

Echange surface-souterrain

Cas du Karst de Païolive

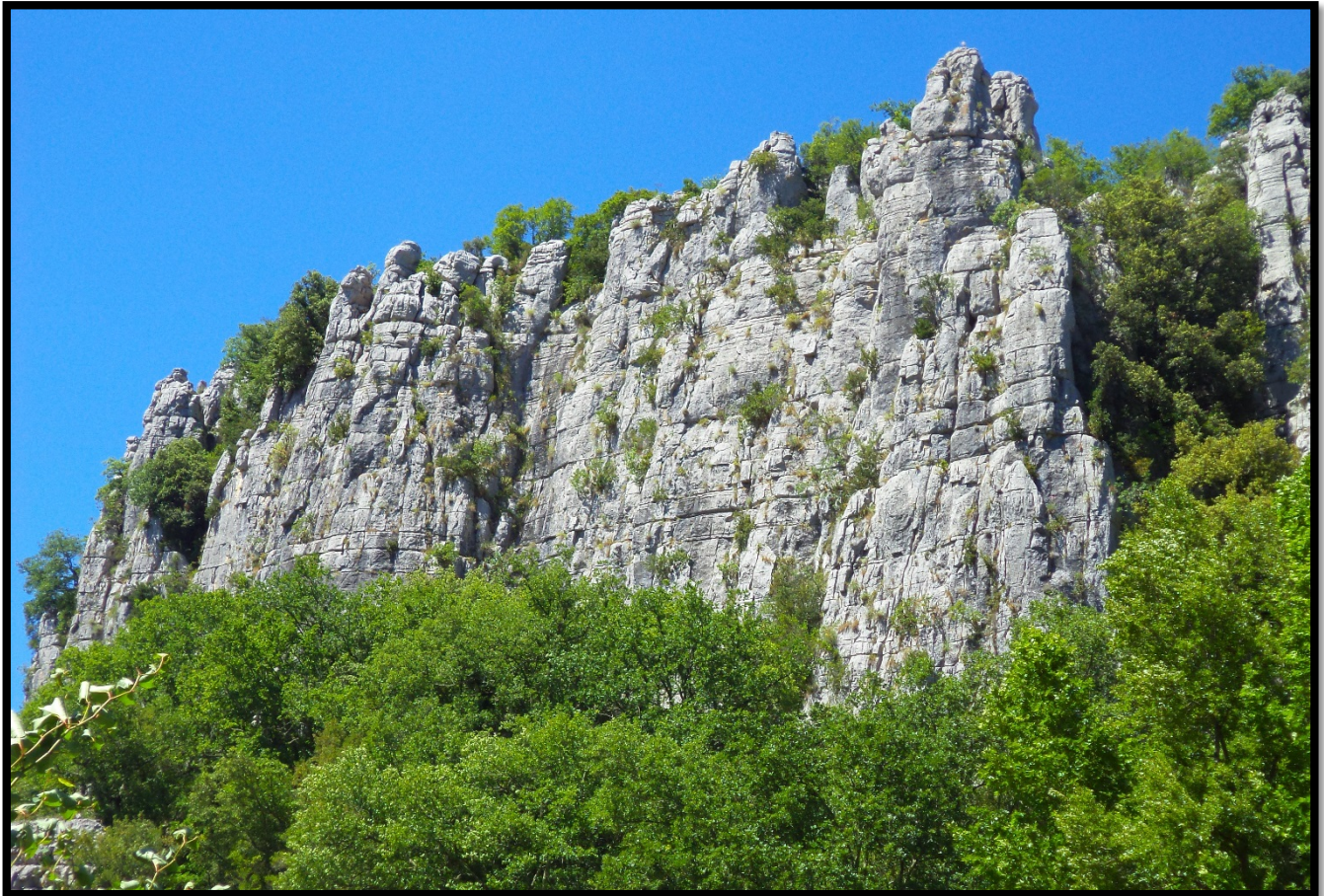


PHOTO 1 : GORGES DU CHASSEZAC 27/05/2015



Mémoire de stage

Master 1^{ère} année

2015



Remerciement :

Je dédie cette page à l'ensemble des personnes qui ont contribuées à l'existence et au bon déroulement de ce stage.

Je remercierai tout d'abord Séverin PISTRE qui m'a fait confiance et m'a permis de faire partie de cette étude. Je le remercie aussi pour m'avoir soutenu dans les différentes démarches administratives nécessaires à l'organisation des missions de terrains.

J'adresse également mes remerciements à l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée qui a financé cette étude ainsi qu'à la direction du SAGE Ardèche Claire et notamment Simon LALAUZE pour sa disponibilité et les renseignements qu'il m'a apportés.

Je remercie également les différents acteurs qui m'ont permis d'obtenir les données nécessaires à l'étude. Je pense en particulier à Rémi MULER pour les valeurs des sondes CTD et à Sandra Van-Exter pour les explications et les analyses chimiques ainsi que toute les personne de l'administrations du laboratoire qui m'ont aidées a l'organisation des campagnes terrains.

Je remercie également mes prédécesseurs Camille Clerc, Chloé POULIN et Malika FONTANEL pour leurs travaux et leurs résultats ainsi que Gilles RABIN pour ces études sur les dynamiques souterraines.

Enfin je remercie Valerian VOLPI pour m'avoir accompagné lors de la seconde sortie qui n'a pas été de tout repos.

Sommaire :

Introduction

Structure d'accueil

I. Présentation de l'étude

- a. La Géographie
- b. La Lithologie
- c. L'Hydrographie et la climatologie

II. L'hydrologie souterraine du réservoir karstique

- a. Fracturation et Karstification
- b. Présentation des sources et des captages
- c. Les relevés physico-chimiques

III. Analyses et mesures de terrains

- a. Interprétation des données CTD
- b. Organisation et déroulement d'une campagne de terrain
- c. Echantillonnage et analyses Hydrochimiques

Conclusion

Table des illustrations

Bibliographie

Annexes

Introduction :

L'objectif de l'état français d'évaluer avec précision les ressources en eau du pays est un moteur pour de nombreuses études comme celle qui fait l'objet de ce rapport. En effet, ce stage se déroule dans le cadre d'une étude financée par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse dont l'objectif est d'évaluer l'étendue et la qualité de la ressource en Eau du karst de Païolive au sud du département de l'Ardèche (07). Plus précisément, ce stage a pour objectif de clôturer cette étude en utilisant les résultats déjà obtenus et en exposant un modèle pour caractériser les échanges surface souterrains du karst de Païolive.

On peut donc présenter ce stage sous trois objectifs.

- Le premier étant une collecte des données et des résultats recueillis depuis le lancement de ce projet. Plusieurs personnes se sont partagé l'étude de cette région karstique. On notera les travaux de plusieurs chercheurs, stagiaires et techniciens du laboratoire Hydrosociences de Montpellier. Mais aussi les travaux de laboratoires privés comme le rapport de Gilles RABIN commandé par le CEBA sur le site d'exploitation de Gerbial. On tiendra également compte des nombreuses campagnes géologiques qui ont été menées dans la région.
- Le second objectif sera de compléter ces données afin de pouvoir affiner les résultats. Pour cela plusieurs campagnes sur le terrain sont organisées dans le but de prélever, mesurer et recueillir des données enregistrées par des sondes déjà en place. Une importante phase de traitement aura lieu afin dépurifier et de faciliter la lecture de tous les résultats.
- Enfin le troisième objectif sera d'exposer nos résultats aux différents acteurs de ce projet. Cela passera par la création de document de présentation illustré de schémas regroupant l'ensemble des résultats obtenus. Mais également la création d'un document QGIS qui positionne et offre un accès facile à ces données.

L'étude des milieux karstiques est relativement compliquée. Cela est dû aux nombreuses variables qui régissent les formations de ces systèmes. Les valeurs que l'on mesure nous permettent d'émettre des hypothèses sur les directions générales d'écoulement, mais il est difficile de déterminer exactement les dynamiques internes du karst. Afin d'obtenir une image la plus précise possible de ces dynamique nous rassembleront tout un éventail de données, allant de la fracturation du sol aux faciès chimique des eaux prélevées.

Structure d'Accueil :

Cette étude est menée par le laboratoire d'Hydrosciences de Montpellier. C'est un pôle scientifique en partenariat avec l'UMR, le CNRS, l'IRD et l'Université de Montpellier sous la direction de Patrick SEYLER, directeur de recherche à l'IRD. On y mène des recherches sur les sciences de l'eau en regroupant l'ensemble des spécialités qui y sont rattachées. Les études sont menées en suivant trois thèmes clefs qui sont :

- L'eau dans l'environnement et les risques associés
- L'eau ressource mobilisable et exploitable
- L'eau et les changements globaux

L'étude, dans laquelle est intégré ce stage, s'inscrit dans le second thème « L'eau ressource mobilisable et exploitable » sous la directive du SAGE porté par le Syndicat Mixte Ardèche Claire approuvé le 29 août 2012 par arrêté préfectoral. Ces actions sont menées sur l'ensemble du bassin versant en complément des opérations conduites dans le cadre des contrats de rivière, (EPTB Ardèche Claire - Syndicat Mixte Ardeche Claire 2012). Le Syndicat Mixte Ardèche Claire a été créé en 1982 il regroupe aujourd'hui 90 communes, riveraines de la rivière Ardèche et de ses affluents (Lignons, Fontaulière, Bourge, Volane, Auzon, Claduègne, Ligne, Ibie). L'ensemble

des syndicats du bassin de l'Ardèche sont sous la directive de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. C'est un établissement public sous la tutelle du ministère au développement durable et sous la direction de Martin GUESPEREAU. Enfin un partenariat a été créé avec l'association naturaliste de Païolive fondée en 2004 par Jean-François Holthof afin de faciliter les investigations de terrain.

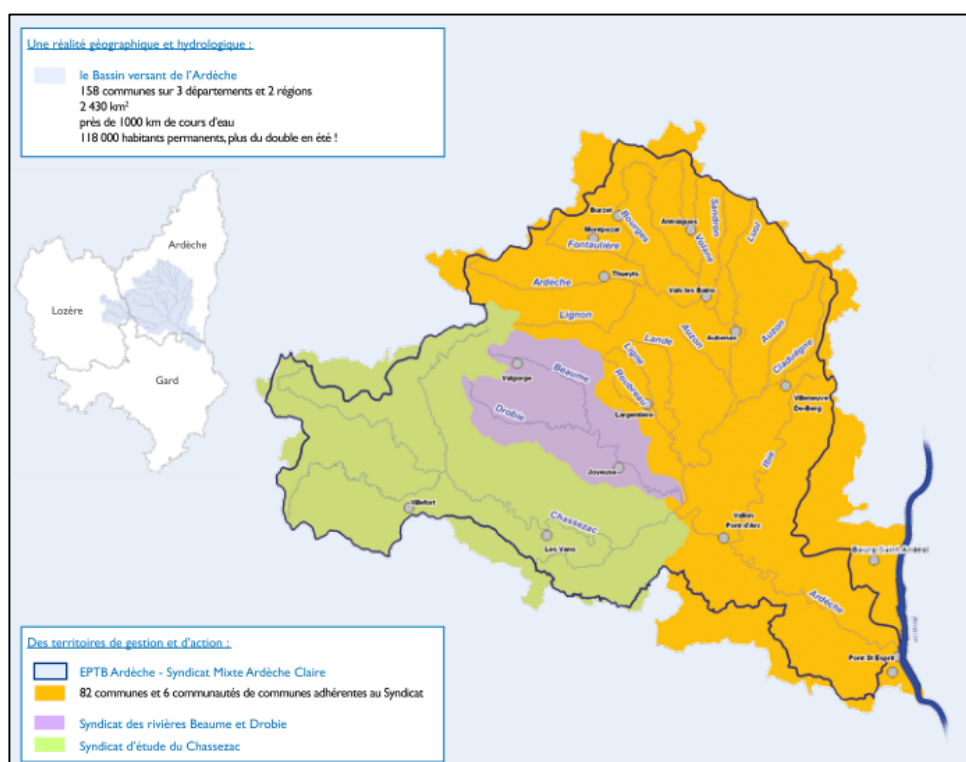


Figure 1 : Bassin Versant de L'Ardèche (EPTB Ardèche Claire - Syndicat Mixte Ardèche Claire 2012)

I. Présentation de l'étude :

a. La Géographie

La zone d'étude se situe dans le bassin versant de l'Ardèche. Plus exactement elle est formée du plateau karstique situé entre les rivières de la Beaume au Nord et celle du Chassezac au sud. Le plateau est délimité à l'ouest par la faille de Païolive et à l'est par la rivière de l'Ardèche et la partie aval du Chassezac.



Figure 5 : Carte IGN de la zone d'étude

Le plateau karstique est très peu habité même si l'on trouve quelques communes et lieux dits en bordure de la zone ou le long des cours d'eau. Les communes les plus importantes sont référencées ci-dessous.

Tableau 1 : Population des principales communes qui bordent la zone d'étude (Insee 2015)

Commune :	Joyeuse	Rosière	Grospière	Ruoms	Labeaume	Lablachère	Les Vans
Population :	1 714	1 229	894	2 298	646	2 018	2 830

Le sud de l'Ardèche est une région très touristique, sa démographie connaît une importante croissance en périodes estivales. Le tourisme est en grande majorité dépendant des cours d'eau par les activités proposées et par la position des sites d'accueil. En plus de l'enjeu écologique, la qualité des rivières en été a également une importance économique.

L'agriculture y est en revanche peu développée, elle se compose principalement de plantations de vignes dans la plaine triasique amont et de quelques fermes d'élevage.

b. La Lithologie

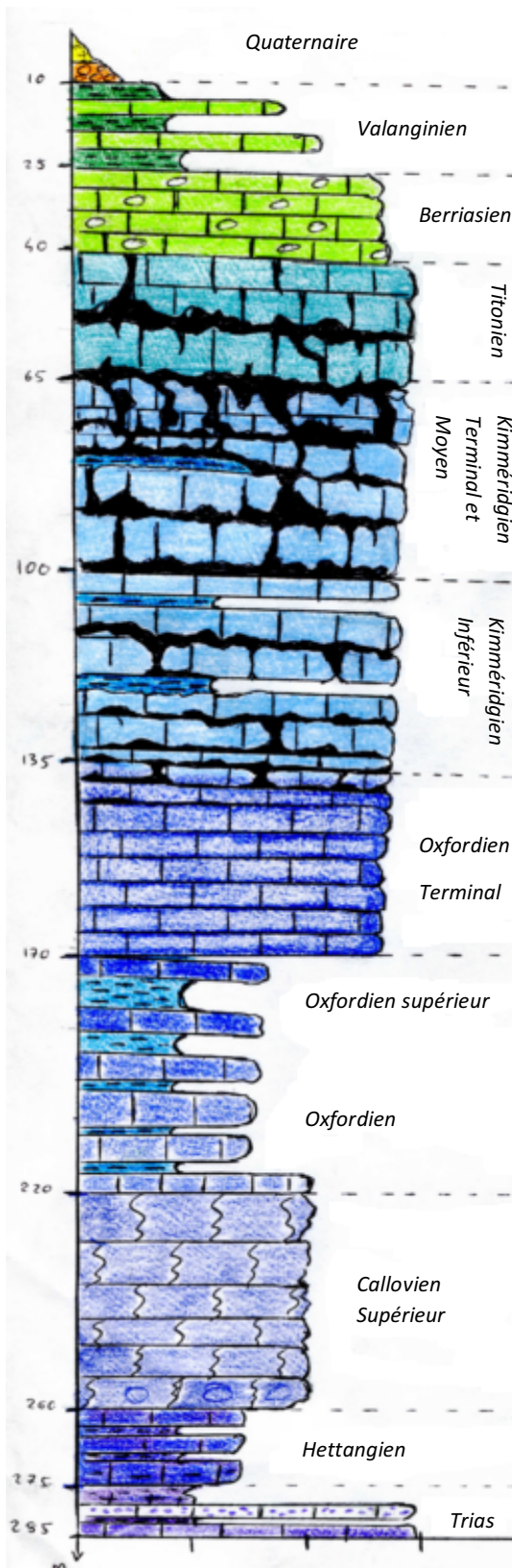


Figure 6 : Log stratigraphique de la zone d'étude

Le quaternaire est principalement formé de limon en bordure des cours d'eau. Le Crétacé se compose de deux couches sur la zone d'étude : Une valanginienne formée d'alternances marno-calcaires riche en ammonites, la seconde Berriasienne est formée de bancs de calcaires gris noduleux. Elles reposent sur les bancs de calcaire blanc du Titonien. On peut observer ensuite la série du Kimméridgien formée des calcaires ruiniformes de Païolive. Ce sont des calcaires gris moucheté à patine jaunâtre en banc de 2 à 3m posés sur les calcaires massif et compacte de la Beume qui forme le Kimméridgien moyen. Le Kimméridgien inférieur se compose de banc de 20 à 60 cm de calcaire gris clairs séparés de fins inter-lits argileux ou marneux. Les bancs deviennent plus fins puis on entre dans la série de l'Oxfordien formée dans sa partie terminale de bancs de calcaires gris noirs à patine blanchâtre. On notera dans cette série la présence de nodules de pyrite. L'Oxfordien supérieur et moyen est formé d'une alternance de bancs calcaires à grains fins et de lits de marnes noires. Ces couches sont peu perméables et riches en fossiles. Les couches marneuses sont plus fines en bas de série. En descendant la série on arrive sur une épaisse couche de calcaires Rognoneux et Carié de la série callovienne. La base du Jurassique est formée de calcaires argileux de l'Hettangien. On notera que l'Hettangien a une épaisseur bien plus grande par endroits que celle représentée ci-contre. Il est séparé du Trias par la faille de Païolive. Le Trias est formé de bancs de grès chenalisés d'argiles bariolées et d'arénites ; Son épaisseur est variable et il repose directement sur le socle Carbonifère.(S. ELMi et al. 1989)

c. L'hydrographie et la climatologie

Le plateau karstique est limité par trois cours d'eau. Au nord la rivière de La Beaume qui prend sa source dans le massif du Tanargue. Elle a une longueur de 43,9km. Au sud celle du Chassezac qui prend sa source au Mont Moure de la Gardille en Lozère. Elle coule vers l'Est sur une distance de 84.6Km.

Ces deux rivières se jettent dans l'Ardèche qui marque la limite est du karst. Ces cours d'eau ont des débits très variables en fonction des saisons. Ils représentent la majorité des ressources d'approvisionnement en AEP des différentes communes. Le Chassezac très sollicité, est aménagé en amont par plusieurs centrales hydroélectriques. Ces installations permettent également de maintenir un niveau naturel minimum en période sèche (voir Annexe 2). Les figures 4 et 5 montrent la variation des débits moyens mensuels. De plus, s'ajoute en Annexe 1 un détail des débits quotidiens des deux rivières pendant l'année 2014. (eaufrance.fr 2015b)(eaufrance.fr

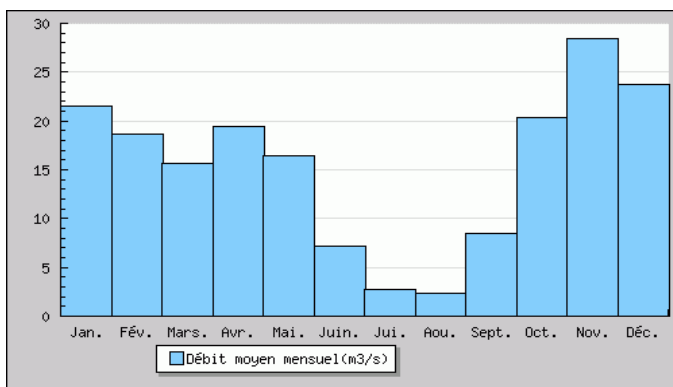


Figure 7 : Débit Moyen Mensuel du Chassezac (1971 à 2011) (données fournies par EDF 2015a)

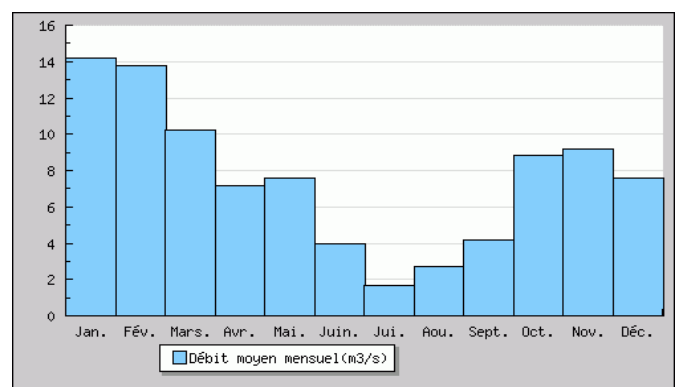


Figure 8 : Débit Mensuel Moyen de La beaume (1967 à 1982) (données fournies par DREAL Rhône-Alpes)

Plusieurs sources seront également présentées dans ce rapport. Elles seront décrites plus en détail en seconde partie.

Le climat y est méditerranéen cependant la proximité avec les massifs cévenols soumet la région à de fortes précipitations durant les mois d'octobre et novembre. Les relevés in-situ seront ici comparés avec des données pluviométriques mesurées au pluviomètre de la ville d'Aubenas situé à une quinzaine de kilomètres au nord de la zone. Cependant les précipitations varient peu d'un point à l'autre du bassin sud Ardèche. (Annexe 1), (Infoclimat s. d.)

II. L'Hydrologie souterraine du réservoir Karstique:

a. La fracturation et la karstification

On notera la présence de trois réservoirs souterrains distincts.

Le premier composé des calcaires kimméridgiens et titoniens forme le plus gros volume du plateau karstique. Son épaisseur varie de 100 à 130m (S. ELMI et al. 1989). Ce réservoir est intensément karstifié sous forme d'un vaste réseau souterrain dans les couches titoniques, puis le long de diaclases dans le Kimméridgien moyen et supérieur. Sur les zones où ces couches affleurent, on observe un système de lapiaz en rigoles, méandres et cannelures large et des formations ruiniformes. La karstification de cet aquifère débute à la limite du Kimméridgien et de l'Oxfordien avec une légère karstification des diaclases et des joints de stratifications.

Le second est compris dans les couches inférieures du Jurassique (Callovien, Hettangien), il est semi captif, isolé du premier par les marnes et les calcaires peu karstifiés de l'Oxfordien. Son épaisseur est très variable car par endroits certaines couches, de la série du jurassique inférieur, sont discordantes. La karstification y est peu décrite, mais la forte hétérogénéité des strates sédimentaire laisse à penser que la porosité y est très variable. On notera que ce réservoir est libre sur la partie ouest en limite avec la faille de Païolive ce qui en fait une zone de recharge.

Enfin, le troisième aquifère se trouve dans la série triasique. Il est réparti entre les couches d'arénites et les chenaux détritiques des bancs gréseux. Il repose sur le substratum cristallin carbonifère et est séparé des deux autres par la faille de Païolive. On notera que l'eau qui s'y trouve est en contact avec des couches évaporitiques et argileuses, on peut donc supposer une forte minéralisation de cette eau.

Malgré les différentes séparations qui existent entre ces réservoirs, on peut supposer que des échanges de fluides se font entre ces trois aquifères (A. GRAILLAT & A.M. MALATRAIT 1987),(VINET L. 1977).

Cette description de la karstification ne peut être dissociée d'une description plus détaillée de la fracturation. En effet, différentes études structurales menées sur le karst par M. FONTANEL (2013) et C. POULIN (2014) ont permis de définir les différentes directions de failles qui ont joué sur le karst. Tout d'abord une interprétation par photos aériennes haute définition comparée à des observations de terrain antérieures ont permis d'établir les directions principales des grandes fractures kilométriques. On notera deux axes principaux de fracturation N010°-N020°E et N130°-N140°E (FONTANEL 2013). Une étude de terrain sur des diaclases centimétriques a permis de compléter l'analyse. Cette étude menée sur les calcaires du titonien, kimméridgien et berriasien

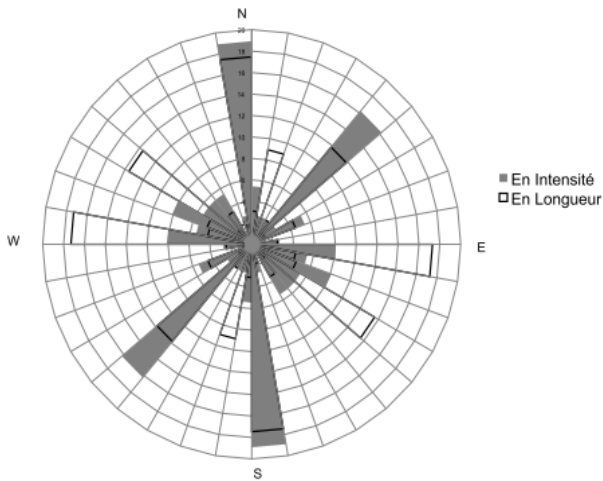


Figure 9 : Rosace directionnelle de l'orientation des galeries souterraines

révèle également deux directions principales, N020°E et N100°E. Ces deux directions correspondent donc aux directions principales de fracturations kilométriques.(POULIN 2014). Pour clôturer cette partie il est intéressant de présenter la rosasse directionnelle des axes des galeries souterraines construit par C. POULIN en 2014 grâce aux nombreux relevés spéléologiques réalisés notamment par Patrick SERRET (figure 6). On observe ici que les galeries s'orientent celons des axes proches de ceux de la fracturation. Cela fait bien le lien entre la

karstification et la fracturation.

b. Présentation des sources et des captages

Lors de cette étude plusieurs relevées hydrauliques et physico chimique ont été réalisés. Ces expériences ont en partie été réalisées sur les cours d'eau décrits précédemment, mais aussi sur plusieurs points d'eau situés sur le plateau karstique (voir annexe 6). La majorité de ces points d'eau sont des résurgences karstiques de type vaclusien mais certains sont des captages ou des forages d'exploitations. Cependant la faible exploitation de ces sources et du réseau souterrain en général s'explique par l'exploitation préférentielle des cours d'eau plus accessible et jamais asséché. Les divers points d'eau choisis dans cette étude ainsi que certains forages exploités sont décrits ci-dessous.

Tout d'abord les sources vaclusiennes :

- Fontgraze : Elle se trouve dans la série des calcaires de la Beaume du Kimméridgien moyen. La résurgence est aménagée pour une petite exploitation. L'eau provient d'un conduit karstique. On notera qu'à proximité il y a une perte directe d'eau de surface lors de précipitation.
- Bourbouillet : Cette source se trouve dans les calcaires du Titonique. Comme Fontgraze elle est relativement au centre du plateau karstique. L'eau sort d'un large conduit karstique non capté. Son débit est extrêmement variable et peut être nul en période d'étiage.
- Fontaine de Pelouse : C'est une résurgence qui provient du réseau karstique Titonien. Cependant cette lentille Titonique est encerclée par les calcaires du Berriasien. Son débit est très variable. On notera qu'elle se trouve aussi le long d'une importante faille N020°E qui s'étend jusqu'au abord de la source de Bourbouillet.

- Ranc d'Aven : Cette résurgence se trouve dans le Titonien en aval d'une colline surmontée par une fine couche berriasienne. Cette source est également située dans un réseau de petites failles N020°E.

Deux sources sont étudiées rive gauche du Chassezac :

- Ranc Rouge : Cette source se situe sur un talweg à la limite Crétacé - Titonique. On peut supposer que la résurgence d'un réseau karstique qui s'est développée à la jointure du Crétacé et du Jurassique.
- Résurgence des Tritons : Elle se trouve en bas de falaise formée du Kimméridgien terminal et du Titonien. Ces deux couches sont décrites comme karstifiées en vaste réseau souterrain. On peut donc supposer que plusieurs drains connectés débouchent sur cette résurgence.



*Photo 2 : Source Ranc Rouge
(asséché) (15/05/2015)*

Une source de déversement :

- Le creux de Bouchard : Cette source est la plus septentrionale de cette étude. Elle se situe dans le Callovien inférieur, plus exactement à la limite entre la couche marneuse et les bancs calcaires cariés de l'Oxfordien. On peut supposer que c'est la résurgence d'un réseau karstifié dans des bancs calcaires qui reposent sur le substratum marneux. De plus cette source est proche de la faille de Païolive et des couches triasiques.

Deux source rive gauche de la Beaume (hors Zone d'étude) :

- Chamontin et Roudezzet : Ces deux sources semblent drainer le karst situé au nord de notre zone d'étude. Il y a peu de chance qu'elles aient une quelconque influence sur le karst étudié ici.

Une source en Rive droite de La Beaume :

- Source de Boissin : Celle-ci se trouve dans la zone d'étude c'est l'une des très rare résurgences en rive droite de La Beaume. C'est une petite résurgence sous roche dans l'oxfordien terminal. Une partie de l'écoilement souterrain est captée une autre partie rejoint la rivière. Son fort débit en période d'étiage et sa situation laisse penser que l'eau provient d'une perte de la Beaume en amont.



*Photo 3 : Résurgence de Boissin (droite),
rivière de la Beaume (gauche)*

Enfin une zone de Forages et de puis d'exploitation :

Cette zone d'exploitation se situe aux abords du hameau de Gerbial. Elle se compose de quatre puits creusés dans les alluvions du Chassezac d'environ 5m de profondeur et de deux forages profonds (environ 70m) qui traversent les couches carbonatés. Un rapport détaillé commandé par le S.E.B.A et réalisé par G. Rabin existe sur ces forages.

c. Les relevés physico-chimiques

Les analyses hydrochimiques tout d'abord se divisent en deux parties. Une première sur l'étude des éléments majeurs et une seconde sur des éléments traces. Ce premier Diagramme de Piper retrace les différentes analyses d'éléments majeurs au cours des différentes campagnes de terrain (2009, 2013, 2014). Comme on peut s'y attendre pour des résurgences en terrains calcaires l'eau est hyper-carbonatée [CO_3+HCO_3] et hyper-calcique [Ca]. On observe cependant certaines variations sur les deux sources décrites plus haut : Le Creux de Bouchart au nord, est en contact avec des marnes et proche des agglomérations, cela joue sur sa composition hydrochimique. La Source de Boissin en bord de faille qui peut contenir des argiles et peut être influencée par les eaux de la Beume. (POULIN 2014)

Ce second diagramme de Piper provient du site d'exploitation de Gerbial on y retrouve l'analyse des puits de Fontaines, des forages profonds et des champs captants. Ce diagramme confirme bien le caractère carbonaté calcique de l'eau en aval de la zone d'étude.(RABIN 2010)

Une analyse Chimique des éléments Traces permet de mieux comprendre les différentes circulations de fluides dans le réservoir. Ces analyses porteront principalement sur les concentrations de Bore, de Baryum et de Strontium. Le rapport Bore et Baryum en fonction du Strontium montre un pic

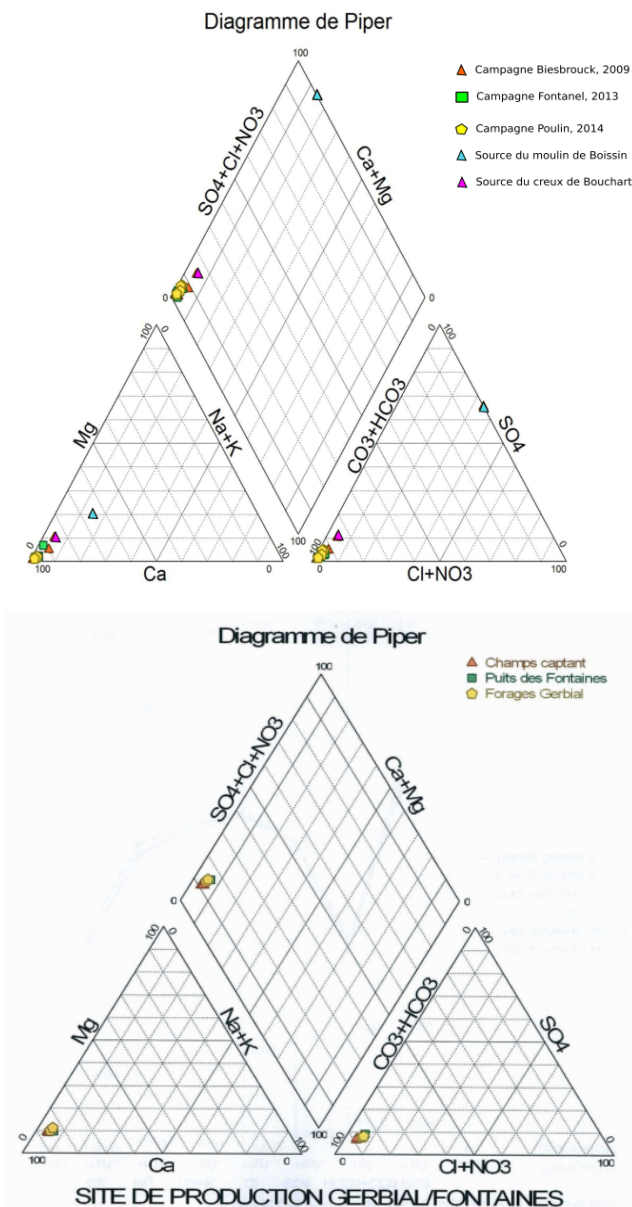


Figure 10 : Diagrammes de piper regroupant les différentes analyses d'éléments majeurs (POULIN 2014 et RABIN 2010)

de Bore sur le Creux de Bouchart et un pic de Strontium sur la source de Fontgraze. Cette dernière présente également une forte concentration en Baryum. (POULIN 2014)

Contrairement aux autres sources du karst, ces deux sources ressortent à cause de leur position dans la stratigraphie. Comme on l'avait dit pour les éléments majeurs, le Creux de Bouchard situé dans l'Oxfordien marneux se trouve à proximité de la faille de Païolive et du Trias. On a vu dans la partie précédente que des échanges pouvaient exister entre les trois aquifères et notamment entre celui du trias et celui de l'oxfordien. De plus plusieurs fractures font rejouer perpendiculairement la faille de Païolive ce qui facilite ces échanges. Le Creux de Bouchard étant l'unique source, étudié, drainant l'aquifère oxfordien on peut supposer qu'elle draine également une petite partie d'eau provenant de l'aquifère triasique riches en minéraux.

La source de Fontgraze elle se trouve au cœur des bancs kimméridgiens le long d'une faille majeure N120°E qui recoupe perpendiculairement la faille de Païolive et la limite avec le Trias. Comme pour le Creux de Bouchard on peut supposer des circulations de fluides à travers cette fracture. La suite de l'étude des éléments traces porte sur les concentrations isotopiques du Strontium pour clarifier les échanges entre les Rivières et le Karst. Le Chassezac et la Beaume prennent toutes deux leur source dans les massifs cristallins des Cévennes ou elles serpentent plusieurs kilomètres avant de traverser le karst. La composition chimique de leurs eaux en est donc modifiée et diffère des écoulements souterrains du karst, voir figure 7 (POULIN 2014)

Notre première observation portera sur l'évolution du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre l'amont et l'aval du Chassezac et de la Beaume. Dans le cas du Chassezac, ce rapport varie énormément pendant sa traversée du plateau karstique, ce qui indique un fort apport d'eau depuis le karst en revanche pour la Beaume ce rapport varie peu ; On a donc peu d'apport karstique. Cela est également dû au fait que la distance entre les points de mesures aval et amont est plus longue sur le Chassezac que sur la Beaume. Sur les sources étudiées, on observe que le rapport est légèrement plus élevé sur Fontgraze ce qui renforcerait l'hypothèse de la circulation de fluide dans les failles depuis le Trias et le socle Carbonifère.

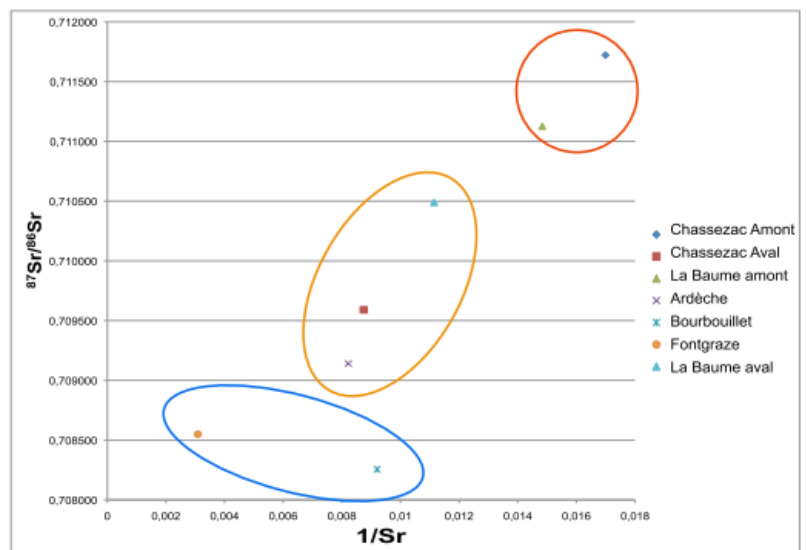


Figure 11 : Résultats de l'analyse isotopique du strontium

Sur les sources étudiées, on observe que le rapport est légèrement plus élevé sur Fontgraze ce qui renforcerait l'hypothèse de la circulation de fluide dans les failles depuis le Trias et le socle Carbonifère.

Une campagne de mesures hydrodynamique a été menée en parallèle. Elle a commencé par l'installation de sonde CTD *aqua4Plus* de la compagnie *Géotech* (Conductivité, température, pression) sur plusieurs des points d'eau référencés. Ces sondes ont été fixées à l'étiage afin de mesurer les variations des niveaux d'eau et les paramètres physiques de ces eaux. Les résultats ont été recueillis lors des différentes sorties terrain grâce au logiciel *Diver-office*. Les mesures sont prises en moyenne toutes les quinze minutes sur des périodes variables (voir calendrier des mesures annexe 3). Afin d'éliminer les variations de pression atmosphérique, trois baromètres sont également installés sur la zone d'étude. Les premières observations n'ont pu être faites que sur cinq sources en raison d'un niveau d'eau trop élevé pour récupérer les données. Un premier classement des sources est réalisé en comparant les données statistiques (Minimum, Maximum, Moyenne et Ecart Type) pour chaque paramètre. Il en ressort que les sources semblent avoir un fonctionnement similaire malgré de fortes variations de températures pour le creux de Bouchard et de hauteur d'eau pour Fontaine Pelouze. (POULIN 2014)

La Première observation est la relation directe entre les variations de niveau d'eau et les variations de conductivité et de température. Souvent un pic de crue lié à la précipitation va entraîner une chute des conductivités par dilution. Ces observations seront reprises et complétées durant ce stage.

III. Analyses et mesures de terrain

a. Interprétation des données CTD

Comme il a été dit précédemment, une partie importante de cette étude repose sur la mesure et l'observation en continue de données piézométriques, conductimétriques et de températures. Il est possible à partir de ces observations et des comparaisons entre les points d'eau d'émettre des hypothèses sur les circulations et le fonctionnement hydrodynamique du karst. C'est pourquoi la majeure partie de ce stage est consacrée au traitement et à la mise en forme de ces données. Actuellement dix points d'eau ont été équipés d'une sonde CTD dont deux d'entre eux sont équipés d'un baromètre. Un troisième baromètre est installé au hameau de La Croix. Toutes les sondes ont été relevées au moins une fois, ce qui permet de compléter les observations réalisées par Chloé POULIN en 2014.

Pour commencer, le traitement des données : il consiste à éliminer les données non cohérentes qui sont liées soit à des encombrements de la sonde par un élément extérieur ou alors simplement à un assèchement du point d'eau. Ces données sont éliminées par une formule Excel

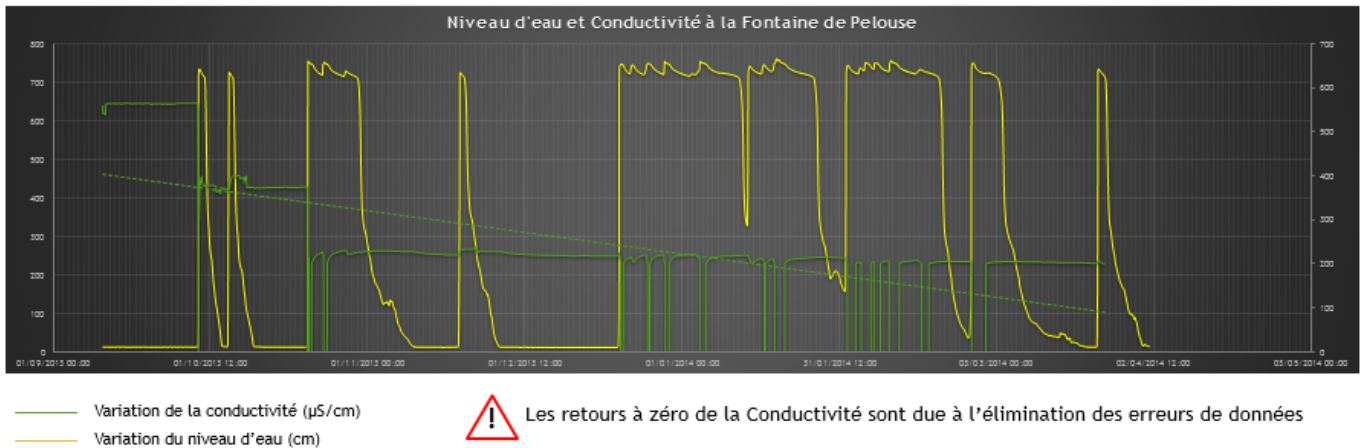
qui permet de conserver uniquement les valeurs comprises entre 100 et 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la conductivité et uniquement les valeurs supérieures à 0 pour la pression. La seconde partie du traitement consiste à retirer les pressions atmosphériques mesurées par les baromètres aux pressions mesurées par les sondes. Certains ajustements sont nécessaires lorsque le pas de temps de mesures est différent entre la sonde et le baromètre. Cette étape peut être réalisée automatiquement avec le logiciel Diver-office, cependant les résultats graphiques sont moins précis.

La seconde étape consiste à mettre en forme ces données. Lorsque l'on récupère les données sur les sondes, elles sont regroupées dans des tableaux Excel faisant plus de 10 000 lignes, il va sans dire que ça ne facilite pas la lecture. Le but de cette étape est donc de regrouper les données dans des graphiques sur lesquels on peut aisément observer les variations de conductivités de pression et de température en fonction du temps. Le temps en jour est indiqué sur l'axe des abscisses et deux axes des ordonnées donnent la conductivité, la pression et la température. Le pas de temps en jour de l'axe des abscisses permet de comparer facilement les données avec les pluviogrammes obtenus sur www.infoclimat.fr. (Voir l'exemple de graphique Annexe 4).

Les conductivités moyennes sont, pour la majorité des points d'eau, comprises entre 500 et 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La résurgence du Creux de Bouchard a une conductivité moyenne de 436 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cela est sûrement dû au fait que la source ne coule que lors des pics de précipitations. L'eau est donc sûrement diluée par les ruissèlements directs. La Fontaine de Pelouse possède la conductivité moyenne la plus faible, 270,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On peut supposer qu'une partie de son eau vient directement de l'un des cours d'eau par un réseau de drains karstiques. De plus, elle se trouve sur l'axe d'une faille majeure de direction N020°E et le graphique (Figure 8) montre bien que la conductivité dépend peu des variations piézométriques. En revanche cette conductivité augmente au cours de la saison sèche et décroît fortement pendant la période de précipitations (courbe de tendance en pointillés), ce qui montre une augmentation des temps de résidence en période estivale. L'eau a donc une origine relativement éloignée de la source, ce qui conforte la possibilité d'une conduite d'eau souterraine depuis la rivière de la Beaume le long de la faille lorsque la rivière possède un niveau d'eau suffisamment important.

Echanges surface souterrain Karst de Païolive

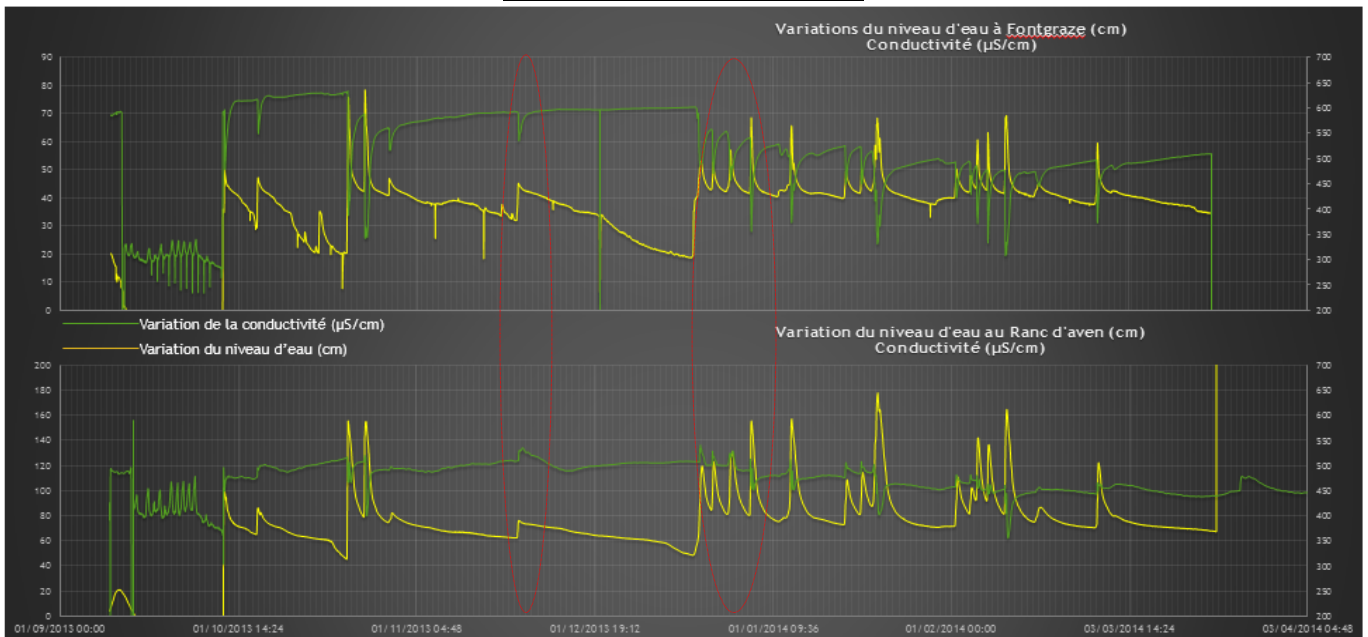
Figure 12 : Schéma des mesures de pressions et de conductivités réalisées sur la fontaine de Pelouse entre le 11/09/2013 et le 01/04/2014



Pour poursuivre nos observations, nous avons comparé une source située en amont avec une source en aval. On a pris pour cela l'exemple de Fontgraze et de Ranc d'Aven. On observe qu'en amont Fontgraze est beaucoup plus sensible aux écoulements de surface que Ranc d'Aven. Cela se voit très bien sur la figure 10, les variations piézométriques sont plus importantes au Ranc d'Aven, en revanche, les variations de conductivité sont bien plus importantes à Fontgraze. Cela conforte la thèse d'un écoulement Nord-Sud. Une autre différence est importante à noter. On observe clairement que sur Fontgraze une augmentation du niveau d'eau est instantanément accompagnée d'une baisse de la conductivité. En revanche sur Ranc d'Aven une montée du niveau d'eau est d'abord accompagnée d'un pic puis d'une baisse de la conductivité. On remarque même pour les plus petits pics de crue, juste une augmentation de la conductivité (entouré en rouge figure 10). Ce phénomène est d'autant plus marqué lorsque les périodes sans précipitations sont longues.

L'hypothèse ici, est qu'au cours des premières heures de précipitation on a un effet de « chasse d'eau » sur les différentes poches souterraines stagnante qui ne sont pas drainées en période d'étiage. Dans ces poches, l'eau se charge entre deux périodes de précipitation, ce qui explique une accentuation des pics de conductivités lors de longues périodes seiches. Le fait que ce phénomène de « chasse d'eau » ne soit pas observable sur Fontgraze montre bien qu'on se situe en amont du système car il n'y a pas de drains stagnants en amont de la source. Cela montre aussi qu'au sein du karst, il existe plusieurs niveaux d'écoulement. Certains de ces réseaux ne sont alimentés qu'en période de crues et rejoignent le même exutoire que les réseaux principaux (ici la résurgence de Ranc d'Aven).

Figure 13 : Comparaison des mesures de pressions et conductivités réalisées sur Fontgraze et Ranc d'Aven entre le 09/09/2013 et le 17/03/2014



b. Organisation et déroulement d'une campagne de terrain

Une partie de ce stage est composée de campagnes terrains. Les emplois du temps chargé de mes encadrants feront que la sortie prévue aura lieu après le rendu de ce rapport. Cependant, j'ai fait le choix d'organiser deux journées sur la zone d'étude le vendredi 15 mai 2015 afin de réaliser des échantillonnages sur les points d'eau et également dans le but d'observer d'éventuelles résurgences dans le lit du Chassezac et une seconde journée le 27 mai 2015 pour affiner le profil de conductivité du Chassezac et ainsi essayer de repérer précisément les zones où le karst est drainé par la rivière. La première journée a été réalisée avec un conductimètre/thermomètre, un GPS Garmin et des kits d'échantillonnage composés d'un flacon de 50cL, d'un flacon de 20cl, d'un flacon stérilisé à l'acide, d'une seringue stérile de 50cl et d'un filtre à seringue stérile de 0,22µm. Le niveau d'eau du karst étant très bas, seulement deux échantillonnages ont pu être réalisés. Le premier sur un écoulement souterrain de la source de



Photo 4 : Site de prélèvement de Boissin (15/05/2015)

Boissin accessible par un passage sous la route et une chatière dans la falaise. La conductivité et la température ont été également mesurées à la résurgence de la source sur la rivière et en amont

sur la rivière afin de comparer les eaux. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Mesures de températures et de conductivité a la résurgence de Boissin

Mesure réalisées au niveau de la source de Boissin		
Site :	Conductivité : ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Température : ($^{\circ}\text{C}$)
Écoulement souterrain	143,2	16,2
Résurgence de la Beaume	143,4	16,2
10m en amont sur la Beaume	121,2	18,1

Le fort débit de cette source et les faibles différences de conductivité avec la rivière laisse à penser que l'eau provient d'une infiltration de la Beaume en amont. Une faible partie de l'eau provient d'écoulements karstiques localisés qui font légèrement monter la conductivité de la source.

Le second échantillonnage a été réalisé au niveau de Ranc d'Aven sur un ancien captage désaffecté. Une citerne reliée au karst se trouvait dans le sous-sol de l'ancien bâtiment. L'eau



Photo 5 : Site de prélèvement de Ranc d'Aven (15/05/2015)

accessible par une échelle était un peu stagnante de plus d'anciens ferrillages s'oxydait dedans ce qui affecte les concentrations d'éléments Traces.

Cependant les mesures

coïncident avec celles de la source karstique asséchée. L'eau a été mesurée à 461,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 14,4 $^{\circ}\text{C}$. Malgré une proximité de la source avec le Chassezac, sa forte conductivité et sa faible température prouvent que l'eau est bien d'origine karstique et qu'elle ne dépend pas d'infiltration de la rivière même en période d'étiage. (Le Chassezac à Maison Neuve : 93,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 18,2 $^{\circ}\text{C}$). Au cours de cette journée plusieurs mesures ont été réalisées sur le Chassezac, mais les berges de la rivière étant très peu accessibles, les mesures sont trop espacées pour être interprétées. Cependant une mesure intéressante a été faite dans le ruisseau de Fontaine au Sud de St-Alban-d'Auriolles. Alors qu'on pourrait penser ce ruisseau alimenté par une perte du Chassezac, on y mesure une conductivité de 326 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une température de 13,6 $^{\circ}\text{C}$, contre 163,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 18,5 $^{\circ}\text{C}$ pour le Chassezac à ce niveau-là. L'eau de ce ruisseau a donc une origine karstique malgré le fait qu'il soit intégralement situé dans les couches d'alluvions. On a donc des échanges entre le karst et les alluvions de Gerbial indépendamment des affleurements calcaires amont.



Figure 14 : Carte IGN Ruisseau de Fontaine

La seconde campagne a pour objectif de réaliser une importante série de mesures conductimétriques le long du Chassezac pour faire ressortir précisément les points où le karst alimente la rivière. Nous avons pour cela utilisé un conductimètre/thermomètre ainsi qu'un GPS Garmin. Les mesures sont réalisées depuis un canoë biplace afin de pouvoir couvrir l'ensemble de la rivière. Des complications dues au mauvais état du canoë et au manque d'eau dans la rivière nous ont fortement ralenties dans notre descente. Nous avons donc réalisé les mesures entre Mazet Plage sur la commune de Casteljou et le pont de Grospièrre comme décrit figure 12.



Figure 15 : Position des points de mesures de la seconde sortie sur la photo satellite du Chassezac

Au jour de la descente, le 27/05/2015, le système karstique est à l'étiage. Le niveau d'eau dans la rivière est plus bas que lors de la première sortie et les conductivités sont bien plus élevées. Au niveau de Casteljou la rivière est mesurée à 85,9 μ S/cm le 18/05/2015 et à 141,1 μ S/cm le 27/05/2015. Les distances entre les points ont été calculées afin d'établir un graphique des

variations de conductivités en fonction de la distance par rapport au point de départ.

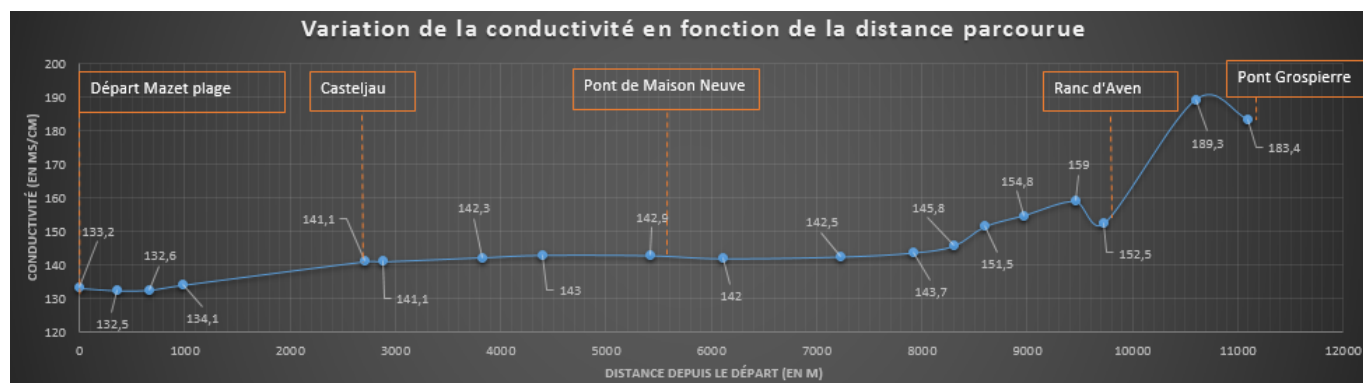


Figure 16 : Evolution de la conductivité le long du Chassezac 27/05/2015

On observe clairement que sur la première partie en sortie des Gorges du Chassezac, on a une très faible augmentation de la conductivité, même au niveau de la source des Tritons et de la source de Ranc Rouge, qui se jette pourtant dans le Chassezac.

- La première hypothèse à cette faible augmentation est que le karst alimente légèrement la rivière par les sources des tritons et de Ranc Rouge qui sont presque asséchées.
- La seconde hypothèse est qu'il s'agit simplement d'une évaporation importante au niveau des plans d'eau. Dans ce cas-ci les deux sources précédentes sont totalement asséchées.

En revanche sur la partie aval après Chandolas, on observe deux pics de conductivités. Ici le karst alimente clairement la rivière. Le premier pic à 159µS/cm correspond aux arrivées d'eau depuis le massif calcaire de Ranc d'Aven.

- L'hypothèse ici est que l'eau circule activement même en période d'étiage le long d'un réseau de failles majeures de direction N020°E que l'on observe sur la carte géologique.

Le second pic à 189,3µS/cm se situe un peu plus en aval on observe également des affleurements calcaires rive gauche et peut correspondre à l'aboutissement de drains souterrains. On peut supposer aussi qu'une partie de ce pic de conductivité est lié à une pollution anthropique car on se trouve ici juste en aval de l'énorme complexe touristique du Ranc d'Aven.

c. Echantillonnage et analyses hydrochimiques

Comme il a été mentionné dans le paragraphe précédent, une série d'échantillonnages a été réalisée sur les deux points d'eau observés au cours de la première journée de terrain. Ces échantillons ont permis d'analyser l'alcalinité et les concentrations d'éléments majeurs et traces de ces deux points d'eau.

Le matériel d'échantillonnage étant décrit dans le paragraphe précédent, nous décrivons ici les méthodes à appliquer pour chaque échantillon.

Tout d'abord pour les mesures d'alcalinités, l'échantillonnage est des plus simples, puisqu'il suffit de prélever directement dans le milieu un peu plus de 50mL d'eau. Pour les éléments majeurs, l'eau est prélevée par une seringue au préalable rincée. Un filtre de 0.22µm est fixé sur cette seringue. On injecte un peu d'eau afin le rincer le filtre et le flacon. Une fois l'ensemble rincé, on peut remplir le flacon d'eau filtrée. Enfin pour les éléments traces, la procédure est identique à celle des éléments majeurs. Cependant le flacon stérilisé est en plus protégé dans un sac étanche et il faut rajouter quelques gouttes d'acide nitrique HNO₃ pour éviter une précipitation des éléments.

Une première analyse des échantillons a été effectuée le lundi 18 mai 2015 afin de déterminer l'alcalinité et les concentrations d'ions majeurs des eaux étudiées. Pour l'alcalinité, l'échantillon de 50mL est titré au HCl 0,1mol/L afin d'obtenir un volume équivalent et de déterminer ainsi les concentrations de HCO₃⁻. On notera que comme tous les Ph sont inférieurs à 8,4 on ne mesurera pas de CO₃²⁻. Pour les concentrations d'éléments majeurs, les mesures se font automatiquement par conductimétrie et comparaison avec des solutions étalons. Cette première étude hydrochimique donne les résultats ci-dessous.

Tableau 3 : Résultat des mesures d'alcalinités et des éléments majeurs

Résultats des alcalinités et des éléments majeurs (prélevé le 15/05/2015)											
(analysé le 18/05/2015)											
Nom	Conductivité	Température	Ph	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
	µS/cm	°C		mg/L & meq/L							
Source de Boissin	143,2	16,2	6,57	75,1 1.23	3,5 0.10	1,8 0.03	8,6 0.18	19,5 0.97	3,1 0.26	3,7 0.16	0,9 0.02
Source de Ranc d'Aven	461,0	14,4	7,41	277,3 4.54	2,3 0.06	0,3 0.00	3,2 0.07	95,8 4.78	1,2 0.10	1,5 0.06	0,0 0.02

On remarque de fortes différences entre ces deux eaux. Cela semble conforter les hypothèses que l'on a émis dans le chapitre précédent. En effet, la source de Boissin semble bien alimentée par une perte de la Beaume ce qui explique cette faible concentration en Ca²⁺ et HCO₃⁻. On remarque aussi que les concentrations des autres éléments sont supérieures à la résurgence de Boissin. Cela peut être lié à des pollutions anthropiques. En effet avant de traverser le karst la rivière de la Beaume longe les deux villages de Joyeuse et Rosières et traverse des exploitations viticoles. Si cette dernière est bien reliée à la source il est normal de retrouver ces polluants dans nos échantillons.

Conclusion :

L'objectif principal de ce rapport est d'apporter un éclairage sur les dynamiques souterraines au sein du karst de Païolive ainsi que sur les échanges surface/souterrain.

La première approche a été de regrouper les différents résultats recueillis depuis le début de l'étude afin de faire ressortir une image structurale et physico-chimique du karst. Les données sur la lithologie, la fracturation et la karstification nous donnent une idée claire des axes de circulations préférentiels. Deux axes ressortent donc, un N020°E et un N120°E. Les drains s'articulent le long de failles majeurs formées et rejoué au cour des différents évènements tectoniques. De plus la majorité de ces drains se situent dans les couches du Kimméridgien et du Titonien qui sont décrites par les géologues comme étant les plus fortement karstifiées. Ce sont également dans ces couches que se développent les vastes réseaux souterrains explorés par les spéléologues. Le recensement des différents points d'eau montre qu'ils sont principalement situés sur, ou en prolongements de ces failles. De plus les études Physico-chimiques étayent également l'hypothèse de circulation le long des failles. Les éléments chimiques retrouvés dans les eaux sont des résidus marneux ou argileux que l'on observe le long des fractures. Des éléments d'origine cristalline montrent également que les fractures créent des ponts de circulations entre les trois réservoirs décrits par les hydrogéologues.

La seconde étape est un récapitulatif des observations réalisées au cours du stage qui permettent de compléter les résultats décrits précédemment. Ainsi l'étude détaillée des données de pression, conductivité et température a permis de confirmer un sens d'écoulement Nord/Sud sur le karst. De plus on a observé l'existence de plusieurs niveaux d'écoulements. En effet certains points d'eau sont les exutoires de plusieurs réseaux de drains. Certains de ces réseaux ne sont alimentés qu'en périodes de crues. Une autre hypothèse qui a été émise est l'alimentation de réseaux karstiques depuis la rivière de la Beume. Cette observation a été prouvée à petite échelle au niveau de la source de Boissin mais il est probable que ce phénomène est également lieu plus en aval et que l'eau alimentent, après un séjour dans le karst, des sources rive gauche du Chassezac. Cela s'observe sur la fontaine de Pelouse qui possède une conductivité anormalement faible et une réactivité aux pics de crues différentes des sources voisines.

Le stage se poursuivant, ces résultats seront complétés et présentés devant les différents acteurs de ce projet afin d'être utilisés au mieux dans la gestion de l'eau du sud de l'Ardèche. Il serait pour la suite intéressant d'observer les variations de conductivités sur le Chassezac aux endroits qui n'ont pu être observés. Une étude plus détaillée de débits sur la Beume permettrait de mieux cibler les zones d'infiltrations dans le karst.

Bibliographie :

A. GRAILLAT & A.M. MALATRAIT, 1987. Recherche d'eau souterraine pour l'irrigation dans trois secteurs du Sud-Est de l'Ardèche.

eaufrance.fr, 2015a. La Beaume à Saint-Alban-Auriolles. Available at:
<http://www.hydro.eaufrance.fr/stations/V5045020&procedure=synthese> [Consulté le mai 5, 2015].

eaufrance.fr, 2015b. Le Chassezac à Chambonas [Les Bertronnnes]. Available at:
<http://www.hydro.eaufrance.fr/stations/V5035010&procedure=synthese> [Consulté le mai 5, 2015].

EPTB Ardèche Claire - Syndicat Mixte Ardeche Claire, 2012. L'eau au coeur du bassin versant de l'Ardèche. Rapport d'activité.

FONTANEL, M., 2013. Etude du Secteur Karstique compris entre la Baume et le Chassezac.

Infoclimat, Climatologie mensuelle à Aubenas | climatologie depuis 1900. Available at:
<http://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/07570/decembre/2014/aubenas.html> [Consulté le avril 30, 2015].

Insee, 2015. Insee - Populations légales 2012. Available at: <http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/recensement/populations-legales/> [Consulté le avril 29, 2015].

POULIN, C., 2014. Etude et Fonctionnement Hydrodynamique du Karst de Bourbouillet.

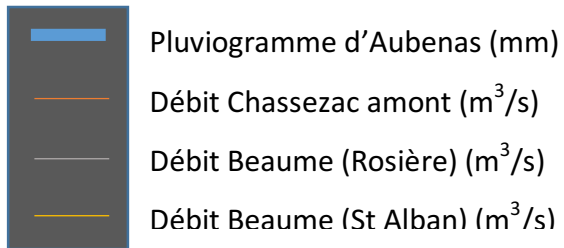
RABIN, G., 2010. Etude hydrogéologique de « Gerbial / Puits des Fontaines ».

S. ELMI et al., 1989. Notice explicative de la feuille Bessèges à 1/50 000.

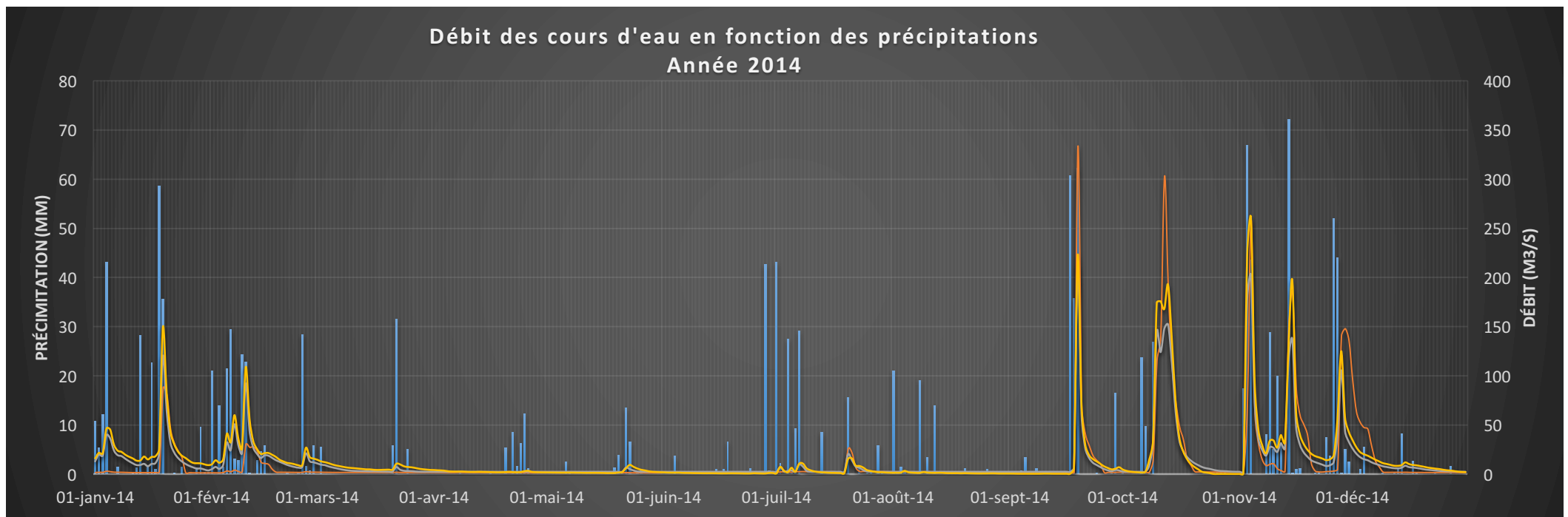
VINET L., 1977. Étude de géodynamique externe du synclinal de SaintAndré-de-Cruzières (Ardèche).

Annexe 1

Précipitations journalière sur le pluviomètre d'Aubenas et débits moyens journaliers de la Beume et du Chassezac pour l'année 2014

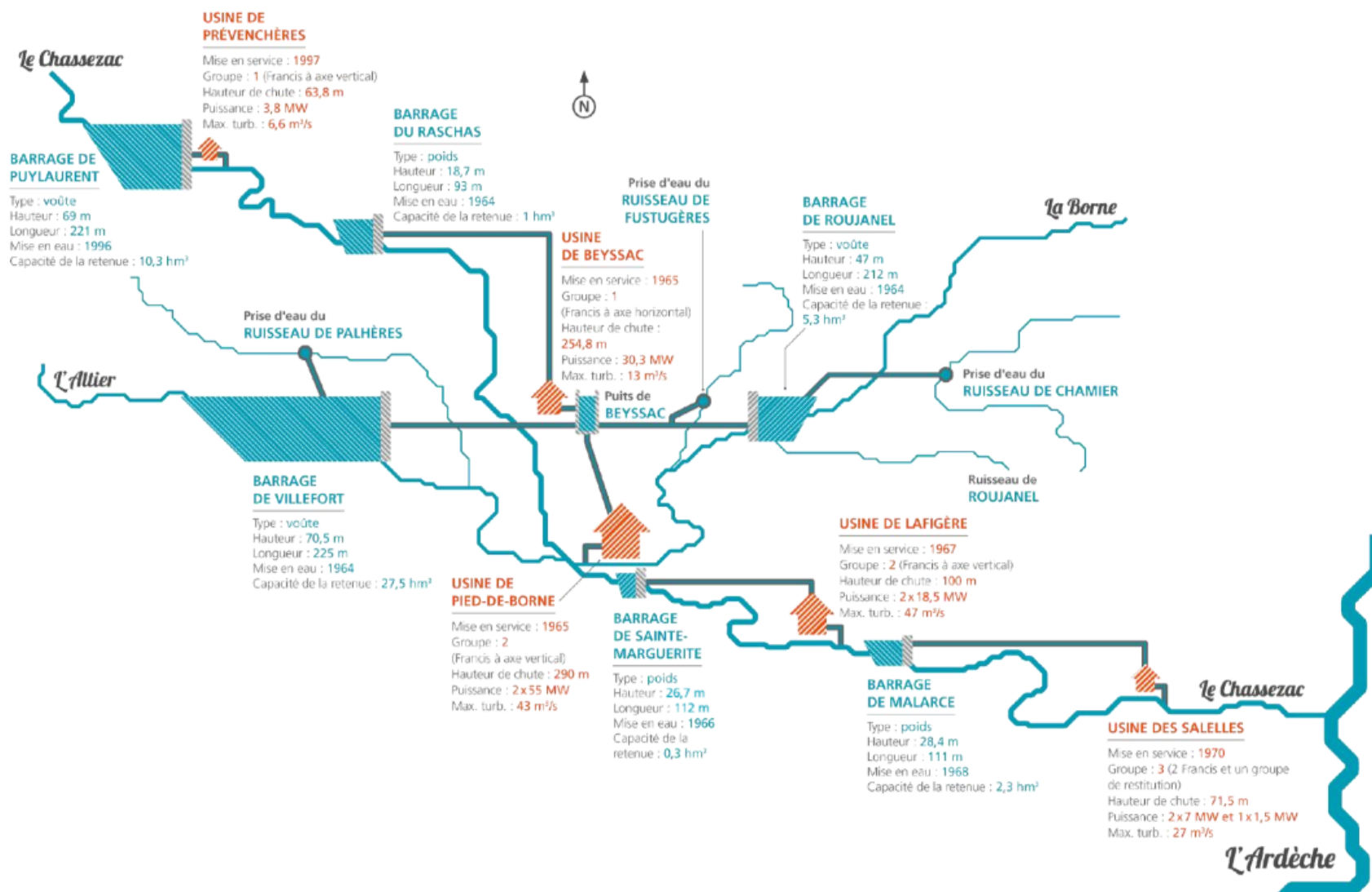


Débit des cours d'eau en fonction des précipitations
Année 2014



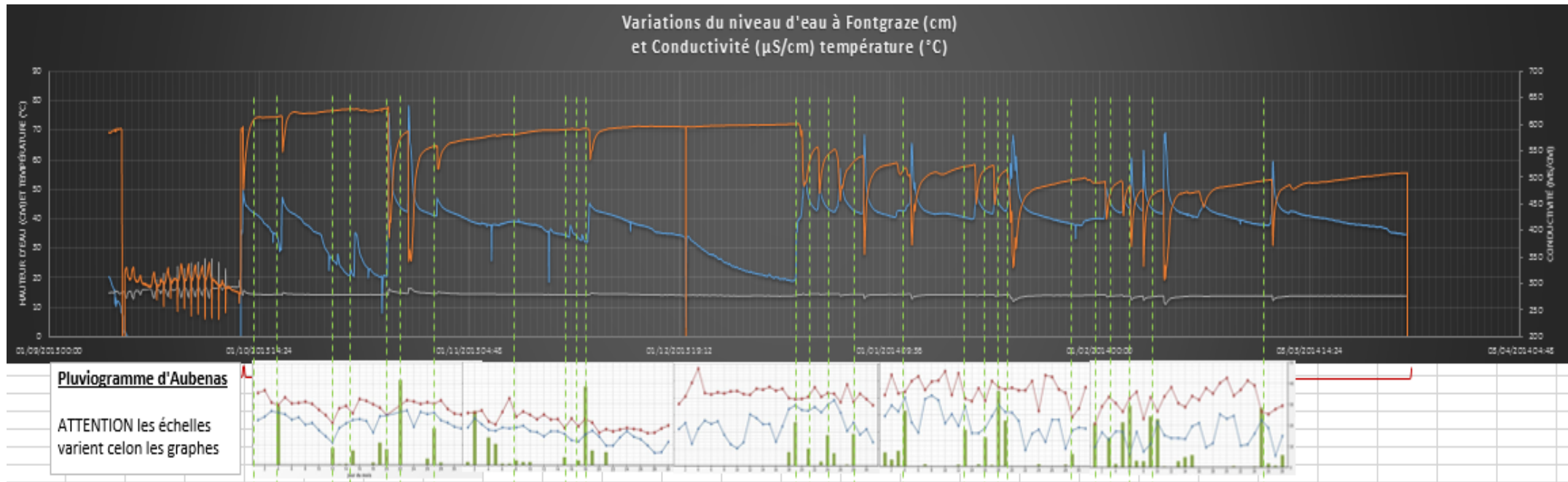
Annexe 2

Carte des installations hydroélectriques du Chassezac (dossier de presse EDF)



Annexe 4

Schéma conductivité, pression, température de la source de Fontgraze comparé au pluviogramme d'Aubenas



On notera que les écarts entre les pics de précipitations et les pics de pluies sont probablement dû à la distance entre le pluviogramme et la source étudié. Les temps de réactions des sources sont plus rapides.

Annexe 5
Tableau de mesures de la sortie du 27/05/2015

Résultat de la sortie du 27/05/2015								
N� Point	Coordonnées WGS 84		Coordonnées Lambert93		Altitude	Température	Conductivité	Distance Parcourue
	D�M'S.S''		m		m	�C	�S/cm	m
	Longitude	Latitude	X	Y	peu cohérent			
1	004�11'54,0''	44�23'47,0''	795441.756	6367096.361	125	18,5	133,2	0
2	004�12'06,7''	44�23'54,2''	795719.324	6367322.785	122	19,1	132,5	358,39
3	004�12'03,8''	44�24'02,2''	795651.418	6367568.645	121	19	132,6	666,41
4	004�11'59,4''	44�24'10,5''	795550.196	6367823.259	138	19,7	134,1	979,67
5	004�12'58,8''	44�24'21,9''	796858.672	6368195.103	110	20,5	141,1	2712,33
6	004�13'03,7''	44�24'17,7''	796969.050	6368067.185		20,3	141,1	2883,68
7	004�13'35,9''	44�23'58,2''	797690.616	6367476.548	116	21,1	142,3	3827,6
8	004�13'22,9''	44�23'41,5''	797411.028	6366956.817	107	20,5	143	4400,16
9	004�13'55,0''	44�23'30,0''	798126.697	6366613.030	109	21,4	142,9	5413,16
10	004�14'25,3''	44�23'29,9''	798797.094	6366620.440	112	22,9	142	6105,67
11	004�15'10,6''	44�23'39,7''	799794.498	6366938.637	115	23,7	142,5	7223,92
12	004�15'30,0''	44�23'54,5''	800216.398	6367402.106	117	22	143,7	7915,62
13	004�15'38,7''	44�24'05,7''	800403.332	6367750.743	119	21,3	145,8	8305,43
14	004�15'49,2''	44�24'11,3''	800632.824	6367927.239	109	21,5	151,5	8598,49
15	004�15'56,5''	44�24'21,5''	800789.248	6368244.538	112	21,7	154,8	8967,61
16	004�16'01,6''	44�24'37,2''	800894.276	6368730.756	110	19,4	159	9460,03
17	004�16'11,5''	44�24'41,7''	801110.994	6368873.117	105	19,9	152,5	9730,57
18	004�16'46,7''	44�24'52,6''	801884.018	6369221.993	106	21,3	189,3	10600,6
19	004�17'08,5''	44�24'54,3''	802365.261	6369282.277	107	23	183,4	11091,83

Annexe 6
Carte récapitulative de la géologie et positionnement des points d'eau

