

**Ecole Polytechnique Universitaire de  
Montpellier**

---

*Département Sciences et Technologies de l'Eau*

**Caractérisation des échanges  
hydriques entre le karst du Mont  
Coronat et la rivière de Nohèdes**

Elève ingénieur : Pierreloup Ducroix

Tuteur de stage : Alain Mangeot

Tuteur Polytech' : Luc Neppel

Date du stage : du 26/02/2009 au 26/08/2009



Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes  
Adresse : AGRNN  
Maison de la réserve  
66500 Nohèdes

## Sommaire :

I) Remerciements :	4
II) Introduction :	5
1) Présentation de l'entreprise :	5
2) Présentation du stage :	5
III) Description du stage :	6
1) Contexte:	6
a) Présentation du site d'étude:	6
b) Problématique :	9
2) Données hydrogéologiques:	10
a) Le bassin versant :	10
b) Le massif karstique du Mont Coronat :	12
c) Les échanges karst/rivière :	14
3) Données hydrologiques :	16
a) Pluviométrie :	16
b) Débit :	21
c) Méthode d'analyse et mesures de terrain :	22
a) Analyse géographique :	22
b) Mesures de débit :	23
c) Mesures de conductivité :	25
d) Résultats et analyse :	25
a) Résultats sur les débits :	26
b) Résultats sur la conductivité :	28
e) Discussion :	33

f) Conclusion et perspective : .....	34
IV) Conclusion générale, retour d'expérience et poursuite du stage : .....	35
V) Références bibliographiques : .....	36
VI) Annexes : .....	38
VII) Résumé : .....	39
VIII) Summary: .....	39

## **Liste des figures :**

Figure 1 : Situation géographique de la réserve de Nohèdes.....	7
Figure 2 : La vallée de Nohèdes et la faille de Mérens.....	9
Figure 3 : différence entre bassin réel et bassin topographique.....	11
Figure 4 : Etendue du massif karstique sur la zone d'étude.....	11
Figure 5 : Situation géographique du synclinal de Villefranche, P. CAVET. ....	13
Figure 6 : coupe transversale au droit de Nohèdes, LAUMONIER, 1997.....	14
Figure 7: situation des postes de pluviométrie aux alentours de Nohèdes.....	17
Figure 8: Courbes isohyètes obtenues par krigeage. ....	18
Figure 9 : Pluviométrie mensuelle à Nohèdes (sur 20 ans). ....	19
Figure 10 : Pluviométrie annuelle à Nohèdes.....	20
Figure 11 : Graphique pluie-débit à Nohèdes.....	21
Figure 12 : Représentation spatiale du Modèle Numérique de Terrain.....	23
Figure 13 : Présentation du module de dépouillement de jaugeage d'Hydraccess..	24
Figure 14 : mesures de débit (en m <sup>3</sup> /s) effectuées le long de la rivière.....	26
Figure 15 : Carte géologique des alentours de Nohèdes, LAUMONIER, 1997. (cf. annexes).....	27
Figure 16 : Cartographie du réseau hydrologique.....	29

Figure 17: Conductiv ité dans la rivière en hautes et basses eaux.....	31
Figure 18: Situation des points de mesure de la conductivité.....	32

## I) Remerciements :

Je tiens à remercier en premiers lieux mon tuteur de stage Alain Mangeot de m'avoir accueilli et encadré en stage au sein de l'Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes, ainsi que Maria Martin et Jeanet Dekker avec qui j'ai pu partager les bureaux de la maison de la réserve.

Je remercie de même mon tuteur Polytech' Luc Neppel pour ses remarques, indications et conseils avisés ainsi que pour le temps qu'il a pu me consacrer ainsi que l'ensemble de mes professeurs de Polytech'Montpellier.

Merci aussi à Mr. Henri Salvayre pour ses conseils éclairés quant à mes travaux et son aide précieuse lors de mes investigations sur le terrain, ainsi que pour m'avoir convié à participer à un sondage électrique aussi instructif que divertissant.

Un grand merci également à Oriane Chabanier, stagiaire travaillant sur l'euprocte de Pyrénées et avec qui j'ai partagé les joies de la collocation dans les locaux de la réserve, pour sa bonne humeur et pour nos sorties en montagne.

Je tiens également à remercier tous les stagiaires et employés des réserves catalanes que j'ai pu rencontrer et avec qui j'ai pu collaborer, ainsi que mes amis présents sur les environs de Perpignan pour nos sorties festives ou culturelles et nos sessions d'escalade intensives.

Merci pour finir à l'USAP d'avoir gagné le championnat pendant mon séjour, ce qui fut l'occasion de découvrir l'engouement et la motivation des catalans.

## II) Introduction :

### *1) Présentation de l'entreprise :*

La Réserve Naturelle de Nohèdes a été créée en 1986. L'organisme de gestion délégué par voie de convention est l'Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes (A.G.R.N.N.). Elle fait partie de la Fédération des Réserves Naturelles Catalanes (FRNC), constituée des réserves de Py et de Mantet (créées en 1984), Prats de Mollo, Conat, Jujols et Nohèdes (créées en 1986) et Eyne (Créée en 1993). Les principales actions de l'AGRNN ont pour but de **protéger** les sites les plus précieux et les espèces dont la sauvegarde doit être garantie, de **gérer** les différents milieux en vue de conserver et d'accroître la diversité, de **connaître** les milieux de manière approfondie, notamment à travers des recherches et suivis scientifiques et techniques, et de **faire découvrir** par l'éducation à l'environnement, la sensibilisation et l'information.

C'est à travers la thématique de la connaissance que la nécessité d'un stagiaire s'est fait sentir. En effet, afin de prendre des décisions adaptées en matière de gestion d'espaces naturels, il est nécessaire d'avoir une connaissance approfondie des milieux, des espèces et du fonctionnement complexe des écosystèmes. C'est pourquoi l'AGRNN réalise de nombreux inventaires et suivis d'espèces, et cherche à accroître sa connaissance dans de nombreux domaines, ce qui en fait un terrain d'expérimentation contribuant à l'avancée des connaissances dans des domaines très variés. C'est donc dans cette optique qu'est née la volonté d'étude du fonctionnement hydrologique de la réserve, et notamment l'hydrogéologie du Mont Coronat.

### *2) Présentation du stage :*

Le stage porte donc sur la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du Mont Coronat et du bassin versant de Nohèdes ainsi que la mise en place d'un suivi hydrologique concernant aussi bien la pluviométrie que les débits, mais qui ne sera pas explicité dans ce rapport. Il se déroule sur une durée de quatre mois jusqu'à la production de ce rapport, avec une reconduction de deux mois supplémentaires, soit de Février à Août 2009, la soutenance se faisant en Juin. Ce stage est effectué

dans les bureaux de la réserve de Nohèdes et est ponctué par de nombreuses investigations de terrain sur le linéaire de la rivière de Nohèdes dans toute la réserve naturelle. La partie effectuée dans les bureaux est l'occasion de se familiariser avec plusieurs logiciels, notamment MapInfo, Grass et QuantumGIS pour les Systèmes d'Information Géographique, et Hydraccess pour les bases de données. La partie terrain quant à elle donne la possibilité de faire des mesures dans la rivière (débit et conductivité notamment) et de prendre contact avec plusieurs personnes extérieures qui travaillent aussi de manière plus ou moins directe sur la rivière de Nohèdes. C'est le cas notamment de la société CAYROL International qui rénove une centrale hydroélectrique sur la rivière, ainsi que l'hydrogéologue H. Salvayre qui a longtemps étudié le système karstique du Mont Coronat.

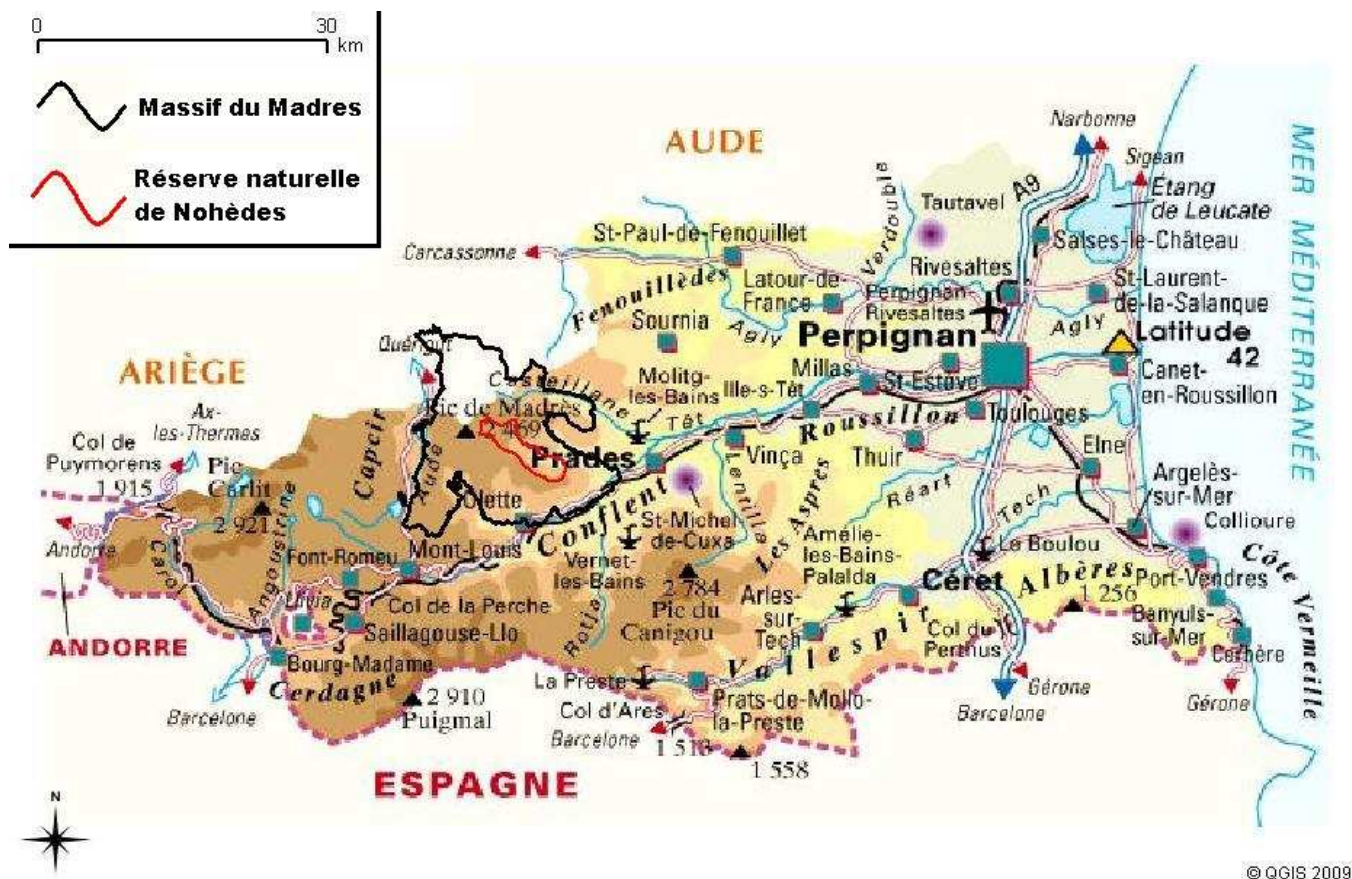
Ce stage commence donc par une analyse cartographique de la géomorphologie et l'hydrologie du site, puis continue avec des investigations et des mesures de terrain en vue de caractériser les échanges hydriques karst/rievière.

### III) Description du stage :

#### 1) *Contexte:*

##### a) **Présentation du site d'étude:**

La vallée de Nohèdes, située au cœur du massif du Madres, à l'Est de Prades, dans les Pyrénées Orientales (cf. Figure 1), est une enclave d'orientation Nord-Ouest/Sud-Est qui s'étend sur 50 km<sup>2</sup> environ entre Ria-Sirach, située à 380 mètres et le Roc Nègre qui culmine à 2446 mètres d'altitude. Le long de la vallée se trouvent les villages de Conat, Betllans et Nohèdes. Cette vallée est parcourue par un cours d'eau principal (la rivière de Nohèdes) qui s'étend sur environ 21 km et qui est rejoint par quelques affluents ainsi que par de nombreuses sources s'écoulant le long des versants. La rivière de Nohèdes est un des principaux affluents de la Têt mais sera étudié ici seulement entre sa source au lac de Nohèdes (appelé *Gorg Estelat*) et la commune de Conat, donc sur un linéaire de 14 km.



**Figure 1 : Situation géographique de la réserve de Nohèdes**

La vallée de Nohèdes présente une certaine complexité autant d'un point de vue hydrologique que géologique ce qui en rend l'étude complexe :

- Concernant l'hydrologie, c'est le caractère montagneux qui rend compte de cette complexité. En effet il existe un fort gradient de pluviométrie selon l'altitude à laquelle on se trouve. Concrètement il pleut plus dans la partie haute de la vallée qu'à l'aval, à une altitude moins élevée. Cette tendance est d'ailleurs accentuée par le climat soumis aux influences océanique et méditerranéenne, avec de forts vents du Nord-Ouest (Tramontane) qui engendre des précipitations océaniques notamment en altitude, mais aussi une influence méditerranéenne qui adoucit le climat dans la partie basse de la vallée.
- La géologie du site se divise en deux catégories distinctes séparées par une faille orientée Est-Ouest (la faille de Mérens) qui cours au fond de la vallée entre Nohèdes et Conat et s'élève sur le versant Nord de part et d'autre de cette zone (cf. Figure 2). La partie Nord de cette faille, c'est-à-dire le versant Sud ainsi que la partie haute de la vallée sont constitués majoritairement de roches de type schisteuse ou granitique imperméables, tandis que le massif du Coronat, situé au Sud de la faille, sur le versant Nord de la vallée, est

essentiellement calcaire, donc perméable. Cette zone calcaire est très fissurée et constitue donc une réserve d'eau et un réseau hydrique important, attesté par les nombreuses grottes qui existent en son sein.

Par ailleurs, la vallée est soumise à certaines pressions anthropiques, notamment des élevages dont plusieurs bergeries situées à Nohèdes même et en amont dans la vallée. Ces élevages de vaches et de brebis peuvent constituer un danger concernant la qualité écologique de la rivière, par leurs rejets de litières fortement chargées en matière fécale et urée. Il en est de même pour les eaux usées des villages de Nohèdes, de Betllans et de Conat qui sont rejetées à flanc de montagne sous le village et tombent directement dans la rivière. Néanmoins, la commune de Nohèdes a commencé une démarche pour la création d'une station de phyto-épuration par procédé extensif (lits plantés) et témoigne ainsi de sa volonté de préserver son environnement.

Pour finir, il est important de noter la présence dans la réserve d'une microcentrale électrique. Cette dernière a obtenu un droit d'exploitation en 1974 pour la S.A. Climens, puis depuis 2008 pour la société CAYROL International : une dérivation sur la rivière de Nohèdes alimente une retenue d'eau aménagée à 1610 mètres d'altitude et appelé *Estany del Clot*. Cette retenue est connectée à la centrale située quelques kilomètres en amont du village, à 990 mètres par une conduite forcée de 4 kilomètres. Actuellement, l'exploitation de la centrale est autorisée entre septembre et juin, pour limiter l'impact lors de l'étiage estival. Cependant si le débit reste trop faible durant la période d'exploitation pour assurer le fonctionnement de la centrale, le propriétaire pratique des éclusées (il laisse la retenue se remplir et la vide ponctuellement). La société CAYROL International est actuellement en train d'effectuer des travaux de remise aux normes, comprenant le changement d'une partie de la conduite forcée ainsi que de la turbine et de l'alternateur. Ces travaux seront donc pour moi une occasion de rencontrer les dirigeants de la société, ainsi que l'ingénieur projet qui est un ancien STE et de voir des travaux effectués sur des grands ouvrages hydrauliques.



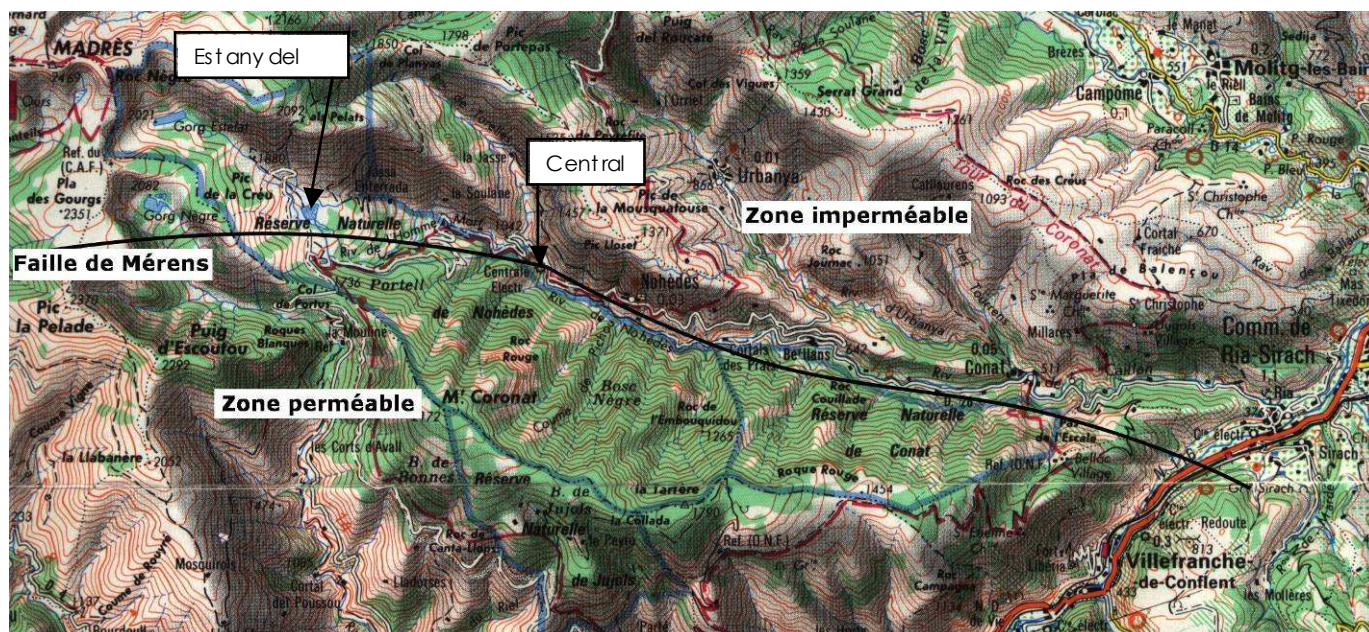


Figure 2 : La vallée de Nohèdes et la faille de Mérens.

## b) Problématique :

La rivière de Nohèdes se situe dans ses parties amont et aval sur des terrains schisteux imperméables, où son débit n'est affecté que par les écoulements de surfaces issus des pluies tombées sur le bassin versant drainé. Cependant elle parcourt sur quelques kilomètres les terrains calcaires perméables où de nombreux échanges sont suspectés entre ces deux systèmes hydriques. Ces échanges peuvent se faire sous différentes formes :

- D'une part des écoulements de surface issus de sources karstiques pérennes ou de résurgences dues à une mise en charge du karst en période de forte pluie qui vont alimenter directement la rivière.
- D'autre part des échanges souterrains entre la rivière et le karst qui peuvent se faire dans un sens sous forme d'arrivées d'eau souterraine issue du karst dans la rivière mais aussi dans l'autre sens sous forme de pertes par infiltration de la rivière dans le karst.

Le karst est donc à la fois une zone de stockage et d'écoulement et c'est cette dualité qui en fait une zone particulièrement sensible à la pollution. En effet une pollution des sols comme de la rivière se traduit à travers les échanges hydriques par une pollution de l'eau souterraine et donc des dangers potentiels sur cet écosystème fragile ainsi que sur les populations qui puisent leur eau potable dans ce même karst (Ria-Sirach, Conat, Betllans et Nohèdes).

Il est donc nécessaire de faire l'étude de ce double système karst/rivière, d'une part pour mieux connaître le fonctionnement de ce système complexe, et d'autre part pour prévenir d'éventuels risques sur les masses d'eau. Cette étude doit prendre en compte les aspects géomorphologiques autant qu'hydrologiques pour rendre compte au mieux du fonctionnement hydrique de la vallée. Pour ce faire, j'ai dans un premier temps analysé les données disponibles sur ce sujet, aussi bien dans la bibliothèque de la maison de la réserve que sur Internet.

## **2) Données hydrogéologiques:**

Pour bien appréhender le problème qui est le notre, et qui concerne à priori uniquement la vallée de Nohèdes et le versant Nord du Mont Coronat, il est nécessaire de bien définir quelles sont les limites de notre zone d'étude :

### **a) Le bassin versant :**

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets. Il est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau et ses affluents jusqu'à son exutoire. Cependant dans le cas où, comme à Nohèdes, une des délimitations du bassin versant (ici le versant Sud et le Mont Coronat) est constitué d'un sol perméable, la surface précédemment définie ne correspond pas à la surface effectivement drainée par la rivière puisque les eaux souterraines ne sont pas prises en compte. En effet une partie des eaux issue du bassin versant voisin peut s'infiltrer à travers le karst et finir dans la rivière (cf. Figure 3).

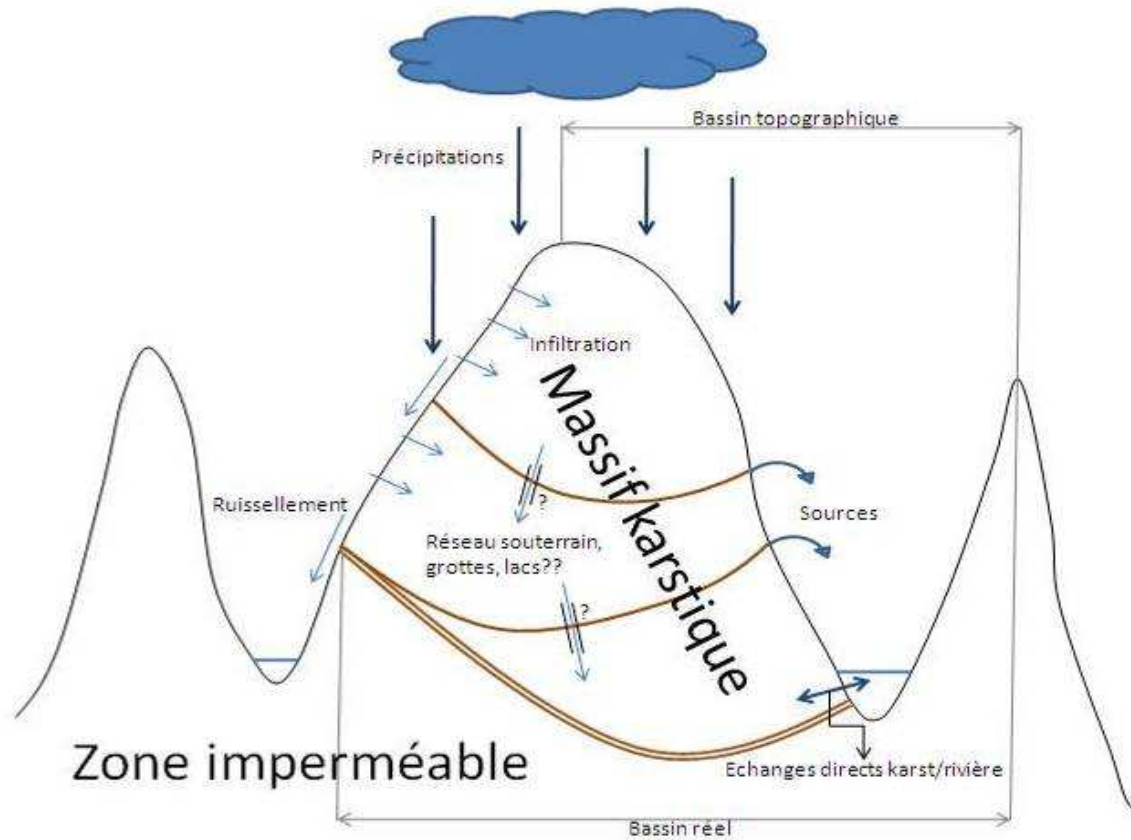


Figure 3 : différence entre bassin réel et bassin topographique

Dans le cas du bassin versant de Nohèdes, le karst se situe en partie sur les bassins de Jujols, Olette et Serdinya (cf. Figure 4). Il est donc important de comprendre le fonctionnement du système karstique dans sa globalité :

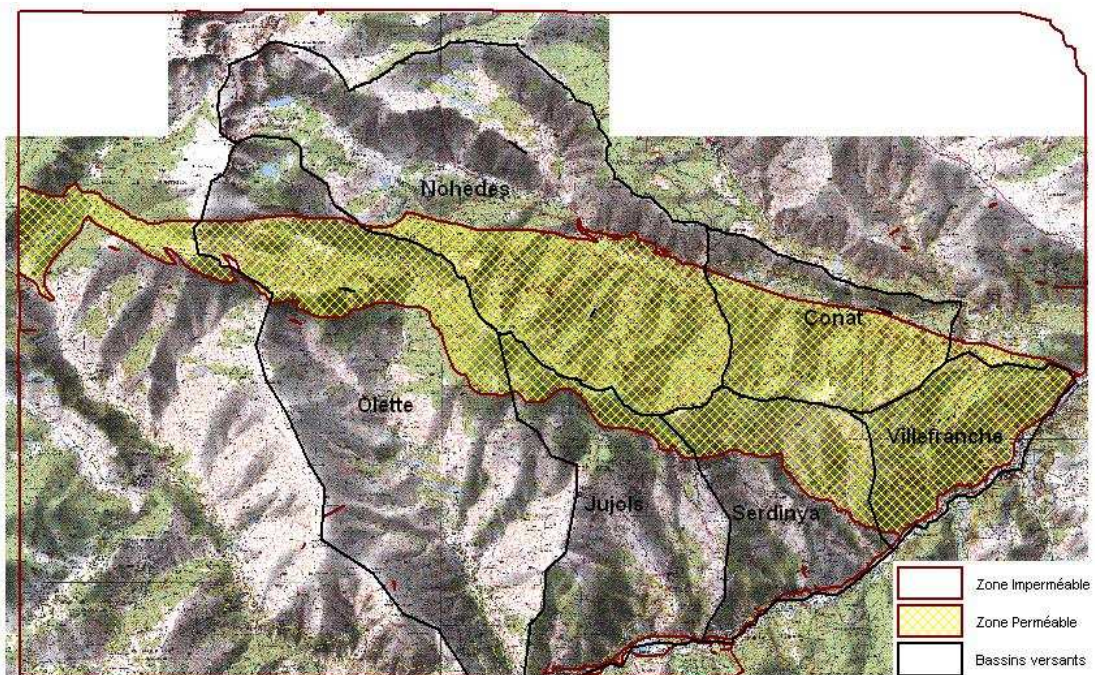


Figure 4 : Etendue du massif karstique sur la zone d'étude.

## b) Le massif karstique du Mont Coronat :

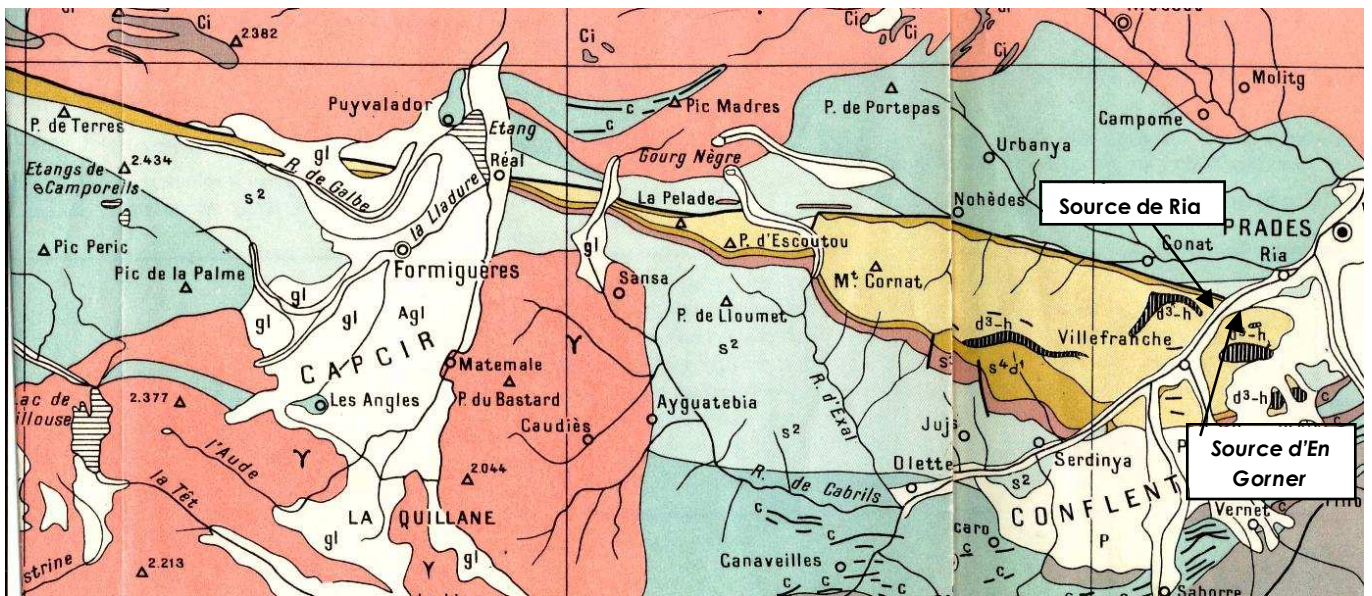
La structure du massif du Mont Coronat est un synclinal (le synclinal de Villefranche). C'est un des nombreux karsts de la périphérie du massif du Canigou qui se développent essentiellement dans les calcaires du Dévonien et constituent des structures complexes de synclinaux couchés les uns sur les autres sur d'importantes épaisseurs et reposant vraisemblablement sur un substrat schisteux imperméable (cf. Figure 6). Il s'étend d'Ouest en Est de Villefranche à Fontrabieuse sur plus de trente kilomètres de longueur (cf. Figure 5). Il culmine au Pic de la Pelade à 2470 m d'altitude. Il mesure 4 kilomètres environ de largeur à Villefranche de Conflent et seulement quelques centaines de mètres à Fontrabieuse [SALVAYRE].

Le karst est drainé par deux résurgences situées de part et d'autre de la Têt en amont de Ria : La résurgence d'*En Gornier* rive droite et celle de Ria rive gauche, c'est là que se trouve d'ailleurs le prélèvement pour l'adduction d'eau potable des communes de Ria-Sirach et de Prades. Il existe de plus quelques sources pérennes de faible débit sur les versants du synclinal ainsi que des résurgences le long de la faille de Mérens qui s'activent en cas de fortes pluies, avec des débits variables.

Plusieurs réseaux souterrains ont été découverts par des spéléologues lors de leurs investigations pour déterminer l'origine des eaux s'écoulant à *En Gornier* et à Ria. De même plusieurs pertes de l'eau de rivières étaient connues et soupçonnées de participer à ces résurgences (sur le *Mardé* et le *Cady*, tous deux affluents de la Têt). Des colorations à la fluorescéine ont donc été entreprises au début des années 1960 dans ces pertes et ces écoulements. Chacune de ces colorations ressortit alors à la résurgence d'*En Gornier*.

Depuis la grotte d'*En Gornier* (qui est en fait située rive gauche, donc du côté de la source de Ria), un réseau d'écoulement souterrain a été découvert en 1971, débouchant sur la rivière souterraine d'*En Gornier*. Cette rivière dont la mise en charge en cas de forte pluie entraîne l'inondation sur 2700 mètres de long et 15 mètres de hauteur d'eau, se perd ensuite avant l'entrée de la grotte et ressort au dessus du lit de la Têt à la résurgence de Ria. Le siphon amont de ce canyon souterrain a été exploré par des plongeurs mais n'a pas débouché. En période de forte pluie donc, le réseau souterrain de la résurgence de Ria est visible car il rejoint celui de la grotte d'*En Gornier*, mais toute sa partie amont comme avale reste inconnue, cependant il laisse envisager un énorme réservoir souterrain potentiel (de l'ordre du million de mètres cubes) qui pose le problème de l'origine de cette eau. Les hypothèses concernant cette origine sont qu'elle provient des différentes rivières parcourant le massif calcaire, à savoir le ruisseau des Horts, la rivière d'Evoul ainsi que celle de Nohèdes.

Ces pertes d'eau de la rivière dans le karst rendraient la masse d'eau souterraine très sensible à une pollution accidentelle ou chronique des eaux de surface. Il est donc nécessaire de bien comprendre le fonctionnement de ce karst et de localiser les zones d'échange avec la rivière afin de prévenir d'éventuelle pollution des masses d'eau karstiques. Pour cela une campagne de mesure des caractéristiques physico-chimiques de l'eau sur le linéaire de la rivière doit être mise en place. Elle consistera tout d'abord à situer les points d'apport d'eau karstique et ensuite à estimer les débits qui transitent en ces zones. Il sera ensuite étudié la possibilité d'effectuer des traçages à l'aide de fluorescéine pour valider les hypothèses précédemment posées et mieux caractériser les écoulements souterrains et les échanges karst/ rivière.



**Figure 5 : Situation géographique du synclinal de Villefranche, P. CAVET.**

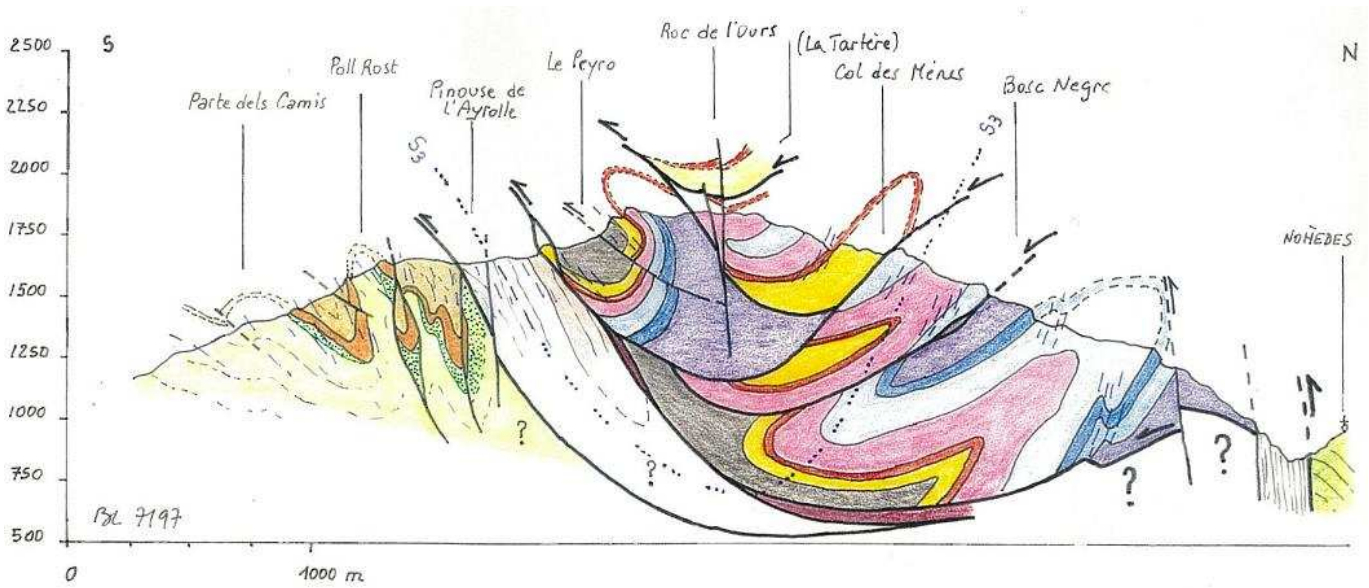
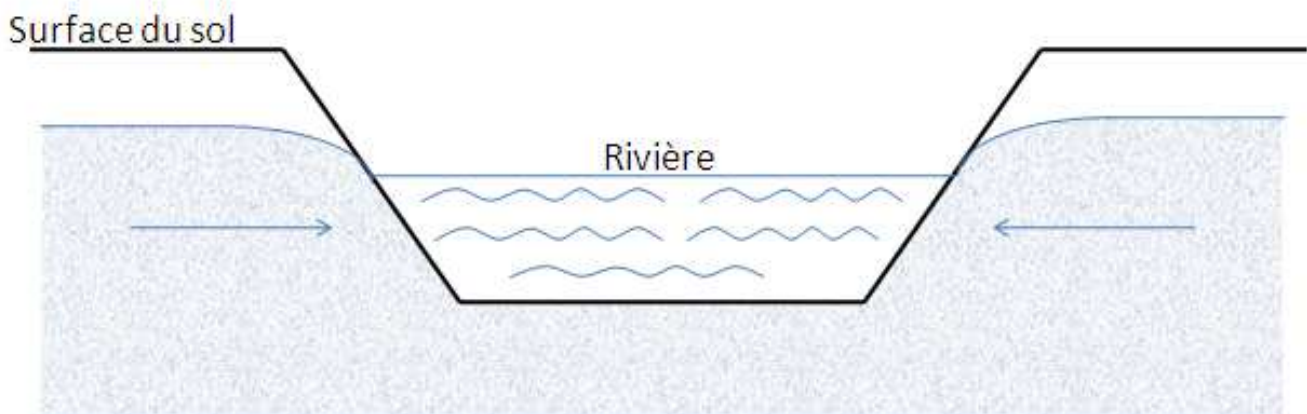


Figure 6 : coupe transversale au droit de Nohèdes, LAUMONIER, 1997.

### c) Les échanges karst/rivière :

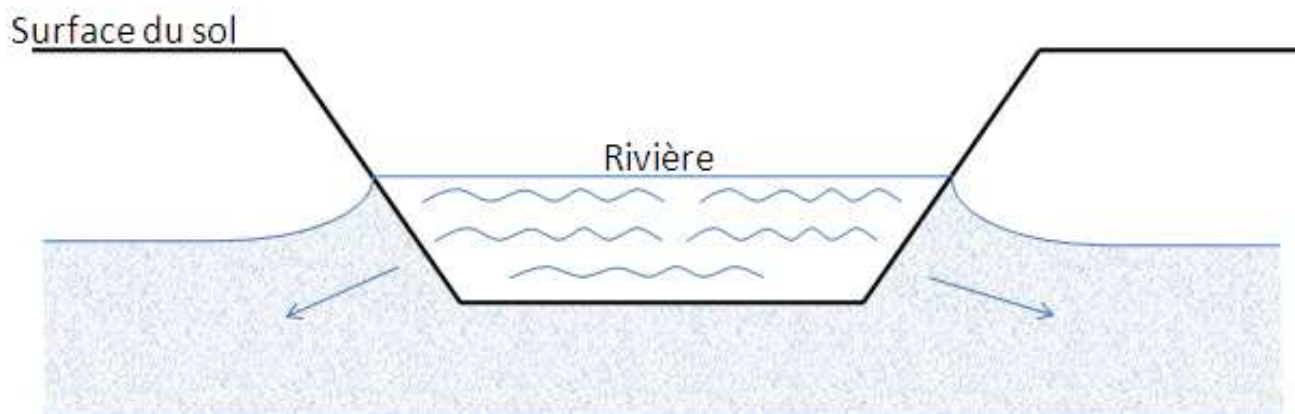
Les échanges karst/rivière sont de plusieurs natures, et sont variables dans le temps et l'espace suivant l'échelle à laquelle on se place pour les caractériser. Selon la charge de l'aquifère et la surface libre de la rivière, on distingue plusieurs types d'interactions [BALLI-COMTE] :

#### - La rivière drainante :



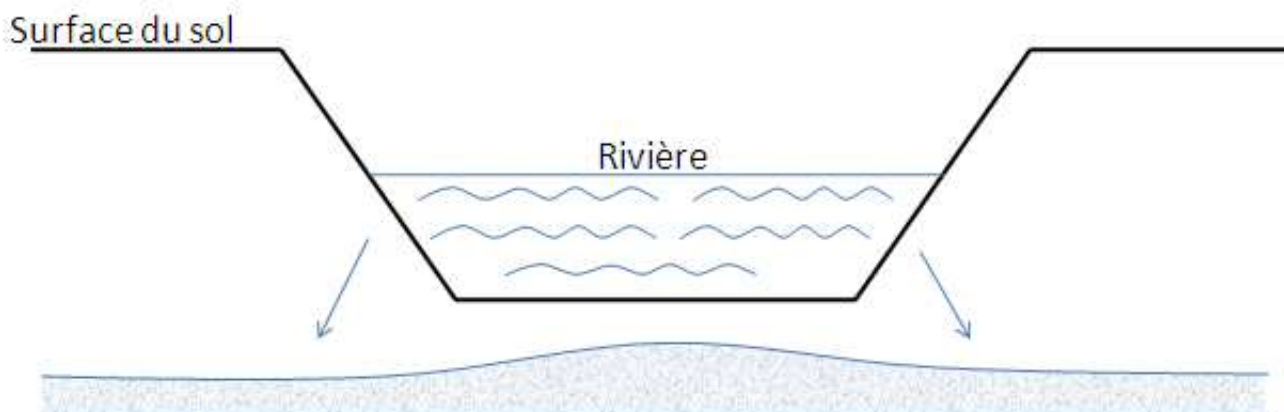
Dans ce cas, la cote de la rivière est supérieure à la charge de la nappe, donc la rivière draine l'aquifère, ce qui amène par exemple à un soutien de la rivière à l'étiage. La rivière matérialise ici une condition limite de potentiel égale à la cote de la surface libre. Dans ce cas, l'eau souterraine est peu sensible à la qualité de l'eau de la rivière.

- **La rivière infiltrante :**



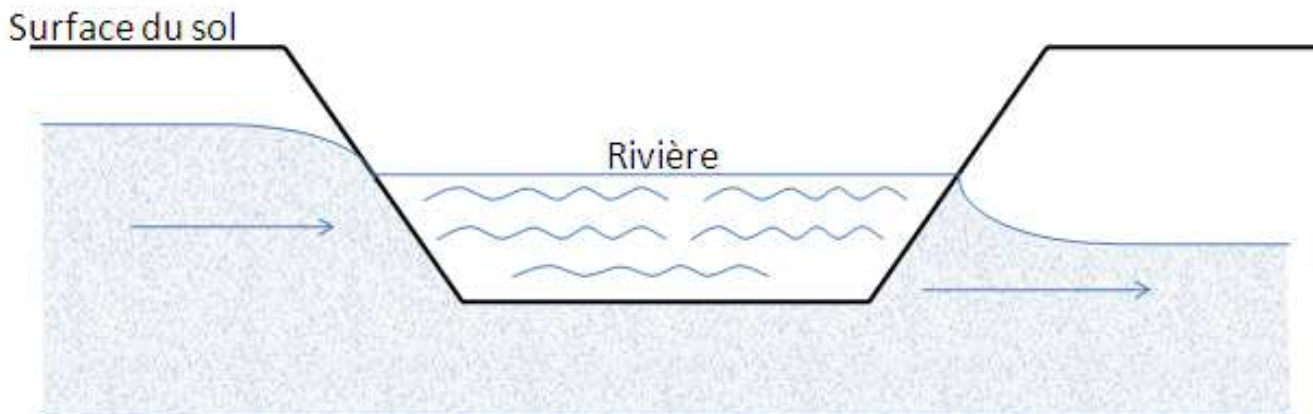
Dans ce cas, la rivière représente toujours une condition limite de potentiel mais cette fois, le sens des écoulements est inversé par rapport au précédent, c'est la rivière qui s'infiltré dans la nappe. Dans ce cas, la nappe est extrêmement vulnérable à une pollution des eaux de surfaces et de la rivière.

- **La rivière déconnectée :**



Dans cette figure, le cours est totalement déconnecté de l'aquifère et s'infiltré dans ce dernier. La rivière représente cette fois une condition limite de flux d'infiltration. Ici, la nappe est aussi sensible à une pollution de la rivière.

- **A grande échelle :**



D'un point de vue plus global cette fois, on peut constater que souvent le sens d'écoulement de l'eau n'est pas altéré par la rivière, même si à l'échelle locale on peut retrouver les phénomènes décrits plus haut. En effet la piézométrie diminue dans le massif et l'eau s'écoule dans un sens donné.

Dans le cas de Nohèdes, le niveau piézométrique de la nappe est encore peu connu, ce qui rend difficile une telle interprétation. Cependant on peut supposer que les interactions peuvent s'inverser, passant d'un cas de rivière infiltrante en hiver et lors de la fonte des neiges à une rivière drainante en été puisque la nappe souterraine est à priori moins sensible à l'étiage du fait de son volume d'eau important et des temps de transfert plus long. La détermination et la surveillance du niveau piézométrique semble donc important dans le suivi des échanges entre le karst et la rivière.

### ***3) Données hydrologiques :***

#### **a) Pluviométrie :**



Un poste de relevé pluviométrique est situé à la maison de la réserve et est relevé tous les jours par les employés. Ces relevés constituent une base de données d'environ vingt ans.

Pour pouvoir mettre en place un bilan hydrique sur la vallée, un des premiers travaux est de mesurer correctement les pluies tombées sur le bassin versant. Or nous avons vu qu'il existe un fort gradient de pluviométrie entre les parties hautes et basses de la vallée. La mesure de la pluviométrie en un point de la vallée ne suffit donc pas à rendre compte de la lame d'eau tombée sur l'ensemble de la vallée.

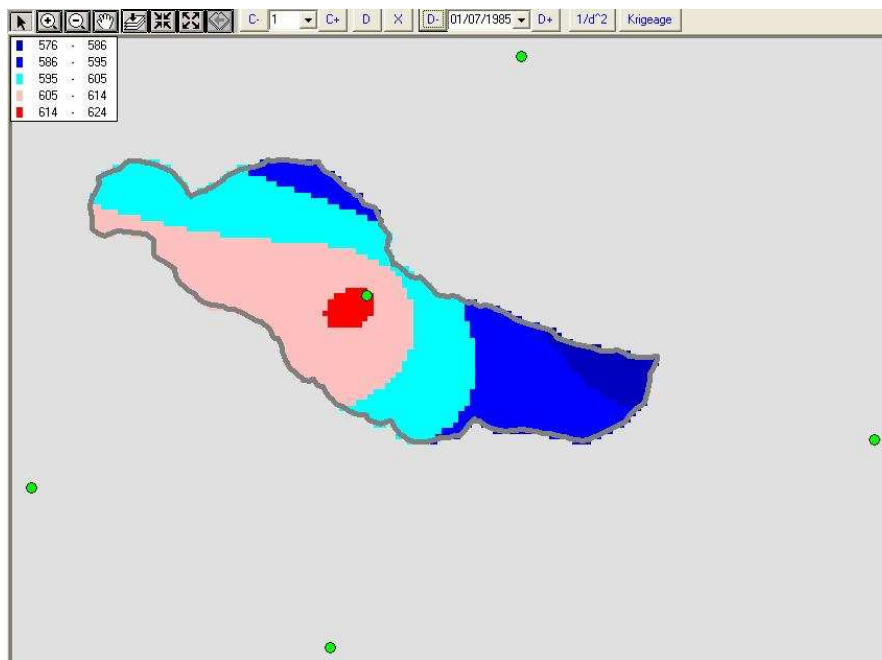
Pour évaluer ce gradient de pluviométrie, j'ai tenté de spatialiser les pluies à partir des données ponctuelles mesurées en plusieurs pluviomètres situés aux alentours de la vallée de Nohèdes. Pour spatialiser ces données, j'ai utilisé la méthode du krigeage, interpolation statistique basée sur l'analyse des variogrammes et qui donne de bons résultats en zone montagneuses. Cette méthode permet de tracer sur la zone voulue des courbes isohyètes (dont la valeur de la lame d'eau est égale), puis de calculer une valeur de lame d'eau moyenne sur la zone.

Pour réaliser ce krigeage, j'ai utilisé un module du logiciel Hydraccess, avec les données de cinq postes pluviométriques situés aux alentours de la vallée de Nohèdes (cf. Figure 7). Ces postes sont situés à Codalet (450 mètres), Mosset (750 m.), Nohèdes (1000 m.), Olette (615m.) et Railleu (1340 m.).



Figure 7: situation des postes de pluviométrie aux alentours de Nohèdes

Grâce au module de calcul par krigeage, j'ai obtenu des cartes représentant les courbes isohyètes sur l'ensemble du bassin de Nohèdes (cf. Figure 8).



**Figure 8: Courbes isohyètes obtenues par krigeage.**

On peut voir qu'il existe en effet un gradient de pluviométrie le long de la réserve, cependant la zone de plus forte pluviométrie est centrée sur le pluviomètre de Nohèdes, or on sait que ce gradient doit s'effectuer avec l'altitude, et que ce sont les zones les plus hautes qui reçoivent la pluviométrie la plus forte. Il apparaît donc que ce krigeage ne représente pas la réalité, ce qui semble due au manque de données de pluviométrie en altitude. Ce problème montre donc la nécessité de mettre en place une station d'altitude pour collecter les données pluviométriques et améliorer le calcul de lame d'eau grâce à un krigeage plus efficace et proche de la réalité.

Avec les données pluviométriques de Nohèdes, il est possible de faire une première analyse du régime hydrique de la vallée :

- La pluviométrie mensuelle :

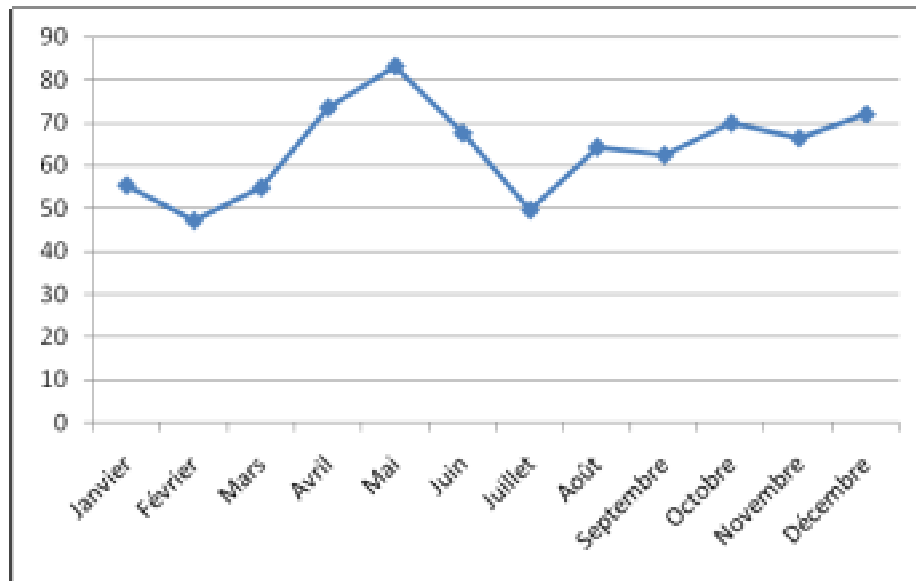


Figure 9 : Pluviométrie mensuelle à Nohèdes (sur 20 ans).

On peut voir une période de forte pluie durant les mois d'avril et mai, précédée et suivie d'une période creuse en février et mars puis en juillet, avec un regain de pluie d'août à décembre.

- La pluviométrie annuelle :

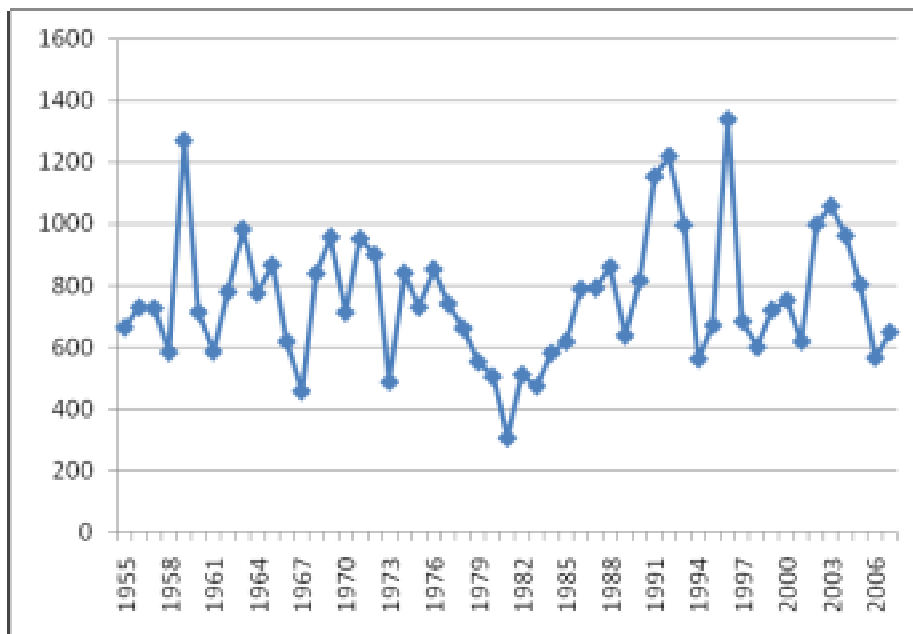


Figure 10 : Pluviométrie annuelle à Nohèdes.

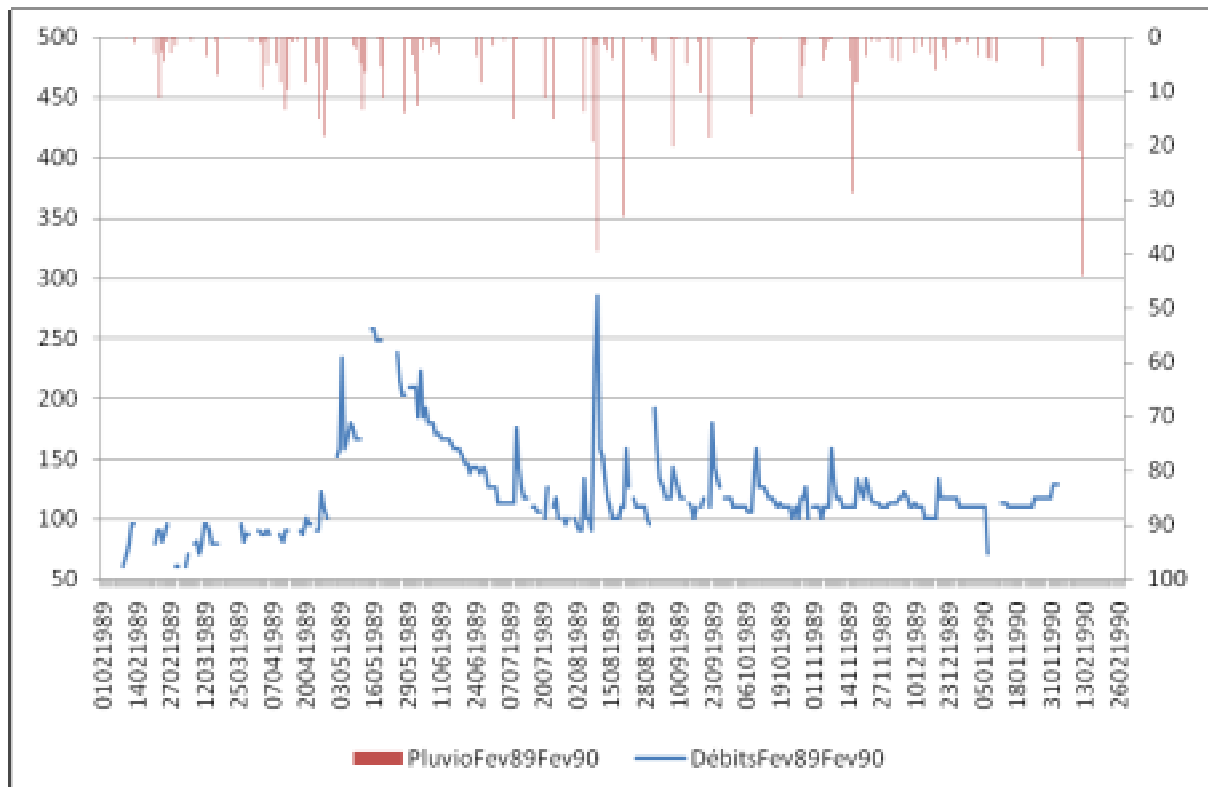
La pluviométrie annuelle sur le pluviomètre de Nohèdes est de 842 mm (moyenne sur 20 ans), il est intéressant de constater que la valeur moyenne sur le bassin versant calculée à l'aide de la méthode du krigeage donne un résultat de 802 mm. On voit donc à quel point il est important de spatialiser les données de pluie.

On peut voir aussi que la moyenne sur les années 1955 à 1980 est de 749 mm, tandis que sur les années 1985 à 2006, elle est de 828. Les années 1981 à 1984 ne sont pas prises en compte car un grand nombre de données sont manquantes. Plusieurs hypothèses sont possibles pour expliquer ce changement. Il est possible que la tendance pluviométrique soit en hausse ces dernières années (résultats à vérifier avec des données plus récentes de pluviométrie), mais on peut aussi remarquer que les valeurs minimales de pluie sont plus élevées (quasiment aucune année en dessous de 600 mm) et au contraire que les années à forte pluviométrie sont plus fréquentes, ce qui peut former une autre explication. Une dernière hypothèse est que le pluviomètre a été changé de place, en effet en 1983, il est passé de la centrale hydroélectrique à la maison de la réserve.

Ces résultats restent à vérifier et à mettre en relation avec les données plus récentes de pluviométrie, sur les années 2007 à 2009, ainsi qu'avec d'autres postes de pluviométrie.

**b) Débit :**

Le débit a été évalué sur la rivière de Nohèdes par Mr. Salvayre lors d'une étude effectuée entre 1989 et 1991. Les valeurs de hauteur d'eau relevées à la retenue de la centrale ont été converties en débit grâce aux courbes de tarage précédemment établies (cf. Figure 11).



**Figure 11 : Graphique pluie-débit à Nohèdes.**

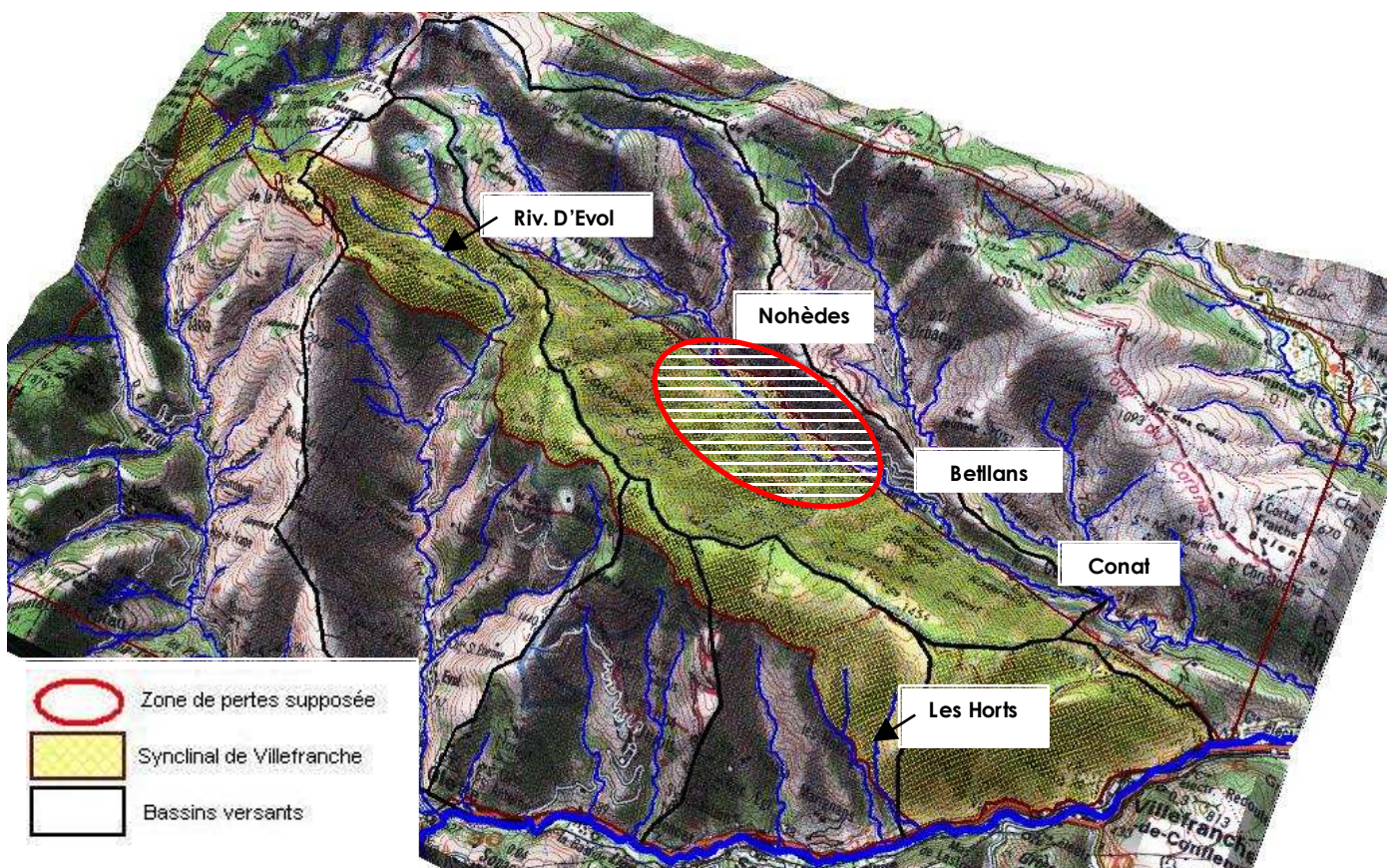
Ce graphique met en évidence la période de fonte des neiges, entre les mois de mai et juillet, en effet on peut voir le débit dans la rivière augmenter fortement malgré l'absence d'épisodes pluvieux marquant. Même si cette période reste quand même pluvieuse ceci n'explique pas l'augmentation aussi forte et aussi surtout longue dans le temps du débit.

*c) Méthode d'analyse et mesures de terrain :*

**a) Analyse géographique :**

Dans un premier temps, j'ai analysé les données déjà acquises par la réserve, la plupart du temps sous forme de tables MapInfo, et correspondant aux données géographiques, hydrologiques et géologiques sur l'ensemble du massif du Madres. Cette première phase de l'étude m'a permis tout d'abord de me familiariser avec ce Système d'Information Géographique (SIG) ainsi que d'appréhender la zone sur laquelle s'étend mon étude et donc la façon dont j'allais la mettre en place. J'ai donc utilisé le logiciel MapInfo, qui est utilisé par la Fédération des Réserves Catalanes, mais aussi les logiciels libres Grass et QuantumGIS (qGIS), dédiés respectivement aux calculs sur les MNT (notamment en hydrologie) et à la mise en page cartographique. Ces logiciels, par leur gratuité et leurs nombreuses fonctionnalités, offrent une bonne alternative aux logiciels à licence payante tel que MapInfo et peuvent donc être profitables aux acteurs qui, comme c'est le cas pour la réserve naturelle de Nohèdes, veulent étendre l'utilisation des logiciels libres.

Le traitement du Modèle Numérique de Terrain (MNT) notamment permet de mettre en évidence la structure du massif et du synclinal de Villefranche (cf. Figure 7) :



**Figure 12 : Représentation spatiale du Modèle Numérique de Terrain.**

Sur cette représentation spatiale du MNT, on peut voir les différents bassins versants ainsi que le synclinal de Villefranche qui les recoupe d'Ouest en Est et se termine à Villefranche de Conflent. On voit nettement que la rivière de Nohèdes coupe la zone calcaire entre Nohèdes et Betllans, c'est dans cette zone que la rivière est susceptible de se perdre dans le karst, et c'est donc sur ce secteur qu'il sera nécessaire de mener des investigations, en terme surtout de débit, pour tenter de caractériser ces pertes, tant en terme de localité que de valeur de débit. Par ailleurs, les nombreux ravins qui descendent du Mont Coronat peuvent eux aussi contribuer aux échanges entre le karst et la rivière, à travers un certain nombre de sources à caractériser. Il est intéressant de noter que les précipitations sur le Mont Coronat ne s'écoulent pas ou très peu dans ces nombreux ravins mais doivent s'infiltrer dans la roche carbonatée.

### **b) Mesures de débit :**

Pour situer et évaluer la perte de débit de la rivière, j'ai réalisé plusieurs séries de mesures de débit au moulinet, à différents endroits le long de la rivière. L'objectif étant de déterminer si le débit baisse de manière significative dans une zone précise, situant de fait la perte. Le moulinet ne permet pas de connaître le débit en lui-même mais la vitesse ponctuelle de l'eau dans la rivière, j'ai donc utilisé un logiciel permettant d'interpoler ces données ponctuelles sur l'ensemble de la section pour en connaître le débit.

C'est le logiciel gratuit Hydraccess, développé par l'IRD, que j'ai décidé d'utiliser pour effectuer cette tâche, d'une part pour sa simplicité d'utilisation et d'autre part parce que je compte l'utiliser pour mettre en place le suivi hydrologique du bassin versant, qui constitue la deuxième partie de mon stage.

La figure 8 montre comment calculer le débit total ponctuel sur la rivière : A partir des vitesses ponctuelles mesurées sur le cours d'eau à une distance donnée de la rive et une hauteur donnée par rapport au fond, on peut remplir le module de dépouillement des jaugeages (première image). On peut alors très rapidement calculer le profil des vitesses sur un tronçon vertical de la rivière (deuxième image), puis le profil horizontal des vitesses ainsi que celui du fond (troisième image), et enfin le débit total.

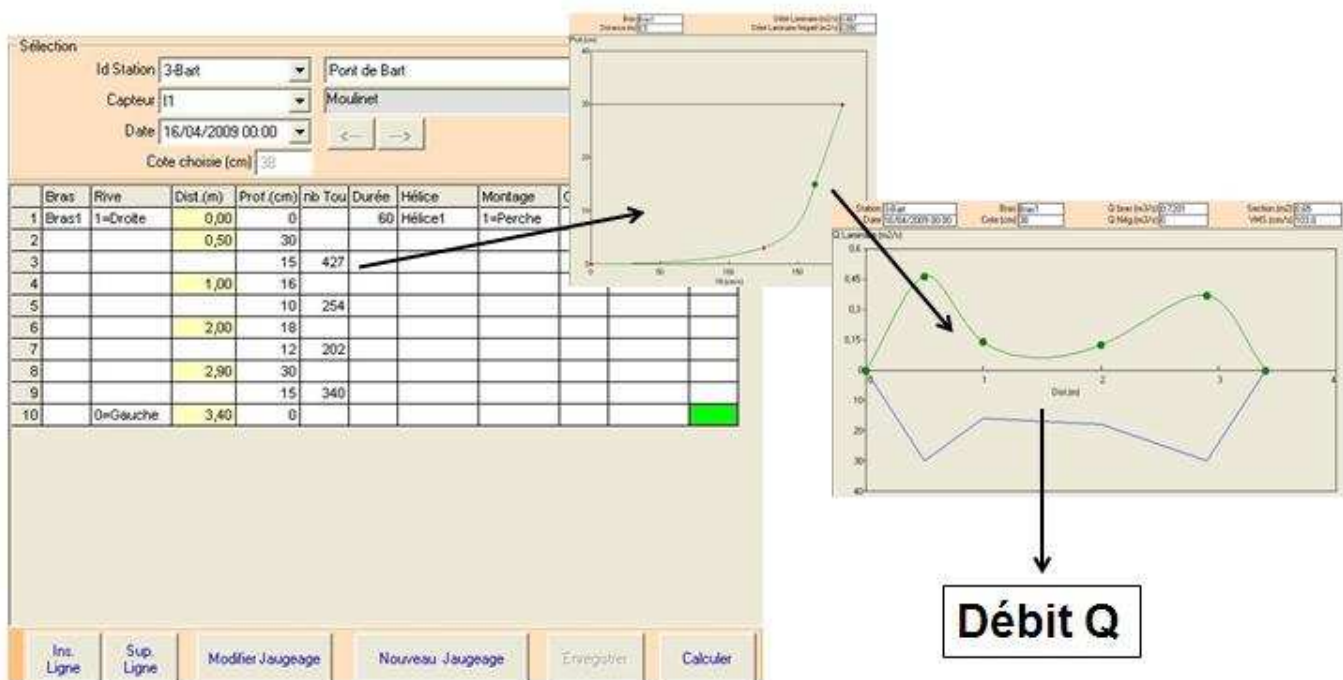


Figure 13 : Présentation du module de dépouillement de jaugeage d'Hydraccess.

Pour commencer, j'ai décidé de mesurer les débits en quatre sites situés en amont de Nohèdes, au niveau de Nohèdes, puis en amont et en aval de la zone de pertes supposées. De cette manière il m'est possible de suivre l'évolution du débit sur le linéaire de la rivière et éventuellement d'observer une baisse de débit qui viendrait confirmer l'hypothèse de la perte en eau de la rivière dans le karst et par là même étayer celle de l'alimentation de la source de Ria par cette même rivière de Nohèdes. Les sites précis de mesure ont surtout été déterminés en fonction de leur accessibilité et de la qualité de leur section, le plus souvent au niveau de ponts qui offrent en effet des sites peu encombrés et accessibles.



### **c) Mesures de conductivité :**

Pour caractériser l'eau sur toute la zone d'étude, et notamment afin de différencier les eaux de surface des eaux souterraines, j'ai mesuré la conductivité en de nombreux points. En effet la conductivité est liée à la minéralisation de l'eau au travers des roches et est phénomène lent. L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO<sub>2</sub> dissout et se charge donc en ions (notamment en calcium et magnésium dissout) lors de son infiltration. Elle acquiert donc des propriétés physico-chimiques qui lui sont propres et qui dépendent de plusieurs paramètres :

- La nature des roches traversées au cours de l'infiltration,
- Le temps de contact avec ces roches donc la vitesse de percolation,
- Le temps de renouvellement de l'eau ou temps de passage dans la nappe.

Il s'établit donc un équilibre chimique entre la roche et l'eau formant l'aquifère, ce qui permet de différencier une eau souterraine d'une eau de surface, ou encore deux eaux souterraines ne circulant pas dans le même réseau ou n'ayant pas passé le même temps dans le réseau.

La mesure de la conductivité le long de la rivière ainsi que dans les sources pérennes et les résurgences temporaires devrait donc me permettre de caractériser la circulation de l'eau dans le karst et de différencier, s'il en existe, plusieurs réseaux distincts.

J'ai de plus effectué deux campagnes de mesure sur le cours d'eau, en période de hautes et de basses eaux. Ces mesures ont pour but de différencier les régimes d'écoulement entre ces deux périodes et de vérifier la pérennité des principaux apports karstiques au cours d'eau. Elles devraient aussi permettre d'évaluer les apports d'eau karstique en proportion dans l'eau de rivière. En connaissant les valeurs de conductivité en amont et en aval des affluents ainsi que celle de l'affluent lui-même, il est possible de calculer la part d'eau qui vient compléter la rivière comparativement au débit de la rivière.

### ***d) Résultats et analyse :***

Après une première campagne de mesures sur le terrain, j'ai obtenu un certain nombre de résultats qui semblent pour le moins intéressant concernant la caractérisation des échanges entre le karst et la rivière, à la fois par les mesures de débit et par celles des conductivités.

### a) Résultats sur les débits :

Les mesures de débit (en m<sup>3</sup>/s) effectuées le long de la rivière sont présentées dans le tableau suivant (Figure 9), selon le site de mesure et la date :

	Point n°1 : Tunnel de Monteilla (Amont de Nohèdes)	Point n°2 : Station de camping (Nohèdes)	Point n°3 : Pont de Bart (Amont de la perte supposée)	Point n°4 : Pont de Betllans (Aval de la perte supposée)	Valeur du débit de perte (entre les points 3 et 4)
14/04/2009	0,1069	0,4154	0,656	0,398	0,258
16/04/2009	0,1917	0,5717	0,766	0,4295	0,3365
29/04/2009	0,2965	0,7766	0,8951	0,7217	0,1734

Figure 14 : mesures de débit (en m<sup>3</sup>/s) effectuées le long de la rivière.

Cette campagne de mesure doit se poursuivre sur les mois de juillet et août quand le débit de la rivière aura baissé, en effet la fonte des neiges a rendu la rivière impraticable et les mesures dangereuses entre mai et juin.

Cependant avec ces premiers résultats, on voit nettement que le débit augmente le long de la rivière sur les trois premières stations mais diminue entre la troisième et la quatrième. Cette diminution du débit peut être un indice démontrant une perte d'eau dans la roche qu'elle traverse, cependant il faut être prudent car même entre ces deux points de prélèvement, la rivière parcourt des terrains schisteux et calcaires. Des investigations plus approfondies s'avèrent donc nécessaires à mener sur cette zone afin de s'assurer de la véracité de ces pertes.

Pour effectuer de telles investigations, j'ai demandé l'aide de Mr. Henri Salvayre, Dr. ès Sciences Naturelles et hydrogéologue de renom, pour qu'il m'aide à localiser plus précisément sur le terrain le lieu éventuel des pertes.

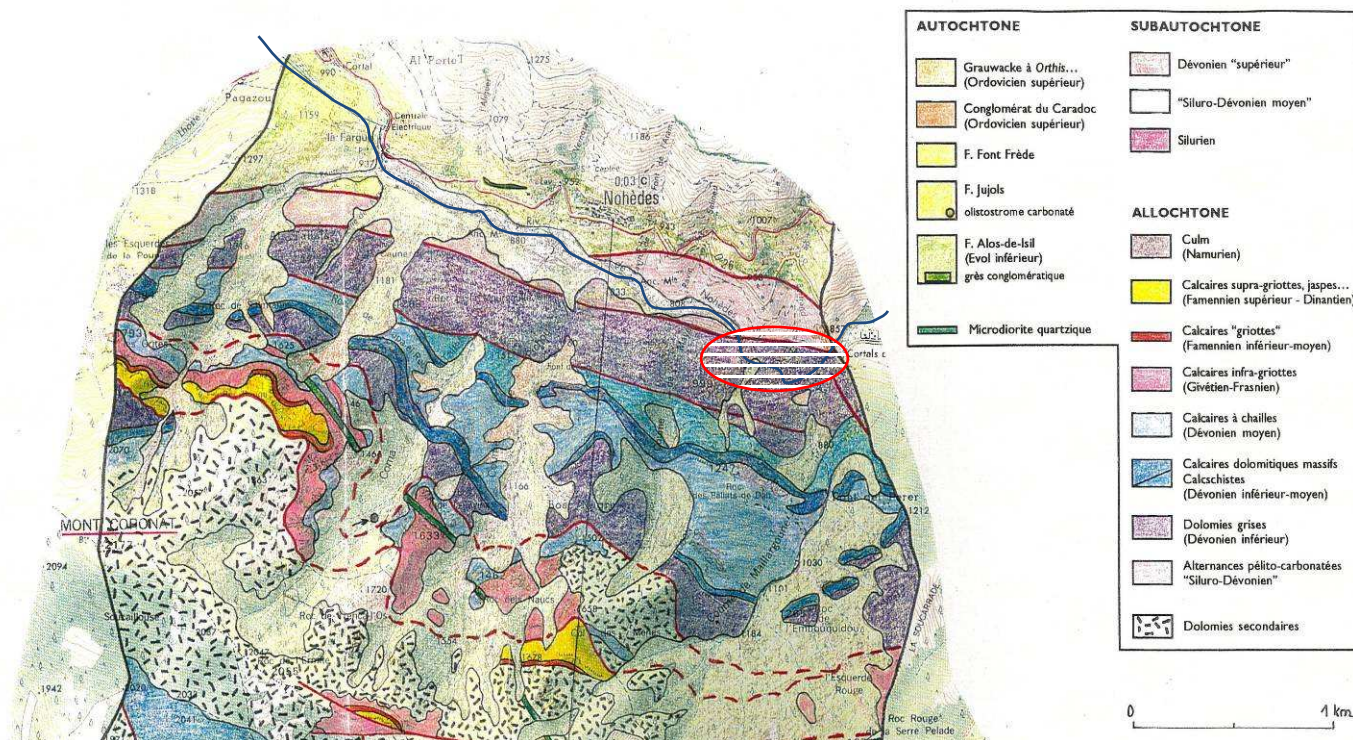


Figure 15 : Carte géologique des alentours de Nohèdes, LAUMONIER, 1997. (cf. annexes)

Cette carte géologique effectuée par Bernard Laumonier en 1997 est extrêmement précise et détaillée et nous permet d'affiner nos recherches : On y voit la carte IGN de la région proche de Nohèdes ainsi que le détail des formations géologiques affleurantes et des failles. Cette carte témoigne de la complexité du site de par la grande diversité des substrats tant autochtone (substrat schisteux) qu'allochtone (massif calcaire). On peut voir que la rivière de Nohèdes traverse sur quelques centaines de mètres tout au plus des dolomies grises situées sur la faille de Mérens le long du massif du Coronat (zone rouge). Ces formations rocheuses sont des carbonates de calcium et de magnésium, donc très proches des calcaires et ainsi perméables et souvent très fissurées. Il est donc très probable que la perte mesurée de débit corresponde à ce lieu précis. Des mesures plus approfondies sont donc nécessaires sur cette zone pour déterminer d'une part le type de perte (ponctuelle ou linéaire) et d'autre part la valeur de cette perte.

En effet, la valeur du débit qui se perd dans la roche est difficile à évaluer car la mesure au moulinet reste imprécise, d'une part du fait de la méthode de calcul qui, si elle s'approche de la réalité, permet tout de même une erreur, et d'autre part car

en période de hautes eaux comme c'était le cas lors de mes mesures, la vitesse parfois excessive de l'eau met en vibration l'hélice du moulinet ce qui a tendance à sous-estimer la mesure. Un jaugeage par dilution est envisageable ici, il consiste à injecter ponctuellement dans la rivière un traceur de concentration connue (solution de bichromate) et à mesurer sa concentration dans des prélèvements effectués régulièrement à une distance suffisante pour permettre la dilution du traceur [SALVAYRE].

## **b) Résultats sur la conductivité :**

Les mesures de conductivité nous informent de manière qualitative sur l'eau : elle permet de caractériser une eau comparativement à une autre mais pas de manière intrinsèque. En effet la conductivité renseigne sur la concentration ionique de l'eau mais pas sur la nature des ions présents, ce qui par conséquent ne permet pas de distinguer par exemple une eau calcaire d'une eau ferrugineuse. Néanmoins, si l'on connaît le substrat sur ou dans lequel coule l'eau, ces mesures peuvent permettre de distinguer les eaux de ruissellement de eaux d'infiltration.

Pour une meilleure lisibilité, j'ai réalisé une cartographie de la zone d'étude qui recense toutes les sources ainsi que les points de mesure de conductivité dans la rivière (Figure 11)

## Cartographie du réseau hydrologique de Nohèdes et du Synclinal de Villefranche

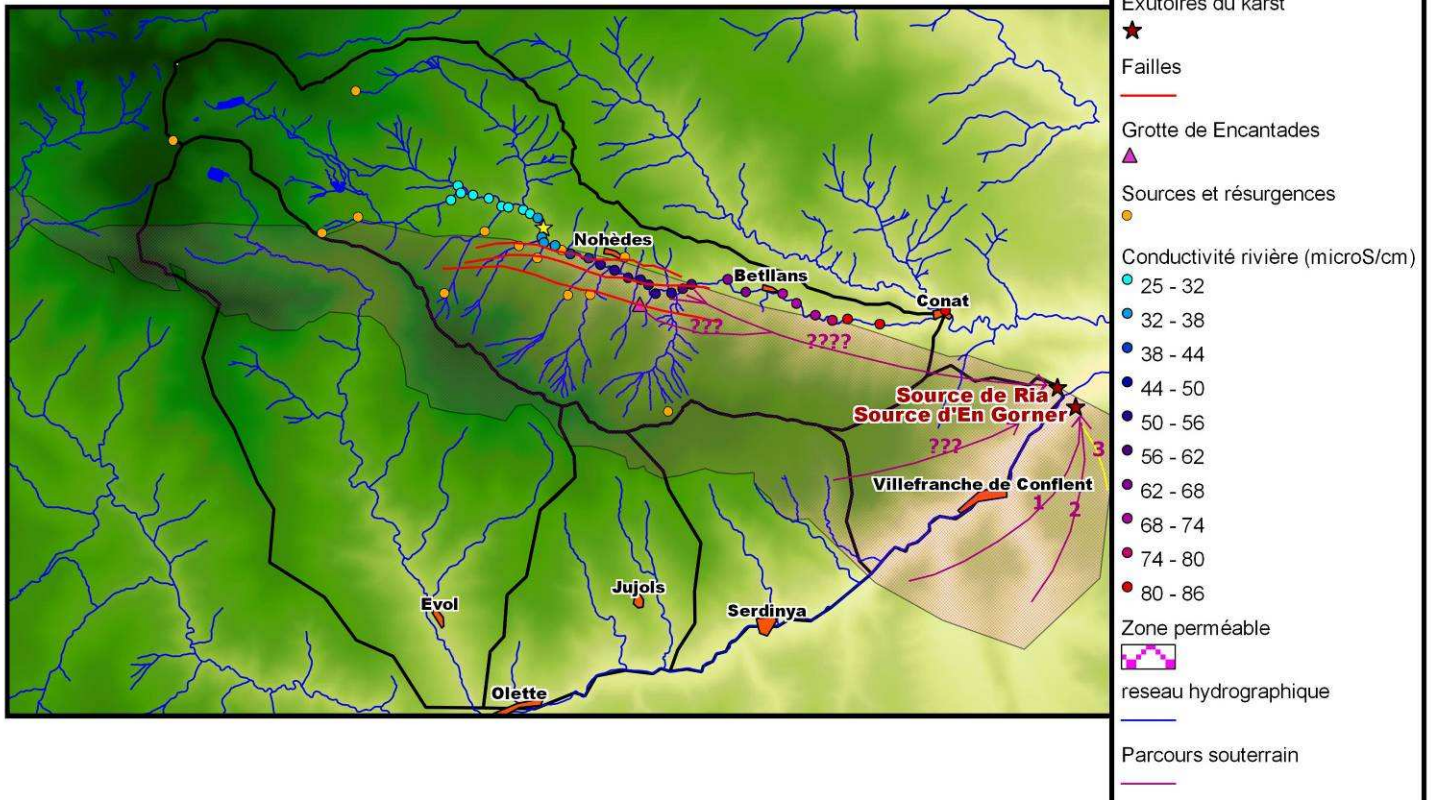


Figure 16 : Cartographie du réseau hydrologique

Tout d'abord il est intéressant de noter que l'on peut distinguer deux types d'eaux différentes selon leur conductivité :

- Les eaux de source dont la conductivité se situe entre 150 et 500 microS/cm (en orange sur la carte),
- Les eaux de ruissellement dont la conductivité n'excède pas 100 microS/cm (colorées entre bleu et rouge).

Par ailleurs, parmi les eaux à forte conductivité, on distingue les eaux karstiques (conductivité < 500 microS/cm) des eaux schisteuses (conductivité < 200 microS/cm). Il est généralement admis que la conductivité augmente linéairement en fonction du temps passé dans un substrat et donc en fonction de la distance parcourue, et ce jusqu'à une valeur seuil dépendant de la qualité de l'eau et de la nature du substrat.

On voit tout d'abord que la conductivité dans la rivière augmente brutalement lors de son passage dans la zone calcaire, ce qui atteste des échanges avec l'eau souterraine très chargée qui vient alors augmenter distinctement la conductivité de la rivière. Avant et après cette zone, la conductivité est plus stable et n'augmente que très peu.

On note de plus la présence de sources karstiques situées en altitude, à un niveau bien supérieur à celui de la rivière, ce qui est vraisemblablement due à la structure du synclinal qui est constitué de plusieurs plis superposés, sans communication avérée entre chaque structure. Une partie de l'eau circule donc dans les parties hautes du massif et ressort rapidement, ce qui explique qu'elle soit moins chargée et que la conductivité soit donc plus faible. Il est d'ailleurs intéressant de noter que ces sources sont toujours situées sur les failles qui délimitent les formations rocheuses ce qui montre bien que les échanges se font dans ces zones faillées.

Ces résultats concernant la conductivité de l'eau seront à mettre en relation avec les relevés des sites exploités pour l'adduction d'eau potable (Ria-Sirach, Nohèdes, Conat) pour pouvoir les comparer et éventuellement distinguer plusieurs réseaux distincts. Ces données doivent être disponibles dans les mairies des différentes villes en question et une de mes tâches futures dans la suite de mon stage sera de me les procurer pour effectuer ce travail de comparaison.

Par ailleurs, les campagnes de mesures précises sur tout le linéaire du cours d'eau permettent de mettre évidence des comportements différents entre la période hivernale et la période estivale. Durant l'hiver et la période de fonte des neiges, la conductivité est comprise entre 20 et 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , tandis que pendant l'étiage, elle s'étale entre 20 et 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  le long du cours d'eau. Cette forte différence peut s'expliquer par le fait qu'en hivers, les précipitations plus abondantes ainsi que la fonte des neiges d'une conductivité très faible viennent diluer l'eau de la rivière, tandis que les apports karstiques à très forte conductivité restent limités par le stock présent dans le karst.

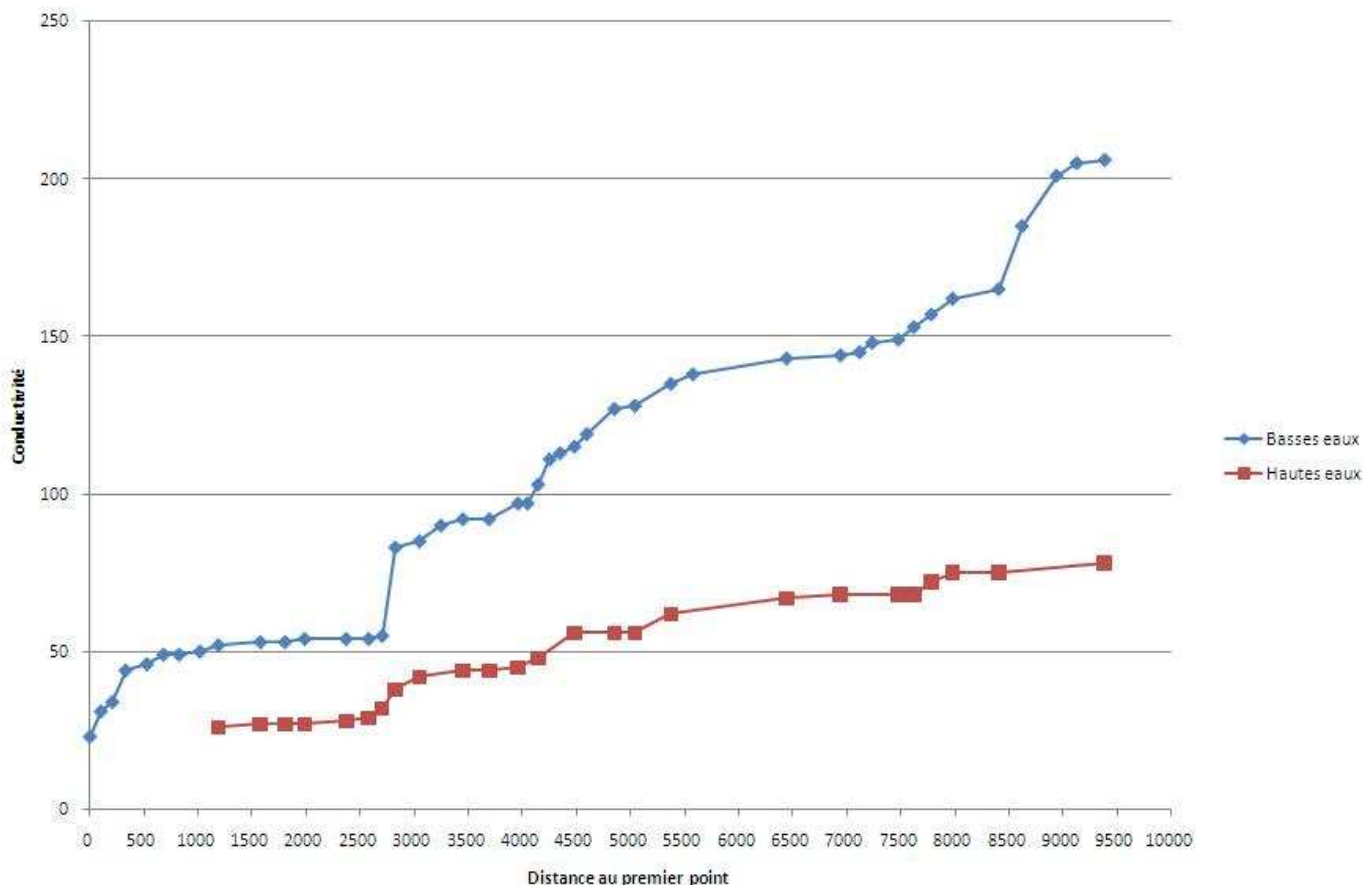
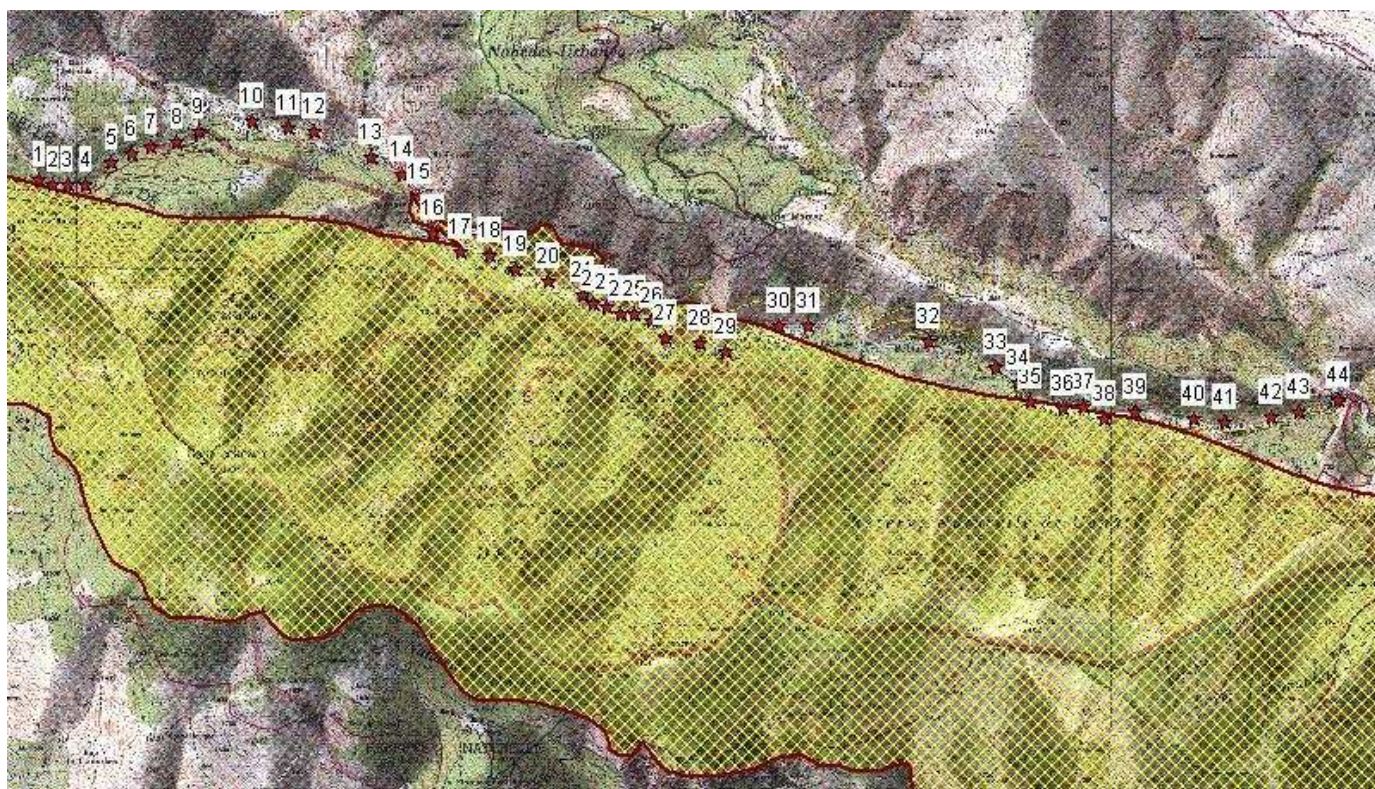


Figure 17: Conductivité dans la rivière en hautes et basses eaux.

Avec ce graphique représentant l'évolution de la conductivité le long de la rivière, on voit d'une part nettement l'augmentation de la valeur de la conductivité, et d'autre part la différence nette entre les valeurs en basses et en hautes eaux. De plus on remarque que l'évolution est la même en fonction de la distance parcourue par rapport au point d'origine des mesures. Il existe des zones bien visibles avec des pics d'augmentation de la conductivité, par exemple entre 2500 et 3000 mètres du point d'origine, ainsi qu'entre 4000 et 5500 mètres, puis aux alentours de 8000 mètres. Ces zones correspondent respectivement sur le terrain à l'affluent important en provenance des sources de la *Ruidera*, puis à la zone calcaire qui recoupe la rivière et est située en aval de Nohèdes, et enfin à deuxième zone où le calcaire semble se rapprocher de la rivière, vers le captage de la ville de Conat (cf. carte ci-dessous). Ces résultats semblent donc cohérents avec la morphologie et la géologie de la vallée.



**Figure 18: Situation des points de mesure de la conductivité.**

La grotte des *Encantades* fait partie des singularités situées sur une failles, et de plus se situe au droit de la perte supposée de débit et est donc pour cela une très bonne source d'indication du niveau de la nappe, et notamment doit permettre de différencier dans notre cas une rivière déconnectée, drainante ou infiltrante. Elle descend à -80 mètre de la surface du sol, et son entrée se situe environ 100 mètres au dessus du lit de la rivière, ce qui permet de supposer que le fond de la grotte peut correspondre au niveau piézométrique de la nappe. Il serait donc très intéressant d'envisager un traçage à la fluorescéine depuis le fond de cette grotte, pour vérifier si elle fait bien partie du réseau souterrain qui ressort à Ria. Un tel traçage est facilement réalisable puisqu'il suffit d'injecter la fluorescéine sous forme liquide ou en poudre dans l'eau au fond de la grotte puis de vérifier sa présence à l'exutoire à l'aide de fluocapteurs constitués de charbon actif qui vont capter la substance.

Cette technique n'offre qu'une réponse qualitative et ne permet donc pas de quantifier un temps de passage de l'eau dans le karst, cependant il existe d'autres



mesures plus complexes et donc plus coûteuses qui peuvent aussi être envisagées : les mesures isotopiques [KRIMISSA]. Trois mesures pourraient nous être utiles ici :

- Le tritium : d'une demi-vie de 12,43 ans, il permet de déterminer un temps de résidence de l'eau souterraine de 0 à 40 ans.
- L'âge de l'eau (le suivi des concentrations en éléments connus comme les CFC, le Chlore 36) qui permettent d'estimer le temps de transfert dans le massif.
- Les isotopes stables de l'eau (oxygène 18 et deutérium) qui donnent des indications sur l'origine de l'eau, les mélanges possibles entre plusieurs eaux et surtout l'altitude de recharge. Cette mesure pourrait s'avérer déterminante pour trouver la ou les zones d'alimentation du karst.

#### *e) Discussion :*

Ces résultats sont d'ores et déjà révélateurs d'un fonctionnement très complexe du karst, qui est lui-même structurellement complexe. Nous avons pu voir en effet qu'il est constitué de plusieurs synclinaux superposés, ce qui laisse penser que son fonctionnement diffère de celui d'un karst typique où l'eau s'écoulerait de haut en bas, de la surface en passant par l'épikarst et pour finir dans une nappe. Ici il semble que les écoulements se fassent plutôt à l'horizontal, voire à plusieurs niveaux différents attestés par les nombreuses sources karstiques qui semblent pérennes même en altitude, avec toutefois des possibilités de transfert entre ces différents niveaux. Si les exutoires du karst sont connus (les sources de Ria et En Gornier), l'origine de l'eau qui y circule reste encore en partie indéterminée, surtout pour la source de Ria. Des analyses plus poussées s'avèrent donc nécessaires pour palier au manque de précision de la seule analyse de la conductivité. Un traçage à la fluorescéine est envisageable car peu coûteux et facilement réalisable, mais les analyses isotopiques demandent plus de temps et d'argent, ce qui risque de repousser trop loin ces tests pour que je puisse y participer.

Par ailleurs, l'alimentation en eau du réseau principal se fait non pas uniquement par l'eau d'infiltration mais aussi sans doute par les pertes de la rivière et ce à hauteur de plusieurs dizaine de litres par seconde. Ce qui augmente encore la complexité du fonctionnement de ce système hydrogéologique. Néanmoins ces résultats restent à confirmer en répétant les mesures de débit ainsi qu'en utilisant d'autres méthodes

de calcul pour pouvoir croiser les résultats, par exemple en utilisant un jaugeage chimique par dilution.

### *f) Conclusion et perspective :*

Ces résultats, s'ils ne nous permettent pas une compréhension totale de fonctionnement de ce système complexe qu'est le karst du Mont Coronat, constituent une base correcte pour mettre en place une étude plus poussée et sur le long terme de manière à déterminer le fonctionnement du karst dans sa globalité, y compris sur les parties extérieures à la réserve de Nohèdes. C'est pourquoi dans la deuxième partie de mon stage je me suis attelé à mettre en place un suivi hydrologique simple qui puisse être effectué par les employés de la réserve. Ce suivi concernera la pluviométrie et les débits sur la réserve et le long du cours d'eau, avec l'achat de matériel simple d'utilisation tel des échelles limnimétriques ou des capteurs de hauteur d'eau, qui associés à des courbes de tarage permettront de mesurer les débits journaliers. De même une station météo placée en altitude serait un précieux atout pour évaluer les conditions météorologiques en altitude et ainsi permettre d'évaluer le gradient de pluviométrie. De tels résultats devraient permettre par la suite de mieux caractériser l'hydrologie du bassin versant ainsi que d'en effectuer le bilan hydrique.

Il faut donc considérer ces résultats comme ceux d'un avant-projet destiné à être poursuivi sur le long terme puisqu'il met en évidence la nécessité d'avoir des résultats plus poussés ainsi que la faisabilité d'une telle étude générale sur le karst du Mont Coronat.

#### **IV) Conclusion générale, retour d'expérience et poursuite du stage :**

Ce stage fut l'occasion pour moi de mener un projet depuis sa conception initiale jusqu'à sa réalisation technique, ce qui est très formateur tant au niveau des connaissances que de la méthode. En effet j'ai dû pour ce faire apprendre à utiliser plusieurs logiciels qui m'étaient inconnus (SIG et bases de données), rencontrer des personnes issues du monde professionnel (le dirigeant de CAYROL International, l'hydrogéologue Henri Salvayre, les employés de la réserve naturelle de Nohèdes) et mettre en place une méthodologie concernant l'étude d'un système qui m'était inconnu. Il m'a en outre permis de me perfectionner dans les SIG auxquels ma formation à Polytech Montpellier m'avait seulement initié. S'il ne mènera pas à une embauche, ce stage m'aura tout de même permis de m'orienter professionnellement vers les SIG et la gestion de l'eau (à travers la gestion des risques inondation, les réseaux d'adduction et d'assainissement) puisque je pense intégrer pour l'année 2009/2010 le master spécialisé SILAT (Systèmes d'Informations Localisées pour l'Aménagement des Territoires) qui propose une formation professionnelle de chef de projet SIG. Je compte donc utiliser l'opportunité qu'offre cette formation d'intégrer le monde professionnel à travers le projet de six mois prévus sous forme d'une mission professionnelle que je compte effectuer dans le domaine de la gestion de l'eau.

Le stage se poursuit comme prévu jusqu'au 21 août ce qui me permettra d'avancer dans mes recherches et mes déductions ainsi que dans la deuxième partie de mon stage concernant la mise en place d'un suivi hydrologique sur la réserve. Cette période sera notamment l'occasion de refaire une campagne de mesure sur la rivière en période d'étiage, puisque j'ai surtout travaillé jusqu'à présent en période de hautes eaux donc dans des conditions difficiles (mois d'avril et mai très pluvieux et juin avec la fonte des neiges).

## V) Références bibliographiques :

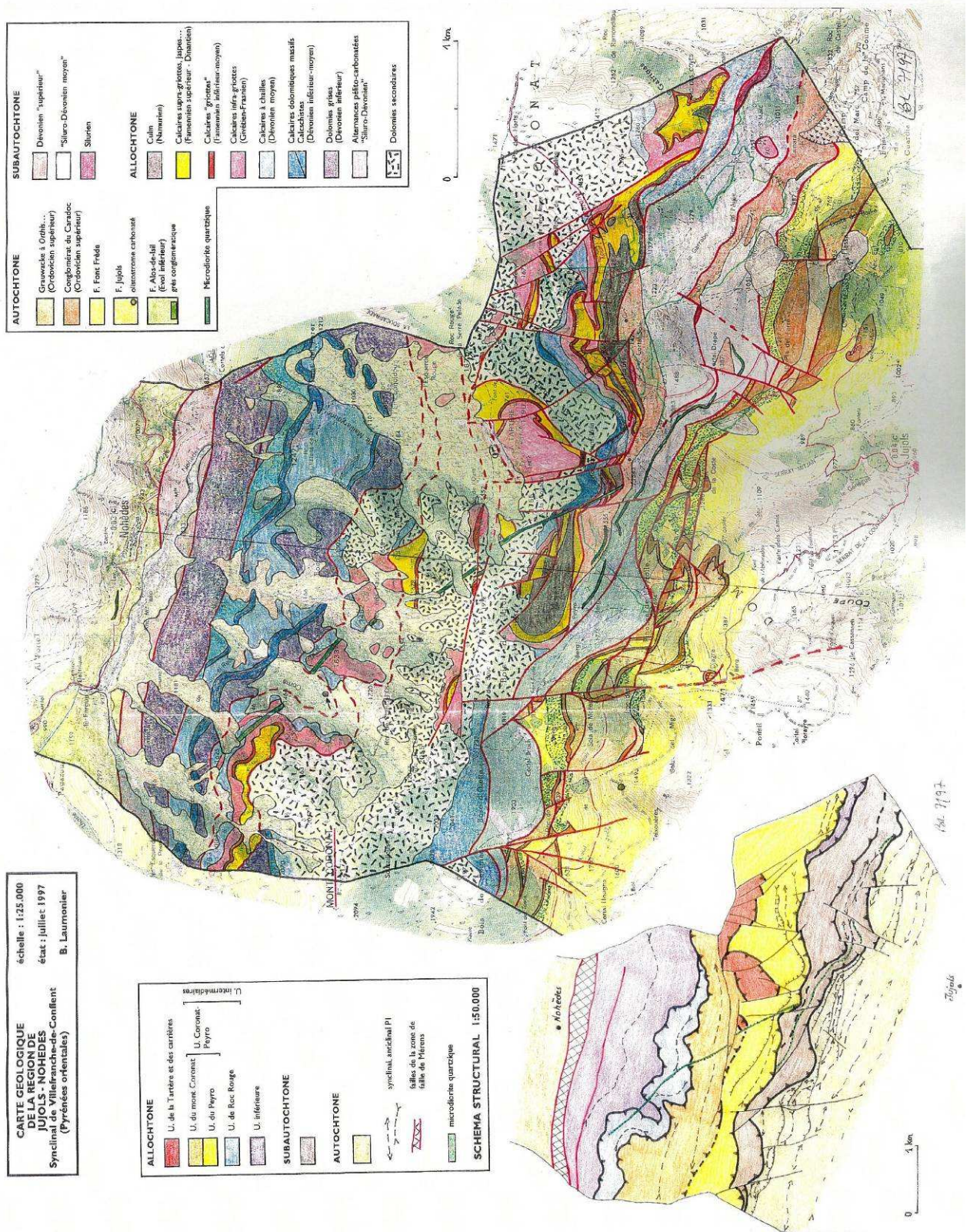
- BALLI-COMTE, V. (2008). Interactions hydrodynamiques surface/souterrain en milieu karstique, Approche descriptive, analyse fonctionnelle et modélisation hydrologique appliquées au bassin versant expérimental du Coulazou, Causse d'Aumelas, France. THESE, Université Montpellier II : 229p. + annexes.
- KRIMISSA, M. (1997). Apport du traçage isotopique naturel à l'étude des circulations des eaux en milieu cristallin. Hard Rock Hydrosystems, (Proceedings of Rabat symposium, IAHS Publ. no. 241): pp.21-28.
- LAUMONIER, B. (1997). La chaîne Hercynienne de l'Est des Pyrénées : Le Massif du Canigou. Ecole des mines, Nancy : 76p.
- SALVAYRE, H. (en cours). Les systèmes karstiques des massifs calcaires du dévonien : les karsts de la périphérie du massif du Canigou : non paginé.
- SALVAYRE, H. (1990). Techno-écologie de l'environnement (eau, air, sol, flore, faune). EAU DEVELOPPEMENT, Millas : 197p.

## Sites Internet :

- <http://echo.epfl.ch/e-drologie/>
- [http://www.catalanes.reserves-naturelles.org/siteweb\\_français/reserves-naturelles-catalanes.htm](http://www.catalanes.reserves-naturelles.org/siteweb_français/reserves-naturelles-catalanes.htm)



## VI) Annexes :



LAUMONIER, 1997.

## VII) Résumé :

La compréhension des écosystèmes et des milieux naturels est au cœur de la politique de gestion associée aux réserves naturelles. C'est dans cette optique que l'Association Gestionnaire de la Réserve Naturelle de Nohèdes (AGRNN) met en place de nombreux suivis écologiques (faunistique et floristique) ainsi que des études scientifiques sur des thèmes variés dont l'hydrologie. En effet la réserve de Nohèdes est située en partie sur un massif karstique appelé synclinal de Villefranche qui forme le Mont Coronat. Ce karst est parcouru par un réseau hydrogéologique conséquent mais dont le fonctionnement reste difficile à évaluer. Il existe en effet des interactions entre le karst et la rivière de Nohèdes qui parcourt la vallée et dans une certaine mesure la réserve naturelle. Ces échanges hydriques peuvent exister à la fois du karst vers la rivière (sous forme de sources et de résurgences) et dans le sens inverse par des pertes de la rivière dans le karst.

Ce rapport concerne l'étude des échanges karst/rivière sur le site de la réserve naturelle, dans l'optique de caractériser et d'évaluer ces échanges pour mieux comprendre le fonctionnement hydrologique complexe du massif du Coronat ainsi que l'effet des pressions notamment anthropiques qui existe sur ce site et qui peuvent porter atteinte à l'intégrité écologique du site ainsi qu'aux populations qui prélèvent leur eau potable dans le karst.

Mots clefs : hydrogéologie, hydrologie, karst, SIG.

## VIII) Summary:

The comprehension of ecosystems and natural environments is one of the leading policies of the wildlife parks management. That is why the managing association of the wildlife park of Nohèdes is establishing many environmental monitoring (about fauna and flora) and scientific studies on many themes such as hydrology. Indeed the park of Nohèdes is partly located on a karstic mount called synclinal of Villefranche which constitute the Mount Coronat. This karst contains a consistent hydrological network of which working is quiet difficult to estimate. Many interactions exist between the karst and the river of Nohèdes which runs across the valley and the park. Theses interactions are both from the karst to the river (such as springs) and on the other way by some losses from the river into the karst.

This report is concerning the study of the exchanges between the karst and the river in the wildlife park of Nohèdes, in order to qualify and evaluate these exchanges

and then have a better comprehension of the complex hydrological working of the Mount Coronat and the effect of human pressure which can be at the root of ecological problems, as well as for the population who catch drinking water in the karst.

Keywords: hydrogeology, hydrology, karst, GIS.