,013	0,008	0,0024	0,0131	0,0026	-	0,0032	-	0,0020	0,0003	0,0017	-	0,0016	-
ME8	0,037	0,070	0,0078	0,0322	0,0053	0,0003	0,0046	-	0,0033	0,0003	0,0016	-	0,0015	-
ME8	0,041	0,007	0,0061	0,0327	0,0059	0,0007	0,0071	0,0006	0,0074	0,0015	0,0057	0,0005	0,0056	0,0006

Tableau 3 – Eléments fondamentaux et caractéristiques des eaux de Mazet en mg/l (tableau supérieur) ; éléments en trace (tableau médian) et terres rares (tableau inférieur) en ppb=0,001 mg/l

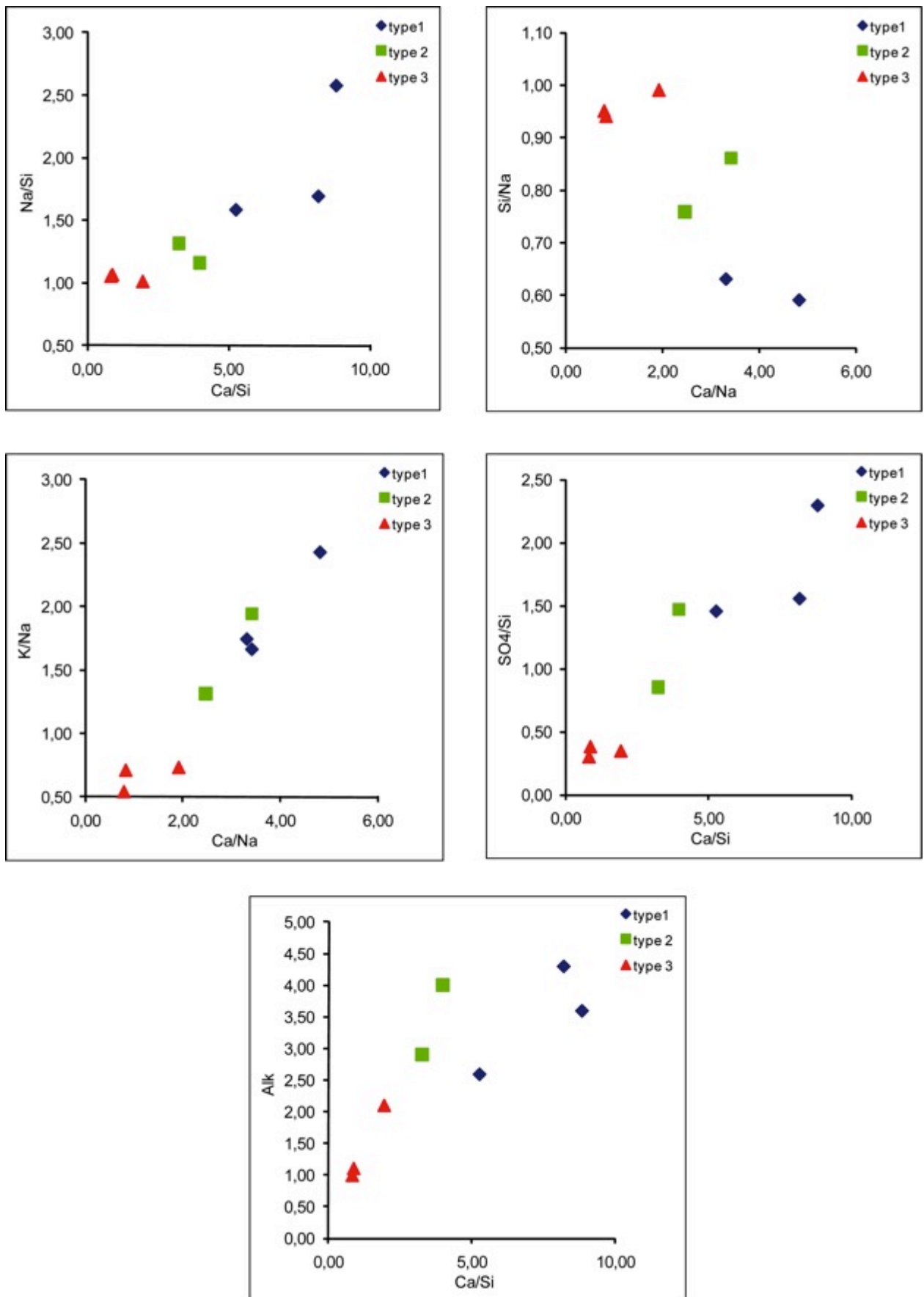


Fig. 25- Certains diagrammes représentatifs du mélange des eaux entre le type 1 et 3, le type 3 et les extrêmes du type 1 se distinguant comme pôles aux extrémités des corrélations linéaires de mélange dans ce type de diagramme utilisant des rapports d'éléments.

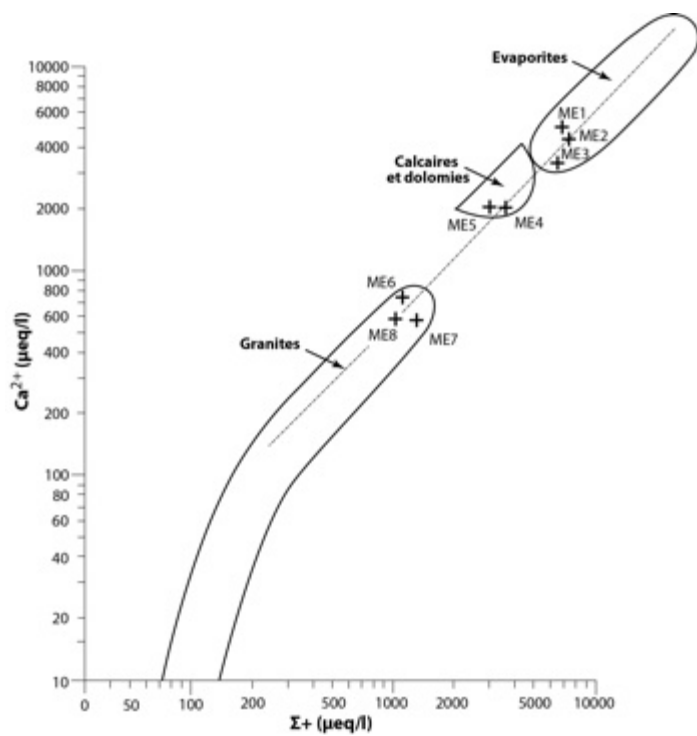


Fig.26 – Diagramme Ca en fonction de la somme des cations dans les eaux de Mazet, montrant les eaux ayant circulé dans les évaporites (sels, gypse), celles ayant circulé dans les granites et les eaux de mélange

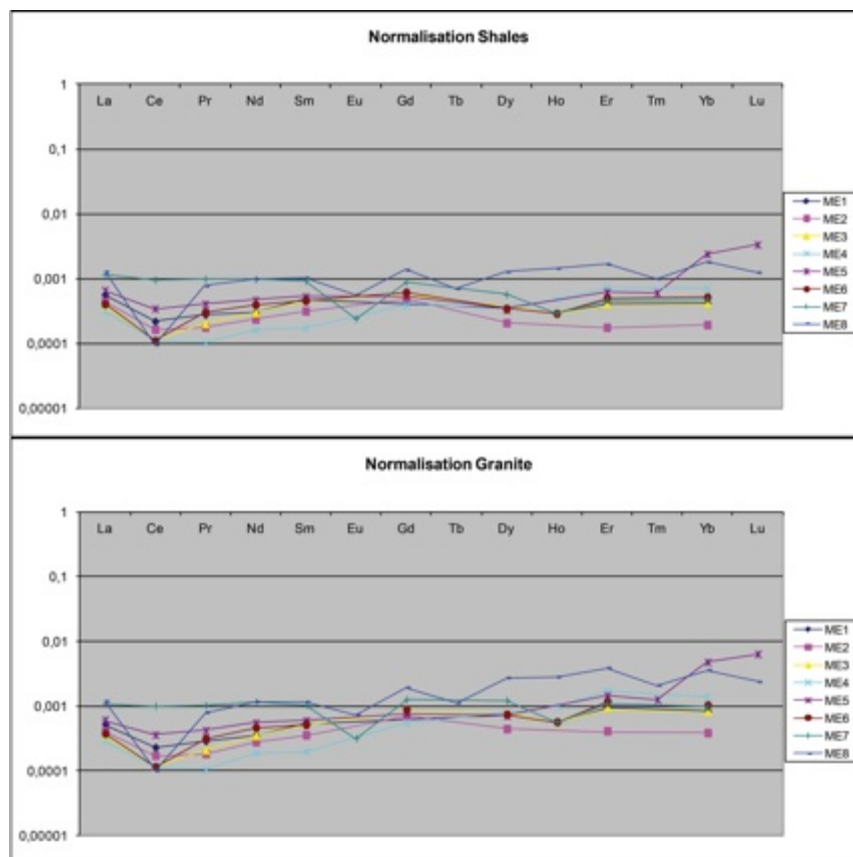


Fig. 27- Profils de Terres Rares normalisés à la composition de référence pour les eaux (moyenne de shales) et à la composition du granite de Mazet.

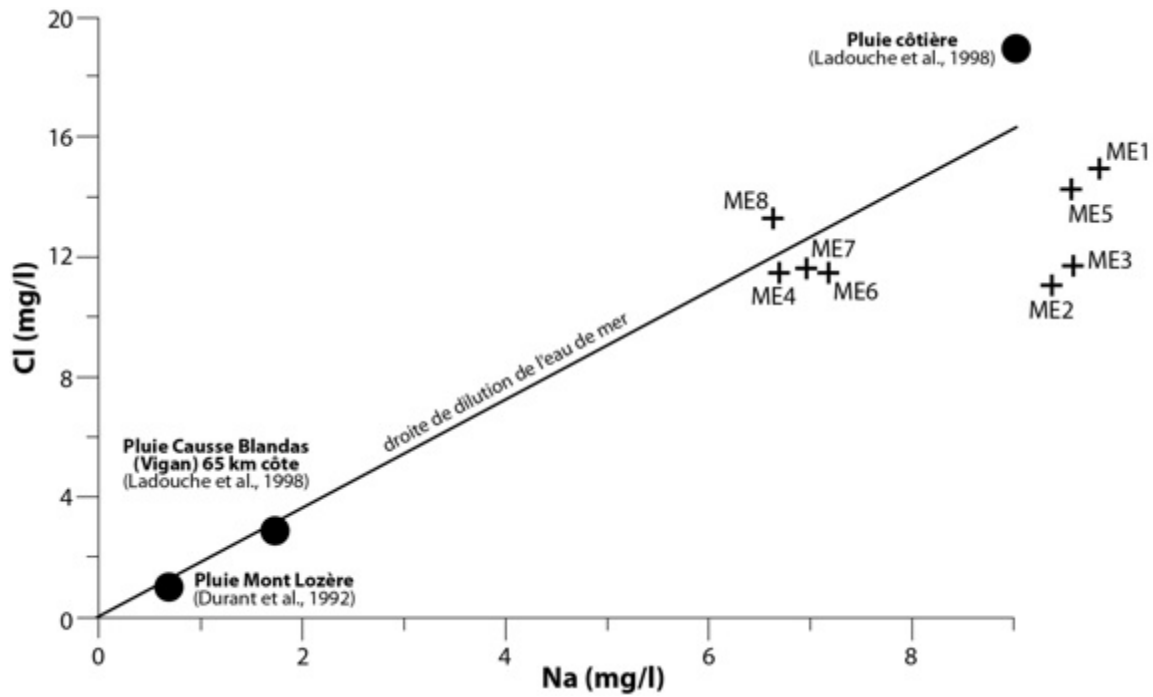


Fig.28- Diagramme Cl en fonction de Na montrant les deux populations d'eaux (type 1 et 2 d'une part et type 3 d'autre part) ayant circulé dans les sédiments et les granites plus proche de la composition des pluies côtières pour les premières que de celles tombant sur les Causses ou le Mont Lozère

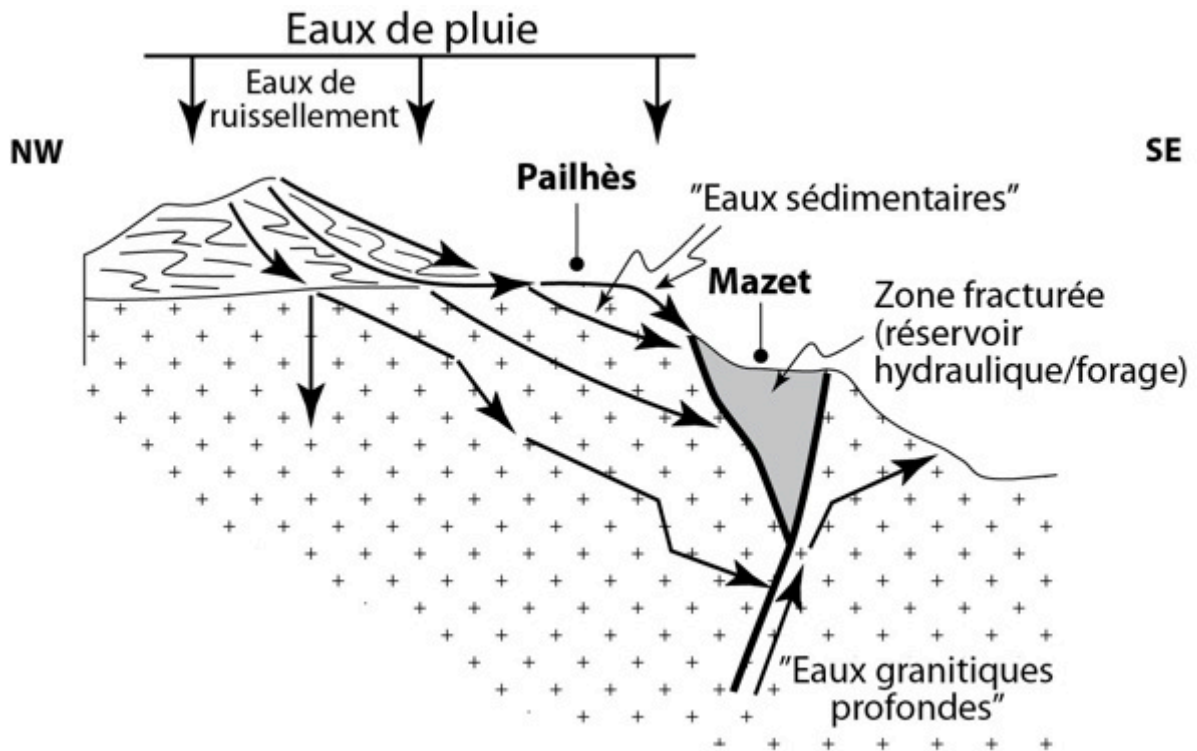


Fig. 29 – Schéma des chemins possibles des eaux de Mazet

V. LES ANALYSES DE SOLS

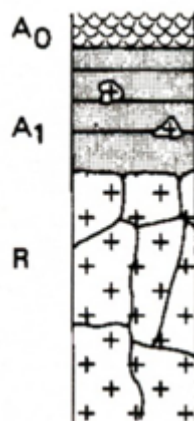
1. Stratégie d'échantillonnage

Les sols ont été prélevés dans les parcelles, le plus proches possibles des échantillons d'eau. Le prélèvement a été effectué en creusant sur une quinzaine de centimètres de profondeur. Les échantillons de sols prélevés sont les suivants :

- MSR : granite de référence pour la propriété
- MS1 : parcelle de Santa Maria, champ de verveine
- MS2 : au milieu de la parcelle de la Reine des Prés du haut
- MS3 : parcelle de la Bardanne
- MS4 : parcelle d'Aconite, en dessous du grand bassin en contre bas du forage
- MS5 : parcelle d'Arnica, vieux champ en dessous de la piscine
- MS6 : parcelle de la chapelle devant le séchoir, champ de la sauge
- MS7 : petit bassin des vieux champs, en bas du ruisseau
- MS8 : champ de la Bourdaine
- MS9 : champ au dessus de la Bourdaine
- MS10 : châtaigneraie ouest, champ de camomille
- MS11 : châtaigneraie ouest, champ de bleuet
- MS12 : châtaigneraie sud, champ de menthe verte
- MS13 : châtaigneraie sud, champ d'origan
- MS14 : nouveaux champs, parcelle de cassis.

2. Nature du sol

Les sols sont du type «ranker». Le granite (R) est surmonté d'une arène (sable de décomposition mécanique du granite) avec un horizon de type A1, situé au dessus de l'arène granitique, contenant un mélange de matière minérale et de matière organique (moins de 30%). Au dessus et par endroit un horizon très fin de type A0, à plus de 30% de matière organique, le tout recouvert par une litière constituée de débris végétaux identifiables.



3. Préparation des échantillons

Environ 1 à 5 gramme d'échantillon séché à 110 ° C est calciné, pendant 3 heures à 1000° C avec un pesage avant et après la calcination pour déterminer la perte au feu à 1000°C. 100 mg de cet échantillon calciné sont mélangés à 750 mg de tétraborate de lithium dans un creuset en graphite vitreux. Ce mélange est fondu à 1000 ° C., sous atmosphère d'argon, pendant 30 minutes dans un four à moufle en silice. Après refroidissement, la perle obtenue est mise en solution directement dans le creuset, au moyen d'un solvant contenant de l'acide nitrique dilué et de la glycérine. La dissolution a lieu dans une rampe à agitation magnétique à la température de 70° C. La dilution finale est de 4 g/L (100 mg de roche

dans 25 ml de solvant). Les dosages par ICP-MS (Fig.24) ont utilisé les standards internationaux AN-G, BE-N, GS-N et VS-N parmi ceux utilisés couramment au laboratoire dont la liste est donnée ci-dessous. Les valeurs de référence utilisées sont celles de K. Govindaradju (Géostandards Newsletter, 1995, vol19). Quatre autres standards ont été insérés dans la séquence d'analyse, espacés tous les 6 échantillons, afin de contrôler les dérives éventuelles des spectromètres et d'affiner l'étalonnage, toujours choisi dans la liste ci-dessous.

CAL-S	limestone	BE-N	basalt
AN-G	anorthosite	GS-N	granite
MA-N	granite	VS-N	verre standard
FK-N	Feldspath K	WS-E	dolerite
PM-S	microgabbro	ZW-C	zinnwaldite
AC-E	granite	AL-I	albite
IF-G	iron formation	BR	basalt
GA	granite	GH	granite
Mica-Fe	biotite	DR-N	diorite

4. Résultats

Les résultats des analyses en éléments majeurs et traces sont donnés dans les tableaux 4 a, b, c, d. Ces analyses seront comparées à l'analyse de référence pour le granite de Mazet (MSR) qui représente la roche mère de ces sols.

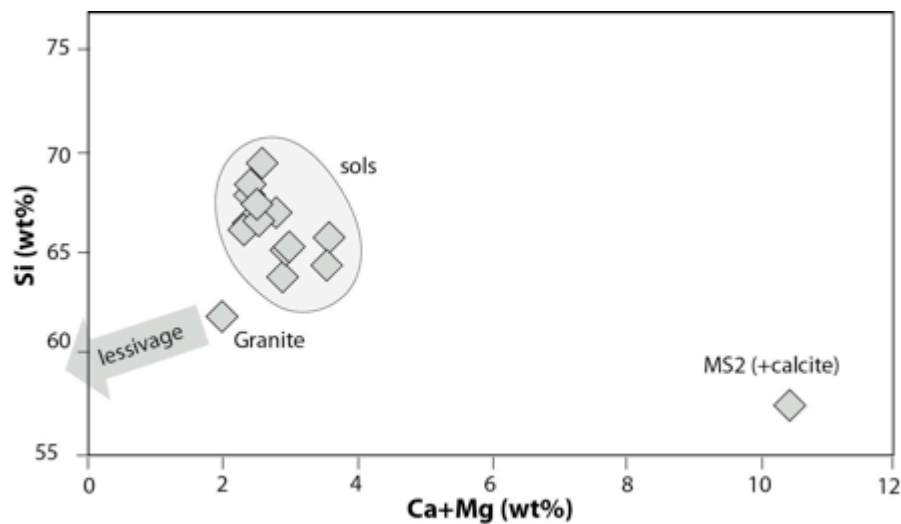
D'une manière générale, la composition de la plus part des sols, en dehors de MS2, est relativement homogène et relativement voisine de la composition du granite. Les teneurs plus élevées en silice (Si) des sols que le granite, tendance opposée à celle que provoquerait un lessivage de la roche mère pour former des sols plus évolués, montre une accumulation de grains de quartz (Fig. 30a). De la même manière, les teneurs en potassium (K) élevées et proches du granite montrent que l'orthose (minéral potassique du granite) y est conservée sous forme de grains de petite taille, à côté des grains de quartz. Ces sols sont donc riches en minéraux. Les pertes par calcination à 1000°C sont faibles et proches du granite: les sols contiennent donc peu d'argiles, d'hydroxydes de fer, de carbonates (mis à part MS2) et de matières organiques. Les teneurs en éléments réputés insolubles, comme l'aluminium (Al), le fer (Fe) et le titane (Ti), bien qu'étant plus faibles restent proches de celles des granites. Les sols sont donc très peu évolués. Le lessivage de la roche mère est illustré aussi par des pertes en Thorium (Th) et des gains en Uranium (U) plus soluble que le Th et se fixant plus facilement dans les sols (Fig. 30b). Le seul élément qui a été réellement lessivé par la roche mère granitique est le sodium (Na) avec une concentration divisée par 3 par rapport au granite (Fig. 31c). Ceci est un indicateur de l'altération de l'albite, autre minéral du granite, en gibbsite $Al(OH)_3$ voire même en une argile, la kaolinite $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. La présence de ces minéraux contenant des OH^- explique l'augmentation de la perte au feu à 1000°C, en même temps que la diminution de la teneur en sodium (Na) de la Fig. 31c.

L'échantillon MS2 prélevé dans la parcelle de la Reine des Prés du Haut fait exception. En effet, les teneurs en calcium et magnésium plus élevées (fig. 30 et 31), la perte au feu plus importante, montre la présence de carbonates se décomposent en libérant du CO_2 à la calcination (sol enrichi en éléments calcaires et dolomitiques). Les teneurs plus élevées en ces éléments sont corrélées avec des teneurs en silice (Si), aluminium (Al) et sodium (Na) plus faibles, mais aussi en zirconium (Zr), niobium (Nb), thorium (Th) et uranium (U) plus faibles et en strontium (Sr) plus fortes.

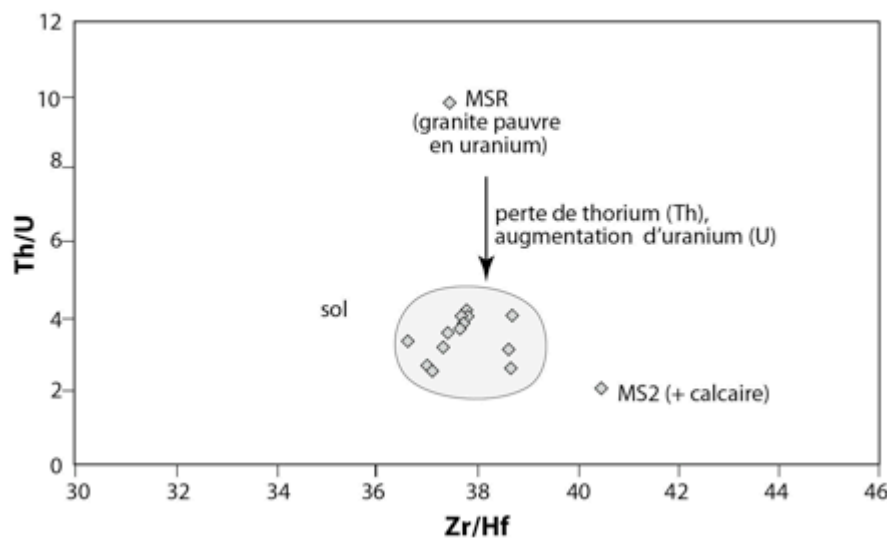
L'échantillon MS1 est intermédiaire entre MS2 et les autres. C'est un sol riche en éléments en oligo-éléments. En effet, les compositions en éléments en traces (exprimées en ppm) dits métalliques ou oligo-éléments (V, Ni, Cr, Zn, Cu, As, Co, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Pb) ont des teneurs proches de celles du granite mais toujours en dessous des normes de pollution. Au maximum, la concentration est multipliée par 4 pour le Cu ou le Mo par rapport au granite (par adsorption sur certains grains). Une seule composition de sol (MS5) présente des teneurs anormales en Ni et Cr, qui peuvent résulter d'une pollution par un fragment de métal dans le sol.

5. Conclusions

Les sols de Mazet sont de type «ranker», peu évolués par rapport à la roche mère granitique, très minéralisés, avec peu de matières organiques et riches en oligo-éléments. Un sol prélevé au dessus de la propriété à la limite granit-sédiments contient des éléments carbonatés (dolomies)

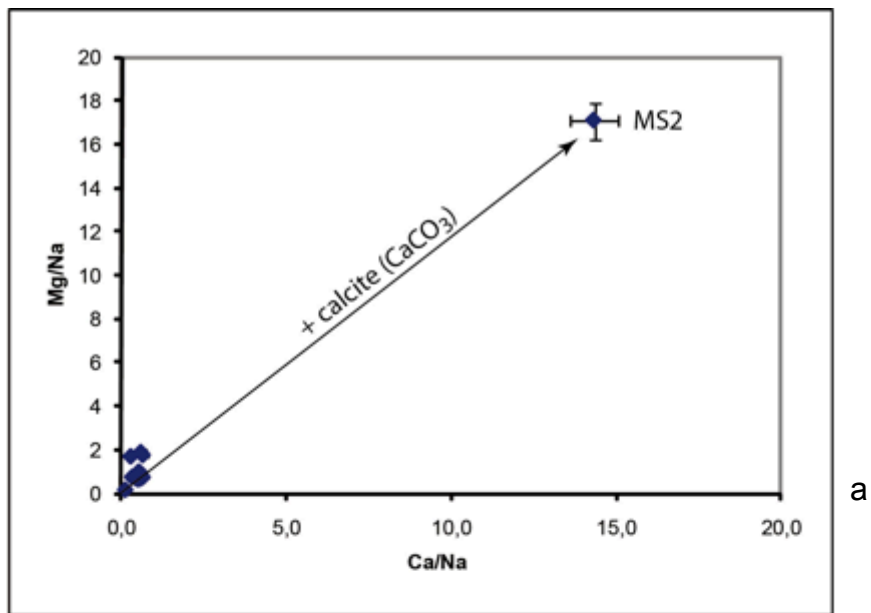


a



b

Fig. 30 – Diagramme Si en fonction de Ca+Mg (a) et Th/U (éléments solubles) en fonction de Zr/Hf (éléments insolubles) (b), illustrant les différences entre les sols et le granite de référence (MSR).



5.

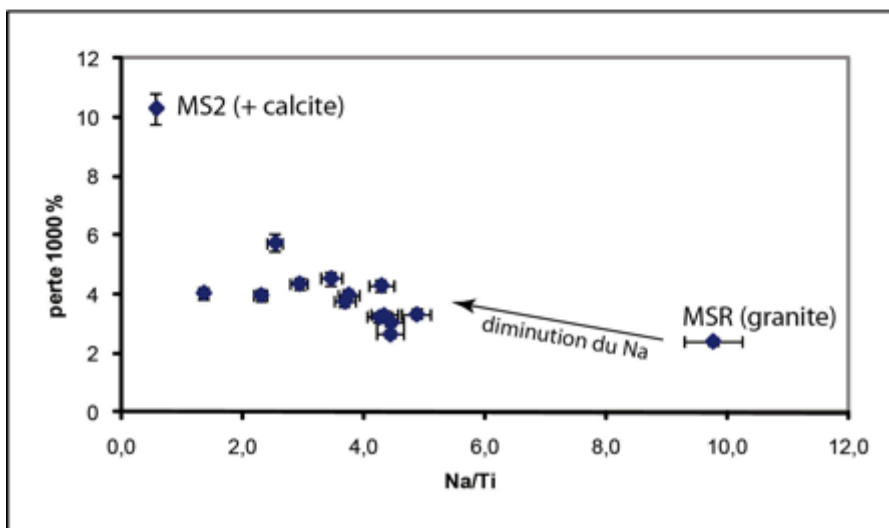
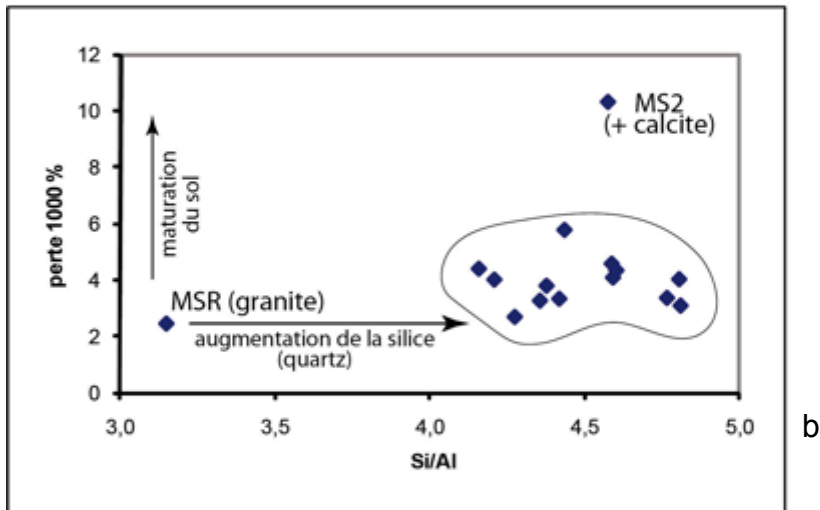


Fig. 31 – Diagrammes Mg/Na en fonction de Ca/Na (a), Calcination à 1000°C en fonction de Si/Al (b) et en en fonction de Na/Ti (le titane Ti considéré comme stable dans la transformation d'une roche mère en sol) (c) illustrant les différences de composition entre le granite de référence et les sols.

Les teneurs en Terres Rares (Fig. 32) normalisés au granite de référence sont plus faibles que dans le granite (en dessous du rapport 1). Comme dans les eaux, l'absence d'anomalies en Terres Rares indique que ces sols n'ont été pollués par des engrais, ni pesticides. En dehors de l'échantillon MS8, montrant un enrichissement en Terres Rares légères, les profils de Terres Rares des autres échantillons, y compris MS2, indiquent un héritage chimique direct du granite dans ces sols, confirmant leur caractère peu évolué avec un lessivage d'éléments en trace faible.

Sol
MSR

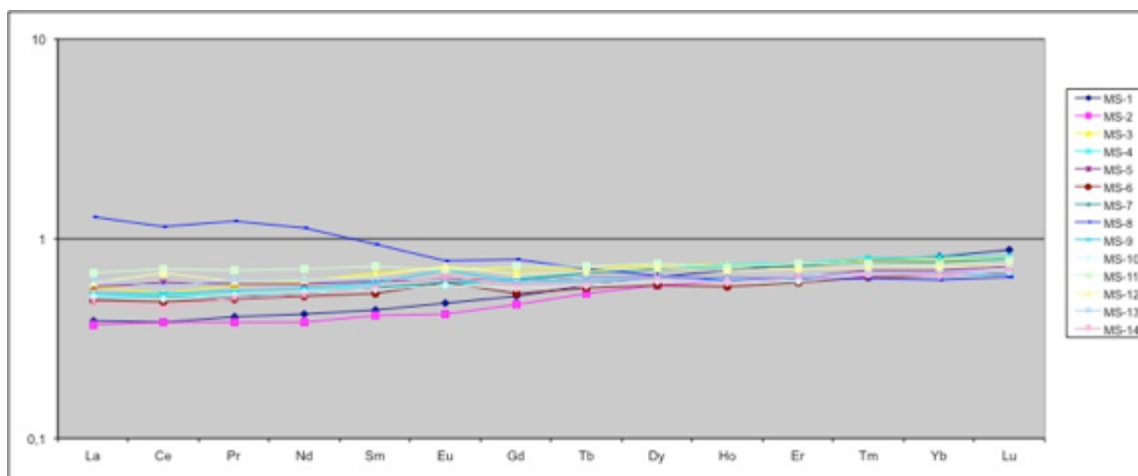


Fig. 32 – Profils de teneurs en Terres Rares des sols normalisés à la composition du granite de référence (MSR).

Tableau 4 – Analyses en éléments majeurs (tableau 4a données en pourcentage poids) et traces (tableaux 4b et c, dont les Terres Rares tableau 4d, données en ppm) des sols. LD en rouge correspond aux limites de détection en ICP-MS.

Tableau 4a

Echantillon	Perte 110	Somme	Perte 1000	SiO2	Al2O3	MgO	CaO	Fe2O3	MnO	TiO2	Na2O	K2O	P2O5
LD				0,07	0,01	0,002	0,008	0,006	0,00006	0,0005	0,01	0,04	0,05
MSR	0,67	101,89	2,42	61,8	19,6	1,26	0,656	3,39	0,0849	0,633	6,19	5,47	0,36
MS-1	3,20	99,49	4,06	66,2	14,4	2,02	0,313	6,21	0,0851	0,857	1,17	3,97	0,23
MS-2	5,21	100,96	10,29	57,6	12,6	5,63	4,73	4,18	0,0563	0,567	0,33	4,75	0,18
MS-3	1,97	99,68	2,66	66,5	15,6	1,69	0,678	3,32	0,0514	0,484	2,15	6,28	0,26
MS-4	0,64	100,28	5,75	64,6	14,6	2,60	0,922	3,91	0,0699	0,569	1,45	5,56	0,28
MS-5	0,44	99,84	3,31	66,6	15,1	1,46	1,03	3,21	0,0642	0,475	2,06	6,26	0,34
MS-6	0,78	101,56	3,34	69,5	14,6	1,50	1,10	3,01	0,0505	0,449	2,19	5,55	0,27
MS-7	0,53	101,21	3,99	65,9	15,7	2,71	0,813	4,03	0,0713	0,610	1,41	5,79	0,24
MS-8	0,54	98,66	3,06	68,0	14,1	1,34	1,05	2,57	0,0351	0,415	1,85	6,01	0,24
MS-9	0,57	98,34	3,24	65,1	15,0	1,61	1,32	3,17	0,0596	0,483	2,06	6,04	0,30
MS-10	0,41	101,55	4,31	68,4	14,9	1,48	0,926	3,15	0,0541	0,481	2,07	5,50	0,28
MS-11	0,55	98,53	4,37	63,8	15,4	1,91	0,956	4,05	0,0541	0,628	1,85	5,27	0,27
MS-12	0,41	100,87	4,55	67,1	14,6	1,75	1,04	3,61	0,0594	0,525	1,82	5,55	0,27
MS-13	0,46	98,86	3,77	65,2	14,9	1,83	1,17	3,61	0,0725	0,560	2,07	5,35	0,27
MS-14	0,49	98,90	4,00	67,5	14,1	1,54	0,917	3,03	0,0458	0,452	1,70	5,42	0,23

Tableau 4b

Echantillon	Sr	Ba	V	Ni	Cr	Zn	Cu
LD	0,7	0,5	0,3	0,9	1	10	10
MSR	291	1950	62,6	26,1	113	40	10
MS-1	89,2	721	112	33,7	81	70	40
MS-2	152	859	74,3	79,1	62	40	20
MS-3	350	1670	48,6	15,5	85	50	-
MS-4	250	1080	64,5	20,7	99	80	-
MS-5	306	1210	48,8	742	147	60	-
MS-6	310	1210	46,8	16,5	78	60	20
MS-7	264	1070	67,5	26,3	79	60	40
MS-8	335	1450	40,9	14,2	70	40	10
MS-9	368	1390	47,3	14,9	80	50	20
MS-10	281	1200	48,3	17,3	76	60	-
MS-11	269	1040	61,2	20,3	95	70	-
MS-12	323	1440	53,6	17,6	84	50	10
MS-13	310	1170	53,9	17,9	88	40	30
MS-14	310	1460	44,2	14,7	151	70	-

Tableau 4c

Echantillon	Co	As	Rb	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Sn	Sb	Cs	Hf	Ta	W	Pb	Th	U
LD	0,2	0,9	0,1	0,2	1	0,04	0,3	0,05	0,4	0,3	0,03	0,03	0,02	0,8	0,4	0,3	0,07
MSR	9,6	2,5	212	36,1	343	20,0	0,5	1,15	12,1	1,7	7,42	9,16	2,38	4,4	24,3	60,8	6,21
MS-1	14,2	3,7	147	24,2	282	12,1	1,0	0,50	6,3	4,4	13,9	6,97	1,17	4,8	25,1	13,0	6,24
MS-2	8,6	2,3	147	20,9	178	10,5	2,2	0,63	6,1	3,2	12,5	4,61	1,12	4,1	25,2	13,8	4,43
MS-3	7,5	2,4	255	25,9	325	14,9	0,5	0,41	9,8	1,5	14,2	8,88	1,95	6,6	38,8	30,6	9,18
MS-4	9,1	2,6	229	25,9	293	15,6	1,3	0,67	10,3	3,0	15,9	7,90	1,95	5,0	39,5	26,2	10,3
MS-5	7,6	5,9	258	22,9	271	14,9	0,7	0,57	11,7	3,4	14,4	7,19	1,81	5,0	45,8	35,4	8,79
MS-6	8,9	1,7	218	20,6	273	13,2	0,6	1,05	9,8	1,5	14,2	7,30	1,88	4,3	31,9	31,0	8,66
MS-7	9,9	3,9	224	25,0	240	15,6	1,3	0,30	9,9	3,1	16,0	6,21	1,86	4,5	36,5	26,3	10,1
MS-8	5,4	2,6	240	21,4	261	12,6	0,5	0,35	8,9	2,0	15,6	6,91	1,56	3,6	27,6	54,1	12,9
MS-9	7,3	1,6	259	21,5	243	14,8	0,5	0,40	9,1	1,5	15,5	6,57	1,74	4,4	28,6	27,3	10,1
MS-10	10,0	2,7	220	21,3	287	15,0	0,5	0,43	10,2	2,4	14,4	7,42	1,83	3,5	52,7	36,9	9,20
MS-11	9,6	2,0	229	25,1	324	17,0	0,5	0,39	11,2	2,1	16,7	8,59	2,00	3,7	41,5	38,2	10,1
MS-12	8,3	3,2	240	24,2	283	15,9	0,6	0,28	11,2	3,0	14,5	7,52	1,92	8,8	43,7	42,0	11,4
MS-13	8,1	3,2	233	22,6	249	16,6	0,5	0,80	10,0	2,1	13,4	6,59	2,02	4,0	34,0	36,6	9,11
MS-14	7,2	2,5	219	21,9	322	13,1	0,5	0,31	8,7	1,6	11,3	8,63	1,79	4,0	32,8	28,8	9,01

Tableau 4d

Ech	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LD	0,02	0,04	0	0,01	0,009	0,002	0,09	0,02	0,004	0,001	0,003	0,001	0,003	7E-04
MSR	84,1	177	19,6	75,48	13,4	2,399	10,7	1,32	6,917	1,279	3,64	0,506	3,348	0,52
MS-1	32,5	67,4	7,92	31,64	5,91	1,147	5,52	0,77	4,447	0,893	2,693	0,396	2,718	0,455
MS-2	31,2	66,9	7,41	28,74	5,52	1,001	5	0,7	4,052	0,778	2,311	0,331	2,238	0,349
MS-3	48	93,9	11,4	46,01	8,926	1,712	7,4	0,93	5,077	0,94	2,676	0,395	2,642	0,412
MS-4	43,1	91,8	10,3	40,77	7,751	1,403	6,71	0,88	4,891	0,95	2,724	0,402	2,707	0,424
MS-5	48	107	11,6	45,01	8,164	1,505	6,56	0,84	4,456	0,822	2,348	0,348	2,325	0,376
MS-6	41	85	9,77	38,73	7,139	1,435	5,71	0,75	3,999	0,738	2,189	0,326	2,18	0,351
MS-7	42,2	89	10,1	39,87	7,584	1,432	6,62	0,89	4,835	0,914	2,639	0,384	2,541	0,407
MS-8	108	203	24,1	84,59	12,5	1,848	8,39	0,93	4,528	0,787	2,288	0,318	2,07	0,335
MS-9	44,5	93,9	10,8	42,78	8,014	1,653	6,56	0,81	4,353	0,78	2,29	0,339	2,186	0,344
MS-10	42,9	88,2	10,2	40,4	7,485	1,396	6,01	0,77	4,198	0,763	2,22	0,333	2,195	0,353
MS-11	56,7	124	13,5	53,41	9,781	1,666	7,78	0,96	5,161	0,921	2,711	0,38	2,476	0,401
MS-12	50,4	119	12	46,72	8,781	1,736	7,04	0,9	4,915	0,887	2,566	0,361	2,388	0,381
MS-13	52,5	102	12,1	46,78	8,405	1,479	6,5	0,84	4,406	0,813	2,38	0,34	2,242	0,373
MS-14	40,4	78,8	9,89	39,51	7,668	1,553	6,1	0,78	4,33	0,775	2,316	0,337	2,182	0,362

VI - CONCLUSIONS GENERALES

La propriété de Mazet est située à un point triple géologique. Les bâtiments et les champs sont situés sur le granite de Saint Guiral-Liron (330 Millions d'Année ou Ma). Les schistes des Cévennes (340 à 350 Ma) dans lesquels ce granite est intrusif, y affleurent au Sud (contact granite-schistes sur la route de St Hyppolite du Fort). La couverture sédimentaire de ce socle (granite intrusif dans les schistes) est composée de brèche, gypse, calcaire dolomie et marnes du Trias, Jurassique dans la région de Monoblet (250-145 Ma) jusqu'au Crétacé dans la région de Saint Hyppolite du Fort. Cette couverture sédimentaire affleure juste au Nord de Mazet à Pailhès et le contact socle granitique- couverture sédimentaire dans la parcelle de Santa Maria. Mazet est situé sur une grande faille Nord-Est, Sud-Ouest allant de Pailhès à Le Pouget. Ces formations géologiques sont recoupées par le faisceau de failles lié à la grande faille NE-SO des Cévennes, limite Sud du Massif Central passant à Saint Hippolyte du Fort. Ainsi, Mazet est installé sur une grande faille parallèle à la faille des Cévennes (vallée et ruisseau à l'Est des champs) reconnue de Pailhès à Le Pouget.

Les cartes d'anomalies magnétiques montrent la présence de trois anomalies positives, couplées à des anomalies négatives, continues allongées dans une direction NE-SO parallèle à la faille des Cévennes. Il s'agit d'un réseau de trois failles avec du granite altéré par des circulations d'eau et précipitation de minéraux magnétiques. Un tel granite fracturé, humide par les circulations d'eaux et altéré (présence d'oxydes et hydroxydes de fer), s'observe notamment à droite du chemin qui descend vers le séchoir. L'amplitude de l'anomalie due à cette faille, caractérisée par une déformation cassante du granite, est d'environ 30nT (nano Tesla). Ce réseau de failles, converge vers la source (forage) pour constituer un noeud de failles. A cette jonction, une anomalie magnétique importante, caractérisée par un dipôle (anomalie magnétique positive/anomalie négative), traduit l'existence d'un granite très fracturé et oxydé par les circulations d'eau. Cet endroit est un réservoir d'eau avec des zones de stockage en cavité (qui explique l'ampleur de l'anomalie magnétique de 450 nT), constamment alimenté par les réseaux de fractures. Par ailleurs, sur la parcelle C situé à l'Ouest de Mazet, apparaît une anomalie magnétique positive assez large, en direction Est Ouest, ne correspondant pas au réseau de failles Nord Est Sud Ouest. Cette anomalie pourrait correspondre à un filon de roches magmatique riche en minéraux magnétiques de type basaltique au sens large, intrusif dans le granit, mais profond. Quelques éléments anthropiques (objets métalliques et galerie de source) ont été trouvés dans le secteur A et E

Les analyses des éléments majeurs et en trace des eaux ont été réalisées en absorption atomique et à l' ICPMS (Ion Condensed Plasma Mass Spectrometer). Les interprétations de premier ordre peuvent se résumer ainsi :

1. Les eaux sont tamponnées (Ph neutre à légèrement basique ou alcalin de 6.92 à 7.86).
2. Pas de pollutions en nitrates, ni en matières organique, ni en Pb, ni en métaux de transitions (Cr, Ni, Cu, Zn ...) ou en terres rares (traceurs d'engrais P et de pesticides).
3. Trois "types" d'eau ont été identifiées : type 1 (ME1, ME2 et ME3 : au Nord-Est de Mazet), type 2 (ME4 et ME5 : forage et en dessous) et type 3 (ME6, ME7 et ME8 : au Sud-Ouest et en bas de Mazet). Le type 3 se différencie le plus, le type 1 et 2 montrent des similitudes.

Le type 1, représente un premier pôle. Ces eaux sont les plus chargées en calcium, chlore, sulfate et sodium avec une corrélation entre le calcium, le sulfate et le baryum qui indiquerait que ces eaux ont traversé des niveaux sédimentaires de gypse ou anhydrite, associé à du sel, sans doute du Trias. Ces eaux sont riches en potassium, lié à un parcours dans de la végétation abondante par ruissellement (forêt).

Le type 3, représente le deuxième pôle. Ce sont les eaux les moins chargées en éléments, avec les teneurs les plus faibles en calcium, sulfate, chlore et magnésium, avec l'alcalinité la plus faible mais les plus riches en silice et sodium. Ces eaux ont séjourné pendant longtemps dans le granite.

Le type 2 est intermédiaire entre les deux. Il s'agit de l'eau du forage et du bassin des vieux champs. Elles ont les mêmes caractéristiques que le type 1 mais plus riches en silicium et sodium et en oligo-éléments et donc représentent un mélange entre des eaux ayant circulé dans des sédiments et des eaux ayant circulé dans le granite, même profondément.

Les eaux de pluie infiltrée est du type de celle que l'on échantillonne sur le littoral du Languedoc, riches en chlore (Cl) et sodium (Na). Elles ruissellent dans la forêt en altitude (au dessus de Pailhès) et traversent la pile sédimentaire Trias et du Jurassique avec des calcaires, des dolomies et du gypse. Ces eaux circulent ensuite à l'interface entre le granite ou les sédiments ou pénétrer par des fractures dans le granite. Elles acquièrent le type 2 et 3, en ayant circulé dans le granite (par interaction chimique avec cette roche) et en se mélangeant, à des degrés divers, avec des eaux qui viennent de la profondeur.

Les sols de Mazet sont de type « ranker », directement lié à la dégradation du granite sous-jacent. Leur composition est extrêmement homogène, très proche de la composition du granite, sauf MS2 prélevé dans la parcelle de la Reine des Prés du Haut qui est un sol enrichi en éléments calcaires. Les sols sont très peu lessivés en éléments solubles et très peu mature, ne contenant que très peu d'argiles et de matière organique. Au contraire, ils contiennent beaucoup de minéraux, notamment du quartz et de l'orthose qui explique leur richesse en silice et potassium. Le seul élément lessivé de la roche mère est le sodium (Na) avec une concentration divisée par 3 par rapport au granite, témoignant de l'altération de l'albite de l'albite en hydroxyde et argile. La composition en Terres Rares de ces sols témoigne d'un héritage direct de la roche mère granitique avec peu de lessivage et absence de toute pollution par des engrais ou pesticides. C'est un sol très riche en oligo-éléments. En effet, les compositions en éléments en traces (exprimées en ppm) dits métalliques ou oligo-éléments (V, Ni, Cr, Zn, Cu, As, Co, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Pb) ont des teneurs proches de celles du granite et en dessous des normes de pollution. Au maximum, la concentration est multipliée par 4 pour le Cu ou le Mo par rapport au granite (par adsorption sur certains grains). Une seule composition présente des teneurs anormales en Ni et Cr, résulte sans doute d'une pollution par un fragment de métal dans le sol.

Mazet est donc un site exceptionnel, entre autres, pour l'homme et la culture des plantes, grâce à une conjonction de facteurs importants : sa situation géologique, l'absence de pollution anthropique, les sols très minéralisés développés sur le granite, les eaux neutres à légèrement alcalines chargées en oligo-éléments, montrant qu'elles ont circulées dans les sédiments en surface et dans les fractures profondes du granite.

VII. ANNEXES

1- Situation des échantillons de sols et d'eaux sur le plan cadastral



2. Les éléments chimiques : leur nom et symbole

Tableau périodique des éléments

1 (1s)

1 IA

2 (2s)

2 II A

3

4

5

6

7

6 C

Principaux nombres d'oxydation :
(le plus fréquent est en gras)

Nom : Carbone

Symbole de l'élément : C

Masse atomique : 12,01

Electronégativité : 2,5

(2s) : deux électrons orbitaux

(3p) : trois paires d'électrons

18

VIII A

																		13	14	15	16	17	VIII A								
																		(3s)	(3s)	(3p 3s)	(3p 2s)	(3p 1s)									
1	2													5	6	7	8	9	10												
H	He													B	C	N	O	F	Ne												
Li	Be													Al	Si	P	S	Cl	Ar												
Na	Mg													Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr											
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Os	Rg	...																				
																		58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
																		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
																		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

éléments artificiels

métaux métaux de transition non métaux gaz rares et inertes

L'astérisque (*) signifie élément radioactif (instable)

Les masses atomiques actualisées (2001) sont tirées du site IUPAC : <http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/AM/>

*** Les coefficients d'électronégativité sont ceux de Mulliken (J.Chem.Ed. 65 (1988) p. 34) complétés, pour les métaux de transition, par ceux du livre de L. & P. Pauling (Chemistry, Wiley-Interscience & Co. (1975) p.178)

3- Les éléments majeurs de la croûte terrestre : le clic sur un éléments ouvre un fichier qui donne les propriétés de l'élément, leur comportement dans la croûte, les effets sur l'environnement et la santé. Le site internet est : <http://www.lenntech.fr/francais/data-perio/taux-elements-croute-terrestre.htm#ixzz1cXFQv0se>

Élément chimique	Pourcentage en poids dans la croûte terrestre
<u>Oxygène</u>	46.71
<u>Silicium</u>	27.69
<u>Aluminium</u>	8.07
<u>Fer</u>	5.05
<u>Calcium</u>	3.65
<u>Sodium</u>	2.75
<u>Potassium</u>	2.58
<u>Magnésium</u>	2.08
<u>Titane</u>	0.62
<u>Hydrogène</u>	0.14
<u>Phosphore</u>	0.13
<u>Carbone</u>	0.094
<u>Manganèse</u>	0.09
<u>Soufre</u>	0.052
<u>Baryum</u>	0.05
<u>Chlore</u>	0.045
<u>Chrome</u>	0.035
<u>Fluor</u>	0.029
<u>Zirconium</u>	0.025
<u>Nickel</u>	0.019

LA GEOLOGIE DE MAZET

Mazet est situé à l'extrémité Sud du socle du Massif Central, essentiellement composé de schistes, de gneiss et de granites formés au cours de l'orogénèse (=formation d'une chaîne de montagne) hercynienne ou encore appelée varisque, pendant l'ère primaire ou Paléozoïque entre 450 et 300 Ma (*Ma=millions d'années*). Par comparaison, l'orogénèse alpine (*formation des Alpes*) s'est faite pendant l'ère tertiaire ou cénozoïque entre 65 Ma et l'actuel.

La propriété de Mazet est située à un point triple géologique granite-schistes des Cévennes-roches sédimentaires. Les constructions de Mazet (maisons, séchoir, ateliers) et la plus part des terrasses sont installées sur le granite de Saint Guiral-Liron-Aigoual. Ce granite (*monzonitique à granodioritique*) a été daté de l'ère primaire ou Paléozoïque à 306 Ma, (*Stéphanien=un étage du Carbonifère supérieur de l'ère Paléozoïque*). Il est intrusif dans les schistes des Cévennes. Le contact avec les schistes est situé en bas de la propriété vers la route D39 qui mène à Saint Hyppolite du Fort. Le contact avec les roches sédimentaires en couverture de ce granite grès, calcaires, dolomitiques, gypse, marnes du Trias au Jurassique est situé au NE de la propriété, dans la parcelle de Santa Maria et au Nord à Pailhès et au Sud sur la D39 jusqu'à Saint Hyppolite du Fort, bâti sur les roches sédimentaires du Crétacé (*Trias, Jurassique Crétacé=systemes géologiques de l'ère Mésozoïque de 250Ma à 65Ma*).

Ces formations sédimentaires, non déformées, constituent l'essentiel du plateau et du sous-sol des Causses tabulaires, constitués de couches sédimentaires horizontales ou à faible pendage. Dans la région de Saint Hyppolite du Fort-Monoblet-Mazet, elles sont recoupées et déformées par plissement par de nombreuses failles, appartenant au grand faisceau de la faille des Cévennes ou encore appelé faisceau Cévenol. Il s'agit d'une grande zone décrochante sénestre d'orientation Nord-Est, Sud-Ouest large de 5 à 10km (*faille décrochante : faille dont le mouvement des blocs séparés par la faille est horizontal ; sénestre : lorsque l'on est sur un compartiment de la faille, on regarde celui qui est de l'autre côté de la faille se déplacer vers la gauche*). Ce faisceau cévenol limite au Sud le Massif Central de Ganges à Alès. Mazet lui-même est installé sur une grande faille majeure NE-SO qui va de Pailhès à Le Pouget, qui affecte le granite, les schistes et les roches sédimentaires.

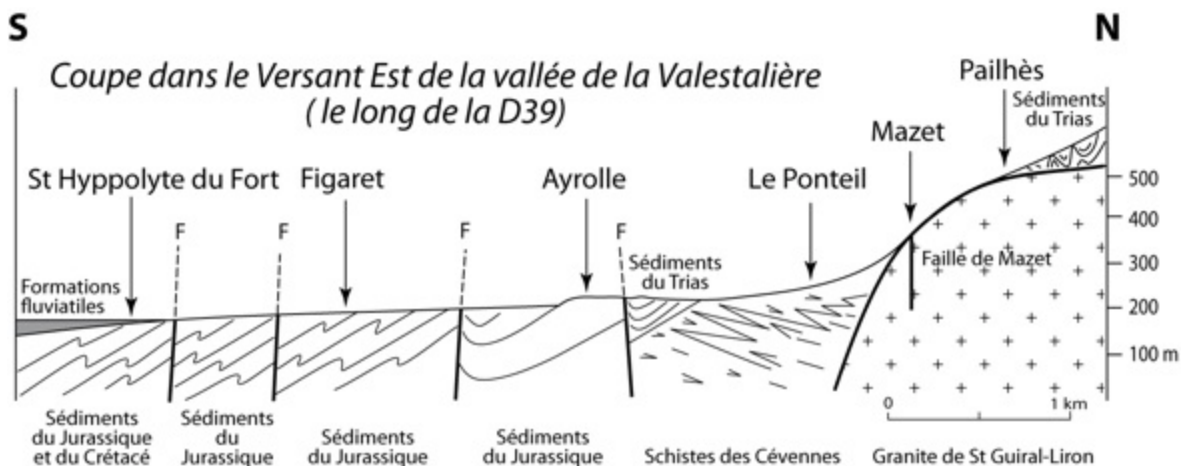
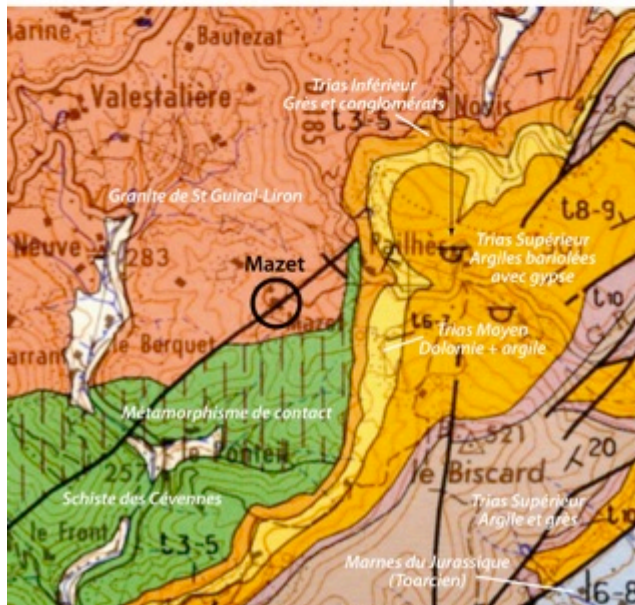


faille Pailhès /
Le Pouget

faisceau de la faille des Cévennes
= faisceau cévenol

Extrait de carte au 1/50.000ème du Vigan du BRGM, avec un agrandissement dans la figure du bas situant Mazet dans son contexte géologique au Nord du faisceau de la grande faille des Cévennes au point triple granite de St Guiral-Liron (en rose), schistes des Cévennes (en vert), sédiments en jaune, violet, bleu et vert foncé. Les traits noirs sont des failles.

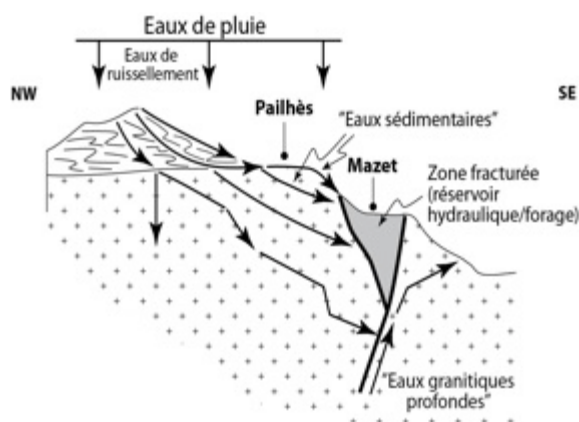
carrière de gypse



Coupe géologique de Pailhès à Saint Hippolyte du Fort

LES EAUX DE MAZET

Les eaux de Mazet sont de pH neutre à légèrement basique ou encore dit alcalin (« *eaux alcalines* »), entre 6,92 et 7,86. En comparaison l'eau de pluie est acide (pH=5,5). Ce sont des eaux qualifiées de tamponnées (*rééquilibrées d'un point de vue chimique par la circulation dans les roches, notamment dans les calcaires en couverture des granites et dans les granites*). Ce sont également des eaux douces (teneur en calcium inférieure à 63 mg/l) et avec des teneurs en magnésium faible (inférieure à 21,36 mg/l). Leur charge organique reste faible. Les éléments essentiels sont comparables à l'eau d'Évian, un peu plus salée (plus de sodium et de chlore, plus de sulfate). Il n'y a aucune pollution en nitrates, en Pb ou en métaux (Cr, Ni, Cu, Zn...), ni en engrais phosphatés ou pesticides. Ces eaux sont riches en métaux de transition, appelés oligo-éléments.



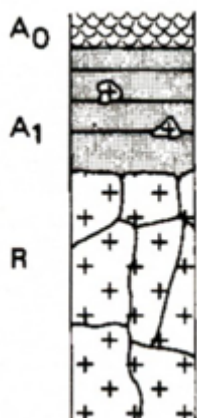
Trois types d'eaux ont été reconnus dans toutes les sources de Mazet :

- des eaux « sédimentaires », les plus chargées en calcium, chlore, sulfate et sodium montrant qu'elles ont circulées dans les sédiments (calcaires et gypse). Elles sont riches en potassium, lié à un parcours dans de la végétation abondante par ruissellement (forêt) ;
- des eaux « granitiques », avec les teneurs les plus faibles en calcium, sulfate, chlore et magnésium, avec l'alcalinité la plus faible mais les plus riches en silice et sodium. Ces eaux ont séjourné pendant longtemps dans le granite et peuvent venir de profond ;
- Des eaux de mélange (eau du forage alimentant Mazet).

Le parcours des eaux pourrait être le suivant (voir schéma ci-contre) : les eaux de pluie infiltrées ruissellent dans la forêt et la végétation en altitude (au dessus de Pailhès), traversent la pile sédimentaire. Elles circulent ensuite à l'interface entre le granite et les sédiments puis pénètrent par des fractures dans le granite. Elles acquièrent leur composition, en ayant circulé dans les fractures du granite (par interaction chimique avec cette roche) et en se mélangeant en partie avec des eaux qui viennent de la profondeur.

LES SOLS DE MAZET

Les sols de Mazet sont de type « ranker », directement lié à la dégradation du granite sous-jacent. Leur composition est très homogène et proche de la composition du granite sous-jacent. Seuls les sols prélevés dans le haut de la propriété, proches du contact avec les sédiments, sont enrichis en éléments calcaires. La composition des sols, comparée à la composition du granite, montre qu'ils sont très peu lessivés en éléments solubles, très peu matures, ne contenant que très peu d'argiles et de matière organique. Ils contiennent beaucoup de minéraux, notamment du quartz et de l'orthose, en grains fins issus du granite, qui explique leur richesse en silice et potassium. Le seul élément qui a été lessivé de la roche mère granitique est le sodium (Na) avec une concentration divisée par 3 par rapport à celle du granite, témoignant de l'altération de l'albite (un minéral sodique du granite) en hydroxyde et argile. C'est un sol très riche en oligo-éléments. En effet, les compositions en éléments dits métalliques ou oligo-éléments (V, Ni, Cr, Zn, Cu, As, Co, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Pb...) ont des teneurs proches de celles du granite. Au maximum, la concentration est multipliée par 4 pour le Cu ou le Mo par rapport au granite (par adsorption sur certains grains). Ce sont des sols qui sont dénués de toute pollution.



Les sols du type « ranker » se font sur du granite R. Au dessus d'une arène (sable de décomposition mécanique du granite) se constitue un horizon de type A1 contenant un mélange de matière minérale et de matière organique (moins de 30%). Au dessus et par endroit un horizon très fin de type A0, à plus de 30% de matière organique, le tout recouvert par une litière constituée de débris végétaux identifiables.

