

ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER

Stage d'élève-ingénieur Département Sciences et Technologies de l'Eau

ANNEE 2015-2016

Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de la Nohèdes

Fédération des réserves Naturelle Catalanes
Réserves Naturelles de Nohèdes et de Conat



Réserves Naturelles
CATALANES



Réserve Naturelle
NOHEDES



Réserve Naturelle
CONAT

Ball Christopher

Tuteur de stage : Alain Mangeot
Tuteur Polytech : François Noël Crès



ECOLE POLYTECHNIQUE UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER
UNIVERSITE MONTPELLIER II SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC
Place Eugène Bataillon 34095 MONTPELLIER CEDEX 5
Tél. : 04 67 14 31 60 – Fax : 04 67 14 45 14
E-mail : scola@polytech.univ-montp2.fr



POLYTECH
MONTPELLIER

**STAG
E**

Remerciements

Ce rapport résume le travail effectué durant ces trois mois de stage à la Réserve naturelle de Nohèdes. Mes remerciements vont à tous ceux qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs.

Alain MANGEOT, conservateur à la réserve naturelle de Nohèdes et tuteur de stage, pour m'avoir accompagné tout au long de mon travail.

David MORICHON, conservateur à la réserve naturelle de Conat, pour m'avoir accompagné sur le terrain et tout au long de mon stage.

Le personnel de la réserve naturelle de Nohèdes, Jeanet DEKKER, Maria MARTIN et Olivier SALVADOR pour la présentation des différents aspects du travail en réserve naturelle ainsi que pour leur compagnie.

François Noël CRES, enseignant à Polytech Montpellier pour ses réponses rapides et précises à mes interrogations.

Florine COULON, stagiaire Desman/Vison à la Fédération des réserves naturelles catalanes pour sa compagnie lors de nos sorties respectives sur le terrain que nous avons pu jumeler.

Hakim ZAOUGA, habitant de Nohèdes pour m'avoir accompagné à plusieurs reprises sur le terrain.

Florian LE MOING, stagiaire au syndicat mixte du bassin versant de la Têt pour m'avoir accompagné sur le terrain.

Christophe HURSON, employé à la Fédération des réserves naturelles catalanes pour le temps passé à m'expliquer les bases de Q-GIS.

Les habitants du village de Nohèdes pour leur accueil chaleureux.

Résumé

La rivière de Nohèdes, affluent en rive gauche du fleuve Têt qui traverse l'est des Pyrénées Françaises présente la particularité de faire l'objet d'un suivi hydrologique depuis 2009 (DUCROIX, 2009 ; SERVIERE, 2010 ; LE GUANENFF, 2013 ; CHAUBET 2014 ; RIO, 2015). La réserve naturelle de Nohèdes est l'une des seules en France à réaliser un tel suivi. La mise en place de 4 stations hydrométriques (enregistrant la hauteur et la température de l'eau au pas de temps horaire) en 2011 puis d'une cinquième lorsque la réserve de Conat s'est jointe au projet permet un suivi approfondi de l'évolution du cours d'eau. Ce stage fait suite aux précédents en ayant pour but de contribuer à l'établissement du bilan hydrique de la vallée.

Dans un premier temps, les courbes de tarage des 5 stations hydrométriques ont été retracées à l'aide de jaugeages par dilution. Ces derniers sont plus fiables pour les faibles valeurs de hauteurs d'eau présente à l'étiage. Cette technique est aussi plus sécurisante pour l'opérateur lors de jaugeages en période de crues qui devront être fait à l'Automne 2016 afin de compléter le haut des courbes de tarage.

Dans un second temps, en se servant des courbes précédemment construites, les cumuls mensuels ont pu être construits, montrant une seconde perte périodique dans karst entre les communes de Betllans et de Conat. Deux campagnes de terrain ont été menées afin d'identifier avec précision les zones de pertes.

Enfin une première approche des cycles annuels de stockage et de déstockage des masses d'eau en haute altitude a pu être réalisée.

Mots-Clés : Pyrénées Oriental – Vallée de la Nohèdes - Jaugeages par dilution – Hydrologie – Karst

Abstract

The Nohèdes river, a left-bank tributary of the river Têt that flow through the east of the French Pyrenees has the distinction of being part of a hydrological survey since 2009 (DUCROIX, 2009 ; SERVIERE, 2010 ; LE GUANENFF, 2013 ; CHAUBET 2014 ; RIO, 2015). Nohèdes' nature reserve is one of the few in France to conduct such a survey. The introduction of four hydrometric stations in 2011 (recording the depth and temperature of the water) and a fifth one in 2014 when Conat's nature reserve joined the project allow and in depth study of the rivers evolution over time. This internship follows the previous ones with the same goal of archiving a better understanding of the water balance in the valley.

Firstly, the rating curves for the 5 hydrometric stations have been retraced using salt dilution as a gauging method. This method is more precise during low water, and less dangerous for gauging during storm events leading to high water levels. More gauging operations still need to be conducted in order to complete the upper end of the rating curves during the autumn 2016.

Secondly, using the curves built previously, the monthly accumulation of the flow showed a periodic infiltration into the karst down stream of Betllans. Two field surveys were conducted in order to locate different spots at which the infiltration occurs.

Finally a first approach of the annual cycles of storage and destocking of high altitude water bodies was achieved

Key Words: Eastern Pyrenees – The Nohèdes valley – gauging by salt dilution – Hydrology - K

Table des Matières

I.	Introduction	1
II.	Présentation des structures d'accueil.....	1
III.	Contexte du stage	2
1.	Contexte Géographique	2
2.	Impacts entropique	3
3.	Etats des connaissances	3
IV.	Objectifs du stage	4
V.	Construction des courbes de Tarage.....	5
1.	Relever des données des sondes	5
2.	Interprétation des Limnigrammes.....	5
a.	Le risque de gel des sondes	6
b.	La présence d'un embâcle au pied de la sonde.....	7
c.	Des problèmes informatiques	7
3.	Le jaugeage par dilution	8
a.	Principe.....	8
b.	Méthodologie.....	8
4.	Les limites imposées par la période du stage	9
5.	Construction des courbes de tarage	9
6.	Comparaison des courbes réalisée au moulinet et au sel.....	10
7.	Traduction des hauteurs d'eau en débits puis en cumuls.....	11
VI.	Les pertes dans le karst le long de faille de Merens	12
1.	Mis en évidence d'un manque d'eau à l'aval	13
2.	Géologie locale.....	13
3.	Première campagne de terrain	14
4.	Seconde campagne de terrain	14
VII.	Caractérisation des fonctions de stockage et de déstockage hydrique	15
VIII.	Conclusion et perspectives (2017).....	18
IX.	Bilan personnel.....	18
X.	Bibliographie	19

Table des figures

Figure 1: Présentation des réserves Naturelles des Pyrénées Orientales	2
Figure 2: Présentation géographique de la zone d'étude	2
Figure 3: Extrait de la carte géologique de Prades	3
Figure 4: Limnigramme de l'année hydrologique 2015-2016	5
Figure 5: Limnigrammes du 20/01/2015 au 20/02/2015	6
Figure 6: Limnigrammes du 01/06/2016 au 30/06/2016	7
Figure 7: Hauteur d'eau enregistrée par la sonde de Conat avant et après correction	8
Figure 8: Allure du profil de conductivité en fonction du temps lors d'un jaugeage (Betllans 23/06/2016)	9
Figure 9: Comparaison des courbes de tarages de la station Millada.....	10
Figure 10: Limnigramme du 25/02/2016 au 15/04/2016	12
Figure 11: Débit moyen mensuel par station.....	12
Figure 12: Hydrogramme des stations Millada, Betllans et Conat montrant le décalage de l'onde de crue	13
Figure 13: Géologie local entre Betllans et Conat.....	14
Figure 14: Répartition des courbes isohyètes dans la vallée	16
Figure 15: Cumul annuel de stockage et de déstockage au Clot 2012/2013	17
Figure 16: Cumul annuel de stockage et de déstockage à Betllans 2012/2013	17

I. Introduction

Située au cœur des Pyrénées-Orientales, et constituant l'un des affluents en rive gauche du fleuve Têt, la rivière de Nohèdes coule depuis sa source dans les chaos granitiques sous le sommet du Madres jusqu'à Ria-Sirach sur un parcours de près de 18 km. Dans la vallée du même nom, deux communes se sont développées, Conat et Nohèdes ainsi qu'un hameau, Betllans entre Conat et Nohèdes, rattaché à la municipalité de Conat. Une partie du territoire de chacune de ces communes a été classée en réserve naturelle nationale en 1986.

Les réserves naturelles sont des espaces dédiés à la préservation de la biodiversité. Ils sont consacrés à la protection durable des milieux et des espèces qui les occupent, en alliant gestion active du territoire et réglementation. Les réserves naturelles ont pour objectifs « la conservation de la faune, de la flore, du sol, des eaux, des gisements de minéraux, de fossiles et, en général, du milieu naturel, présentant une importance particulière qu'il convient de soustraire à toute intervention susceptible de les dégrader ».

Comme tous les 5 ans, un plan de gestion doit être rédigé par l'équipe en poste de chaque réserve naturelle, sous la responsabilité du conservateur. L'échéance, du plan de gestion actuel arrivant à terme fin 2016, cette période estivale fut marquée par la rédaction du prochain plan de gestion. Un volet entier est consacré à la protection et à la gestion de la ressource en eau. Il est important de noter qu'à ce jour, seules quelques réserves en France intègrent de façon active la protection et l'approfondissement de la connaissance du réseau hydrographique de leur territoire.

Le territoire des réserves naturelles de Conat et de Nohèdes s'étendant sur 2 686ha, avec une amplitude d'altitudes allant de 500 m à 2459 m au sommet du Roc Negre. Il présente une très forte diversité en habitats naturels, avec une progression depuis le climat méditerranéen, à l'entrée de la vallée, vers un climat boréo-alpine sous le Madres. De nombreuses espèces endémiques et protégées sont présentes dans la vallée. Certaines font l'objet de suivis réguliers : parmi les espèces aquatiques, sont par exemple suivis de très près le Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*) ou encore l'Euprocte des Pyrénées (*Caltriton asper*).

Ce stage présentait des intérêts multiples, comme mettre à profit les connaissances acquises au cours de mes quatre années post BAC, de développer des facultés de réflexion et d'analyse de problèmes mais aussi de participer à des activités sans lien direct avec l'hydrologie (suivis d'espèces).

Ce dossier rend compte du travail réalisé durant deux mois et demi de stage portant sur la thématique suivante : Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la Nohèdes.

II. Présentation des structures d'accueil

Les réserves naturelles de Nohèdes et de Conat, toutes deux fondées durant l'automne 1986 sont membres de la Fédération des réserves naturelles catalanes (FRNC), qui regroupe les 11 réserves naturelles nationales des Pyrénées-Orientales. Leurs territoires sont indiqués sur la figure 1. Les autres réserves sont celles de Jujols, Forêt de Massane, Mantet, Mas Larriou, Prat-de-Mollo-la-Preste, Py et la Vallée d'Eyne.

Les conservateurs des réserves naturelles de Nohèdes et de Conat sont respectivement Alain Mangeot et David Morichon, dont les principaux axes de travail sont :

- L'étude, le suivi et la protection du patrimoine naturel (et culturel), le maintien de la biodiversité ;

- La gestion de territoire, tout en en tenant compte des acteurs et utilisateurs locaux ;
- La communication et le partage avec le public.

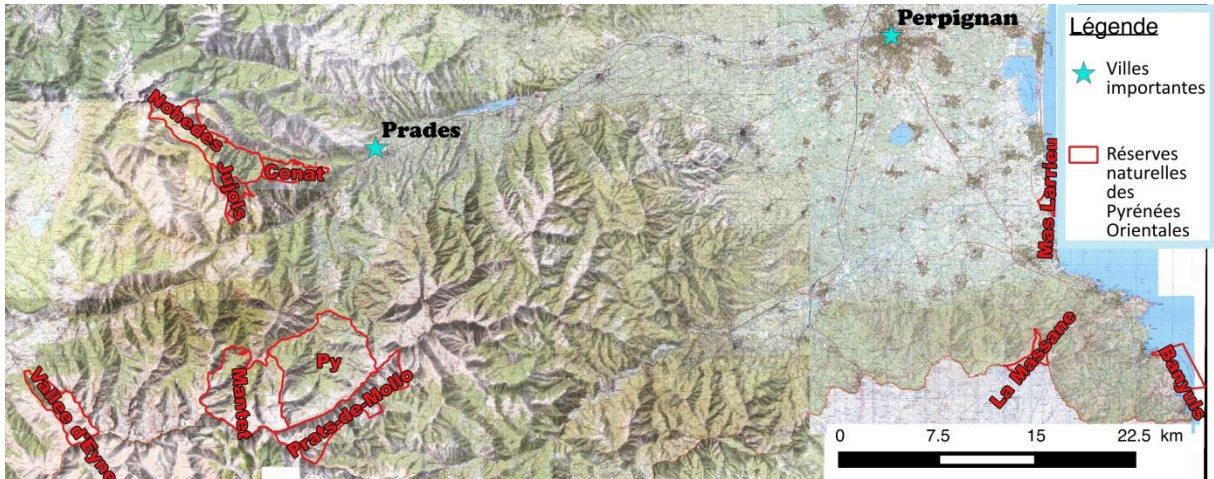


Figure 1: Présentation des réserves Naturelles des Pyrénées Orientales

III. Contexte du stage

1. Contexte Géographique

La carte présentée à la figure 2 représente les différents lieux qui seront évoqués dans ce rapport. Avec en particulier la localisation des stations hydrométriques.

La géologie globale de la zone d'étude est présentée sur la figure 3. On retrouve globalement 4 types de roches :

- Du granite (une roche magmatique) hautement imperméable présent sur le haut du bassin versant (couleur)
- Des schistes (roches sédimentaire transformées par des contraintes de pression et de température) présent sur le versant sud et également imperméable
- Du calcaire karstique (roches sédimentaire carbonaté) localisé sur le versant nord de la vallée et constituant la majorité du Mont Coronat.
- Des calcschistes (roches sédimentaire proche du calcaire, mais comportant une importante proportion de silicates) présente très localement dans la moyenne vallée le long de la faille de Merens.

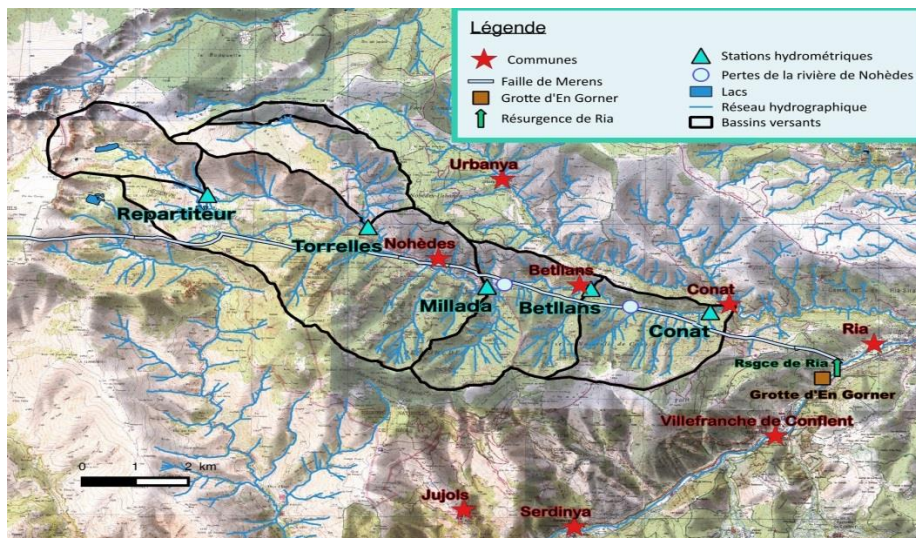


Figure 2: Présentation géographique de la zone d'étude

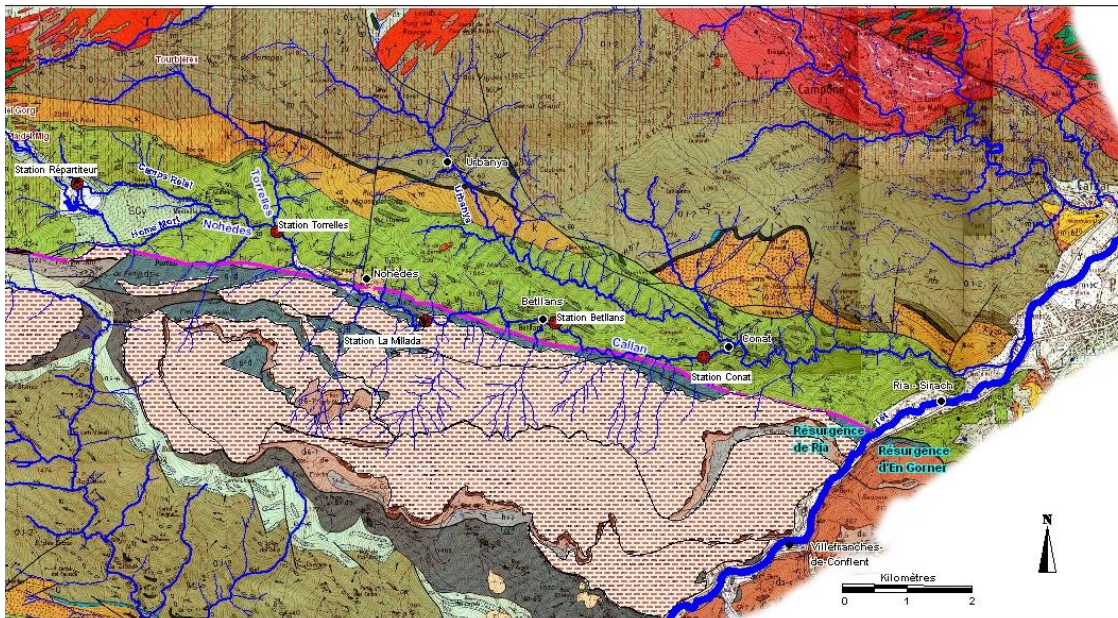


Figure 3: Extrait de la carte géologique de Prades

2. Impacts entropique

Bien qu'il s'agisse d'une réserve naturelle, cela ne signifie pas qu'il y a une absence d'impacts anthropique sur l'écoulement de la Nohèdes. Deux ouvrages impactent fortement le régime hydrologique du cours d'eau tous deux installés avant la classification du territoire en réserve naturelle.

Le canal d'Urbanya, le moins impactant des deux, draine une partie du haut bassin versant du ravin de Torrelles (visible sur la figure 2) vers la vallée du même nom afin de soutenir l'étiage. La rivière d'Urbanya étant la seule source d'eau pour la commune éponyme.

La microcentrale de Nohèdes construite en 1974 est l'ouvrage le plus impactant. En effet afin de garantir un débit de fonctionnement même lorsque le débit de la rivière n'est pas suffisant pour turbiner en continu. La tourbière du Clot a été aménagée en étang permettant de stocker de l'eau. A l'amont de l'étang, un répartiteur de débit a été construit, afin de garantir un débit réservé de 50L/s dans le cours d'eau. Cependant un jaugeage réalisé en Août, montre que le débit réservé garanti par le répartiteur n'est pas de 50L/s, mais de 14L/s. Suite à ce constat, la réserve naturelle devra s'enquérir de cette anomalie auprès de l'exploitant de la centrale.

3. Etats des connaissances

Les connaissances rattachées aux territoires des réserves naturelles de Nohèdes et de Conat s'accroissent d'année en année au fur et à mesure d'études réalisées par différents acteurs, spécialistes, stagiaires, passionnés... Depuis la mise en place des deux réserves naturelles, les domaines d'études se sont diversifiés, et les connaissances se sont affinées afin de caractériser au mieux les différents enjeux présents dans ces territoires.

La géologie a été très étudiée aussi bien pour l'orogénèse par M. Calvet (CALVET, 2012), que pour les affleurements représentés que la carte géologique de Prades par G. Guitard (Guitard, 1998). Des études approfondies de la structure du synclinal de Villefranche et de la faille de Merens qui passe au fond de la vallée de Nohèdes ont été réalisées par B. Laumonier desquelles est ressortie la réalisation de coupes géologiques (LAUMONIER, 1997).

Pour ce qui est de l'hydrologie, de la vallée, 5 stages ont déjà eu lieu en partenariat avec Polytech Montpellier afin de contribuer à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée.

La première étude menée en 2009 par P. L. Ducroix (DUCROIX, 2009) avait pour but de caractériser les échanges entre le karst et la rivière. Il en est ressorti que le volume échangé n'était pas significativement important, mais qu'en revanche la physico-chimie elle était très affectée par ces échanges. De plus une perte dans un méandre s'enfonçant dans le karst a pu être mise en évidence.

La seconde étude réalisée en 2010 par M. Servière (SERVIÈRE, 2010) dont le but était de préciser le bilan hydrique de la vallée a conduit à la mise en place de 4 des 5 stations hydrométriques actuellement présentes sur le cours d'eau. Chaque station comporte une échelle limnométrique et un capteur de niveau/température. Les sondes sont programmées pour enregistrer la hauteur d'eau à l'aide d'un capteur de pression ainsi que sa température au pas de temps horaire. La mise en service des stations a été faite en Décembre 2011.

En 2013, M. Le Genanff (LE GUENANFF, 2013) a poursuivi l'analyse des éléments hydrologiques, en cherchant à évaluer en terme de volumes les entrées et sorties d'eau sur le système. Les entrées d'eau sont quantifiées par le calcul de pluie brute (sous deux formes de précipitation). Les sorties sont évaluées par la détermination de la pluie nette (pluie ruisselée et recueillie par la rivière) par l'analyse des hydrogrammes issus des sondes mises en place en 2011. Et par une estimation de l'évapotranspiration et des infiltrations potentielles.

En 2014, A. Chaubet (CHAUBET, 2014) poursuit le travail commencé en 2013 afin de préciser les bilans sur l'eau entrant et sortant du système, axé particulièrement sur les pertes par infiltrations et une meilleure estimation de l'évapotranspiration. Ainsi que la conception d'une cinquième station hydrométrique qui sera mise en place en septembre 2014 à l'amont de la commune de Conat.

Enfin en 2015, M. Rio (RIO, 2015) a poursuivi l'établissement du bilan hydrique avec l'application du modèle SPAZM d'EDF pour mieux caractériser les précipitations sur l'ensemble de la vallée. Elle a également travaillé sur les apports potentiels provenant des autres vallées.

IV. Objectifs du stage

L'objectif général de l'étude est d'établir le bilan hydrique du bassin versant qui s'étend depuis Conat jusqu'aux hauts plateaux du Madres.

Une meilleure compréhension du fonctionnement hydrologique du site permettra de mieux le protéger. En effet, cela influe grandement sur l'équilibre écologique des milieux et l'importante réserve d'eau contenue dans le karst du mont Coronat pourrait représenter un sérieux enjeu pour l'eau potable dans les années à venir.

Suite aux précédents travaux réalisés depuis 2009 (DUCROIX, 2009 ; SERVIÈRE, 2010 ; LE GUENANFF, 2013 ; CHAUBET, 2014 ; Rio, 2015), les missions de ce stage sont les suivantes :

- Poursuivre le relevé et le traitement des données enregistrées par les sondes des stations hydrométriques.
- Mettre en place un protocole pour réaliser des jaugeages par dilution dans le cours d'eau de la Nohèdes
- Reconstruire les courbes de tarage des 5 stations hydrométriques avec la technique du jaugeage par dilution.
- Vérifier l'hypothèse d'une seconde zone de perte dans le karst entre Betllans et Conat, la caractériser si elle existe.
- Caractériser et évaluer les fonctions de stockage et déstockage ainsi que les cycles annuels de la rivière.

V. Construction des courbes de Tarage

Depuis fin 2011, la Nohèdes est équipée de 4 sondes enregistreuses de la hauteur de l'eau (SERVIERE, 2010), et une cinquième est venue compléter le réseau en 2014. Cependant, bien que ces sondes permettent de représenter l'évolution de la hauteur d'eau sur différents pas de temps pour une même station. Le limnigramme produit ne permet pas de comparer l'écoulement entre les différentes stations. D'où l'importance des courbes de tarage qui permettent d'avoir la relation entre la hauteur d'eau et le débit pour chaque station.

Initialement, les courbes de tarage ont été construites par des jaugeages au moulinet (LE GUENAN, 2013 ; CHAUBET, 2014 ; RIO, 2015). Cependant cette méthode n'était pas satisfaisante pour les jaugeages en crue (liée à la sécurité de l'opérateur) et en débit d'étiage (vitesse locale trop faible). Pour remédier à ce problème, des essais de jaugeage par dilution ont été réalisés durant l'été 2015 montrant qu'en période de basses eaux, le jaugeage au sel était plus précis que le moulinet (RIO, 2015).

1. Relever des données des sondes

Les données enregistrées par les sondes sont relevées à l'aide d'un capteur infrarouge (OTT Duo Link) qui permet de faire la connexion entre la sonde et un ordinateur avec le logiciel Hydras 3 installé dessus. Les données stockées sous hydras 3 sont ensuite ouvertes dans un fichier Excel afin de pouvoir être lues par Hydraccess. Hydraccess est un logiciel *open source* de gestion de bases de données hydrologiques et météorologiques, bien que ce second volet ne soit pas du tout utilisé durant ce stage.

2. Interprétation des Limnigrammes

Les relevés nous permettent d'obtenir les limnigrammes des différentes stations. La lecture de ces courbes permet de vérifier le bon fonctionnement des sondes. Si tous les limnigrammes suivent la même tendance, cela montre que les sondes fonctionnent normalement. Le limnigramme suivant (figure 4) représente l'année hydrologique 2015-2016 sans le mois d'Aout.

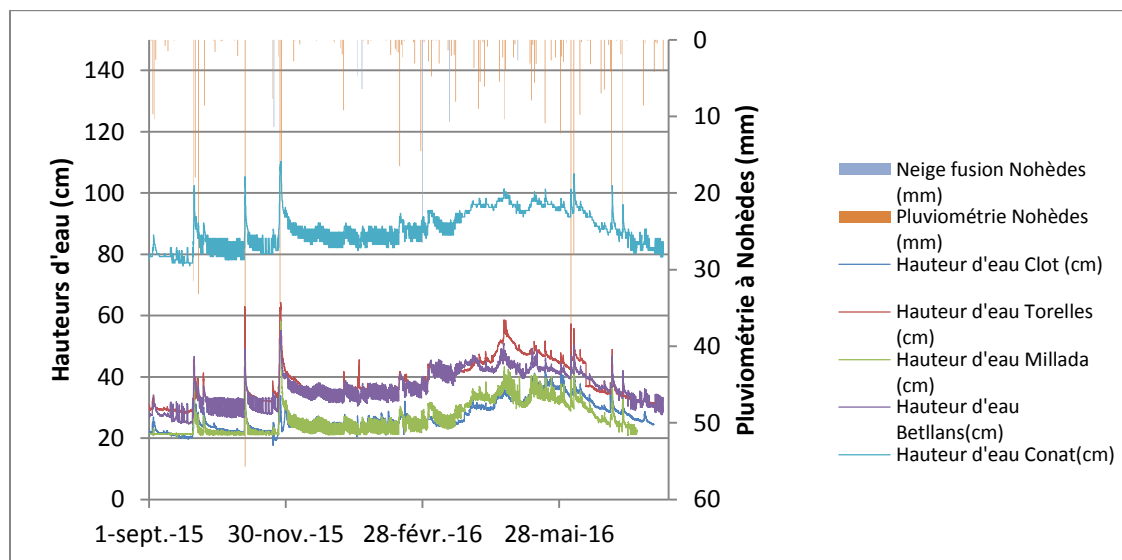


Figure 4: Limnigramme de l'année hydrologique 2015-2016

Cette figure permet de voir la tendance générale d'un cycle annuel, sachant qu'il s'agit d'une année très sèche par rapport aux précédentes. En début d'année, les stocks sont au minimum, le débit est à l'étiage et la centrale ne tourne pas. A la fin de l'automne, d'importantes précipitations (d'influence continentale) conduisent à des crues et une augmentation du niveau d'eau, cependant le débit à l'amont de l'étang du Clot n'est pas suffisant pour permettre à la centrale de turbiner en

permanence. Elle réalise donc des éclusées journalières aux horaires de plus fort rachat du kilowattheure. Durant la période hivernale, des précipitations sont enregistrées à Nohèdes, mais sans impact sur la hauteur d'eau aux deux stations d'altitude (Clot et Torrelles) indiquant un stockage des précipitations sous forme de neige. Au printemps la hauteur d'eau augment graduellement sans forcément la présence d'un épisode pluvieux. Cela correspond à la fonte des névés. En Mai, la majorité des névés ont fondu, les hauteurs d'eaux retourne graduellement au niveau d'étiage avec l'exception de quelques pics de crue induits directement par des précipitations estivales.

Lors du relevé des données, une autre vérification est aussi réalisée. En plus de relever les données enregistrées au pas de temps horaire, il est possible de faire une lecture instantanée du niveau d'eau. Cette valeur est ensuite comparée à la valeur lue sur l'échelle limnimétrique associée à la sonde

Bien que les sondes soient d'une grande précision, il est possible que les valeurs affichées lors du relevé ne concordent pas avec la hauteur d'eau réelle lue sur l'échelle limnimétrique. Plusieurs causes peuvent être à l'origine de cet écart.

a. Le risque de gel des sondes

Comme expliqué précédemment, les sondes fonctionnent à l'aide d'un capteur de pression qui effectue une relation linéaire entre la pression au pied de la sonde et la pression atmosphérique pour en déduire la hauteur d'eau. Cependant, il arrive qu'une partie du cours d'eau puisse geler, notamment aux stations d'altitudes (Clot et Torrelles). Le gel se développant depuis la berge vers le centre du cours d'eau, une capsule de glace peut se former autour du pied de la sonde induisant une fausse augmentation du niveau d'eau.

Afin de palier à ce problème, la température de l'eau est également enregistrée. Il est considéré qu'il y a un risque de gel à partir du moment où la température de l'eau est inférieure à 0.4°C ; pour les périodes de risque de gel, on prend la dernière valeur avant la période de risque et la première valeur après la période et l'on considère une évolution linéaire de la hauteur d'eau (qui est généralement constante, car la majorité des précipitations sont stockées dans le manteau neigeux).

Ce phénomène est particulièrement visible durant le mois de Février 2015 comme le montre la figure 5. Sur cette période la sonde de Torrelles enregistre plusieurs pics de hauteurs d'eau qui ne suivent pas les tendances des autres stations et ne sont pas corrélées avec un épisode pluvieux. Les oscillations visibles à Millada et Betllans sont dû au fonctionnement en éclusés de la microcentrale.

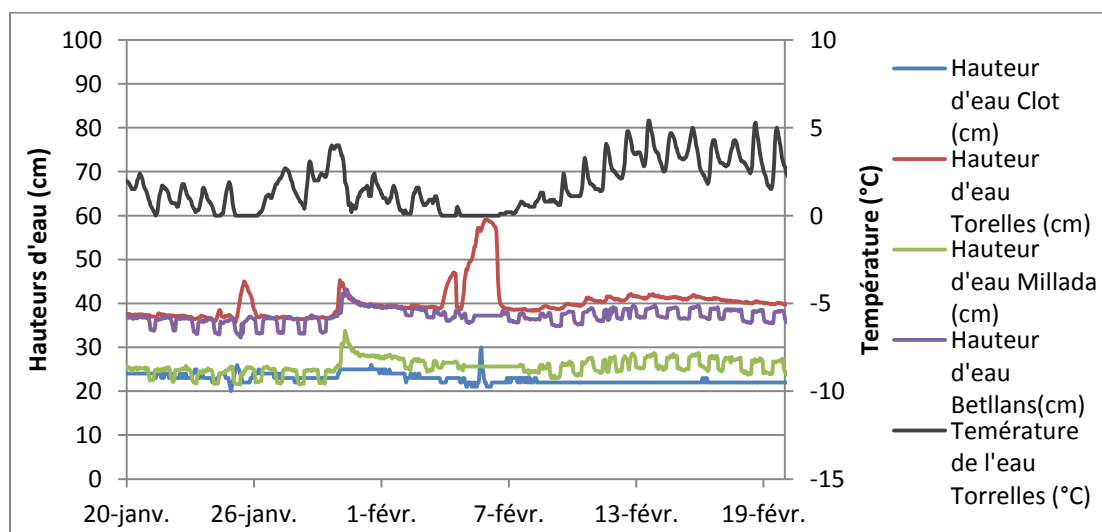


Figure 5: Linnigrammes du 20/01/2015 au 20/02/2015

b. La présence d'un embâcle au pied de la sonde

La rivière de Nohèdes étant classée comme un torrent de montagne, il n'est pas rare qu'en période de crue on puisse y retrouver des débris végétaux allant de la simple branche au tronc d'arbre long de plusieurs mètres. Ces matériaux flottants peuvent causer des embâcles dans le cours d'eau. Pour le fonctionnement normal de la rivière, cela ne pose aucun problème car la Nohèdes est très encaissée, et ne présente aucun risque de débordement et donc d'inondation. Cependant pour les sondes cela peut être très problématique. En effet, si un embâcle se met en place directement à l'aval d'une sonde, alors par le même fonctionnement qu'un seuil, le niveau d'eau sera artificiellement maintenu plus haut ; ce qui lors de la traduction des hauteurs d'eau en débit engendrera des valeurs de débits supérieures au débit réellement écoulé.

Il est très difficile d'apporter une correction à ses erreurs ; principalement du fait que l'on ne peut pas savoir à partir de quand l'embâcle s'est mis en place et s'il n'a pas évolué dans le temps. La meilleure solution reste d'assumer une proportionnalité des hauteurs d'eau entre les différentes stations et de se servir de cette information pour apporter une correction.

Durant mon stage, un embâcle qui s'était accumulé directement à l'aval de la station de Torrelles a été retiré. Cela est très visible sur le limnigramme suivant (figure 6). Entre deux pas de temps la hauteur d'eau chute de 7cm, passant de 42 à 35cm. A cette station une hauteur de 42cm correspond à un débit de 53L/s contre 33L/s pour 35cm. L'analyse de la proportionnalité des hauteurs aux différentes stations laisse supposer que l'embâcle c'est mis en place lors d'une crue le 19 Mai.

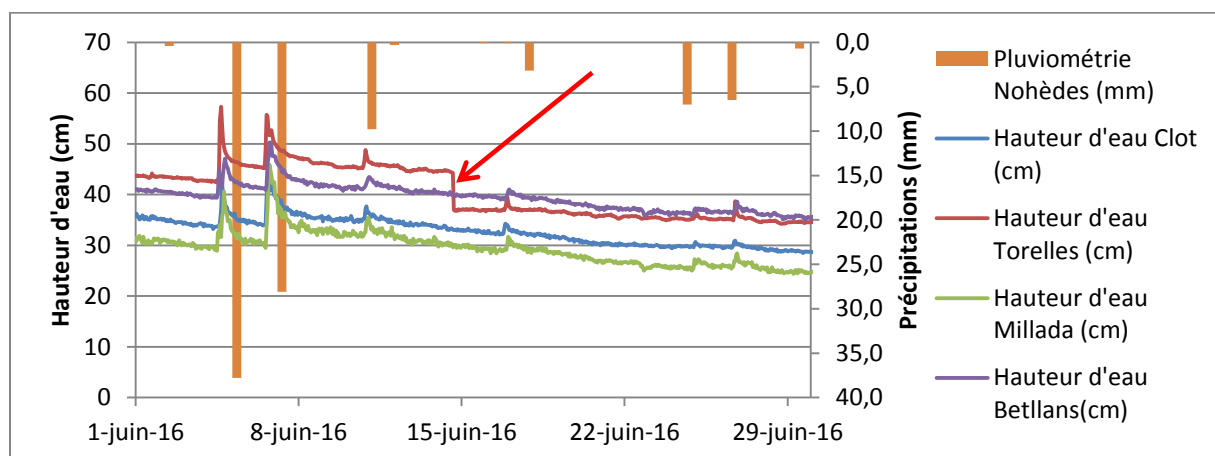


Figure 6: Limnigrammes du 01/06/2016 au 30/06/2016

Il est également important de noter que le décalage entre les pics de crue et les précipitations est dû au mode d'enregistrement de la pluviométrie sur un pas de temps journalier. En effet le pluviomètre utilisé appartient la réserve ; il s'agit d'un pluviomètre manuel relevé tous les matins entre huit et neuf heures. Il n'est donc pas possible d'avoir les heures de début et de fin des épisodes pluvieux. Pour les constructions des graphiques il a été arbitrairement choisi de représenter toutes les pluies comme des événements ayant lieu entre minuit et une heure du matin du jour du relevé.

c. Des problèmes informatiques

Suite à une erreur (supposée) de programmation de la sonde de la station de Conat, le limnigramme s'affichait « à l'envers », avec une forte diminution de la hauteur d'eau lors des épisodes pluvieux et les niveaux les plus hauts étaient enregistrés en période d'étiage. Une correction linéaire a pu être apportée en se servant d'une part des valeurs précédemment traitées par une méthode similaire comme vérification, et d'autre part en utilisant une relation linéaire établie entre la hauteur d'eau réelle (lue sur l'échelle) et la hauteur d'eau enregistrée par la sonde. L'effet de cette correction est présenté dans la figure 7.

Il est également possible que la sonde tombe tout simplement en panne sans raison apparente. Dans ce cas, soit elle cesse simplement d'enregistrer, soit elle enregistre des valeurs aberrantes telles que des hauteurs d'eau négatives ou des variations d'une dizaine de degrés en l'espace d'une heure. Il est à noter qu'il est techniquement possible d'avoir des hauteurs d'eau inférieures à zéro, car les sondes ne sont pas placées au centre du cours d'eau (point le plus profond), mais contre la berge. Cependant si le niveau est inférieur à la base de la sonde (jamais observé à ce jour) la sonde indiquera simplement une hauteur d'eau nulle

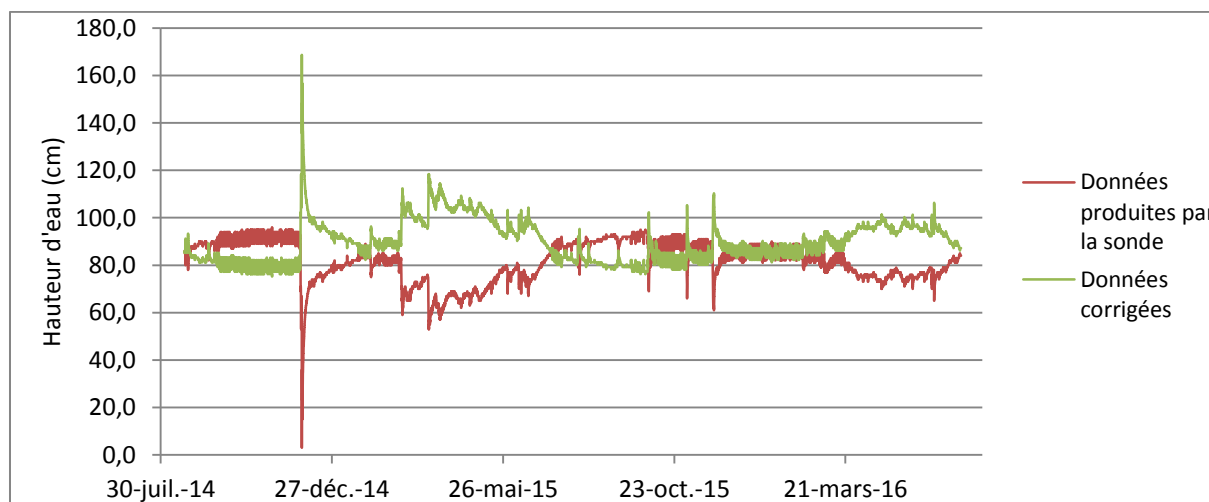


Figure 7: Hauteur d'eau enregistrée par la sonde de Conat avant et après correction

La correction apportée est linéaire, de la forme $Ax + B$, avec $A = -1,0054$ et $B = 171,6739$

3. Le jaugeage par dilution

a. Principe

Cette méthode consiste à injecter des ions (Na et Cl) dans le cours d'eau sous forme d'une solution salée et d'établir ensuite le profil de conductivité en fonction du temps. Ce profil est ensuite traduit en un profil de concentration. Puis le principe de conservation de la masse est appliqué. La masse d'ions injectée en amont doit être la même que celle retrouvée en aval. En faisant une intégration du profil de concentration, on peut ainsi évaluer le débit du cours d'eau au point de mesure.

b. Méthodologie

Afin d'estimer au mieux le débit, il est important de choisir un tronçon adéquat. Les caractéristiques d'un bon tronçon pour réaliser le jaugeage sont :

- Une condition de bon mélange au point d'injection.
- Un resserrement de l'écoulement au point de mesure sans agitation excessive.
- Le tronçon ne doit pas comporter de zone d'eau morte, tourbillons ou vasques importantes.
- La longueur du tronçon garantissant une condition de bon mélange peut être estimée à 25 fois la largeur moyenne du cours d'eau au point d'injection d'après Day (LE COZ et Al, 2011).

Une fois le tronçon sélectionné, le jaugeage se déroule en trois parties. En premier lieu, la préparation de la solution salée. La masse de sel à injecter est en fonction du débit, les premiers essais ont donc été faits en se servant des anciennes courbes de tarage faites au moulinet (LE GUENAN, 2013 ; CHAUBET, 2014 ; RIO, 2015). En effet EDF recommande de prendre en 5 et 10 grammes de sel par litre par seconde dans le cours d'eau. Pour les premiers jaugeages, la masse de sel a été calculée sur le débit théorique puis arrondi au quart de kilogramme supérieur.

Il faut au moins deux personnes pour réaliser un jaugeage : une pour faire l'injection lorsque la seconde lui fait signe. Dès l'injection de la solution salée dans le cours d'eau, il faut commencer à

enregistrer la conductivité du cours d'eau afin de connaître la conductivité de base et savoir quand arrêter les mesures (retour à la base).

Les valeurs enregistrées sont ensuite transmises sur ordinateur pour être dépouillées à l'aide d'un fichier Excel développé durant le stage. La traduction de conductivité en concentration se fait à l'aide d'une courbe d'étalonnage construite avec une solution commerciale étalon de chlorure de sodium. Le graphique suivant (figure 8) montre l'allure générale d'un profil de conductivité.

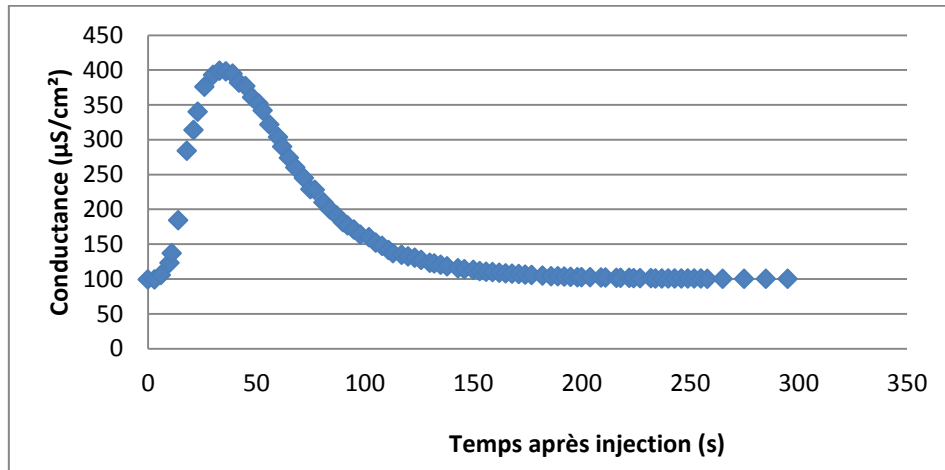


Figure 8: Allure du profil de conductivité en fonction du temps lors d'un jaugeage (Betllans 23/06/2016)

Le débit se calcule alors selon l'équation suivante :

$$Q = \frac{M_{in}}{\int C(t) dt}$$

Q : débit (L/s)
 M_{in} : Masse de sel injecté (g)
 C(t) : Concentration à l'instant t (g/l)

4. Les limites imposées par la période du stage

Afin de pouvoir construire des courbes de tarage adéquates, il est important de couvrir la totalité du marnage du cours d'eau afin de minimiser les extrapolations. Cependant ce stage ne couvrant que la période estivale de juin à août, il n'a pas été possible de réaliser des jaugeages pour des hautes valeurs d'eau, liées essentiellement aux crues automnales. Seuls des jaugeages en moyennes eaux et à l'étiage ont pu être réalisés (étiage estival et fin de fonte de névés). Lorsque que cela était possible, certains points de hautes eaux jaugés au vélocimètre en 2014 (CHAUBET, 2014) ont été utilisés pour caler les courbes de tarage.

5. Construction des courbes de tarage

Les courbes de tarage sont construites sous Hydraccess, à l'aide du module CALIBRA. Elles sont biunivoques, une seule hauteur d'eau correspond à un seul débit pour chaque station et réciproquement.

Entre les points de jaugeages, il est possible de faire une interpolation à l'aide d'un ajustement potentiel de la forme :

$$Q = a * (H - H_0)^p$$

Q : débit (m³/s)
 H₀ : la hauteur pour laquelle le débit s'annule (cm)
 P : variable d'ajustement

Cependant comme évoqué précédemment, les valeurs de hauteurs d'eaux jaugées durant le stage ne couvrent pas la totalité du marnage de la rivière. Il est donc nécessaire de réaliser des extrapolations vers le haut et vers le bas de la courbe construite à l'aide des interpolations. Hydraccess offre plusieurs formules mathématiques pour réaliser cette extrapolation, la plus simple étant de poursuivre à l'aide d'un nouvel ajustement potentiel. Cela est quelque peu déconseillé, mais reste toujours réalisable. L'autre mode consiste à appliquer la formule de Manning-Strickler qui reste plus correct mais demande beaucoup plus d'informations pour être calculé.

$$Q = K * i^{0.5} * Rh^{2/3} * S$$

Q : débit (m³/s)
 K : Coefficient de Strickler
 I la pente de la ligne d'eau (m/m)
 Rh : rayon hydraulique (m)
 S : Section Mouillée (m²)

Finalement, il faut décider d'extrapoler à l'aide de la formule de l'ajustement potentiel car dans le cas de la Nohèdes, il est impossible d'avoir accès à l'information sur la pente de la ligne d'eau qui pour un torrent de montagne est variable en fonction du débit, et réaliser une bonne estimation du coefficient de Strickler global pour les différentes hauteurs d'eau n'est pas aisé non plus.

Afin de palier à ces imprécisions, il est prévu à l'automne 2016 de faire une nouvelle campagne de jaugeage lors des crues afin de réduire au maximum la plage extrapolée. Pour cela un document technique expliquant plus en détail le déroulement d'un jaugeage, le paramétrage du conductimètre et la traduction des données obtenues sur le terrain en débit a été rédigé, afin de permettre au personnel de la réserve de poursuivre la construction des courbes de tarages.

6. Comparaison des courbes réalisées au moulinet et au sel

Lorsque les nouvelles courbes de tarage furent construites, une des premières choses à faire fut de les comparer avec celles déjà construites à l'aide du moulinet par les stagiaires précédents (LE GUENAN, 2013 ; CHAUBET, 2014 ; RIO, 2015). La figure suivante montre les différences entre la courbe de tarage construite à l'aide des point moulinet datant de 2013 à 2015 et celle construite durant ce stage pour la station de Millada

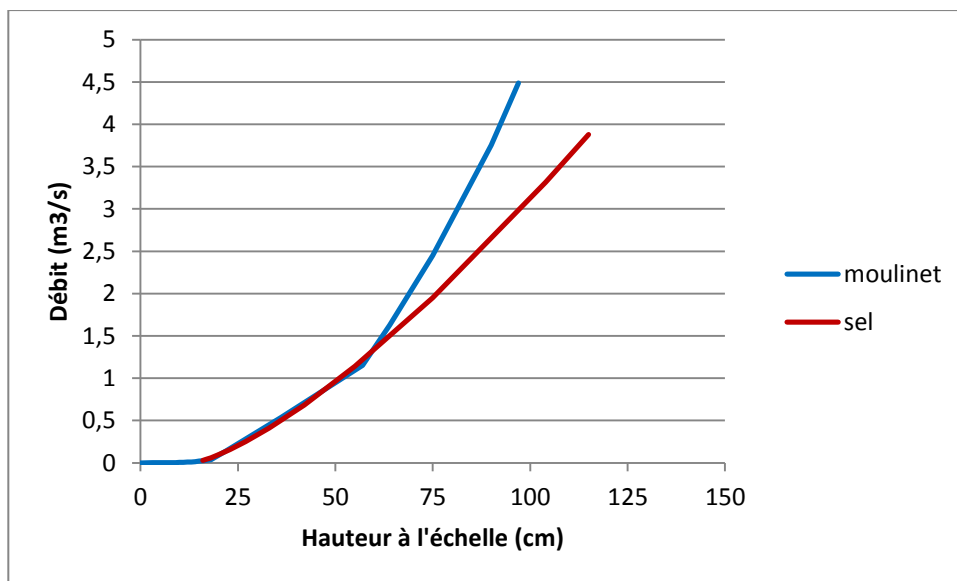


Figure 9: Comparaison des courbes de tarages de la station Millada

En premier lieu, il est important de constater que la courbe construite à l'aide des jaugeages au moulinet possède un point d'inflexion contrairement à celle au sel. Plusieurs raisons peuvent expliquer cela. La première et sans doute plus importante vient du fait qu'à cause de la durée de ce stage, le point jaugé le plus haut n'est qu'à 36 cm contre un point à 62cm (au point d'inflexion de la courbe) pour le jaugeage au moulinet.

La comparaison des courbes de tarage produite par deux méthodes différentes, conduit à comparer les deux méthodes de jaugeage afin de déterminer laquelle est la plus adaptée. Le choix de la technique de jaugeage a reposé principalement sur deux critères.

Le premier déjà évoqué plus haut est une faiblesse du moulinet qui ne semble pas pouvoir évaluer avec précision les faibles valeurs de vitesse, l'hélice ne tournant pas alors qu'elle était plongée

dans l'eau et qu'il était possible de voir à l'œil des particules se déplaçant autour de l'hélice. De plus, lors d'une crue, les fortes vitesses et l'écoulement généralement agité risque d'entraîner des problèmes de rotations, l'hélice ne tournant pas suffisamment vite pour que la rotation soit proportionnelle à la vitesse locale à cause d'un champ de vitesse non uniforme. Le jaugeage au sel permet de s'affranchir de cette contrainte, car on ne mesure plus un profil de vitesse local, mais un profil de concentration.

Le second avantage du jaugeage au sel est sécuritaire, en effet pour réaliser un jaugeage au moulinet, il est nécessaire de se placer soit dans le cours d'eau, ou au-dessus depuis un pont. Or, lors d'une crue, il n'est pas envisageable de se placer dans le cours d'eau et certains des ponts sont submersibles. Ainsi pour jauger le débit lors d'une crue il est plus sécurisant de faire un jaugeage au sel car l'injection et la mesure peuvent toutes les deux se faire depuis la berge, à l'aide d'une perche ou depuis un pont non submersible.

Les courbes de tarage pour les autres stations sont visible en annexes (Annexes I à IV).

7. Traduction des hauteurs d'eau en débits puis en cumuls

Une fois les courbes de tarage suffisamment développées (4 ou 5 points minimum), il a été possible de traduire toutes les hauteurs enregistrées par les sondes depuis leur mise en place, en débit. La traduction est faite à l'aide d'Hydraccess puis les valeurs sont exportées sous Excel pour un traitement (courbe de stockage, cumule de débit...). Toutes ces fonctions sont disponibles dans Hydraccess, mais ce dernier ne permet pas de mettre facilement en relation des données de différentes natures comme par exemple la température de l'eau et les hauteurs d'eau/débit pour traiter les valeurs liées au gel du capteur, comme expliqué plus haut.

La vérification des courbes de tarage se fait également à cette étape. En effet, comme expliqué dans l'introduction, sur le bassin de la Nohèdes, une microcentrale hydroélectrique est implantée. Lorsque que le débit à l'amont de l'étang du Clot n'est pas suffisant pour assurer le débit réservé (50L/s) et le débit de fonctionnement de la centrale (70L/s) cette dernière fonctionne par éclusées en stockant de l'eau dans l'étang du Clot. Puis lorsque le prix de rachat est au plus cher, un lâché d'eau est réalisé à 70L/s. Ces éclusés sont visibles sur le relevé des trois sondes à l'aval de la centrale (Millada, Betllans et Conat). L'amplitude du débit observée lors de l'éclusée doit donc être de 70L/s.

Le graphique suivant (figure 10) montre le débit dans la rivière durant le mois de Mars 2016, les éclusés sont bien visibles. Pour les sondes de Millada et de Conat l'amplitude calculée à l'aide de la courbe de tarage est bien de 70L/s cependant pour la sonde de Betllans l'amplitude est beaucoup plus importante (de l'ordre de 100L/s) : cela est sûrement dû à un embâcle qui a été retiré par la crue du 5-6 Avril, ramenant les amplitudes au même ordre de grandeur aux trois stations.

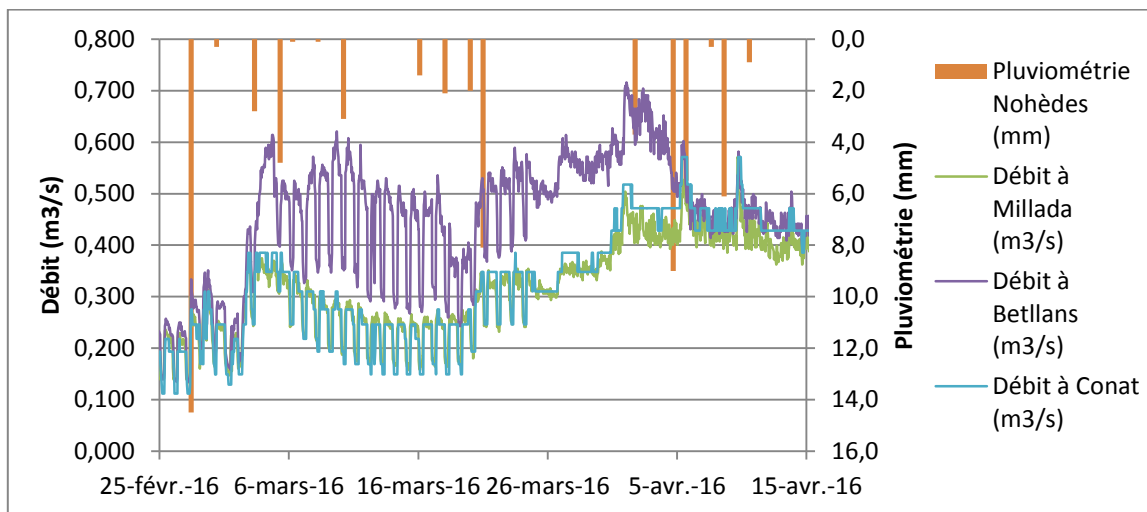


Figure 10: Linnigramme du 25/02/2016 au 15/04/2016

Une fois les hauteurs d'eau traduites en débit, il est possible de calculer les cumuls de débit à tous les pas de temps supérieurs au pas de temps horaire. En traçant les cumuls, visible à la figure 11, il est possible de remettre en évidence la première perte dans le karst identifiée en 2009 (DUCROIX, 2009). L'effet de la surévaluation du débit due à l'embâcle au mois de mars 2016 peut aussi être visualisé. Et enfin, la seconde perte supposée à l'aval du hameau de Betllans, entre les sondes de Betllans et de Conat est visible. En effet, même durant les mois où le débit est constant entre Betllans et Conat cela met la perte en évidence, car il devrait être supérieur compte tenu de l'augmentation de la surface du bassin versant et de la prise d'eau de la commune de Conat qui ne capte pas la totalité de la résurgence.

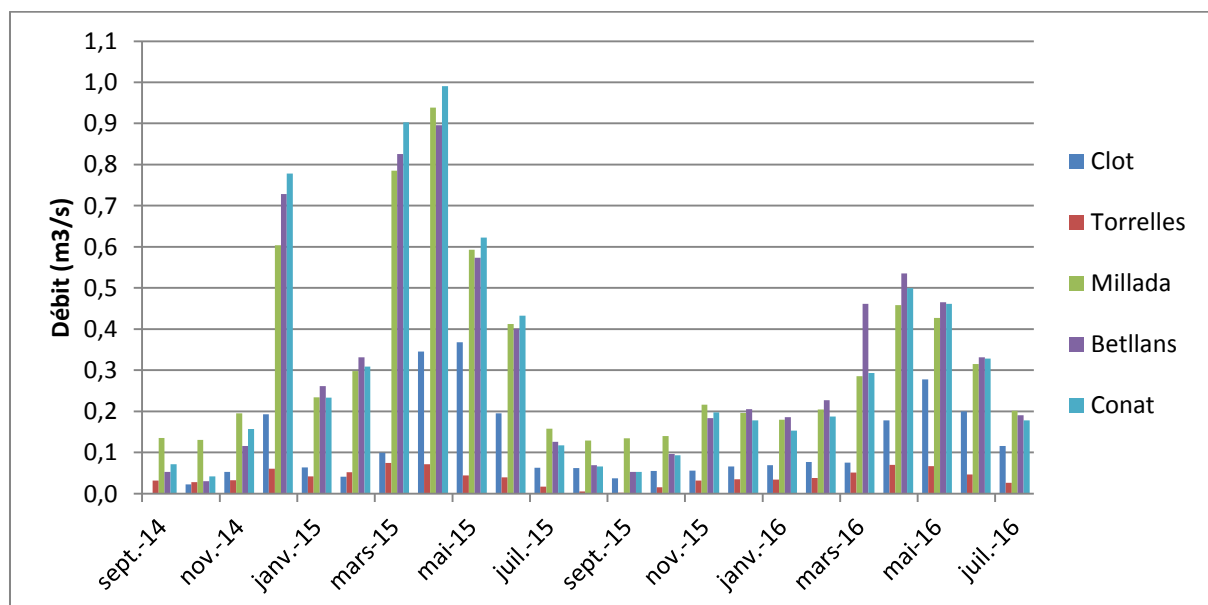


Figure 11: Débit moyen mensuel par station

VI. Les pertes dans le karst le long de faille de Merens

Le second volet du stage était de mettre en évidence la perte supposée à l'aval de la sonde Betllans. Des incohérences avaient déjà été observées en 2015 (RIO, 2015) mais ne disposant pas de données sur une période suffisamment longue, il ne fut pas possible de conclure.

1. Mis en évidence d'un manque d'eau à l'aval

L'analyse des cumuls de débit (figure 11) a permis de mettre en évidence une diminution du débit d'eau de l'amont vers l'aval, de plus le suivi de la conductivité de base du cours d'eau (relevée lors de la réalisation des jaugeages) montre une évolution croissante dans le linéaire du cours d'eau augmentant avec la diminution du débit. Cette évolution de la conductivité avait déjà été mise en évidence en 2009 (DUCROIX, 2009) mais n'a pas pu être mise en relation avec les débits car les sondes n'ont été installées que fin 2011 (SERVIERE, 2011).

Cependant une partie de cette perte pourrait être due aux captages pour l'utilisation agricole dans la vallée. Malheureusement, il n'est pas possible de quantifier exactement le débit prélevé car il ne s'agit pas de captages officiels, mais simplement de tuyaux équipés de crépine placés dans le cours d'eau et rattachés à une pompe. Le seul captage dont nous pouvons quantifier le volume est celui du village de Conat. Les chiffres officiels de ce captage sont de 40m³/j soit en moyenne 0,46L/s. Ce débit est négligeable, par rapport au débit d'étiage à Betllans. En effet la valeur minimale enregistrée en étiage est de l'ordre de 20L/s en septembre 2012. Ce dernier ne peut donc pas expliquer les écarts d'écoulement pouvant atteindre les dizaines de litres par seconde entre les deux stations.

Le graphique (figure 12) présente l'évolution du débit au cours du temps aux stations de Betllans et de Conat : on constate que la forme de la courbe est la même aux deux stations, cependant, il apparaît clairement que le débit à Conat est inférieur au débit à Betllans. Les oscillations sont celles dues aux éclusées de la microcentrale et sont très légèrement décalées dans le temps). A l'aide de ce décalage, il est possible de calculer la vitesse de propagation de l'onde de crue induite par les éclusées. Elle est d'environ 0,4m/s.

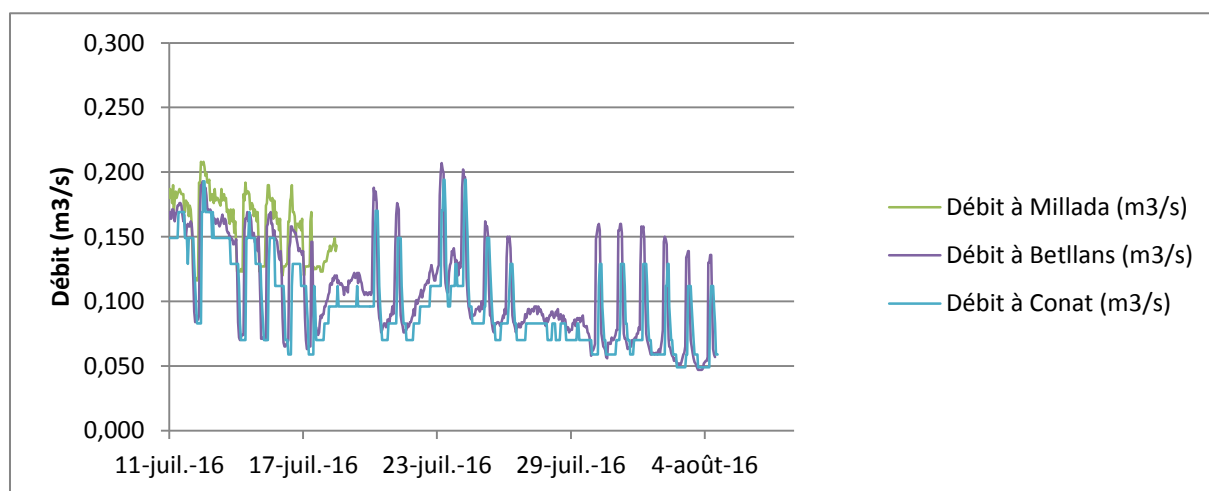


Figure 12: Hydrogramme des stations Millada, Betllans et Conat montrant le décalage de l'onde de crue

L'hypothèse avancée sur le devenir de l'eau manquante est qu'elle s'infiltre dans la roche le long de la faille de Merens comme cela a déjà pu être démontré pour l'eau manquante entre les stations de Millada et de Betllans

2. Géologie locale

La carte suivante (figure 13), montre la géologie locale, on constate en effet que le lit du cours d'eau semble franchir la faille trois fois. Cependant, comme il s'agit d'une carte géologique au 1/50 000ème il est possible que certains franchissements soient en fait des artéfacts dus au grossissement. Une première campagne de terrain a été organisée afin de vérifier si les informations présentes sur la carte correspondent à la réalité.

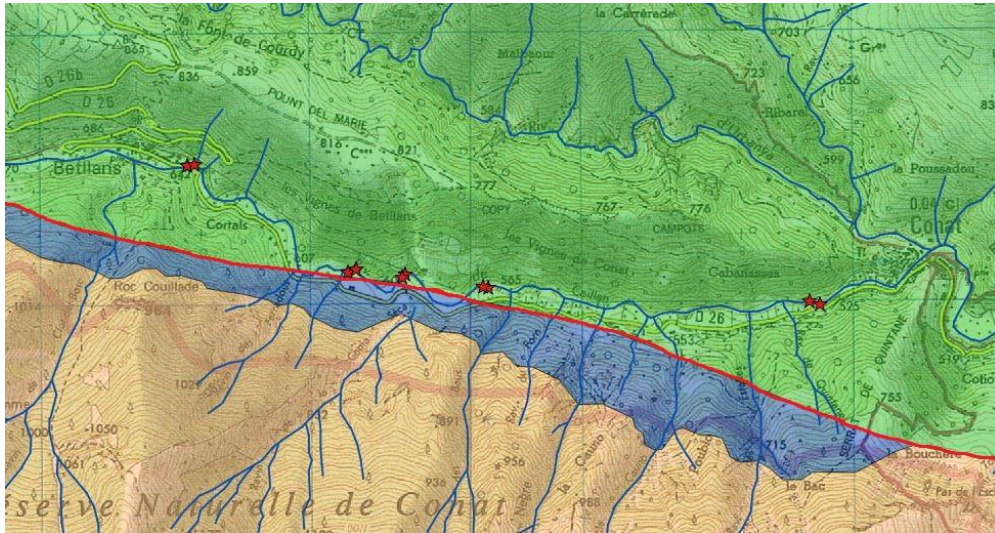


Figure 13: Géologie local entre Betllans et Conat

Les paires d'étoiles rouges représentent les points d'injection et de mesure de chacun des jaugeages réalisés lors de la seconde campagne de terrain. En vert, des formations schisteuses hautement imperméables du Cambrien, en bleu des calcschistes du Siluro-Dévonien et en orange le calcaire Dévonien du mont Coronat. La ligne rouge représente la faille de Mérens. L'identification des zones de transition entre les schistes et les calcschistes a été réalisé à l'aide d'un teste à l'acide chlorhydrique.

3. Première campagne de terrain

Cette première campagne de terrain le 22/07/2016 a permis de mettre en évidence que le lit du cours d'eau franchissait effectivement la faille de Merens en plusieurs points. Quelques jaugeages ont été réalisés, mais leur interprétation ne fût pas concluante car malheureusement il pleuvait ce jour-là. Or pour pouvoir interpréter quantitativement une perte dans le cours d'eau il faut se placer dans l'hypothèse d'un débit constant à l'amont des zones que l'on cherche à caractériser.

Qualitativement cette campagne ne fut pas perdue car malgré l'apport lié à la pluie, le débit observé était inférieur à l'aval montrant une fois de plus la présence d'une perte dans le Karst. Le tableau suivant reprend les débits jaugé ainsi que la conductivité de base aux différents points de mesure, depuis l'amont vers l'aval. Les points jaugé sont les mêmes que ceux représentés sur la carte, sans le dernier jaugeage à Conat.

Points	1	2	3	4
Débit (L/s)	111	101	94	105
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	125	125	125	136

Dans une situation sans perte, le débit ne devrait qu'augmenter sur le linéaire du cours d'eau, ou rester constant. Compte tenu de la pluie ce jour-là (8,6mm au pluviomètre de Nohèdes), le fait que le débit puisse diminuer indique forcément une perte. Cependant elle n'est pas quantifiable, car près de 3 heures se sont écoulés entre le premier et le dernier jaugeage par temps de pluie fine.

Cette campagne a tout de même permis de montrer que la perte dans le karst entre Betllans et Conat n'avait pas lieu en un seul point, mais sur plusieurs distincts, appuyant l'hypothèse que les pertes ont lieu lors des franchissements de la faille de Merens. Une seconde campagne de terrain par temps sec a été programmée pour essayer de caractériser les volumes infiltrés le long de la faille.

4. Seconde campagne de terrain

Les résultats obtenus lors de cette campagne sont repris dans le tableau suivant :

Point	1	2	3	4	5
Débits (L/s)	65	61	56	84	61
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	115	116	121	145	169
Heure du jaugeage	11h30	11h00	10h15	9h45	14h00

Afin d'éviter de contaminer le jaugeage en cours avec le sel du jaugeage précédant, les jaugeages ont été réalisés de l'aval vers l'amont sauf le dernier, mais avec une marge temps suffisante pour que tout le sel se soit écoulé. La raison de ce choix relève des disponibilités des différentes personnes concernées.

La seconde campagne menée le 04/08/2016 aurait dû permettre de localiser avec précision les différentes zones de perte et de les quantifier. Cependant, ce ne fut pas possible, non pas à cause de la pluie, mais à cause du fonctionnement de la centrale. Durant la période estival lorsque le débit est à l'étiage, un arrêté préfectoral interdit à la microcentrale de Nohèdes de turbiner. Hors afin d'éviter les dépôts de rouille dans la conduite forcée, la centrale serait autorisée à relâcher un peu d'eau durant la nuit, afin de vidanger la conduite (information communiquée oralement par une employée chargée de la maintenance de la centrale). Cependant compte tenu de la distance séparant la centrale et les points jaugés et de la durée de vidange de la centrale il apparaît que lors du premier jaugeage à 9h45, l'onde de crue de la vidange n'a pas fini pas descendre la vallée, d'où le débit beaucoup plus important.

Cependant l'évolution de la conductivité nous renseigne non pas sur les pertes, mais sur les apports d'eau karstique souterraine. En effet en admettant que la conductivité d'une eau karstique est constante dans le temps et proche de $300 \mu\text{S}/\text{cm}^2$, il est possible de calculer les volumes apporté par ses écoulements latéraux. Le débit étant inférieur sur les 3 premiers points, la perte apparente est en fait inférieur à la perte réel.

	Entre 1 et 2	Entre 2 et 3	Entre 3 et 4	Entre 4 et 5
Apport karstique (L/s)	0,5	1	4,5	NC
Perte apparente (L/s)	4	5	NC	NC
Perte réel (L/s)	4.5	6	NC	NC

Il sera nécessaire de poursuivre cette étude avec au préalable une meilleur communication avec les gestionnaire de la central.

VII. Caractérisation des fonctions de stockage et de déstockage hydrique

Le dernier volet du stage consiste à caractériser les fonctions de stockage et de déstockage lors des cycles annuels. Cela consiste à mettre en relation la lame d'eau écoulée avec la lame d'eau précipitée pour chacun des sous-bassins versants.

Le calcul de la lame d'eau écoulé consiste à multiplier le débit moyen mensuel par le nombre de seconde de ce mois.

Le calcul des volumes précipités est plus complexe à mettre en œuvre, en effet, la pluviométrie est loin d'être uniforme sur tout le bassin versant. Deux pluviomètres sont présents dans la vallée de la Nohèdes : l'un à la réserve, l'autre au niveau de la microcentrale. Ces deux pluviomètres ne sont distant que de 1,2km et 25m de dénivelé, pourtant les années où la réserve a pu avoir accès aux données de la microcentrale, il y a en moyenne 150mm de différence (RIO, 2015).

Durant le stage précédant, le modèle SPAZAM de météo France (permettant de mieux calculer les précipitations en zone montagneuse) a été appliqué à la vallée de Nohèdes. Cela a permis la construction de courbes isohyètes espacées de 50mm sur la vallée. La carte suivante (figure 14) montre leur répartition dans la vallée.

Afin de pour pouvoir obtenir une information sur la pluie dans toute la vallée, et ainsi tracer la fonction d'apport de chacun des sous-bassins versants, une hypothèse très simpliste mais nécessaire afin de permettre le calcul a été avancée. Lorsque qu'un épisode pluvieux est enregistré au pluviomètre de Nohèdes, il représente un pourcentage de la pluviométrie annuel de Nohèdes. Sachant que ce pluviomètre est compris entre les isohyètes 750 et 800, la pluviométrie annuelle serait de 775mm. Il est donc possible d'exprimer l'intensité de chaque épisode pluvieux à Nohèdes comme un pourcentage de 775mm et ensuite d'appliquer ce même pourcentage entre chaque isohyètes

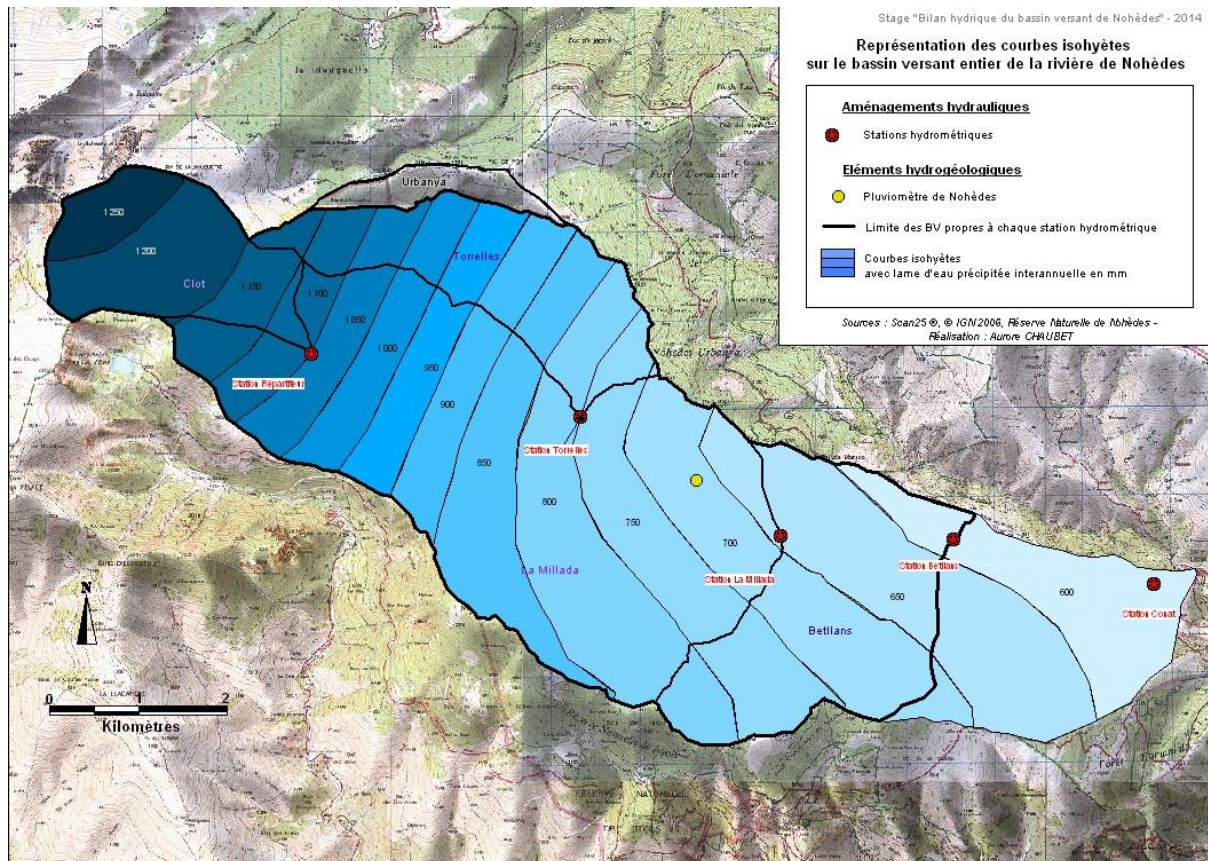


Figure 14: Répartition des courbes isohyètes dans la vallée

Ainsi lorsqu'il pleut de 7,8mm à Nohèdes, (1% de la pluviométrie annuel), sous le Madres, entre les isohyètes 1200 et 1250, il pleuvra 12,3mm.

En parallèle, à l'aide du logiciel libre Q-GIS (logiciel de SIG), la surface que représente chaque isohyète pour un sous bassin versant a été calculée. Pour un sous bassin versant donné, il est donc possible de dire quel pourcentage de sa surface est affecté par le régime pluviométrique d'un isohyète donné. La mise en relation de cette information avec celle calculée précédemment permet d'extrapoler un épisode pluvieux à Nohèdes sur tout le bassin versant et ainsi obtenir une approximation de la pluviométrie journalière sur toute la vallée permettant de tracer la courbe des cumuls de pluie annuels.

En connaissant désormais d'une part, le cumul du volume écoulé et d'autre part, une approximation du cumul de pluie précipitée, il est possible de tracer l'un en fonction de l'autre. Deux formes de graphique différentes se dégagent, celle en haute altitude (station du Clot) et celle en milieu de vallée (station de Betllans), comme le montrent les deux graphiques suivant (figures 15 et 16)

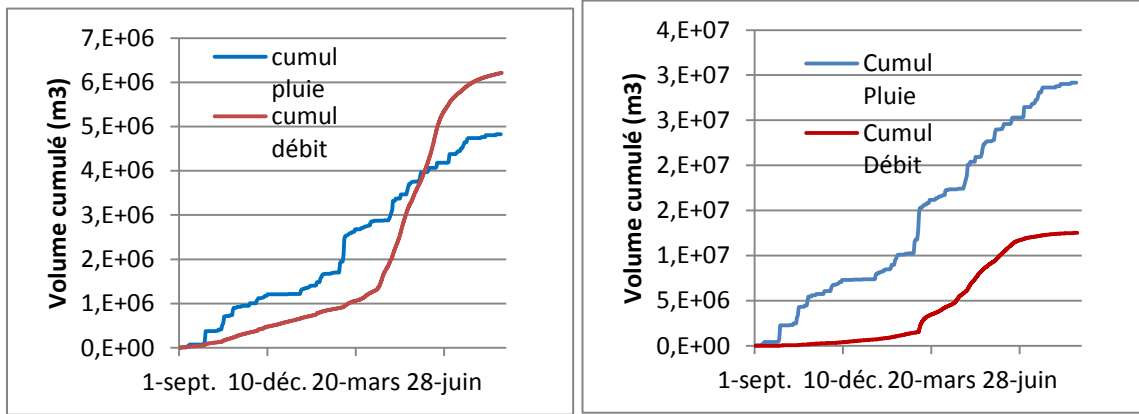


Figure 15: Cumul annuel de stockage et de déstockage au Clot 2012/2013

Figure 16: Cumul annuel de stockage et de déstockage à Betllans 2012/2013

Sur les deux graphiques, nous pouvons observer les mêmes tendances, avec 3 zones bien distinctes sur la courbe de cumul de débit. L'été hivernal, caractérisé par un cumul quasi linéaire, suivi de la période de fonte des neiges au printemps et enfin d'été estival durant lequel le débit est au plus bas, traduisant la portion quasi horizontale de la courbe

En regardant le cumul de pluie, on peut remarquer trois épisodes de pluviométrie importante. La première en Octobre et novembre, le second fin février et enfin une dernière au mois de Mai. Ce qu'il est intéressant de remarquer c'est la réaction de la courbe de cumuls de débit à ces épisodes. Celui de février notamment se traduit par une hausse brutale du cumul de débit à Betllans tandis qu'au Clot, la portion de droite du cumul hivernal n'est pas interrompue. Cela traduit un stockage de la précipitation sous forme de neige en haute altitude. En mettant en relation les données de cette façon, il serait possible d'estimer les volumes d'eaux stockés en haute altitude sous forme de neige.

Le bassin versant de la station du Clot est essentiellement composé de plantes herbacées, l'évapotranspiration y est donc très faible. De plus il s'agit d'une zone où la roche est essentiellement granitique donc peu perméable ainsi, on retrouve à la fin de l'année un volume du débit proche de celui de la pluie précipitée. Contrairement à Betllans où le bassin versant comporte une très grande proportion de zone boisée de roche perméable (le karst du mont Coronat). On retrouve un cumul de débit très inférieur à celui de la pluie compte tenu des pertes occasionnées par l'évapotranspiration.

Cependant il est important de garder en tête que les cumuls de pluie ont été tracés à partir d'un modèle lui-même modifié par plusieurs hypothèses de travail. Il est donc fortement probable qu'une partie des différences s'explique par une sous-évaluation de la pluviométrie en haute altitude et une surévaluation en basse altitude, seules celles en moyenne altitude (proche du pluviomètre) peuvent prétendre à être proches de la réalité.

VIII. Conclusion et perspectives (2017)

Cette étude a été menée dans la continuité des travaux réalisés depuis 2009 et a apporté de nouveaux éléments.

Tout d'abord, la construction des nouvelles courbes de tarage à l'aide de jaugeages par dissolution. Ont permis d'estimer les débits de basses eaux avec une plus grande précision, évalués par l'écart entre deux débits jaugés pour la même hauteur d'eau. Cependant, elles restent imprécises pour les débits de hautes eaux et les crues. Cela devra être corrigé durant l'automne 2016 par des jaugeages en période de crue. Un document technique expliquant le protocole a été rédigé.

Grâce à l'analyse périodique des hydrogrammes des trois stations avals la seconde perte dans le karst a pu être mise en évidence. Deux campagnes de terrain ont permis de montrer que cette perte s'accompagne également d'un apport d'eau karstique très chargé mais de faible débit. Malheureusement chacune des campagnes a été perturbées par un événement empêchant une interprétation sans biais des résultats obtenus.

Enfin une première approche du fonctionnement en cycle annuel des fonctions de stockage et de déstockage des masses d'eau a pu être réalisée. Malheureusement une panne de la sonde du Clot entre Mai 2013 et Octobre 2013 nous prive de deux années hydrologiques à la station la plus intéressante.

Les perspectives de poursuite de cette étude pour l'année prochaine seraient :

- Poursuivre la construction des courbes de tarage à l'aide de jaugeages au sel en période de hautes eaux et en crue

- reprogrammer une (ou plusieurs) campagne de terrain afin de mieux cerner la zone de pertes dans le karst afin de pouvoir tracer une carte des vulnérabilités de la masse d'eau souterraine du Mont Coronat si cette dernière viendrait à être utilisée comme source d'eau potable pour la région du Conflent dans les années à venir.

- Réaliser un travail de synthèse des différentes études portant sur l'hydrologie réalisées au cours des 7 dernières années par la réserve avec deux objectifs principaux. Premièrement la rédaction d'un document grand public montrant que la réserve ne suit pas seulement la faune et la flore, mais également les aspects hydrologique et météorologique de la réserve. Dans un second temps il serait intéressant de faire une mise en relation des différentes conclusions de suivis d'espèces inféodées aux milieux aquatiques avec les résultats d'hydrologie. Je pense notamment aux suivis de l'Euprocte des Pyrénées ; dont les résultats semble être très variables d'une année sur l'autre.

IX. Bilan personnel

Ce stage m'a apporté beaucoup de connaissances techniques en hydrologie ainsi qu'en gestion de base de données. Ce fut pour moi l'occasion de découvrir et d'approfondir plusieurs disciplines. Notamment la SIG avec le logiciel Q-GIS et la gestion de base de données sous Hydraccess. J'ai également été confronté aux problèmes techniques pouvant survenir sur certains appareils de terrain, et d'aboutir à leur résolution. D'autre part, j'ai pu avoir un aperçu des différentes activités réalisées par les réserves naturelles. Depuis le suivi d'espèces, jusqu'au renseignement du public en passant par la négociation entre les différents acteurs de la réserve et son mode de gestion. Enfin ce stage a confirmé mon attrait pour l'hydrologie, qui aura certainement une place importante dans mon parcours professionnel.

Le tableau suivant reprend les différentes tâches effectuées par semaine.

Semaines	Liste des tâches
Semaine 1	-Prise en main du logiciel Hydrass 3 -Recherches bibliographiques
Semaine 2	-Premiers jaugeages et calculs de débit -Début développement d'une routine VBA pour mieux visualiser les données
Semaine 3	-Prise en mains du logiciel Hydraccess -Réalisation de jaugeages
Semaine 4	-Traçage des premières courbes de tarage -Mise à jour de la routine VBA (pris en compte des débits et travail sur l'interface)
Semaine 5	-Rédaction d'un document technique, un protocole pour les jaugeages au sel -Jaugeages
Semaine 6	-Retraçage du profil en travers d'une station et Jaugeages -Fusion de toutes les « bouts » de base de données hydro pour en faire un fichier unique
Semaine 7	-Débute des recherches sur les bilans des cycles annuels -Traçage des premières courbes de stockage/déstockage -Jaugeages en basse eaux
Semaine 8	-Traduction de toutes hauteurs d'eau en débit à l'aide des nouvelles courbes de tarages -Mise en évidence de la perte et première campagne de terrain
Semaine 9	-Construction des modèles de stockage et de déstockage -Dernier jaugeages et relevé des capteurs
Semaine 10	-Seconde campagne de terrain pour la recherche de la perte dans le Karst -Début de la rédaction du rapport
Semaine 11	-Mise au point sur les résultats des deux campagnes de terrain -Rédaction
Semaine 12	-Interprétation des derniers enregistrements relevé et mis en commun -Rédaction du rapport

X. Bibliographie

Calvet, M. et Delmas, J. 2012 : Itinéraires Géomorphologiques de la réserve naturelle de Nohèdes. Nohèdes : F.R.N.C. Réserve naturelle de Nohèdes.

Chaubet, A. 2014 : Contribution à l'établissement du bilan hydrique de la vallée de Conat et de Nohèdes. Ecole Polytechnique universitaire de Montpellier, département science et technologie de l'eau.

Ducroix, P. L. 2009 : Caractérisation des échanges hydrique entre le karst du Mont Coronat et la rivière de Nohèdes. Ecole Polytechnique universitaire de Montpellier, département science et technologie de l'eau.

Laumonier, B. 1997 : La chaîne hercynienne de l'Est des Pyrénées : le massif du Canigou – Excursion du groupe Français du Paléozoïque 3-8 Septembre 1997. Ecole des mines.

Le Coz, J. et Al. 2011 : Guide technique pour le contrôle des débits réglementaires. Onema, Cemagref.

Le Guenanff, M. 2013 : Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de Nohèdes. Ecole Polytechnique universitaire de Montpellier, département science et technologie de l'eau.

OTT, Manuel d'utilisation : version 04-0206, Enregistreur pour eau souterraines OTT Orpheus Mini.

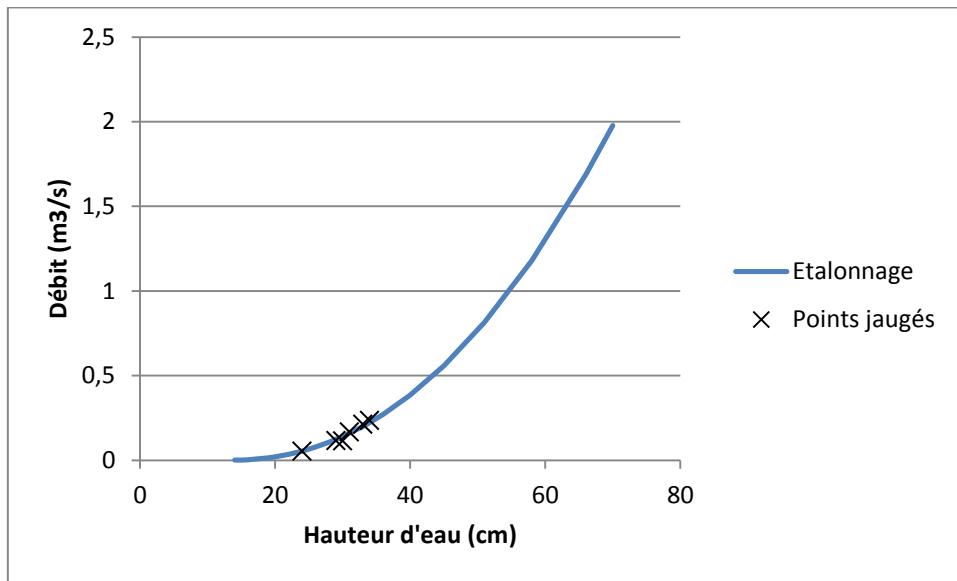
Rio, M. 2015 : Contribution à l'établissement du bilan hydrique du bassin versant de la vallée de Nohèdes. Ecole Polytechnique universitaire de Montpellier, département science et technologie de l'eau.

Servière, M. 2010 : Fonctionnement du réseau hydrique de Nohèdes ; élaboration d'un protocole de suivis de la rivière de Nohèdes. Ecole Polytechnique universitaire de Montpellier, département science et technologie de l'eau.

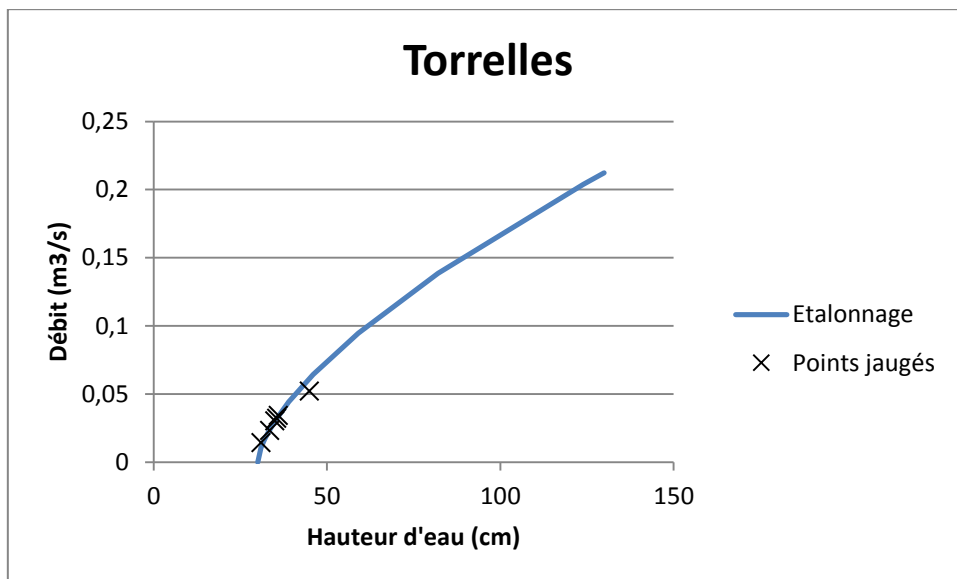
Annexes

Annexe I : Courbe de tarage de la station Clot.....	2
Annexe II : Courbe de tarage de la station Tortelles.....	2
Annexe III : Courbe de tarage de la station Betllans.....	3
Annexe IV : Courbe de tarage de la Station Conat.....	3

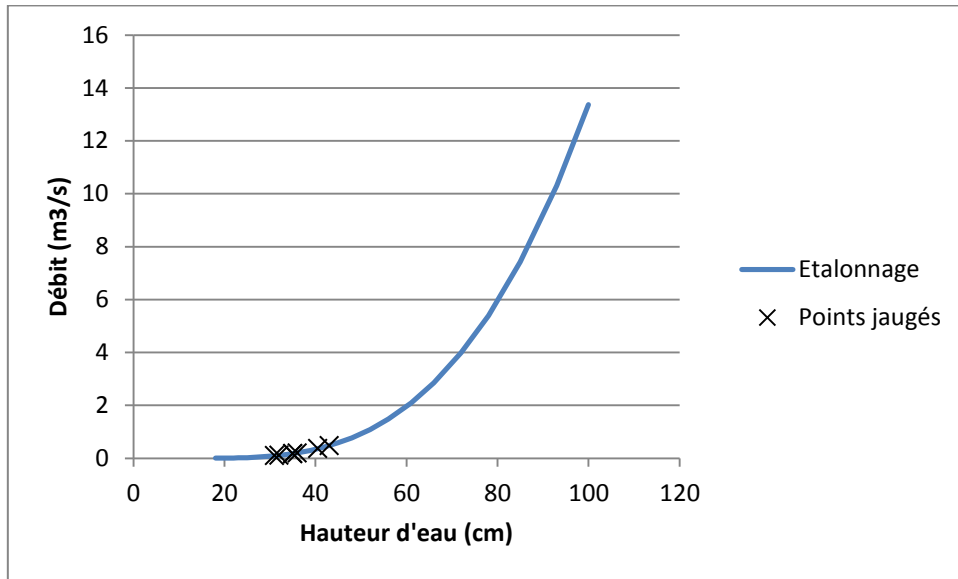
Annexe I : Courbe de tarage de la station Clot



Annexe II : Courbe de tarage de la station Tortelles



Annexe III : Courbe de tarage de la station Betllans



Annexe IV : Courbe de tarage de la Station Conat

