



Rapport présenté par

« Julien BELINE »

Pour l'obtention du Master Professionnel

« Eaux Souterraines, hydrogéologie physique et chimique »

« Rapport sur une étude hydrogéologique d'un bassin versant karstique : le bassin du Céou »

Soutenu le 13 Septembre 2006 à GRENOBLE

Responsable Universitaire du stage : Monsieur François RENARD
Responsable dans l'entreprise : Monsieur Frédéric EHRHARDT
Année universitaire 2005-2006





Remerciements

Je voudrais tout d'abord exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur Guy PUSTELNIK, Directeur de l'Etablissement Public Interdépartemental Dordogne (EPIDOR) de m'avoir accueilli au sein de son établissement.

Je remercie vivement Monsieur Frédéric EHRHARDT, Animateur du Contrat de Rivière Céou et mon maître de stage, qui m'a accompagné tout au long de mon stage et qui m'a fait bénéficier de ses nombreuses connaissances sur le secteur. Je tiens également à le remercier pour sa gentillesse et sa confiance.

Je souhaiterais remercier Monsieur André TARISSE, Hydrogéologue de la DDAF du Lot pour m'avoir suivi tout au long de mon stage et m'avoir conseillé sur les problèmes hydrogéologiques. Il m'a fait bénéficier de tout son savoir sur le secteur d'étude. Je le remercie également pour nous avoir prêté le matériel de nivellement.

Je tiens également à remercier à Monsieur Cyril DELPORTE, Hydrogéologue du Conseil Général du Lot pour m'avoir fourni de nombreux documents sur les forages et les études géophysiques du secteur ainsi que pour nous avoir prêté une sonde piézométrique.

Je remercie également Monsieur Renaud MOUCHE, Administrateur de données et responsable du Système d'Information Géographique d'EPIDOR, qui m'a expliqué le fonctionnement du SIG Géoconcept et qui m'a aidé dans la réalisation de mes cartes et l'exploitation des bases de données.

Je remercie Monsieur Bruno DELPEYRAT, Observateur de Rivière à EPIDOR, pour son dynamisme et son attention particulière, sans lui je n'aurais pas pu réaliser les campagnes de reconnaissance et de terrain dans d'aussi bonnes conditions.

Je voudrais également remercier tous ceux qui m'ont accompagné lors de mes campagnes de terrains pour les mesures de débit et le nivellement des puits.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à tous les autres employés d'EPIDOR que je n'ai pas cités, mais qui m'ont accueilli parmi eux.



Sommaire

RESUME	1
INTRODUCTION.....	2
1 CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
1.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : EPIDOR.....	3
1.1.1 Les objectifs d'E.P.I.DOR.....	3
1.1.2 Les missions de l'établissement.....	3
1.1.3 Budget de l'établissement public :	3
1.2 LE CONTRAT DE RIVIERE CEOU - GERMAINE – TOURNEFEUILLE	3
1.2.1 Origine du contrat de rivière	3
1.2.2 L'objectif général du contrat Céou	4
1.2.3 Particularité du contrat de rivière	4
1.3 MISSION ET OBJECTIFS DU STAGE : L'ETUDE « HYDROGEOLOGIQUE ».....	5
1.3.1 Présentation du territoire de l'étude.....	5
1.3.2 Rappel des objectifs.....	6
1.4 METHODOLOGIE.....	6
1.4.1 Acquisition des données :	6
1.4.2 Analyses et interprétations	7
2 CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET GEOLOGIQUE.....	8
2.1 GEOMORPHOLOGIE.....	8
2.1.1 Karstification	8
2.1.2 Les reliefs karstiques.....	9
2.1.3 Les vallées	9
2.2 CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN DU CEOU	10
2.2.1 Contexte tectonique et structural	10
2.2.2 Lithologie	10
3 ETUDE DES EAUX DE SURFACE	15
3.1 PRESENTATION DU BASSIN	15
3.1.1 Introduction.....	15
3.1.2 Le réseau hydrographique	15
3.2 REPARTITION DES ECOULEMENTS DE SURFACE EN PERIODE D'ETIAGE	16
3.2.1 Campagnes de jaugeage d'avril à août 2006.....	16
3.2.2 Le réseau hydrographique du Céou en étiage :	23
3.3 HYDROMETRIE	25
3.3.1 Paramètres géomorphométriques	25
3.3.2 Etude des débits à la station de Saint-Cybranet.....	28
3.3.3 Calcul des modules d'écoulement spécifique	30
3.4 BILANS HYDROLOGIQUES.....	31
3.4.1 Etude des précipitations.....	31
3.4.2 Calcul des bilans hydrologiques	32
3.4.3 Bilan hydrologique annuel à la station de St Cybranet.....	32
3.4.4 Analyses des résultats	33
3.5 EVALUATION DES RESERVES	33
3.5.1 Analyse des courbes de récession	33
3.5.2 Traitement des données.....	36
3.5.3 Vers une modélisation des débits d'étiage ?	37
3.6 CONCLUSION.....	38
4 HYDROGEOLOGIE	39
4.1 LES AQUIFERES EN PRESENCE.....	39
4.1.1 L'aquifère karstique du Portlandien.....	39
4.1.2 L'aquifère karstique du Sénonien	39
4.1.3 Les alluvions oligocènes de la Formation de Saint Denis-Catus	39
4.1.4 Les Altérites sableuses des terrains crétacés	40

4.1.5	<i>L'aquifère du Kimméridgien</i>	40
4.1.6	<i>L'aquifère principal du Jurassique (Kimméridgien inf et Oxfordien)</i>	40
4.1.7	<i>L'aquifère alluvial</i>	40
4.2	LES CIRCULATIONS KARSTIQUES.....	40
4.2.1	<i>Détermination des pertes et bulides (apports de fond de lit)</i>	40
4.2.2	<i>Campagnes de coloration</i>	41
4.3	LES SOURCES.....	44
4.3.1	<i>Nature des données</i>	44
4.3.2	<i>Les différents types de sources et leurs mécanismes</i>	44
4.3.3	<i>Conclusions</i>	46
4.4	LES FORAGES ET LA GEOPHYSIQUE.....	48
4.4.1	<i>Apports des forages et de la géophysique sur la structure</i>	48
4.4.2	<i>Apports des forages et de la géophysique sur l'hydrogéologie</i>	48
4.4.3	<i>Apports des forages et de la géophysique sur l'interconnexion ente les réservoirs</i>	48
4.5	ETUDE SUR LES PUITES DE LA VALLEE ALLUVIALE DU CEOU.....	49
4.5.1	<i>Le nivellement des puits</i>	57
4.5.2	<i>Conclusion</i>	63
5	UN OUTIL POUR LA GESTION DU CEOU EN ETIAGE ?	64
5.1	LES ENJEUX DES PRELEVEMENTS.....	64
5.1.1	<i>Les prélèvements agricoles</i>	64
5.1.2	<i>Les prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP)</i>	64
5.2	QUELLE GESTION ADOPTEE POUR EVITER LES CONFLITS ? LE PGE ?.....	65
5.3	VERS UN OUTIL DE PREVISION ET DE SUIVI DES DEBITS D'ETIAGE ?.....	65
5.3.1	<i>Les outils de gestion de l'étiage apportés par le stage :</i>	66
5.3.2	<i>Recommandations</i>	66
	CONCLUSION	67
	CRITIQUES DU STAGE	68
	TABLE DES FIGURES, GRAPHIQUES, CARTES ET TABLEAUX	69
	BIBLIOGRAPHIE	70
	ANNEXES	71

Résumé

Le Céou est une rivière qui s'écoule dans un milieu karstique. Il est donc soumis à des pertes et des apports de fond de lit sur tout son cours. En étiage, les volumes dynamiques de réserve deviennent très faibles et certains secteurs s'assèchent, notamment toute la partie centrale et une partie amont. Les coefficients de ruissellement montrent une réponse rapide du Céou aux précipitations.

La faille de Saint-Cyprien, mise en place à la fin du Crétacé, constitue un axe drainant majeur de direction NNW-SSE. Les ruptures de pente du cours d'eau laissent supposer des mouvements de relèvement responsables de l'enfouissement des eaux de surface dans les niveaux très karstifiés des calcaires Portlandien. En raison du pendage général des couches vers le Nord, l'essentiel des écoulements se fait vers le Nord. La karstification et la fracturation intense des niveaux Jurassiques et Crétacés entraîne des communications entre les nappes. Les anciennes colorations montrent un axe de traçage privilégié NNW-SSE, une circulation rapide des eaux en profondeur dans des conduits karstiques plus ou moins colmatés.

Le calcul des volumes dynamique de réserve montre la faible quantité d'eau disponible dans le bassin pour l'étiage. Les puits montrent une décroissance rapide des courbes de récession des nappes en étiage dans le secteur en amont de Bouzic. Le secteur central montre nettement une désorganisation du système avec un réseau de drainage qui se démantèle par une capture souterraine et par le développement d'un réseau de drainage profond.

Les prélèvements agricoles du bassin sont importants et ont un impact significatif sur le débit du Céou en étiage. L'étude montre que nous pouvons tronçonner le cours d'eau selon trois secteurs. La gestion de l'étiage pourra passer par la définition des besoins en eau de chacun de ces secteurs ainsi que par le volume d'eau disponible en étiage calculé à l'aide des courbes de récession des stations de mesure de débit. Les seuils de niveaux d'alerte pourront être définis par un débit mais aussi par le niveau d'eau de la rivière ou de la nappe d'accompagnement relevé dans les puits.

Introduction

Le Céou est le principal affluent de rive gauche de la moyenne Dordogne. Le cycle de l'eau dans ce bassin est fortement influencé par le modelé karstique. Les pertes des eaux de surface dans les réseaux souterrains engendrent des étiages prononcés en été et une tendance à l'assèchement sur la partie amont du cours d'eau. La faiblesse des débits rend les rivières du bassin particulièrement sensibles aux pollutions.

De nombreux secteurs de l'économie du bassin du Céou s'appuient sur la mise en valeur des rivières et des ressources en eau : alimentation en eau potable, agriculture irriguée, pêche, canoë-kayak, tourisme, etc... Dans ce contexte, les déficits chroniques de la ressource, la détérioration de la qualité des eaux, la dégradation des milieux naturels constatés depuis plusieurs années pourraient à terme constituer une limite au développement de l'économie locale. Aussi, la perspective de valorisation envisagée autour du Céou dépend avant tout de la qualité de l'environnement fluvial.

L'interdépendance des phénomènes (circulation des eaux souterraines / gestion quantitative et vulnérabilité des captages d'eau potable, étiages / qualité des eaux, restauration des milieux / mise en valeur touristique) nécessite d'intervenir à l'échelle du bassin dans différents domaines : effluents domestiques et agricoles, protection des captages d'eau potable, ressources en eau pour l'irrigation, gestion du lit mineur, etc.

La mise en œuvre des projets de développements de l'économie du secteur nécessite une étroite collaboration des partenaires avec les politiques de gestion de la ressource et des milieux aquatiques. C'est pourquoi les Conseil Généraux du Lot et de la Dordogne, en collaboration avec les services de l'Etat et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, ont envisagé la mise en œuvre d'un Contrat de Rivière sur le bassin du Céou initié en 1998. Cette procédure, qui verra la réalisation d'un programme cohérent d'intervention, apparaît la plus adaptée pour assurer un développement de l'économie rurale respectueux de l'environnement et mettre en œuvre les orientations du SDAGE Adour-Garonne. Un contrat de rivière est un outil de programmation et d'actions concertées, sur cinq ans destiné à restaurer et à valoriser une rivière. Comme tout contrat, il ne s'applique qu'entre les parties signataires. Il a la particularité d'être basé sur le volontariat. Chaque signataire ne donne en fait qu'un engagement de principe qui n'a pas de valeur juridique. Sa mise en œuvre nécessite différentes études dont l'une des plus importantes est l'étude quantitative des eaux.

Dans le cadre du contrat de rivière Céou-Germaine-Tournefeuille, le volet gestion quantitative prévoit l'amélioration des connaissances sur les circulations souterraines avec comme enjeu principal l'amélioration de la gestion des prélèvements afin de préserver la ressource sensible d'un système karstique. Il s'agit aussi de proposer une sectorisation des cours d'eau en tronçon homogène du point de vue hydraulique, définir les niveaux d'alerte pour chacun si les données dont nous disposons nous le permettent et d'ébaucher un outil de prévision des débits d'étiage. C'est dans ce contexte que j'ai été missionné par EPIDOR pour effectuer mon stage de fin d'étude.

1 Contexte de l'étude

1.1 Présentation de la structure d'accueil : EPIDOR

Pour faciliter le renforcement du lien entre gestion de la ressource en eau et activités touristiques et économiques sur la vallée Dordogne, l'Etablissement Public Interdépartemental Dordogne (EPIDOR) fut créé en 1991 par les six Conseils Généraux traversés par la vallée de la Dordogne : le Puy de Dôme, le Cantal, la Corrèze, le Lot, la Dordogne et la Gironde.

1.1.1 Les objectifs d'E.P.I.DOR

Les six départements ont voulu, par la création d'EPIDOR, impulser et animer une politique de gestion cohérente de l'eau et de l'environnement à l'échelle du bassin versant hydrographique. Cette gestion cohérente repose sur :

- L'amélioration de la ressource en eau sur les plans de la qualité et de la quantité
- La protection et la restauration des milieux
- Le développement cohérent des activités économiques liées aux cours d'eau
- La promotion et le développement d'un label touristique « Vallée de la Dordogne »

1.1.2 Les missions de l'établissement

En pratique, EPIDOR anime, pilote ou participe à la réalisation de diagnostics, à l'élaboration de schémas et à la réalisation d'études à caractère stratégique. Il intervient pour définir, suivre ou animer des programmes d'action à l'échelle de territoires interdépartementaux. Il favorise la concertation et recherche l'implication de tous les acteurs scientifiques, techniques, institutionnels, politiques et financiers, autour de projets de bassin. L'une des missions récentes de l'établissement est donc la mise en place du contrat de rivière Céou-Germaine-Tournefeuille dont le dossier définitif a été validé par le comité de pilotage le 22 mars 2002.

1.1.3 Budget de l'établissement public :

Les ressources de l'institution interdépartementale sont constituées des contributions des départements associés, des subventions, dons, legs, emprunts et de tout autre mode de financement. Les cotisations représentant les charges de fonctionnement non fixées par le Conseil d'Administration de l'institution réparties selon la règle annexée entre chaque département sont soumises aux assemblées départementales. Les charges résultant des études ou toute opération spécifique sont réparties entre les départements sur proposition du Conseil d'Administration et doivent être approuvées par les Conseils Généraux des départements associés.

1.2 Le contrat de rivière Céou - Germaine – Tournefeuille

1.2.1 Origine du contrat de rivière

Le Céou est un affluent périgourdin de la rivière Dordogne qui prend sa source dans le Quercy. Bénéficiant autrefois d'une excellente réputation, les riverains ont progressivement observé des assèchements de plus en plus importants de la rivière, et par conséquent, une dégradation de la qualité des eaux et un appauvrissement général de la faune aquatique.

De nombreux secteurs de l'économie du bassin du Céou dépendent d'une bonne qualité du milieu naturel et d'une ressource en quantité suffisante. Forts de ces préoccupations, les élus du bassin ont décidé de reconquérir la qualité de ce cours d'eau par l'engagement d'un Contrat de Rivière. Le territoire du Contrat de Rivière englobe, outre le Céou et ses affluents, deux rivières voisines la Germaine et le Tournefeuille supposées fortement liées au Céou par des connexions souterraines.

Le Contrat de Rivière concernant deux départements (Lot et Dordogne) et deux régions (Midi-Pyrénées et Aquitaine), les élus ont confié à EPIDOR le soin de piloter et d'animer cette procédure afin de faire émerger le maximum de projets dans les 5 ans en veillant à la pertinence des actions engagées par rapport aux objectifs, en favorisant l'implication de la population locale et en préparant les acteurs du bassin à la gestion de l'eau de façon collective. L'un des principaux atouts d'une dynamique coordonnée à l'échelle de l'entité Céou-Germaine-Tournefeuille réside dans la

volonté politique et la motivation des acteurs qui se sont exprimées pour engager une action commune.

La mise en place d'un contrat de rivière se déroule en plusieurs étapes (en gras la phase actuelle du contrat de rivière Céou-Germaine-Tournefeuille) :

- La constitution d'un dossier de candidature (1997).
- L'agrément par la Commission Nationale d'Agrément des Contrats de Rivière (CNAR) du Ministère de l'Environnement (1998).
- La réalisation des études préalables et l'élaboration du dossier définitif (1998 à 2000).
- L'approbation du dossier définitif par le Comité de Rivière (juin 2000).
- L'agrément du dossier définitif par la CNAR (2002).
- La signature du Contrat de Rivière (décembre 2002).
- **La réalisation du programme d'actions (2002 à 2007).**

1.2.2 L'objectif général du contrat Céou

Les objectifs et les actions du contrat de rivière Céou répondent à la mise en oeuvre des priorités du SDAGE Adour-Garonne dans le bassin du Céou. Les dossiers sommaire et définitif ont reçu respectivement l'agrément du Comité National le 13 janvier 1998 et le 22 mars 2002. Le Contrat de Rivière s'applique aux bassins du Céou, de la Germaine et du Tournefeuille, soit un territoire de 740 km², représentant 57 communes.

La procédure "Contrat de Rivière", par son approche globale, répond au souhait de préserver durablement le Céou, la Germaine, le Tournefeuille et leurs écosystèmes. Cette approche pluridisciplinaire, issue de l'application de la loi sur l'eau instituant une gestion intégrée des cours d'eau, a permis d'élaborer un programme d'actions intéressant l'ensemble des problématiques et des domaines de gestion du bassin, prenant en compte à la fois les grandes orientations du SDAGE Adour-Garonne, de la Charte Vallée Dordogne ainsi que les préoccupations locales.

Les schémas de gestion et de développement définis à l'échelle du bassin de la Dordogne ou à l'échelle des départements apportent d'ores et déjà, sur certains thèmes, des stratégies, des préconisations et des propositions qui ont appuyé les réflexions engagées. C'est le cas dans le domaine de la qualité des eaux, de la gestion des débits, de la restauration des poissons migrateurs, de la mise en valeur des paysages et de la conservation des milieux naturels.

Enfin, il s'agit de contribuer à faire prendre conscience aux individus et aux collectivités de leur environnement en :

- aidant à faire clairement comprendre l'existence et l'importance des éléments relatifs aux différents milieux (économique, social, politique et écologique) ;
- donnant à chaque individu la possibilité d'acquérir les connaissances nécessaires et le sens des valeurs environnementales ;
- inculquant de nouveaux modes de comportement ;
- développant un ou plusieurs lieux ressources afin de diffuser, échanger et débattre de l'environnement.

1.2.3 Particularité du contrat de rivière

Les objectifs généraux du contrat de rivière Céou s'inscrivent dans les priorités du SDAGE Adour-Garonne et dans une logique de gestion cohérente du milieu. Le contrat de rivière Céou-Germaine-Tournefeuille s'engage vers les objectifs classiques d'un contrat de rivière :

- Lutte contre la pollution et objets flottants
- Restauration de la qualité des eaux afin de répondre aux exigences du milieu et des usages (AEP, Baignades...)
- Gestion des berges, du lit et des zones inondables
- Mise en valeur des milieux et des paysages
- Protection des espèces, restaurer les milieux aquatiques
- Lutter contre la prolifération des ragondins et rats musqués
- Mettre en valeur le patrimoine
- Prévention et protection contre les inondations
- **Gestion quantitative de la ressource**
- Informer et sensibiliser autour du Contrat de Rivière

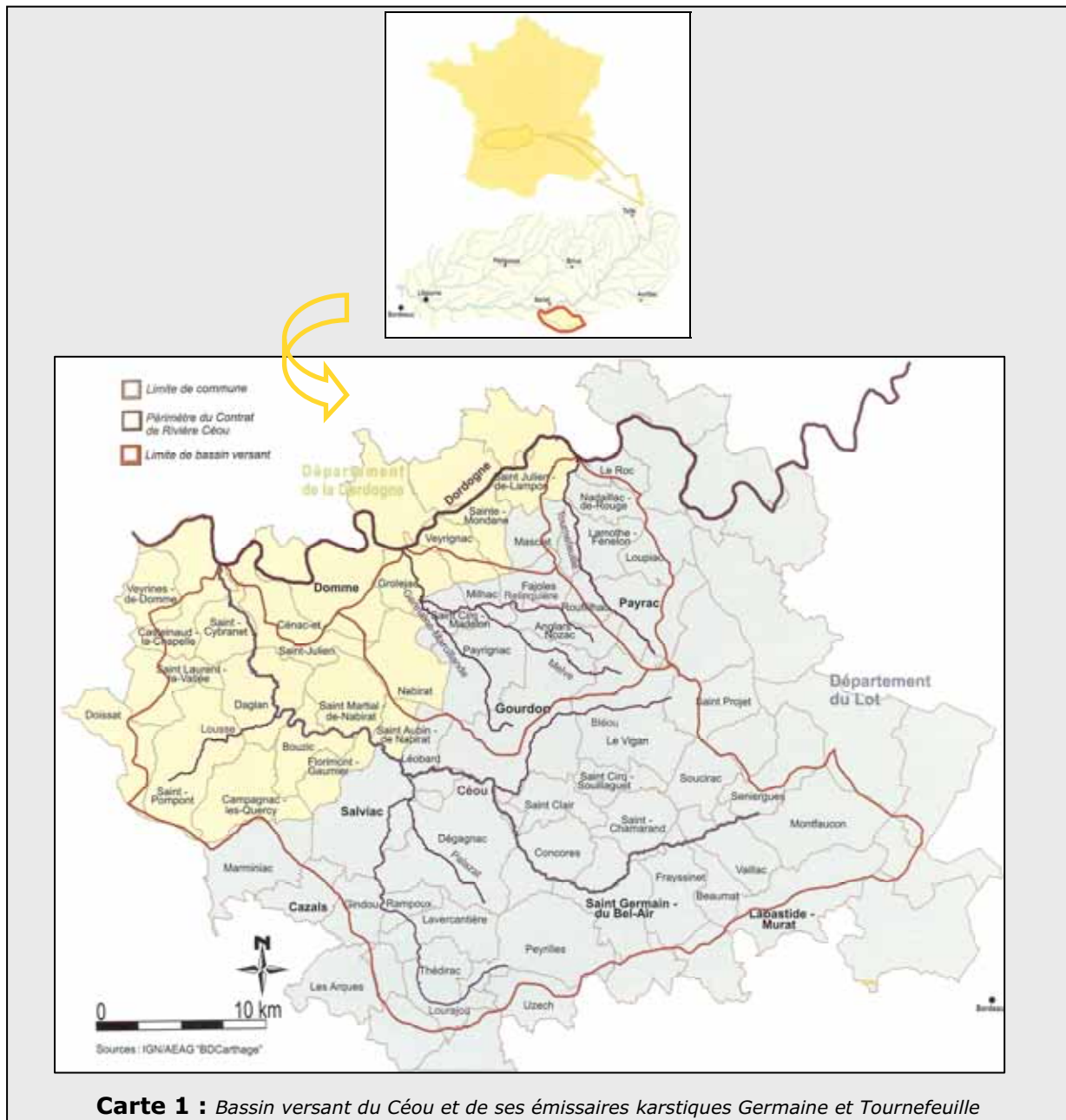
Mais il possède également un objectif original de développement touristique, considéré à la marge des nomenclatures classique des contrats de rivière. Cette valorisation touristique du bassin passe par la mise en place d'aménagements pour l'établissement d'itinéraires de découverte des rivières du bassin du Céou (Route de l'Eau), amélioration de la pratique du canoë et de la pêche, développement d'activité pédagogique sur le thème de l'eau.

Ainsi, le contrat de rivière Céou est un projet qui dépasse l'ambition d'un contrat de rivière classique. Il est constitué des actions habituelles aux caractéristiques environnementales affirmées auxquelles s'ajoute un volet particulier qui concerne des actions tournées vers le développement d'activités touristiques durables.

1.3 Mission et objectifs du stage : l'étude « hydrogéologique »

1.3.1 Présentation du territoire de l'étude

Le territoire de l'étude correspond à celui défini dans le cadre du contrat de rivière. Le bilan pourra néanmoins s'étendre aux bassins périphériques étant donné que la taille des bassins versants hydrogéologiques et géographiques est souvent différente de part les écoulements souterrains.



1.3.2 Rappel des objectifs

Globalement, le bassin est creusé dans les terrains karstiques des Causses du Quercy, ce qui entraîne en étiage un assèchement partiel du lit au profit d'un drainage souterrain. Durant cette période, seul le secteur aval du bassin possède des écoulements qui se révèlent insuffisants pour satisfaire les besoins en eau des collectivités locales et de l'agriculture. Le Céou qui était considéré autrefois comme la rivière la plus pure de la Dordogne doit être préservé car il représente une richesse touristique importante.

Actuellement les eaux de surface en période estivale ne peuvent satisfaire les besoins réels et potentiels. Ainsi, pour améliorer la gestion des prélèvements et ainsi éviter un assèchement du Céou en période d'étiage, le volet gestion quantitative du contrat de rivière a engagé une étude hydrogéologique qui prévoit l'amélioration des connaissances sur les circulations souterraines. Il s'agit aussi de proposer une sectorisation des cours d'eau en tronçon homogène du point de vue hydraulique et de définir les niveaux d'alerte pour chacun. A terme, un outil de gestion de prévision des débits d'étiage pourrait être réalisé.

1.4 Méthodologie

Le stage a été axé principalement sur la compréhension du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du Céou. Pour cela, nous avons suivi le débit du Céou (cours d'eau principal) et de ses affluents. Nous avons aussi repéré les puits situés dans la plaine alluviale du Céou afin de suivre l'évolution du niveau des aquifères. Toutes ces données permettront d'avoir une idée du niveau de remplissage des réservoirs susceptibles d'alimenter ou de drainer les cours d'eau.

On distingue deux phases principales dans ce stage :

- Acquisition des données (bibliographie + terrain)
- Analyses et interprétations

1.4.1 Acquisition des données :

1.4.1.1 Bibliographie

La bibliographie permettra de réaliser une synthèse sur le :

- Contexte géologique : lithologie, structure, karstification, forages et coupes géologiques ;
- Contexte hydrographique : pérennité des écoulements, débits (station de jaugeage + campagnes ponctuelles) ;
- Contexte climatique et détermination de l'infiltration efficace ;
- Contexte hydrogéologique : aquifères en présence, organisation générale des écoulements souterrains, piézométrie, paramètres hydrodynamiques (perméabilité, essais de pompes, hydrochimie), inventaire des sources et points d'eau.

Les données de la bibliographie proviennent de différents services comme la DDASS, DDAF, Agence de l'eau, BRGM, DIREN, banque HYDRO, mais aussi d'études réalisées auparavant.

1.4.1.2 Terrain

1. La première chose faite était un repérage pour prendre connaissance du secteur d'étude, de la morphologie du bassin et de l'organisation des écoulements de surface.

2. Des mesures de débit hebdomadaires ont été réalisées sur plusieurs stations réparties tout le long du Céou ainsi que sur les affluents principaux. Ces mesures sont nécessaires à la compréhension du fonctionnement hydrologique du bassin mais elles permettent aussi de suivre le tarissement du Céou et d'anticiper sur la période d'étiage pour mieux gérer les prélèvements qui se font sur le cours d'eau.

3. Hydrogéologie : Des mesures hebdomadaires ont été faites sur les puits à partir du mois de juin. Le mois de mai a été consacré au repérage et à l'inventaire des points d'eau. Une campagne de nivellement a été réalisée début août pour donner une cote NGF à nos puits. Un inventaire (non exhaustif) des sources a été réalisé.

1.4.2 Analyses et interprétations

La partie interprétation portera sur deux aspects :

Hydrologique :

Cette partie comprendra l'analyse de toutes les mesures de débits effectuées sur le Céou et ses affluents. Les débits spécifiques seront calculés pour toutes les stations de mesures. Il faudra aussi tracer les hydrogrammes, courbes de tarages et calculer les bilans hydrologiques en étudiant les précipitations (corrélation pluies/débits à partir des données Météo France de la station de Gourdon). Ensuite nous ferons l'analyse des données de la station limnimétrique de Saint-Cybranet pour laquelle la DIREN dispose des données depuis plus 30 ans. Il sera alors possible de déterminer le régime du Céou et le QMNA (période de hautes eaux, étiage...) à partir des données de la DIREN de 1972 à 2006.

Hydrogéologique :

L'analyse hydrogéologique passera par le traçage des hydrogrammes et des courbes de tarissement des sources. Le niveau d'eau dans les puits sera aussi suivi et une corrélation entre le niveau d'eau dans les puits et le niveau dans les rivières sera effectué grâce aux données récoltées par notre campagne de nivellement.

Une cartographie des zones des assecs de la rivière ainsi qu'une carte de synthèse montrant tous les anciens traçages effectués sur le secteur et la localisation des principales sources seront élaborées.

Voici un tableau récapitulatif du déroulement du stage :

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Bibliographie	X	X				
Etude des mesures de débits (Saint-Cybranet)			X			
Suivi des précipitations	X	X	X	X	X	
Jaugeages sur le Céou	X	X	X	X	X	
Jaugeages sur les affluents			X	X	(X)	
Mesures sur les sources			X	X	(X)	
Mesures dans les puits et forages			X	X	(X)	
Interprétations des résultats					X	
Elaboration des cartes de synthèses					X	
Rédaction du rapport					X	X

Tableau 1 : Répartition des tâches



Photo 1

Photo 1 : nivellement des puits (août 2006)



Photo 2

Photo 2 : Mesure de débit sur le Céou (juillet 2006)

2 Contexte Géomorphologique et Géologique

2.1 Géomorphologie

A l'échelle du bassin versant, on peut distinguer deux ensembles topographiques :

- L'ensemble des coteaux surplombant la vallée du Céou : La morphologie d'ensemble est accusée avec des buttes séparées par des vallées incisées.
- La vallée du Céou : cette vallée a le fond très aplati et peut parfois atteindre 1 km de large. Les fonds de vallées sont en général affectés par des ruptures de pentes qui correspondent à une fracturation transverse.

Ce sont des plateaux à surface faiblement ondulée qui forme le bassin du Céou. Ces plateaux sont entaillés par des vallées parcourues de cours d'eau dont la majorité ne connaissent pas un écoulement permanent. En effet, les vallées sèches sont assez présentes et marquées par une perte des eaux en amont avec parfois résurgence des eaux à leur débouché en bordure de rivières pérennes.

L'altitude moyenne du bassin augmente du Nord au Sud-Est. Elle est comprise entre 62 mètres à la confluence du Céou et de la Dordogne et 450 mètres dans le secteur de Labastide-Murat à l'extrémité Sud-Est.

Les versants des vallées ont des hauteurs variant de 60 à 100 mètres. Ces versants sont souvent abrupts. Les vallées quant à elles sont en règle générale étroites (largeur inférieure à 200 mètres), hormis celles des cours d'eau principaux comme le Céou, le Bléou et le Lourajou qui présentent un fond plat variant de 200 à 600 mètres de large avec des terrasses peu marquées.

2.1.1 Karstification

Les roches carbonatées dans la mesure où elles sont pauvres en éléments insolubles se prêtent bien à la karstification : processus de dissolution de ces roches par les eaux météoriques qui conduisent à la mise en place d'un réseau de drainage souterrain au sein du massif carbonaté acheminant les eaux souterraines vers un nombre réduit d'exutoires. Cette dissolution se traduit en surface par la mise en place d'une morphologie exokarstique caractéristique. L'élément morphologique le plus commun étant les dolines.

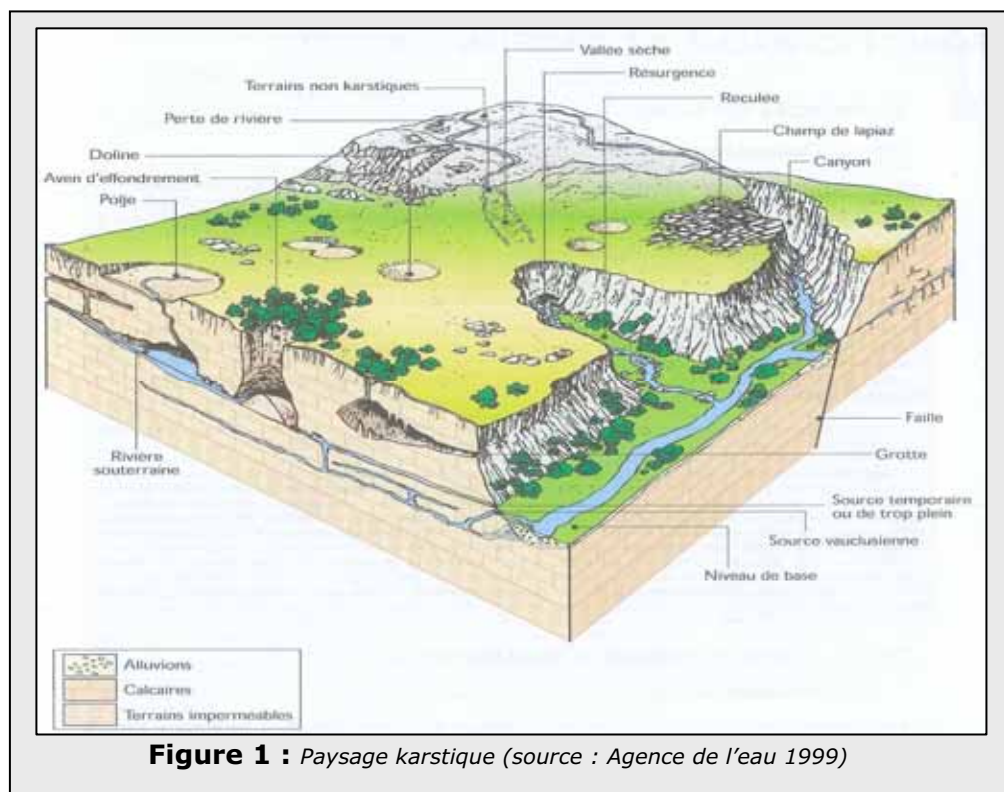


Figure 1 : Paysage karstique (source : Agence de l'eau 1999)

Les calcaires portlandiens et kimméridgiens qui composent le secteur d'étude sont affectés par ce processus, ainsi que l'attestent les nombreuses dolines à remplissage de graviers argileux avec pisolithes⁽¹⁾ de fer et d'argiles. Ces dolines se situent dans des secteurs bien délimités.

D'un point de vue géologique, plusieurs phases de karstification ont concerné les calcaires jurassiques du secteur.

Karstification anté-cénomaniennne ⁽²⁾ : une première phase a pu se développer durant le Crétacé inférieur (-145 à -100 millions d'années), avant la transgression cénomaniennne, au cours du climat chaud et humide qui régnait à cette époque. Peu de témoins de cette ancienne phase sont observables de nos jours. Notamment aucun conduit karstique datable de cette époque n'a été identifié à ce jour.

Karstification paléogène ⁽³⁾ : à la fin du Crétacé, le Quercy est à nouveau exondé et soumis à l'érosion. Les calcaires Jurassiques et Crétacés sont alors soumis à une nouvelle karstification. Un karst perché ou noyé libre se développe dans les calcaires portlandiens et Crétacés. Parallèlement un karst noyé profond et captif se met en place dans les brèches polygéniques de l'Oxfordien. Ce karst profond est à l'origine de cheminées de soutirage karstique qui recoupent toute la série jurassique et crétacée. Sous l'influence de l'altération hydrolysante due à un climat tropical humide à partir de l'Eocène moyen, les calcaires géseux du Crétacé donnent naissances à des altérites sableuses. Ces altérites dont la puissance atteint 50 à 100 m vont contribuer à combler peu à peu le karst profond et les cheminées de soutirage. Conjointement on assiste à une remontée du niveau de base karstique sous l'effet de la transgression molassique de l'Oligocène, ce qui aboutit à la fossilisation totale du karst. Une nappe phréatique s'installe alors dans les altérites. Elle favorise localement la mise en place de silicifications qui sont à l'origine des grès près de Gourdon.

Karstification plio-quaternaire : elle se met en place graduellement du Nord vers le Sud suite au décapage progressif de la couverture molassique. Le réseau hydrographique actuel se met en place en entaillant les formations carbonatées du jurassique. L'enfoncement des rivières abaisse le niveau de base karstique et favorise la mise en place de nouveaux systèmes de drainage karstiques. Ce sont ceux que nous observons actuellement.

2.1.2 Les reliefs karstiques

Les Lapias francs n'existent qu'au sein de calcaires massifs dans le bassin du Céou. Les avens sont très répandus en Quercy et rares en Périgord. Les plus importants sont dus à des effondrements mais en règle générale, ils résultent de l'élargissement de diaclase. De nombreuses grottes montrent l'existence d'anciens niveaux de circulations souterraines. En général, trois ou quatre niveaux de descentes des systèmes karstiques sont visibles dans les versants des vallées principales. Par exemple, la grotte du trou du Vent située au Sud de Bouzic possède une superposition de quatre niveaux de galeries et une rivière souterraine.

2.1.3 Les vallées

Le Céou et ses principaux affluents coulent dans des vallées alluviales à fond très aplati. Pouvant atteindre 1 Km de large. Ces vallées sont donc hors de proportion par rapport à l'importance actuelle des cours d'eau. On distingue plusieurs entités :

- En amont de Pont-Carral les coteaux sont de nature essentiellement Kimméridgienne avec des pentes prononcées (60°) et sont recouverts d'éboulis.
- De Pont-Carral à Saint-Cybranet, le Céou circule entre des falaises abruptes Portlandiennes.
- Vers l'aval, ce sont de hautes falaises jurassiques et crétacées qui bordent le cours de la rivière.

Les calcaires Portlandiens et turoniens sont gélifs, c'est pourquoi des dépôts de pente sont observés à la base des coteaux. La largeur de la vallée du Céou reflète l'importance des écoulements qu'il devait y avoir sous le climat périglaciaire. Les variations du niveau de base sont visibles tant dans les grottes et avens creusés dans les coteaux, que dans les raccords entre les différentes plaines alluviales. Sur une grande partie du bassin, les écoulements de surface en étiage sont inexistantes. Le niveau de base, du fait d'une karstification souterraine importante, est situé en dessous du fond de lit de la rivière.

(1) **Pisolithes** : Globules formés de couches concentriques minces

(2) **Cénomanienn** : première époque stratigraphique du Crétacé supérieur allant de -99,6 à -93,5 millions d'années. Elle précède le Turonien.

(3) **Paléogène** : Le Paléogène est un système du Cénozoïque, suivant le Crétacé et précédant le Néogène ; il regroupe les époques de l'Oligocène, de l'Eocène et du Paléocène depuis 65,5 jusqu'à 23,03 millions d'années avant l'ère chrétienne.

2.2 Cadre géologique du bassin du Céou

Pour se faire, plusieurs types de documents ont été consultés :

- Les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000
- L'étude hydrogéologique du bassin aval du Céou – Recherche d'eaux souterraines destinées à l'irrigation, FRADET Patrick, 1983 (thèse) ;
- Gestion quantitative des ressources en eau du bassin du Céou, ANTEA, avril 2000

2.2.1 Contexte tectonique et structural

Deux styles tectoniques se développent de part et d'autre de l'axe Nontron – Sarlat :

- A l'est prédomine une tectonique de type cassant avec de nombreuses failles aux orientations multiples. Ces mouvements peuvent être datés du Tertiaire inférieur car les dépôts sidérolithiques ne sont pas affectés par ces failles.
- A l'ouest, la tectonique est de type souple caractérisé par des ondulations. Cette tectonique se traduit par des accidents de faibles amplitudes qui convergent vers la Montagne Noire. Ils correspondent également au renouveau d'accidents du socle hercynien lié aux mouvements pyrénéens avec un amortissement du phénomène dû à une couverture sédimentaire plus épaisse.

Le bassin du Céou est situé en limite de ces deux zones. Il est donc affecté par ces deux types de tectoniques mais il est surtout influencé par l'anticlinal faillé de Saint-Cyprien et par le synclinal de Sarlat.

La faille de Saint-Cyprien est de direction générale NNW-SSE. Elle appartient à un grand accident de direction armoricaine allant de Cognac à Cahors. La ride anticlinale de Cognac à Périgueux se prolonge par le pli faille de Saint-Cyprien qui se transforme en flexure⁽¹⁾ de Cazals à Cahors. La faille de Saint-Cyprien sépare deux compartiments structuralement différents avec à l'Ouest, un monoclinale Crétacé à faible pendage qui plonge vers le Sud-Ouest et à l'Est, les terrains Crétacés et Jurassiques discordants qui sont affectés par de nombreux plis et fractures.

Le Causse de Daglan qui est une avancée vers le Nord du Causse de Gramat se situe dans le compartiment Est. Il est composé de calcaires Jurassique dont le débit en plaquettes entraîne la création de vastes pierriers donnant cet aspect typique des Causses. Les terrains du Causse sont très plissés et fracturés et présentent de nombreuses flexures et zones de broyage. On peut distinguer deux grandes structures d'axe NNO-SSE avec à l'Ouest, l'anticlinal de Campagnac-lès-Quercy et à l'Est, le synclinal de Jardel-Bas.

Les ruptures de pentes entre les fonds de vallées et des systèmes de relais de failles entraînent un relèvement des structures au Sud et à l'Est du bassin. Ces mouvements récents peuvent expliquer pour partie la disparition des eaux de surface : le niveau de base s'est affaissé dans la masse des calcaires lors des relèvements des vallées.

Des mesures géophysiques réalisées dans la plaine alluviale du Céou montrent l'existence de fractures sous les alluvions. Ces failles délimitent des panneaux plus ou moins importants et effondrés dont les limites sont en générale étanches du fait du colmatage argileux. Dans un contexte plus général, les plaines alluviales sont installées dans les zones de fractures majeures d'orientation générale E-W ou NNW-SSE.

2.2.2 Lithologie

Les formations les plus représentées dans le bassin du Céou sont les formations du Jurassique supérieur recouvertes au niveau du Céou par des alluvions récentes et anciennes du Céou ainsi que par des colluvions. On note toutefois que le Crétacé supérieur affleure localement.

Terrains quaternaires :

On distingue plusieurs types de dépôts quaternaires :

Les alluvions anciennes : les matériaux constituant ces alluvions sont des galets et graviers siliceux à matrice limoneuse. Le niveau de base est constitué de graviers dans une matrice argilo-sableuse et contient quelques galets. Le niveau supérieur quant à lui contient plus d'éléments grossiers. Il s'agit des vestiges d'une ancienne terrasse alluviale würmienne. Ces alluvions sont

(1) **Flexure** : Pli de très faible courbure dû à une pression perpendiculaire au marqueur de la déformation.

visibles dans le secteur de Daglan et à l'Est de Bouzic. Ces terrasses s'étagent de 5 à 30 mètres au-dessus des alluvions actuelles. L'épaisseur de la terrasse de Daglan est de 15 mètres.

Les alluvions récentes : il s'agit de dépôt des cours d'eau actuel. Ces dépôts sont visibles en fond de vallées. Ces alluvions sont composées de galets, graviers, sable et limons. Ces matériaux proviennent de l'érosion des roches voisines. On trouve donc pour le Céou qui entaille des calcaires, des galets calcaires dans une matrice argilo-silteuse. L'épaisseur de ces alluvions dans la vallée du Céou est de l'ordre de 4 à 5 mètres et peut atteindre 9 mètres par endroit.

Terrains d'altération :

Le « **Sidérolithique** » (altérites) : il s'agit d'un ensemble de roches, meubles, formées par l'érosion des roches crétacées. Elles résultent d'une altération bioclimatique des formations crétacées situées dessous et elles sont constituées de sables, argiles ou argiles sableuses dont l'épaisseur varie de 0 à 100 mètres. On note que de part leur nature, ces dépôts ont tendance à s'épandre et peuvent constituer des remplissages karstiques très importants et de part leur composition, ces formations limitent l'infiltration des eaux en profondeur. Ces formations affleurent dans le synclinal de Sarlat au Nord de la vallée du Céou, dans les affleurements dispersés près de Dégagnac, Salviac et Florimont-Gaumier, à l'Ouest de la faille Cazals-Saint-Laurent-la-Vallée qui sépare le compartiment bas au Sud-Ouest où ces formations ont été conservées et un compartiment haut, au Nord-Est où elles ont été déblayées.

Les dépôts de pente : de part la nature des calcaires en plaquettes du Jurassique supérieur (Portlandien), les pentes des vallées sont souvent recouvertes par des éboulis issus de leur altération.

On observe par endroit des **dépôts de Grèzes** (Castines) qui sont constitués de petits fragments anguleux centimétriques empruntés aux roches sous-jacentes par des phénomènes cryoclastiques ⁽¹⁾ puis cimentés par des limons de décalcification.

Terrains secondaires :

Crétacé :

Sénonien : on note que les terrains du Mæstrichtien, du Campanien et du Santonien sont quasiment inexistant dans le secteur d'étude car de part leur nature, ces calcaires sont fortement altérés et se mélangent avec les formations superficielles. Le Coniacien est constitué d'une centaine de mètres de calcaires massifs gréseux jaunâtres qui surmontent une dizaine de mètres de marnes. Cette formation forme les falaises dominant les vallées de la Dordogne et du Céou en aval de Saint-Cybranet. La karstification de cet ensemble est importante comme en témoigne la grotte de Domme.

Turonien : il s'agit de calcaires blancs marneux et crayeux se terminant par un calcaire compact cristallin. Cette formation est bien visible dans les vallées de la Dordogne où elle constitue le pied des grandes falaises. Ces calcaires se rencontrent donc dans la partie terminale du Céou. L'épaisseur de cet étage est de l'ordre de 75 mètres (10 à 30 m).

Ces calcaires Crétacés, d'une épaisseur supérieure à 110 mètres ne sont pas observables sur les plateaux car ils sont recouverts par des altérites.

Jurassique supérieur :

Deux étages du Portlandien affleurent dans le bassin du Céou : le Portlandien supérieur et le Portlandien inférieur. Cette formation constitue l'essentiel du Causse de Daglan et est épais de 140 mètres environ.

Le Portlandien supérieur : il est constitué de gros bancs calcaires massifs plus ou moins cristallisés, de calcaires micritiques ⁽²⁾ à délit en plaquettes, ainsi que de calcaires dolomitiques ⁽³⁾. Cet ensemble affleure sur les hauteurs dominant le Céou aux environs de Saint-Germain du Bel-Air et de Saint-Chamarand. Il est également présent dans la vallée du Céou au Sud de Bouzic où son épaisseur dépasse 150 mètres. Il faut toutefois noter que cette série peut disparaître comme c'est le cas au Nord de Gourdon. En effet, le Turonien repose directement sur le Kimméridgien. Cette discordance témoigne de l'érosion anté-cénomaniennne.

(1) **Cryoclastique** : Dégradation de la roche en place par des phénomènes de gel et dégel.

(2) **Micrite** : matrice de granulométrie très fine.

(3) **Dolomite** : minéral carbonaté composé de calcium et de magnésium $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Le Portlandien inférieur : cet étage est beaucoup moins homogène et est composé de calcaires micritiques en petits bancs. Son épaisseur est comprise entre 10 et 30 mètres. On note que cette formation affleure sur les flancs du dôme de Campagnac-lès-Quercy, dans les vallées du Lourajou et du Palazat ainsi que dans le bassin du Céou en amont de Costeraste. Le Portlandien est fortement karstifié comme en témoigne les champs de doline de Campagnac-lès-Quercy et la présence de nombreux gouffres et grottes telle que la grotte de Bouzic.

Le Kimméridgien : seul la partie supérieure de cet étage affleure dans la vallée du Céou. Cet ensemble est caractérisé par une alternance de calcaires en bancs et de marnes grises dont l'épaisseur est estimée à 100 mètres sur le secteur. On note que ces terrains sont également présents sous le Crétacé où son épaisseur peut atteindre 250 mètres. Cet ensemble affleure largement au sud de Gourdon dans la vallée du Céou et du Bléou, dans le cœur du synclinal de Campagnac-lès-Quercy ainsi que dans la vallée de la Lousse à St-Pompon. A la base de cet horizon, il s'agit soit de calcaires pyriteux et argileux noirs que l'on retrouve dans le secteur de Domme, soit de niveaux de schistes bitumeux prospectés près de St-Pompon. Plus à l'Est et au Sud, cet étage peut se décomposer comme suit (de haut en bas) :

- Calcaire noduleux (50m)
- Alternance de calcaires à terriers et de marnes (45m)
- Calcaires bioturbés (45m)
- Brèche polygénique cavée (40m)

Il faut noter la présence de conduites karstiques au sein du Kimméridgien observable par exemple en bordure de Dordogne à une centaine de mètres en aval du pont de Cénac.



Photo 3



Photo 4

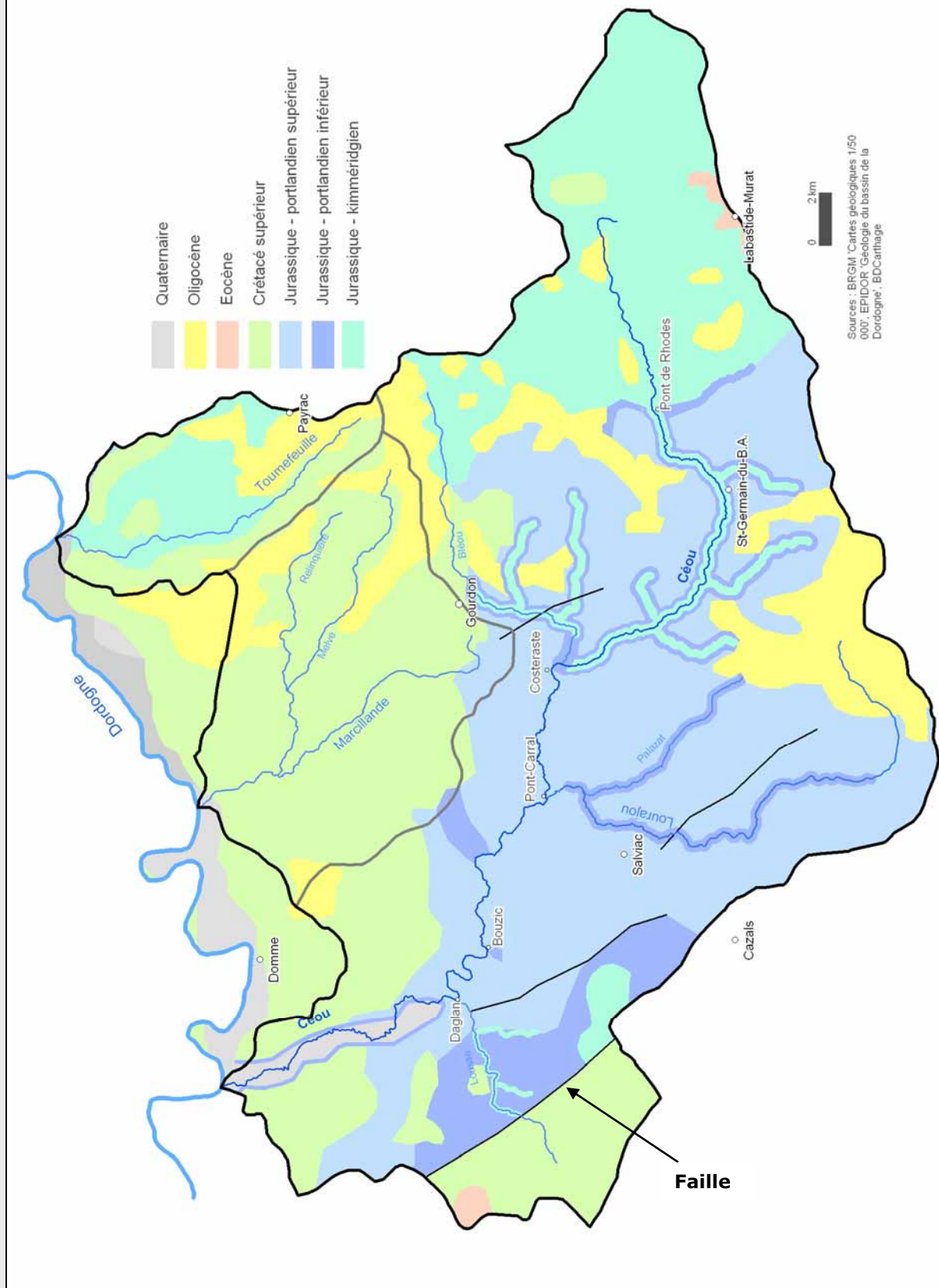


Photo 5

Photo 3 : Perte de Malpas au Sud de Gourdon (Epidor – mars 2005)

Photo 4 : Céou à sec en amont du moulin d'Albert (juillet 2006)

Photo 5 : La vallée du Céou au niveau de Castelnaud-la-Chapelle (Epidor-septembre 2005)



Carte 2 : Carte géologique simplifiée du bassin du Céou, de la Germaine et du Tournefeuille

3 Etude des eaux de surface

3.1 Présentation du bassin

3.1.1 Introduction

Le bassin du Céou est situé dans le Sud-Ouest de la France sur la rive gauche de la Dordogne au Sud de Sarlat. C'est une région de transition entre le Périgord Noir marqué par les coteaux calcaires ou sableux du Crétacé Supérieur et du Tertiaire au Nord et à l'Ouest et le Causse de Gramat constitué par les calcaires du Jurassique au Sud et à l'Est.

Le bassin du Céou d'une surface de 742 km² se compose de trois affluents de la Dordogne : Le Céou, la Germaine et le Tournefeuille couvrant respectivement 567, 120 et 53 km². La superficie totale du bassin versant représente 3 % du bassin de la Dordogne.

D'un point de vue administratif, le bassin du Céou concerne :

- 2 régions (Aquitaine et Midi-Pyrénées)
- 2 départements (Dordogne et Lot)
- 2 Pays (Périgord Noir et Bourian)

3.1.2 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est conforme à l'organisation des reliefs. Le réseau du Céou suit une direction générale Sud-Est – Nord-Ouest, la Germaine et le Tournefeuille sont orientées Sud-Nord.

Situés sur des terrains perméables, les bassins du Céou, de la Germaine et du Tournefeuille présentent un réseau hydrographique peu dense : 0.44km de cours d'eau par km². C'est le bassin du Céou qui avec 0.42 km/km² présente la plus faible densité contre 0.51 pour le Tournefeuille et 0.54 km/km² pour la Germaine. Le Céou possède une pente moyenne de 4 ‰ contre 11 et 9 ‰ pour le Tournefeuille et la Germaine. Dans la partie aval du Céou, après la confluence du Lourajou (Pont Carral), la pente diminue et le cours d'eau méandre jusqu'à sa confluence.

Le Céou prend sa source près du village de Montfaucon à 310 mètres d'altitude. Après un parcours sinueux d'une cinquantaine de kilomètres, le cours d'eau se jette dans la Dordogne à la côte 62 mètres. Sa largeur est comprise entre 3 et 12 mètres. Il est alimenté par trois affluents principaux :

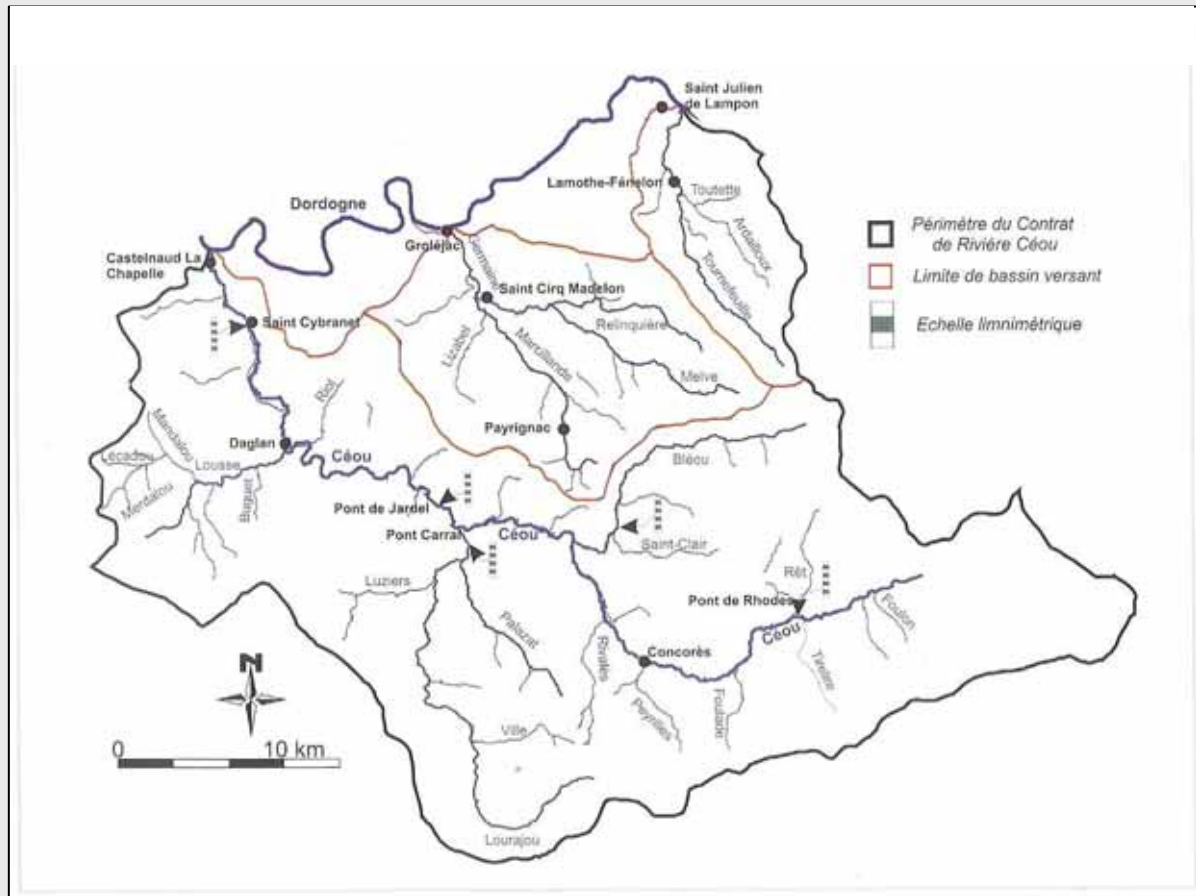
- Le Bléou : affluent de rive droite mesurant 15 Km de long
- Le Lourajou : affluent de rive gauche de 22 Km
- La Lousse : affluent de rive gauche de 7 Km de long.

La source de Céou reste tarie 3 ou 4 mois dans l'année durant l'étiage. Un débit appréciable peut exister cependant mais les eaux se perdent 100 mètres en aval. De même, les sources de Roquedure et de Pont-de-Rhodes alimentent de manière intermittente le Céou mais les eaux disparaissent également rapidement.

Dans la partie moyenne du Céou, le Bléou et le Lourajou sont deux ruisseaux qui fournissent un débit aussi important que le cours principal durant les périodes normales d'écoulement.

En étiage, le Bléou s'assèche presque totalement alors que le Lourajou fournit un débit permettant l'existence d'un écoulement de Pont-Carral à Jardel-Bas où les eaux se perdent. Il faut noter que durant cet étiage 2006, le Lourajou s'est complètement asséché.

A partir de Bouzic, le Céou est de nouveau alimenté même en étiage sévère de part l'existence de l'exsurgence de Bouzic. Le Céou acquiert les dimensions d'une rivière à partir de Daglan grâce aux apports relativement importants (inférieur à 20 l/s en étiage 2006) fournis par la Lousse. Enfin, dans sa partie terminale, de Daglan à la confluence avec la Dordogne, le Céou reçoit les eaux de nombreuses sources situées de part et d'autre du cours et en fond de lit.



Carte 3 : Réseau hydrographique et stations de jaugeages (sources IGN/AEAG BDCarthage)

3.2 Répartition des écoulements de surface en période d'étiage

3.2.1 Campagnes de jaugeage d'avril à août 2006

Les écoulements superficiels du Céou sont suivis depuis 2000 par EPIDOR. Afin de compléter et de poursuivre cette campagne de mesure, nous avons réalisés des mesures de débit hebdomadaires sur plusieurs stations. Ces campagnes permettront de déterminer les zones d'apports et de pertes et de mieux cerner le fonctionnement hydrologique du bassin en étiage. La méthode utilisée est celle d'un courantomètre (jointe en annexe). Du fait du nombre important de mesures, nous pensons avoir cerné correctement les débits et surtout apprécié les différences d'écoulement. L'existence de pertes dans le bassin du Céou nous a obligé à étendre notre étude aux bassins périphériques. La position des points de mesures, les résultats de cette campagne ainsi que les valeurs obtenues auprès des services ayant déjà jaugé le Céou figurent plus loin dans ce rapport.

3.2.1.1 Introduction

Cette campagne de mesure a pour objectif d'assurer le suivi des débits sur l'ensemble du cours d'eau afin de récolter des données qui permettront une analyse fine de l'impact des pompages et la mise en œuvre d'une gestion cohérente de la ressource. Cette action est inscrite dans le programme d'actions du Contrat de Rivière Céou.

3.2.1.2 Méthodologie

Choix des stations :

En 2006, nous avons suivi 6 stations réparties sur le cours principal du Céou (voir carte page suivante) : 3 dans le département du Lot et 3 dans le département de la Dordogne. 4 stations ont aussi été implantées sur les affluents (le Bléou, le Lourajou, la Lousse et la Fontaine de Bouzic).

Le choix des emplacements pour réaliser les jaugeages s'est fait en tenant compte des contraintes suivantes :

- Peu de variations des conditions d'écoulement pendant la mesure.
- Un bon parallélisme des filets liquides entre eux.
- Des écoulements perpendiculaires à la section de mesure.
- Pas d'obstacles importants ou de courbes importantes risquant de perturber la distribution des vitesses.
- Pas de zones de tourbillons importantes.
- Peu ou pas de sous berges

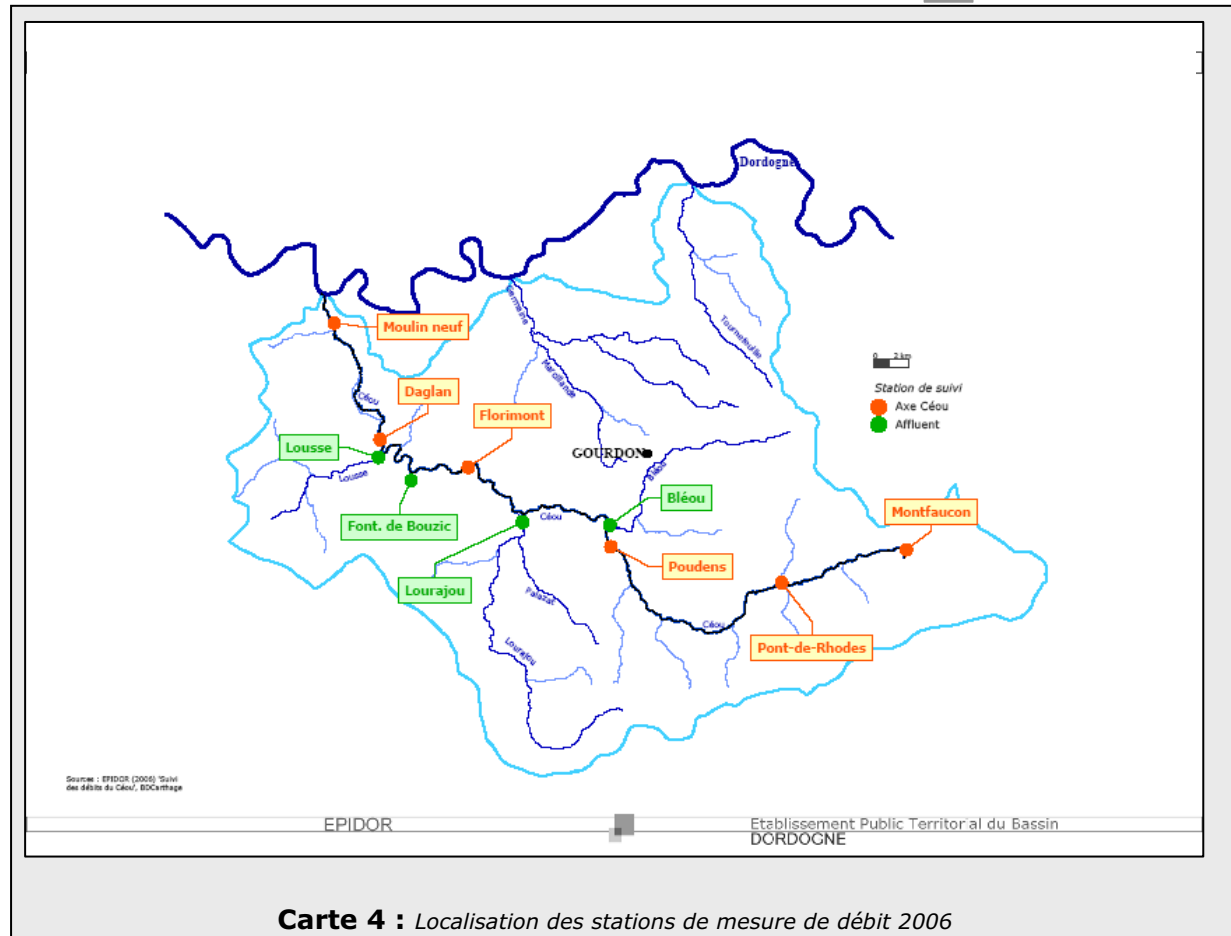
Quelques stations sont marquées par l'implantation de piquets en rives droite et gauche sur lesquels se fixe un décimètre garantissant les abscisses des points et par la même la répétitivité des mesures. Voici les tableaux de coordonnées des stations (Lambert 2 étendue).

Nom	X	Y
Amont du seuil de Moulin Neuf	507 017	1 978 401
Salle des fêtes de Daglan	509 565	1 971 949
Florimont	514 457	1 970 410
Amont du seuil de Poudens	522 378	1 966 004
Amont du seuil de Pont-de-Rhodes	531 862	1 964 015
Montfaucon	538 783	1 965 836
Lousse	509 477	1 970 959
Source de Bouzic	511 280	1 969 671
Lourajou	517 475	1 967 377
Bléou	522 323	1 967 214

Tableau 2 : Coordonnées des stations de mesure de débit



Photos 6, 7 et 8 : Ces 3 stations pourraient servir de bases au réseau de mesure.



Carte 4 : Localisation des stations de mesure de débit 2006

Choix de la méthode :

La méthode retenue pour calculer les débits est la méthode des intégrations (Cf méthodologie en annexe et la feuille de calcul en annexe 1).

Appareillage

L'appareil utilisé est un FLO MATE 2000, c'est un courantomètre/débimètre portable. Il mesure la vitesse d'écoulement d'un fluide conducteur tel que l'eau à l'aide d'un capteur électromagnétique directionnel. La vitesse est affichée en m/s avec deux résolutions possibles : le centimètre ou le millimètre. Lors de nos campagnes nous avons choisi la résolution en centimètre pour les débits relativement élevés et le millimètre pour les débits faibles. Après avoir étalonné l'appareil, une mesure de débit a été effectuée avec la DDAF sur la station de Poudens pour caler nos appareils. Nos 2 mesures indiquaient un débit de 36l/s pour la DDAF et 37 l/s pour EPIDOR.

Voici les résultats bruts de nos mesures hebdomadaires (toutes les valeurs sont indiquées en m³/s) :

2006	03-févr	12-avr	21-avr	26-avr	03-mai	11-mai	15-mai	23-mai	29-mai	02-juin	05-juin	06-juin	12-juin
Montfaucon				0,0040			0,0065	0,0051	0,0043				0,000
Aval Step Montfaucon				0,0018									
Pont de Rhodes		0,263		0,114	0,088	0,169	0,171	0,104	0,077		0,068		0,038
Poudens		0,845			0,241	0,479	0,504	0,314	0,182		0,125		0,053
Florimont				0,724	0,469	0,834	0,945	0,474	0,297		0,178		0,064
Daglan		2,064		0,929	0,670	0,909	1,267	0,715	0,460		0,277		0,126
St Cybranet (DIREN)		2,710	1,540	1,270	0,967	1,450	1,830	1,120	0,840	0,702	0,590	0,575	0,361
Moulin neuf	2,184	2,587	1,572	1,234	0,997	1,328	1,606	1,094	0,803		0,590		0,377
Fontaine de Bouzic		0,044				0,061	0,079	0,043	0,036		0,035		0,028
Bléou									0,063		0,038		0,0069
Lourajou										0,092		0,065	0,036
Lousse										0,056		0,046	0,033

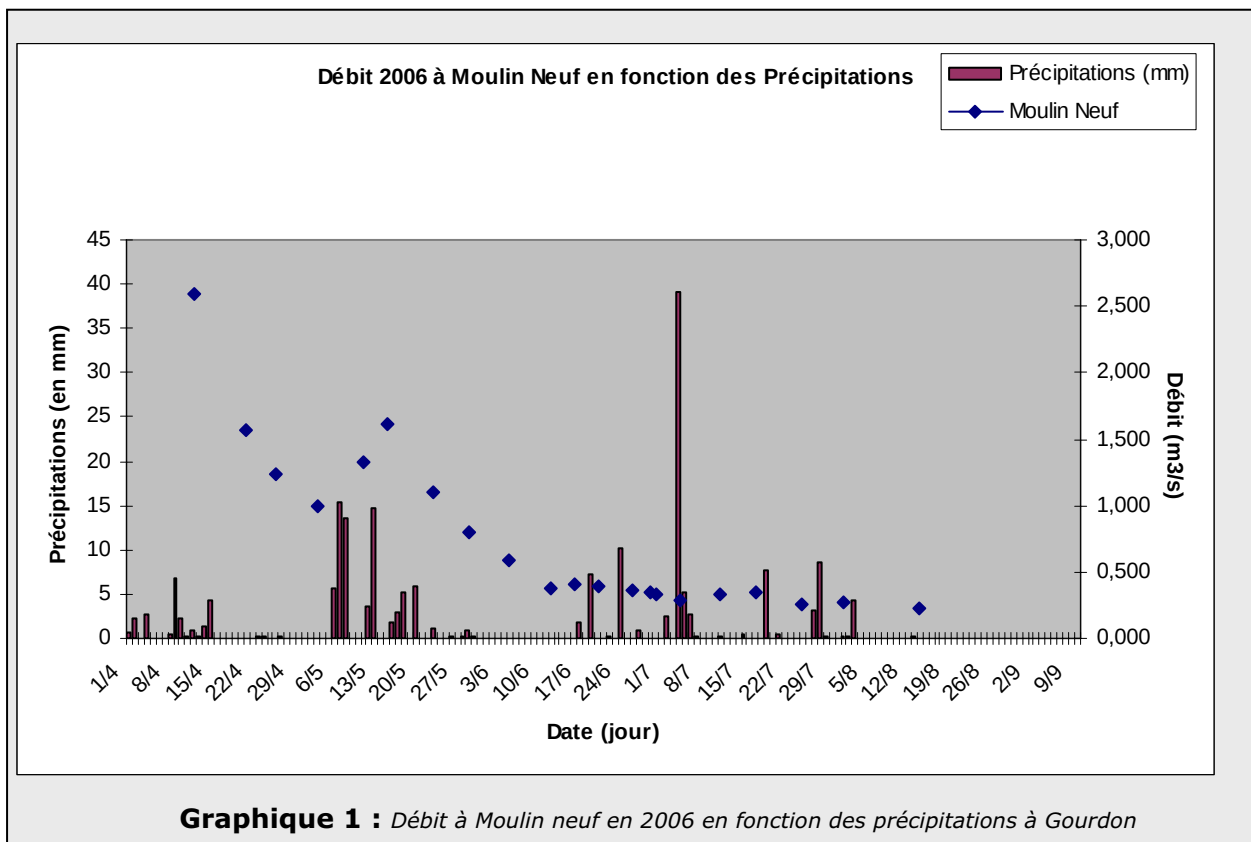
Tableau 3 : Résultats de la campagne de mesure de débit 2006 (du 3 février au 12 juin)

2006	16-juin	19-juin	20-juin	26-juin	29-juin	30-juin	4-juil.	11-juil.	17-juil.	25-juil.	01-août	14-août
Montfaucon			0,000	0,000			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aval Step Montfaucon												
Pont de Rhodes			0,051	0,045			0,028	0,048	0,034	0,030	0,030	0,020
Poudens			0,040	0,024			0,016	0,021	0,014	0,011		
Florimont			0,039	0,028	0,019	0,012	0,007	0,022	0,010	0,000	0,000	0,000
Daglan			0,182	0,124			0,057	0,105	0,103	0,037	0,030	0,025
St Cybranet (DIREN)	0,336	0,315	0,350	0,331	0,298	0,294	0,244	0,243	0,307	0,084	0,096	0,055
Moulin neuf	0,403		0,393	0,366	0,354	0,327	0,288	0,330	0,340	0,262	0,264	0,228
Fontaine de Bouzic			0,036	0,027			0,024	0,024	0,023	0,023	0,022	0,019
Bléou		0		0,000			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Lourajou		0,0327		0,035			0,014	0,033	0,011	0,000	0,000	0,000
Lousse		0,0296		0,033			0,015	0,027	0,019	0,019	0,016	0,014

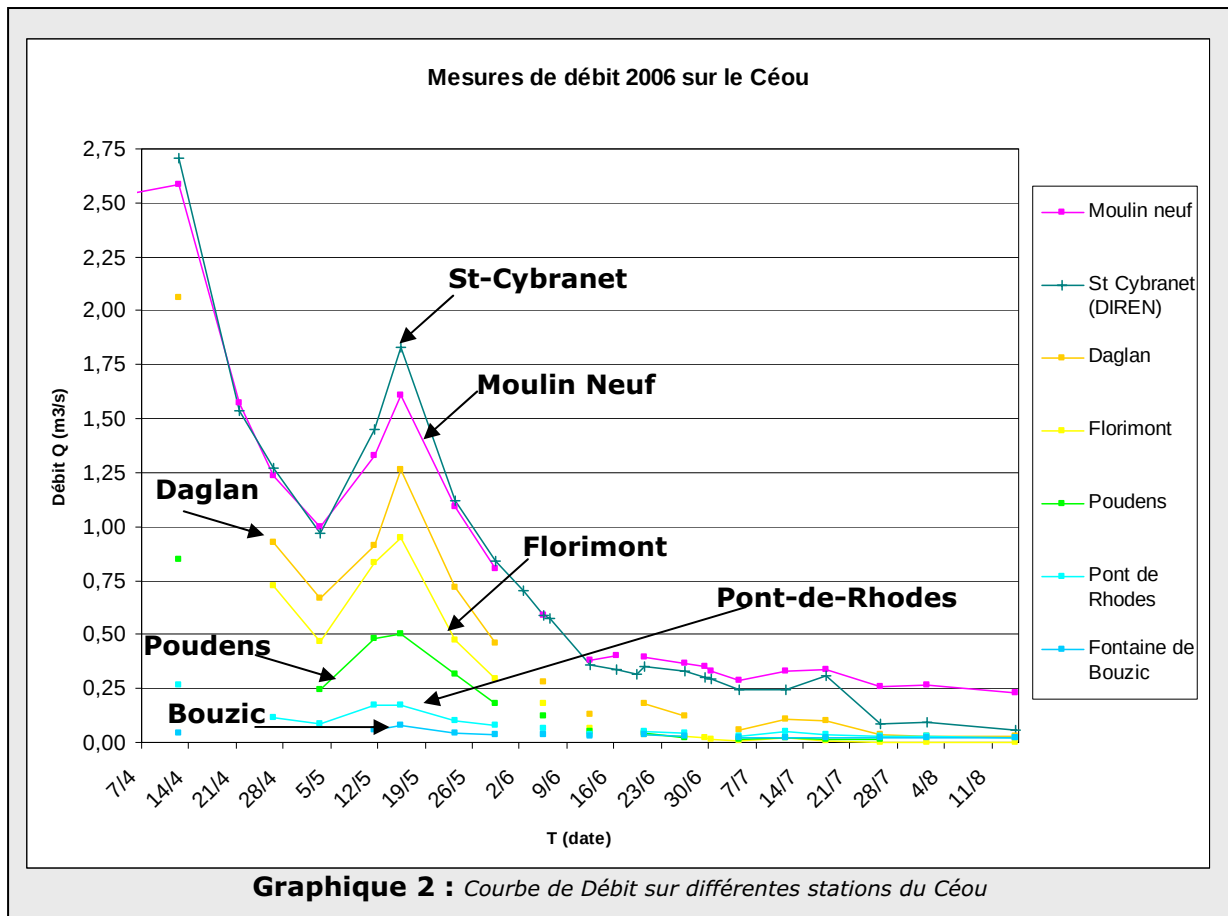
Tableau 4 : Résultats de la campagne de mesure de débit 2006 (du 16 juin au 14 août)

La valeur en rouge pour la station de Daglan le 11 mai 2006 correspond sans doute à une erreur de mesure. Pour les deux valeurs en rouge pour la station de Saint-Cybranet, il s'agit en fait de valeurs provisoires que la DIREN est susceptible de modifier par la suite. Ces mesures de débit ont servis à prendre des mesures des restrictions de l'irrigation agricole sur le Céou lors des réunions sécheresses hebdomadaires mais aussi à mieux cerner le fonctionnement hydrologique du bassin. Elles serviront aussi pour l'élaboration des courbes de récession et donc l'estimation des réserves en eau contenue dans la zone noyée du karst.

3.2.1.3 Traitements des données



Ce graphique permet de corréler les débits et les précipitations. Les données pluviométriques proviennent de la station météorologique de Gourdon.



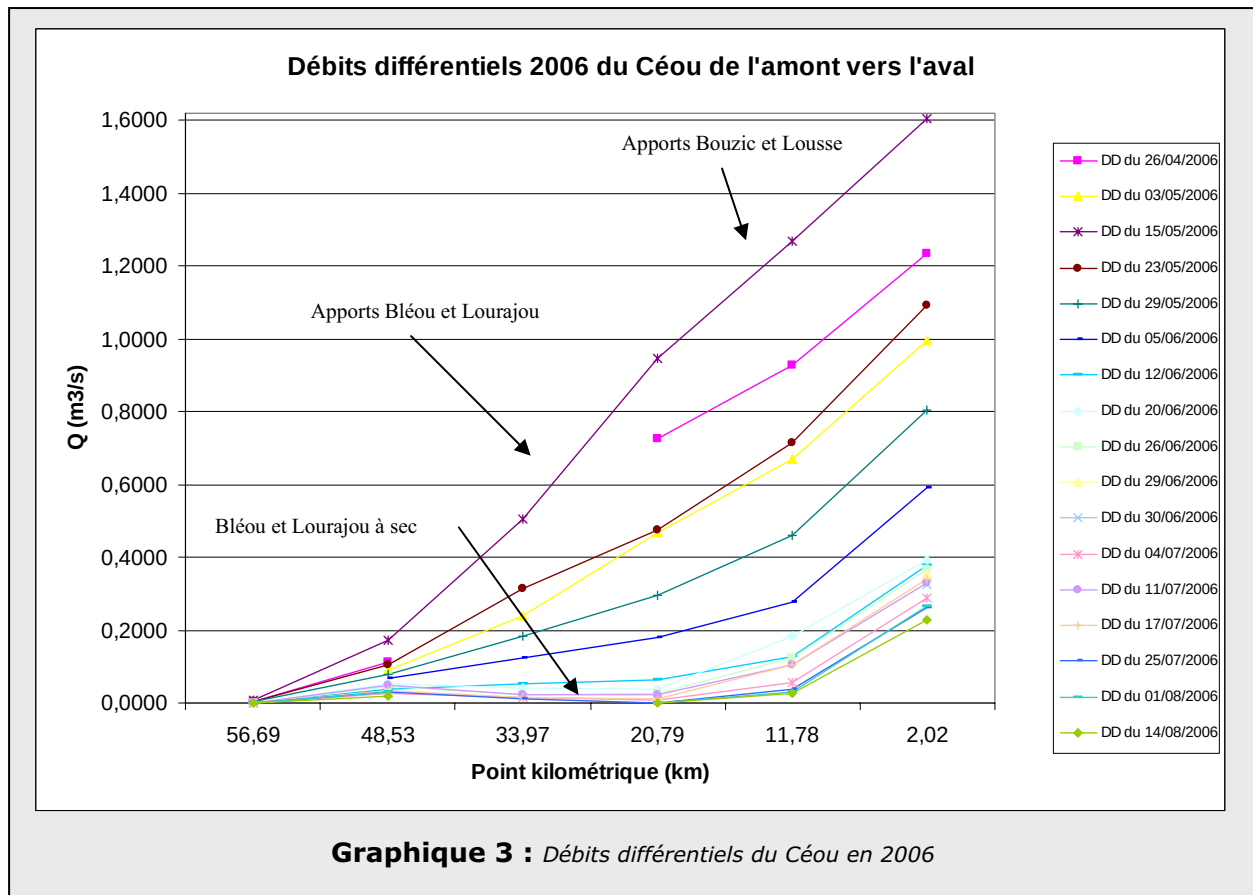
On remarque que suivant la période de l'année, les débits entre Saint-Cybranet et Moulin neuf sont variables. En effet en hautes eaux, les débits à Saint-Cybranet sont supérieurs à Moulin Neuf alors qu'en étiage, ils deviennent bien inférieurs. Ceci peut provenir d'une mauvaise courbe de tarage ou d'une mauvaise estimation des débits d'étiage. On note que l'enregistrement de hauteur d'eau à Saint-Cybranet se fait à l'aide d'un flotteur et le calcaire qui se dépose dessus est susceptible de perturber la lecture. La station est aussi perturbée par la construction de barrage d'agrément. De plus, la largeur du lit ainsi que les nombreux herbiers qui s'y développent en été font que les écoulements sont hétérogènes.

On remarque sinon que les épisodes pluvieux du mois de mai ont permis une remontée du débit sur toutes les stations alors que ceux du mois de juillet ne se sont pas manifestés par une réponse sur toutes les stations. En effet, ce sont celles situées dans le secteur intermédiaire (Florimont et Poudens) qui ont vu leur débit chuter malgré les précipitations. On remarque aussi que quelques temps après les pluies, les courbes retrouvent leur pente initiale. A partir du mois d'avril, les précipitations ne permettent donc plus une alimentation des nappes, la décrue est toute aussi rapide que la crue. Ceci peut provenir de la forte pente générale du Céou associée à l'absence de retenue qui provoquent une réponse rapide des débits et un ruissellement élevé. Par ailleurs, les coefficients de ruissellement seront vus dans la partie estimation des réserves de ce rapport.

Débits différentiels :

Pour avoir un aperçu du fonctionnement hydrologique et des apports des affluents au Céou, un graphique représentant les débits différentiels a été réalisé. On note que les points kilométriques ont pour correspondance :

- 56,69 : Montfaucon
- 48,53 : Pont de Rhodes
- 33,97 : Poudens
- 20,79 : Florimont
- 2,02 : Moulin Neuf



Ce graphique met en évidence qu'entre le 5 et le 12 juin, le secteur intermédiaire entre Pont-de-Rhodes et Florimont est un secteur où le Céou voit ses débits s'effondrer. Ceci provient de l'assèchement progressif du Bléou et du Lourajou ainsi que des nombreuses pertes situées dans le lit du Céou. Ainsi à Florimont, le Céou est totalement à sec à partir du 25 juillet 2006. On observe à l'aval une augmentation assez conséquente des débits qui provient des apports successifs de la Fontaine de Bouzic et de La Lousse en amont de Daglan. A partir de Daglan, les débits augmentent nettement du fait d'apports de nombreuses sources.

On note que le suivi de stations de mesure de débit supplémentaires aurait permis d'affiner ces courbes de débits différentiels.

Corrélation entre les stations :

Afin de savoir si le comportement hydrologique du Céou est homogène sur tout son cours, et donc pouvoir utiliser une seule station pour le suivi des débits, nous avons réalisés des corrélations. Les droites de corrélations sont en annexes n°3. Ces corrélations ont été faites entre chaque station et celle de Moulin Neuf car cette dernière est identifiée comme une station de référence pour la mise en place des restrictions de prélèvements.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

X \ Y	Montfaucon	Pont de Rhodes	Poudens	Florimont	Daglan	Bouzic	Bléou	Lourajou	Lousse
Moulin neuf	$y = 0,0047x - 0,0013$ $R^2 = 0,8672$	$y = 0,1015x + 0,0029$ $R^2 = 0,972$	$y = 0,3739x - 0,0985$ $R^2 = 0,9885$	$y = 0,7232x - 0,2202$ $R^2 = 0,9807$	$y = 0,874x - 0,1975$ $R^2 = 0,9967$	$y = 0,0179x + 0,022$ $R^2 = 0,5251$	$y = 1,1334x - 0,0233$ $R^2 = 0,9857$	$y = 0,1651x - 0,0347$ $R^2 = 0,9232$	$y = 0,0765x - 0,0016$ $R^2 = 0,9032$

Tableau 5 : Corrélation entre les différentes stations et la station de Moulin Neuf

Plus on va vers l'amont, plus les coefficients de corrélations sont faibles. Il est donc vraisemblable que le comportement hydrologique du secteur amont soit différent de celui aval. Mais on note également que ces coefficients sont très bons puisqu'ils sont très proches de 1. On peut donc déduire le débit des autres stations à partir du débit à Moulin Neuf. Ce débit calculé représentera un débit estimé autour duquel les mesures de gestion s'articuleront.

Pour les affluents, on note que Bouzic à une réaction complètement différente des autres affluents. En effet, il ne s'agit pas d'une rivière avec un écoulement superficiel mais d'une source karstique, principalement une exsurgence, au fonctionnement particulier.

On peut difficilement estimer les débits des affluents à l'aide de la station de Moulin Neuf car ces affluents ont des bassins versant de natures différentes de celui du Céou. De plus le Bléou et le Lourajou sont des cours d'eau qui s'assèchent à des valeurs de débit du Céou différentes chaque année.

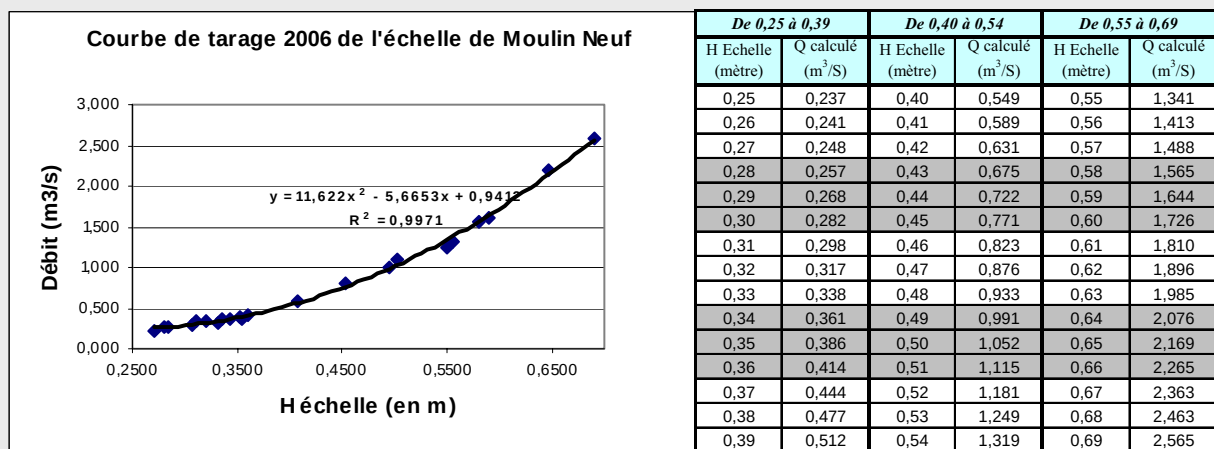
Afin de vérifier la validité de ces coefficients de corrélations ainsi que de pouvoir éventuellement les affiner, il pourrait être intéressant de faire ces corrélations le plus d'année possible et dans des régimes hydrauliques différents.

Courbe de tarage Maisonneuve

On peut se servir de la station de Moulin Neuf comme référence pour la prévision des débits d'étiage. Une échelle a été mise en place pour éviter à l'avenir d'avoir à réaliser des mesures de débit avec l'appareil ce qui permet de gagner du temps (il faut compter environ 30 à 45 minutes pour une mesure de débit). Nous pensons avoir un nombre suffisant de mesure pour pouvoir établir une bonne courbe de tarage. Cependant, il est à noter qu'étant donné qu'aucune mesure en hautes eaux n'a pu être réalisée cette année en raison du commencement tardif de mon stage, cette courbe de tarage reste valable uniquement pour les débits d'étiage ce qui est la fonction principale de cette échelle. Il faut noter aussi que l'échelle est située juste en amont d'un seuil très fréquenté en été. Il est donc indispensable de s'assurer qu'aucune pierre ou branche ou quelconque objet n'ait été placé sur le seuil qui relèverait la ligne d'eau et fausserait la lecture. Un panneau d'information est en cours de réalisation pour sensibiliser les gens à ce sujet. On a réalisé deux courbes de tarage :

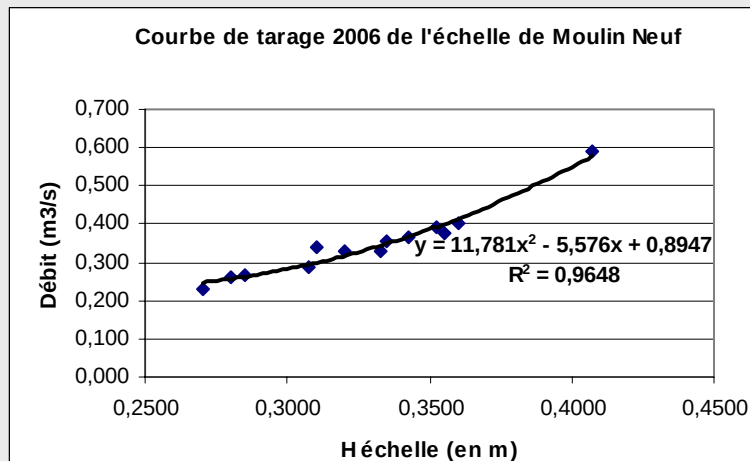
- une correspondant à la globalité de nos mesures qui sert à estimer les débits pour des hauteurs d'eau comprise entre 0.55 et 0.69 m avec une équation de $y = 11.622X^2 - 5.6653X + 0.9412$
- une autre pour les faibles débits correspondant à une hauteur d'eau comprises entre 0.25 et 0.54 m avec une équation $y = 11.781X^2 - 5.576 + 0.8947$

Ces courbes pourront être affinées à l'avenir.



Graphique 4 : Courbe de tarage de la station de Moulin Neuf

Tableau 6 : Correspondance entre Hauteur et débit



Graphique 5 : *Courbe de tarage pour les hauteurs d'eau comprises entre 0.25 et 0.54cm*

3.2.2 Le réseau hydrographique du Céou en étiage :

Les informations sur les débits d'étiage de ces trois cours d'eau ont été obtenues principalement à partir des valeurs de débit mesurés lors de ce stage et de nos observations mais aussi de la thèse de P. Fradet (1985) et du rapport d'ANTEA sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin du Céou (1998).

3.2.2.1 Le Céou

Le bassin étant creusé dans des terrains karstiques du Quercy, on assiste à un assèchement partiel du lit au profit d'un drainage souterrain. Cet assèchement est quasiment total dans la partie amont du Céou. On peut distinguer trois tronçons sur le Céou :

1^{er} secteur : Secteur Montfaucon - Poudens

La source de Montfaucon reste tarie plusieurs mois dans l'année et en étiage. Les eaux se perdent 500m en aval au lieu dit « Les Vitarelles ». Le Céou réapparaît ensuite en aval de la STEP de Montfaucon où les eaux sont mélangées avec les rejets. Lors de la visite du 3 mai, il ne restait plus que l'écoulement de la STEP. En étiage, toute cette partie est complètement à sec. Le lit du Céou se reforme ensuite par des apports latéraux des affluents. Le Foulon et la Tirelire amène en effet un débit important au Céou. On a aussi les sources de Roquedure et de Pont de Rhodes qui alimentent de manière intermittente le cours du Céou. Dans ce secteur, en étiage l'assèchement du cours d'eau et de ses affluents est quasi général. On note néanmoins l'existence temporaire d'un écoulement sur une centaine de mètres en aval des sources de Montfaucon et de Pont-de-Rhodes. Ces alimentations locales et peu importantes, correspondent à des résurgences.

2^{ème} secteur : Poudens - Bouzic

Dans la partie moyenne du Céou, le Bléou et le Lourajou sont des affluents qui fournissent un débit identique à celui du Céou en période d'eau normale. Lors de l'étiage, le Bléou s'assèche alors que le Lourajou apporte un débit permettant un écoulement de Pont Carral à Jardel Bas. Les eaux se perdent ensuite et le Céou devient sec jusqu'en amont de Bouzic. Le Lourajou s'est asséché à partir du 25 juillet pour cet étiage 2006. Il faut noter que les écoulements issus des sources de La Borie et de Grezelou ne parviennent pas jusqu'au Céou et se perdent dans la masse alluviale.

Ainsi, en période sèche, de la source (à Montfaucon) à environ 500 mètres en amont de Bouzic, le cours d'eau et ses affluents sont à sec hormis les endroits vu précédemment.

3^{ème} secteur : Bouzic – Castelnau (partie majoritairement en eau)

A partir de Bouzic, le Céou est alimenté même en étiage sévère du fait d'apport de la source de Bouzic qui fournit en moyenne 20l/s en étiage. A l'aval, la retenue d'un moulin est alimentée en partie par la Fontaine de Bouzic mais aussi par des apports du fond du lit issus de la masse alluviale et de la nappe des calcaires jurassiques comme le montre les débits observables en aval du barrage. Il serait intéressant de repérer des puits dans cette masse alluviale pour suivre le

niveau piézométrique de cette nappe afin d'en estimer le potentiel d'alimentation de la rivière par la nappe.

Ensuite, jusqu'à Daglan, le débit reste sensiblement identique malgré l'existence du Riol en rive droite. Celui-ci se perdant dans un bras sec du Céou.

Dans le secteur de Daglan, le Céou est rejoint par la Lousse en rive gauche, apportant un volume d'eau important augmentant le débit du Céou. En effet cet affluent possède un débit assez élevé comparativement à la taille de son bassin versant géographique. Durant cet étiage 2006, le débit de la Lousse était de 14 l/s pour la Lousse, de 19 l/s pour la Fontaine de Bouzic, pour un débit de 25 l/s à Daglan qui est située plus en aval. Il faut noter l'existence d'une station de pompage et d'une perte par le fond du lit dans Daglan qui entraînent un déficit d'écoulement.

Environ 250 m en aval du Pont de Daglan, on observe une augmentation assez brutale du débit qui s'explique par des apports latéraux du Lavoir de Daglan, de la station d'épuration et sans doute des apports par le fond du lit.

De Daglan à l'aval de Saint-Cybranet, on note une diminution du débit par paliers successifs malgré l'existence d'apports latéraux (sources). Le déficit peut s'expliquer par la présence de pompes agricoles et l'existence de pertes en amont de Saint-Cybranet.

Enfin, de l'amont de Pont de Cause jusqu'à la confluence avec la Dordogne, le débit augmente à nouveau grâce à des résurgences situées dans le lit du cours d'eau et aux apports visibles issus des sources de l'Albarède, du trop plein de la source captée de Fontprime (exploitée à 14 l/s) et de la Bulide (apports de fond de lit par des remontées d'eau profondes) de Saint-Cybranet.

3.2.2.2 La Lousse

La source amont fournissait en septembre 1982 environ 4 l/s. Environ une centaine de mètres en aval, et sur une distance d'un kilomètre, la Lousse reçoit des apports latéraux. Ces apports proviennent notamment de quatre sources importantes :

- Source de la Paillole (15 l/s)
- Source de Castelvieu (10 l/s)
- Source de Magaud (10 l/s)
- Source de la Rouquette (10 l/s)

Ensuite, jusqu'au lavoir de la Plaine, le débit augmente régulièrement pour atteindre 95 l/s. le débit reste constant jusqu'à la confluence avec le Céou. Durant cet étiage 2006, le débit de la Lousse n'était que de 14 l/s.

3.2.2.3 La Germaine

On précise que la Germaine ne fait pas partie du bassin géographique du Céou. Il s'agit d'un émissaire karstique tout comme le Tournefeuille qui ne sera pas évoqué dans cette étude. Néanmoins il a été constaté qu'en période d'étiage, la Germaine ne connaît jamais l'assèchement. Ceci provient d'une capture des eaux du bassin du Bléou par le biais des réseaux karstiques (P Fradet). C'est pourquoi ce cours d'eau sera évoqué plusieurs fois dans ce rapport.

Le réseau hydrographique du bassin de la Germaine se compose de quatre ruisseaux qui se jettent dans une zone marécageuse très vaste. En aval, la Germaine, partiellement canalisée, collecte toutes ces eaux avant de rejoindre la Dordogne. La thèse de Fradet donne pour le 18/09/82 les débits suivants pour les ruisseaux à la confluence avec le marais :

- Marcillande: 60 l/s
- Melve: 50 l/s
- Lizabel : 40 l/s
- Ruisseau des Treilles : 5 l/s

La zone marécageuse fournit environ 150 l/s car le débit de la Germaine à la sortie du marais est de 300 l/s.

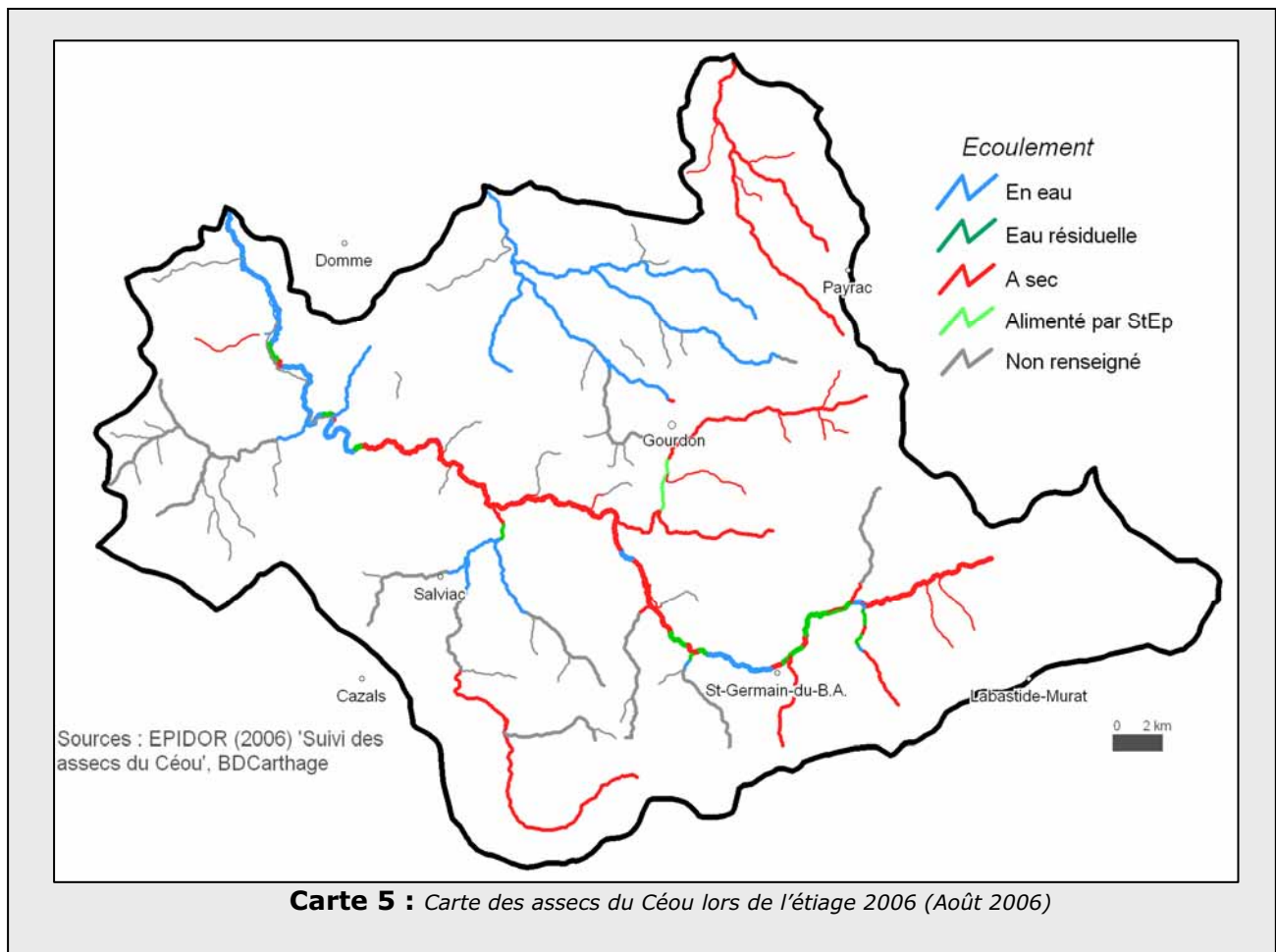
Une mesure de débit que nous avons réalisée mi-juillet sur la Germaine juste en amont de la confluence avec la Dordogne indiquait une valeur de 108 l/s. La même mesure réalisée au même endroit 1 mois plus tard donnait 92 l/s ce qui montre bien que les réserves du bassin de la Germaine sont importantes car les débits sont seulement 2 fois plus faible que ceux du Céou.

3.2.2.4 Le Lourajou

En année normale, il subsiste toujours un écoulement dans son cours inférieur. En août 1998, les écoulements débutaient à 1km en amont de sa confluence avec le ruisseau de Luziers (Antea, 2000). A cette même période, l'extrême amont du Palazat était asséché. L'écoulement du Lourajou se perd ensuite en aval de Pont Carral, dans le lit du Céou du côté de Jardel Bas.

En année de sécheresse prononcée comme cet étiage 2006, le Lourajou est complètement à sec. Le seul apport d'eau au Céou étant la source de Pont Carral qui apporte moins de 1 l/s au niveau de la confluence entre le Céou et le Lourajou ce qui permet de maintenir une petite zone d'eau stagnante.

Afin de mieux visualiser les différentes zones assecs du Céou, nous avons réalisé une carte.



3.3 Hydrométrie

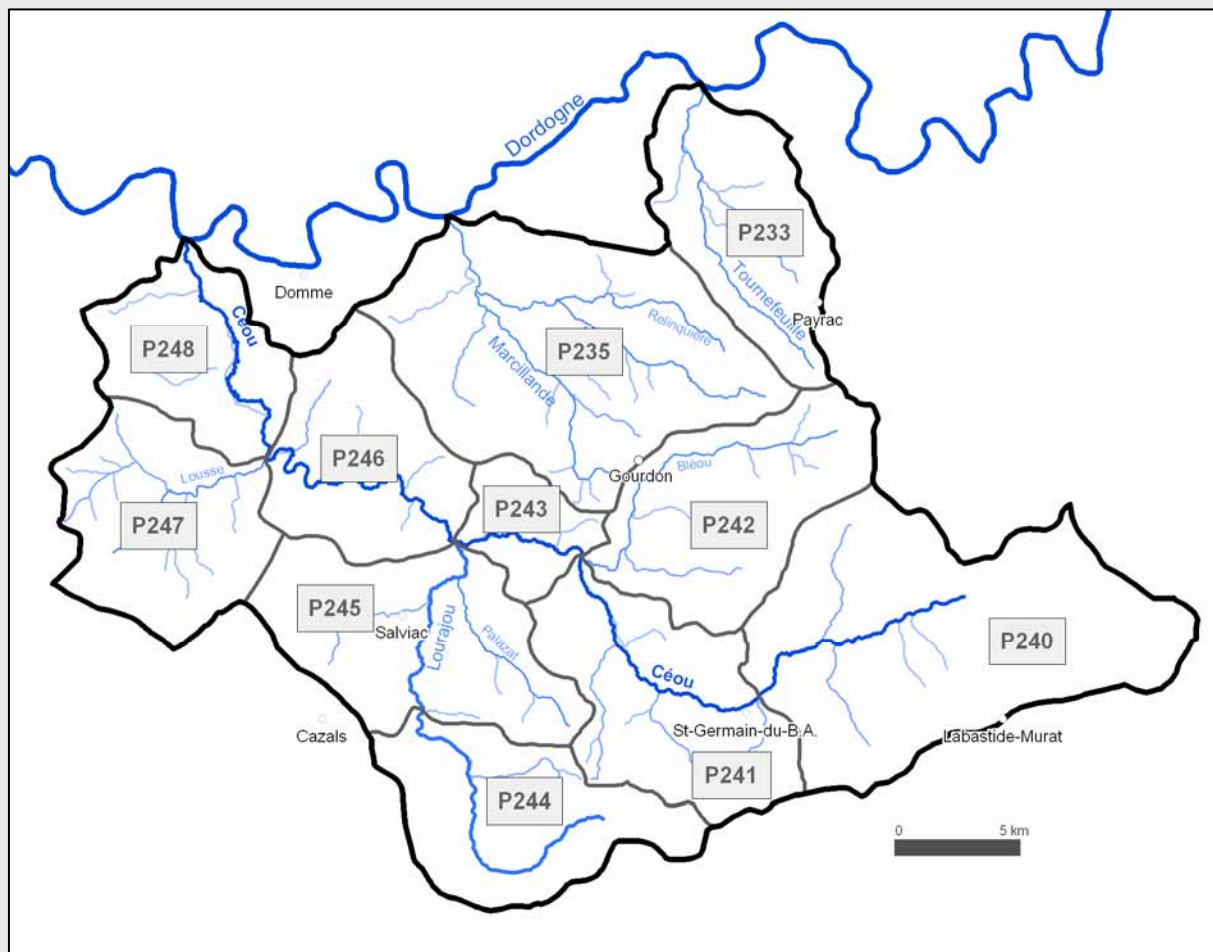
3.3.1 Paramètres géomorphométriques

3.3.1.1 Bassins hydrologiques de références

Dans la base de données BD CARTHAGE constituée par l'agence de l'eau Adour-Garonne, l'ensemble du bassin hydrographique de l'agence est décomposé en bassins hydrologiques de références numérotés.

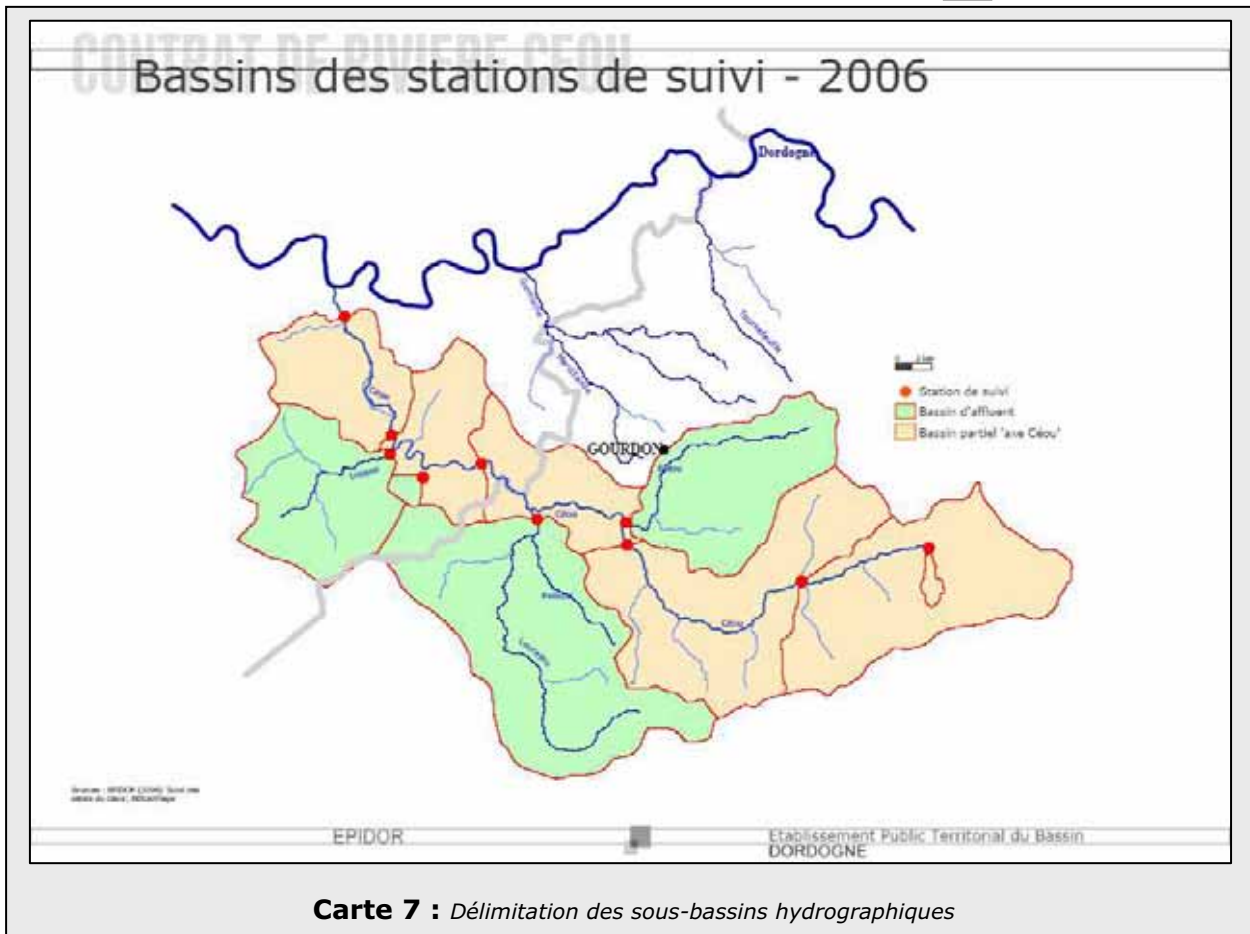
Voici un tableau indiquant les numéros des bassins hydrologiques.

Bassin hydrologique de référence	numéro	Ruisseaux concernés par drainage du Céou	Grand bassin associé
Céou de la source de Montfaucon au confluent du ruisseau de Foulade	P240	Céou, Foulon, Rêt, Tirelire	Dordogne
Céou du confluent du ruisseau de Foulade au confluent du Bléou	P241	Foulade, Peyrilles, Rivalès	Dordogne
Bléou	P242	Bléou, Saint-Clair	Dordogne
Céou du confluent du Bléou au confluent du Lourajou	P243	Céou	Dordogne
Malemort (Dégagnazès - Lourajou) de sa source au confluent du Bouscaillou	P244	Ville, Lourajou amont, Dégagnazès	Dordogne
Malemort (Lourajou) du confluent du Bouscaillou inclus au confluent de Céou	P245	Lourajou aval, Palazat, Bouscaillou	Dordogne
Céou du confluent du Lourajou au confluent de la Lousse	P246	Céou, Riol	Dordogne
La Lousse	P247	Lousse, Mandalou, Merdalou	Dordogne
Céou du confluent de la Lousse au confluent de la Dordogne	P248	Céou	Dordogne
Tournefeuille	P233	Tournefeuille, Ardailloux, Toutette	Dordogne
Germaine	P235	Germaine, Marcillande, Melve, Relinquère, Lizabel	Dordogne

Tableau 7: Liste des bassins hydrologiques de référence concernés**Carte 6 :** Carte des bassins versants de la Base de Donnée BD Carthage

3.3.1.2 Délimitation des bassins versants topographiques

Le découpage du bassin versant et des sous-bassins a été réalisé à partir des cartes topographiques de l'IGN au 1/25 000^{ème}. Le tracé du bassin et des sous-bassins est figuré sur la carte 7. Les superficies calculées sont données dans le tableau avec une numérotation croissante de l'amont vers l'aval. La détermination du bassin versant topographique du Céou ne possède qu'une valeur indicative en raison des différences qu'il a avec les limites du bassin versant hydrogéologique ou il se produit des échanges au niveau des écoulements souterrains que ce soit par des apports ou des pertes.

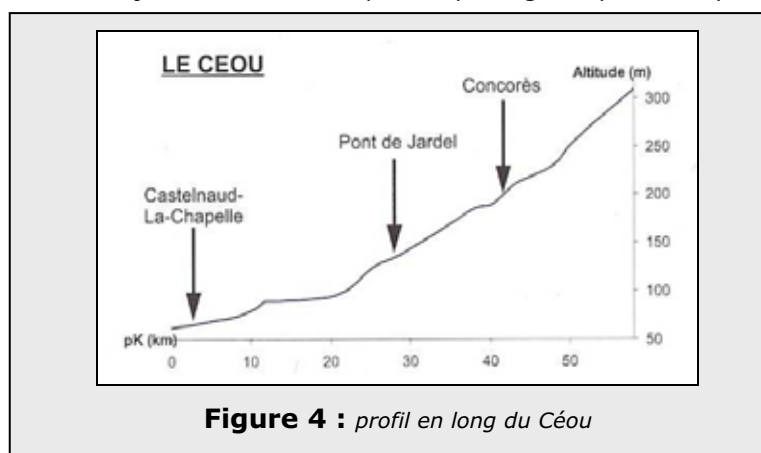


	Montfaucon	Pont de Rhodes	Poudens	Florimont	Daglan	moulin neuf	Bléou	Lourajou	Lousse	Bouzig
Surface de BV (en km ²)	2,2	92,5	193,0	426,8	523,5	564,4	64,9	129,6	58,6	2,5
Point kilométrique (en km)	56,7	48,5	34,0	20,8	11,8	2,0				

Tableau 8 : Taille des sous-bassins (en km²)

3.3.1.3 Paramètres de forme : Profil en long et courbes hypsométriques

La physiographie du terrain semble montrer que le Céou n'a pas encore atteint son profil d'équilibre. En effet on remarque sur le profil en long que le Céou montre des endroits où les pentes sont plus ou moins accusées. Il existe aussi de nombreux seuils et biefs qui segmentent le cours d'eau. On remarque que pour la majorité des cas, ces ruptures de pentes correspondent à l'affleurement de strates kimméridgiennes. Le niveau de base hydrologique régional est représenté par la Dordogne. Le Céou rejoint cette rivière après le passage de plusieurs petites cascades.



3.3.1.4 Analyses des résultats

Le découpage du bassin versant topographique, comparé aux débits de l'étiage 2006 montre une grande disparité de productivité des sous-bassins. Nous le verrons par la suite avec le calcul des débits spécifiques. La comparaison des paramètres de forme du bassin du Céou par rapport à ceux des bassins voisins situés sur cette partie du cours aval de la Dordogne permet de constater le caractère exceptionnel de celui-ci. Sa superficie de 567 km² correspond à une classe peu représentée dans ce secteur. Les pentes du bassin du Céou sont beaucoup plus accusées que celles des bassins bordant le cours aval de la Dordogne. Le Céou est la seule rivière à réseau hydrographique complexe dans l'auréole sédimentaire du Kimméridgien et du Portlandien.

Il faut toutefois noter qu'à l'Est du bassin du Céou, il existe une zone de 1000 km² dépourvue de réseau hydrographique actif. Ce secteur constitue ce qu'on appelle les Causses.

3.3.2 Etude des débits à la station de Saint-Cybranet

3.3.2.1 Les stations de jaugeage

Cours d'eau	Lieu-dit	Bassin topographique	Indice Banque HYDRO	Chronique disponible
Céou	St Cybranet	603 km ²	P2484010	1972 et 1973; 1980 à 1983; 1989 à 2006
Céou	Pont de Rhodes	Bassin amont	annonce de crue	
Lourajou	Salviac (Lafuste)	126 km ²	P245310 annonce de crue	1990 à 2004

Tableau 9 : Les stations de jaugeage sur le territoire du Céou (localisation sur carte 3)

La station de Saint-Cybranet : elle n'est pas significative de la totalité du bassin versant drainé par le Céou. En effet, les débits mesurés sous-estiment l'écoulement global. Il existe d'autres sources en aval assurant une partie du drainage du bassin versant. En effet, avec nos mesures de débit 2006, nous observons que la station de Moulin Neuf, située à 2.5 Km en aval possède un débit au moins 3 fois supérieur à celui de Saint-Cybranet. Par ailleurs certaines pertes dans le lit du Céou et du Bléou alimentent vers le Nord-Ouest, des émergences situées dans d'autres bassins versants qui sont drainés au Nord vers la Dordogne.

Le Lourajou (Lafuste) : il a un bassin versant qui draine plutôt les calcaires du Portlandien ainsi que les altérites du Crétacé présentes entre Dégagnac et Thérirac. Cette station doit servir d'annonce de crue, ce qui fait que les débits de basses eaux sont mal connus. La Banque HYDRO ne fournit que des valeurs pour les débits de crue.

La station de Pont-de-Rhodes : elle a aussi pour vocation l'annonce de crue.

Il est donc indispensable de noter que l'essentiel des stations de mesures implantées dans le bassin du Céou ont pour objectifs la prévision des crues. Elles sont donc souvent mal adaptées à l'étude des débits d'étiage du fait de leur implantation notamment. Certaines d'entre elles comme Jardel-Bas sont même complètement hors d'eau en plein étiage du fait d'un mauvais calage des échelles.

On note cependant que la station de Saint-Cybranet s'avère utilisable du fait de l'existence :

- De mesures continues depuis 39 ans
- D'un positionnement relativement bon de l'échelle limnimétrique
- D'un seuil semblant stable
- D'un écoulement permanent en étiage (sauf sécheresse exceptionnelle)

3.3.2.2 Calculs à partir des données de la station de Saint-Cybranet

La station de St-Cybranet correspond à un bassin hydrographique de 603 Km², ce qui correspond à la quasi-totalité du bassin. Elle se situe à 3.5 Km en amont de la confluence entre le Céou et la Dordogne.

L'étude des débits journaliers et mensuels du Céou à cette station montre que :

- Les débits sont minimaux pour les mois de juillet, août et septembre ;
- Les débits d'étiage ont des valeurs largement inférieures à 1m³/s ;
- Le débit du Céou peut augmenter très vite (entre le 9 et le 11 janvier 1996, le débit est passé de 6.9 à 70.7 m³/s) ;

- Le débit moyen interannuel est de 3.45 m³/s.
La DIREN a aussi calculé deux types de débit à partir de 39 ans de données:

- Le QMNA2 et 5 : débit moyen mensuel d'étiage (période retour de 2 et 5 ans)
- Le VCN 10 : débit minimum sur 10 jours consécutifs (période de retour 2 et 5 ans).

Voici dans le tableau ci-dessous les données hydrologiques de synthèse (1968-2006) calculées le 15/08/2006 par la DIREN. On note que l'intervalle de confiance est de 95%.

écoulements mensuels (naturels)													donnees calculees sur 39 ans
	janv.	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Année
Débites (m ³ /s)	6.160 #	7.260 #	5.280 #	5.120 #	4.180 #	2.670 #	1.040 #	0.468 #	0.710 #	1.520 #	2.450 #	4.860 #	3.450
Qsp (l/s/km ²)	10.2 #	12.0 #	8.7 #	8.5 #	6.9 #	4.4 #	1.7 #	0.8 #	1.2 #	2.5 #	4.1 #	8.1 #	5.7
Lame d'eau (mm)	27 #	30 #	23 #	22 #	18 #	11 #	4 #	2 #	3 #	6 #	10 #	21 #	181

modules interannuels (loi de Gauss - septembre a aout)					donnees calculees sur 39 ans				
module (moyenne)	fréquence				quinquennale sèche	médiane		quinquennale humide	
3.450 [3.120;3.790]	debits (m ³ /s)				2.800 [2.300;3.100]	3.500 [2.500;5.000]		4.600 [4.200;5.000]	

basses eaux (loi de Galton - janvier a decembre)				donnees calculees sur 39 ans			
fréquence	VCN3 (m ³ /s)		VCN10 (m ³ /s)	QMNA (m ³ /s)			
biennale	0.058 [0.036;0.092]		0.066 [0.041;0.110]	0.110 [0.068;0.160]			
quinquennale sèche	0.017 [0.009;0.027]		0.019 [0.010;0.031]	0.033 [0.019;0.052]			

crues (loi de Gumbel - septembre a aout)			donnees calculees sur 36 ans		
fréquence	QJ (m ³ /s)		QIX (m ³ /s)		
biennale	39.00 [34.00;45.00]		44.00 [38.00;51.00]		
quinquennale	59.00 [52.00;70.00]		68.00 [60.00;81.00]		
décennale	72.00 [63.00;88.00]		83.00 [73.00;100.0]		
vicennale	85.00 [74.00;100.0]		98.00 [85.00;120.0]		
cinquantennale	100.0 [87.00;130.0]		120.0 [100.0;150.0]		
centennale	non calculé		non calculé		

Tableau 10: Données hydrologiques de synthèse à Saint-Cybranet (Site internet Banque Hydro)

Le VCN10 a été évalué à 0.066 m³/s pour une période biennale sèche et 0.019 m³/s pour une période quinquennale sèche. L'évaluation du QMNA aboutit à une valeur de 0.110 m³/s pour biennale sèche et 0.033 m³/s pour quinquennale sèche.

3.3.2.3 Critique des données

Les hydrogrammes montrent que les périodes d'étiage se différencient nettement des périodes de hautes eaux. Le débit de crue maximum est quatre cents fois supérieur au débit d'étiage absolu. Les courbes de concentration des crues hivernales ont des pentes très accentuées, relativement similaires aux courbes de décrue. Les courbes de tarissement laissent supposer l'existence de réserves peu importantes qui s'épuisent rapidement. L'étude de ses courbes de tarissement sera faite à la fin de cette partie eaux de surface.

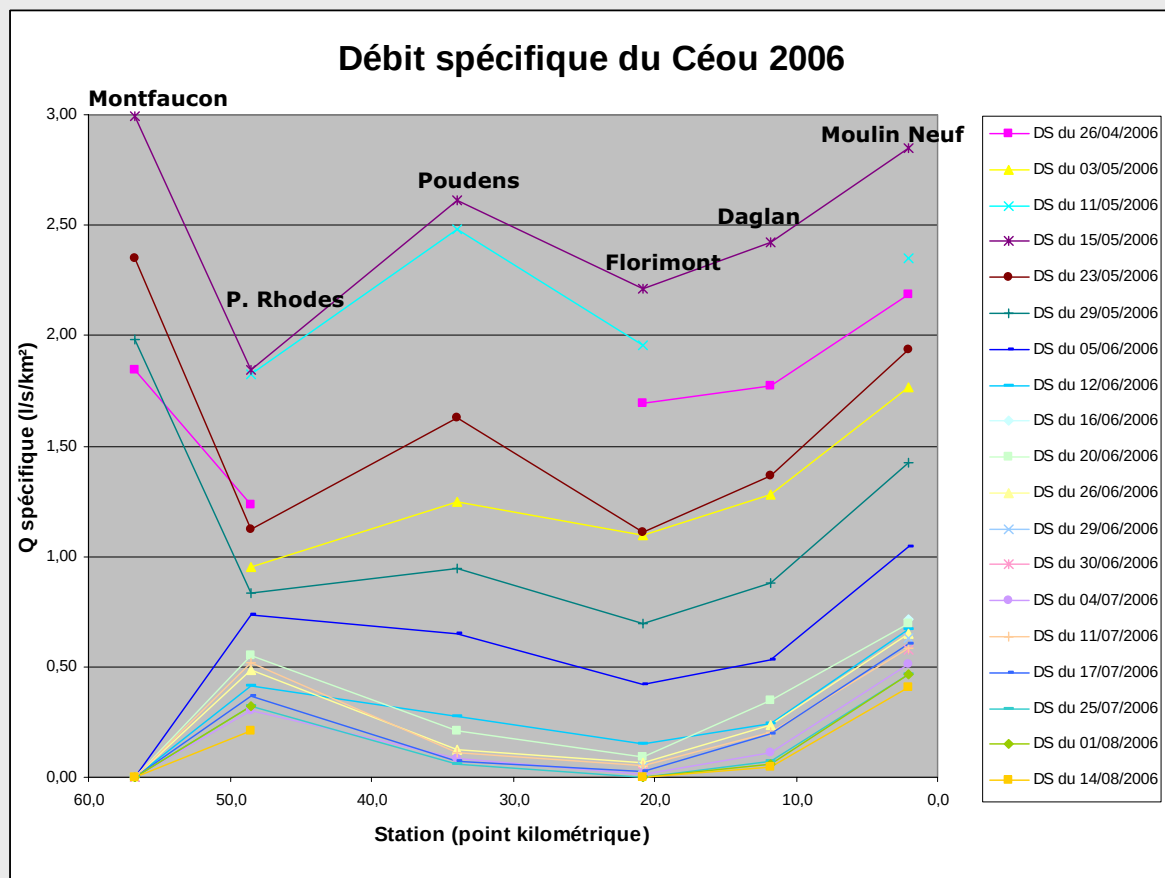
On peut donc dire que le régime hydraulique du Céou est très contrasté. La station de Saint-Cybranet n'est pas représentative du fonctionnement de l'ensemble du cours d'eau du fait de la présence de nombreuses résurgences (sources et apports de fond de lit) en aval. C'est pourquoi EPIDOR a installé une échelle à Moulin Neuf qui est un endroit bien plus représentatif notamment en ce qui concerne la gestion des prélèvements durant l'étiage.

3.3.3 Calcul des modules d'écoulement spécifique

Avec les données de débit mesuré pendant mon stage, nous avons calculé les modules d'écoulement spécifique exprimés en l/s/km².

	Montfaucon	Pont de Rhodes	Poudens	Florimont	Daglan	moulin neuf	Bléou	Lourajou	Lousse	Bouzie
Surface de BV (en km ²)	2,2	92,5	193,0	426,8	523,5	564,4	64,9	129,6	58,6	2,5
Point kilométrique (en km)	56,7	48,5	34,0	20,8	11,8	2,0				
DS du 03/02/2006						3,87				
DS du 12/04/2006		2,84	4,38		3,94	4,58				17,84
DS du 21/04/2006						2,79				
DS du 26/04/2006	1,84	1,23		1,70	1,77	2,19				
DS du 03/05/2006		0,95	1,25	1,10	1,28	1,77				
DS du 11/05/2006		1,83	2,48	1,95	1,74	2,35				24,74
DS du 15/05/2006	3,00	1,85	2,61	2,21	2,42	2,85				32,04
DS du 23/05/2006	2,35	1,12	1,63	1,11	1,37	1,94	0,97			17,44
DS du 29/05/2006	1,98	0,83	0,94	0,70	0,88	1,42		0,71	0,95	14,60
DS du 05/06/2006	0,00	0,73	0,65	0,42	0,53	1,05	0,59	0,50	0,78	14,19
DS du 12/06/2006	0,00	0,41	0,27	0,15	0,24	0,67	0,11	0,28	0,56	11,35
DS du 16/06/2006	0,00					0,71				
DS du 20/06/2006	0,00	0,55	0,21	0,09	0,35	0,70	0,00	0,25	0,50	14,60
DS du 26/06/2006	0,00	0,49	0,12	0,07	0,24	0,65	0,00	0,27	0,56	10,95
DS du 29/06/2006	0,00			0,04		0,63				
DS du 30/06/2006	0,00			0,03		0,58				
DS du 04/07/2006	0,00	0,30	0,08	0,02	0,11	0,51	0,00	0,11	0,26	9,73
DS du 11/07/2006	0,00	0,52	0,11	0,05	0,20	0,58	0,00	0,25	0,00	9,73
DS du 17/07/2006	0,00	0,37	0,07	0,02	0,20	0,60	0,00	0,08	0,32	9,33
DS du 25/07/2006	0,00	0,32	0,06	0,00	0,07	0,46	0,00	0,00	0,32	9,33
DS du 01/08/2006	0,00	0,32		0,00	0,06	0,47	0,00	0,00	0,27	8,92
DS du 14/08/2006	0,00	0,21		0,00	0,05	0,40	0,00	0,00	0,24	7,70

Tableau 11 : Modules d'écoulement spécifique



Graphique 6 : courbe des débits spécifiques sur le Céou

Tout comme pour les débits différentiels, on note que les points kilométriques ont pour correspondance : 56,69 Km à Montfaucon ; 48,53 Km à Pont de Rhodes ; 33,97 Km à Poudens ; 20,79 Km à Florimont ; 2,02 Km à Moulin Neuf.

L'allure générale de ces courbes des débits spécifiques fait bien apparaître que le Céou est une rivière circulant dans un milieu karstique avec de nombreux secteurs improductifs.

Secteur 3 : Les valeurs montrent l'absence de productivité du Céou amont.

Secteur 2 : Tout comme les débits différentiels, le secteur central possède des débits spécifiques très faibles du fait de l'assèchement des affluents (Bléou et Lourajou) qui apportent un débit relativement important en période normale. De même, de part la géologie des terrains sous-jacents, il existe dans ce secteur de nombreuses pertes que nous verrons plus en détail dans la suite de ce rapport. On note qu'entre Poudens et Florimont, même en période d'écoulement normale, les débits spécifiques diminuent. Cela provient aussi de la présence de nombreuses pertes dans ce secteur.

Secteur 1 : À Daglan, l'augmentation du module est due aux apports successifs de la source de Bouzic puis de la Lousse. On assiste ensuite à une diminution des valeurs liées à l'existence de pertes en amont de Saint-Cybranet. Ces pertes étant bien mises en évidence dans la thèse de Fradet (cf carte pertes partie Hydrogéologie). En aval de Saint-Cybranet, le module augmente rapidement du fait de l'existence d'apports de fond de lit du Céou à partir de la source de la Bulide de Saint-Cybranet. Les modules du cours principal du Céou en étiage sont nettement inférieurs à celui de la Lousse ainsi qu'à ceux des bassins situés au Nord. Les valeurs élevées de la Source de Bouzic correspondent à une sous-évaluation de la taille de l'impluvium ⁽¹⁾. Ceci provient de la différence importante de taille entre le bassin versant géologique et géographique.

Si on compare avec les modules de la Dordogne, on s'aperçoit que la Dordogne possède de grandes anomalies de débit. On peut alors supposer que les eaux se perdant dans le lit du Céou peuvent non seulement constituer des sous écoulements réalimentant le Céou plus en aval mais aussi alimenter la Dordogne directement par l'intermédiaire d'infiltrations se faisant dans les calcaires sous-jacents. Nous le verrons plus en détail dans la partie hydrogéologie.

Les différents sous-bassins constituant l'impluvium du Céou, d'une superficie de 567 km², ont des productivités très différentes et indépendantes de leur surface. En étiage, seul le bassin de la Lousse ainsi que la Fontaine de Bouzic peuvent fournir un écoulement important qui représente l'essentiel du débit du cours principal jusqu'à Saint-Cybranet. Ensuite, on constate une augmentation des écoulements vers l'aval. Cette augmentation est liée à l'apport de sources aux abords et dans le lit du cours d'eau.

Les débits spécifiques, par ailleurs très faibles, montrent bien que tout le secteur en amont de Bouzic est une zone où les eaux se perdent. Cette zone correspond aux calcaires Kimméridien et Portlandien supérieur bien karstifié où les eaux s'infiltrent. Par contre, en aval de Bouzic, les débits spécifiques augmentent du fait de l'apport de nombreuses sources au contact du Portlandien inférieur et du Kimméridgien imperméable.

(1) **Impluvium** : qui collecte les eaux

3.4 Bilans hydrologiques

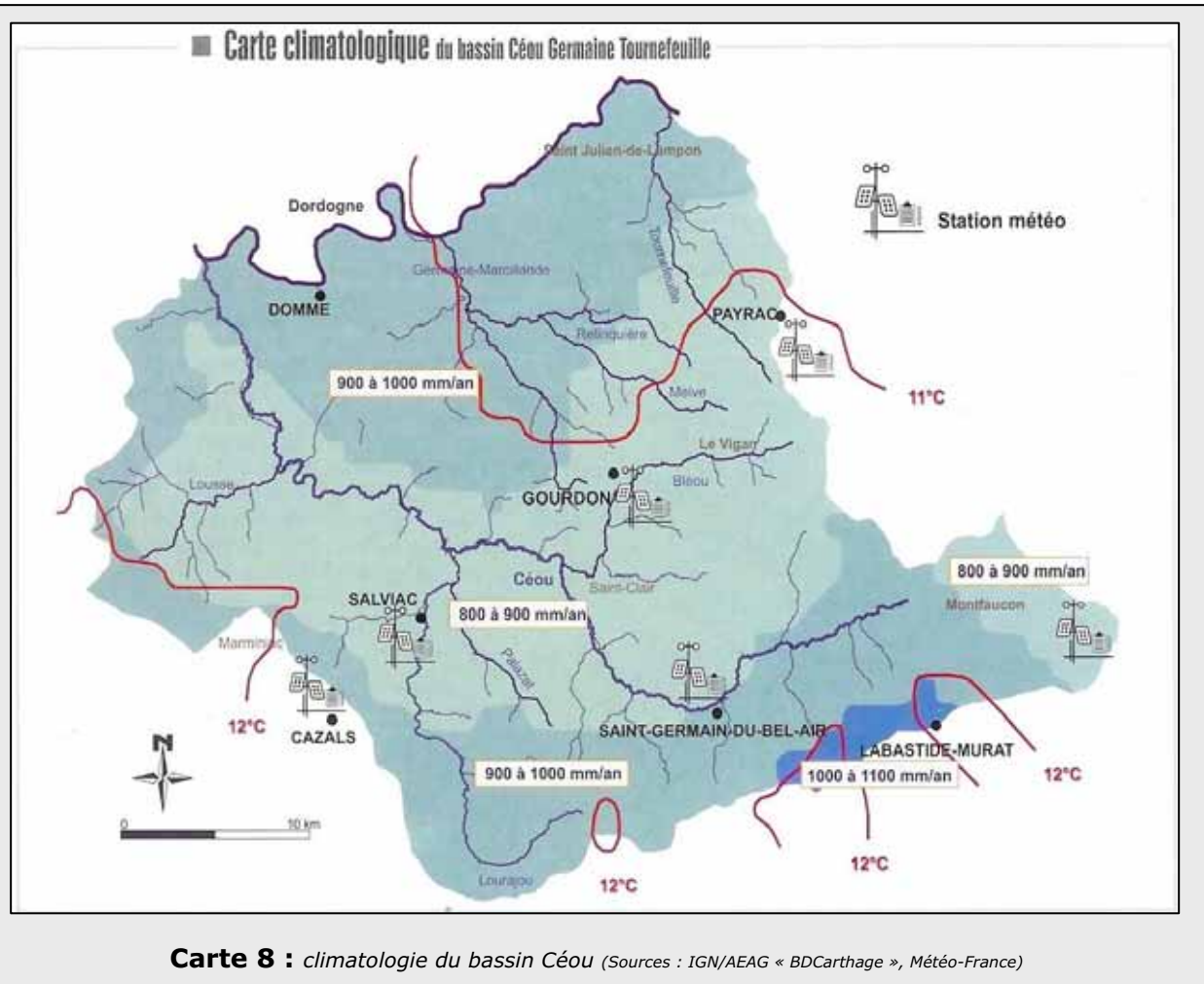
3.4.1 Etude des précipitations

Le bassin du Céou est bien équipé en stations pluviométriques mais ces stations ne sont pas toujours très représentatives du fait de leur implantation dans les vallées. On a donc une sous-estimation des volumes des précipitations du fait de l'effet orographique apporté par l'importance des coteaux.

L'étude de Fradet a montré à partir de la méthode de Thiessen que les hauteurs de pluies moyennes interannuelles sur les bassins sont :

- Céou : P = 920 mm ce qui correspond à un rapport annuel de 561.106m³.
- Germaine : P = 890 mm
- Cénac : P = 850 mm.

On constate une augmentation des précipitations du Nord-Ouest vers le Sud-Est, ce phénomène étant lié à une valeur plus élevée des lignes isokérauniques (intensités orageuses). Le climat est de type océanique altéré. La région ne subit des déficits de précipitations que lors d'années exceptionnelles. Les précipitations moyennes sont de l'ordre de 800 à 1000 mm par an. Les cumuls les plus importants se situent autour de Labastide-Murat avec 1100 mm/an. Les températures moyennes annuelles sont de 11 à 12°C.



3.4.2 Calcul des bilans hydrologiques

L'estimation faite par divers auteurs (Soulé (1976), Fradet (1985), Pasquet (1985), Antéa (2000) de l'évapotranspiration réelle à partir de la formule de Turc conduit à une valeur de l'ordre de 550 mm. La pluie efficace disponible soit pour le ruissellement, soit pour l'infiltration, représenterait en moyenne 40% des précipitations, ce qui correspond à une lame d'eau annuelle de l'ordre de 350 mm.

Les postes existants de météo-France permettent de se faire une bonne idée de la pluviométrie à un pas de temps journalier. La longueur des chroniques disponibles permet d'avoir également une bonne connaissance de la pluviométrie interannuelle du secteur. En revanche, l'absence de pluviographe ne permet pas de travailler à une échelle plus fine que la journée au niveau des épisodes pluvieux.

3.4.3 Bilan hydrologique annuel à la station de St Cybranet

D'après les études de la DIREN sur la station, il en ressort que le débit moyen interannuel moyen mesuré à la station de St Cybranet est de 3.45 m³/s. cette valeur a été calculé sur 39 ans de données. La hauteur de précipitation (P) moyenne interannuelle sur le bassin du Céou est P = 920

mm. L'évaporation réelle (ETR) annuelle calculée à partir de la formule de Turc avec une température $T = 11.6^{\circ}\text{C}$ et $P = 920 \text{ mm}$ donne une $\text{ETR} = 555 \text{ mm}$.

On peut donc ainsi calculer la valeur des précipitations efficaces $P_e = P - \text{ETR}$ et on trouve une hauteur de précipitation efficace de 365 mm . Cette valeur correspond à la lame d'eau disponible pour le ruissellement et l'infiltration sur l'ensemble du bassin. En considérant que la surface du bassin est de 603 Km^2 , on obtient donc une valeur de pluie efficace de 222.10^6 m^3 .

En ce qui concerne la station de St-Cybranet, on peut calculer la valeur du volume d'écoulement qui est de l'ordre de 110.10^6 m^3 . Rapportée à une superficie de 603 Km^2 du bassin hydrographique drainée par cette station, la lame d'eau correspondant à ce débit est de 180 mm , soit environ la moitié de la pluie efficace (365 mm).

En conséquence, le bilan hydrologique fait au niveau de la station de St-Cybranet montre un déficit de l'ordre de 50% . Ce déficit traduit l'importance des infiltrations qui alimentent l'aquifère karstique. On note que seule une partie des ces infiltrations sont restituées au Céou à la faveur de résurgences en amont de la station de St-Cybranet.

Le solde des écoulements manquant à la station de St-Cybranet correspond à des résurgences situées plus en aval, soit dans le Céou, soit directement dans la Dordogne.

3.4.4 Analyses des résultats

Les bilans calculés montrent que seul 1/5ème des précipitations s'écoule à l'exutoire. Plus de la moitié des volumes d'eau tombant sur le bassin est évapotranspirée et près d'1/3 de ceux-ci s'infiltrent. Cette infiltration est de plus sous-estimée en raison du rôle que jouent les terrains fracturés du Causse. Lors des précipitations, les eaux ne ruissellent pas ou très peu et s'enfoncent très rapidement en profondeur sans pouvoir être retenues par le sol ou la végétation quasi-inexistante. Ces phénomènes présents sur près de la moitié du bassin du Céou entraînent des surestimations des volumes évapotranspirés.

3.5 Evaluation des réserves

3.5.1 Analyse des courbes de récession

3.5.1.1 Principe de la méthode

En hydrologie de surface, on décompose l'hydrogramme d'un épisode de crue en 4 parties : courbe de concentration, pointe, courbe de décrue, courbe de tarissement. La courbe de récession est la partie décroissante de l'hydrogramme. Tant qu'il y a infiltration (écoulement dans la zone non-saturée) on parle de décrue, lorsque celle-ci a cessé, c'est le tarissement : le cours d'eau n'est plus alimenté que par la vidange des réservoirs souterrains. L'hydrogramme d'une source karstique est abordé de la même manière. Nous ferons donc la même analyse pour la source de Bouzic.

On peut donc avoir des informations sur le fonctionnement de deux parties de l'aquifère : la zone non saturée (sous-système d'infiltration) par la décrue (ruissellement souterrain), et la zone noyée (sous-système karst noyé) par le tarissement.

Une des limites de cette méthode est le fait que le tarissement doit être atteint pour permettre l'analyse de l'épisode de décrue considéré. Il faut, de plus, que l'épisode considéré ne se surimpose pas à une décrue précédente mais intervienne alors que le tarissement était déjà atteint. On voit que les événements analysés durant la période de notre étude seront peu nombreux. Il faut donc seulement considérer les résultats comme approchés. En effet, on travaille sur l'hydrogramme réel (et non pas sur l'hydrogramme unitaire), aussi l'état du système influe sur la forme de la réponse. Le principe de cette méthode est une approche semi-empirique de la variation du débit au cours du temps (décrue puis tarissement) selon la formule proposée par A.MANGIN (1975) :

$$Q(t) = \varphi(t) + \psi(t)$$

$$Q(t) = Q_{RO} * e^{-\alpha t} + q_0 (1 - \eta t / 1 + \varepsilon t)$$

Avec :

- $Q(t)$, débit en m^3/s ,
- t , temps (en jours),
- Q_{RO} , ordonnée de la droite de tarissement pour $t = 0$,

- $q_0 = Q_0(t) - Q_{RO}$ (pour $t = 0$),
- α est un paramètre caractéristique du tarissement,
- η et ε sont des paramètres caractéristiques de la décrue.

La figure suivante permet de mieux comprendre la signification physique des fonctions φ et ψ et des différents paramètres.

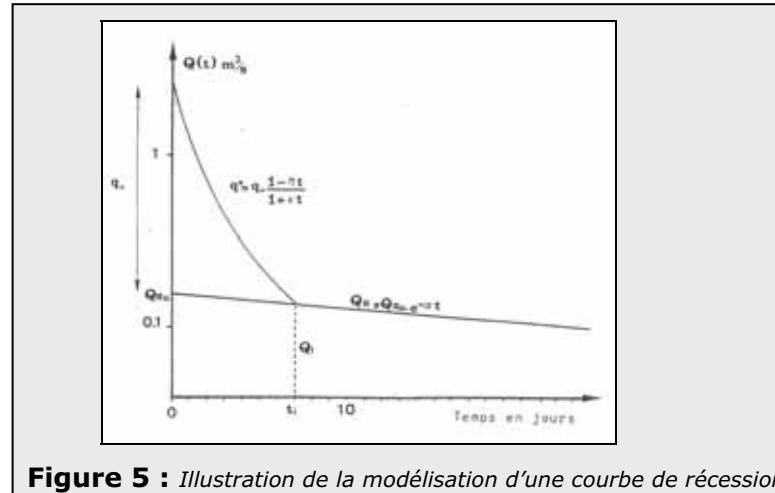


Figure 5 : Illustration de la modélisation d'une courbe de récession

3.5.1.2 Mode de détermination des paramètres : tarissement

On reporte dans un repère x,y le débit moyen journalier Q en coordonnées logarithmiques, et le temps t en coordonnées arithmétiques. Lorsque le tarissement devient effectif, le terme $\psi(t)$ devient nul et les points s'alignent. La décroissance du débit au cours du temps est décrite par la formule de Maillet :

$$Q(t) = Q_{RO} * e^{-\alpha t}$$

On détermine le coefficient α (pente de la droite dans ce repère semi-logarithmique) grâce à la formule :

$$\alpha = (\log Q_1 - \log Q_2) / 0.4343 (t_2 - t_1)$$

En prenant les points Q_1 et Q_2 les plus éloignés possibles (Q est exprimé en m^3/s , et t en jours).

3.5.1.3 Utilisation des résultats : volumes des réserves du karst noyé

Une première utilisation du coefficient α est le calcul du volume dynamique V_d , défini comme « le volume du karst noyé dont l'écoulement détermine les variations du débit Q à l'exutoire ». C'est une approximation par défaut des réserves du karst noyé, qui prend en compte surtout la partie de celui-ci située au dessus du niveau de l'exutoire.

$$V_d = (Q_i / \alpha) * C$$

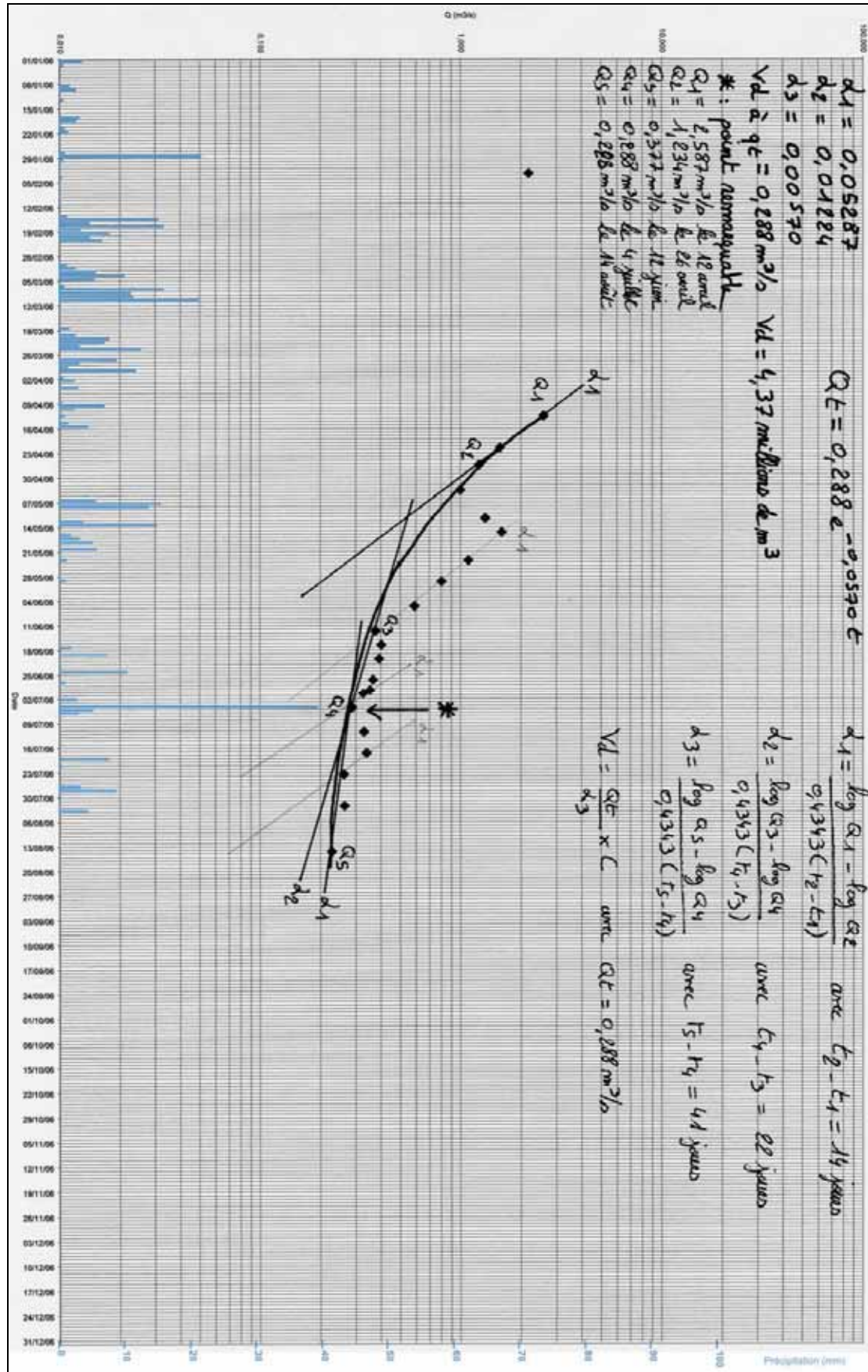
Avec :

- Q_i (m^3/s) débit au début du tarissement,
- $C = 86\,400$ pour Q en m^3/s et α en j^{-1} .

3.5.1.4 Les résultats

Les débits totaux, mesurés en m^3/s au cours de l'année 2006 lors d'une période de décrue de la nappe, sont portés en ordonnées logarithmiques et les temps correspondants en abscisses arithmétiques. Les points obtenus sont correctement groupés et permettent de tracer la droite représentative moyenne qui, graphiquement, donne la solution de l'équation de la courbe de tarissement. Il est important de signaler que l'évaluation du volume des réserves se fait à partir du début du tarissement et n'est pas toujours évident à identifier. Nous allons tout d'abord calculer les différents coefficients. On distingue α_1 qui représente le ruissellement, le α_2 correspond à la décrue de l'infiltration retardée et enfin, le α_3 qui est le coefficient de tarissement. C'est ce dernier qui nous intéresse pour estimer les débits d'étiage et les volumes de réserves susceptibles d'alimenter le cours d'eau ou la source en étiage.

Voici un exemple de courbe de récession que j'ai réalisé à la station de Moulin Neuf en 2006.

Graphique 7 : Courbe de récession 2006 à Moulin Neuf

Voici le tableau récapitulatif des valeurs pour Moulin Neuf, St-Cybranet, Pont-de-Rhodes et Bouzic calculées pendant ce stage. Le détail des courbes de récession et les calculs sont en annexes 5.

	α_1	α_1'	α_2	α_3	t (Q0)	Q0 (m3/s)	Vd (millions de m3)
Moulin neuf 2006	0,05287	?	0,01224	0,00570	4-juil.	0,288	4,37
Moulin Neuf 2005	0,05179	?	0,01323	0,00924	8 aout	0,212	1,98
Moulin neuf 2004	0,02100	0,06300	0,01898	0,00399	25-juil.	0,482	10,43
Saint-Cybranet 2006	0,03764	0,23914	0,03174	0,01033	25-juil.	0,084	0,70
Saint-Cybranet 2005	0,04229	0,15930	0,03682	?	?	?	?
Saint-Cybranet 2004	0,05827	0,28466	?	0,01353	?	?	?
Pont de Rhodes 2006	0,05971	?	0,02099	0,00821	20-juin	0,03	0,316
Fontaine de Bouzic 2006	0,07603	?	0,02145	0,00570	16-juin	0,0266	0,403

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des valeurs

Le volume dynamique d'un système n'est pas indépendant de sa taille. Pour cette raison, nous avons rapporté le volume dynamique à la superficie calculée par le bilan. Ce volume dynamique par km² n'a pas de réalité physique, puisque les réserves ne sont pas à priori réparties uniformément sur tout le système. Ce rapport permet seulement une comparaison des systèmes entre eux.

	Vd	Superficie	Vd/km2
Moulin neuf 2006	4,37	564,35	0,008
Moulin neuf 2005	1,98	564,35	0,004
Moulin neuf 2004	10,43	564,35	0,018
Saint-Cybranet 2006	0,70	564,35	0,001
Pont de Rhodes	0,32	92,54	0,003
Fontaine de Bouzic	0,40	2,47	0,163

Tableau 13 : Volume dynamique par km²

3.5.2 Traitement des données

3.5.2.1 Méthodologie

Pour obtenir ces informations, il a fallu répertorier et classer :

- Les données météorologiques de la station de Gourdon depuis 2004.
- Les données des débits de Saint-Cybranet 2004-2005 et 2006.
- Les données de mesure d'EPIDOR à Moulin Neuf.
- Les données de débit mesuré pendant mon stage.

Ensuite, dans le souci de pouvoir comparer les années et les stations entre elles, il a fallu tracer les courbes de récession dans un même format d'affichage. Nous avons ensuite ajouté les précipitations à Gourdon pour choisir des coefficients en régime non influencé. Pour chacune des stations, j'ai calculé les coefficients α_1 , α_2 , α_3 et parfois le α' qui correspond à un ruissellement élevé. Pour les courbes de récession de Saint-Cybranet et de Moulin Neuf 2004, les calculs de coefficients ont été faits directement sur la courbe de récession en régime influencé, il est donc important de noter que les résultats ne constituent qu'une valeur approximative qu'il serait bon de réestimer dans les années futures.

3.5.2.2 Interprétations

Saint-cybranet : Les courbes de récession montrent nettement un effet d'assèchement avec un coefficient alpha élevé quand on approche du régime de base. Ces effets proviennent d'un soutirage des eaux. Il pourrait être intéressant par la suite de calculer le débit pour lequel cet effet de soutirage démarre. En raison de ces soutirages, il est difficile de calculer un α_3 réel et la valeur calculée n'est donc qu'approximative. En 2005, on constate que le régime de base est de 20 l/s mais ce régime est toujours influencé par les précipitations. On constate que le débit plonge à partir de 300l/s.

Pont de Rhodes 2006 : Le calcul de α_1 , α_2 est assez simple mais les pluies efficaces modifient en permanence le débit et empêche d'atteindre le régime de base. On peut tout de même estimer α_3 .

On constate que le volume dynamique de réserve n'est que de 320 000 m³ ce qui est peu comparativement à la taille du bassin versant. Les réserves sont donc très faibles dans le secteur en amont de Pont-de-Rhodes.

Bouzig 2006 : La courbe de récession montre que le karst est bien organisé et que ce dernier a un rôle de régulateur des écoulements. En effet, on atteint assez rapidement le régime de base. Le volume dynamique que nous avons calculé est de 400 000 m³.

Moulin Neuf : En 2004, on n'atteint jamais le régime de base, l'influence des recharges est trop importante. Le coefficient de tarissement est largement sous-estimé car il est influencé par les précipitations et la courbe montre bien les recharges. Cela a pour conséquence de surestimer le Volume dynamique. Le volume dynamique calculé pour 2005 est deux fois moins élevé que pour l'année 2006. Nous essaierons d'expliquer ce phénomène par la suite.

Les réserves globales sont estimées à 4.37 millions de m³ au niveau de la station de Moulin Neuf pour cet étiage 2006 en utilisant la pente d'avril à août. Les courbes de Décrue/tarissement du Céou en amont de Daglan aux stations de Poudens et Florimont montrent que les réserves sont quasi inexistantes en amont de ce village et tendent vers l'assèchement sans avoir de régime de base. On observe donc bien le phénomène des soutirages karstiques. A Daglan, les débits d'étiage ne sont dus qu'aux apports du trop plein de la source de Bouzig à laquelle s'ajoute l'influence de la Lousse ainsi que des interférences liées aux apports des sources.

On remarque donc plusieurs choses :

- En 2006, la source de Bouzig montre bien le régime karstique avec un rôle régulateur du karst. Cette source est alimentée par un réservoir qui se vidange de façon homogène.
- Au contraire, les données de Moulin Neuf montre que le régime est beaucoup plus variable ce qui montre que le réservoir d'alimentation n'est pas unique mais qu'il est composé d'une multitude de réservoirs « en cascade » qui se vidangent au fur et à mesure.
- Nous avons un régime de base très faible avec des effets d'assèchement qui peuvent être liés aux pompages (il pourrait être intéressant d'effectuer la relation si les données des pompages sur le Céou étaient bien connues). Ces effets d'assec sont très visibles à Saint-Cybranet. Cela peut aussi venir d'un effet de soutirage des eaux vers le karst sous-jacent.
- Le réservoir alimentant le Céou est donc un ensemble de réservoir associé en cascade. La recharge n'est donc pas homogène. C'est cet ensemble qui détermine le α_3 et donc le Volume dynamique de réserve.
- On remarque aussi que les pluies se stockent mal sur le bassin du Céou avec des coefficients de ruissellement très élevés. On atteint assez fréquemment le régime d'écoulement retardé mais pas le régime de base pure.

Critique de la méthode :

Avant toute chose on note qu'il aurait fallu faire des mesures de débit au niveau de la station DIREN de Saint-Cybranet pour vérifier les données de la station et s'assurer que la courbe de tarage de la DIREN est juste pour les faibles débit car on observe de fréquentes chutes de débit en étiage qui peuvent être interprétées de différentes manières.

Les résultats montrent que le volume disponible en 2006 à Moulin Neuf est de 4.37 millions de m³. Le volume de réserve disponible en 2006 à Saint-Cybranet est de 0.7 millions de m³ ce qui est beaucoup moins qu'à Moulin Neuf situé 3 Km en aval.

Le régime hydraulique des eaux superficielles est beaucoup plus perturbé que celui des eaux souterraines. En effet, l'infiltration et l'évapotranspiration sont des phénomènes très importants qui ne sont pas pris en compte dans les calculs. Au contraire, en régime karstique comme à Bouzig, on a une meilleure régulation des débits.

3.5.3 Vers une modélisation des débits d'étiage ?

Cette méthode montre qu'il est possible de définir des volumes de réserves au début du tarissement. A l'avenir, le suivi régulier des débits à Moulin Neuf et à Saint-Cybranet, ainsi que le calcul des coefficients de tarissement et des volumes dynamiques de réserve permettront d'ajuster

les paramètres de façon à définir en fonction de l'état de la recharge en hiver, le volume de réserve disponible et donc de prévoir le débit en régime non influencé plusieurs semaines à l'avance. Pour cela il est nécessaire d'avoir plus d'années de données disponibles et de temps pour traiter les données existantes.

Avantage de cette méthode :

- Equation simple qui permet d'estimer le débit à un temps t voulu et qui permet d'estimer le volume de réserve.
- A partir de α , on peut déterminer quel sera le débit dans t jour en régime non influencé. On peut donc ensuite calculer le Q_0 du tarissement afin de déterminer le volume de réserve à cette date.

Inconvénient de cette méthode :

- Le tarissement doit être atteint pour calculer α .
- Difficulté d'obtenir le régime de base en raison de l'influence des précipitations.
- Difficulté de voir le début du tarissement.
- En raison de la répartition en cascade des réservoirs et des recharges pas toujours homogènes, le volume dynamique est très variable chaque année.

Il est tout à fait envisageable de prévoir le débit du Céou plusieurs semaines à l'avance en régime non influencé. A l'avenir, EPIDOR pourrait donc utiliser cette méthode comme un outil de prévision des débits d'étiage. Pour cela il serait indispensable de continuer ces interprétations sur plusieurs années pour avoir un meilleur aperçu du fonctionnement du système. Nous avons cependant constitué une base indispensable à la compréhension du Céou en étiage.

3.6 Conclusion

Le bassin du Céou possède des vallées très larges. L'enfoncement du niveau de base, estimé à une centaine de mètres, s'est traduit par un creusement intense des vallées et une karstification souterraine marquée. Actuellement, le lit n'est actif que très localement en étiage et se limite au Céou aval.

Les paramètres de formes montrent que le cours d'eau n'a pas atteint son profil d'équilibre. Le bassin versant topographique du Céou, d'une superficie de 567 km², est situé à l'Ouest d'un vaste secteur karstique dépourvu de réseau hydrographique où les eaux météoriques s'infiltrent très rapidement. Le calcul des bilans hydrologiques montrent l'importance des infiltrations au sein du bassin versant. En effet, près de la moitié des précipitations s'infiltrent. Les modules d'écoulements spécifiques sont très faibles en période d'étiage ce qui montre bien que le bassin est improductif. Lorsque les précipitations cessent plusieurs jours sur l'ensemble du bassin, le débit du Céou diminue rapidement à Saint-Cybranet et Moulin Neuf. En amont de Daglan, l'arrêt des précipitations entraîne dans les coteaux une baisse des niveaux piézométriques qui passent en dessous du niveau de la rivière : l'assèchement des coteaux est induit par l'existence d'une karstification intense qui entraîne une perte des eaux vers la profondeur. Il peut donc y avoir un écoulement superficiel uniquement si les apports fournis par les sources karstiques dépassent les pertes.

En aval de Daglan, les phénomènes sont identiques mais masqués par les apports de la Lousse et par les apports de fond de lit.

Le calcul des réserves du bassin indique la faiblesse de restitution des eaux souterraines. Les coteaux jurassiques karstifiés peuvent être considérés comme potentiellement improductifs. C'est avec cet outil qu'il sera possible, quand de plus longues périodes de suivies permettront de mieux cerner le comportement du Céou, de définir les niveaux d'alerte en fonction du volume de réserve disponible dans les réservoirs.

Les divers calculs évoqués auparavant ne doivent pas être considérés comme rigoureusement exacts en raison de la période trop courte de données. Ils donnent néanmoins une vision correcte des phénomènes hydrologiques régissant le bassin du Céou et permettent d'affiner ou d'engager des modalités de gestion de la ressource sur ce bassin.

4 Hydrogéologie

4.1 Les aquifères en présence

On distingue trois aquifères principaux dans la zone d'étude :

- L'aquifère karstique du Portlandien
- L'aquifère karstique du Sénonien
- L'aquifère alluvial

La profondeur des aquifères karstiques est variable selon les secteurs du bassin (de quelques mètres pour les formations alluviales à plus de 100 m pour les formations jurassiques), l'épaisseur des formations et selon que les formations affleurent ou pas (couverture Crétacée). Le caractère karstique des écoulements ne permet pas de donner une profondeur fiable des horizons noyés susceptibles d'être captés. Ces aquifères sont largement compartimentés du fait de leur position topographique avec des vallées qui les entaillent et qui limitent leur rôle de réservoir ainsi que l'étendue des réseaux karstiques.

L'ensemble aquifère Portlandien-Crétacé constitue un réservoir dont les ressources et les possibilités d'exploitation à grande échelle sont limitées, mais qui peut-être utilisé localement.

Les traçages réalisés au cours des années précédentes montrent une direction générale d'écoulement du Sud-Est vers le Nord-Ouest (Dordogne). On constate que cette direction correspond à celle des principaux accidents tectoniques du secteur et aux axes de pli des grandes structures.

4.1.1 L'aquifère karstique du Portlandien

Les calcaires du Portlandien constituent un aquifère karstique particulièrement développé. Ces calcaires sont parfois recoupés par l'érosion et constituent de petits aquifères perchés au dessus des vallées. Son substratum imperméable est tantôt constitué par des niveaux plus marneux de la base du Portlandien, tantôt par des marno-calcaires du kimméridgien supérieur. C'est le principal aquifère exploité dans le secteur. Ainsi, un forage d'essai de Gaumier, profond de 100 m capte la nappe du Portlandien et peut fournir un débit de l'ordre de 70 m³/h. Dans la vallée du Céou, en amont de Costeraste, et dans les vallées affluentes du Céou, en rive gauche et en amont de Pont-Carral, cet aquifère est souvent perché. En aval de Costeraste, au voisinage des sources de l'Albarède (Saint-Cybranet), la structure abaisse cet aquifère sous les vallées. On a alors un aquifère qui est par endroit noyé et par endroit libre ce qui se manifeste par de nombreuses sources.

La source de Bouzic (Dordogne) draine un système karstique qui développe plus de 10 km de galeries : c'est le Causse de Florimont-Gaumier. Les sources de cet aquifère ont un débit d'étiage généralement < 20 l/s.

Au Nord de Gourdon, les séries portlandiennes formant ce réservoir aquifère, ont été complètement érodées au cours du Crétacé inférieur. Des mesures géophysiques réalisées en 2006 pour l'alimentation en eau de la ville de Gourdon confirment l'absence du Portlandien.

4.1.2 L'aquifère karstique du Sénonien

L'aquifère du Sénonien est principalement localisé au nord de la vallée du Céou. Le mur de cet aquifère est constitué par un niveau marneux de quelques mètres à quelques dizaines de mètres d'épaisseur situé entre le Turonien et le Sénonien. La nappe du Sénonien repose sur ce niveau marneux imperméable et circule dans des fissures qui filtrent l'eau de manière irrégulière.

4.1.3 Les alluvions oligocènes de la Formation de Saint Denis-Catus

Ces dépôts alluviaux sablo-graveleux présentent une certaine porosité qui en font un aquifère potentiel aux caractéristiques hydrodynamiques peu connues à ce jour. Quelques sources isolées au débit modeste drainent cet aquifère. Des relations hydrauliques dans le karst Portlandien sont possibles localement et restent à préciser.

4.1.4 Les Altérites sableuses des terrains crétacés

Ces dépôts à dominante sableuse constituent un aquifère poreux non négligeable. Sa base est semble-t-il assez argileuse pour constituer un substratum imperméable isolant ce réservoir des calcaires Portlandiens sous-jacents. Des sources au débit non négligeable apparaissent en effet à la base de ces dépôts. Certaines sont exploitées pour l'alimentation en eau potable sur Rampoux et Dégagnac.

4.1.5 L'aquifère du Kimméridgien

Les marno-calcaires du Kimméridgien supérieur sont considérés comme des terrains semi-perméables. Cette formation est traversée par des fissures et des fractures qui permettent à l'eau superficielle de se vidanger en profondeur. Ce sont eux qui fixent en règle générale le niveau de base des écoulements souterrains. Leur zone d'affleurement coïncide avec la disparition d'un réseau hydrographique fonctionnel. De nombreuses dolines affectent cette formation. Un début d'organisation karstique est en train de se mettre en place. Le forage du Moulin du Perier, utilisé pour l'alimentation en eau de Daglan, a une profondeur de 25 m et peut fournir un débit de l'ordre de 70 m³/h.

4.1.6 L'aquifère principal du Jurassique (Kimméridgien inf et Oxfordien)

Il n'est pas représenté à l'affleurement mais existe néanmoins en profondeur sous les marno-calcaires. Un soutirage des eaux à travers ces derniers n'est pas à exclure. D'autre part, il faut souligner l'existence, à l'Est et au Nord-Est du bassin versant du Céou, du Causse de Gramat. Il est constitué par un plateau au relief karstique (altitude moyenne 350 m) et entaillé par de longues vallées sèches comme la vallée de la Dame. Ce système karstique abrite la nappe du Causse dont les ressources en eau sont très aléatoires car elles circulent dans des chenaux très localisés. On peut supposer que le Céou amont est alimenté par une partie de ces drainages souterrains.

4.1.7 L'aquifère alluvial

En général peu épais (entre 4 et 9 m), il est représenté par une nappe de faible extension qui occupe le fond des vallées. Ses réserves sont faibles et les niveaux piézométriques que l'on peut y mesurer sont étroitement liés à l'état du cours d'eau comme nous le verrons dans la partie puits. En période d'étiage, les cours d'eau peuvent s'assécher localement avec des pertes vers l'aquifère karstique sous-jacent ; ce dernier peut aussi alimenter localement l'aquifère alluvial. Le puits « le Bourg » situé à Daglan a une profondeur de 5 m au sein des alluvions et fournit un débit de l'ordre de 20 à 25 m³/h.

En conclusion on peut dire que les ressources en eau souterraine du bassin du Céou sont contenues principalement dans 2 aquifères : le Portlandien et le Sénonien. L'aquifère alluviale montre des potentialités réduites surtout dans la zone du Céou amont. Dans le bassin de la Germaine, les ressources en eau sont considérables du fait de la présence de la nappe du Sénonien contenue dans les calcaires Crétacé. Ces calcaires sont recouverts par des sables Sidérolithiques qui jouent un rôle de régulateur des écoulements.

4.2 Les circulations karstiques

Les principales sources et émergences répertoriées dans la zone d'étude sont listées dans un tableau fourni en annexe 6 et sont reportées sur la carte des sources.

4.2.1 Détermination des pertes et bulides (apports de fond de lit)

Les mesures des débits d'étiage sur le Céou réalisés durant mon stage et durant les années précédentes permettent de mieux cerner la répartition des écoulements. On note l'existence de nombreuses pertes et résurgences ainsi que d'apports de fond de lit. Une étude fine de ces zones de pertes et d'apports n'a pas pu être réalisée lors de ce stage. Cependant, une étude des ces pertes et de ces apports avait été effectuée par P. Fradet lors de sa thèse sur l'hydrogéologie sur le bassin aval du Céou en 1985.

Voici une carte répertoriant les principales pertes et les bulides sur le Céou de la confluence avec le Lourajou jusqu'à la confluence avec la Dordogne. On observe une augmentation de ces pertes et apports de l'amont vers l'aval.

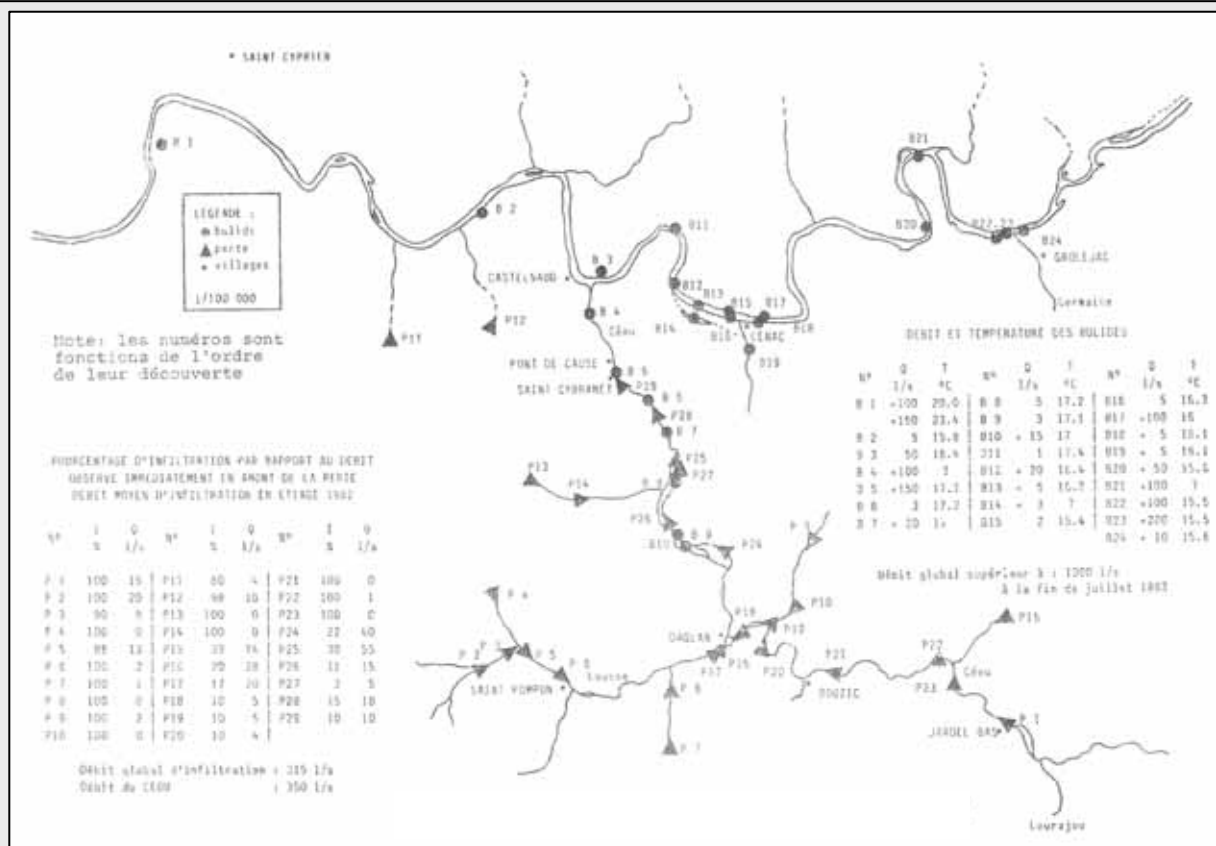


Figure 6 : Carte de localisation des pertes et bulides (zones d'arrivées d'eau) - (FRADET - 1985)

Les apports par le fond du lit sont importants à partir de l'aval de Daglan. Le plus important est la source de la Bulide de Saint-Cybranet. Dans cette zone on distingue nettement un bouillonnement du sable calcaire qui compose le fond du lit. Ces bouillonnements proviennent de l'arrivée d'eaux tièdes ascendantes qui s'accompagnent de bulles d'air. Ce phénomène est observable aussi aux sources du Port de Groléjac (débit moyen d'étiage de 200 l/s) sur le bassin de la Germaine. On note aussi la présence de zones humides entre l'aval de Concorès et l'aval de Poudens. Ces zones sont alimentées par des micros résurgences situées dans le lit du Céou.

Les pertes par le fond de lit sont nombreuses après la confluence avec le Lourajou comme le montre les débits spécifiques de la partie hydrologie. On note que lors de l'étiage 2006, le Lourajou se perdait totalement au niveau de la confluence avec le Céou.

Ces pertes sont aussi très importantes entre Daglan et Saint-Cybranet (en période d'étiage, 50% de l'écoulement serait perdu dans cette zone).

4.2.2 Campagnes de coloration

Des traçages ont été réalisés sur les 3 pertes les plus importantes :

- P25 : perte de Lauzel
- P16 : perte de la Vierge de Daglan (perte de 20% du débit global)
- P1 : perte de Jardel Bas

4.2.2.1 Etude des traçages et colorations sur le Céou

On note que les conditions météorologiques et les dates d'injection ne sont pas connues pour la plupart de ces colorations.

Injection de Lauzel :

Lors de sa thèse, Fradet a effectué une injection au niveau de la perte de Lauzel. Après un temps de réponse estimé à une dizaine d'heures, deux arrivées ont été observées sur la rive gauche de la Dordogne au NE de Fayrac (source) et sous un des piliers du pont de Castelnaud (source de Castelnaud).

Injection de Daglan :

Le colorant injecté au niveau de la perte de la vierge de Daglan est réapparu aux lavoirs de Daglan et au niveau de la source de la Peyrugue une trentaine d'heures après. La réapparition à la résurgence de la Peyrugue a lieu seulement 2 heures après celle du lavoir de Daglan. Lors de cette injection, Fradet a mis en évidence une atténuation du colorant au niveau de la perte 24 puis une disparition quasi complète au niveau de la perte 25. Tout comme l'injection de Lauzel situé au niveau de la perte 25, le colorant est réapparu au niveau du pont de Castelnaud et au NE de Fayrac. Le temps de latence était de 45 heures après l'injection de Daglan et de 11 heures après que le colorant ne se perde en P25 ce qui confirme les résultats de l'injection de Lauzel.

Injection de Jardel Bas :

Cette coloration a été effectuée juste avant un épisode orageux très violent. Le colorant est réapparu à la source de Caudon 5 à 8 heures après. Le débit de la source de Caudon est à peu près égal au débit s'infiltrant à Jardel Bas en période d'étiage non influencée.

Cette source réagit plus avec les précipitations orageuses se déroulant sur le Nord du Céou Lotois qu'avec les orages locaux car les montées en crues de la source ne correspondent pas toujours à une augmentation de débit du Céou à Jardel Bas.

On peut donc déduire de ce traçage que la source est en relation avec le bassin du Céou mais aussi avec le Céou Lotois.

Injection du Trou au Vent :

Cette grotte est située au Sud-Est de la source de Bouzic. Ces colorations ont été faites par des spéléologues. On observe 2 résultats opposés :

- En période de crue de la source, les colorations sont positives, le karst étant saturé
- En période normale d'écoulement, on observe seulement un dégazage des conduits karstiques ce qui signifie que les eaux dans les conduits sont en dessous de l'exutoire.

Les résultats de traçages ont montré que lors d'une injection massive en période normale d'écoulement, il existe une relation entre la grotte et la source de Tournepique. La vitesse de transfert étant d'une journée. De plus, les corrélations entre les débits de la source et la pluviométrie ont montré une relation entre les épisodes pluvieux violents du Céou Lotois et les crues de la source de Bouzic. Le temps de réponse de la source étant de 2 à 3 jours.

Injection du Trou de l'Arc :

Des spéléologues ont pu mettre en évidence grâce à cette coloration une relation entre la source de Caudon et la grotte du Trou de l'Arc situés au Sud-Ouest.

Injection à la perte de Graffiol :

Un traçage a été réalisé au niveau de la perte de Graffiol sur le Dégagnazès au Sud du bassin du Céou. L'eau est ressortie au niveau de la source de Graudène dans le bassin versant du Vert.

Injection sur la Germaine :

Nous rappelons que la Germaine ne fait pas partie du bassin versant géographique du Céou mais certaines colorations permettent de mieux comprendre pourquoi ce bassin est un émissaire karstique du Céou.

Suite à une pollution du captage de la source de Nadaillac qui alimente la ville de Gourdon, une coloration a été effectuée au niveau des rejets de la station d'épuration de Gourdon situé en amont du bassin de la Germaine. Il s'est avéré que le colorant a circulé sur le cours du ruisseau avant de

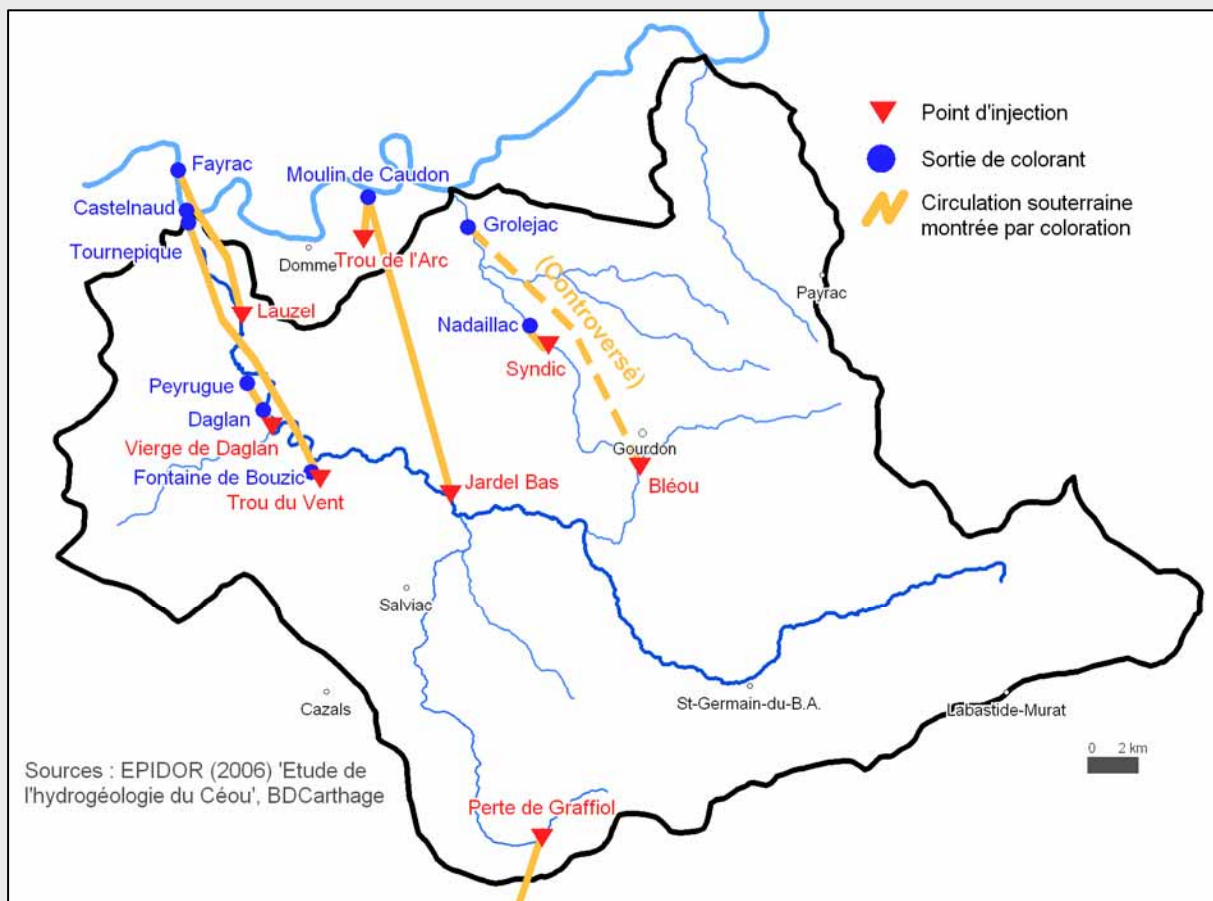
se perdre totalement au niveau de la perte du Syndic. L'eau est réapparue quelques temps après au niveau de la source de Nadaillac.

Injection controversée du Bléou :

Lors de sa thèse, Fradet a réalisé une injection sur le cours du Bléou afin de vérifier son hypothèse quant à la direction de l'axe de traçage NNW-SSE ainsi que la vitesse élevée des transferts qui se font dans des conduits karstiques avec intercommunication entre les différents niveaux géologiques. Selon lui, cette injection réalisée en mars 1984 serait réapparue au niveau du marais de Groléjac 6 heures après. Il faut noter que cette opération avait été réalisée en période d'écoulement faible et juste avant de très fortes précipitations. Ce traçage est actuellement controversé à cause de la vitesse de transfert.

4.2.2.2 Interprétation de ces traçages

À la suite de ces campagnes de coloration il en ressort un axe de traçage privilégié d'orientation similaire à celle de la faille de St Cyprien c'est-à-dire NNW-SSE. Cette direction correspond aussi aux failles du Céou aval et de la Germaine ainsi qu'aux axes de pli des grandes structures. Il existe des relations entre les précipitations au Nord du Lot et les sources de Bouzic et Caudon. De même, des études hydrométriques signalent l'existence d'un déficit d'écoulement dans le Céou Lotois et un excédent dans le Céou Périgourdin. On peut donc supposer de part l'axe de direction des traçages NNW-SSE que le bassin de la Dordogne draine en partie les eaux du bassin du Lot.



Carte 9 : Carte des colorations qui mettent en évidence différentes captures souterraines.

Il sera indispensable dans l'avenir de réitérer ces colorations par des traçages avec pour chacun d'eux, une fiche signalant le lieu exact, la quantité de produit injecté, la météorologie, le temps de transit... En effet, toutes les colorations citées ci-dessus ne peuvent être certifiées exactes à cause de l'absence de ces fiches de traçages malgré nos contacts répétés avec l'auteur de la thèse.

4.3 Les sources

4.3.1 Nature des données

Dans un premier temps, nous avons réalisé un inventaire des sources présentes dans le bassin du Céou. La détermination de ces sources a été réalisée à partir des informations contenues dans la Banque de Données du Sous-Sol (BRGM) et de la Bibliographie. Les sources et émergences répertoriées dans la zone d'étude sont listées dans un tableau fourni en annexe 6.

Très peu d'entre-elles possèdent un écoulement en étiage ; les débits n'étant véritablement appréciables que dans une quinzaine de cas. Ce sont ces sources à débits pérennes en étiage qui nous intéressent. Les points d'eau sont répartis de façon assez homogène sur l'ensemble du bassin avec toutefois une densité plus importante à l'Est. Les données recueillies montrent que pour de nombreux points, l'utilisation et les débits ne sont pas connus. Compte tenu de l'origine bibliographique de ces informations, la fiabilité et l'actualisation de ces données ne sont pas assurées.

Les analyses chimiques montrent que toutes ces sources sont bicarbonatées calciques, les sources de Bouzic et de Daglan étant plus magnésiennes du fait de l'existence de niveaux dolomitiques.

4.3.2 Les différents types de sources et leurs mécanismes

On distingue plusieurs grands types de sources que nous citerons sans détailler.

4.3.2.1 Sources du quaternaire

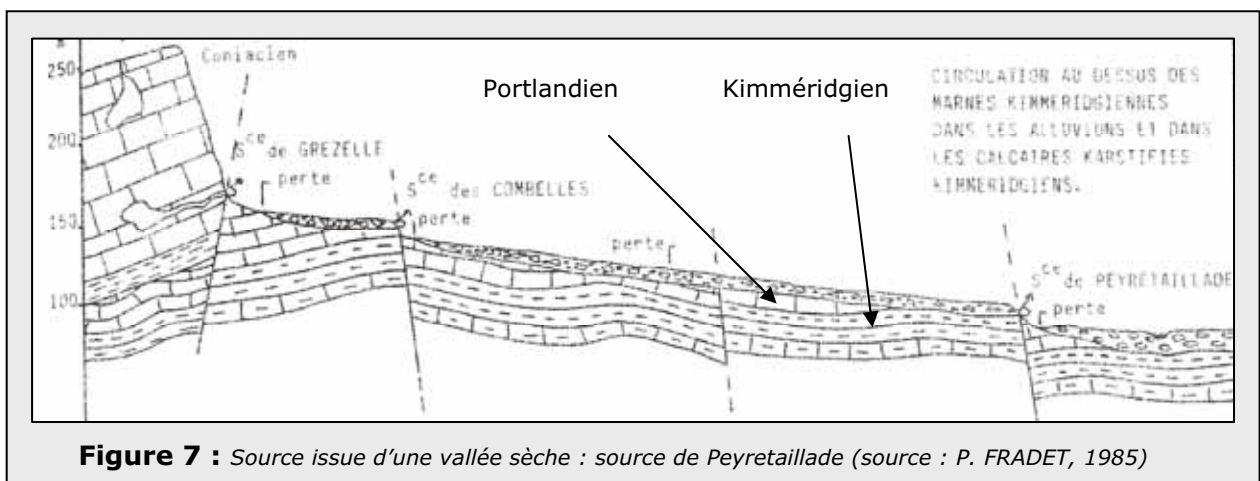
Sources dans les niveaux de castine

Du fait de l'exploitation intensive de ces dépôts qui reposent en général sur les niveaux kimméridgiens, il n'existe plus qu'une seule source de ce type ou subsiste un écoulement non permanent : Costeraste. Ce type de source alimentait latéralement les masses alluviales du Céou.

Sources dans les alluvions des vallées sèches

Ces sources sont situées dans des ruptures de pentes nettes et ne possèdent un débit qu'en période hivernale. On distingue néanmoins la source de Peyretailade à Daglan qui a un écoulement permanent du fait de l'existence :

- D'un substratum marneux relativement étanche
- D'apports permanents issus de massifs coniaciens productifs.
- Cette source d'un débit de 5 à 10 l/s en étiage alimente le Céou.



4.3.2.2 Source du tertiaire

Sources du plateau stampien de bord

Ces sources situées à la limite entre les meulières et les marnes stampiennes possèdent toujours un écoulement. En période non influencée, le débit de ces sources est presque nul et du en grande partie à une restitution des eaux issues de l'irrigation agricole.

Sources observables dans le Sidérolithique

Sources à débit d'étéage nul qui ne doivent leur existence qu'à des phénomènes d'altérations. Les eaux de ces sources se perdent rapidement en aval.

4.3.2.3 Sources du Crétacé (Coniacien)

Ces sources situées en amont de La Lousse, en aval de la Germaine, et à l'Ouest de Domme, ont toutes un débit important en étéage et sourdent juste au-dessus des marnes coniaciennes. Les sources de Caudon et de Saint-Front, situées dans la masse des calcaires gréseux, surgissent de vastes conduits karstiques

4.3.2.4 Sources du Jurassique

Sources du Portlandien

Les sources portlandiennes sont relativement rares et ne possèdent que des débits négligeables en étéage sauf dans le cas des sources de Bouzic et de la Borie. Ces deux sources, issues de conduits karstiques plus ou moins colmatés sont soumises à plusieurs types d'interférences et sujettes à des variations de débit considérables en fonction des précipitations plus ou moins éloignées. Voici un schéma sans échelle montrant le fonctionnement de la source de Bouzic :

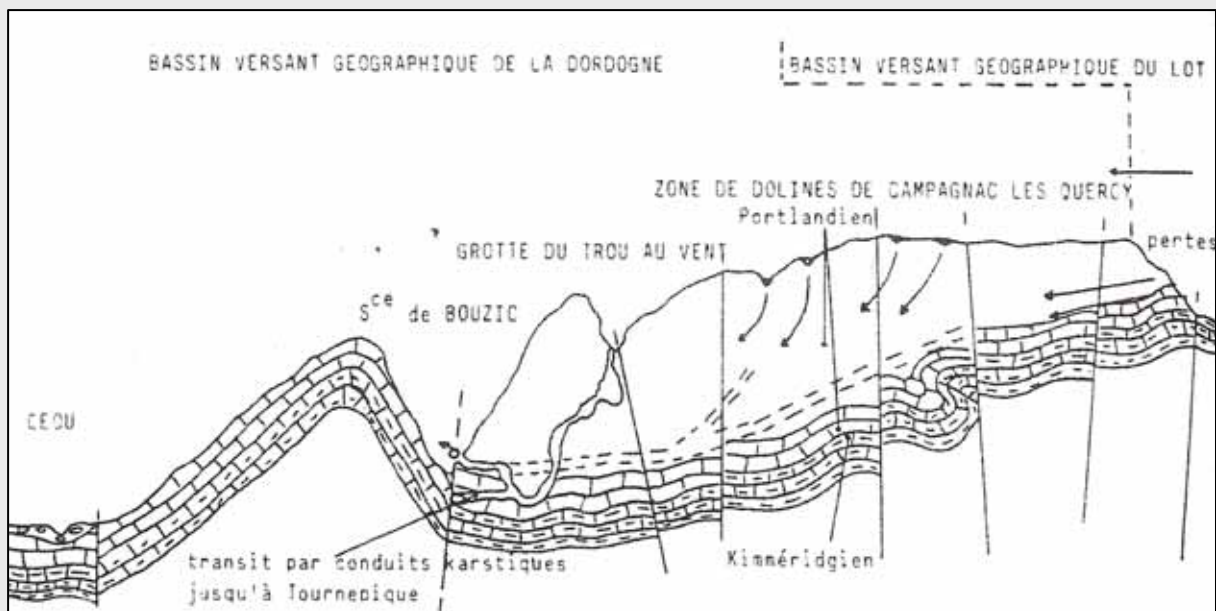


Figure 8 : Source Portlandienne : cas de la source de Bouzic (sans échelle) (source P. FRADET, 1985)

Sources du Kimméridgien

Elles sont très nombreuses en hiver et se rencontrent aussi bien dans les vallées que sur les coteaux. En étéage cependant, seules les sources issues de conduits karstiques possèdent un écoulement. Dans tous les cas les exutoires de ces sources sont situés dans les niveaux marno-calcaires et dans des zones de fractures plus ou moins colmatées.

4.3.2.5 Sources issues de la zone profonde

La bulle de Saint-Cybranet est la plus connue et les auteurs la considéraient comme une résurgence d'eaux du Céou s'étant perdues en amont et circulant au sein des seuils tufeux.

En fait les paramètres thermiques, confirmés par les analyses physico-chimiques et les traçages montrent sans conteste l'origine profonde de ces eaux qui n'ont aucune similitude avec les eaux de surface. Fradet a pu observer que les exutoires de ces sources étaient de type conduits karstiques et de nature Kimméridgienne.

4.3.3 Conclusions

Hormis les sources issues de la base du Coniacien, toutes les sources sont des résurgences d'eaux se perdant plus ou moins loin des exutoires.

On note que le drainage général des calcaires est régi d'une part par la géométrie du toit du substratum imperméable Kimméridgien et d'autre part par l'implantation des vallées qui ont érodé les calcaires au point d'entailler assez fréquemment leur substratum imperméable.

Les débits des sources sont variables selon les secteurs et les périodes de l'année du fait notamment de leur nature karstique. Certaines sources peuvent toutefois montrer un débit moyen d'étiage élevé par rapport au débit du Céou : 20 l/s pour la source de Bouzic (2006) et 30 l/s pour la source de l'Albarède à Saint-Cybranet.

Parmi toutes les sources, quelques-unes retiennent notre attention car elles ont un écoulement en étiage relativement important et elles alimentent directement le Céou. Il s'agit (de l'amont vers l'aval) de :

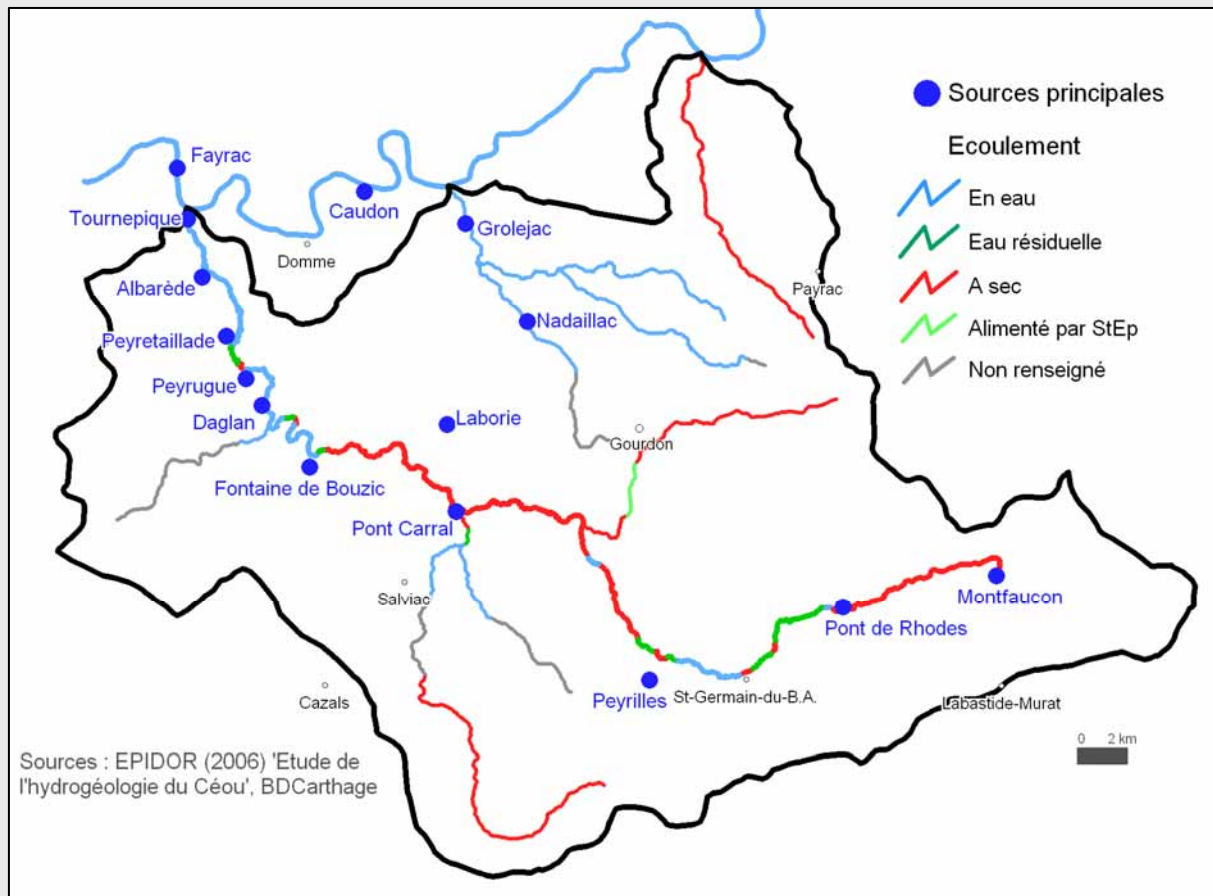
- La source de Montfaucon
- La résurgence au niveau de Roquedure
- La source de Font d'Ente (captée directement pour l'AEP) (contact entre Portlandien inférieur et Kimméridgien.)
- La source de Pont Carral avec un débit estimé à moins de 1l/s en étiage (débit faible mais permettant de maintenir une zone humide dans le lit du Céou à sec dans ce secteur en étiage.
- La source de Bouzic avec un débit d'étiage de 20 l/s (un des principaux apports du Céou)
- La source de la Peyrugue
- La source du Lavoir de Daglan
- La source de Peyretaillade (voir schéma fonctionnel dans la partie source dans les alluvions des vallées sèches)
- La source de l'Albarède

Tableaux récapitulatifs des caractéristiques des principales sources :

Commune	Nature du point d'eau	X	Y	Exploitation	T°C	Dureté	Débit	Q moy étiage (l/s)	Q mois le plus sec (l/s)	Q moyen exploitation (m3/j)
Bouzic	Source de Bouzic	511 248	1 969 638		12,8 à 13,5	30 à 39	20 à 50	26,13	18	
Daglan	Source de la Peyrugue	508 750	1 973 300		13,2 à 13,4	32 à 37	5 à 30	11,89	5	
Daglan	Lavoir de Daglan	509 649	1 971 840	AEP	13,6 à 13,7	35 à 38	10 à 17			550
Saint-Cybranet	Source de l'Albarède	506 700	1 977 350		13 à 13,8	29 à 34	24 à 42	30,43	24	
Saint-Cybranet	Source de Peyretaillade	508 150	1 974 875		13,4 à 13,5	26 à 31	5 à 25	9,6	5	
St-Martial-de-Nabirat	Source de la Borie	516 500	1 971 250		13 à 13,3	34 à 43	10 à 15	11,67	10	
Frayssinet	Source de Pont de Rhodes	532 508	1 964 022	AEP				12,45	2,8	120
Montfaucon	Source karstique du Céou	538 672	1 965 270	Alim. lac					0	
Peyrilles	Source karstique de la Fondante	525 001	1 960 784	AEP	5					600
Salviac	Source karstique de Pont Carral	517 080	1 967 903					0,5		

Tableau 14 : Principales sources sur le secteur d'étude

Nature du point d'eau	Géologie de l'exutoire	Origine présumée	Notes
Source de Bouzic	Portlandien	Portl+infiltrations champs lapie	En étiage, possibilité de disparition du trop plein. Exutoire sur un accident majeur.
Source de la Peyrugue	Kimméridgien	Kimméridgien et apports latéraux	Exutoire dans une retombée anticlinale faillée. Liaison avec la Lousse.
Lavoir de Daglan	Alluvions	Portl+apports par conduits karstiques	Exutoire dans une faille majeure. Relation avec la Lousse.
Source de l'Albarède	Kimméridgien	Kimméridgien et apports latéraux	Exutoire sur une fracture SO-NE. Interaction de la pisciculture sur les eaux souterraines
Source de Peyretaillade	Alluvions	Alluvions et Portlandiens	Résurgence des eaux se perdant en amont probable. Tarie pas même en étiage sévère.
Source de la Borie	Portlandien	Portlandien	Exutoire dans la retombée anticlinale Nord de l'escalier: zone faillée
Source de Pont de Rhodes	Kimméridgien		
Source karstique du Céou	Kimméridgien		Cette source s'assèche très tôt dans l'année
Source karstique de la Fondante	Kimméridgien	Portlandien	
Source karstique de Pont Carral	Portlandien		Source anciennement captée pour l'AEP à 20 m3/j



Carte 10 : Carte de la localisation des principales sources sur le bassin du Céou

Certaines de ces sources sont captées pour L'AEP et n'alimentent donc plus directement le Céou. La source de Bouzic permet un apport important en étiage par rapport au débit du Céou. On note qu'auparavant, cette source était captée à raison de 20 l/s. Maintenant, ce débit est totalement restitué au Céou. Nous avons suivi la décrue de la source de Bouzic et nous pouvons estimer le volume dynamique du réservoir. Ce volume est de l'ordre de 400 000 m³ pour 2006. Les résultats de ce travail sont présentés dans la partie hydrologie.

En ce qui concerne la source de la Font d'Ente, on peut dire qu'elle jaillit en bordure du ruisseau de Peyrilles à la faveur d'un accident oblique. L'impluvium de calcaires portlandiens qui se développe en amont de cette source est assez étendu.

Ainsi, les sources principales sont dans la majorité des cas des sources jaillissant au niveau du contact entre le Portlandien et le Kimméridgien imperméable.

Petit rappel sur les termes résurgence, exsurgence et émergence : les sorties d'eau du karst sont toujours des sites extraordinaires car les massifs et les plateaux qui les dominent sont dépourvus d'eau. L'appellation « source » est en général soigneusement évitée sous le prétexte que les sources ne peuvent qu'être alimentées par des eaux pures, filtrées naturellement. On ne considère en fait pour la plupart des sources karstiques que des résurgences d'eaux de surfaces engouffrées dans des pertes. On les distingue des exsurgences, sources ne recevant aucune eau en provenance de pertes de rivière. Finalement, les résurgences sont des sources de systèmes karstiques binaires (une partie de l'impluvium est constitué de terrains non karstifiables qui concentrent l'infiltration des eaux en un point : le drainage est très développé), alors que les exsurgences sont celles de systèmes karstiques unaires (l'ensemble de l'impluvium est constitué de terrains karstifiables : le drainage s'effectue principalement à l'aval). Quant aux émergences, ce sont celles dont l'origine n'est pas connue.

4.4 Les forages et la géophysique

Les données des forages, des sondages et les études géophysiques réalisés dans la vallée du Céou permettent d'estimer la profondeur du Portlandien et l'altitude du toit du Kimméridgien. Les logs stratigraphiques des forages sont donnés en annexes 7 et 8.

On remarque que le Portlandien supérieur, d'une puissance de 100 m environ n'est pas présent partout dans la vallée du Céou. En effet, à partir de Bouzic, le Céou a creusé suffisamment profond pour atteindre les couches du Portlandien inférieur d'une puissance de 20 à 30 mètres. Le Kimméridgien constitue une couche imperméable, on retrouve donc souvent des sources au contact Portlandien inférieur/Kimméridgien comme nous l'avons vu dans la partie sources. On note que la démarcation entre le Portlandien et le Kimméridgien est peu nette. Le chiffre couramment admis pour l'épaisseur totale du Kimméridgien est de 200 mètres. Toutefois des variations de faciès sont signalées et des variations d'épaisseur semblent probables ; il se pourrait que le Kimméridgien, au moins localement, atteigne 250 mètres.

4.4.1 Apports des forages et de la géophysique sur la structure

L'ensemble des couches géologiques s'ennoie vers l'Ouest-Nord-Ouest, en direction du bassin d'Aquitaine, avec un pendage moyen de l'ordre de 1%. Les recherches précédentes ont mis en évidence l'existence d'un synclinal complexe (sorte de fond de bateau plissé et faillé) qui ennoie au-dessous de la vallée du Céou les calcaires Portlandiens entre Costeraste et Pont-Carral. A l'amont et à l'aval de ces deux points, le Kimméridgien se relève au dessus de la vallée. Par ailleurs, un anticlinal (probable) fait apparaître les calcaires à plaquettes du Kimméridgien inférieur dans la haute vallée du Céou à Roquedure, entre Montfaucon et Pont-de-Rhodes.

4.4.2 Apports des forages et de la géophysique sur l'hydrogéologie

Les alluvions : bien que la présence d'un horizon graveleux soit probable à la base des alluvions des vallées principales, il est à présumer que ni leur épaisseur ni leur perméabilité ne sont de nature à permettre d'exploiter des débits importants. Ils peuvent par contre, dans les vallées à débit pérenne ou presque permanent, constituer une réserve d'eau substantielle (une couche de 2 m de graviers à 20% de porosité, dans une vallée de 250 mètres de large, est susceptible d'emmagasiner 100 000m³ par kilomètre de vallée.

Calcaires Portlandiens : ces calcaires compacts, de fissuration apparemment assez homogène, devraient s'avérer régulièrement productifs là où ils sont mouillés sur une épaisseur suffisante. Mais ce n'est le cas, que sur une fraction de la superficie dans la vallée du Céou, à l'aval de Costeraste, où ces calcaires s'ennoient sous la vallée à la faveur d'un synclinal faillé.

Kimméridgien : a priori cet étage pourrait être considéré comme pratiquement improductif. La réalité est beaucoup plus complexe ; aux intercalations plus riches en calcaire qui peuvent être plus ou moins fissurées, s'ajoutent en effet de nombreuses discontinuités liées aux accidents tectoniques (failles, rebroussements, zones de broyage), qui permettent à des circulations verticales de se produire au travers des bancs à dominante marneuse qui barrent la série. Dans la majorité des cas, les sources du Kimméridgien paraissent liées à des accidents tectoniques.

4.4.3 Apports des forages et de la géophysique sur l'interconnexion entre les réservoirs

Le kimméridgien a une réputation d'horizon imperméable pas tout à fait justifiée. Cette réputation provient de deux phénomènes :

- L'absence d'eau dans les nombreuses dolines du Kimméridgien à l'Est de la zone étudiée.
- L'existence de vallées sèches, aux bassins versants relativement étendus et l'absence de résurgences.

Tout se passe comme si une proportion importante de l'eau emmagasinée dans le Kimméridgien se vidangeait en profondeur à la faveur des accidents verticaux (failles et effondrements), vraisemblablement au profit de la nappe des Causses située en dessous. Ceci conduit logiquement à penser que la nappe du Portlandien, reposant sur un substratum non régulièrement étanche, se vidange elle aussi en profondeur. De fait il semble bien, et le bilan hydrologique réalisé dans la première partie le confirme, que certaines vallées drainant le Portlandien soient très loin de véhiculer les débits correspondant à l'alimentation sur la surface correspondante.

Toute la partie Ouest du secteur est constituée par les calcaires du Portlandien. On note cependant qu'un très grand nombre de vallées sont érodées jusqu'au Kimméridgien. De ce fait, les écoulements se situent à la lisière des plateaux, dont le contour est très dentelé. Il en résulte des sources disséminées au long du contact géologique, sources drainant un petit bassin versant, et une quasi impossibilité d'utiliser les réserves de la nappe, qui se trouve rabattue au maximum à l'émergence.

Dans le secteur entre Costeraste et Pont-Carral, dans la vallée du Céou, la base des calcaires Portlandiens semble se situer en permanence au-dessous de la ligne d'eau du fond de thalweg. Compte-tenu des ondulations, on peut même présumer qu'il pourrait exister 20m voire plus de calcaires Portlandiens mouillés dans la vallée. Les débits exploitables sont dans une certaine mesure fonction du débit du Céou (alimentation induite) en cas de prélèvements importants. En année très sèche, malgré l'apport souterrain des versants et des réserves d'eau existant dans les alluvions et dans les calcaires eux-mêmes, l'exploitation pourrait poser des problèmes d'assèchement du Céou.

La nappe Portlandienne est réalimentée par les infiltrations du Céou au travers de ses alluvions reposant sur le calcaire fissuré. L'implantation d'une station de pompage engendrerait sans doute une infiltration supplémentaire que le Céou ne pourrait pas fournir en étiage (à sec).

Un sondage réalisé entre l'Abbaye-Nouvelle et Costeraste met en évidence différents niveaux avec des vides karstiques dans le Portlandien. Ces conduits karstiques se trouvent de -9.2 à -12.25 m ; de -24.7 à -25.8 m ; de -29 à -32.1 m et enfin de -33.5 à -37.4m.

Pour simplifier, on peut dire que la partie en amont de la confluence du Bléou et du Céou est en eau car elle se trouve sur des calcaires marneux plutôt imperméables du Kimméridgien ou quelques sources à débit pérennes ressortent au niveau de fractures.

Le secteur intermédiaire entre la confluence du Bléou et Bouzic est constitué de calcaires Portlandiens qui sont très fracturés dans le secteur entre Pont Carral et Costeraste comme le montre les mesures géophysiques. Il est donc fortement probable que l'eau du Céou soit soutirée dans ces calcaires d'où la présence de nombreuses pertes. On note qu'il est aussi possible que les fractures se prolongent en profondeur entraînant aussi un soutirage vers les calcaires du Kimméridgien et par la même vers le calcaire des Causses. Il est donc probable que l'eau se perdant dans ce secteur ne réalimente pas le Céou plus en aval mais alimente les aquifères profonds.

Enfin, à partir de Bouzic, les mesures géophysiques et les données de forages montrent un relèvement de la structure avec une remontée du toit Kimméridgien entraînant un contact imperméable et l'écoulement de nombreuses sources permettant de réalimenter le Céou et expliquant les écoulements à l'aval. Il existe aussi des remontées d'eaux profondes.

4.5 Etude sur les puits de la vallée alluviale du Céou

Nous cherchons à connaître le comportement des nappes d'accompagnement du Céou ou des petits « fils d'eau » que constituent les apports des versants situés à proximité du Céou de façon à mieux comprendre la vidange des réservoirs. Nous espérons pouvoir choisir quelques puits qui seraient de bons indicateurs du niveau piézométrique des nappes qui alimentent le Céou. Une étude altimétrique sera faite sur certains puits pour voir les relations entre le Céou et les nappes. J'ai repéré une 60ème de puits situés dans la plaine alluviale du Céou ; 30 ont été choisis pour cette étude. La sélection s'est faite sur plusieurs critères : l'utilisation (s'ils sont exploités ou non), la localisation et l'accessibilité avec la permission des propriétaires. Les puits se situent principalement dans la plaine alluviale du Céou et capte probablement l'eau contenue dans les alluvions du Céou ou d'apports d'eau des versants.

Les mesures sont réalisées de manière hebdomadaire et se font à l'aide d'une sonde piézométrique de 30 mètres prêtée par le Conseil Général du Lot. Les mesures se font à partir d'un repère que l'on choisit de façon judicieuse pour assurer une bonne précision dans la répétitivité des mesures. Le repère n'étant pas au niveau du sol, nous n'obtenons que des différences d'altitudes et non le niveau des nappes par rapport au sol. Le tableau récapitulatif des mesures sur les puits est donné en annexes 10.

Depuis le début des mesures au mois de juin, la hauteur d'eau dans les puits a diminué en moyenne de 0.4 m avec un maximum de 1.66 m pour le puits 17 et une stabilisation pour le puits 10. Les pluies du début du mois de juillet mettent en évidence une remontée sensible du niveau piézométrique. Cette eau tombée en abondance (environ 50 mm à Gourdon) a donc réalimentée les nappes. On note toutefois que sans autres précipitations, la recharge n'est que brève.

Les analyses de la morphologie des courbes de tarissement des puits permettent de distinguer 3 secteurs :

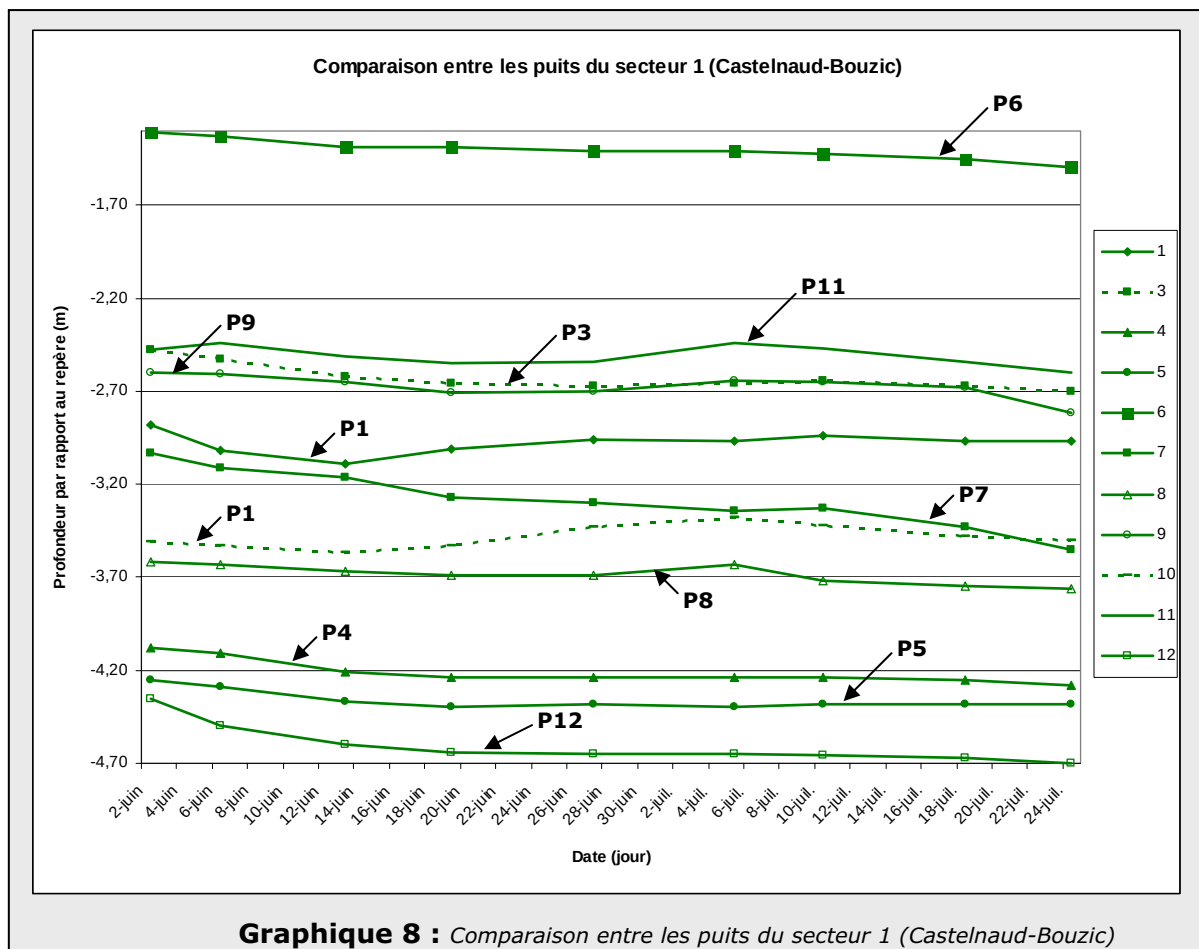
- **Castelnaud à Bouzic : S1**
- **Bouzic à la confluence Bléou/Céou : S2**
- **Confluence Bléou/Céou à Montfaucon : S3**

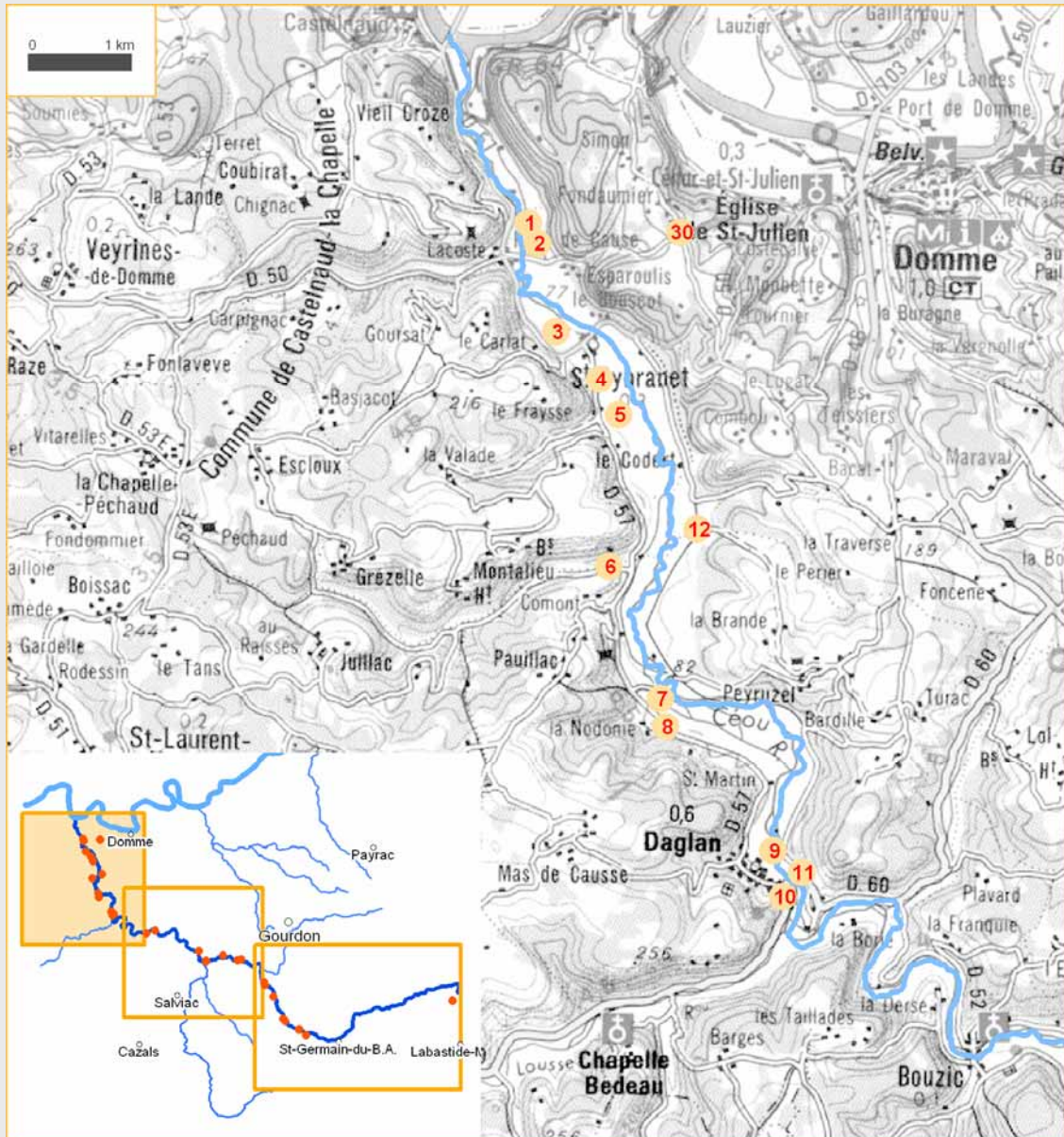
La hauteur d'eau dans les secteurs 1 et 3 ne semble pas diminuer de façon très importante avec une perte moyenne de 0.20 et 0.27m depuis début juin. Par contre le secteur médian du Céou se vidange rapidement avec une diminution moyenne de hauteur d'eau de 1.14m. Il apparaît donc que la partie médiane se décharge rapidement. D'ailleurs, le Céou y est à sec en étiage.

On remarque que les secteurs définis par les puits correspondent à ceux définis dans la partie hydrologie et sont liés à la géologie. En effet, si on compare avec les données géologiques, on remarque que ces 3 secteurs correspondent à des entités différentes. Le **secteur 1** correspondrait à la partie où le Céou circule sur le contact entre le **Portlandien inférieur et le Kimméridgien imperméable**. Le **secteur 2** se trouverait sur le **Portlandien supérieur** assez fracturé où l'eau pourrait s'y engouffrer. Enfin, sur le **secteur 3**, le Céou circule sur des **calcaires marneux du Kimméridgien**.

Nous allons maintenant analyser chacun des puits. Le puits 30 a été écarté des analyses car il est situé sur les coteaux du Céou. De même le puits 2 est devenu sec dès la deuxième semaine de mesure et ne sera donc pas exploité.

Secteur 1 :





Carte 12 : Localisation des puits du secteur 1

Le **puits 1** sera traité plus tard par une corrélation avec la hauteur d'eau du Céou.

Dans le traitement des données, on peut regrouper les **puits 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12**. Ils ont un comportement similaire avec une baisse générale mais relativement faible des niveaux piézométriques. On relève toutefois une remontée légère des nappes pour les puits 8 et 11 due aux précipitations.

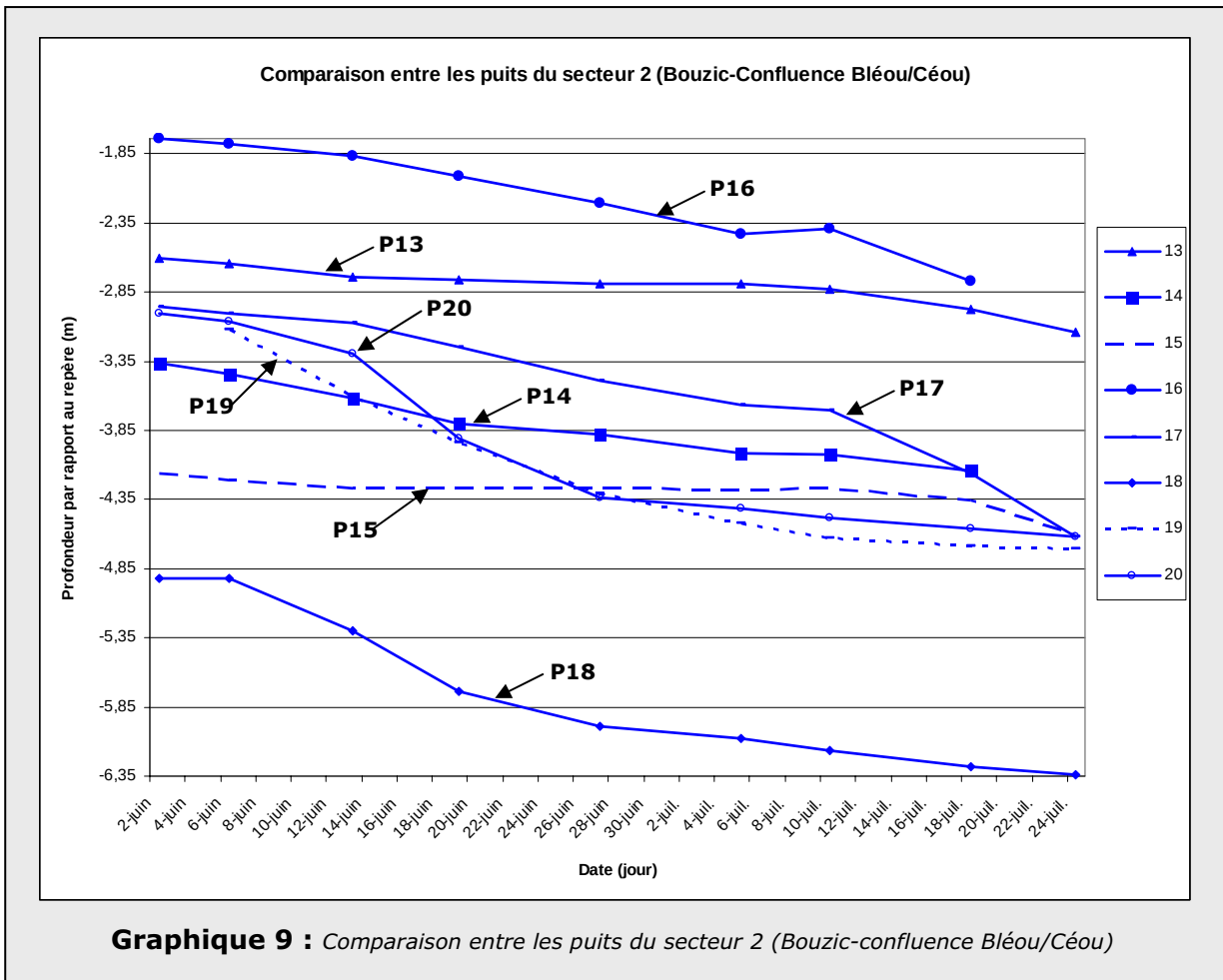
Le **puits 6** est situé au-dessus de la source de Peyretailade. Cette source a toujours un débit en étiage. Le niveau du puits est lié au débit de la source. Cette source draine les alluvions des vallées sèches et ressort au niveau du contact avec le Kimméridgien imperméable. On constate que le rabattement de cette nappe est faible ce qui laisse supposer que les réserves sont importantes.

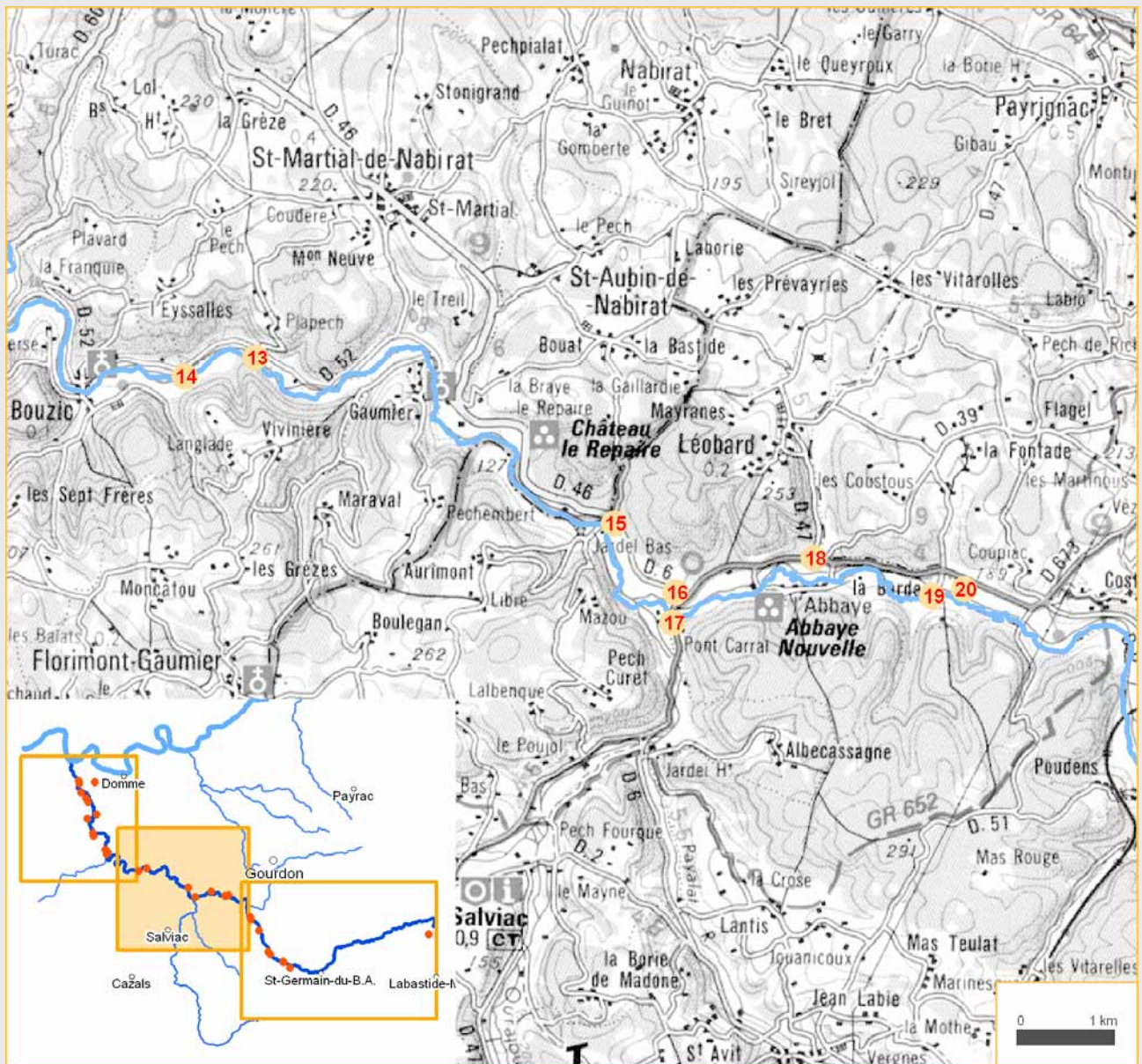
Le **puits 10** est un puits communal de Daglan, son niveau piézométrique remonte de façon excessive après de fortes précipitations ce qui laisse penser qu'il pourrait collecter les eaux pluviales de Daglan. Ce n'est donc pas un bon indicateur pour la gestion de l'étiage.

Le **puits 7** a un niveau piézométrique qui plonge à partir de début juillet malgré les précipitations et le Céou s'est asséché complètement à partir de début août à cet endroit. On aurait donc un lien entre l'assèchement du Céou et la forte baisse rencontrée à partir de mi-juillet. Ce puits pourrait donc constituer à l'avenir un outil de prévision des étiages.

Secteur 2 :

Le secteur central est un secteur où l'assèchement y est presque total en étiage. Cet assèchement se fait de manière progressive et par zone. Les mesures des niveaux piézométriques montrent une bonne corrélation entre la baisse significative des nappes et l'assèchement du Céou.





Carte 13 : Carte de localisation des puits du secteur 2

Les niveaux des nappes des **puits 18, 19 et 20** chutent d'une manière importante au début du mois de juin puis d'une façon plus douce à partir de fin juin/début juillet. Le secteur où ces puits se trouvent est le premier à s'assécher. Il s'agit de la zone comprise entre Costeraste et l'abbaye-Nouvelle où les calcaires Portlandiens y sont très fissurés. La baisse significative des nappes est étroitement liée à l'état du cours d'eau. En effet, le Céou s'est asséché au niveau de ces puits au moment où la baisse de la nappe est la plus importante.

Les **puits 16 et 17** (Pont-Carral) sont situés dans une zone où le Céou s'est asséché vers la fin du mois de juin. Cela coïncide avec la forte baisse des niveaux piézométrique. C'est le deuxième secteur à s'assécher.

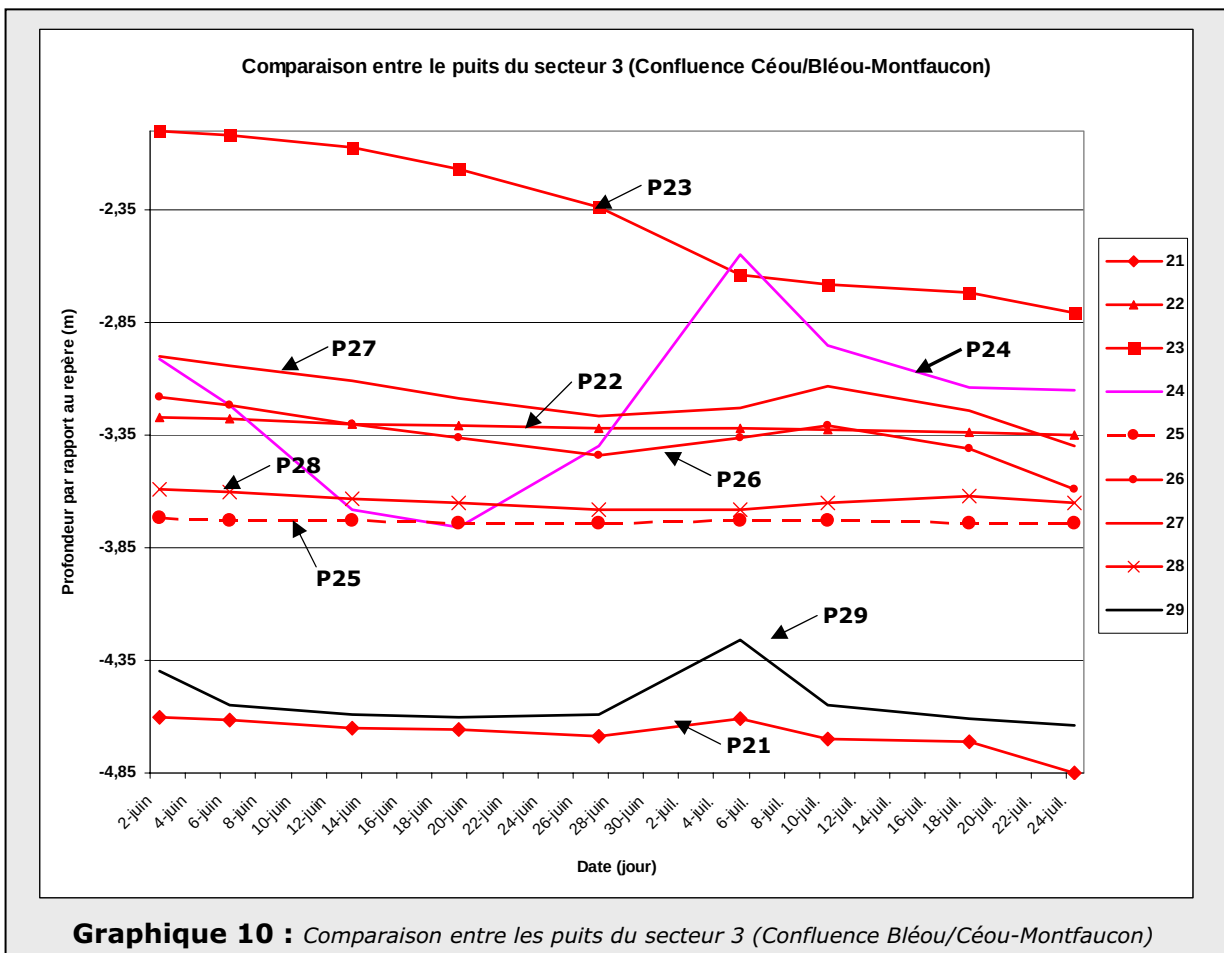
Les puits **13 et 15** sont situés dans la zone où le Céou s'assèche le plus tardivement dans ce secteur 2. La baisse devient importante à partir de mi-juillet au moment où le Céou s'est asséché (à sec à partir du 18 juillet pour le puits 13 et autour du 20 juillet pour le puits 15). C'est la zone comprise entre Pont de Jardel et Gaumier.

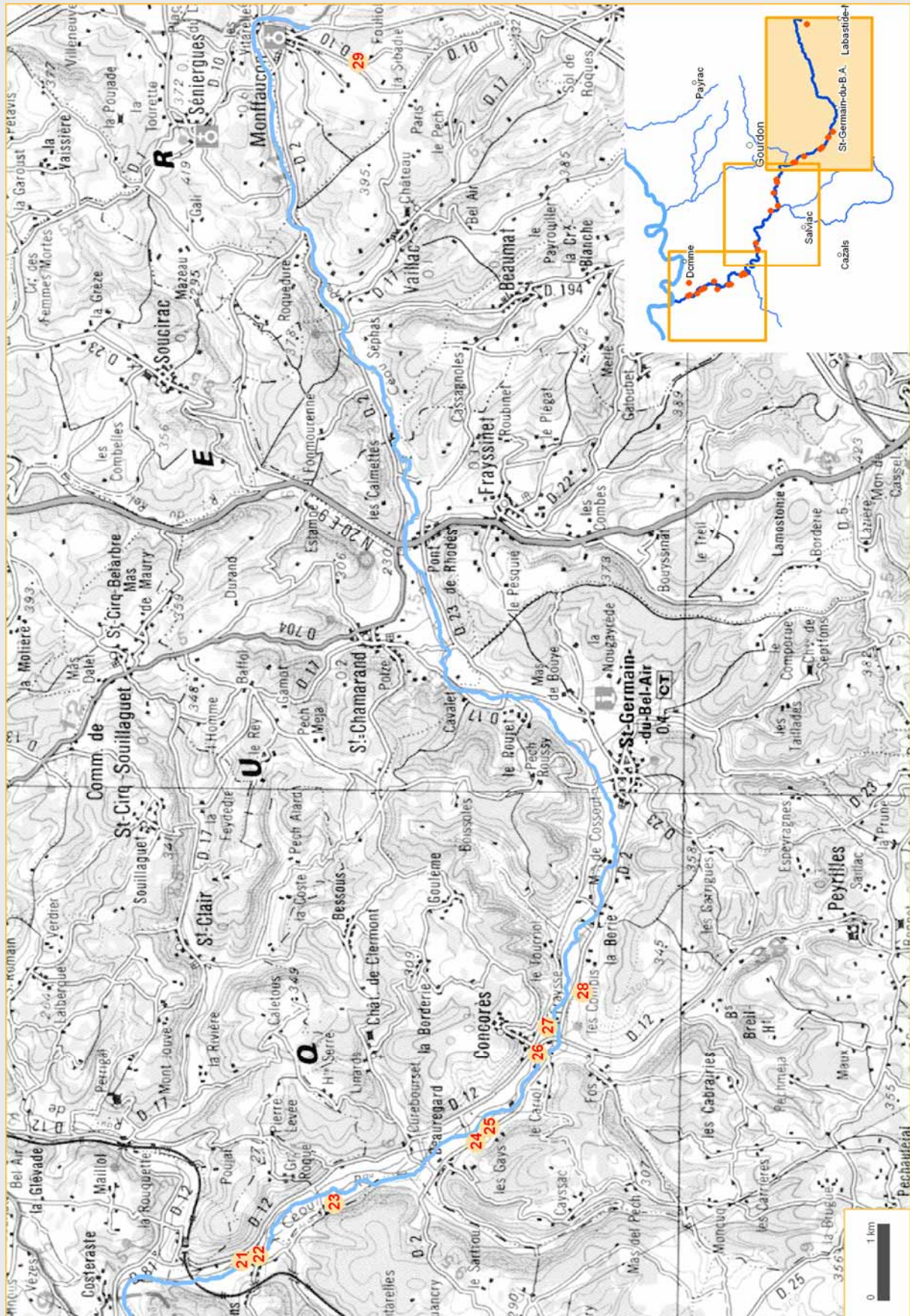
Enfin nous avons le **puits 14** qui est situé au droit d'un seuil en face du moulin d'Albert. Ce secteur s'assèche très tôt ce qui explique la baisse assez rapide au début des mesures du niveau statique de la nappe d'accompagnement.

A l'avenir, il pourrait être envisagé de suivre un puits sur chacune de ces zones sur plusieurs années pour confirmer la relation entre la baisse significative du niveau piézométrique et l'assèchement du Céou mais il s'avère d'ores et déjà que le lien est assez net. Il est donc possible de prévoir que l'assèchement du cours d'eau approche en fonction de la baisse du niveau des nappes.

Secteur 3 :

Le comportement des nappes dans ce secteur est relativement homogène avec une baisse assez faible de la hauteur d'eau et une remontée due aux précipitations (plus ou moins tardive) de début juillet. On note cependant que le puits 23 a un comportement très différent des autres mais il est situé dans une zone où le Céou s'assèche assez rapidement ce qui explique l'allure de cette courbe.





Carte 14 : Carte de localisation des puits du secteur 3

Le **puits 24** a un comportement suspect car on distingue une remontée de presque 1 m du niveau piézométrique de la nappe entre le 27 juin et le 5 juillet. Malgré les précipitations importantes qu'il y a eu dans cette période, il est tout à fait surprenant de voir une telle remontée de la nappe. Le puits est situé dans une propriété privée et il est possible qu'il collecte les eaux usées de la maison ou les écoulements pluviaux.

Les **puits 25 et 22** ont des niveaux statiques très stables ce qui permet de conclure que la réserve de ces nappes est bonne ou bien qu'il s'agit de puits citernes. Seul des essais de rabattement pourraient le définir. Le puits 22 est situé dans le secteur juste en amont de Poudens ou le Céou est en eau (cf carte des assecs). La nappe ayant une vidange très lente, on peut donc mieux comprendre pourquoi ce secteur ne s'assèche pas comme les autres. Cependant pour la gestion de l'étiage, ces puits ne sont pas de bons indicateurs car ils sont stables. Pour vérifier l'hypothèse du puits citerne, il faudrait rajouter ou enlever de l'eau pour voir si le niveau se rééquilibre plus tard.

De part leur comportement, on peut dire que les **puits 26 et 27** (situés à Concorès à 200mètres d'intervalles) sont situés sur la même nappe. Leur cas sera étudié dans la suite de ce rapport car une étude plus fine a été réalisée en comparant le niveau de la nappe et le niveau du Céou. Ce dernier s'est d'ailleurs asséché autour du 22 juillet à Concorès.

Le **puits 29** est situé en amont de la source de Montfaucon et n'est pas un bon indicateur car le Céou était déjà à sec au début des mesures. A l'avenir, il pourrait être utilisé pour suivre le remplissage du réservoir et la remise en eau du Céou.

Au niveau du **puits 21** situé à Poudens, on remarque que le niveau de la nappe a tendance à diminuer de façon plus importante à partir du 18 juillet. Le Céou commence à s'assécher rapidement à partir de ce moment.

Le **puits 28** ne permet pas de conclure beaucoup de chose. On note cependant qu'au droit du puits, le Céou était encore en eau pendant toute la durée des mesures.

Afin d'obtenir une cote précise des puits et donc un niveau d'eau dans le sol, un nivellement a été réalisé sur quelques puits. Ce niveau piézométrique permettra de préciser la façon dont la nappe et la rivière sont en relation.

4.5.1 Le nivellement des puits

Le matériel nous a été prêté par la DDAF du Lot. La lecture sur la sonde piézométrique s'effectuant au centimètre, nous retiendrons cette unité pour le nivellement. Par ailleurs, le nombre de points intermédiaires réalisés, à cause de la distance séparant les puits des bornes IGN, ne permet pas d'assurer une meilleure précision. Le principe de la méthode est annexé au rapport (annexe 9).

4.5.1.1 Résultats sur les puits

Les détails des calculs sont mis en annexe 9.2. Nous avons nivelé 15 puits choisis en fonction de la proximité d'une borne IGN et de l'intérêt du puits. Il a fallu rechercher sur internet, toutes les bornes présentes dans le secteur du Céou afin de repérer l'altitude exacte de ces bornes. Les altitudes sont données en mètre.

Puits nivelé	alt Référence	Code Borne IGN	Altitude base du puits (niveau du sol)	Altitude haut du puits (points de références)
Puits 01	76,054	K'.B.K3L3 - 14	71,990	73,063
Puits 03	78,898	K'.B.K3L3 - 16	74,958	76,028
Puits 05	82,688	K'.B.K3L3 - 18-I	79,133	79,283
Puits 07	91,653	K'.B.K3L3 - 22	87,913	88,589
Puits 08	91,653	K'.B.K3L3 - 22	91,540	91,985
Puits 10	98,98	K'.B.K3 - 85	100,934	101,612
Puits 11	99,878	K'.B.K3L3 - 27	96,757	97,492
Puits 14	117,717	K'.B.K3L3 - 35	112,954	113,172
Puits 15	131,453	K'.B.K3L3 - 44	131,500	131,532
Puits 17	136,272	K'.B.K3L3R3	133,270	134,440
Puits 18	142,734	K'.B.L3R3 - 8	141,946	142,772
Puits 21	160,076	K'.B.Q3R3 - 2	160,083	160,649
Puits 26	184,585	K'.B.Q3R3 - 10	183,439	184,330
Puits 27	184,585	K'.B.Q3R3 - 10	183,455	184,131
Puits 28	184,585	K'.B.Q3R3 - 10	187,534	188,214

Tableau 15 : Résultats de la campagne de nivellement sur les puits

Point nivelé	alt Référence	Code Borne IGN	altitude	Point de référence
Echelle Moulin neuf	73,063	Puits 01	70,659	Altitude haut de l'échelle (échelle mesure 1m)
Seuil sous le pont de Daglan	99,878	K'.B.K3L3 - 27	95,724	Seuil
Seuil au niveau du puits 14	117,717	K'.B.K3L3 - 35	112,655	Haut du seuil
			111,085	Fosse aval seuil
Echelle Jardel Bas (puits 15)	131,453	K'.B.K3L3 - 44	130,742	Altitude haut de l'échelle (échelle = 5 m)
Rivière au niveau du puits 17	136,272	K'.B.K3L3R3	129,436	Fosse sous le pont
Rivière au niveau du puits 21	160,076	K'.B.Q3R3 - 2	155,931	Droit de la borne sous le pont (dans l'eau)
Rivière au niveau des puits 26-27-28	184,585	K'.B.Q3R3 - 10	180,62	Endroit dans l'eau à la verticale de la borne

Tableau 16 : Résultats de la campagne de nivellement sur le Céou

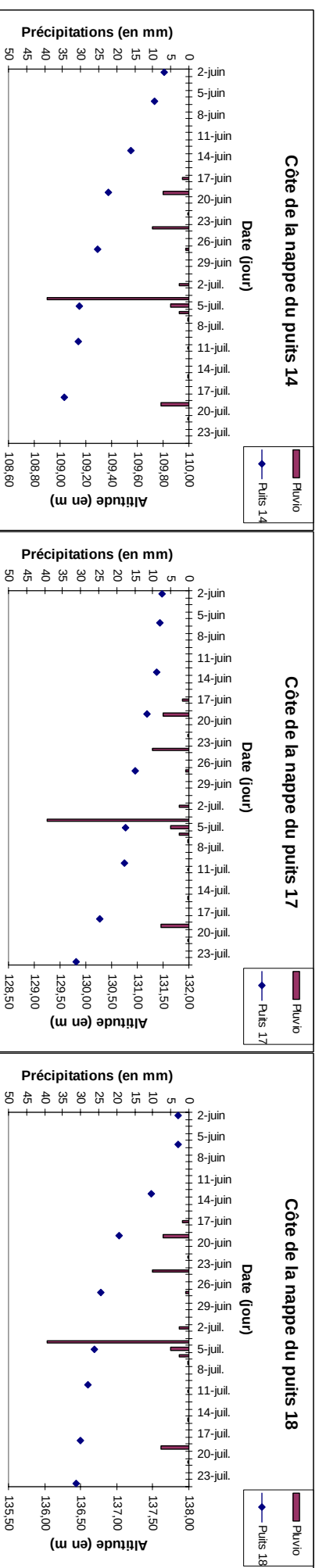
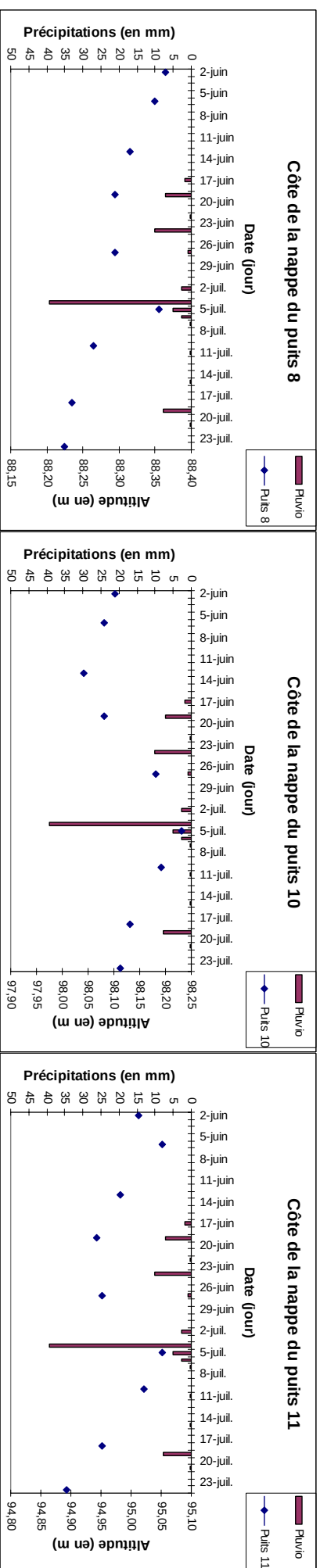
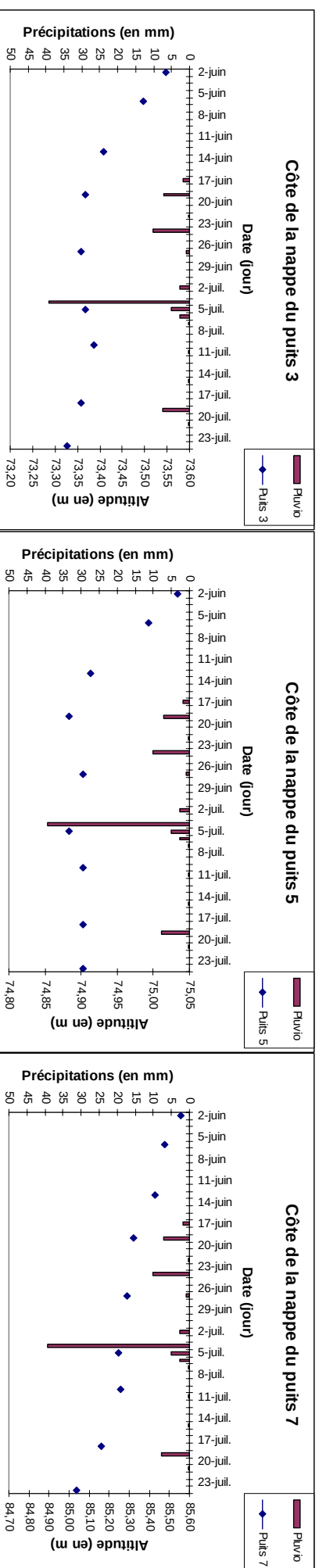
On obtient donc pour les puits nivelés les hauteurs piézométrique suivantes : on note que J= Jour et s= rabattement

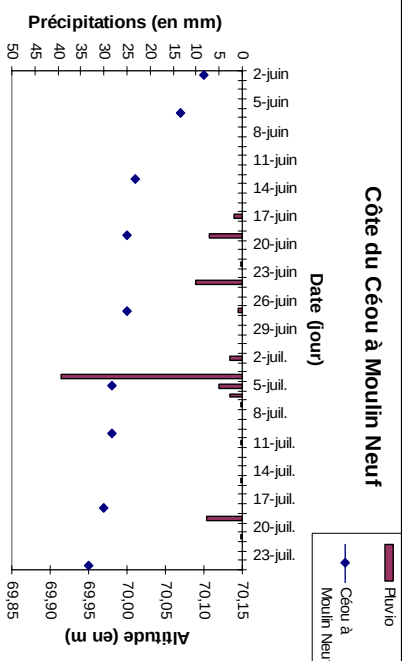
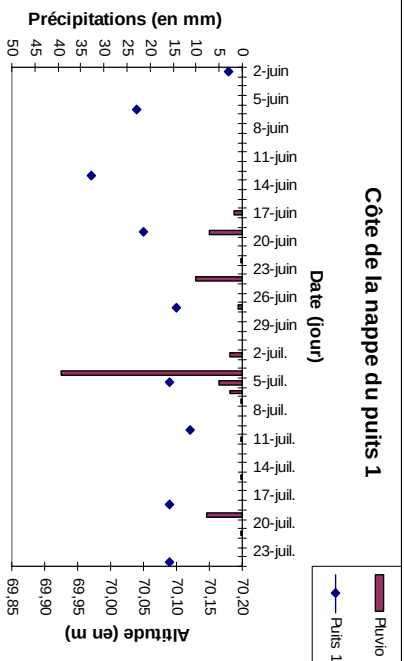
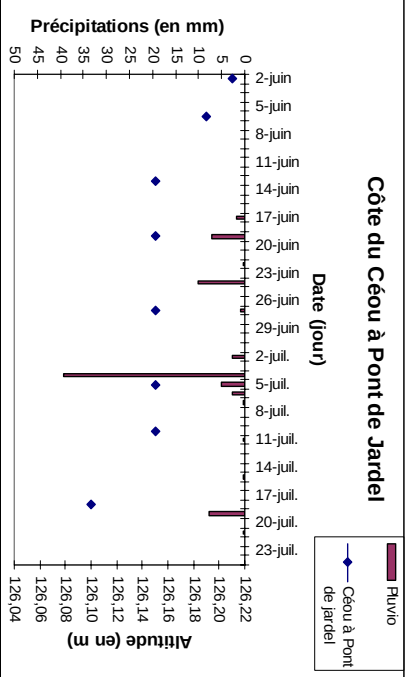
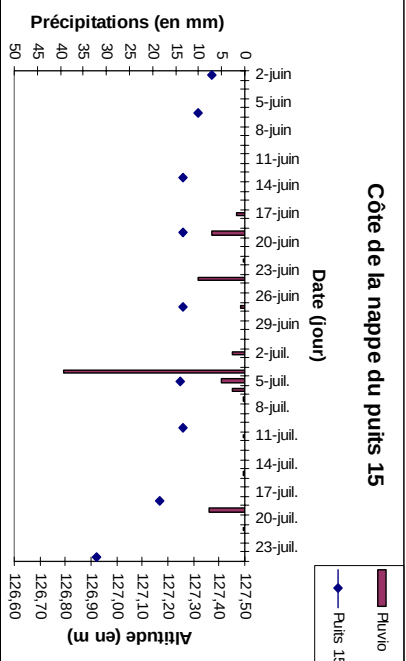
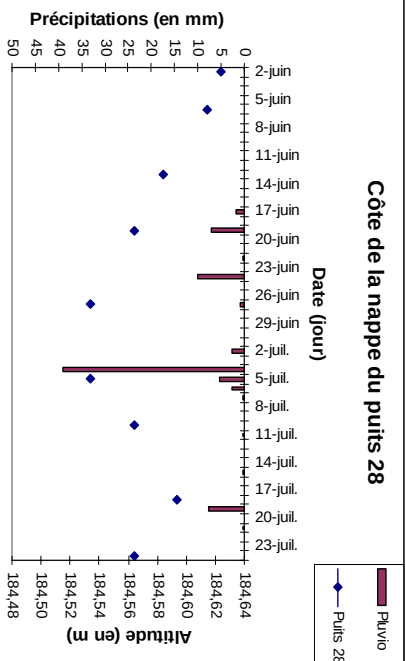
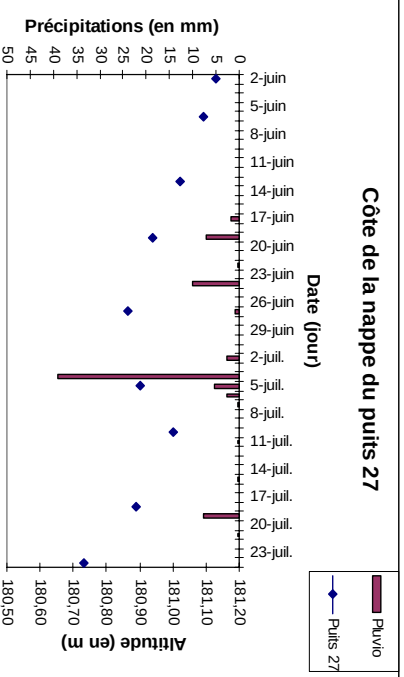
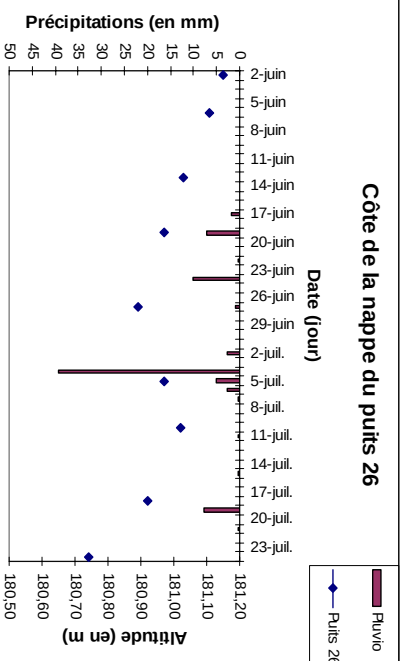
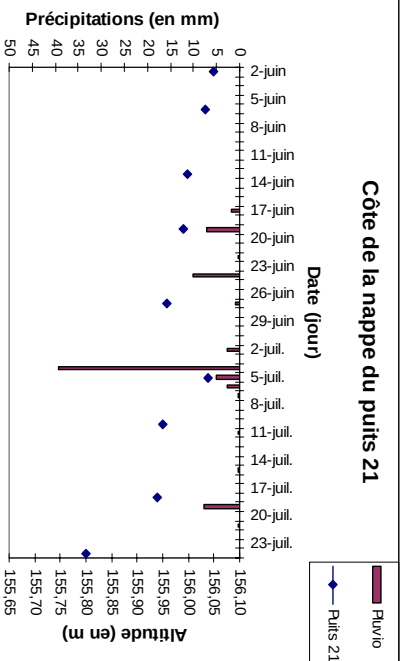
			J1		J2		s	J3		s	J4		s	J5		s
Id	Alt mesure	Alt sol	2-juin	alt nappe	6-juin	alt nappe	j2-j1	13-juin	alt nappe	j3-j2	19-juin	alt nappe	j4-j3	27-juin	alt nappe	j5-j4
1	73,063	71,99	2,88	70,18	3,02	70,04	0,14	3,09	69,97	0,07	3,01	70,05	-0,08	2,96	70,10	-0,05
3	76,028	74,958	2,48	73,55	2,53	73,50	0,05	2,62	73,41	0,09	2,66	73,37	0,04	2,67	73,36	0,01
5	79,283	79,133	4,25	75,03	4,29	74,99	0,04	4,37	74,91	0,08	4,40	74,88	0,03	4,38	74,90	-0,02
7	88,589	87,913	3,03	85,56	3,11	85,48	0,08	3,16	85,43	0,05	3,27	85,32	0,11	3,30	85,29	0,03
8	91,985	91,54	3,62	88,37	3,64	88,35	0,01	3,67	88,32	0,04	3,69	88,30	0,02	3,69	88,30	0,00
10	101,612	100,934	3,51	98,10	3,53	98,08	0,02	3,57	98,04	0,04	3,53	98,08	-0,04	3,43	98,18	-0,10
11	97,492	96,757	2,48	95,01	2,44	95,05	-0,04	2,51	94,98	0,07	2,55	94,94	0,04	2,54	94,95	-0,01
14	113,172	112,954	3,36	109,81	3,44	109,73	0,08	3,62	109,55	0,18	3,80	109,37	0,18	3,88	109,29	0,08
15	131,532	131,15	4,16	127,37	4,21	127,32	0,05	4,27	127,26	0,06	4,27	127,26	0,00	4,27	127,26	0,00
17	134,44	133,27	2,96	131,48	3,00	131,44	0,04	3,07	131,37	0,07	3,25	131,19	0,18	3,49	130,95	0,24
18	142,772	141,946	4,92	137,85	4,92	137,85	0,00	5,30	137,47	0,38	5,74	137,03	0,44	5,99	136,78	0,25
21	160,649	160,083	4,60	156,05	4,62	156,03	0,02	4,65	156,00	0,04	4,66	155,99	0,01	4,69	155,96	0,03
26	184,33	183,439	3,18	181,15	3,22	181,11	0,04	3,30	181,03	0,08	3,36	180,97	0,06	3,44	180,89	0,08
27	184,131	183,455	3,00	181,13	3,04	181,09	0,04	3,11	181,02	0,07	3,19	180,94	0,08	3,27	180,87	0,08
28	188,214	187,534	3,59	184,62	3,60	184,61	0,01	3,63	184,58	0,03	3,65	184,56	0,02	3,68	184,53	0,03

			J6		s	J7		s	J8		s	J9		s	s total
Id	Alt mesure	Alt sol	5-juil.	alt nappe	j6-j5	10-juil.	alt nappe	j7-j6	18-juil.	alt nappe	j8-j7	24-juil.	alt nappe	j9-j8	j9-j1
1	73,063	71,99	2,97	70,09	0,01	2,94	70,12	-0,03	2,97	70,09	0,03	2,97	70,09	0,00	0,09
3	76,028	74,958	2,66	73,37	-0,01	2,64	73,39	-0,02	2,67	73,36	0,03	2,70	73,33	0,03	0,22
5	79,283	79,133	4,40	74,88	0,02	4,38	74,90	-0,02	4,38	74,90	0,00	4,38	74,90	0,00	0,13
7	88,589	87,913	3,34	85,25	0,04	3,33	85,26	-0,01	3,43	85,16	0,10	3,55	85,04	0,12	0,52
8	91,985	91,54	3,63	88,36	-0,06	3,72	88,27	0,09	3,75	88,24	0,03	3,76	88,23	0,01	0,14
10	101,612	100,934	3,38	98,23	-0,05	3,42	98,19	0,04	3,48	98,13	0,06	3,50	98,11	0,02	-0,01
11	97,492	96,757	2,44	95,05	-0,10	2,47	95,02	0,03	2,54	94,95	0,07	2,60	94,89	0,06	0,12
14	113,172	112,954	4,02	109,15	0,14	4,03	109,14	0,01	4,14	109,03	0,11	sec	?	?	>0,78
15	131,532	131,15	4,28	127,25	0,01	4,27	127,26	-0,01	4,36	127,17	0,09	4,61	126,92	0,25	0,45
17	134,44	133,27	3,67	130,77	0,18	3,70	130,74	0,03	4,16	130,28	0,46	4,62	129,82	0,46	1,66
18	142,772	141,946	6,08	136,69	0,09	6,17	136,60	0,09	6,28	136,49	0,11	6,34	136,43	0,06	1,42
21	160,649	160,083	4,61	156,04	-0,08	4,70	155,95	0,09	4,71	155,94	0,01	4,85	155,80	0,14	0,25
26	184,33	183,439	3,36	180,97	-0,08	3,31	181,02	-0,05	3,41	180,92	0,10	3,59	180,74	0,18	0,41
27	184,131	183,455	3,23	180,90	-0,04	3,13	181,00	-0,10	3,24	180,89	0,11	3,40	180,73	0,16	0,40
28	188,214	187,534	3,68	184,53	0,00	3,65	184,56	-0,03	3,62	184,59	-0,03	3,65	184,56	0,03	0,06

Tableau 17 : Résultat des niveaux piézométriques et des rabattements des puits nivelés

Sur les 2 pages suivantes, on a reporté le niveau piézométrique de chaque puits en fonction des précipitations. Le régime de tarissement de la nappe n'est pas influencé pour la période s'étalant du 2 juin au 17 juin mais des précipitations intenses vont modifier le régime de vidange des puits. Par la suite, la pente de tarissement des puits pourra être calculée.





Commentaires des puits :

On précise que la pluviométrie indiquée est celle relevée à la station de Gourdon. Étant donné que nous avons déjà analysé la baisse des niveaux piézométriques et l'allure des courbes de tarissement dans la partie précédente, nous allons nous attarder sur l'altimétrie pour essayer de voir les relations possibles entre les nappes et la rivière. Le nombre de puits n'est pas assez élevé pour pouvoir réaliser une carte piézométrique mais ce nivellement permet de préciser la côte NGF des nappes au droit des puits.

Pour le secteur 1 :

Comme nous l'avons déjà dit, les puits 3, 5, 8, 10 et 11 sont situés dans la nappe d'accompagnement du Céou là où le cours d'eau reste en eau. Il est donc inutile de suivre le niveau des nappes ici. Par ailleurs, ils donnent une indication de l'état des réservoirs qui se traduit en règle général par une recharge relativement faible après des précipitations voir une absence de recharge et par une baisse peu importante des niveaux piézométriques. On peut donc considérer que les réserves sont assez bonnes ce qui permet de maintenir le Céou en eau.

Pour le puits 7, le niveau de la rivière n'a pas été mesuré et aucune mesure de débit n'a été réalisée à cet endroit. Il est donc difficile d'en déduire quoique ce soit. Cependant, on constate un rabattement de 0.3 m de la nappe entre 11 juillet et le 23 juillet. En fait, la pente de tarissement est constante entre le début des mesures et la fin des mesures. Nous avons juste un phénomène tampon dû aux précipitations du début juillet qui réduisent la vitesse de rabattement de la nappe pendant un moment. Après les précipitations, la nappe subit un fort rabattement pour retrouver le niveau qu'elle aurait eu sans précipitations. On est donc en régime influencé. On observe ce phénomène assez nettement pour les puits 3, 8 et 11. Le puits 7 subit le plus fort rabattement du secteur 1 (>0.5m) qui se traduit par un assèchement du Céou à la fin du mois de juillet (l'état des niveaux piézométriques étant intimement lié à l'état du niveau du Céou).

Pour le secteur 2 :

Dans le puits 14, on constate que la côte NGF mesurée sur le seuil est de l'ordre de 111 m. Le niveau piézométrique étant déjà inférieur à 110 m lors du début des mesures, l'eau ne passait pas le seuil. On peut donc savoir au niveau de ce seuil, si le Céou est en eau ou non grâce au niveau piézométrique. Pour pouvoir aller plus loin dans les conclusions, il faudrait pouvoir suivre régulièrement le niveau de la nappe en fonction du niveau d'eau dans le Céou avant que celui-ci ne s'assèche comme c'était le cas pour 2006. Ainsi, on aurait une hauteur d'eau dans le puits pour laquelle le Céou s'assèche ce qui pourrait être un bon outil de prévision des étiages.

Pour le puits 17, le niveau du fond du lit sous le pont a été mesuré à 129.5 m. Le Céou s'est asséché à cet endroit vers la fin du mois de juillet ce qui correspond bien au niveau où la nappe passe en dessous de la côte de la rivière. Le puits 17 permet donc de prévoir grâce au niveau de la nappe, le moment où le Céou va devenir à sec.

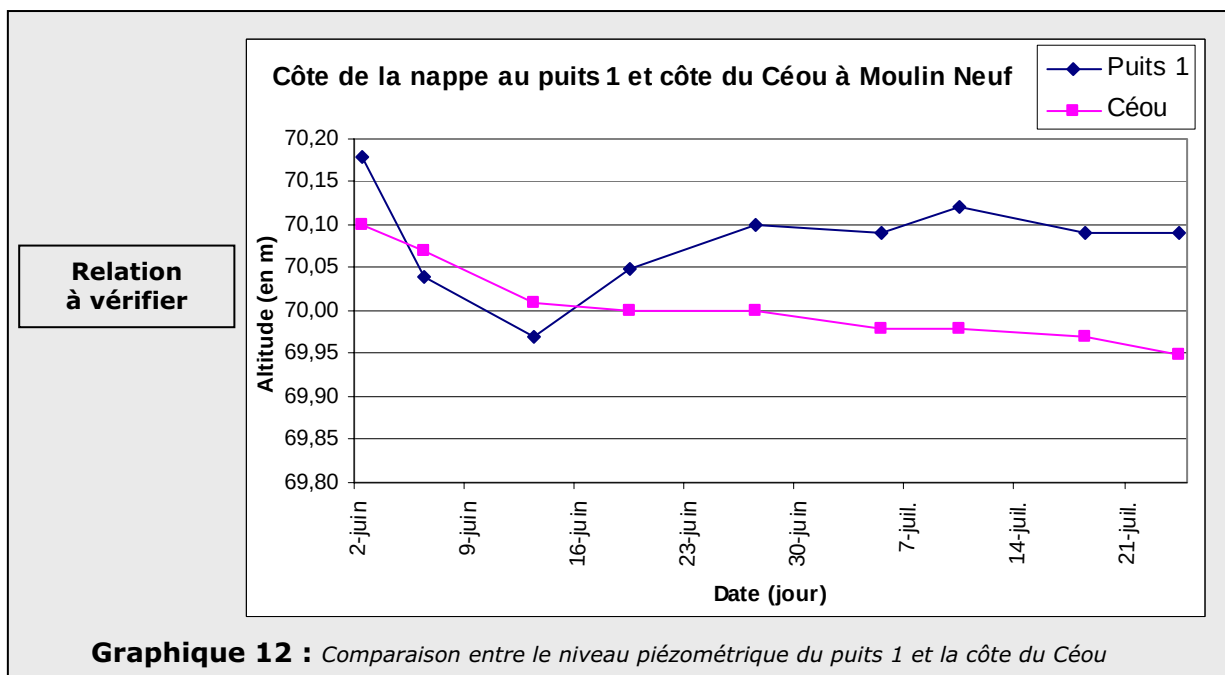
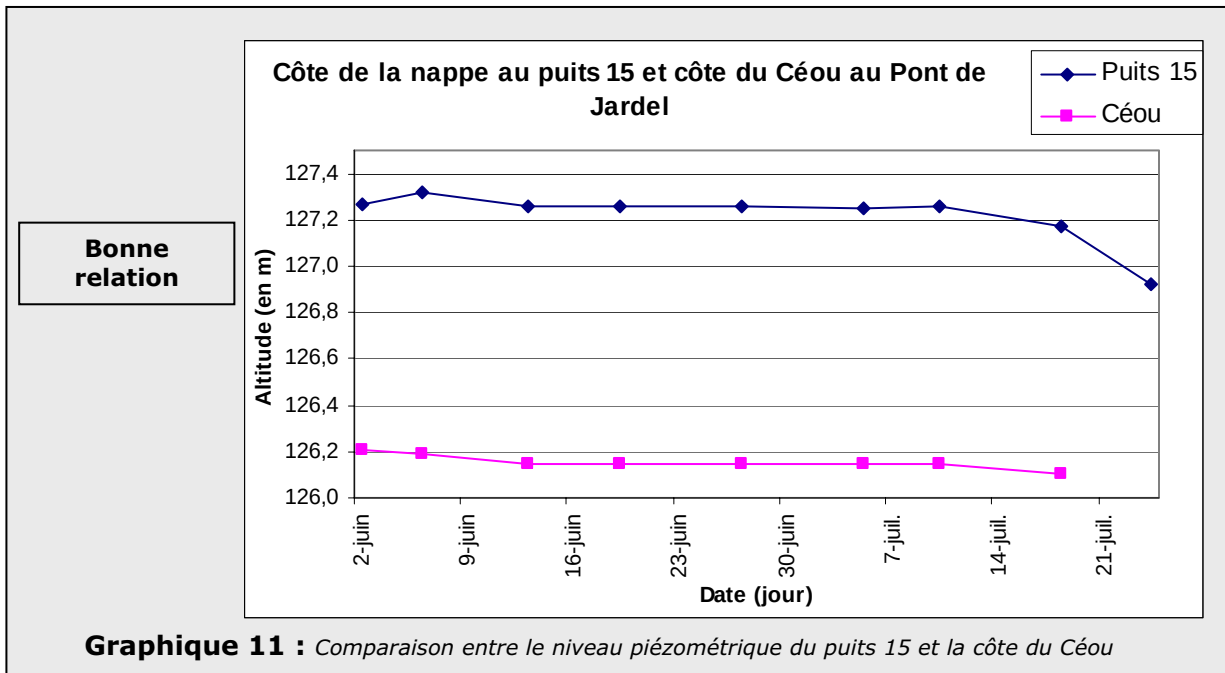
Pour le puits 18, nous n'avons pas pu niveler le lit du Céou. Nous ne pouvons donc pas mettre en relation le niveau piézométrique et la hauteur d'eau dans le Céou.

Pour le secteur 3 :

Pour les puits 26 et 27, nous avons mesuré la côte NGF du Céou en amont des puits et nous trouvons une valeur de 180.62 m. On sait que le Céou s'est asséché autour du 23 juillet. Les niveaux piézométriques du 24 juillet étaient de 180.74 m et 180.73 m. On a donc un niveau piézométrique qui va passer en dessous du niveau du Céou d'où un assèchement. On en déduit donc que le niveau piézométrique pour lequel le Céou s'assèche est de l'ordre de 180.70 m. On pourra donc désormais prévoir grâce à l'allure de la courbe de tarissement de la nappe, le temps qu'il reste avant un assèchement sur ce secteur.

La nappe piézométrique du puits 28 baisse de façon constante jusqu'aux précipitations de début juillet ou elle remonte de façon importante. Mais par le même phénomène que pour les puits 3, 7, 8, 11, le niveau d'eau dans le puits diminue tout aussi fortement ensuite pour retrouver son niveau initial. Malheureusement, nos mesures se sont arrêtées à la fin du mois de juillet donc nous n'avons pas pu observer encore d'assèchement dans ce secteur et donc le puits n'est pas exploitable.

Pour les puits 1 et 15, nous avons pu corrélérer la hauteur d'eau dans le Céou et le niveau piézométrique des nappes car les puits sont situés à côté des échelles de Moulin Neuf et de Pont de Jardel.



On constate **dans le premier cas** que le **puits 15** et la rivière réagissent de la même manière. Le niveau piézométrique du puits est supérieur à la côte du Céou donc la nappe alimente la rivière (sauf dans le cas d'une barrière hydraulique). On note qu'autour du 18 juillet, le Céou s'assèche et le niveau piézométrique s'effondre. On a donc une bonne relation entre le puits et la rivière, dès que le niveau piézométrique dans le puits diminue rapidement, le Céou s'assèche progressivement. En poursuivant les mesures, on pourrait penser que le niveau piézométrique passerait sous la côte de l'échelle. On peut tout de même conclure qu'à partir d'une côte de la nappe de 127,17, le niveau du Céou s'effondre et passe en dessous du niveau de base de l'échelle limnimétrique. Il reste alors moins de 2 semaines avant un assèchement total.

Dans le second cas, on précise que le **puits 1** est situé 150 m en amont de l'échelle ce qui peut expliquer le passage où le niveau dans le puits devient inférieur au niveau de la rivière. Mais on peut surtout penser qu'il y a eu un prélèvement d'eau provoquant un cône de rabattement autour du puits. Ce puits n'est donc pas exploitable ou alors il faudrait poursuivre les corrélations avec le Céou.

4.5.2 Conclusion

Cette campagne permet d'améliorer les connaissances du fonctionnement du Céou en étiage en apportant les données indispensables à la compréhension du comportement des nappes alimentant le Céou. Il serait judicieux à l'avenir d'effectuer la relation entre le débit et la hauteur d'eau dans les puits.

Les résultats de ce suivi montrent une chose très intéressante : on peut tout à fait mettre en relation la carte des assecs, les débits du Céou et les niveaux piézométriques entres eux. On constate que **le secteur médian, composé de calcaire Portlandien supérieur, est dans la majeure partie à sec**. Les niveaux piézométriques n'augmentent pas malgré les précipitations et les débits en font autant.

La pente de la courbe de récession des nappes est sensiblement identique suivant les secteurs en régime non influencé par les précipitations. Il pourrait donc être envisagé le calcul de ces coefficients de droite de récession pour pouvoir prévoir le niveau de la nappe dans t jours. Ceci pourra faire l'objet d'une étude complémentaire pour réaliser un outil de prévision d'étiage. Le stage a permis de réaliser une première base indispensable en répertoriant les puits, en sélectionnant les plus représentatifs et en interprétant une partie des données.

Au niveau de la sectorisation du cours d'eau, on a vu que les rabattements des nappes étaient semblables suivant les secteurs ce qui nous a permis de partager le Céou en 3 secteurs. Ces 3 secteurs sont identiques à ceux définis par l'hydrologie et par la géologie.

Pour le **premier secteur**, il n'est pas indispensable de suivre de puits car le Céou reste en eau. En effet la gestion de l'étiage pourra passer par un simple suivi de la hauteur d'eau à l'échelle de Moulin Neuf, un suivi des débits à St-Cybranet. Ensuite, les mesures de restrictions des prélèvements pour l'irrigation pourront être prises afin de retarder la baisse significative des débits. Par contre le **puits 7** du moulin de Cuzoul peut-être intéressant pour suivre l'assèchement du Céou au niveau du pont en aval de Daglan.

Pour le **secteur médian**, il serait judicieux de choisir 2 puits pour les 3 zones qui s'assèchent progressivement. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, les niveaux piézométriques sont liés au niveau d'eau du Céou et les puits réagissent de manière identique au tarissement du Céou. On peut donc aisément déterminer l'altitude de la nappe pour laquelle le Céou va s'assécher dans les prochaines semaines. Nous pourrions prendre **le puits 17, et le 15** qui est directement en relation avec la hauteur d'eau de la rivière.

Pour le **troisième secteur**, l'altitude des nappes à Concorès permet de déterminer le moment où le Céou va s'assécher dans cette zone. Il peut être intéressant de suivre le niveau d'un de ces deux puits afin de prévoir à l'avance l'assèchement.

A l'avenir, il serait intéressant de suivre les assèchements progressifs du Céou avec les niveaux des puits et les niveaux d'eau dans les rivières car les résultats ont montré qu'une forte baisse des niveaux piézométriques se traduisait par un assèchement du Céou.

Pour affiner les relations entre les nappes et les cours d'eau, il pourrait être intéressant de réaliser des mesures de nivellement sur le lit du Céou au droit des puits et de poursuivre l'analyse de ces puits sur un ou plusieurs cycles hydrologiques complet soit au moins une année.

5 Un outil pour la gestion du Céou en étiage ?

5.1 Les enjeux des prélèvements

5.1.1 Les prélèvements agricoles

Malgré le fait que l'étude réalisée par Antéa en 2000 soit soumise à beaucoup de critiques, nous baserons sur leurs travaux pour estimer l'impact des prélèvements agricoles. En effet, les chiffres dont nous disposons actuellement ne nous permettent pas d'être plus objectifs à ce sujet. Antéa a donc réalisé dans son étude, un calcul permettant d'estimer l'importance des prélèvements sur le débit naturel. Ils ont pour cela considéré que la majorité des prélèvements étaient destinées à l'irrigation des cultures (les prélèvements réalisées dans la nappe alluviale du Céou ne pouvant pas être pris en compte pour la réalisation de ce calcul car un nombre important des prélèvements réalisés dans la nappe alluviale sont non déclarés donc inconnus). La détermination du débit d'étiage du Céou sans les prélèvements agricoles a été effectuée de deux manières :

- A partir des données sur les prélèvements et sur les débits des mois de juillet, août et septembre de l'année 1996 ;
- En faisant la moyenne des débits d'étiage des années 1972 à 1975, années où les prélèvements agricoles étaient négligeables.

Le premier calcul aboutit à une valeur de 0.045 m³/s pour les prélèvements agricoles soit 15% du débit naturel d'étiage. En première approche, cette valeur relative de 15% peut paraître faible. Ce résultat doit être nuancé par les considérations suivantes :

- En l'absence de mesures directes (à partir de compteur), le volume effectif des prélèvements pour l'irrigation n'est qu'estimé. Il pourrait être en fait plus important dans la réalité car le débit nominal d'équipement de tous les pompages de la vallée du Céou uniquement en Dordogne c'est-à-dire jusqu'à Bouzic s'élève à 240 l/s (procédure mandataire Dordogne).
- La valeur de 15% représente un ratio moyen, rapport aux trois mois de la période estivale. Cette valeur peut donc être nettement supérieure en période d'assèchement maximum, ce qui correspond à un impact des prélèvements beaucoup plus significatif.
- En valeur relative, les prélèvements agricoles auront un impact beaucoup plus important dans le cours supérieur du Céou, où le débit d'étiage est très nettement inférieur à ce qu'il est en aval des résurgences à la station de St Cybranet.

Ce même calcul effectué pour les années 72 à 75 permet d'aboutir à un débit d'étiage sans prélèvements agricoles de l'ordre de 0.6 m³/s.

On peut donc dire que les prélèvements agricoles, même s'ils ne représentent pas un élément prépondérant de déficit hydrologique à l'échelle du bassin sur l'ensemble de la période estivale, peuvent néanmoins avoir un impact significatif. Ils constituent un phénomène aggravant pouvant engendrer des conflits d'usage. Les principales cultures arrosées sur le bassin sont le tabac, le maïs, les noyers et les fraises. Chaque été le constat est le même, les besoins insatisfaits concernent l'irrigation du maïs.

5.1.2 Les prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP)

En ce qui concerne l'alimentation en eau potable, on peut dire que les impacts directs sont plus limités en raison des prélèvements qui se font par pompage dans les nappes captives et phréatiques. Cependant, certaines communes utilisent des sources comme ressources principales. Le débit de celle-ci n'est donc plus restitué dans les cours d'eau, on constate parfois un impact sur les débits du Céou. Par exemple la source de Bouzic qui était captée pour l'AEP de Bouzic à 20 l/s. Le Céou ne recevait donc plus cet apport. On note qu'un peu moins de la moitié des prélèvements pour l'AEP proviennent de l'extérieur du bassin géographique du Céou via notamment un réseau de seconde génération qui prélève dans la Dordogne (Syndicat AEP de la Bouriane) et qui dessert le territoire Lotois du Contrat de Rivière et une commune de Dordogne.

5.2 Quelle gestion adoptée pour éviter les conflits ? Le PGE ?

Les plans de gestion d'étiage (PGE) sont recommandés par le SDAGE Adour Garonne pour les zones déficitaires telles que le bassin du Céou. Ces plans fixent les règles de partage de la ressource en situation de crise, avec les moyens de son contrôle. Le PGE définit notamment les zones sensibles, les débits minimaux et la réglementation des prélèvements.

Les zones sensibles du Céou sont surtout situées dans la partie amont du Céou, là où le cours d'eau s'assèche et où les prélèvements en eau superficielle sont importants du fait de l'absence de réseaux d'irrigation qui prélèvent l'eau dans la Dordogne et non dans le Céou.

Le débit d'objectif d'étiage (DOE) correspond à la valeur au-dessus de laquelle sont assurés la coexistence normale de tous les usages et le bon fonctionnement du milieu aquatique. Cette valeur est accompagnée de la définition d'une valeur du débit de crise (DCR) au-dessous de laquelle sont mises en péril l'alimentation en eau potable et la survie des espèces présentes dans le milieu. Ces deux valeurs de débit sont fixées par le SDAGE mais ne sont pas définies pour le bassin du Céou à ce jour. On estime tout de même que le débit d'étiage 2006 ($< 0.250 \text{ m}^3/\text{s}$) correspondrait à un stade où le débit du Céou est inférieur à la valeur du DCR, dans la mesure où la situation de crise existe. Il convient d'être prudent dans l'utilisation éventuelle de tels débits de référence sur le Céou puisque que comme nous l'avons vu précédemment dans cette étude, le débit de référence mesuré en un point aval du bassin (Moulin Neuf ou Saint-Cybranet) ne traduit que très partiellement l'état général du cours d'eau sur l'ensemble du bassin à cause des nombreuses pertes et résurgences. Dans la dernière partie, nous verrons que pour le Céou il est indispensable de définir plusieurs secteurs avec des débits de références pour chaque secteur.

En ce qui concerne le règlement des prélèvements, on suppose qu'il est peu probable que la totalité du Céou puisse présenter un écoulement en période d'étiage, néanmoins une sauvegarde partielle de certains secteurs serait déjà un bon résultat. En matière de gestion de crise, les exploitations agricoles du territoire sont soumises à des mesures de restriction progressive lorsque les débits ne permettent plus de satisfaire la demande. On distingue 2 cellules de crises « sécheresse » pour le Céou, une pour la partie Dordogne et l'autre pour la partie Lotoise. Ces cellules réunissent différents acteurs. Sont présents le Préfet, la MISE, la DDAF, EPIDOR, le Conseil Général, les agriculteurs, les fédérations de pêches et les associations de protection de la nature. Les restrictions de la Dordogne concernent le secteur allant de Castelnau à Bouzic et les restrictions du Lot s'appliquent pour le secteur en amont de Bouzic dans le département du Lot. Voici les mesures de restrictions qui ont été prises sur le Céou ces 2 dernières années :

	Pont de Rhodes	Florimont	Daglan	Saint Cybranet	Moulin neuf	date arrêté	restrictions
date	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)		
27/06/2005	0,098	?	?	0,562	0,569	01/07/2005	tour d'eau
04/07/2005	0,067	?	?	0,364	0,41	08/07/2005	3j/7
18/07/2005	0,037	0,024	?	0,15	0,308	21/07/2005	5j/7
25/07/2005	0,023		?	0,065	0,276	29/07/2005	7j/7 amont de Bouzic
08/08/2005	0,018		0,024	0,048	0,212	11/08/2005	7j/7
12/06/2006	0,038	0,064	0,126	0,361	0,377	16/06/2006	3j/7
26/06/2006	0,045	0,028	0,124	0,331	0,366	29/06/2006	5j/7 amont de Bouzic
04/07/2006	0,028	0,007	0,057	0,244	0,288	05/07/2006	7j/7 amont de Bouzic et 5j/7 aval
25/07/2006	0,030	0,000	0,037	0,084	0,262	26/07/2006	7j/7

Tableau 18 : restrictions sur le Céou en 2005 et 2006 (données EPIDOR)

5.3 Vers un outil de prévision et de suivi des débits d'étiage ?

Un des objectifs du stage était de suivre les débits sur le Céou pour pouvoir prendre des mesures de restrictions lors des réunions sécheresse. Cependant, le décalage entre la prise de décision pour les restrictions et la définition de l'arrêté préfectoral (une à deux semaines) fait que certaines restrictions totales sont prises alors que le Céou est déjà à sec. Pour éviter cela, il est indispensable de mieux comprendre le régime du Céou pour mettre en place des outils qui permettraient d'estimer des niveaux d'alertes et l'état de remplissage des réservoirs afin d'anticiper au mieux les situations de crise. Nous avons vu que le fonctionnement hydrologique du Céou n'est pas homogène sur tout le cours d'eau et que l'on peut distinguer 3 secteurs. Il est indispensable à l'avenir d'engager une gestion selon ces 3 secteurs.

5.3.1 Les outils de gestion de l'étiage apportés par le stage :

Les puits :

On note que les puits répertoriés et nivelés pourront servir de repère de niveau piézométrique des nappes d'accompagnement du Céou pour suivre l'état de remplissage et de vidange des réservoirs. Dans la partie centrale, le suivi des puits permettra de suivre le niveau piézométrique de la nappe d'accompagnement du Céou et donc de prévoir l'assèchement du Céou.

Pour assurer une gestion simple et rapide, le suivi des puits se situant à côté des secteurs qui ne s'assèchent pas comme le secteur 1 n'est pas nécessaire. Il faudra plutôt s'attarder sur le secteur central et une partie du secteur amont. Quelques puits ont déjà attiré notre attention mais les corrélations avec le niveau du Céou devront être poursuivies pour mieux cerner le comportement des nappes.

Les courbes de tarissement :

Cette étude a montré qu'il est possible à partir des courbes de récessions d'estimer les volumes de réserves c'est-à-dire le volume d'eau contenue dans la zone noyée du karst et qui sert d'alimentation des cours d'eau en étiage. Avec le coefficient de tarissement ainsi que la formule de vidange, on peut estimer quel sera le débit dans un temps t en régime non influencé par les précipitations. Ainsi il est possible si le comptage des prélèvements sur le Céou est fiable, de prévoir l'impact des prélèvements. On note que de part l'aspect morphologique du réservoir, qui est en fait une multitude de réservoir « en cascade », le volume dynamique de réserve n'est pas le même chaque année. Il est donc indispensable de poursuivre les travaux réalisés pendant ce stage sur plusieurs années pour pouvoir estimer un coefficient de tarissement et un volume dynamique moyen, en année sèche et en année pluvieuse.

Si on veut montrer un cycle de corrélation entre les débits et les puits, il faudrait travailler à l'échelle d'un cycle hydrologique et sur des secteurs intéressants. Il faut donc pour cela placer des échelles, faire une analyse comparée et monter un réseau de mesure qui a pour finalité d'obtenir un bon réseau d'observation. Au cours de mon stage, j'ai déjà répertorié le maximum de puits possibles, j'en ai nivelé une partie et j'ai commencé quelques études comparées et quelques analyses. La campagne de terrain aura occupé une bonne partie de mon temps.

5.3.2 Recommandations

Toutes les données récoltées pendant le stage n'ont pas pu être exploitées et une analyse fine de tous ces puits ainsi que des courbes de récession devront être faites. Suite à des problèmes que nous avons pu observer pendant toute la durée du stage, nous recommandons plusieurs choses pour les années à venir :

- Installation et contrôle de compteur sur les prélèvements directs sur le Céou pour quantifier les prélèvements sur le Céou.
- Etude d'influence à faire sur le forage agricole de Florimont-Gaumier qui ne prélève l'eau qu'à 14 m de profondeur dans la plaine alluviale du Céou (comme on l'a vu dans la partie hydrogéologie, des soutirages d'eau du Céou sont possibles).
- Des traçages devront être refaits à la place des colorations pour mieux comprendre les circulations souterraines. Ces campagnes n'ont pas pu être réalisées faute de moyen, de temps et de matériel.
- Une modélisation du réservoir souterrain peut-être envisagée.
- Un nombre important de culture fait partie de la catégorie culture spéciale comme le tabac et n'est pas soumis aux interdictions totales. Il serait plus judicieux de faire des cultures adaptées comme le sorgho à la place du maïs.
- Transfert de l'AEP si possible au moins pendant la période de l'étiage sur le réseau de seconde génération pour permettre une restitution des débits des sources dans le Céou et maintenir quelques secteurs en eau. Des négociations sont en cours entre l'animateur du Contrat de Rivière et le président du syndicat pour finaliser cette action.
- La ripisylve du Céou est composée de beaucoup de peupliers très gourmands en eau qui constitue un phénomène aggravant les étiages alors que les essences comme le frêne, le saule et l'aulne sont plus adaptées. Il pourrait être envisagé une recolonisation des berges par ces essences locales.

Conclusion

L'étude a mis en évidence que le Céou est soumis dans son intégralité aux influences du karst. En étiage, les eaux de surfaces disparaissent rapidement au profit d'écoulements souterrains, le débit observé en aval n'étant assuré que par des apports permanents issus de la Lousse et de sources importantes. On sait maintenant que l'assèchement du cours d'eau est quelque chose de naturel. A la fin de l'hiver, marqué par de très fortes crues, les réserves en eau s'épuisent rapidement. Il n'existe quasiment pas de restitution d'eau en étiage par les terrains situés au-dessus du niveau de base du Céou et de ses affluents. Les déficits chroniques observables tous les étés se traduisent par des assèchements partiels du Céou et de certains de ses affluents.

Nous avons en réalité un phénomène de désorganisation dans le karst. Ceci n'est pas une vision car le secteur de l'Abbaye-Nouvelle montre que tout le réseau de drainage se démantèle par une capture souterraine et par le développement d'un réseau de drainage profond. Cette interprétation repose notamment sur les anciennes colorations. Une campagne de traçages permettrait de confirmer toute cette interprétation.

Cependant, les prélèvements agricoles sont importants. Ces prélèvements ont un impact significatif sur le débit du Céou notamment en amont de Bouzic. Il existe donc un déséquilibre dans la gestion et le développement de la ressource en eau dans le bassin du Céou. Ces pénuries se traduisent par des conflits d'usage de l'eau entre, les agriculteurs d'une part, et les associations protectrices de l'environnement et fédérations de pêches d'autre part.

Cependant, malgré l'assèchement inévitable en période d'étiage sévère dans la partie amont et centrale du Céou, une gestion cohérente des prélèvements permettrait de retarder cet assèchement voire de l'éviter dans certains secteurs.

Les caractéristiques du fonctionnement du Céou sont maintenant mieux connues. Cette étude a permis d'améliorer les connaissances du fonctionnement karstique du Céou et a fait une première approche méthodologique des outils indispensables à l'élaboration d'un modèle de prévision d'étiage. Il est maintenant judicieux de créer un réseau de mesure adapté par la pose d'échelle limnimétrique et par le suivi des puits sélectionnés pendant un cycle hydrologique complet. Les volumes dynamiques des réserves et les coefficients de tarissement permettent quant à eux de prévoir un débit à un temps voulu si le régime n'est pas influencé. A terme, un modèle de prévision des débits d'étiage pourra être créé permettant de définir des niveaux d'alertes pour les 3 secteurs ayant un fonctionnement hydrologique différent. Ce modèle pourra intégrer les précipitations. Les seuils de niveaux d'alerte pourront être définis par un débit mais aussi par un niveau. Cependant, de part l'hétérogénéité du système, cette gestion devra passer par la définition de plusieurs indicateurs.

Les débits du Céou pourront alors être prévus à l'avance et les restrictions de prélèvement ne seront pas prises en période de crise. Le Débit d'Objectif d'Etiage du Céou envisagé à la station de Saint-Cybranet aura comme valeur 450 l/s. Les restrictions totales seront prises quant à elles à partir d'un débit inférieur à 220 l/s.

Il faut signaler que le type d'agriculture dans la vallée du Céou n'est pas adapté à la quantité d'eau disponible dans le bassin versant en étiage. Il serait plus judicieux de faire des cultures adaptées au bassin versant du Céou. De même, la ripisylve du Céou devrait être composée d'essences locales moins consommatrices d'eau.

Critiques du stage

Lors de ce stage j'ai pu mettre en valeur mes qualités d'autonomie, de polyvalence et d'initiative. J'ai décidé d'aborder le sujet de façon très opérationnelle : une première étape indispensable a été consacrée à la bibliographie et à l'analyse des cartes géologiques. Parallèlement, j'ai mis en œuvre une campagne de terrain adaptée avec d'une part, des mesures de débit pour mieux cerner le fonctionnement hydrologique du bassin et d'autre part, des mesures sur les puits pour le suivi des nappes souterraines.

Ce stage m'aura donc permis de mettre en application les différentes compétences d'hydrogéologue assimilées lors de mon année universitaire :

- Nivellement
- Manipulation d'outil type courantomètre, sonde piézométrique, niveau de géomètre
- Cartographie SIG sous Géoconcept
- Etude des forages et sondages, hydrogéologie, géomorphologie...

Les données que j'ai collectées sur le terrain ont permis de dresser un bilan hydrologique hebdomadaire qui a été présenté lors des cellules sécheresse du département de la Dordogne et du Lot. Ces cellules de crises ont été pour moi l'occasion de préciser la réalité de la situation hydrologique d'un bassin versant notamment en ce qui concerne la pression des usages tels que l'irrigation. Après une large concertation des mesures de restrictions ont été engagées par le Préfet afin de mettre en adéquation la ressource et les usages. Il était donc très important de s'assurer de la fiabilité et de la cohérence de nos données.

Au cours de ce stage j'ai donc pu :

- Participer à des réunions techniques
- Organiser de nombreuses campagnes de terrain ;
- Confronter avec la vision des riverains, des gestionnaires et des décideurs locaux
- Partager des données et des informations ;
- Ebaucher la base d'un outil de gestion de l'étiage du Céou (travail préparatoire) ;
- Partager l'expérience d'une personne référente en hydrogéologie

J'ai pu valoriser mes compétences d'hydrogéologue en étudiant un système karstique très vaste, en apprenant à utiliser les outils indispensables à sa compréhension et en communiquant avec l'ensemble des acteurs concernés sur le territoire.

Au final, j'ai apporté une compétence en hydrogéologie à un établissement non spécialisé dans ce domaine. Par contre l'établissement m'a permis de tester la gestion de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant dont je n'avais pas appréhendé l'importance et qui me paraît aujourd'hui primordiale.

Table des figures, graphiques, cartes et tableaux

Figure 1 : <i>Paysage karstique (Agence de l'eau 1999)</i>	8
Figure 3 : <i>Echelle des temps géologiques</i>	13
Figure 4 : <i>Coupe SW-NE du bassin du Céou (Carte géologique de Gourdon au 1/50 000è)</i>	13
Figure 5 : <i>profil en long du Céou</i>	27
Figure 6 : <i>Illustration de la modélisation d'une courbe de récession</i>	34
Figure 7 : <i>Carte de localisation des pertes et bulides (zones d'arrivées d'eau) – (FRADET – 1985)</i> ..	41
Figure 8 : <i>Source issue d'une vallée sèche : source de Peyretailade (source : P. FRADET)</i>	44
Figure 9 : <i>Source Portlandienne : cas de la source de Bouzic (sans échelle) (source P. FRADET)</i> ..	45
Graphique 1 : <i>Débit à Moulin neuf en 2006 en fonction des précipitations à Gourdon</i>	19
Graphique 2 : <i>Courbe de Débit sur différentes stations du Céou</i>	20
Graphique 3 : <i>Débits différentiels du Céou en 2006</i>	21
Graphique 4 : <i>Courbe de tarage de la station de Moulin Neuf</i>	22
Graphique 5 : <i>Courbe de tarage pour les hauteurs d'eau comprises entre 0.25 et 0.54cm</i>	23
Graphique 6 : <i>courbe des débits spécifiques sur le Céou</i>	30
Graphique 7 : <i>Courbe de récession 2006 à Moulin Neuf</i>	35
Graphique 8 : <i>Comparaison entre les puits du secteur 1 (Castelnaud-Bouzic)</i>	51
Graphique 9 : <i>Comparaison entre les puits du secteur 2 (Bouzic-confluence Bléou/Céou)</i>	53
Graphique 10 : <i>Comparaison entre les puits du secteur 3 (Confluence Bléou/Céou-Montfaucon)</i> ..	55
Graphique 11 : <i>Comparaison entre le niveau piézométrique du puits 15 et la côte du Céou</i>	62
Graphique 12 : <i>Comparaison entre le niveau piézométrique du puits 1 et la côte du Céou</i>	62
Carte 1 : <i>Bassin versant du Céou et de ses émissaires karstiques Germaine et Tournefeuille</i>	5
Carte 2 : <i>Carte géologique simplifiée du bassin du Céou, de la Germaine et du Tournefeuille</i>	14
Carte 3 : <i>Réseau hydrographique et stations de jaugeages (sources IGN/AEAG BDCarthage)</i>	16
Carte 4 : <i>Localisation des stations de mesure de débit 2006</i>	18
Carte 5 : <i>Carte des assecs du Céou lors de l'étiage 2006 (Août 2006)</i>	25
Carte 6 : <i>Carte des bassins versants de la Base de Donnée BD Carthage</i>	26
Carte 7 : <i>Délimitation des sous-bassins hydrographiques</i>	27
Carte 8 : <i>climatologie du bassin Céou (Sources : IGN/AEAG « BDCarthage », Météo-France)</i>	32
Carte 9 : <i>Carte des colorations qui mettent en évidence différentes captures souterraines</i>	43
Carte 10 : <i>Carte de la localisation des principales sources sur le bassin du Céou</i>	47
Carte 11 : <i>Localisation des puits étudiés</i>	50
Carte 12 : <i>Localisation des puits du secteur 1</i>	52
Carte 13 : <i>Carte de localisation des puits du secteur 2</i>	54
Carte 14 : <i>Carte de localisation des puits du secteur 3</i>	56
Tableau 1 : <i>Répartition des tâches</i>	7
Tableau 2 : <i>Coordonnées des stations de mesure de débit</i>	17
Tableau 3 : <i>Résultats de la campagne de mesure de débit 2006 (du 3 février au 12 juin)</i>	18
Tableau 4 : <i>Résultats de la campagne de mesure de débit 2006 (du 16 juin au 14 août)</i>	19
Tableau 5 : <i>Corrélation entre les différentes stations et la station de Moulin Neuf</i>	21
Tableau 6 : <i>Correspondance entre Hauteur et débit</i>	22
Tableau 7 : <i>Liste des bassins hydrologiques de référence concernés</i>	26
Tableau 8 : <i>Taille des sous-bassins (en km²)</i>	27
Tableau 9 : <i>Les stations de jaugeage sur le territoire du Céou (localisation sur carte 3)</i>	28
Tableau 10 : <i>Données hydrologiques de synthèse à Saint-Cybranet (Site internet Banque Hydro)</i> ..	29
Tableau 11 : <i>Modules d'écoulement spécifique</i>	30
Tableau 12 : <i>Tableau récapitulatif des valeurs</i>	36
Tableau 13 : <i>Volume dynamique par km²</i>	36
Tableau 14 : <i>Principales sources sur le secteur d'étude</i>	46
Tableau 15 : <i>Résultats de la campagne de nivellement sur les puits</i>	57
Tableau 16 : <i>Résultats de la campagne de nivellement sur le Céou</i>	58
Tableau 17 : <i>Résultat des niveaux piézométriques et des rabattements des puits nivelés</i>	58
Tableau 18 : <i>restrictions sur le Céou en 2005 et 2006 (données EPIDOR)</i>	65

Bibliographie

AGENCE DE L'EAU, juin 1999 - Guide Technique n°3, Connaissance et Gestion des Ressources en Eaux Souterraines dans les Régions Karstiques.

ANTEA, avril 2000 - Gestion quantitative des ressources en eau du Bassin du Céou, Rapport provisoire, 95 p.

BURGEAP, octobre 1974 – Prospection des ressources en eau souterraine en BOURIANE - Rapport préliminaire, 14 p.

BURGEAP, 1974 - étude n° 1326 – Compagnie de Prospection Géophysique Française - Vallée du Céou – prospection électrique.

BIO-SUB (Expertise Scientifique Subaquatique), juillet 1998 - Contrat d'Etude n° 98-3, La Grotte dite « Trou du Vent » - Commune de Bouzic (Dordogne), 19 p.

BIO-SUB (Expertise Scientifique Subaquatique), novembre 1999 - Analyse de la qualité des eaux de surface dans le bassin du Céou, de la Germaine et du Tournefeuille, 89 p.

BRGM Editions, 2006 - Aquifères et eaux souterraines, 944 p.

CALLIGEE (Sciences et Techniques Géologiques), décembre 2000 - Etude préalable à la définition des périmètres de protection - Captage de Daglan - Rapport provisoire, 47 p.

CALLIGEE, avril 2001 - Pré-Etude Bibliographique sur les Caractéristiques et le Fonctionnement Hydrogéologique du Massif du Frau, 33 p.

CHAMBRE D'AGRICULTURE DORDOGNE, 2003 - Création de la ressource - Bassin versant du Céou, 11 p.

EPIDOR, 2001 - Contrat de rivière Céou - Dossier Définitif, 123 p.

EPIDOR, 1997 - Contrat de rivière Céou - Dossier Sommaire, 33 p.

FOUCAULT A., RAOULT JF., 1988 - Dictionnaire de Géologie, 3^e éd., Ed. Masson.

FRADET P., 1985 - Etude Hydrogéologique du Bassin Aval du Céou - Recherche d'Eaux Souterraines destinées à l'Irrigation, 145 p.

MARCHET P., 1991 - Approche de la structure et de l'évolution des systèmes aquifères karstiques par l'analyse de leur fonctionnement : Application au NW du Causse de Martel (Quercy - France), 326 p.

Sites Internet :

<http://www.hydro.eaufrance.fr/accueil.html>

<http://www.spdiren.coliane.fr>

<http://www.meteociel.fr>

<http://infoterre.brgm.fr>

Cartes :

Cartes Géologiques au 1/50 000ème (BRGM) : N° 832 (Gourdon) ; N° 833 (Gramat), N° 856 (Puy-l'Evêque) ; N° 857 (Saint-Géry).

Annexes