

Document public



Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine

Gestion intégrée des nappes alluviales

Module 5 - Année 1

Etude des nappes alluviales de la Garonne,
de la Dordogne, du Gave de Pau et du Dropt

Rapport final



Préfecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales

BRGM/RP-57811-FR

Juillet 2010



Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine

Gestion intégrée des nappes alluviales

Module 5 - Année 1

Etude des nappes alluviales de la Garonne,
de la Dordogne, du Gave de Pau et du Dropt

Rapport final

BRGM/RP-57811-FR

Juillet 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 09EAU17

Corbier P. et Wulleumier A.

avec la collaboration de Labarthe B., Capéran F., Grabenstaetter Loïc et
Fondin A.



Prefecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction régionale
de l'Environnement,
de l'Aménagement
et du Logement

AQUITAINE

Vérificateur :

F. Bichot

Approbateur :

Philippe Dutarte

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 : Dordogne, Dropt, Garonne, Gave de Pau, Gironde, hydrogéologie, Lot-et-Garonne, modèle, nappe alluviale, outil de gestion, piézométrie, prototype, qualité, prélèvements, Pyrénées-Atlantiques, TEMPO.

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

Corbier P. et Wuilleumier A. avec la collaboration de Labarthe B., Capéran F., Granbenstaetter L. et Fondin A. (2010) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine. Gestion intégrée des nappes alluviales - Etude des nappes alluviales de la Garonne, de la Dordogne, du Gave de Pau et du Dropt - Module 5 - Année 1 - BRGM/RP-57811-FR, 147 pages, 70 illustrations, 5 annexes.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la convention "Gestion des Eaux Souterraines en Région Aquitaine" signée entre l'État, la Région Aquitaine et le BRGM pour la période 2002-2006 puis pour la période 2008-2013 (renouvellement) avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Elle correspond au **module 5** de la convention dont l'objectif est de mettre en place des outils de gestion sur les principales nappes alluviales de la région.

Les travaux menés au cours de la première année de la nouvelle convention ont dans un premier temps consisté à poursuivre les travaux de caractérisation de la nappe alluviale du Gave de Pau en analysant de façon détaillée les données pluviométriques, débitométriques et piézométriques disponibles, en mettant en œuvre des analyses corrélatoires et fréquentielles et en modélisant le fonctionnement de l'hydrosystème au moyen du logiciel TEMPO.

Comme pour la nappe alluviale de la Dordogne, les investigations menées n'ont pas mis en évidence de réels problèmes quantitatifs, les prélèvements ne représentant qu'une faible partie des volumes s'écoulant dans le cours d'eau. Dans ces conditions, il n'a pas été jugé nécessaire de mettre en place un quelconque outil visant à réduire les prélèvements.

Dans une deuxième phase et conformément au cahier des charges de l'étude, un quatrième site expérimental a fait l'objet d'une caractérisation en année 1 de la nouvelle convention. Il s'agit de la nappe alluviale du Dropt.

Les premières investigations tendent à montrer que l'hydrosystème subit de fortes pressions en matière de prélèvements et de contamination (nitrates en particulier).

La seconde année d'étude consistera à utiliser les cartographies définies en année 1 et à valoriser les données piézométriques qui auront été acquises sur les 8 points équipés d'enregistreurs en continu ; l'objectif étant de mieux comprendre les relations nappe/rivière.

Un travail devra aussi être mené pour définir un protocole de réduction des prélèvements, qui seul, pourra garantir le maintien des débits d'étiage du Dropt à un seuil acceptable.

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Nappe alluviale de la Garonne.....	13
3. Nappe alluviale de la Dordogne.....	17
4. Nappe alluviale du Gave de Pau.....	23
4.1. RAPPELS SUR LA ZONE D'ETUDE ET OBJECTIF DE LA DEMARCHE.....	23
4.2. CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE ALLUVIALE	28
4.2.1. Présentation et analyse des données disponibles	28
4.2.2. Approche fonctionnelle des aquifères basée sur les analyses corrélatoires et spectrales	36
4.2.3. Analyse des hauteurs et des débits classés	47
4.3. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES PAR L'APPROCHE DE MODELISATION TEMPO.....	50
4.3.1. Modélisation du débit à Bérenx.....	53
4.3.2. Modélisation des hauteurs piézométriques	56
4.3.3. Bilan de l'approche TEMPO	59
4.4. CONCLUSION	60
5. Nappe alluviale du Dropt.....	63
5.1. PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DU DROPT	63
5.2. PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	64
5.2.1. Description des formations tertiaires et secondaires présentes dans la vallée du Dropt	68

5.2.2. Description des formations quaternaires présentes dans la vallée du Dropt	70
5.3. PRESENTATION DU CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	74
5.3.1. Définition des limites de l'aquifère alluvial	74
5.3.2. Géométrie de l'aquifère alluvial	77
5.3.3. Caractéristiques hydrodynamiques	78
5.3.4. Recharge	78
5.3.5. Modélisation des écoulements	83
5.3.6. Piézométrie	92
5.3.7. Qualité des eaux souterraines	93
5.3.8. Prélèvements	96
5.4. BILAN	100
6. Conclusion	101

Liste des illustrations

<i>Illustration 1 : Extension des 9 zones homogènes retenues pour le calcul des Volumes Prélevables Admissibles (VPA)</i>	14
<i>Illustration 2 : Répartition des Volumes Prélevables Admissibles (m³) par zones homogènes en fonction des scénarios climatiques</i>	14
<i>Illustration 3 : Carte de disponibilité de la ressource en eau au sein de chaque zone.....</i>	15
<i>Illustration 4 : Modèles de transfert d'Allès, Laforce et Siorac en mode prévisionnel : représentation des niveaux piézométriques de l'aquifère pour différentes probabilités d'occurrence.....</i>	19
<i>Illustration 5 : Modèles de transfert « Débits de la Dordogne à Gardonne et à Cénac » en mode prévisionnel : représentation des débits de la Dordogne à Gardonne et à Cénac pour différentes probabilités d'occurrence (échelle semi- logarithmique).....</i>	20
<i>Illustration 6 : Synthèse des résultats des modèles prévisionnels pour certaines dates des mois d'été en fonction de la probabilité d'occurrence.....</i>	21
<i>Illustration 7 : Localisation de la zone d'étude</i>	23
<i>Illustration 8 : Altitudes d'après le modèle numérique de terrain (MNT) sur l'ensemble du bassin versant du Gave de Pau.....</i>	25
<i>Illustration 9 : Pentés calculées à partir du modèle numérique de terrain (MNT) sur l'ensemble du bassin versant du Gave de Pau.....</i>	25
<i>Illustration 10 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Bordes (juillet 2009) d'après étude ANTEA/GINGER/CALLIGEE A55902A</i>	26
<i>Illustration 11 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur d'Artix (hautes eaux, mai 1985) (document CG64)</i>	26
<i>Illustration 12 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Jurançon (moyennes eaux, début des années 2000) (document CG64).....</i>	27
<i>Illustration 13 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Tarsacq (hautes eaux, début des années 2000) (document CG64).....</i>	27
<i>Illustration 14 : Localisation des stations METEO et hydrométriques retenues</i>	29
<i>Illustration 15 : Evolution des niveaux d'eau dans les forages suivis par le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques</i>	30
<i>Illustration 16 : Evolution des niveaux d'eau dans les forages suivis par le BRGM</i>	30
<i>Illustration 17 : Comparaison des pluies mensuelles moyennes sur la période 2005-2008 pour les postes d'Asson et d'Orthez</i>	32
<i>Illustration 18 : Comparaison des pluies mensuelles moyennes calculées sur les périodes 2005-2008 et 1994-2008 pour le poste d'Orthez</i>	32
<i>Illustration 19 : Evolution des pluies mensuelles sur le poste d'Orthez pour la période 2005-2008</i>	33
<i>Illustration 20 : Débits moyens mensuels sur les stations de Sassis (amont), Saint-Pé-de-Bigorre (partie médiane), Bérenx (aval) d'après Banque HYDRO</i>	34
<i>Illustration 21 : Hauteurs moyennes mensuelles sur les piézomètres de Coarraze (amont), Assat (milieu) et Tarsacq (aval).....</i>	35

<i>Illustration 22 : Corrélogramme des pluies enregistrées à Asson.....</i>	38
<i>Illustration 23 : Corrélogramme des pluies enregistrées à Orthez.....</i>	38
<i>Illustration 24 : Corrélogrammes des hauteurs piézométriques (graphe complet et zoom).....</i>	40
<i>Illustration 25 : Corrélogrammes des débits du Gave de Pau.....</i>	41
<i>Illustration 26 : Corrélogrammes croisés pluie optimale/niveaux piézométriques (graphe complet et zoom).....</i>	42
<i>Illustration 27 : Corrélogrammes croisés pluie optimale / débits du Gave de Pau (graphe complet et zoom).....</i>	44
<i>Illustration 28 : Corrélogrammes croisés débit à Saint-Pé / Niveaux piézométriques (graphe complet et zoom).....</i>	45
<i>Illustration 29 : Comparaison des corrélogrammes croisés établis à partir des niveaux piézométriques et du débit à Bérenx pour Tarsacq.....</i>	46
<i>Illustration 30 : Débits classés du Gave de Pau à Sassis, Saint-Pé et Bérenx.....</i>	49
<i>Illustration 31 : Evolution des hauteurs classées pour l'ensemble des piézomètres suivis.....</i>	51
<i>Illustration 32 : Localisation des stations de Sassis et de la Neste au Cap de Long.....</i>	53
<i>Illustration 33 : Modélisation du débit à Bérenx à partir des niveaux piézométriques enregistrés à Coarraze, Lescar et Tarsacq.....</i>	54
<i>Illustration 34 : Coefficients de Nash et pourcentages de contribution des différents paramètres.....</i>	54
<i>Illustration 35 : Evolution mensuelle moyenne des contributions respectives de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar.....</i>	55
<i>Illustration 36 : Evolution mensuelle des contributions respectives de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar.....</i>	55
<i>Illustration 37 : Evolution mensuelle des contributions respectives en pourcentages de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar.....</i>	56
<i>Illustration 38 : Synthèse des résultats obtenus dans le cadre de la modélisation des niveaux piézométriques.....</i>	58
<i>Illustration 39 : Evolution de la contribution du débit du Gave de Pau aux niveaux piézométriques en fonction de la distance.....</i>	59
<i>Illustration 40 : Estimation de la part des prélèvements par rapport aux volumes écoulés dans le Gave de Pau.....</i>	60
<i>Illustration 41 : Localisation de la zone d'étude.....</i>	65
<i>Illustration 42 : Altitudes d'après le MNT sur le bassin versant du Dropt.....</i>	66
<i>Illustration 43 : Résultats de l'étude statistique sur le MNT.....</i>	66
<i>Illustration 44 : Courbe présentant la surface du bassin versant où les altitudes sont supérieures à une cote donnée h.....</i>	66
<i>Illustration 45 : Carte des indices de pente.....</i>	67
<i>Illustration 46 : Répartition des valeurs de l'IDPR sur le bassin versant du Dropt.....</i>	67

<i>Illustration 47 : Carte géologique simplifiée du bassin versant du Dropt.....</i>	<i>71</i>
<i>Illustration 48 : Correspondance altimétrique des dépôts alluviaux par carte géologique sur la zone d'étude.....</i>	<i>73</i>
<i>Illustration 49 : Répartition des terrasses alluviales le long de la vallée du Dropt.....</i>	<i>75</i>
<i>Illustration 50 : Extension de l'aquifère alluvial du Dropt.....</i>	<i>76</i>
<i>Illustration 51 : Cartographie des forages inventoriés en BSS.....</i>	<i>79</i>
<i>Illustration 52 : Cartographie de la cote du substratum des formations alluviales de Gironde-sur-Dropt à Duras.....</i>	<i>80</i>
<i>Illustration 53 : Cartographie de l'épaisseur des formations aluviales de Gironde-sur-Dropt à Duras.....</i>	<i>80</i>
<i>Illustration 54 : Cartographie de l'épaisseur des formations alluviales de Duras à Villeréal.....</i>	<i>81</i>
<i>Illustration 55 : Emprise des polygones de Thiessen sur la zone d'étude.....</i>	<i>81</i>
<i>Illustration 56 : Comparaison du débit journalier et de la pluviométrie journalière du 20/05/03 au 20/10/03 (en rouge : quantité de pluie cumulée induisant une augmentation significative du débit du Dropt).....</i>	<i>84</i>
<i>Illustration 57 : Evolution annuelle des précipitations efficaces aux stations d' Eymet, Issigeac et Saint-Sulpice-de-Pommiers.....</i>	<i>84</i>
<i>Illustration 58 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station d'Eymet (1998-2007).....</i>	<i>85</i>
<i>Illustration 59 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station d'Issigeac (1998-2008).....</i>	<i>85</i>
<i>Illustration 60 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station de Saint-Sulpice-de-Pommiers (2002-2008).....</i>	<i>85</i>
<i>Illustration 61 : Comparaison des débits du Dropt (mm/mois) et de la pluie efficace sur le bassin versant (mm/mois).....</i>	<i>86</i>
<i>Illustration 62 : Pluies efficaces mensuelles 2001, 2002 et 2003.....</i>	<i>87</i>
<i>Illustration 63 : Pluies efficaces mensuelles 2004 et 2005.....</i>	<i>88</i>
<i>Illustration 64 : Comparaison de la lame d'eau écoulee théoriques (mm/mois) et de la lame d'eau écoulee observée (mm/mois).....</i>	<i>89</i>
<i>Illustration 65 : Schéma de fonctionnement du deuxième modèle.....</i>	<i>91</i>
<i>Illustration 66 : Comparaison des lames d'eau écoulées théorique et observée (mm/mois) sur le Dropt et des pluies efficaces (mm/mois).....</i>	<i>91</i>
<i>Illustration 67 : Localisation des ouvrages instrumentés courant 2009.....</i>	<i>94</i>
<i>Illustration 68 : Esquisse piézométrique hautes eaux sur la zone d'étude.....</i>	<i>95</i>
<i>Illustration 69 : Carte des épaisseurs de la zone non saturée.....</i>	<i>95</i>
<i>Illustration 70 : Répartition des prélèvements dans la nappe alluviale du Dropt.....</i>	<i>99</i>

Liste des annexes

Annexe 1 : Illustrations photographiques

Annexe 2 : Coupes géologiques

Annexe 3 : Bilan hydrogéologique

Annexe 4 : Modèles hydrologiques

Annexe 5 : Mesures piézométriques et qualité de la nappe

1. Introduction

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la nouvelle convention "Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine" signée entre l'État, la Région Aquitaine et le BRGM pour la période 2008-2013 avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Elle correspond au module 5 de la convention dont l'objectif est de mettre en place des outils de gestion sur les principales nappes alluviales de la région.

En année 1 de la précédente convention (2002-2006), la priorité avait été donnée à la nappe alluviale de **la Garonne** en Lot-et-Garonne. A l'issue de 3 années d'études, un outil de gestion permettant de calculer des volumes prélevables admissibles (VPA) sur des secteurs hydrogéologiques homogènes et en fonction de scénarios climatiques a été fourni aux services en charge de la gestion des prélèvements. Il est utilisé depuis 2008 pour instruire les dossiers d'autorisation de prélèvement.

Parallèlement à l'étude de la nappe alluviale de la Garonne, l'étude de la nappe alluviale de **la Dordogne** a aussi été lancée en année 1 de la précédente convention. Dans la mesure où les prélèvements effectués dans cette nappe étaient mal connus, il avait été décidé d'utiliser un modèle global pour appréhender le fonctionnement de l'aquifère.

Basé sur les chroniques de pluies efficaces et de débits disponibles ainsi que sur 3 années d'enregistrement des niveaux piézométriques, le modèle établi en année 4 a permis de mieux cerner les relations entre les précipitations, le débit de la Dordogne et le niveau de l'aquifère alluvial. Il permet aussi de prévoir les niveaux piézométriques qui seront atteints en fonction des précipitations qui affecteront le système.

Conformément au cahier des charges de l'étude, une troisième nappe alluviale a été instrumentée en année 3 de la précédente convention. Il s'agit de celle **du Gave de Pau** qui est le siège de conflits d'usage entre l'AEP (la nappe permet l'alimentation en eau potable de 30 % de la population) et les activités agricoles.

La quatrième année d'étude a permis de réaliser une synthèse des données disponibles sur cette nappe. La première année de la nouvelle convention a été consacrée à une étude poussée de son fonctionnement au moyen du logiciel de modélisation TEMPO.

En année 1 de la nouvelle convention, une quatrième nappe alluviale a aussi été étudiée et instrumentée. Il s'agit de celle du **Dropt**.

Le présent rapport rappelle rapidement les principaux résultats obtenus sur les 2 premières nappes et expose le travail mené au cours de la première année de la nouvelle convention d'étude sur les 2 dernières nappes mentionnées.

2. Nappe alluviale de la Garonne

L'outil de gestion mis en place en année 3 de la précédente convention et son fonctionnement ont été décrits dans le rapport BRGM-RP-55243-FR.

Pour mémoire, on rappelle que ce dernier permet de calculer des volumes prélevables admissibles (VPA) sur des secteurs hydrogéologiques homogènes et en fonction de scénarios climatiques (cf. Illustrations 1 et 2).

Sur la zone d'étude considérée, il est apparu que la recharge printanière jouait un rôle primordial dans la disponibilité des ressources prélevables et qu'une recharge printanière importante (correspondant à une année quinquennale humide) était suffisante pour satisfaire tous les besoins (estimés à 5,5 millions de m³).

Dans le détail, il est aussi apparu qu'à surface égale, la disponibilité en eau était plus importante au niveau des zones 1, 2, 3 et 8 (basses terrasses et partie nord de la commune de Fauillet) et qu'elle pouvait varier au sein de chaque zone. Une cartographie représentant les parties à forte et à faible disponibilité complète donc les estimations de volumes prélevables (cf. Illustration 3).

Il convient enfin de noter que les VPA calculés restent entachés d'un certain degré d'incertitude. Ceci est lié au fait que les volumes prélevés par les particuliers n'ont pas été pris en compte, que les volumes agricoles retenus correspondaient à des volumes déclarés ou autorisés et non à des volumes réellement prélevés, que les flux en provenance des coteaux n'étaient pas connus et que les chroniques piézométriques prises en compte pour le calage du modèle étaient relativement courtes.

Malgré ces limites, l'outil de gestion constitue une aide précieuse lors de la phase d'autorisation des prélèvements puisqu'il propose un coefficient modulateur si la demande est plus forte que la ressource disponible. Depuis début 2008, la DDAF 47 l'utilise pour instruire les dossiers d'autorisation de prélèvement.

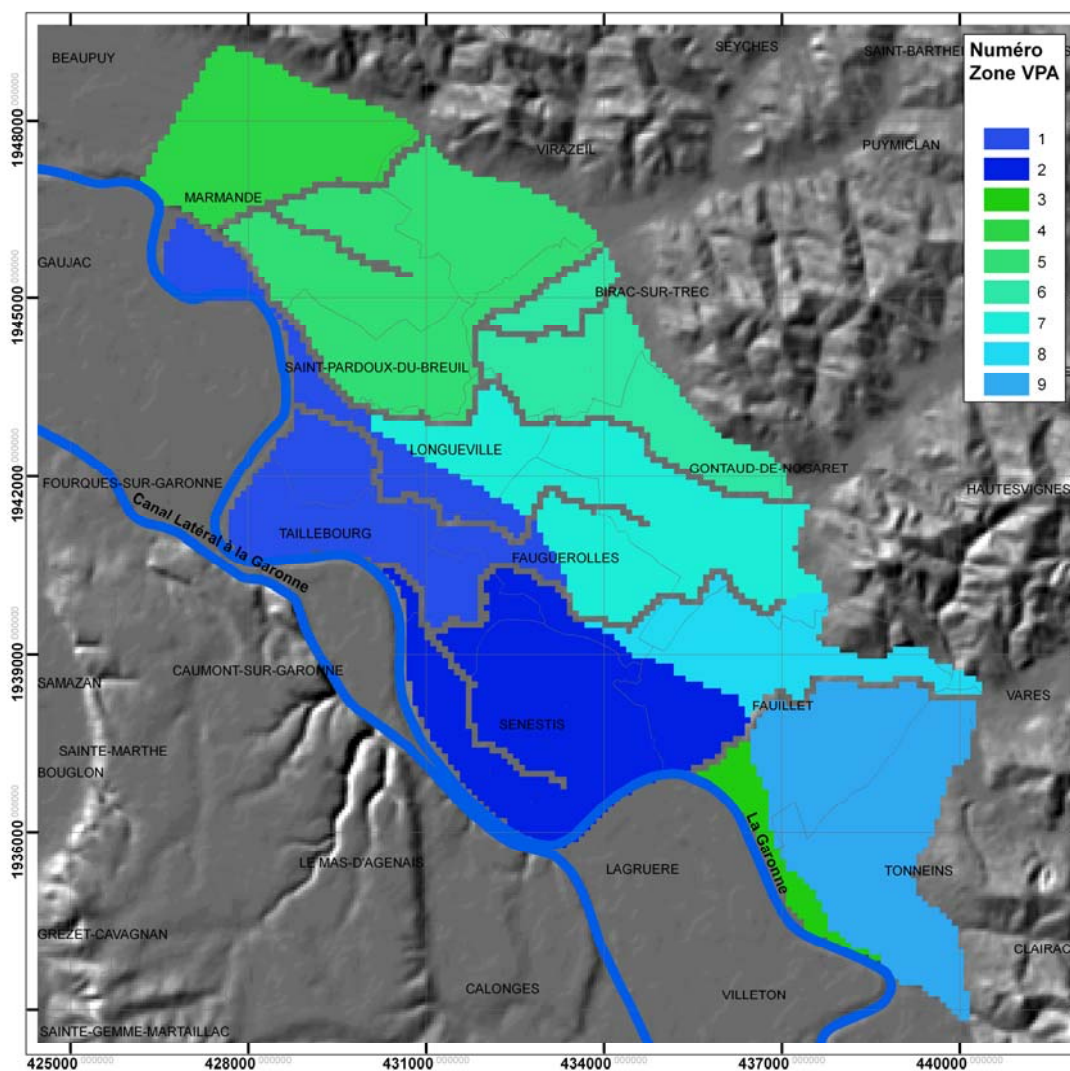


Illustration 1 : Extension des 9 zones homogènes retenues pour le calcul des Volumes Prélevables Admissibles (VPA)

Zone			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Surface (km ²)			11.80	14.55	1.68	8.05	15.17	7.46	12.38	5.76	13.04	89.89
Saison	Type climatique	Pluie eff. (mm)										
Hiver	Quinquennal sec	98	701 911	1 751 748	242 248	296 354	507 828	301 112	481 212	424 991	510 375	5 217 779
Printemps	Moy. et quinq. sec	0										
Hiver	Quinquennal sec	98	769 224	1 784 195	243 462	334 719	603 055	323 378	537 028	432 410	544 114	5 571 584
Printemps	Quinquennal humide	16.2										
Hiver	Moyen	178	703 508	1 751 852	242 314	297 055	515 164	301 608	482 740	424 998	517 341	5 236 581
Printemps	Moy. et quinq. sec	0										
Hiver	Moyen	178	770 443	1 784 300	243 537	336 632	610 676	323 880	538 507	432 426	550 784	5 591 186
Printemps	Quinquennal humide	16.2										
Hiver	Quinquennal humide	247	705 919	1 752 101	242 399	295 432	523 408	302 404	485 155	425 037	524 818	5 256 673
Printemps	Moy. et quinq. sec	0										
Hiver	Quinquennal humide	247	772 379	1 784 547	243 620	334 858	618 078	324 656	540 830	432 464	558 418	5 609 851
Printemps	Quinquennal humide	16.2										

Illustration 2 : Répartition des Volumes Prélevables Admissibles (m³) par zones homogènes en fonction des scénarios climatiques

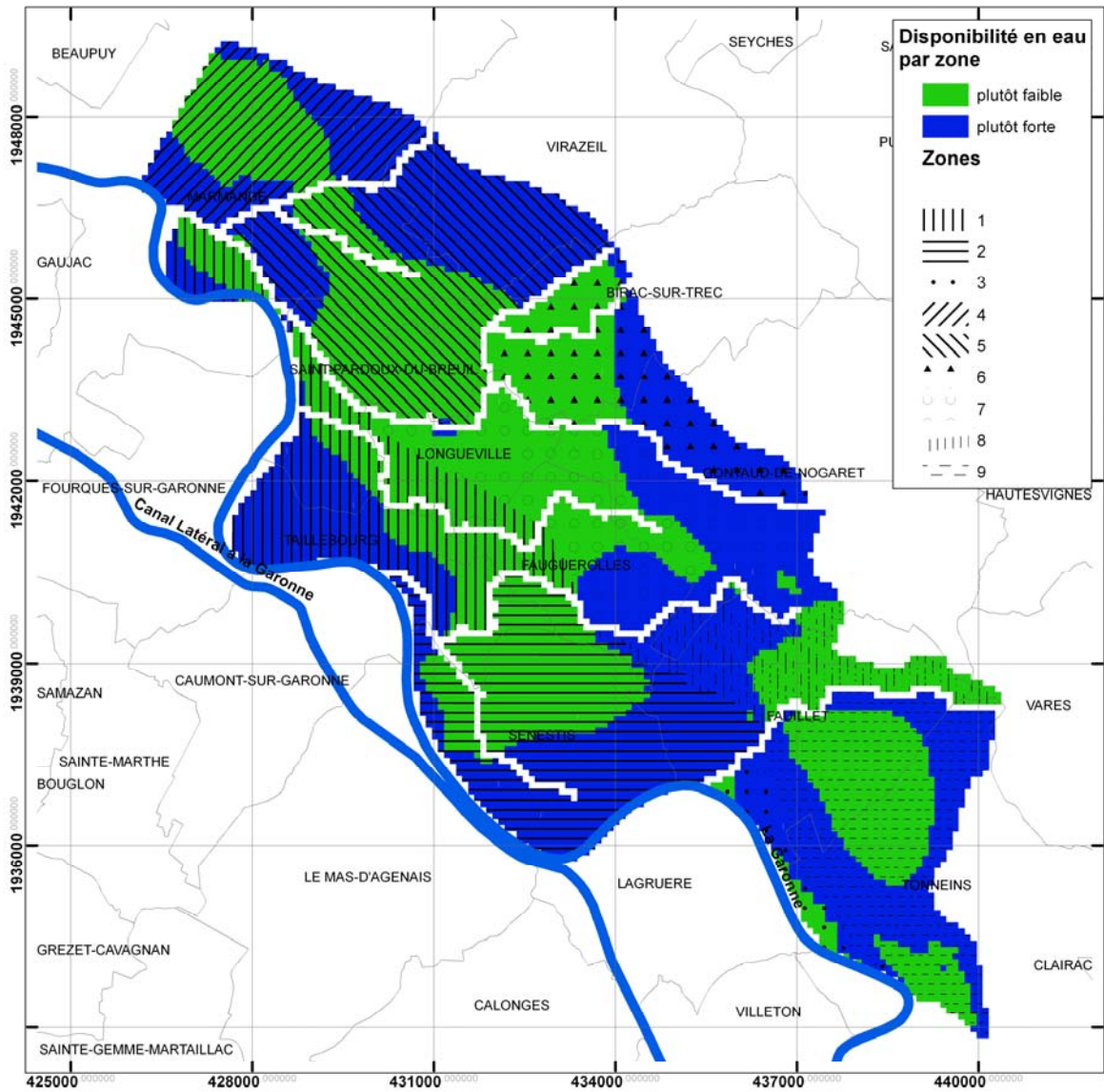


Illustration 3 : Carte de disponibilité de la ressource en eau au sein de chaque zone

3. Nappe alluviale de la Dordogne

L'étude du système Dordogne/nappe alluviale menée en année 4 de la précédente convention a comporté une approche fonctionnelle basée sur les analyses corrélatoires et spectrales, une analyse des débits classés de la Dordogne et des hauteurs piézométriques classées, une analyse du fonctionnement hydrogéologique au moyen de l'outil de modélisation TEMPO ainsi qu'une phase de simulation des débits de la Dordogne et des niveaux piézométriques (cf. rapport BRGM/RP-56523-FR).

Cette étude a montré que l'inertie des systèmes était variable (20 à 60 jours), que la réponse à un épisode de pluies efficaces était complexe (car due aux effets de la Dordogne et de l'impluvium dans des proportions variables), retardée (jusqu'à une trentaine de jours après l'évènement pluvieux) et atténuée du fait de la probable faible diffusivité des formations et que les basses terrasses étaient logiquement mieux connectées à la Dordogne que les moyennes terrasses.

L'étude a aussi montré que les débits de la Dordogne et les niveaux piézométriques étaient très peu impactés par les prélèvements agricoles effectués durant la période estivale, probablement parce que ces derniers ne représentent que de faibles pourcentages des apports de la nappe au débit de la Dordogne ainsi que des volumes totaux transitant par le cours sur cette même période.

Des calculs ont en effet permis de montrer que les prélèvements effectués sur la période estivale (du 1^{er} juin au 30 septembre) ne représentaient qu'un pourcentage compris entre 2 % ($\pm 1\%$) et 23 % ($\pm 7\%$) des apports globaux de la nappe au débit de la Dordogne entre Cénac et Gardonne.

Exprimés par rapport au volume d'eau total transitant par le cours d'eau durant la période estivale, les volumes prélevés dans la nappe ne représenteraient en moyenne que 1.7 % des volumes d'eau qui s'écoulent dans la Dordogne (entre 0.9% ($\pm 0.2\%$) et 3.5% ($\pm 0.7\%$), selon les cycles hydrologiques).

L'utilisation du logiciel TEMPO a ensuite permis de définir les modèles de transfert des 3 piézomètres de référence (Allès, Siorac et La Force) et de calculer les niveaux d'eaux correspondants à différentes périodes de retour au 15 de chaque mois sur la période 15 juin-15 septembre (cf. illustrations 4 et 6). La même approche a été menée sur les débits à Gardonne et à Cénac (cf. Illustration 5 et 6).

En première approche, les cotes piézométriques pour des périodes de retour égales à 10 ans ont été assimilées à des piézométries objectif d'étiage.

Au final, la nappe alluviale de la Dordogne est apparue comme un secteur où il n'existe pas de réel problème quantitatif, ce qui était supposé mais non démontré au moment du lancement de l'étude. Les gestionnaires disposent à présent des éléments techniques le prouvant.

Dans ces conditions, une restriction des prélèvements n'est pas apparue nécessaire. Des recommandations ont toutefois été formulées pour qu'ils soient mieux connus.

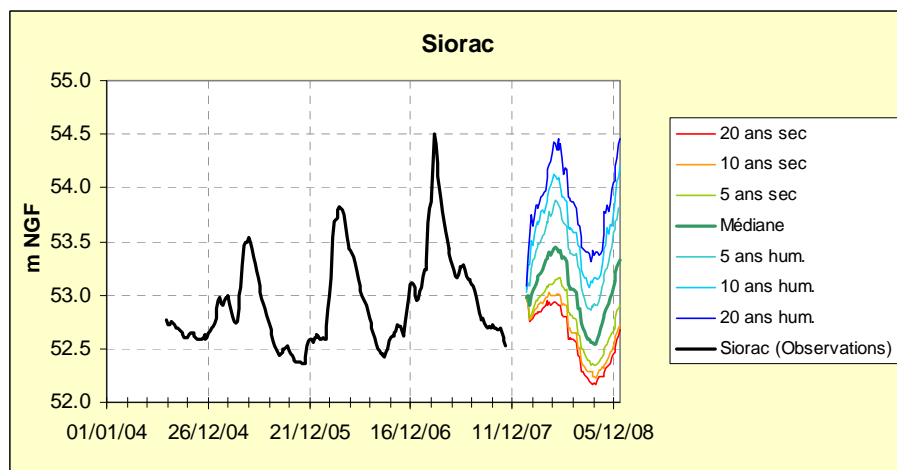
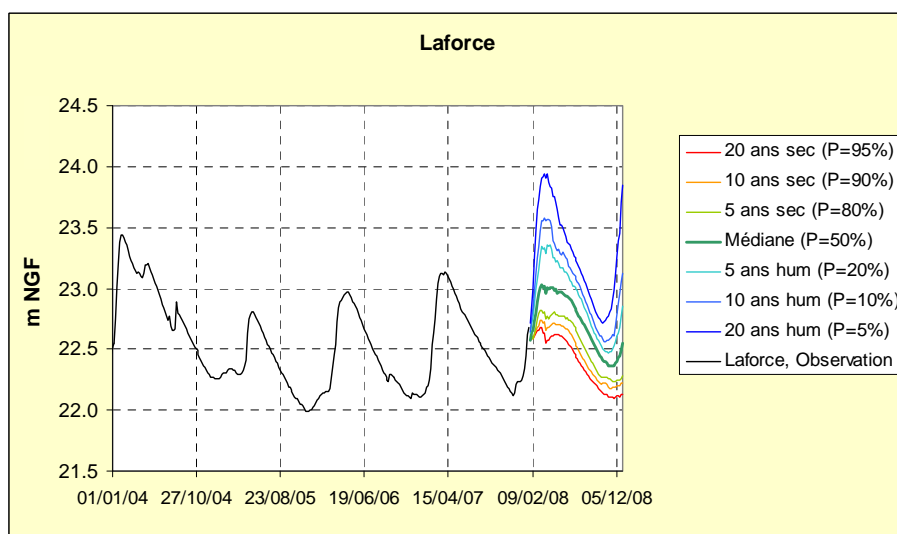
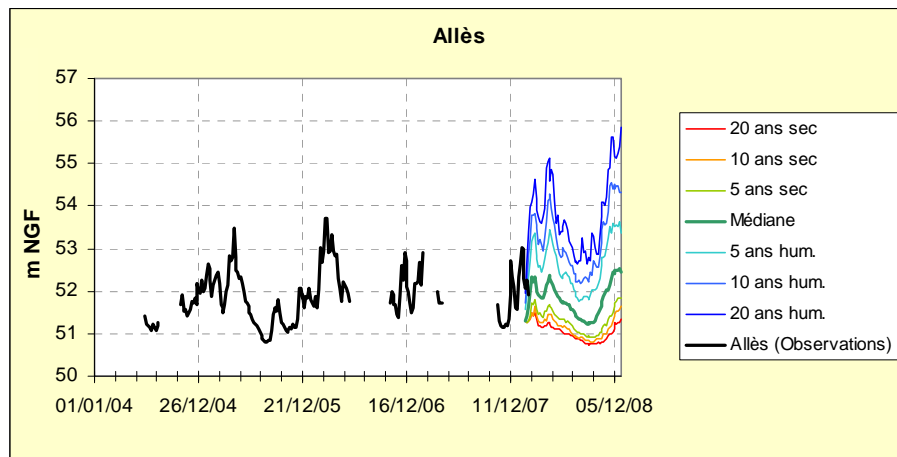


Illustration 4 : Modèles de transfert d'Allès, Laforce et Siorac en mode prévisionnel : représentation des niveaux piézométriques de l'aquifère pour différentes probabilités d'occurrence

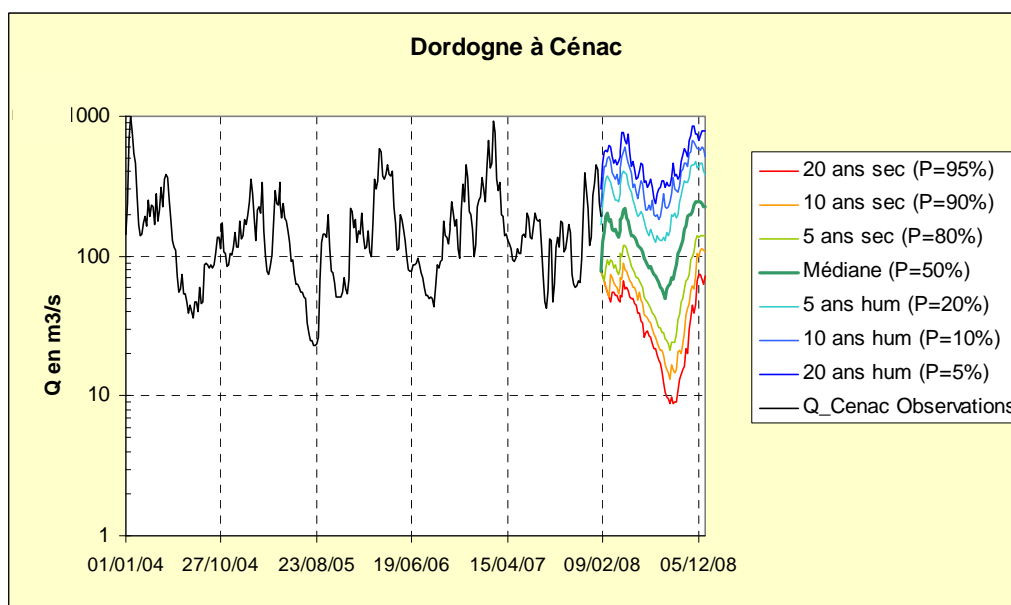
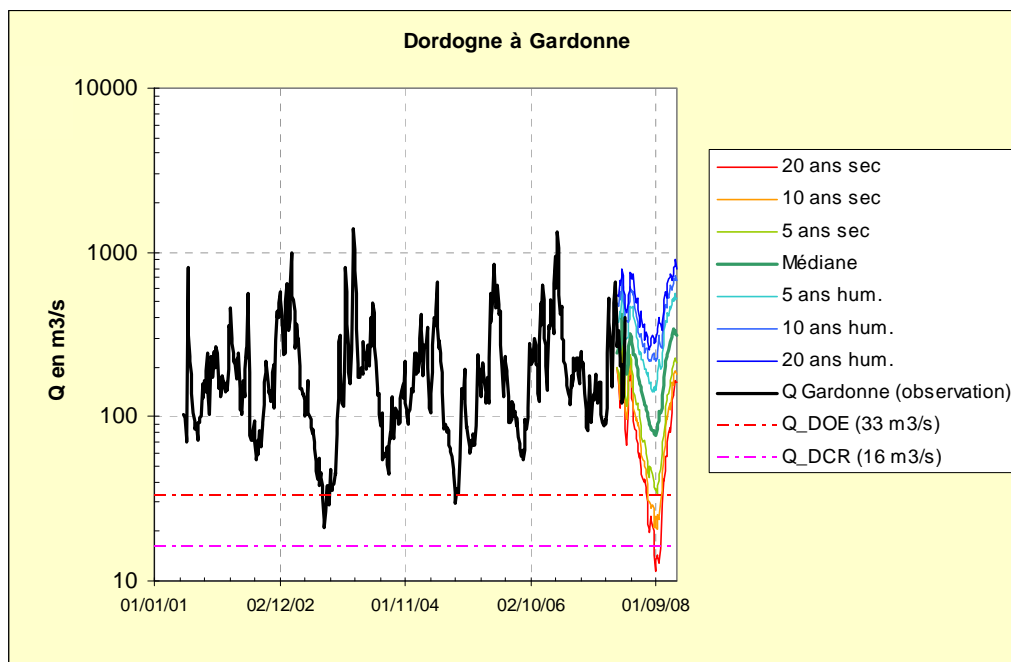


Illustration 5 : Modèles de transfert « Débits de la Dordogne à Gardonne et à Cénac » en mode prévisionnel : représentation des débits de la Dordogne à Gardonne et à Cénac pour différentes probabilités d'occurrence (échelle semi- logarithmique)

Station piézométrique ou hydrométrique	Valeurs des décénaux Sec	Valeurs des quinquennaux Sec	Valeurs des Médians	Valeurs des quinquennaux Humide	Valeurs des décénaux Humide
	15-juin 15-juil 15-aout 15-sept	15-juin 15-juil 15-aout 15-sept	15-juin 15-juil 15-aout 15-sept	15-juin 15-juil 15-aout 15-sept	15-juin 15-juil 15-aout 15-sept
Allès-sur-Dordogne 08076X0043/P (m)	51.2 51.0 50.9 50.8	51.3 51.1 51.0 50.9	51.7 51.5 51.3 51.3	52.4 52.0 51.8 51.9	53.7 52.8 53.3 52.7
Siorac (m) 08077X0022 (m)	52.9 52.7 52.4 52.3	53.0 52.8 52.5 52.4	53.4 53.1 52.7 52.6	53.7 53.4 53.1 52.9	53.9 53.6 53.2 53.1
Laforce (m) 08065X0010 (m)	22.7 22.5 22.4 22.3	22.7 22.7 22.5 22.4	22.9 22.8 22.7 22.6	23.1 23.0 22.9 22.7	23.2 23.1 22.9 22.8
Dordogne à Cénac (m ³ /s)	46 30 21 16	60 39 28 24	106 77 58 71	196 145 130 196	326 252 228 282
Dordogne à Gardonne (m ³ /s)	59 39 29 25	74 54 44 38	145 105 81 91	221 177 142 185	307 258 238 244

Illustration 6 : Synthèse des résultats des modèles prévisionnels pour certaines dates des mois d'été en fonction de la probabilité d'occurrence

4. Nappe alluviale du Gave de Pau

La nappe alluviale du Gave de Pau représente le troisième système aquifère étudié dans le cadre du module 5 de la convention régionale « Eaux souterraines ».

En année 3 de la précédente convention, les données disponibles sur ce secteur ont été rassemblées et un suivi en continu sur 5 puits répartis sur l'ensemble du domaine alluvial a été mis en place (cf. rapport BRGM/RP-53814-FR). En année 4, l'acquisition des données s'est poursuivie. Un travail de caractérisation géologique et hydrogéologique du domaine alluvial a aussi été entrepris (cf. rapport BRGM/RP-56523-FR).

En année 1 de la nouvelle convention, il est proposé d'étudier son fonctionnement à partir des données piézométriques acquises par le BRGM et le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques (11 ouvrages au total) et au moyen du logiciel de modélisation TEMPO (fonctionnement décrit dans le rapport précédemment mentionné).

4.1. RAPPELS SUR LA ZONE D'ETUDE ET OBJECTIF DE LA DEMARCHE

Le Gave de Pau prend sa source dans le cirque de Gavarnie dans le département des Hautes-Pyrénées (65). Il porte ce nom à partir de Luz-Saint-Sauveur où le Gave de Gavarnie et le Bastan se rejoignent. Après sa confluence avec le Gave d'Oloron, il prend le nom de Gaves réunis et se jette dans l'Adour au niveau de Peyrehorade.

La zone d'étude correspond au domaine alluvial du Gave de Pau dans le département des Pyrénées Atlantiques (64) depuis Lestelle-Bétharram jusqu'à St Cricq-du-Gave (cf. Illustration 7). Elle s'étend sur une centaine de kilomètres de long et 4 à 5 kilomètres de large en moyenne, pour une superficie totale d'environ 500 km².

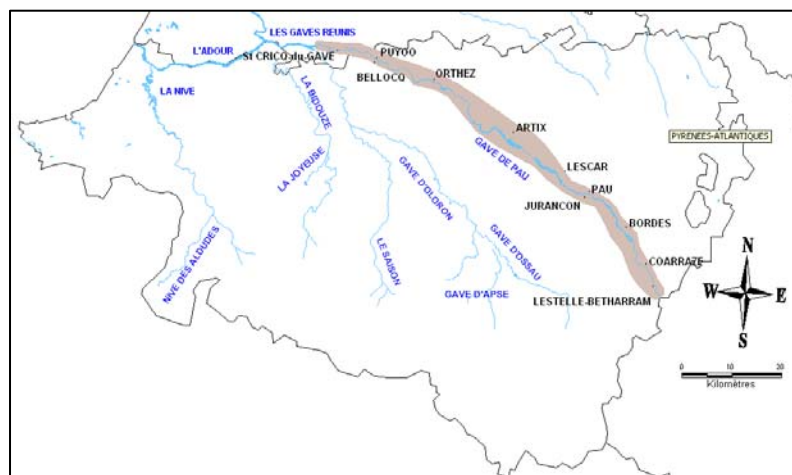


Illustration 7 : Localisation de la zone d'étude

Les illustrations 8 et 9 montrent que dans ce secteur, les altitudes (comprises entre 3 et 3246 m) et les pentes (comprises entre 0 et plus de 21 % avec des valeurs plus fortes en rive gauche) sont nettement moins marquées dans la partie aval du bassin versant.

L'approche géologique a permis d'identifier et de cartographier 3 niveaux de terrasse qui reposent sur des terrains allant du Crétacé au Miocène. A noter que ces formations présentent une extension très limitée au droit de Pau et d'Orthez.

D'un point de vue hydrogéologique, la délimitation de l'aquifère alluvial du Gave de Pau tient compte de l'ensemble des basses terrasses holocènes et des moyennes terrasses würmiennes et d'une partie des terrasses datées du Riss lorsque des connexions hydrauliques semblent exister. Latéralement, les limites de l'aquifère alluvial correspondent aux limites des formations imperméables que l'on trouve dans la zone d'étude : poudingues du Jurançon (Miocène), molasses argilo-sableuses de l'Eocène, Flysch du Campanien...

D'un point de vue hydrodynamique, les basses et moyennes terrasses se caractérisent par des transmissivités élevées (comprises entre 1.10^{-4} et $2.5.10^{-1}$ m²/s) et représentent, de ce fait, des réservoirs intéressants. Les alluvions des hautes terrasses du Riss sont, quant à elles, moins exploitées du fait de leur nature argileuse.

La nappe alluviale du Gave de Pau, circonscrite au département des Pyrénées Atlantiques, est considérée comme libre. Elle est alimentée par l'infiltration directe des pluies sur les terrasses, par ruissellement depuis les versants et par échanges avec le Gave.

L'aquifère présente des battements annuels variant entre 1 et 3 m. Les plus hautes eaux s'observent en mai sur les piézomètres situés dans les parties amont et médiane et en décembre-janvier pour les ouvrages situés plus à l'aval. Les plus basses eaux s'observent, quant à elles, sur la période août/septembre.

Au niveau des échanges entre la nappe et le cours d'eau, il n'y a pas de généralité. Les mesures les plus récentes (cf. illustrations 10 à 13) semblent toutefois mettre en évidence des circulations souterraines plus ou moins parallèles au cours d'eau qui laissent suggérer une très bonne connexion entre le Gave de Pau et la nappe alluviale.

L'extraction massive de matériaux dans le lit mineur du Gave a engendré un encaissement du cours d'eau avec des baisses de niveau de l'ordre de 2 m dans le secteur d'Artix compensées partiellement par la mise en place de seuils publics (11 de Nay à Puyoo) et privés (nombre inconnu).

Au plan de l'hydrochimie, les eaux se caractérisent par une minéralisation moyenne (300 à 500 µS/cm), des pH proches de la neutralité et un faciès bicarbonaté calcique. Elles sont généralement pauvres en magnésium, sodium et potassium et riches en silice. Les teneurs en fer, manganèse et métaux lourds sont très rarement supérieures aux limites de qualité. Il en va de même pour les teneurs en nitrates qui traduisent néanmoins une contamination assez généralisée de la nappe (plus d'un tiers des points de contrôle présentent des teneurs moyennes supérieures à 15 mg/l).

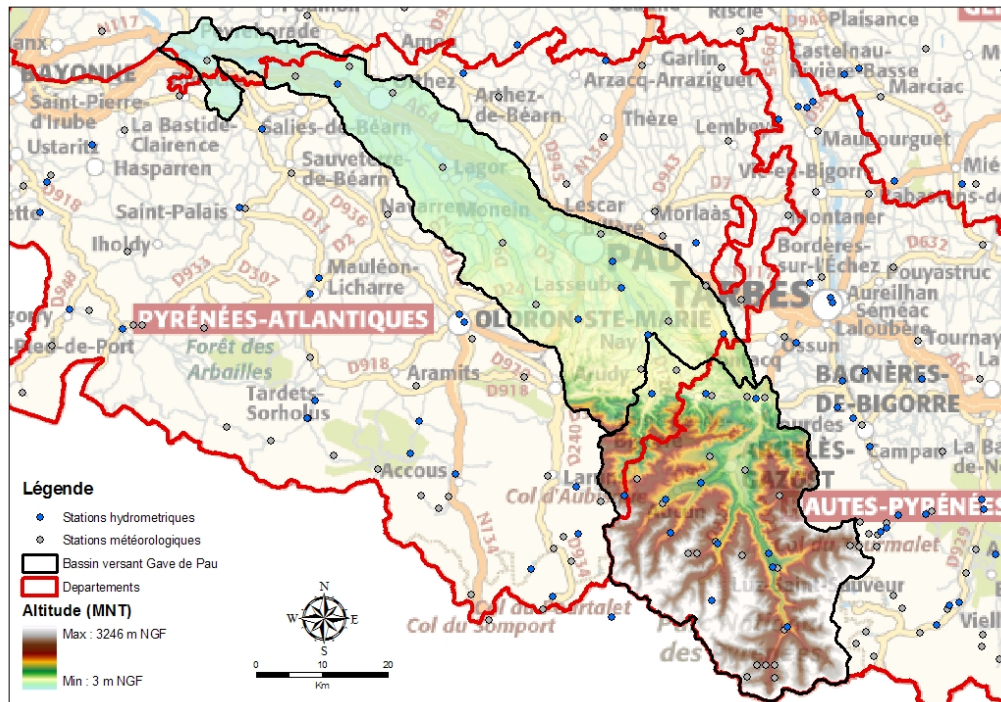


Illustration 8 : Altitudes d'après le modèle numérique de terrain (MNT) sur l'ensemble du bassin versant du Gave de Pau

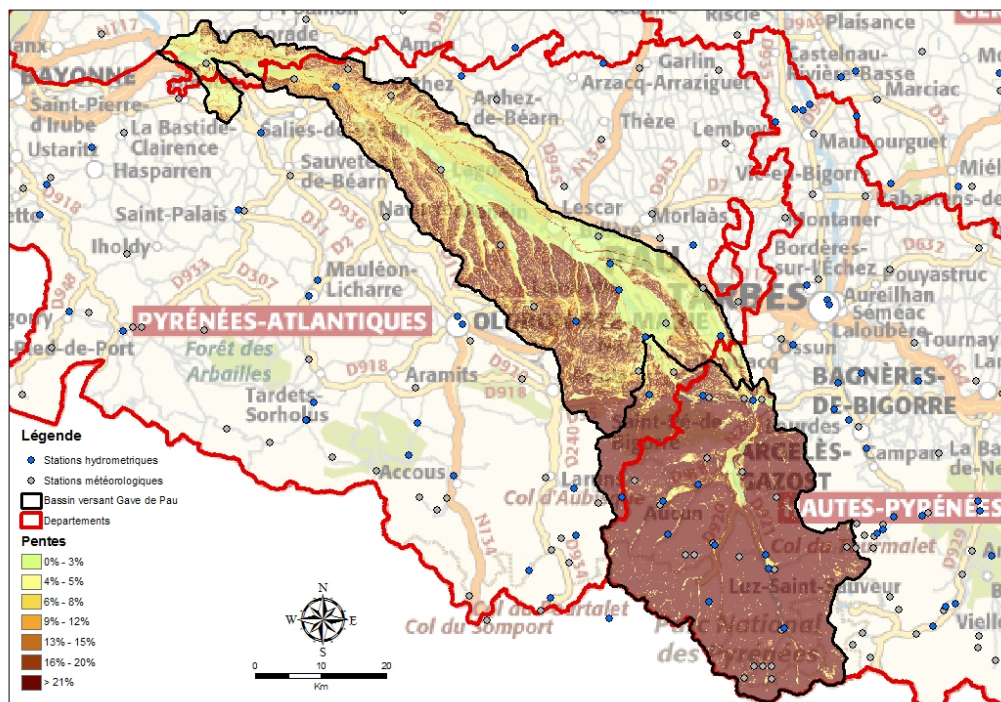


Illustration 9 : Pentés calculées à partir du modèle numérique de terrain (MNT) sur l'ensemble du bassin versant du Gave de Pau

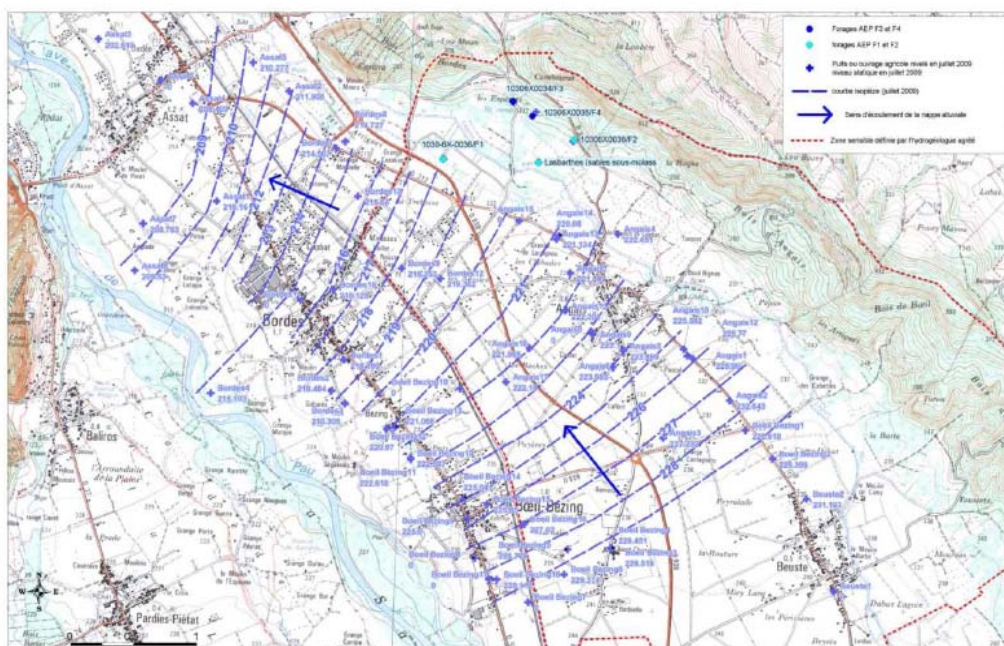


Illustration 10 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Bordes (juillet 2009)
 d'après étude ANTEA/GINGER/CALLIGEE A55902A

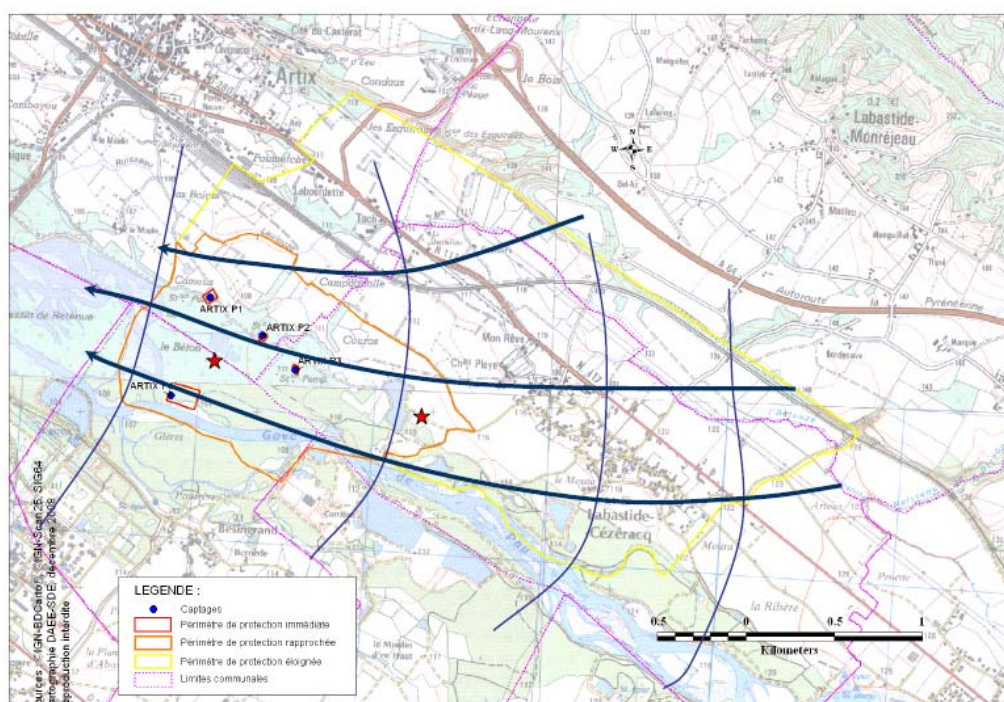


Illustration 11 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur d'Artix (hautes eaux, mai 1985) (document CG64)

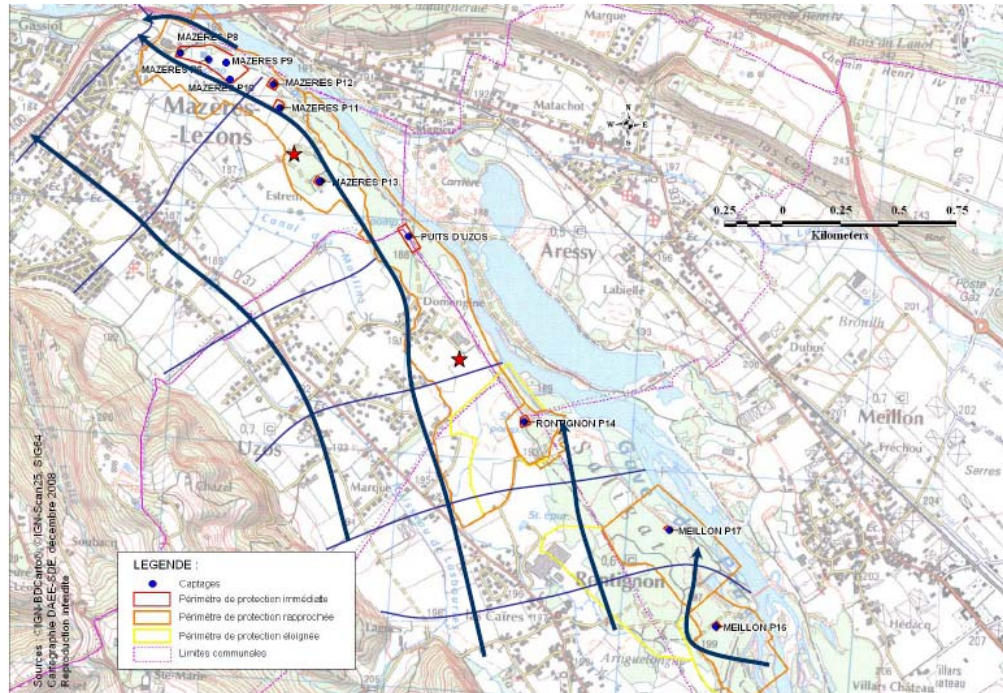


Illustration 12 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Jurançon (moyennes eaux, début des années 2000) (document CG64)

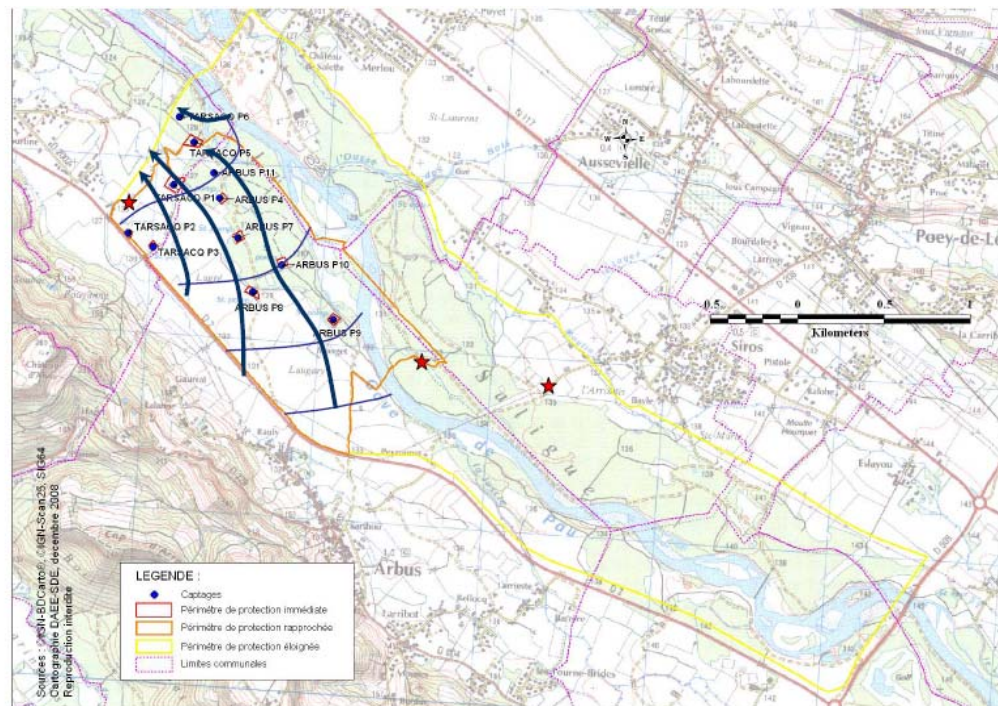


Illustration 13 : Piézométrie de la nappe alluviale dans le secteur de Tarsacq (hautes eaux, début des années 2000) (document CG64)

On notera que les points de contrôle des teneurs en nitrates sont généralement situés à proximité des zones exploitées pour l'AEP qui ne sont pas les plus contaminées. Dans le secteur de Bordes par exemple, les teneurs de l'aquifère superficiel sont de l'ordre de 70 mg/l et celle de la nappe Eocène sous-jacente, de l'ordre de 40 mg/l.

Le rôle dénitrifiant de la saligue est, quant à lui, de moins en moins marqué du fait de la baisse généralisée de la nappe (la végétation consomme moins de nitrates).

Les prélèvements destinés à l'AEP et effectués dans les captages implantés dans la nappe alluviale du Gave de Pau ont atteint 15,5 millions de m³ en 2008 (volume prélevé sur les 4 captages éocène de Bordes inclus dans la mesure où il a été démontré que la majorité de l'eau provenait des alluvions).

Au niveau des prélèvements agricoles, la DDEA 64 a estimé à 675 059 m³ le volume prélevé dans la nappe alluviale du Gave de Pau en 2008 et à 2 256 098 m³ le volume directement prélevé dans le cours d'eau lors de la même année.

Les prélèvements industriels effectués dans les nappes d'eau souterraines ont, quant à eux, atteint 6,5 millions de m³ sur l'ensemble du département en 2007 ; ceux réalisés directement dans les cours d'eau, 87,5 millions de m³. A noter que les données fournies par l'Agence de l'Eau ne précisent pas le cours d'eau qui est sollicité mais la localisation des communes permet de l'identifier. Parmi les prélèvements effectués dans les cours d'eau, 2 sont particulièrement importants (71 millions de m³ à Pardiès et 11 millions de m³ à Mont) et concernent le Gave de Pau. A noter qu'une partie de ces volumes peut retourner au Gave si l'eau est utilisée pour des procédés non consommateurs d'eau (ex : refroidissement).

Dans la mesure où tous les prélèvements et en particulier ceux destinés à un usage agricole et industriel ne sont pas géoréférencés (référencement actuel à la commune), il est apparu qu'une modélisation de la nappe alluviale à l'aide d'un modèle maillé ne serait pas réaliste. Il a donc été décidé d'utiliser un modèle global de type TEMPO pour appréhender le fonctionnement de l'aquifère.

4.2. CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE ALLUVIALE

Dans une phase préalable à la modélisation TEMPO, le comportement de l'hydrosystème a été abordé au moyen d'une analyse des données disponibles, d'une approche fonctionnelle et d'une étude des hauteurs piézométriques et des débits classés.

4.2.1. Présentation et analyse des données disponibles

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- **pluies journalières** sur la période 2005-2008 pour les postes d'**Asson** (330 m, amont de la zone d'étude) et **Orthez** (96 m, aval de la zone d'étude) (postes de Lestelle-Bétharram et de Pau Uzein respectivement écartés du fait d'un manque de données en 2006 et d'une moins bonne représentativité : cf. rapport BRGM/RP-56523-FR) (cf. illustration 14),

- **pluies mensuelles** sur la période 1994-2008 pour le poste d'Orthez,
- **ETP décennales** sur la période 2005-2008 pour le poste de Pau Uzein,
- **chroniques de débits journaliers du Gave de Pau** sur la période 2005-2008 pour les stations de Sassis (altitude : 643 m, BV jaugé : 412 km²), Saint-Pé-de-Bigorre (altitude : 337 m, BV jaugé : 1120 km²) et Bérenx (altitude : 38 m, BV jaugé : 2575 km²) (station de Nay-Bourdettes exclue car données provisoires sur la période 1998-2006),
- **niveaux piézométriques journaliers** enregistrés sur les 6 ouvrages suivis en continu par le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques sur la période fin 2001-2009 (cf. illustration 15 et rapport BRGM/RP-53814-FR pour leur localisation). On notera que l'enregistreur installé dans le piézomètre d'Arbus est réputé pour être le moins fiable (communication du CG64),
- **niveaux piézométriques journaliers** enregistrés sur les 5 ouvrages suivis en continu par le BRGM sur la période mi 2006-2009 (cf. illustration 16 et rapport BRGM/RP-53814-FR pour leur localisation),

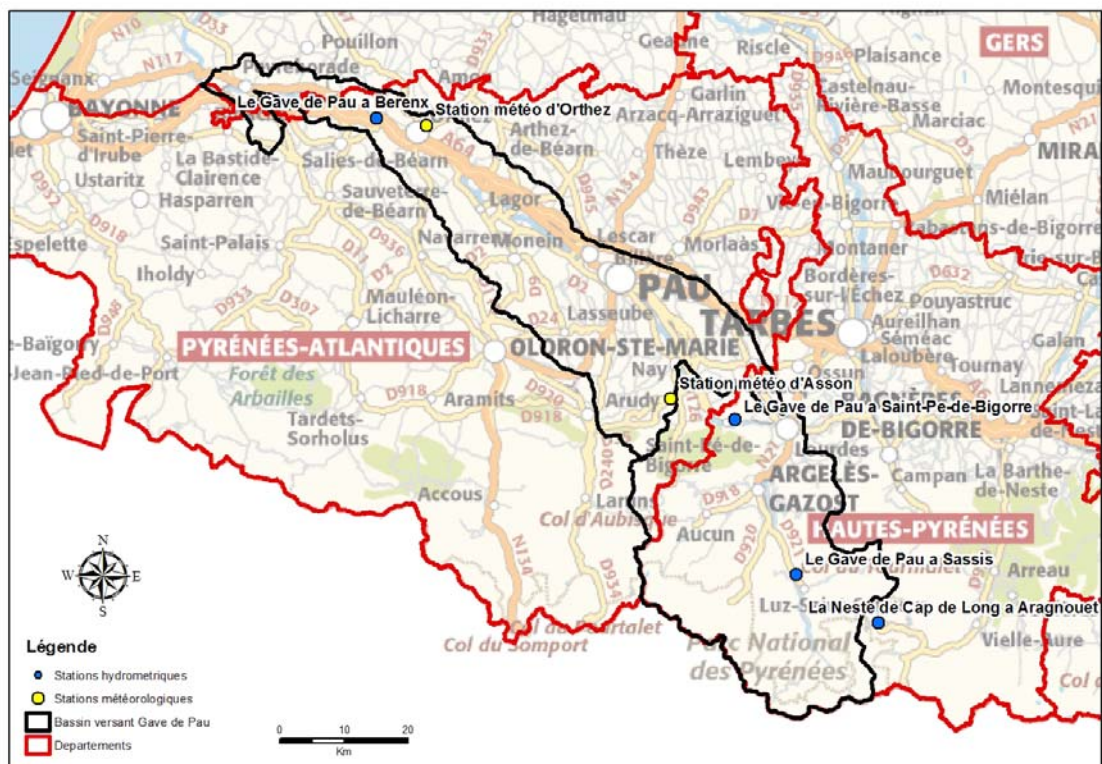


Illustration 14 : Localisation des stations METEO et hydrométriques retenues

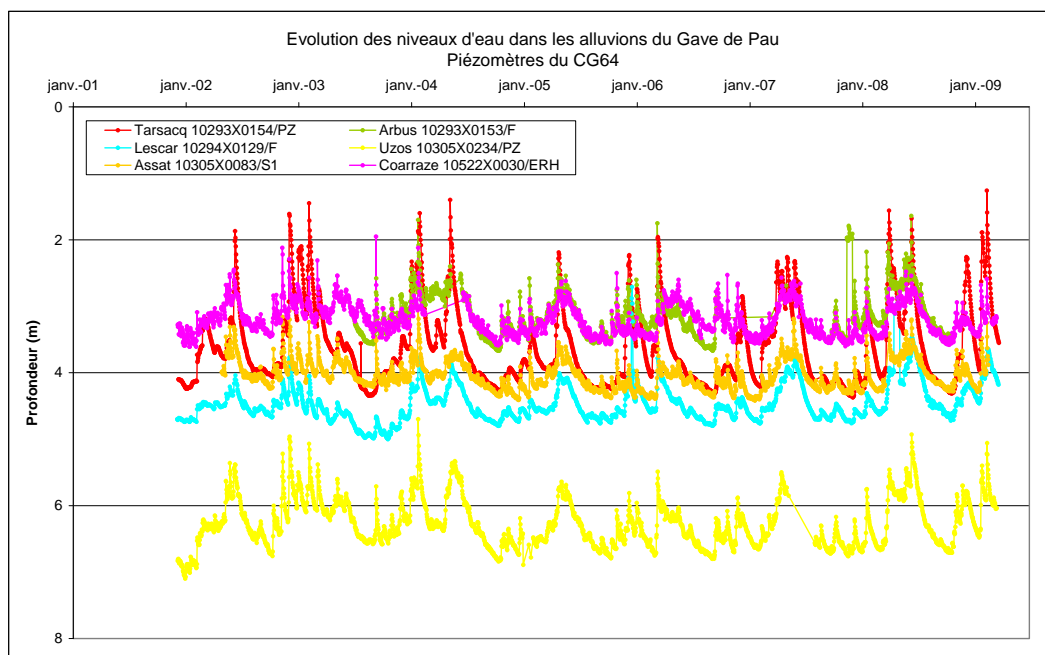


Illustration 15 : Evolution des niveaux d'eau dans les forages suivis par le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques

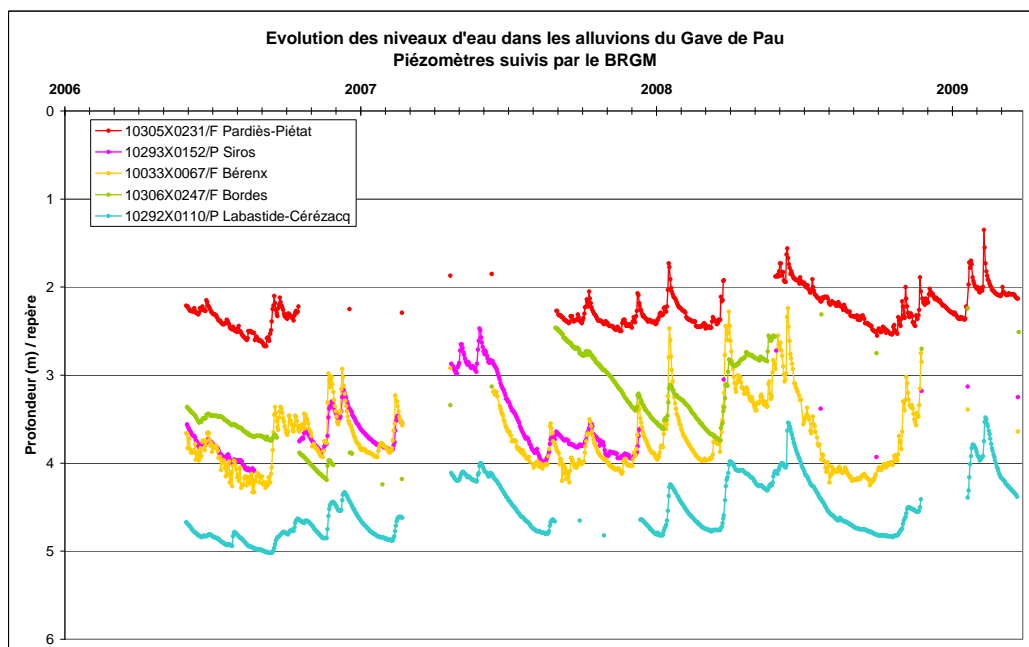


Illustration 16 : Evolution des niveaux d'eau dans les forages suivis par le BRGM

L'analyse préalable des données a d'abord consisté à comparer les cumuls pluviométriques mensuels moyens relatifs aux stations d'Asson et d'Orthez sur la période 2005/2008.

L'illustration 17 ne met pas en évidence de structuration particulière des données. Elle montre tout au plus une décroissance des pluies sur la période novembre à février pour les 2 stations et des maximums observés en mars/avril/mai pour la station d'Asson.

Les moyennes mensuelles ayant été calculées à partir de 4 valeurs dont certaines peuvent être exceptionnellement faibles ou fortes, il est possible qu'elles ne soient pas représentatives de la pluviométrie qui affecte la zone d'étude.

Dans une seconde étape, les moyennes calculées sur la période 2005-2008 pour le poste d'Orthez ont donc été comparées à celles calculées sur la période 1994-2008 pour le même poste (cf. illustration 18).

Les moyennes établies sur la période 1994-2008 montrent que les pluies sont en fait relativement constantes (cumul mensuel d'environ 100 mm) sur la période septembre à mai avec un maximum observé en **novembre** et moins importantes en juin, juillet et août.

L'illustration 18 semble aussi indiquer que des épisodes pluvieux assez importants ont du avoir lieu au cours de certains mois de septembre, mars, mai et août sur la période 2005-2008 (moyennes mensuelles supérieures à celles calculées sur la période 1994-2008).

L'illustration 19 qui représente l'évolution des pluies mensuelles sur le poste d'Orthez de 2005 à 2008 permet de confirmer cette hypothèse. Elle permet en effet de repérer les épisodes exceptionnellement importants de septembre 2006, mai et août 2007 et mars 2008 (flèches roses).

A noter que les évènements importants de novembre 2005 et novembre 2008 (flèches jaunes) ont été compensés par le très faible cumul enregistré en novembre 2007 (flèche verte). Le mois de novembre ne ressort donc pas comme anormal sur l'illustration 18.

Dans une première approche, on retiendra donc que le bassin versant (ou tout du moins, sa partie aval) est affecté par des pluies relativement constantes qui présentent un maximum en novembre et un minimum sur la période juin/juillet/août. On retiendra aussi que la période 2005 à 2008 a été affectée par des évènements climatiques relativement exceptionnels (4 cumuls mensuels supérieurs à 200 mm) comme en témoigne l'illustration 19.

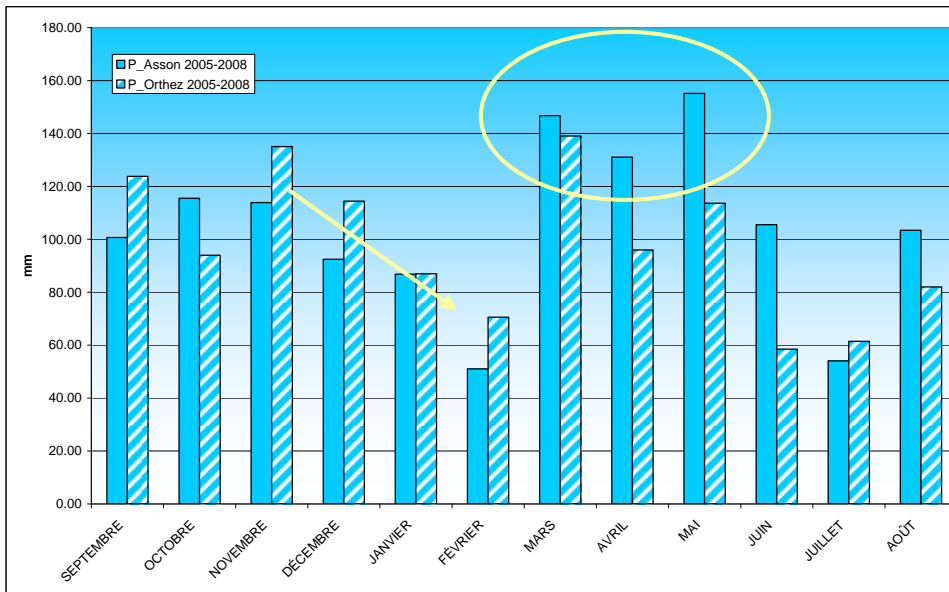


Illustration 17 : Comparaison des pluies mensuelles moyennes sur la période 2005-2008 pour les postes d'Asson et d'Orthez

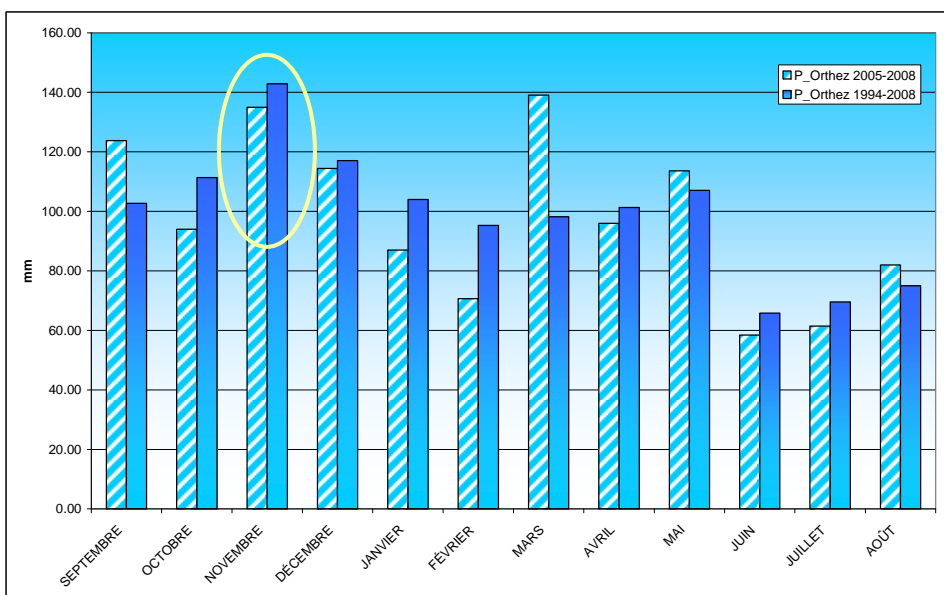


Illustration 18 : Comparaison des pluies mensuelles moyennes calculées sur les périodes 2005-2008 et 1994-2008 pour le poste d'Orthez

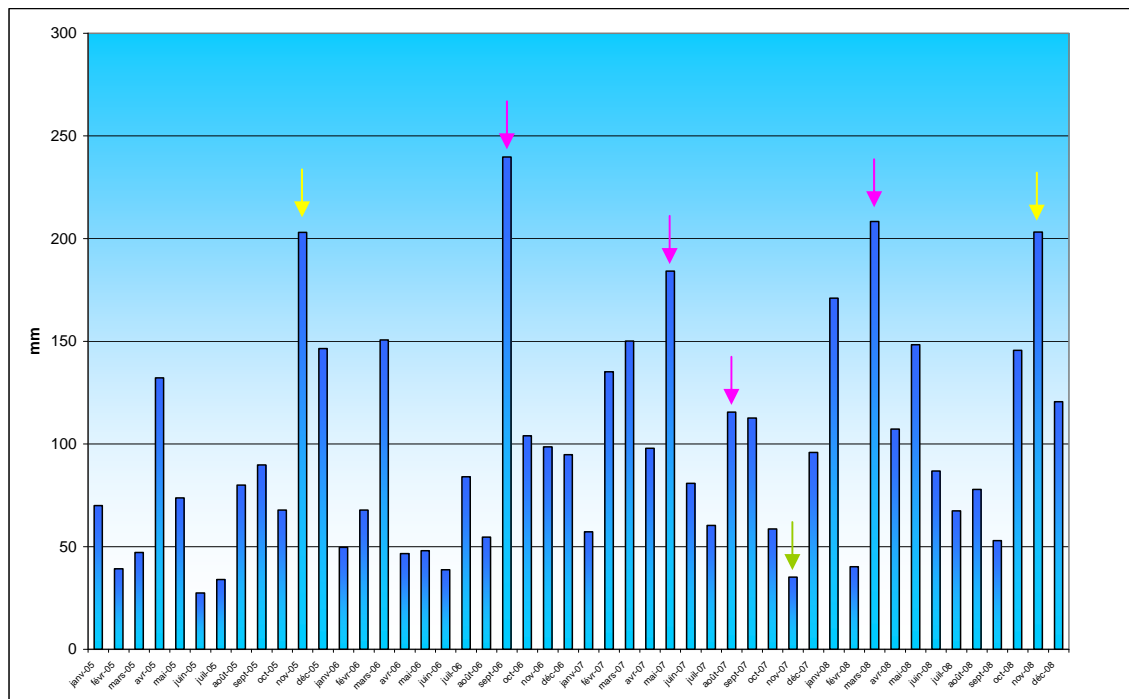


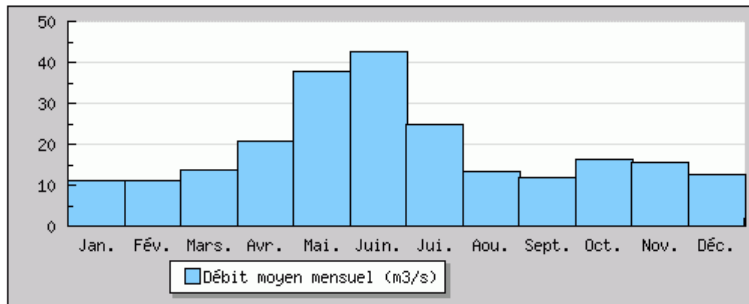
Illustration 19 : Evolution des pluies mensuelles sur le poste d'Orthez pour la période 2005-2008

En matière de débits, l'examen de l'illustration 20 qui représente les débits moyens mensuels calculés à partir des historiques complets de mesures (48 à 86 ans) montre clairement le caractère pluvio-nival du Gave de Pau. Dans la partie la plus en amont (station de Sassis), les débits observés en hiver sont en effet 4 fois moins importants que ceux observés en mai et juin au moment de la fonte des neiges. L'effet de la fonte des neiges reste très visible sur la station de Saint-Pé-de-Bigorre avec des débits maximum observés en mai et juin qui sont environ 2 fois supérieurs à ceux observés durant l'hiver.

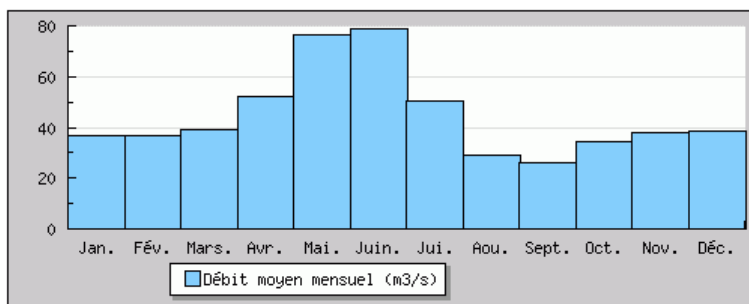
A Bérenx, le contraste entre les débits printaniers et hivernaux est un peu moins marqué dans la mesure où le bassin versant jaugé est plus grand et moins influencé par la neige mais les maximums s'observent aussi en mai et juin.

On note enfin, une diminution conséquente du débit spécifique de l'amont vers l'aval (cf. illustration 20) en lien avec des pluies et un ruissellement moins abondants dans les parties médiane et aval que dans la partie amont.

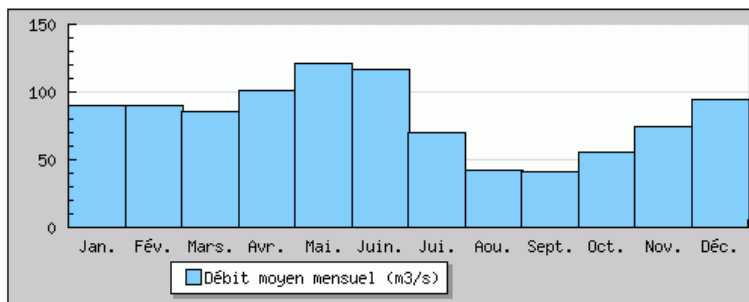
Au final, on retiendra donc que le régime du Gave de Pau est de type pluvio-nival avec des maximums qui s'observent en mai et juin au moment de la fonte des neiges. Le rapport entre les débits printaniers et hivernaux varie, quant à lui, en fonction de la position de la station de contrôle. Il est de l'ordre de 4 à Sassis (amont) et de 1,5 à Bérenx (aval).



**Sassis, 412 km²,
48 ans de données
Q moy. = 19,3 m³/s
Qspécifique = 46,9 l/s/km²**



**Saint-Pé-de-Bigorre, 1120 km²,
55 ans de données
Q moy. = 44,7 m³/s
Qspécifique = 39,9 l/s/km²**



**Bérenx, 2575 km²,
86 ans de données
Q moy. = 81,8 m³/s
Qspécifique = 31,8 l/s/km²**

Illustration 20 : Débits moyens mensuels sur les stations de Sassis (amont), Saint-Pé-de-Bigorre (partie médiane), Bérenx (aval) d'après Banque HYDRO

Les niveaux piézométriques constituent le troisième type de données qui sera utilisé. L'illustration 21 représente les hauteurs moyennes sur la période 2001-2009 enregistrées sur 3 piézomètres suivis par le Conseil Général des Pyrénées Atlantiques : Coarraze, situé à l'amont de la zone d'étude, Assat, situé à l'amont de Pau et Tarsacq, situé entre Pau et Orthez.

Les piézomètres de Coarraze et Assat présentent des évolutions assez structurées avec un maximum observé en mai, période qui correspond aussi aux plus hautes eaux du Gave de Pau. Celui de Tarsacq présente une répartition des hautes eaux différente avec des valeurs oscillant autour de 124,10 m NGF entre décembre et juin et des hauteurs plus basses lors des 5 autres mois de l'année.

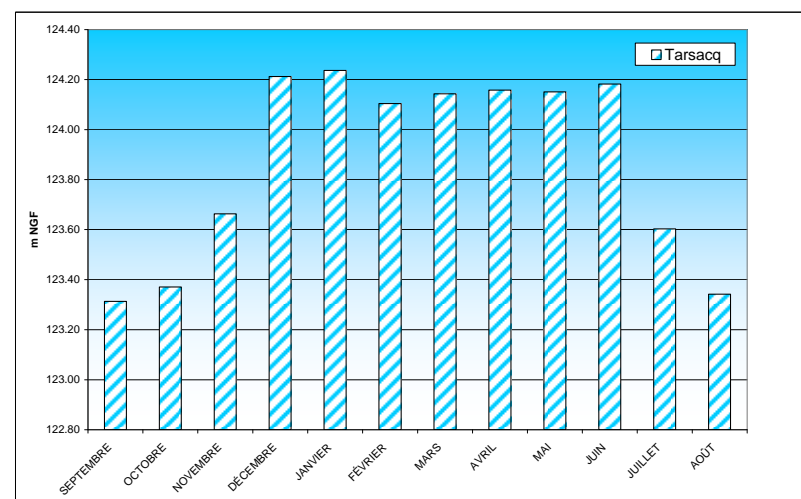
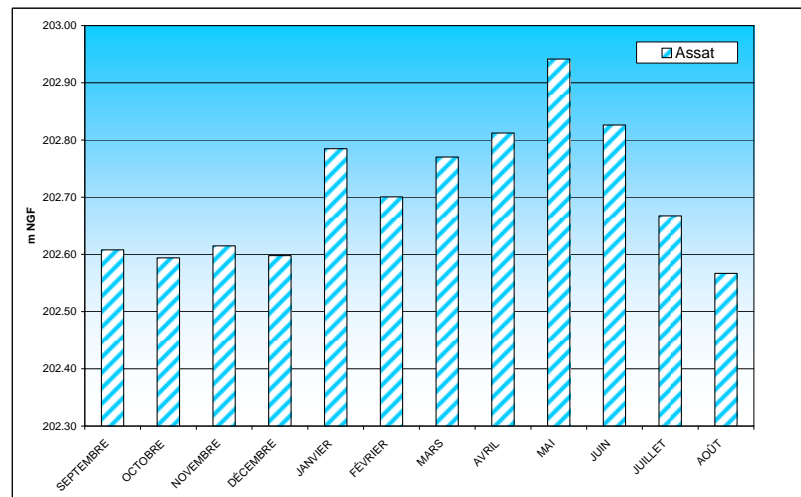
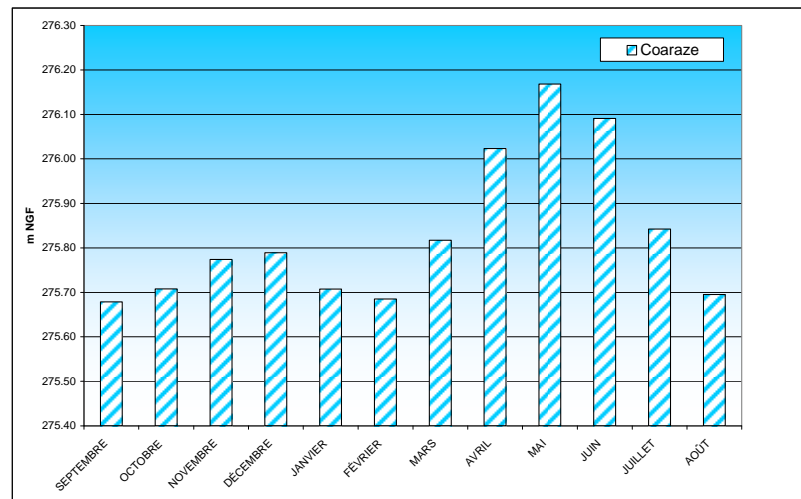


Illustration 21 : Hauteurs moyennes mensuelles sur les piézomètres de Coaraze (amont), Assat (milieu) et Tarsacq (aval)

Cette différence de comportement peut s'expliquer par la distance des piézomètres au cours d'eau qui est beaucoup plus importante à Tarsacq (environ 500 m) qu'à Coarraze ou Assat (quelques dizaines de mètres). Le phénomène qui est à l'origine du maintien de hauts niveaux sur la période décembre à juin dans les environs de Tarsacq reste toutefois à identifier. Il pourrait être lié à la présence d'un petit cours d'eau situé à proximité du piézomètre.

En matière de piézométrie, on retiendra donc que les niveaux semblent très influencés par les variations de débit du Gave de Pau. Pour les piézomètres présentant une évolution structurée des niveaux, les maximums sont observés au mois de mai comme pour le cours d'eau.

L'analyse préalable des données a permis de préciser certaines caractéristiques de la nappe contenue dans les alluvions du Gave de Pau. Le système est soumis à des précipitations régulières et abondantes qui présentent un maximum en novembre et un minimum sur la période juin/juillet/août. Les niveaux piézométriques semblent quant à eux très influencés par les variations de débit du Gave de Pau qui présente un régime pluvio-nival (maximums respectifs observés en mai et juin au moment de la fonte des neiges).

4.2.2. Approche fonctionnelle des aquifères basée sur les analyses corrélatoires et spectrales

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 (Jenkins and Watts, 1968 ; Box and Jenkins, 1970 ; Mangin 1981).

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).

Dans le cas de l'étude de la nappe alluviale du Gave de Pau, seules des analyses corrélatoires simples et croisées ont été mises en œuvre. Elles ont été menées sur la pluie, la piézométrie et les débits du Gave de Pau.

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

Les courbes établies pour les pluies d'Asson et d'Orthez (cf. illustrations 22 et 23) présentent en effet un maximum de 1 pour un décalage nul, décroissent rapidement puis oscillent autour de 0 à partir d'un décalage de l'ordre de 7 jours.

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.

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

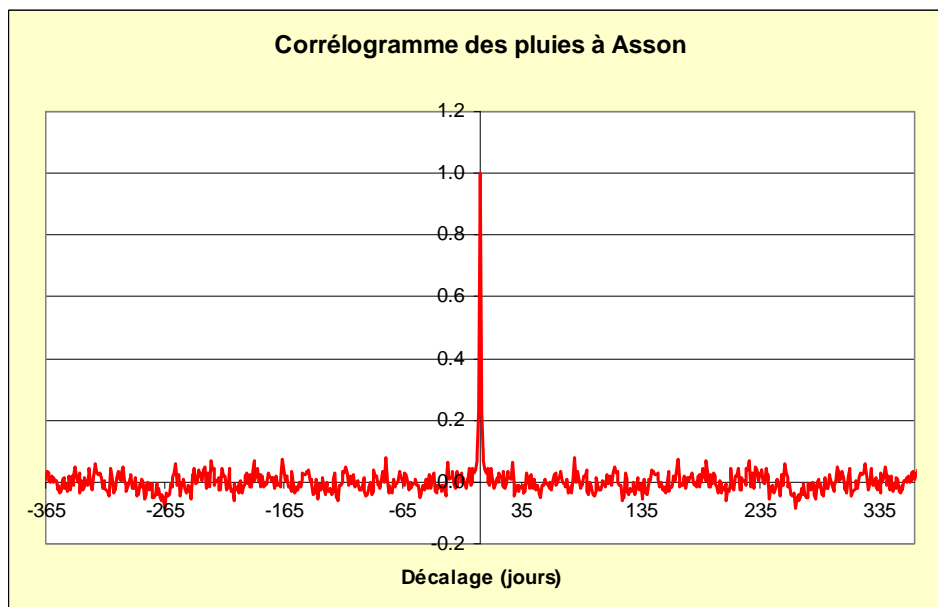


Illustration 22 : Corrélogramme des pluies enregistrées à Asson

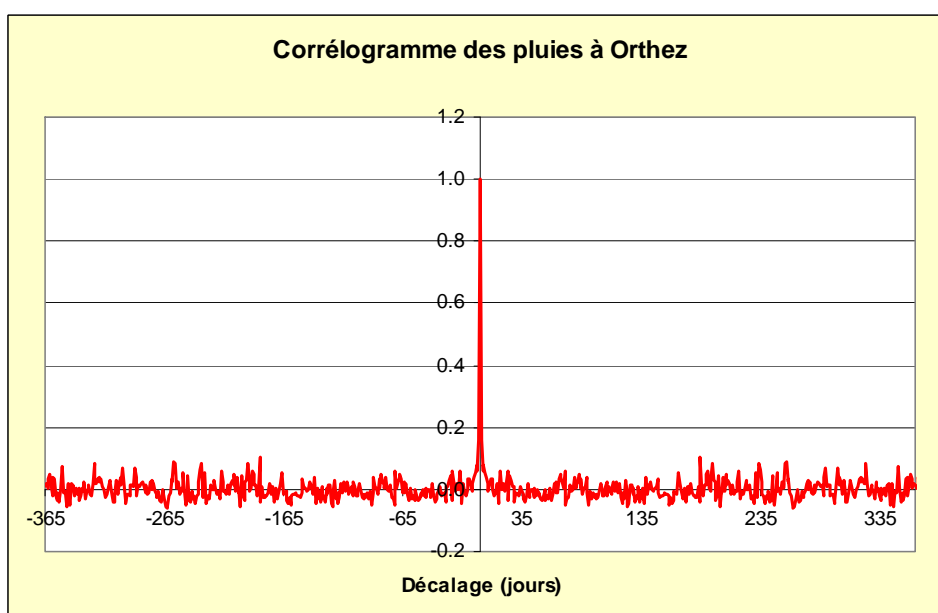


Illustration 23 : Corrélogramme des pluies enregistrées à Orthez

L'examen de l'illustration 24 permet de noter :

- que les courbes représentatives des piézomètres suivis par le Conseil Général 64 (Uzos, Tarsacq, Assat, Lescar et Coarraze) à l'exception de celle d'Arbus présentent un maximum secondaire pour un décalage d'environ 365 jours, ce qui traduit une cyclicité annuelle,
- que les courbes représentatives des piézomètres suivis par le BRGM (Pardiès, Siros, Bérenx, Labastide et Bordes) ainsi que celle du piézomètre d'Arbus présentent le même type de variations que celles du premier groupe jusqu'à un décalage de l'ordre de 50 jours. Elles s'arrêtent ensuite pour des décalages différents en raison d'un nombre de données disponible plus ou moins important,
- que les effets mémoire, déterminés lorsque le coefficient d'auto-corrélation est égal à 0.5, varient de 19 à 36 jours. Bien qu'ils varient quasiment du simple au double, les écarts ne sont toutefois pas assez significatifs pour que plusieurs groupes de forages puissent être identifiés. Ils ne semblent, en tout cas, pas proportionnels à la distance qui sépare les forages du cours d'eau (effets mémoires similaires - 25 j environ - pour les ouvrages d'Assat et de Tarsacq situés respectivement à 45 et 475 m du cours d'eau).

Les coefficients d'auto-corrélation ont aussi été calculés pour les débits du Gave de Pau déduits des hauteurs enregistrées sur les stations de Sassis, Saint-Pé-de-Bigorre et Bérenx (cf. illustration 25).

Les courbes caractéristiques des 3 stations présentent logiquement un pic secondaire pour un décalage de l'ordre de 365 jours, ce qui traduit le caractère annuel des cycles du Gave de Pau.

D'une façon moins attendue, les courbes présentent aussi un pic tertiaire pour un décalage de l'ordre de 180 à 210 jours qui traduit la succession de 2 périodes de basses eaux intervenant à 6 mois d'intervalle (cf. illustration 20).

Par analogie avec les hauteurs piézométriques, il est possible de déterminer des « effets mémoire ». La valeur de 0.5 est atteinte pour un décalage de 5 j à Bérenx, 12 j à Sassis et de 34 j à Saint-Pé-de-Bigorre: Il est possible que ces différences soient liées à une différence de largeur et/ou d'épaisseur des alluvions au droit de chaque station hydrométrique.

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 la cyclicité annuelle des variations piézométriques et le caractère faiblement inertiel des systèmes (effets mémoire compris entre 19 et 36 jours),***
- ***mettre en évidence les cyclicités annuelles et biannuelles des débits du Gave de Pau.***

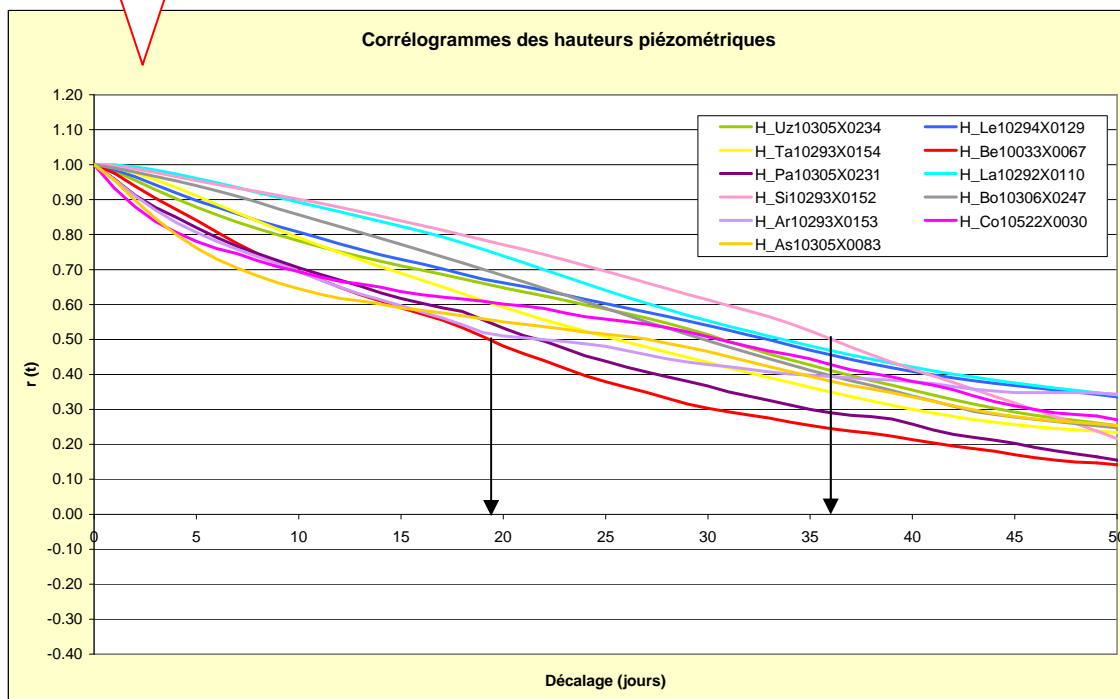
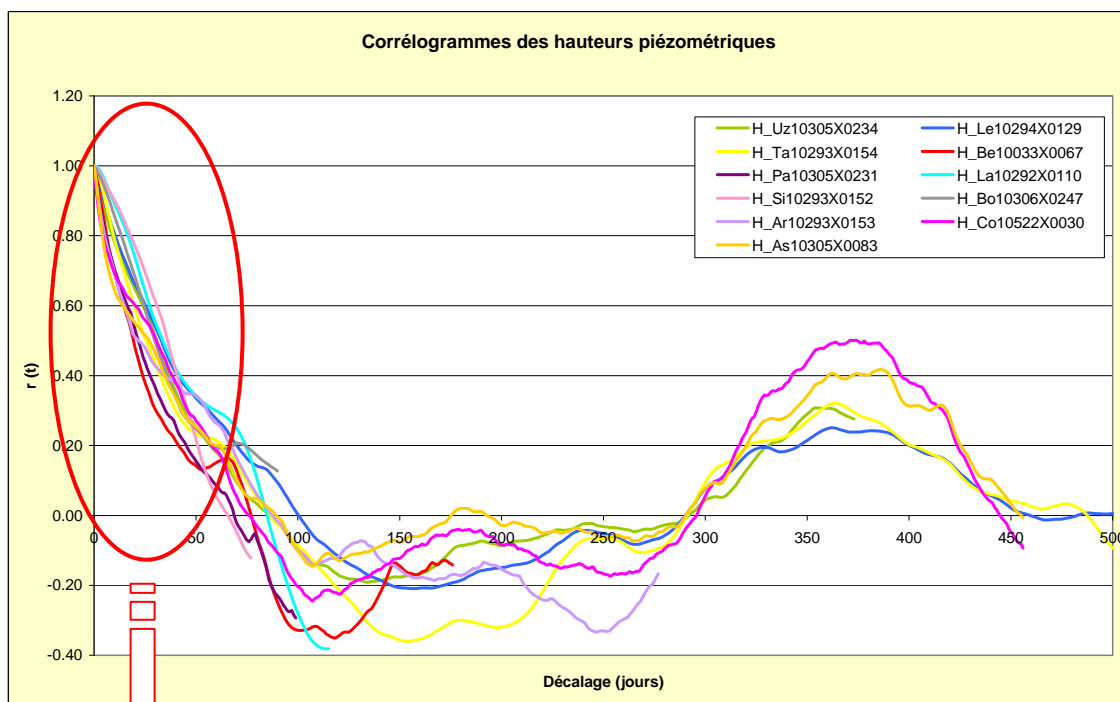


Illustration 24 : Corrélogrammes des hauteurs piézométriques (graphe complet et zoom)

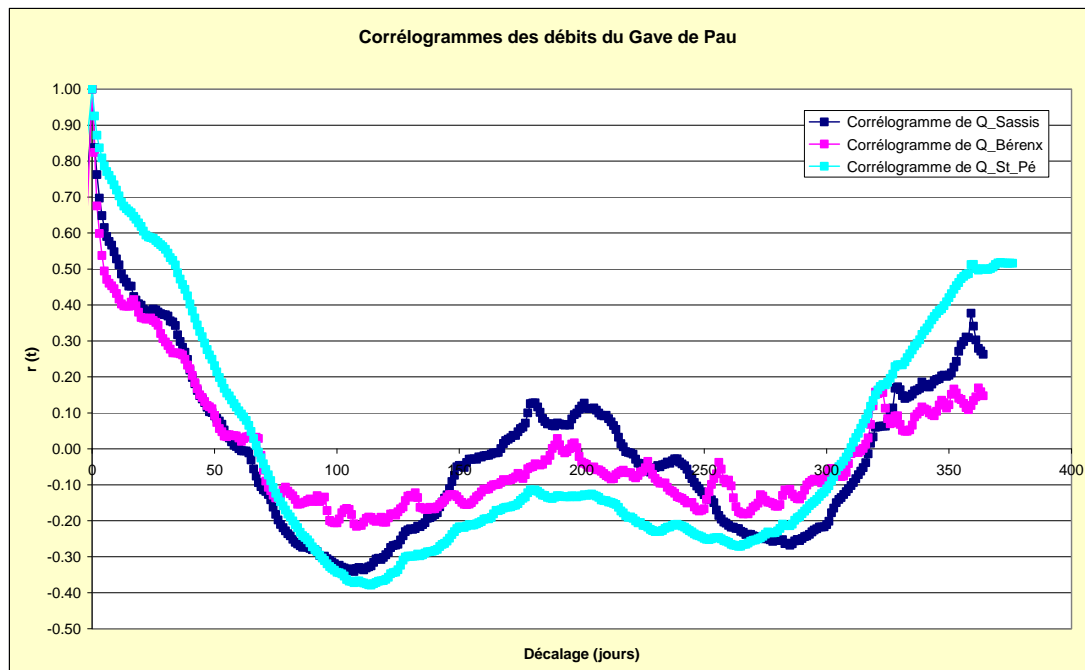


Illustration 25 : Corrélogrammes des débits du Gave de Pau

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

Préalablement à ce travail, le logiciel TEMPO a été utilisé pour déterminer la pluie optimale (combinaison de pluies qui explique au mieux les variations de débit mesurées à l'aval du bassin versant) à partir des cumuls journaliers enregistrés à Asson et Orthez.

$$P_{opt} = 0.83x P_{Asson} + 0.17xP_{Orthez}$$

Les corrélogrammes pluie optimale / niveaux piézométriques ont été représentés sur l'illustration 26.

Un premier examen des courbes permet de noter que les valeurs de $r(t)$ sont relativement faibles ($<0,31$). 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 les premiers modes correspondent à des valeurs de $r(t)$ comprises entre 0,2 et 0,3 et s'expriment pour des décalages inférieurs ou égaux à 3 jours.

Les courbes représentatives des forages de Siros, Bordes, Lescar, Tarsacq et Labastide se démarquent toutefois par des maximums de corrélation qui s'expriment pour des décalages plus importants (compris entre 7 et 19 jours) et des valeurs maximums de $r(t)$ plus faibles (en particulier pour Tarsacq et Labastide).

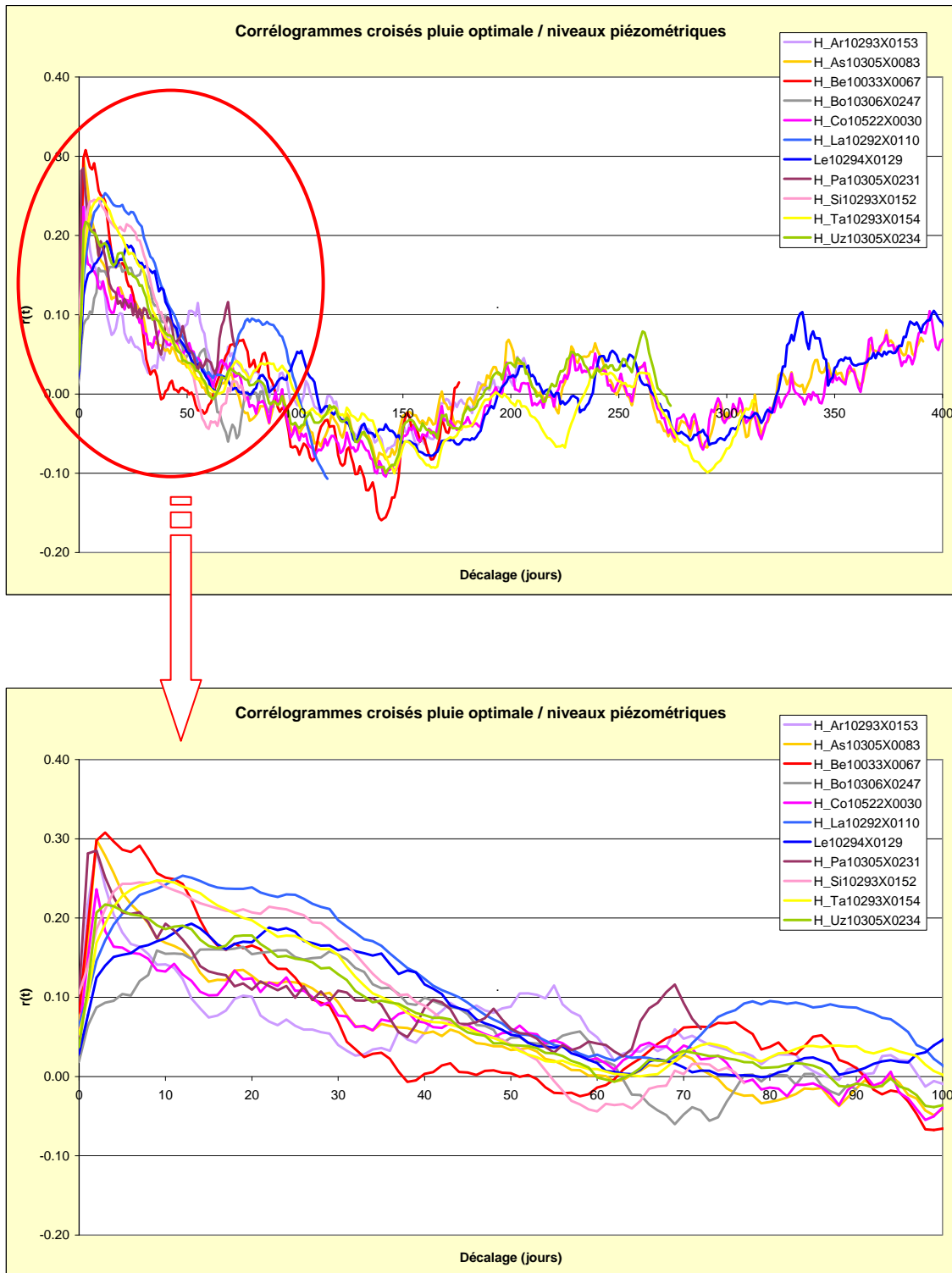


Illustration 26 : Corrélogrammes croisés pluie optimale/niveaux piézométriques (graphe complet et zoom)

Il convient de noter qu'à l'exception de Siros, les 4 autres forages précédemment mentionnés correspondent aux forages les plus éloignés du cours d'eau. Les aquifères qu'ils sollicitent pourraient donc être soutenus avec retard par le cours d'eau. On peut aussi mentionner que le piézomètre de Lescar est situé à proximité d'une gravière qui pourrait jouer le rôle de « tampon ».

On remarque en dernier lieu que les courbes peuvent présenter d'autres modes entre 50 et 100 jours (bien visibles pour Arbus, Pardiès et Labastide), entre 180 et 270 jours et entre 320 et 400 jours. Si le deuxième et le troisième modes peuvent correspondre à la cyclicité annuelle et biannuelle des variations piézométriques (2 périodes de basses eaux), le premier reste plus difficile à expliquer.

Les corrélogrammes pluie optimale / débits du Gave de Pau ont été représentés sur l'illustration 27.

On retrouve ici aussi le mode situé entre 180 et 270 jours et la cyclicité annuelle (mode situé aux alentours de 365 j).

Pour les 3 stations, les valeurs maximales de $r(t)$ sont observées pour des décalages de 1 jour, ce qui traduit des temps de concentration très rapides en lien avec les fortes pentes (cf. illustration 9) et le ruissellement associé.

On note aussi que les valeurs maximales sont plus fortes à l'aval (0,52 pour Bérenx) que dans les parties médiane (0,21 pour Saint-Pé-de-Bigorre) et amont (0,1 pour Sassis). Il est possible que le stockage des précipitations sous forme de neige dans la partie montagneuse du bassin versant et durant la période hivernale soit à l'origine de la mauvaise corrélation entre les précipitations et les débits des stations de Sassis et Saint-Pé.

On note enfin qu'après avoir atteint leurs maximums, les valeurs de $r(t)$ diminuent rapidement et retrouvent leur valeur d'origine après 2 jours dans le cas de Sassis, 3 jours dans le cas de Saint-Pé et 5 jours dans le cas de Bérenx. Ces différences sont probablement en lien avec la taille des bassins versants jaugés qui varient dans un rapport de 1 à 3 entre Sassis et Saint-Pé et de 1 à 6 entre Sassis et Bérenx.

L'illustration 28 représente **les corrélogrammes croisés débit Saint-Pé / niveaux piézométriques**.

Il apparaît que les coefficients de corrélation sont nettement plus élevés que ceux calculés précédemment. Pour des décalages de quelques jours, ils sont en effet compris entre 0,6 et 0,9 à l'exception de ceux calculés pour le piézomètre de Bordes.

Ces corrélogrammes indiquent donc que les niveaux piézométriques et le débit du cours d'eau sont très fortement corrélés. Le comportement différent du piézomètre de Bordes peut, quant à lui, s'expliquer par le fait qu'il est le seul à être implanté dans les moyennes terrasses (mauvaise connexion avec la rivière).

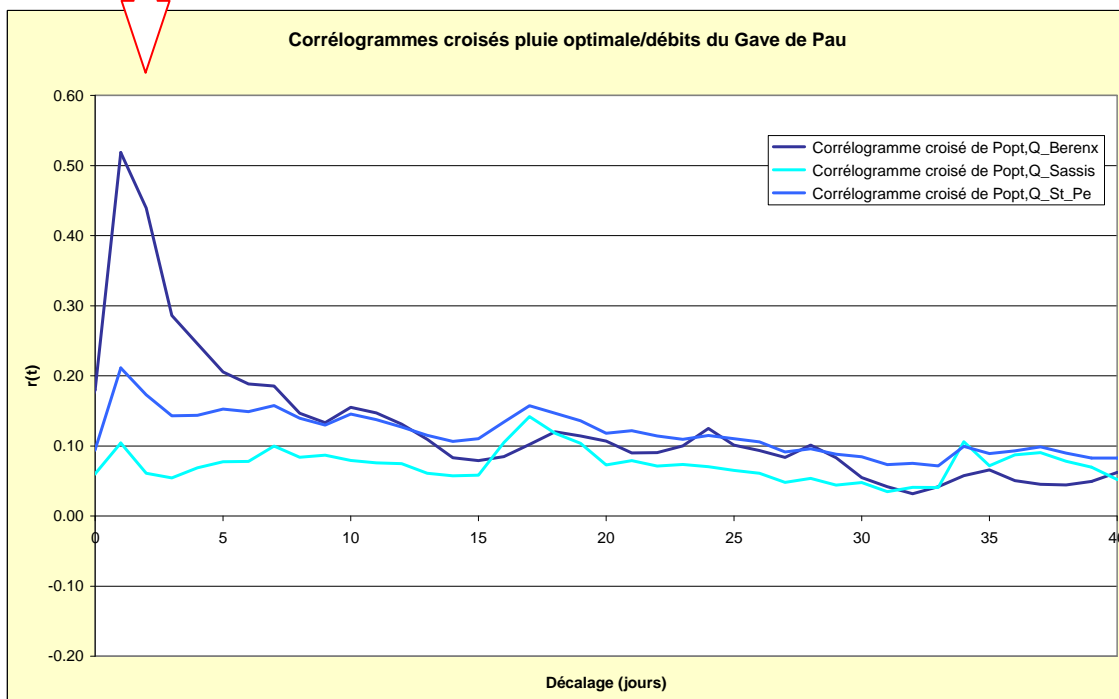
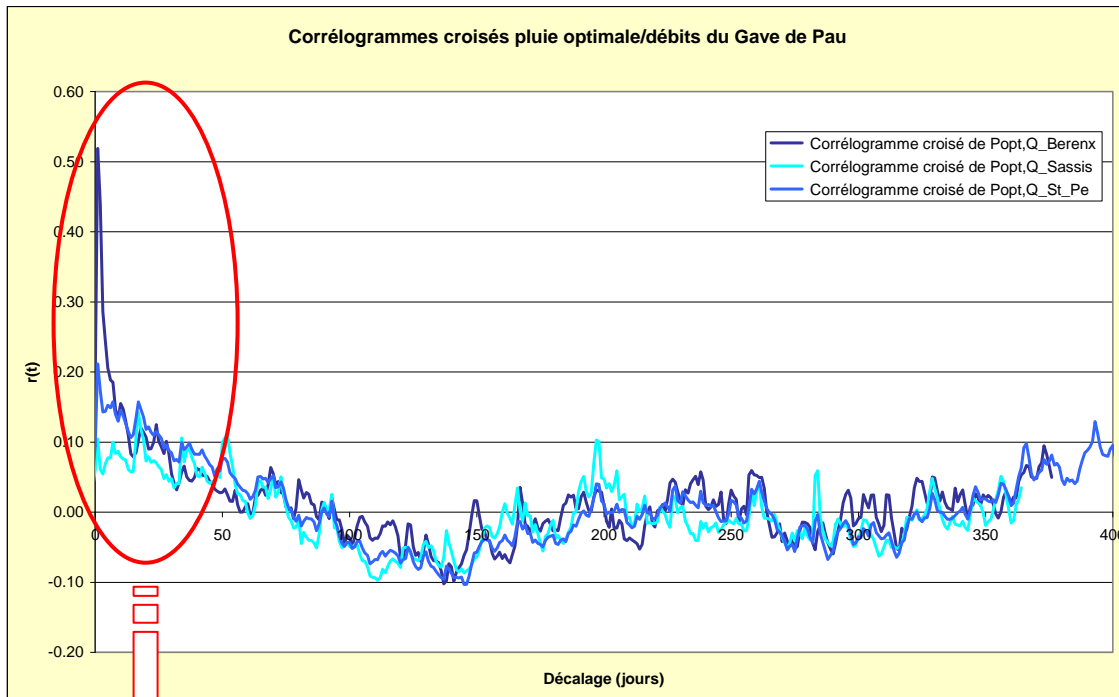


Illustration 27 : Corrélogrammes croisés pluie optimale / débits du Gave de Pau (graphe complet et zoom)

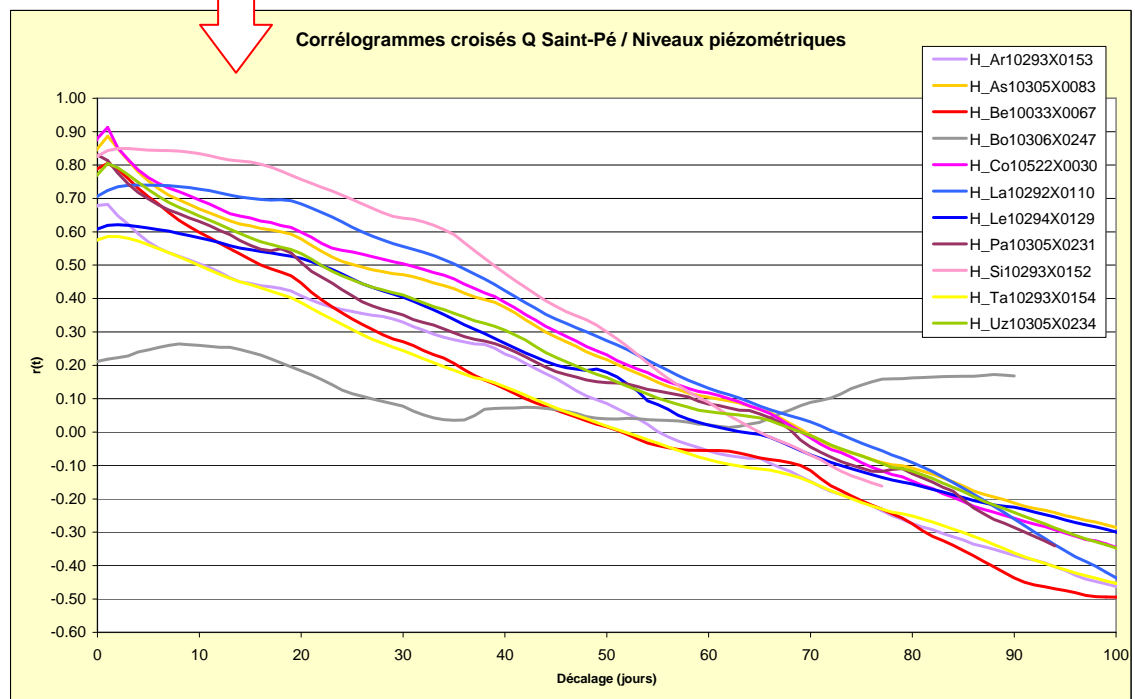
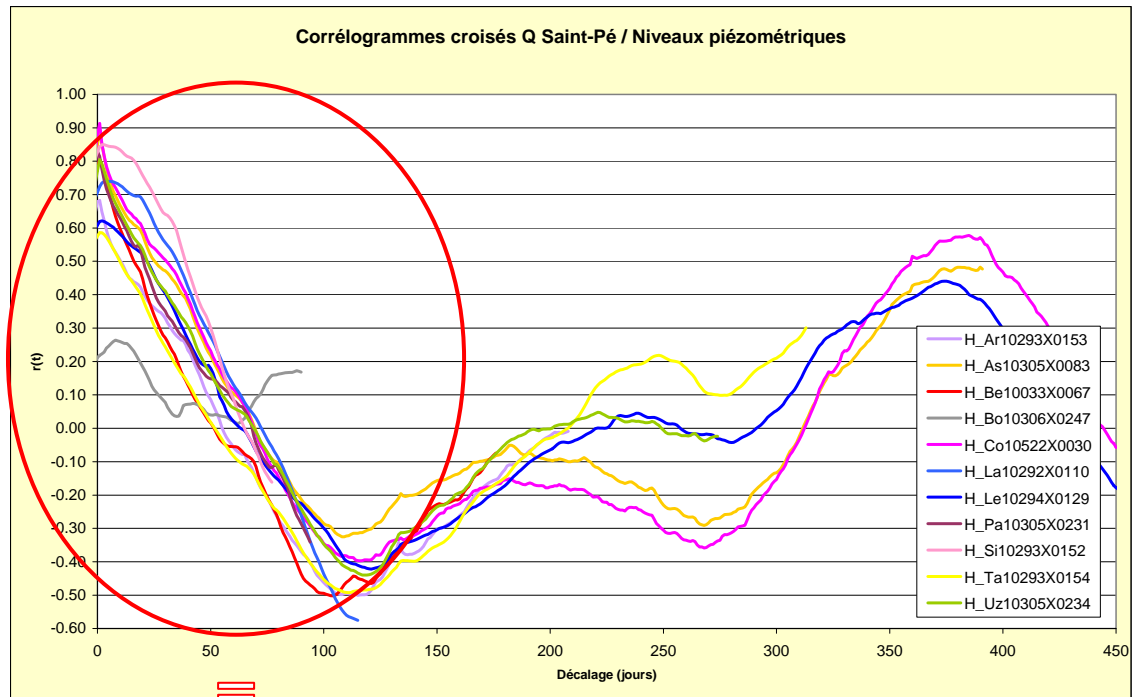


Illustration 28 : Corrélogrammes croisés débit à Saint-Pé / Niveaux piézométriques (graphe complet et zoom)

La cyclicité annuelle (mode à 365 jours) ressort ici aussi sur les chroniques les plus longues. Il en va de même pour le mode situé entre 180 et 250 jours.

Afin de mieux comprendre les relations qui peuvent exister entre la nappe et le cours d'eau, **les corrélogrammes croisés niveaux piézométriques / débit Bérenx** ont été calculés. Ils permettent d'aboutir aux mêmes conclusions que celles précédemment mentionnées.

Suite à ce test, les corrélogrammes niveaux piézométriques / débit Bérenx et débit Bérenx / niveaux piézométriques ont été comparés ; l'un étant le symétrique de l'autre par rapport à l'axe des ordonnées. Les résultats obtenus pour le piézomètre de Tarsacq sont représentés sur l'illustration 29.

On remarque une dissymétrie des corrélogrammes avec une chute plus rapide du coefficient de corrélation $r(t)$ lorsqu'on étudie la corrélation du débit en fonction du niveau piézométrique que l'inverse. Il semblerait donc que la durée de l'influence des niveaux sur le débit soit moins longue que celle du débit sur les niveaux.

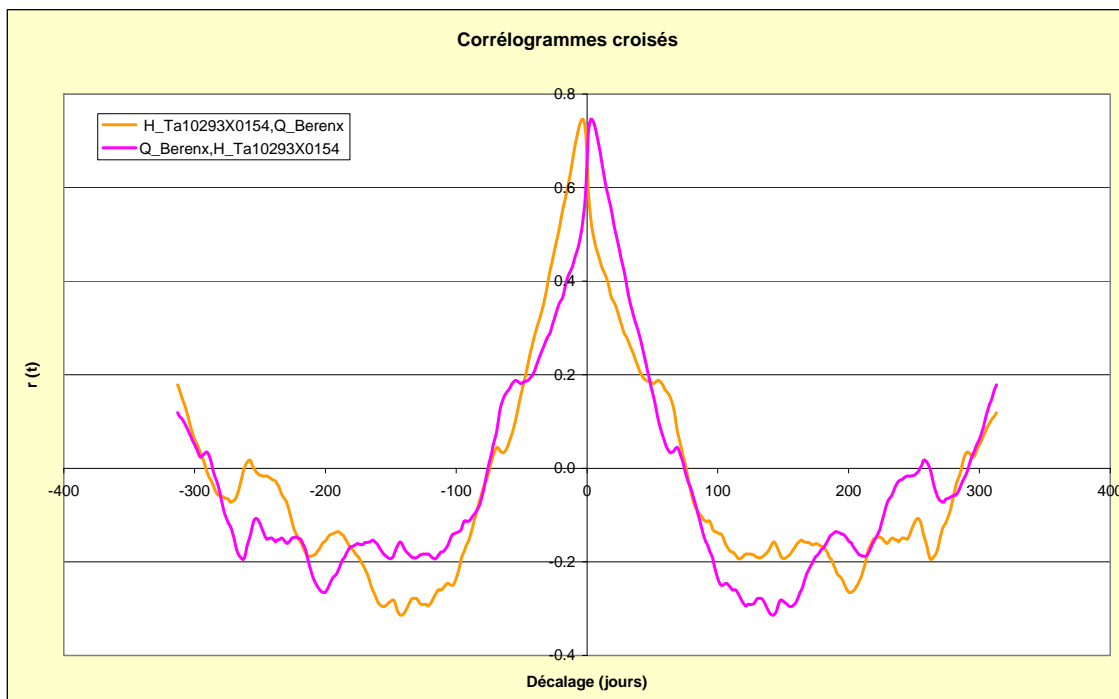


Illustration 29 : Comparaison des corrélogrammes croisés établis à partir des niveaux piézométriques et du débit à Bérenx pour Tarsacq

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 :

- ***les niveaux piézométriques et les débits n'étaient pas bien corrélés avec les pluies avec pour cause possible, le stockage des précipitations sous forme de neige dans la partie montagneuse du bassin versant durant la période hivernale,***
- ***les variations piézométriques et de débit présentaient une double cyclicité (annuelle et biannuelle) liée au régime du cours d'eau qui se caractérise par 2 périodes de basses eaux à 6 mois d'intervalle,***
- ***les temps de concentration étaient très rapides et en lien très probable avec les fortes pentes et le ruissellement associé,***
- ***les niveaux piézométriques, à l'exception de ceux du piézomètre de Bordes (seul ouvrage à être implanté dans la moyenne terrasse) étaient très bien corrélés avec le débit du cours d'eau,***

4.2.3. Analyse des hauteurs et des débits classés

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 nappe alluviale du Gave de Pau, la méthode a été appliquée pour identifier d'éventuels seuils de hauteurs piézométriques ou de débits qui seraient liés aux prélèvements effectués dans l'aquifère.

Analyse des débits classés

L'illustration 30 représente les résultats obtenus pour les débits du Gave de Pau à Sassis, Saint-Pé et Bérenx. Des ruptures de pente sont mises en évidence pour des ordonnées de l'ordre de 1 et de 10, ce qui correspond à des probabilités cumulées respectives de 50 et 99 %. Il apparaît donc qu'au niveau des 3 stations, la répartition des débits est assez homogène :

- environ 50 % des débits correspondraient à des débits d'étiage (débits inférieurs à la première rupture),
- environ 50 % des débits correspondraient à des débits ordinaires de hautes eaux (débits compris entre la première et la deuxième rupture),
- moins de 1 % des débits correspondraient à des débits exceptionnels.

Si on considère que les droites représentées en vert sur l'illustration 30 se caractérisent par une pente α_1 , les droites oranges par une pente α_2 et les droites rouges par une pente α_3 , on remarque que $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ dans les 3 cas.

Les pourcentages pour lesquels les ruptures interviennent et les variations de pente observées laissent supposer des apports d'une réserve issue d'un cycle antérieur (rupture dans les moyens pourcentages) et/ou en provenance d'un autre système (rupture dans les forts pourcentages). La forme des courbes pourrait donc traduire les effets de la fonte des neiges et/ou des apports de la nappe vers le cours d'eau.

Dans la mesure où les courbes des débits classés ne présentent pas de ruptures de pente pour les faibles pourcentages de probabilité cumulés, on peut émettre l'hypothèse que **les prélèvements d'eau souterraine effectués dans la nappe d'accompagnement du Gave de Pau n'engendrent pas de modification importante de l'hydrodynamique du cours d'eau.**

Analyse des hauteurs classées

L'interprétation des graphiques représentant les hauteurs classées des piézomètres suivis en continu repose, de la même façon que pour les débits classés, sur l'identification d'anomalies (ruptures de pente) affectant la droite représentative.

L'illustration 31 met en évidence des ruptures de pente systématiques (sauf pour Bordes) pour un pourcentage de probabilité cumulé de 50 % comme dans le cas des débits. Cette observation semble confirmer l'étroite relation entre la nappe et le cours d'eau pour l'ensemble des piézomètres à l'exception de celui de Bordes qui est le seul à être implanté dans les moyennes terrasses.

Deux groupes de piézomètres peuvent ensuite être distingués entre les ouvrages qui ne présentent qu'une seule rupture de pente (Tarsacq, Pardiès, Uzos, Labastide, Assat et Bérenx) et ceux qui en présentent une deuxième pour une probabilité cumulée de 99 % (Arbus, Lescar, Siros et Coarraze) en notant que cette caractéristique traduit l'existence de hauteurs exceptionnelles et une probable connexion privilégiée avec le cours d'eau.

Le piézomètre de Coarraze semble être le plus représentatif du 2^o groupe avec des variations de hauteur parfaitement calées sur celles du Gave de Pau à Saint-Pé et l'absence de contaminants d'origine agricole (nitrates et phytosanitaires) traduisant l'effet de dilution apporté par les eaux du Gave de Pau.

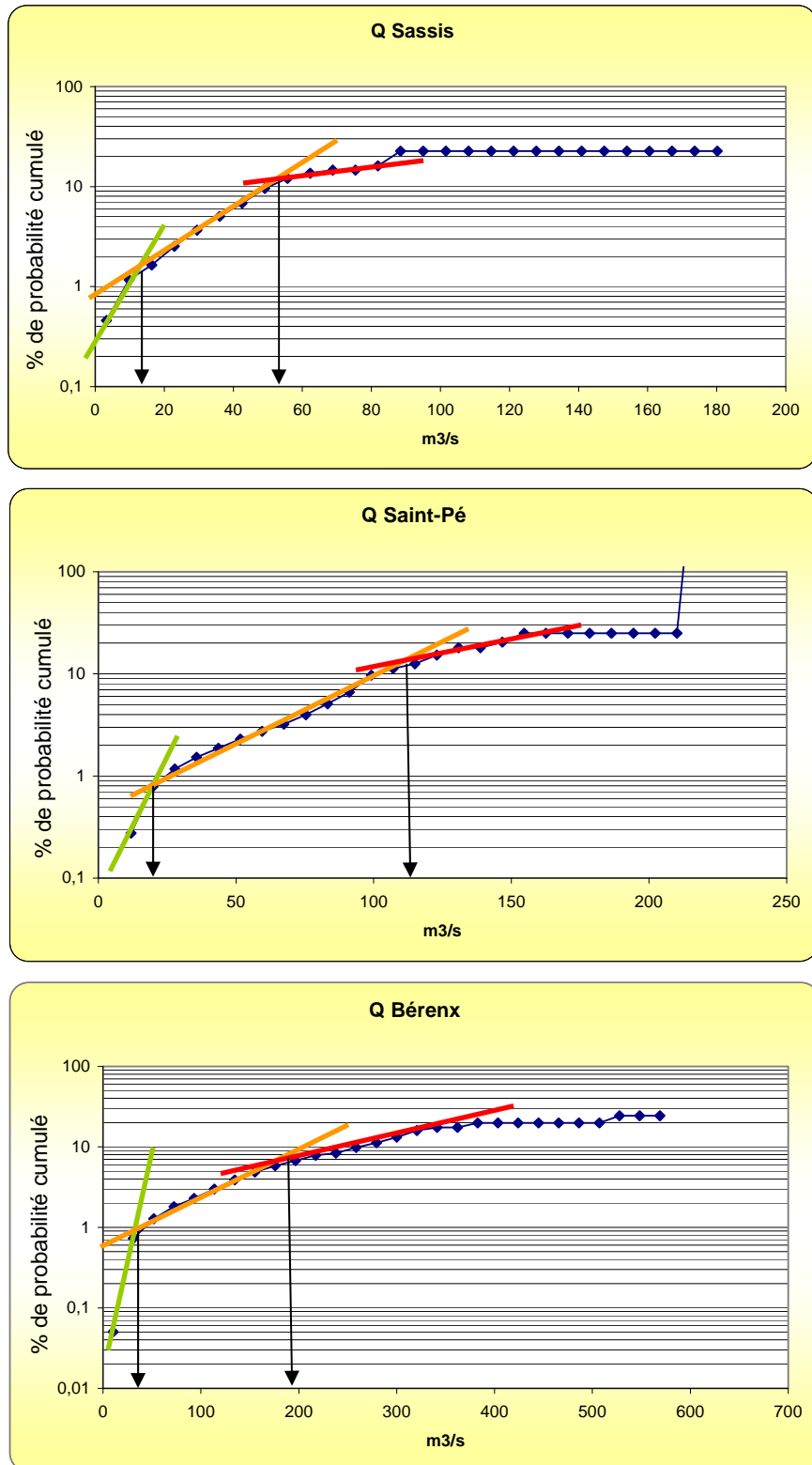


Illustration 30 : Débits classés du Gave de Pau à Sassis, Saint-Pé et Bérenx

A noter que l'absence d'une deuxième rupture de pente peut être liée à l'environnement du point d'eau. On mentionnera en effet la présence d'un seuil écréteur de crues à l'amont du piézomètre d'Assat et la sollicitation importante du forage de Bérenx pour l'arrosage des vergers environnants.

L'examen des pentes montre enfin que les pentes α_2 des droites définies pour les hauteurs piézométriques supérieures aux premiers points de rupture sont inférieures aux pentes α_1 . Ce comportement évoque, comme dans le cas des débits, la contribution d'une réserve issue d'un cycle antérieur, correspondant probablement à la fonte des neiges.

Bilan de l'analyse des débits et des hauteurs classés

L'approche basée sur l'analyse des débits et des hauteurs classés a montré :

- que les prélèvements d'eau souterraine effectués dans la nappe d'accompagnement du Gave de Pau ne semblaient pas engendrer de modification importante de l'hydrodynamique du cours d'eau (pas de rupture de pente observée pour les faibles pourcentages de probabilité cumulés),

- que la répartition des hauteurs d'eau était très similaire à celle des débits (50 % de basses eaux, 50 % de hautes eaux). A noter que les ouvrages les plus proches du cours d'eau présentent, de la même façon que le Gave de Pau, 1% de valeurs exceptionnellement hautes et que seul le forage de Bordes (implanté dans les moyennes terrasses) apparaît comme mal connecté,

- que l'hydrosystème constitué du cours d'eau et de la nappe recevait la contribution d'une réserve issue d'un cycle antérieur, correspondant probablement à la fonte des neiges.

4.3. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES AQUIFERES PAR L'APPROCHE DE MODELISATION TEMPO

Les approches mises en œuvre précédemment ont permis d'apporter des éléments d'information sur le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère alluvial (inertie, typologie de réponse des aquifères aux précipitations, importance ou non de la relation hydraulique avec le cours d'eau...). L'utilisation du logiciel TEMPO va permettre de préciser ces résultats préliminaires.

Le principe général de cet outil, les étapes permettant d'aboutir aux modèles de transfert ainsi que les possibilités de simulation de débits ou de niveaux (au moyen des générateurs de pluie et d'ETP) ont été décrits dans le rapport BRGM/RP-56523-FR (Module 5 - Année 4) et ne seront donc pas rappelés dans ce rapport.

La première étape du travail a consisté à modéliser le débit observé à Bérenx en fonction de la pluie optimale, de l'ETP mesurée à Pau, d'un niveau piézométrique et du débit de la Neste au niveau du barrage de Cap de Long (65) (cf. illustration 32).

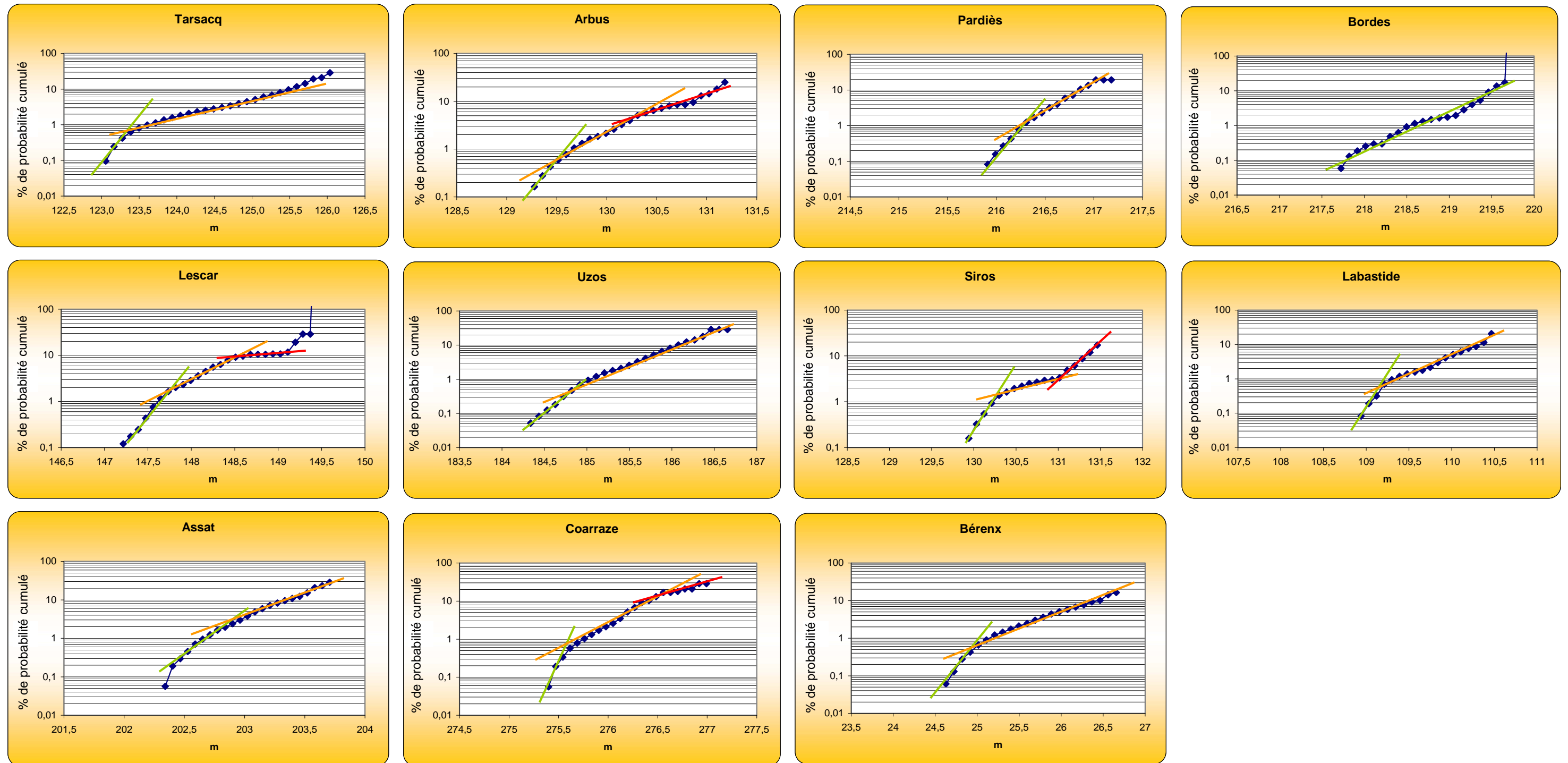


Illustration 31 : Evolution des hauteurs classées pour l'ensemble des piézomètres suivis

Ce cours d'eau n'est pas un affluent du Gave mais ses débits au pied du barrage de Cap de Long sont représentatifs du domaine montagneux qui caractérise aussi la partie la plus amont du bassin versant du Gave de Pau (bassin versant jaugé = 5 km², altitude station = 2182 m). Ils ont été retenus pour représenter l'effet « fonte des neiges » dans la modélisation.

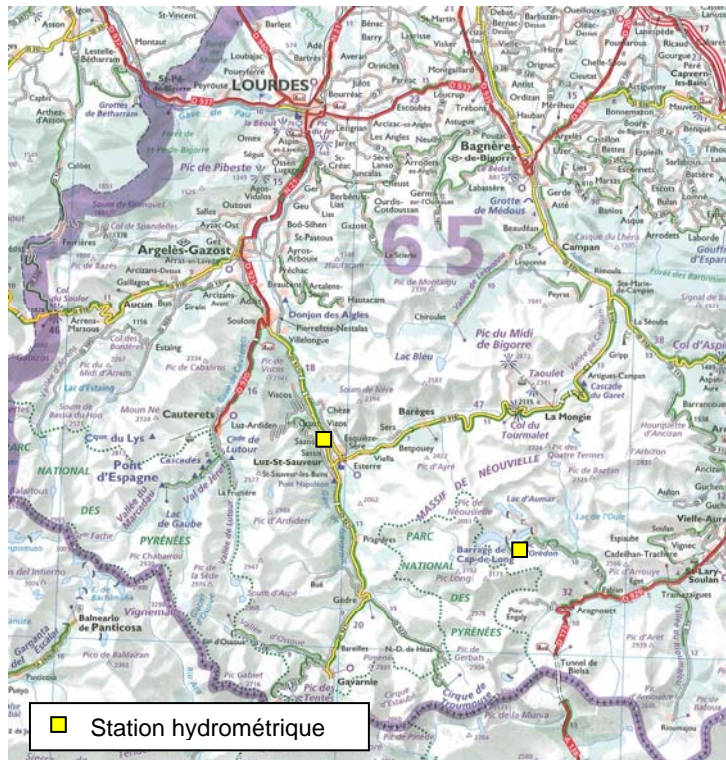


Illustration 32 : Localisation des stations de Sassis et de la Neste au Cap de Long

La deuxième étape du travail a consisté à modéliser les niveaux piézométriques à partir de la pluie optimale, du débit du Gave de Pau à Sassis ou Saint-Pé-de-Bigorre et du débit de la Neste.

Les modèles sont présentés dans les 2 parties suivantes.

4.3.1. Modélisation du débit à Bérenx

Le débit à Bérenx a été modélisé à partir des données décrites dans le paragraphe précédent. Trois premiers essais ont été effectués avec les données piézométriques enregistrées à Tarsacq, Lescar et Coarraze (stations présentant les plus longues chroniques et des positions éloignées les unes des autres) (cf. illustration 33).

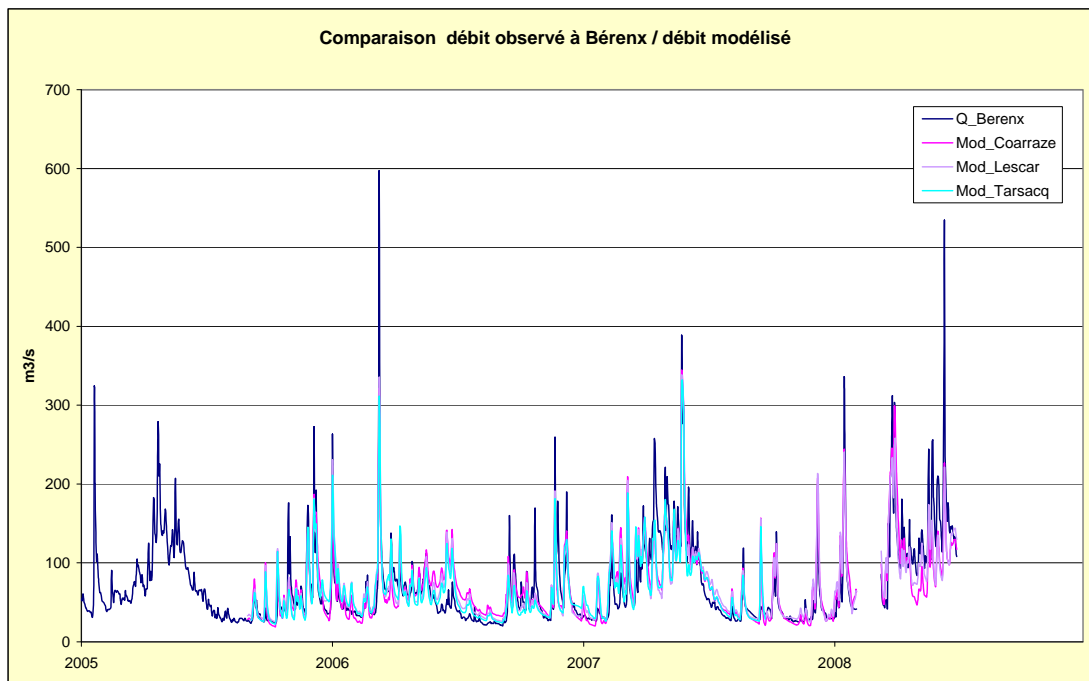


Illustration 33 : Modélisation du débit à Bérenx à partir des niveaux piézométriques enregistrés à Coarraze, Lescar et Tarsacq

Piézomètre	Signal neige	Nash	Pluie	Neige	Piézo
Coarraze	non décalé	0,695	41 %	15 %	44 %
Tarsacq	non décalé	0,704	34 %	17 %	49 %
Lescar	non décalé	0,711	39 %	17 %	44 %
Moyenne			38 %	16 %	46 %

Illustration 34 : Coefficients de Nash et pourcentages de contribution des différents paramètres

A première vue, il est difficile de distinguer le meilleur calage parmi les 3 réalisés. La comparaison des coefficients de Nash (valeurs d'autant plus proches de 1 que la qualité de la simulation est bonne) confirme l'impression visuelle puisque les 3 valeurs sont très proches (comprises entre 0.695 et 0.711) (cf. illustration 34). Par ailleurs, la contribution moyenne de chaque paramètre a pu être évaluée pour chaque calage.

Il apparaît que les résultats sont sensiblement les mêmes avec les trois piézomètres, ce qui a permis de calculer qu'en moyenne la fonte des neiges contribuait pour environ 15 % au débit du Gave de Pau à Bérenx, la pluie, 40 % et les eaux souterraines, 45 %.

En pratique, ces valeurs évoluent au fil du temps. Les figures 35, 36 et 37 représentent l'évolution des pourcentages en fonction des mois sur la période août 2005 / juin 2008 pour le modèle obtenu avec les données piézométriques de Lescar (qui s'est caractérisé par le plus fort coefficient de Nash).

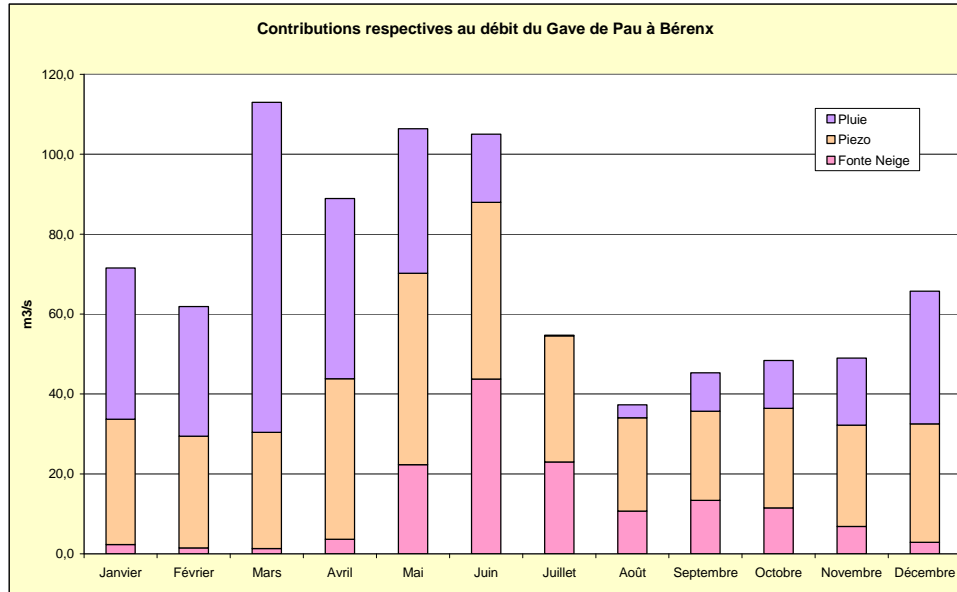


Illustration 35 : Evolution mensuelle moyenne des contributions respectives de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar

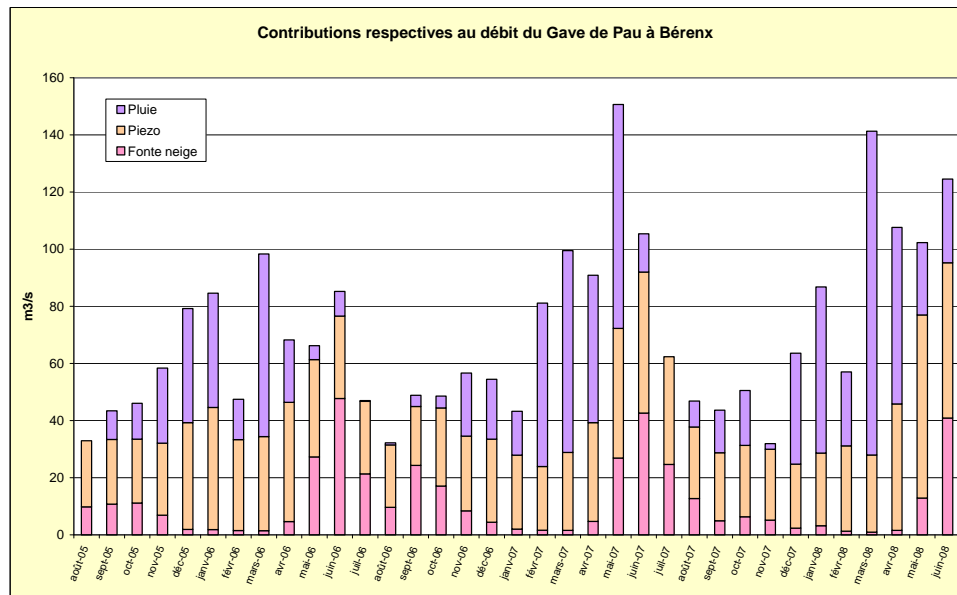


Illustration 36 : Evolution mensuelle des contributions respectives de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar

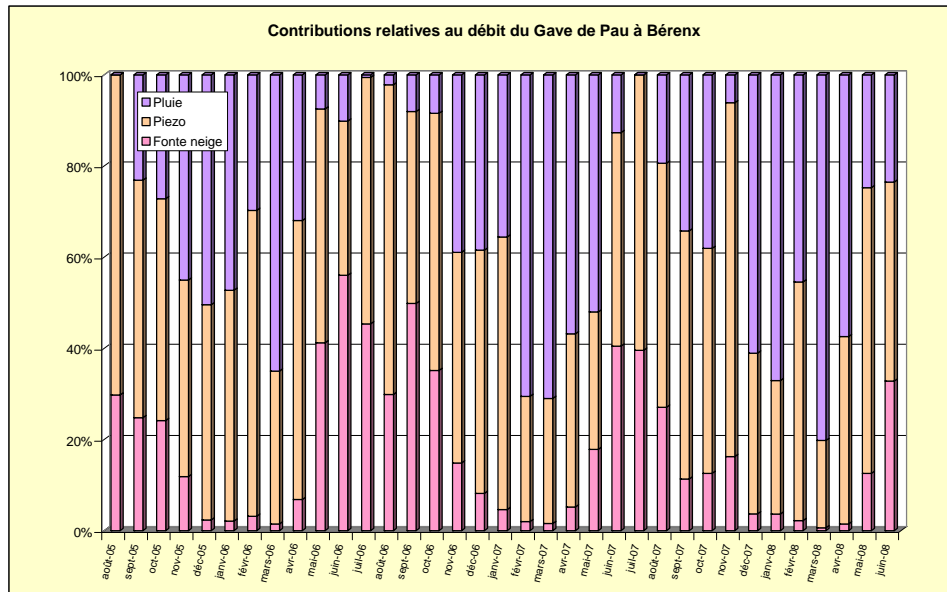


Illustration 37 : Evolution mensuelle des contributions respectives en pourcentages de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges pour le modèle Lescar

Il apparaît ainsi que sur la période étudiée (2005 à 2008), la contribution moyenne de la pluie au débit du Gave de Pau à Bérenx a été nulle en juillet, faible en juin et d'août à novembre et beaucoup plus importante de décembre à mai. La piézométrie correspond au signal le plus constant avec des apports ayant varié dans un rapport de un à deux (22 m³/s en septembre à 48 m³/s en mai) sur la même période alors que la fonte des neiges est surtout intervenue d'avril à décembre avec un pic en juin (cf. illustration 35).

L'illustration 36 permet de vérifier la faible variabilité des apports de la nappe et montre que la contribution maximale de la fonte des neiges intervient systématiquement au mois de juin. La figure 37 qui représente les contributions relatives en pourcentages met en évidence la cyclicité annuelle des événements.

On retiendra de cette première phase de modélisation qu'elle a permis d'estimer les contributions relatives moyennes de la pluie (40 %), de la piézométrie (45 %) et de la fonte des neiges (15 %) au débit du Gave de Pau. Ces pourcentages varient bien entendu dans le temps mais 2 observations ont pu être faites : 1) les apports de la nappe ne varient que dans un rapport de 1 à 2 entre septembre (environ 25 m³/s et 50 % du débit du Gave) et mai (environ 50 m³/s et 50 % du débit du Gave), 2) la contribution maximale de la fonte des neiges intervient systématiquement au mois de juin.

A noter que ces valeurs n'ont été déterminées qu'à partir de 4 ans de données et de trois ans de calage. A ce titre, elles ne sont qu'indicatives et devront être utilisées avec prudence.

4.3.2. Modélisation des hauteurs piézométriques

Seuls les niveaux piézométriques enregistrés sur les ouvrages du Conseil Général (équipés depuis janvier 2002 donc présentant des chroniques suffisamment longues) ont été retenus pour être modélisés à partir de la pluie optimale, du débit du Gave de Pau à Saint-Pé-de-Bigorre ou Sassis et du débit de la Neste.

Pour chaque piézomètre plusieurs modèles ont été réalisés. Le premier modèle fait uniquement intervenir la pluie optimale et l'ETP. Le second tient en plus compte d'un débit amont (Saint-Pé ou Sassis). Le troisième a été établi en tenant compte de la pluie optimale, de l'ETP et d'un effet « fonte des neiges ». Dans certains cas, des modèles supplémentaires intégrant à la fois un débit amont ainsi qu'un effet fonte des neiges ont été créés. L'illustration 38 synthétise les résultats obtenus.

Il apparaît que 3 groupes de piézomètres peuvent être distingués :

- un premier groupe n'incluant que le piézomètre de Tarsacq pour lequel le coefficient de Nash maximal a été obtenu avec seulement la pluie et l'ETP. Les paramètres du modèle indiquent une contribution du débit de 30 % au niveau piézométrique,
- un second groupe constitué par les piézomètres de Coarraze, Assat, Uzos et Lescar pour lesquels le coefficient de Nash maximal a été obtenu avec la pluie, l'ETP ainsi que le débit du Gave de Pau à Saint-Pé-de-Bigorre. Pour ces ouvrages les contributions respectives du débit du cours d'eau au niveau piézométrique sont de 97, 80, 60 et 50 %,
- un troisième groupe n'incluant que le piézomètre d'Arbus pour lequel la modélisation n'a pas donné de résultat très satisfaisant. Une contribution du débit de 50 % au niveau piézométrique a toutefois pu être calculée.

On obtient ainsi une gamme de contributions très large (de 30 à 97 %) du débit du Gave de Pau aux niveaux piézométriques. Ces dernières semblent inversement proportionnelles à la distance au cours d'eau puisque :

- l'ouvrage le plus éloigné (Tarsacq situé à environ 500 m du cours d'eau) présente le plus faible taux de contribution du débit au niveau piézométrique,
- les ouvrages présentant une position intermédiaire (Uzos et Lescar, ~ 200 à 300 m environ) présentent des contributions de l'ordre de 50 à 60 % du débit aux niveaux piézométriques,
- les ouvrages les plus proches (Assat et Coarraze situés à quelques dizaines de mètres du cours d'eau) présentent les plus forts taux de contribution (respectivement 80 et 97 %).

Si l'on retient globalement des valeurs de 30 % pour une distance de 500 m, 50 % pour 250 m et 90 % pour 50 m, il est possible de tracer un graphique représentant la décroissance de la contribution en fonction de la distance au cours d'eau (cf. illustration 39).

Piézomètre modélisé	Pluie	ETP	Effet fonte des neiges	Débit amont	Nash	Commentaires
Coarraze	Pluie optimale	Pau	non	non	0,3	La pluie optimale ne permet pas d'expliquer à elle seule le comportement du piézomètre
Coarraze	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,43	Le calage n'est pas bon et le résultat n'est pas exploitable
Coarraze	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,816	Nette amélioration du calage avec la prise en compte du débit dans le cours d'eau => influence du cours d'eau sur le niveau piézo. Le signal piézométrique est en fait expliqué à 97% par le signal de débit !
Tarsacq	Pluie optimale	Pau	non	non	0,807	(P,ETP) expliquent bien les fluctuations piézométriques
Tarsacq	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,755	Le calage est moins bon que sans la chronique de débit. Dans la décomposition obtenue, le débit interviendrait à hauteur de 30 %
Tarsacq	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,613	Pas d'amélioration du Nash en introduisant un effet "fonte des neiges"
Lescar	Pluie optimale	Pau	non	non	0,2	La pluie optimale ne permet pas d'expliquer à elle seule le comportement du piézomètre
Lescar	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,607	La prise en compte d'un signal de fonte des neiges améliore la compréhension du signal mais le calage n'est pas très bon
Lescar	Pluie optimale	Pau	oui	Saint-Pé	0,623	Le signal de la fonte des neiges n'est pas pris en compte pour représenter le niveau piézométrique. S' il y a une contribution liée à la fonte des neiges, elle est prise en compte dans le signal du débit à St-Pé
Lescar	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,702	Le signal de débit à St-Pé explique 50 % du signal piézométrique
Lescar	Pluie optimale	Pau	non	Sassis	0,674	Calage moins probant qu'avec Saint-Pé : dans ces conditions, le débit à Sassis n'expliquerait que 42 % du signal piézométrique
Assat	Pluie optimale	Pau	non	non	0,604	Calage imparfait, assez mauvais dans la première année. Difficilement exploitable en l'état.
Assat	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,687	Légère amélioration en tenant compte de la fonte des neiges
Assat	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,865	Nette amélioration du calage avec la prise en compte du débit du cours d'eau => influence du cours d'eau sur le niveau piézométrique à hauteur de 80%
Uzos	Pluie optimale	Pau	non	non	0,73	La pluie optimale explique en partie les fluctuations piézométriques
Uzos	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,59	La prise en compte du signal "fonte des neiges" dégrade la qualité du calage
Uzos	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,86	Bonne amélioration du calage avec la prise en compte du débit du cours d'eau => influence du cours d'eau sur le niveau piézométrique à hauteur de 60%
Arbus*	Pluie optimale	Pau	non	non	0,41	Mauvais calage
Arbus*	Pluie optimale	Pau	oui	non	0,405	Pas d'amélioration en introduisant un effet "fonte des neiges"
Arbus*	Pluie optimale	Pau	non	Saint-Pé	0,579	Le calage n'est pas satisfaisant (période de calage courte et discontinue). Il donne toutefois une contribution du débit au signal piézométrique de 50 %

* chronique interrompue de septembre 2006 à septembre 2007

Illustration 38 : Synthèse des résultats obtenus dans le cadre de la modélisation des niveaux piézométriques

Compte tenu du nombre de points disponibles, il est difficile de déterminer quel ajustement convient le mieux entre une relation linéaire ou exponentielle. Si l'on retient un ajustement linéaire, il semblerait que l'influence devienne nulle pour des distances de l'ordre de 600 m. Dans le cas d'un ajustement exponentiel, la distance à partir de laquelle le débit n'aurait plus d'influence sur les niveaux piézométriques serait de l'ordre de 1000 m.

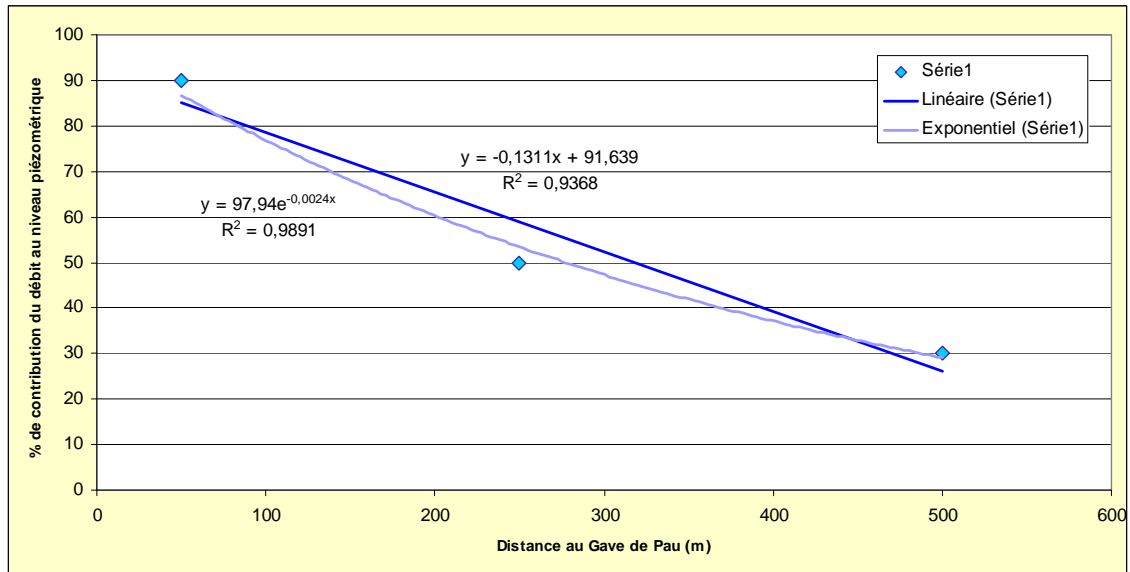


Illustration 39 : Evolution de la contribution du débit du Gave de Pau aux niveaux piézométriques en fonction de la distance

Au final, la modélisation des niveaux a permis de déterminer les pourcentages d'influence du cours d'eau sur la piézométrie et de fixer à 1000 m la distance maximale à partir de laquelle le cours d'eau ne semble plus avoir d'impact sur le fonctionnement de la nappe alluviale (impact < 10 %).

Comme dans le cas de la modélisation du débit du Gave de Pau, il convient de préciser que ces valeurs ne sont qu'indicatives et qu'elles devront, à ce titre, être utilisées avec prudence.

4.3.3. Bilan de l'approche TEMPO

L'approche TEMPO menée sur les débits et les niveaux piézométriques a permis :

- **d'estimer les contributions relatives moyennes de la pluie (40 %), de la piézométrie (45 %) et de la fonte des neiges (15 %) au débit du Gave de Pau,**
- **de montrer que les apports de la nappe variaient dans un rapport de 1 à 2 entre septembre (25 m³/s) et mai (50 m³/s) mais qu'ils représentaient un pourcentage quasi constant (de l'ordre de 50 %) du débit du Gave au fil des mois,**
- **de déterminer les pourcentages d'influence du cours d'eau sur la piézométrie (ces derniers allant de 30 à 97 % et étant inversement proportionnels à la distance au cours d'eau) et de fixer à 1000 m la distance maximale à partir de laquelle le cours d'eau ne semble plus avoir d'impact sur le fonctionnement de la nappe alluviale.**

Comme cela a été précisé à plusieurs reprises, ces valeurs ne sont qu'indicatives. Elles seront toutefois intégrées au bilan général qui est présenté dans le paragraphe suivant.

4.4. CONCLUSION

L'analyse préalable des données, la mise en œuvre d'analyses corrélatoires, l'analyse des débits et des hauteurs classés et la modélisation TEMPO ont permis de préciser certaines caractéristiques de l'aquifère constitué par les alluvions du Gave de Pau :

☞ le système est soumis à des précipitations régulières et abondantes qui présentent un maximum en novembre et un minimum sur la période juin/juillet/août,

☞ les niveaux piézométriques et les débits ne sont pas bien corrélés avec les pluies avec pour cause possible, le stockage des précipitations sous forme de neige dans la partie montagneuse du bassin versant durant la période hivernale,

☞ les variations piézométriques et de débit, bien corrélées entre elles, présentent une double cyclicité (annuelle et biannuelle) liée au régime du cours d'eau qui se caractérise par 2 périodes de basses eaux à 6 mois d'intervalle,

☞ les prélèvements d'eau souterraine effectués dans la nappe alluviale du Gave de Pau ne semblent pas engendrer de modification de l'hydrodynamique du cours d'eau. Cette observation est confortée par les faibles pourcentages que représentent les prélèvements par rapport aux volumes d'eau transitant dans le cours d'eau (cf. illustration 40) durant l'année ou durant la période mai/août. Les prélèvements représentent en effet moins de 1 % des volumes d'eau transitant dans le cours d'eau quelle que soit la période considérée. Le même type de calcul a été opéré pour les prélèvements effectués directement dans le Gave de Pau qui ne représentent que 3,2 à 3,5 % des volumes écoulés. A noter que ces faibles pourcentages sont a priori surestimés dans la mesure où pour l'industrie, ce sont les volumes prélevés sur l'ensemble du département qui ont été retenus,

	Bassin versant à Bérenx	AEP	Agriculture	Industrie	Total**	Ratio annuel	Ratio estival
Superficie bv (km ²)	2575						
Volume prélevé (m ³) dans la nappe alluviale du GDP		15500000	675059	inférieur à 6,5 millions*	22675059	0,9%	0,8%
Volume prélevé (m ³) dans le Gave de Pau			2256098	inférieur à 87,5millions*	89756098	3,5%	3,2%
Débit moyen annuel (en m ³ /s)	82						
Volume annuel correspondant (m ³)	2585952000						
Débit moyen mai à août (en m ³ /s)	87,8						
Volume estival correspondant (m ³)	2768860800						

* volumes retenus pour l'ensemble du département

** valeurs surestimées car obtenues avec les volumes industriels relatifs au département

Illustration 40 : Estimation de la part des prélèvements par rapport aux volumes écoulés dans le Gave de Pau

☞ la répartition des hauteurs d'eau est très similaire à celle des débits (50 % de basses eaux, 50 % de hautes eaux). A noter que les ouvrages les plus proches du cours d'eau présentent, de la même façon que la Gave de Pau, 1% de valeurs exceptionnellement hautes et que seul le forage de Bordes (implanté dans les moyennes terrasses) est mal connecté au cours d'eau,

☞ les contributions relatives moyennes de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges au débit du Gave de Pau ont respectivement pu être évaluées à 40, 45 et 15 %,

☞ les apports de la nappe varient dans un rapport de 1 à 2 entre septembre ($25 \text{ m}^3/\text{s}$) et mai ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) mais représentent un pourcentage quasi constant (de l'ordre de 50 %) du débit du Gave au fil des mois,

☞ les pourcentages d'influence du cours d'eau sur la piézométrie varient de 30 à 97 % et sont inversement proportionnels à la distance au cours d'eau. La distance maximale à partir de laquelle le cours d'eau ne semble plus avoir d'impact sur le fonctionnement de la nappe alluviale est de l'ordre de 1000 m.

Au terme de l'analyse, il convient de préciser que les chiffres ne sont qu'indicatifs et qu'ils ont, dans la plupart des cas, pu être déterminés grâce aux enregistrements entrepris dès la fin 2001 par le Conseil Général 64, les enregistrements effectués sur les points BRGM étant souvent trop courts (environ 3 années de données).

Au final, l'approche globale menée n'a pas mis en évidence de réels problèmes quantitatifs, les prélèvements ne représentant qu'une faible partie des volumes s'écoulant dans le cours d'eau. Dans ces conditions, il ne semble pas nécessaire de mettre en place un quelconque outil visant à réduire les prélèvements de façon systématique.

Concernant le fonctionnement de l'hydrosystème, il semble que le cours d'eau et la nappe soient particulièrement bien connectés, ce qui permet des échanges dans les 2 sens comme le suggèrent les cartes piézométriques représentées sur les illustrations 10 à 13 (écoulement de la nappe plus ou moins parallèle au cours d'eau).

5. Nappe alluviale du Dropt

La nappe alluviale du Dropt constitue le 4^{ème} site expérimental étudié dans le cadre du module 5. La sélection de cet aquifère est liée aux faits :

- que le cours d'eau était jusqu'à présent classé par le SDAGE Adour Garonne dans la catégorie des « cours d'eau déficitaires et rivières réalimentées en période d'étiage » et qu'il fait l'objet d'un plan de Gestion des Etiages depuis septembre 2003,
- que l'aire géographique du PGE Dropt (1 346 km²) ne concerne que la région Aquitaine et 3 de ses départements : la Dordogne, le Lot-et-Garonne et la Gironde,
- que le cours d'eau et la nappe sont réalimentés en période estivale par une série de retenues dont la capacité totale de stockage est de l'ordre de 15 millions de m³,
- que la nappe d'accompagnement ne se limite pas aux alluvions mais comprend également une partie de l'encaissant,
- que la nappe alluviale, qui est pour l'instant essentiellement utilisée pour les besoins de l'agriculture, pourrait représenter une ressource de substitution intéressante pour l'AEP.

Il constitue par conséquent un cas plus complexe que les cas traités auparavant et un terrain favorable à l'étude des possibilités de recharge artificielle des nappes.

Après une description générale du bassin versant, le contexte géologique et hydrogéologique sera présenté.

5.1. PRESENTATION GENERALE DU BASSIN VERSANT DU DROPT

Le Dropt est un affluent de la rive droite de la Garonne. Il prend sa source près de Capdrot en Dordogne (un peu en amont de Monpazier) à 160 m d'altitude et se jette dans la Garonne à Caudrot en Gironde (altitude : 6 m). Le Dropt s'écoule sur les départements du Lot-et-Garonne, de la Dordogne et de la Gironde (cf. Annexe 1 et illustration 41).

Ses principaux affluents sont :

- Le Brayssou, la Bournègue, la Banègue, l'Escouroux, la Dourdèze et la Vignague (27 km) en rive droite,
- La Douyne, la Dourdenne (25 km) et l'Escoussou en rive gauche.

Depuis les années 1990, 5 retenues permettent un soutien du débit d'étiage :

- barrage de l'Escourou : 8.10^6 m³
- barrage de Brayssou : 3.10^6 m³
- barrage de la Ganne : $1.6.10^6$ m³
- barrage de la Nette : $1.2.10^6$ m³
- barrage de Graoussettes sur la Dourdenne : 1.10^6 m³

Le secteur d'étude comprend l'ensemble du système alluvial de la rivière Dropt. Cette emprise représente 132 km de long, 1 à 3 kilomètres de large, soit une superficie totale d'environ quatre cent kilomètres carrés. Elle concerne cinquante quatre communes dont les plus importantes sont Duras, Eymet et Castillones.

Le bassin versant du Dropt se caractérise par une superficie de 1350 km² et un coefficient de compacité de 1,8 qui traduit une capacité à concentrer rapidement les écoulements de surface.

Le traitement des données du Modèle Numérique de Terrain (MNT) fourni par l'IGN au moyen du logiciel ArcGis a permis d'établir une carte des altitudes ainsi qu'un tableau récapitulatif des valeurs extrêmes et moyennes rencontrées sur le bassin versant (cf. illustrations 42 et 43).

Le dénivelé est calculé en excluant les valeurs extrêmes (cf. illustration 44) à partir de la relation :

$$D = H_{95\%} - H_{5\%}$$

Dans le cas du bassin versant du Dropt, la formule permet d'aboutir à un dénivelé de 144 mètres, ce qui est relativement faible.

Les indices de pente ont aussi été calculés et représentés sur l'illustration 45. Le bassin versant se caractérise par une pente moyenne de 5,8 % et la zone alluviale, par des valeurs proches de 0.

L'indice de développement et de persistance des réseaux (IDPR), défini par le BRGM pour évaluer la perméabilité des terrains, consiste à comparer un réseau hydrographique théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène au réseau naturel qui s'est mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène. Les sols ruisselants se caractérisent par de fortes valeurs, les sols infiltrants, par de faibles valeurs.

L'illustration 46 présente les résultats obtenus sur le bassin versant du Dropt. L'IDPR présente de faibles valeurs dans le secteur de Montpazier et au nord de Bagas, traduisant la présence de terrains infiltrants. Ailleurs, l'IDPR présente des valeurs moyennes à fortes traduisant la présence de terrains plus ruisselants.

5.2. PRESENTATION DU CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le Dropt s'écoule des contreforts du Massif Central jusqu'aux basses terres de la Garonne. Il traverse d'Est en Ouest des formations de natures et d'âges différents allant du Crétacé supérieur (à l'est) à l'Oligocène inférieur (à l'ouest). A noter que dans la vallée du Dropt, les formations de l'Eocène moyen et supérieur sont directement en contact avec les formations du Crétacé (lacune du Paléocène et de l'Eocène inférieur).

L'illustration 47 représente la carte géologique simplifiée du bassin versant du Dropt. Dans les paragraphes suivants, les terrains formant le substratum de l'aquifère alluvial puis les formations alluviales seront décrits.

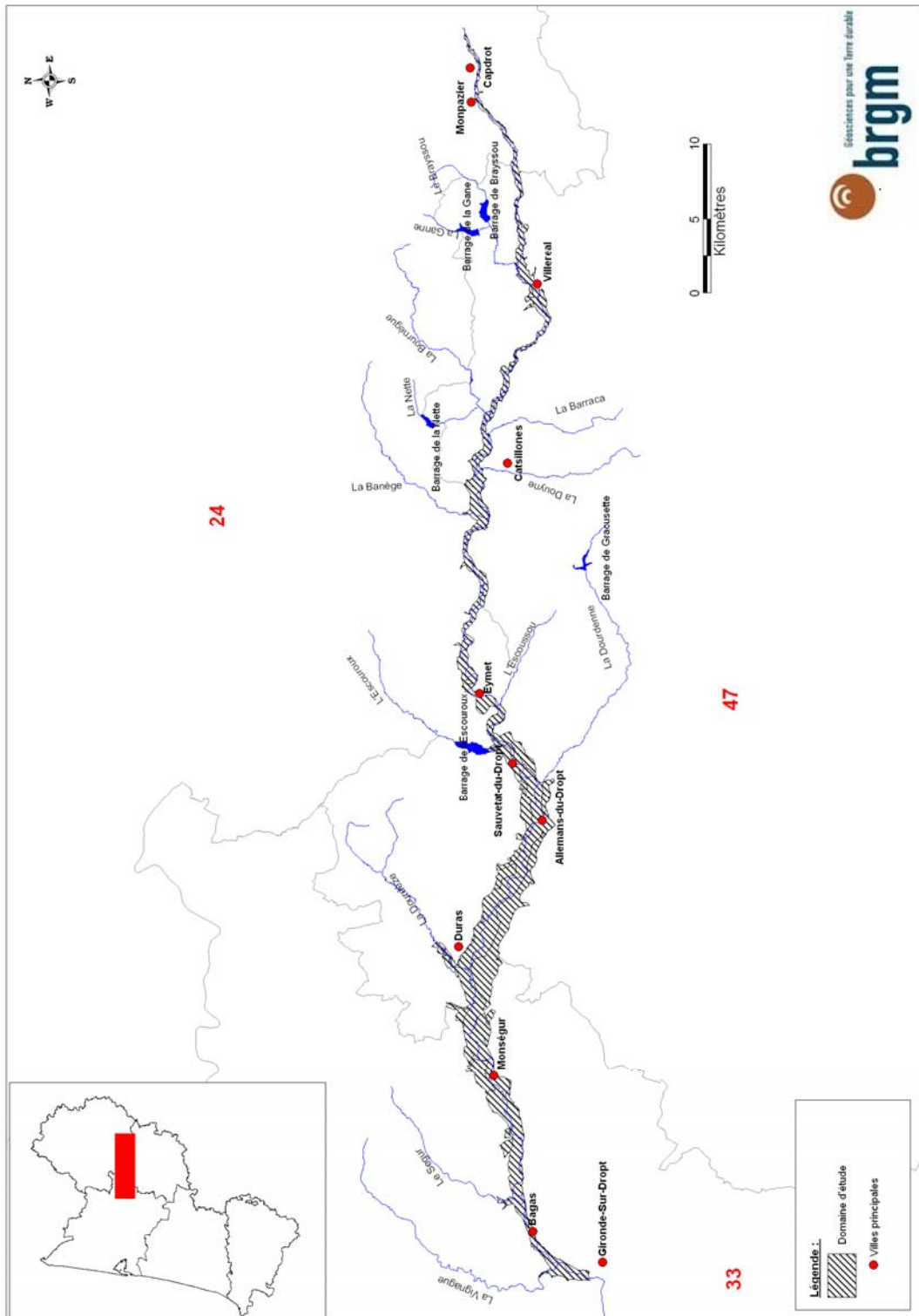


Illustration 41 : Localisation de la zone d'étude

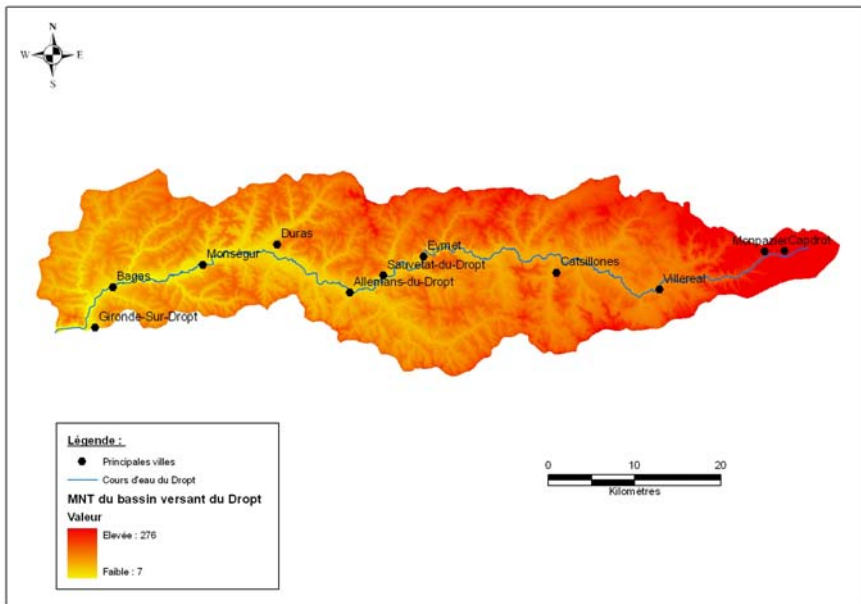


Illustration 42 : Altitudes d'après le MNT sur le bassin versant du Dropt

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Médiane
Altitude (m)	7	276	97	41	92
Pente (%)	0	47	5,8	4,1	

Illustration 43 : Résultats de l'étude statistique sur le MNT

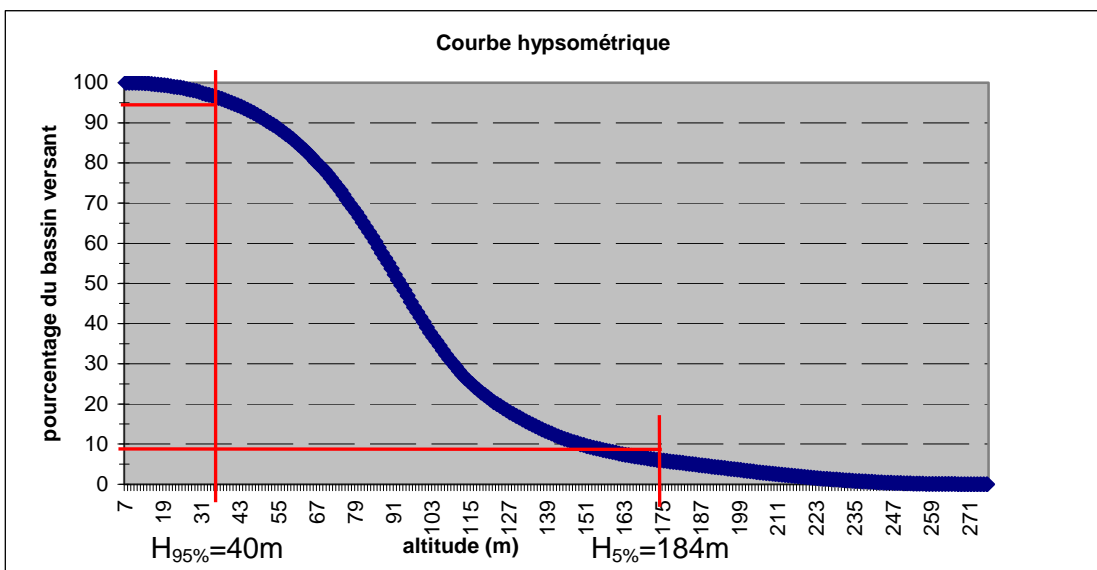


Illustration 44 : Courbe présentant la surface du bassin versant où les altitudes sont supérieures à une cote donnée h

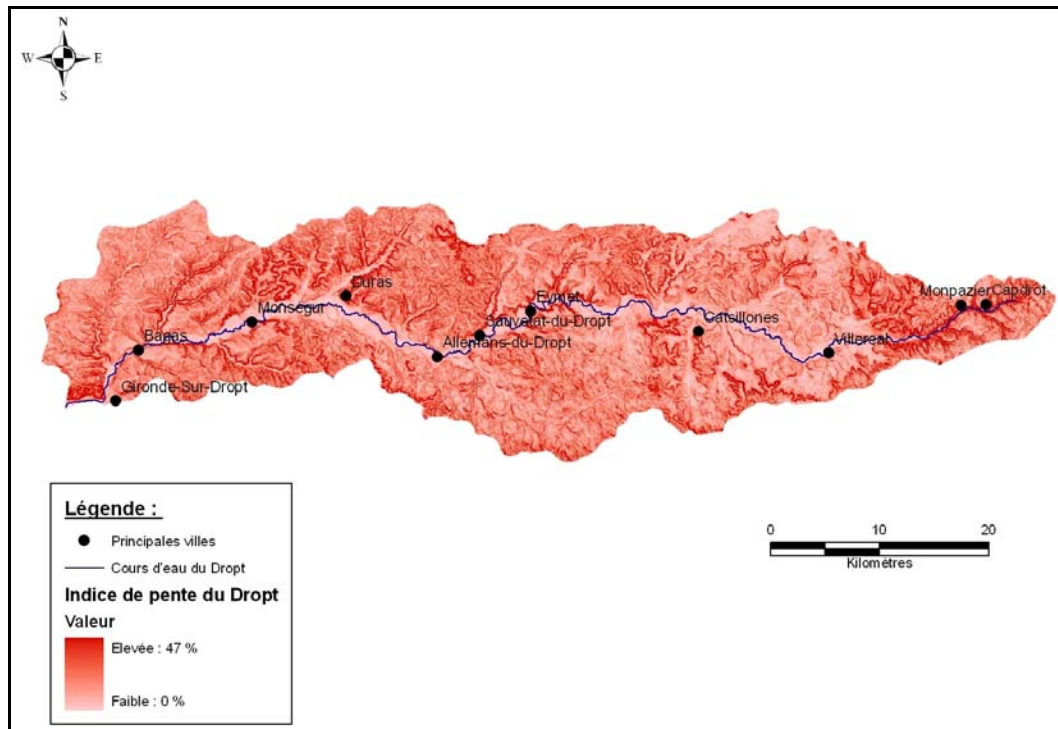


Illustration 45 : Carte des indices de pente

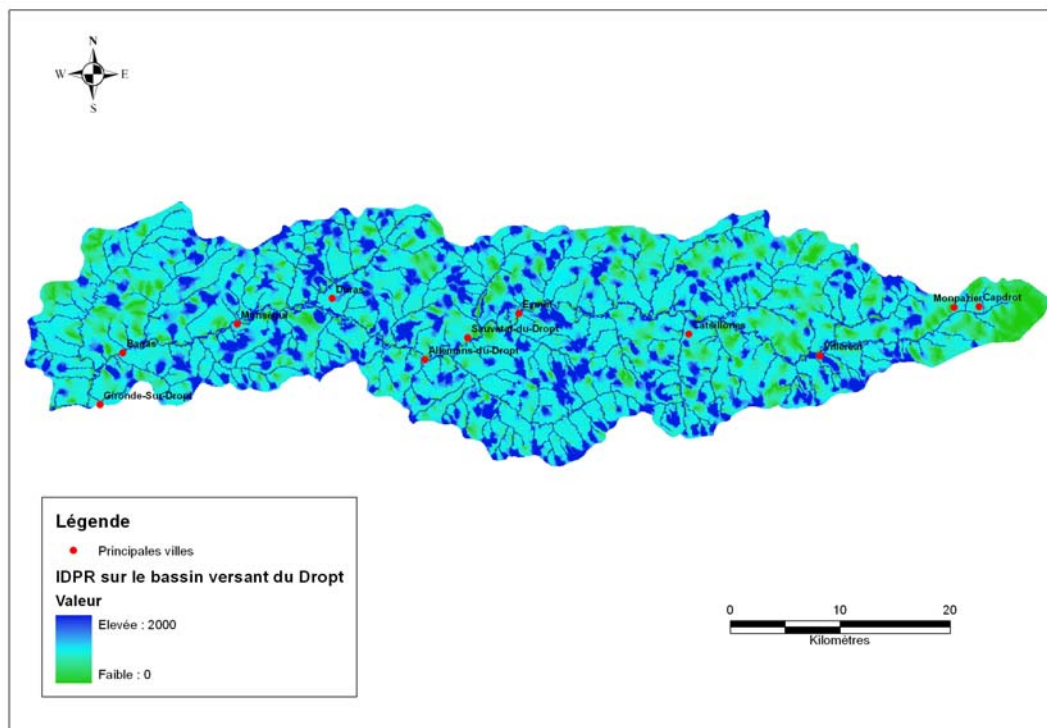


Illustration 46 : Répartition des valeurs de l'IDPR sur le bassin versant du Dropt

5.2.1. Description des formations tertiaires et secondaires présentes dans la vallée du Dropt

Les terrains du Crétacé Supérieur

Parmi ces terrains, on différencie les étages du Santonien moyen et supérieur et du Campanien. Ces formations affleurent uniquement dans la partie amont du Dropt, dans la région de Montpazier.

- La formation du Santonien moyen et supérieur est constituée à sa base par une alternance marno-calcaire riche en huîtres et lumachelles. Elle est surmontée par un dépôt de sable fin carbonaté. Cette formation se termine par un calcaire à silex violet qui devient marneux au sommet. Ces dépôts calcaires sont karstifiés et la karstification s'accroît en profondeur.

Cette formation est considérée comme aquifère. Son sommet marneux lui confère un caractère captif. Cet aquifère donne naissance aux sources de Labrame qui se caractérisent par un débit important (de l'ordre de 450 m³/h) et une bonne qualité physico-chimique de l'eau. Ces dernières représentent une ressource en eau potable non négligeable ainsi qu'un point de réalimentation du Dropt.

- La formation du Campanien est constituée à sa base par des calcaires gréseux bioclastiques en plaquettes à lits de silex blonds riches en alvéolinidés. La série se poursuit par des calcaires marneux bioclastiques et glauconieux. On observe ensuite un dépôt de quelques mètres de sables verts glauconieux qui s'enrichit en carbonates pour donner une biosparite micrograveleuse contenant du quartz et de la muscovite. Le toit de la formation est constitué d'une masse crayeuse peu perméable dans laquelle apparaissent à intervalles réguliers des bancs silicifiés.

Cette formation se caractérise par la présence de quelques résurgences de faibles débits (~ 10 l/s) qui semblent traduire le faible développement de la karstification.

Les terrains de L'Eocène moyen

Parmi ces terrains, on différencie les formations du Lutétien qui affleurent surtout à l'est et au sud de Capdroit et les Molasses du Ludien bien représentées entre Villeréal et Sauvetat-du-Dropt.

- La formation du Lutétien est constituée à sa base par des sables grossiers versicolores mêlés aux formations d'altération du toit du Crétacé. Des lentilles d'argile ainsi que des niveaux de silicification s'intercalent dans cet ensemble.
- Les molasses du Ludien correspondent à un faciès fluviolacustre évoluant entre deux pôles, argileux et détritique, à constante carbonatée et intégrant des phénomènes liés à la pédogénèse. Le pôle détritique est constitué de grès carbonatés très tendres à éléments de quartz fins à moyens. On note aussi la présence de muscovite et de feldspaths.

Les terrains principalement molassiques du Tertiaire constituent un aquifère multicouche semi-perméable. Ce dernier joue le rôle d'un magasin tampon écrêtant les crues et soutenant les débits d'étiages. Il donne naissance à une série de sources mais son exploitation ne présente pas d'intérêt économique (faibles débits).

Les terrains de l'Eocène supérieur

- Les Argiles à Paleotherium affleurent depuis Montpazier jusqu'à l'ouest d'Eymet. Ce niveau est constitué par des argiles carbonatées qui peuvent présenter des variations de couleurs et de compositions. Ces dépôts ayant subi une forte évolution diagénétique, on retrouve fréquemment des argiles fibreuses. Cette formation est riche en fossiles, notamment de Paleotherium (mammifère préhistorique apparenté au cheval).
- Les Molasses du Fronsadais constituent la majeure partie des terrains de l'Eocène supérieur et affleurent sur tout le bassin versant. Elles forment le substratum de la nappe alluviale entre Sauvetat-du-Dropt et la confluence avec la Garonne. Elle s'étend sur plusieurs étages géologiques. La base de la formation et la partie moyenne appartiendraient à l'Eocène supérieur tandis que le sommet appartiendrait à l'Oligocène Inférieur. Un niveau calcaire s'intercale entre la partie moyenne et inférieure de la formation molassique :
 - La partie inférieure de la Molasse du Fronsadais est composée de grès tendres carbonatés contenant des micas blancs et des feldspaths. Son dépôt s'ordonne généralement suivant une séquence positive débutant par des granulométries grossières et évoluant vers des silts, voire des argiles carbonatées. La sédimentation détritique semble être organisée en chenaux tandis que les dépôts de silts et d'argiles correspondraient à une sédimentation de débordement.
 - Le Calcaire d'Issigeac affleure principalement à Issigeac. Il s'agit d'un calcaire lacustre blanc micritique et microbréchifié quelquefois surmonté par un niveau marneux. L'ensemble peut être localement très dur quand le calcaire est silicifié en meulière.
 - La partie moyenne de la Molasse du Fronsadais est principalement constituée par des argiles silteuses. Des horizons métriques de marnes ou de calcaires argileux roses peuvent s'interstratifier dans la masse argileuse mais les carbonates sont le plus souvent disséminés sous forme de nodules peu indurés. A la base, on remarque parfois des dépôts de sables grossiers à moyens. Le sommet du membre est, quant à lui, toujours argileux.

Les terrains de l'Oligocène

Au niveau du secteur d'étude, les côteaux sont constitués par les Molasses du Fronsadais, les calcaires et argiles de Castillon et les Molasses de L'Agénais.

- La partie supérieure de la Molasse du Fronsadais de l'Oligocène inférieur est essentiellement constituée de faciès argileux, parfois finement sableux, alternant avec des faciès marmorisés riches en nodules calcaires. La base est parfois constituée de grès tendres moyens à fins, carbonatés et contenant des quartz et de la muscovite. La partie supérieure de la Molasse du Fronsadais présente des encroûtements carbonatés à son sommet que l'on rattache plus ou moins arbitrairement aux Calcaires de Castillon. A Bagas, la base gréseuse n'est pas représentée.

Le Calcaire à Astéries, témoin de la transgression stampienne, s'intercale dans la partie occidentale du bassin versant entre les calcaires de Castillon et les Molasses de l'Agenais. En allant vers l'est, on remarque une disparition progressive de l'influence marine dans les dépôts au profit d'une sédimentation continentale. A l'est de la région de Duras, les formations datées du Stampien supérieur ressemblent plus aux Molasses de l'Agenais (bancs de grès en lentilles dans des molasses) et sont donc définies comme telles.

Localement, il est possible de trouver un niveau de calcaire lacustre différenciable au sein des Molasses de l'Agenais. Ce niveau calcaire correspond aux Calcaires de Monbazillac et sépare la partie inférieure de la partie supérieure des Molasses de l'Agenais.

5.2.2. Description des formations quaternaires présentes dans la vallée du Dropt

Formation des terrasses alluviales

C'est au Quaternaire que le Dropt a creusé sa vallée alluviale et déposé des sédiments essentiellement sableux, graveleux et argileux. Les terrasses alluviales, situées à différentes altitudes, témoignent des variations d'altitudes du niveau de base du cours d'eau en lien avec les fluctuations climatiques.

Les phases glaciaires successives ont été le moteur de ce phénomène conditionnant la géométrie du substratum présent le long du cours d'eau ainsi que le dépôt des alluvions.

La période anaglaciale, caractérisée par l'expansion des glaciers, s'est accompagnée d'une augmentation des précipitations ainsi que d'une baisse des températures et du niveau marin. Dans la vallée du Dropt que l'on peut considérer en position avale et non glaciaire, la période anaglaciale va correspondre à une phase d'érosion avec creusement du lit de la rivière dans le substratum.

La période cataglaciale, caractérisée par la fusion des glaciers, s'est accompagnée d'une diminution des précipitations ainsi que d'une hausse des températures et du niveau marin. Dans la vallée du Dropt, elle correspond à une phase de dépôt des alluvions (phase de comblement) dans le sillon morphologique précédemment creusé.

La succession des évènements climatiques observés au Quaternaire va être à l'origine d'une morphologie caractéristique en terrasses avec les plus anciennes situées en périphérie et en altitude et les plus récentes, au centre de la vallée.

Au final, les alluvions peuvent être agencées de trois manières :

- en terrasses emboîtées, ceci étant surtout vrai pour les basses terrasses où les dépôts récents de l'Holocène reposent sur les dépôts wurmiens,
- en terrasses étagées, avec une connexion hydraulique entre elles,
- en terrasses étagées, séparées par des affleurements du substratum.

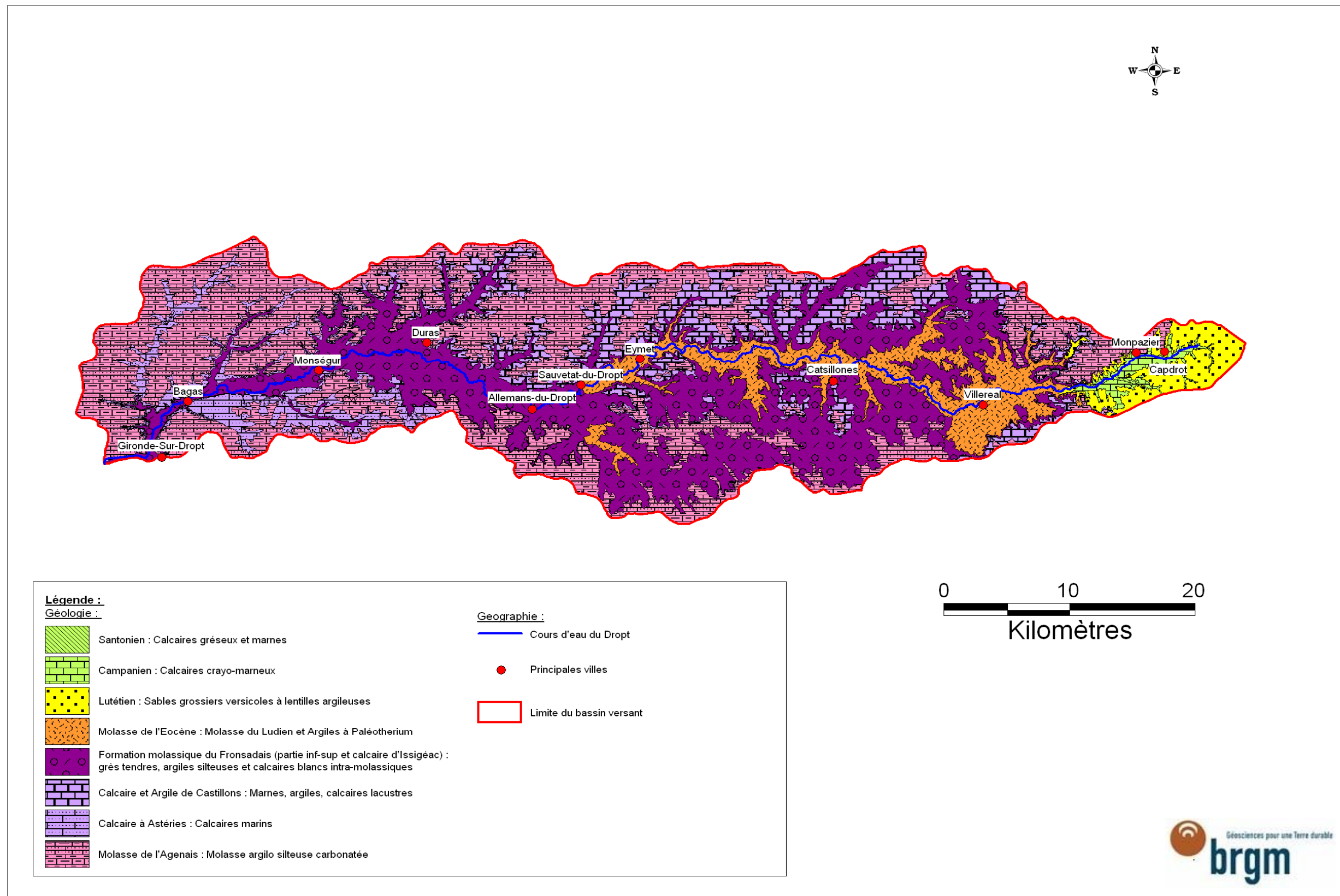


Illustration 47 : Carte géologique simplifiée du bassin versant du Dropt

Description des différentes terrasses alluviales

Sur le secteur d'étude, la présence de colluvions argileuses a rendu la cartographie des terrasses difficile. Sur les cartes d'Eymet, de Cancon et de Marmande par exemples, les terrasses alluviales n'ont pas toutes été reportées ou n'ont pas été différenciées. L'étude stéréoscopique des photos aériennes disponibles sur la zone d'étude (campagnes noir et blanc de 1958 et 1984) a permis de préciser la cartographie et d'établir le tableau de correspondance représenté sur l'illustration 48.

	Cartes géologiques de Langon et Podensac (852 et 828)	Cartes géologique de Marmande (853)	Carte géologique de Duras (807)	Carte géologique d'Eymet (830)	Cartes géologiques de Cancon et Fumel (855 et 854)	Carte géologique de Belves (831)
Pléistocène moyen (Riss) <i>370 000 à 130 000 ans BP</i>			Fw1 : Moyenne Terrasse		Fw2 : Moyenne Terrasse	Fw : Moyenne Terrasse
			Fw2 : Moyenne Terrasse			
Pléistocène supérieur (Würm) <i>125 000 à 11 430 ans BP</i>		Fx : Moyenne Terrasse	Fx : Basse Terrasse	Fy-z : Basse Terrasse (sur Würm)		
Holocène à actuel <i>11430 ans à 0</i>	Fy-b : Basse Terrasse	Fy-b : Basse Terrasse	Fy-z : Basse Terrasse	Fz : Basse Terrasse	Fz : Basse Terrasse (sur Würm pour Fumel)	Fz : Basse Terrasse

Illustration 48 : Correspondance altimétrique des dépôts alluviaux par carte géologique sur la zone d'étude

Une série de quinze coupes géologiques transversales à l'axe de la vallée du Dropt a aussi été réalisée de façon à préciser l'agencement des formations (cf. Annexe 2). Ce travail s'est appuyé sur les coupes des ouvrages recensés en BSS (Banque de données du Sous-Sol) et sur les contours des formations définis sur les cartes géologiques à 1/50 000.

Au final, on distingue 2 niveaux de terrasse (cf. illustration 49) :

Les basses terrasses et les alluvions holocènes à actuelles s'étalent dans la partie basse de la plaine alluviale. Elles correspondent aux formations fluviatiles les plus récentes, à savoir :

- les alluvions notées F_x (au niveau d'Eymet) et attribuées au Pléistocène supérieur (Würm). Ces dépôts alluviaux sont constitués de sables grossiers et de graviers dans lesquels il est possible de retrouver des niveaux de petits galets calcaires et de silex. Ils sont généralement peu épais (6 mètres au niveau du forage 5-2 sur la feuille d'Eymet) et s'étalent en un unique palier le long du Dropt.

- les alluvions fluviales sub-actuelles et actuelles, datées de l'Holocène à l'actuel et notées F_z , F_{y-b} et F_{y-z} . Ces dépôts de faible épaisseur sont constitués d'argiles et de limons localement tourbeux et sableux. Ils peuvent atteindre localement 7 m d'épaisseur (forage 7-2 sur la feuille de Duras). Ces formations alluviales sont issues des remaniements récents des colluvions provenant des formations tertiaires et quaternaires argilo-sableuses. Elles sont représentées de la confluence à la source du Dropt.

Ce niveau alluvionnaire est représenté sur l'ensemble de la zone d'étude. Il correspond au lit majeur du Dropt. Sa largeur varie entre 1 à 2 km à l'ouest d'Eymet et quelques centaines de mètres dans la partie orientale. Elle peut néanmoins être localement très faible (environs de Capdrot et secteur situé à l'aval de Villereal).

Les moyennes terrasses datées du Pléistocène moyen (Riss) sont notées F_w et sont composées de sables argileux à niveaux de galets et de graviers calcaires.

Deux paliers successifs F_{w1} et F_{w2} constitués d'alluvions aux faciès relativement semblables peuvent être différenciés sur le Dropt. La terrasse F_{w1} de faible épaisseur (de quatre à six mètres sur la feuille de Duras) n'a pas une répartition continue. La terrasse F_{w2} plus épaisse (épaisseur maximale de dix mètres sur la feuille de Duras) n'est pas représentée sur la feuille d'Eymet. Elle est par contre présente en amont du Dropt à l'est de Villereal où son épaisseur est de l'ordre de 4 mètres.

De façon plus générale, les moyennes terrasses sont bien représentées entre Eymet et Monségur, soit sur le cours aval du Dropt. Leur extension latérale atteint deux à trois kilomètres pour une épaisseur généralement inférieure à dix mètres.

Par endroits, elles sont légèrement étagées par rapport aux basses terrasses. Lorsque la partie supérieure de la basse terrasse s'élève plus haut que le talus inférieur de la moyenne terrasse, des connexions hydrauliques peuvent exister entre elles.

Par endroits, au contraire, le substratum argileux ou molassique est porté à l'affleurement et empêche toute connexion entre les différents étages de terrasses.

A l'est d'Eymet, les moyennes terrasses sont totalement absentes. Elles réapparaissent brièvement à l'ouest de Villereal puis ne sont plus représentées jusqu'à la source.

5.3. PRESENTATION DU CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

5.3.1. Définition des limites de l'aquifère alluvial

La cartographie des différentes terrasses présentée sur l'illustration 49 a servi de base au travail de délimitation de l'aquifère alluvial.

L'extension latérale et l'épaisseur des basses terrasses situées à l'amont de Villereal étant très limitées et l'absence de données de référence sur ce secteur (aucun ouvrage recensé en BSS) font que ces dernières ont été exclues du domaine alluvial qui sera étudié par la suite (cf. illustration 50).

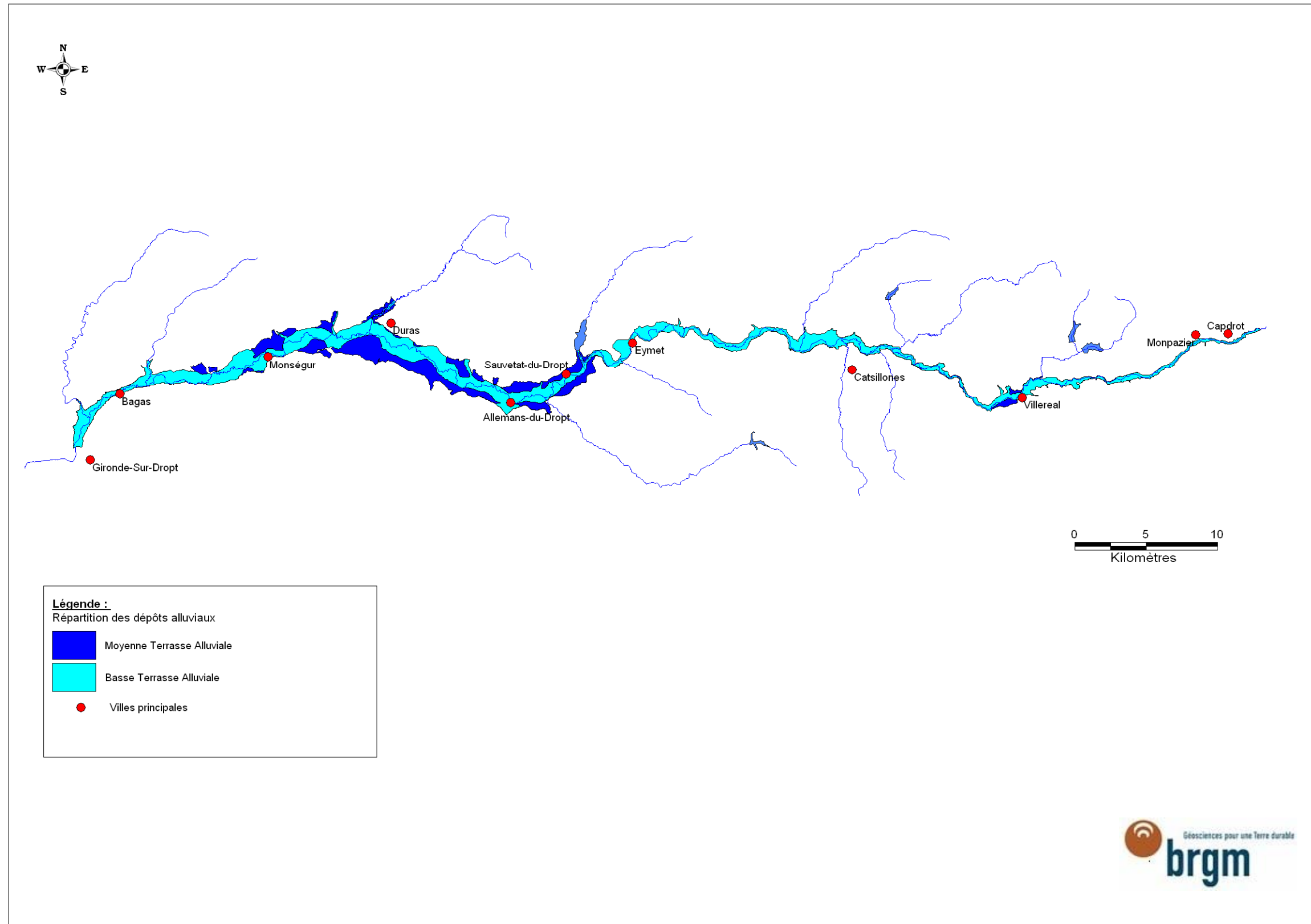


Illustration 49 : Répartition des terrasses alluviales le long de la vallée du Dropt

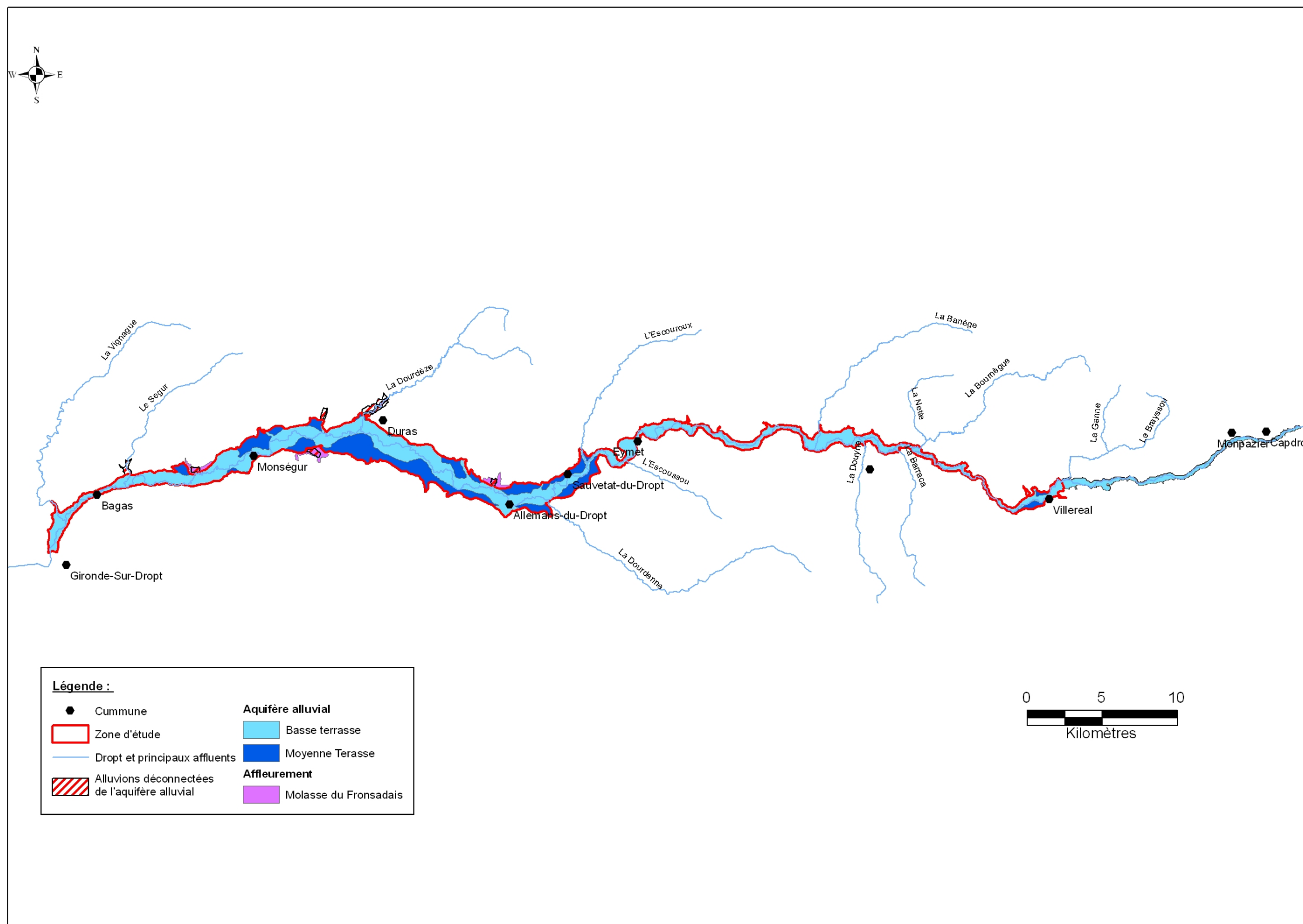


Illustration 50 : Extension de l'aquifère alluvial du Dropt

Il en va de même pour certaines terrasses rissiennes qui présentaient un étagement par rapport à la basse plaine et qui étaient séparées de celle-ci par des affleurements de substratum.

Les moyennes terrasses datées du Riss ont par contre été intégrées au système alluvial lorsqu'on a estimé qu'une connexion pouvait exister avec les alluvions würmiennes (cas où la partie supérieure de la terrasse inférieure se trouve plus haut que la base de remblaiement de la terrasse supérieure et/ou présence de colluvions permettant à l'eau contenue dans les niveaux supérieurs de s'écouler vers le réservoir inférieur).

De Monpazier à la confluence avec la Garonne, le substratum de la nappe alluviale est principalement molassique. Les limites entre les terrasses alluviales et le substratum sont donc imperméables. Cependant, les calcaires intra-molassiques (Calcaire de Castillon, Calcaire d'Issigeac) et les calcaires à Astéries des sommets des côteaux donnent parfois naissance à des lignes de sources pouvant alimenter les nappes alluviales. Les formations sableuses de l'Eocène moyen, localisées dans le secteur de Villereal, représentent aussi un réservoir susceptible de communiquer avec la nappe alluviale.

Il convient enfin de préciser que les alluvions des affluents du Dropt n'ont pas été pris en compte dans la délimitation proposée sur l'illustration 50.

5.3.2. Géométrie de l'aquifère alluvial

La géométrie de l'aquifère alluvial du Dropt a été définie à partir des données disponibles en BSS, soit 15 coupes géologiques relatives à des puits alluviaux ou des forages profonds et 52 dossiers relatifs à des ouvrages agricoles pour lesquels la profondeur du substratum a été déduite de celle de l'ouvrage.

En l'absence d'une densité suffisante de points en amont de Duras (cf. illustration 51), il a été décidé de n'interpoler les données que dans la partie aval de la zone d'étude (57 points concernés).

Les interpolations ont été réalisées au moyen du logiciel Surfer (méthode de l'inverse des distances au carré). Les informations relatives aux ouvrages précédemment mentionnés ont été obligatoirement respectées. A noter que les cotes du toit des dépôts quaternaires ont aussi été utilisées pour contraindre le système.

Pour la partie située à l'amont de Duras, une simple zonation des épaisseurs a été réalisée au moyen du logiciel MapInfo en utilisant les informations relatives aux ouvrages recensés ainsi que les références bibliographiques citées précédemment.

Mur des formations alluviales

L'illustration 52 représente la cartographie en isohypses de la cote du substratum des formations alluviales entre Gironde-sur-Dropt (33) et Duras (47), sans faire de distinction en ce qui concerne la nature géologique des terrains.

Le mur des formations alluviales présente une pente globalement orientée Est / Ouest et s'approfondit des côteaux vers le centre de la vallée. Dans la région de Duras, il passe de la cote +50 m NGF en limite de nappe alluviale à +25 m NGF aux abords du cours d'eau. A l'aval de la zone d'étude, la différence altimétrique est d'environ 15 m NGF.

Epaisseur des formations alluviales

L'illustration 53 représente, pour la partie située entre Gironde-sur-Dropt (33) et Duras (47), les différences entre les cotes du MNT à la maille de 50 m et le modèle géologique du substratum interpolé au même pas (cf. illustration 52).

Le schéma classique « érosion dépôt » conduit logiquement à une diminution de la puissance des formations alluviales en limite d'extension. Le manque d'ouvrages et d'informations aux abords de cette limite a nécessité l'introduction d'une limite d'épaisseur nulle autour de la nappe alluviale afin de contraindre le modèle.

Pour la zone amont (cf. illustration 54), une zonation en 5 classes de valeurs a été générée à partir de l'interprétation des informations relatives aux ouvrages présents dans ce secteur et des notices des cartes géologiques à 1/50 000 concernant la zone d'étude. Elle reste très approximative.

Il apparaît que l'épaisseur des basses terrasses est généralement comprise entre 1 et 4 mètres. Celle des moyennes terrasses apparaît généralement plus importante ; de larges plages de valeurs supérieures ou égales à 4 mètres peuvent en effet être observées au sud de Duras et dans les environs de Monségur.

5.3.3. Caractéristiques hydrodynamiques

La composition lithologique des alluvions du Dropt (sables, graviers, galets...) devrait être à l'origine de perméabilités élevées. En fait, l'environnement géologique, principalement molassique, leur confère une nature argileuse.

Aucun renseignement relatif aux paramètres hydrodynamiques de la nappe n'a pu être collecté. Les propriétaires de puits indiquent cependant qu'une heure de pompage suffit généralement à les assécher et qu'ils mettent environ une demi-journée à retrouver leurs niveaux initiaux.

Les besoins agricoles sont, quant à eux, généralement satisfaits par des prélèvements effectués dans des ouvrages profonds ou directement dans la rivière, ce qui tend à montrer que dans son ensemble, la productivité de la nappe alluviale est faible.

5.3.4. Recharge

Pour une configuration hydrogéologique donnée, l'évolution des niveaux d'eau de la nappe est fonction de l'importance relative des flux entrants et sortants. La recharge du réservoir alluvial est principalement assurée par l'infiltration des pluies sur les zones d'alimentation. Elle est fonction de la quantité d'eau tombée et de sa répartition dans le temps et dans l'espace.

L'utilisation des polygones de Thiessen a permis de retenir les trois stations météo les plus représentatives du domaine d'étude (cf. illustration 55). Il s'agit des stations :

- d'Issigeac pour la zone amont,
- d'Eymet pour la zone centre,
- de Saint-Sulpice-de-Pommiers pour la zone aval.

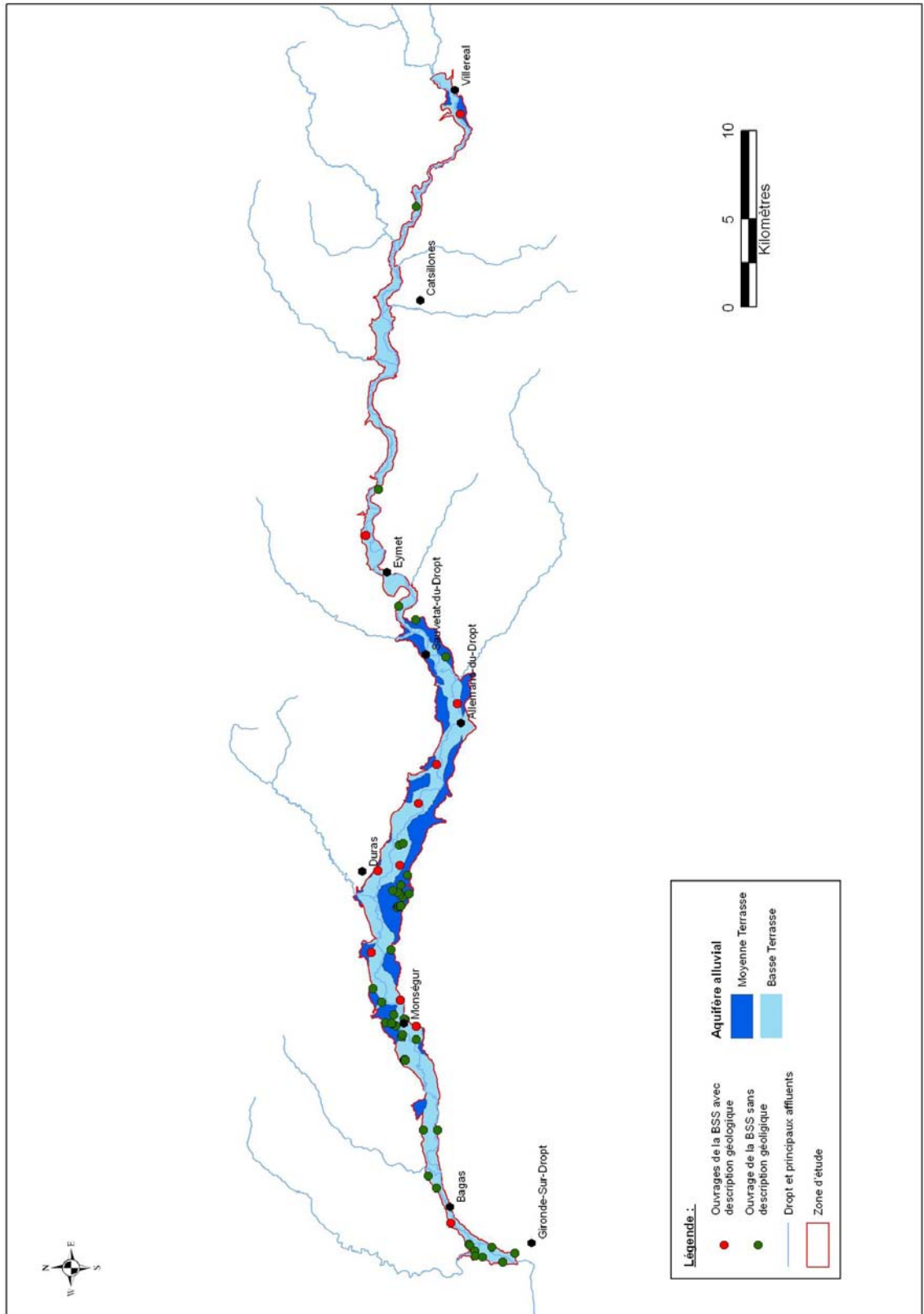


Illustration 51 : Cartographie des forages inventoriés en BSS

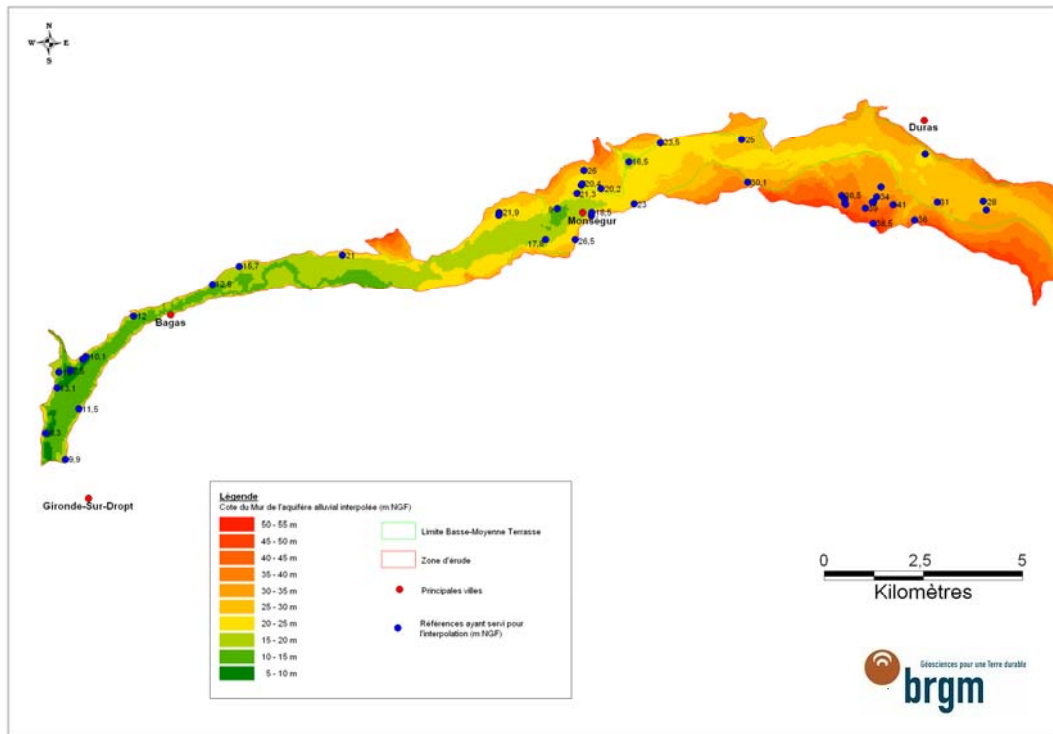


Illustration 52 : Cartographie de la cote du substratum des formations alluviales de Gironde-sur-Dropt à Duras

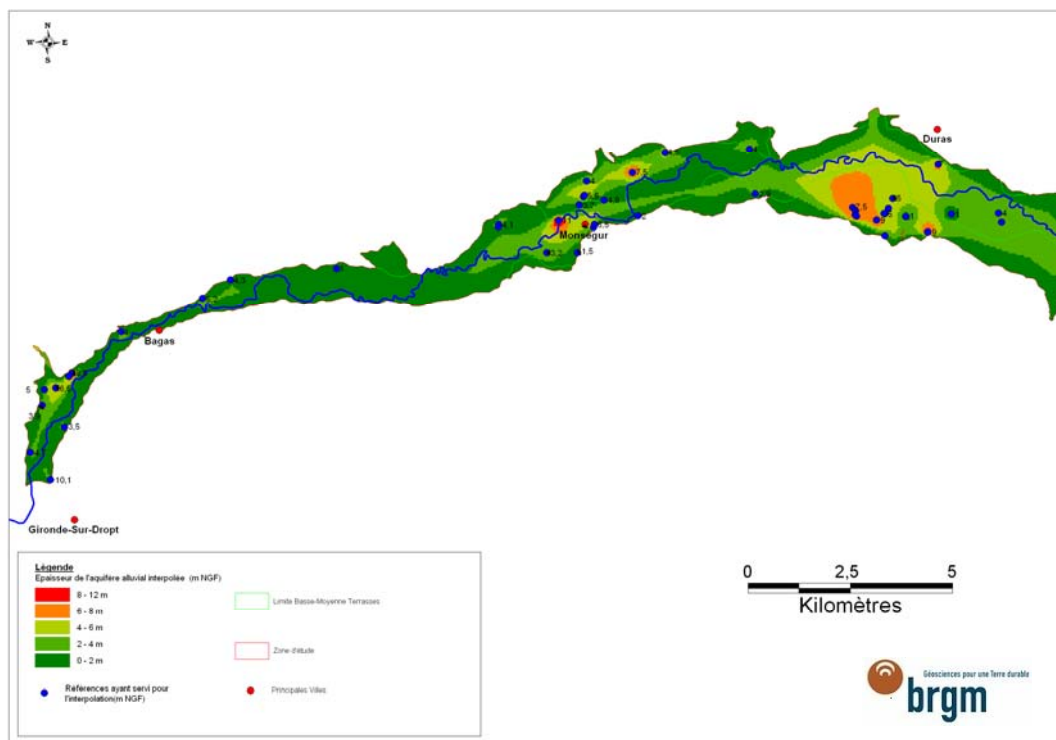


Illustration 53 : Cartographie de l'épaisseur des formations alluviales de Gironde-sur-Dropt à Duras

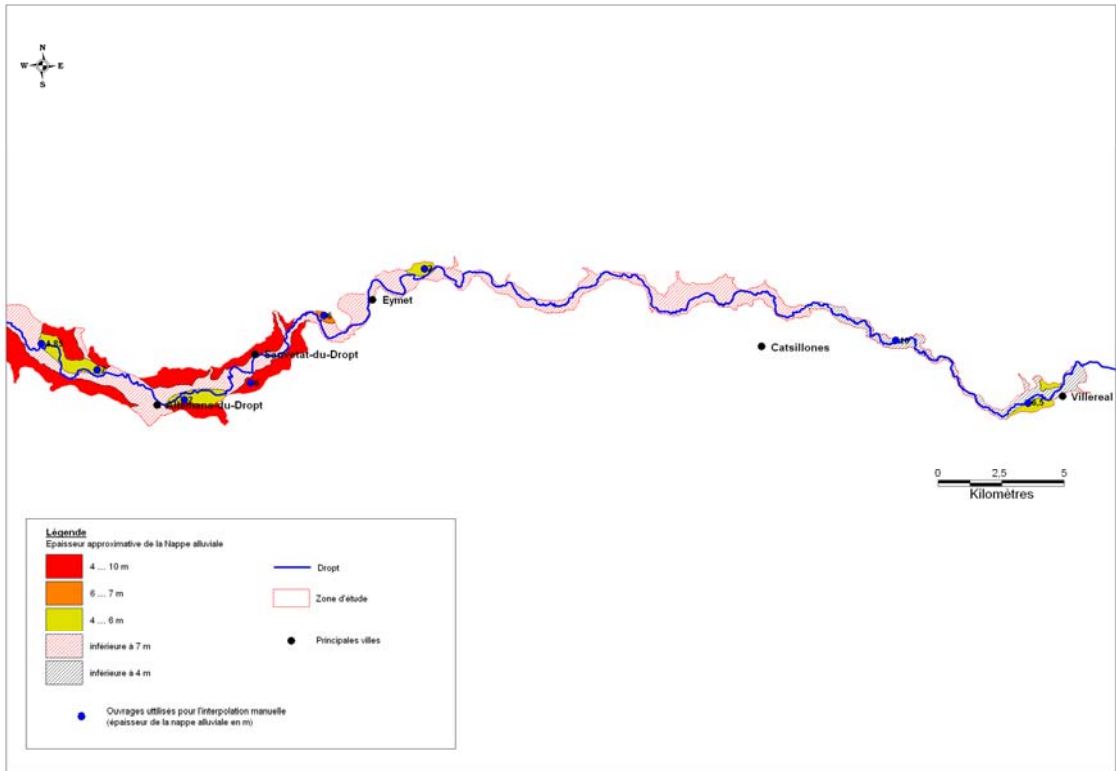


Illustration 54 : Cartographie de l'épaisseur des formations alluviales de Duras à Villereal

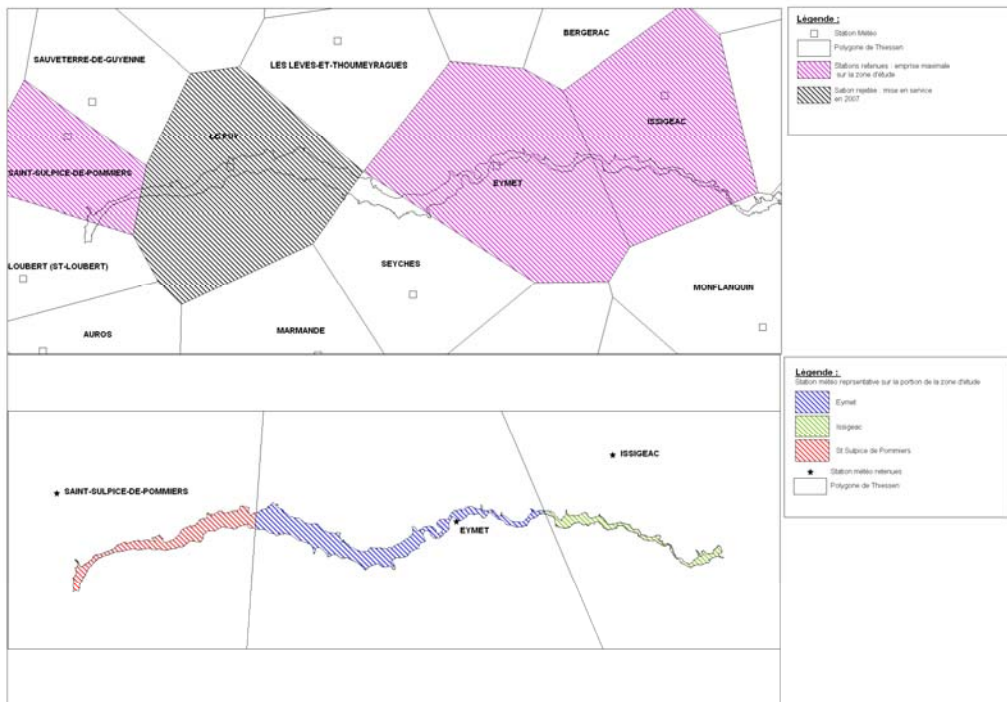


Illustration 55 : Emprise des polygones de Thiessen sur la zone d'étude

Les chroniques disponibles, soit onze ans de mesures (janvier 1998 à janvier 2009) pour la station d'Issigeac, dix ans de mesures (janvier 1998 à janvier 2008) pour la station d'Eymet et sept ans de mesures (janvier 2002 à janvier 2009) pour celle de Saint-Sulpice ont été téléchargées à partir du site Météo France « Climathèque ».

Les données d'évapotranspiration potentielle (ETP) relatives à la station de Bergerac et enregistrées sur la période 1998 à 2008 ont aussi été récupérées dans l'objectif de réaliser un bilan hydrologique sur la zone d'étude.

Ce travail a nécessité l'estimation préalable de la réserve utile des sols qui correspond à la lame d'eau maximale disponible pour l'évapotranspiration végétale.

Estimation de la réserve utile moyenne sur le bassin versant du Dropt

En l'absence de mesure expérimentale sur le bassin versant du Dropt, la valeur de la réserve utile du sol a été estimée à partir de la quantité de pluie induisant une augmentation du débit du cours d'eau.

L'année 2003 a été choisie car elle s'est caractérisée par un été particulièrement chaud, entrecoupé d'épisodes pluvieux d'intensités variables. Compte tenu des températures et de l'ETP, il a été fait l'hypothèse que la réserve utile se vidait entre deux épisodes pluvieux.

L'illustration 56 qui représente les débits journaliers du Dropt et la pluviométrie montre que le cours d'eau a réagi de manière significative après les précipitations du 24 juin (18,6 mm). Dans la mesure où ces précipitations correspondent à un épisode bref (2h), il est possible que l'augmentation du débit observée soit plus liée au ruissellement qu'à la saturation de la réserve utile. C'est pourquoi cet épisode n'a pas été pris en compte pour l'estimation de la réserve utile.

L'illustration 56 montre aussi que le débit du cours d'eau a réagi de manière significative après les épisodes pluvieux du 1 au 4 juin (39,5 mm), du 15 juillet (37,7 mm) et du 16 au 19 août (36,6 mm). On note toutefois que le premier épisode (39,5 mm) a entraîné une augmentation importante du débit, le second (37,7 mm), une augmentation plus faible et le troisième (36,6 mm), une augmentation minimale, bien que significative.

Dans ces conditions, il est possible de considérer que la réserve utile correspond globalement à la pluviométrie du dernier épisode pris en compte (36,6 mm). La valeur de **35 mm** a donc été retenue. Elle est en accord avec la géologie du bassin versant qui laisse supposer la présence de sols peu épais.

Réalisation du bilan hydrologique sur le bassin versant

La valeur de la réserve utile ayant été estimée, un bilan hydrologique a pu être réalisé en tenant compte des principes suivants :

- si l'évapotranspiration potentielle (ETP) est inférieure aux précipitations, alors celles-ci servent à combler le déficit en eau de la RU. La partie excédentaire contribue ensuite aux écoulements (ruissellement et recharge de la nappe),
- si l'ETP est supérieure aux précipitations, la différence ETP-P est prélevée dans la réserve utile du sol jusqu'à son épuisement.

Les résultats sont présentés dans l'Annexe 3 et sur l'illustration 57 qui montre une assez grande variabilité des précipitations efficaces dans le temps. Sur le poste d'Issigeac par exemple, elles ont varié du simple au triple entre 2000 et 2005. La variabilité dans l'espace est moindre même si on observe des cumuls moins importants sur le poste de Saint-Sulpice (moyenne = 175 mm) que sur les 2 autres (moyenne = 200 mm).

Les illustrations 58, 59 et 60 représentent les évolutions moyennes mensuelles des précipitations efficaces sur les 3 postes. Elles permettent d'apprécier les périodes de recharge de la nappe. Il apparaît que pour les trois stations, les épisodes d'apports d'eau à la nappe s'étendent globalement d'octobre à avril.

5.3.5. Modélisation des écoulements

Généralités

La superficie totale du bassin versant du Dropt est de 1345 km². Il s'écoule selon un axe est-ouest avec une majorité d'affluents situés en rive droite.

Il n'existe actuellement qu'une station de jaugeage en service sur ce cours d'eau. Elle est située près de la confluence avec la Garonne au niveau de Loubens-en-Gironde. Les données de débit disponibles s'étendent de 2001 à 2009. Le plan de gestion des étiages mis en place en 2002 prévoit la mise en place de trois autres stations de jaugeage.

L'examen des débits moyens mensuels issus de la Banque Hydro et des pluies efficaces (cf. illustration 61) montre que le Dropt se caractérise par un régime hydrologique de type pluvial, marqué par de hautes eaux durant l'hiver et des étiages souvent sévères. Il connaît deux types de crues : les hivernales à montée lente et les printanières et estivales plus soudaines car liées à des précipitations orageuses.

Sur le point de contrôle de Loubens, le DOE (Débit Objectif Etiage) a été fixé à 0,32 m³/s et le DCR (Débit de Crise) à 0,19 m³/s. Les valeurs de débits les plus faibles observées sur trois jours consécutifs (VCN3), sur dix jours consécutifs (VCN 10) et les débits mensuels d'étiage (QMNA), pour des périodes de retour de deux et cinq ans, sont représentées dans le tableau ci-dessous. On notera que le DOE et le DCR sont largement supérieurs aux valeurs de VCN et QMNA présentés sur le tableau ci-dessous.

Fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
Biennale	0.032 [0.010;0.100]	0.048 [0.015;0.160]	0.160 [0.073;0.370]
Quinquennale sèche	0.004 [0.001;0.012]	0.006 [0.001;0.018]	0.035 [0.012;0.080]

En moyenne, le DCR est atteint une année sur deux à l'étiage. Le Dropt connaît donc des débits d'étiage naturel très faibles.

Durant les années 1990, 5 retenues ont été mises en place pour soutenir son débit durant les mois d'été. Le régime du Dropt bénéficie donc d'un important soutien artificiel (lâchés d'eau).

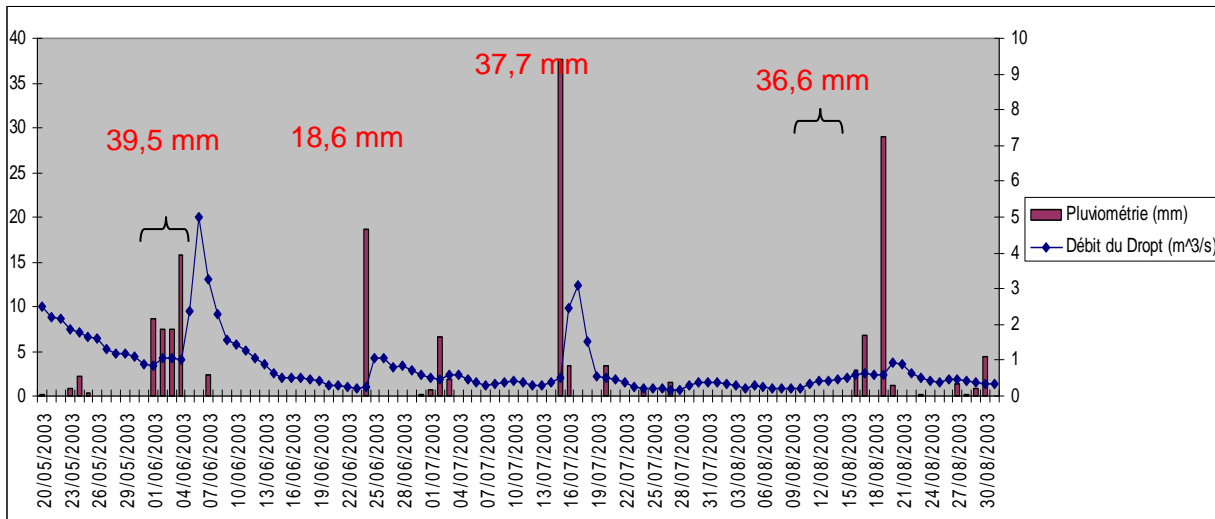


Illustration 56 : Comparaison du débit journalier et de la pluviométrie journalière du 20/05/03 au 20/10/03 (en rouge : quantité de pluie cumulée induisant une augmentation significative du débit du Dropt)

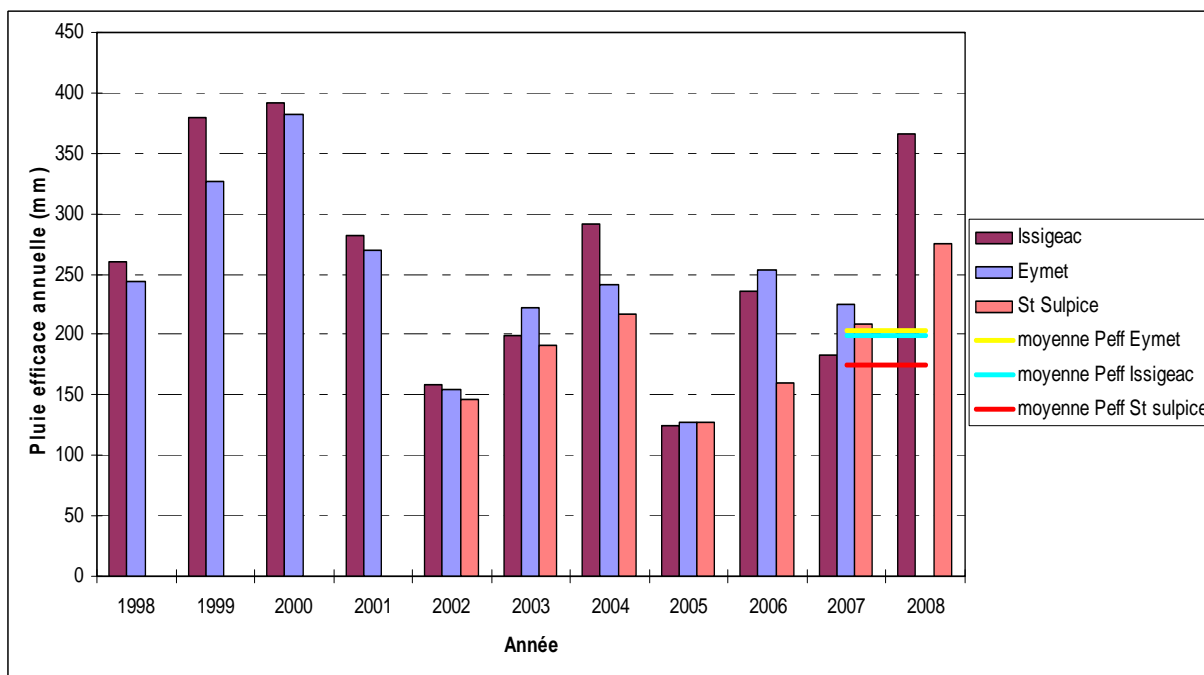


Illustration 57 : Evolution annuelle des précipitations efficaces aux stations d' Eymet, Issigeac et Saint-Sulpice-de-Pommiers

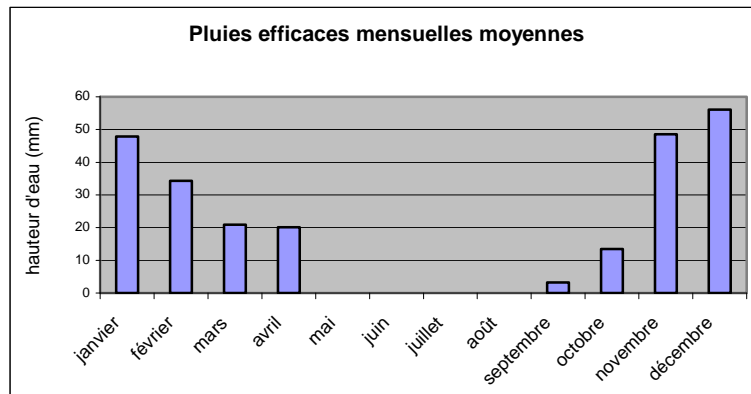


Illustration 58 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station d'Eymet (1998-2007)

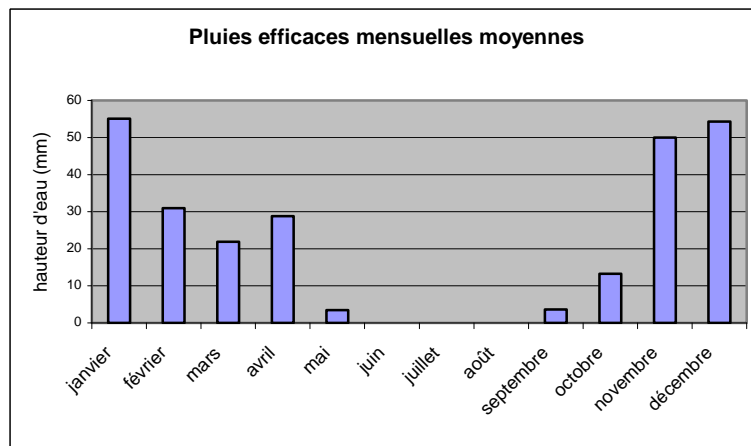


Illustration 59 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station d'Issigeac (1998-2008)

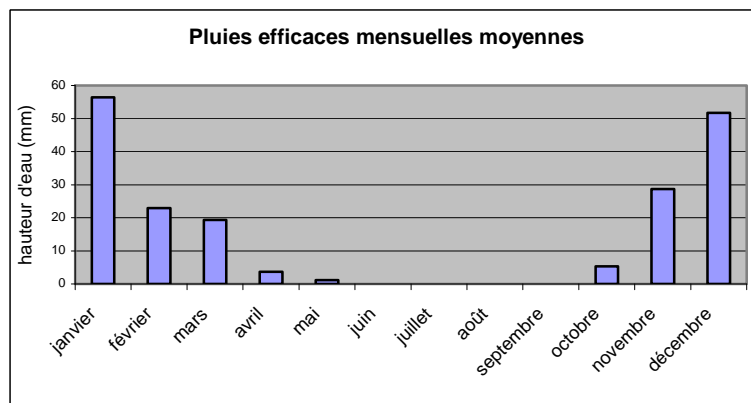


Illustration 60 : Précipitations efficaces moyennes mensuelles d'après les données Météo France de la station de Saint-Sulpice-de-Pommiers (2002-2008)

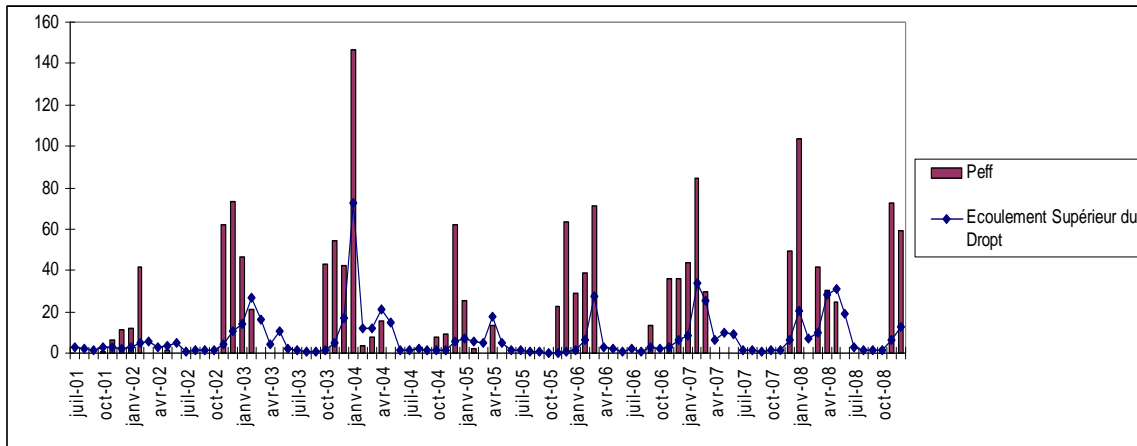


Illustration 61 : Comparaison des débits du Dropt (mm/mois) et de la pluie efficace sur le bassin versant (mm/mois)

Mise en oeuvre

Avant de procéder à la modélisation des écoulements, un travail préalable a consisté à déterminer la pluie efficace caractéristique de l'ensemble du bassin versant du Dropt. Pour ce faire, les données de chaque station ont été pondérées par leurs surfaces d'influence. Les résultats sont présentés dans les illustrations 62 et 63.

Les chroniques de débit journalier du Dropt n'étant pas continues (année 2006 incomplète), la période de modélisation choisie correspond à 4 années hydrologiques, de novembre 2001 à octobre 2005.

A noter qu'en novembre et décembre 2001, la station de Saint Sulpice n'a pas enregistré de données. Les variations spatiales de pluie efficace étant faibles (cf paragraphe 5.3.4), l'erreur commise en ne tenant pas compte de cette station est minime.

Méthodologie

La méthode retenue est celle de Thornthwaite qui part du principe que la part de l'excédent disponible pour l'écoulement de surface (Ec_{sup}) est égale à celle disponible pour la recharge profonde.

Le premier modèle mis en place (cf. Annexe 4) est donc le suivant :

$$Ec_{sup} = 0,5 * \text{Excédent} = 0,5 * Peff.$$

L'illustration 64 compare l'écoulement de surface théorique et l'écoulement de surface observé au niveau de la station de jaugeage de Loubens.

2001												
	janv-01	févr-01	mars-01	avr-01	mai-01	juin-01	juil-01	août-01	sept-01	oct-01	nov-01	déc-01
Peff Eymet	81,4	9,5	92,6	73,7	0	0	0	0	0	0	0,6	11,7
Peff Issigeac	84,3	3,9	91,1	74,3	0	0	0	0	0	1,2	17,3	10,3
Peff pondérée Eymet	54,22	6,33	61,68	49,09	0	0	0	0	0	0	0,40	7,79
Peff pondérée Issigeac	28,15	1,30	30,42	24,81	0	0	0	0	0	0,40	5,78	3,44
Peff sur le bassin versant	82,37	7,63	92,10	73,90	0	0	0	0	0	0,40	6,18	11,23

2002												
	janv-02	févr-02	mars-02	avr-02	mai-02	juin-02	juil-02	août-02	sept-02	oct-02	nov-02	déc-02
Peff Eymet	7,8	33,9	0	0	0	0	0	0	0	0	49,6	63,4
Peff Issigeac	9,3	41,1	0	0	4,1	0	0	0	0	0	44,8	59,8
Peff St Sulpice	11,7	27,9	0	0	0	0	0	0	0	0	52,4	54,1
Peff pondérée Eymet	3,24	14,08	0	0	0	0	0	0	0	0	20,60	26,33
Peff pondérée Issigeac	3,11	13,72	0	0	1,37	0	0	0	0	0	14,96	19,97
Peff pondérée St Sulpice	2,93	6,99	0	0	0,00	0	0	0	0	0	13,14	13,56
Peff sur le bassin versant	9,28	34,80	0	0	1,37	0	0	0	0	0	48,70	59,87

2003												
	janv-03	févr-03	mars-03	avr-03	mai-03	juin-03	juil-03	août-03	sept-03	oct-03	nov-03	déc-03
Peff Eymet	47	24,1	0	0	0	0	0	0	0	45,6	58,3	46,9
Peff Issigeac	38,8	18,7	0	0	0	0	0	0	0	61,9	43,7	35,6
Peff St Sulpice	54,7	18,5	0	0	0	0	0	0	0	14,6	61,2	42,5
Peff pondérée Eymet	19,52	10,01	0	0	0	0	0	0	0	18,94	24,22	19,48
Peff pondérée Issigeac	12,96	6,24	0	0	0	0	0	0	0	20,67	14,59	11,89
Peff pondérée St Sulpice	13,71	4,64	0	0	0	0	0	0	0	3,66	15,34	10,66
Peff sur le bassin versant	46,19	20,89	0	0	0	0	0	0	0	43,27	54,15	42,02

Illustration 62 : Pluies efficaces mensuelles 2001, 2002 et 2003

2004												
	janv-04	févr-04	mars-04	avr-04	mai-04	juin-04	juil-04	août-04	sept-04	oct-04	nov-04	déc-04
Peff Eymet	153	1,7	8	0	0	0	0	0	0	5,2	11,7	61,1
Peff Issigeac	148,8	7	10,5	43,1	0	0	0	0	0	0	12,5	69,5
Peff St Sulpice	132,9	1,7	2,5	3,2	0	0	0	0	0	22,8	0	53,5
Peff pondérée Eymet	63,55	0,71	3,32	0,00	0	0	0	0	0	2,16	4,86	25,38
Peff pondérée Issigeac	49,69	2,34	3,51	14,39	0	0	0	0	0	0	4,17	23,21
Peff pondérée St Sulpice	33,32	0,43	0,63	0,80	0	0	0	0	0	5,72	0,00	13,41
Peff sur le bassin versant	146,56	3,47	7,46	15,19	0	0	0	0	0	7,88	9,03	62,00

2005												
	janv-05	févr-05	mars-05	avr-05	mai-05	juin-05	juil-05	août-05	sept-05	oct-05	nov-05	déc-05
Peff Eymet	26,5	0	0	16,9	0	0	0	0	0	0	22,9	61,5
Peff Issigeac	22,5	6,1	0	7,5	0	0	0	0	0	0	26,7	62,2
Peff St Sulpice	27,4	0	0	14,7	0	0	0	0	0	0	16,2	68,7
Peff pondérée Eymet	11,01	0	0	7,02	0	0	0	0	0	0	9,51	25,54
Peff pondérée Issigeac	7,51	2,04	0	2,50	0	0	0	0	0	0	8,92	20,77
Peff pondérée St Sulpice	6,87	0	0	3,69	0	0	0	0	0	0	4,06	17,22
Peff sur le bassin versant	25,39	2,04	0	13,21	0	0	0	0	0	0	22,49	63,54

Illustration 63 : Pluies efficaces mensuelles 2004 et 2005

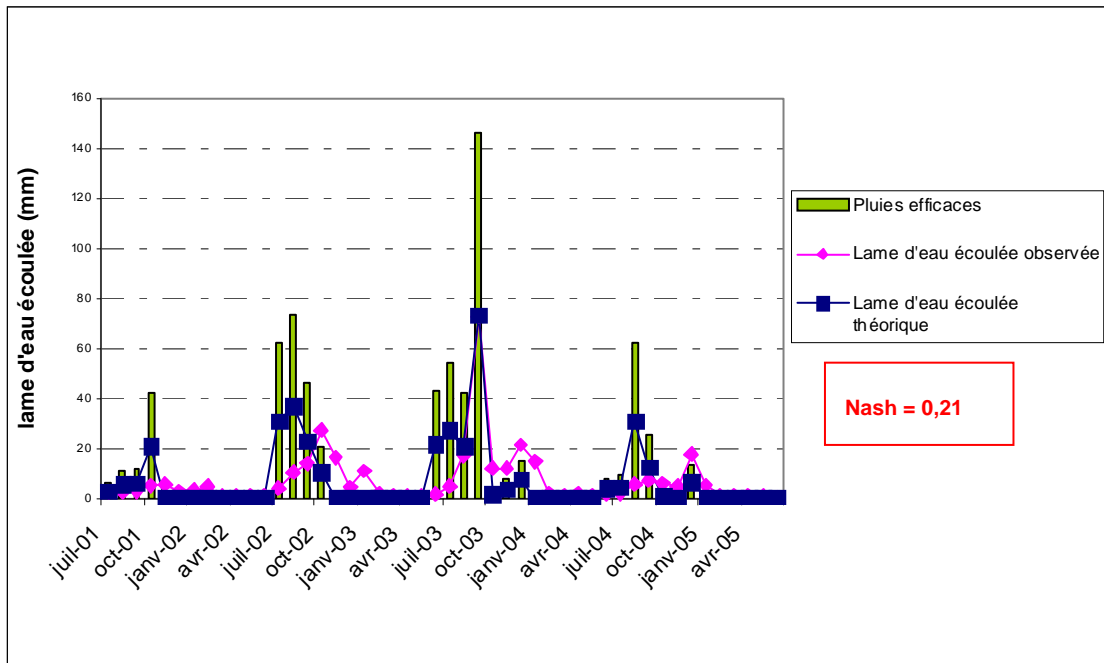


Illustration 64 : Comparaison de la lame d'eau écoulée théorique (mm/mois) et de la lame d'eau écoulée observée (mm/mois).

Le critère de Nash est souvent employé en hydrologie pour juger de la qualité de l'ajustement d'un modèle. Il est basé sur la somme des écarts quadratiques et sur la formule :

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{calc,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

avec :

$Q_{obs,i}$: débit observé au pas de temps i

$\overline{Q_{obs}}$: moyenne des débits observés sur la période

$Q_{calc,i}$: débit calculé au pas de temps i

n : nombre de pas de temps sur la période

Dans le cas de l'illustration 64, il est particulièrement faible (0,21), ce qui traduit un mauvais ajustement. En fait, le modèle ne rend pas compte de l'existence de débits en l'absence de pluies efficaces et lors des mois pluvieux, la lame d'eau ruisselée est supérieure à la lame d'eau réellement écoulee dans le Dropt.

La part de la pluie efficace disponible pour le ruissellement est donc inférieure à 50% et il apparaît nécessaire d'introduire dans le modèle des écoulements différés à plus ou moins long termes pour expliquer la pérennité des débits d'étiage.

Le deuxième modèle mis en place tient compte de la pluie efficace, d'un écoulement différé au mois n+1 et d'un écoulement différé au mois n+2 (cf. illustrations 65 et 66). Les équations qui le régissent, pour le mois n, sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Ec_sup}(n) &= X_1 \cdot (\text{Excédent}(n)) \\ &= X_1 \cdot (\text{Peff}(n) + \text{EcDiff}_{1 \text{ mois}}(n-1) + \text{EcDiff}_{2 \text{ mois}}(n-2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ecdiff}_{1 \text{ mois}}(n) &= X_2 \cdot (\text{Excédent}(n)) \\ &= X_2 \cdot (\text{Peff}(n) + \text{EcDiff}_{1 \text{ mois}}(n-1) + \text{EcDiff}_{2 \text{ mois}}(n-2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ecdiff}_{2 \text{ mois}}(n) &= X_3 \cdot (\text{Excédent}(n)) \\ &= X_3 \cdot (\text{Peff}(n) + \text{EcDiff}_{1 \text{ mois}}(n-1) + \text{EcDiff}_{2 \text{ mois}}(n-2)) \end{aligned}$$

avec :

- **Ec_Sup** : part de l'excédent disponible pour l'écoulement direct
- **Ecdiff_{1 mois}(n)** : part de l'excédent du mois n disponible dans un mois
- **Ecdiff_{2 mois}(n)** : part de l'excédent du mois n disponible dans deux mois
- **Peff(n)** : pluie efficace au mois n

Plusieurs tests ont été réalisés afin de déterminer les variables X1, X2, X3. Il est apparu que ces variables ne pouvaient pas être constantes dans le temps. Les combinaisons suivantes reproduisent le mieux les variations de débit observées sur l'hydrogramme de Loubens :

X1=0,1 X2=0,7 X3=0,2 pour les trois à quatre premiers mois de l'année hydrologique, pour simuler la recharge. La part ruisselée est minimisée et le report principal se fait sur le mois suivant (circulation d'eau rapide due à l'entrée d'eau dans le système).

X1=0,2 X2=0,6 X3=0,2 pour le troisième ou quatrième mois de l'année hydrologique et les mois pluvieux du printemps pour simuler les crues. La part ruisselée et écoulée augmente (saturation en eau des sols) et le report principal se fait sur le mois suivant (circulation d'eau rapide due à l'entrée d'eau dans le système).

X1=0,05 X2=0,45 X3=0,55 pour les mois d'étiage et pour simuler le tarissement. La part d'eau écoulée est minimisée et le report principal se fait sur le deuxième mois (circulation d'eau lente). La pluie efficace étant nulle, il n'y a pas de recharge de l'aquifère.

Dans ce cas, le critère de Nash est nettement meilleur puisqu'il atteint la valeur de 0,81. Le modèle rend donc bien compte de l'évolution mensuelle de la lame d'eau écoulée dans le Dropt.

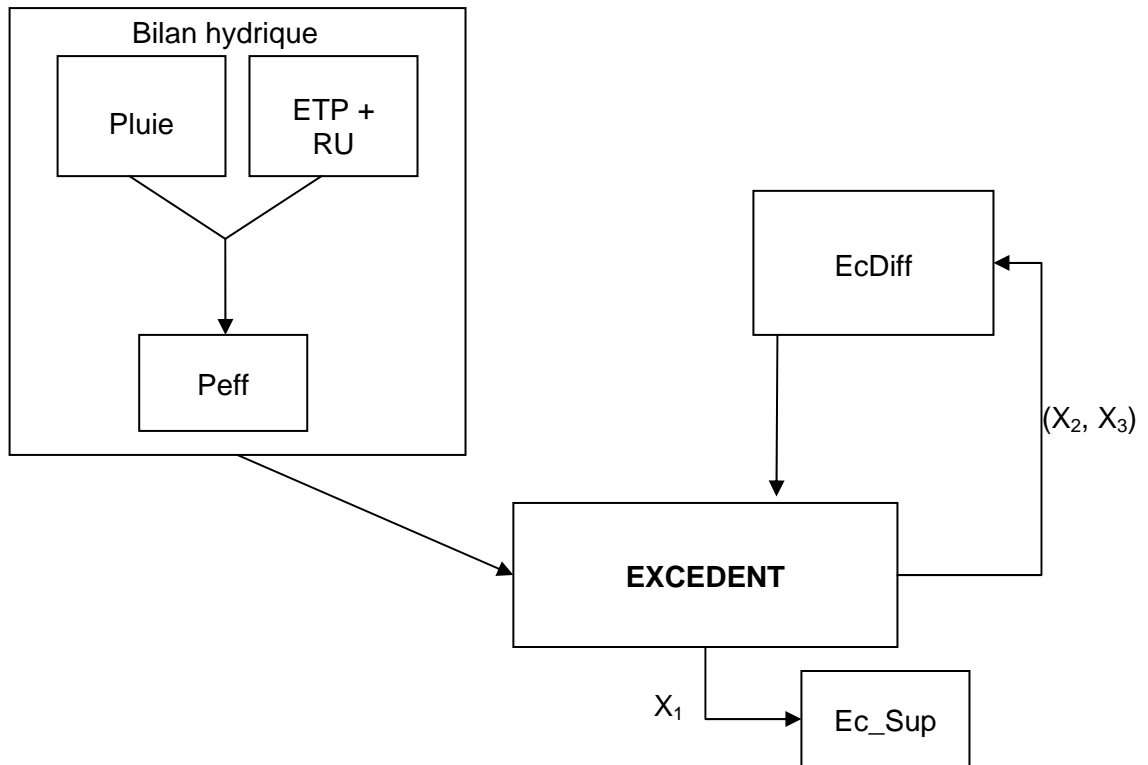


Illustration 65 : Schéma de fonctionnement du deuxième modèle

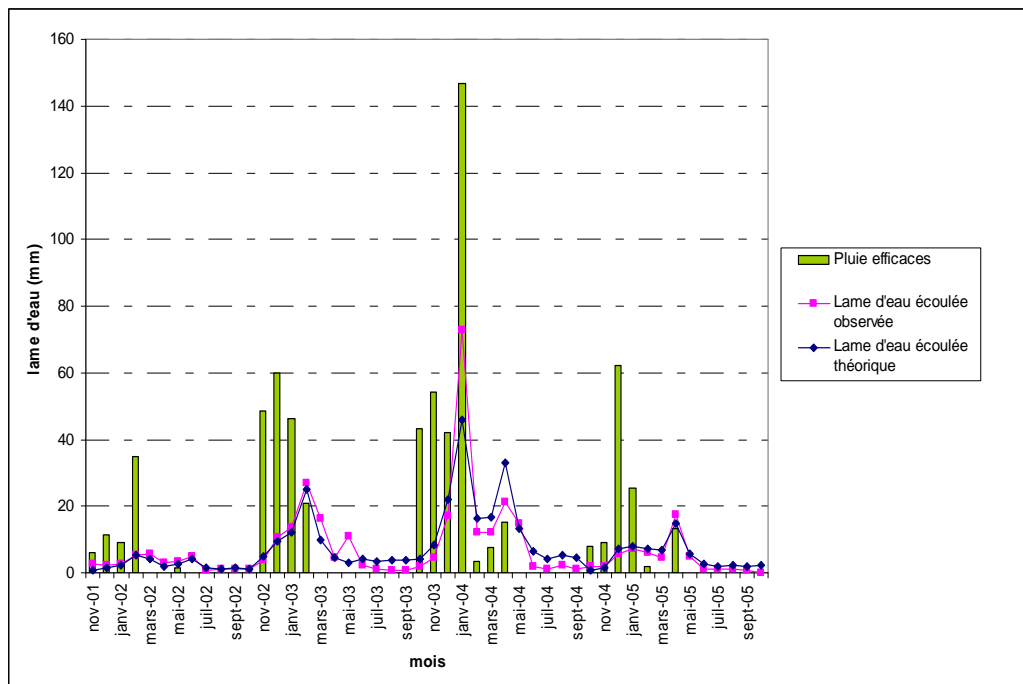


Illustration 66 : Comparaison des lames d'eau écoulees théorique et observée (mm/mois) sur le Dropt et des pluies efficaces (mm/mois)

Dans l'ensemble, l'évolution de la lame d'eau théorique concorde bien avec celle de la lame d'eau observée. Il apparaît cependant que le modèle ne donne pas de résultats satisfaisants pour les mois exceptionnels comme celui de janvier 2004 (forte crue du Dropt). On notera aussi un mauvais ajustement en mai 2003 où le débit du Dropt augmente alors que la pluie efficace est nulle (influence d'un lâcher de barrage possible).

Synthèse

Selon le modèle, l'infiltration globale sur le bassin versant varierait entre 80 et 90% de la pluie efficace (le facteur $X_1= 0,05$ est appliqué en période d'étiage lorsque la pluie efficace est nulle et n'est donc pas retenu).

Ce résultat est surprenant sachant que le bassin versant est constitué à 90% de formations molassiques (formation semi-perméable), ce qui devrait limiter l'infiltration et favoriser le ruissellement. Compte tenu du faible dénivelé du bassin versant et de la nature argileuse du sol, il est possible que l'écoulement différé à un mois corresponde en fait à du ruissellement hypodermique. Cet écoulement de sub-surface n'affecte pas les nappes profondes et peut donc être rajouté à la part ruisselée. Dans ces conditions, l'infiltration profonde ne représenterait que 20 % de l'excédent.

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus avec le modèle et permet une comparaison des années hydrologiques.

Année hydrologique	Excédent théorique en fin d'année hydrologique (mm)	Lame d'eau théorique écoulee sur l'année (mm)	Lame d'eau observée écoulee sur l'année (mm)	différence entre les lames d'eau écoulées observées et théorique (%)
du 11/2001 au 10/2002	27,46	28,20	34,02	17,11
du 11/2002 au 09/2003	76,34	84,11	91,91	8,48
du 10/2003 au 09/2004	98,32	180,34	162,89	10,71
du 10/2004 au 10/2005	46,72	62,78	51,62	21,61

Il est à noter que les différences entre les lames d'eau écoulées observées et théoriques sont faibles. Cela confirme la validité du modèle.

5.3.6. Piézométrie

En l'absence d'un recouvrement de limons argileux datés du Flandrien, la nappe alluviale du Dropt est considérée comme « libre ». Son alimentation est assurée pour partie par l'infiltration directe des eaux de pluie au travers des différentes terrasses. Selon la nature géologique des coteaux et du substratum de la plaine alluviale, 2 autres types d'alimentation indirecte peuvent intervenir :

- au niveau des terrains considérés comme imperméables (de type molasse éocène ou calcaires marneux du Crétacé Supérieur) l'eau ruisselle puis est susceptible de venir s'accumuler au sein des colluvions et de cheminer dans les alluvions,
- au niveau des coteaux calcaires perméables (de type Calcaires à Astéries, Calcaires du Castillon ou Calcaires du Crétacé Supérieur), les écoulements souterrains viennent participer à l'alimentation de la nappe alluviale par le biais de sources ou de circulations diffuses.

Bien que les départements de la Dordogne, de la Gironde et du Lot-et-Garonne soient pourvus de réseaux de gestion quantitative des eaux souterraines, aucun point de suivi n'est implanté dans la nappe alluviale du Dropt.

Dans le cadre de ce programme, il était prévu que 8 puits ou forages soient équipés d'enregistreurs automatiques des niveaux d'eau dans l'objectif de suivre l'évolution de la piézométrie sur au moins deux cycles et de mieux comprendre les relations nappe rivière. Ces équipements ont été réalisés courant 2009 et seront valorisés lors de la prochaine année d'étude conformément au cahier des charges.

Leur localisation est représentée sur l'illustration 67. Leurs caractéristiques seront décrites lors de la prochaine année d'étude.

Parallèlement à ces équipements et en l'absence de données de référence, une campagne de mesures piézométriques a été menée en février 2009 sur des puits de particuliers implantés dans la zone d'étude.

Les mesures effectuées ont permis de tracer une esquisse piézométrique de hautes eaux (cf. Annexe 5 et illustration 68). La carte a été réalisée par interpolation (méthode de l'inverse de la distance au carré) au moyen du logiciel Surfer. Les niveaux piézométriques mesurés sur les 60 puits ont servi de points de référence et ont obligatoirement été respectés. L'altitude du Dropt, extraite du MNT au pas de 50 mètres, est venue contraindre le système dans les zones de lacunes.

Le niveau piézométrique moyen au niveau de Villeréal est de 80 m NGF. Il est de 50 m NGF au niveau d'Eymet et atteint 13 m NGF au niveau de Bagas. Il apparaît donc que les cotes piézométriques diminuent de l'amont vers l'aval. Il est par contre plus difficile d'identifier un gradient transversal et de mettre ainsi en évidence une alimentation du cours d'eau par les coteaux.

L'illustration 69 représente la carte des épaisseurs de la zone non saturée. Elle a été construite par soustraction des cotes piézométriques aux altitudes extraites du MNT. Les différences négatives comprises entre 0 et - 8 correspondent aux artéfacts de la modélisation, la carte piézométrique ne respectant pas exactement la géométrie de la vallée.

L'exercice mené avec une soixantaine de points montre à quel point les données doivent être nombreuses et bien réparties si l'on souhaite obtenir des cartes fiables. Les esquisses réalisées dans le cadre de cette étude restent donc à améliorer.

5.3.7. Qualité des eaux souterraines

L'étude de la qualité des eaux de la nappe alluviale du Dropt se base sur l'exploitation des mesures réalisées in-situ dans les puits des particuliers en février 2009. Les analyses concernent le pH, la conductivité et la teneur en nitrates. Le tableau des résultats ainsi que les cartes des paramètres sont reportés en Annexe 5.

Sur les 60 puits analysés, 23 sont implantés dans les moyennes terrasses et 37 dans les basses terrasses.

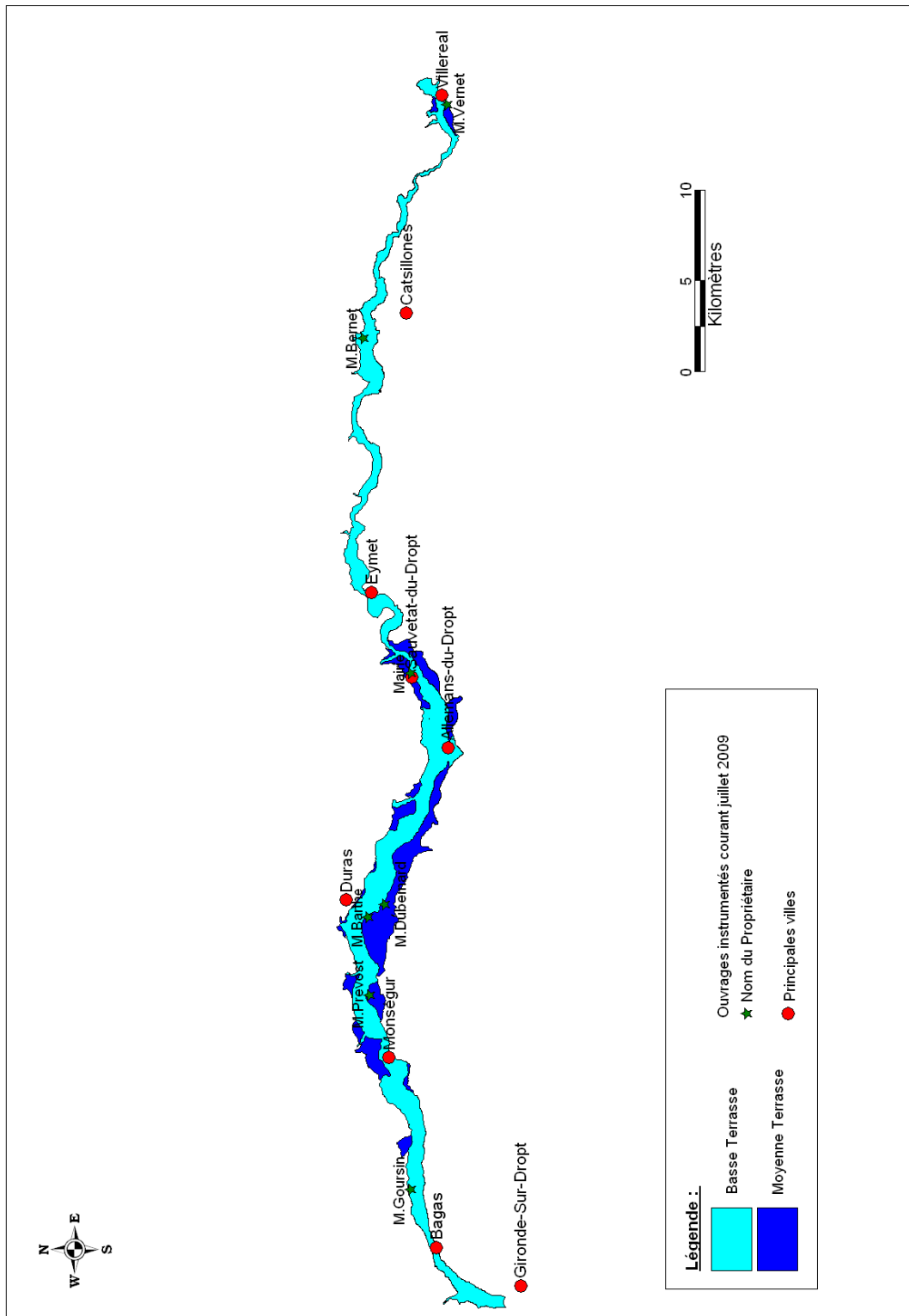


Illustration 67 : Localisation des ouvrages instrumentés courant 2009

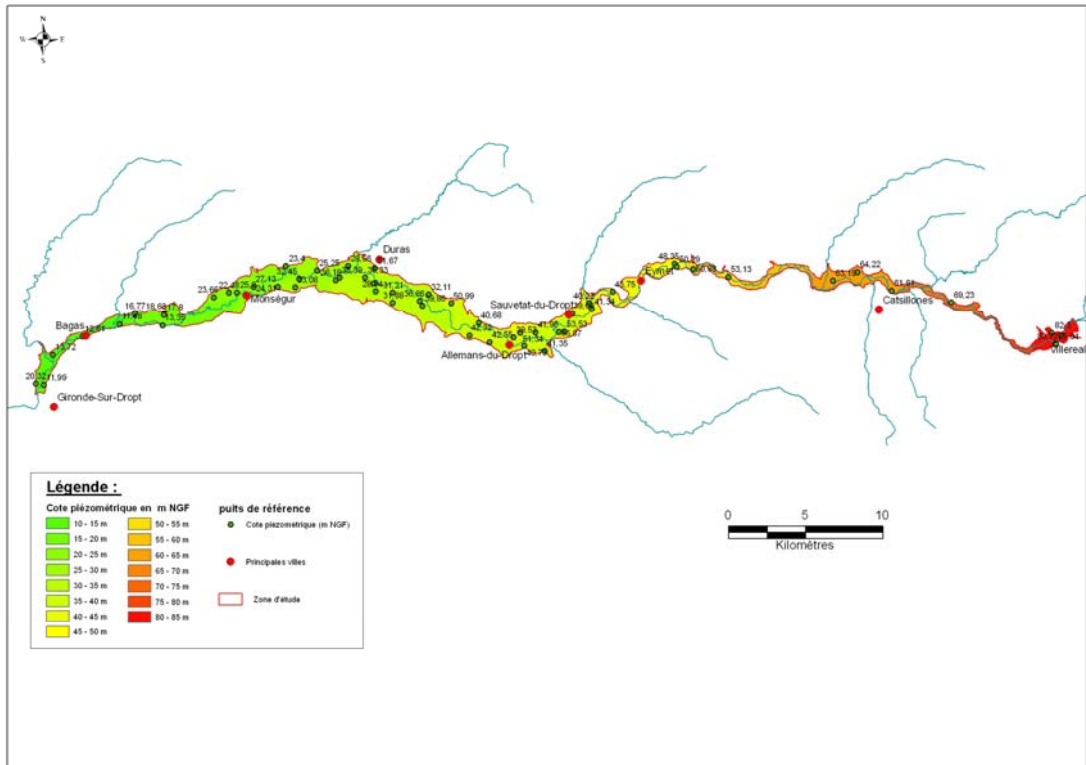


Illustration 68 : Esquisse piézométrique hautes eaux sur la zone d'étude

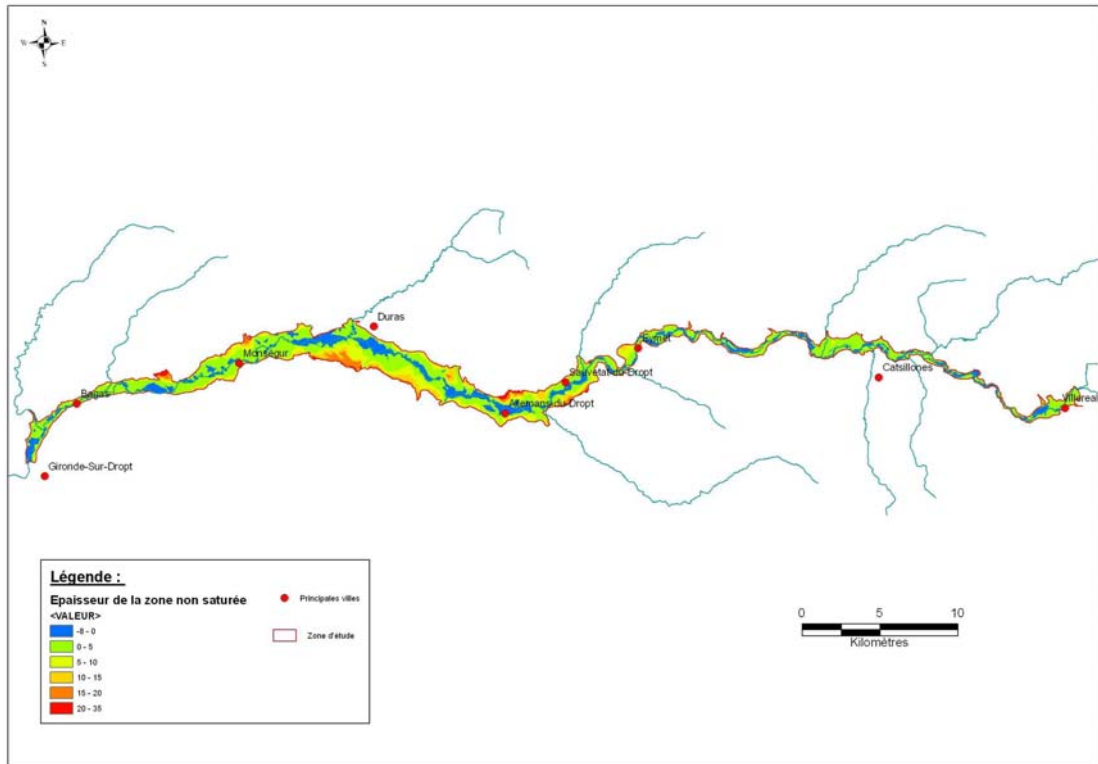


Illustration 69 : Carte des épaisseurs de la zone non saturée

Paramètres physico-chimiques non conservatifs de terrain

La conductivité caractérise la minéralisation globale des eaux. Les eaux des différents puits analysés présentent des valeurs variant entre 412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1886 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité moyenne est de 867 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dans l'ensemble, la nappe alluviale du Dropt présente donc une minéralisation élevée. La lithologie des terrasses alluviales ainsi que la nature du substratum peuvent être à l'origine d'une minéralisation importante. Cette dernière peut aussi être accentuée par la présence de polluants. On notera à ce sujet que la majorité des points présentant une forte conductivité présentent aussi une forte teneur en nitrates.

Les teneurs les plus élevées sont observées dans la région de Duras. La conductivité moyenne est à cet endroit de 1066 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (moyenne calculée sur les points de mesure 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 38, 39, 40).

Le pH moyen (7,2) est, quant à lui, proche de la neutralité. La majorité des pH mesurés s'échelonne entre 7 et 7,8. Localement, ils peuvent être plus élevés (ex : pH de 8,08 mesuré sur le point n° 8 situé sur la commune du Puy en février 2009).'

Les nitrates

L'ion nitrate est la forme la plus oxydée de l'azote. Les sources naturelles de nitrates sont principalement liées aux interactions des pluies avec le sol et la végétation. Les origines anthropiques des nitrates sont nombreuses et sont essentiellement dues au lessivage des engrais et aux rejets domestiques et industriels.

Les teneurs en nitrates des eaux souterraines dépendent de nombreux processus biogéochimiques qui constituent le cycle de l'azote. Il est généralement admis qu'une concentration supérieure à 10 mg/l traduit un apport anthropique.

Le secteur compris entre Monségur et Gironde-sur-Dropt se caractérise par les plus faibles valeurs alors que la région de Duras qui est très agricole (viticulture, culture maraîchère et céréalière) se caractérise par les plus fortes teneurs.

Il apparaît de plus que plus d'un tiers des mesures effectuées ont dépassé le seuil de potabilité de 50 mg/l. Ces valeurs élevées témoignent de la vulnérabilité de l'aquifère alluvial vis-à-vis des pollutions anthropiques.

Afin de quantifier et de localiser les différents prélèvements sur la zone d'étude, un recueil des données disponibles auprès des différents organismes de gestions de la ressource en eau et des ouvrages souterrains a été réalisé.

5.3.8. Prélèvements

Afin d'évaluer les prélèvements effectués dans la nappe alluviale du Dropt, tous les organismes en charge de la gestion de l'eau à l'échelle du territoire d'étude ont été contactés. Les données recueillies sont venues compléter celles recensées en BSS.

Données disponibles au SGR Aquitaine du BRGM

La Banque de données du Sous-Sol (BSS), gérée par le BRGM, est la base de données nationale des ouvrages souterrains déclarés sur le territoire français au titre du Code Minier.

Elle recense les informations techniques relatives aux travaux et collectées auprès des foreurs et des maîtres d'ouvrages. Les points d'eau (forages, puits, piézomètres, sources...) sont spécifiquement répertoriés dans la Banque de Données des Eaux Souterraines (BDES).

Une extraction de la BDES a permis de créer une base de données spécifique aux points situés sur la zone d'étude. Elle concerne des ouvrages utilisés pour l'alimentation en eau potable, les besoins agricoles et individuels.

La base contient 58 enregistrements :

- 54 puits et forages dont 45 captent l'aquifère alluvial,
- 4 sondages géologiques.

Au final, seuls 45 points d'eau sollicitant les alluvions sont donc recensés sur le secteur d'étude. Ce manque d'exhaustivité s'explique par les raisons suivantes :

- de nombreux puits réalisés dans la plaine alluviale ne dépassent pas 10 mètres de profondeur et ne sont donc pas soumis à déclaration au titre du Code Minier,
- une forte proportion d'ouvrages, profonds de plus de 10 mètres, exploités pour un usage individuel ou agricole n'est pas déclarée par leur propriétaire.

Données de la Mission Inter-Service de l'Eau (MISE)

Les MISE (Missions Inter-Services de l'Eau) coordonnent les actions de Police de l'Eau en matière de gestion des ressources et des milieux aquatiques.

Elles gèrent en particulier les dossiers de déclaration et d'autorisation pour les prélèvements qui dépassent respectivement 10 000 et 200 000 m³ (seuils de 8 et 80 m³/h retenus jusqu'en décembre 2008, hors zone de répartition des eaux).

Les fichiers fournis au BRGM par les MISE recensent les exploitants agricoles ayant effectué une déclaration ou une demande d'autorisation de prélèvement récente. 27 enregistrements intéressent le secteur d'étude.

Données de la DDASS

Les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) sont responsables de la surveillance de la qualité de l'eau destinée à l'alimentation humaine. De ce fait, elles centralisent l'ensemble des résultats d'analyses menées sur les captages d'eau potable.

12 ouvrages AEP sont positionnés le long de la plaine alluviale. 10 d'entre eux correspondent à des forages profonds, les 2 autres à 2 sources dont celle de Labrame. Les prélèvements effectués sur ces dernières constituent des « manques à gagner » pour le Dropt.

Données de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Les volumes d'eau de surface prélevés dans le Dropt pour l'industrie et l'irrigation ont été fournis par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Toutefois, le recouvrement des redevances se faisant à partir d'un seuil financier, le recensement des points de prélèvement n'est pas exhaustif.

Ces redevances s'appliquent à tout prélèvement effectué en eaux souterraines ou superficielles. Elles sont calculées en fonction des volumes prélevés et consommés et sont pondérées par un coefficient d'usage et modulées géographiquement selon la sensibilité des ressources. Les volumes consommés sont estimés à partir de ceux prélevés auxquels sont appliqués un coefficient fonction de l'usage de l'eau et de son mode de restitution.

Bilan des données recueillies (ouvrages et prélèvements)

Le travail de recensement mené auprès des différents organismes a permis d'identifier 27 ouvrages agricoles intéressant la nappe alluviale du Dropt. Ces derniers se répartissent schématiquement autour de Duras, zone où l'élevage ainsi que la production céréalière et maraîchère sont bien représentés.

La répartition géographique de ces forages et les volumes déclarés ou autorisés en 2008 sont représentés sur l'illustration 70. Le volume total représente environ 370 000 m³. Ce chiffre est certainement sous-évalué mais ces très faibles prélèvements peuvent aussi s'expliquer par le fait que les agriculteurs, regroupés en A.S.A., pompent directement dans le Dropt (information de la Chambre d'Agriculture) ainsi que par la faible productivité de l'aquifère alluvial. Les données de l'Agence de l'Eau indiquent qu'en 1999, environ 5 350 000 m³ ont été captés dans les ressources de surface, retenues collinaires exclues.

La capacité totale des retenues collinaires situées aux abords du Dropt a été estimée lors de la mise en place du PGE (Plan de Gestion des Etiages) à partir des données de l'Agence de l'Eau, des MISE(s) de Gironde et du Lot-et-Garonne et de celles du Conseil Général de Dordogne. Elle serait d'environ 4 900 000 m³.

Si l'on considère que la totalité des volumes stockés dans les retenues collinaires est utilisée chaque année pour l'irrigation, la part des prélèvements effectués directement dans la nappe alluviale pour l'usage agricole est seulement de 3,5%. L'utilisation de l'aquifère alluvial pour l'irrigation serait donc largement minoritaire.

Les volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable au niveau des stations des Eyrals et de Labrame représentent, quant à eux, 600 000 m³. S'ils ne sont pas directement prélevés dans l'aquifère alluvial, ils constituent un « manque à gagner » pour son alimentation.

Tous usages confondus, seuls 370 000 m³ auraient donc été prélevés en 2008 dans la nappe alluviale du Dropt. Ce chiffre ne tient pas compte des ouvrages individuels pour lesquels aucune donnée n'est disponible.

Les prélèvements de surface représenteraient 10 à 11 millions de m³ et seraient donc majoritaires sur le bassin versant.

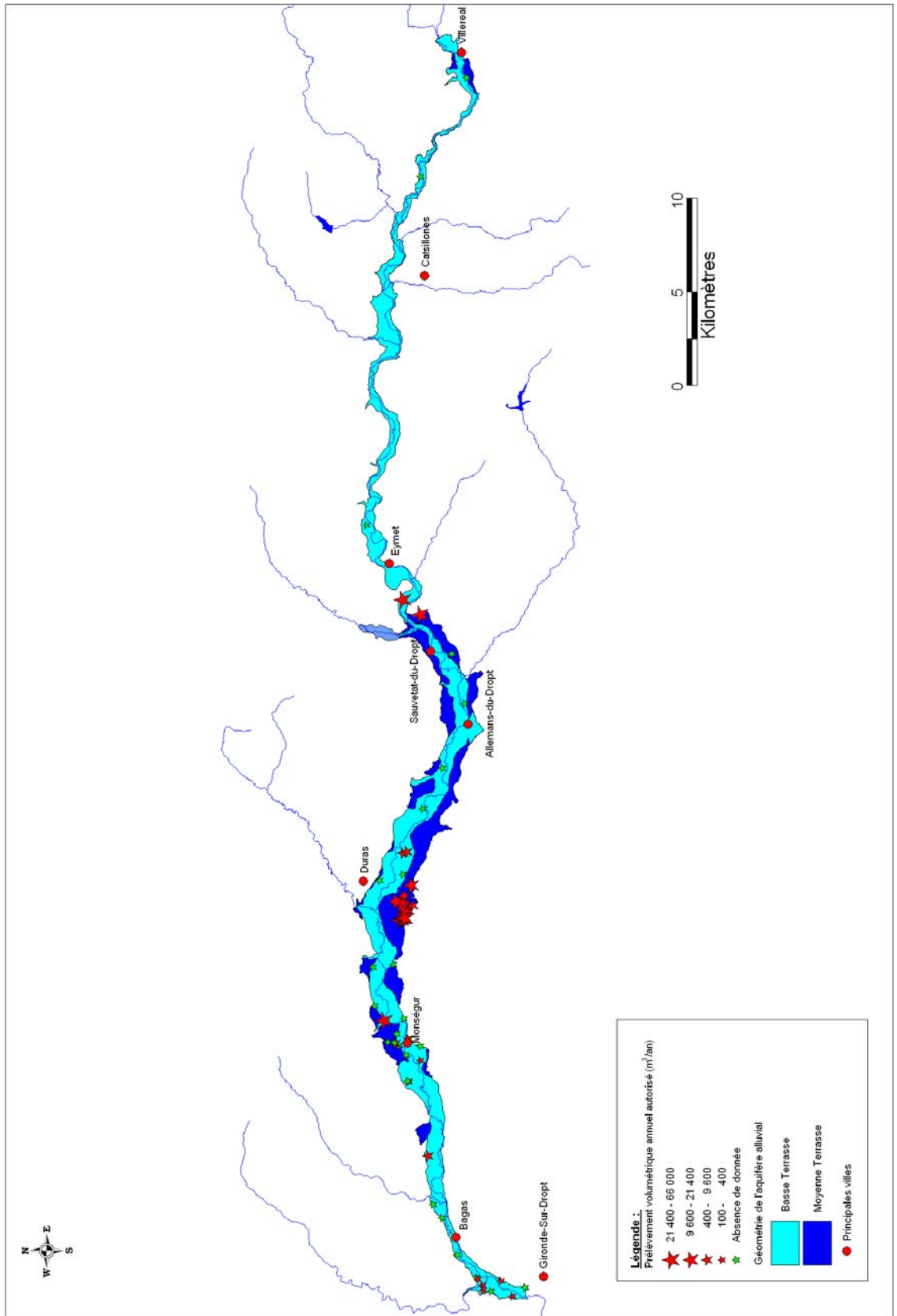


Illustration 70 : Répartition des prélèvements dans la nappe alluviale du Dropt

5.4. BILAN

Les premières investigations menées sur la nappe alluviale du Dropt ont permis de préciser ses limites et sa géométrie. Des cartes du toit du substratum et de l'épaisseur des formations quaternaires ont pu être établies. Elles restent cependant entachées d'un grand degré d'incertitude compte tenu du peu de données géologiques disponibles et de leur répartition non homogène au sein du domaine alluvial.

Les alluvions qui se répartissent en 2 niveaux de terrasses (basses et moyennes) présentent un caractère argileux du fait de la nature molassique du substratum. Aucune information concernant les propriétés hydrodynamiques de ces formations n'est disponible dans la bibliographie.

La recharge de la nappe alluviale est principalement assurée par l'infiltration des précipitations efficaces. Elle représente un volume qui peut être estimé en multipliant la moyenne inter-annuelle 2002-2007 des précipitations observées sur les stations de Saint-Sulpice-de Pommiers, d'Eymet et d'Issigeac (environ 200 mm) par la surface du réservoir alluvial (environ 80 km²) et en pondérant le résultat par un coefficient de 0.9 (coefficient maximal d'infiltration déterminé dans le chapitre 5.4.5). Dans ces conditions, le renouvellement interannuel maximal de la nappe peut être évalué à environ 15 millions de mètres cubes.

Le ruissellement de l'eau de pluie sur les coteaux imperméables ainsi que les sources issues des calcaires intra-molassiques contribuent aussi à alimenter la nappe alluviale mais dans des proportions difficiles à évaluer.

En l'absence de données piézométriques de référence, 8 ouvrages ont été équipés de dispositifs d'enregistrement des niveaux d'eau. Les données seront valorisées lors de la prochaine année d'étude et devraient permettre de mieux comprendre les relations nappe rivière. Parallèlement à ces équipements, des mesures piézométriques ont été effectuées en février 2009 sur 60 puits appartenant à des particuliers.

L'esquisse piézométrique qui en résulte met en évidence des niveaux piézométriques qui suivent la topographie et diminuent d'amont en aval. Il est par contre plus difficile d'identifier un gradient transversal sur la carte.

D'un point de vue de la qualité, l'eau de la nappe alluviale se caractérise par de fortes conductivités (valeur moyenne = 867 μ S/cm), des pH proches de la neutralité et des teneurs en nitrates relativement importantes (un tiers des points contrôlés ont présenté des teneurs supérieures à 50 mg/l). Le secteur de Duras où la viticulture ainsi que les cultures maraîchère et céréalière sont bien représentées semble être le secteur le plus contaminé.

D'un point de vue des prélèvements, seuls 370 000 m³ auraient été prélevés en 2008 dans la nappe alluviale. Ils correspondent exclusivement à des prélèvements agricoles qui se rajoutent à ceux qui sont directement effectués dans le cours d'eau ou les retenues collinaires (10 à 11 millions de m³). Ces prélèvements impactent de façon importante le régime hydrodynamique du Dropt dont le débit atteint le DCR une année sur deux.

L'objectif de la prochaine année de travail sera de définir un protocole de gestion des prélèvements qui visera à maintenir les débits d'étiage du Dropt à un seuil acceptable.

6. Conclusion

En année 1 de la nouvelle convention régionale « Eaux Souterraines », l'outil de gestion mis en place sur **la nappe alluviale de la Garonne** lors de l'année 3 de la précédente convention a été utilisé, pour la 2^e année consécutive, par la DDAF 47 pour instruire les dossiers d'autorisation de prélèvement.

Les investigations menées sur **la nappe alluviale de la Dordogne** lors des 4 années de la précédente convention ayant montré que les débits du cours d'eau et les niveaux piézométriques étaient très peu, voire pas du tout, impactés par les prélèvements agricoles effectués durant la période estivale; aucun dispositif visant à réduire les exhaures n'a été mis en place en année 1 de la nouvelle convention.

Au final, la nappe alluviale de la Dordogne correspond donc à un secteur où il n'existe pas de réel problème quantitatif, ce qui était supposé mais non démontré au moment du lancement de l'étude.

Le travail de caractérisation géologique et hydrogéologique de **la nappe alluviale du Gave de Pau** mené en année 4 de la précédente convention s'est poursuivi en année 1 par une analyse détaillée des données pluviométriques, débitométriques et piézométriques disponibles, la mise en œuvre d'analyses corrélatoires, une analyse des débits et des hauteurs classés ainsi qu'une modélisation au moyen du logiciel TEMPO. Ce travail a, entre autres, permis de montrer que :

☞ les contributions relatives moyennes de la pluie, de la piézométrie et de la fonte des neiges au débit du Gave de Pau étaient respectivement de 40, 45 et 15 %,

☞ les apports de la nappe variaient dans un rapport de 1 à 2 entre septembre (25 m³/s) et mai (50 m³/s) mais qu'ils représentaient un pourcentage quasi constant (de l'ordre de 50 %) du débit du Gave au fil des mois,

☞ les pourcentages d'influence du cours d'eau sur la piézométrie variaient de 30 à 97% et qu'ils étaient inversement proportionnels à la distance au cours d'eau et que la distance maximale à partir de laquelle le cours d'eau ne semblait plus avoir d'impact sur le fonctionnement de la nappe alluviale était de l'ordre de 1000 m,

☞ les prélèvements d'eau souterraine effectués dans la nappe alluviale du Gave de Pau ne semblaient pas engendrer de modification de l'hydrodynamique du cours d'eau.

Comme pour la nappe alluviale de la Dordogne, les investigations menées n'ont donc pas mis en évidence de réels problèmes quantitatifs, les prélèvements ne représentant qu'une faible partie des volumes s'écoulant dans le cours d'eau.

Dans ces conditions, il n'a pas été jugé nécessaire de mettre en place un quelconque outil visant à réduire les prélèvements.

Conformément au cahier des charges de l'étude, un quatrième site expérimental a fait l'objet d'une caractérisation en année 1 de la nouvelle convention. Il s'agit de **la nappe alluviale du Dropt** dont les limites et la géométrie ont, dans un premier temps, été précisées au moyen de cartes isohypses et isopaches.

En l'absence de données piézométriques de référence, 8 ouvrages ont été équipés de dispositifs d'enregistrement des niveaux d'eau. Les données seront valorisées lors de la prochaine année d'étude et devraient permettre de mieux comprendre les relations nappe rivière. Parallèlement à ces équipements, des mesures piézométriques ont été effectuées sur 60 puits appartenant à des particuliers dans l'objectif d'établir une carte piézométrique de hautes eaux.

D'un point de vue de la qualité, l'eau de la nappe alluviale se caractérise par de fortes conductivités (valeur moyenne = 867 $\mu\text{S}/\text{cm}$), des pH proches de la neutralité et des teneurs en nitrates relativement importantes (un tiers des points contrôlés ont présenté des teneurs supérieures à 50 mg/l).

D'un point de vue des prélèvements, seuls 370 000 m^3 auraient été prélevés en 2008 dans la nappe alluviale. Ils correspondent exclusivement à des prélèvements agricoles qui se rajoutent à ceux qui sont directement effectués dans le cours d'eau ou les retenues collinaires (10 à 11 millions de m^3).

Ces prélèvements impactent de façon importante le régime hydrodynamique du Dropt dont le débit atteint le DCR une année sur deux. L'objectif de la prochaine année de travail sera de définir un protocole de gestion des prélèvements qui visera à maintenir les débits d'étiage du Dropt à un seuil acceptable.

Bibliographie

Agence Eau Adour Garonne (1997) - Les micropolluants organiques et minéraux dans les principaux cours d'eau de la région Aquitaine, campagne de mesure 1995

Agence Eau Adour Garonne (2000) – Etude de faisabilité d'une gestion intégrée et initiation d'un plan de gestion des étiages sur le bassin versant du Dropt

ANTEA (1995) - Etude globale de protection de l'aquifère alluvial du Gave de Pau

AQUADOUR, Bulletin d'information sur l'eau dans le Bassin de l'Adour - Numéro 28, P. REGNACQ, 2002

Armand C. (1997) - Avis hydrogéologique pour la définition des périmètres de protection des forages de Bordes

Baudin G. (1979) - Ressources en eau de la nappe des alluvions du Gave de Pau entre Lestelle – Bétharram et Pau, Thèse

BRGM (1995) - Délimitation des nappes d'accompagnement des cours d'eau Garonne, Dordogne, Gironde, Dropt, Dronne et Isle pour le département de la Gironde – Rapport BRGM-RR-38431-FR

BRGM (1995) - Inventaire des ouvrages de mesures dans les nappes alluviales du département de Gironde (Gironde, Garonne, Dordogne, Isle, Dronne et Dropt) – Rapport BRGM-RR-38765-FR

Bureau d'Etudes en Ecologie et Hydrobiologie (2007) - Travaux hydrauliques sur le Dropt (communes de Casseuil et Caudrot)

Bureau d'Investigation Géotechnique (1980) - Etude géologique et hydrogéologique au niveau de la commune de Saint-Aubin-de-Cadelech

Cabinet Berre (2000) - Rapport hydrogéologique pour l'alimentation en eau potable de la région de Jurançon

Cabinet Berre (2003) - Recherche d'eau potable sur les communes de Siros, Arbus et Artiguelouve

Cabinet Berre (2005) - Etude hydrogéologique de l'extension de la gravière de la commune de Lescar

Cabinet Berre (2005) - Essais de puits et de nappe sur les quatre points de prélèvements d'eau potable sur les communes d'Artix, Labsatide-Cézéracq et Bésingrand

Calligée (1988-1999) - Suivi piézométrique de la nappe alluviale du Gave de Pau entre Baliros et Baudreix

Calligée (1998) - Etude hydrogéologique préalable à la définition des périmètres de protection des forages de Baliros et Pardies

Calligée (1998) - Réalisation de 4 piézomètres de reconnaissance dans la vallée alluviale du Gave de Pau entre Baliros et Baudreix

Institut de Géodynamique de l'Université de Bordeaux III (1982) - Etude de la nappe phréatique du Gave de Pau, Secteur Pau à Coarraze

CARA (1981) - Etude préalable au drainage secteur de référence du bassin versant de la Dourdeze

CARA (1991) - Schéma d'aménagement du Dropt : Traitements statistiques spécifiques de données issues des stations hydrométriques

CARA (1992) - Hydrologie de la Nette

CARA (1993) - SAGE du Bassin du Dropt, dossier préliminaire

CEMAGREF (1981) - Etude hydrologique et hydraulique des crues de la Dourdenne à Miramont-en-Guyenne

GEODIAG (2007) - Etude préalable au schéma d'aménagement et de gestion des cours d'eau du bassin versant du Dropt

GEREA (1994) - SAGE du Bassin du Dropt, état initial

HYDRO-M (2001) - Plan de gestion des étiages du bassin du Dropt : état des lieux sur le périmètre

HYDRO-M (2003) - Plan de gestion des étiages du bassin du Dropt

Pellissier-Hermitte G. (1970) - Etude de l'alimentation des aquifères éocènes et adjacents en région Béarn-Bigorre, Thèse

Sogreah (1972) - Aménagement hydro-agricole de la vallée du Dropt

Cartes géologiques de la France BRGM (1/50 000) : Feuilles d'Hasparren (1002), Orthez (1003), Arthez-de-Béarn (1004), Pau (1029), Morlaàs (1030) et Lourdes (1052)
// Feuilles de Podensac (828), Duras (829), Eymet (830), Belvès (831), Langon (852), Marmande (853), Cancon (854) et Fumel (855)

Banque de données du Sous Sol (BSS)

Banque Hydro - <http://hydro.mde.tm.fr>

Annexe 1

Illustrations photographiques



Fontaine de Bonnefon, source du Dropt (Capdrot-24)



Dropt après la Source de Labrame (Vergt-de-Biron-24)

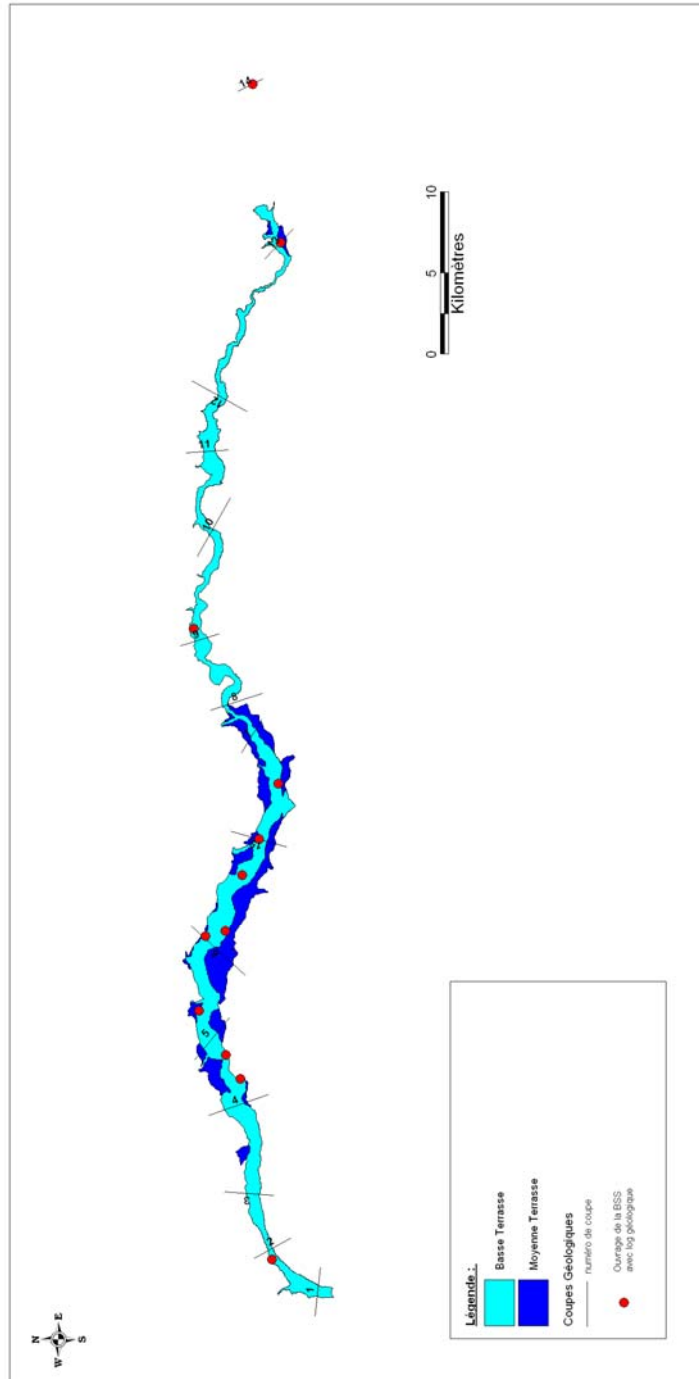


Dropt au niveau de sa confluence avec la Garonne (Gironde-sur-Dropt-33)

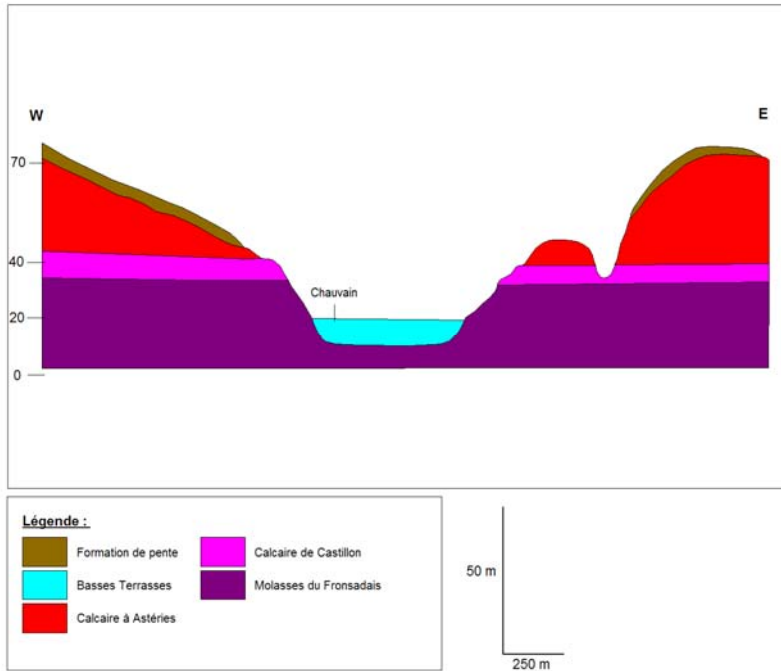
Annexe 2

Coupes géologiques

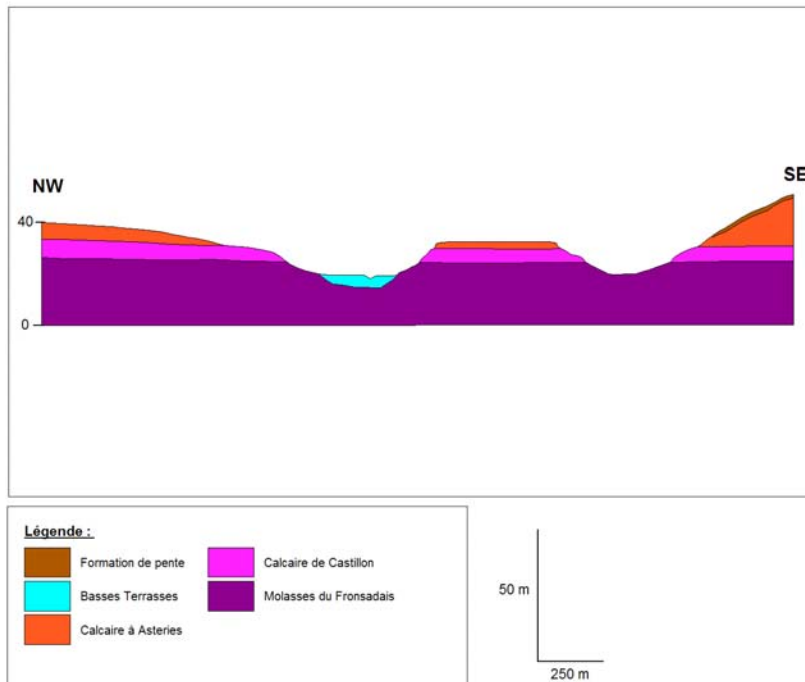
Localisation des 15 coupes



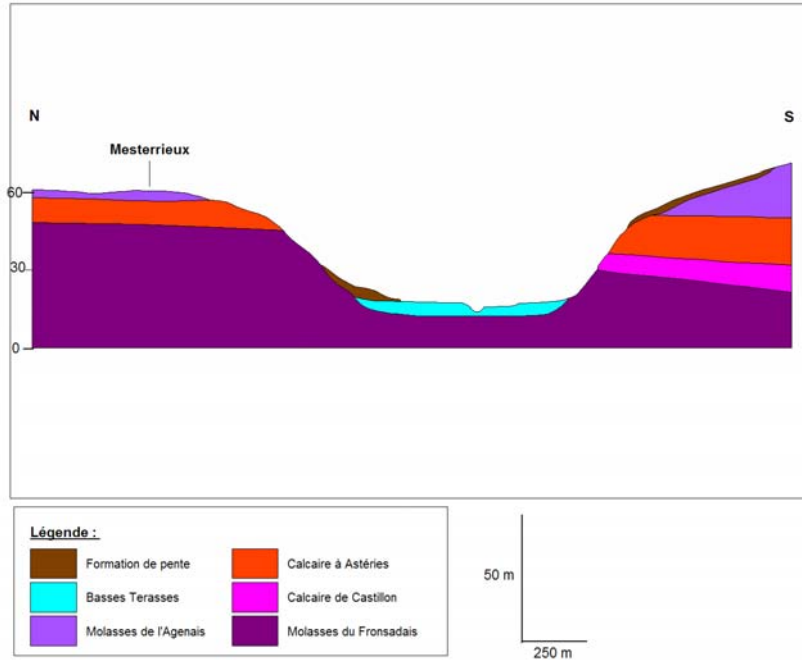
Coupe 1



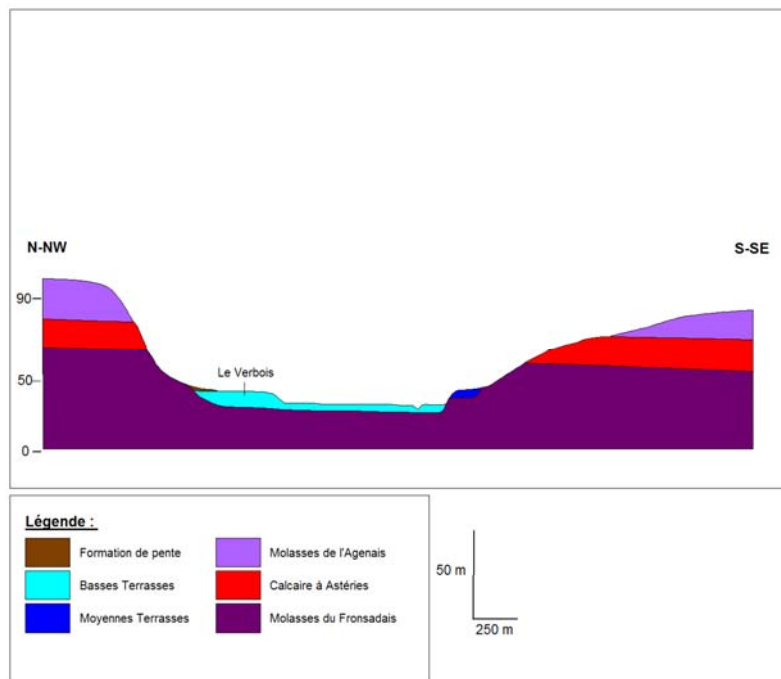
Coupe 2



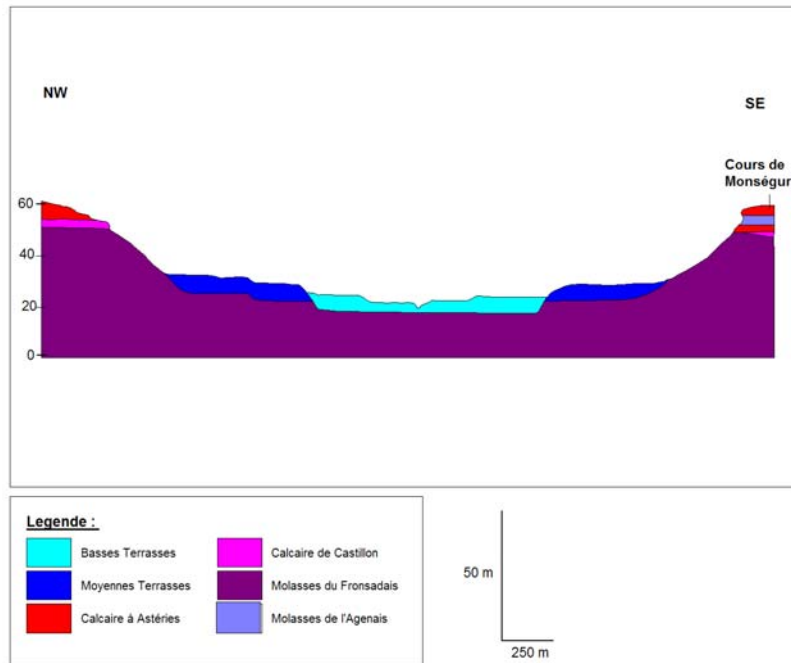
Coupe 3



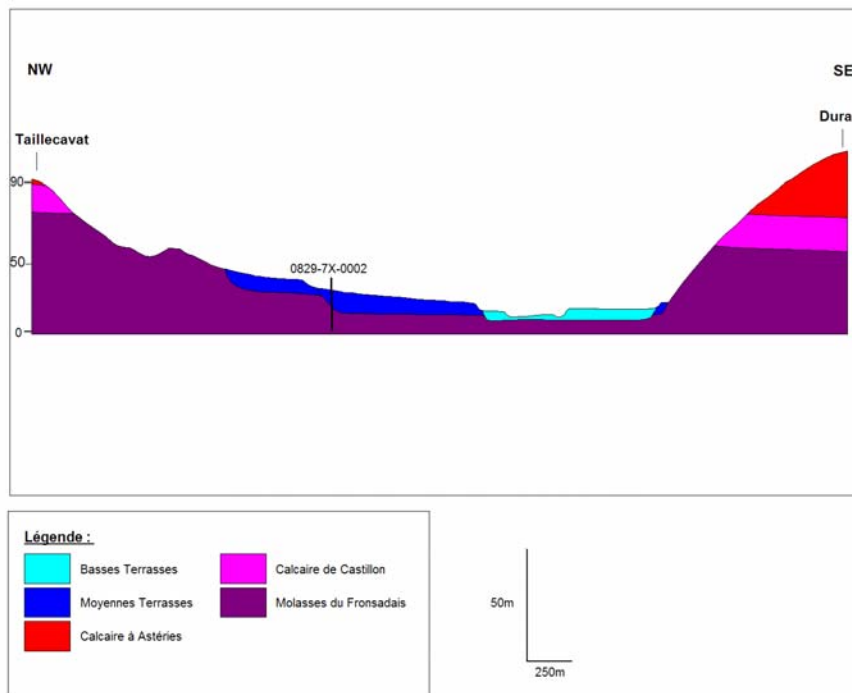
Coupe 4



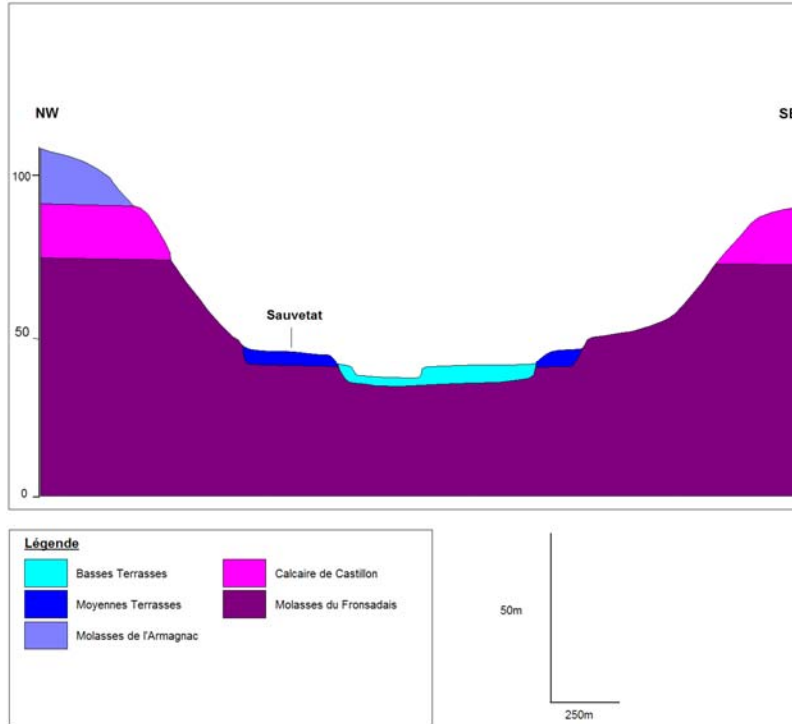
Coupe 5



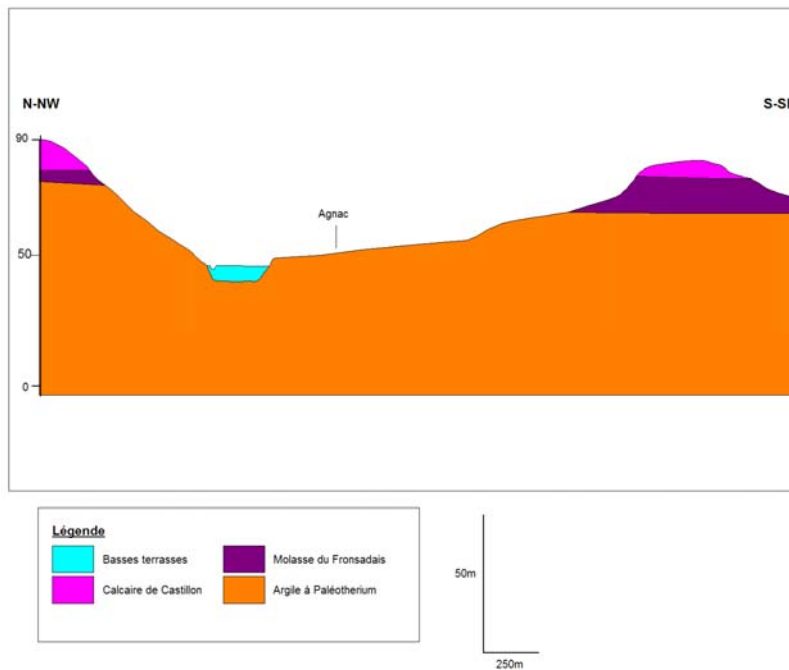
Coupe 6



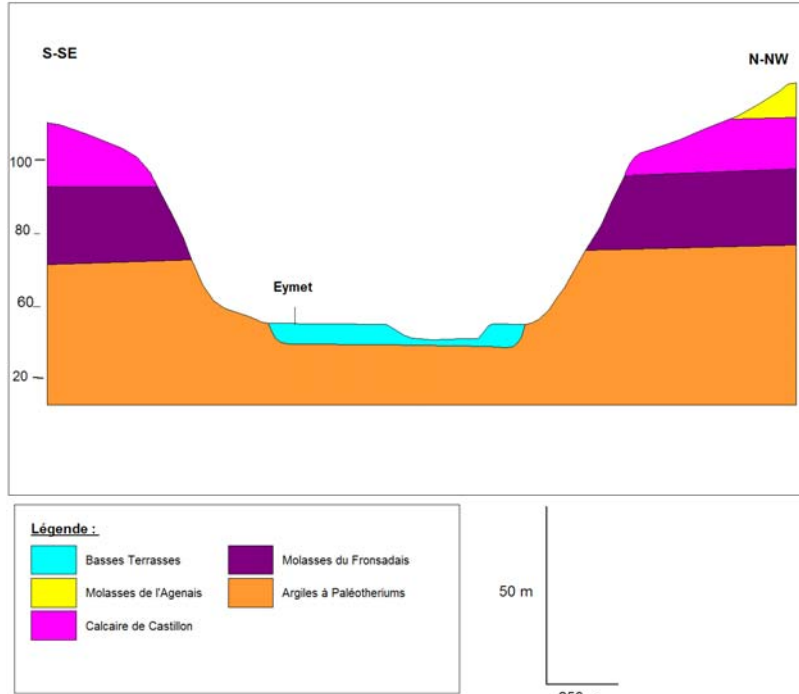
Coupe 7



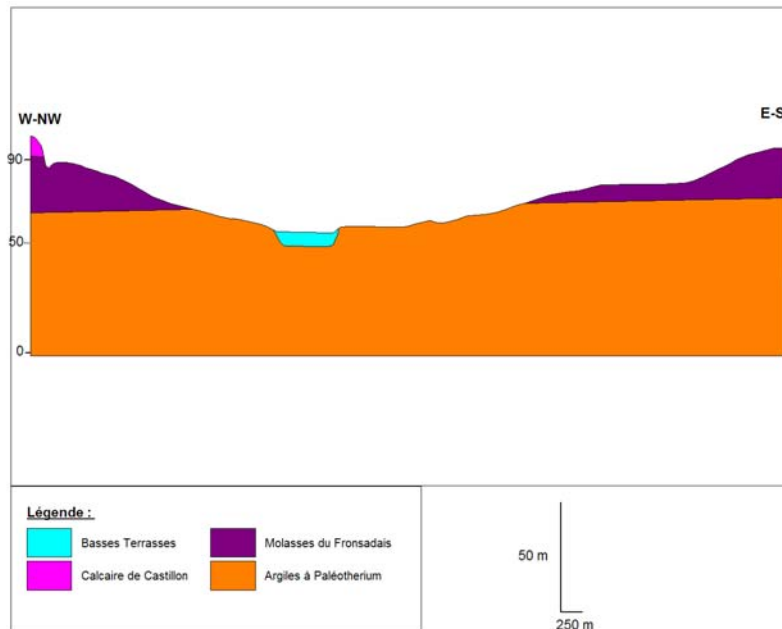
Coupe 8



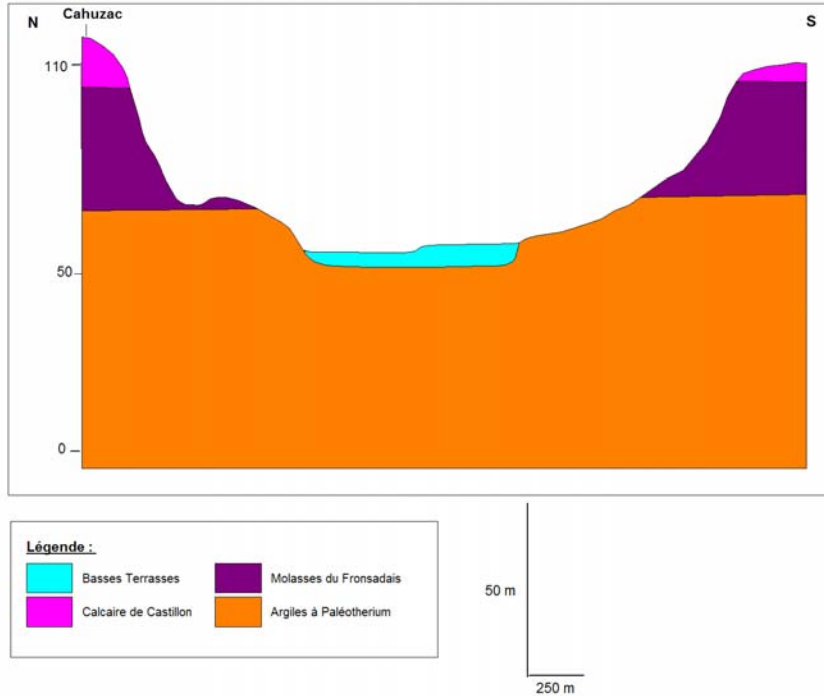
Coupe 9



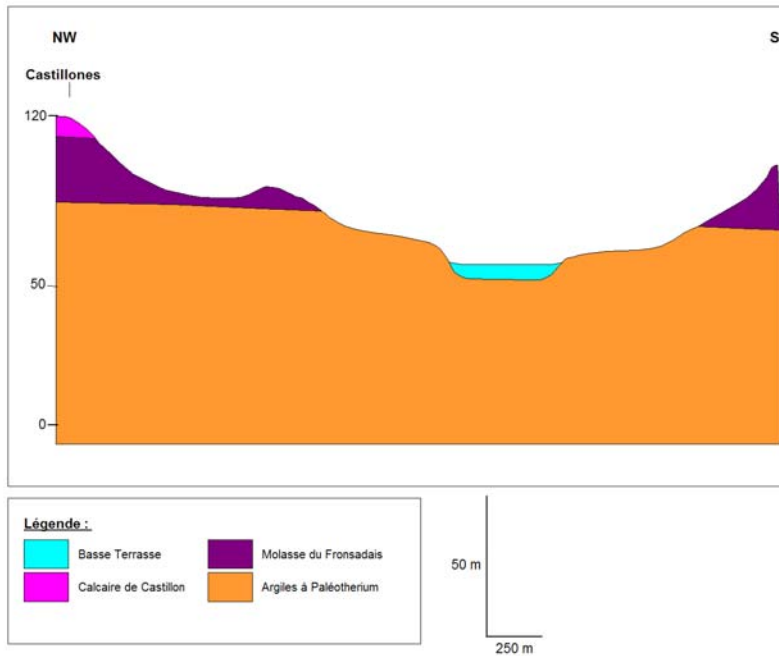
Coupe 10



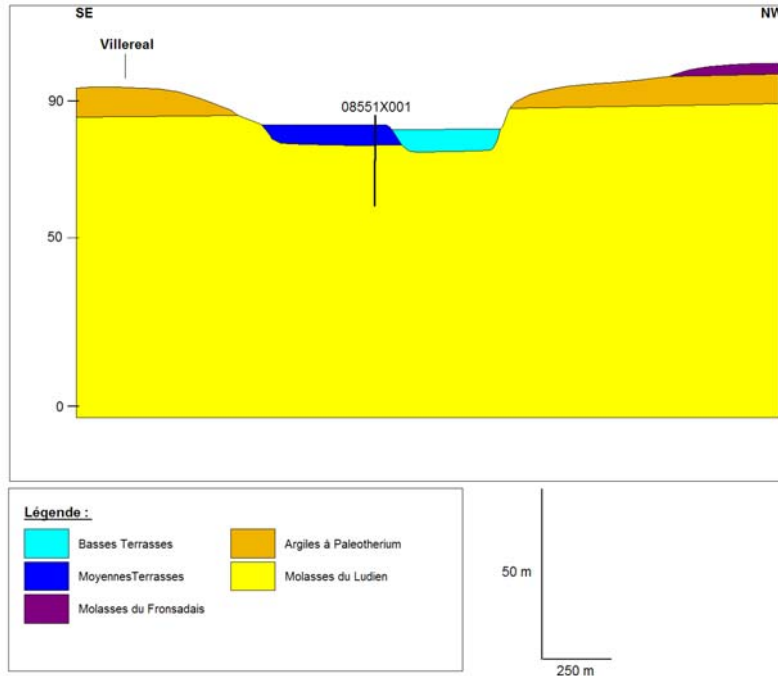
Coupe 11



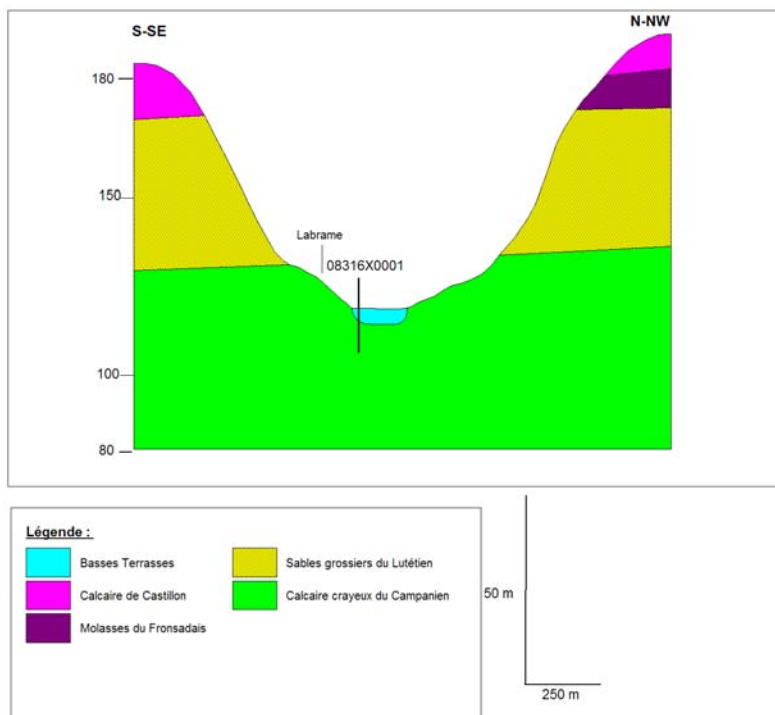
Coupe 12



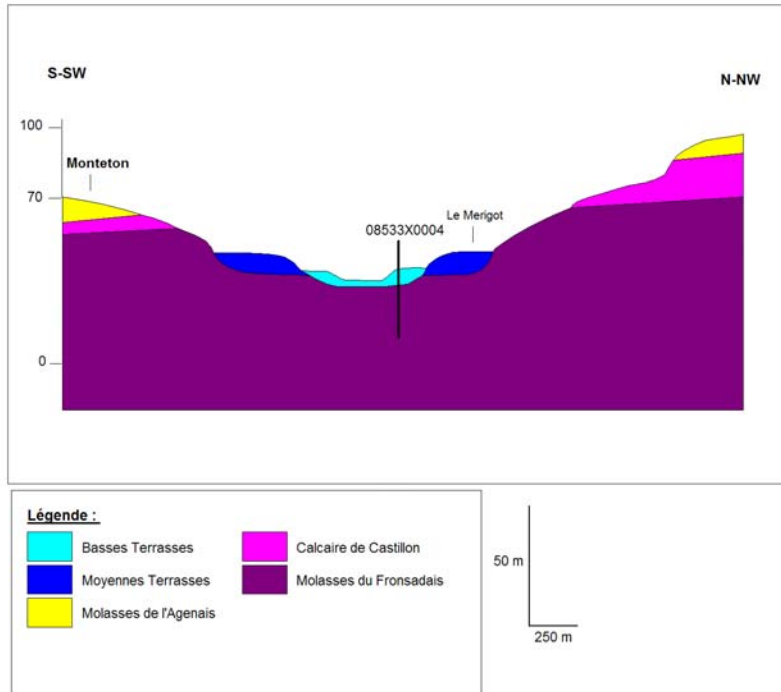
Coupe 13



Coupe 14



Coupe 15



Annexe 3

Bilan hydrologique

Calcul des pluies efficaces pour les 3 stations météorologiques

Avec :

P = hauteur mensuelle cumulée des précipitations

ETP = valeur mensuelle d'évapotranspiration

RU = état de la réserve utile en eau

D(RU) = variation de la réserve utile en eau

Peff = valeur de la pluie efficace mensuelle

Station D'Eymet :

1998												
mois	janv-98	févr-98	mars-98	avr-98	mai-98	juin-98	juil-98	août-98	sept-98	oct-98	nov-98	déc-98
P	82,4	9,9	53,7	163,7	24,5	45,5	30,7	10,7	93,4	64,2	72,2	41,6
ETP	17,5	21,9	62,2	72	124,5	127,6	137,2	141,5	75,7	33,9	11,7	7,3
RU	35	23	14,5	35	0	0	0	0	17,7	35	35	35
D(RU)	0	-12	-8,5	20,5	-35	0	0	0	17,7	17,3	0	0
Peff	64,9	0	0	71,2	0	0	0	0	0	13	60,5	34,3

1999												
mois	janv-99	févr-99	mars-99	avr-99	mai-99	juin-99	juil-99	août-99	sept-99	oct-99	nov-99	déc-99
P	42,2	90,7	39,3	96,3	68	35,1	62,2	105,4	92,4	94,3	44,8	154,8
ETP	10,4	19,5	55,2	72,5	107,4	129,5	138,9	115	76,3	37,9	13,5	7,9
RU	35	35	19,1	35	0	0	0	0	16,1	35	35	35
D(RU)	0	0	-15,9	15,9	-35	0	0	0	16,1	18,9	0	0
Peff	31,8	71,2	0	7,9	0	0	0	0	0	37,5	31,3	146,9

2000												
mois	janv-00	févr-00	mars-00	avr-00	mai-00	juin-00	juil-00	août-00	sept-00	oct-00	nov-00	déc-00
P	11,2	92,8	46,8	115,9	101,3	47	63,4	56,6	30,2	106,3	220,9	55,9
ETP	8,7	20	56,1	75,4	109,1	134,1	135,8	121,6	78,8	37,6	18,8	15,6
RU	35	35	25,7	35	27,2	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	-9,3	9,3	-7,8	-27,2	0	0	0	35	0	0
Peff	2,5	72,8	0	31,2	0	0	0	0	0	33,7	202,1	40,3

2001												
mois	janv-01	févr-01	mars-01	avr-01	mai-01	juin-01	juil-01	août-01	sept-01	oct-01	nov-01	déc-01
P	99,3	33	144,9	144,5	74	20,2	71,3	57,9	42,6	67,6	27,6	19
ETP	17,9	23,5	52,3	70,8	112,4	139,7	133,3	121,9	66,5	47,5	12,1	7,3
RU	35	35	35	35	0	0	0	0	0	20,1	35	35
D(RU)	0	0	0	0	-35	0	0	0	0	20,1	14,9	0
Peff	81,4	9,5	92,6	73,7	0	0	0	0	0	0	0,6	11,7

2002												
mois	janv-02	févr-02	mars-02	avr-02	mai-02	juin-02	juil-02	août-02	sept-02	oct-02	nov-02	déc-02
P	20,9	57	28,2	32,4	107,7	46,3	46,9	60,5	42,6	57,7	90,2	78,7
ETP	13,1	23,1	59,9	82,6	101,7	124,1	130,2	101,5	76,5	44,5	18,8	15,3
RU	35	35	3,3	0	6	0	0	0	0	13,2	35	35
D(RU)	0	0	-31,7	-3,3	6	-6	0	0	0	13,2	21,8	0
Peff	7,8	33,9	0	0	0	0	0	0	0	0	49,6	63,4

2003												
mois	janv-03	févr-03	mars-03	avr-03	mai-03	juin-03	juil-03	août-03	sept-03	oct-03	nov-03	déc-03
P	60,1	51,8	46	62,3	59,1	58,9	48,9	19,3	56,8	121,4	76,3	56,4
ETP	13,1	27,7	65,2	95,7	108,8	147,1	151,7	149,4	82,8	40,8	18	9,5
RU	35	35	15,8	0	0	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	-19,2	-15,8	0	0	0	0	0	35	0	0
Peff	47	24,1	0	0	0	0	0	0	0	45,6	58,3	46,9

2004												
mois	janv-04	févr-04	mars-04	avr-04	mai-04	juin-04	juil-04	août-04	sept-04	oct-04	nov-04	déc-04
P	165,1	18,8	48,9	37	21,7	11,4	38	116,5	10	78,4	24,4	66,5
ETP	12,1	17,1	40,9	66	103,1	138,5	125,2	105	67,6	38,2	12,7	5,4
RU	35	35	35	6	0	0	0	11,5	0	35	35	35
D(RU)	0	0	0	-29	-6	0	0	11,5	-11,5	35	0	0
Peff	153	1,7	8	0	0	0	0	0	0	5,2	11,7	61,1

2005												
mois	janv-05	févr-05	mars-05	avr-05	mai-05	juin-05	juil-05	août-05	sept-05	oct-05	nov-05	déc-05
P	34,5	21	26,6	125,5	22	11	29,5	13,3	35	57	59,5	67
ETP	8	21,2	53,5	81,5	122	153	153,4	132,7	81,3	46,3	12,3	5,5
RU	35	34,8	7,9	35	0	0	0	0	0	10,7	35	35
D(RU)	0	-0,2	-26,9	27,1	-35	0	0	0	0	10,7	24,3	0
Peff	26,5	0	0	16,9	0	0	0	0	0	0	22,9	61,5

2006												
mois	janv-06	févr-06	mars-06	avr-06	mai-06	juin-06	juil-06	août-06	sept-06	oct-06	nov-06	déc-06
P	32	58	121,5	28,4505941	40,1	49	85,3	72	149,9	35,2	72,5	43,2
ETP	6,6	19,3	52,1	84,6	113,7	152,2	161,4	112,9	82,3	45,3	14	4,5
RU	35	35	35	0	0	0	0	0	35	24,9	35	35
D(RU)	0	0	0	-35	0	0	0	0	35	-10,1	10,1	0
Peff	25,4	38,7	69,4	0	0	0	0	0	32,6	0	48,4	38,7

2007												
mois	janv-07	févr-07	mars-07	avr-07	mai-07	juin-07	juil-07	août-07	sept-07	oct-07	nov-07	déc-07
P	49,2	119,9	91,7	19,5	183,5	90,1	63,1	84,6	36,2	49,4	32	71,4
ETP	11	28,7	52,2	94,2	105,6	135,8	141,5	111,1	77,8	37,5	12,1	11,7
RU	35	35	35	0	0	0	0	0	0	11,9	31,8	35
D(RU)	0	0	0	-35	0	0	0	0	0	11,9	19,9	3,2
Peff	38,2	91,2	39,5	0	0	0	0	0	0	0	0	56,5

Station d'Issigéac :

1998												
mois	janv-98	févr-98	mars-98	avr-98	mai-98	juin-98	juil-98	août-98	sept-98	oct-98	nov-98	déc-98
P	80,6	11,1	35,2	167,4	58,4	59,7	24,3	11,1	99,5	68,7	77,7	54,6
ETP	17,5	21,9	62,2	72	124,5	127,6	137,2	141,5	75,7	33,9	11,7	7,3
RU(BT)	35	24,2	0	35	0	0	0	0	23,8	35	35	35
D(RU)	0	-10,8	-24,2	35	-35	0	0	0	23,8	11,2	0	0
Peff	63,1	0	0	60,4	0	0	0	0	0	23,6	66	47,3

1999												
mois	janv-99	févr-99	mars-99	avr-99	mai-99	juin-99	juil-99	août-99	sept-99	oct-99	nov-99	déc-99
P	53,4	82,2	51,2	128,8	73,6	42,9	56	92,3	150,9	57,7	42,7	140,9
ETP	10,4	19,5	55,2	72,5	107,4	129,5	138,9	115	76,3	37,9	13,5	7,9
RU(BT)	35	35	31	35	1,2	0	0	0	35	35	35	35
D(RU)	0	0	-4	4	-33,8	-1,2	0	0	35	0	0	0
Peff	43	62,7	0	52,3	0	0	0	0	39,6	19,8	29,2	133

2000												
mois	janv-00	févr-00	mars-00	avr-00	mai-00	juin-00	juil-00	août-00	sept-00	oct-00	nov-00	déc-00
P	14,7	97,4	45,9	122,6	65,3	62,4	44,7	69,1	22,3	108,5	207,6	62,5
ETP	8,7	20	56,1	75,4	109,1	134,1	135,8	121,6	78,8	37,6	18,8	15,6
RU(BT)	35	35	24,8	35	0	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	-10,2	10,2	-35	0	0	0	0	35	0	0
Peff	6	77,4	0	37	0	0	0	0	0	35,9	188,8	46,9

2001												
mois	janv-01	févr-01	mars-01	avr-01	mai-01	juin-01	juil-01	août-01	sept-01	oct-01	nov-01	déc-01
P	102,2	27,4	143,4	145,1	58,4	25,2	108,2	63,4	47,9	83,7	29,4	17,6
ETP	17,9	23,5	52,3	70,8	112,4	139,7	133,3	121,9	66,5	47,5	12,1	7,3
RU(BT)	35	35	35	35	0	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	0	0	-35	0	0	0	0	35	0	0
Peff	84,3	3,9	91,1	74,3	0	0	0	0	0	1,2	17,3	10,3

2002												
mois	janv-02	févr-02	mars-02	avr-02	mai-02	juin-02	juil-02	août-02	sept-02	oct-02	nov-02	déc-02
P	22,4	64,2	33,6	45	140,8	64,2	62,9	62,2	33,1	64,1	79	75,1
ETP	13,1	23,1	59,9	82,6	101,7	124,1	130,2	101,5	76,5	44,5	18,8	15,3
RU(BT)	35	35	8,7	0	35	0	0	0	0	19,6	35	35
D(RU)	0	0	-26,3	-8,7	35	-35	0	0	0	19,6	15,4	0
Peff	9,3	41,1	0	0	4,1	0	0	0	0	0	44,8	59,8

2003												
mois	janv-03	févr-03	mars-03	avr-03	mai-03	juin-03	juil-03	août-03	sept-03	oct-03	nov-03	déc-03
P	51,9	46,4	38,3	95,5	70	61,5	60,1	46	49,7	137,7	61,7	45,1
ETP	13,1	27,7	65,2	95,7	108,8	147,1	151,7	149,4	82,8	40,8	18	9,5
RU(BT)	35	35	8,1	7,9	0	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	-26,9	-0,2	-7,9	0	0	0	0	35	0	0
Peff	38,8	18,7	0	0	0	0	0	0	0	61,9	43,7	35,6

2004												
mois	janv-04	févr-04	mars-04	avr-04	mai-04	juin-04	juil-04	août-04	sept-04	oct-04	nov-04	déc-04
P	160,9	24,1	51,4	109,1	57,1	12,7	46,1	121,3	11,8	67,3	31,1	74,9
ETP	12,1	17,1	40,9	66	103,1	138,5	125,2	105	67,6	38,2	12,7	5,4
RU(BT)	35	35	35	35	0	0	0	16,3	0	29,1	35	35
D(RU)	0	0	0	0	-35	0	0	16,3	-16,3	29,1	5,9	0
Peff	148,8	7	10,5	43,1	0	0	0	0	0	0	12,5	69,5

2005												
mois	janv-05	févr-05	mars-05	avr-05	mai-05	juin-05	juil-05	août-05	sept-05	oct-05	nov-05	déc-05
P	30,5	27,3	39,9	102,6	47,5	23,3	31,4	13,2	43,5	62,1	58,2	67,7
ETP	8	21,2	53,5	81,5	122	153	153,4	132,7	81,3	46,3	12,3	5,5
RU(BT)	35	35	21,4	35	0	0	0	0	0	15,8	35	35
D(RU)	0	0	-13,6	13,6	-35	0	0	0	0	15,8	19,2	0
Peff	22,5	6,1	0	7,5	0	0	0	0	0	0	26,7	62,2

2006												
mois	janv-06	févr-06	mars-06	avr-06	mai-06	juin-06	juil-06	août-06	sept-06	oct-06	nov-06	déc-06
P	40,3	61,3	129	26,7	73,3	51,1	120,9	60,9	108,7	43,8	70,5	41,9
ETP	6,6	19,3	52,1	84,6	113,7	152,2	161,4	112,9	82,3	45,3	14	4,5
RU(BT)	35	35	35	0	0	0	0	0	26,4	24,9	35	35
D(RU)	0	0	0	-35	0	0	0	0	26,4	-1,5	10,1	0
Peff	33,7	42	76,9	0	0	0	0	0	0	0	46,4	37,4

2007												
mois	janv-07	févr-07	mars-07	avr-07	mai-07	juin-07	juil-07	août-07	sept-07	oct-07	nov-07	déc-07
P	55,5	109,9	75,4	27,9	127,5	57,3	67,1	128,9	28,7	29,1	30,5	62,2
ETP	11	28,7	52,2	94,2	105,6	135,8	141,5	111,1	77,8	37,5	12,1	11,7
RU(BT)	35	35	35	0	21,9	0	0	17,8	0	0	18,4	35
D(RU)	0	0	0	-35	21,9	-21,9	0	17,8	-17,8	0	18,4	16,6
Peff	44,5	81,2	23,2	0	0	0	0	0	0	0	0	33,9

2008												
mois	janv-08	févr-08	mars-08	avr-08	mai-08	juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08	déc-08
P	120,3	23,1	93,5	114,2	135,4	71	47,5	77,5	53,8	75,4	85,7	67
ETP	8,4	29,9	47,3	72,1	102	125,9	142,9	118	70,4	37,2	11,4	5,9
RU(BT)	35	28,2	35	35	35	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	-6,8	6,8	0	0	-35	0	0	0	35	0	0
Peff	111,9	0	39,4	42,1	33,4	0	0	0	0	3,2	74,3	61,1

Station de Saint Sulpice de Pommiers :

2002												
mois	janv-02	févr-02	mars-02	avr-02	mai-02	juin-02	juil-02	août-02	sept-02	oct-02	nov-02	déc-02
P	24,8	51,0	32,7	39,4	83,4	32,2	42,4	82,7	52,4	57,2	93,5	69,4
ETP	13,1	23,1	59,9	82,6	101,7	124,1	130,2	101,5	76,5	44,5	18,8	15,3
RU	35	35	7,8	0,0	0	0	0	0	0	12,7	35	35
D(RU)	0	0	-27,2	-7,8	0	0	0	0	0	12,7	22,3	0
Peff	11,7	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,4	54,1

2003												
mois	janv-03	févr-03	mars-03	avr-03	mai-03	juin-03	juil-03	août-03	sept-03	oct-03	nov-03	déc-03
P	67,8	46,2	41,8	63	76,7	60,4	55,7	46,8	38,2	90,4	79,2	52
ETP	13,1	27,7	65,2	95,7	108,8	147,1	151,7	149,4	82,8	40,8	18	9,5
RU(MT)	35	35	11,6	0	0	0	0	0	0	35	35	35
D(RU)	0	0	-23,4	-11,6	0	0	0	0	0	35	0	0
Peff	54,7	18,5	0	0	0	0	0	0	0	14,6	61,2	42,5

2004												
mois	janv-04	févr-04	mars-04	avr-04	mai-04	juin-04	juil-04	août-04	sept-04	oct-04	nov-04	déc-04
P	145	18,8	43,4	69,2	55	3,2	64	119,9	23,6	96	12	59,6
ETP	12,1	17,1	40,9	66	103,1	138,5	125,2	105	67,6	38,2	12,7	5,4
RU(MT)	35	35	35	35	0	0	0	14,9	0	35	34,3	35
D(RU)	0	0	0	0	-35	0	0	14,9	-14,9	35	-0,7	0,7
Peff	132,9	1,7	2,5	3,2	0	0	0	0	0	22,8	0	53,5

2005												
mois	janv-05	févr-05	mars-05	avr-05	mai-05	juin-05	juil-05	août-05	sept-05	oct-05	nov-05	déc-05
P	35,4	13,6	29	128,3	15,6	7	15,6	28,5	57,7	52,8	57	74,2
ETP	8	21,2	53,5	81,5	122	153	153,4	132,7	81,3	46,3	12,3	5,5
RU(MT)	35	27,4	2,9	35	0	0	0	0	0	6,5	35	50
D(RU)	0	-7,6	-24,5	32,1	-35	0	0	0	0	6,5	28,5	0
Peff	27,4	0	0	14,7	0	0	0	0	0	0	16,2	68,7

2006												
mois	janv-06	févr-06	mars-06	avr-06	mai-06	juin-06	juil-06	août-06	sept-06	oct-06	nov-06	déc-06
P	35,4	52,6	117,7	23,6	60,6	31	55,5	50,9	101,8	33,8	43,6	34
ETP	6,6	19,3	52,1	84,6	113,7	152,2	161,4	112,9	82,3	45,3	14	4,5
RU(MT)	35	35	35	0	0	0	0	0	19,5	8	35	35
D(RU)	0	0	0	-35	0	0	0	0	19,5	-11,5	27	0
Peff	28,8	33,3	65,6	0	0	0	0	0	0	0	2,6	29,5

2007												
mois	janv-07	févr-07	mars-07	avr-07	mai-07	juin-07	juil-07	août-07	sept-07	oct-07	nov-07	déc-07
P	61,8	107,8	73,4	17	135,9	68,8	60,7	89,7	55	23,6	41	75,5
ETP	11	28,7	52,2	94,2	105,6	135,8	141,5	111,1	77,8	37,5	12,1	11,7
RU(MT)	35	35	35	0	30,3	0	0	0	0	0	28,9	35
D(RU)	0	0	0	-35	30,3	-30,3	0	0	0	0	28,9	6,1
Peff	50,8	79,1	21,2	0	0	0	0	0	0	0	0	57,7

2008												
mois	janv-08	févr-08	mars-08	avr-08	mai-08	juin-08	juil-08	août-08	sept-08	oct-08	nov-08	déc-08
P	97	26,2	96,8	79,8	110,3	49,3	49,9	84,4	41,3	66,4	85,6	61,7
ETP	8,4	29,9	47,3	72,1	102	125,9	142,9	118	70,4	37,2	11,4	5,9
RU(MT)	35	31,3	35	35	35	0	0	0	0	29,2	35	35
D(RU)	0	-3,7	3,7	0	0	-35	0	0	0	29,2	5,8	0
Peff	88,6	0	45,8	7,7	8,3	0	0	0	0	0	68,4	55,8

Annexe 4

Modèles hydrologiques

Modèle de Thornthwaite par année hydrologique

Avec Ec_sup = Ecoulement superficiel et Peff = Pluie efficace

	nov.-01	déc.-01	janv.-02	févr.-02	mars-02	avr.-02	mai-02	juin-02	juil.-02	août-02	sept.-02	oct.-02
Peff du bassin versant	3,08946249	5,61829323	6,10598284	20,8974254	0	0	0,68456187	0	0	0	0	0
Ec_sup calculé	2,47823465	2,25789859	2,7419313	5,26237026	5,63816208	2,95854156	3,36426825	4,79195599	0,89271435	1,20002855	1,15101502	1,29086097
Ec_sup observé sur le Dropt	1,28596667	1,13383871	1,37690323	2,92571429	2,83129032	1,5352	1,68941935	2,48656667	0,44829032	0,6026129	0,59726667	0,64822581

	nov.-02	déc.-02	janv.-03	févr.-03	mars-03	avr.-03	mai-03	juin-03	juil.-03	août-03	sept.-03
Peff du bassin versant	30,9181413	36,714812	23,0961075	10,4463956	0	0	0	0	0	0	0
Ec_sup calculé	3,92467985	10,4810587	13,818861	27,0756401	16,4192119	4,38102602	10,8659081	2,09190781	1,12634766	0,86355033	0,89226468
Ec_sup observé sur le Dropt	2,03653333	5,26322581	6,93935484	15,0532143	8,24516129	2,27333333	5,45648387	1,0855	0,5656129	0,43364516	0,463

	oct.-03	nov.-03	déc.-03	janv.-04	févr.-04	mars-04	avr.-04	mai-04	juin-04	juil.-04	août-04	sept.-04
Peff du bassin versant	21,635555	27,0758205	21,01172	73,279112	1,73492144	3,7279649	7,597383	0	0	0	0	0
Ec_sup calculé	1,72446691	4,70446394	17,0352535	72,7372372	12,0919685	12,0234112	21,4047167	14,8762171	1,76198186	1,25071227	2,22327435	1,05787004
Ec_sup observé sur le Dropt	0,86596774	2,44116667	8,55451613	36,526129	6,72275862	6,03774194	11,107	7,47032258	0,9143	0,62806452	1,11645161	0,54893333

	oct.-04	nov.-04	déc.-04	janv.-05	févr.-05	mars-05	avr.-05	mai-05	juin-05	juil.-05	août-05	sept.-05	oct.-05
Peff du bassin versant	3,93801797	4,51692302	30,9998213	12,694954	1,01849449	0	6,60473634	0	0	0	0	0	0
Ec_sup calculé	1,71573056	1,75947658	5,5043545	7,11756134	5,94329219	4,71313606	17,5482487	4,95338587	1,24338914	1,06634944	0,98752952	0,78562974	0
Ec_sup observé sur le Dropt	0,86158065	0,913	2,76409677	3,57419355	3,30428571	2,36677419	9,10586207	2,48741935	0,6452	0,53548387	0,49590323	0,40766667	0

Modèle avec écoulements différés par année hydrologique

Avec **Peff** = pluie mensuelle efficace du bassin versant, **Somme Excédent** = excédent total calculé, **EcDiff(n+1)** et **EcDiff(n+2)** = écoulements différés, **EcSup** et **Lame d'eau Ec** = lames d'eau écoulées théoriques et observées

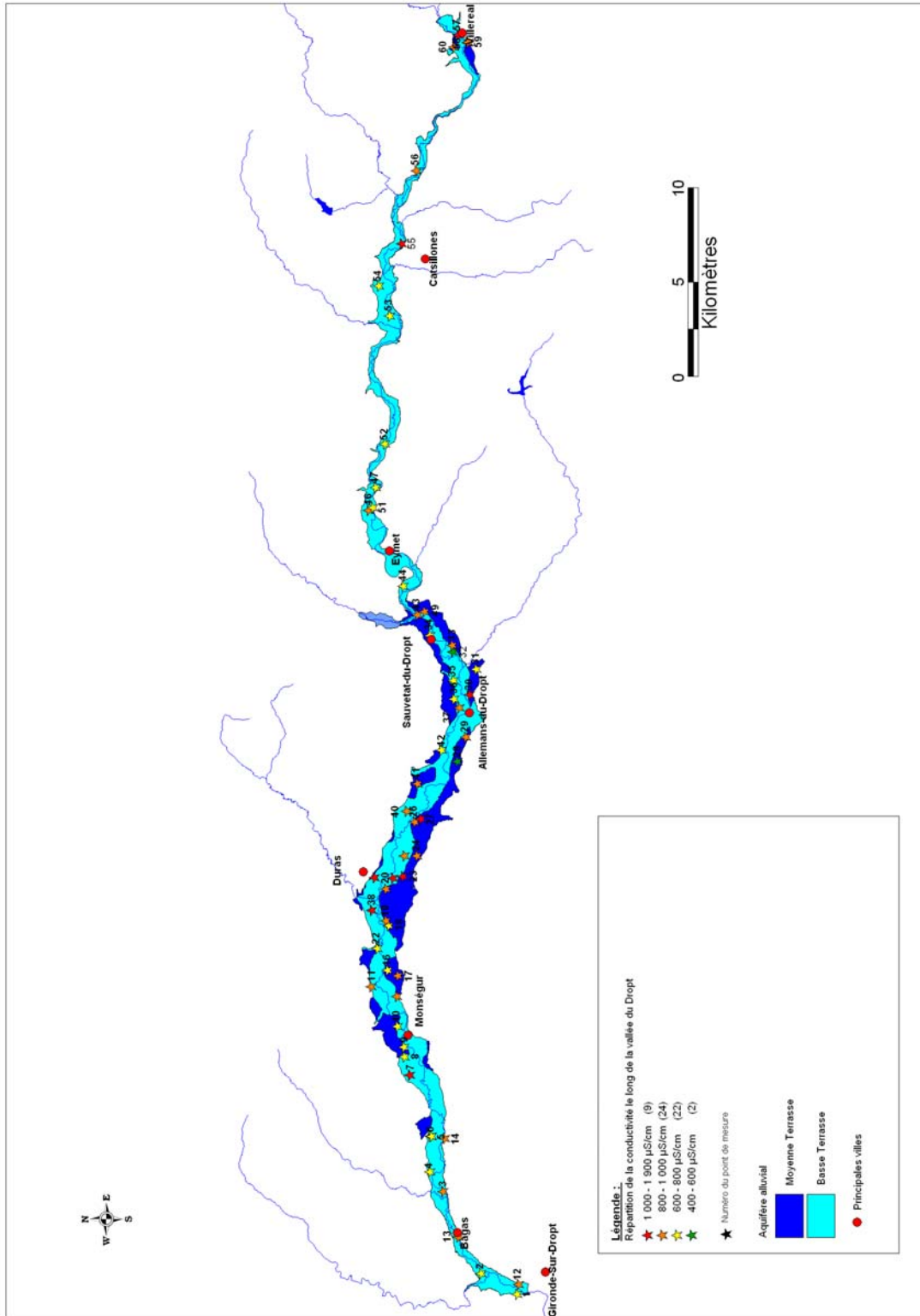
	nov-01	déc-01	janv-02	févr-02	mars-02	avr-02	mai-02	juin-02	juil-02	août-02	sept-02	oct-02	
Peff	6,18	11,23	9,28	34,80	0,00	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Somme Excédent	6,18	15,56	21,40	52,89	41,31	41,47	27,40	40,90	35,82	24,71	30,82	27,46	
Paramètres calculés													
Ec Sup	0,62	1,56	2,14	5,29	4,13	1,97	2,74	4,09	1,71	1,18	1,47	1,31	
Ec Diff (n+1)	4,32	10,89	14,98	37,03	28,91	17,77	19,18	28,63	15,35	10,59	13,21	11,77	
Ec Diff (n+2)	1,24	3,11	4,28	10,58	8,26	21,72	5,48	8,18	18,76	12,94	16,14	14,38	
Valeurs observées													
Lame d'eau Ec	2,48	2,26	2,74	5,26	5,64	2,96	3,36	4,79	0,89	1,20	1,15	1,29	
	nov-02	déc-02	janv-03	févr-03	mars-03	avr-03	mai-03	juin-03	juil-03	août-03	sept-03		
Peff	48,70	59,87	46,19	20,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Somme Excédent	48,70	93,96	121,70	124,87	99,26	99,18	65,48	84,02	73,82	79,43	76,34		
Paramètres calculés													
Ec Sup	4,87	9,40	12,17	24,97	9,93	4,72	3,12	4,00	3,52	3,78	3,64		
Ec Diff (n+1)	34,09	65,77	85,19	74,92	69,49	42,51	28,06	36,01	31,64	34,04	32,72		
Ec Diff (n+2)	9,74	18,79	24,34	24,97	19,85	51,95	34,30	44,01	38,67	41,61	39,99		
Valeurs observées													
Lame d'eau Ec	3,92	10,48	13,81	27,07	16,41	4,38	10,86	2,09	1,13	0,86	0,89		
	oct-03	nov-03	déc-03	janv-04	févr-04	mars-04	avr-04	mai-04	juin-04	juil-04	août-04	sept-04	
Peff	43,27	54,15	42,02	146,56	3,47	7,46	15,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Somme Excédent	43,27	84,44	109,79	229,32	163,02	167,43	165,00	132,49	132,03	87,24	111,87	98,32	
Paramètres calculés													
Ec Sup	4,33	8,44	21,96	45,86	16,30	16,74	33,00	13,25	6,29	4,15	5,33	4,68	
Ec Diff (n+1)	30,29	59,11	65,87	137,59	114,11	117,20	99,00	92,74	56,58	37,39	47,94	42,14	
Ec Diff (n+2)	8,65	16,89	21,96	45,86	32,60	33,49	33,00	26,50	69,16	45,69	58,60	51,50	
Valeurs observées													
Lame d'eau Ec	1,72	4,70	17,04	72,74	12,09	12,02	21,40	14,88	1,76	1,25	2,22	1,06	
	oct-04	nov-04	déc-04	janv-05	févr-05	mars-05	avr-05	mai-05	juin-05	juil-05	août-05	sept-05	oct-05
Peff	7,88	9,03	62,00	25,39	2,04	0,00	13,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Somme Excédent	7,88	14,55	73,76	79,93	72,74	66,90	74,59	58,13	58,39	38,49	49,43	43,41	46,72
Paramètres calculés													
Ec Sup	0,79	1,45	7,38	7,99	7,27	6,69	14,92	5,81	2,78	1,83	2,35	2,07	2,22
Ec Diff (n+1)	5,51	10,18	51,63	55,95	50,92	46,83	44,75	40,69	25,03	16,49	21,19	18,61	20,02
Ec Diff (n+2)	1,58	2,91	14,75	15,99	14,55	13,38	14,92	11,63	30,59	20,16	25,89	22,74	24,47
Valeurs observées													
Lame d'eau Ec	1,72	1,76	5,50	7,12	5,94	4,71	17,55	4,95	1,24	1,07	0,99	0,79	0,00

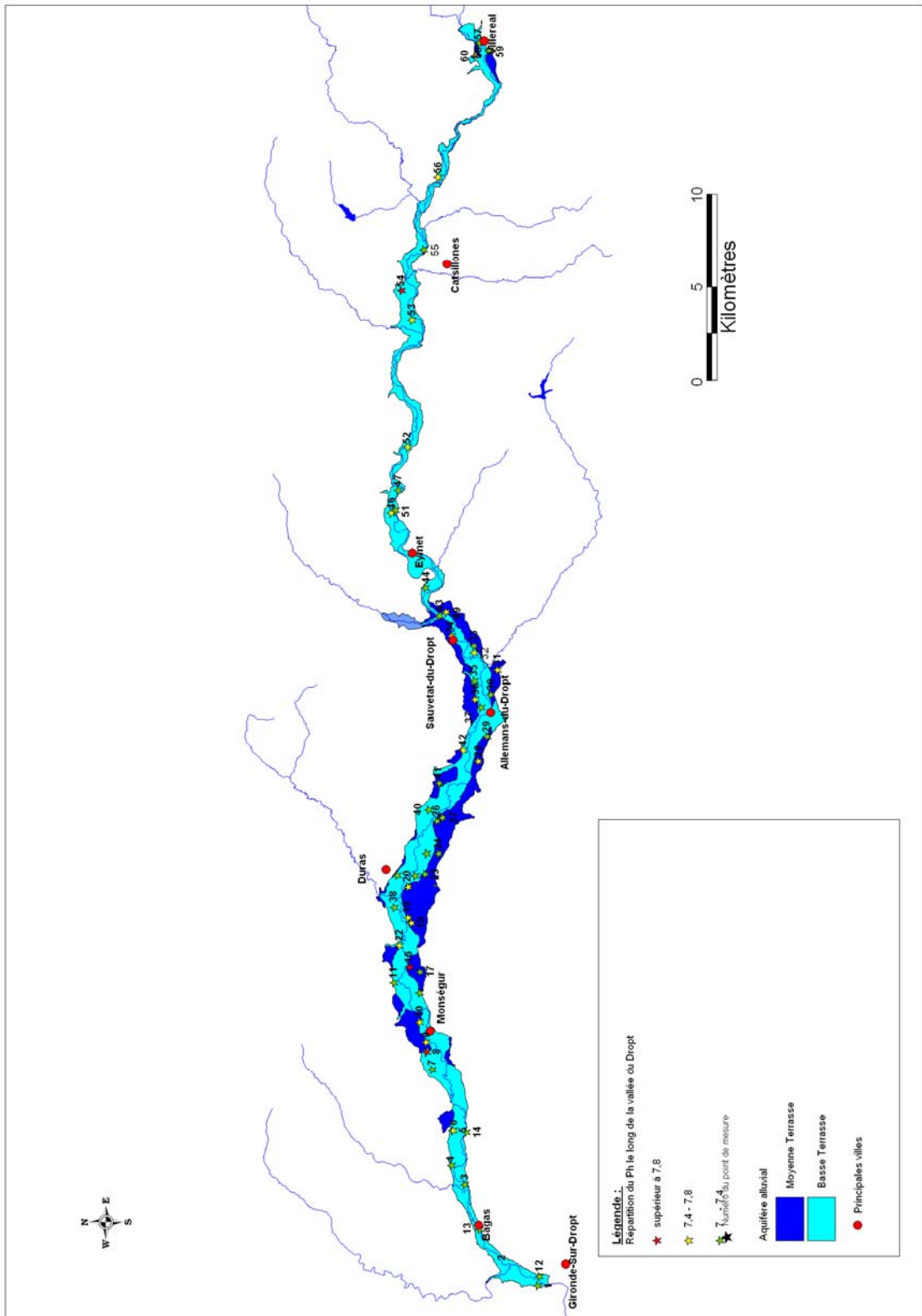
Annexe 5

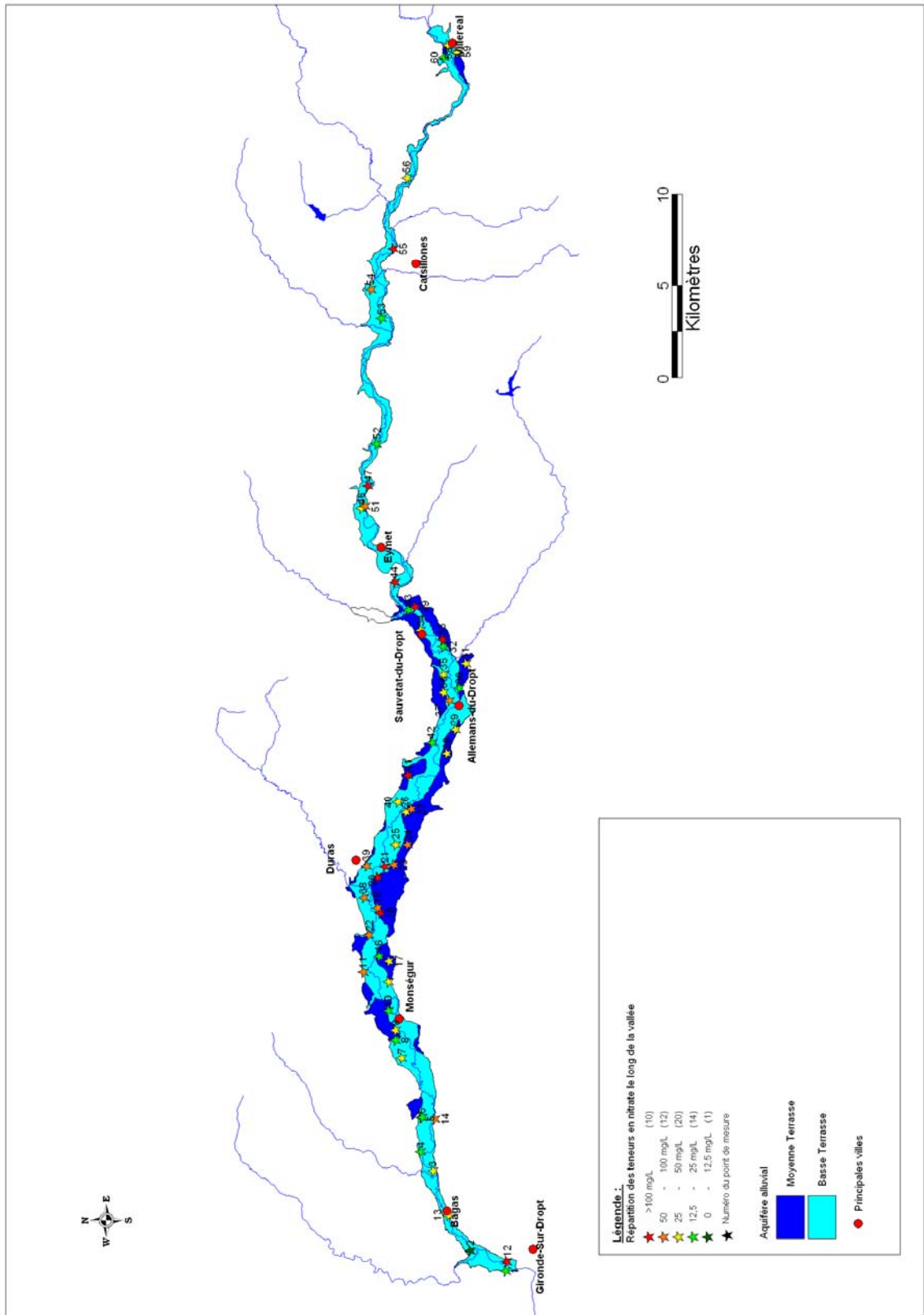
Mesures piézométriques et qualité de la nappe alluviale

**Niveaux piézométriques, conductivités, pH et teneurs en nitrates des forages
 visités en février 2009**

numéro_puit	X	L2E	Y	L2E	conductivitéµS_cm_1	pH	Température	Nitrate_mg_L_1	altitude	Cote piézométrique	positionnement
1	406824,58		1958185,63		775	7,33	10,7	12,5	21	20,32	basse terrasse
2	407904,29	1960080,53			614	0	8,9	0	15	13,72	basse terrasse
3	412231,85	1962097,56			922	7,04	11,6	25	15	11,48	basse terrasse
4	413255,87	1962784,3			784	7,24	11,7	12,5	18	16,77	basse terrasse
5	415120,84	1962737,99			718	7,41	9,1	12,5	20	18,63	basse terrasse
6	415119,42	1962689,83			634	7,47	10	12,5	19	17,8	basse terrasse
7	418357,1	1963827,54			1089	7,1	10,6	25	25	23,66	basse terrasse
8	419334,6	1964130,99			649	8,08	9,9	12,5	24	22,48	basse terrasse
9	419851,17	1964147,56			685	7,45	10	25	26	25,9	moyenne terrasse
10	420926,82	1964509,59			792	7,41	9,2	12,5	25	24,31	moyenne terrasse
11	423031,04	1965873,28			960	7,26	8,5	50	25	23,4	basse terrasse
12	407327,4	1958107,4			993	7,18	11,1	100	16	11,99	basse terrasse
13	409829,6	1961289			876	7,32	11,5	25	16	12,61	basse terrasse
14	415020,2	1962011,8			855	7,38	13,2	50	16	13,35	basse terrasse
15	422499,07	1964520,24			975	7,2	12,2	25	28	27,13	basse terrasse
16	423890,78	1965025,8			622	7,85	9,4	12,5	33	32,45	moyenne terrasse
17	423612,03	1964479,37			935	7,17	11,1	25	34	33,08	moyenne terrasse
18	426250,41	1964954,01			768	7,55	9,9	100	37	36,19	moyenne terrasse
19	426495,56	1965110,33			810	7,53	9,8	50	37	35,39	moyenne terrasse
20	428157,15	1965106,93			984	7,75	9,2	100	37	36,33	moyenne terrasse
21	428735,66	1964735,07			1084	7,32	8,9	100	31	30,06	basse terrasse
22	425028,23	1965577,74			797	7,45	9	50	26	25,25	basse terrasse
23	428829,88	1964215,26			1245	7,31	10,3	50	32	28,94	moyenne terrasse
24	429925,22	1963478,96			868	7,31	8,9	50	35	31,88	moyenne terrasse
25	429934,06	1964142,4			819	7,12	8,5	25	32	31,21	basse terrasse
26	431701,35	1963586,48			857	7,1	9,6	25	38	36,86	moyenne terrasse
27	431876,81	1963272,16			1079	7,17	11,5	50	41	39,86	moyenne terrasse
28	434914,56	1961350,15			430	7,55	11,2	25	45	42,32	moyenne terrasse
29	436230,27	1960894,64			815	7,17	9,8	25	46	42,55	moyenne terrasse
30	438466,07	1960688,03			1001	7,26	12,3	12,5	42	40,73	moyenne terrasse
31	439803,11	1960327,28			618	7,49	11,2	25	46	41,35	moyenne terrasse
32	440714,28	1961584,9			412	7,44	11,8	12,5	41	36,87	basse terrasse
33	441075,67	1961586,8			873	7,19	13,2	100	55	53,53	moyenne terrasse
34	441590,67	1962789,76			733	7,42	9,4	25	41	39,69	moyenne terrasse
35	439200,59	1961553,3			721	7,38	9,5	25	43	41,95	basse terrasse
36	438223,07	1961526,68			752	7,44	12,1	25	53	51,34	moyenne terrasse
37	437779,69	1961223,05			888	7,06	9,3	50	40	39,53	basse terrasse
38	427062,82	1965862,05			1361	7,14	10,2	50	30	28,56	basse terrasse
39	428785,11	1965716,24			1403	7,34	10,5	50	33	31,67	basse terrasse
40	432272,55	1964012,3			962	7,28	8,3	25	33	32,11	basse terrasse
41	433735,59	1963452,18			883	7,24	12,2	100	53	50,99	moyenne terrasse
42	435518,77	1962175,81			708	7,49	9,7	12,5	42	40,68	moyenne terrasse
43	442675,03	1963440,77			978	7,32	10,4	12,5	42	40,22	basse terrasse
44	444200,62	1964181,02			771	7,28	12,3	100	46	43,75	basse terrasse
45	444790,96	1964032,83			658	7,82	10,4	50	54	52,52	hors zone etude
46	448216,861	1966013,47			862	7,49	9,2	25	49	48,35	basse terrasse
47	449432,92	1965655,87			689	7,27	8,9	100	52	50,88	basse terrasse
48	453534,53	1964649,83			543	7,52	9,3	25	56	53,68	basse terrasse
49	442865,546	1963072,64			940	7,41	12,2	100	56	53,34	basse terrasse
50	443492,09	1963414,65			524	7,91	11	12,5	47	45,21	hors zone etude
51	448358,44	1965798,71			730	7,21	9,4	50	52	50,29	basse terrasse
52	451722,49	1965159,8			761	7,46	9,2	12,5	54	53,13	basse terrasse
53	458498,41	1964917			773	7,46	12	12,5	64	63,19	basse terrasse
54	460070,39	1965474,66			728	7,94	9,1	50	66	64,22	basse terrasse
55	462298,59	1964262,83			1886	7,12	10,7	100	64	61,61	basse terrasse
56	466163,44	1963507,65			879	7,57	10,7	25	70	69,23	basse terrasse
57	473319,09	1961297			1027	7,32	10,6	25	86	84,13	basse terrasse
58	472905,14	1960790,13			969	7,45	13,9	25	85	83,72	moyenne terrasse
59	472949,78	1960772,54			864	7,3	11,9	25	87	85,04	moyenne terrasse
60	472672,36	1961510,35			820	7,41	10,7	12,5	84	82,3	moyenne terrasse









Géosciences pour une Terre durable

brgm

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