

# Characterization of the aquifers in the mountains of the Mediterranean zone: An example of the central Corsica

B. Khouméri\*, J. Ferrandini\*\*, M. Ferrandini\*\*\*, C. Griolet\*\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\* : Université de Corse, Faculté des Sciences et Techniques,  
Laboratoire des Sciences de la Terre, BP 52, 20250 CORTE

\*\*\*\* : DIREN Corse, Chemin Agliani Montesoro, 20200 BASTIA

Email : \*[bkoumeri@univ-corse.fr](mailto:bkoumeri@univ-corse.fr), \*\*[jferrand@univ-corse.fr](mailto:jferrand@univ-corse.fr), \*\*\*[mferrand@univ-corse.fr](mailto:mferrand@univ-corse.fr)

\*\*\*\*[Claude.GRIOLET@developpement-durable.gouv.fr](mailto:Claude.GRIOLET@developpement-durable.gouv.fr)

Tél. \*04-95-45-00-39, \*\*04-95-45-00-57. Tel: 04 74 52 15 95

**Mots clé :** Corse, hydrogéologie, hydrogéochimie, aquifères, montagne

**Keywords :** Corsica, hydrogeology, hydrogeochemistry, aquifers, mountain

## Abstract

The centre of Corsica has high relief with altitudes greater than 2500m. The most recent modulus of pluviometry of this region (Meteo France data) evolved from 700mm to more than 1500mm per year. The infiltrated water contributes to feeding different aquifers, the organisation of which is related to regional tectonic. Corsica is made of two major units: to the West, the old Corsica which is constituted by a succession of hercynian granite, and to the East the alpine Corsica. These two units are separated by a major fault. This is marked out by units of different origins, containing, in particular in the region of Corte imbricated slices. They are composed of an inverted series formed by units which range from the carbonates of the Triassic to the residue of the Upper Jurassic. This geological and geomorphological complexity is mirrored by the diversity of the hydrogeology. As example, we present here the study of three aquifers drained by springs located on a zone of only 10 km in the Corte region : Noceta (fissured basement), Minesteghju (binar karstic) and Bistuglio (fissured and karstic).

The major elements plotted on Piper and Schöeller–Berkaloff diagrams show two families of water, conductivity allows to : the first one bicarbonated calcic and sodic corresponding to siliceous rocks The second one, bicarbonated calcic and magnesian, corresponds to carbonated environment. The mean conductivity is linked to the nature of the rocks.

The continual recording of the physical-chemical parameters of the source of Minesteghju permits us to conclude that almost 50% of the waters have a short residence, marked by the conductivity between 100 and 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The next half, of stronger conductivity (400 a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), corresponds to the reserves of the aquifers.

Compared evolutions analysis of discharge (after calibration), conductivity, temperature, pH and pluviometry in one part, and analysis of sorted discharge curves and recession curves in the other part, permit to identify the type of aquifer (complex, binary karst) and to estimate the storage capacity.

In this region the underground waters, although they are neglected for the drinking water supply, could be used as a substitute, and or a complement or as a principal resource for the small communities. This means an integrated and durable management, and or good knowledge of the aquifers of the mountain, is required.

## Résumé

Le centre de la Corse présente des reliefs d'altitude supérieure à 2500 m. Dans ce secteur, pour la période comprise entre 1950 et 1980, le module pluviométrique évolue de 700 mm à plus de 1500 mm par an. La quantité d'eau qui s'infiltre contribue à l'alimentation des différents aquifères dont l'organisation est liée à la tectonique régionale. La Corse comprend deux ensembles géologiques : à l'Ouest, la Corse ancienne constituée par un cortège de granite hercynien et à l'Est la Corse alpine. Ces deux unités sont séparées par un contact faillé majeur. Il est jalonné par des unités d'origines différentes, avec, en particulier dans la région de Corte, la présence d'écailles. Elles sont composées par une série inverse formée par des unités qui s'échelonnent du Trias supérieur carbonaté au Jurassique supérieur détritique. Cette complexité géologique et géomorphologique se traduit par une diversité des contextes hydrogéologiques. Nous présentons ici 3 aquifères des environs de Corte, drainés par des sources : Noceta, Minesteghju et Bistuglio.

La mise en évidence des différentes familles d'eaux a été obtenue par le traitement des données, concernant les éléments majeurs (sous forme de diagrammes de Piper, Schöller-Berkaloff) et les mesures de conductivité : la première bicarbonatée calcique et magnésienne correspond à un environnement carbonaté (Bistuglio et Minesteghju), la deuxième bicarbonatée calcique et sodique correspond à des eaux issues de grès et conglomérats siliceux. La conductivité moyenne est liée à la nature de la roche : faible pour Noceta (50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et plus élevée pour Minesteghju et Bistuglio (respectivement 300 et 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

L'enregistrement en continu des paramètres physico-chimiques de la source du Minesteghju permet de mettre en évidence qu'environ 50% des eaux ont un temps de séjour faible marqué par une conductivité entre 100 et 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la deuxième moitié, de plus forte conductivité (400 à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), correspond aux réserves de l'aquifère. L'analyse comparée des variations du débit (après tarage), de la conductivité, de la température, du pH et de la pluviométrie permet de décrire le comportement de l'aquifère qui semble complexe.

Ces résultats qui ne concernent qu'une année hydrologique (2006/2007) marquée par une sécheresse prolongée, montrent que la source du Minesteghju a un comportement singulier (système karstique complexe). L'acquisition de nouvelles données permettra d'approfondir ces conclusions préliminaires.

## Introduction

Dans les régions de montagnes, les eaux souterraines peuvent être utilisées en fonction des débits comme ressource de substitution ou comme ressource principale pour les petites communes.

C'est le cas de la région de Corte où de nombreuses sources existent. Leurs bassins versants reçoivent des précipitations très variables (de 700 mm à 1 500 mm) en liaison avec leur topographie. Les caractéristiques de ces sources sont également liées à la géologie (Fig.1). Deux ensembles d'unités se dégagent, séparés par un contact majeur. Le premier situé à l'Ouest correspond au socle hercynien granitique. Dans le secteur de Corte cette unité dépasse 2000m d'altitude. Le deuxième ensemble, situé à l'Est du contact correspond au domaine alpin dont l'altitude ne dépasse pas localement 1 000 m. Dans le Cortenais une zone d'écailles (d'une largeur maximale de 3 km) sépare le domaine alpin du socle hercynien.

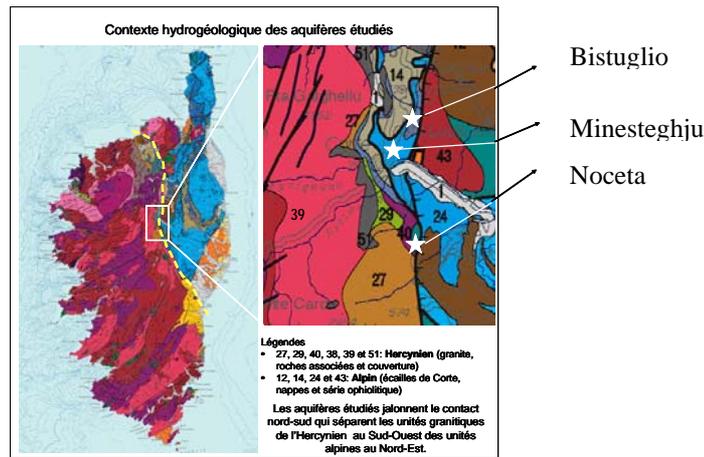


Fig. 1 Situation géographique et géologique des sources étudiées

Nous étudions ici trois aquifères de cette région, avec du Sud vers le Nord : les sources de Noceta, du Minesteghju et de Bistugliu.

La source de Noceta est utilisée comme ressource principale de la commune de Casanova ainsi que pour l'irrigation de cette même commune. La source de Bistugliu est utilisée comme ressource principale des villages de Bistugliu et de Tralonca, pour l'irrigation et l'abreuvement des animaux.

La source de Minesteghju alimente quelques fontaines de la ville de Corte et était utilisée autrefois comme source d'eau potable. Aujourd'hui, l'eau de l'Orta (rivière alimentée en partie par cette source) est pompée par quelques agriculteurs des environs. L'étude menée ici est réalisée en partenariat avec la DIREN dans le but de déterminer si prochainement cette source pourrait être utilisée comme ressource de substitution à l'eau de la Restonica en cas de sécheresse ou de pollution de la rivière.

Les résultats préliminaires exposés dans ce travail concernent l'année hydrologique 2006-2007 : courbes de débits classés, courbes de récession, courbes d'évolutions comparées des différents paramètres physicochimiques, du débit et de la pluie. L'analyse de ces différents résultats devraient nous permettre d'identifier le type d'aquifère, de décrire son fonctionnement et enfin, d'estimer sa capacité de stockage.

## Matériels et méthodes

### 1) Contexte hydrogéologique des aquifères étudiés (Fig. 1)

Les aquifères étudiés, Noceta, Minesteghju, Bistugliu, jalonnent le contact nord-sud qui sépare les unités granitiques de l'Hercynien au Sud-Ouest des unités alpines au Nord-Est.

La source de Noceta qui culmine à 700 m d'altitude est liée à trois unités géologiques. La première est constituée par le massif fissuré du Cardo (Eocène supérieur), la deuxième par les schistes lustrés carbonatés (Crétacé supérieur). Ces deux unités sont en contact par un système de failles N-S sub-verticales. La troisième unité est constituée par des dépôts fluvio-glaciaires formés de blocs hétérométriques, de grés éocènes emballés dans une matrice sablo-argileuse. Les eaux qui alimentent la source de Noceta sont donc issues du massif du Cardo et sont transportées par des conduits ou chenaux qui parcourent la formation fluvio-glaciaire. Le bassin versant a une superficie totale de 4.33 km<sup>2</sup> avec des altitudes comprises entre 661 et 2413 m. 50% de la surface ont une altitude supérieure à 1 600 m.

La source de Bistuglio se place dans un cadre géologique différent. Au nord de Corte affleure un massif de calcaire dolomitique du Trias supérieur, Lias inférieur. Il fait partie d'un ensemble d'unités, en série renversée, de natures variées : « les écaillés de Corte ». Il est encadré par des failles N-S à l'Est comme à l'Ouest. La source de Bistuglio se situe à environ 600 m d'altitude sur le flanc N du massif du Monte Ceccu (820 m). Cette unité calcaire ne présente pas de bassin versant topographique bien délimité en raison d'une infiltration rapide. La présence de tufs, non datés, dont l'épaisseur dépasse 10 m, témoigne d'une paléo-hydrogéologie différente de l'actuelle.

La source de Ministeghju se situe au Nord de Corte dans la vallée de l'Orta à 550m d'altitude. Ce secteur est formé par « les écaillés de Corte » qui comprennent là des unités calcaires (Lias et Trias) et conglomératiques (Crétacé supérieur) et qui s'appuient sur le granite hercynien. Elles sont surmontées par sa série ophiolitique. Le bassin versant a une superficie totale de 16 km<sup>2</sup> avec des altitudes comprises entre 390 et 1 951 m. 56% de la surface ont une altitude supérieure à 900 m. Les trois quarts du bassin versant topographique sont constitués par les granites.

## 2) Etude physicochimique des trois sources

Les dosages des cations majeurs (calcium, magnésium, potassium, et sodium) et des anions majeurs (chlorure, nitrate, sulfate, carbonate et bicarbonate) des trois sources sont réalisés par le laboratoire départemental d'analyse d'Ajaccio. Les concentrations exprimées en milliéquivalents par litre sont reportées sur les diagrammes de Schöller-Berkaloff et de Piper.

La conductivité et le pH sont régulièrement mesurés à l'aide d'appareils portables (WTW).

Une station de mesures équipe la source du Minesteghju (la plus importante). Placée dans la chambre de mise en charge, elle comprend :

- une sonde multiparamètres Actéon 3000 (Néotek) qui enregistre les paramètres physicochimiques (pH, rédox, conductivité, température, oxygène dissous) toutes les heures,
- un Thalimèdes (appareil de marque Ott, installé par la DIREN) qui mesure quotidiennement le niveau d'eau par un système de flotteur,
- une échelle limnigraphique.

Douze jaugeages ont permis de mesurer les débits de la source et d'établir la courbe de tarage (qui exprime la valeur du débit en fonction des hauteurs lues sur l'échelle).

Des données météorologiques (pluie, température, évapotranspiration) proviennent de la station Météo France de Corte (convention Université de Corse/Météo-France).

## Résultats et discussion

### 1) Etude générale des trois sources

Le report des éléments majeurs dans les diagrammes de Schöeller-Berkaloff et Piper montre la présence de deux familles d'eau : les eaux de Bistuglio et Minesteghju ont un faciès chimique du type bicarbonaté calcique et magnésien ; l'eau de Noceta est de type bicarbonaté calcique et sodique (Fig. 2 et 3).

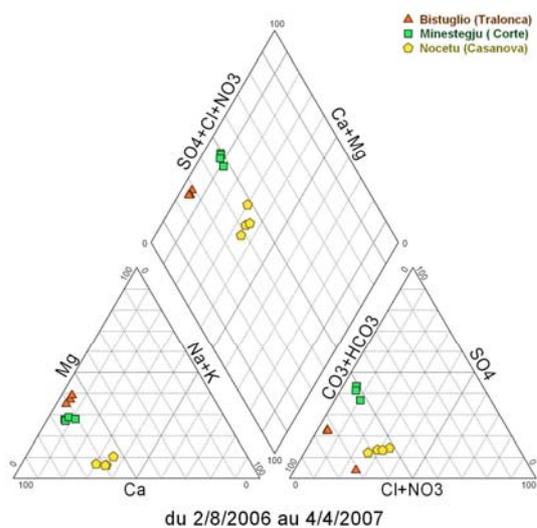


Fig. 2 : Diagramme de Piper

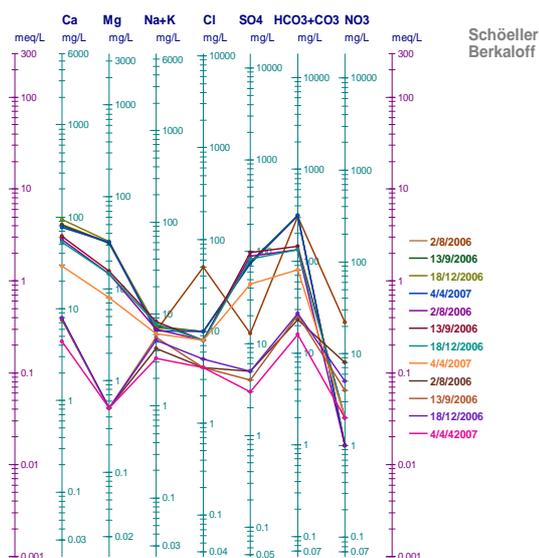


Fig. 3 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff

Les valeurs de conductivités s'accordent avec les faciès chimiques des trois sources : elle est en moyenne de 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les eaux issues des roches acides (source de Noceta), de 300 à 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les eaux issues de roches calcaires à dolomitiques (sources du Minesteghju et de Bistuglio). La conductivité, toujours élevée de cette dernière s'accorde avec un réservoir important qui permet la mise en équilibre chimique de l'eau.

Le fort débit d'étiage du Minesteghju (17 L/s) est remarquable. Il est largement supérieur à celui de la source de Brando dans le Cap Corse (Fournier, 1994). Pour la source de Noceta le faible débit d'étiage (0,5 L/s) est dû à l'existence de plusieurs émergences qui drainent le massif du Cardo. Pour Bistuglio (3 L/s) ce n'est pas le cas.

En conclusion, malgré la faible distance qui sépare les trois sources (6 km) mais à cause des contextes géologiques différents, les aquifères présentent une variabilité importante (Tab. 1).

Sources	Géologie	conductivité moyenne annuelle ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	débit d'étiage (L/s)	faciès chimique	nature des réservoirs
Bistuglio	calcaire dolomitique du Trias supérieur	600	3	bicarbonaté calcique et magnésien	fissuré et karstique
Minesteghju	calcaire du Lias	300	17	bicarbonaté calcique et magnésien	karstique binaire
Noceta	grès et poudingue siliceux	50	0,5	bicarbonaté calcique et sodique	milieu fissuré

Tab. 1 : Caractéristiques principales des sources

De par ses caractéristiques la source du Minesteghju a été choisie comme référence dans le cadre d'une étude plus approfondie des aquifères de montagne.

## 2) Principaux résultats de l'étude de la source du Minesteghju

Le cumul des précipitations relevé à la station Météo France de Corte est de 355 mm pour l'année 2006. Pour une année normale la pluviométrie moyenne est d'environ de 700 mm donc le cycle étudié correspond à une année à faibles précipitations (pluie et neige). Les résultats présentés ici sont donc préliminaires.

La variation des débits, mesurés par jaugeage, en fonction des hauteurs limnigraphiques est ajustée avec une bonne corrélation par la courbe de tarage d'équation polynômiale d'ordre 2 (Fig.4). Elle permet de transformer les niveaux mesurés quotidiennement par le Thalimèdes en débit.

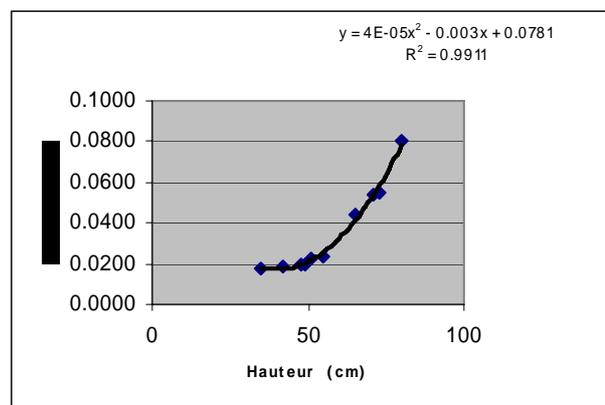


Fig. 4: Courbe de tarage

L'analyse des débits classés en ordonnée de probabilité est réalisée avec un intervalle de classe de  $3,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig. 5). La courbe obtenue comporte 3 segments de droite de pente différente ( $\alpha_1 > \alpha_2 < \alpha_3$ ). Elle permet de mettre en évidence le fonctionnement de l'aquifère [Mangin, 1971 in Marsaud]. Le changement de pente observé au point A (situé dans les faibles pourcentages) indique soit que les écoulements exploitent un système de drainage plus transmissif soit que le bassin est alimenté par un autre bassin versant. En B (situé dans les forts pourcentages) on peut dire qu'il y a mise en fonctionnement d'un trop plein et/ou stockage momentané dans un milieu moins transmissif.

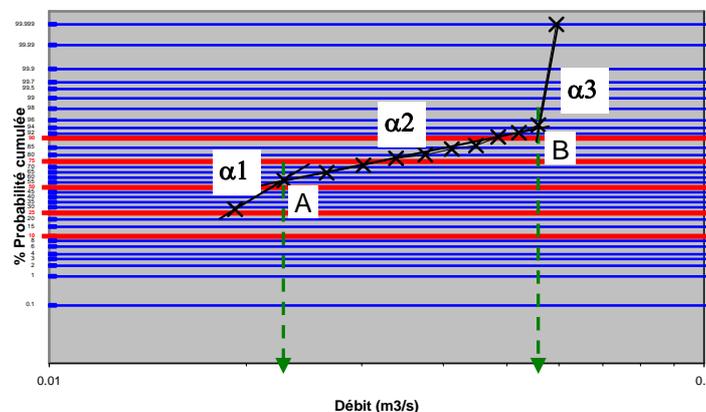


Fig. 5 : Courbe de débits classés (d'après B. Ladouche, BRGM Montpellier)

La courbe de récession étudiée correspond aux valeurs de débits comprises dans la période du 22/06/2007 au 30/9 2007. Les modèles choisis [Mangin 1970 in Marsaud] pour traiter la courbe de récession (Fig. 6) sont respectivement : pour l'infiltration le modèle de Boussinesq :  $Q_t = q_0 \frac{1-\eta t}{1-\varepsilon t}$  et pour le tarissement celui de Maillet :  $Q_t = Q_{R0} e^{-\alpha t}$  (avec  $\varepsilon$ =coefficient d'hétérogénéité de l'écoulement,  $\eta$ =coefficient d'infiltration,  $\alpha$ =coefficient de tarissement,  $q_0 = Q_0 - Q_i$  avec  $Q_i$  : débit d'infiltration à l'instant  $t_i$ , marquant le début du tarissement).

Les paramètres  $\alpha$  et  $Q_{R0}$  ont été déterminés pour un temps  $t_i = 26$  jours jusqu'à la fin du tarissement. Le coefficient de tarissement ( $\alpha = 0.0026 \text{ j}^{-1}$ ) est faible donc caractéristique d'un système inertiel, mal drainé, peu karstifié. Il permet d'estimer les réserves : le volume dynamique  $V_{\text{dyn}} = Q_i/\alpha * 86400 = 777\,600 \text{ m}^3$ . Le coefficient  $\varepsilon = 0.09$  a été calé afin d'ajuster au mieux la courbe modèle à la courbe expérimentale (infiltration). Plusieurs ajustements sont possibles, les résultats donnés ici correspondent à un ajustement moyen. Ainsi l'observation de la courbe de récession montre la complexité du système hydrogéologique. L'acquisition de nouvelles données sur plusieurs cycles devrait confirmer la position de cette source dans la classification de Mangin dans les systèmes complexes (Mangin, 1974).

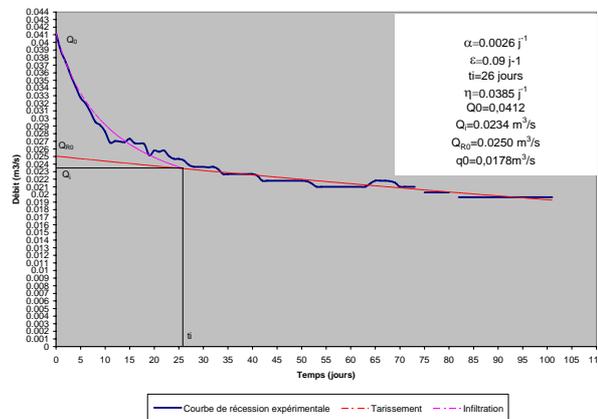


Fig. 6 : Courbe de récession (infiltration et tarissement) du 4 juillet 2007

L'évolution comparée de la pluie efficace, de la conductivité et du débit (Fig. 7 et 8) montre certaines corrélations. La courbe de débit présente trois domaines. Du 1 octobre 2006 au 10 février 2007 le débit est faible et constant. Du 10 février au 22 juin 2007 la courbe de débit est caractérisée par trois fortes augmentations. Du 22 juin au 30 septembre 2007 la courbe de débit enregistre le tarissement. Les réponses des débits par rapport aux pluies efficaces posent problème. En effet des pluies efficaces positives faibles, au printemps, correspondent aux plus fortes augmentations de débits. Il s'agit certainement d'apport supplémentaires dus à la fonte des neiges, ce qui est confirmé par la baisse de la conductivité pendant cette même période (Fig. 8). Celle-ci varie sur l'année de 145 à 465  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en corrélation inverse avec le débit.

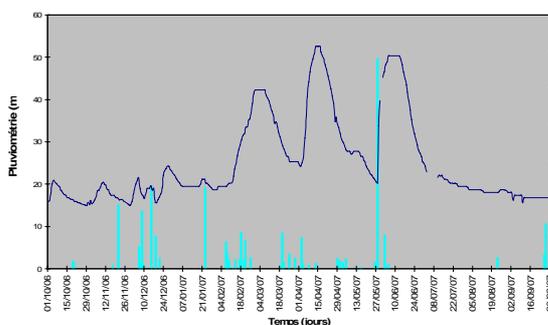


Fig. 7 : Courbes débits/pluie efficace positive

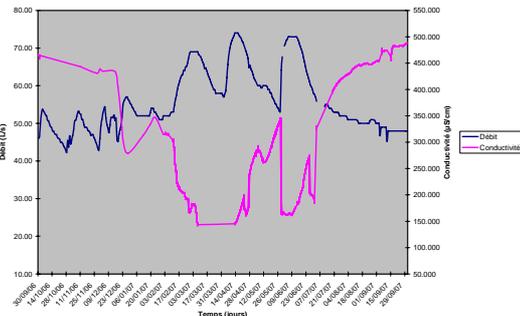


Fig. 8 : Courbes débits/conductivité

La distribution des fréquences des valeurs de la conductivité (Fig. 9) met en évidence trois modes. Celui correspondant aux faibles valeurs de la conductivité indique une circulation dans des drains alors que le mode trois s'accorde avec des eaux stockées dans des systèmes annexes. Cela rend compte de la complexité de cet aquifère.

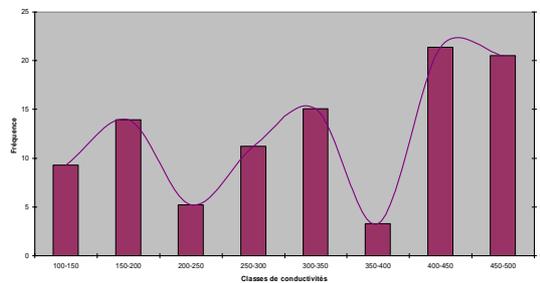


Fig. 9 : Distribution de fréquences des valeurs de la conductivité

### Conclusion

Les premiers travaux réalisés sur une seule année hydrologique, sur les trois sources et en particulier celle du Minesteghju ont permis de :

- reconnaître les caractéristiques physico-chimiques des eaux. Deux familles d'eaux ont été identifiées en conformité avec la géologie des bassins versants.
- construire la courbe de tarage et de donner son équation. De nouveaux jaugeages pour les forts débits en particulier seront entrepris pour conforter cette équation.
- établir la courbe des débits classés qui montre la complexité du système.
- montrer les relations entre le débit, conductivité et précipitations (pluies et neige). Sachant que cette année hydrologique est particulièrement sèche, l'acquisition de futures données est indispensable pour améliorer la connaissance du fonctionnement des aquifères.
- analyser une courbe de tarissement et estimer les réserves dynamiques. L'obtention dans le futur de nouvelles courbes de tarissement précisera le volume des réserves et permettra de positionner l'aquifère du Minesteghju dans la classification de Mangin.

Pour les prochaines années hydrologiques les études complémentaires porteront principalement :

- sur le calcul de la surface d'alimentation et de sa délimitation grâce aux données géologiques et aux essais de traçage.
- sur la relation entre les différents aquifères, par exemple rechercher s'il y a des relations entre Bistuglio et le Minesteghju.

### Références Bibliographiques

**Bakalowicz M.**, (1979). Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de

l'aquifères karstique et de la karstification , 269p.

**Ferrandini J. Griolet C., Gauthier A. et Ferracci-Ceccaldi J.-J.**, (2006). Hydrogéologie de la Corse, 758-766. in « Aquifères et eaux souterraines de France » Ouvrage collectif sous la direction de J.-C ; Roux, BRGM Edition, 944p.

**Fournier I.** (1994). Etude hydrogéologique de la source de « la Glaciaire » -Commune de Brando (Haute Corse). Rapport BRGM N 1847 4S/DR6 BAS 94, 6p et annexes.

**Mangin A.**, (1970). Contribution à l'étude d'aquifères karstiques à partir de l'analyse de courbes de décrue et de tarissement, Annales de Spéléologie, t 25,3, pp 581-609.

**Mangin A.**, (1971). Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique, Annales de spéléologie, t 26, 2, pp 283,329.

**Mangin A.**, (1974). Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques Annales de Spéléologie, t 29,3, pp 283-332.

**Marsaud B.**, (1996). Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux, Thèse de l'Université Paris XI Orsay, 286 p.