



Projet Water And Territories

Application au bassin versant de la Pimpine (33) Complément de caractérisation du bassin versant

Rapport final

BRGM/RP-60385-FR

Octobre 2011



Projet Water And Territories

Application au bassin versant de la Pimpine (33)

Complément de caractérisation du bassin versant

Rapport final

BRGM/RP-60385-FR

Octobre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 10EAUK02

Corbier P. et Durst P.

Vérificateur :

Nom : A. WUILLEUMIER

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : N. PEDRON

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original
signé est disponible aux archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AF AQ ISO 9001:2008



Mots-clés : débits, Entre-Deux-Mers, ETP, Gironde, modélisation, piézométrie, Pimpine, pluviométrie, TEMPO

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Corbier P. et Durst P. – Projet Water and Territories. Application au bassin versant de la Pimpine (33). Complément de caractérisation du bassin versant, 36 pages, 19 illustrations, 2 annexes.

© BRGM, 2011. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du Conseil Général de la Gironde et du BRGM.

Synthèse

Le projet européen Water and Territoires (WAT) piloté par le Conseil Général de la Gironde est un projet de coopération transnationale INTERREG inscrit dans la programmation 2007-2013 de l'espace sud-ouest européen (SUDOE). Il a eu pour objectif de mutualiser les connaissances en matière de gestion intégrée de la ressource en eau et d'aménagement du territoire et de proposer des solutions stratégiques pour une bonne gestion des ressources en eau en intégrant les acteurs et les outils de l'aménagement du territoire.

La mise en œuvre de ces stratégies sur le bassin versant de la Pimpine (Gironde) s'est traduite par des investigations relatives à la pertinence de la récupération de l'eau de pluie et a abouti à la rédaction de 4 rapports. Afin de respecter au mieux la méthodologie définie suite à la réunion de coordination qui s'est déroulée à Séville en janvier 2010, le premier rapport (BRGM-RP-58786-FR) a concerné la caractérisation du territoire, tandis que le deuxième (BRGM-RP-59518-FR) a concerné les outils spécifiques à la maîtrise de la demande en eau.

Sur la base de ce dernier rapport, un troisième document (BRGM-RP-60163-FR) a été rédigé. Il est dédié à l'analyse socio-économique basée sur différents scénarios. Le présent document correspond au quatrième rapport rédigé par le BRGM dans le cadre du projet WAT (complément de caractérisation du territoire basé sur une approche de modélisation à l'aide du logiciel TEMPO).

La démarche a consisté en une analyse préalable des données, la mise en œuvre d'analyses corrélatoires, une analyse des débits classés et une modélisation TEMPO proprement dite. L'étude a mis en évidence les réactions rapides du cours d'eau aux épisodes pluvieux et le caractère plus inertiel des systèmes aquifères ainsi que l'influence des bassins écreteurs de crue et des rejets de STEP dans la Pimpine.

Dans ces conditions, la modélisation du débit a été délicate. Les meilleurs calages – effectués sur une durée de 2 ans grâce à une méthode analogique de la piézométrie – ont été obtenus en fixant la composante rapide de l'écoulement à 2 jours et 30 jours, les apports plus lents étant représentés par une chronique piézométrique intervenant en entrée de la modélisation.

Il est risqué de généraliser les résultats obtenus avec des chroniques piézométriques relatives à 2 cycles hydrologiques mais il semblerait que le débit de la Pimpine soit exclusivement lié aux apports de la nappe et aux rejets des STEP lors de la période estivale. Le reste de l'année, ces derniers représenteraient en moyenne 58 % des apports.

La poursuite des enregistrements sur une période de 3 à 4 ans supplémentaires ainsi que la prise en compte des rejets de STEP (sous forme de débits journaliers) pourraient contribuer à améliorer la robustesse des résultats. Elle ne constitue toutefois pas un préalable nécessaire à la mise en place d'un programme de réduction de la consommation d'eau sur le bassin versant dont le bienfondé a été démontré dans l'analyse socio-économique.

Sommaire

1. Introduction.....	7
1.1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE.....	7
1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	8
1.3. CONTENU DE L'ETUDE.....	10
2. Fonctionnement de l'hydrosystème	11
2.1. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES.....	11
2.1.1.Données climatiques	11
2.1.2.Données hydrométriques	13
2.1.3.Données piézométriques.....	16
2.2. APPROCHE FONCTIONNELLE	18
2.2.1.Principe	18
2.2.2.Résultats	19
2.3. ANALYSE DES DEBITS CLASSES	24
2.3.1.Principe	24
2.3.2.Résultats	24
2.4. MODELISATION TEMPO.....	26
2.5. BILAN	31
3. Conclusion	33
4. Bibliographie.....	35

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation des bassins versants tests du projet WAT.....	7
Illustration 2 : Organigramme de la méthodologie commune à adopter sur les sites pilotes.....	9
Illustration 3 : Pluies journalières et annuelles à Latresne (période 2000-2011)	12
Illustration 4 : Pluies mensuelles à Latresne (période 2010-2011)	13
Illustration 5 : Débits journaliers de la Pimpine à Cénac (période 2000-2011)	14
Illustration 6 : Débits de la Pimpine à Cénac et Sadirac (période 2010-2011)	14
Illustration 7 : Etude de la corrélation entre les débits (en m ³ /s) de la Pimpine à Cénac et à Sadirac.....	15
Illustration 8 : Localisation des piézomètres suivis et évolution des niveaux d'eau en fonction des précipitations à Latresne	17
Illustration 9 : Corrélogramme des pluies de Latresne	19
Illustration 10 : Auto-corrélogrammes des niveaux piézométriques	21
Illustration 11 : Auto-corrélogramme des débits à Cénac	21
Illustration 12 : Corrélogrammes croisés pluies/niveaux piézométriques	22
Illustration 13 : Corrélogramme croisé pluies/débit de la Pimpine (corrélogramme complet et zoom sur les 15 premiers jours).....	23
Illustration 14 : Débits classés de la Pimpine à Cénac	25
Illustration 15 : Modèle pluies-ETP-débits (chronique complète et zoom sur la période 2006-2010).....	27
Illustration 16 : Comparaison des chroniques piézométriques	29
Illustration 17 : Comparaison des cotes piézométriques relatives aux forages du Pout (08281X0017) et de Lignan (08274X0031).....	30
Illustration 18 : Modélisation du débit à Cénac en fonction des niveaux observés sur le piézomètre du Pout.....	30
Illustration 19 : Contributions relatives mensuelles de la pluie et de la nappe au débit de la Pimpine	31

Liste des annexes

Annexe 1 : Principes du logiciel TEMPO	37
Annexe 2 : Caractéristiques des ouvrages équipés d'enregistreurs de niveau	41

1. Introduction

1.1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE

Le projet européen Water and Territoires (WAT) piloté par le Conseil Général de la Gironde est un projet de coopération transnationale INTERREG inscrit dans la programmation 2007-2013 de l'espace sud-ouest européen (SUDOE).

Il a eu pour objectif de mutualiser les connaissances en matière de gestion intégrée de la ressource en eau et d'aménagement du territoire et de proposer des solutions stratégiques pour une bonne gestion des ressources en eau en intégrant les acteurs et les outils de l'aménagement du territoire.

Dans le cadre de ce projet, le Conseil Général de la Gironde s'est associé au Département de l'Hérault et à EPIDOR (EPTB Dordogne), à 5 collectivités espagnoles et portugaises ainsi qu'à 14 partenaires (établissements publics & organismes de gestion de l'eau) dont le BRGM pour étudier les synergies possibles entre politique d'aménagement du territoire et politique de l'eau sur 7 bassins versants (cf. Illustration 1) dont celui de la Pimpine en Gironde (33).

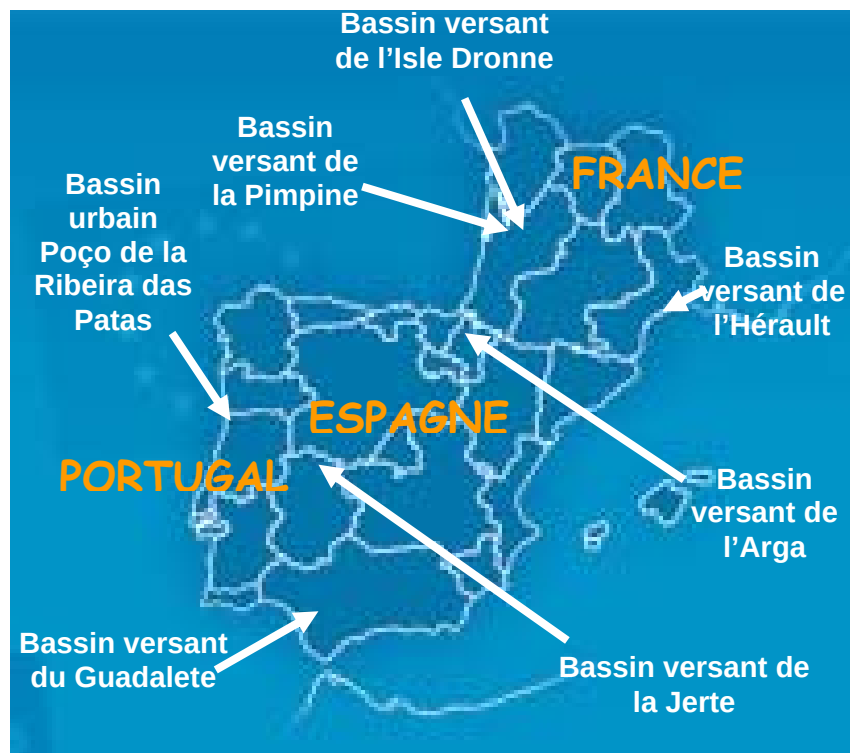


Illustration 1 : Localisation des bassins versants tests du projet WAT

Les études qui ont été menées sur ces zones tests s'inscrivent dans les 2 axes thématiques principaux suivants : la mobilisation et l'utilisation de nouvelles ressources (eaux brutes, eaux usées traitées, eaux de pluie...) et/ou les économies d'eau (eau potable, milieu rural, effets de la tarification...).

Le projet a été officiellement lancé les 17 et 18 juin 2009 à l'occasion d'un séminaire qui s'est déroulé à Montpellier.

Une deuxième réunion qui s'est tenue à Séville les 27, 28 et 29 janvier 2010 a permis de mettre en commun les connaissances et les savoir-faire de chaque partenaire en matière de gestion de l'eau et a abouti à la définition d'un cadre méthodologique commun (cf. Illustration 2).

La troisième réunion qui s'est tenue à Porto du 27 au 29 octobre 2010 a permis de faire le point sur l'avancement des Groupes de Tâches GT1 (coordination), GT5 (création d'une base de données et d'un tableau de bord), GT6 (évaluation et suivi) et GT7 (communication). Les partenaires ont aussi présenté les premiers résultats et les actions en attente de réalisation et participé à un atelier de démonstration de l'application de la grille RST02 (outil qui permettra à chacun d'évaluer sa stratégie au regard des critères du développement durable sur les territoires). La troisième journée a été réservée au Comité Directeur et aux ateliers bilatéraux.

Lors de la quatrième réunion qui s'est tenue à Pampelune du 11 au 13 mai 2011, les délais pour le rendu des travaux du GT3 et l'analyse de tous les résultats ont respectivement été fixés à fin juin et septembre 2011. Il a aussi été demandé aux différents partenaires de réaliser un arbre de décision destiné à se poser les questions incontournables par chacun des cas d'étude.

Au terme du projet, une base de données sera mise en place pour rassembler les résultats obtenus sur tous les sites pilotes. Ces derniers, s'ils sont concluants, pourront être transposés à d'autres bassins versants.

1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le projet WAT a visé à mettre en place des politiques de gestion intégrée des ressources en eau auprès des particuliers, des collectivités et des professionnels sur les bassins versants pilotes. Dans le cas de la Pimpine (33), il s'est agi d'évaluer la **pertinence de la récupération de l'eau de pluie** pour tous les types d'usages et son impact sur la ressource en eau.

Le choix de ce territoire situé dans l'Entre-deux-Mers et d'une superficie restreinte (52 km²) a été conditionné par la coexistence de plusieurs problématiques. En effet, le bassin versant de la Pimpine a connu lors de ces 20 dernières années une urbanisation grandissante ainsi que des épisodes de sécheresse et d'inondations. Le cours d'eau présente une qualité d'eau peu satisfaisante en raison de pollutions domestiques. Le bassin versant est aussi implanté au sein du « domaine minéralisé », secteur où la nappe de l'Eocène présente une minéralisation plus élevée qu'ailleurs pouvant la rendre impropre à la consommation (en raison de fortes teneurs en sulfates, chlorures, fluor...).

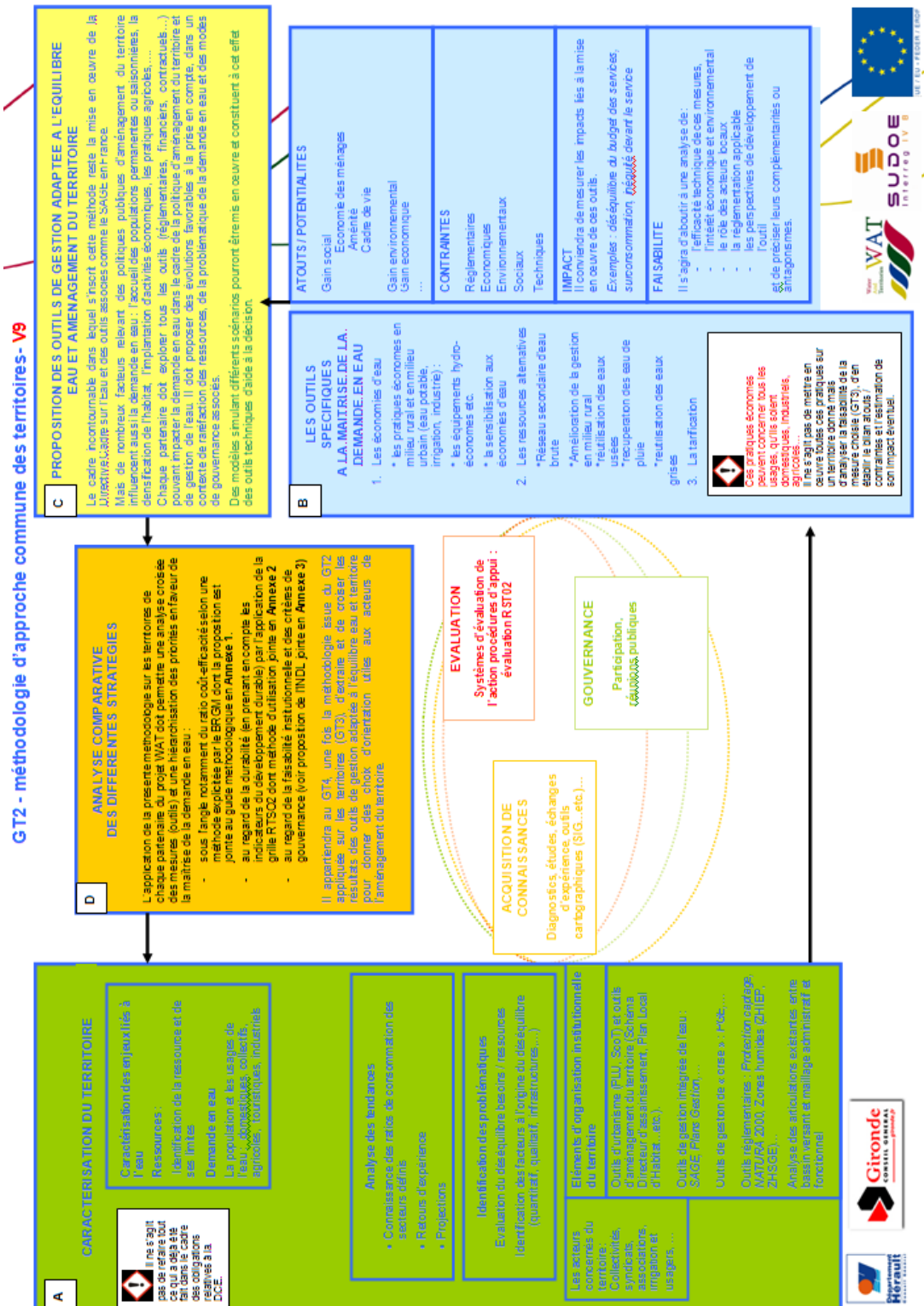


Illustration 2 : Organigramme de la méthodologie commune à adopter sur les sites pilotes

Le bassin versant est enfin situé dans la zone CENTRE du SAGE « Nappes profondes de Gironde », zone déficitaire en terme de ressources souterraines qui a été définie comme prioritaire pour la mise en œuvre de ressources de substitution.

1.3. CONTENU DE L'ETUDE

Afin de respecter au mieux la méthodologie définie suite à la réunion de Séville (cf. Illustration 2), un premier rapport relatif à la caractérisation du territoire (bloc A) a été rédigé en août 2010 (rapport BRGM-RP-58786-FR). La lecture de ce rapport est un préalable indispensable à celle du document présent.

Un second rapport a été rédigé en mars 2011 (rapport BRGM-RP-59518-FR). Il concerne les outils spécifiques à la maîtrise de la demande en eau (bloc B) et s'articule autour de 4 parties relatives aux atouts et potentialités de la récupération des eaux de pluie, aux contraintes, aux impacts et à la faisabilité d'une telle démarche.

Sur la base de ce rapport, un troisième document a été rédigé par le BRGM Montpellier (rapport BRGM-RP-60163-FR). Il concerne le bloc C de la méthodologie (analyse socio-économique basée sur différents scénarios).

Le présent document correspond au quatrième rapport rédigé par le BRGM dans le cadre du projet WAT. Il fait état du fonctionnement de l'hydrosystème appréhendé au moyen du logiciel TEMPO (complément de caractérisation du territoire).

2. Fonctionnement de l'hydrosystème

Le fonctionnement de l'hydrosystème a été appréhendé au moyen des données climatologiques, débitométriques et piézométriques disponibles sur le bassin versant (cf. rapport BRGM/RP-58786-FR) et du logiciel TEMPO développé par le BRGM. La description de ce logiciel est fournie en annexe 1.

Du point de vue de la climatologie, les données utilisées (pluies journalières et ETP) sont celles produites par l'INRA sur le site du domaine viticole du Grand Parc à Latresne sur la période 2000-2011 (station jugée comme la plus représentative dans la première phase de l'étude).

En termes de débits, ce sont les hauteurs journalières enregistrées sur la station de Cénac puis transformées en débit au moyen de la courbe de tarage sur la période 2000-2011 qui ont été utilisées. Les données acquises sur la station intermédiaire de Sadirac suivie spécifiquement pour cette étude ont aussi été prises en compte.

En matière de piézométrie, ce sont les données journalières enregistrées par les 5 dispositifs (sondes de pression DIVER de la marque Schlumberger) mis en place par le BRGM en juin et juillet 2010 qui ont été utilisées. Pour mémoire, il n'existait pas de suivi piézométrique des nappes au préalable. L'illustration 8 présente la localisation des différentes stations de mesure implantées.

Préalablement à l'utilisation du logiciel TEMPO, le comportement de l'hydrosystème a été appréhendé au moyen d'une analyse des données disponibles, d'une approche fonctionnelle basée sur les analyses corrélatoires et d'une étude des débits classés.

2.1. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES

2.1.1. Données climatiques

L'analyse préalable des données climatologiques a d'abord consisté à représenter les pluies journalières sur la période 2000-2011 (cf. Illustration 3). Sur les 10 dernières années, il est à noter un épisode extrême (1^{er} mai 2007 avec 65.2 mm en 24 h) ainsi qu'une vingtaine de cumuls journaliers supérieurs à 30 mm.

L'illustration 3 représente aussi les cumuls annuels de pluie et d'ETP. Ces cumuls s'échelonnent de :

- 547 mm (en 2005) à 1040 mm (en 2000) pour une moyenne de 778 mm pour les pluies ;
- 698 mm (en 2010) à 963 mm (en 2005) pour une moyenne de 851 mm pour l'ETP.

Avec 712 mm de pluie, l'année 2010 - durant laquelle les dispositifs d'enregistrement des niveaux d'eau ont été mis en place - présente un cumul inférieur à la moyenne et à la médiane décennales.

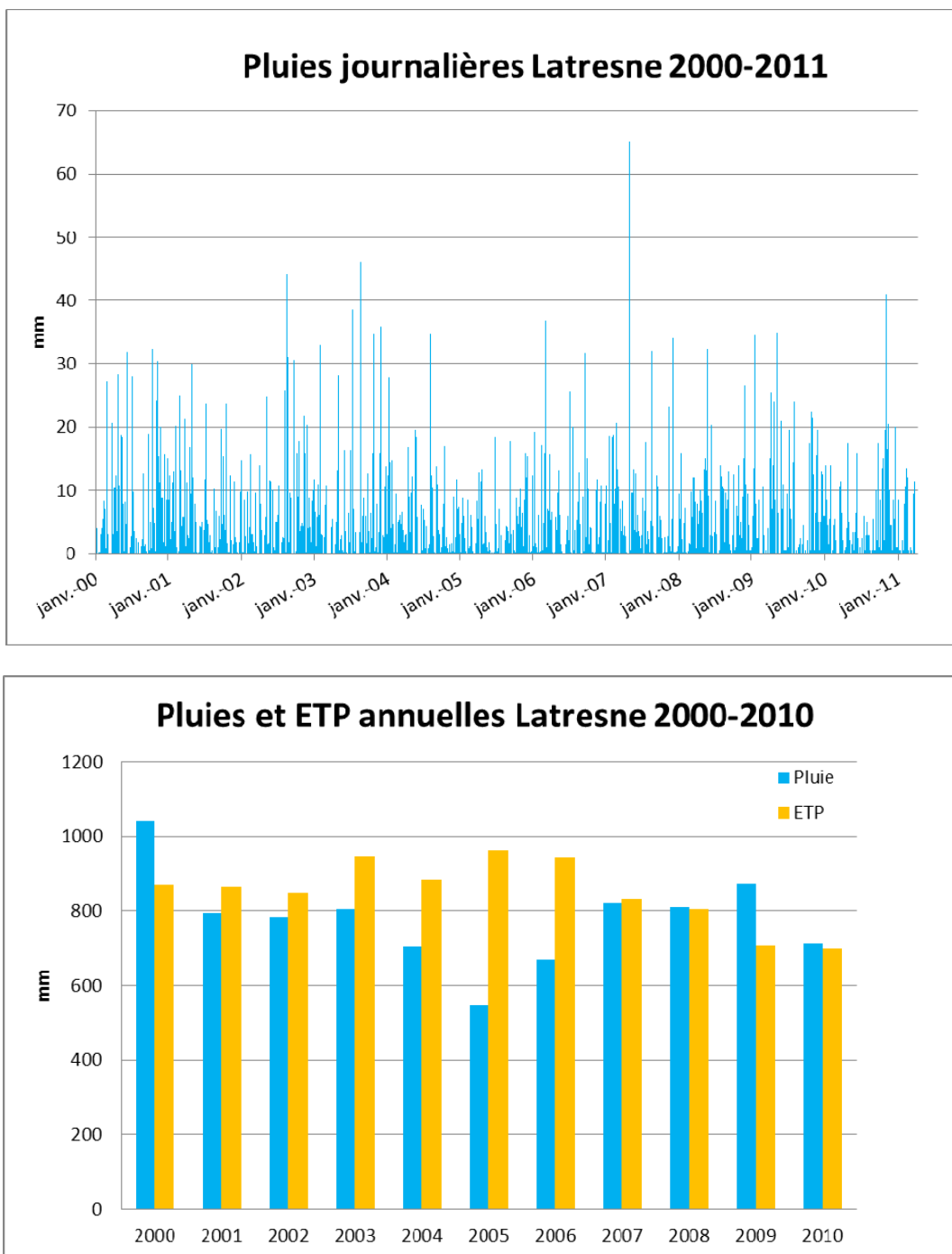


Illustration 3 : Pluies journalières et annuelles à Latresne (période 2000-2011)

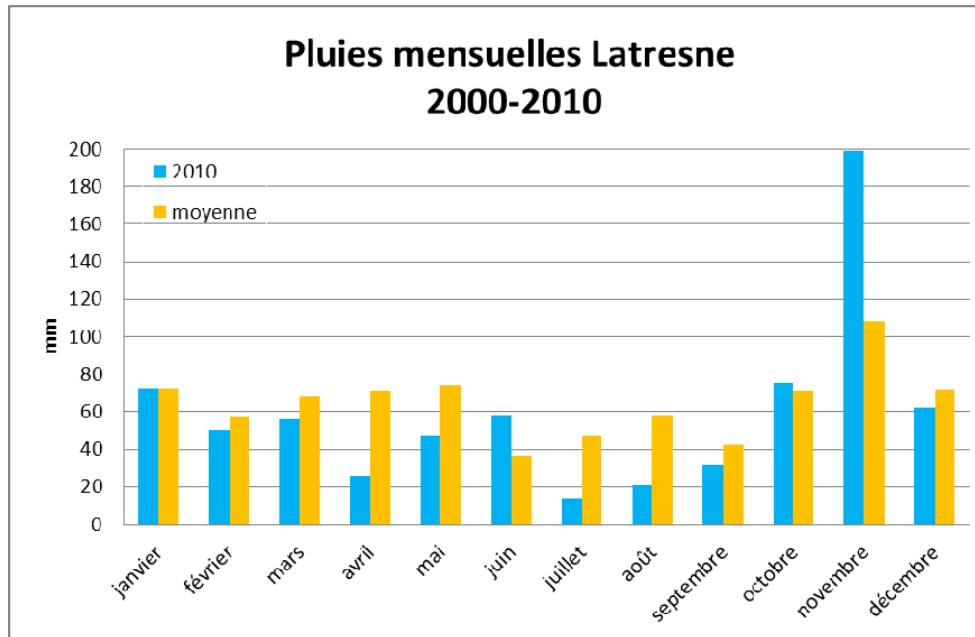


Illustration 4 : Pluies mensuelles à Latresne (période 2010-2011)

La représentation des pluies mensuelles moyennes et relatives à l'année 2010 (cf. Illustration 4) montre enfin que les mois d'avril, juillet et août 2010 ont été nettement plus secs qu'en moyenne. Le mois de novembre a par contre été très pluvieux (cumul de l'ordre du double de la moyenne).

En dernier lieu, une estimation des pluies efficaces a été réalisée. Elles atteindraient 240 mm sur la base d'une RFU (réserve en eau des sols facilement utilisable par les plantes) de 100 mm (et 330 mm sur la base d'une RFU de 30 mm). Il est à noter que les valeurs de 240 et 330 mm encadrent la valeur moyenne de 293 mm observée sur la station de Mérignac depuis 1971.

2.1.2. Données hydrométriques

Pour les données hydrométriques, l'analyse préalable a consisté à représenter les débits journaliers mesurés à Cénac par la DREAL sur la période 2000-2011 (cf. Illustration 5). Le bassin versant jaugé se caractérise par une superficie de 48,8 km².

Les débits enregistrés à Cénac sur la période 2010-2011 ont ensuite été comparés aux débits mesurés ponctuellement à la station de Sadirac (cf. Illustration 6). Cette station jauge un bassin versant de 8,5 km² environ.

En dernier lieu, la corrélation entre les débits de Sadirac et de Cénac a été étudiée au moyen d'un graphique $Q_{\text{Cénac}} = f(Q_{\text{Sadirac}})$ (cf. Illustration 7).

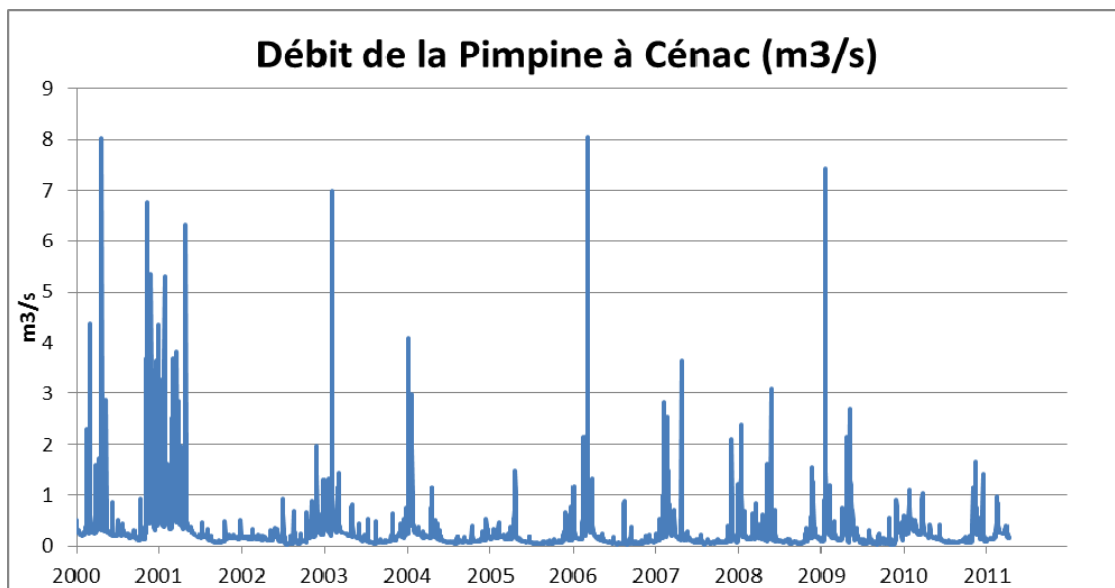


Illustration 5 : Débits journaliers de la Pimpine à Cénac (période 2000-2011)

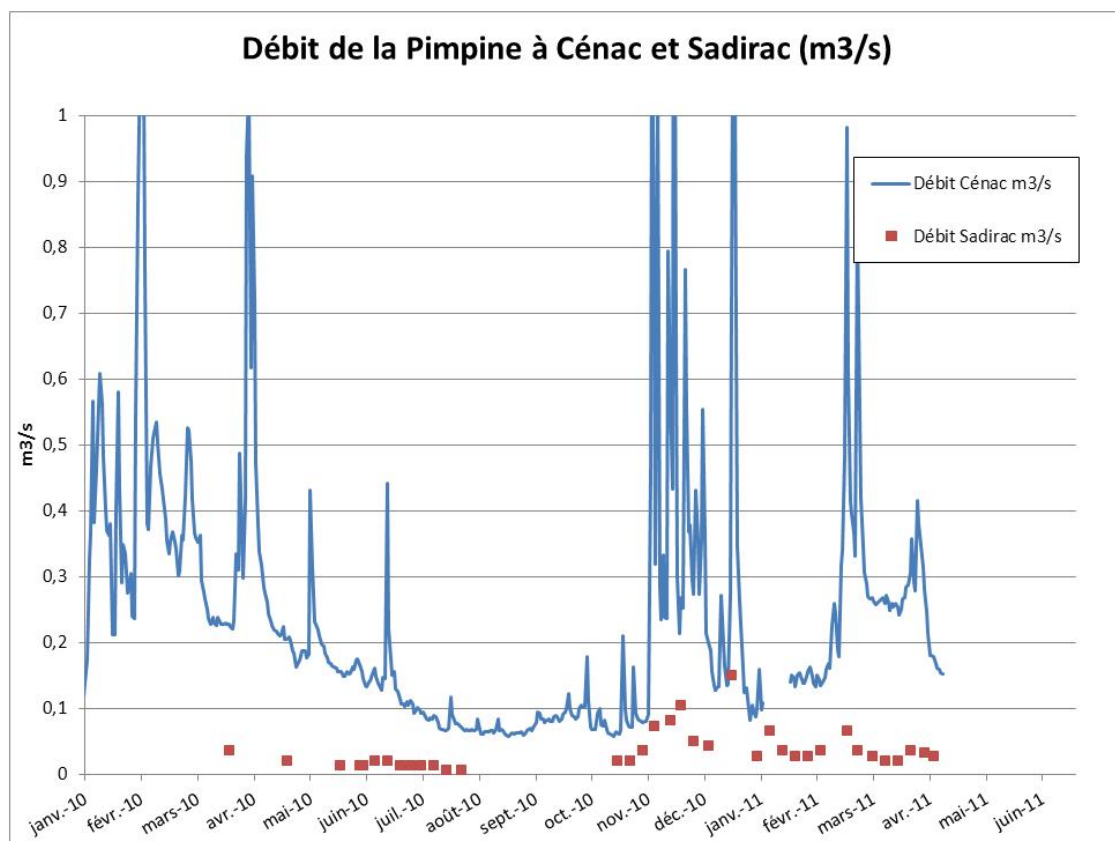


Illustration 6 : Débits de la Pimpine à Cénac et Sadirac (période 2010-2011)

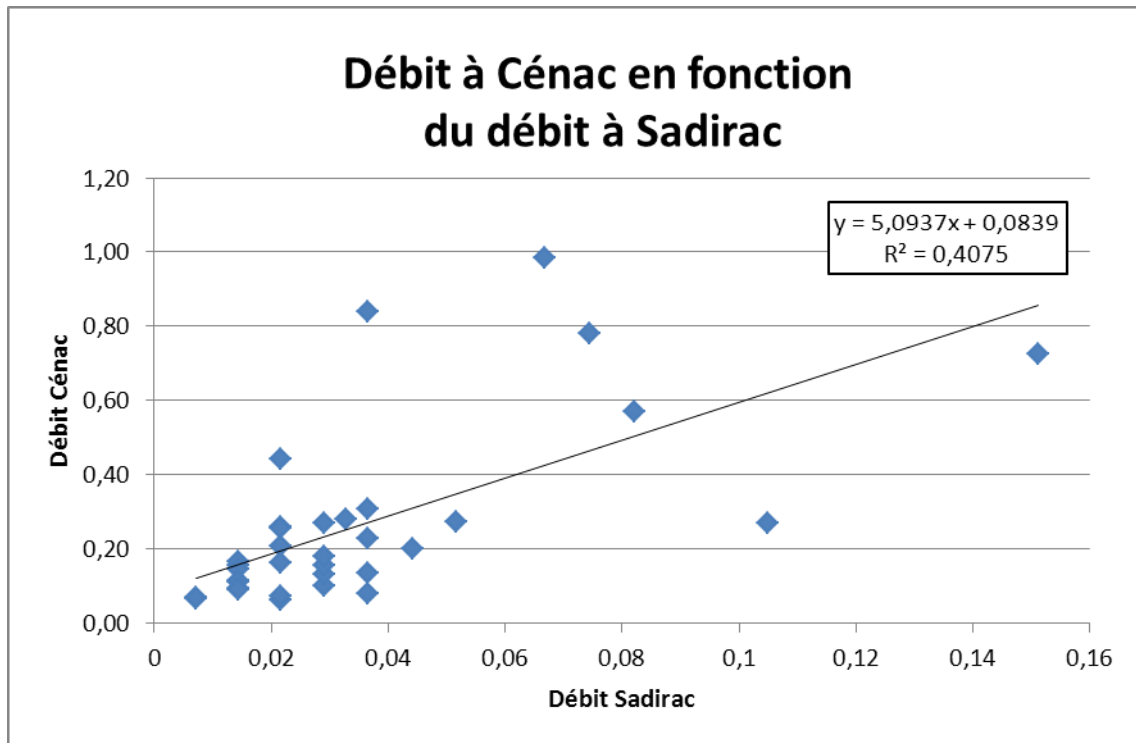


Illustration 7 : Etude de la corrélation entre les débits (en m³/s) de la Pimpine à Cénac et à Sadirac

Sur la période allant du 1^{er} janvier 2000 au 18 avril 2011, on retiendra que :

- ☞ le débit moyen de la Pimpine à Cénac atteint 270 l/s (275 l/s sur la période allant du 1^{er} janvier 2000 au 31 décembre 2010 et 240 l/s sur 2010), ce qui correspond à une lame d'eau moyenne de 175 mm environ (valeur largement inférieure aux pluies efficaces estimées)
- ☞ 8 débits journaliers ont été supérieurs à 5 m³/s
- ☞ les débits du mois de novembre 2010 n'ont pas dépassé 2 m³/s malgré le cumul mensuel 2 fois plus important que la moyenne (cf. Illustration 5)

Il apparaît aussi que la corrélation entre les débits mesurés à Sadirac et à Cénac n'est pas bonne ($R^2 = 0,4075$). Plusieurs explications peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène :

- ☞ les débits mesurés à Sadirac peuvent ne pas être fiables en raison de la courbe de tarage $Q = f(H)$ qui a été établie à partir d'un petit nombre de jaugeages
- ☞ les débits mesurés à Cénac sont influencés par les bassins écrêteurs de crue situés en amont (cf. page 45 du rapport BRGM-RP-58786-FR)

☞ les prélèvements destinés à d'autres usages que l'AEP (irrigation, arrosage, abreuvement...) et les rejets anthropiques (STEP, assainissement individuel...) (cf. page 48 du rapport BRGM-RP-58786-FR) peuvent contribuer à augmenter ou diminuer artificiellement le débit du cours d'eau

☞ le comportement du bassin versant (8.5 km² environ) n'est pas représentatif de l'ensemble du domaine d'étude (comportement hydrogéologique différent du fait de l'extension de la formation de Belin en rive droite ?)

2.1.3. Données piézométriques

L'illustration 8 présente la localisation des 5 piézomètres suivis dans le cadre de l'étude et l'évolution des niveaux enregistrés de juin 2010 à avril 2011. Les caractéristiques des points d'eau sont précisées sous forme de fiches en Annexe 2.

Parmi les 5 ouvrages instrumentés, trois sollicitent les Molasses de l'Agenais (Oligocène supérieur) et deux, les calcaires à Astéries (Oligocène inférieur). Les 2 formations constituent des nappes libres.

Il est à noter que le dispositif d'enregistrement installé dans le forage de Latresne a été vandalisé peu de temps après son installation. Il en résulte un enregistrement très court.

A première vue, il apparaît que l'amplitude des variations est très faible. Elle est de l'ordre de 1 m sur le forage de Lignan qui sollicite les calcaires à Astéries et comprise entre 10 et 50 cm pour les 3 forages qui sollicitent les molasses.

Les 4 ouvrages semblent néanmoins présenter une variabilité saisonnière avec une période de basses eaux qui s'étend jusqu'en novembre-décembre suivie d'une remontée plus ou moins rapide des niveaux.

La juxtaposition des précipitations enregistrées à Latresne aux graphes représentant l'évolution des niveaux piézométriques permet de remarquer que les pluies peuvent être à l'origine d'une remontée brutale des niveaux (cas du piézomètre de Lignan sollicitant les calcaires à Astéries) ou bien plus lente (cas des piézomètres sollicitant les molasses).

Au final, il apparaît donc 2 types de comportement bien distincts pour les piézomètres : les piézomètres implantés dans les calcaires à Astéries réagissent rapidement aux épisodes pluvieux et présentent des variations saisonnières de l'ordre de 1 m ; ceux qui sont implantés dans les molasses présentent des variations plus amorties (10 à 50 cm) et sont nettement moins sensibles aux épisodes pluvieux.

La nature plus argileuse des Molasses de l'Agenais semble donc engendrer un retard de la recharge qui s'effectue néanmoins. Les analyses corrélatoires (cf. chapitre suivant) vont permettre de mieux le caractériser.

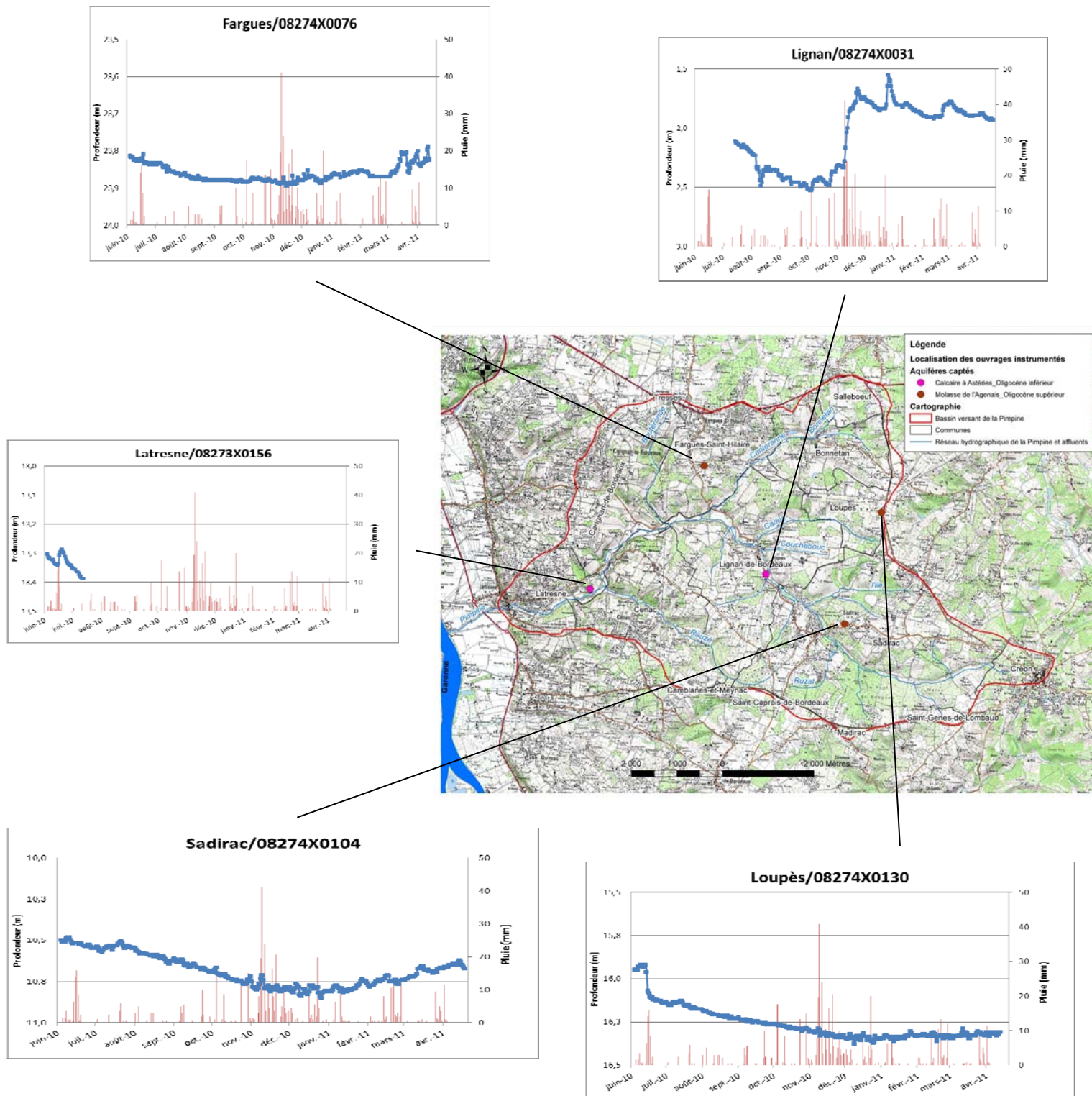


Illustration 8 : Localisation des piézomètres suivis et évolution des niveaux d'eau en fonction des précipitations à Latresne

2.2. APPROCHE FONCTIONNELLE

2.2.1. Principe

Les analyses corrélatoires et spectrales sont des méthodes d'analyse statistique des séries chronologiques et s'utilisent dans le cadre de **l'approche dite fonctionnelle** des hydrosystèmes.

Ces méthodes ont pour principe d'assimiler l'hydrosystème étudié à un filtre (ou boîte noire) qui laisse plus ou moins passer l'information contenue dans un signal d'entrée.

Elles consistent à analyser et à comparer des signaux d'entrée (précipitations, niveaux d'eau ou débits d'une rivière par exemples) et de sortie (piézométrie). Les chroniques des signaux d'entrée et de sortie peuvent être traitées séparément dans le domaine temporel (analyses corrélatoires) ou dans le domaine fréquentiel (analyses spectrales) ou bien les unes par rapport aux autres (analyses corrélatoires et spectrales croisées).

Les analyses corrélatoires simples permettent de mettre en évidence dans une série de mesures s'échelonnant dans le temps, le degré de corrélation existant entre les valeurs successives de la série pour des intervalles de temps croissants. Ce degré de corrélation est mis en évidence par un corrélogramme représentant graphiquement la corrélation (on parle d'auto-corrélation) qui existe entre les valeurs de la série lorsqu'elles sont décalées de 1 pas de temps, puis de 2 pas de temps, puis de 3....

Sur les chroniques de piézométrie par exemple, cette analyse permet de caractériser « *l'effet mémoire* » de l'aquifère qui traduit la dépendance dans le temps des valeurs piézométriques et qui présente une décroissance plus ou moins rapide.

En d'autres termes, « *l'effet mémoire* » est directement lié à l'inertie du système : il est d'autant plus grand que le filtrage introduit par le système est important. Dans le cas des systèmes karstiques par exemple, *l'effet mémoire* est défini comme le nombre de jours nécessaires pour que la fonction d'autocorrélation (r_k) atteigne la valeur de 0.2 (Mangin 1981).

Les analyses spectrales simples permettent d'identifier les différentes composantes de la variance totale de la série en fonction de la fréquence d'apparition : la variance totale du « signal » est partitionnée suivant un certain nombre de « bandes » de fréquence et la « quantité » de variance dans chaque intervalle de fréquence est évaluée à l'aide d'une grandeur appelée la « densité spectrale de puissance (DSP) ».

La densité spectrale de puissance qui correspond d'un point de vue mathématique à la transformée de Fourier du corrélogramme simple (Box and Jenkins, 1970) permet d'identifier (1) la tendance du système à long terme, (2) les phénomènes périodiques saisonniers et (3) les phénomènes purement aléatoires assimilables au bruit de fond.

Les analyses corrélatoires et spectrales croisées permettent d'étudier la relation entre l'entrée et la sortie et de mettre en évidence les phénomènes structurés influençant l'évolution temporelle des chroniques. Réalisées sur la pluie et le niveau piézométrique, elles peuvent

fournir une image approchée de la réponse impulsionnelle du système (= réponse du système à une impulsion brève).

2.2.2. Résultats

Dans le cas de la Pimpine, seules des analyses corrélatoires simples et croisées ont été mises en œuvre. Elles ont été menées sur la pluie, la piézométrie et le débit.

Les analyses corrélatoires simples menées sur les pluies ont, dans un premier temps, permis de vérifier le caractère impulsionnel du signal.

La courbe établie pour les pluies de Latresne (cf. illustration 9) présente en effet un maximum de 1 pour un décalage nul, décroît rapidement puis oscille autour de 0 à partir d'un décalage de l'ordre de 8 jours.

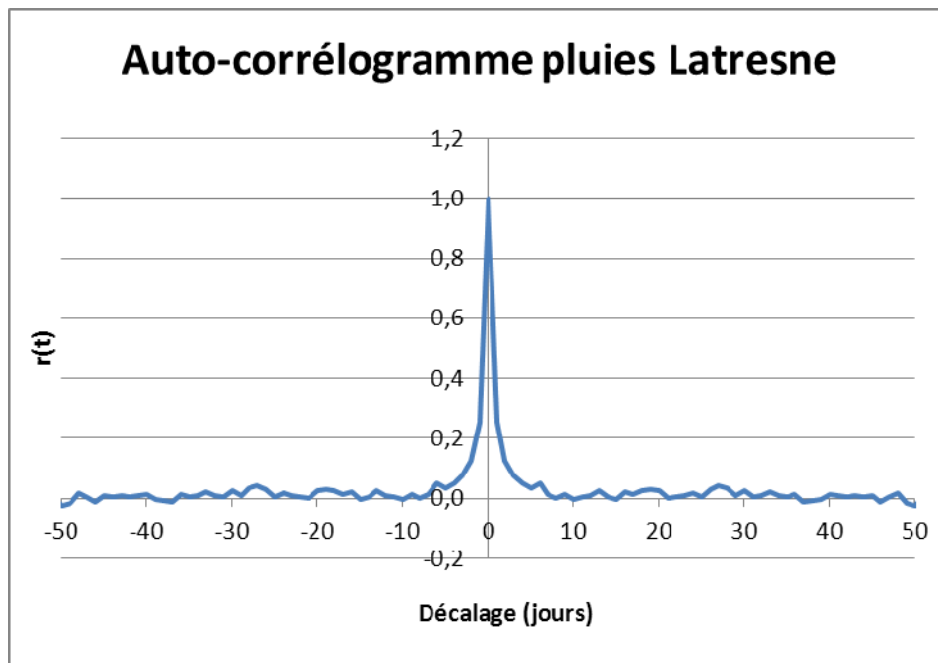


Illustration 9 : Corrélogramme des pluies de Latresne

Dans le cas de la piézométrie, les coefficients d'auto-corrélation ont été calculés dans l'objectif de caractériser l'inertie des aquifères.

Les corrélogrammes simples des niveaux piézométriques présentent des courbes de décroissance caractéristiques des processus auto-corrélés, c'est-à-dire qu'au temps " t ", la valeur mesurée dépend de la valeur mesurée au temps " $t-1$ ". La courbe décroît faiblement lorsque l'inertie est importante ou plus rapidement lorsque l'effet mémoire est plus faible.

Pour la Pimpine, l'effet mémoire a été défini pour un coefficient d'auto-corrélation de 0.5. Il convient de noter qu'une autre valeur de ce coefficient aurait pu être fixée. Dans ce cas, les temps déterminés auraient été différents mais auraient tout aussi bien permis de comparer les systèmes entre eux (allure des courbes non modifiée).

Compte tenu du peu de données disponibles pour le piézomètre de Latresne, cette chronique n'a pas fait l'objet d'une analyse corrélatoire. Pour les autres piézomètres, la période de disponibilité de la donnée reste très courte : elle s'étend de juin 2010 à avril 2011.

L'examen de l'illustration 10 permet de noter :

- que les courbes représentatives des 4 piézomètres ne présentent pas de maximum secondaire (les enregistrements ayant été effectués sur une période inférieure à 1 an, les correlogrammes ne peuvent pas mettre en évidence une cyclicité annuelle),
- que les effets mémoire, déterminés lorsque le coefficient d'auto-corrélation est égal à 0.5, varient de 25 jours pour Fargues à une cinquantaine de jours pour les 3 autres piézomètres (Loupès, Lignan et Sadirac). Ce résultat est a priori surprenant dans la mesure où l'examen des chroniques piézométriques laissait supposer que les aquifères sollicités par les piézomètres de Loupès, Sadirac et Fargues étaient plus inertiels que celui sollicité par le piézomètre de Lignan (calcaires à Astéries). Les corrections apportées à la chronique brute de Fargues (originellement très bruitée) peuvent aussi être à l'origine de ce résultat qui devra être considéré avec prudence.

Les coefficients d'auto-corrélation ont aussi été calculés pour les débits de la Pimpine déduits des hauteurs enregistrées à la station de Cénac (cf. Illustration 11). La période de disponibilité des données couvre une durée de plus de 10 ans.

La courbe représentative présente une décroissance brutale puis plus faible jusqu'à une centaine de jours puis un pic secondaire très amorti pour un décalage de l'ordre de 365 jours, ce qui traduit le caractère annuel des cycles de la Pimpine. La décroissance brutale de l'auto-corrélogramme traduit la prédominance de l'influence des écoulements rapides dans le comportement du cours d'eau. Cette prédominance n'exclut toutefois pas le soutien du débit du cours d'eau par la nappe lors des étiages.

Dans le détail, il est aussi possible de distinguer de petits pics tous les 20 jours environ. Ces derniers pourraient mettre en évidence des lâchers réguliers depuis une ou plusieurs stations d'épuration.

Au final, on retiendra que la mise en œuvre d'analyses corrélatoires simples sur les données pluviométriques, piézométriques et débitométriques a permis de :

- ***vérifier le caractère impulsionnel du signal « pluie »,***
- ***mettre en évidence le caractère légèrement inertiel des systèmes (effets mémoire de l'ordre de 50 jours si l'on exclut Fargues),***
- ***mettre en évidence la cyclicité annuelle des débits de la Pimpine.***

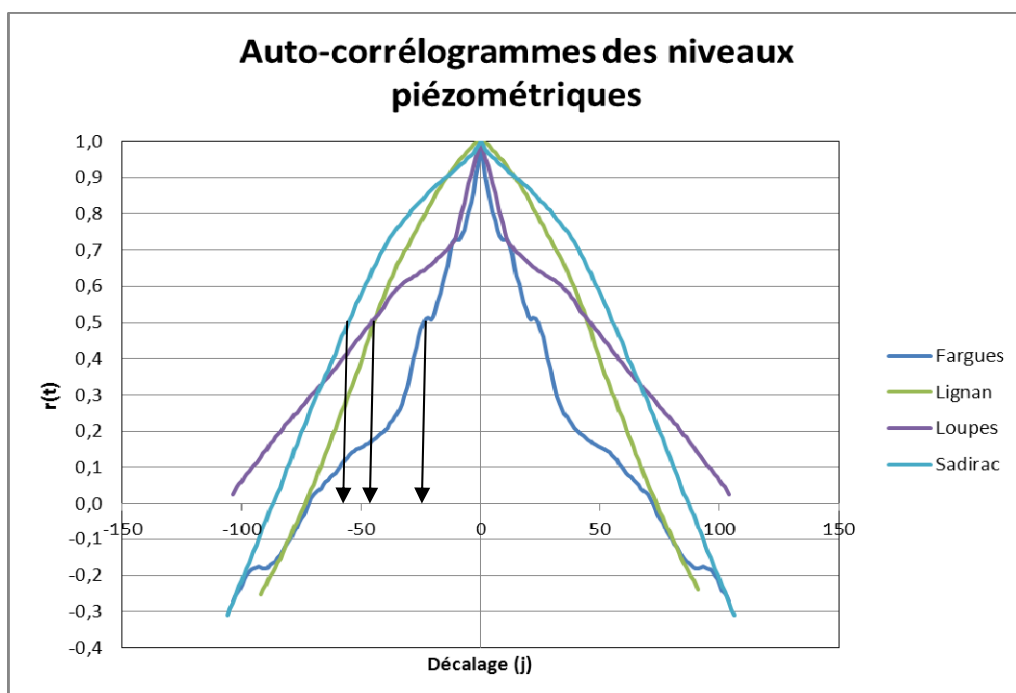


Illustration 10 : Auto-corrélogrammes des niveaux piézométriques

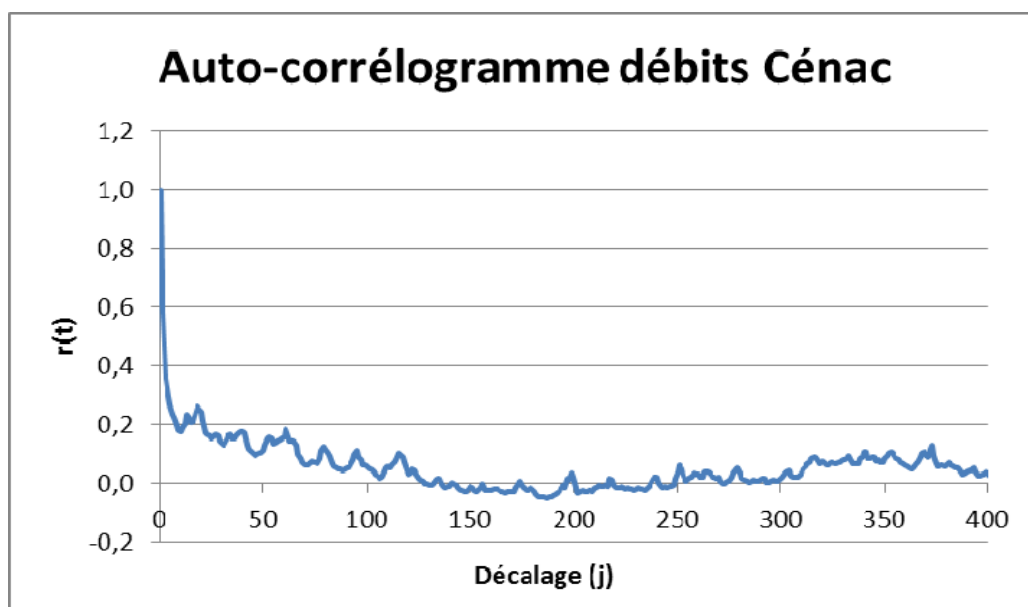


Illustration 11 : Auto-corrélogramme des débits à Cénac

Dans une deuxième phase, les corrélogrammes croisés pluies-piézométrie et pluies-débits ont été calculés afin d'obtenir une image approchée de la réponse impulsionnelle des hydrosystèmes.

Les corrélogrammes pluies/niveaux piézométriques ont été représentés sur l'illustration 12.

Un premier examen des courbes permet de noter que les valeurs de $r(t)$ sont très faibles ($<0,2$). Dans ces conditions, il est possible de penser que **les niveaux piézométriques ne sont pas bien contrôlés par les pluies**.

On peut aussi noter que pour les piézomètres de Loupès, Fargues et Sadirac, les premiers modes (très peu marqués) s'expriment pour des décalages de l'ordre de 5 jours.

La courbe représentative de Lignan se démarque, quant à elle, par un $r(t)$ négatif pour des décalages compris entre 0 et 100 jours. Cette observation ne fournit pas une information interprétable concernant le fonctionnement hydrogéologique du système.

Le corrélogramme pluies/débits de la Pimpine a été représenté sur l'illustration 13.

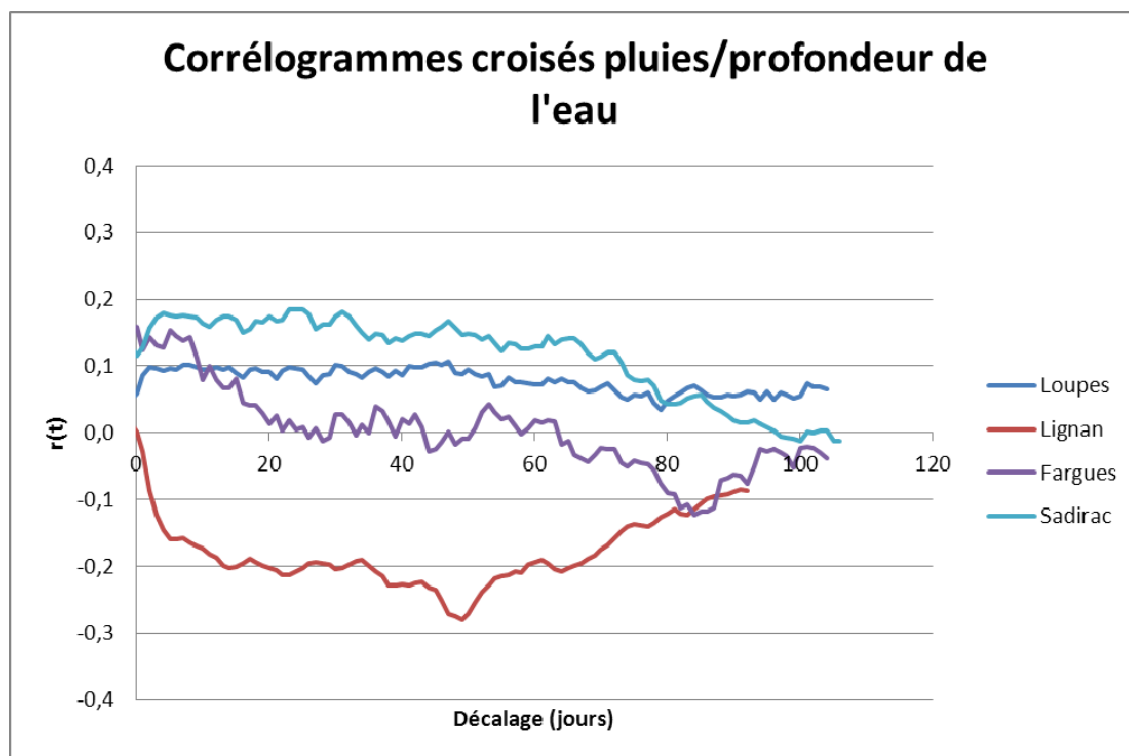


Illustration 12 : Corrélogrammes croisés pluies/niveaux piézométriques

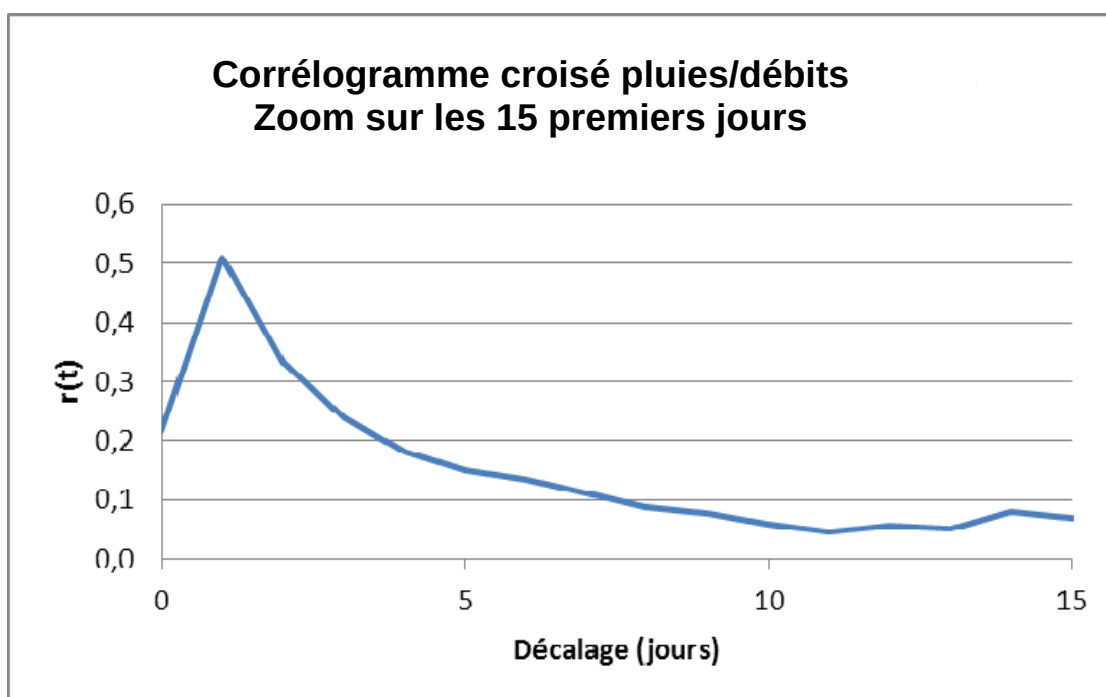
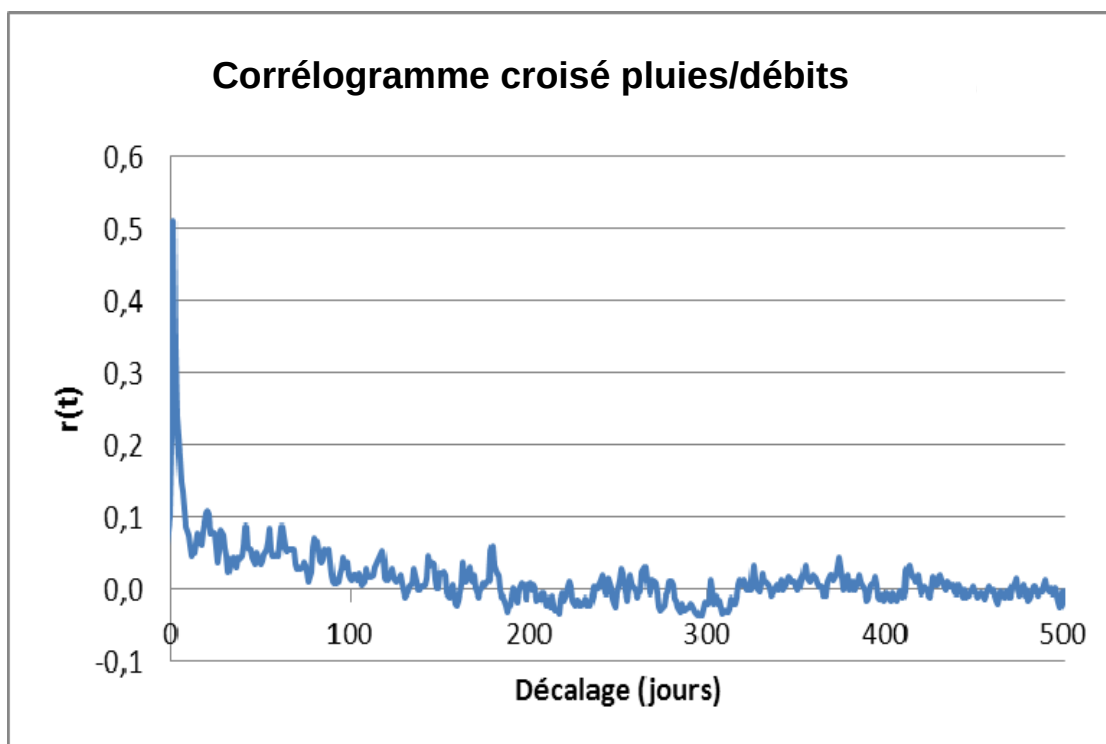


Illustration 13 : Corrélogramme croisé pluies/débit de la Pimpine (corrélogramme complet et zoom sur les 15 premiers jours)

Il apparaît que la valeur maximale de $r(t)$ est supérieure à celle observée dans le cas de la corrélation pluies/niveaux. Elle est observée pour un décalage de 1 jour, ce qui traduit un temps de concentration rapide en lien probable avec la faible superficie du bassin versant (48,8 km²) et avec la nature argileuse du sol qui favorise le ruissellement.

On note enfin qu'après avoir atteint son maximum, la valeur de $r(t)$ diminue rapidement et retrouve sa valeur d'origine après 4 jours environ.

Au terme de ce travail, on retiendra que la mise en œuvre d'analyses corrélatoires croisées sur les données pluviométriques, piézométriques et débitométriques a permis de montrer que :

- la corrélation pluies/débits était meilleure ($r(t)$ max = 0,5) que la corrélation pluies/niveaux piézométriques ($r(t)$ max = 0,19),

- le maximum de corrélation était atteint au bout de 5 j dans le cas des niveaux piézométriques et de 1 j dans le cas du débit (temps de concentration rapide en lien probable avec la faible superficie du bassin versant et la nature argileuse du sol).

Compte tenu des chroniques utilisées (plus de 10 ans pour les pluies et les débits mais moins d'un an pour les niveaux piézométriques), ces résultats doivent être considérés comme provisoires et devront si possible être confirmés par l'analyse de chroniques plus longues.

2.3. ANALYSE DES DEBITS CLASSES

2.3.1. Principe

La méthode d'analyse des débits classés, initialement proposée par Mangin (1971) consiste à classer les débits par classes, à calculer la fonction de répartition empirique de la série, à reporter les résultats sur un graphique présentant une échelle de probabilité de type Log-Normal et à repérer les ruptures de pente qui peuvent traduire des modifications du comportement hydrodynamique.

Dans le cas des aquifères karstiques, cette méthode est utilisée pour caractériser les différents régimes d'écoulement observables au niveau d'un exutoire et identifier des événements particuliers de type mise en fonctionnement d'un trop plein ou fuites vers un autre système (Marsaud, 1997).

Dans le cas de la Pimpine, la méthode a été appliquée pour identifier d'éventuelles modifications du régime hydrodynamique.

2.3.2. Résultats

L'illustration 14 représente les résultats obtenus pour les débits de la Pimpine à Cénac.

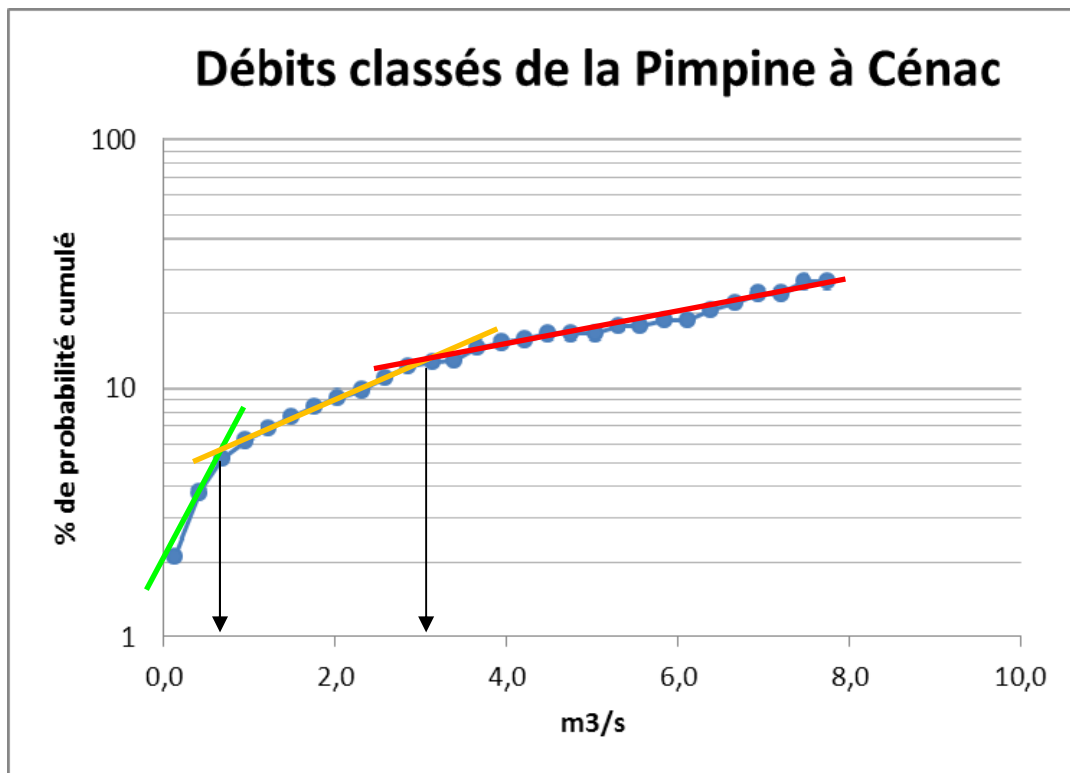


Illustration 14 : Débits classés de la Pimpine à Cénac

Des ruptures de pente sont mises en évidence pour des ordonnées de l'ordre de 5 et de 10, ce qui correspond à des probabilités cumulées respectives de 95 et 99 %. Il apparaît donc qu'au niveau de Cénac, la répartition des débits est la suivante :

- environ 95 % des débits correspondraient à des débits « ordinaires » (débits inférieurs à la première rupture, soit 0,8 m³/s environ),
- environ 4 % des débits correspondraient à des débits de hautes eaux ou de crue (débits compris entre la première et la deuxième rupture, soit entre 0,8 et 3,1 m³/s),
- environ 1 % des débits correspondraient à des débits exceptionnels (supérieurs à 3,1 m³/s).

Si l'on considère que la droite représentée en vert sur l'illustration 14 se caractérise par une pente α_1 , la droite orange par une pente α_2 et la droite rouge par une pente α_3 , on remarque que $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$.

Ces variations de pente et le fait qu'elles interviennent dans les forts pourcentages laisse supposer des apports en provenance d'un autre système. La forme des courbes pourrait donc traduire des apports de la nappe vers le cours d'eau.

Les niveaux piézométriques ayant été enregistrés sur moins d'un cycle hydrologique (juin 2010 à avril 2011), ils n'ont pas fait l'objet d'une analyse des hauteurs classées.

2.4. MODELISATION TEMPO

Les approches mises en œuvre précédemment ont permis d'apporter des éléments d'information sur le fonctionnement de l'hydrosystème (inertie des aquifères, réponses des systèmes aux précipitations, répartition des débits...). Il convient à présent de valider les résultats préliminaires obtenus au moyen du logiciel TEMPO.

Afin d'obtenir des informations plus précises sur le principe général de cet outil, on pourra se référer à l'annexe 1.

La première étape du travail a consisté à modéliser le débit observé à Cénac en fonction des pluies et de l'ETP mesurées à Latresne. Le calage a été effectué sur une période couvrant les années 2000 à 2011, à un pas de temps journalier.

A partir d'un modèle de type « Gaussien-Exponentiel » (type de modèle classiquement utilisé pour les milieux continus), de nombreuses tentatives ont été menées pour obtenir le meilleur coefficient de Nash (coefficient permettant d'estimer l'écart entre données modélisées et observées et d'autant plus proche de 1 que l'ajustement réalisé est proche des données observées).

Il s'avère que le meilleur résultat (Nash = 0,5) a été obtenu en fixant la composante rapide de l'écoulement à 2 jours et la composante lente à 300 jours (cf. Illustration 15).

Le zoom effectué sur la période 2006-2010 montre néanmoins que le modèle est systématiquement au-dessus des débits observés en période de décroissance des débits. Il montre aussi que le débit enregistré à Cénac est sujet à de brusques variations en période de basses eaux, ces dernières pouvant être liées à des pluies efficaces et/ou à des rejets en provenance des différentes STEP.

Partant du principe que la surestimation des débits durant l'étiage pouvait, le cas échéant, s'expliquer par une surestimation de la pluie efficace, de nouveaux essais ont été réalisés en augmentant l'ETP observée d'un facteur allant de 1,1 à 1,5 de façon à réduire les pluies efficaces introduites dans le modèle. Les résultats n'ont pas été meilleurs.

Il a alors été décidé d'introduire une composante « eaux souterraines » dans le modèle. Les niveaux piézométriques n'ayant été enregistrés que sur 10 mois dans le cadre de la présente étude, une recherche parmi les points suivis dans le cadre de la Gestion des nappes de Gironde a été effectuée pour trouver un point d'eau situé à proximité du bassin versant, sollicitant les calcaires à Astéries ou les Molasses de l'Agenais et disposant d'une chronique plus longue.

Un seul point d'eau a réuni les 3 conditions : le forage 08281X0017 situé sur la commune du Pout, sollicitant les calcaires à Astéries et suivi en continu depuis fin 2008.

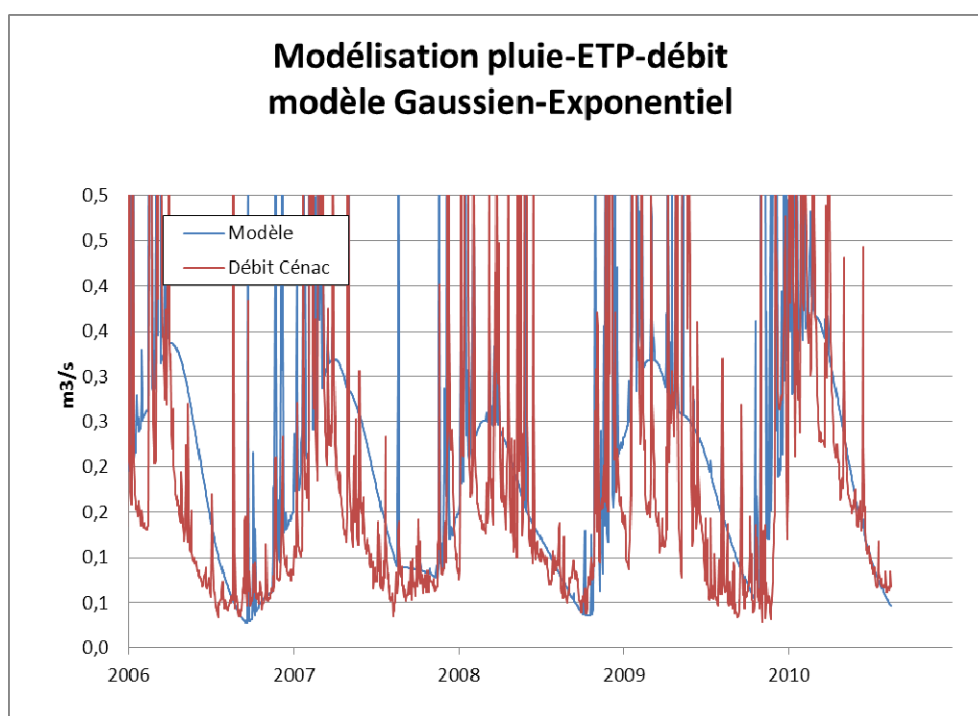
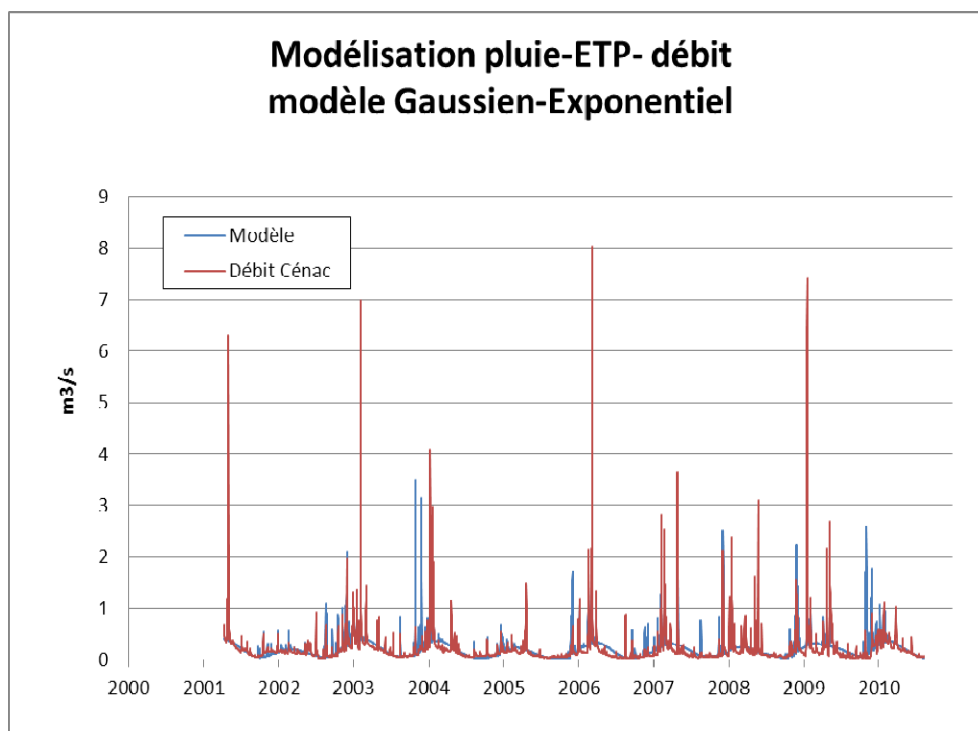


Illustration 15 : Modèle pluies-ETP-débits (chronique complète et zoom sur la période 2006-2010)

La comparaison des chroniques piézométriques relatives aux forages du Pout et de Lignan (tous deux sollicitant les calcaires à Astéries) sur la période fin 2008- 2011 puis juin 2010-2011 (cf. Illustration 16) montre une très forte ressemblance. Cette dernière a d'ailleurs été appréhendée au moyen d'un diagramme $H_{\text{Lignan}} = f(H_{\text{Le Pout}})$ (cf. Illustration 17 qui confirme leur corrélation : $R^2 = 0.86$).

L'introduction des données piézométriques relatives au forage du Pout dans le modèle a sensiblement amélioré la valeur du coefficient de Nash. Il s'avère en effet, qu'un coefficient de Nash de 0,75 a pu être obtenu en fixant les composantes rapides de l'écoulement à 2 et 30 jours, les apports plus lents étant représentés par la chronique piézométrique intervenant comme entrée de la modélisation (cf. illustration 18).

A partir de ce modèle de transfert, il a été possible de déterminer les contributions relatives de la pluie et de la nappe à l'alimentation du cours d'eau. Ces contributions ont été représentées de façon mensuelle sur l'illustration 19. Il apparaît ainsi que sur la période étudiée (janvier 2009 à janvier 2011), la contribution de la pluie au débit de la Pimpine a été nulle de juillet à octobre lors des 2 années. Le reste du temps, elle a représenté 42 % en moyenne.

L'illustration 19 montre que les débits d'étiage de la Pimpine sont exclusivement fournis par la nappe et permet donc de réfuter l'hypothèse de pluies efficaces durant la période estivale. Dans ces conditions, il est possible d'imaginer que les pics de débit observés sur l'hydrogramme en période de basses eaux soient liés aux rejets des stations d'épuration.

A l'issue de ce travail, il convient de rappeler que ces résultats ont été obtenus en ne tenant compte que de 24 mois d'enregistrement et que d'un seul piézomètre situé à l'extérieur du bassin versant. D'autre part, la contribution importante des eaux souterraines au débit de la Pimpine doit s'interpréter en termes de volumes globaux écoulés sur une année. En particulier, la contribution directe de la pluie devient extrêmement prédominante sur une journée si on considère par exemple le débit écoulé après une pluie durant l'hiver (pic de débit).

Le meilleur calage obtenu (coefficient de Nash = 0,75) s'accompagne d'incertitudes concernant la compréhension hydrogéologique du fonctionnement du bassin versant. Les aspects suivants demeurent, en particulier, des sources d'incertitude :

- les données piézométriques qui sont trop peu nombreuses pour effectuer un calage fiable
- les rejets des stations d'épuration qui représentent dans certaines conditions (étiage) une part importante du débit et contribuent à augmenter le débit en l'absence de pluies efficaces
- les bassins écrêteurs de Sadirac (créé en 1998) et de Lignan (créé en 2001) qui contribuent à faire diminuer le débit lors des crues

La période d'enregistrement des niveaux piézométriques ayant été très courte, toutes les fonctionnalités du logiciel TEMPO n'ont donc pas pu être utilisées. Les essais de modélisation effectués sur la période 2009-2011 restent, quant à eux, entachés d'un fort degré d'incertitude.

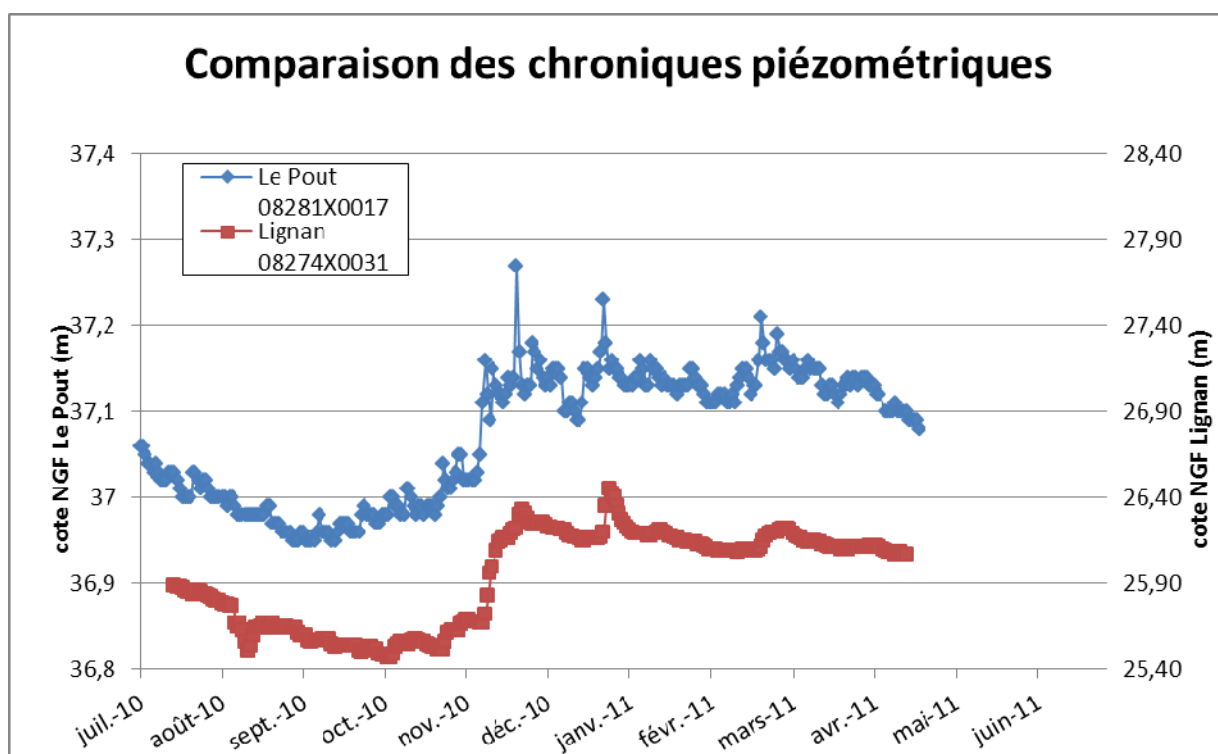
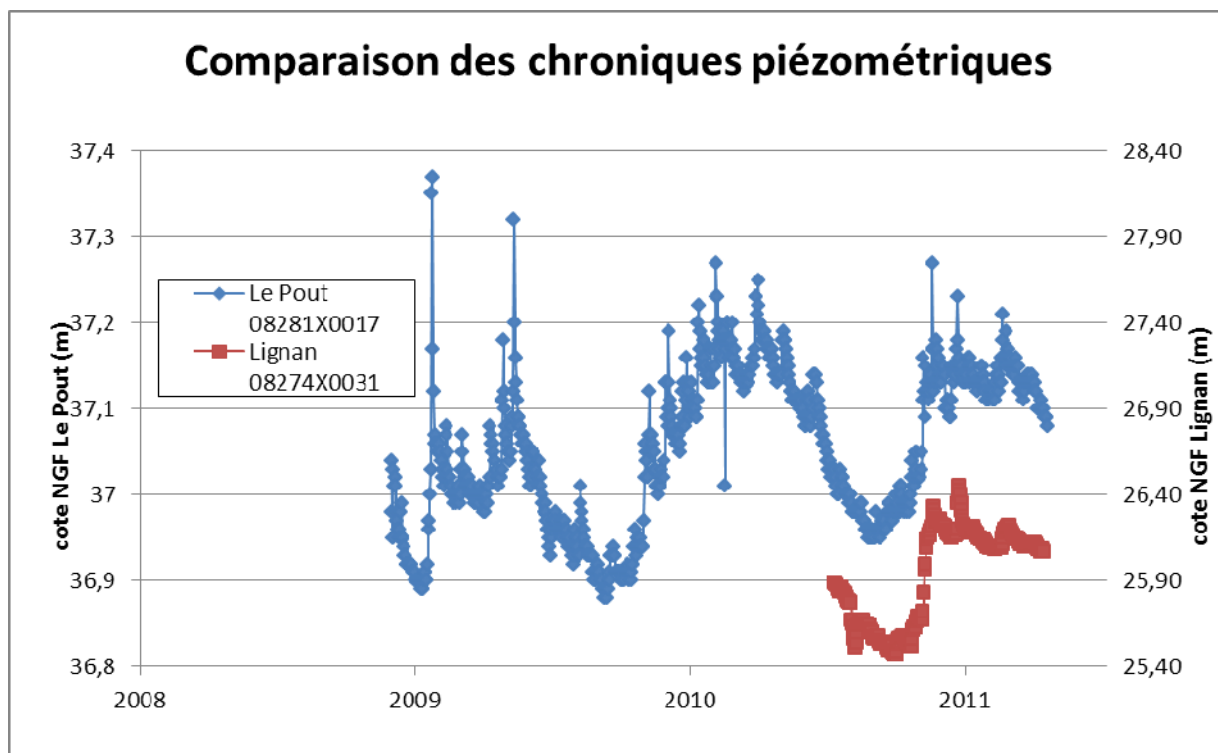


Illustration 16 : Comparaison des chroniques piézométriques

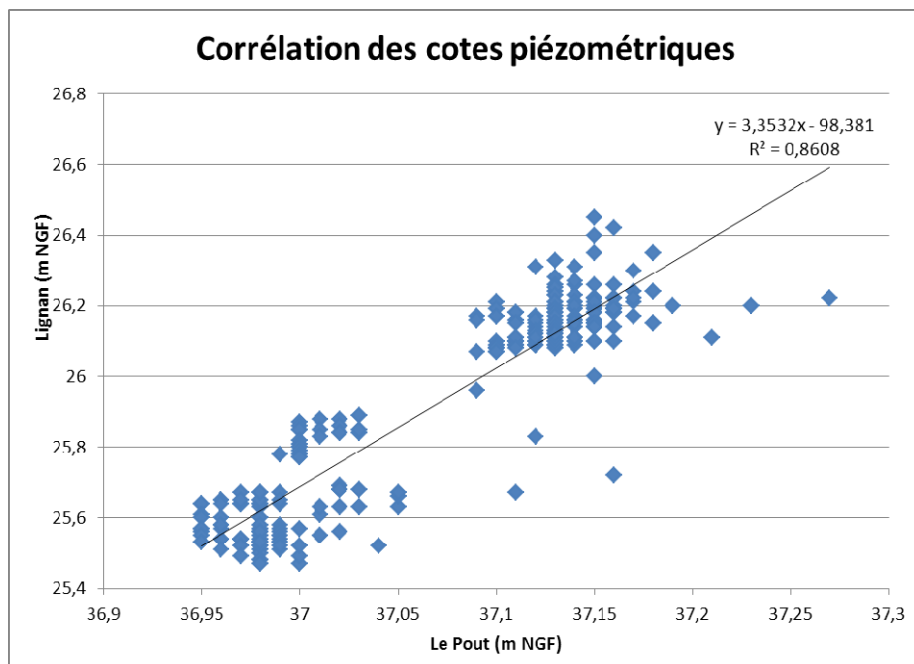


Illustration 17 : Comparaison des cotes piézométriques relatives aux forages du Pout (08281X0017) et de Lignan (08274X0031)

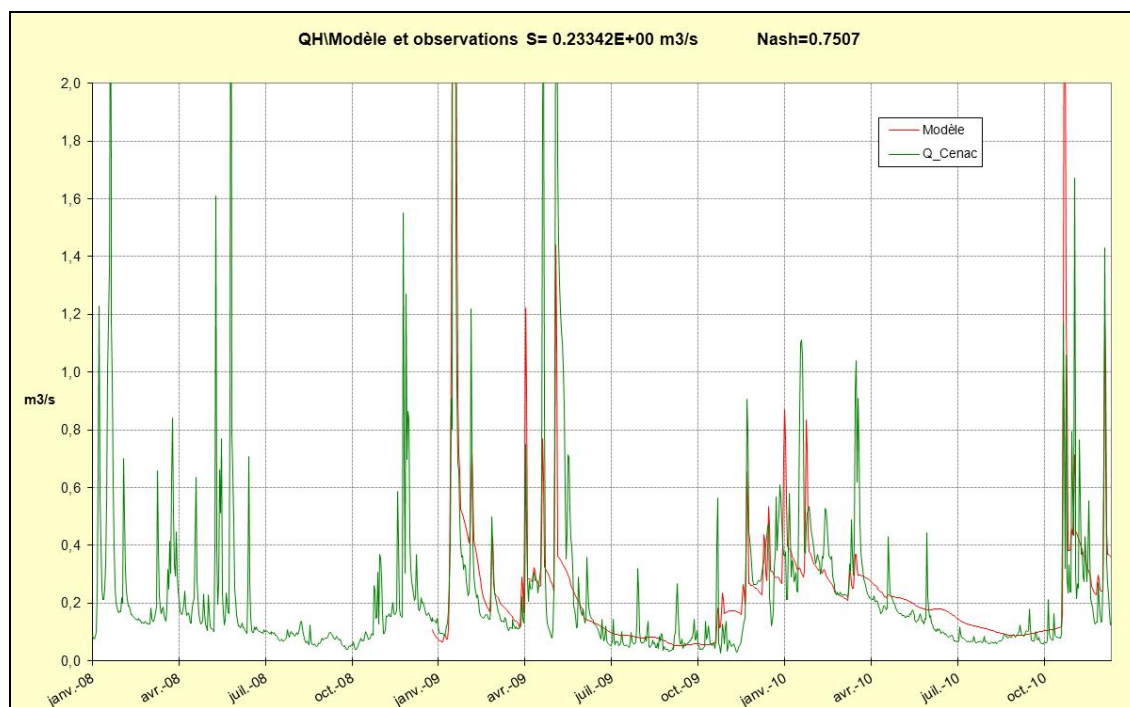


Illustration 18 : Modélisation du débit à Cénac en fonction des niveaux observés sur le piézomètre du Pout

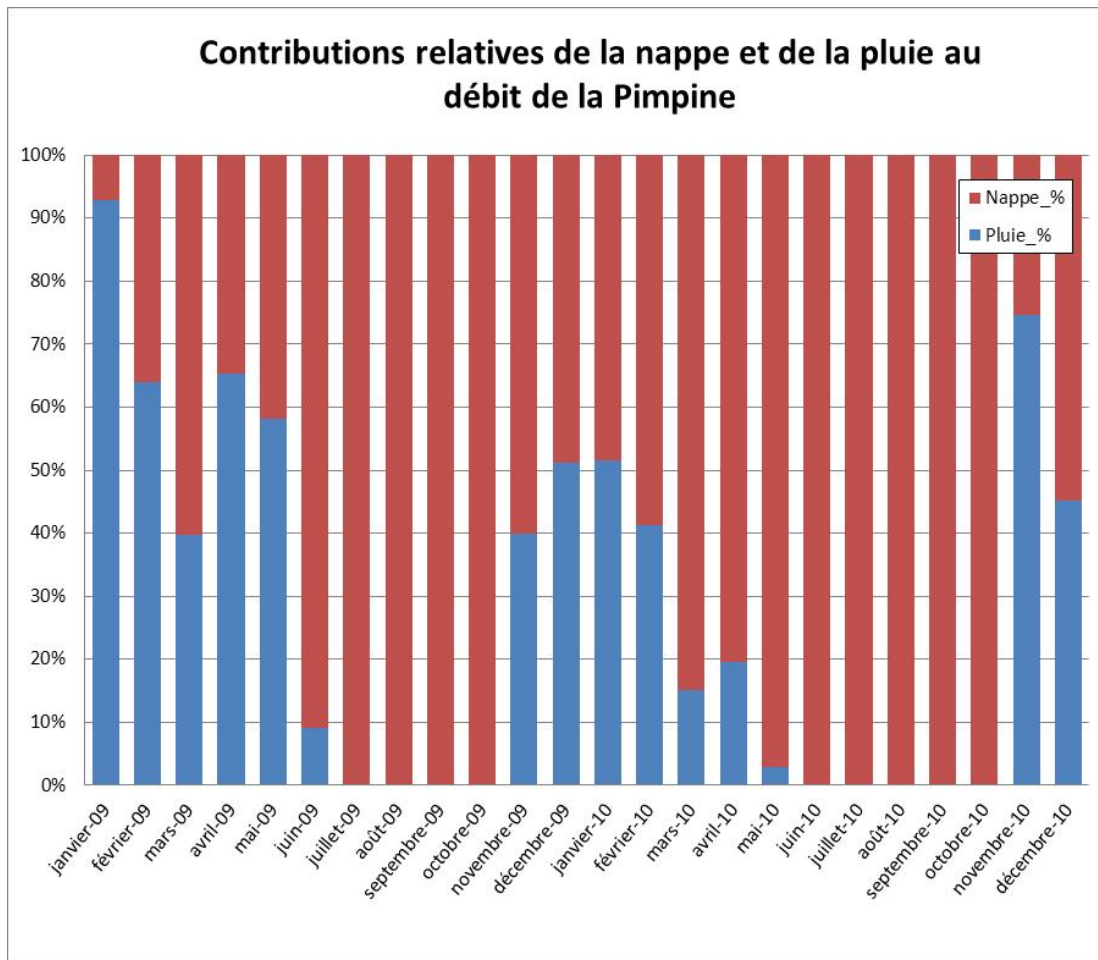


Illustration 19 : Contributions relatives mensuelles de la pluie et de la nappe au débit de la Pimpine

2.5. BILAN

L'analyse préalable des données, la mise en œuvre d'analyses corrélatoires, l'analyse des débits classés et la modélisation TEMPO ont permis de préciser certains aspects du fonctionnement de l'hydrosystème :

☞ les précipitations moyennes qui affectent le bassin versant et qui ont été calculées sur la période 2000-2010 s'élèvent à 778 mm (en 2010, ce cumul a atteint 712 mm avec un mois de novembre très pluvieux : 199 mm),

☞ le débit moyen qui caractérise la Pimpine à Cénac et qui a été calculé sur la période 2000-2010 représente 275 l/s ou une lame d'eau de 178 mm (en 2010, ce débit a atteint 240 l/s et est en accord avec les précipitations moins abondantes qu'en moyenne),

☞ les débits mesurés à Cénac ne sont pas bien corrélés avec ceux mesurés à Sadirac avec comme causes possibles une courbe de tarage peu fiable sur la station de Sadirac (car établie à partir d'un nombre de jaugeages restreint), l'effet des rejets des stations d'épuration et/ou des bassins écrêteurs de crue,

☞ sur le cycle 2010-2011, l'amplitude des variations piézométriques n'a pas dépassé 1 m sur les 5 ouvrages suivis en continu et a été plus importante sur l'ouvrage sollicitant les calcaires à Astéries (1 m) que sur les points sollicitant les molasses (10 à 50 cm),

☞ la mise en œuvre d'analyses corrélatoires simples a permis de vérifier le caractère impulsionnel du signal « pluie », de mettre en évidence le caractère légèrement inertiel des systèmes aquifères (effets mémoire de l'ordre de 50 jours) et de mettre en évidence la cyclicité annuelle des débits de la Pimpine,

☞ la mise en œuvre d'analyses corrélatoires croisées a permis de montrer que la corrélation pluies/débits était meilleure que la corrélation pluies/niveaux piézométriques avec un maximum de corrélation qui est atteint au bout de 5 j dans le cas des niveaux piézométriques et de 1 j dans le cas du débit (temps de concentration rapide en lien probable avec la faible superficie du bassin versant et la nature argileuse du sol),

☞ 95 % des débits mesurés à Cénac correspondent à des débits « ordinaires » (débits inférieurs à 0,8 m³/s environ), 4 % à des débits de hautes eaux ou de crue (compris entre 0,8 et 3,1 m³/s) et 1 % à des débits exceptionnels (supérieurs à 3,1 m³/s),

☞ en matière de modélisation du débit de la Pimpine à Cénac, le meilleur ajustement (Nash de 0,75) a été obtenu en tenant compte d'une composante « eaux souterraines » (forage du Pout situé en dehors du bassin versant) et en fixant les composantes rapides de l'écoulement à 2 et 30 jours,

☞ la présence de bassins écrêteurs de crue et le rejet d'effluents de STEP dans la Pimpine ou dans ses affluents engendrent des modifications du régime du cours d'eau qu'il n'est pas possible de prendre en compte dans la modélisation et qui rendent le calage délicat,

☞ il est risqué de généraliser les résultats obtenus avec des chroniques piézométriques relatives à 2 cycles hydrologiques mais il semblerait que le débit de la Pimpine soit exclusivement lié aux apports de la nappe et aux rejets des STEP (comme le suggèrent les pics de débit observés sur l'hydrogramme) lors de la période estivale. Le reste de l'année, ces derniers représenteraient en moyenne 58 % des apports.

Au terme de l'analyse, il convient de préciser que les chiffres mentionnés ne sont qu'indicatifs car déduits de chroniques très courtes.

Concernant le fonctionnement de l'hydrosystème, il semble que ce dernier soit réactif aux précipitations mais qu'il se caractérise aussi par une certaine inertie qui est probablement liée à la présence d'une épaisse couche de molasses sur une grande partie du bassin versant (ces dernières favorisent le ruissellement ainsi qu'une infiltration lente au sein de l'aquifère).

3. Conclusion

Parallèlement à l'analyse socio-économique qui a été réalisée dans le cadre du rapport BRGM-60163-FR, l'approche de modélisation TEMPO a permis de mieux caractériser le fonctionnement de l'hydrosystème.

L'analyse préalable des données, la mise en œuvre d'analyses corrélatoires, l'analyse des débits classés et la modélisation TEMPO proprement dite ont en effet permis de montrer que le cours d'eau réagissait rapidement aux épisodes pluvieux alors que les systèmes aquifères étaient beaucoup plus inertiels.

Ce résultat est à mettre en relation avec la superficie relativement limitée du bassin versant ainsi que la nature argileuse d'une partie du sous-sol (molasses de l'Agenais en particulier).

La présence de bassins écrêteurs de crue et le rejet d'effluents de STEP dans la Pimpine engendrent des modifications du régime du cours d'eau et rendent la modélisation du débit délicate.

Les meilleurs calages ont été obtenus en tenant compte d'une composante « eaux souterraines » (forage du Pout situé en dehors du bassin versant) et en fixant les composantes rapides de l'écoulement à 2 et 30 jours.

Il est risqué de généraliser les résultats obtenus avec des chroniques piézométriques relatives à 2 cycles hydrologiques mais il semblerait que le débit de la Pimpine soit exclusivement lié aux apports de la nappe et aux rejets des STEP lors de la période estivale. Le reste de l'année, ces derniers représenteraient en moyenne 58 % des apports.

La poursuite des enregistrements sur une période de 3 à 4 ans supplémentaires ainsi que la prise en compte des rejets de STEP (sous forme de débits journaliers) pourrait contribuer à améliorer la robustesse des résultats.

En l'absence de prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable au droit du bassin versant et compte tenu de l'absence de connexion entre les systèmes oligocène de rives gauche et droite de la Garonne, l'intérêt d'une telle démarche reste toutefois à étudier.

En tout cas, elle ne constitue pas un préalable nécessaire à la mise en place d'un programme de réduction de la consommation d'eau sur le bassin versant dont le bienfondé a été démontré dans l'analyse socio-économique.

4. Bibliographie

Capdeville J.P., Karnay G. (1996). Carte géol. France (1/50000), feuille Podensac (826). Orléans : BRGM. Notice explicative par Capdeville J.P., Charnet F., Lenoir M., (1996), 60p.

Corbier P., Karnay G. avec la collaboration de Bourguine B. et Saltel M. (2010) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 7 - Année 1 - BRGM/RP-57813-FR, 186 pages, 36 figures, 6 annexes.

François Brouquisse (Cete du Sud-Ouest), Sandrine Liénard et Philippe Rik (LREP), Noël Terracol (Cete de Lyon), Henri Bouillon et Éric Valla (Certu). L'ingénierie d'appui territorial au service du développement durable. Manuel de recommandations pour la prise en compte du développement durable dans la gestion du cycle de l'eau. Fascicule 2 : Aménagement de bassin versant. Rapport CERTU, 107 p., 26 figures.

Gayet J., Pratviel L., Alvinerie J., Dubreuilh J. (1976). Carte géol. France (1/50000), feuille Bordeaux (803). Orléans : BRGM. Notice explicative par Alvinerie J., Pratviel L., Gayet J., Dubreuilh J., Moisan J.L., Wilbert J., Astié H., Duvergé J., (1977), 40p.

Gayet J., Pratviel L., Alvinerie J., Dubreuilh J. (1977). Carte géol. France (1/50000), feuille Pessac (827). Orléans : BRGM. Notice explicative par Alvinerie J., Pratviel L., Duvergé J., Dubreuilh J., Wilbert J., Astié H., Gayet J., Duphil J., (1978), 32p.

Karnay G., Corbier P. avec la collaboration de Blanchin R., Jaouen T., Porquet M. et Peter M. (2008) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 7 - Année 1 - BRGM/RP-56475-FR, 73 pages, 25 figures, 6 tableaux.

SOGREAH-GEREA (2008). Etude préalable aux travaux d'aménagement du réseau hydrographique du bassin versant de la Pimpine – Phase 1 – Etat des lieux et diagnostic du cours d'eau sur le plan physique, biologique et patrimonial, Rapport, 69 p., 15 figures, 3 annexes.

SOGELERG SOGREAH (1993). Bassin de la Pimpine. Etude hydrologique et hydraulique. Rapport en collaboration avec le Syndicat Intercommunal d'Etudes pour la Restauration et l'Aménagement du Bassin Versant de la Pimpine et la Direction Départementale de l'Equipement de la Gironde. 35 p., 29 figures, 5 annexes, 4 plans encartés.

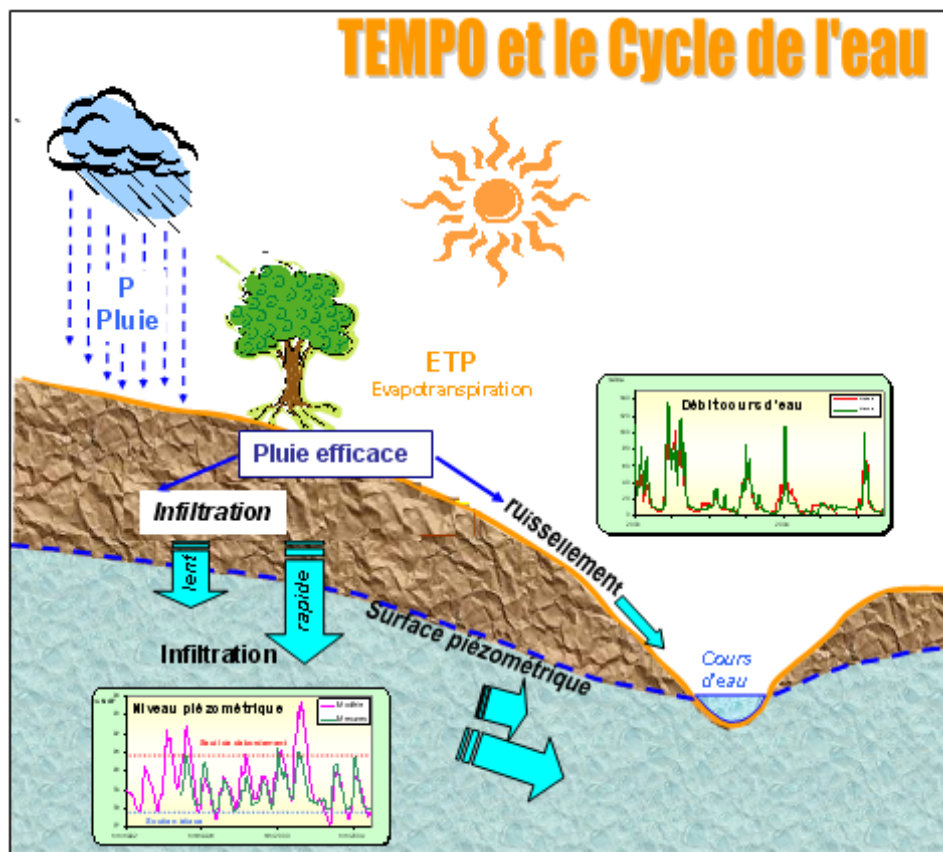
Corbier P. et Durst P. avec la collaboration de Fruh E. et Labarthe B. (2010). Projet Water and territories. Application au bassin versant de la Pimpine (33). Etat des connaissances. Rapport BRGM/RP-58786-FR, 93 p., 36 illustrations, 12 tableaux, 4 annexes.

Corbier P. avec la collaboration de Labarthe B. (2011). Projet Water and Territories. Application au bassin versant de la Pimpine (33). Les outils de la maîtrise de la demande en eau. Rapport BRGM/RP-59518-FR, 47 p., 20 illustrations, 3 annexes.

Graveline, N. (2011). Analyse économique de la récupération d'eau de pluie dans le bassin de la Pimpine. Rapport BRGM/RP-60163-FR, 55 p., 17 illustrations, 3 annexes.

Annexe 1 : Principes du logiciel TEMPO

Ce logiciel, développé par le BRGM, est utilisé depuis plusieurs années dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydrogéologie pour modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il permet de modéliser le fonctionnement d'un hydrosystème (cf. figure suivante).



Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO

A la différence des modélisations réalisées à l'aide de « modèles maillés », qui tiennent compte explicitement des équations décrivant les écoulements, une modélisation avec TEMPO n'est pas basée sur de telles équations et ne nécessite pas la connaissance des caractéristiques physiques de l'hydrosystème, comme par exemple les perméabilités et les coefficients d'emmaganement de l'aquifère avec leur variabilité spatiale.

La modélisation d'un tel hydrosystème avec TEMPO consistera à reproduire les niveaux de la nappe et/ou les débits à l'exutoire à l'aide des données climatiques, pluies et ETP.

Le système est considéré comme un « tout » et la modélisation est dite « globale ».

Contrairement à un modèle maillé (spatialisé), une modélisation globale ne permettra pas d'établir de différenciations spatiales. Par exemple, une zone à forte concentrations de pompages ou un secteur aquifère plus productif ou une zone de forte infiltration, ne seront pas pris explicitement en compte.

La modélisation globale (cf. figure suivante) d'un hydrosystème consiste à rechercher la liaison entre l'entrée du système (pluie et ETP) et la sortie (niveaux et/ou débits).



Les modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire »

La liaison entre « entrée » et « sortie » est assurée par l'intermédiaire d'une fonction qui doit caractériser globalement l'hydrosystème (et qui permet de s'affranchir de tous les paramètres inconnus du bassin superficiel et souterrain).

La fonction recherchée doit reproduire le fonctionnement de l'hydrosystème, c'est-à-dire sa réponse aux épisodes pluvieux (élévation du niveau de la nappe, augmentation du débit à l'exutoire,...). La sortie calculée (niveaux ou débits) doit s'ajuster au mieux sur la série de mesures en reproduisant en particulier :

- les déphasages : il y a généralement une réaction différée de l'hydrosystème aux épisodes pluvieux, le « temps de retard » étant plus ou moins important en fonction des caractéristiques du bassin (taille, topographie, densité de drainage, paramètres hydrodynamiques de l'aquifère sous-jacent) ;
- les amplitudes de fluctuations.

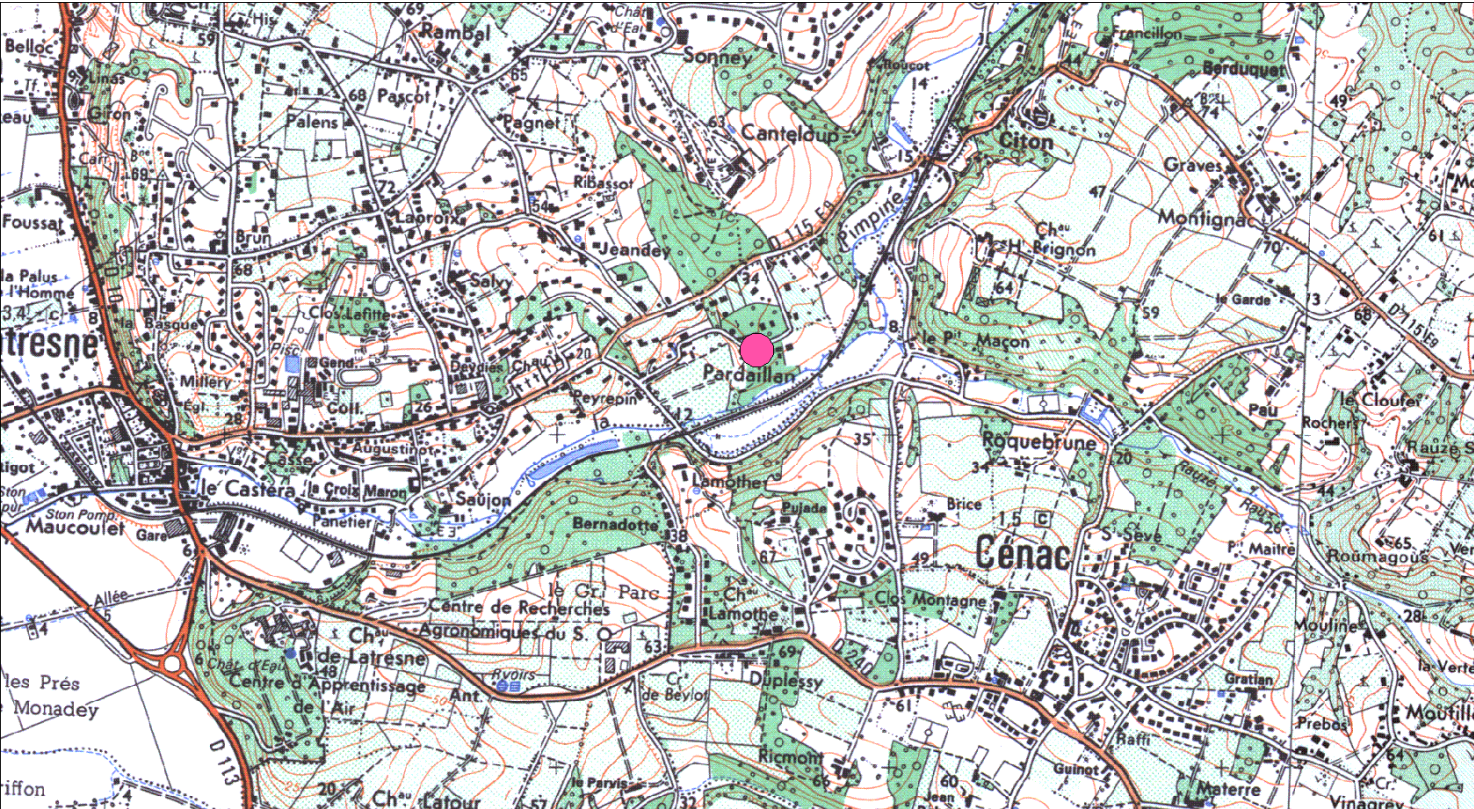
La fonction recherchée est appelée fonction de transfert.

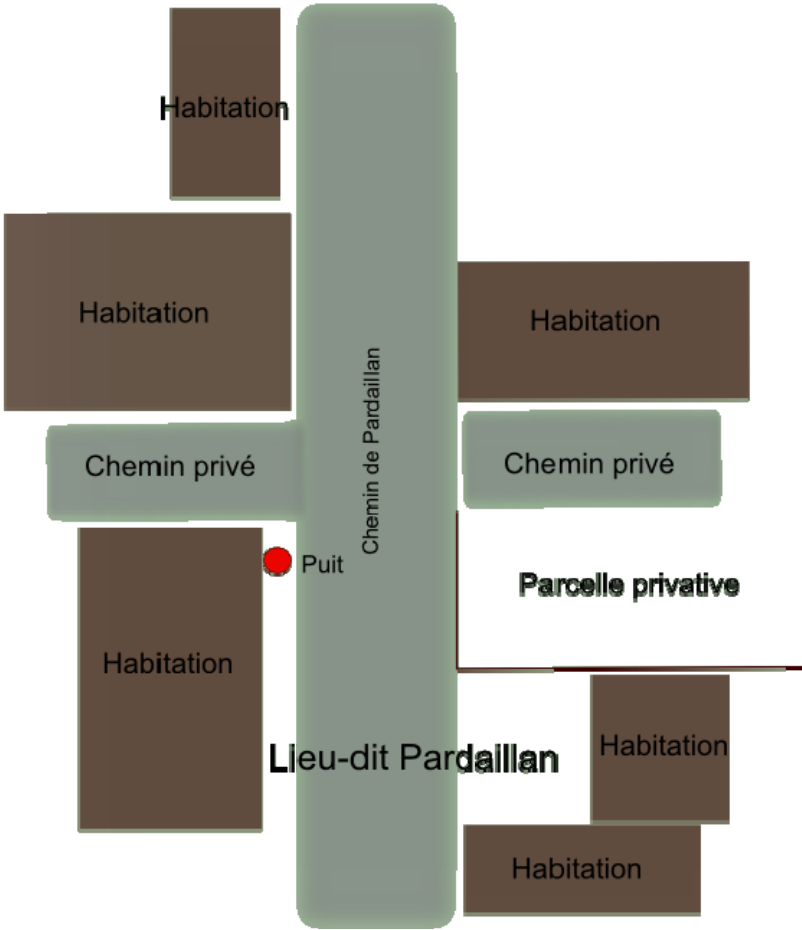
Dans le cadre de cette étude, la décomposition de l'hydrogramme a été réalisée en calculant les réponses impulsionnelles (ou fonctions de transfert) associées aux différents types de flux d'eau générés par la pluie sur un bassin versant :

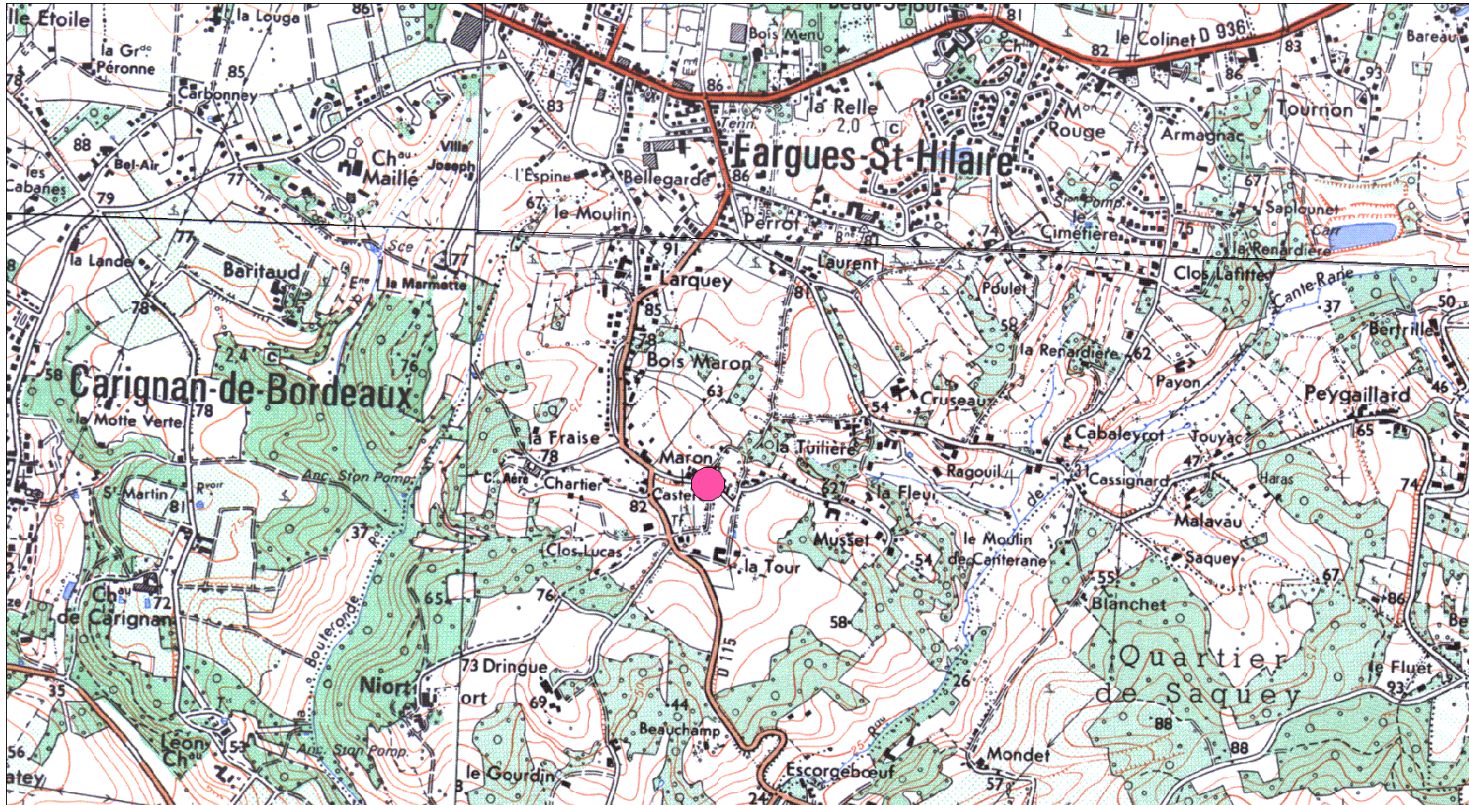
- ruissellement, rapide ou différé ;
- infiltration vers la nappe.

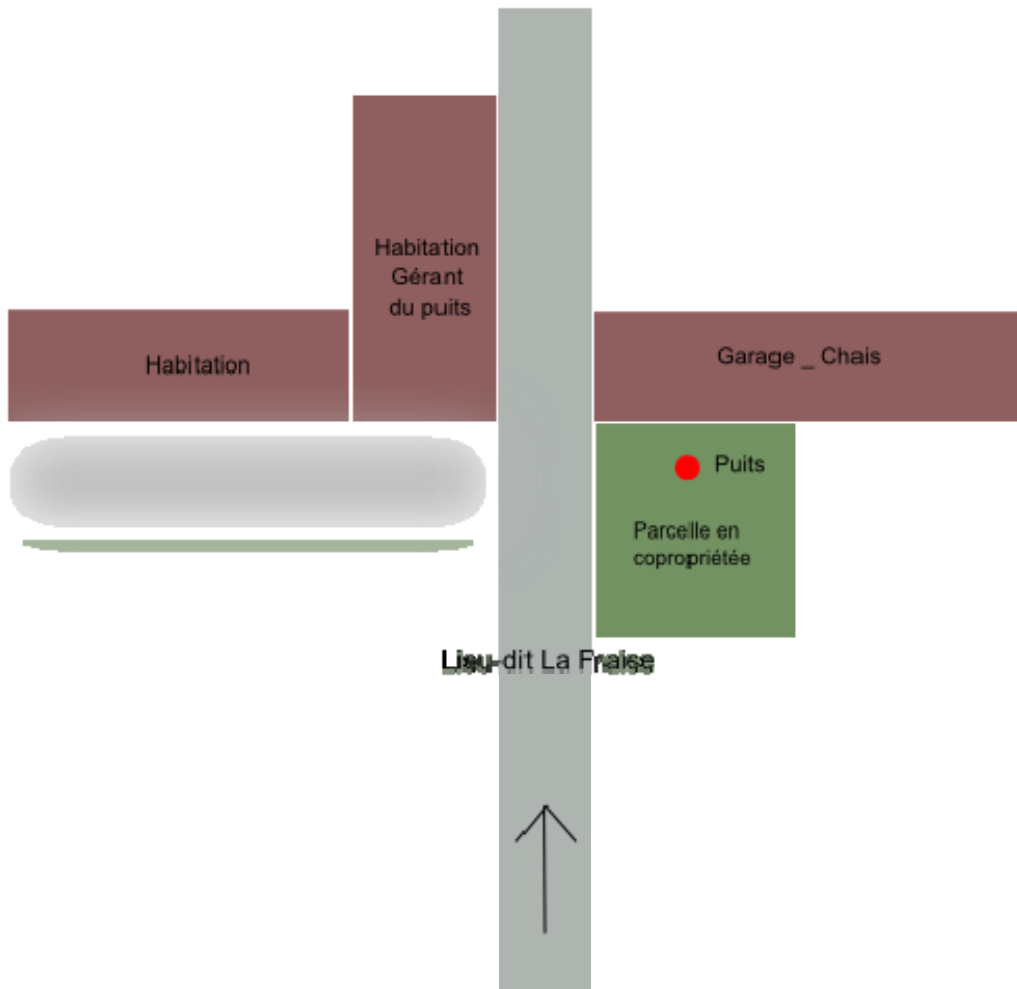
La pluie efficace calculée est décomposée en une composante rapide et une composante lente, chacune de ces composantes étant « transférée » à l'exutoire ou à la nappe par l'intermédiaire de la réponse impulsionnelle correspondante.

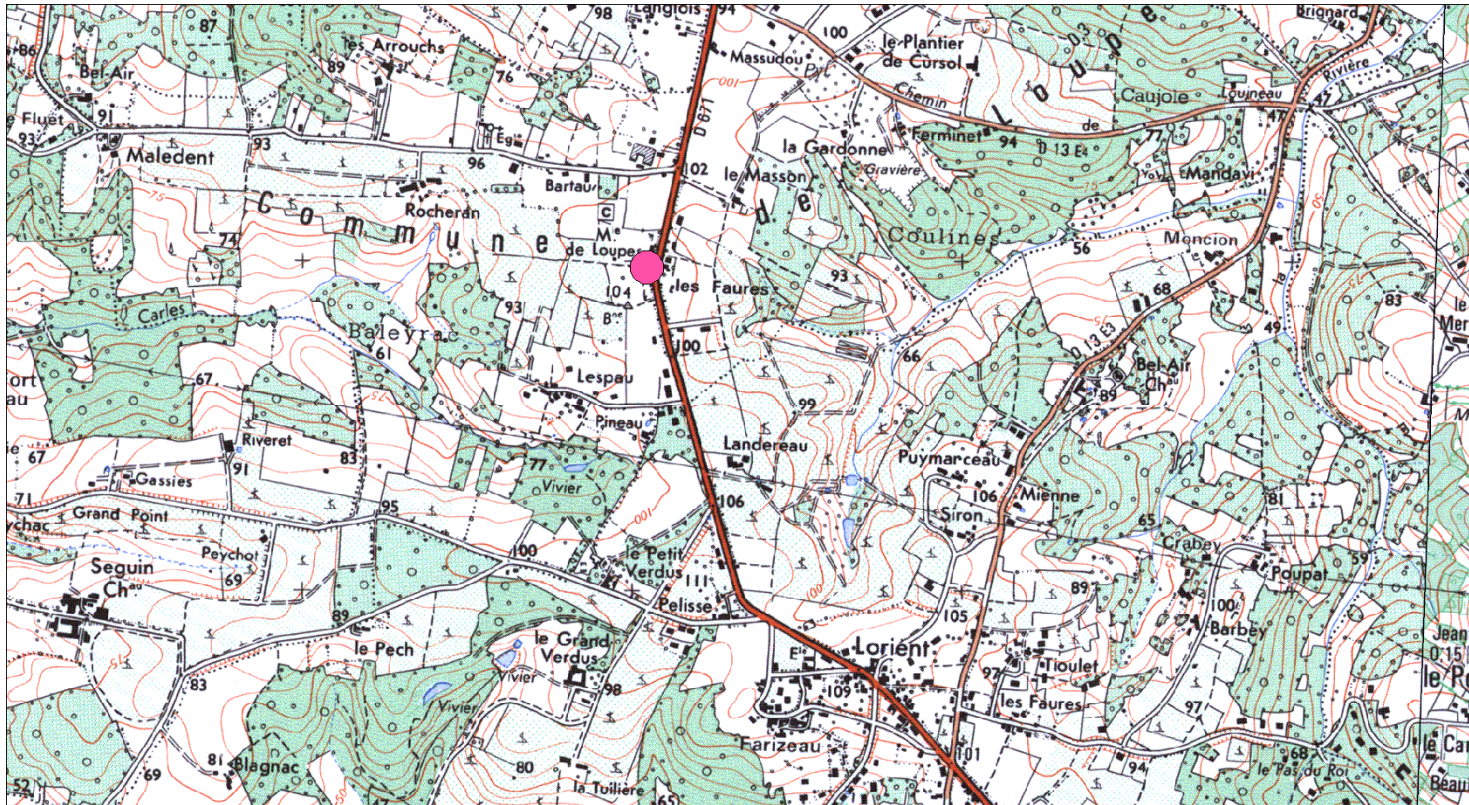
Annexe 2 : Caractéristiques des ouvrages équipés d'enregistreurs de niveau

	Lieu-dit ou dénomination usuelle : Lieu-dit Pardaillan Commune : Latresne Département : GIRONDE Identification de la station : 08273X0156	Généralités Nature du point d'eau : Puits Année de réalisation de l'ouvrage : - Etat de la procédure périmètre de protection : - Etat du point d'eau : Abandonné Usage du Point d'eau : - Environnement du point d'eau : Rural Photographie de l'ouvrage  
LOCALISATION Coordonnées Lambert 3 : X L3 = 377 560 m Y L3 = 280 260 m Coordonnées Lambert 2 Etendu : X L2E = 377 445 m Y L2E = 1 980 355 m Altitude au sol (m NGF) : Z = 24 m (précision : EPD) Nivellement : - Carte géologique (1/50 000°) : 827 (PESSAC)		
PLAN DE SITUATION D'APRES IGN A 1/10 000  Calcaires à Astéries (Oligocène inférieur)		
BRGM/RP-60385-FR – Rapport final		

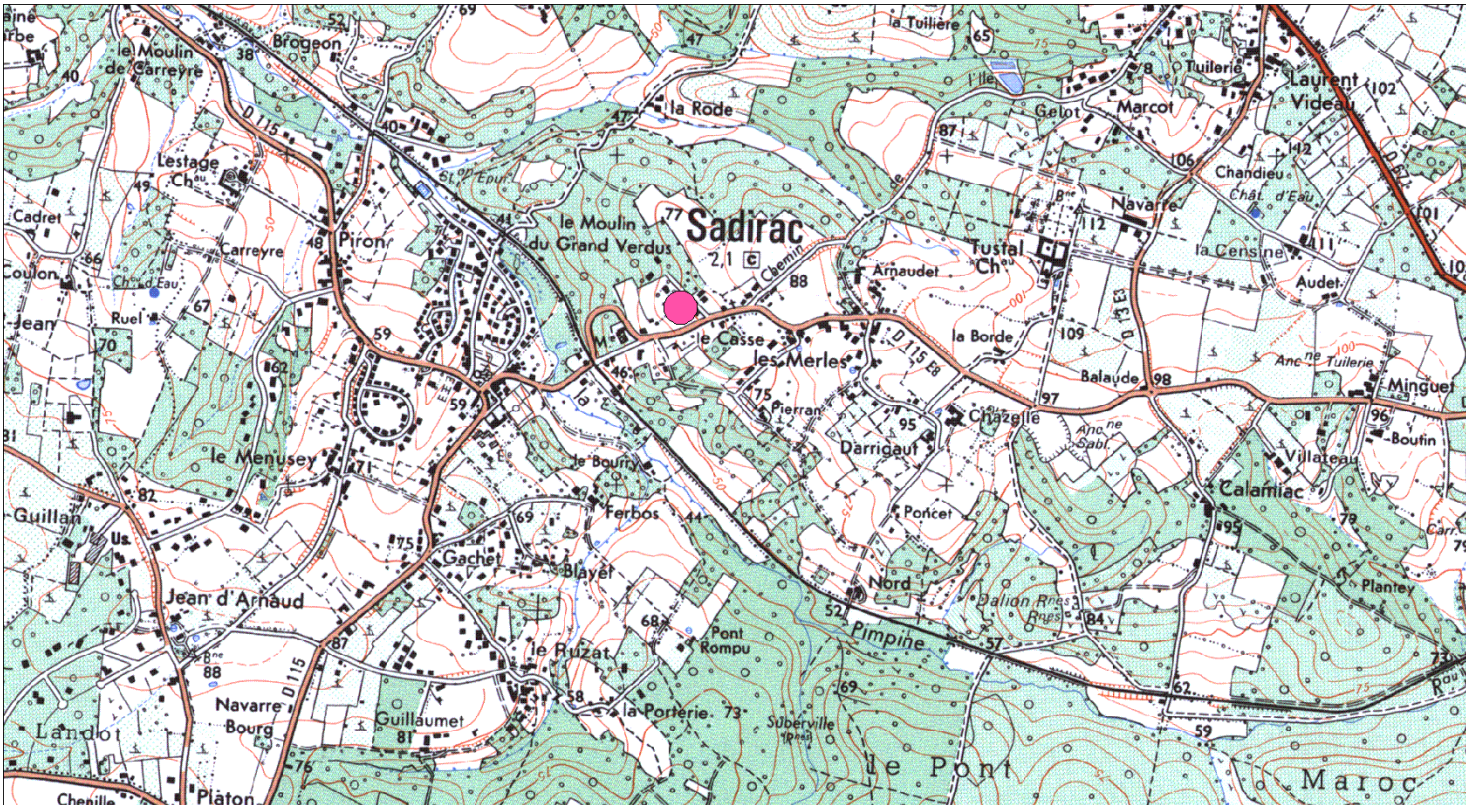
COUPE GEOLOGIQUE	ACCESSIBILITE
	Accessibilité : Très facile Localisation : En bord de voie communale  The diagram illustrates the site layout. A central vertical grey path labeled 'Chemin de Pardailan' runs through the center. To its left, there are three brown rectangular buildings labeled 'Habitation'. To its right, there are three brown rectangular buildings labeled 'Habitation'. A horizontal grey path labeled 'Chemin privé' crosses the central path. A red dot labeled 'Puit' (well) is located on the central path. A brown rectangular area labeled 'Parcelle privative' is situated to the right of the central path. The entire area is labeled 'Lieu-dit Pardailan' at the bottom.
	SITUATION ADMINISTRATIVE
	1. Propriétaire de l'ouvrage : Commune da Latresne 2. Exploitant de l'ouvrage : Commune de Latresne
	DISPONIBILITE DES MESURES
	Périodicité de la mesure : Continue Mode d'acquisition des mesures : Sonde pressiométrique Profondeur du niveau d'eau : 13.9 m (19 novembre 2009), 13.3 m (3 juin 2010) Contact éventuel (propriétaire de la maison en pierres située en face du puits) : M et Mme RIVIERE : 05 56 30 83 87

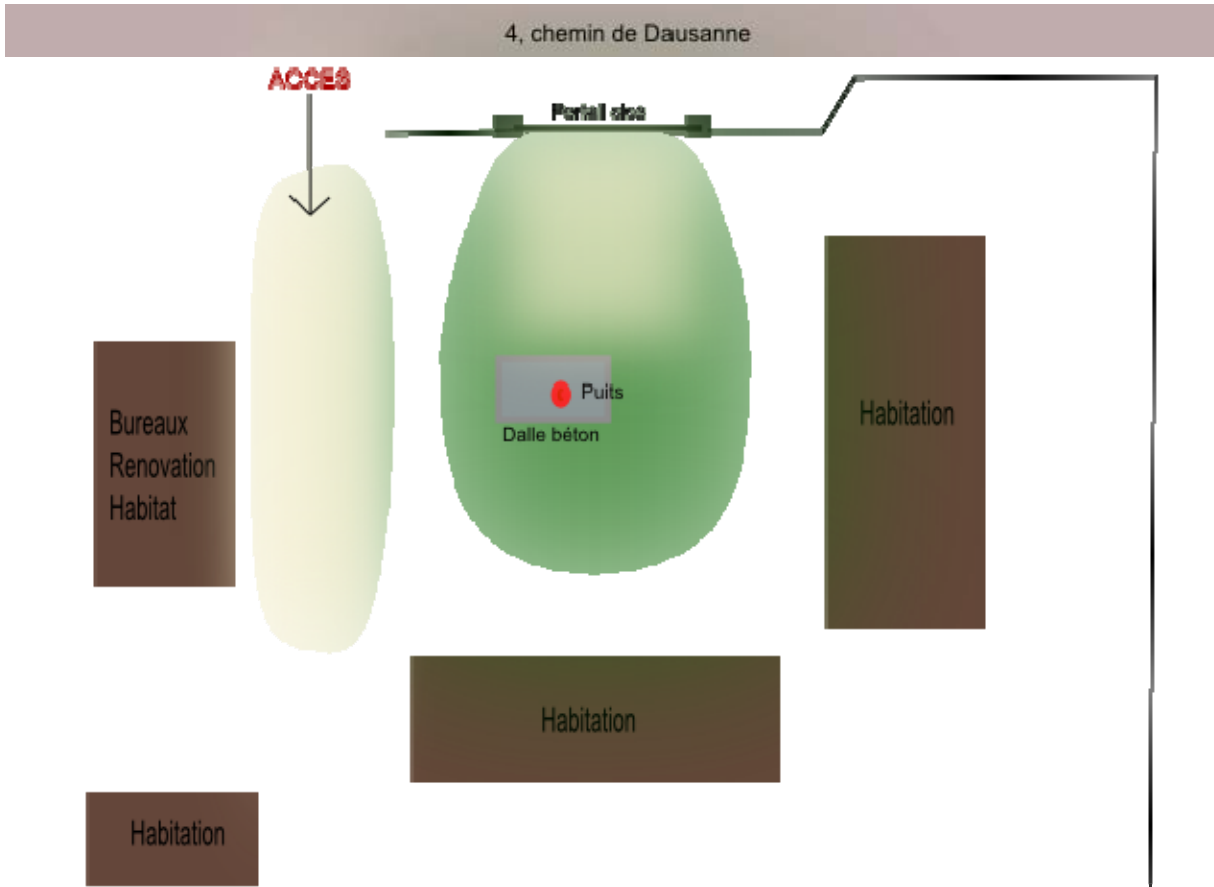
	Lieu-dit ou dénomination usuelle : Route de Maron Commune : Fargues-Saint-Hilaire Département : GIRONDE	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE	
Identification de la station : 08274X0076		Généralités	
		Nature du point d'eau :	Puits
		Année de réalisation de l'ouvrage :	1927
		Etat de la procédure périmètre de protection :	-
		Etat du point d'eau :	Abandonné
		Usage du Point d'eau :	-
		Environnement du point d'eau :	Rural
LOCALISATION		Photographie de l'ouvrage	
Coordonnées Lambert 3 : X L3 = 379 780 m Y L3 = 283 140 m Coordonnées Lambert 2 Etendu : X L2E = 379 671 m Y L2E = 1 983 233m Altitude au sol (m NGF) : Z = 80 m (précision : EPD) Nivellement : - Carte géologique (1/50 000^e) : 827 (PESSAC)		 	
PLAN DE SITUATION D'APRES IGN A 1/10 000			
		 	
Molasses de l'Agenais (Oligocène supérieur)		Techniques	
		Profondeur théorique :	19 m initialement mais approfondi à plus de 24 m après sa création
		Diamètre du tubage :	-
		Cimentation de l'en-tête de tubage :	non
		Protection du forage :	oui (plaque métallique)
		Equipement de pompage en place :	non

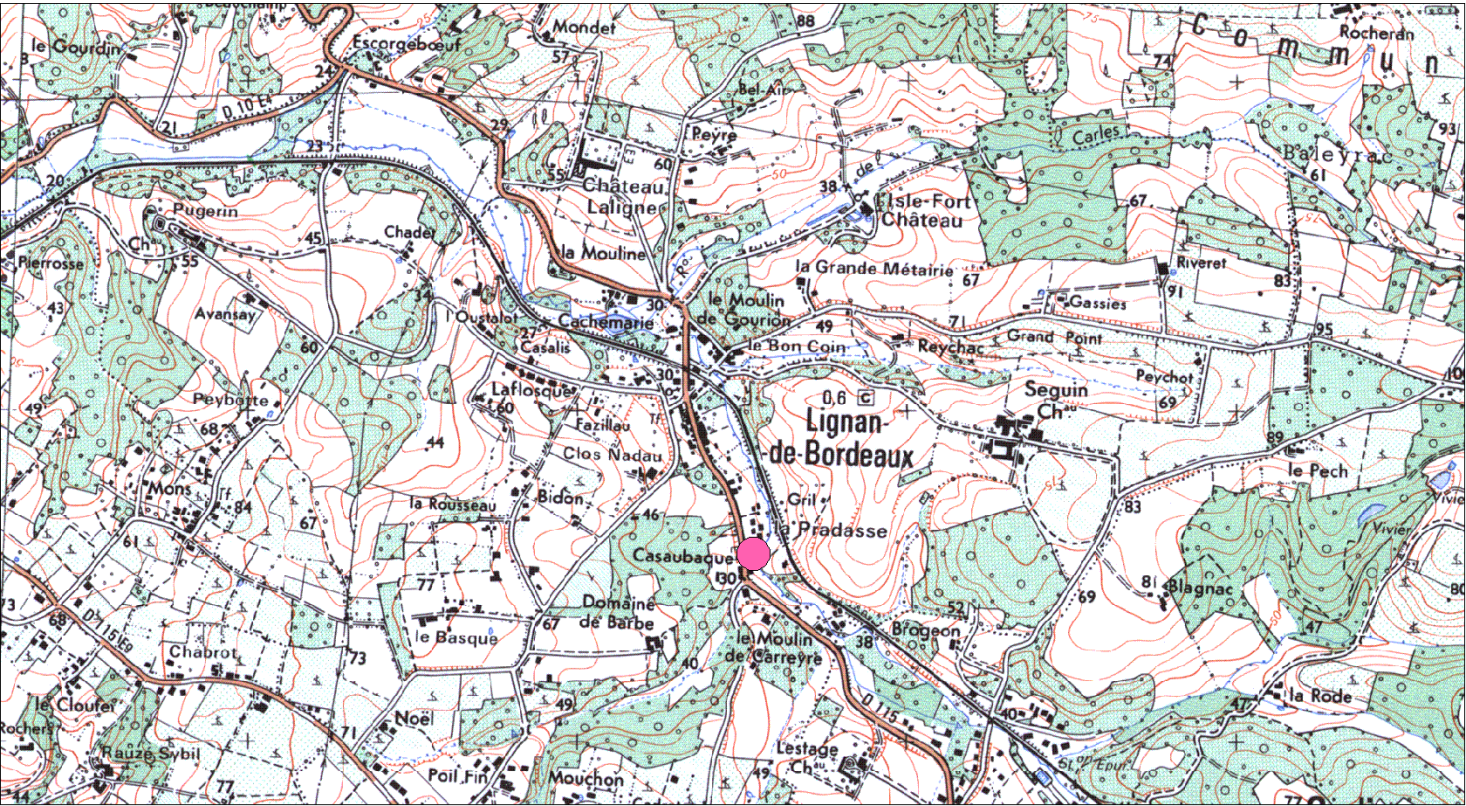
COUPE GEOLOGIQUE			ACCESSIBILITE																													
<table><tr><th>Profondeurs approximatives en mètres</th><th>Nature des terrains</th><th>Interprétation</th></tr><tr><td>1 à 3</td><td>Argiles marron et grises</td><td rowspan="12">ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS</td></tr><tr><td>3 à 4</td><td>Argiles grises légèrement ferrugineuse</td></tr><tr><td>4 à 5</td><td>Sable fin argileux ferrugineux</td></tr><tr><td>5 à 6</td><td>Argile sableuse</td></tr><tr><td>6 à 11</td><td>Sable fin ocre jaune avec qq. graviers</td></tr><tr><td>11 à 12</td><td>Sable grossier graveleux de couleur terre de sienne avec qq. Gravillons de quartz</td></tr><tr><td>12 à 13</td><td>Graviers de quartz plus ou moins gros mêlés de sable</td></tr><tr><td>13 à 14</td><td>Conglomérat de sable et de gravillons micacés très ferrugineux</td></tr><tr><td>14 à 15</td><td>Sable micacé, gravillonné, légèrement ferrugineux</td></tr><tr><td>15 à 16</td><td>Sable grossier ferrugineux à forte densité de quartz</td></tr><tr><td>16 à 17</td><td>Sable argileux de couleur sienne claire et gravillonné</td></tr><tr><td>17 à 18</td><td>Sable grossier mêlé de graviers et de galets</td></tr></table>			Profondeurs approximatives en mètres	Nature des terrains	Interprétation	1 à 3	Argiles marron et grises	ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS	3 à 4	Argiles grises légèrement ferrugineuse	4 à 5	Sable fin argileux ferrugineux	5 à 6	Argile sableuse	6 à 11	Sable fin ocre jaune avec qq. graviers	11 à 12	Sable grossier graveleux de couleur terre de sienne avec qq. Gravillons de quartz	12 à 13	Graviers de quartz plus ou moins gros mêlés de sable	13 à 14	Conglomérat de sable et de gravillons micacés très ferrugineux	14 à 15	Sable micacé, gravillonné, légèrement ferrugineux	15 à 16	Sable grossier ferrugineux à forte densité de quartz	16 à 17	Sable argileux de couleur sienne claire et gravillonné	17 à 18	Sable grossier mêlé de graviers et de galets	Accessibilité : Très facile Localisation : Sur une parcelle ouverte en copropriété 	
Profondeurs approximatives en mètres	Nature des terrains	Interprétation																														
1 à 3	Argiles marron et grises	ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS																														
3 à 4	Argiles grises légèrement ferrugineuse																															
4 à 5	Sable fin argileux ferrugineux																															
5 à 6	Argile sableuse																															
6 à 11	Sable fin ocre jaune avec qq. graviers																															
11 à 12	Sable grossier graveleux de couleur terre de sienne avec qq. Gravillons de quartz																															
12 à 13	Graviers de quartz plus ou moins gros mêlés de sable																															
13 à 14	Conglomérat de sable et de gravillons micacés très ferrugineux																															
14 à 15	Sable micacé, gravillonné, légèrement ferrugineux																															
15 à 16	Sable grossier ferrugineux à forte densité de quartz																															
16 à 17	Sable argileux de couleur sienne claire et gravillonné																															
17 à 18	Sable grossier mêlé de graviers et de galets																															
			SITUATION ADMINISTRATIVE																													
			3. Propriétaire de l'ouvrage : Copropriété dissoute 4. Exploitant de l'ouvrage : Copropriété dissoute mais « gérée » par Mr CANTAU : 05 56 21 29 01																													
			DISPONIBILITE DES MESURES																													
			Périodicité de la mesure : Continue Mode d'acquisition des mesures : Sonde pressiométrique Profondeur du niveau d'eau : 24 m (19 novembre 2009), 23.86 (3 juin 2010)																													

	Lieu-dit ou dénomination usuelle : Laguillaumette Commune : Loupes Département : GIRONDE	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE	
Identification de la station : 08274X0130		Généralités	
		Nature du point d'eau :	Puits
		Année de réalisation de l'ouvrage :	-
		Etat de la procédure périmètre de protection :	-
		Etat du point d'eau :	Abandonné
		Usage du Point d'eau :	-
		Environnement du point d'eau :	Rural
LOCALISATION		Photographie de l'ouvrage	
Coordonnées Lambert 3 : X L3 = 384 024 m Y L3 = 281 958 m Coordonnées Lambert 2 Etendu : X L2E = 383 915 m Y L2E = 1 982 044 m Altitude au sol (m NGF) : Z = 101 m (précision : EPD) Nivellement : - Carte géologique (1/50 000^e) : 827 (PESSAC)			
PLAN DE SITUATION D'APRES IGN A 1/10 000			
			
Belin puis Molasses de l'Agenais (Oligocène supérieur)		Techniques	
		Profondeur théorique :	18 m
		Diamètre du tubage :	-
		Cimentation de l'en-tête de tubage :	non
		Protection du forage :	oui (capot métallique)
		Equipement de pompage en place :	non

COUPE GEOLOGIQUE	ACCESSIBILITE
	Accessibilité : Très facile Localisation : Dans la propriété The diagram is a site plan. At the top, there are two areas labeled 'Parcelles agricoles' (agricultural parcels). Below the left one is a grey rectangle labeled 'Chais' (barn). To its right is a green rectangle labeled 'Autres bâtiments' (other buildings). Below the barn is a vertical grey rectangle containing three dark grey circles, labeled 'Cuves métalliques' (metal casks). To the right of the casks is a red circle labeled 'Puit' (well). Below these is a large brown rectangle labeled 'Propriété' (property). At the bottom is a grey horizontal bar labeled 'Route de Créon' with an arrow pointing right. To the right of the route is an upward arrow labeled 'Acces' (access) leading to a small pink rectangle labeled 'Loupes'. There are also several green circles scattered in the upper right area.
	SITUATION ADMINISTRATIVE Propriétaire de l'ouvrage : Exploitant de l'ouvrage : Maître de chai : Mr ARTIGUE _ Château Laguillaumette (b-artigue@wanadoo.fr) Mr ARTIGUE _ Château Laguillaumette Mr REYNAULD (06 15 03 45 26)
	DISPONIBILITE DES MESURES Périodicité de la mesure : Continue Mode d'acquisition des mesures : Sonde pressiométrique Profondeur du niveau d'eau : 16.27 m (4 novembre 2009), 15.93 (3 juin 2010)

	Lieu-dit ou dénomination usuelle : - Commune : Sadirac Département : GIRONDE Identification de la station : 08274X0104	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE Généralités Nature du point d'eau : Puits Année de réalisation de l'ouvrage : 1968 Etat de la procédure périmètre de protection : - Etat du point d'eau : Utilisation domestique Usage du Point d'eau : Eau Individuelle Environnement du point d'eau : Rural Photographie de l'ouvrage  Techniques Profondeur théorique : 15 m Diamètre du tubage : - Cimentation de l'en-tête de tubage : non Protection du forage : oui (dalle métallique) Equipement de pompage en place : oui
LOCALISATION Coordonnées Lambert 3 : X L3 = 383 200 m Y L3 = 279 540 m Coordonnées Lambert 2 Etendu : X L2E = 383 087 m Y L2E = 1 979 625 m Altitude au sol (m NGF) : Z = 75 m (précision : EPD) Nivellement : oui Carte géologique (1/50 000^e) : 827 (PESSAC) PLAN DE SITUATION D'APRES IGN A 1/10 000  Molasses de l'Agenais (Oligocène supérieur)		

COUPE GEOLOGIQUE			ACCESSIBILITE																					
<table><tr><th>Profondeurs approximatives en mètres</th><th>Nature des terrains</th><th>Interprétation</th></tr><tr><td>0 à 1</td><td>Terre végétale marron argileuse</td><td rowspan="8">ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS</td></tr><tr><td>1 à 3</td><td>Sable roux légèrement argileux</td></tr><tr><td>4 à 6</td><td>Sable blanc jaune légèrement argileux</td></tr><tr><td>6 à 8</td><td>Argile gris-bleu sableuse</td></tr><tr><td>8 à 9</td><td>Sable roux grossier avec passage de sable blanc argileux</td></tr><tr><td>9 à 12</td><td>Sable roux légèrement argileux</td></tr><tr><td>12 à 13</td><td>Sable roux avec passage d'argile sableuse lie de vin</td></tr><tr><td>13 à 15</td><td>Sable argileux roux et gris-blanc</td></tr></table>			Profondeurs approximatives en mètres	Nature des terrains	Interprétation	0 à 1	Terre végétale marron argileuse	ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS	1 à 3	Sable roux légèrement argileux	4 à 6	Sable blanc jaune légèrement argileux	6 à 8	Argile gris-bleu sableuse	8 à 9	Sable roux grossier avec passage de sable blanc argileux	9 à 12	Sable roux légèrement argileux	12 à 13	Sable roux avec passage d'argile sableuse lie de vin	13 à 15	Sable argileux roux et gris-blanc	Accessibilité : Très facile Localisation : Au milieu de l'allée, derrière le portail 	
Profondeurs approximatives en mètres	Nature des terrains	Interprétation																						
0 à 1	Terre végétale marron argileuse	ARGILES A GRAVIERS DE L'ENTRE-DEUX-MERS																						
1 à 3	Sable roux légèrement argileux																							
4 à 6	Sable blanc jaune légèrement argileux																							
6 à 8	Argile gris-bleu sableuse																							
8 à 9	Sable roux grossier avec passage de sable blanc argileux																							
9 à 12	Sable roux légèrement argileux																							
12 à 13	Sable roux avec passage d'argile sableuse lie de vin																							
13 à 15	Sable argileux roux et gris-blanc																							
			SITUATION ADMINISTRATIVE																					
			Propriétaire de l'ouvrage : Mr DE OLIVERA (05 56 30 64 89) Exploitant de l'ouvrage : Mr DE OLIVERA (05 56 30 64 89)																					
			DISPONIBILITE DES MESURES																					
			Périodicité de la mesure : Continue Mode d'acquisition des mesures : Sonde pressiométrique Profondeur du niveau d'eau : 10.49 m (novembre 2009), 10.4 m (3 juin 2010 / dessous plaque fermeture)																					

	Lieu-dit ou dénomination usuelle : Casaubaque Commune : Lignan-de-Bordeaux Département : GIRONDE Identification de la station : 08274X0031	CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE	
LOCALISATION		Généralités	
Coordonnées Lambert 3 : X L3 = 381 532m Y L3 = 280 576 m Coordonnées Lambert 2 Etendu : X L2E = 381 420 m Y L2E = 1 980 665 m Altitude au sol (m NGF) : Z = 28 m (précision : EPD) Nivellement : - Carte géologique (1/50 000^e) : 827 (PESSAC)		Nature du point d'eau : Puits Année de réalisation de l'ouvrage : Etat de la procédure périmètre de protection : - Etat du point d'eau : Utilisation domestique Usage du Point d'eau : Eau Individuelle Environnement du point d'eau : Rural	
PLAN DE SITUATION D'APRES IGN A 1/10 000		Photographie de l'ouvrage	
			
Calcaires à Astéries (Oligocène inférieur)		Techniques	
		Profondeur théorique : Diamètre du tubage : Cimentation de l'en-tête de tubage : non Protection du forage : oui (dalle béton) Equipement de pompage en place : oui	

COUPE GEOLOGIQUE	ACCESSIBILITE
	Accessibilité : Facile mais prise de rendez-vous nécessaire Localisation : En bordure de route au numéro 94 
	SITUATION ADMINISTRATIVE Propriétaire de l'ouvrage : M. Maurey, 94 Route de l'Entre-Deux-Mers, Lignan-de-Bordeaux (05 56 68 36 02) Exploitant de l'ouvrage : Idem
	DISPONIBILITE DES MESURES Périodicité de la mesure : Continue Mode d'acquisition des mesures : Sonde pressiométrique Profondeur du niveau d'eau : 2,11 m (13 juillet 2010)



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70