

INSTITUTION ADOUR (40)

**ETUDE BILAN BESOINS-RESSOURCES
SUR LE BASSIN DE LA MIDOUZE (32-40)**

***IMPACT DES PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES
SUR LES ECOULEMENTS SUPERFICIELS DU BASSIN***

JUIN 2007

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	3
2 - AQUIFERES ET RELATIONS AVEC LES ECOULEMENTS.....	5
3 - RAPPEL DE L'IMPORTANCE DES APPORTS DES NAPPES DANS LES ECOULEMENTS D'ETIAGE DE LA MIDOUZE	9
3.1 - Approches hydrogéologiques.....	9
3.2 - Approches hydrologiques	9
4 - LES PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES	15
4.1 - Analyse globale	15
4.2 - Analyse détaillée de la répartition des forages	16
5 - LES IMPACTS DES PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES.....	25
5.1 - Evaluation des prélèvements réels dans les nappes	25
5.2 - Impacts des prélèvements sur les nappes elles-mêmes.....	26
5.3 - Les impacts des prélèvements sur les écoulements.....	28
6 - CONCLUSION GENERALE.....	51

1 - INTRODUCTION

Les prélèvements dans les nappes représentent environ 70% des prélèvements d'eau totaux (et 71% des prélèvements d'eau d'irrigation) sur le bassin de la Midouze.

Il est certain qu'une partie plus ou moins importante de ces prélèvements s'effectue au détriment des écoulements superficiels, auxquels contribue largement le drainage des nappes dites « d'accompagnement » des cours d'eau. Selon les résultats de notre étude de Juin 2005 (*« Etude contribuant à la mise en place d'une gestion globale et équilibrée sur le bassin versant de la Midouze par une détermination hydrobiologique de débits de référence »*, CACG, Juin 2005 ⁽¹⁾), c'est environ 90% du débit naturel du mois d'Août qui proviendrait, à Campagne et au confluent Midouze-Adour, de cet apport souterrain.

Le taux d'influence d'un pompage en nappe sur un aquifère interconnecté dépend de multiples facteurs qui rendent sa détermination passablement complexe : nature et état de la relation nappe-rivière, paramètres hydrodynamiques -transmissivité et emmagasinement- de la nappe, durée du pompage, distance avec la rivière,... A l'échelle d'un secteur exploité, ou d'un sous-bassin, les phénomènes se compliquent par suite des interférences entre pompages. La détermination directe des influences « par l'amont », c'est-à-dire en partant des captages est donc quasiment impossible, sauf si elle s'effectue à l'aide d'un modèle mathématique de nappe. Encore dans ce cas, le calage du modèle en régime transitoire devra-t-il tenir compte de la variation du débit restitué à l'exutoire due aux effets des prélèvements.

Dans le cas considéré ici, correspondant à l'ensemble de la partie landaise du bassin de la Midouze, et dans l'attente des résultats de la modélisation en cours, la seule approche possible nous semble être :

1. L'évaluation globale (à Mont-de-Marsan et Campagne, stations stables et à long historique, et par transposition de ces résultats au niveau du confluent Midouze-Adour) de l'influence de l'ensemble des prélèvements en nappe sur le débit d'étiage de la Midouze.
2. La comparaison de cette influence, exprimée en volume et en débit, avec le volume et le débit des prélèvements correspondants, fournissant un coefficient global d'influence.
3. Si les données le permettent, la recherche d'une péréquation permettant d'établir des coefficients d'influence partiels, par aquifère et par zone.

⁽¹⁾ Cette étude sera souvent citée ici, sous le nom de « *Etude débits de référence Midouze 2005* »).

2 - AQUIFERES ET RELATIONS AVEC LES ECOULEMENTS

Les aquifères du bassin de la Midouze susceptibles d'intervenir dans le bilan besoins-ressources sont de haut en bas :

- **le Plio-Quaternaire**, système multicouche avec de bas en haut des Sables Fauves, les formations d'Arengosse et d'Onesse, les sables des Landes, directement connectés aux écoulements superficiels qui les drainent,
- **le Miocène** avec ses deux niveaux aquifères :
 - . **Aquitaniens** à la base,
 - . **Helvétiques** au sommet,

l'Aquitaniens est réputé peu connecté avec les écoulements, sauf au niveau des « fenêtres » où le Burdigalien imperméable qui sépare les deux niveaux se trouve érodé dans les vallées ; l'Helvétique est étroitement connecté, notamment à l'amont de Mont-de-Marsan,
- **l'Oligocène**, supposé sans relation, sauf également très localement (pourtour de l'anticlinal de Roquefort),
- **l'Eocène** de la nappe inframolassique, exploité pour l'eau potable mais sans relation avec les cours d'eau, sauf très localement (Barbottan-Les-Thermes),
- **le Crétacé supérieur**, localement rechargé mais non drainé par les cours d'eau dans la fenêtre de l'anticlinal de Créon, drainé par la Douze et l'Estampon dans la fenêtre de l'anticlinal de Roquefort, cours d'eau auxquels il est susceptible d'apporter un débit significatif.

Ces aquifères ont fait l'objet, ces dernières années, de plusieurs classifications successives (codes aquifères de la B.D.E.S. de l'Aquitaine, masses d'eau souterraines de la DCE). Dans la mesure où les fichiers des prélèvements agricoles du département des Landes reclassent ces derniers par *codes aquifères*, l'utilisation de cette nomenclature semble plus ou moins incontournable. A contrario, l'emploi de la codification masses d'eau DCE ne s'est pas révélé possible dans l'analyse de l'impact des prélèvements en nappe car on ne connaît pas les prélèvements agricoles affectables à chacune de ces masses d'eau.

Le tableau 1 reclasse les attributions de ces codes aquifères à la fois dans l'échelle stratigraphique (dans le plan vertical) et par grands secteurs du bassin (dans le plan horizontal), du Sud-Est (amont) à droite au Sud-Ouest (aval) à gauche. On constate que, si le code « Oligocène 230 » conserve son individualité sur l'ensemble du bassin, les autres sont susceptibles d'agglomérer des formations différentes dans différents secteurs du bassin. Ainsi, par exemple le code « Miocène 235 » représente-t-il le Miocène sens strict (Aquitaniens-Burdigalien-Helvétique), tandis que le code « Miocène-Armagnac 565 » inclut, au-dessus de ces formations, les formations Mio-Pliocènes (Sables Fauves et Formation d'Arengosse).

Le tableau 2 reprend les 7 codes aquifères principaux et montre cette fois, d'une part leur répartition sur les différents sous-bassins hydrographiques, d'autre part leur relation avec les écoulements superficiels. On voit que, nappe infra-molassique et oligocène mis à part, toutes les autres unités sont en communication avec les écoulements, de façon localisée ou indirecte pour l'Aquitaniens, de façon directe pour les aquifères compris entre l'Helvétique et le Quaternaire.

3 - RAPPEL DE L'IMPORTANCE DES APPORTS DES NAPPES DANS LES ECOULEMENTS D'ETIAGE DE LA MIDOUZE

Plusieurs approches ont été tentées dans l'étude CACG « *débits de référence Midouze 2005* » pour tenter de caractériser les apports des nappes à différentes échelles.

3.1 - Approches hydrogéologiques

Une approche globale sommaire basée sur une interprétation des cartes piézométriques et l'application de la loi de Darcy a conduit tout d'abord à délimiter une fourchette d'évaluation des flux drainés comprise entre 4,2 et 42 m³/s, la limite supérieure étant considérée comme fortement surévaluée. Ramenés au kilomètre de berge des lits (320 km de berges + 100 km de « fenêtres » aquitaniennes), ces chiffres équivalaient à un apport moyen de 10 à 100 l/s/km de berge.

Un modèle de nappe calé en 1987 par le BRGM, couvrant la majeure partie du bassin de la Midouze (mais pas l'Estampon et l'amont du bassin de la Gouaneyre, ni la région à l'aval de Meilhan a fourni les valeurs suivantes d'apports des nappes du Miocène (recouvrant les unités 128, 235 et 565) :

- Helvétien = 4,75 m³/s,
 - Aquitanien = 0,3 m³/s,
- soit 5,15 m³/s d'apport pour ces deux aquifères.

Par comparaison, les débits exploités *en régime permanent* (AEP et industrie) étaient à l'époque respectivement de 0,45 et 0,17 m³/s, soit environ 12% de ces apports.

3.2 - Approches hydrologiques

L'interprétation des campagnes de jaugeage en série réalisés par le SRAE en 1987-88, qui a été exposée dans le rapport CACG de l'étude « *débits de référence Midouze 2005* » permet une mesure directe des apports intermédiaires, imputables en grande majorité aux apports de nappe si on se limite aux campagnes d'étiage.

On relève ainsi (cf. Annexe A3 du rapport CACG de Juin 2005) :

Tableau 3 – Apports intermédiaires d'étiage mesurés par le SRAE en 1987 et 1988 (m³/s)		
Date	Apport intermédiaire entre Villeneuve-de-Marsan et Mont-de-Marsan	Apport intermédiaire entre (Villeneuve-de-Marsan et Roquefort Douze + Retjons Estampon) et Campagne
10-11 Septembre 1987	2.76	5.85
19-20 Novembre 1987	4.58	8.52
18-19 Août 1988	3.18	5.92
22 Septembre 1988	3.09	6.33
Moyenne	3.40	6.65

Rappelons que ces apports intermédiaires, calculés sur des débits mesurés instantanés, sont des apports nets, c'est-à-dire influencés par les prélèvements (au moins pour la campagne d'Août 1988) ou par leurs effets retardés (pour les autres campagnes).

Une autre approche, globale, est possible à partir de l'analyse des débits naturels reconstitués par le modèle pluie-débit (reconstitution réalisée dans le cadre de la présente étude de bilan), en distinguant entre le domaine amont « gersoïs », où les écoulements d'étiage sont essentiellement dus à des ruissellements (et à des vidanges de petites nappes perchées) mais ne bénéficient d'aucun drainage généralisé de nappe, et le domaine aval « landais » dans lequel les ruissellements en période d'étiage sont sinon nuls, du moins très réduits.

Celle-ci est développée sur le tableau 4 dont les résultats sont illustrés sur la planche 1.

On y voit l'énorme contraste qui existe entre les apports naturels de l'amont (0,8 m³/s en Août moyen) et ceux des bassins landais : 2,6 m³/s en Août moyen entre Arthez et Mont-de-Marsan auxquels s'ajoutent ensuite 7,2 m³/s en amont de Campagne et 3,2 m³/s entre Campagne et le confluent. La comparaison est bien entendu plus parlante en débits spécifiques puisque l'on passe de 0,8 l/s/km² pour le bassin amont à 5,9 l/s/km² pour l'ensemble du bassin aval.

A l'intérieur de ce bassin aval, il existe par ailleurs de notables différences entre les trois grands tronçons délimités par les stations de mesure principales :

Tableau 5 – Evaluation des apports moyens d'Août par tronçon		
	Débit moyen d'Août	
	Spécifique (l/s/km²)	Ramené au km de berge (l/s/km)
- Midour amont entre Arthez d'Armagnac et Mont-de-Marsan	9.4	40
- Douze à l'aval de St-Justin et Midouze entre Mont-de-Marsan et Campagne	5.6	32
- Midouze de Campagne au confluent Adour	4.9	25

Tableau 4 - Mise en évidence du rôle des apports des nappes dans les débits d'étéage

		Midour		Douze		Midouze	
		Laujuzan	Mont-de-Marsan	Cazaubon	Roquefort	Campagne	MIAD
SBV (en km²)		256	800	217	450	2 500	3 153
Débits d'étéage calculés sur débits naturels (l/s)	Qmoyen d'août	190	3 000	210	800	10 600	13 800
	QMNA5	50	2 200	75	350	8 200	10 400

1 / Débits naturels d'étéage reconstitués
aux principales stations (l/s)

2 / Apports amont et apports intermédiaires calculés par différence des débits naturels

		Apports amont (ruissellement prépondérant)			Apports intermédiaires +/- assimilables aux apports des nappes						Apport total (MIAD - total amont)	
		Midour	Douze	Total BV amont "ruisselants"	Midour		Midouze		Midouze		Midouze	
		Estimation Arthez d'Armagnac	Estimation St Justin		Tronçon Arthez - Mont de Marsan		Tronçons Mont de Marsan - Campagne + St Justin - Mont de Marsan		Tronçon Campagne - MIAD			
		523	416	939	277		1284		653		2 214	
Débits d'étéage calculés sur débits naturels (l/s)	SBV (en km²)	-	-	-								
	Linéaire de berge (Km)					65		225		130		420
	Unités	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s/Km berge	l/s	l/s/Km berge	l/s/Km2 BV	l/s/Km berge	l/s	l/s/Km berge
	Qmoyen d'août	388	403	791	2 612	40,2	7 197	32,0	4,90	24,6	13 009	5,88
	QMNA5	102	144	246	2 098	32,3	5 856	26,0	3,37	16,9	10 154	4,59

Planche 1 - Rôle des apports des nappes dans les débits d'étiage

Fig 1.1 / Evolution amont - aval des débits naturels d'étiage

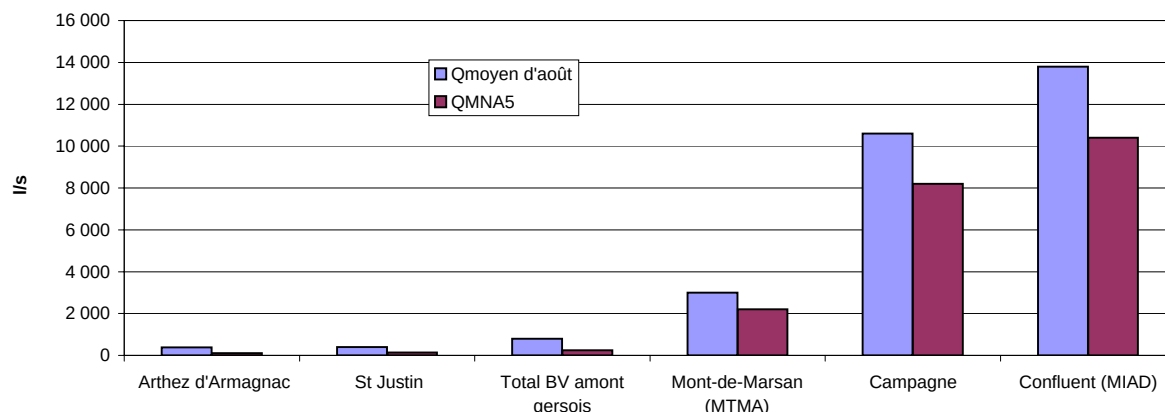


Fig 1.2 / Apports amont et apports intermédiaires par tronçons

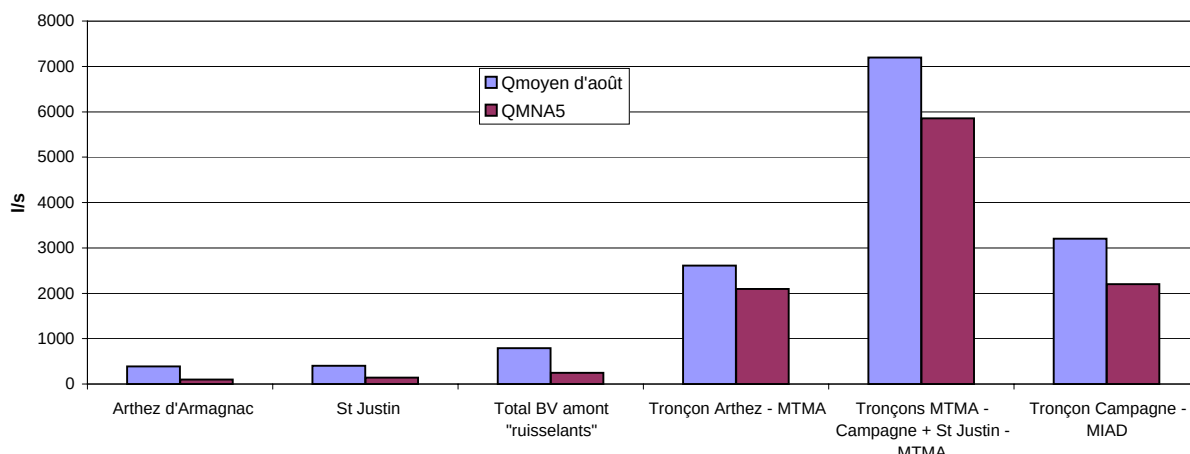
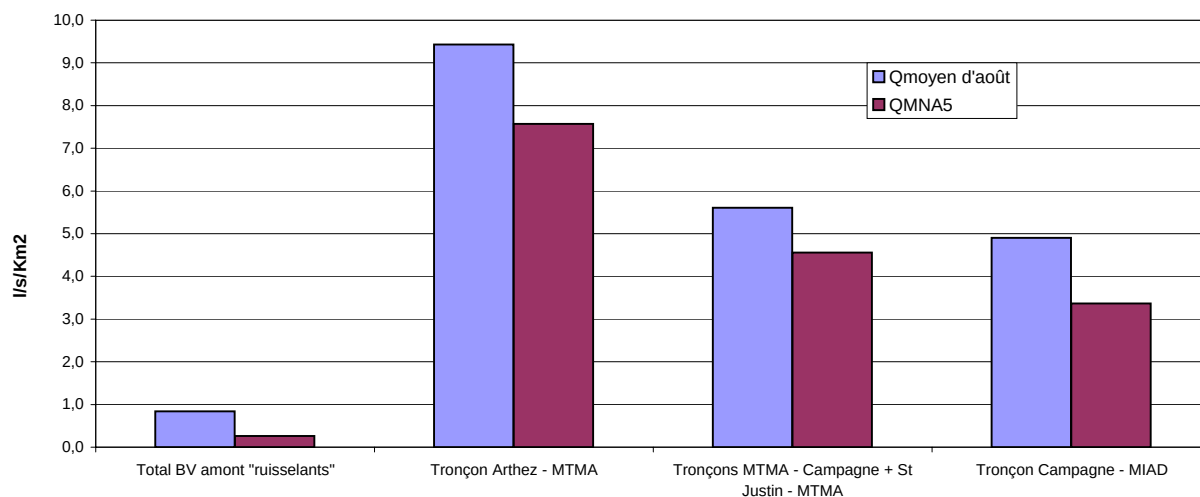


Fig 1.3 / Apports spécifiques amont et intermédiaires



Les valeurs maximales amont correspondent aux très forts apports de nappe (provenant essentiellement de l'Helvétien), connus sur le Ludon et les autres petits bassins de l'amont de Mont-de-Marsan ; les valeurs relativement plus faibles des deux autres sous-bassins montrent une certaine diminution globale des apports spécifiques vers l'aval, mais concernent de grands bassins dans lesquels peuvent coexister des régions à apports spécifiques assez variables.

En conclusion, on retiendra que si l'on admet qu'au mois d'Août l'essentiel de l'écoulement intermédiaire généré par le bassin landais de la Midouze provient du drainage des nappes (ce qui est probablement exagéré en année moyenne, mais ne l'est plus en situation d'étiage quinquennal caractérisée par le QMNA5), ce drainage est de l'ordre de **10 m³/s** ; plus de la moitié de cet apport (près de 6 m³/s) provient de l'amont de Mont-de-Marsan (près de 2,1 m³/s en provenance du Midour entre Arthez d'Armagnac et Mont-de-Marsan et environ 3,8 m³/s en provenance de la Douze entre St-Justin et Mont-de-Marsan).

4 - LES PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES

L'objectif de cette partie de l'étude étant d'apprécier l'impact des prélèvements sur les écoulements superficiels, on s'attachera surtout à la période d'étiage, pendant laquelle les prélèvements agricoles sont de loin les plus importants. Le tableau ci-dessous permet en effet de comparer les volumes respectifs des différents types de prélèvements regroupés par origine des ressources sur la période d'irrigation (comptée sur 2.5 mois).

Tableau 6 - Bassin de la Midouze : volumes de prélèvements par type d'utilisation et origine de la ressource (sur période d'irrigation en Mm³)				
	AEP	Industrie	Irrigation *	Total
Eaux superficielles (rivières, résurgences, sources)	0.3	1.6	21	22.9
Nappes captives	2.5	1.2	négligeable**	3.7
Nappes d'accompagnement	0.2	-	63	63.2
Total	3.0	2.8	84	89.8

* Volumes autorisés.

** On appelle « nappe d'accompagnement » toute nappe plus ou moins directement en relation avec les écoulements superficiels et dans laquelle les prélèvements peuvent avoir une influence plus ou moins amortie et différée avec ceux-ci. Par exemple, le Miocène peut être captif dans certains secteurs, libre dans d'autres. Dans la mesure où des rabattements généralisés dans les secteurs captifs peuvent générer des influences dans les secteurs libres et donc dans les écoulements qui les drainent, ce Miocène captif peut être considéré comme inclus dans les nappes d'accompagnement. Donc, il est inclus comme tel dans ce tableau, les seules nappes captives considérées étant alors l'Oligocène et la nappe infra-molassique.

On voit que l'irrigation consomme à elle seule, sur cette période, 93% des prélèvements totaux et plus de 99% des prélèvements dans les nappes d'accompagnement qui font l'objet de cette analyse.

On s'attachera donc ici à analyser uniquement les prélèvements d'irrigation.

4.1 - Analyse globale

Dans un premier temps, la planche 2 présente la répartition globale du nombre de forages et de la superficie irriguée par aquifère, en distinguant l'amont et l'aval de Campagne.

Le code 348 TR (Nappe alluviale des terrasses récentes) qui ne comporte qu'un petit nombre de forages sera aggloméré pour la suite de l'analyse avec le 348 TA (Terrasses anciennes) pour former un seul code 348 (alluvions). De même, le Pliocène-Armagnac, avec un seul ouvrage, est éliminé.

On voit que la nappe du Mio-Plio-Quaternaire (127 AO) est la plus utilisée pour l'irrigation (57% des forages et 43% des superficies irriguées). Si l'on effectue la somme des 3 unités qui concernent le Miocène, on constate qu'elles totalisent 30% des captages, et que ceux-ci

alimentent 47% des superficies irriguées (l'inversion des chiffres par rapport au Mio-Plio-Quaternaire montrant que la productivité moyenne par ouvrage est largement meilleure dans le Miocène).

La nappe de l'Oligocène n'est exploitée que très marginalement pour l'irrigation (elle est pratiquement réservée à l'eau potable). Quant aux forages dont l'attribution à un code aquifère n'a pas été possible, ils ne représentent que 6% du nombre total de forages et moins de 5% des superficies irriguées.

4.2 - Analyse détaillée de la répartition des forages

Une exploitation du fichier des autorisations de prélèvement en nappe de la DDAF 40 a été effectuée de façon à tenter de caractériser chacun des aquifères en termes de :

- profondeur des forages,
- débit autorisé des forages,
- superficie irriguée par forage,
- volume annuel autorisé,

et ce dans l'objectif d'en déduire des critères de caractérisation de l'influence des prélèvements dans ces nappes sur les écoulements. On est en effet enclin à penser qu'a priori l'influence sera plus forte pour les aquifères plus exploités, et pour des forages à fort débit (ce débit pouvant dans certains cas provenir d'une réalimentation induite) et moins profonds, que pour l'inverse.

On examinera ci-après chacun de ces paramètres, dont la visualisation sous forme d'histogrammes fait l'objet de la planche 3. La localisation des forages est fournie plus loin sur la planche 5.

4.2.1 – Profondeur

Les ouvrages ont été analysés de façon statistique, pour chaque aquifère, en distinguant sur les n ouvrages :

- les profondeurs minimales et maximales,
- la profondeur médiane (atteinte ou dépassée par 50% des forages),
- la profondeur atteinte ou dépassée par 10% et 90% des ouvrages.

Tableau 2.1 / Répartition globale des forages et des surfaces irriguées par aquifères

Code aq.	Nappe	1 / Nombre de forages			2 / Surface irriguée (Ha)		
		amont Campagne	aval Campagne	total	amont Campagne	aval Campagne	total
348 TA	NAPPE ALLUVIALE DES TERRASSES ANCIENNES	23	133	156	184	948	1132
348 TR	NAPPE ALLUVIALE DES TERRASSES RECENTES	0	4	4	0	21	21
127 A0	NAPPE DU MIO-PLIO-QUATERNAIRE	850	411	1261	6212	3189	9401
565	NAPPE DU MIOCENE (ARMAGNAC)	162		162	2861		2861
128	NAPPE DU MARSAN	18	101	119	169	936	1104
235	NAPPE DU MIOCENE	252	128	380	4154	2083	6237
230	NAPPE DE L'OLIGOCENE	1		1	6		6
(pm)	NAPPE DU PLIOCENE (ARMAGNAC)	1		1	1		1
-	NAPPE A DETERMINER	77	57	134	562	511	1073
	Total	1384	834	2218	14149	7688	21837

Fig 2.1 / Nombre de forages par aquifère

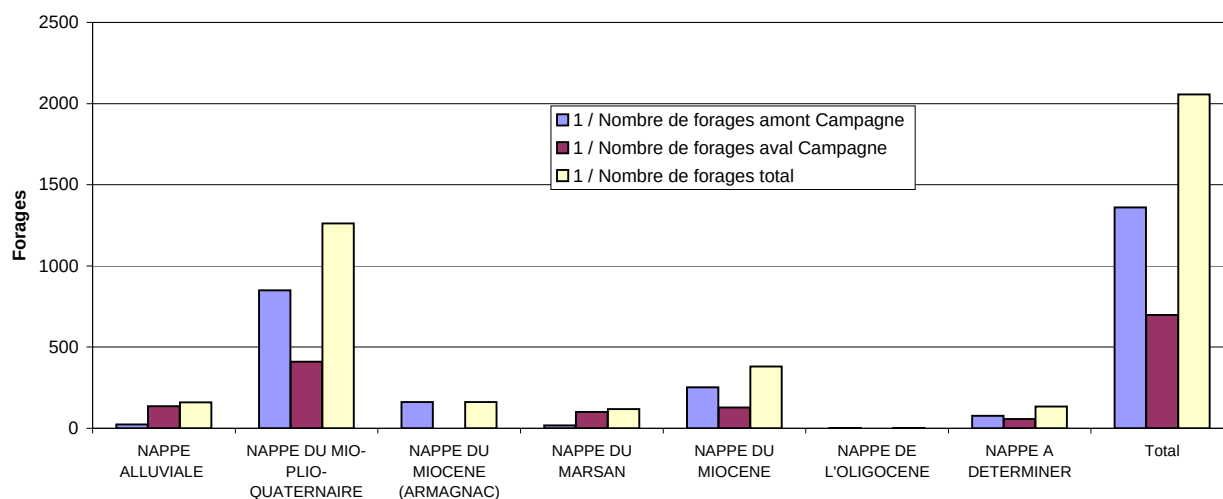
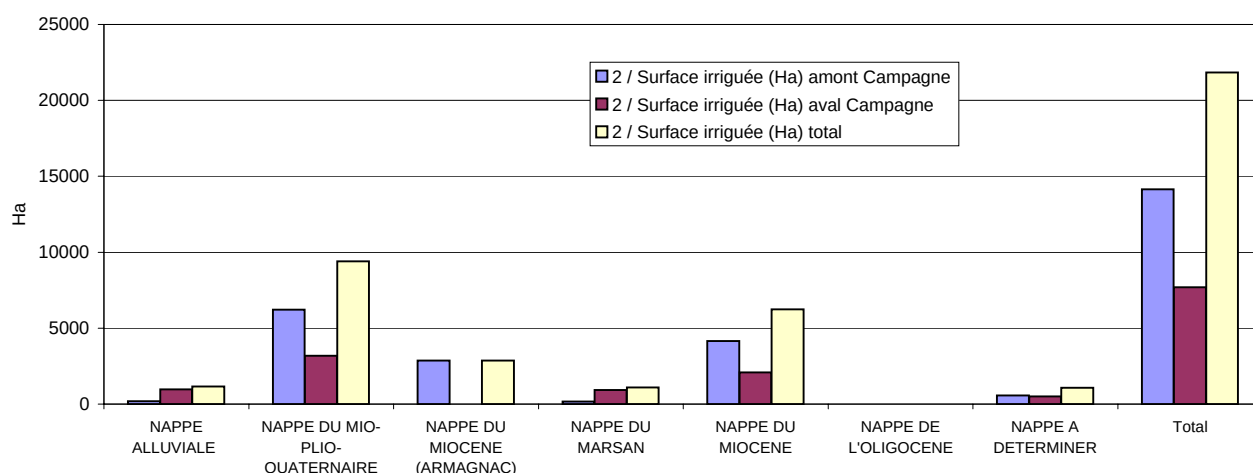


Fig 2.2 / Superficie irriguée par aquifère



Si l'on retient comme indicateurs les profondeurs atteintes ou dépassée par 50 et 90% des forages, on a :

Tableau 7 – Classement des profondeurs de forage selon l'aquifère capté			
	Code	Profondeur (m) atteinte ou dépassée par	
		90% des forages	50% des forages
Nappe alluviale des terrasses	348	10	17
Nappe du Mio-Plio-Quaternaire	127 AO	12	18
Nappe du Marsan	128	18	29
Nappe du Miocène (Armagnac)	565	20	34
Nappe du Miocène	235	21	50

On vérifie ainsi que les profondeurs sont minimales pour l'aquifère des terrasses et le Mio-Plio-Quaternaire, maximales pour le Miocène.

Cependant, les contrastes entre aquifères restent modérés.

4.2.2 – Débit autorisé

Le même principe de classement statistique a été appliqué.

Tableau 8 – Classement des débits autorisés des forages selon l'aquifère capté			
	Code	Débit autorisé (m³/h) atteint ou dépassé par	
		90% des forages	50% des forages
Nappe alluviale des terrasses	348	6	20
Nappe du Mio-Plio-Quaternaire	127 AO	10	25
Nappe du Marsan	128	10	20
Nappe du Miocène (Armagnac)	565	14	35
Nappe du Miocène	235	20	45

Les nappes du Miocène apparaissent comme assez nettement plus productives que les nappes superficielles.

4.2.3 – Superficie irriguée par captage

Le classement est le même pour ce paramètre, qui est assez fortement lié au précédent.

4.2.4 – Volume annuel autorisé

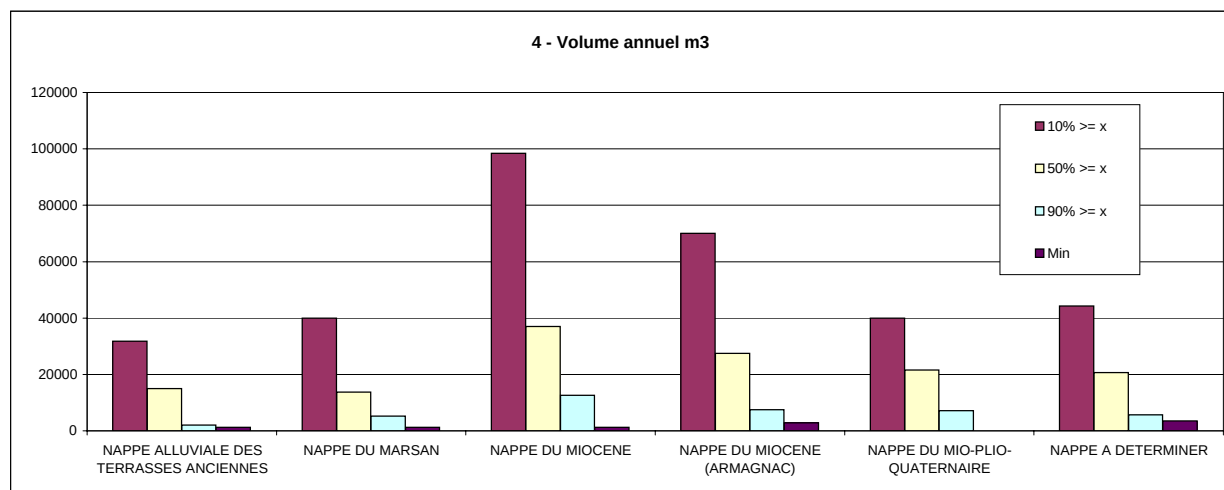
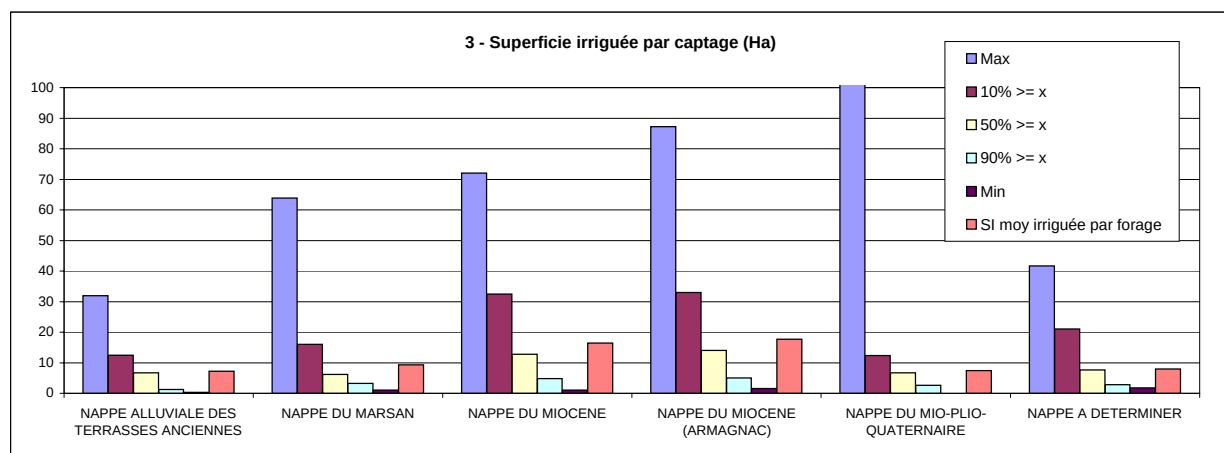
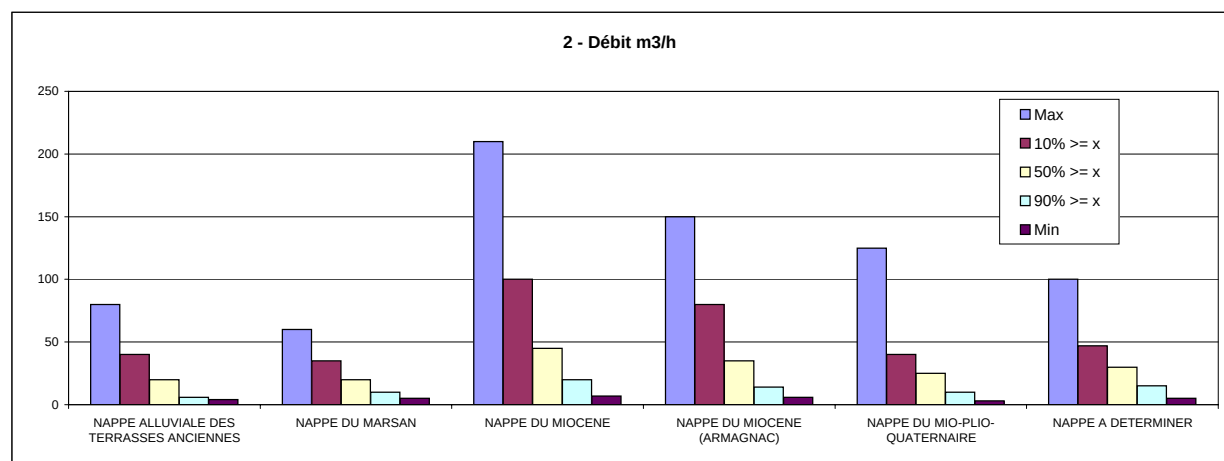
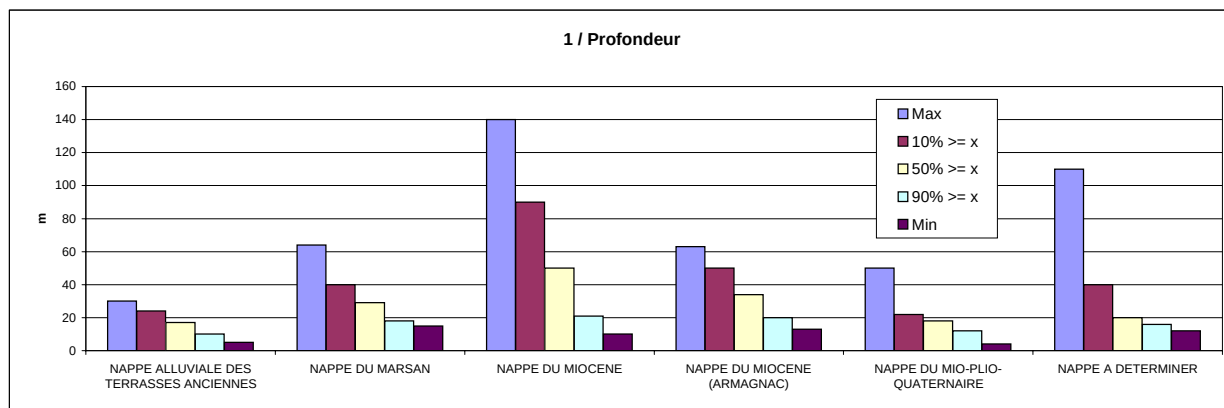
Il en est de même pour ce paramètre.

4.2.5 – Conclusions

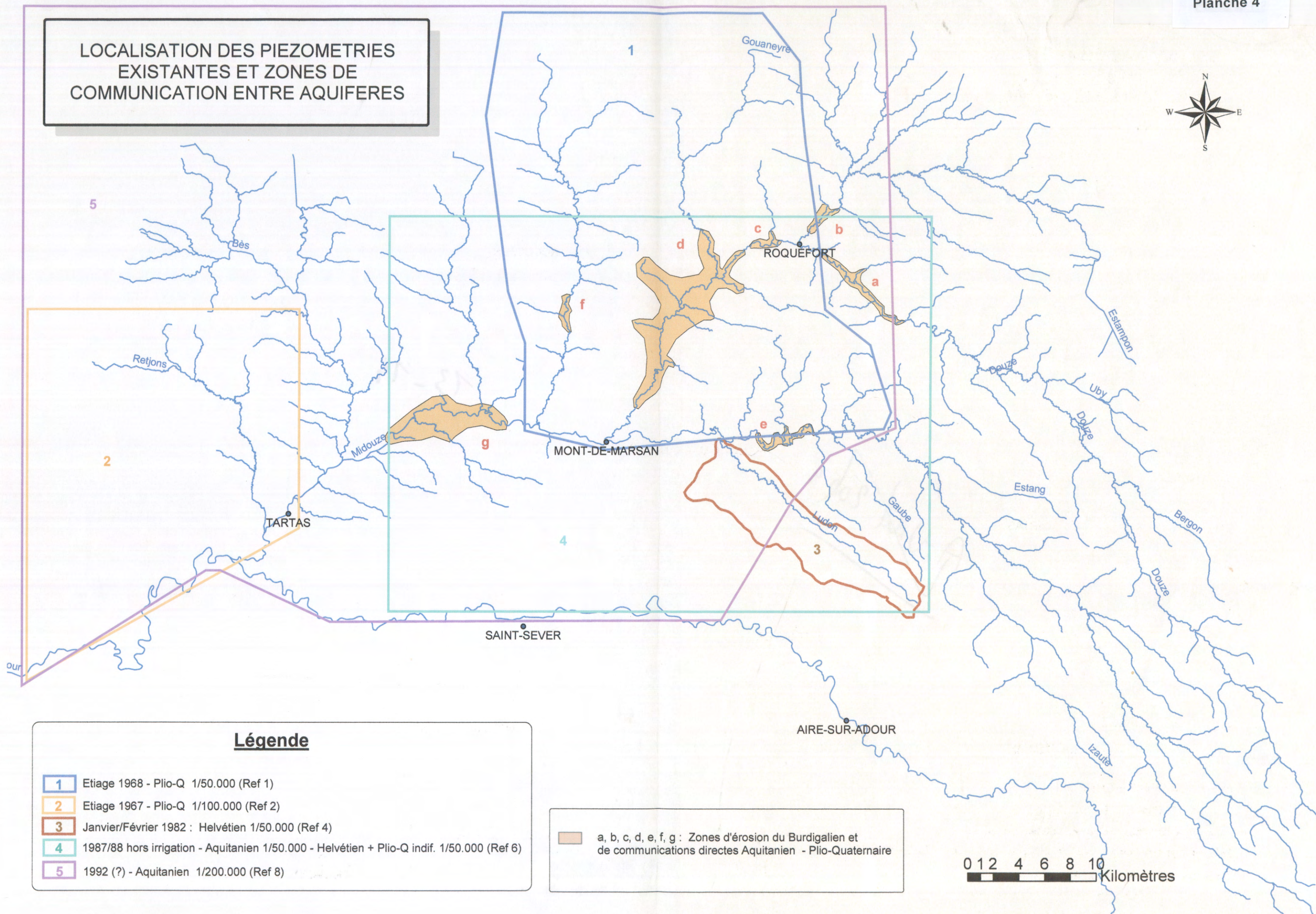
Cette analyse confirme que la nappe du Miocène (235) est celle qui permet les meilleurs débits unitaires, suivie du Miocène-Armagnac (565) ; les forages captant les nappes alluviales des terrasses (348), surtout nombreux à l'aval de Campagne (cf. carte de localisation des captages planche 5), fournissent statistiquement des débits plus faibles.

Par ailleurs, les nappes du Miocène (235 et 565) sont captées en position plus profonde que le Mio-Plio-Quaternaire et les alluvions des terrasses, ce qui n'est rien moins que logique.

Finalement, ces deux paramètres semblant jouer en sens contraire, cette analyse n'apporte aucun élément déterminant permettant de différencier l'influence des prélèvements sur les écoulements. Par exemple, si un aquifère donné avait correspondu clairement à une faible profondeur et à de forts débits ou surfaces irriguées (ce qui revient au même), on aurait pu en déduire un taux d'influence plus élevé pour cet aquifère. Comme cela n'est pas le cas, cette piste d'analyse a été abandonnée.



LOCALISATION DES PIEZOMETRIES
EXISTANTES ET ZONES DE
COMMUNICATION ENTRE AQUIFERES



5 - LES IMPACTS DES PRELEVEMENTS DANS LES NAPPES

5.1 - Evaluation des prélèvements réels dans les nappes

La surface irriguée à partir des nappes est comme on l'a vu (planche 2) de 21 830 ha, dont 14 150 ha en amont de Campagne.

Les prélèvements réels globaux peuvent être évalués en appliquant les besoins en eau suivants (approche basée sur les BUT = Besoins Unitaires Théoriques ⁽¹⁾, calculés pour la région agricole « Sables des Landes » avec une RFU -Réserve Facilement Utilisable- = 0).

1) Amont de Campagne

Année	Besoin total saison agricole			Besoin de la décade de pointe (3 ^{ème} de Juillet)		
	mm	Mm ³ /an	m ³ /s (Qfc ^(*) 2,5 mois)	mm	Mm ³ /10j	m ³ /s (Qfc)
1/2	234	33,1	5,1	35,6	5,0	5,8
1/5	285	40,3	6,2	51,7	7,3	8,5
1/10	312	44,1	6,8	60,1	8,5	9,8

(*) Débit fictif continu

2) Confluent de l'Adour

Année	Besoin total saison agricole			Besoin de la décade de pointe		
	mm	Mm ³ /an	m ³ /s (Qfc ^(*) 2,5 mois)	mm	Mm ³ /10j	m ³ /s (Qfc)
1/2	234	51,1	7,9	35,6	7,8	9,0
1/5	285	62,2	9,6	51,7	11,3	13,1
1/10	312	68,1	10,5	60,1	13,1	15,2

(*) Débit fictif continu

En résumé, les prélèvements dans les nappes d'accompagnement du bassin (Rappel : cela représente tous les prélèvements agricoles du bassin, ceux-ci ne concernant les nappes captives que de manière très négligeable) représentent en année moyenne un débit d'environ 5,1 m³/s à Campagne et 7,9 m³/s pour le bassin total, et en année sèche 6 à 7 m³/s à Campagne et 9 à 10 m³/s pour le bassin total.

En période de pointe, les débits extraits atteignent respectivement 5,8 et 9,0 m³/s en année moyenne, 8,5 à 15,0 m³/s en année sèche.

(1) Valeurs calculées dans la présente étude de bilan besoins-ressources. Les BUT correspondent aux besoins en eau des plantes et ont été calculés, au pas de temps décadaire sur la chronique 1969-2006, à partir de caractéristiques pédologiques (réserve en eau des sols), climatiques (pluie et évapotranspiration) et d'assolement (les besoins étant fonction de la plante et de son stade de développement).

On tentera ci-après de répondre à la question suivante : *quels peuvent être les effets de ces prélèvements (toutes nappes confondues), sur les nappes elles-mêmes d'abord, sur les rivières qui en tirent une part importante de leur alimentation ensuite ?*

5.2 - Impacts des prélèvements sur les nappes elles-mêmes

5.2.1 – Quelques ordres de grandeur

La superficie totale d'extension des nappes d'accompagnement à l'aval d'Arthez d'Armagnac pour le Midou et de Labastide d'Armagnac pour la Douze est d'environ 2 260 km².

Les superficies irriguées représentent donc $21\,830 / (2\,260 \times 100) = 9.6\%$ de la surface d'extension des aquifères.

Avec une porosité utile comprise entre 1% et 15%, les hauteurs d'aquifère dénoyées annuellement si les prélèvements étaient uniformément répartis dans un aquifère unique seraient les suivants :

Année	Volume exploité (Mm ³)	Hauteur d'aquifère dénoyé (m)		
		S = 5%	S = 10%	S = 15%
1/2	51	0,45	0,23	0,15
1/5	62	0,55	0,28	0,18
1/10	68	0,60	0,30	0,20

En fait, les pompages n'intéressent qu'une partie des aquifères. Celle-ci est classiquement évaluée à partir de la notion de rayon d'action, qui s'évalue classiquement par la formule :

$$R = 15 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

Soit en prenant T (transmissivité) = $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s, t (durée du pompage) = 2,5 mois et S (Emmagasinement) = 10% (nappe libre), R = 600 m.

La superficie couverte par les rayons d'influence des pompages peut être appréciée sur la carte de la planche 5, sur laquelle chaque forage a été figuré sous la forme d'un cercle de 1 200 m de diamètre (équivalent à une surface de 1,13 km²).

Le nombre de forages est comme on l'a vu de 1 380 en amont de Campagne et de 2 210 au total. En considérant très grossièrement qu'un forage sur deux voit son rayon d'action se superposer avec celui d'un forage voisin, on évaluera la surface totale des rayons d'action à $\frac{1380}{2} \times 1,13 = 780$ km² en amont de Campagne et 1 250 km² pour le bassin total. Les surfaces concernées par les pompages représenteraient ainsi très grossièrement $780 / (2\,500 - 523 - 373) = 49\%$ de la superficie d'extension des nappes en amont de Campagne et $1250 / 2\,260 = 55\%$ de celles-ci sur le bassin total.

En reprenant le calcul précédent des hauteurs d'aquifère dénoyées, on obtient cette fois, en se limitant à la surface cumulée des rayons d'action et au bassin total :

Année	Volume exploité (Mm ³)	Hauteur d'aquifère dénoyé (m)		
		S = 5%	S = 10%	S = 15%
1/2	51	0,82	0,41	0,27
1/5	62	1,00	0,50	0,33
1/10	68	1,09	0,54	0,36

On voit que ces hauteurs d'aquifère dénoyé (aquifère il est vrai schématisé avec des emmagasineurs de nappe libre, ce qui n'est pas le cas de tous les aquifères considérés) représentent finalement des valeurs faibles à l'échelle du bassin.

Si on compare maintenant les volumes extraits au potentiel de recharge, en les exprimant en lame d'eau, on obtient :

Année	Lame d'eau prélevée annuellement pour l'irrigation (mm)	
	A l'amont de Campagne (2 500 km ²)	Au confluent de l'Adour (3 150 km ²)
1/2	13	16
1/5	16	20
1/10	18	22

Ramenés à la surface du bassin, les volumes prélevés sur une saison d'irrigation représentent donc des lames d'eau faibles, qui devraient se trouver largement compensées par la recharge annuelle, puisqu'elles ne représentent que 2 à 3% d'une pluviométrie moyenne annuelle de 700 mm.

Finalement, ces calculs simplistes montrent que les volumes extraits pour l'irrigation représentent, *si on les rapporte à la superficie totale d'extension des nappes dans le bassin*, une ponction faible sur les ressources, et susceptible d'être facilement régénérée annuellement par la recharge naturelle de ces nappes.

5.2.2 – Analyse des variations piézométriques

Un important travail d'exploitation des données piézométriques a été effectué dans le cadre de l'étude « Débits de référence Midouze 2005 » pour tenter de caractériser l'évolution du niveau des nappes.

Les principales conclusions de cette analyse ont été :

- 1) Qu'il n'existe pratiquement pas de mesures permettant de caractériser l'évolution pendant les années 1975-1990, période du développement accéléré des pompages en nappe.
- 2) La mise en place par la cellule Hydrogéologie du Conseil Général des Landes d'un réseau piézométrique étoffé à partir de 1990 a permis depuis cette date une bonne caractérisation des niveaux.
On note cependant que cette surveillance a coïncidé avec l'amortissement, puis la stabilisation des prélèvements agricoles.
- 3) Le phénomène majeur, en première analyse, est une certaine stabilité d'ensemble des niveaux, c'est-à-dire qu'abstraction faite des variations annuelles plus ou moins cycliques, aucune tendance de baisse systématique généralisée n'apparaît.
- 4) Cependant, une analyse plus approfondie des enregistrements laisse apparaître :
 - pour les sables des Landes, l'occurrence d'années à très faible recharge efficace (2003), voire sans recharge efficace (2002),
 - pour l'Helvétien et l'Aquitainien, qu'un nombre relativement important de piézomètres (40 à 50% du total) enregistrent une baisse continue des niveaux depuis 1988 ou 1990 ; ces ouvrages sont implantés dans les zones les plus intensément exploitées.

Les dernières années de mesure apportent une confirmation de ces tendances à la baisse des niveaux notamment sur l'Helvétien libre. Cette baisse, encore heureusement localisée et d'amplitude non excessive, peut être partiellement expliquée, d'après le « Bulletin de surveillance des aquifères landais », par le déficit pluviométrique impressionnant (-864 mm à Mont-de-Marsan, -1314 mm à Dax) des 5 dernières années. S'ajoute certainement à ce déficit de recharge l'impact des pompages dans les zones de forte concentration de ces derniers.

5.3 - Les impacts des prélèvements sur les écoulements

5.3.1 – L'approche « par l'amont »

5.3.1.1 - Analyse théorique

On peut distinguer deux niveaux d'analyse. Le premier niveau est celui de l'application à des cas précis (un forage ou une batterie de forages, un cours d'eau). On applique alors un modèle de calcul (du type fonctions de COLLINS, ou abaques de SAUTY et de LELIEVRE). L'extrapolation à des aquifères ou à des bassins hydrographiques devient cependant très aléatoire, à moins de passer par un modèle mathématique global prenant en compte les relations nappes-rivières : c'est l'outil idéal, mais on peut considérer que l'on se situe alors dans le cas de « l'approche par l'aval ». Le calage du modèle en régime transitoire (si possible sur la période de suivi des niveaux 1990-2007) nécessitera en effet que le modèle restitue convenablement la dérive des débits de drainage pendant cette période.

Tableau 9 - Critères de classement des prélèvements en fonction de leur impact supposé sur les cours d'eau

Critère principal	Exemples d'application	Inconvénients ou limites du critère	Facilité de mise en oeuvre pratique	Acceptabilité par les préleveurs
a / Par durée annuelle de l'exploitation	a1 / exploitation continue: AEP, certaines industries a2 / exploitation saisonnière: irrigation, remplissage retenues, autres industries		1	1
b / Par aquifère, quelle que soit sa localisation ou sa position en profondeur		Les prélèvements dans un même aquifère peuvent avoir des impacts très différents suivant son gisement, la profondeur des captages, etc...	2	2
c / Par aquifère et par type de gisement	Dans une zone donnée, on distingue des positions 1,2,3 d'aquifères en fonction de leur superposition	Nécessite de connaître avec précision: - l'aquifère capté par chaque forage - l'hydrogéologie locale	2	3
d / Par profondeur des captages	Classes de profondeur : 0-10m, 10-30m, 30-60m, >60m par exemple	La profondeur n'est pas forcément représentative de(s) l' horizon(s) capté(s)	3	3
e / Par distance des captages vis-à-vis des cours d'eau drainants	Classes de distance: 0-100m, 100-500m, 500-2000m, >2000m par exemple	Qu'est-ce qu'un cours d'eau drainant? Les sources ont-elles incluses dans les cours d'eau qu'elles alimentent?	3	4
f / Par débit installé ou volume annuel exploité	Partant du principe que plus le débit ou le volume extrait est élevé, plus l'influence (rapide ou retardée) est forte, sélection de 2 ou 3 classes			
g / Par zones hydro ou secteurs, sans considération de profondeur ou d'aquifère capté	Critères hydrographiques : bassin versants au droit d'un confluent ou d'une station hydro ou zones hydro Critères hydrogéologiques : domaine d'extension d'un aquifère ou d' existence de captages concernant cet aquifère		2	4
			3	4
h / Par zonation des impacts des prélèvements sur la piézométrie	g1 / Zones de baisse interannuelle des niveaux g2 / Zones de rabattements annuels marqués avec retour au même niveau de hautes eaux annuelles g3 / Zones sans variation marquée de la piézométrie annuelle		3 - 4	3 - 4
i / Par combinaison de 2 ou 3 des critères précédents	Dans une zone donnée, regroupement par aquifères (cf c/) , par classes de profondeur, par distance vis-à-vis des cours d'eau	Deviens rapidement très compliqué	3 - 4	4
j / Par analyse croisée des conditions de gisement des aquifères et du niveau de pénétration des cours d'eau	Cas particulier du critère précédent, analyse à réaliser par cours d'eau drainant principal ou par BV, d'amont en aval	Travail systématique nécessitant beaucoup de temps et difficile, voire impossible à systématiser	4	4

Notation introduite pour la facilité de mise en oeuvre et le degré d' acceptabilité par les préleveurs:

1	facile
2	moyenne
3	difficile
4	très difficile

Le deuxième niveau d'analyse est celui auquel se trouve confronté le gestionnaire d'une ressource lorsqu'il doit déterminer sur quels critères s'appuyer pour classer les prélèvements en nappe d'accompagnement en fonction de leur impact supposé sur les cours d'eau, notamment dans le cadre de la tarification des prélèvements (le prélèvement en nappe étant a priori assimilable à un prélèvement en rivière pondéré par un coefficient compris entre 0 et 1 ...). Le tableau 9 ci-après fournit une liste de 8 critères possibles (durée annuelle de l'exploitation, aquifère concerné, profondeur des captages, débit, distance vis-à-vis des cours d'eau, ...), qui peuvent ensuite se combiner, mais on aboutit très vite à des classifications très compliquées et donc inapplicables.

Ce tableau apprécie, pour chaque critère défini, sa facilité d'application et son degré d'acceptabilité par les préleveurs.

La conclusion qui semble se dégager de ce tableau est qu'il n'existe pas de « bon critère » d'application simple et irréfutable.

Il semble donc préférable de s'en remettre à une approche par l'aval qui permette de déterminer l'influence globale de tous les pompages en nappe situés à l'amont d'une station de contrôle des débits.

Ensuite, soit tous les préleveurs en nappe sont logés à la même enseigne, soit on recherche une péréquation simple à l'intérieur de cette influence globale, par exemple par aquifère ou par aquifère et par type de gisement.

5.3.1.2 – Prise en compte d'une zonation et des conditions de gisement des nappes

Parmi les critères ci-dessus, la combinaison des critères b et c pour tenter de caractériser l'impact des prélèvements en nappe, c'est-à-dire la combinaison d'une zonation et des conditions de gisement des aquifères s'avère peut-être plus convaincante.

En effet, si les nappes les plus superficielles, comme le Mio-Plio-Quaternaire (c'est-à-dire essentiellement les sables des Landes) sont en relation directe avec les petits cours d'eau et sont directement drainées par le chevelu hydrographique, les aquifères du Miocène ne le sont directement que, soit dans les zones de l'Armagnac où l'Helvétien est entaillé par tous les cours d'eau un peu importants (type Ludon), soit uniquement dans les vallées principales (Midouze, Gouaneyre aval, Estrigon). En allant vers l'Ouest, l'Helvétien se trouve de plus en plus recouvert d'autres séries du multicouche d'ensemble.

Quant à l'Aquitainien, il n'est en contact avec les cours d'eau que dans les « fenêtres » (dont une cartographie schématique avait été fournie dans l'étude CACG « *débits de référence Midouze 2005* », et a été reproduite en planche 4).

On pourrait donc distinguer (cf. carte de localisation des « domaines hydrogéologiques », planche 5) :

1. un domaine « Armagnac » (ou Midour-Douze amont) dans lequel l'essentiel des prélèvements s'effectue dans l'aquifère Miocène-Armagnac (565) en position peu profonde et directement connecté aux rivières, dont le prototype serait le Ludon,

2. un domaine « amont des affluents rive droite », constituant un vaste croissant allant du bassin de l'Estampon à l'Est à l'amont du bassin du Retjons à l'Ouest ; dans ce domaine on distinguerait entre :
 - l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire libre en position superficielle (127 AO),
 - le Miocène (235) sous-jacent, a priori non connecté car non entaillé par les vallées,
3. un domaine « aval des affluents rive droite », comprenant le cours moyen et inférieur de la Douze, et les cours moyens de la Gouaneyre, de l'Estrigon, du Geloux et du Bez ; ce domaine correspond au Mio-Plio-Quaternaire en position superficielle (127 AO) mais également au Miocène (235) entaillé par les vallées, les deux se trouvant donc connectés aux écoulements,
4. un domaine « Marsan » correspondant à la rive gauche de la Midouze, dans lequel on distinguerait :
 - l'aquifère Miocène du Marsan (128) auquel on ajoutera les terrasses anciennes (348), tous les deux bien connectés aux écoulements,
 - le Miocène (235) en position plus profonde, a priori peu connecté,
5. un domaine « vallée Midouze moyenne et inférieure » avec également deux ensembles distincts :
 - l'aquifère des terrasses anciennes et récentes (348), auquel on ajoutera les quelques forages captant le Mio-Plio-Quaternaire (127 AO), les deux en position superficielle donc bien connectés,
 - le Miocène (235) sous-jacent, a priori moins connecté.

Cette classification sera reprise plus loin pour répartir entre zones et aquifères les coefficients d'influence qui seront déterminés de façon globale.

Planche 5 - DOMAINES HYDROGEOLOGIQUES

2 - Amont des affluents rive droite

3 - Aval des affluents rive droite

1 - Armagnac

4 - Marsan

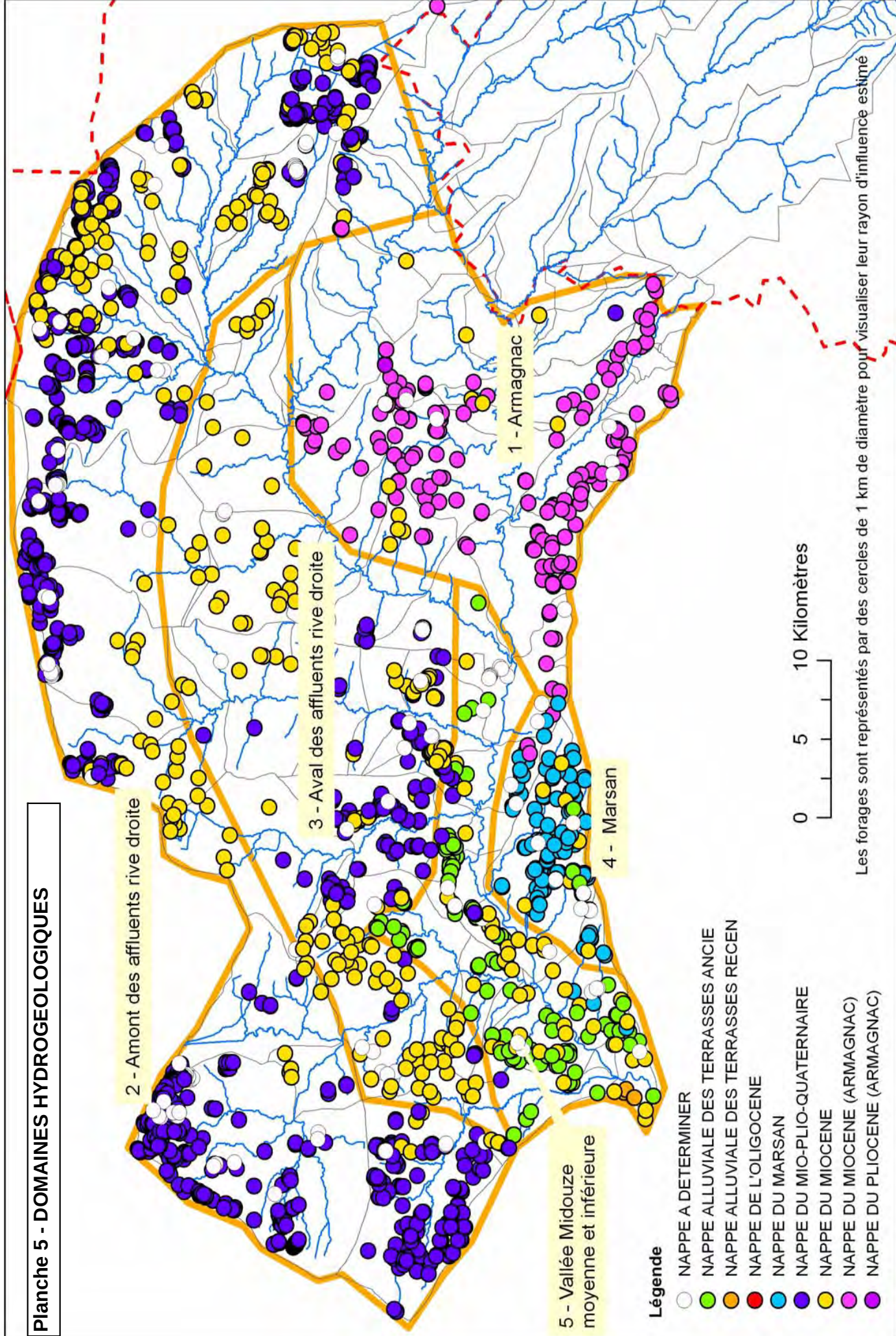
5 - Vallée Midouze
moyenne et inférieure

Légende

- NAPPE A DETERMINER
- NAPPE ALLUVIALE DES TERRASSES ANCI
- NAPPE ALLUVIALE DES TERRASSES RECEN
- NAPPE DE L'OLIGOCENE
- NAPPE DU MARSAN
- NAPPE DU MIO-PLIO-QUATERNAIRE
- NAPPE DU MIOCENE
- NAPPE DU MIOCENE (ARMAGNAC)
- NAPPE DU PLIOCENE (ARMAGNAC)

0 5 10 Kilomètres

Les forages sont représentés par des cercles de 1 km de diamètre pour visualiser leur rayon d'influence estimé



5.3.2 – L'approche par l'aval

5.3.2.1 – Comparaison d'années anciennes et récentes à « pluviométrie comparable »

De façon à tenter de mettre en évidence l'influence des prélèvements d'irrigation, nous avons sélectionné 6 années sèches « anciennes » (comprises entre 1966/67 et 1975/76) et 6 années sèches récentes (comprises entre 1989/90 et 2005/06).

Différents indicateurs pluviométriques susceptibles de caractériser les étiages de ces années (totaux partiels ou généraux) sont portés sur la planche 6.

Ceci permet de distinguer trois groupes d'années présentant des caractères convergents.

Un *premier groupe* de 2 années anciennes (1966/67 et 1969/70) et deux années récentes (2002/03 et 2004/05) dont les pluviométries s'avèrent relativement homogènes (planche 7) :

- totaux annuels de 750 à 800 mm, sous-total Octobre à Juin : 650 mm,
- printemps relativement déficitaire : 250 à 300 mm,
- été sec : 100 à 180 mm.

Un *deuxième groupe* de 2 années anciennes (1966/67, déjà incluse dans le premier et 1975/76) et 2 années récentes (1989/90 et 2001/02) :

- totaux annuels plus hétérogènes de 600 à 800 mm, Octobre à Juin de 480 à 660 mm,
- printemps déficitaires : 250 à 320 mm,
- étés déficitaires : 115 à 165 mm à l'exception de 1975/76 marqué par un mois de Septembre très excédentaire.

Un *troisième groupe* de 3 années anciennes (1968/69, 1972/73 et 1973/74) et 2 années récentes (1990/91 et 2005/06), à pluviométrie proche des normales :

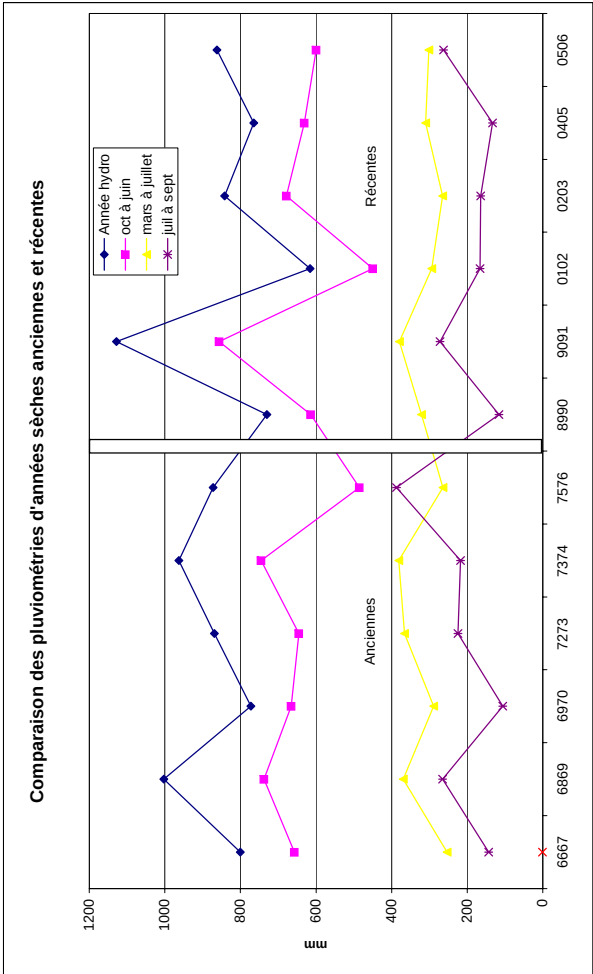
- totaux annuels élevés de 860 à 1130 mm, Octobre à Juin de 600 à 850 mm,
- printemps légèrement déficitaires : 300 à 380 mm,
- étés « normaux » : 220 à 270 mm.

Il est en fait difficile de constituer des groupes véritablement homogènes dans la mesure où la répartition de la pluie n'est jamais la même d'une année sur l'autre. Cependant, l'objectif de rassembler des années anciennes et récentes globalement comparables semble atteint, comme le montre le tableau récapitulatif du bas de la planche 6.

Les graphiques de la planche 8 comparent ensuite, pour ces trois groupes d'années, les débits à Mont-de-Marsan et Campagne. Ils font apparaître une nette diminution des débits d'étiage, aux deux stations, entre les années 1970 et les années 1990-2000. Cette diminution est particulièrement nette pour les années du groupe 1, un peu moins pour celles du groupe 3 qui comme on l'a vu s'apparentent plutôt à des années moyennes. Pour les stations du groupe 2, on note le « comportement anormal » de l'année 1975/76, qui présente à Campagne un débit anormalement bas de Juillet à fin Août, puis remonte en Septembre à la suite de pluies abondantes.

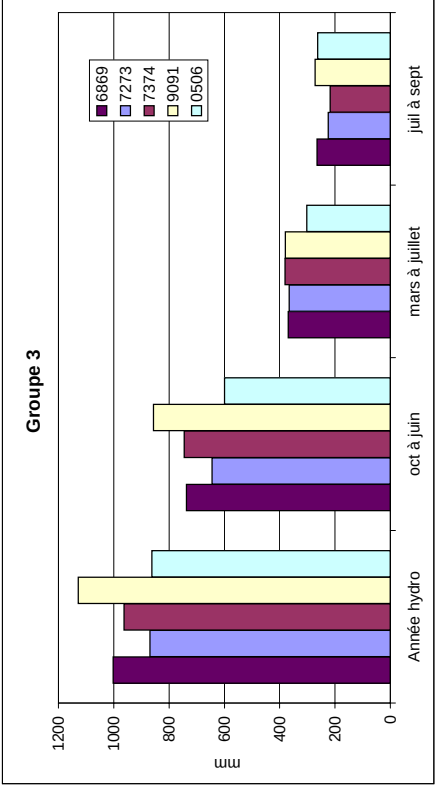
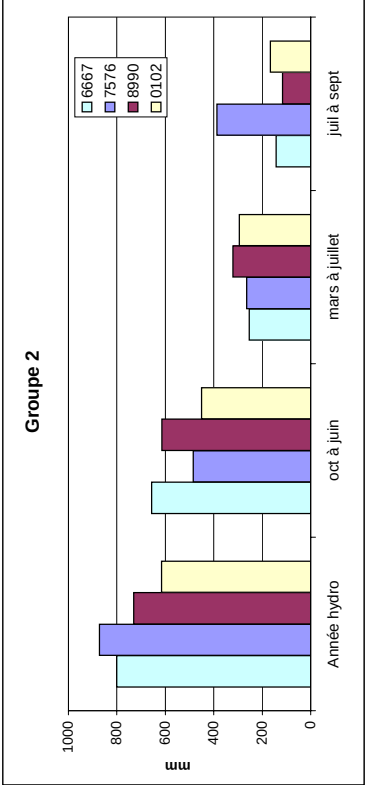
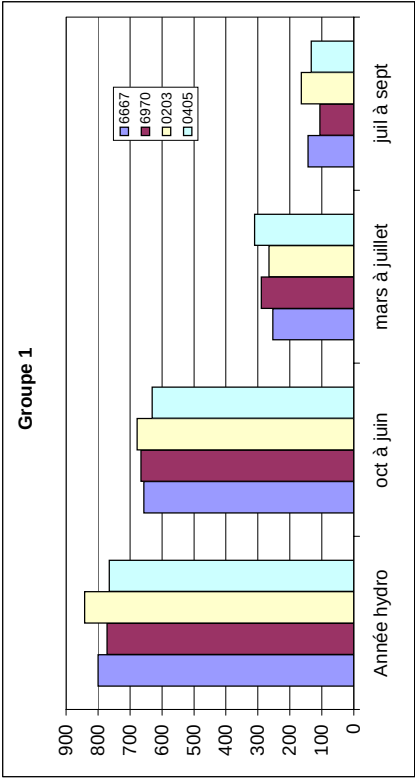
Planche 6 - Comparaison d'indicateurs pluviométriques d'années sèches anciennes et actuelles

	Années anciennes						Années récentes					
	6667	6869	6970	7273	7374	7576	8990	9091	0102	0203	0405	0506
Année hydro	800	1002,5	772	869	963	872	730	1128	616	842	765	862,3
oct à juin	657	737	666	645	745	485	614	856	450	678	631	600
mars à juillet	253	370	289	366	381	264	321	379	294	265	310	301,5
juil à sept	143	265	106	224	218	387	116	272	166	164	133	262,3



Récapitulation

Année hydro	Oct à juin		Mars à juillet		Juillet à septembre	
	Moyenne années récentes	Moyenne années anciennes	Moyenne années récentes	Moyenne années anciennes	Moyenne années récentes	Moyenne années anciennes
Groupe 1	786	803,5	271	287	125	148
Groupe 2	836	673	259	307	265	141
Groupe 3	945	995	372	340	236	267
3 groupes	856	824	301	311	209	185



Ce comportement de l'été 1976, qui a posé également problème pour la reconstitution des débits naturels, semble imputable à des erreurs de mesure à Campagne, puisque les débits de Mont-de-Marsan sont pour leur part « normaux » c'est-à-dire plus élevés ($\geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$).

Au total, la comparaison fait apparaître les baisses de débit moyennes suivantes (en m^3/s) :

	Mont-de-Marsan	Campagne
Années groupe 1	-1.9 à 2.9	-3.5 à 6.5
Années groupe 2	-1 à 1.5	0(1976) ; -3.5 à -5
Années groupe 3	-1 à 1.8	-3 à -5

Si on les compare avec l'influence qu'auraient les prélèvements d'irrigation pour des doses annuelles variant de 2 000 à 3 500 m^3/ha étalées sur 4 mois on s'aperçoit (tableau 10) :

- que les seuls ha rivières non compensés (dont on est certain qu'ils se répercutent intégralement sur les débits d'étiage) ne représentent que 0.2 à 0.6 m^3/s à Mont-de-Marsan et 0.5 à 1 m^3/s à Campagne : l'influence des prélèvements en nappe serait flagrante,
- que si on introduit l'influence des prélèvements en nappe comme si elle se répercutait intégralement sur les prélèvements, on obtiendrait une influence totale à MTMA variant de 0.7 à 1.5 m^3/s , **donc inférieure ou au mieux égale à la diminution constatée des débits** ; à Campagne, l'influence totale varierait de 3.2 à 5.8 m^3/s **et est donc comparable** à celle constatée sur les débits.

Cette **constatation importante** peut s'interpréter de deux façons :

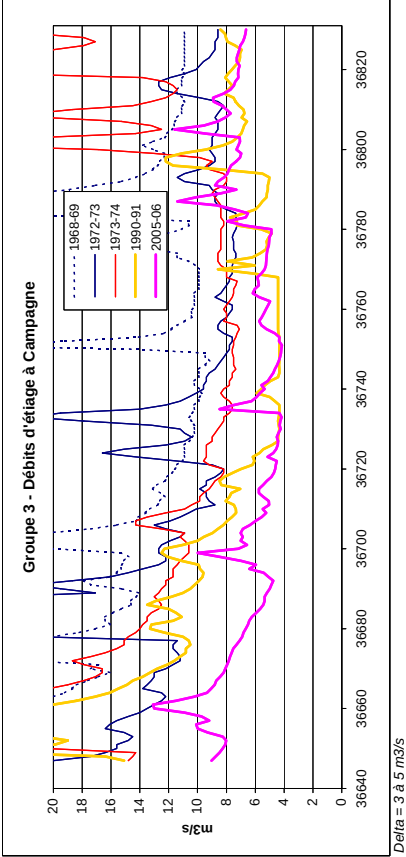
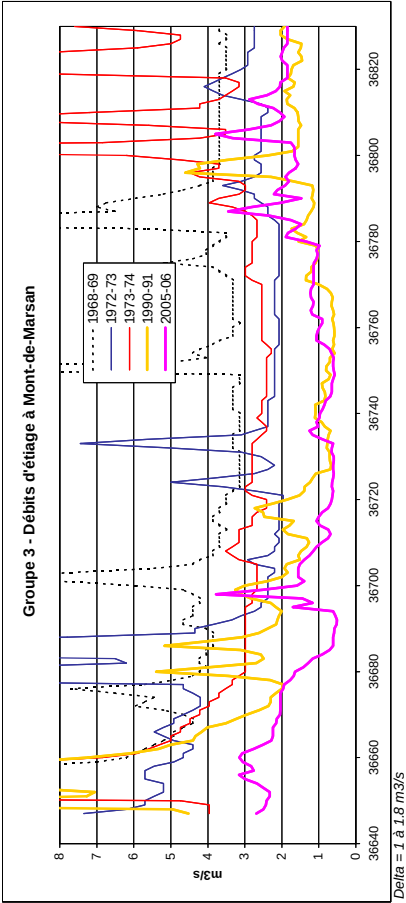
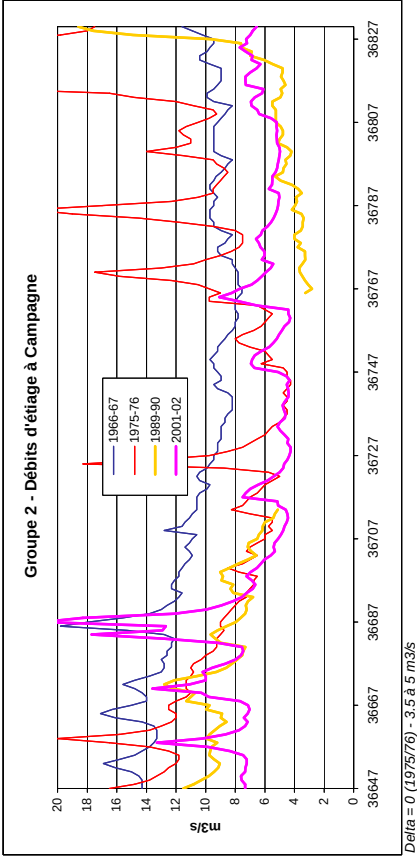
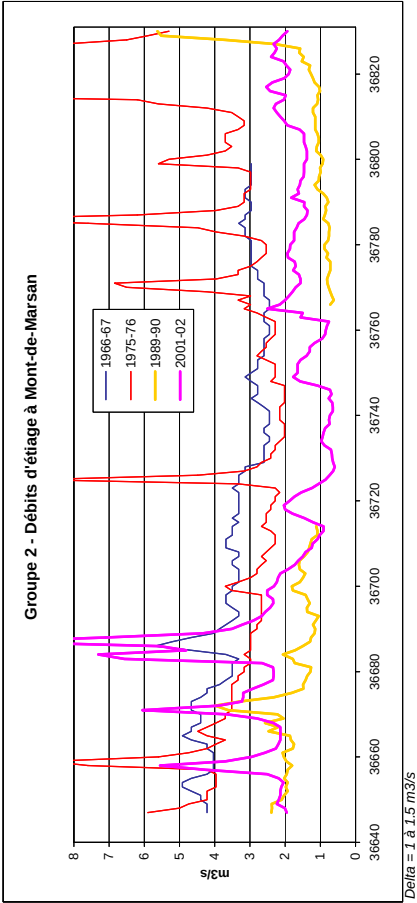
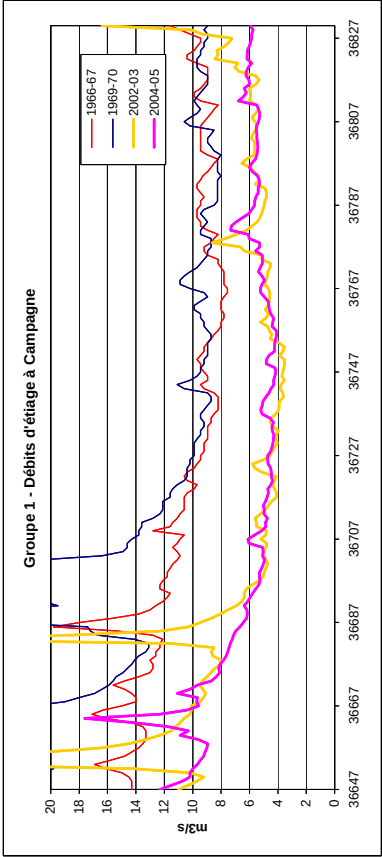
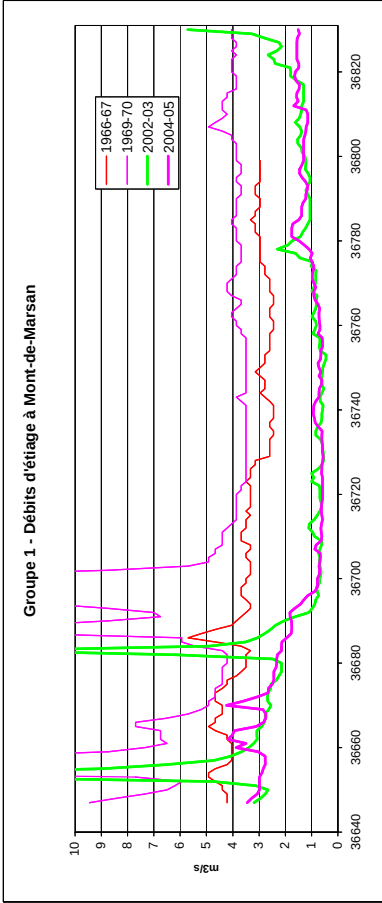
- les prélèvements d'irrigation en nappe se répercutent en effet *intégralement* sur les écoulements,
- *d'autres causes* que les prélèvements d'irrigation sont à l'origine de la baisse des débits, ou tout du moins *y participent*.

Parmi ces différentes causes, qui ont déjà été évoquées à des niveaux divers, on citera d'abord le déficit pluviométrique (celui-ci étant particulièrement sensible sur les dernières années), mais également l'influence des autres prélèvements, notamment ceux d'eau potable, beaucoup moins importants en débit mais continus dans l'année, l'augmentation possible de l'ETP, l'influence de la forêt landaise, l'influence de l'évolution des assolements et des pratiques culturales sur la recharge des nappes, etc ...

5.3.2.2 – Analyse des écarts entre les débits mesurés et les débits naturels

Rappelons que les débits naturels ont été reconstitués à partir d'une modélisation pluie-débit, ce qui a permis de s'affranchir de la reconstitution des influences sur la période 1969-2006.

Planche 7 - Comparaison des débits d'étiage d' années sèches anciennes et récentes à pluviométrie plus ou moins comparable



Les écarts qui apparaissent à la comparaison des débits naturels et des débits mesurés sont donc -dans la mesure où les stations prises en compte ne sont pas influencées par la régularisation des retenues amont- imputables aux prélèvements.

On devrait donc :

- voir croître ces écarts au fur et à mesure du développement des prélèvements,
- pouvoir distinguer dans ces écarts ce qui revient aux prélèvements en rivière (bien connus) et ce qui revient aux prélèvements en nappe.

Notons que pour ce travail, nous avons été amenés à considérer 3 hypothèses d'influence des prélèvements en rivière :

- H1 : prélèvements en rivière pris en compte = tous ceux du fichier d'autorisation DDAF40, hors ceux qui s'opèrent sur des cours d'eau réalimentés (y compris Ludon à partir des retenues de St-Gein, ST-Michel,...). Le volume total prélevé est estimé à partir des BUT (besoins unitaires théoriques en m^3/ha) annuels,
- H2 : idem que pour H1 mais en ajoutant les prélèvements en rivière « Ludon réalimenté » car il semble que la gestion actuelle du Ludon ne permette pas de réellement compenser ces prélèvements,
- H3 : les surfaces irriguées prises en compte sont les mêmes que pour H2, mais les consommations à l'hectare ont été évaluées à partir des consommations annuelles mesurées sur les parcelles de référence de la CA40 (valeurs pouvant être différentes des BUT).

Cette analyse, basée sur des débits fictifs continus, est donc sensiblement équivalente à une analyse en volume.

Les résultats de l'analyse menée pour la station de Campagne sont présentés sur les planches 8, 9 et 10. On a calculé d'une part l'écart moyen sur la période allant du 1^{er} Juin au 30 Septembre (4 mois), d'autre part l'écart maximum sur 5 jours consécutifs de cette période.

Ces résultats sont ensuite récapitulés sur les tableaux supérieurs de la planche 11, où ils sont exprimés d'abord en valeur absolue (m^3/s), ensuite en valeur spécifique (l/s/Km^2). On voit qu'à Mont-de-Marsan les influences spécifiques des prélèvements en nappe sont identiques à celles des prélèvements en rivière (voire supérieures pour H1, ce qui conduit à penser que cette hypothèse n'est pas valable).

A Campagne, les influences spécifiques des prélèvements en nappe apparaissent égales à 0.4 fois (H3) à 0.6 fois (H1) les influences des prélèvements en rivière.

Quant aux écarts moyens maxima sur 5 jours, ils sont systématiquement plus faibles pour les prélèvements en nappe, ce qui est logique car dû à l'amortissement des influences introduit par le milieu aquifère.

Un deuxième type d'analyse légèrement différent a été basé sur l'écart en volume au pas de temps journalier entre les débits naturels reconstitués et la somme (débits mesurés + prélèvements en rivière). La période de référence est la même (1/06 au 30/09), et le calcul a été effectué seulement pour les dernières années (2002 à 2006) pour lesquelles les superficies irriguées sont supposées inchangées. Les prélèvements en rivière sont évalués au pas de temps journalier à partir des BUD (besoins unitaires théoriques décadaires) / 10, corrigés par le rapport (conso. annuelle mesurée par CA40) / BUT annuel.

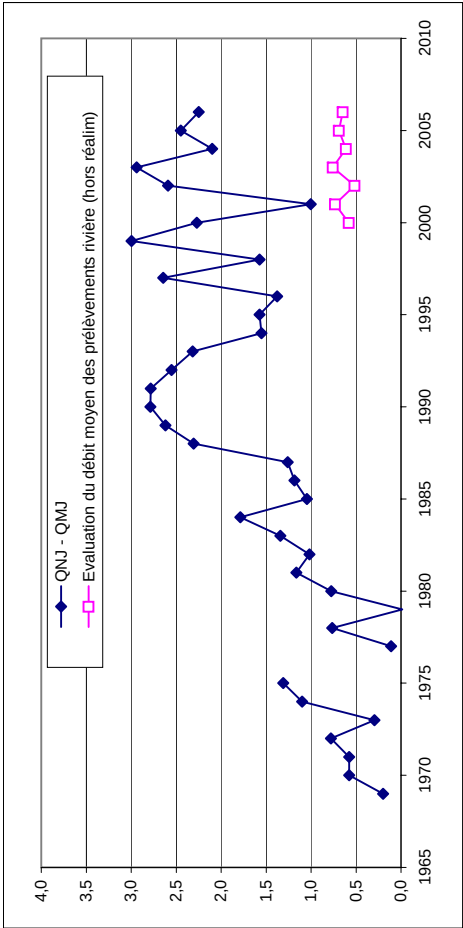
Les résultats obtenus -présentés sur la partie inférieure de la planche 11- montrent que l'influence des prélèvements en nappe est, en moyenne, de l'ordre de 1 300 m³/ha quand celle des prélèvements en rivière atteint 2 550 m³/ha, ce qui correspond à un rapport des influences de 0.53. On peut donc retenir un ratio de l'ordre de 0,5.

Planche 8 - Campagne : comparaison des chroniques de débits mesurés QMJ aux chroniques de débits naturels reconstitués par modèle pluie-débit QNJ et évaluation du débit ponctionné par les prélèvements en rivière - hypothèse H1

NB : Pour éviter de prendre en compte l'influence des écarts sur les pics de crue, le calcul est fait pour des valeurs de QMJ inférieures à un certain seuil que l'on a fait varier

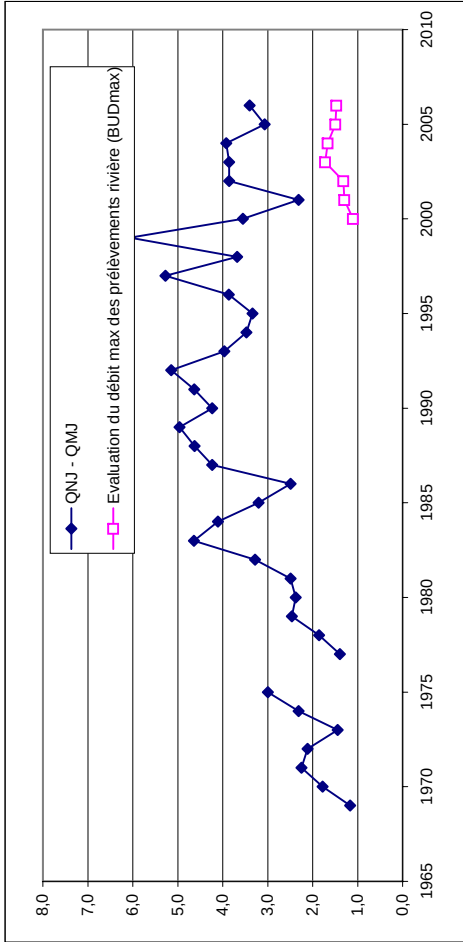
Ecart moyen sur la période 01/06 au 30/09

Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Recherche de la valeur maximale annuelle de l'écart moyen sur 5j (écart moyen sur 5j calculé uniquement sur des écarts positifs)

Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Evaluation des prélèvements en rivière:

Si rivière 2006 = 2345 ha

	BUT en mm (BUT Landes2)	Volume BUT en m3	Estimation V consommé sans restriction (m3)	Qfc réparti sur 4 mois (m3/s)
2000	260,2	2602	6 100 963	0,579
2001	329,3	3293	7 721 897	0,733
2002	232,0	2320	5 440 423	0,516
2003	341,5	3415	8 007 331	0,760
2004	275,4	2754	6 457 356	0,613
2005	310,8	3108	7 287 697	0,691
2006	290,8	2908	6 819 049	0,647
Moyenne	291,4	2 914	6 833 531	0,648

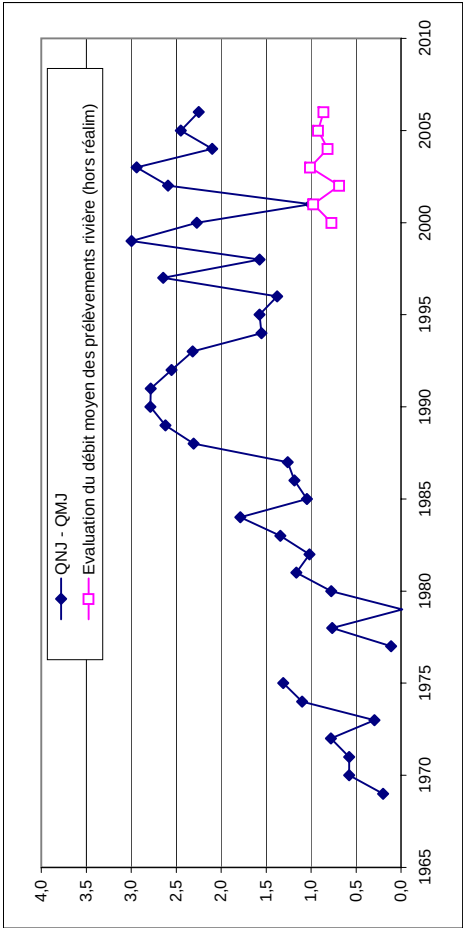
	BUD max année (mm)	Eval Qmax sur la base du BUD max année (m3/s)
2000	40,6	1,101
2001	47,8	1,297
2002	48,5	1,317
2003	63,5	1,722
2004	61,4	1,666
2005	55,1	1,496
2006	54,2	1,471
Moyenne	53,0	1,439

Planche 9 - Campagne : comparaison des chroniques de débits mesurés QMJ aux chroniques de débits naturels reconstitués par modèle pluie-débit QNJ et évaluation du débit ponctionné par les prélèvements en rivière - Hypothèse H2

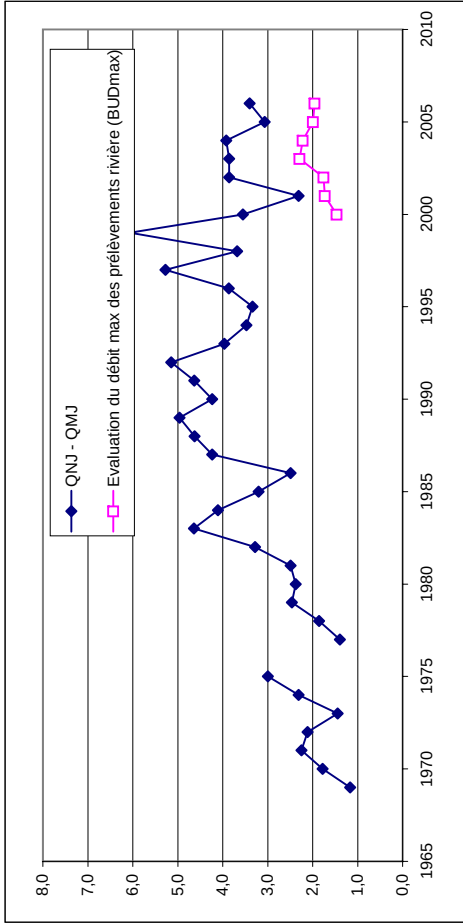
NB : Pour éviter de prendre en compte l'influence des écarts sur les pics de crue, le calcul est fait pour des valeurs de QMJ inférieures à un certain seuil que l'on a fait varier

Ecart moyen sur la période 01/06 au 30/09

Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Evaluation des prélèvements en rivière:

Si rivière 2006 = 3125 ha

	BUT en mm (BUT Landes2)	Volume BUT en m3	Estimation V consommé sans restriction (m3)	Qfc réparti sur 4 mois (m3/s)
2000	260,2	2602	8 130 281	0,771
2001	329,3	3293	10 290 375	0,976
2002	232,0	2320	7 250 031	0,688
2003	341,5	3415	10 670 750	1,012
2004	275,4	2754	8 605 219	0,816
2005	310,8	3108	9 711 750	0,921
2006	290,8	2908	9 087 219	0,862
Moyenne	291,4	2 914	9 106 518	0,864

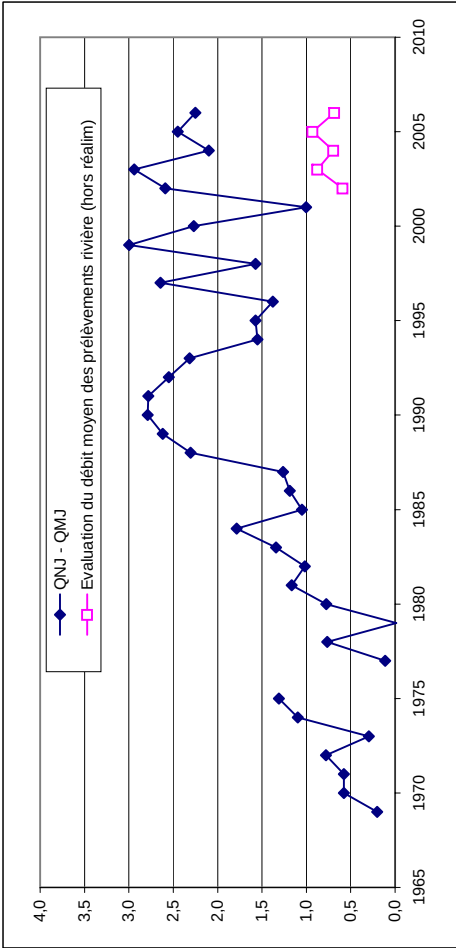
	BUD max année (mm)	Eval Qmax sur la base du BUD max année (m3/s)
2000	40,6	1,467
2001	47,8	1,728
2002	48,5	1,755
2003	63,5	2,295
2004	61,4	2,220
2005	55,1	1,993
2006	54,2	1,960
Moyenne	53,0	1,917

Planche 10 - Campagne : comparaison des chroniques de débits mesurés QMJ aux chroniques de débits naturels reconstitués par modèle pluie-débit QNJ et évaluation du débit ponctionné par les prélèvements en rivière - Hypothèse H3

NB : Pour éviter de prendre en compte l'influence des écarts sur les pics de crue, le calcul est fait pour des valeurs de QMJ inférieures à un certain seuil que l'on a fait varier

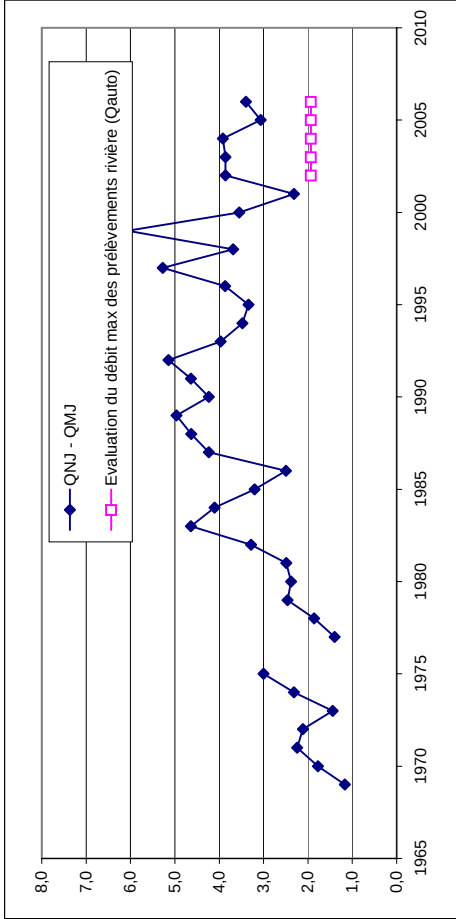
Ecart moyen sur la période 01/06 au 30/09

Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Recherche de la valeur maximale annuelle de l'écart moyen sur 5j (écart moyen sur 5j calculé uniquement sur des écarts positifs)

Courbe obtenue pour les QMJ < 15 m3/s (année 1976 exclue car vraisemblablement douteuse)



Evaluation des prélèvements en rivière:

SI rivière 2006 = 31,25 ha ou 2,421 m3/s
Débit autorisé 2006 = 8 715 m3/h
Hypothèse foisonnement 0,8

	Volume consommé en m3 d'après données CA40	Estimation V consommé (m3)	Qfc réparti sur 4 mois (m3/s)
2002	1999	6 246 094	0,593
2003	2958	9 243 750	0,877
2004	2346	7 331 250	0,696
2005	3140	9 812 500	0,931
2006	2313	7 229 167	0,686
Moyenne	2 551	7 972 552	0,756

	Eval Qmax sur la base du Qauto 2006 x foisonnement (m3/s)
2002	1,937
2003	1,937
2004	1,937
2005	1,937
2006	1,937
Moyenne	1,937

5.3.3 - Conclusion

Les résultats, sans être parfaits, car ils sont entachés des erreurs de détail inhérentes à la reconstitution des débits naturels (sans oublier celles qui affectent les débits mesurés), montrent des tendances convergentes et significatives :

- à Mont-de-Marsan, l'influence des prélèvements en nappe serait de l'ordre de 0,25 l/s/ha, c'est-à-dire comparable à celle des prélèvements en rivière : le coefficient d'influence des pompages en nappe sur le volume moyen est voisin de 1,
- à Campagne, l'influence globale des prélèvements en nappe serait de l'ordre de 0,10 l/s/ha, c'est-à-dire environ 2 fois moins qu'à Mont-de-Marsan et 2 fois moins que celle des prélèvements en rivière : le coefficient d'influence des pompages en nappe serait donc de l'ordre de 0,5.

Analyse de l'influence des prélèvements sur les débits d'étiage (moyenne sur 6 dernières années)

1 / Résultats de l'analyse en débit (écarts QNJ-QMJ du 1/06 au 30/09)

1 / Mont- de Marsan	Prélèvements en rivière (985 ou 1765 Ha)				Prélèvements en nappe (2550 Ha)				Ratio infil nappe / infil riv					
	Ecart moyen total QNJ-QM3	Ecart moyen imputable aux prél en rivière			Influence spécifique correspondante (1)			Ecart moyen imputable aux prél en nappe		Influence spécifique correspondante (2)				
		H1 (985 Ha conso=BUT)	H2 (1765 Ha conso=BUT)	H3 (1765ha conso CA40)	H1	H2	H3				H1	H2	H3	
		m3/s	m3/s	m3/s	l/s/ha	l/s/ha	l/s/ha				l/s/ha	l/s/ha	l/s/ha	
Analyse sur écarts moyens 4 mois (1/06 au 30/09)	1,0	0,3	0,4	0,4	0,25	0,25	0,24	0,8	0,6	0,6	0,31	0,23	0,23	0,9 (H2-H3) à >1(H1)
Analyse sur écart moyen max sur 5 jours	1,7	0,6	1,1	1,0	0,60	0,60	0,58	1,1	0,6	0,7	0,43	0,25	0,26	0,4 à 0,7

2 / Campagne

2 / Campagne	Prélèvements en rivière (2345 ou 3125 Ha)				Prélèvements en nappe (14 150 Ha)				Ratio infil nappe / infil riv					
	Ecart moyen total QNJ-QMJ	Ecart moyen imputable aux prél en rivière			Influence déduite des prélèvements en rivière sur 4 mois			Ecart moyen imputable aux prél en nappe		Influence déduite des prélèvements en nappe sur 4 mois				
		H1 (2345 Ha conso=BUT)	H2 (3125 Ha conso=BUT)	H3 (3125ha conso CA40)	H1	H2	H3							
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	l/s/Ha	l/s/Ha	l/s/Ha	m3/s	m3/s	m3/s	H1	H2	H3	
Analyse sur débits moyens 4 mois (1/06 au 30/09)	2,2	0,6	0,9	0,8	0,28	0,28	0,24	1,6	1,4	1,5	0,11	0,10	0,10	0,4
Analyse sur écart moyen max sur 5 jours	3,4	1,4	1,9	1,9	0,61	0,61	0,62	2,0	1,5	1,5	0,14	0,11	0,11	0,2

2 / Résultats de l'analyse en volume à Campagne :
= Somme des volumes journaliers de QNJ-(QMJ+INFrivière) (hors pics de crue QMJ > 15m3/s et valeurs négatives non comptées) où INFrivière est évaluée à partir des BUD (besoins unitaires décadaires) corrigés sur la base de la consommation annuelle mesurée par la CA40

		2002	2003	2004	2005	2006	moyenne
Evaluation de l'influence des plvts en nappe							
Estimation du volume total de l'influence du 01/06 au 30/09 = écart cumulé QNJ-(QMJ+INFrivière) du 01/06 au 30/09 (Mm3)		21,4	22,1	15,6	16,4	17,3	18,6
Estimation en volume/ha (m3/ha)		1514	1559	1102	1157	1226	1312
Comparaison aux prélèvements en rivière							
Volume consommé plvts rivière (Mm3) calculé d'après conso CA40		6,2	9,2	7,3	9,8	7,2	8,0
Volume/ha (m3/ha) = Conso d'après données CA40 sur parcelles des RA Marsal		1999	2958	2346	3140	2313	2551
Rapport influence nappe / influence rivière (rapport des volumes/ha) (BUT annuel)		0,76	0,53	0,47	0,37	0,53	0,53

Hypothèse H2 sur les surfaces influentes en rivière
S.I. rivières amont Campagne (hors prél compensés)

6 - CONCLUSION GENERALE

Cette analyse a conduit à s'éloigner assez loin du propos initial. En effet, la recherche -justifiée par la difficulté, voire l'impossibilité de déterminer « par l'amont » l'influence globale des prélèvements dans un système multicouche relativement complexe et étendu- de la matérialisation des impacts globaux des prélèvements à partir de l'analyse des débits se trouve biaisée dès lors que les statistiques de débits disponibles ne semblent plus stationnaires.

Cependant, même si la dérive des débits -qui ne doit probablement plus être limitée à celle des basses eaux annuelles- a d'autres causes que les seuls prélèvements, l'existence de répercussions sensibles des prélèvements en nappe sur les écoulements ne peut être remise en cause. En effet, l'essentiel des débits d'étiage provient du drainage des nappes, et le débit intercepté par les prélèvements est en moyenne du même ordre que cet apport de drainage, et largement supérieur à celui-ci en pointe.

Nous proposons donc de retenir, pour caractériser l'influence moyenne **en volume** des prélèvements saisonniers dans les nappes, les deux coefficients qui résultent de l'analyse ci-dessus des écarts entre débits naturels et mesurés :

- 1 à l'amont de Mont-de-Marsan,
- 0,5 pour le bassin global à Campagne (et au niveau du confluent MIAD).

Ces coefficients traduisent la répercussion sur le volume écoulé dans les rivières du volume prélevé en nappe.

Sans pouvoir avancer de justifications particulières autres que ce qui nous semble être la logique, nous proposons ensuite de répartir le coefficient global de 0,5 entre les différents domaines et les différents aquifères selon le découpage qui a été proposé au § 5.3.1.2, de façon à tenir compte des conditions de gisement de ces aquifères et donc de leurs liens avec les écoulements superficiels. Les coefficients d'influence proposés, exprimés en volumes, ont été calés de façon à retrouver si l'on tient compte de la pondération par les surfaces irriguées correspondantes, le coefficient global de 0,5 à Campagne (planche 12).

Ainsi, notre analyse nous a permis d'obtenir un ordre de grandeur de la répercussion en volume des prélèvements en nappe sur les écoulements superficiels, au travers de ces valeurs de coefficients exprimés par domaine et par aquifère. Il reste une dernière étape à franchir qui est de proposer une traduction **en débit** de cette influence.

Cette traduction n'est pas immédiate car l'effet des prélèvements en nappe se fait sentir de manière différée sur les écoulements en rivière.

Ce phénomène a été modélisé par l'intermédiaire de deux fonctions de transfert type :

- la fonction de transfert de type 1, dans laquelle les effets retardés sont minorés, et applicables aux nappes superficielles directement connectées aux écoulements.

Il s'agit d'une fonction de transfert de deuxième ordre avec retard dont la forme a été précédemment calée sur les nappes du bassin de l'Adour. Elle est illustrée sur le premier graphique de la planche 12. Sur ce graphique est représentée une courbe « d'entrée » (courbe bleue $e(t)$) d'un pompage en nappe fictif constant de 100 l/s pendant 90 j. Les 3 autres courbes représentent l'influence résultante sur le débit de la rivière pour des coefficients d'influence en volume de 0,4, 0,6 et 1. L'influence augmente progressivement dans le temps et se prolonge après l'arrêt du pompage (ici avec une décroissance rapide),

- la fonction de transfert de type 2, dans laquelle les effets retardés sont plus importants, sera appliquée aux nappes plus profondes et moins directement connectées.

La courbe résultante (visible sur le 2^{ème} graphique de la planche 12) étant symétrique, 50% de l'influence totale s'observe après l'arrêt du pompage (l'influence décroît moins vite que pour la fonction de transfert de type 1).

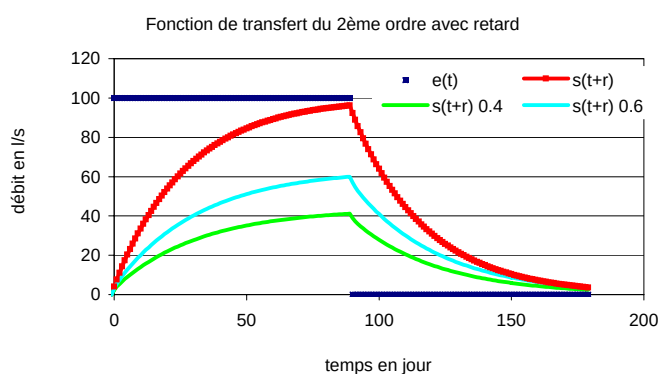
Récapitulation des Influences nappes - rivières

Domaine		Aquifères superficiels, directement drainés			Aquifères plus ou moins recouverts, drainés uniquement dans les vallées principales mais susceptibles de générer des drainances verticales des parties libres du multicouche		
		Code aquifère	Coef d'influence en volume	Type de fonction de transfert	Code aquifère	Coef d'influence en volume	Type de fonction de transfert
1	"Armagnac" (Midour-Douze amont)	565	1	1	-		
2	"Amont des affluents rive droite"	127 A0	0,4	1	235	0,25	2
3	"Aval des affluents rive droite"	127 A0 + 235	0,6	1	-		
4	"Marsan"	128	0,4	1	235	0,25	2
5	"Vallée Midouze moyenne et inférieure"	348 + 127 A0	0,6	1	235	0,25	2

Fonctions de transfert :

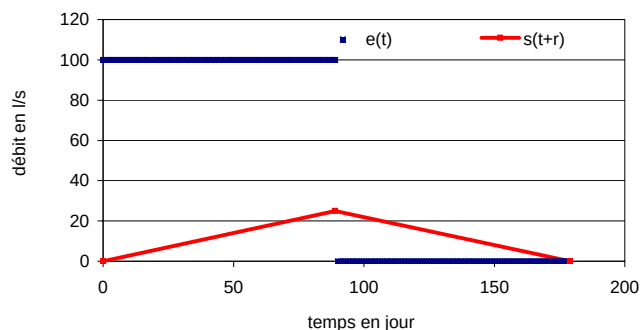
Fonction type 1

Dissymétrique ; l'influence diminue rapidement avec l'arrêt des prélèvements



Fonction type 2

Fonction symétrique : l'influence des prélèvements est plus retardée



Les courbes $e(t)$ représentent le pompage en nappe (en débit) et les courbes $s(t+r)$ représentent l'influence résultante en rivière. Ces graphiques illustrent la réponse à un pompage constant de 100 l/s sur 90j, ce qui évidemment ne représente pas la réalité des irrigations ; dans les bilans, les influences seront calculées avec l'équation de la fonction de transfert appliquées aux pompages réels. Pour la fonction de transfert de type 1, les différentes courbes $s(t+r)$ correspondent à différents coefficients d'influence en volume : $s(t+r)$ correspond au coefficient 1, $s(t+r) 0.4$ au coefficient 0.4 et $s(t+r) 0.6$ au coefficient 0.6. Pour la fonction de transfert de type 2, la courbe rouge représentant l'influence résultante correspond à un coefficient d'influence en volume de 0.25.