















Hydrogéologie, usage de l'eau et changement climatique dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron

Rapport final

BRGM/RP-66803-FR

Avril 2017

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM AP15AQI024

A. Wuilleumier, N. Graveline, J-D. Rinaudo Avec la collaboration de F. Caperan, A. Hoareau, P. Thicoïpe.

Vérificateur:

Nom: Y. CABALLERO

Fonction: Responsable Scientifique

de Programme

Date: 17/05/2017

Signature:

Approbateur:

Nom: N. PEDRON

Fonction: Directeur du BRGM

Nouvelle-Aquitaine

Date: 05/06/2017

Signature:



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.













Mots-clés : Hydrogéologie, évolution climatique, gave de Pau, gave d'Oloron, source, jaugeage, usage de l'eau
En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Wuilleumier A., Graveline N., Rinaudo J-D., avec la collaboration de Caperan F., Hoareau A., Thicoïpe P. (2017) - Hydrogéologie, usage de l'eau et changement climatique dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron. Rapport final. BRGM/RP-66803-FR, 132 p., 87 ill., 11 tab., 7 ann.
© BRGM, 2017, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la convention régionale eaux souterraines 2015-2020 signée entre la Région Aquitaine, l'Etat et le BRGM avec le concours financier de l'Union Européenne au travers du programme FEDER, du Département des Pyrénées-Atlantiques et de l'Agence de l'eau Adour-Garonne (AEAG). Ce rapport porte plus particulièrement sur le module 3.3 de la convention, à savoir l'étude des évolutions climatique, hydrologique et des usages de l'eau dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron.

La première année de cette étude a comporté quatre volets :

- 1/ apporter des éléments de connaissance de l'hydrogéologie des bassins versants. Ce volet a lui-même été décliné en trois actions :
 - o rédiger une synthèse hydrogéologique portant sur les principales ressources en eaux souterraines disponibles dans les bassins versants des deux gaves ;
 - modéliser, sous la forme de modélisations de type « global », l'évolution du débit des deux rivières au fil du temps, pour apporter une proposition de compréhension de leur fonctionnement hydrodynamique;
 - o conduire un monitoring temporaire du débit et des paramètres physico-chimiques de sources de montagne dans l'optique d'améliorer la compréhension de l'hydrodynamique des eaux souterraines dans les Pyrénées Atlantiques.
- 2/ préciser, sur la base des données climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques disponibles, les évolutions constatées dans le cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron;
- 3/ préparer l'avenir en initiant un monitoring continu du débit d'une source de montagne dans l'optique de la constitution, à termes, d'un réseau de suivi du changement climatique, réseau préconisé par ailleurs par l'Observatoire Pyrénéen des Changements Climatiques (OPCC);
- 4/ Préciser l'évolution des usages de l'eau dans les deux bassins versants et la perception du changement climatique par les acteurs de ces territoires. Ce volet a comporté une participation aux travaux de l'étude Adour 2050, afin de s'assurer de la bonne cohérence des investigations conduites à l'aide de fonds publics sur des territoires et thématiques connexes.

Ces quatre volets complémentaires, qui visent à apporter, dans le cadre du changement climatique, une connaissance hydrogéologique et économique des territoires étudiés, ont montré l'existence d'une baisse importante des débits écoulés dans les cours d'eau au cours des quarante dernières années mais aussi l'existence d'une ressource en eau relativement abondante sur ce même territoire.

Quatre campagnes de jaugeages ont été effectuées sur une dizaine de sources de la zone d'étude. En parallèle, un matériel de monitoring a été mis en place sur la source de Gourgouch à Louvie-Jouzon pour suivre son débit à un pas de temps horaire. Les données sont télétransmises et accessibles le jour-même via un site Internet. Le suivi s'effectuant en hauteur d'eau, une courbe de tarage sera constituée et restituée dans le cadre de l'année 2 de cette étude.

Une modélisation des débits du gave de Pau et du gave d'Oloron dans la partie avale de leurs bassins versants a été réalisée à l'aide du logiciel TEMPO ©. Les résultats obtenus montrent l'existence de fonctionnements différents, notamment vis-à-vis de la contribution attribuée à la fonte des neiges. Ainsi, cette contribution est évaluée à près de 20% dans le cas du gave de Pau, tandis qu'elle est de l'ordre de 3% pour le gave d'Oloron.

La partie relative à la recherche de tendances dans le cycle de l'eau est restituée dans un rapport spécifique, distinct du présent rapport (Seguin et Wuilleumier, 2017).

Concernant la demande en eau pour un usage agricole, il apparaît qu'elle serait en légère augmentation pour l'aval de la zone d'étude, notamment pour la partie landaise. Cette augmentation est à mettre en lien avec la nécessité de satisfaire les besoins des nouvelles surfaces en kiwi et de parcelles de maïs qui passeront à l'irrigation en exploitant des ressources superficielles ou souterraines des gaves. Dans la partie amont des bassins versants, la probabilité d'un développement de l'irrigation est faible.

Concernant l'eau potable, la tendance sur le long terme est à la stabilité ou à la baisse de la consommation. Cette tendance implique i) que les pressions exercées sur les ressources en eau ne devraient pas augmenter et qu'il y a peu de risque de voir apparaitre des situations de déficit pour l'alimentation en eau potable et ii) que la baisse de la consommation en eau potable entrainera une baisse des recettes alors que les coûts, principalement fixes, augmentent.

En termes de perception du changement climatique, les acteurs consultés indiquent qu'ils disposent de peu d'information factuelle permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur leur territoire et sur les ressources qu'ils exploitent. Il leur est de ce fait difficile de de se prononcer sur l'impact que cela pourrait avoir sur la gestion du service d'eau potable. Ils sont toutefois globalement convaincus de l'importance des changements climatiques en cours et de leur impact potentiel sur l'hydrologie des bassins versants.

Ainsi, la ressource en eau des gaves reste considérée comme abondante et il n'est pas apparu de préoccupation majeure concernant la disponibilité future pour l'alimentation en eau potable. La nappe alluviale du gave de Pau est en particulier considérée comme une ressource très importante qui pourrait être exploitée bien au-delà de son niveau actuel. Des difficultés potentielles sont néanmoins identifiées concernant la qualité des eaux souterraines, les débits d'étiage de sources karstiques captées pour de petites collectivités et le développement potentiel de conflits d'usages sur certains secteurs.

Sommaire

1.	. Introduction	13
2.	2. Contexte géographique	15
	2.1. ALTITUDES ET PENTES	15
	2.2. CLIMATOLOGIE	16
	2.2.1. Pluviométrie	16
	2.2.2.Évapotranspiration	
	2.2.3. Pluies efficaces	18
	2.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROMÉTRIE	21
	2.3.1. Hydrographie	
	2.3.2. Aménagement des cours d'eau : les barrages hydroélectriques	
	2.3.3. Hydrométrie des cours d'eau	33
	2.4. COUVERT VÉGÉTAL ET BIODIVERSITÉ	35
	2.5. NEIGE ET SURFACES ENGLACÉES	36
3.	B. Hydrogéologie des bassins versants	39
	3.1. INVENTAIRE BIBLIOGRAPHIQUE	39
	3.2. FORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES	41
	3.2.1. Entités de la BD-LISA	41
	3.2.2. Aquifère alluvial du gave de Pau	46
	3.2.3. Autres aquifères alluviaux	48
	3.2.4. Chaînons calcaires	
	3.2.5. Granitoïdes	51
	3.3. ÉMERGENCES	52
	3.3.1.Cartographie des émergences	52
	3.3.2. Typologie des émergences	
	3.3.3. Sources thermo-minérales	
	3.4. PIÉZOMÉTRIE	57
	3.4.1. Cartes piézométriques	57
	3.4.2. Chroniques piézométriques	59
	3.5. KARST	61
	3.6. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES	65
4.	l. Modélisations globales	67

	4.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DU FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL TEMPO	67
	4.2. MODÉLISATION DU DÉBIT DU GAVE DE PAU À BÉRENX	68 70
	4.2.3. Modélisation actualisée du débit du gave de Pau à Bérenx	70
	4.3. MODÉLISATION DU DÉBIT DU GAVE D'OLORON À ESCOS	
	4.3.2.Modélisation du débit du gave d'Oloron à Escos	
5.	5. Campagnes de jaugeages de sources	77
	5.1. SOURCES JAUGÉES	77
	5.1.1.Méthode de sélection des sources	
	5.1.2. Sélection des sources	77
	5.2. CAMPAGNES DE JAUGEAGES	79
	5.2.1. Campagnes de jaugeages et méthodes de mesures	
	5.2.2. Débits mesurés lors des campagnes de mesures	
	5.2.3. Physico-chimie mesurée lors des campagnes de mesures	82
	5.3. SUIVIS EFFECTUÉS PAR DES EXPLOITANTS	82
6.	6. Suivi en continu du débit de sources	85
	6.1. ÉQUIPEMENT DE LA SOURCE DE GOURGOUCH À LOUVIE-JOUZON	85
	6.2. FAISABILITÉ DE L'ÉQUIPEMENT DE LA SOURCE DE RIOU À BILHÈRES .	87
7.	7. L'usage agricole de l'eau pour l'irrigation : situation actuelle, tendances et perspectives d'évolution future	89
	7.1. INTRODUCTION	89
	7.2. DONNEES MOBILISÉES	89
	7.2.1.Les données du recensement général agricole	89
	7.2.2.Les données de volumes, débits et surfaces autorisés	
	7.2.3.Les données du fichier redevance prélèvement de l'agence de l'eau	90
	7.3. VUE D'ENSEMBLE DE L'USAGE AGRICOLE POUR L'IRRIGATION	90
	7.3.1. Aperçu de l'agriculture du territoire	
	7.3.2. Importance de l'irrigation	
	7.3.3. Cultures irriguées	
	7.4. ÉVALUATION DES VOLUMES PRÉLEVÉS PAR L'AGRICULTURE	92
	7.5. TENDANCES RÉCENTES OBSERVÉES	98

	7.5.1. Évolution générale de l'agriculture dans la zone d'étude (2000-2010)	98
	7.5.2. Evolution de l'irrigation	99
	7.5.3. Cultures irriguées	. 101
	7.5.4. Type de prélèvements et origine de l'eau	. 101
	7.6. ANALYSE DES FACTEURS DE CHANGEMENTS EXPLICATIFS DES TENDANCE	S101
	7.6.1. Un cadre réglementaire de l'usage agricole de l'eau peu contraignant dans les gaves	
	7.6.2. Des politiques de subventions volontaristes ont permis le développement de	. 101
	l'irrigation des années 70 aux années 2000	. 103
	7.6.3. Une évolution inégale de l'irrigation sur le territoire depuis les années 2000	. 104
	7.6.4. Évolutions des consommations unitaires (par hectare) ?	. 105
	7.6.5. Conclusions sur l'adaptation	. 106
	7.7. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION FUTURE DE L'USAGE AGRICOLE DE L'EAU	. 107
	7.7.1.Les réglementations et politiques de l'eau	. 107
	7.7.2.Les subventions au développement de l'irrigation	. 107
	7.7.3.Le coût des technologies et les subventions	. 108
	7.7.4.Le coût de l'énergie	. 108
	7.7.5.Les marchés agricoles	. 109
	7.7.6.Les ravageurs des cultures	. 109
	7.7.7.La perception du changement climatique	. 109
	7.7.8.Les projets de transferts	. 110
	7.7.9. Conclusion	. 110
8.	L'usage eau potable : situation actuelle, tendances et perspectives d'évolution	
	future	. 111
	8.1. INTRODUCTION	. 111
	8.2. SITUATION ACTUELLE : VUE D'ENSEMBLE DE L'USAGE EAU POTABLE DANS	
	LA ZONE D'ÉTUDE	. 111
	8.2.1.L'usage eau potable	. 111
	8.2.2.Organisation du secteur et données disponibles	. 113
	8.2.3.Les ressources	. 114
	8.3. ÉVALUATION DES PRÉLÈVEMENTS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE	≣114
	8.4. ANALYSE RETROSPECTIVE : TENDANCES ET FACTEURS DE CHANGEMENT .	. 117
	8.4.1. Évolution de la consommation : tendance et facteurs explicatifs	. 117
	8.4.2. Étude détaillée de quelques collectivités	. 118
	8.4.3.Rendement des réseaux	. 121
	8.5. PERSPECTIVES D'EVOLUTION FUTURE DE L'USAGE EAU POTABLE	. 122
	8.5.1. Hypothèses d'évolution future des usagers d'eau potable des bassins des	400
	Gaves	
	8.5.2. Autres facteurs déterminant l'évolution des prélèvements futurs	. 124

8.5.3. Perception de l'impact du changement climatique par les collectivités gestionnaires du service d'eau potable	125
9. Conclusions	127
10. Bibliographie	129
Liste des illustrations	
Illustration 1 : Altitude des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (MNT IGN, pas de 50 m)	15
Illustration 2 : Pentes rencontrées dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron	16
Illustration 3 : Pluviométrie annuelle moyenne (grille AURELHY de MétéoFrance, 1971-2000, en mr	
Illustration 4 : Sélection de deux transects Nord-Sud de mailles de la grille SAFRAN de MétéoFranc	,
Illustration 5 : Corrélations linéaires entre l'altitude de la station hydrométrique et la lame d'eau écoulée à cette même station.	20
Illustration 6 : Hydrographie des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron.	21
Illustration 7 : Réseau hydrographique des gaves de Pau et d'Oloron et fond géologique au 1M (BRGM).	22
Illustration 8 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif des Arbailles	s 23
Illustration 9 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) entre vallées d'Aspe et d'Ossau	24
Illustration 10 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif du Néouvie	elle. 24
Illustration 11 : Indice de Développement et de Persistance de Réseaux et réseau hydrographique.	25
Illustration 12 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000) en zone alluviale du gave de Pau	26
Illustration 13 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000) vers le Pic d'Anie.	27
Illustration 14 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif du Pic de Ger.	27
Illustration 15 : Parc hydraulique raccordé et production hydraulique d'électricité en France en 2015 (in : Panorama de l'électricité renouvelable en 2015).	28
Illustration 16 : Sites d'implantations de la SHEM répartis en 9 groupement d'usines (in : Plaquette institutionnelle de la SHEM 2014)	29
Illustration 17 : Répartition géographique des ouvrages utilisés par EDF à des fins de production hydro-électrique (EDF, 2007, plaquette de présentation du GEH Adour et Gaves).	30
Illustration 18 : Production hydro-électrique de la partie du bassin versant du gave de Pau située er Hautes-Pyrénées (SMDRA, 2007).	32
Illustration 19 : Localisation des stations hydrométriques sur la zone d'étude	33
Illustration 20 : Hydrogramme de stations hydrométriques dans la partie amont des bassins versant a) le gave d'Héas à Gèdre (Q4124010) et b) le gave de Pau à Sassis (Q4401010)	s : 35
Illustration 21 : Hydrogramme de stations hydrométriques dans la partie aval des bassins versants a) le gave de Pau à Bérenx (Q5501010) et b) le gave d'Oloron à Escos (Q7412910	
Illustration 22 : Vues de glaciers pyrénéens à 100 ou 150 ans d'écart (Site Internet Association Moraine)	37

Illustration 23 : Bilan annuel de masse du glacier d'Ossoue de 2001 à 2011 (Association Moraine, 2011)	38
Illustration 24 : Localisation des entités hydrogéologiques de niveau 1 de la BD LISA	42
Illustration 25 : « Thème » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA	43
Illustration 26 : « Nature » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA	44
Illustration 27 : « Milieu » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA	44
Illustration 28 : « Etat » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA	45
Illustration 29 : Principaux aquifères des Pyrénées occidentales (Roux et al., 2006)	46
Illustration 30 : Epaisseur des alluvions du gave de Pau (Corbier et al., 2008)	47
Illustration 31 : Structure type d'un aquifère de socle (Wyns, 2013)	51
Illustration 32 : Localisation des sources dans la zone d'étude	52
Illustration 33 : Coupe hydrogéologique simplifiée de la vallée de l'Ouzom au droit des sources Aygue Blanque et Aygue Nègre (Université Bordeaux 3 et SETMO, 2006)	53
Illustration 34 : Coupe géologique schématique au droit de l'œil du Bergons et de la source Peguilla (Roux et al., 2006)	53
Illustration 35 : Relation entre le débit de la source Iscoo-aval et la pluviométrie (Roux et al., 2006)	54
Illustration 36 : Localisation des sources thermales dans la zone d'étude	56
Illustration 37 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du gave de Pau au voisinage de Bordes en juillet 2009 (ANTEA et al., 2009)	58
Illustration 38 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du gave d'Oloron dans la plaine de Castagnède (Armand et al., 1993, repris par Roux et al., 2006)	59
Illustration 39 : Piézomètres suivis dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron	60
Illustration 40 : Chronique piézométrique au piézomètre de Coarraze (indice BSS : 10522X0030)	60
Illustration 41 : Bloc-diagramme du réseau de la Pierre-Saint-Martin (source : Karstologia Mémoires n°19)	61
Illustration 42 : Carte géomorphologique simplifiée du massif des Arbailles (source : Karstologia Mémoires n°19)	62
Illustration 43 : Écoulements et figures karstiques du massif de Saint-Pé-de-Bigorre (source : Karstologia Mémoires n°19)	63
Illustration 44 : Gouffres, pertes et résurgences entre vallée d'Ossau et Œil du Neez (AGSO, 2016)	64
Illustration 45 : Figures et cavités karstiques ou anthropiques connues en BSS et dans la base BD- Cavité	64
Illustration 46 : Ouvrages identifiés pour lesquels des tests hydrodynamiques ont été effectués	65
Illustration 47 : Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO	67
Illustration 48 : Les modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire »	68
Illustration 49 : Proposition de décomposition du débit du gave de Pau à Bérenx (2005-2008) à l'issue du travail de modélisation conduit en 2010 (Corbier et al., 2010)	69
Illustration 50 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011)	71
Illustration 51 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011) - contributions moyennes mensuelles exprimées en débit (m³/s)	72
Illustration 52 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011) - contributions moyennes	73

Illustration 53 : Simulation du debit du gave d'Olor	on a Escos (2002-2011)	75
Illustration 54 : Simulation du débit du gave d'Olor mensuelles exprimées en débit (n	on à Escos (2002-2011) - contributions moyennes n ³ /s)	75
Illustration 55 : Simulation du débit du gave d'Olor mensuelles exprimées en pourcer	on à Escos (2002-2011) - contributions moyennes ntage	76
Illustration 56 : Sources investiguées et classificat 2003	ion selon les priorités affectées lors de l'étude de	77
Illustration 57 : Volumes journaliers écoulés à la s	source de Miédougé à Aste-Béon (source : Suez)	83
Illustration 58 : Volumes journaliers écoulés à la s	source de La Mouscle à Montaut (source : SEAPAN)	83
Illustration 59 : Equipement de la source de Gourç	ouch à Louvie-Jouzon	85
Illustration 60 : Vue de la source de Gourgouch à	Louvie-Jouzon et de son équipement	86
Illustration 61 : Localisation des points de prélèver versants du gave de Pau et du ga		93
Illustration 62 : Autorisation de prélèvements pour bassin de l'Adour - 2015 (Institution		94
Illustration 63 : Volumes prélevés annuellement po gaves de Pau et d'Oloron (1991-2	our un usage agricole dans les bassins versants des 013)	s 95
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	urces en eau utilisées pour un usage agricole dans e Pau et d'Oloron (moyenne 1991-2013). Les	95
Illustration 65 : Volumes prélevés annuellement po gave de Pau (1991-2013)	our un usage agricole dans le bassin versant du	96
	urces en eau utilisées pour un usage agricole dans (moyenne 1991-2013). Les volumes sont exprimés	96
Illustration 67 : Volumes prélevés annuellement po gave d'Oloron (1991-2013)	our un usage agricole dans le bassin versant du	97
Illustration 68 : Proportions respectives des resson gave d'Oloron pour un usage agri- exprimés en m³/an.	urces en eau utilisées dans le bassin versant du cole (moyenne 1991-2013). Les volumes sont	97
Illustration 69 : Evolution des surfaces dans l'ense Aquitaine et Midi-Pyrénées	mble de la zone GAVES. Source RGA / SRISET	98
	ploitations entre 1988 et 2010 (OTEX : Orientation GA / SRISET Aquitaine et Midi-Pyrénées	99
pas intérpréter les tendances pou	es autorisés et réels pour l'irrigation (NB : on ne peut r les volumes réels car les volumes sont influencés s de l'année en cours) n.d : non disponibles	t 99
<u> </u>	les Gaves en 2015 - toute origine de l'eau (source : servatoire de l'eau du bassin de l'Adour, 2015)	100
Illustration 73 : Evolution des superficies et volume communication orale de la Chamb	es autorisés dans les Landes : prévision (Source : ore d'Agriculture des Landes).	100
Illustration 74 : Evolution des surfaces irrigables, i cultures irrigués (source de la don		101
Illustration 75 : Processus de production et de dist	ribution de l'eau potable	112
Illustration 76 : Carte des collectivités gestionnaire prélèvements (source: CD 64)	es du service d'eau potable et principauix points de	113

Illustration 77 : Localisation des points de prélèvements pour un usage d'eau potable dans les bassins versants du gave de Pau et du gave d'Oloron	s 115
Illustration 78 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (1996-2014)	116
Illustration 79 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans le bassin versant du gave de Pau (1996-2014)	116
Illustration 80 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans le bassin versant du gave d'Oloron (1996-2014)	117
Illustration 81 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) dans le Syndicat des trois cantons	118
Illustration 82 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) dans le Syndicat du gave et Baïse	119
Illustration 83 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) du Syndicat du Jurançon	120
Illustration 84 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) de la ville de Pau	120
Illustration 85 : Evolution du rendement des réseaux dans quelques collectivités	121
Illustration 86 : Prévisions d'évolution de la population du département des Pyrénées-Atlantiques à l'horizon 2040	122
Illustration 87 : Synthèse du prix de l'eau des principales collectivités de la zone d'étude (source: communication personnelle de Mr Erreçarret, syndicat du Jurançon)	123
Tableau 1 : Lame d'eau moyenne internanuelle écoulée aux stations hydrométriques de la zone d'étude (source : banque HYDRO)	19
Tableau 2 : Capacité de stockage de barrages destinés à la production d'éenergie hydro-électrique	
Tableau 3 : Stations hydrométriques de la banque HYDRO	
Tableau 4 : Évolution des surfaces englacées dans les Pyrénées (Site Internet Association Moraine)	37
Tableau 5 : Rapport entre surface d'accumulation et surface totale (en %) de 9 glaciers pyrénéens (Association Moraine, 2011)	38
Tableau 6 : Tableau des entités hydrogéologiques de niveau 1 de la BD LISA	42
Tableau 7 : Sources sélectionnées initialement pour les campagnes de jaugeages	78
Tableau 8 : Sélection des sources à l'issue de la troisième campagne de jaugeages	79
Tableau 9 : Sources investiguées par campagne de jaugeages	80
Tableau 10 : Technique de jaugeage mise en œuvre pour chacune des sources	80
Tableau 11 : Débits mesurés aux différentes sources lors des campagnes de jaugeages	81
Liste des annexes	
Annexe 1 : Inventaire bibliographique	.133
Annexe 2 : Légende de la carte géologique au 1/1000000º	.137

Annexe 3 : Légende de la carte géologique au 1/50000e de Tardets-Sorholus	141
Annexe 4 : Entités hydrogéologiques de niveaux 2 et 3 de la BD-LISA présentes dans les bassins versants des gaves	147
Annexe 5 : Ouvrages inventoriés ayant fait l'objet d'un test hydrodynamique	153
Annexe 6 : Physico-chimie mesurée lors des campagnes de jaugeages	157
Annexe 7 : Compte rendu d'installation du système de mesure automatisé du débit de la source de Gourgouch (Louvie-Jouzon)	161

1. Introduction

Dans la continuité du rapport « Prévoir pour agir » (Le Treut et al, 2013), le BRGM a développé la thématique « eaux souterraines et changement climatique » à l'échelle régionale dans la précédente convention Etat-Région-BRGM « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine ». Dans ce cadre, l'étude de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - évolution et perspectives d'adaptation en Aquitaine - (Saltel et al, 2014) avait mis notamment en avant la nécessité de :

- ne pas négliger le volet amélioration de la connaissance et des processus. Ceci passe en particulier par la réalisation de constats hydrologiques basés sur les données disponibles, dans le but de mieux cerner « les incertitudes importantes [qui] demeurent à différents niveaux dans les simulations prospectives réalisées pour évaluer l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines » :
- « trouver les moyens adéquats pour s'adapter aux changements à venir. Cela passe par de l'expérimentation sur des sites pilote et des équipes de travail pluridisciplinaires (climatologue, hydrogéologue, agronome, économiste, sociologue,...) ».

De son côté, l'EPTB Institution Adour a lancé courant 2016, avec le soutien de l'Etat et des collectivités territoriales, une étude prospective – « Adour 2050 » – portant sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin versant de l'Adour. Cette étude repose sur un schéma similaire à l'étude « Garonne 2050 » initiée par l'AEAG sur le bassin versant de la Garonne (AEAG, 2012).

Enfin, divers constats relatifs au changement climatique ont déjà été effectués à l'échelle de la France, fournissant une première vue des évolutions observées dans les séries temporelles caractérisant l'une ou l'autre des composantes du cycle de l'eau (Giuntoli et Bernard, 2010 – eaux de surface ; MétéoFrance (Chaveau et al., 2013), dans le cadre de l'étude Explore 2070, MEDDTL, 2010 – données climatiques). Ces études nationales ont en particulier montré que l'impact du changement climatique pouvait être important dans le Sud-Ouest de la France.

La présente étude, réalisée dans le cadre de la convention régionale eaux souterraines 2015-2020, a comporté quatre volets qui visent à apporter, dans le cadre du changement climatique, une connaissance hydrogéologique et économique des territoires étudiés d'une part et, d'autre part, à initier la constitution d'une chronique de débits de source susceptible de mettre en évidence dans le futur d'éventuelles modifications de son régime hydrodynamique. De façon plus détaillée, elle a eu pour objectifs de :

- suivre et participer aux travaux de l'étude Adour 2050, afin de s'assurer de la bonne cohérence des investigations conduites à l'aide de fonds publics sur des territoires et thématiques connexes ;
- préciser, sur la base des données climatiques, hydrologiques et hydrogéologiques disponibles, les évolutions constatées dans le cycle de l'eau à l'échelle des bassins versants des Gaves de Pau et d'Oloron ;
- conduire un monitoring continu ou temporaire du débit et des paramètres physicochimiques de sources de montagne dans l'optique d'améliorer la compréhension de l'hydrodynamique des eaux souterraines dans le département des Pyrénées-Atlantiques et de la constitution, à termes, d'un réseau de suivi du changement climatique, réseau préconisé par ailleurs dans le cadre de l'OPCC (cf. chapitres 5 et 6) ;
- identifier les évolutions socio-économiques survenues au cours de la période 1975-2010 dans ces bassins versants (cf. chapitres 7 et 8).

L'étude s'accompagne d'une synthèse hydrogéologique (chapitres 2 et 3) portant sur les principales ressources en eaux souterraines disponibles dans les bassins versants des deux Gaves, ainsi que de la réalisation de modélisations de type « global » destinées à représenter l'évolution du débit des deux rivières au fil du temps (chapitre 4).

La partie relative à la recherche de tendances dans le cycle de l'eau est restituée dans un rapport spécifique, distinct du présent rapport (Seguin et Wuilleumier, 2017).

2. Contexte géographique

2.1. ALTITUDES ET PENTES

La géographie de la zone d'étude est marquée par sa topographie (illustration 1). Elle se décompose schématiquement en deux secteurs :

- une zone située au nord d'une ligne Est-Ouest Lourdes Arette et constituée principalement par des plaines, au relief néanmoins assez vallonné (au sud et ouest de Pau et entre Mauléon-Licharre et Arette notamment);
- une zone montagneuse située au sud de cette ligne « imaginaire » et constituée par des reliefs marqués (Pique longue dans le massif de Vignemale 3298 m d'altitude ; Pic du Marboré dominant le cirque de Gavarnie à 3 248 m; Pic long dans le massif du Néouvielle 3192 m; Balaïtous 3144 m; Pic du midi d'Ossau 2884 m; Pic du Midi de Bigorre 2872 m; Pic d'Anie 2504 m...), séparés par des vallées d'orientation Nord-Sud très encaissées (Aspe, Ossau, Luz-Gavarnie).

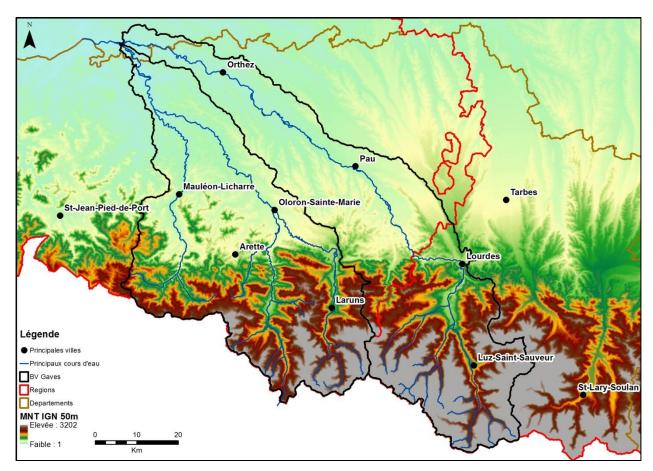


Illustration 1 : Altitude des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (MNT IGN, pas de 50 m)

Les pentes sont particulièrement marquées dans les bassins versants (cf. illustration 2). Différenciant peu les zones de relief, la carte présentée permet cependant de mieux cerner l'extension des zones alluviales en plaine et dans les vallées d'Aspe, d'Ossau et de Luz-Gavarnie.

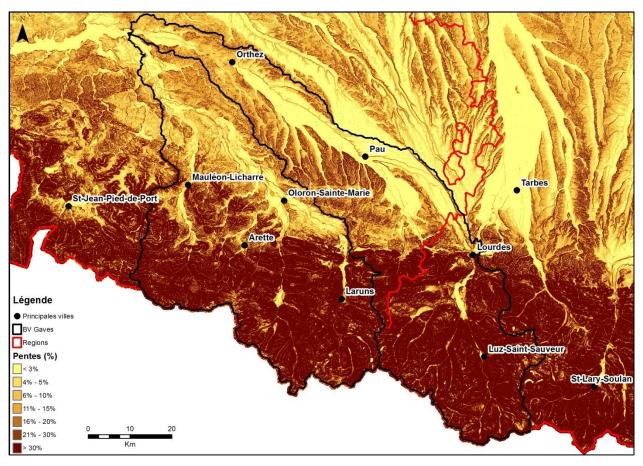


Illustration 2 : Pentes rencontrées dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron

2.2. CLIMATOLOGIE

2.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie interannuelle moyenne (période 1971-2000) est élevée, systématiquement supérieure à 1000 mm sur l'ensemble des deux bassins versants. De l'ordre de 1100 à 1200 mm en plaine – à Pau par exemple – elle dépasse les 2500 mm sur les reliefs (cf. illustration 3). On observe en particulier l'influence des reliefs dans la partie amont des bassins versants :

- des axes Nord-Sud de moindre pluviométrie se dégagent ainsi, correspondant aux fonds de vallée :
- une nette différence existe entre la pluviométrie rencontrée dans la partie amont du gave d'Oloron et dans celle du gave de Pau. On observe que la prédominance de la pluviométrie dans la partie amont du bassin versant du gave d'Oloron comparativement au gave de Pau n'est pas directement corrélée avec l'ampleur des reliefs (cf. illustration 1). La différenciation est à mettre en lien avec l'orientation des vents (ONO-ESE) qui apportent l'humidité issue de l'évaporation de l'Océan Atlantique.

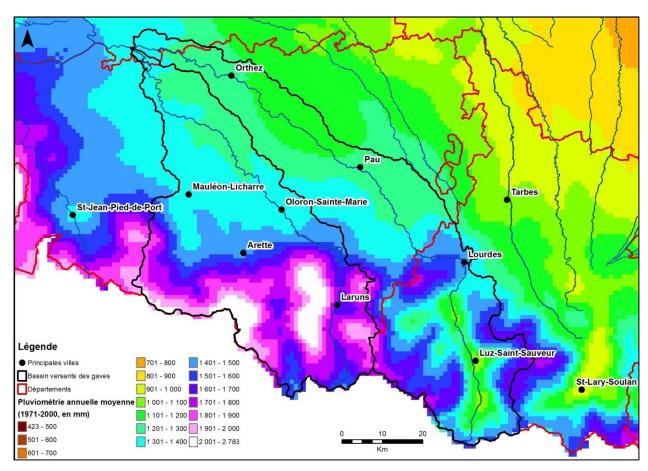


Illustration 3 : Pluviométrie annuelle moyenne (grille AURELHY de MétéoFrance, 1971-2000, en mm)

L'évolution temporelle de la pluviométrie peut être abordée au travers des variables climatiques élaborées par MétéoFrance via l'analyse SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements A la Neige). SAFRAN/France est un système d'analyse à méso-échelle de variables atmosphériques près de la surface du sol. Il utilise des observations de surface combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire les paramètres horaires suivants : température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident. Ces paramètres sont analysés par pas de 300 m d'altitude. Ils sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8 x 8 km). Les séries temporelles disponibles pour l'étude couvrent une période allant d'août 1958 à fin 2014.

Développé à l'origine par le Centre d'études de la neige (Durant et al, 1993) pour la prévision des risques d'avalanches, SAFRAN a été étendu à l'ensemble du bassin du Rhône (Etcheverry, 2001), puis à la France entière (Lemoigne, 2002).

Une analyse temporelle des données SAFRAN a été réalisée en sélectionnant les mailles correspondant à deux transects d'orientation Nord-Sud (cf. illustration 4). Cette analyse est présentée dans le cadre du rapport portant sur l'identification de tendances et ruptures (au sens statistique) dans les séries temporelles du cycle de l'eau (Seguin et Wuilleumier, 2017).

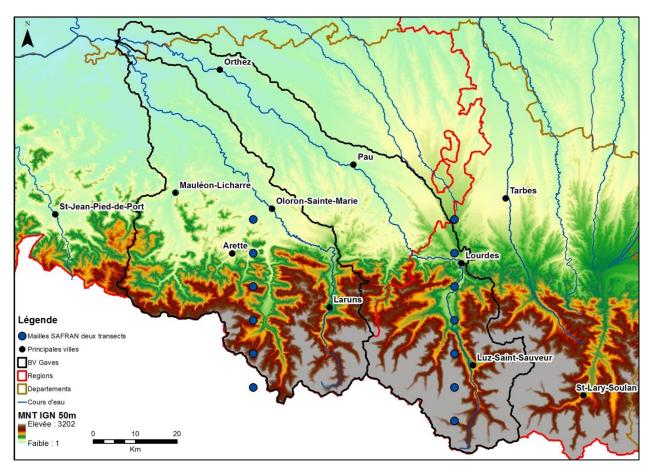


Illustration 4 : Sélection de deux transects Nord-Sud de mailles de la grille SAFRAN de MétéoFrance

2.2.2. Évapotranspiration

L'ETP est abordée au travers des séries temporelles élaborées par MétéoFrance dans le cadre de l'analyse SAFRAN. De même que pour la pluviométrie, l'analyse statistique de ces séries temporelles est présentée dans le rapport Seguin et Wuilleumier (2017).

2.2.3. Pluies efficaces

Pour mémoire, on appelle « pluie efficace » la « fraction des précipitations génératrice d'écoulement, immédiat ou différé, superficiel ou souterrain. Comme les précipitations totales, elle s'exprime en hauteur (mm) rapportée à une unité de temps » (définition du CNFSH : Comité National Français des Sciences Hydrologiques). La pluie efficace se décompose schématiquement en ruissellement (flux qui s'écoule à la surface du sol) et en infiltration (flux qui percole vers la nappe).

Il n'existe pas de mesure directe de la pluie efficace. Ce paramètre peut être calculé à partir de chroniques de pluie et d'évapotranspiration (en fonction de la capacité de stockage en eau gravitaire du sol), ou déduit d'une modélisation de type pluie-débit ou pluie-niveau. La première approche est présentée dans le rapport Seguin et Wuilleumier (2017). On en retiendra en particulier que les pluies efficaces calculées s'échelonnent de 500 à près de 1700 mm dans la zone d'étude, celles-ci étant systématiquement supérieures dans le gave d'Oloron par rapport au gave de Pau et à altitude équivalente.

Un indicateur intéressant pour estimer la pluie efficace moyenne sur un bassin versant est la lame d'eau moyenne interannuelle écoulée à son exutoire. En considérant i) qu'il existe une bonne cohérence entre le bassin versant topographique et le bassin versant souterrain, ii) que le débit souterrain sortant du bassin versant est négligeable devant le débit de surface qui s'y écoule (hypothèse réaliste pour une nappe libre non karstifiée), et iii) que le calcul sur une période longue permet de s'affranchir du stockage/déstockage dans l'aquifère, cette lame d'eau donne un ordre de grandeur de la pluie efficace moyenne sur le bassin versant.

Le tableau 1 présente les lames d'eau moyennes annuelles écoulées pour une petite vingtaine de stations hydrométriques dont les informations sont stockées dans la banque HYDRO et présentant des chroniques relativement longues (le réseau hydrographique est présenté au chapitre 2.3 et les stations hydrométriques au chapitre 2.3.3). Les valeurs obtenues s'échelonnent entre 693 et 1839 mm/an, sur des périodes de temps diverses et à l'exception de la lame d'eau calculée pour la station du Neez à Gan (Q5215010) qui atteint 3886 mm. Cette dernière valeur ne peut en aucun cas être considérée comme représentative de la pluie efficace intervenant sur son bassin versant : elle est en effet très fortement modifiée par les apports karstiques en provenance du gave d'Ossau (Karnay et Mondeilh, 1989). A l'inverse, la lame d'eau calculée pour le gave d'Ossau à Oloron-Sainte-Marie est sous-estimée du fait de ces pertes.

Station	Dénomination	م اعتدام	C a.u.6: - ! -	C	Chronique	Longueur	Lame d'eau	Bassin	Commontoines	
Station	Denomination	Aititude	Superficie	Gestionnaire	Q	chronique Q	(mm)	versant	Commentaires	
	La Neste de Cap de Long à									
00105110	Aragnouet [Les Edelweiss]	2180	5	EDF	1948 - 2011	63	1 615	Pau		
Q4124010	Le Gave d'Héas à Gèdre	995	84	EDF	1948 - 1995	47	1 334	Pau		
	Le Gave d'Azun à Arras-en-Lavedan								Régime fortement	
Q4674010	[Arras-Nouaux]	659	191	EDF	1960 - 2011	51	1 316	Pau	influencé	
	Le Gave de Pau à Sassis								Régime fortement	
Q4401010	[Pescadères]	643	412	EDF	1960 - 2011	51	1 465	Pau	influencé	
	Le Gave de Pau à Saint-Pé-de-			DREAL						
Q4801010	Bigorre [Pont de Rieulhes]	337	1120	Aquitaine	1955 - 2016	61	1 282	Pau		
	Le Gave de Pau à Bérenx [Pont de			DREAL						
Q5501010	Bérenx]	38	2575	Aquitaine	1923 - 2016	93	1 000	Pau		
	Le Gave d'Aspe à Bedous [Pont									
Q6332510	d'Escot]	404	425	EDF	1948 - 2011	63	1 749	Oloron		
	Le Saison à Mauléon-Licharre			DREAL						
Q7322510	[Berrogain Laruns - Cibi]	129	480	Aquitaine	1967 - 2011	44	1 575	Oloron		
	Le Gave d'Oloron à Oloron-Sainte-			DREAL						
Q7002910	Marie [Oloron-SNCF]	204	1085	Aquitaine	1912 - 2016	104	1 505	Oloron		
Q7412910	Le Gave d'Oloron à Escos	30	2456	DREAL	1922 - 2016	94	1 317	Oloron		
Q5134310	L'Ousse à Pontacq	357	26	DREAL	1920 - 1940	20	693	Pau		
	Le Gave d'Estaing à Estaing [Las			DREAL						
Q4654310	Counces]	1130	39	Aquitaine	1927 - 1954	27	1 617	Pau		
Q4844010	L'Ouzom à Arthez-d'Asson	330	129	DREAL	1917 - 1954	37	1 673	Pau		
Q4231010	Le Gave de Pau à Luz-Saint-Sauveur	685	275	DREAL	1909 - 1959	50	1 236	Pau		
	Le Lourdios-Ichère à Lourdios-			DREAL						
Q6404010	Ichère	385	46	Aquitaine	1920 - 1962	42	1 839	Oloron		
	Le Gave d'Ossau à Oloron-Sainte-			DREAL					Pertes du gave	
Q6142910	Marie [Oloron-Sainte-Croix]	215	488	Aquitaine	1912 - 2013	101	1 264	Oloron	d'Ossau	
				DREAL					Résurgences du	
Q5215010	Le Neez à Gan [Pont Larroque]	232	24	Aquitaine	1919 - 1940	21	3 886	Pau	gave d'Ossau	

Tableau 1 : Lame d'eau moyenne internanuelle écoulée aux stations hydrométriques de la zone d'étude (source : banque HYDRO).

On peut noter tout d'abord que les lames d'eau sont très élevées comparativement à la majeure partie du territoire métropolitain français. Ces lames d'eau sont cependant i) conformes aux pluviométries élevées qui s'exercent dans les bassins versants de la zone d'étude et ii) d'un ordre de grandeur tout à fait similaire aux valeurs calculées pour la pluie efficace dans le cadre du rapport Seguin et Wuilleumier (2017).

Si l'on met de côté les chroniques de débit qui portent sur des périodes anciennes (l'Ousse à Pontacq, le gave d'Estaing à Estaing, l'Ouzom à Arthez d'Assom, le gave de Pau à Luz-Saint-Sauveur et le Lourdios à Lourdios-Ichère) et que l'on classe les stations hydrométriques par appartenance au bassin versant du gave de Pau ou du gave d'Oloron, on identifie une corrélation linéaire acceptable entre l'altitude de la station et la lame d'eau écoulée (cf. illustration 5). Pour le gave de Pau, la prise en compte des stations d'altitude (Neste de Cape de Long et gave d'Héas) biaise manifestement la corrélation qui peut être établie pour des stations de moindre altitude, ce qui conduit à proposer deux figures (cf. illustration 5, la figure 5-b étant établie sans ces deux stations d'altitude).

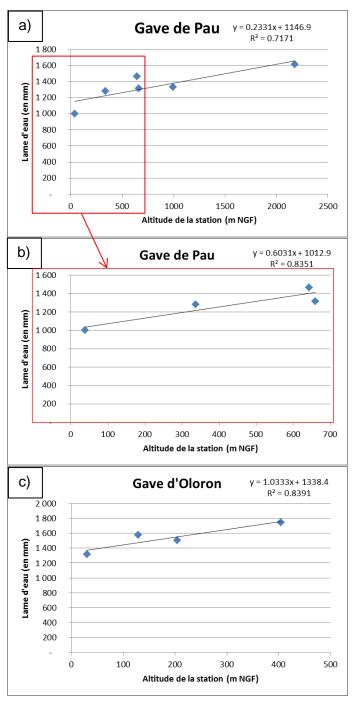


Illustration 5 : Corrélations linéaires entre l'altitude de la station hydrométrique et la lame d'eau écoulée à cette même station.

Les valeurs obtenues pour les corrélations linéaires montrent qu'à altitude équivalente de la station hydrométrique, la lame d'eau écoulée dans le gave d'Oloron est en moyenne supérieure de 400 mm environ à celle écoulée dans le gave de Pau. Cette constatation est en accord avec l'observation faite concernant la pluviométrie respective des deux bassins versants (cf. chapitre 2.2.1).

2.3. HYDROGRAPHIE ET HYDROMÉTRIE

2.3.1. Hydrographie

Les gaves de Pau et d'Oloron prennent leur source dans la chaîne des Pyrénées (cf. illustration 6). Ils bénéficient de l'apport de nombreux affluents pour se former puis se rejoignent à l'amont de Peyrehorade prenant à partir de là le nom de « gaves réunis ». Les gaves réunis rejoignent l'Adour 10 km à l'aval.

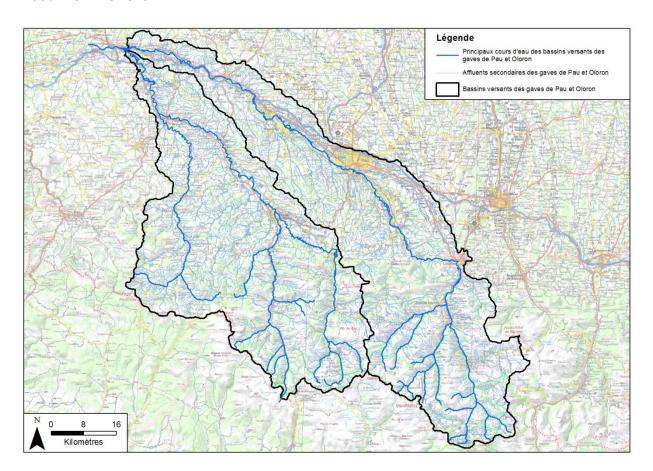


Illustration 6 : Hydrographie des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron.

Le gave d'Oloron nait de la confluence du gave d'Aspe et du gave d'Ossau à hauteur d'Oloron-Sainte-Marie. Il reçoit en rive gauche les eaux de son affluent principal, le Saison (ou gave de Mauléon) à proximité de Sauveterre-de-Béarn. Ce confluent est lui-même issu de la réunion du gave de Larrau et du gave de Sainte-Engrâce. Entre Oloron-Sainte-Marie et Sauveterre-de-Béarn, le gave d'Oloron reçoit également et notamment les eaux du Vert, du Joos et du Lausset en rive gauche et en rive droite celles de l'Escou, de l'Auronce, et du Saleys.

Le gave d'Ossau nait à Gabas de la confluence du gave du Brousset et du gave de Bious, ces deux cours d'eau drainant les eaux de part et d'autre du Pic du Midi d'Ossau (2884 m). Le gave d'Aspe, quant à lui, nait dans la Sierra de Aisa, du côté espagnol de la frontière au pied du Mont d'Aspe (2643 m).

A l'Est de la zone d'étude, c'est au niveau de Luz-Saint-Sauveur dans les Hautes-Pyrénées (65) que le gave de Pau prend son nom, à la confluence du Gave de Gavarnie (prenant sa source dans le cirque de Gavarnie dont le point culminant est le pic du Marboré à 3 248 m) et du Bastan (nommé ainsi depuis Super Barèges) qui prend sa source au Sud-ouest du pic du Midi de Bigorre aux environs de 2 500 m d'altitude.

En comparant le réseau hydrographique des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron avec la carte géologique nationale au 1/1 000 000ème (dont la légende est placée en Annexe 2), trois zones distinctes présentent des densités de cours d'eau plus faibles (cf. illustration 7, la numérotation des zones figure sur la carte). Les zones 1 (massif des Arbailles) et 2 (Pêne d'Escot) sont positionnées sur un même ensemble géologique sub-parallèle à la chaîne pyrénéenne, correspondant notamment aux massifs calcaires de l'Urgonien¹ (ensemble géologique daté du Crétacé inférieur (c1) et représenté en vert). Ces calcaires sont connus pour être karstifiés et présenter une capacité d'infiltration importante (cf. chapitre 3.2.4).

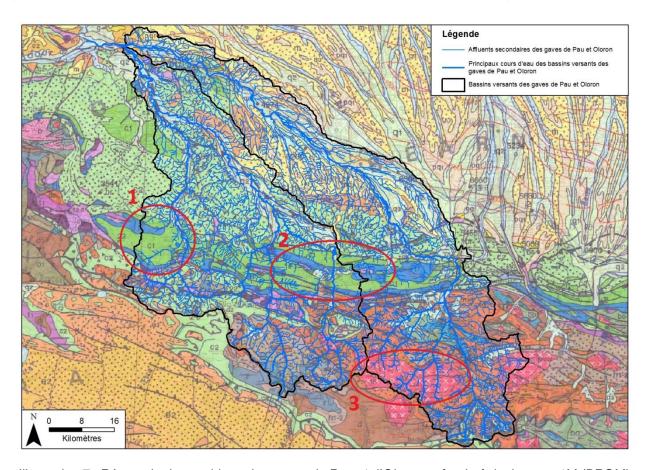


Illustration 7 : Réseau hydrographique des gaves de Pau et d'Oloron et fond géologique au 1M (BRGM).

-

¹ Faciès du Crétacé inférieur constitué par d'épaisses masses de calcaires blancs à Rudistes et Orbitolinidés. [...] Son âge peut aller du Barrémien à l'Aptien. (Foucault et al., 2000).

La vue du massif des Arbailles (zone 1) sur un fond géologique au 1/50 000ème (cf. Illustration 8, la légende de carte géologique de Tardets-Sorholus figure en annexe 3) confirme la présence des calcaires urgoniens (en marron clair sur la carte). Ils sont ici datés de l'Aptien supérieur et présentent, dans leur partie orientale, un secteur très faillé.

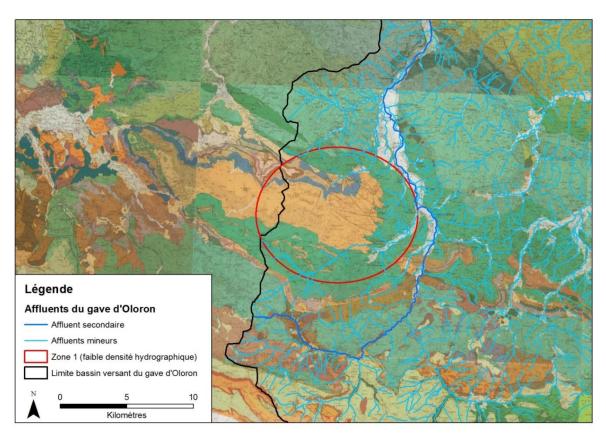


Illustration 8 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif des Arbailles

La zone 2 identifiée sur l'illustration 7 correspond là aussi à des massifs urgoniens situés entre la vallée d'Aspe et la vallée d'Ossau, dans le secteur du Pêne d'Escot ou des bois d'Izeste et d'Arudy par exemple. Les calcaires urgoniens d'âge Aptien supérieur et Albien (n6 et c1c) figurent en marron clair sur la carte géologique au 1/50 000ème (illustration 9). On observe que le déficit de réseau hydrographique est particulièrement important en rive droite du gave d'Ossau, vers la Montagne du Rey.

Enfin, la zone 3 identifiée sur l'illustration 7 correspond au massif du Néouvielle, composée de formations granitiques. L'ensemble du massif plutonique est parcouru par de nombreuses failles et est susceptible d'être altéré sous la forme d'arènes sableuses propices à l'infiltration de l'eau. Dans cette zone d'altitude, il convient cependant d'être prudent quant aux conditions de mise en place et de pérennité d'un réseau hydrographique.

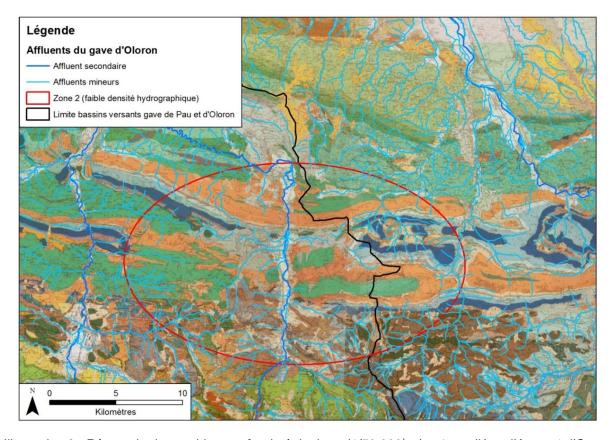


Illustration 9 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) entre vallées d'Aspe et d'Ossau

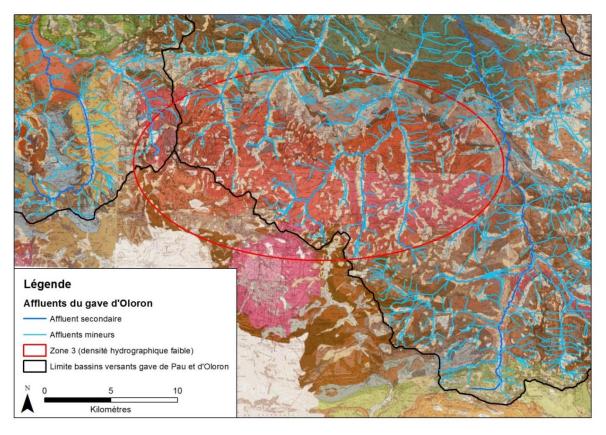


Illustration 10 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif du Néouvielle.

L'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) est présenté en illustration 11. Cet indice a pour vocation de hiérarchiser un territoire donné en termes de prépondérance de l'infiltration ou du ruissellement. Les zones 1 et 2 identifiées sur la carte géologique au 1/M (cf. illustration 7) sont confirmées ici par une valeur de l'IDPR nettement inférieure à 1 000 et donc indicatrice d'une prépondérance de l'infiltration. On observe aussi que l'IDPR restitue une zone étendue de forte infiltration en rive droite de la vallée d'Ossau (zone 2). De façon moins marquée, on relève quelques zones de faibles valeurs d'IDPR dans le massif du Néouvielle (zone 3 de l'illustration 7).

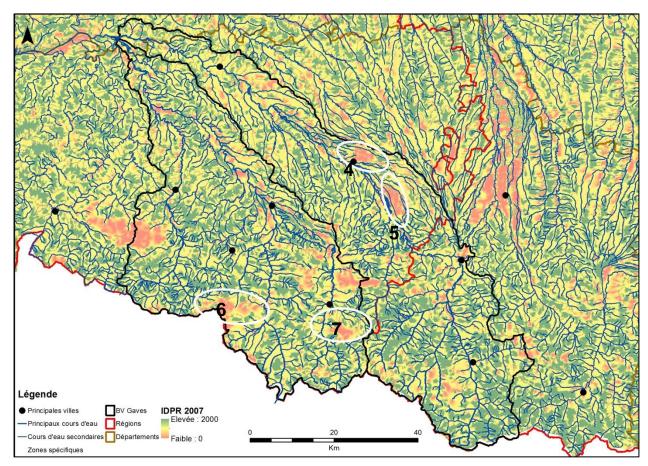


Illustration 11 : Indice de Développement et de Persistance de Réseaux et réseau hydrographique.

L'illustration 11 permet aussi de mettre en évidence quatre nouvelles zones susceptibles de présenter une prépondérance de l'infiltration. Ainsi, les régions 4 et 5 situées dans la zone alluviale du gave de Pau semblent présenter des capacités d'infiltration élevées. La zone 5 est caractérisée par la présence d'alluvions würmiennes (Nappe des Bordes) à matrice très sableuse et à galets de quartzite et de granite sains à peu altérés. Elle est située immédiatement à l'aval du seuil de Coarraze et constitue donc un secteur « d'extension » de la zone alluviale, propice à l'infiltration des eaux compte tenu de la lithologie des alluvions. Les captages d'eau potable de Bordes-Angaïs se situent dans la partie avale de ce secteur.

L'identification de la zone 4 comme principalement infiltrante est *a priori* plus surprenante. Ce secteur est en effet constitué les alluvions dites de la Nappe du Pont-Long et datées du Mindel. Ces alluvions anciennes sont fortement altérées et composées de galets (dont quartzites, 40%; granites 50%; grès 5%; autres: schistes, roches volcaniques...) enchassés dans une matrice argileuse à sableuse selon une organisation chenalisée. La notice de la carte géologique de Morlaas indique aussi que « dans l'ensemble, cette formation est peu perméable et

traditionnellement mal drainée... ». L'identification de ce secteur comme infiltrant par l'IDPR parait donc constituer un artefact, potentiellement imputable à sa localisation en périphérie immédiate de la ville de Pau, et donc sur territoire fortement urbanisé (cf. illustration 12).

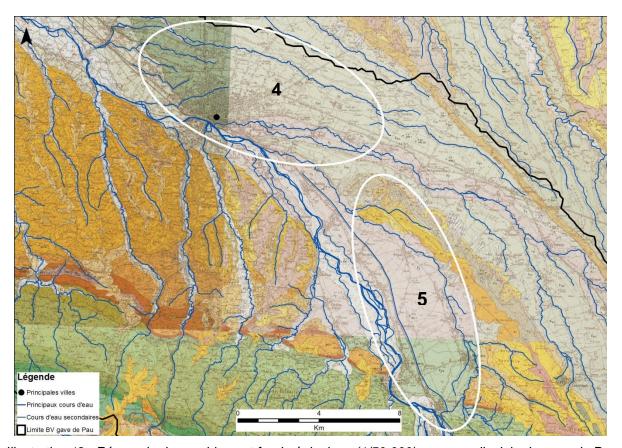


Illustration 12 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000) en zone alluviale du gave de Pau

La zone 6 (Pic d'Anie, Pierre-Saint-Martin) se situe à la limite entre deux cartes géologiques au 1/50 000 en celle de Larrau à l'Ouest et celle de Laruns-Somport à l'Est. Elle est constituée par la formation des « Calcaires des Cañons », datée du Campanien au Turonien sur la feuille de Larrau (teinte vert foncé) et du Coniacien au Santonien sur la feuille de Larruns-Somport (teinte vert clair, cf. illustration 13).

Les « Calcaires des Cañons » sont constitués par des « Calcaires massifs à rudistes constituant à l'Ouest du gave d'Aspe de puissants entablements entaillés peu à l'Ouest de la limite de la feuille par de profonds canyons auxquels ils doivent leur dénomination (Fournier, 1905) ». Cette formation géologique est par exemple rencontrée dans les gorges de Kakouéta. Les calcaires sont karstifiés, comme en témoignent les résurgences vauclusiennes d'Issaux, alimentées pour partie par des pertes à l'Ouest du Soum Couy (Douat et Salomon, 1994). Les deux cartes géologiques montrent par ailleurs l'intense fracturation de la formation (cf. illustration 13).

La zone 7 correspond au massif du Pic de Ger situé entre les vallées d'Aspe et d'Ossau (cf. illustration 14). Il est constitué par des calcaires datés du Crétacé supérieur, notamment du Santonien. Ce massif donne naissance à de nombreuses résurgences karstiques, dont celles des Eaux-Chaudes ou d'Iscoo-aval sur la commune des Eaux-Bonnes, confirmant le caractère fortement infiltrant des formations calcaires dans ce secteur. De nombreuses reconnaissances spéléologiques ont été effectuées dans ce massif, permettant de préciser l'extension et l'orientation des gouffres connus (dans le secteur du lapiaz de Capéran par exemple, cf. 3.5).

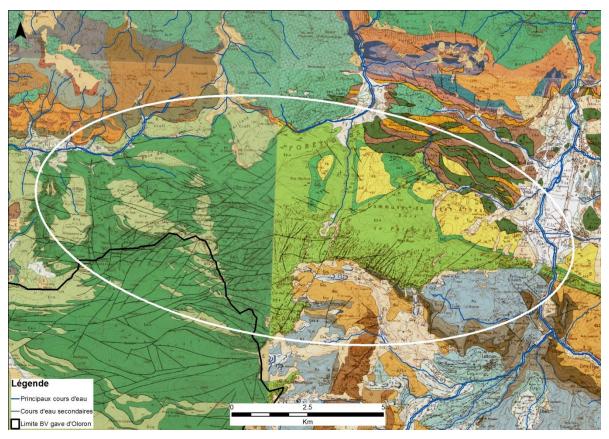


Illustration 13 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000) vers le Pic d'Anie.

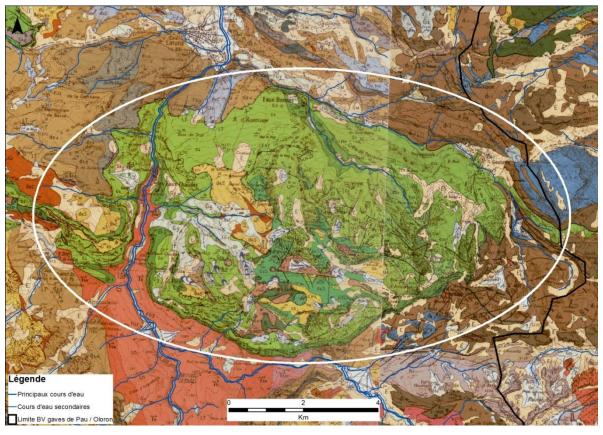


Illustration 14 : Réseau hydrographique et fond géologique (1/50 000ème) dans le massif du Pic de Ger.

2.3.2. Aménagement des cours d'eau : les barrages hydroélectriques

De nombreux barrages destinés à la production d'électricité existent dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron.

A l'échelle nationale, la production d'électricité renouvelable d'origine hydraulique était de 54 TWh en 2015, en baisse de 15% par rapport à la production 2014². Les régions Nouvelle-Aquitaine et Occitanie constituent des zones de production importantes sur le territoire français métropolitain, loin derrière la région Auvergne-Rhône-Alpes néanmoins (cf. illustration 15).

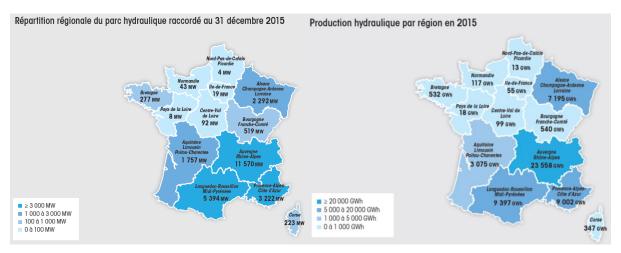


Illustration 15 : Parc hydraulique raccordé et production hydraulique d'électricité en France en 2015 (in : Panorama de l'électricité renouvelable en 2015).

Les deux principaux opérateurs de la région sont la SHEM³ (Société Hydro-Electrique du Midi) et EDF (Electricité de France).

La SHEM regroupe sur les Pyrénées Atlantiques (64) et les Hautes-Pyrénées (65) 39 usines – réparties en 6 groupements d'usines – et 13 barrages pour un peu plus de 1 100 GWh de production par an (cf. illustration 16). Les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron sont concernés par 4 groupements d'usines, dont l'un (Licq-Atherey) partiellement uniquement, représentant au total près de 80% de la production annuelle de la SHEM dans les deux départements.

Plus précisément, les groupements d'usine concernés sont (Plaquette institutionnelle de la SHEM 2014) :

- Licq-Athery (3), qui regroupe le barrage de Sainte-Engrâce, l'unité de production de La Verna située au cœur de la Pierre-Saint-Martin sur la rivière Saint-Vincent, celle de Larrau au fil de l'eau sur le gave du même nom, celle de Olhadoko alimentée par le barrage d'Olhadoko et celles du Moulin de Datto et de Barragary I & II situées sur le gave du Saison. La puissance installée est de 28 MW pour une production annuelle de 106.3 GWh;
- Hourat (4) regroupant les sites et productions suivantes : Miègebat, Hourat, Geteu et Aste-Béon sont alimentées par le barrage des Allias, ajouté au Bitet et au Soussouéou ; le barrage de Castet module le débit de la vallée et alimente l'usine du même nom ; Eaux-

² http://www.france-hydro-electricite.fr/lenergie-hydraulique/chiffres-cles/statistiques

³ http://www.shem.fr/fr/

Bonnes, Assouste et Espalungue sont sur le gave du Valentin avec les réservoirs d'Iscoo et Espalungue. La puissance installée est de 142.5 MW pour une production annuelle de 458.8 GWh:

- Artouste (5): les barrages d'Artouste, Fabrèges et Bious alimentent Artouste Lac, Pont de Camps, Artouste, Bious et Fabrèges; le barrage des Allias collecte l'eau restituée par Artouste et Bious pour alimenter l'usine de Miègebat. La puissance installée est de 87 MW pour une production annuelle de 128 GWh;
- Soulom (6): Soulom et Soulom restitution sont alimentées par les gaves de Pau et de Cauterets; Isaby est alimentée par le lac d'Isaby et Arriu Mau; Beaucens, Préchac, Agos-Vidalos et Nay sont situées sur le gave de Pau; Arthez d'Asson est sur l'Ouzom. La puissance installée est de 59.1 MW pour une production annuelle de 263.8 GWh.

Les barrages d'Artouste, Fabrèges et Bious sur le gave d'Aspe représentent une capacité de stockage respective de 24 Mm³, 6.7 Mm³ et 5.1 Mm³ soit un total de 35.8 Mm³.

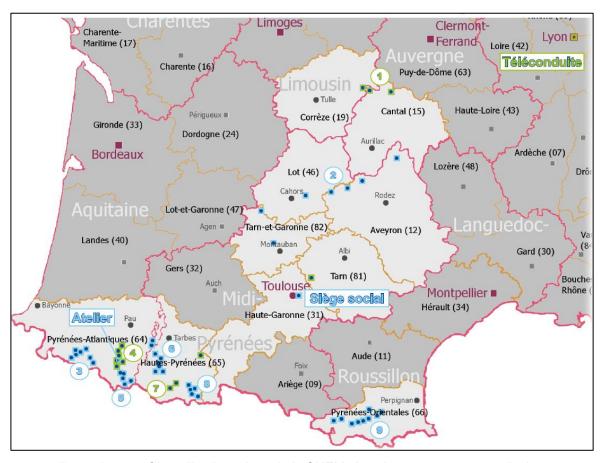


Illustration 16 : Sites d'implantations de la SHEM répartis en 9 groupement d'usines (in : Plaquette institutionnelle de la SHEM 2014)

Concernant EDF, c'est le Groupe d'Exploitation Hydraulique (GEH) Adour et Gaves, dont le siège est à Argelès-Gazost, qui gère la production hydro-électrique sur les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron. Sur les départements des Pyrénées-Atlantiques et des Hautes-Pyrénées, le GEH Adour et Gaves gère 37 centrales hydroélectriques et 16 barrages, pour une production moyenne annuelle de 1 700 GWh. La capacité totale de stockage des barrages gérés est d'environ 110 millions de m³, le plus important, Cap de Long, représentant à lui seul une capacité de près de 70 millions de m³ (EDF, 2007 – plaquette de présentation du GEH Adour et Gaves).

L'illustration 17 montre que la plupart des barrages et centrales hydroélectriques exploitées par EDF se situent dans le bassin versant du gave de Pau. Ainsi, on dénombre 9 barrages pour 10 centrales hydroélectriques dans le bassin versant du gave d'Oloron, la plupart étant situés dans le bassin versant du gave d'Aspe (8 barrages et 8 centrales). Il existe un barrage et une centrale hydroélectrique sur le gave d'Ossau mais ce cours d'eau est principalement exploité par la SHEM (barrages de Bious Artigues, Fabrèges et Artouste).

Pour le bassin versant du gave de Pau, 3 centrales et 3 barrages sont situées en aval d'Orthez (Puyoo, Baigts et Castetarbe). Ceux-ci et la centrale de Peyrouse (à l'aval de Lourdes) mis à part, les ouvrages hydro-électriques du gave de Pau se situent en amont de la ville d'Argelès-Gazost et se répartissent sur les deux affluents majeurs que sont le gave d'Azun et le gave de Gavarnie.



Illustration 17 : Répartition géographique des ouvrages utilisés par EDF à des fins de production hydroélectrique (EDF, 2007, plaquette de présentation du GEH Adour et Gaves).

Le tableau 2 liste la capacité de stockage des principaux barrages situés dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron, ainsi que de barrages moins importants.

Bassin versant	Barrages	Volume (m3)	Gestionnaire
	Lac d'Estaëns	2 800 000	EDF
Gave d'Aspe	Le Peilhou	120 000	EDF
	Anglus	90 000	EDF
	Bious Artigues	5 100 000	SHEM
Gave d'Ossau	Fabrèges	6 700 000	SHEM
	Artouste	24 000 000	SHEM
	Migouélou	17 500 000	EDF
	Barrage du Tech	1 350 000	EDF
	Gloriettes	2 810 000	EDF
Gave de Pau	Gèdre	40 000	EDF
	Ossoue	150 000	EDF
	Baigts	2 000 000	EDF
	Dets Coubous ou Escoubous	1 660 000	EDF
Neste d'Aure	Cap de Long	68 560 000	EDF
	TOTAL	132 880 000	

Tableau 2 : Capacité de stockage de barrages destinés à la production d'éenergie hydro-électrique.

Outre la SHEM et EDF, on notera l'existence de L'Union des Producteurs d'Electricité du Bassin de l'Adour (UPEA), réunissant des producteurs d'hydro-électricité de moindre envergure. Il s'agit en effet d'une « association locale à but non lucratif de type « loi 1901 » regroupant une quarantaine de petits producteurs autonomes d'énergie hydroélectrique ou de sympathisants ayant un projet de création de centrale ou d'équipement d'un moulin, dans le bassin de l'Adour. » (Communiqué de presse de l'Hydromeeting du 11 décembre 2014 à Pau).

L'Illustration 18, élaborée par le Syndicat Mixte pour le Développement Rural de l'arrondissement d'Argelès-Gazost (SMDRA) présente une vue d'ensemble des sites de production hydro-électrique sur la partie du gave de Pau située dans les Hautes-Pyrénées.

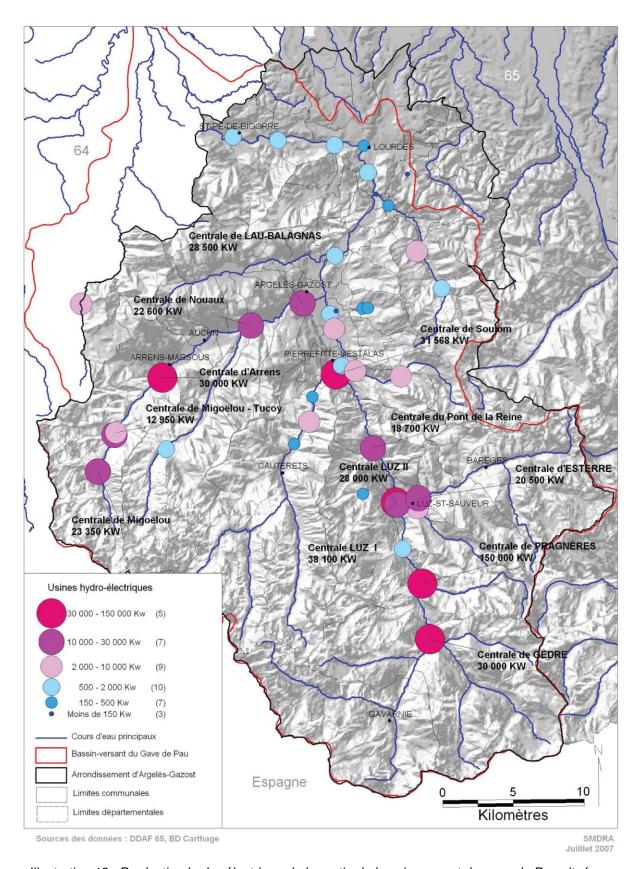


Illustration 18 : Production hydro-électrique de la partie du bassin versant du gave de Pau située en Hautes-Pyrénées (SMDRA, 2007).

2.3.3. Hydrométrie des cours d'eau

Plus d'une quarantaine de stations hydrométriques sont présentes dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (cf. illustration 19). La plupart de ces stations – et des données associées – sont présentes dans la banque de données HYDRO (cf. tableau 3) mais certaines ne sont disponibles qu'auprès d'EDF ou de la SHEM. Pour ces dernières, les stations de mesure ont été mises en place à des fins de suivi de l'activité de production d'énergie hydro-électrique et elles sont donc situées souvent dans des secteurs dans lesquels l'hydrodynamique des cours d'eau est influencée par les aménagements. L'illustration 19 intègre toutefois trois stations de débit suivies par EDF qui restituent le débit naturel du cours d'eau : elles sont situées sur le gave de Cauterets, le gave d'Estaubé et le ruisseau de Cestrède. Pour cette dernière, le débit naturel est reconstitué par EDF.

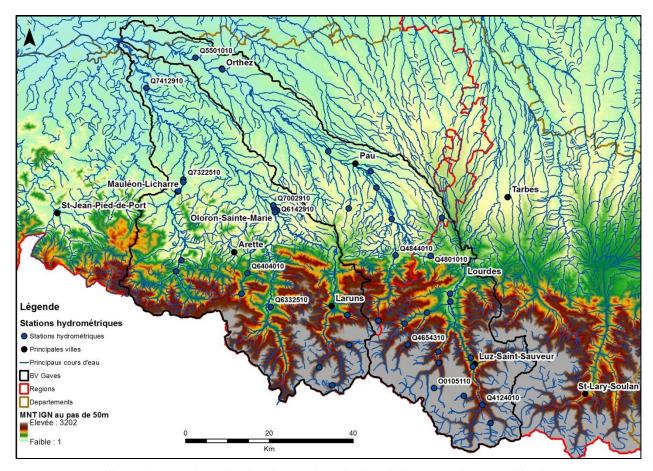


Illustration 19 : Localisation des stations hydrométriques sur la zone d'étude

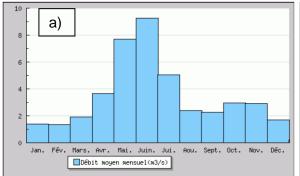
Des caractéristiques complémentaires des stations hydrométriques ont été présentées au tableau 1. Elles ne sont pas rappelées dans cette partie.

Code station	Dénomination	Département	Hauteur d'eau	Débit
00105110	La Neste de Cap de Long à Aragnouet [Les Edelweiss]	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1948 - 2011
Q6332510	Le Gave d'Aspe à Bedous [Pont d'Escot]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1948 - 2011
Q6502510	Le Gave d'Aspe à Bidos	Pyrénées-Atlantiques (64)	2012 - 2015	2015 - 2016
Q4634010	Le Gave d'Azun [ou Gave d'Arrens] à Arrens-Marsous	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1948 - 1950
Q4674010	Le Gave d'Azun à Arras-en-Lavedan [Arras-Nouaux]	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1960 - 2011
Q6025010	Le Gave de Bious à Laruns [Bious]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1920 - 1929
Q6004010	Le Gave de Brousset à Laruns [Tourmont]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1955 - 1970
Q4564010	Le Gave de Cauterets à Cauterets [Pont de Fanlou]	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1960 - 1987
Q4701010	Le Gave de Pau à Argelès-Gazost [Pont de Tilhos]	Hautes-Pyrénées (65)	2007 - 2015	2007 - 2016
Q5231010	Le Gave de Pau à Artiguelouve [Pont de Lescar]	Pyrénées-Atlantiques (64)	2012 - 2015	2012 - 2016
Q5041010	Le Gave de Pau à Assat [Pont d'Assat]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1960 - 1965
Q5501010	Le Gave de Pau à Bérenx [Pont de Bérenx]	Pyrénées-Atlantiques (64)	1988 - 2015	1923 - 2016
Q4701020	Le Gave de Pau à Boô-Silhen [Voie Verte]	Hautes-Pyrénées (65)	2012 - 2012	non disponible
Q4761020	Le Gave de Pau à Lourdes	Hautes-Pyrénées (65)	2012 - 2015	2013 - 2016
Q4761010	Le Gave de Pau à Lourdes	Hautes-Pyrénées (65)	2002 - 2006	1919 - 2006
Q4231010	Le Gave de Pau à Luz-Saint-Sauveur	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1909 - 1959
Q5021010	Le Gave de Pau à Nay-Bourdettes	Pyrénées-Atlantiques (64)	1998 - 2015	1998 - 2016
Q5421020	Le Gave de Pau à Orthez [Pont des arènes]	Pyrénées-Atlantiques (64)	2013 - 2015	2013 - 2016
Q4801010	Le Gave de Pau à Saint-Pé-de-Bigorre [Pont de Rieulhes]	Hautes-Pyrénées (65)	1988 - 2015	1955 - 2016
Q4401010	Le Gave de Pau à Sassis [Pescadères]	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1960 - 2011
Q4654310	Le Gave d'Estaing à Estaing [Las Counces]	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1927 - 1954
Q4124010	Le Gave d'Héas à Gèdre	Hautes-Pyrénées (65)	non disponible	1948 - 1995
Q7412910	Le Gave d'Oloron à Escos	Pyrénées-Atlantiques (64)	1988 - 2015	1922 - 2016
Q7002910	Le Gave d'Oloron à Oloron-Sainte-Marie [Oloron-SNCF]	Pyrénées-Atlantiques (64)	1988 - 2015	1912 - 2016
Q6142910	Le Gave d'Ossau à Oloron-Sainte-Marie [Oloron-Sainte-Croix]	Pyrénées-Atlantiques (64)	1989 - 2012	1912 - 2013
Q6142920	Le Gave d'Ossau à Oloron-Sainte-Marie [Quartier Sestiaa]	Pyrénées-Atlantiques (64)	2012 - 2015	2012 - 2016
Q5114010	Le Lagoin à Aressy	Pyrénées-Atlantiques (64)	1971 - 1990	1971 - 1990
Q6404020	Le Lourdios à Osse-en-Aspe [Pont de la Mouline]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1962 - 1972
Q6404010	Le Lourdios-Ichère à Lourdios-Ichère	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1920 - 1962
Q5215010	Le Neez à Gan [Pont Larroque]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1919 - 1940
Q7322530	Le Saison à Berrogain-Laruns [Viodos]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1920 - 1937
Q7242520	Le Saison à Licq-Athérey	Pyrénées-Atlantiques (64)	2003 - 2015	2003 - 2016
Q7242510	Le Saison à Licq-Athérey [Pont des Deux Eaux]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1919 - 1936
Q7322510	Le Saison à Mauléon-Licharre [Berrogain Laruns - Cibi]	Pyrénées-Atlantiques (64)	1989 - 2010	1967 - 2011
Q7322520	Le Saison à Mauléon-Licharre [Pont du college]	Pyrénées-Atlantiques (64)	2007 - 2015	2007 - 2016
Q6045010	Le Soussouéou à Laruns [Miegebat]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	non disponible
Q6085010	Le Valentin à Eaux-Bonnes	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	
Q5134310	L'Ousse à Pontacq	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1920 - 1940
Q4844010	L'Ouzom à Arthez-d'Asson	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1917 - 1954
Q4824010	L'Ouzom à Béost [Litor]	Pyrénées-Atlantiques (64)	non disponible	1929 - 1940

Tableau 3 : Stations hydrométriques de la banque HYDRO.

Les cours d'eau de la zone d'étude sont de type pluvio-nival, avec la présence d'un écoulement différé dans le temps et lié à la fonte des neiges. Cet effet est très marqué dans la partie amont des bassins versants (cf. illustration 20) et s'atténue vers l'aval (cf. illustration 21), le ratio entre les débits moyens des mois de juin et janvier diminuant. Ainsi, Corbier et Wuilleumier (2010) indiquaient pour le gave de Pau que 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). ».

Une analyse statistique de chroniques de débit de cours d'eau est conduite et présentée dans le rapport Seguin et Wuilleumier (2017).



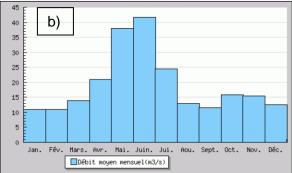
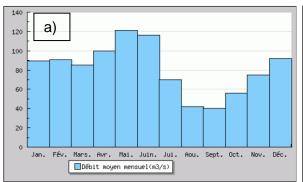


Illustration 20 : Hydrogramme de stations hydrométriques dans la partie amont des bassins versants : a) le gave d'Héas à Gèdre (Q4124010) et b) le gave de Pau à Sassis (Q4401010)



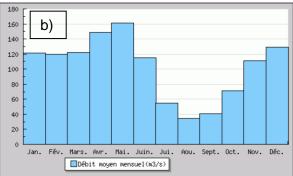


Illustration 21 : Hydrogramme de stations hydrométriques dans la partie aval des bassins versants : a) le gave de Pau à Bérenx (Q5501010) et b) le gave d'Oloron à Escos (Q7412910)

2.4. COUVERT VÉGÉTAL ET BIODIVERSITÉ

Dans le cadre du programme Acclimaterra, une synthèse des impacts observés du changement climatique a été effectuée spécifiquement pour la zone de montagne de la région Nouvelle-Aquitaine (http://www.acclimaterra.fr/thematiques/ecosystemes/la-montagne/). Les paragraphes ci-dessous sont issus de cette synthèse.

« Certains effets du changement climatique sur les montagnes aquitaines sont déjà perceptibles. En forêt, l'optimum de croissance du hêtre (Fagus sylvatica) entre 1970 et 2009 s'est déplacé à la vitesse de 34 m par décennie passant de 420 m d'altitude en 1970 à 550 m d'altitude quatre décennies plus tard. Au-dessus de 600 m, la croissance des arbres a augmenté lors de la période récente. Le déclin à basse altitude et le gain de croissance à haute altitude induisent un déplacement altitudinal de l'optimum de croissance. Dans les estives pyrénéennes, la diversité, la productivité et le fonctionnement pourraient être très négativement affectés par le seul effet de la sécheresse estivale. [...]

Les impacts les plus notoires du changement climatique sur la biodiversité sont la contraction et/ou le déplacement de l'aire de distribution de plusieurs espèces et une augmentation de leur probabilité d'extinction à basse comme à haute altitude. La plupart des espèces inféodées au milieu montagnard n'ont que peu de marge de manœuvre (on parle d'espèces sténotopes) et possèdent de ce fait des adaptations souvent originales. Le changement climatique pourrait modifier l'étagement altitudinal de certaines espèces par une migration en altitude (« effet escalator ») et par une possible exclusion des espèces sommitales. De façon assez générale, les espèces à affinité thermique froide déclinent tandis que les espèces à affinité thermique chaude deviennent plus abondantes, un phénomène appelé thermophilisation. Au stade actuel

des connaissances, il y a quelques espèces pour lesquelles nous disposons d'information qualitative ou quantitative indiquant un changement manifeste. Tandis que certaines espèces d'importance patrimoniale font l'objet d'une attention toute particulière (Lézard de bonnal, Saumon atlantique et Desman des Pyrénées), certaines ne bénéficient pas encore de suivis scientifiquement structurés autour des effets du changement climatique (cas de la Grenouille des Pyrénées).

En définitive, les résultats obtenus, encore préliminaires en ce qui concerne certaines études aquitaines, montre que l'effet du changement climatique sur la biodiversité de montagne peut être très dépendant des situations locales, parce que des facteurs autres que le changement climatique sont à l'œuvre et interagissent fortement. »

Cette modification des optima de développement de la forêt en montagne est susceptible d'induire une modification de la répartition des écoulements en favorisant l'infiltration. Une remontée de la végétation sur des terrains précédemment peu végétalisés peut en effet contribuer à fixer et développer un horizon pédologique favorable à la fixation de l'eau et à l'infiltration sous réserve de sa nature lithologique. A l'inverse, l'évapotranspiration réelle est susceptible de s'accroître avec l'activité diurne développée par cette végétation.

2.5. NEIGE ET SURFACES ENGLACÉES

Dans le cadre du programme Acclimaterra, une synthèse des impacts observés du changement climatique a été effectuée spécifiquement pour la zone de montagne de la région Nouvelle-Aquitaine (http://www.acclimaterra.fr/thematiques/ecosystemes/la-montagne/). Les paragraphes ci-dessous sont issus de cette synthèse.

« Composante du cycle de l'eau pyrénéen potentiellement la plus exposée au changement climatique, la neige a un rôle déterminant dans le système climatique global et régional. Le manteau neigeux structure une grande partie du fonctionnement des écosystèmes montagnards mais aussi de plaine loin en aval [...] et façonne de nombreux enjeux sociétaux (ressources en eau et en énergie, industrie touristique, risques etc.). Malgré une grande variabilité d'un hiver à l'autre (hivers 2012/2013 et 2014/2015 très enneigés pendant des durées significatives ; hivers 2006-2007 et 2007-2008 sans neige), le constat tendanciel est une modification (durée, épaisseur et étendue) du manteau neigeux depuis les années 1960s avec un renforcement du phénomène à des altitudes inférieures à 2000 m. En gardant à l'esprit la réponse non-linéaire du comportement de la neige face à des changements seuls et combinés de la température et des précipitations locales, pour chaque °C de plus, l'épaisseur du manteau devrait diminuer de 20% et sa durée de 20 à 30 jours. »

Le constat de la diminution des surfaces englacées est partagé également pour les glaciers de l'ancienne région Midi-Pyrénées (AtoutFrance, 2013) :

« Au regard du changement climatique, le territoire des Pyrénées et piémonts se caractérise avant tout par une modification profonde à prévoir des précipitations et des températures. Cela devrait se traduire par des effets particulièrement visibles et conséquents, plus ou moins localisés, en premier lieu desquels la disparition des glaciers, qui ont déjà fortement régressé durant les dernières décennies. »

De façon plus détaillée, le tableau 4 présente une évaluation des surfaces englacées dans les Pyrénées depuis la fin du dernier petit âge glaciaire (1850). Cette évolution globale à l'échelle des Pyrénées se traduit de façon nettement visible sur des photographies prises à des dates éloignées (cf. illustration 22).

Année	Surface (en km²)	Auteurs		
1850	23	J. San Roman, J. Luis Piedrafita, P. René		
1950	12,8	IGN + extrapolation P. René		
1985	9,5	D. Serrat, J. Ventura, E. Martinez de Pison		
1991	9,2	E. Martinez de Pison + extrapolation P. René		
1994	8,3	E. Martinez de Pison + extrapolation P. René		
1998	5,5	E. Martinez de Pison + extrapolation P. René		
2000	5	E. Martinez de Pison, P. René		
2002	4,7	E. Martinez de Pison + extrapolation P. René		
2007	3,5	M. Arenillas, P. René		
2011	3	R. Marti		

Tableau 4 : Évolution des surfaces englacées dans les Pyrénées (Site Internet Association Moraine)









Illustration 22 : Vues de glaciers pyrénéens à 100 ou 150 ans d'écart (Site Internet Association Moraine)

L'Association Moraine réalise par ailleurs chaque année un bilan de l'évolution des surfaces englacées dans les Pyrénées. Le rapport 2011 met en avant l'évolution des bilans de masses glaciaires au cours de la dernière décennie en se basant sur l'évolution du ratio entre surface d'accumulation et surface totale⁴ (cf. tableau 5). Une valeur de 67% est considérée dans la

⁴ Ou AAR pour Accumulation Area Ratio.

littérature scientifique (Gross et al., 1977) comme constituant le point d'équilibre du glacier : audessous de cette valeur, le glacier est en déficit pour l'année considérée. On observe ainsi sur le tableau 5 que les glaciers pyrénéens étudiés ont été presque systématiquement en déficit au cours des cycles glaciaires 2001-02 à 2010-11.

Cycle glaciaire	Rapport entre surface d'accumulation et surface totale = AAR (en %)										
	Las Néous	Oulettes de Gaube	Petit Vignemale	Ossoue	Gabiétous	Taillon	Seil de la Baque Est	Portillon d'Oô	Boum	Moyenne	
2001-02	17	31	27	9	22	17	26	8.5	13	19	
2002-03	17	25	18	9	39	27	19	8	?	20	
2003-04	31	31	36	9	70	67	30	17	21	35	
2004-05	13	19	18	9	0	10	15	0	7	10	
2005-06	0	17	40	0	0	0	0	0	0	6	
2006-07	20	26	75	0	25	17	13	0	0	20	
2007-08	50	38	85	43	56	42	47	41	46	50	
2008-09	6	33	32	0	34	11	22	0	0	15	
2009-10	50	62	60	35	69	78	43	82	45	58	
2010-11	8	23	50	0	13	6	15	6	9	14	
Moyenne	21	31	44	11	33	28	23	16	16	25	

Tableau 5 : Rapport entre surface d'accumulation et surface totale (en %) de 9 glaciers pyrénéens (Association Moraine, 2011)

Pour le glacier d'Ossoue (massif du Vignemale, bassin versant du gave de Pau), la perte cumulée sur la période 2001-2011 pour le glacier est évaluée à 14.2 m d'eau (cf. illustration 23).

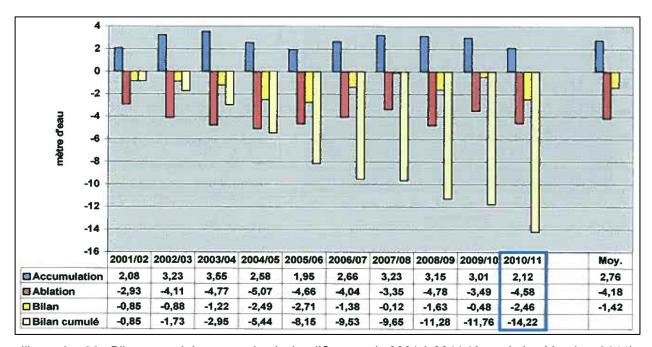


Illustration 23: Bilan annuel de masse du glacier d'Ossoue de 2001 à 2011 (Association Moraine, 2011)

Ces constats effectués sur la baisse des surfaces englacées dans les Pyrénées et l'influence de la fonte des neiges dans le débit des cours d'eau (cf. chapitres 2.3.3 et 4) conduisent à envisager une modification de leur comportement hydrodynamique. On notera que ces modifications sont susceptibles d'être intervenues dès la première moitié du XXème siècle.

3. Hydrogéologie des bassins versants

3.1. INVENTAIRE BIBLIOGRAPHIQUE

De nombreuses études à vocation hydrogéologique ont déjà été réalisées sur le territoire des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron ou dans leur voisinage immédiat. Un inventaire en a été dressé et les références bibliographiques identifiées ont été assemblées dans une base documentaire établie avec le logiciel JabRef⁵. Une liste indicative de ces références bibliographiques figure en annexe 1. Cette liste comporte également des références documentaires de portée plus générale, notamment concernant la thématique du changement climatique.

D'un point de vue académique, on peut citer notamment les thèses de Fabrice Rey (2007), portant sur le fonctionnement hydrogéologique et hydrogéochimique de quatre sources karstiques de la zone d'étude et celle de Jessie Jaunat (2012). Cette dernière qui ne porte pas directement sur la zone d'étude concerne cependant un territoire limitrophe (Massif de l'Ursuya dans le pays basque) et présente dans sa problématique de fortes similarités concernant notamment la connaissance du fonctionnement hydrogéologique d'un territoire de montagne dans la perspective d'une modification attendue des conditions climatiques. Dans une approche davantage géomorphologique et spécifique au développement du karst, il est utile de citer également la thèse de Nathalie Vanara (1998) qui a porté sur le massif des Arbailles.

En termes de rapports techniques réalisés en appui aux politiques publiques ou au secteur privé, il parait opportun de mettre en avant les documents suivants, à portée géographique étendue :

- Chigot D., Mondeilh C. (1987) Etude sur la protection des captages et des nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 1ère et 2ème phases. Cette étude fait un état des lieux détaillé des captages d'eau potable du département des Pyrénées-Atlantiques, recensant en particulier les données hydrogéologiques disponibles sur les sources captées. Une cartographie réalisée sur l'ensemble du département fournit une vue spatialisée de la vulnérabilité des aquifères captés pour l'eau potable. Cette cartographie repose en particulier sur la nature des aquifères captés;
- Un recensement et une caractérisation de sources thermales et/ou minérales anciennes, abandonnées ou mal connues ont été conduites à l'échelle du département des Pyrénées-Atlantiques (Winckel et al., 2003). Ce travail relativement récent a donné lieu à l'établissement de fiches descriptives pour chacune des sources identifiées, listant en particulier les études antérieures (thèses, rapports publics) sur lesquelles ce recensement s'est appuyé. Des rapports spécifiques ont été rédigés concernant les différentes sources thermales exploitées des Pyrénées-Atlantiques (Berard et Mazurier, 2000 rapports BRGM RP-50174-FR à RP-50178-FR et RP-50104-FR). On notera que ces rapports portent sur un domaine hydrogéologique spécifique (le thermalisme) sur lequel le présent rapport ne se concentre pas.
- La nappe alluviale du gave de Pau a fait l'objet d'une étude dans le cadre de la convention régionale eaux souterraines opérée par le BRGM (Corbier et Ladouche, 2008; Corbier et Wuilleumier, 2010). Celle-ci a conduit à travailler sur l'hydrodynamique du cours d'eau et des piézomètres suivis dans la nappe alluviale, au travers notamment de la

-

⁵ http://jabref.sourceforge.net/

réalisation d'un modèle de type « global » simulant le débit du gave de Pau à Bérenx. Cette analyse a montré la forte corrélation existante entre les piézomètres et le cours d'eau, ainsi que l'importance de la contribution de la fonte des neiges dans le débit de celui-ci. La simulation réalisée sur une période courte (2005-2008) mérite d'être étendue sur une période plus longue.

Concernant la mise en place d'un monitoring du débit de sources dans les Pyrénées-Atlantiques, on s'appuiera avant tout sur un travail d'inventaire et d'étude de faisabilité conduit en 2003 (Saplairoles et Mauroux, 2003). Celui-ci a donné lieu à l'établissement de fiches descriptives de 45 sources sur l'ensemble du département des Pyrénées-Atlantiques, dont 24 se situent dans les bassins versants du gave de Pau et du gave d'Oloron. Ces sources avaient été classées en fonction de leur potentiel d'intérêt et de faisabilité pour une intégration dans le cadre d'un réseau patrimonial quantité et qualité. La problématique différant sensiblement ici et l'aménagement des sources étant susceptible d'avoir évolué depuis 2003, ce classement ne sera pas repris directement et fait l'objet d'une révision dans le cadre de cette étude.

Depuis 2010, des études ont également été conduites par le SMNEP⁶ dans la vallée de l'Ouzom, en rive gauche du gave de Pau. Elles ont porté notamment sur la recherche de ressources en eau dans ce secteur et ont en particulier conduit à la réalisation d'un suivi du débit et de la physico-chimie de différentes sources.

Des investigations plus locales ont été effectuées, en particulier pour la mise en place de périmètres de protection. Les études correspondantes ne sont pas toutes citées ici mais elles sont identifiées par exemple dans les fiches descriptives des sources réalisées en 2003. Deux études peuvent présenter un intérêt particulier, la première pour l'ampleur des investigations réalisées, la seconde pour la nature emblématique de la source étudiée (l'Œil du Neez) et le type de contexte hydrogéologique concerné :

- un méandre de la nappe alluviale du gave d'Oloron à hauteur de Castagnède a fait l'objet d'investigations hydrogéologiques assez poussées en 1993 (Armand et al., 1993). Cellesci ont consisté en la réalisation de pompages d'essais, de traçages et d'une modélisation hydrogéologique du méandre. La diffusivité (rapport T/S) de la nappe et des berges a pu être estimée à partir des pompages d'essais et la modélisation a permis de représenter les écoulements avec et sans pompages en nappe au niveau du méandre :
- la source de l'Œil du Neez, captée depuis 1865 par la ville de Pau et présentant un débit de quelques m³/s, émerge des calcaires karstifiés de l'Urgonien. Des traçages et des mesures isotopiques ont notamment montré dans le cadre d'une étude conduite en 1989 (Karnay et Mondeilh, 1989) que ceux-ci sont alimentés par des pertes situées dans le lit du gave d'Ossau. On notera que cette circulation de l'eau dans les calcaires karstiques urgoniens donne naissance plus à l'Ouest au site d'embouteillage d'Ogeu, au profit d'une circulation profonde des eaux dans cet aquifère (Armand et Karnay, 1992).

Plus récemment, la mise en place du référentiel hydrogéologique BD-LISA a permis de disposer d'une cartographie hydrogéologique du territoire homogénéisée : celle-ci est présentée dans le chapitre 3.2.

Enfin, le monde associatif apporte également sa contribution à la connaissance du territoire. On peut citer par exemple l'association « moraines » ou l'AGSO⁷. La première propose sur son site

.

⁶ Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau.

⁷ Association des Géologues du Sud-Ouest.

Internet et au travers de ses publications des éléments de suivi de l'évolution des surfaces englacées dans les Pyrénées, tandis que la seconde a présenté par exemple un aperçu de l'hydrogéologie du synclinal d'Oloron-Arudy (lors de son assemblée générale en 2016).

Pour finir, cette présentation rapide de quelques références bibliographiques n'est nécessairement pas exhaustive, subissant en particulier la subjectivité de son auteur : elle a donc vocation à être complétée par ses utilisateurs.

3.2. FORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

3.2.1. Entités de la BD-LISA⁸

Au niveau de la zone d'étude, 13 entités hydrogéologiques constituent le niveau 1 de la BD-LISA (cf. tableau 6). Ces entités se décomposent en 6 ensembles aquifères (en bleu sur le tableau 6) et 7 ensembles considérés comme peu perméables à l'échelle nationale (en orange). D'un point de vue lithologique, ces ensembles sont constitués par une grande variété de formations géologiques, avec la présence de dépôts alluvionnaires (unité 948), de formations détritiques hétérogènes (type flysch, unité 400), de formations d'origine plutonique (granitoïdes, unité 404) et de dépôts sédimentaires variés (calcaires, marnes, argiles, sables).

L'illustration 24 présente la répartition géographique de ces différentes unités. Elles mettent en avant la prédominance géographique des formations de montagne (ou intensément plissées) correspondant aux unités 400, 402 et 404, en particulier dans le bassin versant du gave d'Oloron. Ces dernières couvrent ainsi plus des ¾ (78%) de la superficie des bassins versants des deux gaves, tandis que le sédimentaire représente 15% et l'alluvial 7%.

.

⁸ Le référentiel hydrogéologique BD LISA (Base de Données des LImites des Systèmes Aquifères) cartographie les entités hydrogéologiques du territoire français en 3 niveaux. Le niveau 1 correspond à l'échelle nationale, le niveau 2 à l'échelle régionale, et le niveau 3 à une échelle locale. Ces différents niveaux s'imbriquent les uns dans les autres, c'est-à-dire que le niveau 2 est constitué par l'assemblage de formations de niveau 3, tandis que le niveau 1 est constitué par l'assemblage de formations de niveau 2.

CodeEH-NIV1	LibelléEH-NIV1						
306	Grand système aquifère des terrasses quaternaires du bassin Adour Garonne						
308	Grand système aquifère multicouche Plio-Quaternaire des landes de Gascogne et du Lannemezan du Bassin Aquitain						
312	Grand domaine hydrogéologique des sables fauves et verts, des glaises bigarrées et des argiles du Miocène moyen à supérieur du Bassin Aquitain						
318	Grand domaine hydrogéologique des milieux diachrones profonds, proximaux et continentaux du Miocène moyen à inférieur du Bassin Aquitain						
322	Grand domaine hydrogéologique des milieux diachrones profonds, proximaux et continentaux Oligo-miocènes du Bassin Aquitain						
326	Grand domaine hydrogéologique des milieux diachrones profonds, proximaux et continentaux Oligo-éocènes du Bassin Aquitain						
330	Grand domaine hydrogéologique des milieux diachrones profonds, proximaux et continentaux de l'Eocène supérieur du Bassin Aquitain						
334	Formations variées paléo-éocènes du bassin aquitain jusqu'au bassin de Carcassonne						
340	Grand système aquifère des calcaires, calcaires dolomitiques, marnes et flyschs Paléocènes du sud du Bassin Aquitain						
400	Bassins de la chaîne pyrénéenne						
402	Chaînons calcaires du Secondaire de la chaîne pyrénéenne						
404	Massifs de la chaîne pyrénéenne						
948	Alluvions de la vallée de l'Adour						

Tableau 6 : Tableau des entités hydrogéologiques de niveau 1 de la BD LISA

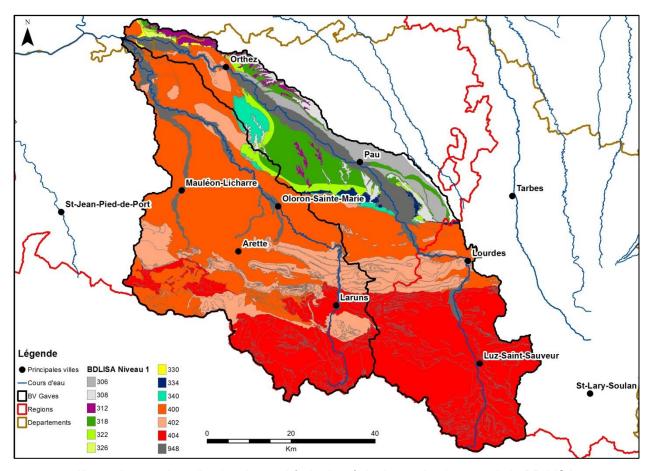


Illustration 24 : Localisation des entités hydrogéologiques de niveau 1 de la BD LISA

Les 13 entités hydrogéologiques de niveau 1 de la BD-LISA comportent 35 entités hydrogéologiques de niveau 2 et 97 entités hydrogéologiques de niveau 3. La liste de ces différentes entités est donnée en Annexe 4. Chacune des entités hydrogéologiques de niveau 3 est caractérisée par un « thème » (cf. Illustration 25), une « nature » (Illustration 26), un « milieu » (Illustration 27) et un « état » (Illustration 28).

Le « thème » précise le type de formations constituant l'entité hydrogéologique : alluvial, sédimentaire ou de montagne. En cela, cette cartographie ne fait que confirmer l'observation faite précédemment, à savoir la très forte prépondérance de formations de montagne.

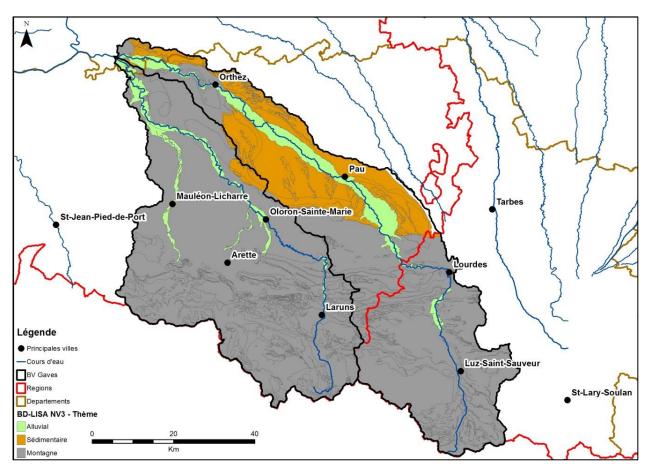


Illustration 25 : « Thème » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA

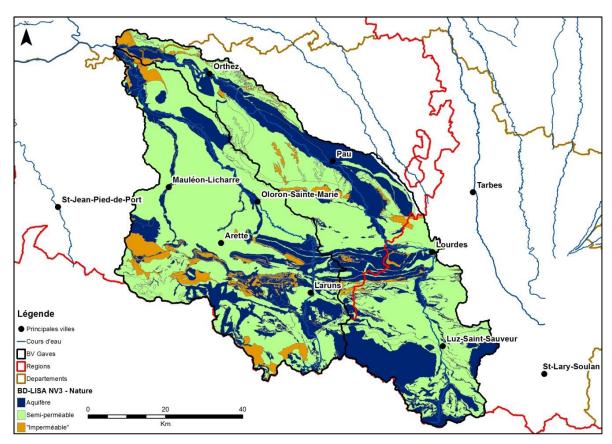


Illustration 26 : « Nature » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA

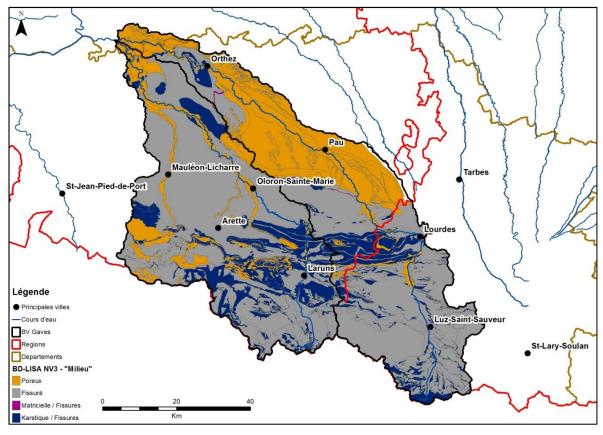


Illustration 27 : « Milieu » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA

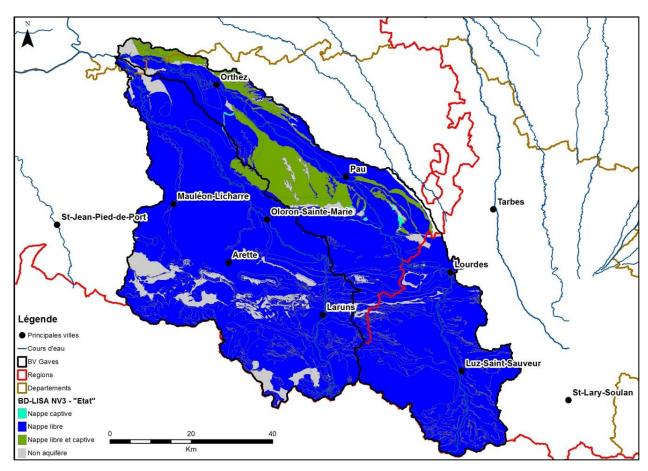


Illustration 28 : « Etat » des entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD LISA

La « nature » propose une caractérisation globale des entités hydrogéologiques, en les classant en trois catégories : aquifère, semi-perméable ou « imperméable »⁹. L'Illustration 26 donne ainsi une vue cartographique des entités aquifères présentes dans les bassins versants des gaves : les formations alluviales, constituées de plusieurs terrasses de perméabilités relatives (formations 306 et 948), les formations calcaires (340, 402) et certains granitoïdes situés très à l'amont dans les bassins versants, principalement du gave de Pau (404). Cette vue hydrogéologique du territoire est assez cohérente avec celle proposée par Roux et al. en 2006 (cf. illustration 29) : « Les ressources en eau sont localisées dans les terrains calcaires, les terrains métamorphiques du Primaire et les alluvions de vallée ». Les terrains métamorphiques évoqués se situent en effet en dehors des bassins versants étudiés mais il manque cependant les massifs granitiques dont la contribution potentiellement mineure à l'échelle de la zone d'étude peut cependant jouer un rôle important dans l'hydrodynamique et l'hydrochimie des sources thermales (cf. partie 3.3.3).

Le « milieu » permet de préciser la nature de la perméabilité que chaque entité hydrogéologique fournit : par porosité, par fissuration / fracturation, voire par karstification. La partition entre domaine poreux et domaine fissuré se fait sans surprise pour l'essentiel sur la base de la partition domaine sédimentaire / domaine intensément plissé. La présence de formations karstifiées est par contre plus intéressante et constitue un élément fort de

-

⁹ Il n'existe pas de formations imperméables à proprement parler : toute formation présente une perméabilité quantifiable, le cas échéant extrêmement faible.

l'hydrogéologie des gaves. La bibliographie et des données issues des bases de données publiques confirment clairement cette prédominance (cf. chapitre 3.5).

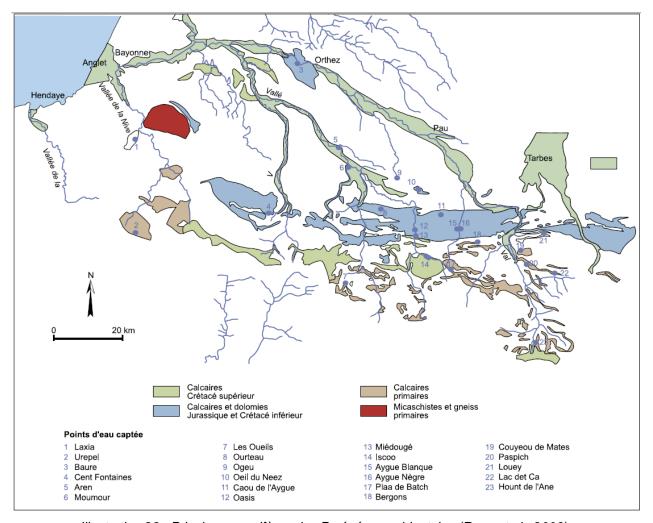


Illustration 29 : Principaux aquifères des Pyrénées occidentales (Roux et al., 2006)

Enfin, « l'état » précise le caractère libre et/ou captif des nappes rencontrées dans les entités hydrogéologiques aquifères ou semi-perméables. On notera l'immense prépondérance de nappes libres dans les deux bassins versants. Les entités comportant une nappe tantôt libre, tantôt captive correspondent très majoritairement aux formations molassiques dans lesquelles des intercalations de niveaux perméables existent au sein d'une matrice globalement peu perméable. Ce système d'intercalations donne naissance à des nappes parfois libres mais souvent captives dans le sud aquitain. Les formations captives correspondent quant à elles aux sables sous-molassiques (entités BD-LISA de niveau 3 : 334AC01 et 334AH01), ainsi qu'aux calcaires du Paléocène (entité 340AA02). On notera les concernant que ce caractère captif valide pour l'essentiel de leur extension peut s'accommoder localement de zones dans lesquelles les aquifères sont libres.

3.2.2. Aquifère alluvial du gave de Pau

L'aquifère alluvial du gave de Pau a fait l'objet d'une étude conduite entre 2008 et 2010 par le BRGM. Ainsi, Corbier et al. (2008) a décrit l'extension de cet aquifère alluvial qui s'étend sur une centaine de kilomètres de long pour 4 à 5 kilomètres de large en moyenne et une superficie

totale d'environ 500 km². Un modèle géologique réalisé avec le logiciel GDM a permis de proposer une vue spatialisée de l'épaisseur de ces alluvions (cf. Illustration 30), en se basant sur les différentes terrasses qui les composent : Holocène, Würm et Riss. Cette modélisation montre ainsi l'épaississement de la formation alluviale à l'amont de Pau (jusqu'à 30 m), dans le secteur de Bourdettes, tandis qu'elle reste généralement inférieure à 10 m à l'aval de Pau. L'épaississement s'accompagne d'un élargissement de la zone alluviale, ce qui développe la capacité de l'aquifère dans cette zone.

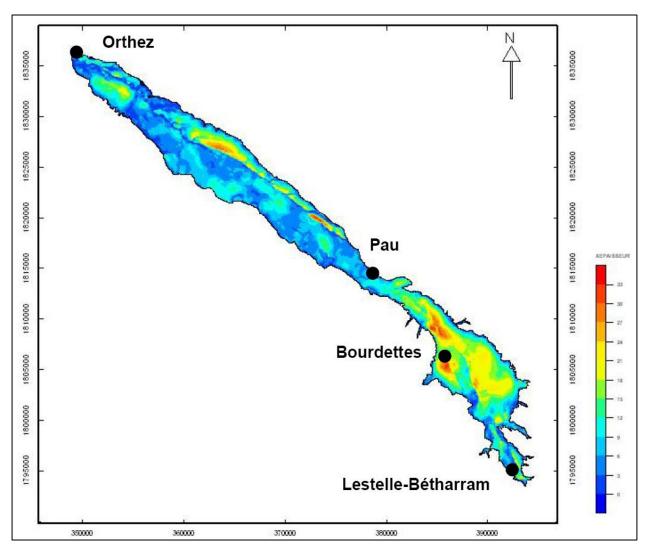


Illustration 30 : Epaisseur des alluvions du gave de Pau (Corbier et al., 2008)

La perméabilité des formations alluviales est généralement élevée mais très dépendante de la nature des matériaux, en particulier des teneurs en argiles. Corbier et al. (2008) indiquent que « les essais de pompage menés dans le secteur d'étude ont permis de calculer des transmissivités comprises entre 1.10^{-4} et $2.5.10^{-1}$ m²/s et des coefficients d'emmagasinement de l'ordre de 3 à 15%, confirmant le caractère libre de la nappe. ». En termes de minéralisation, « les eaux de la nappe se caractérisent par une minéralisation moyenne (300 à 500 μ S/cm), des pH proches de la neutralité et un faciès bicarbonaté calcique ».

Différentes approches ont été conduites par Corbier et al. (2010) pour caractériser le comportement hydrodynamique de l'aquifère alluvial, en se basant sur les séries temporelles

disponibles (pluie, ETP, débit, piézométrie). Tout d'abord, une analyse des débits et des niveaux piézométriques 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 [dans les piézomètres implantés dans les alluvions récentes] 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 [hydrologique] antérieur, correspondant probablement à la fonte des neiges. »

La mise en œuvre d'analyses corrélatoires croisées sur les données pluviométriques, piézométriques et débitmétriques a permis par ailleurs 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. »

Enfin, un modèle de type « global » a été réalisé avec le logiciel Tempo © pour simuler le débit du gave de Pau à Bérenx. Cette modélisation a montré la forte corrélation existante entre les piézomètres et le cours d'eau, ainsi que l'importance de la contribution de la fonte des neiges dans le débit de celui-ci. Une modélisation des niveaux piézométriques a d'autre part permis de mettre en évidence la très forte corrélation existant entre les variations des niveaux de la nappe alluviale et celles du débit du Gave de Pau. Cette corrélation est d'autant plus forte que le piézomètre est proche du cours d'eau. Ce travail de modélisation est présenté de façon plus détaillée au chapitre 4.2.1.

On retiendra par ailleurs que la nappe alluviale du gave de Pau est en communication avec l'aquifère des Sables Infra-Molassiques (SIM) et qu'il contribue en cela au renouvellement annuel des ressources en eau que ce dernier contient. La piézométrie enregistrée sur les forages de Bordes-Angaïs, implantés dans ces sables et exploités pour la production d'eau potable, met ainsi en évidence cette alimentation saisonnière.

3.2.3. Autres aquifères alluviaux

De façon générale, les aquifères alluviaux des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron sont formés par les terrasses alluviales les plus récentes (Würm), les terrasses anciennes (Riss, Mindel,...) étant le plus souvent constituées par une matrice à dominante argileuse – résultant de l'altération des matériaux initialement déposés – induisant des propriétés

hydrodynamiques médiocres, voire étant déconnectées hydrauliquement des basses terrasses et du cours d'eau.

Les alluvions récentes ne se sont pas déposées de façon homogène dans les bassins versants des Pyrénées occidentales. Ainsi, Roux et al. (2006) indique : « Les vallées étroites, taillées récemment dans le substratum, ne possèdent pas d'alluvions : vallées de l'Ouzom, du gave d'Ossau entre Arudy et Oloron, du gave de Pau entre Lourdes et Nay, des différents gaves dans leurs parties hautes. »

« Les zones les plus épaisses ou les plus étendues sont situées dans les vallées glaciaires (Adour, Ossau), à l'amont de verrous rocheux (bassin de Bedous en vallée d'Aspe, d'Ossès dans la Nive) ou dans des zones d'épanchement comme [...] à l'amont d'Oloron pour le Vert [...]. Les remplissages lacustres de de barrages glaciaires, comme dans le bassin de Lourdes, sont également favorables à des dépôts épais de varves sablo-argileuses recoupées par des chenaux graveleux, aquifères, étroits, mais profonds. »

La productivité des aquifères alluviaux varie fortement en fonction de l'épaisseur saturée en eau et surtout de la nature des matériaux qui les composent. Ainsi, les débits d'exploitation varient de quelques m³/h à quelques centaines de m³/h (Saplairoles et Mauroud, 2003).

Dans le bassin versant du gave d'Oloron, l'épaisseur des terrasses récentes varie de 5 à 15 m d'épaisseur, la granulométrie diminuant dans la partie supérieure des dépôts. Ainsi, la partie inférieure est souvent constituée par des sables, graviers et galets polygéniques qui constituent généralement la partie la plus productive de l'aquifère. Les alluvions sont présentes sur une extension et un linéaire importants (250 km² - Saplairoles et Mauroux, 2003), ce qui conduit à l'existence d'échanges possibles avec les différentes formations recoupées en fond de vallées (calcaires urgoniens, calcaires des canyons, calcaires de l'Éocène,...). L'alimentation des aquifères alluviaux peut se faire au travers des liens avec les aquifères sous-jacents mais aussi par apports latéraux depuis les terrasses anciennes, alimentation directe par la pluie et par les cours d'eau lors des épisodes de crues. Ces derniers jouent cependant en règle générale un rôle de drain pour les aquifères alluviaux (Saplairoles et Mauroux, 2003).

3.2.4. Chaînons calcaires

Les chaînons calcaires constituent un élément majeur de l'hydrogéologie des bassins versants étudiés. La carte de l'illustration 29 montre ainsi l'importance géographique relative de ces formations par rapport à l'ensemble des aquifères de la région. Ces aquifères calcaires, réunis pour la plupart dans la BD-LISA de niveau 1 dans l'ensemble 402 daté du Secondaire, regroupent dans le détail des unités d'âges stratigraphique variés, allant du Dévonien (Primaire) au Sénonien (Crétacé supérieur). Ils constituent souvent des « massifs » : Arbailles, Pierre-Saint-Martin, les Eaux Bonnes, Sarrance (entre Arette et Laruns), Saint-Pé-de-Bigorre, Bétharram (entre Lourdes et Laruns)...

Roux et al. (2006) proposent une présentation de ces ensembles calcaires :

« Au Secondaire, les calcaires dolomitiques du Jurassique constituent avec les calcaires du Crétacé inférieur (faciès urgonien) l'armature des premiers chaînons au Nord des Pyrénées. Orientés Est-Ouest, ils sont recoupés par les vallées issues de la haute chaîne Primaire. Ils apparaissent dans les Chaînons de la zone Nord-pyrénéenne sous forme d'une succession de synclinaux et d'anticlinaux, parallèles et recoupés de failles parfois chevauchantes.

En dépôts discordants ou chevauchants, s'étalent les calcaires du Crétacé supérieur. En altitude plus élevée, ils présentent localement un aspect tabulaire, malgré de nombreux replis

successifs. Ils se rencontrent jusqu'aux sommets les plus hauts des Pyrénées en constituant les zones karstiques mythiques telles que la Pierre-Saint-Martin, les crêtes et les environs du cirque de Gavarnie, le massif du Ger près des Eaux Bonnes ou les canyons de Sainte-Engrâce au Pays Basque. »

Les massifs calcaires présentent ainsi souvent une forte karstification qui joue un rôle majeur dans les écoulements souterrains (cf. partie 3.5). Cette circulation karstique implique souvent que « les écoulements sont rapides et les capacités de stockage faibles » (Saplairoles et Mauroux, 2003).

Deux ensembles stratigraphiques crétacés ressortent parmi l'ensemble de ces massifs calcaires : les calcaires urgoniens, datés de la fin du Crétacé inférieur (Aptien supérieur, voire Barrémien à Aptien) et les calcaires des canyons, datés du Crétacé supérieur (Coniacien – Santonien, voire démarrant au Cénomanien selon les auteurs – notice de la carte géologique de Laruns-Somport).

Les calcaires urgoniens sont rencontrés par exemple dans le Massif des Arbailles, le Massif de Saint-Pé-de-Bigorre ou celui de Sarrance. Constitués par des calcaires épais de plusieurs centaines de mètres (jusqu'à 600 m dans le massif de Saint-Pé-de-Bigorre), ils sont encadrés par les marnes de Sainte-Suzanne de l'Aptien à la base et les marnes à spicules de l'Alboaptien au toit. Ces calcaires donnent naissance à de nombreuses sources (grotte Massabielle de Lourdes, grotte Bétharram, sources d'Aygue Blanque et Aygue Nègre captées pour l'eau potable, sources thermales de Lurbe-Saint-Christau, cf. partie 3.3...).

Les calcaires des canyons sont rencontrés dans le Massif de la Pierre-Saint-Martin, le Massif des Eaux-Chaudes et des Eaux-Bonnes notamment. Dans ces massifs, les calcaires des canyons sont constituées par une épaisse série calcaire de 400 à 500 m d'épaisseur, d'âge Cénomanien à Campanien (Saplairoles et Mauroux, 2003). Cette série repose directement sur le socle paléozoïque, potentiellement constitué par des plutons granitiques contribuant à l'écoulement des eaux souterraines (cf. sources des Eaux-Chaudes, partie 3.3.3). Stratigraphiquement, il est situé sous le flysch schisto-gréseux du Campano-Maastrichien, correspondant à la couverture du « plateau » karstique situé au-dessus de Saint-Engrâce (Saplairoles et Mauroux, 2003). Ces calcaires donnent naissance là aussi à de nombreuses sources, dont celles de Gourette, Eaux-Bonnes, Eaux-Chaudes, Lées-Athas...

Dans le chaînon calcaire de Sarrance, les calcaires du Jurassique constituent un système aquifère de type multicouche, chacune étant séparée des autres par des niveaux marneux. On retrouve ainsi du plus ancien au plus récent stratigraphiquement parlant :

- les calcaires, brèches et dolomies du Lias inférieur ;
- les calcaires marneux et les marnes du Lias supérieur et moyen ;
- les calcaires à microfilaments du Lias supérieur et du Dogger ;
- les calcaires et dolomies du Dogger-Barrémien.

Ces formations sont connues comme étant aussi karstifiées.

Des aquifères carbonatés sont enfin rencontrés dans les dépôts du Primaire. Ainsi, Roux et al. (2006) indiquent que pour cet âge « les calcaires sont principalement ceux du Dévonien et, en quelques sites, ceux du Carbonifère. Au Dévonien inférieur et moyen, ce sont des calcaires massifs de 15 à 100 m d'épaisseur, encadrés par des sédiments schisto-gréseux. Les calcaires griottes du Dévonien supérieur, les calcaires noirs du Carbonifère et certains passages au sein du Permien peuvent localement constituer des aquifères. » Les calcaires dévoniens contribuent par exemple aux émergences des sources thermales de Beaucens-les-bains et Argelès-Gazost dans les Hautes-Pyrénées (cf. partie 3.3.3).

3.2.5. Granitoïdes

Dans les massifs granitiques, l'eau est susceptible de s'écouler au travers de la fissuration qui parcourt les massifs mais potentiellement aussi de façon moins discontinue dans la partie altérée – arénisée – des granites. L'illustration 31 schématise le principe de ces possibilités d'écoulements : la partie altérée de la formation plutonique est capacitive (c'est-à-dire qu'elle peut stocker de l'eau) et généralement peu transmissive (elle transfère difficilement cette eau), tandis que l'horizon fissuré sous-jacent est transmissif et généralement peu capacitif.

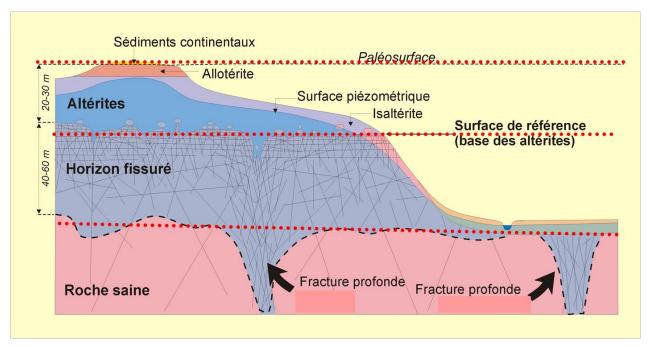


Illustration 31 : Structure type d'un aquifère de socle (Wyns, 2013)

Dans le cas d'une formation granitique, l'altération de la roche produit une arène souvent sableuse qui, en sus de sa propriété capacitive, est susceptible de présenter des propriétés transmissives. Ceci en fait donc un aquifère potentiellement intéressant. De façon générale cependant, les débits d'exploitation rencontrés dans ce type de formations demeurent modérés (de quelques m³/h à quelques dizaines de m³/h tout au mieux).

Dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron, plusieurs massifs granitiques sont rencontrés : Massif du Néouvielle, Massif des Eaux-Chaudes, au contact des calcaires karstifiés du Crétacé supérieur, Massif de Cauteret-Panticosa, Massif du Grand-Arroubert... Ces massifs donnent naissance à des sources de débit généralement faibles mais pérennes. La minéralisation est le plus souvent faible. Ainsi, la notice de la carte géologique de Gavarnie indique que « de nombreuses sources au débit faible, généralement inférieur à 1 l/s, offrent une eau très pure, faiblement minéralisée. ».

Des débits plus importants peuvent cependant être obtenus : c'est ainsi le cas aux sources thermales des Cauterets, débitant au total 16 l/s environ (Pomerol et Ricour, 1992). Par ailleurs, les formations granitiques sont impliquées dans plusieurs schémas d'écoulement proposés concernant des stations thermales, pour la plupart situées dans les Hautes-Pyrénées (cf. partie°3.3.3).

Enfin, dans le contexte de montagne, des éboulis peuvent aussi constituer un relai pour les eaux souterraines contenues dans les massifs granitiques.

3.3. ÉMERGENCES

3.3.1. Cartographie des émergences

Les sources ont été inventoriées à partir des données disponibles en Banque du Sous-Sol (Illustration 32). Un total de 767 sources a été recensé dans la zone d'étude, dont 406 se situent dans le bassin versant du gave d'Oloron (53%). Les sources inventoriées en BSS sont essentiellement localisées dans la partie amont des bassins versants des deux gaves étudiés. Cet inventaire n'est en aucun cas exhaustif.

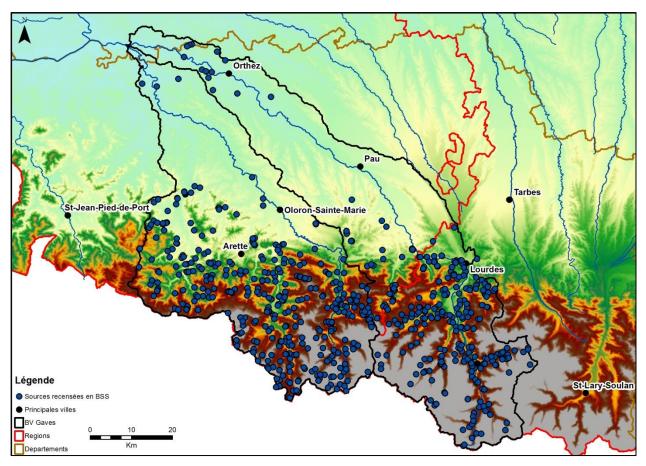


Illustration 32 : Localisation des sources dans la zone d'étude

3.3.2. Typologie des émergences

Roux et al. (2006) proposent une typologie des émergences rencontrées dans les Pyrénées occidentales. Ce chapitre reprend plusieurs extraits de ce document.

« Pour les calcaires du Secondaire, le type d'émergence le plus classique correspond à la gouttière synclinale de calcaires urgoniens reposant sur des marnes imperméables, et recoupée par une vallée. L'exutoire est alors perché sur le versant comme l'Aygue Nègre et l'Aygue Blanque [...] qui se font face dans la vallée de l'Ouzom au pied du col du Soulor ou de la source Miédougé en vallée d'Ossau. » Ce schéma d'émergence est présenté en illustration 33.

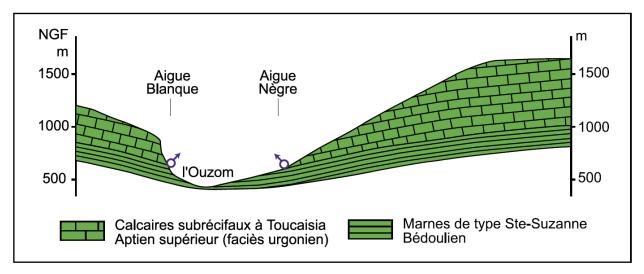


Illustration 33 : Coupe hydrogéologique simplifiée de la vallée de l'Ouzom au droit des sources Aygue Blanque et Aygue Nègre (Université Bordeaux 3 et SETMO, 2006)

« Parfois l'aquifère, au contact d'un niveau imperméable, déborde à la faveur d'une dépression topographique. C'est le cas de la source de l'Ourtau, à Oloron-Sainte-Marie, qui se déverse des calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur au contact des marnes du Barrémien; de sources issues de calcaires urgoniens, dans les Baronnies, au contact des flyschs cénomaniens; des calcaires du Crétacé inférieur des Arbailles en Pays Basque, qui s'ennoient vers l'Est, sous les marnes albiennes, et dont les eaux, avant piégeage, débordent aux Cent Fontaines à Alçay au Sud de Mauléon. ».

La source de la grotte Massabielle de Lourdes présente un cas similaire, jaillissant « des calcaires urgoniens au contact des alluvions morainiques et de celles du gave de Pau ». Il en est de même pour la source de l'Oeuil de Bergons à Salles Argelès (cf. illustration 34) qui déborde à l'amont de moraines « imperméables ».

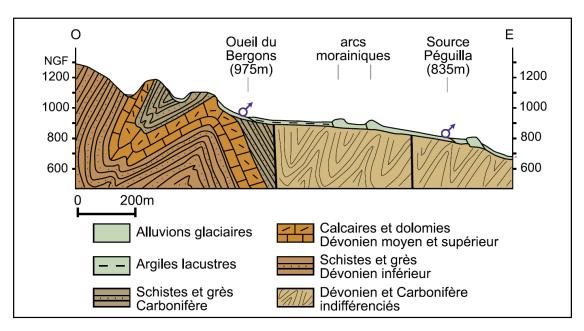


Illustration 34 : Coupe géologique schématique au droit de l'œil du Bergons et de la source Peguilla (Roux et al., 2006)

« Localement, les eaux des structures profondes des calcaires remontent à l'occasion de contacts anormaux ou de cassures en créant des émergences particulières, caractérisées par une température, une présence de gaz ou une minéralisation anormale comme les sources minérales d'Ogeu-les-Bains, [...], la source gazeuse de l'Oasis à Gère-Belesten en vallée d'Ossau, qui jaillit après avoir traversé les alluvions.

Les calcaires du Crétacé supérieur sont le siège d'une nappe qui, par exemple, aux Eaux Bonnes et à Gourette, se déverse dans la vallée du Valentin parcourue par une faille. Les sources captées d'Iscoo (+840 m) et de Plaa de Batch (+1 580 m) [...] en sont les principaux exutoires. [...] L'alimentation en eau de ces aquifères, essentiellement montagnards, dépend de la couverture neigeuse et des apports pluviométriques. »

D'un point de vue quantitatif, « les débits d'étiage sont élevés pour les émergences dépendant d'aquifères crétacés étendus : 500 l/s à l'étiage pour la source Miédougé, 30 l/s en août 1964 pour l'Aygue Blanque, 90 l/s d'août à septembre 1929 pour l'Aygue Nègre [...] : 20 à 50 l/s pour les autres sources du Crétacé inférieur et du Jurassique. » (Roux, 2006).

Le rôle de la fonte des neiges dans l'hydrodynamique des sources a été mis en évidence au travers d'un suivi réalisé sur la source Iscoo-aval en 1995-96 (Geotherma, 1996, cf. illustration 35). Roux et al (2006) indique qu'il « apparaît que l'aquifère karstique de la source Iscoo aval [...] fournit des débits en étiage de 30 l/s (mai à juillet) et des pointes lors de la fonte des neiges (avril à juin) ou des pluies hivernales, associées à de la fonte des neiges (novembre à février) de 200 à 800 l/s. »

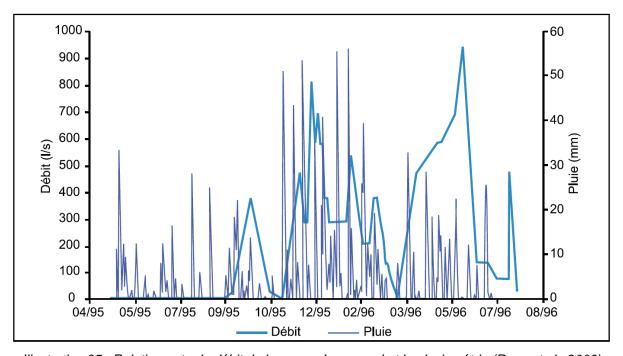


Illustration 35 : Relation entre le débit de la source Iscoo-aval et la pluviométrie (Roux et al., 2006)

3.3.3. Sources thermo-minérales

Le thermalisme est présent dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron. On peut citer ainsi les stations thermales d'Eaux-Chaudes, Eaux-Bonnes, Ogeu-les-bains, Lurbe-Saint-Christau et Salies-de-Béarn dans les Pyrénées-Atlantiques ou celles d'Argelès-Gazost,

Barèges-Sers, Beaucens-les-bains, Cauterets et Luz-Saint-Sauveur dans les Hautes-Pyrénées. Toutes ces stations ne se présentent pas sous la même configuration hydrogéologique.

Ainsi, la station des Eaux-Bonnes (Berard et Mazurier, 2000) bénéficie de l'émergence d'écoulements souterrains se produisant vraisemblablement au sein des calcaires du Dévonien (Paléozoïque) et remontant en surface via les calcaires karstifiés du Crétacé supérieur. Les eaux peuvent dépasser 40°C (dans les forages 10694X0041/OB1 et 10694X0042/OB2), la température étant inférieure de 10°C au droit des sources. Les eaux captées présentent un résidu sec légèrement supérieur à 500 mg/l.

Aux Eaux-Chaudes, les eaux sont moins minéralisées (de 300 à 400 mg/l) et présentent une température de l'ordre de 30 à 35°C pour les 4 sources situées à l'intérieur de l'établissement thermale (Berard et Mazurier, 2000). Les émergences se font soit à l'interface entre le Crétacé supérieur et le granite sous-jacent, soit directement depuis les granites.

A Lurbe-Saint-Christau, les eaux circulent dans les calcaires urgoniens karstifiés. Percolant jusqu'à 1000 m de profondeur, elles s'enrichissent en minéralisation au contact des formations triasiques avant de remonter rapidement à la surface au profit de failles E-O et N-S et à proximité de la couverture de l'aquifère qui est constituée par les schistes très peu perméables de l'Albien (Berard et Mazurier, 2000). La minéralisation est de 206 mg/l à la source des Arceaux (10512X0015) pour une température d'émergence de 12.5°C, tandis qu'elle est de 604 mg/l pour une température de 43°C au forage de la Colombe (10512X0030, profondeur de 369 m).

Il n'y a plus d'établissement thermal à Ogeu-les-bains depuis 1941. Il existe par contre une activité d'embouteillage d'eau qui existait préalablement à l'arrêt du thermalisme à partir de la source « H » (10513X0002) et a repris à partir de 1943. L'eau captée est issue des calcaires karstifiés de l'Urgonien. Berard et Mazurier (2000) précisent que « les eaux s'infiltrent jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 500 à 1000 m sous le synclinal d'Arudy-Oloron et remonteraient à la faveur de la structure anticlinale dont les flancs sont abrupts ». Comme à Lurbe-Saint-Christau, la couverture de l'aquifère est constituée par les schistes très peu perméables de l'Albien. Berard et Mazurier (2000) indiquaient par ailleurs que « le débit était variable selon les saisons et la pression atmosphérique ce qui laisse supposer une influence des eaux superficielles. ». La température de l'eau est de 20 à 22°C et la minéralisation est de 268 mg/l.

Enfin, à Salies-de-Béarn, les eaux contenues dans les calcaires du Crétacé remontent à la surface après avoir acquis une minéralisation très élevée au contact du diapir salifère triasique. Les eaux émergent à une température de 15 à 16°C et présentent une salinité de l'ordre de 290 g/l (eaux chlorurées sodiques). Notons que l'exploitation se fait au travers d'un forage de 160 m de profondeur situé à Oraas (10036X0029), au détriment de la source initialement exploitée (Bayaa, indice 10032X0011).

Dans les Hautes-Pyrénées, il est intéressant de noter que plusieurs des sources thermales impliquent une circulation des eaux dans des massifs granitiques, que ce soit en totalité (Cauterets) ou pour la zone de recharge, l'émergence se faisant au travers d'une formation géologique plus récente (Barèges-Sers, Beaucens-les-bains, Luz-Saint-Sauveur).

A Cauterets, les eaux émergent à une température de 34 à 52°C pour une minéralisation comprise entre 204 et 255 mg/l (Pomerol et Ricour, 1992). La zone de recharge supposée des sources thermales serait située à une altitude de 2100 à 2300 m.

A Barèges-Sers, les eaux sont issues du granite (Pomerol et Ricour, 1992) et remontent en surface en traversant les calcaires du Dévonien. Elles émergent à une température comprise

entre 26 et 43°C pour une minéralisation située entre 222 et 264 mg/l. Le débit total des différentes sources est de 8 à 9 l/s.

A Beaucens-les-bains, deux sources émergent des calcaires dévoniens en présentant des températures de 14.5 et 18°C pour une minéralisation respective de 870 et 902 mg/l. D'après Pomerol et Ricour (1992), « les eaux proviennent d'un circuit hypothétique dans le socle primaire et d'une remontée à la faveur d'un accident important qui leur permettrait d'entrer en contact avec le Trias et d'y acquérir leur minéralisation chlorurée ».

A Luz-Saint-Sauveur, les eaux s'infiltrent dans le massif granitique de Cauterets et émergent dans les calcaires du Carbonifère redressés dans une position subverticale. La température de l'eau à la source des Dames (indice BSS: 10708X0008) est de 33°C environ pour une minéralisation de 255 mg/l.

Enfin, à Argelès-Gazost, les eaux circulent dans les calcaires du Dévonien après avoir « probablement traversé des migmatites situées au sud-est » (Pomerol et Ricour, 1992). La température de l'eau à l'émergence est de 16°C pour une minéralisation de 302 mg/l.

La carte de l'Illustration 36 récapitule la localisation des différentes sources thermales inventoriées en Banque du Sous-Sol.

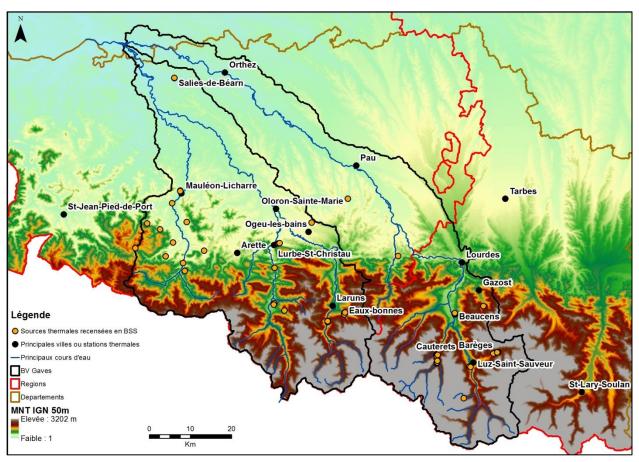


Illustration 36 : Localisation des sources thermales dans la zone d'étude

3.4. PIÉZOMÉTRIE

3.4.1. Cartes piézométriques

Si de nombreux traçages ont été réalisés dans la zone d'étude (cf. partie 3.5), peu de cartes piézométriques ont pu être identifiées. Seules quelques cartes relatives aux nappes alluviales des gaves de Pau et d'Oloron sont ainsi présentées ci-après.

Concernant la nappe alluviale du gave de Pau, Corbier et Ladouche (2008) citent l'existence de cartes piézométriques portant sur la nappe alluviale située à l'amont de Pau, et réalisées en juillet 1957 et octobre 1980 (EDF et DDASS). « Les résultats ont montré un drainage de la nappe par le gave entre Assat et Pau, des possibilités d'échanges en amont, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, selon les secteurs et les saisons, et des alimentations probables en provenance des coteaux. »

Corbier et Wuilleumier (2010) restituent par ailleurs quatre cartes piézométriques portant sur la nappe alluviale du gave de Pau :

- une carte piézométrique localisée au voisinage de Bordes et réalisée par un groupement de bureaux d'études ANTEA/GINGER/CALLIGEE en juillet 2009. Cette carte est présentée en illustration 37;
- une carte piézométrique localisée au voisinage d'Artix en mai 1985 et réalisée par le Département des Pyrénées-Atlantiques ;
- une carte piézométrique localisée au voisinage de Jurançon en situation de moyennes eaux et au début des années 2000, réalisée par le Département des Pyrénées-Atlantiques;
- une carte piézométrique localisée au voisinage de Tarsacq en situation de hautes eaux et au début des années 2000, réalisée par le Département des Pyrénées-Atlantiques.

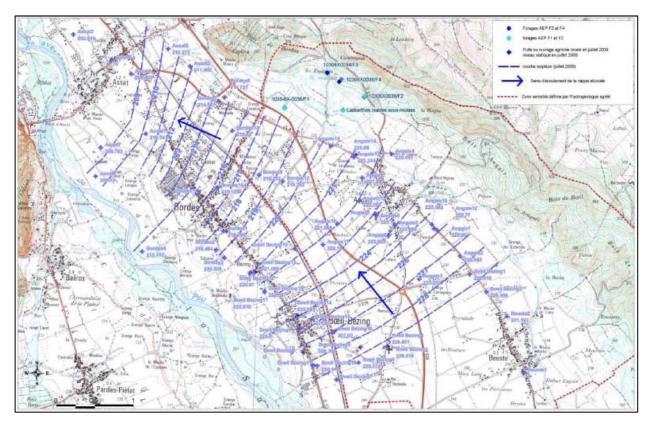


Illustration 37 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du gave de Pau au voisinage de Bordes en juillet 2009 (ANTEA et al., 2009)

En 1993, une carte piézométrique d'un méandre du gave d'Oloron a été dressée (Armand et al., 1993). Cette carte (illustration 38) montre en particulier l'existence d'une particularité de la relation nappe-rivière : à l'amont du méandre, le cours d'eau est situé au-dessus de la nappe et il l'alimente. A l'aval, par contre, la nappe est située au-dessus du niveau du cours d'eau et l'alimentation se fait donc dans l'autre sens. Les lignes de courant portées sur l'illustration 38 mettent en avant cette circulation particulière.

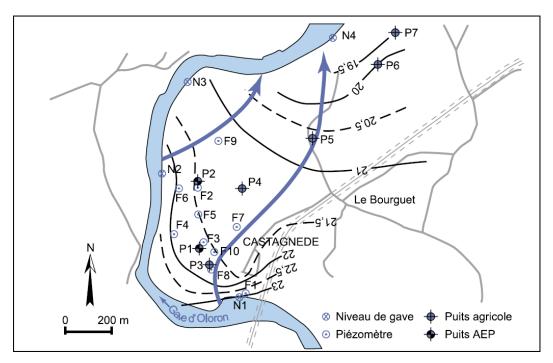


Illustration 38 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du gave d'Oloron dans la plaine de Castagnède (Armand et al., 1993, repris par Roux et al., 2006)

Il existe par ailleurs des modélisations hydrogéologiques réalisées au voisinage de champs captants de la nappe alluviale du gave de Pau. Ces modélisations ont été effectuées à partir de données piézométriques et restituent une piézométrie simulée au voisinage des champs captants. C'est aussi le cas pour la nappe alluviale du gave d'Oloron dans la plaine de Castagnède (Armand et al., 1993).

3.4.2. Chroniques piézométriques

Le département des Pyrénées-Atlantiques réalise un suivi piézométrique depuis une quinzaine d'années en nappe alluviale du gave de Pau et, dans une moindre mesure, du gave d'Oloron. Il existe aussi quatre piézomètres suivant le niveau de la nappe des Sables Infra-Molassiques sous-jacent à la nappe alluviale et exploitée par les forages du champ captant de Bordes-Angaïs. L'ensemble de ces piézomètres sont au nombre de 32, dont un peu plus de 25 sont suivis début 2017. Ils sont localisés en illustration 39.

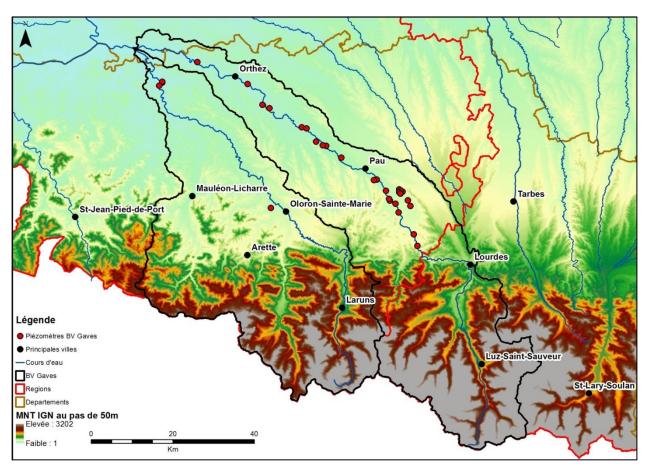


Illustration 39 : Piézomètres suivis dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron

Un exemple de chronique piézométrique enregistrée en nappe alluviale est présenté en illustration 40. Corbier et Wuilleumier (2010) relevait que 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). ». Cet aspect est traité dans le cadre du rapport Seguin et Wuilleumier traitant de la recherche de tendances dans les séries temporelles du cycle de l'eau (2017).

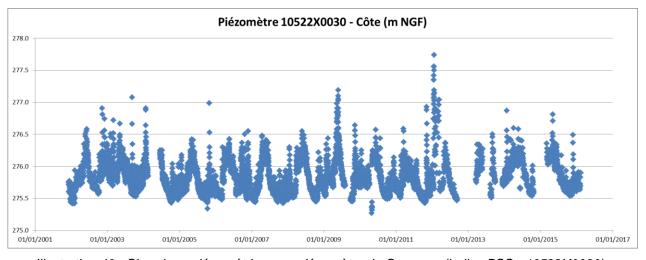


Illustration 40 : Chronique piézométrique au piézomètre de Coarraze (indice BSS : 10522X0030)

3.5. KARST

La karstification est un facteur dominant de l'hydrogéologie des bassins versants amont des gaves de Pau et d'Oloron, avec la présence de figures karstiques emblématiques, telles que la grotte de Bétharram, les karsts de la Pierre-Saint-Martin (cf. illustration 41) ou les massifs karstiques des Arbailles (cf. illustration 42) et de Saint-Pé-de-Bigorre (cf. illustration 43).

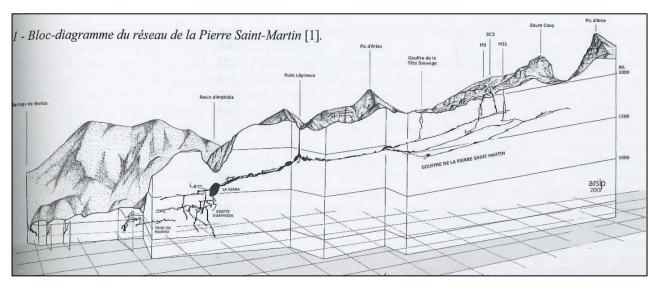


Illustration 41 : Bloc-diagramme du réseau de la Pierre-Saint-Martin (source : Karstologia Mémoires n°19)

Des reconnaissances spéléologiques et des traçages ont été effectués en nombre sur les différents massifs calcaires de la zone d'étude et il serait fastidieux de les restituer ici. Une présentation de ces différents massifs est effectuée dans le cadre des mémoires n°19 de la revue Karstologia et le lecteur est invité à s'y reporter pour un aperçu plus complet des karsts pyrénéens.

Il existe par ailleurs une littérature conséquente à ce sujet, comportant des thèses (Vanara, 1998; Rey, 2007...), la notice de cartes géologiques (Laruns-Somport notamment, Gavarnie dans une moindre mesure), des articles scientifiques (revues Karstologia et Spelunca notamment), des rapports techniques (Karnay et Mondeilh, 1989) ou des ouvrages à portée plus générale (Roux et al., 2006).

Un effet important de la karstification est l'existence de transferts d'eau d'un bassin versant topographique à un autre. Cet aspect a été mis en évidence en particulier dans le cadre de l'étude de l'alimentation de l'Œil du Neez (Karnay et Mondeilh, 1989), le gave d'Ossau alimentant la résurgence plus au nord. Un schéma du principe de fonctionnement du système est présenté en illustration 44.

Il est important de noter en tout état de cause que la karstification concerne plusieurs niveaux stratigraphiques, même si le Crétacé est particulièrement concerné au travers des faciès urgoniens (Crétacé inférieur) et des calcaires des canyons (Crétacé supérieur). Ainsi, Roux et al. (2006) indiquent : « Une morphologie karstique est visible sur certains affleurements d'altitude tels que le Dévonien du flanc Nord du ruisseau du Bastan à Barèges, du cirque de Lescun, le Carbonifère du Somport-Estaens en vallée d'Aspe, du plateau de Saint-André à Gavarnie ou du cirque d'Anéou en haute vallée d'Ossau. »

En complément à cette littérature fournie, on notera que les bases de données BD-Cavité et la Banque du Sous-Sol inventorient partiellement les figures karstiques et les cavités connues (cf.

illustration 45). L'attention du lecteur est attirée sur le fait que toutes les cavités figurant sur cette carte ne sont pas d'origine naturelle.

Enfin, il convient de noter que cette karstification conduit à une différenciation fréquente des bassins versants topographiques et souterrains.

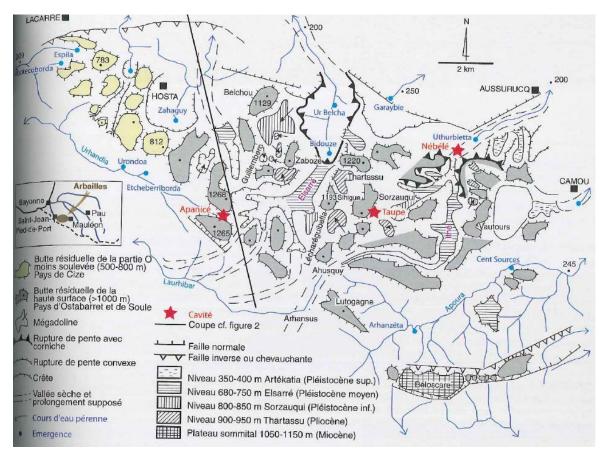


Illustration 42 : Carte géomorphologique simplifiée du massif des Arbailles (source : Karstologia Mémoires n°19)

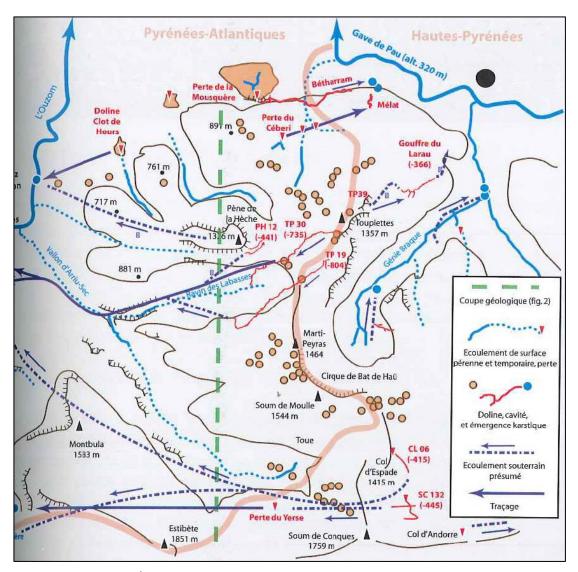


Illustration 43 : Écoulements et figures karstiques du massif de Saint-Pé-de-Bigorre (source : Karstologia Mémoires n°19)

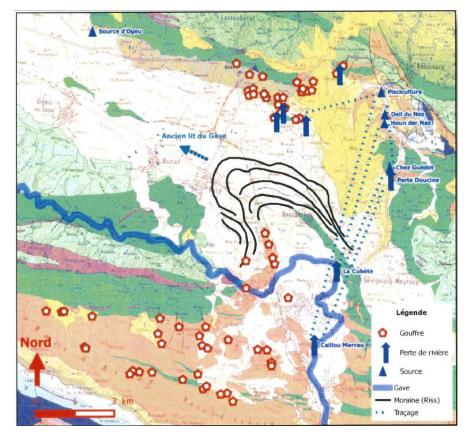


Illustration 44 : Gouffres, pertes et résurgences entre vallée d'Ossau et Œil du Neez (AGSO, 2016)

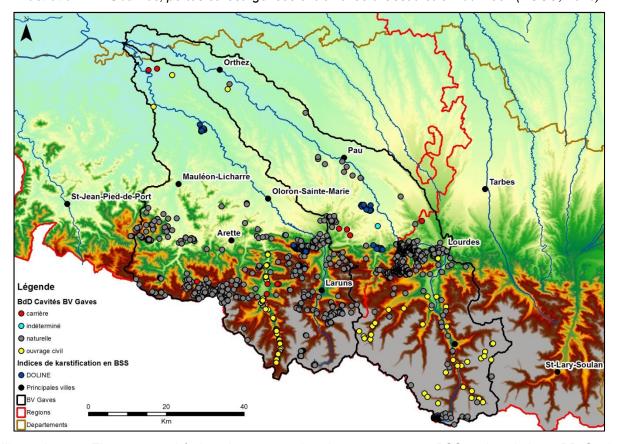


Illustration 45 : Figures et cavités karstiques ou anthropiques connues en BSS et dans la base BD-Cavité

3.6. PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES

A partir des données disponibles en Banque du Sous-Sol et un complément effectué au travers d'une sollicitation de gestionnaires de différents champs captants de la zone d'étude (SMNEP, Syndicat Intercommunal Eau et Assainissement des Trois Cantons, Syndicat Intercommunal d'Eau Potable de la Région de Jurançon...), une cartographie des tests hydrodynamiques réalisés a été effectuée (illustration 46).

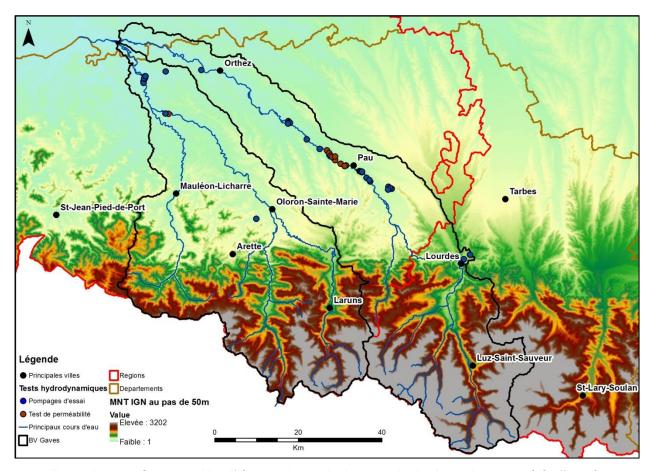


Illustration 46 : Ouvrages identifiés pour lesquels des tests hydrodynamiques ont été effectués

Ce premier inventaire – très probablement loin d'être exhaustif – identifie 35 forages pour lesquels des tests de pompage ont été effectués et 10 ouvrages pour lesquels des tests de perméabilité ont été effectués. Il met en avant l'utilisation des nappes alluviales dans la zone d'étude, celles-ci constituant 75% des aquifères testés par pompage et 90% des aquifères testés par test de perméabilité. Les autres aquifères sollicités sont :

- les Sables Infra-Molassiques (champ captant de Bordes-Angaïs) :
- les calcaires urgoniens ou du Crétacé supérieur : 4 ouvrages testés par pompage et 1 ouvrage ayant fait l'objet d'un test de perméabilité ;
- le Trias traversé à Salies de Béarn (1 ouvrage testé par pompage).

La liste des ouvrages identifiés est présentée en annexe 5. Pour les alluvions du gave de Pau, les transmissivités déduites des pompages d'essais sont comprises entre 1.10⁻⁴ et 2.5.10⁻¹ m²/s, ce qui constitue une gamme assez étendue de valeurs. La plupart des valeurs se situent entre 10⁻³ et 10⁻¹ m²/s. Le Trias quant à lui a été caractérisé par une transmissivité de 2.3 10⁻⁴ m²/s à Salies de Béarn. Les perméabilités déduites des essais s'échelonnent entre 2.10⁻² et 2.10⁻⁶ m/s. Elles présentent une valeur médiane de 4.10⁻⁴ m/s.

Hydrogéologie, usage de l'eau et changement climatique dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron

Enfin, il convient de noter que l'inventaire réalisé ne porte pas sur les traçages qui ont pu être effectués dans les systèmes karstiques. Ce type de tests constitue toutefois un élément essentiel de la caractérisation de l'hydrodynamique de ce type de formation.

4. Modélisations globales

4.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DU FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL TEMPO

La simulation des débits des gaves a été faite à l'aide du logiciel TEMPO. Ce logiciel, développé par le BRGM, est utilisé depuis plus de dix ans dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydrogéologie pour modéliser et prévoir des niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il permet de modéliser le fonctionnement d'un hydrosystème, tel que celui schématisé par l'Illustration 47.

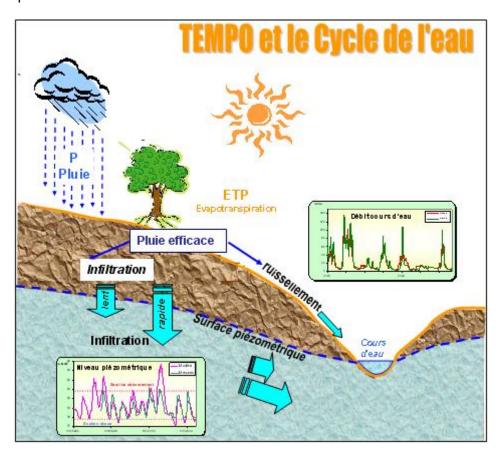


Illustration 47 : Exemple d'hydrosystème modélisable par TEMPO

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

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

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

Contrairement à un modèle maillé (spatialisé), une modélisation globale ne permettra pas d'établir de différentiations spatiales. Par exemple, une zone à forte concentrations de

pompages ou un secteur aquifère plus productif ou une zone de forte infiltration, ne seront pas pris explicitement en compte.

La modélisation globale d'un hydrosystème consiste à rechercher la liaison entre l'entrée du système (pluie et ETP) et la sortie (niveaux et/ou débits), tel que cela est présenté en Illustration 48.

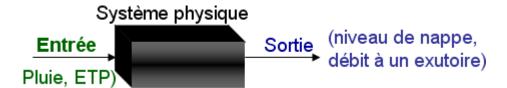


Illustration 48 : Les modèles construits avec TEMPO sont du type « boîte noire »

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

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

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

La fonction recherchée est appelée fonction de transfert.

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

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

La pluie efficace calculée est décomposée en une composante rapide et une composante lente, chacune de ces composantes étant « transférée » à l'exutoire ou à la nappe par l'intermédiaire de la réponse impulsionnelle correspondante. La composante de fonte des neiges est représentée en entrée de la modélisation sous la forme d'une chronique de débit enregistrée à une station de débit située en altitude (plus de 2000 m NGF).

4.2. MODÉLISATION DU DÉBIT DU GAVE DE PAU À BÉRENX

4.2.1. Modélisation réalisée en 2010

Une modélisation du débit du gave de Pau à Bérenx a été réalisée avec le logiciel TEMPO en 2010. Ce travail a été décrit dans le rapport RP-57811-FR (Corbier et al., 2010) et une brève synthèse en est restituée pour mémoire dans le cadre du présent rapport.

Réalisée au pas de temps journalier sur une période allant de 2005 à 2008, la modélisation a reposé sur l'utilisation des données suivantes :

- pluie journalière des postes météorologiques d'Asson et Orthez et ETP décadaire du poste de Pau Uzein;
- débit journalier du gave de Pau à la station de Bérenx (altitude : 38 m; bassin versant jaugé : 2575 km²) et de la Neste de Cap de Long à Aragnouet [Les Edelweiss] (altitude : 2180 m; bassin versant jaugé : 5 km²);
- piézométrie journalière enregistrée à Lescar (indice BSS : 10294X0129-F).

La modélisation du débit observé à Bérenx a été effectuée en se basant sur une somme pondérée des deux chroniques de pluie, de l'ETP de Pau, du niveau piézométrique enregistré à Lescar et du débit de la Neste au niveau du barrage de Cap de Long (65). Ce cours d'eau n'est pas un affluent du gave de Pau mais ses débits sont représentatifs du domaine montagneux qui caractérise aussi la partie la plus amont du bassin versant du gave de Pau. Ils ont été retenus pour représenter un effet de « fonte des neiges» dans la modélisation. Pour mémoire, des modélisations ont également été effectuées en utilisant deux autres chroniques piézométriques de la nappe alluviale du gave de Pau (Tarsacq – indice BSS : 10293X0154-PZ – et Coarraze – indice BSS : 10522X0030-ERH) : celles-ci ayant donné des résultats similaires mais légèrement moins bons en termes de calage, elles ne sont pas présentées dans cette partie.

A l'issue du calage (coefficient de Nash de 0.71), il a été possible de proposer une décomposition du débit du gave de Pau en fonction des différents apports dont il bénéficie : ruissellement direct, apport légèrement différé par les eaux souterraines, fonte des neiges (cf. illustration 49).

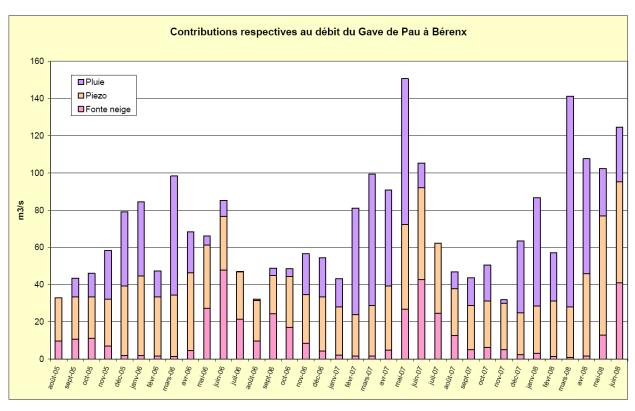


Illustration 49 : Proposition de décomposition du débit du gave de Pau à Bérenx (2005-2008) à l'issue du travail de modélisation conduit en 2010 (Corbier et al., 2010)

Les contributions estimées au débit du gave de Pau sont en moyenne de 40% pour la pluie, 45% pour les eaux souterraines et 15% pour la fonte des neiges. Ces pourcentages varient bien entendu dans le temps mais deux 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.

Le rapport (Corbier et al, 2010) rappelait : « 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 ».

4.2.2. Données utilisées pour l'actualisation du modèle

Les pluies et ETP prises en compte sont issues de l'analyse SAFRAN de MétéoFrance. Il s'agit de celles correspondant aux mailles dont les centroïdes sont de coordonnées 404 km en X et de coordonnées 1753 à 1801 km en Y¹⁰ (en Lambert 2 étendu).

Une application interne du logiciel Tempo permet de rechercher, pour une « sortie » donnée, la combinaison linéaire de pluies qui convient le mieux à sa représentation. On parle alors de « pluie optimale ». La pluie optimale obtenue pour la représentation du débit du gave de Pau à Bérenx est une combinaison linéaire pondérée des pluies des mailles de coordonnées en Y 1777, 1793 et 1801 km (Popt= 0.43*P_1777+0.25*P_1793+0.32*P_1801). Il est intéressant de noter que les pluies des mailles les plus amont ne sont pas retenues pour constituer cette pluie optimale, signe que leur contribution – à l'échelle interannuelle – n'est pas identifiée comme prépondérante pour « expliquer » le débit du gave de Pau à Bérenx.

Il n'existe pas d'approche similaire pour l'ETP et c'est celle de la maille de coordonnées X = 404 km et Y = 1801 km qui a été retenue pour la modélisation. Des tests ont été effectués avec celle de la maille de coordonnées Y = 1777 km mais ils se sont révélés moins concluants.

Les chroniques de débit et de piézométrie utilisées sont les mêmes que celles prises en compte en 2010.

4.2.3. Modélisation actualisée du débit du gave de Pau à Bérenx

Le pas de temps choisi pour la modélisation est journalier.

La chronique piézométrique de Lescar démarre le 04/12/2001, tandis que celle du débit de la Neste de Cap de Long s'interrompt le 31/12/2011. La période de simulation est donc contrainte par ces deux dates. Il existe par ailleurs deux lacunes de données sur cette période :

- le débit du gave de Pau à Bérenx n'est pas disponible du 06/02/2008 au 11/03/2008 ;
- la piézométrie mesurée au piézomètre de Lescar est manquante entre le 20/05/2010 et le 19/09/2010.

Afin de tester la simulation sur la période la plus longue possible, une interpolation linéaire a été effectuée sur les données piézométriques pour combler la période manquante dans la série temporelle. Cette interpolation est faite sur une période très longue mais dans une phase de vidange de la nappe, ce qui la rend envisageable. Une telle interpolation n'a pas été effectuée sur le débit du gave de Pau à Bérenx.

-

¹⁰ Soient les mailles numérotées 16, 58, 100, 142, 184, 226 et 268.

En conséquence, et compte tenu également de la nécessité d'une période d'initialisation en amont de la simulation, cette dernière a été effectuée entre le 10/05/2002 et le 31/12/2011. Elle comporte une lacune qui s'étend du 06/02/2008 au 19/08/2008.

La simulation du débit du gave de Pau à Bérenx a été obtenue avec un coefficient de Nash de 0.68¹¹ (cf. illustration 50).

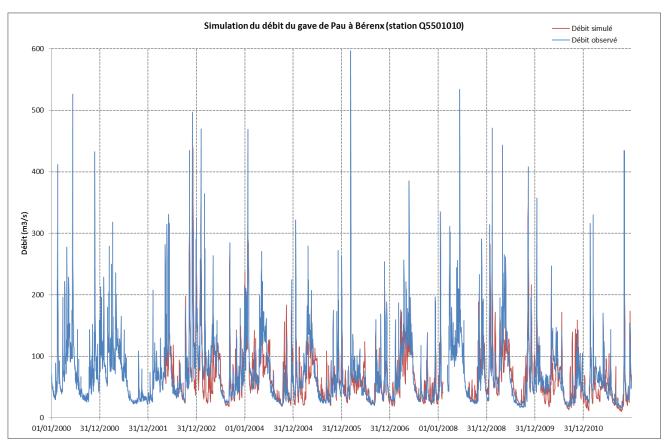


Illustration 50 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011)

Cette simulation fait apparaître les contributions suivantes :

- les écoulements rapides issus de la pluie représentent un peu moins de la moitié du volume d'eau écoulé sur la période de simulation (48.7%). La part la plus rapide de cet écoulement représente 34.3% de ce même volume d'eau ;
- les apports par les eaux souterraines contribuent pour 31.6% au débit du gave de Pau à Bérenx sur cette période ;
- le signal de fonte de neiges assimilé à la chronique du débit de la Neste de Cap de Long intervient pour 19.7% du volume d'eau écoulé.

Comparativement à la simulation effectuée en 2010 sur une période de temps bien plus restreinte (2005-2008), on observe que la contribution des eaux souterraines diminue (on passe

¹¹ Ce coefficient sert à qualifier de façon globale la qualité d'un calage entre séries temporelles de données observées et simulées. La valeur du coefficient de Nash est systématiquement inférieure ou égale à 1. Si le critère de Nash est de 1, l'ajustement est parfait, par contre, s'il est négatif, le débit calculé par le modèle est une plus mauvaise estimation que le simple débit constant égal au débit observé. On considère généralement que des critères de Nash supérieurs à 0,6-0,7 sont satisfaisants et que des critères supérieurs à 0,9 sont excellents.

de 45% à 31.6%) au profit d'une augmentation de la contribution des écoulements rapides issus de la pluie (de 40% à 48.7%) et des écoulements issus de la fonte des neiges (de 15% à 19.7%). Ces modifications significatives ne sont pas nécessairement incohérentes, les conditions climatiques de la période simulée en 2010 (août 2005 à juin 2008) pouvant induire une contribution relative des eaux souterraines plus importante. Et en effet, les années 2005 à 2007 sont les plus sèches de la période (en termes de débit moyen annuel écoulé), à l'exception des années 2010 et 2011. Ainsi, les contributions obtenues sur une période similaire (août 2005 à février 2008, la simulation s'interrompant pour plusieurs mois ensuite) avec la modélisation 2017 se rapprochent de celles obtenues en 2010 (écoulements issus de la pluie : 44.4%; apports par la nappe : 37.2% et écoulements issus de la fonte des neiges : 18.4%). Il existe donc une bonne cohérence entre les décompositions obtenues en 2010 et celles issues de la simulation 2017, ce qui tend à conforter les résultats obtenus.

Les contributions respectives varient bien entendu dans le temps (cf. illustration 51 et illustration 52). On note en particulier que la contribution du signal représentant la fonte des neiges compte pour plus de la moitié de l'écoulement simulé en juin et juillet. L'existence d'une contribution de ce signal durant le mois de décembre conduit cependant à relativiser cette proportion : il est très vraisemblable que cette composante intègre des écoulements distincts du seul signal de fonte des neiges. La faible proportion des débits concernés (quelques m³/s) ne remet cependant pas en cause l'existence de cette contribution importante durant l'été.

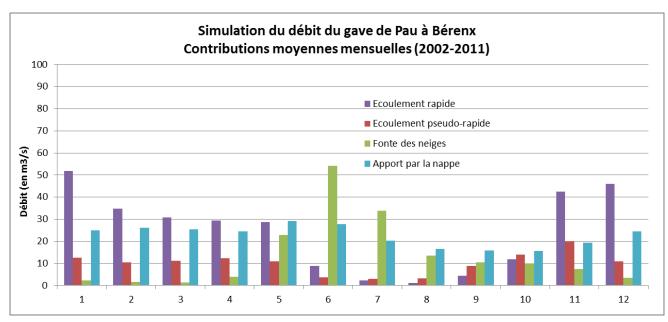


Illustration 51 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011) - contributions moyennes mensuelles exprimées en débit (m³/s)

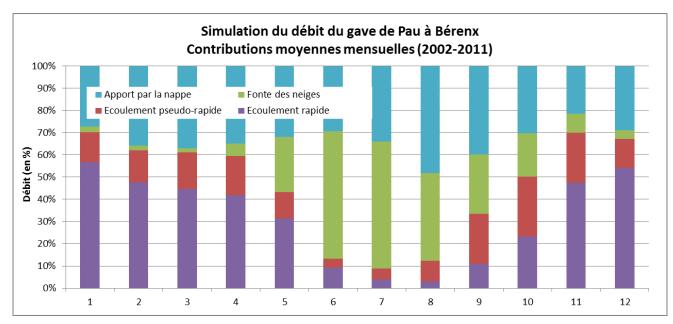


Illustration 52 : Simulation du débit du gave de Pau à Bérenx (2002-2011) - contributions moyennes mensuelles exprimées en pourcentage

4.3. MODÉLISATION DU DÉBIT DU GAVE D'OLORON À ESCOS

4.3.1. Données utilisées

Les pluies et ETP prises en compte sont issues là encore de l'analyse SAFRAN de MétéoFrance. Il s'agit de celles correspondant aux mailles dont les centroïdes sont de coordonnées 356 km en X et de coordonnées 1761 à 1801 km en Y (en Lambert 2 étendu).

La procédure de calcul de la pluie optimale fournit la combinaison linéaire suivante :

De même que pour le gave de Pau, on observe que les pluies qui permettent de mieux représenter le débit du gave d'Oloron à Escos sont celles rencontrées dans la partie aval du bassin versant.

Les chroniques de débit et de niveau piézométrique prises en compte sont les suivantes :

- le débit du gave d'Oloron à Escos (station hydrométrique de code Q7412910) ;
- la piézométrie mesurée au piézomètre situé à Auterrive (indice BSS: 10035X0009/F2), dont la chronique démarre le 19/05/2002. La chronique comporte une lacune de données entre le 18/10/2006 et le 14/05/2007.

Enfin et de même que pour la modélisation du gave de Pau, la chronique de débit journalier de la Neste de Cap de Long à Aragnouet (cf. 4.2.1) a été utilisée pour prendre en compte l'existence éventuelle d'un signal de fonte des neiges dans le débit du cours d'eau.

4.3.2. Modélisation du débit du gave d'Oloron à Escos

Le pas de temps choisi pour la modélisation est journalier.

La simulation a été effectuée sur une période similaire à celle retenue pour le gave de Pau à Bérenx afin de pouvoir comparer les deux modélisations sur une période équivalente. Elle s'étend du 11/07/2002 au 31/12/2011 et comporte une lacune importante entre le 18/10/2006 et le 09/07/2007, liée à l'absence de données piézométriques.

La simulation du débit du gave d'Oloron à Escos a été obtenue avec un coefficient de Nash de 0.77 (cf. illustration 53). On observe sur la figure deux périodes singulières :

- d'octobre à décembre 2002, le débit simulé est nettement inférieur au débit observé.
 Ceci est lié à la baisse du niveau piézométrique durant la même période sur la chronique utilisée et à la part importante jouée par les eaux souterraines dans la simulation ;
- au cours du deuxième semestre 2010, seul le débit simulé est visible, le débit observé étant manquant sur cette période (les données téléchargées de la banque HYDRO comporte une interpolation linéaire sur cette période).

Cette simulation fait apparaître les contributions suivantes :

- les écoulements rapides issus de la pluie représentent 37.5% du volume d'eau écoulé sur la période de simulation ;
- les apports par les eaux souterraines contribuent pour 59.5% au débit du gave d'Oloron à Escos sur cette période ;
- le signal de fonte de neiges assimilé à la chronique du débit de la Neste de Cap de Long intervient pour 3.0% du volume d'eau écoulé.

Comparativement à la décomposition obtenue pour le gave de Pau à Bérenx, il est frappant de constater la faiblesse du signal de fontes des neiges et la part très importante des apports souterrains. Cette constatation doit être critiquée au regard d'un élément important : le signal de débit représentant la fonte des neiges est pris à une altitude de 2200 m environ, ce qui induit un décalage dans le temps assez important (pic de débit en juin/juillet). Or, les altitudes sont globalement plus faibles dans le gave d'Oloron (cf. illustration 1) que dans le gave de Pau et ces contributions tardives de fonte des neiges sont donc nécessairement moins présentes. Ceci ne signifie pas pour autant que des fontes de neige plus précoces (avec un pic de fonte autour du mois de mai) n'existent pas et ne soient pas potentiellement assimilées à un apport par des eaux souterraines. Il est donc tout à fait vraisemblable que la contribution des eaux souterraines soit surestimée au détriment de la composante de fonte des neiges.

Il n'en demeure pas moins que, comparativement au gave de Pau, une contribution de fonte des neiges fortement différée dans le temps est proportionnellement peu présente dans le débit du gave d'Oloron à Escos.

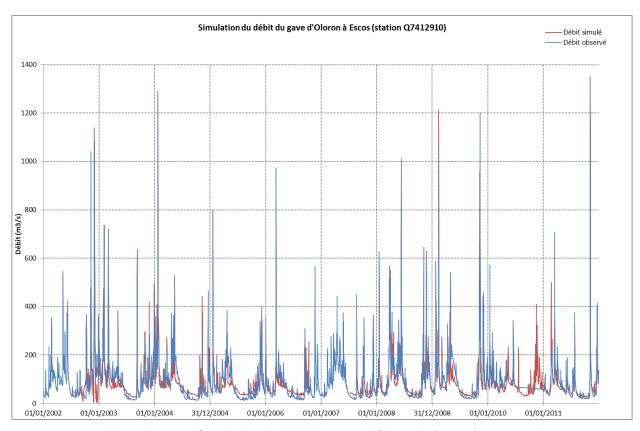


Illustration 53 : Simulation du débit du gave d'Oloron à Escos (2002-2011)

Les variations temporaires des contributions respectives au débit du gave d'Oloron à Escos sont présentées en illustration 54 et illustration 55. On observe en particulier la très forte contribution des eaux souterraines tout au long de l'année mais en particulier pendant l'été. La part liée à la fonte des neiges atteint son maximum durant les mois de juin et juillet (13.5%).

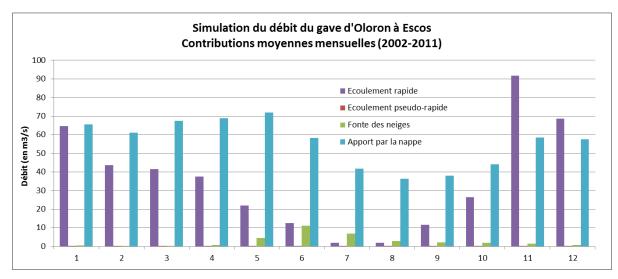


Illustration 54 : Simulation du débit du gave d'Oloron à Escos (2002-2011) - contributions moyennes mensuelles exprimées en débit (m³/s)

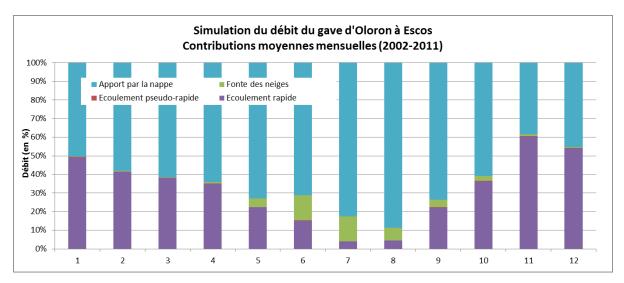


Illustration 55 : Simulation du débit du gave d'Oloron à Escos (2002-2011) - contributions moyennes mensuelles exprimées en pourcentage

5. Campagnes de jaugeages de sources

5.1. SOURCES JAUGÉES

5.1.1. Méthode de sélection des sources

La sélection des sources a été effectuée en se basant sur les investigations qui avaient été effectuées lors de l'étude réalisée en 2003 (Saplairoles, 2003). Dans le cadre de cette étude, 45 sources avaient été étudiées sur le territoire des Pyrénées-Atlantiques (cf. Illustration 56), dont 24 se situant dans les bassins versants du gave de Pau et du gave d'Oloron. Ces sources avaient été classées en fonction de leur potentiel d'intérêt et de faisabilité pour une intégration dans le cadre d'un réseau patrimonial quantité et qualité.

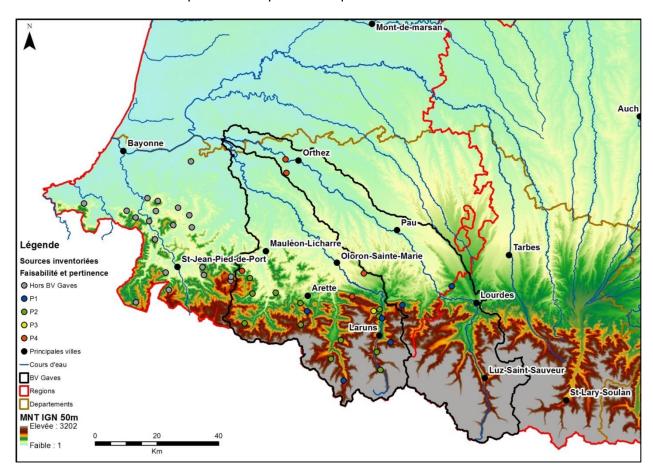


Illustration 56 : Sources investiguées et classification selon les priorités affectées lors de l'étude de 2003

Cette liste initiale a été complétée par l'intégration des sources étudiées par F. Rey dans le cadre de sa thèse soutenue en 2007 : elles sont au nombre de quatre, dont deux étaient déjà présentes dans la liste initiale.

5.1.2. Sélection des sources

La sélection des sources a été effectuée en concertation avec le département des Pyrénées-Atlantiques et l'Agence de l'Eau Adour Garonne. Compte tenu des difficultés d'accès et de mesure susceptibles d'apparaître lors des premières campagnes, il a été décidé de retenir une quinzaine de sources (pour un suivi portant sur une dizaine d'entre elles une fois la liste définitive arrêtée). Celles-ci ont été hiérarchisées à dire d'expert en fonction d'une part de leur intérêt pour améliorer la connaissance de l'hydrodynamique des sources de montagne, et d'autre part de la faisabilité supposée de la mesure. La liste des 15 sources identifiées et hiérarchisées figure au tableau 7. On pourra se reporter à l'annexe de l'étude de 2003 (Saplairoles, 2003) pour consulter des fiches détaillées descriptives de chacune de ces sources, à l'exception de la source de Gourgouch et de celle de Mourtès, non investiguées à l'époque mais suivies ultérieurement par Fabrice Rey dans le cadre de sa thèse (2007).

Classement	Indice BSS	Commune	Lieu-dit	Bassin versant	Altitude BSS (mNGF)
1	10518X0016	BIELLE	CAPTAGE D'AYGUELADE	Gave d'Oloron	440
2	10525X0005	LOUVIE-JUZON	SOURCE DE GOURGOUCH	Gave de Pau	470
3	10518X0021	ASTE-BEON	SOURCE DE MIEDOUGE	Gave d'Oloron	450
4	10523X0206	MONTAUT	LA MOUSCLE	Gave de Pau	345
5	10696X0027	BORCE	LOUS CLOUTETS	Gave d'Oloron	1160
6	10694X0008	EAUX-BONNES	ISCOO-AVAL	Gave d'Oloron	840
7	10516X0007	SARRANCE	MOURTES	Gave d'Oloron	660
8	10518X0012	BILHERES	RIOU,BAS-SERVICE	Gave d'Oloron	730
9	10692X0010	ACCOUS	SOURCE CARE	Gave d'Oloron	630
10	10694X0009	LARUNS	EAUX-CHAUDES	Gave d'Oloron	711
11	10698X0017	LARUNS	LES TROIS SAPINS	Gave d'Oloron	1130
12	10696X0009	ACCOUS	BISCOS	Gave d'Oloron	1050
13	10684X0022	ARETTE	AUMARRE	Gave d'Oloron	1050
14	10682X0004	LARRAU	JEUXALBERRI	Gave d'Oloron	953
15	10515X0004	ARETTE	SOURCE DE L'ABAT D'IRE	Gave d'Oloron	900

Tableau 7 : Sources sélectionnées initialement pour les campagnes de jaugeages

Lors des premières campagnes de jaugeages, il est apparu que les sources de La Mouscle à Montaut et de Miédougé à Aste-Béon faisaient l'objet d'un suivi de leur débit par les exploitants. En conséquence, il a été décidé d'écarter ces deux sources des campagnes de mesures, tout en sollicitant les exploitants pour bénéficier des mesures qu'ils réalisent.

Deux sources ont par ailleurs été écartées compte tenu du contexte particulier du site d'émergence. Il s'agit des sources « eaux-chaudes » à Laruns et « Iscoo-aval » à Eaux-Bonnes, pour lesquelles la réalisation d'une mesure du débit n'a pas été possible.

A l'inverse, trois nouvelles sources ont été intégrées. Il s'agit en pratique de sources captées sur les mêmes sites que deux sources figurant déjà dans la liste initiale :

- la source dite de Jeuxalguiberria à Larrau, captée dans la même chambre de captage que celle de Jeuxalberri ;
- les sources d'Abat d'Ire 2 et du Pas d'Este à Arette, captées dans la même chambre de captage qu'Abat d'Ire 1 (pour Abat d'Ire 2) et dans la chambre située plus à l'aval et recevant les eaux d'Abat d'Ire 1 et 2 (pour la source du Pas d'Este).

Une liste récapitulative des sources retenues ou non retenues à l'issue de la troisième campagne de jaugeages figure au tableau 8. Cela représente 11 sites de mesures (dont un double à Arette pour les sources d'Abat D'Ire 1 et 2 d'une part et celle du Pas d'Este d'autre part) pour 14 sources au total.

Classamant	Indice BSS	Commune	Lieu-dit	Bassin varaant	Altitude BSS	Intégrée aux
Classement	indice 655	Commune	Lieu-ait	Bassin versant	(mNGF)	campagnes
1	10518X0016	BIELLE	CAPTAGE D'AYGUELADE	Gave d'Oloron	440	oui
2	10525X0005	LOUVIE-JUZON	SOURCE DE GOURGOUCH	Gave de Pau	470	oui
5	10696X0027	BORCE	LOUS CLOUTETS	Gave d'Oloron	1160	oui
7	10516X0007	SARRANCE	MOURTES	Gave d'Oloron	660	oui
8	10518X0012	BILHERES	RIOU,BAS-SERVICE	Gave d'Oloron	730	oui
9	10692X0010	ACCOUS	SOURCE CARE	Gave d'Oloron	630	oui
11	10698X0017	LARUNS	LES TROIS SAPINS	Gave d'Oloron	1130	oui
12	10696X0009	ACCOUS	BISCOS	Gave d'Oloron	1050	oui
13	10684X0022	ARETTE	AUMARRE	Gave d'Oloron	1050	oui
14	10682X0004	LARRAU	JEUXALBERRI	Gave d'Oloron	953	oui
		LARRAU	JEUXALGUIBERRIA	Gave d'Oloron	953	oui
15	10515X0004	ARETTE	SOURCE DE L'ABAT D'IRE 1	Gave d'Oloron	900	oui
		ARETTE	SOURCE DE L'ABAT D'IRE 2	Gave d'Oloron	900	oui
		ARETTE	SOURCE DU PAS D'ESTE	Gave d'Oloron	900	oui
						Non - Suivi
3	10518X0021	ASTE-BEON	SOURCE DE MIEDOUGE	Gave d'Oloron	450	exploitant
						Non - Suivi
4	10523X0206	MONTAUT	LA MOUSCLE	Gave de Pau	345	exploitant
6	10694X0008	EAUX-BONNES	ISCOO-AVAL	Gave d'Oloron	840	Non
10	10694X0009	LARUNS	EAUX-CHAUDES	Gave d'Oloron	711	Non

Tableau 8 : Sélection des sources à l'issue de la troisième campagne de jaugeages

5.2. CAMPAGNES DE JAUGEAGES

5.2.1. Campagnes de jaugeages et méthodes de mesures

Quatre campagnes de jaugeages ont été conduites entre fin mai 2016 et début mars 2017. Elles ont porté sur les sources figurant dans le tableau 7, la liste exacte des sources investiguées évoluant lors des trois premières campagnes en fonction des contraintes identifiées sur le terrain (cf. tableau 9). Lors de la deuxième campagne, deux sources captées par le Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (SMNEP) ont été visitées. Elles n'ont pas été conservées compte tenu des difficultés de mesure du débit inhérentes aux sites de captage mais surtout à la dynamique karstique du système capté (forts débits en période de crue et forte réactivité aux pluies).

Lors de chaque campagne, les paramètres mesurés sur le terrain sont le débit de la source et sa physico-chimie, à savoir : température, pH, conductivité électrique, RedOx, oxygène dissous.

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à l'aide de multimètres équipés de sondes de mesures calibrées quotidiennement lors de chaque campagne.

Indice BSS	Commune	Source	Campagne 1 23-27 mai 2016	Campagne 2 25-29 juillet 2016	Campagne 3 14-18 novembre 2016	Campagne 4 27 février - 3 mars 2017	Autre suivi?
10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10518X0016	Bielle	Ayguelade	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10525X0005	Louvie- Juzon	Gourgouch	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10516X0007	Sarrance	Mourtes	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10696X0009	Accous	Biscos	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10692X0010	Accous	Care	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10684X0022	Arette	Aumarre	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
10682X0004	Larrau	Jeuxalberri (et Jeuxalguiberria)	Non	Oui	Oui	Oui	Non
10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1 (et 2, Pas d'Este)	Non	Non	Oui	Oui	Non
10523X0206	Montaut	La Mouscle	Oui	Non	Non	Non	Oui (débits)
10518X0021	Aste-Béon	Miédougé	Oui	Oui	Non	Non	Oui (débits)
10694X0009	Laruns	Eaux-chaudes	Oui	Non	Non	Non	Non
10694X0008	Eaux- bonnes	Iscoo-aval	Oui	Non	Non	Non	Non
10526X0206	Louvie- Juzon	Aygue Blanque	Non	Oui	Non	Non	Oui (hauteurs d'eau)
10526X0208	Asson	Aygue Nègre	Non	Oui	Non	Non	Oui (hauteurs d'eau)
	TOTAL		13	13	11	11	·

Tableau 9 : Sources investiguées par campagne de jaugeages

Indice BSS	Commune	Lieu-dit	Points de mesure	Technique -	Technique -	Technique -	Technique -	Technique -
			Dans le lit du cours d'eau à l'aval immédiat	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5
10518X0016	Dielle	Ayguelade	de la source	Courantomètre				
1031970016	bielle	Ayguelaue	Dans le canal de collecte des eaux de la	Courantometre				
1052570005	l amia lusas	Carragariah		Carrentanaktua				
1052580005	Louvie-Juzon	Gourgouch	Une arrivée d'eau dans la chambre de	Courantomètre				
405051/0007				Volumétrique -				
10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	captage	bassine de 80L				
				Volumétrique -	Volumétrique -	-		
10516X0007	Sarrance	Mourtes	Deux arrivées d'eau dans un regard	seau de 12L	seau de 12L			
					Compteur			
					volumétrique			
			Dans le lit du cours d'eau à l'aval immédiat		pendant la			
			de la source (1) et débit prélevé pour l'eau		durée du			
10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service		Courantomètre	jaugeage			
			Déversoir en V en sortie de la chambre de			Compteur		
			captage (1), écoulement immédiatement			volumétrique		
			accolé à la chambre de captage (2) et	Volumétrique -	Volumétrique -	pendant la durée		
10692X0010	Accous	Care	débit prélevé pour l'eau potable (3)	bassine de 80L	seau de 12L	du jaugeage		
			Une arrivée d'eau dans la chambre de	Volumétrique -				
10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	captage	seau de 12L				
			Emergence du trop-plein issu de la				Contrôle de la	
			chambre de captage (1), émergence du			Compteur	hauteur d'eau et	
			trop-plein issu du réservoir aval (2), débit			volumétrique	intégration	
			prélevé pour l'eau potable (3), variation du	Volumétrique -	Volumétrique -	pendant la durée	éventuelle sur la	
10696X0009	Accous	Biscos	niveau d'eau dans le réservoir (4)	bassine de 80L	seau de 12L	du jaugeage	surface (Pi*r²)	
			5 arrivées d'eau dans la chambre de	Volumétrique -	Volumétrique -	Volumétrique -	Volumétrique -	Volumétrique -
10684X0022	Arette	Aumarre	captage	seau de 12L	seau de 12L	seau de 12L	seau de 12L	seau de 12L
			Une arrivée d'eau dans la chambre de	Volumétrique -				
10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	captage	seau de 12L				
			Une arrivée d'eau dans la chambre de	Volumétrique -				
	Larrau	Jeuxalguiberria	captage	seau de 12L				
	24.144	Jeana garberria	Deux arrivées d'eau - chambre de captage	Volumétrique -	Volumétrique -			
10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	amont	seau de 12L	seau de 12L			
	5000		Une arrivée d'eau - chambre de captage	Volumétrique -				
	Arette	Abat d'Ire 2	amont	seau de 12L				
	, a cite	, wat a ne z	Deux arrivées d'eau - chambre de captage	Volumétrique -	Volumétrique -			
	Arette	Pas d'Este	aval	seau de 12L	seau de 12L			
	Licite	i as u LSIC	avai	Jeau ue 12L	seau ue 12L			

Tableau 10 : Technique de jaugeage mise en œuvre pour chacune des sources

Les jaugeages ont été effectués de façon volumétrique à l'aide d'un récipient de volume connu (seau de 12 litres ou bassine de 80 litres) ou par intégration du champ de vitesse de l'eau sur une section connue du cours d'eau, avec mesure des vitesses de l'eau à l'aide d'un moulinet à hélice ou courantomètre. Un essai de mesure du débit par dilution du sel dans l'eau a été conduit lors de la première campagne de mesure sur la source de Riou à Bilhères mais cette technique s'est révélée peu adaptée (le troncon est insuffisamment long pour permettre une bonne dilution) et elle n'a pas été utilisée par la suite lors des campagnes de mesures. Par ailleurs, lorsque la source jaugée est captée pour l'alimentation en eau potable, le débit prélevé à cette fin est identifié par lecture du compteur volumétrique installé sur la canalisation et intégration sur la durée de réalisation du jaugeage. Pour la source de Biscos située sur la commune d'Accous, il n'est pas possible de mesurer le débit prélevé pour l'eau potable à l'amont du réservoir. Il est donc nécessaire de s'assurer que la hauteur d'eau dans le réservoir ne varie pas lors de la mesure, ce qui était le cas lors des différentes campagnes réalisées. En cas de variation de cette hauteur d'eau, un volume en est tout d'abord déduit en se basant sur la surface occupée par l'eau, puis un débit est calculé en intégrant le volume sur la durée correspondante.

La technique mise en œuvre pour la mesure du débit à chacune des sources est précisée dans le tableau 10.

5.2.2. Débits mesurés lors des campagnes de mesures

Les résultats des jaugeages réalisés sont restitués au tableau 11. S'il est trop tôt pour en faire une analyse, il apparait que le débit mesuré fin mai 2016 constitue pour tous les points le maximum mesuré au cours des campagnes. L'amplitude des débits mesurés varie nettement d'un point à l'autre, signe potentiellement du caractère plus ou moins différé des écoulements survenant à chaque source. Cet aspect sera à confirmer sur une gamme de valeurs plus étendues.

Indian BCC	C Communo Liou d		23-27 mai	25-29 juillet	14-18	27 février -
Indice BSS	Commune	Lieu-dit	2016	2016	novembre 2016	3 mars 2017
10518X0016	Bielle	Ayguelade	320	88	69	73
10525X0005	Louvie-Juzon	Gourgouch	28	24	22	28
10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	32	8.4	4.0	16
10516X0007	Sarrance	Mourtes	4.2	3.0	2.1	4.5
			Débit sous-	Débit sous-		
10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	estimé	estimé	50	69
10692X0010	Accous	Care	23	12.1	10.8	18
10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	3.0	2.3	3.2	3.8
			Débit sous-	Débit sous-	Débit sous-	
10696X0009	Accous	Biscos	estimé	estimé	estimé	5.8
10684X0022	Arette	Aumarre	8.9	5.4	10.5	8.9
10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	non visitée	0.31	0.35	0.39
	Larrau	Jeuxalguiberria	non visitée	0.03	0.41	0.73
10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	non visitée	non visitée	8.4	3.5
	Arette	Abat d'Ire 2	non visitée	non visitée	1.13	0.63
	Arette	Pas d'Este	non visitée	non visitée	1.04	0.97

Tableau 11 : Débits mesurés aux différentes sources lors des campagnes de jaugeages

Des difficultés de mesure ont été rencontrées sur deux sites :

- la source de Riou à Bilhères, pour laquelle les deux premiers jaugeages ont été conduits sur une partie seulement des émergences. Ils ont donc conduit à une sous-estimation du débit total de la source.
- la source Biscos à Accous, pour laquelle le trop-plein issu de la chambre de captage n'a pas été pris en compte lors des trois premières campagnes de mesure. Ce trop-plein représentant environ 5 l/s lors de la dernière campagne, soit l'essentiel du débit (85% environ), les débits mesurés précédemment ont donc vraisemblablement minoré de façon très sensible le débit total issu de la source.

5.2.3. Physico-chimie mesurée lors des campagnes de mesures

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques sont présentés en Annexe 6. Des statistiques sommaires (minimum, maximum, écart-type et ratio écart-type / moyenne) sont également présentés dans cette annexe.

On note la variabilité des températures mesurées (de 5.6 à 11.7°C) d'une source à l'autre, ce qui est normal compte tenu de l'étendue des altitudes d'émergence des sources. On observe également une variation sensible d'une campagne à l'autre pour certaines sources, comme celle des Trois-Sapins à Laruns (de 5.6 à 8.6°C) ou d'Abat d'Ire 1 à Arette (6.7 et 9°C). A l'inverse, on note la stabilité de la température mesurée aux sources de Lous-Cloutets, Mourtes, Riou et Aumarre lors des quatre campagnes.

Le pH est en règle générale très stable d'une campagne à une autre, à l'exception de deux mesures faites à Gourgouch et Riou lors de la campagne du mois de juillet 2016, la valeur étant supérieure d'un point pH environ par rapport aux autres mesures effectuées. La poursuite des mesures permettra de confirmer ou non ces variations : il est néanmoins proposé à ce stade de les considérer comme « douteuses ».

Si le pH est en règle générale légèrement basique (entre 7 et 8 en dehors des deux valeurs citées précédemment), trois sources présentent des pH acides. Il s'agit des sources de Jeuxalberri et de Jeuxalguiberria à Larrau et de celle d'Abat d'Ire 2 à Arette. Ces sources émergent de formations de socle présentant habituellement des pH acides.

Les conductivités électriques mesurées s'échelonnent de 22 à 448 µS/cm. Les eaux les moins minéralisées sont issues des formations de socle (Jeuxalberri et de Jeuxalguiberria à Larrau et Abat d'Ire 2 à Arette), tandis que les plus fortes minéralisations sont rencontrées dans des eaux issues de massifs calcaires non karstifiés ou dont la karstification ne participe pas ou peu à l'écoulement (Gourgouch à Louvie-Jouzon par exemple) ou morainique (Riou à Bilhères). On observe une variation importante de la minéralisation aux sources d'Ayguelade et d'Aumarre, qui apparaissent corrélées aux variations de débit observées sur ces captages, traduisant probablement des apports d'eau d'origine différente en fonction du régime saisonnier sur ces captages.

Les valeurs de RedOx n'appellent pas de remarques particulières. Une défaillance de la sonde de mesure lors de la première campagne n'a pas permis de mesurer systématiquement ce paramètre à cette occasion.

5.3. SUIVIS EFFECTUÉS PAR DES EXPLOITANTS

Les chroniques de débit constituées par les exploitants au travers de leur suivi respectif des sources de Miédougé à Aste-Béon (2012-2017) et de La Mouscle à Montaut (cf. Tableau 9)

sont présentées respectivement aux illustration 57 et illustration 58. La source de La Mouscle est en particulier suivie avec un pas de temps de 15 minutes. On observe ainsi finement sur cette chronique l'existence d'écoulements très rapides – probablement karstiques – qui se surimposent à des écoulements potentiellement plus inertiels permettant de maintenir le débit de la source à 35 m³/h environ durant la période de suivi présentée (2014-2016).

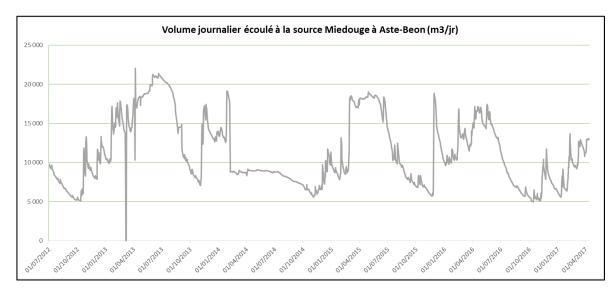


Illustration 57 : Volumes journaliers écoulés à la source de Miédougé à Aste-Béon (source : Suez)

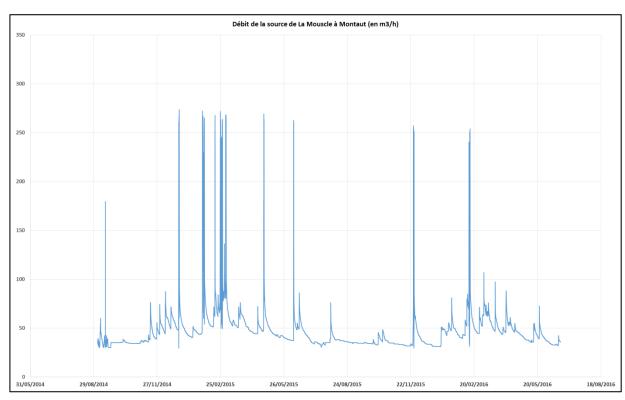


Illustration 58 : Volumes journaliers écoulés à la source de La Mouscle à Montaut (source : SEAPAN12)

_

¹² SEAPAN: Syndicat d'Eau et d'Assainissement du Pays de Nay.

6. Suivi en continu du débit de sources

6.1. ÉQUIPEMENT DE LA SOURCE DE GOURGOUCH À LOUVIE-JOUZON

La mise en place d'un système automatisé de suivi de la hauteur d'eau dans le canal de collecte des eaux de la source de Gourgouch à Louvie-Jouzon a été conduite le 4 avril 2017 par un prestataire (Anteagroup). Le compte-rendu de cette installation figure en annexe 7 et deux photographies du site sont présentées en illustration 59 et illustration 60.

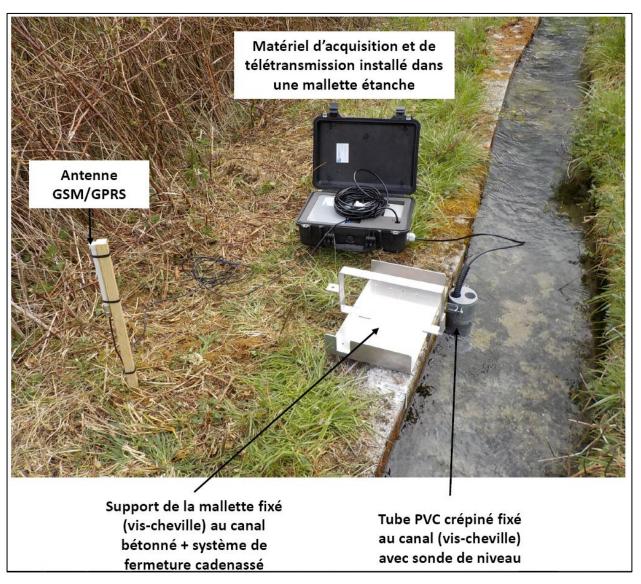


Illustration 59 : Equipement de la source de Gourgouch à Louvie-Jouzon

Le matériel mis en place est une sonde de pression (avec compensation intégrée des variations de pression atmosphérique) qui a été placée dans un tube PVC crépiné avec bouchon cadenassé. Le tube PVC a été vissé aux parois bétonnées du canal. Un boitier d'acquisition et de télétransmission GPRS alimenté par une batterie 12 V a aussi été positionné dans un coffret étanche au pied du canal.



Illustration 60 : Vue de la source de Gourgouch à Louvie-Jouzon et de son équipement

Le paramétrage de la sonde a été effectué à un pas de temps de 30 minutes. En l'absence d'observations hydrologiques spécifiques à ce pas de temps, il est vraisemblable qu'il soit porté à une heure par la suite afin de réduire la consommation électrique et prolonger la durée de vie de la batterie.

Les données de hauteur d'eau acquises automatiquement sont télétransmises quotidiennement sur un site Internet. Le paramétrage de la sonde de mesure – le pas de temps notamment – est réglable à distance via ce site.

Enfin, des jaugeages sont effectués afin de préciser la relation hauteur-débit et établir la courbe de tarage correspondant au point de mesure.

6.2. FAISABILITÉ DE L'ÉQUIPEMENT DE LA SOURCE DE RIOU À BILHÈRES

Une étude de faisabilité de l'équipement de la source de Riou à Bilhères a été sollicitée auprès du même prestataire que celui qui a réalisé la mise en place du système d'acquisition automatique du débit à la source de Gourgouch.

Cette étude en cours de finalisation à la date de rédaction du rapport sera restituée dans le rapport d'année 2 du programme.

7. L'usage agricole de l'eau pour l'irrigation : situation actuelle, tendances et perspectives d'évolution future

7.1. INTRODUCTION

Ce chapitre vise à caractériser l'usage agricole de l'eau dans la situation actuelle, les tendances d'évolution constatées sur la période récente et à identifier les perspectives d'évolution future de cet usage. Il se focalise sur l'usage lié à l'irrigation des cultures qui représente l'essentiel du volume prélevé, les usages liés à l'élevage étant considérés comme de moindre importance (et en partie satisfaits par les réseaux publics d'eau potable notamment en hiver).

La réalisation de ce travail s'est heurtée à plusieurs difficultés. La première est liée aux données disponibles : tous les prélèvements agricoles n'étant pas déclarés à l'Agence dans le cadre de la politique de redevance, il a été nécessaire de croiser plusieurs sources d'informations pur caractériser l'usage dans la situation actuelle. La seconde difficulté est liée à la grande incertitude relative à l'évolution future de l'irrigation. L'activité du secteur agricole peut évoluer rapidement, en fonction des changements de prix de marché et des orientations de la politique agricole commune. Il est donc difficile d'identifier des tendances lourdes et de construire un scénario tendanciel robuste, sans considérer des possibles ruptures et des évolutions très contrastées. Pour tenter de cerner la gamme des futurs possibles, les auteurs se sont appuyés sur une consultation de quelques experts.

Ce chapitre présente donc à la fois des résultats d'analyse quantitative de données statistiques et des avis d'experts qui permettent d'interpréter des tendances observées et de formuler des hypothèses relatives aux évolutions futures de cet usage.

7.2. DONNEES MOBILISÉES

Pour appréhender l'usage de l'eau agricole trois types de données ont été mobilisées.

7.2.1. Les données du recensement général agricole

Ces données sont produites par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt sur la base de questionnaire détaillés adressés à tous les agriculteurs du territoire français. Certaines données agrégées sont disponibles sur le site Internet https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/. Cependant, pour disposer des données exactes sur un territoire spécifique comme celui du bassin des deux gaves, les SRISET (services de statistiques régionaux du ministère) d'ex-Aquitaine et ex-Midi Pyrénées ont été sollicités pour procurer des extractions de données à partir de la liste des communes d'un territoire. L'ensemble des données a été mise en forme dans un fichier.

7.2.2. Les données de volumes, débits et surfaces autorisés

Une autre information intéressante est la donnée administrative sur les volumes, débits et surfaces autorisés pour l'irrigation. Ces données sont validées chaque année par l'administration suite à la procédure mandataire (voir 7.6) et permet de suivre l'évolution de la demande en eau agricole en début de campagne. Elle se distingue des données de prélèvements car il s'agit d'intentions d'irriguer et non pas d'irrigation réelle. Dans certains cas,

les irrigants peuvent continuer à demander une autorisation de crainte de la perdre, même s'ils savent qu'ils n'en n'ont auront pas besoin ou qu'ils n'utiliseront pas cette autorisation.

7.2.3. Les données du fichier redevance prélèvement de l'agence de l'eau

L'identification des prélèvements en eau dans les bassins versants des gaves a été effectuée à partir des données disponibles dans la base redevance « prélèvements » de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG).

Les premières données recensées et disponibles au format numérique sur le bassin Adour-Garonne datent de 1988 pour l'industrie, 1991 pour l'irrigation et 1996 pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP). Le nombre de dossiers de redevance prélèvement a augmenté d'année en année pour ne couvrir l'ensemble du bassin que depuis la fin des années 1990. Ces données ne sont cependant considérées comme « représentatives » en termes de volumes – notamment ceux destinés à l'irrigation – que depuis 2003, avec l'utilisation plus systématique des compteurs. Pour cette raison, le portail du Système d'Information sur l'Eau du bassin Adour-Garonne ne diffuse que les données postérieures à 2003. Les données « historiques » ont cependant été mises à disposition du BRGM par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Les volumes annuels sont déclarés au titre de la redevance « prélèvements » due à l'Agence de l'Eau par point de comptage (appelé « compteur » par la suite). Chaque compteur est rattaché à un ou plusieurs point(s) de prélèvement avec une codification propre à l'AEAG. Dans les fichiers fournis par l'AEAG, chaque point de prélèvement se voit attribuer : (i) la commune et le lieu-dit d'implantation du point de prélèvement ; (ii) le type de point de prélèvement (eau de surface (continentale), retenue ou eau souterraine) et son usage (Industriel, eau potable (AEP) ou agricole) ; (iii) les coordonnées X et Y du point de prélèvement.

Les données de volumes issues des redevances sont les seules permettant de disposer, en grand nombre et sur plusieurs années, d'une information relativement homogène à l'échelle du territoire. Elles sont de plus collectées et actualisées chaque année. On gardera cependant à l'esprit qu'il s'agit de données déclaratives et donc, indépendamment des contrôles qui sont effectués, il peut exister des inexactitudes ou des incohérences entre les volumes déclarés et les volumes prélevés réels. Ensuite, le recouvrement des redevances se faisant à partir d'un seuil physique (7 000 m³/an), la liste des points de prélèvements n'est pas exhaustive. Enfin, un régime forfaitaire est appliqué lorsque la mesure des prélèvements n'a pu être effectuée.

7.3. VUE D'ENSEMBLE DE L'USAGE AGRICOLE POUR L'IRRIGATION

7.3.1. Apercu de l'agriculture du territoire

En 2010, la zone représente 241 000 ha de Surface Agricole Utile (SAU). 94% de la SAU est située en Nouvelle-Aquitaine (départements des Pyrénées-Atlantiques (PA) et Landes) et 6% en Occitanie (département des Hautes-Pyrénées).

Elle est principalement occupée par des surfaces en fourrages et surfaces toujours en herbe (74%) et du maïs (21%); les autres céréales (2%), les oléo-protéagineux et plantes industrielles (1%), légumes, fleurs et pommes de terres (0.5%), vignes (0.6%), cultures permanentes (0.3%) sont minoritaires. Il faut mentionner des différences majeurs entre l'agriculture des départements des Pyrénées-Atlantiques (PA), très orientée élevage et celle des Landes concentrée autour des céréales et de l'élevage de canards et poulets. La part du territoire des Gaves dans le département des Hautes-Pyrénées est de quelques pourcents et ce secteur du bassin versant du Gave de Pau est un territoire de montagne. Les différences entre l'agriculture

landaise et Pyrénées-Atlantiques s'expliquent à la fois par une diversité de terrains et de politiques agricoles locales. Les Landes présentent principalement des reliefs et sols de plaine alors que les Pyrénées-Atlantiques présentent également des terrains de type plateau alternant avec des vallées et des terrains progressivement en altitude plus on se rapproche des Pyrénées.

En 2010, il y avait 7610 unités de travail agricole (UTA) dont 637 UTA salariées. La production brute standard de la zone s'élevait à 292 millions d'Euros en 2010.

7.3.2. Importance de l'irrigation

A l'échelle de l'ensemble du territoire étudié, seulement **5% de la SAU était irriguée en 2010** et 7% des surfaces étaient irrigables soit respectivement 13 300 et 15 800 ha. La part de l'irrigation est ramenée à 24% des surfaces si on exclut les surfaces en fourrages et en STH. L'irrigation est répartie très différemment sur le territoire, car elle est principalement située en aval, pour 13% dans le secteur des Landes et 87% dans les Pyrénées-Atlantiques ; il n'y a pas d'irrigation sur le secteur des Hautes-Pyrénées.

L'intérêt de l'irrigation dans les bassins est variable d'un secteur à l'autre du fait de différents terrains et surtout d'une pluviométrie extrêmement variable selon la distance à laquelle on se trouve des Pyrénées (~1000 mm à Peyrehorade, 1700 à Pau et 2000 dans les Vallées d'Ossau ou d'Aspe). En plaine, l'irrigation permet de sécuriser les rendements en année sèche, voire tous les ans, pour les terrains les plus « séchants ». Le fait de disposer de la possibilité d'irriguer permet aux agriculteurs d'être réactifs, notamment pour se saisir d'une opportunité de production de culture sous contrat, qui leur garantit de meilleures marges que les grandes cultures.

7.3.3. Cultures irriguées

Dans la zone d'étude, 81% des surfaces irriguées sont cultivées avec du maïs (grain ou semences), 6% avec des fourrages ou des STH, 6% avec des légumes frais, fraises et melons et 5% avec des fruits, principalement du kiwi.

L'irrigation concerne 20% des surfaces en maïs et reste donc une pratique relativement minoritaire pour la culture du maïs sur l'ensemble du secteur. Il s'agit surtout du maïs semence et du maïs doux, ainsi que dans une moindre mesure du maïs consommation (fourrager/ grain et ensilage). Elle concerne environ 10% des surfaces en oléagineux, protéagineux et légumes secs.

L'irrigation est en revanche courante pour la culture des légumes (notamment haricots) et des fruits (kiwis) avec environ 80% de ces surfaces qui étaient irriguées en 2010 (100% pour le kiwi). Le kiwi dans les Landes et les Pyrénées – Atlantiques représente une demande en eau conséquente. Le tabac ne représente plus qu'à peine 100 ha dans les PA. Les surfaces en tabac ont été significativement réduites suite à l'accroissement des contraintes techniques.

Production de Kiwi (ou Actinidia)¹³

Si en surface la production de kiwi reste marginale à l'échelle du secteur d'étude (environ 370 ha dans les PA et 300 ha dans les Landes), elle ne l'est pas du point de vue de sa consommation en eau ni du point de vue de son importance économique.

2 coopératives (Scaap kiwi et SIKIG) sont les acteurs principaux de la filière du kiwi dans le secteur. Celui-ci bénéficie d'un label rouge et d'une IGP Kiwi de l'Adour garantissant qualité et traçabilité. Les coopératives permettent la commercialisation des fruits et aident à l'installation des agriculteurs.

Cette filière s'est développée depuis les années 80 après l'importation du kiwi depuis la Nouvelle-Zélande, le fruit étant initialement originaire de Chine. Il existe plusieurs variétés de kiwi notamment des verts et des jaunes qui ont été introduits plus récemment.

Les exploitations qui font du kiwi aujourd'hui sont pour la plus part d'anciens éleveurs, en effet les vergers de kiwis s'implantent sur d'anciennes prairies et peuvent tolérer des pentes. L'irrigation est indispensable à la fois en été et comme antigel en hiver. Pour les besoins hivernaux les débits peuvent être significatifs, car tous les producteurs prélèvent de l'eau lorsque les températures sont négatives.

En 2016, les marges brutes sont d'environ 8000 € par hectare et (environ 3 €/kg pour environ 40 T/ha de rendement).

Les débouchés des kiwis sont nationaux et internationaux (Europe et Monde). Des quantités importantes sont exportées en Nouvelle Zélande lorsque celle-ci ne produit pas (dans l'hémisphère sud, les saisons sont inversées).

7.3.4. Type de prélèvements et origine de l'eau

Selon les données du RGA, 71% des exploitations pratiquant l'irrigation effectuent un prélèvement individuel de l'eau tandis que 29% s'approvisionnent via un réseau collectif. Les prélèvements collectifs correspondent en général à un prélèvement en eau de surface et sont destinés à des agriculteurs qui n'ont pas d'accès direct au cours d'eau ou à une nappe d'accompagnement proche ; ils sont très répandus dans le secteur de l'étude des Pyrénées-Atlantiques. Dans les Landes, il y a une majorité de prélèvements individuels. Sur le Gave de Pau, l'irrigation collective est plus importante : 55% des surfaces sont irriguées dans le cadre de structures collectives. Les zones de coteaux concentrent l'irrigation collective : l'irrigation dans ces secteurs n'a été possible que grâce à une mobilisation de la ressource, induisant la construction de réservoirs d'irrigation et la mise en place de réseaux collectifs. Une vingtaine d'associations syndicales autorisées (A.S.A.) d'irrigation, c'est-à-dire de groupements d'irrigants sont présentes sur les Gaves.

7.4. ÉVALUATION DES VOLUMES PRÉLEVÉS PAR L'AGRICULTURE

Les points de prélèvements recensés par l'agence de l'eau pour un usage agricole figurent sur l'illustration 61. Concentrés dans les plaines alluviales des deux cours d'eau, ils se situent pour la plupart au nord d'une ligne Est-Ouest Lourdes-Arette. En 2013-2014, 441 points de prélèvements pour un usage agricole sont identifiés.

-

¹³ D'autres informations sont disponibles sur le site de la Chambre d'Agriculture des Landes : http://www.landes.chambagri.fr/productions-vegetales/kiwis.html

Comparativement au reste du bassin versant de l'Adour (cf. Illustration 62), on observe que les volumes prélevés demeurent relativement faibles dans les bassins versants des gaves.

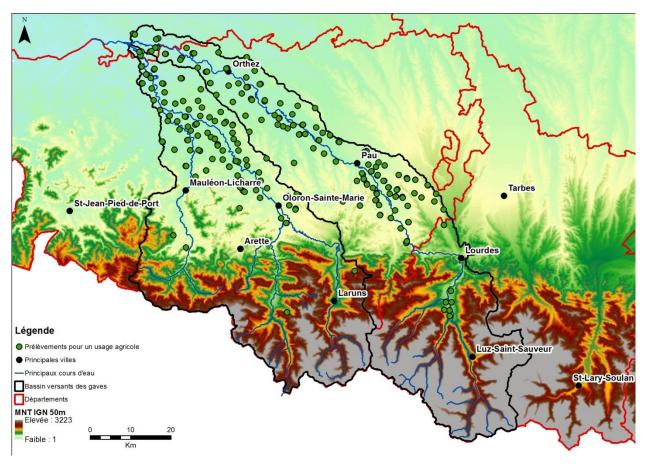


Illustration 61 : Localisation des points de prélèvements pour un usage agricole dans les bassins versants du gave de Pau et du gave d'Oloron

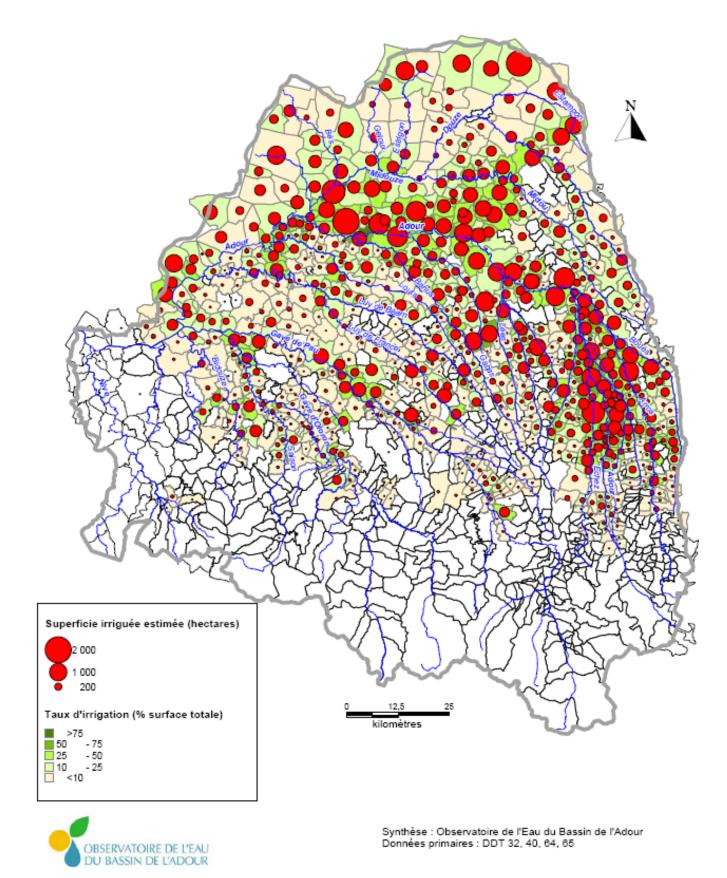


Illustration 62 : Autorisation de prélèvements pour la campagne 2015. Source : L'irrigation dans le bassin de l'Adour - 2015 (Institution Adour)

La compilation des données de l'AEAG conduit aux volumes prélevés figurant à l'illustration 63. Ils sont présentés par nature de ressource en eau utilisée. On remarque sur ce graphique l'augmentation progressive des volumes prélevés durant les quatre premières années, puis la forte variabilité de ses volumes d'une année sur l'autre, avec un pic de prélèvement en 2003. Cette variabilité est caractéristique des prélèvements agricoles, qui dépendent fortement des conditions météorologiques de la fin du printemps et de l'été. En moyenne, 11.4 Mm³ sont prélevés chaque année pour un usage agricole.

Les eaux prélevées pour un usage agricole proviennent en moyenne à 70% d'eaux de surface, le reste étant prélevé en moyenne à parts égales entre les eaux souterraines et des retenues d'eau (cf. illustration 64).

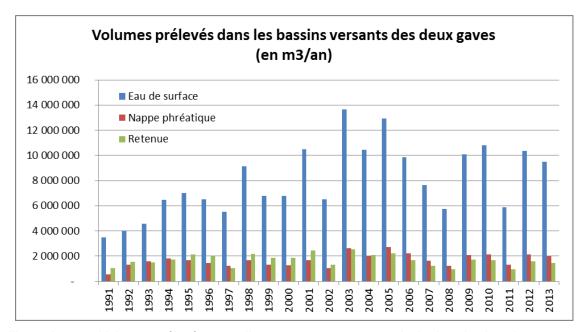


Illustration 63 : Volumes prélevés annuellement pour un usage agricole dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (1991-2013)

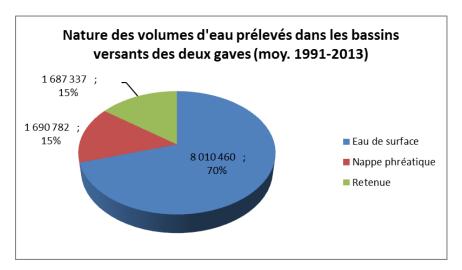


Illustration 64 : Proportions respectives des ressources en eau utilisées pour un usage agricole dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (moyenne 1991-2013).

Les volumes sont exprimés en m³/an.

Le bassin versant du gave de Pau représente en moyenne les deux tiers des volumes prélevés pour un usage agricole dans les deux bassins versants. On retrouve sans surprise dans ce bassin versant les mêmes tendances que celles observées sur les bassins versants des deux gaves (cf. page précédente) : augmentation des volumes prélevés de 1991 à 1995, puis forte variabilité de ces volumes par la suite, avec un pic de prélèvement en 2003 (cf. illustration 65). En moyenne, environ 7.6 Mm³ sont prélevés chaque année pour un usage agricole.

Près de 68% de ces volumes proviennent d'eaux de surface, le reste étant prélevé en moyenne à hauteur de 19% dans les eaux souterraines et 13% dans des retenues d'eau (cf. illustration 66).

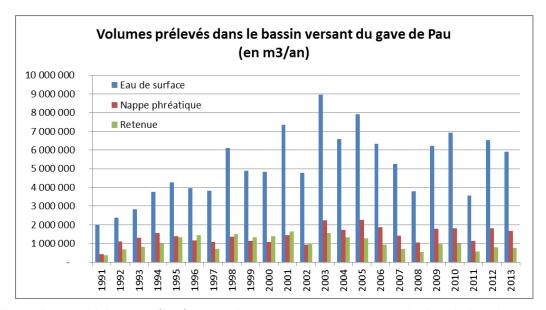


Illustration 65 : Volumes prélevés annuellement pour un usage agricole dans le bassin versant du gave de Pau (1991-2013)

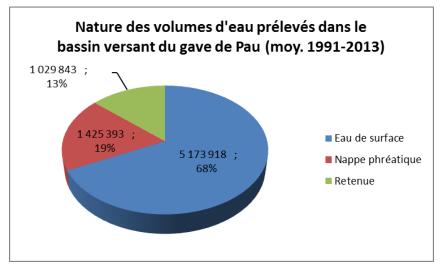


Illustration 66 : Proportions respectives des ressources en eau utilisées pour un usage agricole dans le bassin versant du gave de Pau (moyenne 1991-2013). Les volumes sont exprimés en m³/an.

Dans le **bassin versant du gave d'Oloron**, les volumes prélevés pour un usage agricole représentent en moyenne un peu moins de 3.8 Mm³/an. Les mêmes tendances que précédemment sont observées (cf. Illustration 67), y compris concernant le pic de prélèvement de 2003, bien que celui-ci soit dépassé en 2005.

Les trois-quarts des prélèvements pour un usage agricole sont effectués dans les eaux de surface, 18% proviennent des retenues, tandis qu'une part marginale (7%) est issue des eaux souterraines (cf. illustration 68).

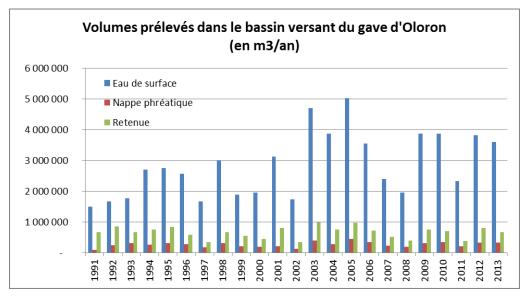


Illustration 67 : Volumes prélevés annuellement pour un usage agricole dans le bassin versant du gave d'Oloron (1991-2013)

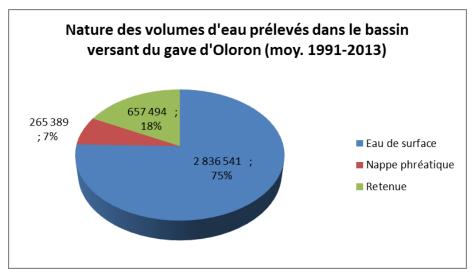


Illustration 68 : Proportions respectives des ressources en eau utilisées dans le bassin versant du gave d'Oloron pour un usage agricole (moyenne 1991-2013). Les volumes sont exprimés en m³/an.

7.5. TENDANCES RÉCENTES OBSERVÉES

7.5.1. Évolution générale de l'agriculture dans la zone d'étude (2000-2010)

Les surfaces en SAU de la zone semblent avoir augmentée entre les deux derniers RGA comme l'indique l'Illustration 69. L'augmentation significative entre 2000 et 2010 s'explique par deux facteurs. Le premier est que les pacages collectifs sont comptabilisés depuis 2010 dans "fourrages et Surface Toujours en Herbe" (ils représentent sur la zone 35 470 ha). Un autre facteur est celui d'une réelle augmentation de friches ou forêts, ou autres passant en SAU¹⁴. Les autres surfaces semblent relativement stables depuis les 30 dernières années.

L'évolution entre les deux derniers RGA indique une réduction de 5% des surfaces en maïs grain et semences (1.3% ramené à toute la SAU), un accroissement de 46% (0.7%) des surfaces en autres céréales (blé, orge etc.) et de 100% (0.4%) des oléo-protéagineux et plantes industrielles qui compensent presque les pertes en surface de maïs. Ces évolutions s'expliqueraient en partie par le « verdissement » de la PAC et l'obligation de rotation des cultures sur l'exploitation. On observe notamment l'apparition du soja. On observe également une légère augmentation des surfaces en vignes et cultures permanentes qui restent cependant marginales à l'échelle de l'ensemble de la SAU.

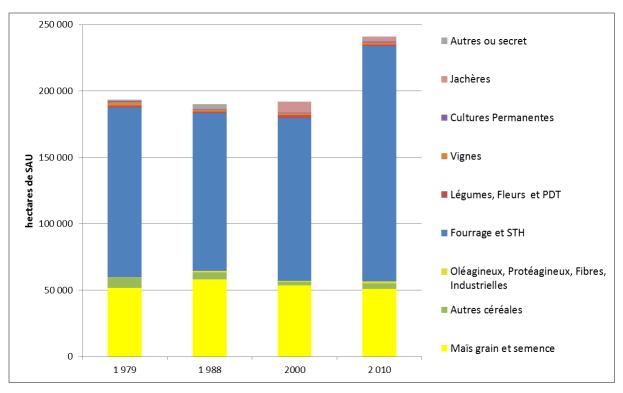


Illustration 69 : Evolution des surfaces dans l'ensemble de la zone GAVES. Source RGA / SRISET Aquitaine et Midi-Pyrénées

¹⁴ Communication mail par JP Morzière, SRISET Aquitaine

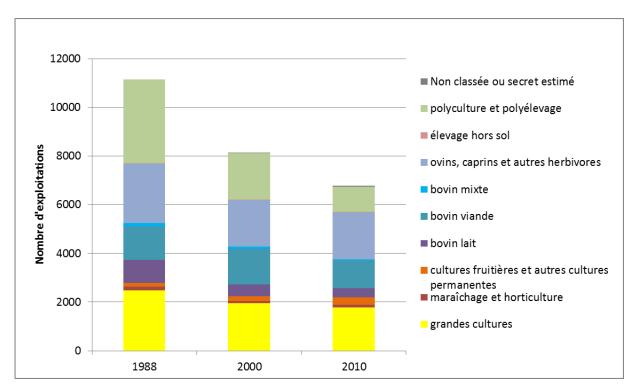


Illustration 70 : Evolution du nombre et types d'exploitations entre 1988 et 2010 (OTEX : Orientation technico-économique). Source RGA / SRISET Aquitaine et Midi-Pyrénées

7.5.2. Evolution de l'irrigation

L'Illustration ci-après compile les données d'autorisation de prélèvement pour l'irrigation, du RGA et de prélèvements pour les quinze dernières années et l'ensemble du secteur.

						ı			
	2000	2005	2010	Evolution	2015	Evolution	Source		
Autorisations par l'admi	Autorisations par l'administration								
Superficies irriguées autorisées (ha)	n.d	15 316	14 511	-5,3% sur 5 ans	14 712	+1,34% sur 5 ans	Observatoire Adour		
Volume de prélèvement autorisé (millions m3)	n.d	21,3	21,7	+1,9% sur 5 ans	23,1	+6,22% sur 5 ans	Observatoire Adour		
Volume autorisé moyen par hectare de surface autorisée	1	1 391	1 496	+8% en 5 ans	1 567	+5% sur 5 ans	calcul propre		
Réel (fin de campagne)									
Superficies irriguées réellement (ha)	13 071	n.d	13 251	+1,4% sur 10 ans	n.d	-	SRISET / RGA		
Volume de prélèvement réel (millions m3) NB: influencé par les précipitations	9,9	17,9	14,6	-18,1% sur 5 ans	n.d.	-	AEAG		
Consommation moyenne par hectare de surface irriguée	757	-	1 104	+50% /10 ans			calcul propre		

Illustration 71 : Synthèse des volumes et superficies autorisés et réels pour l'irrigation (NB : on ne peut pas intérpréter les tendances pour les volumes réels car les volumes sont influencés par les conditions météorologiques de l'année en cours) n.d : non disponibles

L'Illustration 72 donne les détails	pour les autorisations r	par département et	par Gave pour 2015.
E madration / E admid lod actano	pour los autorioations p	our dopartornont of	pai Cavo podi Eo io.

		Département				
Année 2015	Total (ha)	Hautes-Pyrénées	Pyrénées- Atlantiques	Landes		
Gave de Pau	9 506	0	7 955	1 551		
Gave d'Oloron 5 206		0	4 854	352		
Total	14 712	0	12 809	1 903		

Illustration 72 : Surface irriguée en hectares dans les Gaves en 2015 - toute origine de l'eau (source : Elaboration propre à partir de l'Observatoire de l'eau du bassin de l'Adour, 2015)

Un doublement des surfaces irriguées et irrigables est observé entre les années 1988 et 2000, alors qu'une très légère augmentation seulement (+1.4%) des surfaces irriguées. Une légère augmentation de la surface irriguée autorisée est à nouveau observée entre 2010 et 2015 (+1.3%). Cette pratique se concentre sur les terres les plus séchantes en aval du bassin et notamment dans la partie landaise du territoire.

Si on regarde de plus près l'évolution des surfaces et volumes autorisés dans les Landes (illustration 73), il semblerait que l'évolution à la hausse des surfaces irriguées autorisées soit concentrée dans ce secteur de la zone étudiée. Celui-ci ferait même plus puisqu'il compense les baisses de surfaces irriguées autorisées dans les PA : en effet le secteur des Landes gagne environ 500 ha entre 2011 et 2016 tandis que l'ensemble du secteur n'en gagne que 200 entre 2010 et 2015, ce qui laisse supposer une baisse de surfaces irriguées autorisées dans les PA.

En termes de volume autorisé par hectare, on observe une augmentation significative et régulière de 2005 aux années 2010, puis entre 2010 et 2015 qui pourraient s'expliquer par la part de culture en kiwi dans la sole¹⁵ irriguée (celle-ci étant particulièrement consommatrice d'eau, cf. encadré). On observe aussi que, bien que la perception du changement climatique ait été évoquée, celle-ci n'a pas été répercutée par les services administratifs dans la détermination des quotas alloués par hectare.

	2005	2011	2015	2016	2017
Superficies irriguées autorisées par l'administration (ha)	1645	1250 \	1738 ->	1751 ৴	1901* ✓
Volumes de prélèvement autorisés (millions m³)	2,93	3,00 ,	3,99 ⁄	4,03 •	-
Débit autorisé en m³/ha		13 824	17 569	17 754	
Volume moyen autorisé par hectare (calculé)	1 781	2 400	2 296	2 302	

Illustration 73 : Evolution des superficies et volumes autorisés dans les Landes : prévision (Source : communication orale de la Chambre d'Agriculture des Landes).

¹⁵ Territoire soumis à l'assolement.

7.5.3. Cultures irriguées

Entre 2000 et 2010, on observe une légère augmentation des surfaces irriguées en maïs et une légère réduction des surfaces en fourrages et STH ainsi qu'en légumes frais.

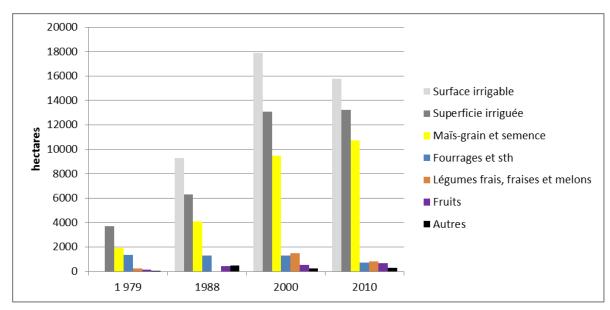


Illustration 74 : Evolution des surfaces irrigables, irriguées et répartition par principaux type de cultures irrigués (source de la donnée : RGA)

7.5.4. Type de prélèvements et origine de l'eau

Le RGA sur l'ensemble de la zone indique que les prélèvements individuels se sont multipliés par deux entre 2000 et 2010, tandis que les prélèvements via des réseaux collectifs ont baissé de 20% entre ces deux dates. Cette évolution ne semble pas uniforme sur le territoire. On peut avancer que les baisses correspondent à des départs à la retraite d'agriculteurs, les augmentations de prélèvements individuels pourraient s'expliquer par une augmentation de l'équipement de l'irrigation en aval (partie landaise notamment) où les prélèvements sont surtout individuels du fait de la proximité de la nappe d'accompagnement.

7.6. ANALYSE DES FACTEURS DE CHANGEMENTS EXPLICATIFS DES TENDANCES

7.6.1. Un cadre réglementaire de l'usage agricole de l'eau peu contraignant dans les gaves

Avant les années 2000, les prélèvements de l'eau n'étaient pas réglementés et il n'y avait alors pas de contraintes pour les agriculteurs. Les procédures de demandes d'autorisation se sont progressivement formalisées depuis le début des années 2000 dans les départements des Pyrénées- Atlantiques et des Landes. Dans le secteur des gaves du département des Hautes-Pyrénées, il n'y a toujours aucune procédure pour les irrigants (secteur très peu concerné par l'irrigation et ne présentant aucun problème de ressource).

Dans les Pyrénées-Atlantiques et les Landes, il faut disposer aujourd'hui d'une autorisation de prélèvement pour pouvoir irriguer (donc prélever de l'eau) et d'une autorisation d'occupation du domaine public fluvial pour avoir le droit de laisser du matériel de pompage sur le cours d'eau

(concerne les prélèvements en surface). Pour l'autorisation de prélèvement, une procédure, dite procédure mandataire, est mise en œuvre pour attribuer les autorisations et ces autorisations sont limitées par la définition de quotas (volume d'eau) par hectare. Cette procédure a été mise en place progressivement au milieu des années 1990 par les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt de l'époque, pour encadrer les prélèvements d'eau bien que les ressources ne soient pas menacées du point de vue quantitatif et qu'il n'y avait aucune réglementation nationale pour encadrer les prélèvements dans ce type de territoire, non problématique du point de vue des ressources en eau.

Les mandataires (chambre ou association selon les départements) recensent les demandes des agriculteurs qui déposent une demande tous les ans avant la campagne en précisant (i) les surfaces qu'ils envisagent d'irriguer, (ii) la quantité d'eau qu'ils souhaitent appliquer et qui doit respecter le quota et (iii) le débit de la pompe de prélèvement. Ce système est bien accepté et appliqué. Aujourd'hui de nouveaux demandeurs peuvent suivre la même procédure et sur le secteur, a priori, toutes les demandes sont recevables et attribuées.

Il faut noter que l'ensemble du bassin des gaves dans les 3 départements n'est pas en Zone de Répartition des Eaux (ZRE), car les cours d'eau sont en bon état quantitatif et aucun déficit chronique n'est observé. Ainsi, ce bassin n'est pas concerné par la transition vers le système d'organisme unique (qui concerne d'autres parties de ces départements notamment le bassin de l'Adour, voisin) et la procédure mandataire de déclaration et demande d'autorisation individuel devrait perdurer.

Dans le département des Pyrénées-Atlantiques, les quotas ont été déterminés en fonction du besoin moyen des cultures estimé dans les années 2000. Il s'établit à 1500 m³/ha pour toutes les cultures sauf 8000 m³/ha pour le kiwi (dont 4000 m³/ha pour les besoins estivaux et 4000 m³/ha pour les besoins « antigel » en hiver). Quelques prélèvements dans les affluents sont cependant soumis à des quotas plus stricts, de 1000 m³/ha. Les quotas visent plutôt à donner une ligne de conduite pour ne pas gaspiller l'eau, ils ont été établis en fonction des besoins moyens des cultures. Cependant, ce quota peut être limitant en année sèche. Dans les faits, il y a une tolérance sur le dépassement de ces quotas : les agriculteurs et les ASA sont transparents dans la communication des volumes prélevés en fin de campagne et communiquent ces dépassements lorsqu'ils ont lieu, ce qui est cependant assez rarement le cas.

Dans le département des Landes le système est similaire depuis les années 2000 : des quotas ont été définis par culture et par secteur. Ils sont situés entre 1800 et 2400 m³/ha selon les terrains, sauf pour le kiwi pour lequel ils sont fixés à 5000 + 5000 m³/ha pour, respectivement, le besoin estival d'irrigation et l'antigel en hiver. L'Association de Gestion de l'Irrigation Landaise (AGIL) qui regroupe l'ensemble des irrigants du département des Landes est le mandataire et dépose les demandes d'autorisations groupées des irrigants. Ces quotas ne représentent pas une contrainte pour les agriculteurs, ils ont été définis de manière à représenter l'usage en année relativement sèche.

Sur les deux bassins, il n'y a pas de problèmes significatifs de disponibilité des ressources¹⁶. L'agriculture est donc relativement peu contrainte dans son usage de l'eau malgré l'existence de ces quotas. Ils contribuent cependant, avec le coût de l'eau, à encourager un usage raisonné de l'eau, c'est-à-dire au plus près des besoins.

¹⁶ comme l'illustre l'absence de station du réseau ONDE : suivi visuel et hebdomadaire en été des étiages par les agents de l'Agence Française de Biodiversité (ex ONEMA)

Années sèches et restrictions¹⁷

Les ressources en eau des gaves sont globalement abondantes. Le débit objectif étiage n'a jamais été atteint. Cependant des restrictions ponctuelles peuvent être nécessaires en année sèche et ont été observées par le passé, notamment en 2003 sur les cours d'eau principaux et plus régulièrement sur les affluents. Il n'y a pas de plan de gestion de crise sur les gaves, sauf sur le Saison, un affluent du gave d'Oloron, pour lequel les usages de l'eau sont réglementés à certaines périodes via des tours d'eau. Ainsi, les agriculteurs dont les prélèvements se situent sur les affluents des Gaves sont davantage concernés par des restrictions en année sèche que ceux qui prélèvent sur les cours d'eau principaux et qui n'ont pas connus de restriction depuis 2003. En 2003, la restriction mise en place sur les cours d'eau principaux avait consisté à réduire et alterner les jours où les prélèvements en rive droite et gauche étaient autorisés.

Les prélèvements en nappes comme ceux sur les réservoirs ne sont pas concernés par les restrictions.

Organisation des plans de gestion de crises

Le suivi des débits dans les cours d'eau en période estivale permet éventuellement de déclencher un arrêté « Plan de crise ». Il existe trois seuils :

- Le premier seuil au-dessus duquel il n'y a pas de problème ;
- S'il est franchi, une première restriction est mise en place
- Si un second seuil est franchi, un niveau de restriction plus stricte est mis en place ;
- Au franchissement du 3ème seuil, il y a interdiction de pompage.

Les restrictions mises en place consistent par exemple à limiter les pompages autorisés à une date donnée, à la moitié des prélèvements autorisés en période normale.

7.6.2. Des politiques de subventions volontaristes ont permis le développement de l'irrigation des années 70 aux années 2000

Depuis les années 70, les collectivités (Conseils Généraux - puis Départementaux - et Régionaux) ont conduit une politique volontariste à l'égard du développement de l'irrigation en subventionnant les investissements de réseaux collectifs agricoles et de créations de ressources dans un objectif de développement agricole. En effet, c'est l'irrigation qui a permis de garantir les rendements des grandes cultures et des cultures sous contrats (légumes). Dans les années 70, les taux de subvention étaient ainsi de l'ordre de 70%. Le Conseil Régional d'Aquitaine aidait également les projets individuels. Les premières cultures bénéficiant d'irrigation étaient ainsi principalement les cultures sous-contrat, telles que le maïs semence, les légumes et les kiwis qui commençaient à s'implanter dans la région. L'extension de l'irrigation à la culture de maïs grain fourrage¹⁸ est plus récente et date des années 2000, période à partir de laquelle la perception de l'accentuation des sécheresses se généralise en plaine (notamment dans la partie Landes).

Depuis 2005, il n'y a plus de financements pour l'irrigation dans les zones dites en équilibre du point de vue des ressources en eau. Ailleurs, en ZRE, il y a et il y aura sûrement (Agences de l'eau) des financements pour la modernisation des réseaux ou des prélèvements agricoles (susceptibles de favoriser les économies d'eau).

-

¹⁷ Selon les informations orales recueillies lors des entretiens

¹⁸ Ou maïs dit « conso » destiné à l'élevage de palmipèdes

7.6.3. Une évolution inégale de l'irrigation sur le territoire depuis les années 2000

Des marchés agricoles qui dégradent la rentabilité des exploitations

La situation économique se dégrade depuis de nombreuses années avec des prix des céréales et grandes cultures en baisse (le niveau actuel des prix est celui des années 80 pour le maïs) et une volatilité¹⁹ importante, ainsi que des coûts de production en hausse (notamment pour l'achat d'engrais et de l'énergie nécessaire). Ainsi, les prix des productions agricoles, notamment du maïs, ne permettent pas toujours de dégager des bons résultats. Ceci est surtout vrai sur les terrains les moins riches – donc hors plaine – et pour les agriculteurs qui n'ont pas de cultures particulières, comme le kiwi ou des cultures sous contrat qui garantissent de meilleures marges brutes. Les exploitations en difficulté sont principalement situées dans le secteur des Pyrénées-Atlantiques. Pour celles-ci, il est impossible de dégager des marges suffisantes qui permettraient aux exploitations d'investir dans des projets d'irrigation, surtout collectifs et qui demandent des investissements de long terme et significatifs. Cependant, l'eau apporterait très clairement, dans de nombreux cas, une sécurisation économique à l'exploitation, en garantissant des rendements objectifs en année sèche, notamment dans la perspective du changement climatique. Les terres des gaves de Pau et d'Oloron sont plus séchantes (et plus caillouteuses) qu'ailleurs dans le département des Pyrénées-Atlantiques par exemple. En 2016, certains producteurs n'ont obtenu que 30 quintaux à l'hectare de maïs sans irrigation. Dans un secteur, vers Bellocq, 100 ha n'ont même pas été semés lors de la dernière campagne : il s'agit d'un endroit sec où les charges liées à l'irrigation n'auraient pas été couvertes par les recettes. vus les cours particulièrement bas du maïs (information orale recueillie lors des entretiens).

La combinaison de l'arrêt de la politique en faveur de l'irrigation et de la crise agricole explique l'absence de projets d'irrigation en collectif et la quasi-absence de projets individuels dans les Pyrénées-Atlantiques au-delà de 2005.

De légères variations de surface et demande en eau sont observées d'une année sur l'autre (voir Illustration 74). Celles-ci peuvent s'expliquer par une demande variable pour les cultures sous contrat (largement irriguée) : dans les dernières années, la demande et donc les surfaces en semences et en cultures sous contrat, ont baissé en raison de stocks mondiaux importants. Quand les agriculteurs sèment autre chose qu'une culture sous contrat, ils peuvent décider de ne pas irriguer car les charges peuvent être disproportionnées au regard de l'avantage apporté par l'irrigation. Ce n'est donc pas, dans ce cas, la contrainte de disponibilité de la ressource en eau qui explique les variations annuelles de surfaces irriguées. Par ailleurs, des évolutions liées à des installations ou des départs peuvent aussi être mentionnées.

La perception d'un changement climatique et le développement du kiwi induisent un développement de l'irrigation dans la partie landaise du secteur

Dans les Landes, le développement de l'irrigation s'est prolongé de manière continue comme illustré précédemment (cf. Illustration 73). Il semblerait que la cause principale soit l'accentuation des sécheresses et la nécessité d'apport d'eau aux cultures et surtout au maïs, y compris fourrage, dans cette partie aval du bassin (qui est celle qui reçoit le moins de précipitation, du fait de son éloignement des contreforts des Pyrénées). Le développement de la filière kiwi se poursuit également avec entre 50 et 100 ha de plus par an dans la partie landaise. Puisque toutes les surfaces de kiwi sont irriguées, ce développement contribue de

-

¹⁹ Ampleur de la variabilité du prix.

manière significative à l'augmentation progressive des surfaces irriguées dans la partie landaise.

Dans la mesure où le secteur landais est surtout concerné par des prélèvements individuels (accès facile à la nappe ou au cours d'eau), il y a également moins de freins liés au montage des projets que pour des projets collectifs, ce qui peut contribuer à expliquer la différence de développement de l'irrigation avec les Pyrénées-Atlantiques.

Aménagements hydrauliques : les seuils

L'exploitation historique des gravières, principalement sur le gave de Pau a provoqué une érosion régressive du cours d'eau et un approfondissement de leur lit. L'aménagement de seuils sur le gave de Pau a été progressivement réalisé depuis la fin des années 70, afin de relever la ligne d'eau. Des dommages aux ouvrages d'art tels que les ponts ont été constatés. Par la suite, l'extraction des gravières a été interdite dans le gave de Pau et dans l'espace de mobilité du cours d'eau. Afin de rétablir le profil du cours d'eau, des seuils ont été réalisés (~12) afin de recharger en graves et galets. Ces seuils ont des effets positifs sur le niveau d'eau et donc sur le remplissage des nappes d'accompagnement. Sur le gave d'Oloron, les seuils sont liés à l'hydroélectricité et l'exploitation de gravières peut être qualifiée d'« artisanale » et anecdotique.

7.6.4. Évolutions des consommations unitaires (par hectare) ?

Dans les dernières décennies et jusqu'aux années 2000, l'usage de l'eau par hectare pour une culture donnée a été largement réduit

Le passage quasi systématique de l'irrigation par submersion (gravitaire) à celle par aspersion a permis des économies d'eau significatives. Le pilotage de l'irrigation a été nettement amélioré suite à un accompagnement des agriculteurs par les chambres dans le pilotage de l'irrigation et des opérations telles qu' « Irrimieux ». En période d'irrigation, chaque semaine, des conseils d'irrigation sont proposés aux irrigants par les services techniques de la Chambre d'agriculture.

Les techniques d'irrigation

D'après les données du RGA, 95% de la surface irrigable est équipée avec la technique de l'aspersion (micro-asperseurs, enrouleurs et pivots). L'irrigation gravitaire et la micro-irrigation ne représentent que respectivement 2 et 3% des surfaces. Entre 2000 et 2010, l'irrigation gravitaire a reculé de 3% au profit de l'aspersion et de la micro-irrigation (+1%). Sur les cultures de maïs la technologie employée est principalement l'enrouleur ou le pivot, bien que quelques rares exploitants aient installé des dispositifs de « goutte à goutte enterré » pour le maïs. L'utilisation de cette technique a été testée par la Chambre d'Agriculture des Landes et de très bons résultats ont été obtenus. Le frein actuel est le coût de l'équipement (environ 3 à 4000 €/hectare contre 10 000 € pour un enrouleur qui peut parfois couvrir jusqu'à 20 ha). Les parcelles de kiwis sont quant à elles équipées par un double système d'irrigation : (i) un équipement de micro-jet sous les plantes pour l'irrigation estivale (pour limiter les maladies et l'évaporation) et (ii) un équipement en aspersion avec couverture intégrale pour la lutte contre le gel, mais qui peut parfois être utilisé en été lors de très grosses sécheresses pour apporter un complément en volumes d'eau au système sous frondaison.

La tarification de l'eau d'irrigation

La tarification et donc l'incitation aux économies d'eau diffère selon les modes de prélèvements et les ASA; certaines pratiquent une tarification à la surface irriguée, d'autres au volume. Les

charges variables liées au pompage par les ASA sont imputées aux agriculteurs via la tarification de l'eau : il s'agit principalement du coût de l'électricité qui peut être soit répercuté par surface (ce qui néglige les différences de consommation par hectare), soit par volume (ce qui est plus incitatif). Les agriculteurs qui payent directement leurs charges au prorata des volumes consommés (individuels et ASA facturant au volume) pratiquent un pilotage « au mm », car l'apport d'eau supplémentaire induit un surplus de charges financières qui peuvent être critiques pour les marges à la parcelle. Certains auraient même décidé de ne plus pratiquer l'irrigation pour des raisons financières, considérant que les bénéfices liés à l'irrigation ne couvriraient pas les charges variables.

L'accroissement tendanciel du besoin en eau des plantes associé au changement climatique

Il ne s'agit pas vraiment d'une tendance passée mais davantage d'un signal qui se ferait lentement sentir : selon certains professionnels du secteur agricole, le besoin en eau des plantes présenterait une tendance à la hausse. Celle-ci serait associée à l'occurrence d'été plus secs et d'une ETP tendanciellement à la hausse, notamment en aval du territoire, sur les secteurs les moins dotés en pluviométrie.

D'un point de vue méthodologique, on notera que cet accroissement tendanciel n'est pas caractérisé ici sur la base d'une analyse de séries temporelles (contrairement à ce qui est effectué dans le chapitre analyse et tendances) mais sur la base des entretiens effectués avec des professionnels du secteur agricole. Il s'agit donc de restituer ici un ressenti, un dire d'expert, voire une tendance à la hausse qui serait déduite de l'augmentation des volumes appliqués à la parcelle pour une culture donnée.

7.6.5. Conclusions sur l'adaptation

Tout d'abord, la perception des effets du changement climatique diffère sur le territoire des bassins versants des gaves : elle semble ainsi déjà présente en aval (dans le secteur landais), mais pas vraiment en amont, sur les territoires qui sont davantage pluvieux. Cependant, cette affirmation devrait être confirmée par la consultation d'un plus grand nombre d'agriculteurs, ce qui n'a pas pu être fait dans ce travail.

La principale adaptation qui est en cours actuellement concerne le développement, qui reste cependant marginal à l'échelle du territoire, de nouvelles surfaces irriguées et donc l'accroissement de la sécurisation de l'apport en eau aux plantes.

Dans la mesure où les ressources ne présentent pas de problème quantitatif et sont perçues comme abondantes, cette évolution ne pose pas de problème et les surfaces irriguées ne sont pas contraintes dans leur utilisation de l'eau : il n'y a pas d'adaptation à noter sur le plan des pratiques agronomiques, dans la perspective d'économiser de l'eau à l'hectare (bien qu'il pourrait y avoir des marges de progrès, cf. partie 7.7).

Du point de vue de la gouvernance ou réglementation, aucune adaptation n'est observée à ce jour. Les quotas qui permettent d'orienter les autorisations de prélèvements ne sont pas en discussion actuellement dans la mesure où les ressources en eau ne présentent pas de problème particulier et les demandes de nouvelles autorisations sont attribuées.

7.7. PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION FUTURE DE L'USAGE AGRICOLE DE L'EAU

Les facteurs de changements principaux qui semblent avoir joué rétrospectivement sur l'usage de l'eau par l'agriculture sont : (i) les réglementations et politiques de l'eau ; (ii) les subventions au développement de l'irrigation et à la création de ressource ; (iii) les marchés agricoles et le développement de filières particulières comme celle du kiwi et iv) la perception du changement climatique. Le facteur qui ne semble pas avoir été déterminant est la pression foncière (la zone est relativement peu urbanisée et l'urbanisation n'a pas induit de pression sur la SAU).

Dans le futur, ces mêmes facteurs de changements doivent être considérés pour envisager les évolutions possibles. D'autres comme les **ravageurs des cultures** pourraient apparaître comme déterminants pour l'évolution des usages de l'eau. On peut également mentionner le facteur hydro-morphologique qui a trait au phénomène d'érosion des berges, qui entraine une légère perte de terrain agricole par endroits et peut impliquer des déplacements des ouvrages de pompage, que nous ne détaillerons toutefois pas ici, dans la mesure où ils ne sont pas censés impacter le bilan ressource-demande.

7.7.1. Les réglementations et politiques de l'eau

Dans la mesure où les gaves sont hors ZRE, ils ne sont pas concernés par le passage à une gestion collective via organisme unique. Le système actuel de demande d'autorisation annuelle devrait donc perdurer. Cependant, l'accroissement des effets du changement climatique sur les besoins en eau agricole et sur les ressources futures pourrait peut-être induire un changement de gouvernance (comme un passage en ZRE), même si cette éventualité n'est pas du tout envisagée aujourd'hui. En l'absence d'observations significatives allant dans ce sens, la réglementation et les contraintes d'utilisation de l'eau ne sont pas susceptibles d'être modifiées. Il reste donc à évaluer dans quelle mesure les effets du changement climatique sont susceptibles de modifier cette situation.

Les politiques environnementales telles que la DCE sont susceptibles d'avoir un effet sur l'aménagement des cours d'eau. Comme déjà mentionné, le gave de Pau compte de nombreux seuils sur son trajet, qui ont été réalisés pour des raisons hydro-morphologiques. Il est actuellement question de supprimer un seuil (vers Abidos). Localement, la suppression de seuils pour répondre à des enjeux environnementaux (piscicoles notamment) pourrait avoir des effets sur l'accès à l'eau. Bien qu'ils ne modifient pas les débits, ceux-ci induisent localement des niveaux plus hauts dans la rivière et dans les nappes d'accompagnement. En cas de suppression de ces seuils, un accroissement du coût de pompage lié à la baisse des niveaux, voire, le cas échant, des problèmes techniques liés à un dénoyage partiel des crépines, pourraient alors surgir.

7.7.2. Les subventions au développement de l'irrigation

Il n'y a pas de signaux actuels qui laisseraient penser à une nouvelle politique de soutien au développement de l'irrigation, laquelle s'est arrêtée depuis les années 2005. L'état des finances publiques et la réticence générale à créer des ressources en eau pour l'agriculture, comme l'illustre le cas de Sivens, laissent plutôt croire à un maintien de cette absence de soutien public pour le développement de l'irrigation.

L'enjeu dans les prochaines années se focalisera sur l'entretien des réseaux, pour lequel des financements seront nécessaires. C'est donc peut-être davantage avec l'existence de financements pour la modernisation des réseaux qu'il faudrait compter, bien que ceux-ci soient pour l'instant exclus dans les zones en équilibre quantitatif.

Un élément qui pourrait cependant amener le secteur public à soutenir l'agriculture est la crise agricole et la volonté politique de maintenir une agriculture sur l'ensemble du territoire. Celle-ci pourrait ainsi indirectement contribuer à l'amélioration des finances des agriculteurs. Sécuriser l'accès à l'eau pourrait donc un moyen de réduire la vulnérabilité économique des exploitations face à la crise (mais ceci doit être démontré).

7.7.3. Le coût des technologies et les subventions

Le coût du goutte-à-goutte pour le maïs reste élevé (3000 à 4000 €/ha). Cependant, s'il y avait un développement massif de cette technologie, les coûts pourraient baisser de moitié (comme cela s'était produit pour le coût des pivots et des enrouleurs dans les années 90).

Par ailleurs, les Agences de l'Eau qui souhaitent promouvoir les économies d'eau sont susceptibles de développer des programmes incitatifs. C'est déjà le cas de l'Agence de l'Eau Adour Garonne sur les secteurs géographiques critiques du point de vue de l'équilibre ressource-demande, comme le Midou. On peut imaginer de telles aides dans le futur, si les économies d'eau deviennent une priorité dans le secteur, ce qui n'est pas le cas pour l'instant, dans la mesure où l'on est hors ZRE et que l'on ne rencontre pas de problèmes significatifs en termes de partage de la ressource.

7.7.4. Le coût de l'énergie

Le coût de l'énergie (pour le pompage de l'eau) est susceptible, avec une probabilité assez forte, de continuer à augmenter et de peser de plus en plus dans les charges des exploitations, entrainant une incitation accrue aux économies d'eau. Cependant, l'effet incitatif n'est valable que pour les agriculteurs en prélèvements individuels ou ceux appartenant à une ASA qui pratique une tarification au volume (et non à la surface). En effet, pour les ASA pratiquant une tarification avec, comme assiette de facturation la surface irriguée, l'effet incitatif à la baisse de la consommation unitaire est totalement absent. De plus, pour ces agriculteurs, l'effet est déjà présent actuellement.

Si la tendance à l'accroissement du coût de l'énergie se prolonge et si elle est couplée à une baisse (plus incertaine) du coût de mise en œuvre de dispositifs d'irrigation type goutte-à-goutte (GaG) enterré, (au travers, le cas échéant, de subventions) on pourrait assister à une augmentation de l'utilisation de ces dispositifs. C'est le cas en Espagne ou la technologie du GaG enterré s'est très largement développée et les pratiques se sont adaptées (semis direct²⁰ notamment). Un accroissement des contraintes sur l'usage de l'eau telles que la baisse des quotas, favoriserait également le développement de ces dispositifs économes en eau pour le maïs. On économiserait ainsi environ 20% des volumes si on passait de l'aspersion au goutte-à-goutte enterré.

Sur le kiwi, peu de progrès pourraient être réalisés en termes d'économies d'eau, car l'apport d'eau est déjà maitrisé par des micro-jets et l'eau est apportée sous le feuillage.

²⁰ Le semis direct consiste à introduire directement la graine dans le sol sans mettre en œuvre préalablement un travail du sol (labour).

7.7.5. Les marchés agricoles

Les grandes cultures

Il est très difficile d'émettre des hypothèses sur l'évolution des marchés agricoles mondiaux et des prix des produits qui dépendent directement de ceux-ci, en ce qui concerne les grandes cultures. Certains travaux évoquent des prix bas jusqu'en 2026, alors qu'il y a quelques années les prévisions indiquaient plutôt une remontée des cours. L'incertitude est quasi-totale sur le moyen long terme. A court terme, les prix bas pourraient encore perdurer quelques années. La volatilité des cours est en revanche une donnée assez certaine sur le marché mondial et celleci accroit la complexité de la planification des productions et le choix de pratiques, qui demandent de gros investissements comme l'irrigation.

Les agriculteurs ayant des débouchés locaux seront nécessairement moins soumis à cette volatilité et ce d'autant plus que des politiques économiques du type « taxe carbone » seraient mises en place et favoriseraient les productions « non carbonées » ou « peu transportées ». Cependant, sur le secteur, il y a très peu de productions agricoles dédiées à des circuits courts. Par conséquent, peu d'entre elles seraient épargnées par le risque de volatilité et de cours bas (il s'agirait de quelques centaines d'hectares cultivés en maraichage ou arboriculture). Le maïs « fourrage » ou « conso » est, quant à lui, directement consommé dans la région pour les élevages de palmipèdes ou bovins et sera davantage dépendant des marchés de l'élevage, où les prix sont *a priori* moins volatiles.

Le kiwi

Le kiwi local est positionné sur un marché très porteur comme l'indiquent les évolutions progressives et régulières de la sole en kiwi (entre +50 et +100 ha de kiwi par an, dans les Landes). Les débouchés internationaux sont en développement, les coopératives de kiwi continuent de démarcher de nouveaux pays et sa demande potentielle semble très importante.

Des évolutions internes sont observées et risquent de se prolonger : les variétés Harvard de kiwi vert sont remplacées par du kiwi jaune plus productif. Cette évolution risque d'augmenter très légèrement (moins que l'effet changement climatique cependant) la demande en eau unitaire.

7.7.6. Les ravageurs des cultures

Dans les dernières années, la culture du kiwi a connu des pertes importantes à cause d'un champignon, le Pseudomonas. Des variétés plus résistantes ont été replantées. Il n'est pas impossible qu'à l'avenir des menaces de cette nature viennent perturber les assolements, le choix des variétés plantées par les agriculteurs et donc les demandes en eau.

7.7.7. La perception du changement climatique

Les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron sont perçus par les agriculteurs comme une zone disposant de ressources en eau abondantes, qui bénéficient directement de la fonte des neiges et de la pluviométrie relativement importantes. L'étiage se produit plutôt en septembre après les besoins en eau d'irrigation. Il semblerait que la perception du changement climatique soit très différente selon les secteurs et leurs caractéristiques pluviométriques. Ainsi, l'accentuation des sécheresses et donc l'augmentation de l'ETP est largement ressentie en aval et notamment dans la partie Landes (comme l'illustre aussi l'évolution continue de l'irrigation),

ainsi que dans la Vallée de l'Adour et, dans une moindre en mesure, dans les Pyrénées-Atlantiques. L'augmentation de l'ETP en aval provoquera très probablement un accroissement de la demande en eau des plantes. Ceci se traduirait par un accroissement des prélèvements pour les cultures irriguées (par exemple de 5000 à 6000 m³/ha pour le kiwi des Landes). Par ailleurs, un accroissement des fréquences de sécheresse provoquerait des pertes en rendement pour les cultures non irriguées.

Les acteurs consultés ne semblent pas avoir une perception claire de l'évolution de la disponibilité des ressources en eau, sans doute faute d'éléments factuels disponibles. Cependant, une évolution de la dynamique des pluies est ressentie: augmentation des pluies du printemps (ce qui est très favorable pour le remplissage des réservoirs et des sols, mais peut être problématique pour l'implantation des cultures), des étés et des automnes secs hormis quelques orages. Cette dynamique est plutôt favorable pour les exploitations déjà équipées en dispositifs d'irrigation et qui dépendent de ressources qui peuvent être facilement rechargées au printemps (ce qui est le cas des réservoirs, mais aussi des cours d'eau ou des nappes d'accompagnement).

7.7.8. Les projets de transferts

Les gaves constituent une ressource importante située à l'Ouest du bassin central de l'Adour, qui est beaucoup plus soumis à des tensions vis-à-vis de ses ressources en eau, notamment à l'étiage. Différents projets ont été évoqués par le passé et pourraient réapparaître dans le futur, comme par exemple celui de réalimenter l'Adour à partir du Gave de Pau. Un tel projet viendrait bien sûr affecter le bilan hydrologique des gaves.

7.7.9. Conclusion

A partir de ces premiers éléments prospectifs, nous pouvons conclure que la demande en eau serait en légère augmentation pour l'aval du secteur étudié, notamment pour la partie landaise. Cette augmentation est à mettre en lien avec la nécessité de satisfaire les besoins des nouvelles surfaces en kiwi et des parcelles de maïs qui passeront à l'irrigation, en exploitant les ressources superficielles ou souterraines des gaves. Les besoins unitaires et consommations réelles devraient suivre l'évolution de l'ETP, dont une tendance à la hausse a déjà été observée (cf. Seguin et Wuilleumier, 2017), tendance qui pourrait s'accentuer à l'avenir (cf. analyse de la Chambre d'Agriculture des Landes pour la dernière décennie).

Dans les secteurs plus amont (Pyrénées-Atlantiques), où il faut des aménagements pour disposer d'eau d'irrigation, la probabilité que celle-ci s'y développe est faible. En effet, non seulement les financements pour la création de ressources ne sont plus disponibles (et on n'entrevoit pas a priori un changement politique sur ce sujet), mais de plus l'agriculture est globalement en difficulté et a peu de projets de développement (ce dernier point doit cependant être confirmé localement). De plus, la création d'une retenue ou d'un petit barrage est devenue très complexe en France. Cette évolution et l'absence d'anticipation dans l'aménagement, à la fois du changement climatique et de la pérennité de l'agriculture, pourraient être dommageables à l'agriculture selon certains.

8. L'usage eau potable : situation actuelle, tendances et perspectives d'évolution future

8.1. INTRODUCTION

Ce chapitre s'intéresse à l'usage de l'eau pour l'alimentation publique en eau potable de la population et des activités économiques. Comme dans le chapitre précédent, l'objectif est de caractériser l'usage dans la situation actuelle, de décrire comment il a évolué au cours de la période récente (10 à 15 ans), d'identifier les facteurs responsables de cette évolution et de dégager des hypothèses quant aux évolutions attendues pour les 20 à 30 prochaines années. Le travail réalisé s'est appuyé sur une analyse des données de prélèvement de l'agence de l'eau, sur quelques études de cas et sur des entretiens réalisés avec des gestionnaires des services d'eau potable dans le bassin²¹.

8.2. SITUATION ACTUELLE : VUE D'ENSEMBLE DE L'USAGE EAU POTABLE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

8.2.1. L'usage eau potable

Le schéma ci-dessous présente le processus de production et de distribution d'eau potable et les principaux termes qui seront utilisés dans la suite de cette section pour décrire l'usage eau potable :

- Le prélèvement correspond au volume qui est extrait des ressources en eau souterraines ou superficielle au lieu de captage. Ce volume est mesuré et l'information correspondante est transmise à l'agence de l'eau pour établir le montant de la redevance prélèvement. L'eau prélevée fait ensuite l'objet d'un traitement au cours duquel une partie de l'eau prélevée peut être rejetée (opération de vidange de réservoir, lavage de filtres, etc.). Le volume qui entre dans le réseau de distribution est donc inférieur au volume prélevé. La collectivité peut ensuite exporter une partie du volume d'eau traité vers d'autres collectivités, comme en importer. Le volume mis en distribution dans le réseau de la collectivité tient compte de ces imports et exports.
- Une partie significative du volume mis en distribution est perdu lors de son acheminement vers les usagers. Ces pertes résultent de fuites (permanentes) ou de ruptures accidentelles (casses). L'importance de ces fuites dépend de l'état du réseau de distribution (âge des canalisations, matériaux utilisés, conditions de pose) mais aussi de l'organisation du service pour détecter ces fuites et les réparer dans les plus brefs délais. Une partie des volumes perdus lors de la distribution peuvent correspondre à des vols d'eau (branchements illégaux, compteurs trafiqués).

²¹ Les entretiens ont été réalisés des représentants des collectivités suivantes : Syndicat du Nord Est de Pau (entretien réalisé avec M^{me} Bonnefon, directrice adjointe) ; SIAEP du Jurançon (entretien réalisé avec M. Allende Erreçarret, directeur) ; Ville de Pau (entretien réalisé avec M^{me} Bernadet, directrice adjointe ; SIAEP des trois cantons (entretien réalisé avec M^{me} Martine Lembezat, directrice) ; Syndicat SAE du pays de Soule (entretien réalisé avec M. Donadel Stephane) ; SIGOM (entretien réalisé avec M. Raphael Roy ; Syndicat du Gave de Pau (entretien réalisé avec M. Pellizarro) ; Conseil Départemental des Pyrénées-Atlantiques (entretien réalisé avec M^{me} Emmanuelle Cazenave).

- Certaines activités sont autorisées à utiliser l'eau du réseau sans comptage, notamment à partir des bornes d'incendie (lavage des voiries, exercice incendie). Certaines fontaines publiques ou arrosage d'espaces verts ne sont pas équipés de compteurs. On parle de volumes consommés autorisés mais non comptés.
- L'essentiel de la consommation correspond aux usages comptés et facturés. Les principaux usagers sont les abonnés domestiques ; les usagers économiques assimilés domestiques (artisans, commerces, hôtels, maisons de retraite) ; les usagers industriels (eau utilisée dans un process de fabrication) ; les usagers municipaux et autres administrations.

L'évolution passée et future des prélèvements en eau dépendent donc de celle des usagers (facturés et non facturés) mais aussi du rendement des réseaux de distribution. Ces deux variables seront étudiées dans les sections suivantes.

Les gestionnaires de service d'eau potable avec qui nous nous sommes entretenus ont indiqué qu'un certain nombre d'usagers disposent d'une ressource alternative qu'ils utilisent en complément ou en substitution de l'eau potable délivrée par le réseau public. Par exemple, les exploitations agricoles d'élevage utilisent des sources pour abreuver les animaux. Dans certaines zones où l'eau souterraine est facilement accessible, les abonnés domestiques creusent des puits ou forages pour arroser les jardins, voire pour alimenter une partie des maisons. Ces usages sont probablement peu significatifs en termes quantitatif, mais ils sont à l'origine de problèmes de gestion pour les collectivités²².

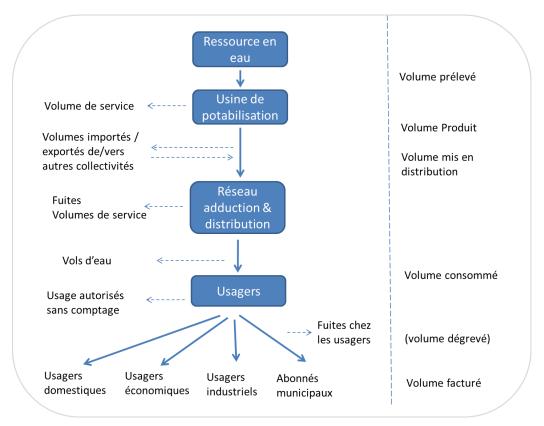


Illustration 75 : Processus de production et de distribution de l'eau potable

²² Pour plus de détail, lire: Montginoul M., Rinaudo J.D. (2013) Les substituts au réseau: arbitrages des consommateurs et effets pour le gestionnaire. Réflexion à partir de l'exemple des forages privés et de la récupération des eaux pluviales. Sciences Eaux et Territoires. (accessible en ligne)

8.2.2. Organisation du secteur et données disponibles

Dans les deux bassins étudiés, la distribution de l'eau potable est assurée par des collectivités de taille relativement hétérogène (voir carte). En zone de montagne, quelques communes continuent d'assurer le service de manière autonome et en régie. Le reste du territoire est organisé en syndicats intercommunaux. Dans la plaine du Gave de Pau, certains syndicats se limitent à assurer la distribution, la compétence production étant déléguée au Syndicat Mixte du Nord Est de Pau (SMNEP).



Illustration 76 : Carte des collectivités gestionnaires du service d'eau potable et principauix points de prélèvements (source: CD 64)

Les principales données disponibles sont les suivantes :

- La principale source de données sur les prélèvements est le fichier établi par l'agence dans le cadre de la collecte de la redevance prélèvement. Ce fichier a été exploité pour l'ensemble des prélèvements réalisés dans le bassin des Gaves de Pau et d'Oloron (voir ci-dessous)
- Concernant les données relatives aux services d'eau potable, il existe une base de données nationale gérée par l'Agence Française de la Biodiversité (AFB, anciennement ONEMA). Cette base, nommée SISPEA, est théoriquement renseignée par les collectivités par doivent remplir chaque année une série d'indicateurs extraits de leur rapports sur la qualité du service (RPQS). Cette base de données est malheureusement très peu renseignée par les collectivités du territoire étudié; elle n'a donc pas pu être exploitée dans le cadre de cette étude.

- Au niveau départemental, un schéma départemental directeur de l'alimentation en eau potable a été établi en 2004 par le Conseil Départemental des Pyrénées Atlantiques mais il n'a pas été mis à jour depuis.
- Au niveau des collectivités publiques (communes ou syndicats intercommunaux), l'information relative au service eau potable est contenue dans les rapports annuels de la collectivité (RPQS) et éventuellement de son délégataire (RAD). Plusieurs collectivités ont établi des schémas directeurs qui contiennent une analyse rétrospective et prospective de la consommation et des prélèvements.

8.2.3. Les ressources

Plusieurs ressources sont utilisées pour l'alimentation en eau potable dans la zone d'étude :

- des résurgences karstiques qui fournissent souvent des débits importants, alimentant de grandes collectivités via d'importantes infrastructures d'adduction (ville de Pau, SMNEP) ou des petites collectivités en zone rurale;
- des prises d'eau en rivière, essentiellement en amont des bassins assurent un complément de ressource ;
- des puits et forages en nappe alluviale du Gave de Pau ou d'Oloron ; il s'agit de nappes productives ; certains captages sont concernés par des pollutions diffuses d'origine agricole (nitrates et pesticides), ce qui a motivé la mise en place d'un plan d'action territorial (http://pat-gavedepau.fr/).
- des forages dans la nappe captive des sables infra-molassiques dont certains sont également concernés par des problèmes de pollution diffuse d'origine agricole.

8.3. ÉVALUATION DES PRÉLÈVEMENTS POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Les points de prélèvements associés à un usage d'eau potable figurent sur l'Illustration 77. Contrairement aux prélèvements agricoles, ils sont dispersés sur l'ensemble du territoire. On remarque que cette dispersion est forte au sud de la ligne Est-Ouest Lourdes-Arette, tandis que les points sont plus concentrés au nord. 326 points de prélèvements pour un usage d'eau potable sont identifiés.

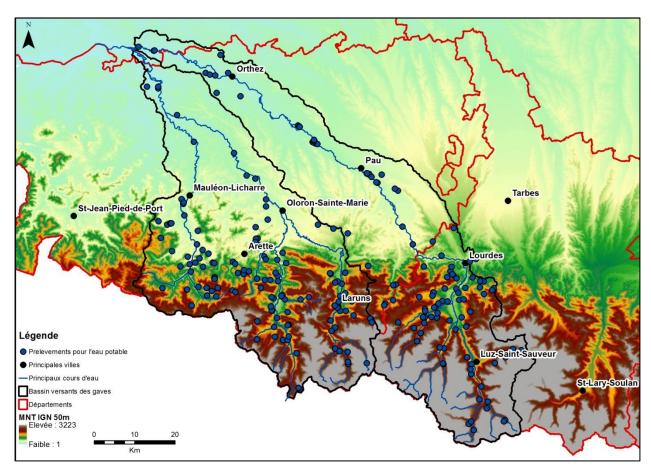


Illustration 77 : Localisation des points de prélèvements pour un usage d'eau potable dans les bassins versants du gave de Pau et du gave d'Oloron

Les volumes prélevés annuellement pour un usage d'eau potable sont en moyenne d'un peu plus de 51 Mm³/an sur les bassins versants des deux gaves, variant entre 48.6 et 53.3 Mm³/an entre 1996 et 2014²³ (cf. Illustration 78). Plus de 90% des volumes prélevés (91.3%) sont issus des eaux souterraines.

Le bassin versant du Gave de Pau concentre plus de 75% des prélèvements, ceux-ci atteignant en moyenne 39.4 Mm³/an sur la même période (cf. Illustration 79). La part des eaux souterraines est très largement prépondérante (93%).

Dans le bassin versant du Gave d'Oloron, les volumes prélevés pour l'eau potable sont de 11.8 Mm³/an en moyenne (cf. Illustration 80). On remarque cependant une augmentation des volumes prélevés depuis 2008, ceux-ci atteignant 12 Mm³/an en 2014. Cette augmentation est liée à une exploitation des eaux souterraines, les volumes prélevés en eau de surface restant identiques. Une augmentation de prélèvement est par exemple observée sur la source Le Lourteau à Oloron-Sainte-Marie ou sur la source Care à Accous. Un nouveau forage prélevant 1.2 millions de m³ est également opérationnel depuis 2009.²⁴

BRGM/RP-66803-FR - Rapport final

²³ Les données numériques de l'AEAG ne sont disponibles qu'à partir de 1996 pour l'eau potable.

²⁴ Voir: http://ficheinfoterre.brgm.fr/InfoterreFiche/ficheBss.action?id=BSS002HNMJ

ou http://www.ades.eaufrance.fr/FichePtEau.aspx?code=10035X0013/FE2 - données de qualité de l'eau exploitée

La part des eaux souterraines est aussi prépondérante dans ce bassin versant, bien qu'inférieure à celle rencontrée dans le bassin versant du gave de Pau (86%).

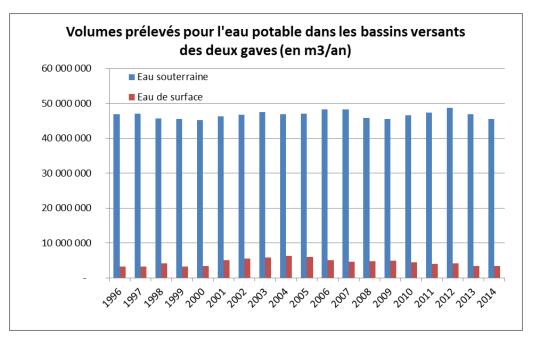


Illustration 78 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron (1996-2014)

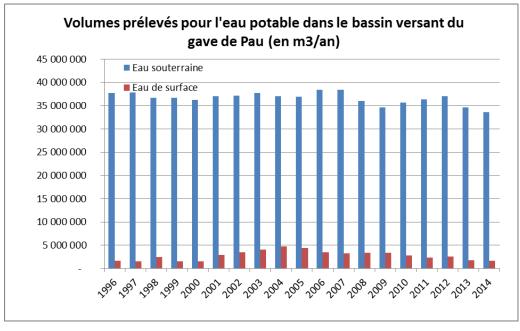


Illustration 79 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans le bassin versant du gave de Pau (1996-2014)

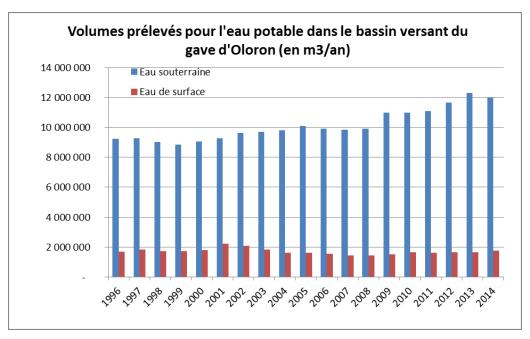


Illustration 80 : Volumes prélevés annuellement pour l'eau potable dans le bassin versant du gave d'Oloron (1996-2014)

8.4. ANALYSE RETROSPECTIVE : TENDANCES ET FACTEURS DE CHANGEMENT

8.4.1. Évolution de la consommation : tendance et facteurs explicatifs

Globalement, tous les syndicats consultés lors de la phase d'entretien témoignent d'une baisse de la consommation et des volumes facturés au cours des dix dernières années, alors que le nombre d'abonnés et la population a légèrement augmenté. Cette tendance est due à la une réduction des volumes facturés aux gros consommateurs mais aussi aux abonnés domestiques.

Concernant les gros consommateurs, la baisse s'explique dans certains cas par une réduction de l'activité économique, dans le secteur industriel et agricole en particulier. C'est le cas par exemple du syndicat du Pays de Soule, qui a perdu un certain nombre de consommateurs dans la zone de Lacq. La baisse des volumes vendus aux industriels s'explique également par des efforts de maitrise des couts de production par ce type de clients, qui optimisent les process, où s'organisent pour réduire les fuites. L'exemple d'une fromagerie est cité, dont la consommation passe de 170 000 à 133 000 m³ par an suite à la mise en place d'une démarche de qualité. Les consommations municipales ont également été progressivement maitrisées ; par exemple, la consommation des services de la ville de Pau passe de 510 000 m³ en 2007 à 314 000 m³ en 2015, ce qui correspond à une réduction de 6 à 4 m³ par habitant.

Concernant les abonnés domestiques, les responsables de collectivités interrogés témoignent d'un changement de comportement des usagers qui semblent être plus attentifs à leur consommation, notamment en raison de l'augmentation du prix de l'eau et de la conjoncture économique défavorable. Par ailleurs, la consommation baisse de manière tendancielle du fait du progrès des équipements électro-ménagers et de la qualité de la robinetterie (installation systématique d'équipements hydro-économes de qualité dans tous les logements neufs).

Dans certaines collectivités, la baisse est en partie expliquée par le développement de la récupération d'eau de pluie et des puits et forages individuels. Le phénomène est particulièrement marqué dans la plaine alluviale du Gave de Pau où l'eau est facilement accessible à quelques mètres de profondeur. Il n'a cependant pas été quantifié. Le phénomène semble s'être développé depuis la canicule de 2003.

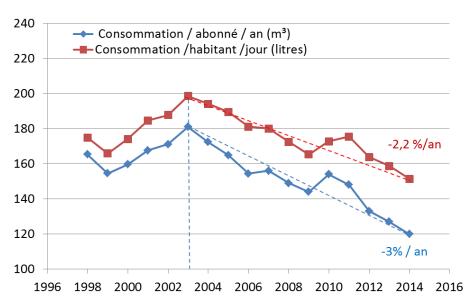
Dans les collectivités périurbaines, la baisse de consommation reflète aussi un changement de mode de vie : les habitants passent de moins en moins de temps dans leur commune de résidence ; les adultes travaillent en ville (agglomération de Pau) et les enfants sont de moins en moins scolarisés en zone rurale, les parents préférant les inscrire dans de plus grosses communes (pour éviter les classes multi-niveau des petits établissement ou au profit d'établissements privés type « calendrettes »).

La tendance d'évolution de la consommation a été évaluée à partir des données collectées auprès de plusieurs grands syndicats de la zone d'étude. Les résultats détaillés sont présentés dans les illustrations suivantes.

8.4.2. Étude détaillée de quelques collectivités

Syndicat des trois cantons

Le syndicat des trois cantons connait depuis la fin des années 1990 une augmentation continue de la population et du nombre d'abonnés. Le volume facturé total, qui inclut quelques gros consommateurs (représentant environ 5% du volume facturé total), a atteint son maximum en 2003 et décroit depuis. Le graphe ci-dessus montre que la consommation par abonné a baissé de 3% par an de 2003 à 2014. La consommation par habitant a décru de 2.16% par an sur la même période.

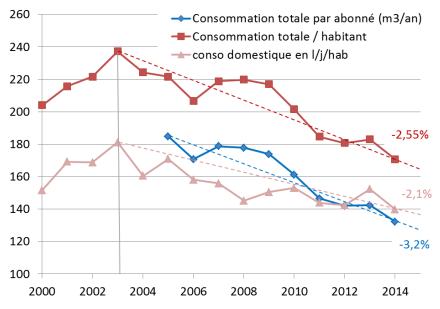


Source: données issues du RPQS de 1999 à 2015; schéma directeur de 2015; INSEE (population).

Illustration 81 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) dans le Syndicat des trois cantons

Gave et Baïse

Le syndicat Gave et Baïse connait également une augmentation du nombre d'abonnés et de la population (3% entre les recensements de 1999 et 2010). La consommation de ses abonnés domestiques décroit depuis 2003 avec une baisse moyenne de 3.2% par an. La consommation totale par habitant décroit de 2.5% par an. Cette baisse provient en partie de la consommation domestique (-2.1% par an) et de celle des gros consommateurs (-44% en 6 ans), notamment les industries dans le secteur de Lacq.

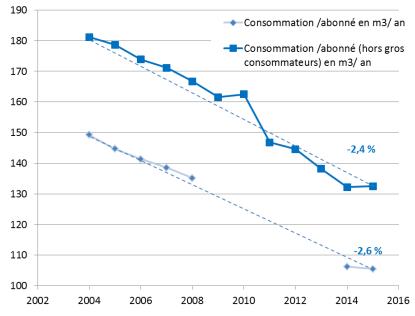


Source : schéma directeur ; données INSEE.

Illustration 82 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) dans le Syndicat du gave et Baïse

• Syndicat du Jurançon

Le calcul de la consommation moyenne par abonné confirme la tendance à la baisse constatée dans les autres collectivités. Cette baisse est de 2.4% par an sur 11 ans pour l'ensemble des abonnés. La tendance reste similaire si l'on exclut les gros consommateurs (-2.6% par an pour les abonnés domestiques et assimilés). L'évolution de la population desservie n'a pas pu être déterminée à partir des documents consultés, ce qui n'a pas permis de calculer le ratio de consommation par habitant.

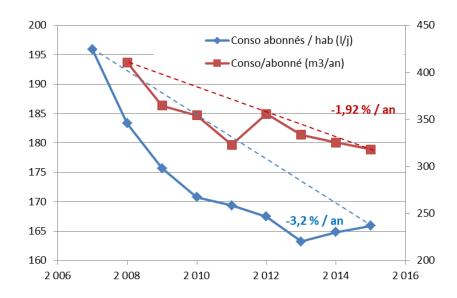


Source : RAD diverses années du syndicat du Jurançon.

Illustration 83 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) du Syndicat du Jurançon

Ville de Pau

La ville de Pau est caractérisée par une baisse de la population desservie. Rapportée à l'habitant, la consommation totale décroit en moyenne de 3.2% par an. On note que la consommation par abonné est supérieure aux valeurs présentées dans les illustrations précédentes, ce qui s'explique par l'importance de l'habitant collectif (il n'y a pas nécessairement de compteurs individuels dans chaque appartement).



Source : RPQS diverses années de la régie des eaux de Pau.

Illustration 84 : Evolution de la consommation en eau potable (en litres/abonné/an) de la ville de Pau

8.4.3. Rendement des réseaux

Les prélèvements en eau sont non seulement déterminés par la consommation des usagers mais aussi par le niveau de rendement des réseaux. Les données collectées dans les RPQS des quelques collectivités étudiées, compilées sous forme graphique dans l'illustration suivante²⁵, mettent en évidence l'existence de tendances différenciées selon les caractéristique des collectivités :

- la ville de Pau, qui gère un réseau urbain et relativement dense (en nombre d'abonnés par kilomètres de canalisation) parvient à obtenir un rendement de réseau élevé (supérieur à 80%) et en hausse.
- à l'opposé, le syndicat de Gave et Baïse atteint un rendement de l'ordre de 45% qui reflète le caractère très rural de cette collectivité; le linéaire de canalisation par abonné est très élevé, notamment pour desservir l'habitat isolé; le renouvellement du réseau est extrêmement difficile dans ce contexte, notamment pour des raisons financières (coût par habitant); de même la recherche et réparation de fuites est complexe du fait de l'extension du réseau.
- les syndicats du Jurançon et des Trois Cantons présentent une situation intermédiaire, avec des rendements de l'ordre de 60 à 75%, stabilisés ou en croissance depuis le début des années 2010.

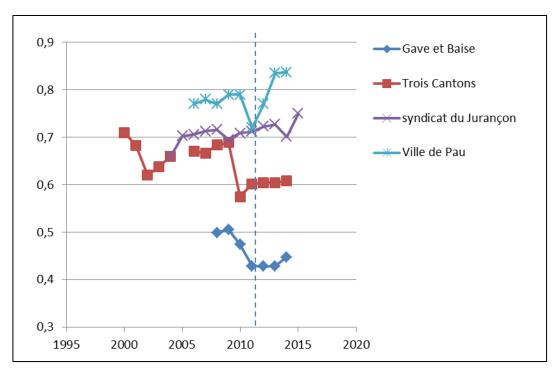


Illustration 85 : Evolution du rendement des réseaux dans quelques collectivités

-

²⁵ Les rendements de réseau ne sont pas systématiquement calculés de la même manière dans les RPQS, notamment concernant la prise en compte des volumes de service et des usages non comptés (exercice incendie, lavage voirie). La comparaison des valeurs exactes présentées dans les courbes ci-dessous mériterait donc une analyse approfondie des modes de calcul. Les ordres de grandeur et les tendances d'évolution restent néanmoins pertinents.

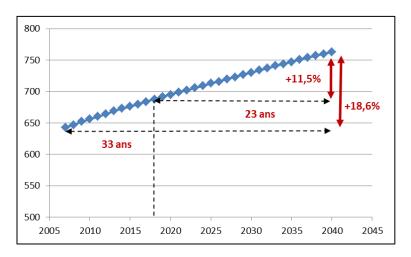
8.5. PERSPECTIVES D'EVOLUTION FUTURE DE L'USAGE EAU POTABLE

8.5.1. Hypothèses d'évolution future des usagers d'eau potable des bassins des Gaves

Les quatre principaux facteurs qui détermineront l'évolution future de l'usage eau potable sont les suivants : la démographie ; le développement de l'activité économique ; les pratiques de consommation des abonnés domestiques et les rendements de réseaux.

Démographie

Les prévisions du modèle OMPHALE de l'INSEE, réalisées à l'échelle départementale, prévoient une augmentation de la population dans le département des Pyrénées Atlantiques. Entre 2017 et 2040, cette croissance sera de l'ordre de 11% sur le département. Les données disponibles ne permettent pas de préciser la répartition de cette croissance, mais il est probable qu'elle sera plus importante en zone littorale que dans les bassins des Gaves. Pour préciser des hypothèses de croissance démographique, il conviendrait d'analyser les hypothèses retenues dans les Schémas de Cohérence et d'Orientation Territoriale (SCOT) et dans les schémas directeurs d'alimentation en eau potable. La prévision de la répartition spatiale reste cependant difficile à prévoir car elle résultera de tensions contradictoires entre la volonté de l'Etat de densifier les villes et la demande sociale pour de l'habitat en zone semi-rurale.



Source: INSEE

Illustration 86 : Prévisions d'évolution de la population du département des Pyrénées-Atlantiques à l'horizon 2040

Consommation industrielle

Les collectivités que nous avons consultées supposent que les gros consommateurs vont continuer de réaliser des efforts pour maitriser leur facture d'eau. L'éventuelle arrivée de nouvelles entreprises ne fera au mieux que compenser cette baisse tendancielle de la demande des gros consommateurs.

Pratiques de consommation des abonnés domestiques

La baisse de la consommation domestique (en litres par jour par habitant) est considérée comme une tendance lourde qui se poursuivra dans les 15 à 20 ans à venir. La diffusion des appareils électroménagers et de la robinetterie hydro-économe va se poursuivre. L'augmentation du prix de l'eau renforcera les incitations à économiser l'eau à travers une maîtrise des usages les plus consommateurs (arrosage des jardins, douches). Il n'est pas à

exclure qu'un nombre croissant de ménages soient tentés de s'équiper d'un forage domestique dans les zones où l'eau souterraine est facilement accessible. L'insuffisante application de la réglementation pourrait conforter cette évolution.

La généralisation des compteurs à télé-relève induira également une baisse de la consommation, en permettant aux usagers de suivre leur consommation et de détecter des fuites. L'introduction de cette technologie chez 20% des abonnés du syndicat des Trois Cantons a ainsi permis de réduire la consommation d'environ 20 000 m³ par an.

• Les rendements des réseaux

La loi Grenelle 2 impose de nouvelles obligations aux collectivités organisatrices des services d'eau potable en matière de rendement. Elle fixe des seuils de rendement à atteindre qui dépassent les valeurs actuelles observées dans certaines collectivités rurales ou périurbaines dans les bassins des Gaves. Elle mobilise également des outils incitatifs comme le doublement de la redevance prélèvement.

Les collectivités se sont organisées pour détecter les fuites et intervenir rapidement, ce qui est déterminant pour réduire les volumes perdus. La compréhension des phénomènes déterminant les fuites progressent également, ce qui devrait permettre de continuer de progresser en matière de rendement²⁶.

Cependant, en dépit de ces progrès, le renouvellement des réseaux reste problématique et il n'est pas certains que toutes les collectivités puissent atteindre les objectifs du Grenelle 2 à court et moyen terme pour plusieurs raisons. Du point de vue technique, le rendement aura tendance à baisser, à niveau de fuite égale, du fait de la baisse des volumes facturés. Du point de vue financier, le renouvellement du patrimoine représente une charge financière très importante qui peut difficilement être transmise aux usagers à travers une augmentation du prix de l'eau; le prix est déjà relativement élevé (voir tableau ci-dessous) et une poursuite de sa hausse entrainerait une hausse des impayés, qui sont déjà en hausse suite à la loi.

Collectivités :	Facture		Prix moyen par m3		Caractéristiques des collectivités			
	HT 60 m 3	HT 120 m 3	€ HT/m 3	€ TTC/m 3	Linéaire	Taux de	Nombre	Population
			(120 m3)	(120 m3)	réseau en	renouv. 2011	abonnés	desservie
					Km(2)	2015		
SIEP région de Jurançon	80.66	148.58	1.24	1.31	823	0.91%	30 551	68 500
SIAEP 3 Cantons d'Artix	132.23	208.39	1.74	1.83	517	1,01 %	6 400	16 800
Ville de Pau	88.20	155.40	1.30	1.37	310	1,34%	14 559	81 505
SIAEP région de Lescar	93.13	158.65	1.32	1.39	192	0,81%	6 405	15 746
Syndicat Gave et Baïse	156.88	264.38	2.20	2.32	911	1.04%	13 860	29 298
SEA Pays de Nay	133.00	196.00	1.63	1.72	572	0.90%	11 540	25 685
SMEA Vallée de l'Ousse	130.23	186.57	1.55	1.64	512	1,25%	9 500	21 100
SIAEP Luy -Gabas -Lées	132.50	213.29	1.78	1.88	1 101	0.92%	14 224	31 834

Illustration 87 : Synthèse du prix de l'eau des principales collectivités de la zone d'étude (source: communication personnelle de Mr Erreçarret, syndicat du Jurançon)

-

²⁶ Par exemple, le syndicat des Trois Cantons a mis en évidence que le fort taux de casse des réseaux (notamment au niveau des branchements) était dû à une interaction entre le bioxyde de chlore utilisé dans le traitement e potabilisation et le PEHD des canalisations. Un changement de technique de traitement a permis de réduire les taux de casse et d'améliorer le rendement.

Prévision de l'usage eau potable à long terme

La réalisation de prévision de la consommation et des prélèvements à l'horizon 2030 ou 2040 reste un exercice difficile. Certains schémas directeur d'alimentation en eau potable que nous avons consultés considèrent une hypothèse de stabilité globale des prélèvements, compte tenu des différents facteurs décrits ci-dessus. D'autres anticipent une baisse globale de quelques pourcents. Un schéma qui considérait une augmentation de la consommation est considéré comme obsolète par son maitre d'ouvrage. La tendance est donc à la stabilité ou à la baisse.

Cette tendance a deux implications. La première est que les pressions exercées sur les ressources en eau ne devraient pas augmenter et qu'il y a peu de risque de voir apparaitre des situations de déficit pour l'alimentation en eau potable. La seconde est d'ordre économique : la baisse de la consommation en eau potable entraine automatiquement une baisse des recettes alors que les coûts, principalement fixes, augmentent (pour améliorer le rendement, la protection des ressources, le traitement de celles-ci). Pour faire face à cette situation, les gestionnaires n'auront d'autre choix que d'augmenter le prix de l'eau, ce qui entrainera de nouveau une baisse de la consommation et une augmentation des impayés. Cette perspective inquiète les collectivités avec lesquelles nous avons échangé dans le cadre de ce travail.

8.5.2. Autres facteurs déterminant l'évolution des prélèvements futurs

Evolution des ressources exploitées

Indépendamment de l'évolution de la consommation des usagers, les prélèvements dans les ressources des bassins des gaves pourraient augmenter en raison de substitution de prélèvements dans les nappes profondes (Sables Infra-molassiques) par des prélèvements dans la nappe alluviale. C'est par exemple le cas du Syndicat Mixte du Nord Est de Pau (SMNEP) qui devrait prochainement mettre en marche un champ captant à Baudreix, augmentant les prélèvements dans les alluvions du gave de Pau de 17 millions de m³ par an.

Evolution des exportations d'eau en dehors du bassin

A moyen terme, le SMNEP pourrait augmenter ses exportations d'eau prélevée dans le bassin du Gave de Pau à destination de collectivités des Landes, du secteur de Tarbes et du Nord du département des Hautes Pyrénées. Il pourrait également assurer la sécurisation de certaines collectivités de la plaine dont les ressources locales sont affectées par des pollutions diffuses d'origine agricole. A moyen terme, la capacité du SMNEP pourrait passer de 9 millions de m3 par an actuellement à 13 (exploitation actuelle de l'ordre de 7 à 8 millions de m3).

L'hypothèse d'un transfert d'eau du gave de Pau vers l'Adour (soutien d'étiage) au niveau de Tarbes a été évoquée. L'Adour connait en effet des déficits importants, qu'il est théoriquement prévu de combler par de la création de réserves; on peut néanmoins craindre que leur réalisation soit difficile dans le contexte actuel post-Sivens (nécessité de développer des projets de territoire, etc.). Si ces réserves ne se font pas, ce qui est fort probable, le projet de transfert interbassin du Gave de Pau vers l'Adour pourrait refaire surface. Ce projet a déjà fait l'objet de débats intenses, il serait à la fois source de conflits et de déséquilibre quantitatif sur le gave de Pau.

8.5.3. Perception de l'impact du changement climatique par les collectivités gestionnaires du service d'eau potable

Lors des entretiens réalisés avec les collectivités étudiées, nous avons abordé la problématique du changement climatique afin de caractériser la perception des enjeux pour l'eau potable. Les principales conclusions qui ressortent des entretiens sont les suivantes.

- Les acteurs consultés disposent de peu d'information factuelle permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur leur territoire et sur les ressources qu'ils exploitent.
 Il leur est de ce fait difficile de de se prononcer sur l'impact que cela pourrait avoir sur la gestion du service d'eau potable.
- Ils sont globalement convaincus de l'importance des changements climatiques en cours et de leur impact potentiel sur l'hydrologie des bassins versants; cet impact est perçu comme potentiellement plus important sur la zone côtière et sur le gave d'Oloron que sur le gave de Pau qui dispose encore de réserves glaciaires.
- La ressource en eau des Gaves est considérée comme abondante et il n'est pas apparu
 de préoccupation majeure concernant la disponibilité future des ressources pour
 l'alimentation en eau potable. La nappe alluviale du Gave de Pau est en particulier
 considérée comme une ressource très importante qui pourrait être exploitée bien au-delà
 de son niveau actuel.
- L'enjeu relatif à la ressource en eau est plutôt d'ordre qualitatif (pollutions diffuses d'origine agricole). Certains experts craignent que le réchauffement modifie les conditions de production agricole, les risques phytosanitaires et incite l'agriculture à utiliser de nouveaux produits qui pourraient menacer la ressource en eau.
- Il n'est cependant pas exclu qu'un certain nombre de sources et résurgences karstiques qui alimentent des petites collectivités (souvent des régies communales) puissent tarir plus tôt en saison. Les problèmes occasionnés seront facilement résolus par du maillage des réseaux et une optimisation des ressources qui accompagnera la mise en place de structures intercommunales. Le problème pourrait être plus sérieux pour les collectivités de plus grande taille comme la ville de Pau (dont la ressource principale a connu un étiage particulièrement sévère fin 2016 début 2017) ou le SMNEP (problème d'étiage de la ressource d'Arthez d'Asson en 2016).
- De même, une accentuation de la sévérité des étiages pourrait poser des problèmes de dilution des rejets de stations d'épuration sur les petits affluents (problématique d'assainissement).
- Des conflits entre les secteurs usagers pourraient apparaitre si le débit d'étiage diminue significativement et si certains usages se développent (irrigation agricole notamment).
 Ces conflits opposeraient alors les usages préleveurs (irrigation, eau potable) et les usages non préleveurs (tourisme lié à l'eau dont kayak; pêche au saumon).

9. Conclusions

L'hydrogéologie des bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron est complexe, compte tenu en particulier de l'organisation des formations sédimentaires dans la partie amont montagneuse de la zone d'étude. Mais cette complexité est également due au caractère karstique des principaux aquifères carbonatés qui les composent. Ces systèmes donnent en effet naissance à l'existence de circulations rapides et discontinues des eaux souterraines, avec une différenciation fréquente des bassins versants souterrains et superficiels.

Outre les aquifères carbonatés, les principaux aquifères sont rencontrées dans les formations alluviales, essentiellement dans les basses terrasses, plus récentes et donc moins altérées, ainsi que dans une moindre dans les massifs granitiques (Massif du Néouvielle notamment).

Ces aquifères bénéficient dans leur ensemble d'une pluviométrie abondante (plus d'un mètre d'eau par an), générant une pluie efficace de l'ordre de 1000 à plus de 1500 mm à l'exutoire des bassins versants des gaves. Des cours d'eau de plaine, situés pour la plupart en rive droite du gave de Pau, peuvent cependant connaître une pluie efficace moyenne inférieure. On note par ailleurs, à altitudes équivalentes, l'existence d'une pluie efficace plus importante dans le bassin versant du gave d'Oloron que dans celui du gave de Pau.

Une modélisation des débits du gave de Pau et du gave d'Oloron dans la partie avale de leurs bassins versants a été réalisée à l'aide du logiciel TEMPO ©. Les résultats obtenus montrent l'existence de fonctionnements différents, notamment vis-à-vis de la contribution attribuée à la fonte des neiges. Ainsi, cette contribution est évaluée à près de 20% dans le cas du gave de Pau, tandis qu'elle est de l'ordre de 3% pour le gave d'Oloron. Ces résultats sont plausibles, eu égard notamment à l'altimétrie moyenne plus faible dans le bassin versant du gave d'Oloron.

Quatre campagnes de jaugeages ont été menées sur une dizaine de sources de la zone d'étude. La réalisation de ces campagnes de mesures a permis par ailleurs de découvrir l'existence de suivis de débit effectué par des exploitants de deux sources. Les chroniques de débit constituées portent sur plusieurs années (2012-2017 et 2014-2017), ce qui présente un intérêt certain pour améliorer la connaissance du fonctionnement des aquifères pyrénéens.

En parallèle, un matériel de monitoring a été mis en place sur la source de Gourgouch à Louvie-Jouzon pour suivre son débit à un pas de temps horaire. Les données sont télétransmises et accessibles le jour-même via un site Internet. Le suivi s'effectuant en hauteur d'eau, une courbe de tarage sera constituée et restituée dans le cadre de l'année 2 de cette étude. Une étude de faisabilité de l'équipement de la source de Riou a par ailleurs été lancée et sera restituée dans le cadre de la deuxième année d'étude.

Concernant les usages de l'eau, la demande en eau pour un usage agricole serait en légère augmentation pour l'aval du secteur, notamment pour la partie landaise. Cette augmentation est à mettre en lien avec la nécessité de satisfaire les besoins des nouvelles surfaces en kiwi et de parcelles de maïs qui passeront à l'irrigation en exploitant des ressources superficielles ou souterraines des gaves. Dans la partie amont des bassins versants, la probabilité d'un développement de l'irrigation est faible.

Concernant l'eau potable, la tendance sur le long terme est à la stabilité ou à la baisse de la consommation. Cette tendance a deux implications. La première est que les pressions exercées sur les ressources en eau ne devraient pas augmenter et qu'il y a peu de risque de voir apparaitre des situations de déficit pour l'alimentation en eau potable. La seconde est d'ordre

économique : la baisse de la consommation en eau potable entraine une baisse des recettes alors que les coûts, principalement fixes, augmentent. Pour faire face à cette situation, les gestionnaires n'auront d'autre choix que d'augmenter le prix de l'eau, ce qui entrainera de nouveau une baisse de la consommation et une augmentation des impayés.

En termes de perception du changement climatique, les acteurs consultés indiquent qu'ils disposent de peu d'information factuelle permettant d'évaluer l'impact du changement climatique sur leur territoire et sur les ressources qu'ils exploitent. Il leur est de ce fait difficile de de se prononcer sur l'impact que cela pourrait avoir sur la gestion du service d'eau potable. Ils sont toutefois globalement convaincus de l'importance des changements climatiques en cours et de leur impact potentiel sur l'hydrologie des bassins versants.

La ressource en eau des gaves reste considérée comme abondante et il n'est pas apparu de préoccupation majeure concernant la disponibilité future des ressources pour l'alimentation en eau potable. La nappe alluviale du gave de Pau est en particulier considérée comme une ressource très importante qui pourrait être exploitée bien au-delà de son niveau actuel. Des difficultés potentielles sont néanmoins identifiées concernant la qualité des eaux souterraines, les débits d'étiage de sources karstiques captées pour de petites collectivités et le développement potentiel de conflits d'usages, notamment entre les usages préleveurs (irrigation, eau potable) et les usages non préleveurs (tourisme lié à l'eau dont kayak ; pêche au saumon).

10. Bibliographie

Acclima Terra (date inconnue) – « Les forêts », Comité Scientifique Régional sur le Changement Climatique. http://www.acclimaterra.fr/thematiques/ecosystemes/les-forets/

Acclima Terra (date inconnue) – « la montagne », Comité Scientifique Régional sur le Changement Climatique. http://www.acclimaterra.fr/thematiques/ecosystemes/la-montagne/

Agence de l'Eau Adour Garonne (2012) - La Garonne du futur, les futurs de la Garonne. Conférence Garonne 2050, 13 décembre 2012 – Toulouse. Synthèse.

Armand C., avec la collaboration de Karnay G. (1992) – Ogeu-les-bains. Sources centrales A et B. Etude hydrogéologique à l'appui d'une demande d'appellation « Montagne ». Rapport BRGM RR-35344-FR.

Armand C., Charbonnyere P., Dusseau P. (1993) – Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du Gave d'Oloron dans le secteur de Castagnède (64).

Association des Géologues du Sud-Ouest (2016) – Dans le cadre de l'Assemblée Générale de l'AGSO à Aurdy – 2 et 3 avril 2016 – Le synclinal d'Oloron-Arudy : sédimentation et magmatisme méso-Crétacé, aspects hydrogéologiques (Francis Bichot et Joseph Canerot, avec la collaboration de Bertrand Fasentieux).

Association Moraine (2011) - Les glaciers des Pyrénées françaises - Rapport d'étude 2010-11.

AtoutFrance (2013) – Évolution et adaptation de l'économie du tourisme et des loisirs au changement climatique dans les territoires de montagne de la Région Midi-Pyrénées.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Cambo-les-bains. Rapport BRGM RP-50104-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Usine d'embouteillage d'Ogeu-les-bains. Rapport BRGM RP-50174-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Lurbe-Saint-Christau. Rapport BRGM RP-50175-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Salies-de-Béarn. Rapport BRGM RP-50176-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale des Eaux Chaudes. Rapport BRGM RP-50177-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale des Eaux Bonnes. Rapport BRGM RP-50178-FR.

Chauveau M., Chazot S., Perrin C., Bourgin P.Y., Sauquet E., et al. Quels impacts des changements climatiques sur les eaux de surface en France à l'horizon 2070 ? La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2013, p. 5 - p. 15.

Chigot D., Mondeilh C. (1987) – Etude sur la protection des captages et des nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 1ère phase : inventaire des captages et diagnostic de qualité. Rapport BRGM/87-SGN-284-AQI

Chigot D., Mondeilh C. (1987) – Etude sur la protection des captages et des nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 2ème phase : Rapport de synthèse des captages d'alimentation en eau potable et carte de vulnérabilité. Rapport BRGM/87-SGN-284-AQIBIS

Corbier P., Ladouche B. (2008) – Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Gestion intégrée des nappes alluviales. Etude des nappes alluviales de la Garonne, de la Dordogne et du Gave de Pau. Module 5 - Année 4.

Corbier P., Wuilleumier 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.

Douat M. et Salomon J-N. (1994) – Nouveaux traçages sur le massif de la Pierre- Saint-Martin (Pyrénées-Atlantiques). Choix d'un site pour l'implantation d'une nouvelle station d'épuration. Karstologia n°23, pp 9-18.

Durand Y., Brun E., Mérindol L., Guyomarc'h G., Lesaffre B., Martin E. (1993) - A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. Annals of Glaciology, vol.18, pp.65-71.

EDF (2007) – plaquette de présentation du GEH Adour et Gaves.

Etcheverry D. (2001) – Une approche déterministe des distributions des temps de transit de l'eau souterraine par la théorie des réservoirs. Thèse de doctorat : Université de Neuchâtel,

Géotherma (1996) - Étude préalable à la définition des périmètres de protection des sources des Eaux Bonnes (Pyrénées-Atlantiques) - inédit.

Giuntoli I., Renard B. (2010) – Identification des impacts hydrologiques du changement climatique : constitution d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages.

Gross G., Kerschner H., Patzelt G. (1977): Methodische Untersuchungen über die Schneegrenze in alpinen Gletschergebieten. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie. 12/2, 223-251.

Jaunat J. (2012) – Caractérisation des écoulements souterrains en milieu fissuré par approche couplée hydrologie-géochimie-hydrodynamisme. Application au massif de l'Ursuya (Pays Basque, France). Thèse de doctorat : Université de Bordeaux 3, 344 p.

Karstologia Mémoires n°19 (2010) – Grottes et karsts de France.

Le Moigne P. (2002) – Description de l'analyse des champs de surface sur la France par le système Safran. Note de centre GMME.

Pomerol C. et Ricour J. (1992) – Terroirs et Thermalisme de France. Editions du BRGM.

Rey F. (2007) – Ressources en eau souterraine dans les chaînons béarnais (Pyrénées-Atlantiques, France). Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés. Thèse de doctorat : Université Sciences et Technologies - Bordeaux I.

Roux J.-C. et al. (2006) – « Aquifères & eaux souterraines en France », Tome 2, BRGM éditions, ISBN 2 – 7159 – 0980 - 2

RTE, Syndicat des Energies Renouvelables, ERDF, ADEeF (2016) – Panorama de l'électricité renouvelable en 2015. 84 p.

Saltel M., Cabaret O. (2014) – Impact du changement climatique sur les eaux souterraines – Évolution et perspectives d'adaptation en Aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-63354-FR, 72 p., 40 fig., 1 ann.

Saplairoles M., Mauroux B. (2003) – Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Appui à la mise en place des réseaux départementaux de suivi qualité et quantité. Module 1. Année 1. Rapport BRGM/RP-52601-FR, 51 p., 8 fig., 10 tabl., 8 ann.

Seguin JJ, Wuilleumier A. (2017 – à paraître) - Recherche d'évolutions climatique et hydrologique dans les bassins versants des Gaves de Pau et d'Oloron. Rapport final. BRGM/RP-66802-FR, 113 p., 67 fig., 29 tabl., 8 ann.

SHEM (2014) – Plaquette institutionnelle 2014.

Syndicat Mixte pour le Développement Rural de l'Arrondissement d'Argelès-Gazost (SMDRA - 2007) :

http://www.valleesdesgaves.com/components/comp_ckfinder/ckfinder/userfiles/files/PDF%20carte/hydro_electricit%C3%A9_gave65_ps.pdf

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2008) – Avis sur la protection des captages des sources Aygues-Nègre, Aygue Blanque et de la prise d'eau de la rivière Ouzom (Pyrénées-Atlantiques). Rapport de l'hydrogéologue agréé - Bichot F.

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2010) – Recherche de ressources en eau dans le secteur d'Aygue Blanque. Rapport du cabinet d'études BERRE.

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2012) – Etude de faisabilité du turbinage de l'eau des sources : Aygue nègre et Aygue blanque. Rapport du bureau d'études CETRA.

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2013) – Recherche de ressources potentielles en eau potable dans la vallée de l'Ouzoum. Synthèse des données existantes. Rapport du bureau d'études CETRA.

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2015) – Recherche de ressources potentielles en eau potable dans la vallée de l'Ouzoum. Compte rendu du suivi des sources de la vallée de l'Ouzoum. Rapport du bureau d'études CETRA.

Université de Bordeaux III et SETMO (1997) – Étude préalable à la définition des périmètres de protection des sources Aygue Nègre et Aygue Blanque (Pyrénées- Atlantiques). Inédit.

Vanara N. (1998) – Le karst du massif des Arbailles (Pyrénées occidentales - France). Contrôles tectonique, climatique, hydrogéologique et anthropique de la morphogenèse. Thèse de doctorat : Université de Bordeaux 3.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2011) – Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - année 1. Rapport final - BRGM/RP-59286-FR, 129 p., 69 ill., 27 tab., 4 ann.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2012) – Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - année 2. Rapport final - BRGM/RP-61020-FR, 93 p., 40 ill., 3 tab., 3 ann.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2013) – Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - (année 3) et essai de détermination d'un index piézométrique standardisé. Rapport BRGM/RP-61807-FR, 110 p., 66 ill., 4 ann.

Winckel A., Mazurier C., Genna A., Dubreuilh J. (2003) – Ressources en eau thermale et minérale du département des Pyrénées-Atlantiques. Recensement, identification et caractérisation des sources thermales et minérales anciennes, abandonnées ou mal connues. Rapport RP-52737-FR.

Wyns R. (2013) – Les altérations : un enregistrement des mouvements verticaux des lithosphères continentales, un nouveau concept de réservoir dans les roches cristallines. Conférence EnSciTerre, OSUC, 27 mars 2013.

Annexe 1

Inventaire bibliographique

A.F.B.A.G. (1972) - Etude des débits sur le bassin de l'adour - 2ème partie : les gaves et les nives (3 tomes).

Armand C., avec la collaboration de Karnay G. (1992) – Ogeu les bains. Sources centrales A et B. Etude hydrogéologique à l'appui d'une demande d'appellation « Montagne ». Rapport BRGM RR-35344-FR.

Armand C., Charbonnyere P., Dusseau P. (1993) - Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du Gave d'Oloron dans le secteur de Castagnède (64).

Association des Géologues du Sud-Ouest (2016) - Dans le cadre de l'Assemblée Générale de l'AGSo à Aurdy - 2 et 3 avril 2016 - Le synclinal d'Oloron-Arudy : sédimentation et magmatisme méso-Crétacé, aspects hydrogéologiques (Francis Bichot et Joseph Canerot, avec la collaboration de Bertrand Fasentieux).

Barraqué B., Isnard L., Montginoul M., D. Rinaudo J., Souriau J. (2011) - Baisse des consommations d'eau potable et développement durable. Responsabilité et Environnement, Vol. 63, pp

Berard P., Mazurier C. (2000) - Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Cambo-les-bains. Rapport BRGM RP 50104-FR.

Berard P., Mazurier C. (2000) – Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Usine d'embouteillage d'Ogeu-les-bains. Rapport BRGM

Berard P., Mazurier C. (2000) - Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Lurbe-Saint-Christau. Rapport BRGM

Berard P., Mazurier C. (2000) - Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale de Salies-de-Béarn. Rapport BRGM RP. 50176-FR

Berard P., Mazurier C. (2000) - Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale des Eaux Chaudes. Rapport BRGM RP.

Berard P., Mazurier C. (2000) - Ressources en eaux thermales et minérales des stations du département des Pyrénées-Atlantiques. Station thermale des Eaux Bonnes. Rapport BRGM RP-

50178-FR.
BIPE (2011) - Rapport d'étape n°2 - Prospective socio-économique et démographique, 172 p.

BIPE (2012) - Prospective socio-économique et démographique : Pressions anthropiques. Rapport final, 199 p.
BIPE (2013) - Bilan du projet Explore 2070 - Résultats et premiers anciennements : Les prélèvements en eau à l'horizon 2070 - Scénario tendanciel - Prospective socio-économique Présentation 28 slides

Blanpain N., Chardon O. (2010) - Projections de population 2007-2060 pour la France métropolitaine : méthode et principaux résultats. 71 p.

Boé J., Terray L., Martin E., Habets F. (2009) - Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century. Water Resources Research, Vol. 45, n/a--n/a

Boé Juilien. (2007) - Changement global et cycle hydrologique : Une étude de régionalisation sur la France. Thèse de doctorat : Université Toulouse III - Paul Sabatiei

Braconnot Pascale., Cassou Christophe., Planton Serge., Swingedouw Didier, Terray Laurent, Voldoire Aurore (2013) - Climat, Modéliser pour comprendre et anticiper.

Brisson N., Denoyes B., rcia de I., Goutouly J-P., Kleinhentz M., Launay M., Michalet R., Ollat N., Pieri P., Van Leeuwen C. (2013) - Prévoir pour agir - La région Aquitaine anticipe le

changement climatique - Chapitre 5 : Agriculture et forêts. Région Aquitaine, 108-125

Brisson N., Levrault F. (2012) - Livre vert du projet Climator - Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces

Caballero Y., Noilhan J. (2003) - Étude de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin Adour Garonne.

Caballero Yvan, Voirin-Morel Sophie, Habets Florence, Noilhan Joël, LeMoigne Patrick, Lehenaff Alain, Boone Aaron (2007) - Hydrological sensitivity of the Adour-Garonne river basin to climate change. Water Resources Research, Vol. 43, n/a--n/a.

Cabaret O., Saltel M. (2012) - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain - phase « Tendances et Scénarios » - Simulations complémentaires - Rapport final, BRGM/RP-61479-FR, 46 p., 21 fig., 4 ann.

Chamayou J., Thiery D. (1976) - Etude hydrogéologique de la plaine alluviale du Gave de Pau entre Artix et Lescar (64).

Chazot S., Terrasson I., Drocourt A. (2012) - Ressources et besoins en eau en France à l'horizon 2030. Etude réalisée par BRL Ingénierie pour le Centre d'Analyse Stratégique. Rapport final

Chigot D., Mondeilh C. (1987) - Etude sur la protection des captages et des nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 1ère phase : inventaire des captages et diagnostic de qualité. Rapport BRGM/87-SGN-284-AQI

Chigot D., Mondeilh C. (1987) - Etude sur la protection des captages et des nappes d'eau souterraine dans le département des Pyrénées-Atlantiques. 2ème phase : Rapport de synthèse de captages d'alimentation en eau potable et carte de vulnérabilité. Rapport BRGM/87-SGN-284-AQIBIS

Corbier P., Ladouche B. (2008) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Gestion intégrée des nappes alluviales. Etude des nappes alluviales de la Garonne, de la Dordogne et

du Gave de Pau. Module 5 - Année 4.

Corbier P., Pédron N., Gomez E., L. Pinault J. (2007) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine. Gestion intégrée des nappes alluviales – Etude des nappes alluviales de la Garonne, de la Dordogne et du Gave de Pau – Module 5 – Année 3 – BRGM/RP-55243-FR. 95 pages, 37 illustrations, 5 annexes.

Corbier P., Wuilleumier 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

Dankers Rutger, Feyen Luc (2009) - Flood hazard in Europe in an ensemble of regional climate scenarios. J. Geophys. Res., Vol. 114, D16108

Douez O. (2012) - Explore 2070 - Hydrologie souterraine - Poitou - Ministère de l'écologie, du developpelent durable et de l'énergie - Armines - BRGM.
Ducharne A., Habets F., Déqué M., Evaux L., Hachour A., Lepaillier A., Lepelletier T., Martin E., Oudin L., Pagé C., Ribstein P., Sauquet E., Thiéry D., Terray L., Viennot P., Boé J.,

Bourqui M., Crespi O., Gascoin S., Rieu J. (2009) - Projet REXHySS - Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme - Programme GICC -Rapport de fin de contrat.

Dupuy A., de Grissac B., Huneau F., Lucas C., Marchet P. (2013) - Prévoir pour agir - La région Aquitaine anticipe le changement climatique - Chapitre 8.4 : Disponibilité des eaux

souterraines. Région Aquitaine, 275-285

Durand Y., Brun E., Mérindol L., Guyomarc'h G., Lesaffre B., Martin E. (1993) - A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. Annals of Glaciology, "Vol. vol.18,

Foradour (2002) - Syndicat des eaux de la vallée des Gaves - Forage n° 2 de Saint Lon les Mines - compte rendu des travaux,

Garonne 2050. (2013) - Syntèse de l'étude sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du bassin Garonne.

Garonne 2050. (2014) - Étude prospective sur les besoins et les ressources en eau à l'échelle du Bassin de la Garonne

Giuntoli I., Renard B. (2010) - Identification des impacts hydrologiques du changement climatique: constitution d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages. Giuntoli I., Renard B., Vidal J-P., Bard A. (2013) - Low flows in France and their relationship to large-scale climate indices. Journal of Hydrology, Vol. 482, 105-118.

Hanson R.T., Newhouse M.W., Dettinger M.D. (2004) - A methodology to asess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States Journal of Hydrology, Vol. 287, 252-269

Herbet C., Pichon A., de Grissac B., Vaucelle S., Paredes E. (2009) - Enseignements de la canicule 2003et des années 2007 et 2008 pour la prise en compte des changements climatiques dans l'estimation des besoins futurs en eau potable. Colloque 193 SHF: «Etiages, Sécheresses, Canicules rares et leurs impacts sur les usages de l'eau», Lyon, 7-8 octobre 2009. Jaunat J. (2012) - Caractérisation des écoulements souterrains en milieu fissuré par approche couplée hydrologie-géochimie-hydrodynamisme. Application au massif de l'Ursuya (Pays Basque

France). Thèse de doctorat : Université de Bordeaux 3, 344 Jaunat J., Huneau F., Dupuy A., Celle-Jeanton H., Le Coustumer P. (2015) - Investigations hydrochimiques et hydrodynamiques pour préciser les modalités d'écoulements dans les

aquifères de socle. Application au massif de l'Ursuya (France, 64). Vingtièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues « Aquifères de socle ; le point sur les concepts et les applications opérationnelles » La Roche-sur-Yon, juin 2015

Le Gros C., Sauquet E., LANG M., ACHARD A-L., Leblois E., Biton B. (2015) - Les annuaires hydrologiques de la Société hydrotechnique de France : une source d'information patrimoniale pour la connaissance de l'hydrologie en France. La Houille Blanche, Vol. 4, p.66-77.

Lucas C. (2011) - Changements climatiques et Eaux souterraines. Etat des connaissances sur le bassin Adour-Garonne - Institut EGID Université Bordeaux 3.

Mauroux B., David A. (1998) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 2. Réseaux de surveillance des niveaux, de la qualité et des prélèvements. Définition des réseaux départementaux de surveillance de la piézométrie et de la qualité en Aquitaine. Rapport BRGM/RR-40112-FR

Blum P., Kurylyk B-L., Bayer P. (2014) - Observed groundwater temperature reponse to recent climate change. Hydrology and earth system sciences, Vol. 18, 4453-4466. Montginoul M. (2002) - La consommation d'eau des ménages en France : état des lieux, UMR Cemagref-ENGEES en Gestion des Services Publics, Strasbourg, 41 p.

Montginoul M. (2013) - La consommation d'eau en France : historique, tendances contemporaines, déterminants. Sciences Eaux & Territoires, Vol. 10, pp. 68-72.

Montginoul M., D. Rinaudo J. (2011) - Quels outils de gestion des prélèvements en eau agricole pour faire face à la réduction annoncée des disponibilités en eau ? Eléments de réflexion à

partir de scénarios de prospective discutés avec des agriculteurs et des institutionnels. 6èmes journées de recherches en sciences sociales, INRA, SFER, CIRAD, 18 p.

ONERC (2009) - Changement climatique Coûts des impacts et pistes d'adaptation - Rapport au Premier ministre et au parlement. La documentation Française ONERC (2010) - Villes et adaptation au changement climatique. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 158 p.

ONERC (2012) - L'adaptation de la France au changement climatique. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, 80 p

ONERC (2013) - Mieux comprendre le GIEC

ONERC 2007 (2007) - Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique, la Documentation française, Paris, 158 p.

Pagé C., Terray L. (2010) - Nouvelles projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21 ème siècle : les scénarii SCRATCH2010.

Paulin C. (1998) - Département des Landes. Syndicat Intercommunal d'Alimentation d'Eau Potable de la Vallée des Gaves. Expertise hydrogéologique en vue de la délimitation des périmètres de protection du forage F1 de Saint-Lon-les-Mines (Landes)., 20 p. .

Peings Y., Jamous M., Planton S., Le Treut H. (2011) - Le climat de la France au XXIème siècle Volume 1 - Scénarios régionalisés - Scénarios climatiques : indices sur la France

métropolitaine pour les modèles français ARPEGE-Climat et LMDz et quelques projections pour les DOM-COM, Mission confiée à Jean Jouzel.

Planton S., Cazenave A., Delecluse P., Dörfliger N., Gaufrès P., Idier D., Jamous M., Le Cozannet G., Le Treut H., Peings Y. (2012) - Le climat de la France au XXIe siècle - Evolution

Quintana Seguí P., Ribes A., Martin E., Habets F., Boé J. (2010) - Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins. Journal of Hydrology, Vol. 383, 111-124.

Rey F. (2007) - Ressources en eau souterraine dans les chaînons béarnais (Pyrénées-Atlantiques, France). Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés. Thèse de doctorat : Université Sciences et Technologies - Bordeaux I,

Rinaudo J.D. (2013) - Prévoir la demande en eau potable : une comparaison des méthodes utilisées en France et en Californie. Sciences Eaux \& Territoires, Vol. 10, pp. 78-85

Saltel M., Cabaret O. (2014) - Impact du changement climatique sur les eaux souterraines - Évolution et perspectives d'adaptation en Aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-63354-FR, 72 p., 40

Saplairoles M., Mauroux B (2003) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Appui à la mise en place des réseaux départementaux de suivi qualité et quantité. Module 1. Année

1. Rapport BRGM/RP-52601-FR, 51 p., 8 fig., 10 tabl., 8 ann.

Sauquet E., Dupeyrat A., Hendrickx F., Perrin C., Samie R., Vidal J.P. (2009) - IMAGINE 2030, climat et aménagements de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau er 2030 ? Programme RDT volet 2 - Rapport de fin de contrat

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2008) - Avis sur la protection des captages des sources Aygues-Nègre, Aygue Blanque et de la prise d'eau de la rivière Ouzom (Pyrénées-Atlantiques). Rapport de l'hydrogéologue agréé - Bichot F.

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2010) - Recherche de ressources en eau dans le secteur d'Aygue Blanque. Rapport du cabinet d'études BERRE

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2012) - Etude de faisabilité du turbinage de l'eau des sources : Aygue nègre et Aygue blanque. Rapport du bureau d'études CETRA.
Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2013) - Recherche de ressources potentielles en eau potable dans la vallée de l'Ouzoum. Synthèse des données existantes. Rapport du bureau d'études

Syndicat Mixte du Nord-Est de Pau (2015) - Recherche de ressources potentielles en eau potable dans la vallée de l'Ouzoum. Compte rendu du suivi des sources de la vallé

Rapport du bureau d'études CETRA.

Terrier S., Bieri M., Jordan F., Schleiss A-J. (2015) - Impact du retrait glaciaire et adaptation du potentiel hydroélectrique dans les Alpes suisses. La Houille Blanche, Vol. 1, 93-101

Vanara N. (1998) - Le karst du massif des Arbailles (Pyrénées occidentales - France). Contrôles tectonique, climatique, hydrogéologique et anthropique de la morphogenèse. Thèse de doctorat : Université de Bordeaux 3

Vernoux J.F., Lions J., Petelet-Giraud E., Seguin J.J., Stollsteiner P., Lalot E. (2010) - Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE. Rapport BRGM/RP-57044-FR, 207 pages, 91 illustrations, 1 annexe.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2011) - Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - année 1. Rapport final BRGM/RP-59286-FR, 129 p., 69 ill., 27 tab., 4 ann.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2012) - Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - année 2. Rapport final BRGM/RP-61020-FR, 93 p., 40 ill., 3 tab., 3 ann.

Vernoux J.F., Seguin J.J. (2013) - Établissement d'un réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines - (année 3) et essai de détermination d'un index piézométrique standardisé. Rapport BRGM/RP-61807-FR, 110 p., 66 ill., 4 ann.

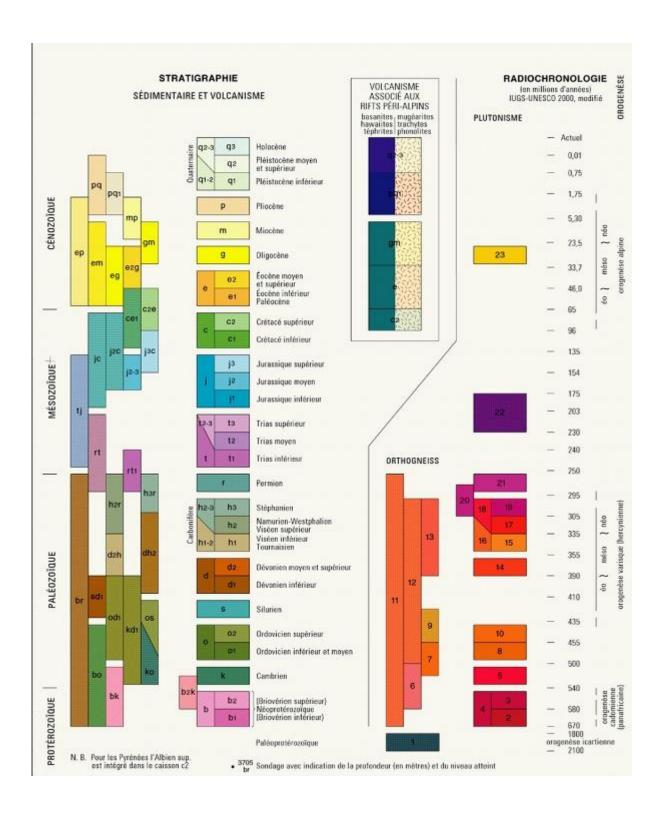
Whitehead P.G., Wilby R.L., Battarbee R.W., Kernan M., Wade A.J. (2009) - A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. Hydrological Sciences Journal, Vol.

54, 101-123.

Winckel A., Mazurier C., Genna A., Dubreuilh J. (2003) - Ressources en eau thermale et minérale du département des Pyrénées-Atlantiques. Recensement, identification et caractérisation des sources thermales et minérales anciennes, abandonnées ou mal connues. Rapport RP-52737-FR

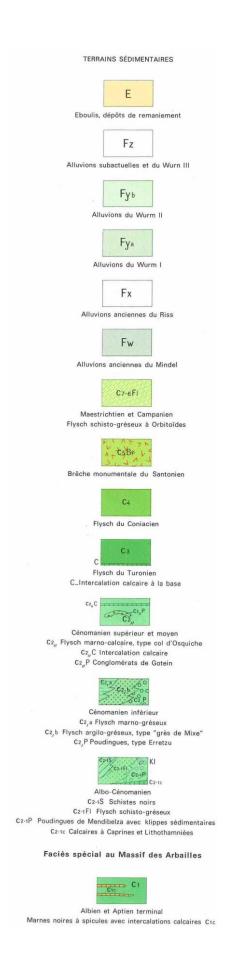
Annexe 2

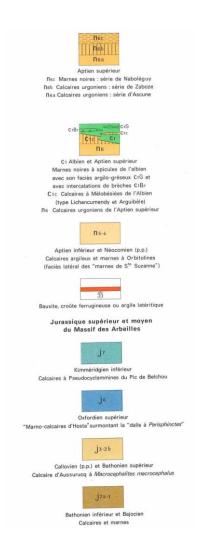
Légende de la carte géologique au 1/1000000e

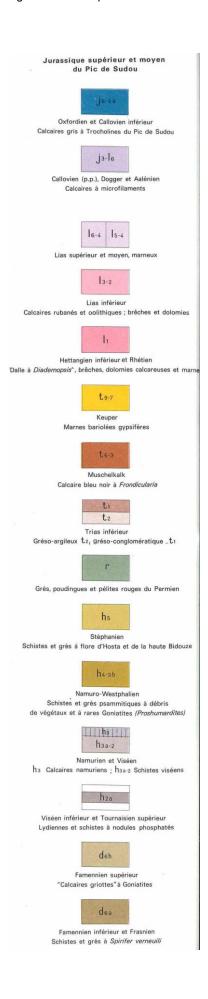


Annexe 3

Légende de la carte géologique au 1/50000^e de Tardets-Sorholus







Hydrogéologie, usage de l'eau et changement climatique dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron



Entités hydrogéologiques de niveaux 2 et 3 de la BD-LISA présentes dans les bassins versants des gaves

Le code de couleurs adopté pour la présentation est le suivant :

- en bleu, entité aquifère ;
- en blanc (pour les entités de niveau 3 exclusivement), entité semi-perméable ;
- en orange, entité non perméable (c'est-à-dire en pratique très peu perméable, ne permettant pas en particulier l'exploitation de l'eau qu'elle contient).

Entités hydrogéologiques de niveau 2 de la BD-LISA

CodeEH-NIV2	LibelléEH-NIV2
306AA	Terrasses (Sables, graviers et galets) quaternaires du bassin Adour-Garonne
308AE	Epandages alluviaux anciens a graviers et galets du Lannemezan (Plio-quaternaire)
24244	Sables fauves et verts, glaises bigarrées et argiles du Miocène moyen a superieur du
312AA	Bassin Aquitain
318AA	Molasses et argiles du Miocène inférieur du Bassin Aquitain
322AA	Molasses et argiles Oligo-miocène du Bassin Aquitain
326AA	Molasses et argiles Oligo-éocènes du Bassin Aquitain
330AA	Molasses et argiles de l'Eocène superieur du Bassin Aquitain, incluant les formations
330AA	du bassin de Carcassone en Iro
334AA	Calcaires et marnes de l'Eocène moyen du sud du Bassin Aquitain
334AC	Sables Infra-molassiques de l'Eocène inférieur a moyen du sud du Bassin Aquitain
334AE	Molasses et argiles de l'Eocène inférieur du Bassin Aquitain
334AH	Sables, grès et calcaires gréseux de l'Eocène inférieur basal du sud du Bassin
334AIT	Aquitain
340AA	Calcaires, calcaires dolomitiques, marnes et Flyschs paléocènes du sud du Bassin
340/4/	Aquitain
400AD	Sédiments mésozoiques pyrénéens intensivement plissés du bassin de Salies de
400/10	Bearn
400AF	Bassin du flysch du sud du Bassin Aquitain et formations impermeables du front
400711	nord pyrénéen
400AG	Bassin du flysch sud pyrénéen
400AH	Bassin triasique de Bedous
402AC	Chaînons calcaire du secondaire de l'anticlinal de Sainte suzanne
402AF	Chaînons calcaire du secondaire de Rebenacq - Montaut
402AG	Chaînons calcaire du secondaire de Sarrance
402AJ	Chaînons calcaire du secondaire des Baronnies ouest
402AK	Chaînons calcaire des formations paleogene du front nord pyrénéen
402AN	Chaînons calcaire du secondaire du Massif de la Pierre Saint Martin
402AO	Chaînons calcaire du secondaire du Massif des Arbailles
402AP	Chaînons calcaire du secondaire du Massif des eaux bonnes
402AT	Chaînons calcaire du secondaire de Ahargou - Layens - Montagnou
402AU	Chaînons calcaire du secondaire de Durban - Betharram
402AV	Chaînons calcaire du secondaire du mail Arrouy - Arudy
404AF	Epandages alluviaux anciens a graviers et galets du Lannemezan (Plio-quaternaire)
404AK	Massif de l'Igountze
404AN	Massif de Mendibelza - Esterenguibel
404AT	Massif du Neouvielle
404AU	Massif pyrénéen central
948AE	Alluvions des Gaves réunis (confluence des Gave de Pau et Gave d'Oloron)
948AG	Alluvions du Gave de Pau
948AI	Alluvions de la vallée du Gave d'Oloron

Entités hydrogéologiques de niveau 3 de la BD-LISA

CodeEH-NIV3	LibelleEH NIV 3
306AA01	Moyennes terrasses (sables, graviers et galets) Quaternaires du bassin Adour Garonne
306AA02	Hautes terrasses (sables, graviers et galets) Quaternaires du bassin Adour Garonne
000.1.02	(
308AE01	Epandages alluviaux anciens à graviers et galets du Lannemezan (Plio-Quaternaire)
312AA03	Glaises bigarrées du Miocène supérieur du bassin aquitain
312AA05	Sables verts et fauves du Miocène moyen du bassin aquitain
	· · ·
318AA03	Molasses du Miocène du bassin aguitain
	·
322AA03	Molasses Oligo-Miocènes du bassin aquitain
326AA05	Molasses Oligo-Eocènes du bassin aquitain
330AA01	Marnes diachrones des milieux profonds et proximaux de l'Eocène du sud du bassin aquitain
330AA03	Molasses de l'Eocène supérieur du bassin aquitain
334AA01	Calcaires et marnes de l'Eocène moyen du sud du bassin aquitain
334AC01	Sables infra-molassiques de l'Eocène inférieur a moyen du sud du bassin aquitain
334AE01	Molasses et argiles de l'Eocène inférieur du bassin aquitain
334AH01	Sables, grès et calcaires gréseux de l'Eocène inférieur basal du sud du bassin aquitain
340AA01	Flyschs Paléocènes du sud du bassin aquitain
340AA02	Calcaires, calcaires dolomitiques et marnes du Paléocène du sud du bassin aquitain
400AD01	Flyschs et marnes du Crétacé inférieur du bassin de Salies de Béarn
400AD02	Calcaires du Jurassique et du Crétacé inférieur du bassin de Salies de Béarn
400AD03	Argiles, évaporites et ophites du Trias du bassin de Salies de Béarn
400AF01	Argiles à galets du Pliocène et du Lannemezan du front nord pyrénéen
400AF03	Molasses continentales Oligocènes du front nord pyrénéen
400AF04	Marnes et argiles de l'Eocène du sud du front nord pyrénéen
400AF06	Flyschs Crétacés du sud du bassin aquitain
400AF08	Grès et dolomie du Permo - Trias du front nord pyrénéen
400AG01	Calcaires et argiles du Paléogène du bassin sud pyrénéen
400AG02	Flyschs du Crétacé sud pyrénéen
400AH01	Flyschs du Crétacé du bassin de Bedous
400AH02	Calcaires et grès du Trias du bassin de Bedous
400AH03	Argiles, évaporites et ophites du Trias du bassin de Bedous
402AC01	Calcaires du Crétacé inférieur de l'anticlinal de Sainte Suzanne
402AC02	Flyschs et marnes du Crétacé inférieur de l'anticlinal de Sainte Suzanne
402AF01	Calcaires du Crétacé inférieur du chaînon de Rebenacq - Montaut
402AF02	Calcaires du Jurassique du chaînon de Rebenacq - Montaut
402AF03	Grès et conglomérats du Permo-Trias du chaînon de Rebenacq - Montaut
402AF04	Schistes du Paléozoïque du chaînon de Rebenacq - Montaut
402AG01	Calcaires du Crétacé inférieur du chaînon de Sarrance
402AG02 402AG03	Flyschs et marnes du Crétacé inférieur du chaînon de Sarrance Calcaires du Jurassique moyen et supérieur du chaînon de Sarrance
402AG04	Argiles, évaporites, ophites, calcaires et dolomies du Trias et du Jurassique inférieur du chaînon de Sarrance
402AJ02	Marnes et calcaires argileux du Crétacé inférieur du chaînon des Baronnies ouest
402AJ02 402AJ03	Calcaires et dolomies du Jurassique moyen et supérieur du chaînon des Baronnies ouest
402AJ05	Calcaires et dolomies du Jurassique inférieur du chaînon des Baronnies ouest
402AJ06	Argiles et marnes bariolées du Trias supérieur du chaînon des Baronnies ouest
402AJ07	Calcaires, dolomies et conglomérats du Trias moyen et inférieur du chaînon des Baronnies ouest
402AK02	Calcaires, calcaires dolomitiques et marnes du Paléocène du front nord pyrénéen
402AN01	Flysch du massif de La Pierre Saint Martin
402AN02	Calcaires des Canyons du Crétacé supérieur du massif de La Pierre Saint Martin
402AO01	Calcaires des Canyons de Cretace superieur du massif de La Fierre Saint Martin
402AO02	Marnes noires du Crétacé inférieur (Aptien-Albien) du Massif des Arbailles
402AO03	Calcaires du Jurassique moyen et supérieur du Massif des Arbailles
402AO04	Argiles, évaporites et ophites du Trias et du Jurassique inférieur du Massif des Arbailles
402AO05	Grès et conglomérats du Trias du Massif des Arbailles
1027003	ores et componierates du trius du mussil des Arbutilles

CodeEH-NIV3	LibelleEH NIV 3
402AP01	Calcaires des Canyons du Crétacé supérieur du massif des Eaux Bonnes
402AP02	Flyschs et marnes du Paléozoïque et du mesozoique du massif des Eaux Bonnes
402AP03	Calcaires du Paléozoïque supérieur et du Trias du massif des Eaux Bonnes
402AT01	Calcaires du Crétacé inférieur des massifs de Ahargou - Layens - Montagnou
402AT02	Calcaires du Jurassique moyen et supérieur des massifs de Ahargou - Layens - Montagnou
402AT03	Formations imperméables du Secondaire des massifs de Ahargou - Layens - Montagnou
402AT04	Calcaires du Trias des massifs de Ahargou - Layens - Montagnou
402AU01	Calcaires du Crétacé inférieur des chaînons de Durban - Betharram
402AU02	Flyschs et marnes du Crétacé inférieur des chaînons de Durban - Betharram
402AU03	Calcaires du Jurassique moyen et supérieur des chaînons de Durban - Betharram
402AU04	Marnes du Trias et du Jurassique inférieur des chaînons de Durban - Betharram
402AV01	Calcaires du Crétacé inférieur des chaînons du Mail Arrouy - Arudy
402AV02	Flyschs et marnes du Crétacé inférieur des chaînons du Mail Arrouy - Arudy
402AV03	Calcaires du Jurassique moyen et supérieur des chaînons du Mail Arrouy - Arudy
402AV04	Marnes du Trias et du Jurassique inférieur des chaînons du Mail Arrouy - Arudy
404AF01	Granitoïdes du Grand Arroubert et pluton de Cauterets
404AK01	Flyschs du massif d'Igountze
404AK02	Argiles, évaporites et ophites du Trias du massif de l'Igountze
404AK03	Grès et conglomérats du Permo-Trias du massif de l'Igountze
404AK04	Formation du Paléozoïque supérieur du massif de l'Igountze
404AK05	Calcaires du Paléozoïque supérieur du massif de l'Igountze
404AK06	Schistes et calcaires du Paléozoïque inférieur du massif de l'Igountze
404AN04	Schistes du Paléozoïque supérieur du massif de Mendibelza
404AN05	Calcaires du Paléozoïque supérieur du massif de Mendibelza
404AN06	Schistes du Paléozoïque inférieur du massif de Mendibelza
404AT01	Granitoïdes du massif de Néouvielle
404AU01	Flyschs du Crétacé de la haute chaine
404AU02	Calcaires du Crétacé supérieur de la haute chaine
404AU03	Calcaires, calcaires gréseux et grès (calcaires des Canyons) du Cénomanien - Eocène inférieur du massif de la haute chaine
404AU04	Formations du Secondaire des pics Bergon, de la Marere et de Tacha de la haute chaine
404AU05	Formations imperméables du Secondaire de la haute chaine
404AU06	Schistes du Paléozoïque supérieur de la haute chaine
404AU07	Calcaires du Paléozoïque supérieur
404AU08	Schistes du Paléozoïque inférieur de la haute chaine
404AU09	Ensemble volcanique Permien de la haute chaine (Ossau-Pic Arlet)
404AU10	Granitoïdes du pluton des Eaux Chaudes et du pluton occidental de Cauterets
404AU12	Granitoïdes des massifs de Serradiouse et du Soum Haut
404AU16	Complexe métamorphique et anatectique de Gavarnie-Héas
948AE01	Alluvions récentes et des basses terrasses des Gaves réunis (Gave de Pau et Gave d'Oloron)
948AG01	Alluvions des basses et moyennes terrasses du Gave de Pau
948AI01	Alluvions des basses et moyennes terrasses du Gave d'Oloron
948AI03	Alluvions de la basse vallée du Saison (ou Gave de Mauléon)
948AI05	Alluvions de la basse vallée du Vert
948AI07	Alluvions de la basse vallée du Gave d'Aspe
948AI09	Alluvions de la basse vallée du Gave d'Ossau

Ouvrages inventoriés ayant fait l'objet d'un test hydrodynamique

Deux tableaux sont présentés dans cette annexe. Ils correspondent respectivement aux :

1/ tests réalisés par pompage

2/ tests de perméabilité

Code national BSS	Nom commune	Lieu-dit	XL93 YL93	3 Aquifere	Date Pompages Essais	Nature tests
10032X0013/F	SALIES-DE-BEARN	BAILLENX	381707 6272617	17 Crétacé supérieur	10 et 11/07/1986	Essai de nappe
10032X0016/SALIES	SALIES-DE-BEARN	BAILLENX	381705 6272617 Trias	17 Trias	23 au 26/04/1991	Essai de nappe
10033X0029/F3	SALLES-MONGISCARD	BAURE	390169 6272887	87 Calcaires urgoniens	28/05/1986	air lift
10033X0030/F4	SALLES-MONGISCARD	BAURE	330174 62728	390174 6272887 Calcaires urgoniens	mai 1986?	air lift
10035X0001/ERH	CASTAGNEDE	CASTAGNEDE,P2	376380 6270329 Alluvions	29 Alluvions	27/11/1992 - 09/12/1992	Essai de nappe
10035X0003/P1	CASTAGNEDE	CASTAGNEDE P1	376366 6269909 Alluvions	09 Alluvions	27/11/1992 - 09/12/1992 Essai de nappe	Essai de nappe
10035X0009/FE2	AUTERRIVE	MÉANDRE DE AUTERRIVE	376790 6271256 Alluvions	:56 Alluvions	07/08/2001	Essai de nappe
10035X0013/FE2	AUTERRIVE	MEANDRE D'AUTERRIVE - PARCELLE ZC 15	376707 6271533 Alluvions	33 Alluvions	année 2007?	Essai de nappe
10035X0014/F1	CASTAGNEDE	AUTERRIVE	376625 6270942 Alluvions	42 Alluvions	27/11/1992 - 09/12/1992 Essai de nappe	Essai de nappe
10035X0015/F2	CASTAGNEDE	AUTERRIVE	376499 6270984 Alluvions	184 Alluvions	27/11/1992 - 09/12/1992 Essai de nappe	Essai de nappe
10036X0044/P	SAUVETERRE-DE-BEARN	BORDES DE BAS.GAVE D'OLORON	381535 6262593 Alluvions	93 Alluvions	14/12/1989	Essai de nappe
10036X0055/FE1	AUTERRIVE	MEANDRE D'AUTERRIVE - PARCELLE ZC 17	376853 6271495 Alluvions	95 Alluvions	01/02/2007	Essai de nappe
10046X0089/P	ARTIX	ARTIX-P1	410832 6260499 Alluvions	.99 Alluvions	12/10/2005	Essai de nappe
10046X0090/P2	ARTIX	ARTIX-P2	411130 6260256 Alluvions	:56 Alluvions	19/10/2005	Essai de nappe
10046X0091/P3	LABASTIDE-CEZERACQ	ARTIX-P3	411279 6260094 Alluvions	94 Alluvions	06/10/2005	Essai de nappe
10292X0024/P4	BESINGRAND	ARTIX-P4	410766 6259899 Alluvions	99 Alluvions	26/10/2005	Essai de nappe
10293X0034/F1	ARTIGUELOUVE	SALIGUE - DEP.2	418271 6253801 Alluvions	i01 Alluvions	01/01/1981	Essai de nappe
10293X0047/P10	ARBUS	PUITS N° 10	415242 6256132 Alluvions	32 Alluvions	24/11/1989	Essai de nappe
10305X0002/P1	MAZERES-LEZONS	STATION DE POMPAGE (5 PUITS)	427775 6248474 Alluvions	.74 Alluvions	17/06/1963	Essai de nappe
10305X0011/F6	MAZERES-LEZONS	MAZERES 6	428074 6248361 Alluvions	161 Alluvions	23/10/2008	Essai de nappe
10305X0013/F8	MAZERES-LEZONS	MAZERES-8	427964 6248402 Alluvions	-02 Alluvions	27/10/2008	Essai de nappe
10305X0014/F9	MAZERES-LEZONS	WAZERES-9	428124 6248391 Alluvions	91 Alluvions	05/11/2008	Essai de nappe
10305X0015/F10	MAZERES-LEZONS	MAZERES-10	428183 6248280 Alluvions	:80 Alluvions	20/11/2008	Essai de nappe
10305X0016/F11	MAZERES-LEZONS	MAZERES-11	428353 6248178 Alluvions	78 Alluvions	09/10/2009	Essai de puits
10305X0017/F12	MAZERES-LEZONS	MAZERES-12	428354 6248298 Alluvions	:98 Alluvions	29/10/2008	Essai de nappe
10305X0079/P14	RONTIGNON	LE MOULIN	429430 6246827 Alluvions	27 Alluvions	06/10/2009	Essai de puits
10305X0080/P16	MEILLON	P16 SALIGUE DE CAPTAT	430312 6245938 Alluvions	38 Alluvions	07/10/2009	Essai de puits
10305X0240/P17	MEILLON	SALIGUE / MEILLON 17	430086 6246320 Alluvions	20 Alluvions	13/11/2009	Essai de puits
10306X0033/F2	BORDES	BORDES ANGAIS F2	435418 62441	435418 6244147 Sables Infra-Molassiques	22/04/1985	Essai de nappe
10306X0034/F3	BORDES	BORDES ANGAIS F3	434608 62446	434608 6244675 Sables Infra-Molassiques	21/05/1985	Essai de nappe
10306X0035/F4	BORDES	BORDES ANGAIS F4	435005 62443	435005 6244396 Sables Infra-Molassiques	10/06/1985	Essai de nappe
10306X0036/F1	BORDES	BORDES ANGAIS F1	434566 62439	434566 6243990 Sables Infra-Molassiques	19/05/1998	Essai de nappe
10511X0004/F	OLORON-SAINTE-MARIE	DRAINS DE ST-PEE-D'EN-HAUT	403037 6237290 Alluvions	:90 Alluvions	21 au 23/07/1970	Essai de nappe
10524X0007/S	LOURDES	AU LIEU DIT LE TURONET (S2)	453959 62282	453959 6228295 Crétacé supérieur	28/07/1971	Essai de nappe
10528X0083/S	LOURDES	GARE SNCF (F1)	452538 6227238 Alluvions	:38 Alluvions	12 au 14/08/1975	Essai de nappe

Code national BSS	Nom commune	Lieu-dit	XL93	YL93	Aquifere	Date Test Perméabilité
10036X0031/SM33	SAINT-GLADIE- ARRIVE-MUNEIN	GAVE D'OLORON - MUNEIN	382255	6262485	Crétacé sup	09/10/1956
						23/01/1956
						23/01/1956
10294X0037/S56-13	LESCAR	GAVE DE PAU	420019	6253474	Alluvions	24/01/1956
10294700377330-13	LEGOAR	GAVE DE FAO	420013	0233474	Alluvioris	24/01/1956
						25/01/1956
						25/01/1956
						28/01/1956
10294X0038/S54-16	LONS	GAVE DE PAU	421947	6251133	Alluvions	30/01/1956
						30/01/1956
						11/01/1956
						12/01/1956
				33 6252828 Alluvions		12/01/1956
	LESCAR				Alluvions	13/01/1956
						13/01/1956
10294X0039/S56-10		GAVE DE PAU	420583			14/01/1956
						16/01/1956
					17/01/1956	
						18/01/1956
						19/01/1956
						18/01/1956
10294X0040/S56-14	LESCAR	GAVE DE PAU	420897	6252194	Alluvions	18/01/1956
						19/01/1956
10294X0041/S56-15	LESCAR	GAVE DE PAU	421255	6251950	Alluvions	14/01/1956
1029470041/556-15	LESCAR	GAVE DE PAU	421233	6251950	Alluvions	17/01/1956
10294X0043/S52-02	BILLERE	GAVE DE PAU	424536	6249817	Alluvions	07/01/1956
1029470043/352-02	DILLERE	GAVE DE PAU	424536	0249017	Alluvions	07/01/1956
10294X0044/S52-03	BILLERE	GAVE DE PAU	423309	6250249	Alluvions	05/01/1956
1029470044/352-03	DILLERE	GAVE DE PAU	423309	0230249	Alluvions	05/01/1956
						06/01/1956
10294X0045/S52-04	BILLERE	GAVE DE PAU	424225	6249720	Alluvions	06/01/1956
						07/01/1956
10294X0052/S54-07	LONS	GAVE DE PAU	421946	6252004	Alluvions	19/12/1955
1023470032/334-07	LONS	GAVE DE PAU	721340	0232004	Alluviolis	20/12/1955

Physico-chimie mesurée lors des campagnes de jaugeages

	Indice BSS	Commune	Lieu-dit	23-27 mai	25-29 juillet	14-18 novembre	27 février -
			2.00 0.0	2016	2016	2016	3 mars 2017
	10518X0016	Bielle	Ayguelade	10.6	11.5	10.6	9.6
	10525X0005	Louvie-Juzon	Gourgouch	11.5	11.7	11.2	11.0
	10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	6.5	6.6	6.5	6.3
	10516X0007	Sarrance	Mourtes	10.7	10.7	10.6	10.4
	10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	9.6	9.7	9.6	9.5
Température	10692X0010	Accous	Care	8.7	8.6	8.4	8.5
(°C)	10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	6.5	8.6	7.3	5.6
	10696X0009	Accous	Biscos	6.7	7.4	7.1	6.7
	10684X0022	Arette	Aumarre	7.4	7.4	7.3	7.2
	10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	non visitée	8.9	8.9	7.4
		Larrau	Jeuxalguiberria	non visitée	non mesurée	0.9	8.0
	10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	non visitée	non visitée	9.0	6.7
		Arette	Abat d'Ire 2	non visitée	non visitée	non mesurée	8.1
		Arette	Pas d'Este	non visitée	non visitée	non mesurée	8.7

Min	Max	ecart-type	Ecart-type / moyenne
9.6	11.5	0.8	7%
11.0	11.7	0.3	3%
6.3	6.6	0.1	2%
10.4	10.7	0.1	1%
9.5	9.7	0.1	1%
8.4	8.7	0.1	2%
5.6	8.6	1.3	18%
6.7	7.4	0.3	5%
7.2	7.4	0.1	1%
7.4	8.9	0.9	10%

	Indice BSS	Commune	Lieu-dit	23-27 mai	25-29 juillet	14-18 novembre	27 février -
	muice B33	Commune	Lieu-uit	2016	2016	2016	3 mars 2017
	10518X0016	Bielle	Ayguelade	8.0	7.9	8.0	8.0
	10525X0005	Louvie-Juzon	Gourgouch	7.6	8.6	7.7	7.5
	10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	7.8	7.7	8.0	7.9
	10516X0007	Sarrance	Mourtes	7.6	7.4	7.7	7.6
	10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	7.5	8.4	7.5	7.4
	10692X0010	Accous	Care	7.8	7.8	7.9	7.6
pH (-)	10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	7.9	8.1	8.1	7.9
	10696X0009	Accous	Biscos	7.1	7.4	7.5	7.1
	10684X0022	Arette	Aumarre	7.9	7.8	7.8	7.9
	10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	non visitée	6.3	6.9	6.8
		Larrau	Jeuxalguiberria	non visitée	non mesurée	0.9	6.4
	10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	non visitée	non visitée	7.9	7.8
		Arette	Abat d'Ire 2	non visitée	non visitée	non mesurée	5.6
		Arette	Pas d'Este	non visitée	non visitée	non mesurée	7.6

Min	Max	ecart-type	Ecart-type / moyenne
7.9	8.0	0.1	1%
7.5	8.6	0.5	7%
7.7	8.0	0.1	2%
7.4	7.7	0.1	2%
7.4	8.4	0.5	6%
7.6	7.9	0.1	1%
7.9	8.1	0.1	1%
7.1	7.5	0.2	3%
7.8	7.9	0.1	1%
6.3	6.9	0.4	5%

	Indice BSS	Communo	Lieu-dit	23-27 mai	25-29 juillet	14-18 novembre	27 février -	
	indice BSS	Commune	Lieu-ait	2016	2016	2016	3 mars 2017	
	10518X0016	Bielle	Ayguelade	265	370	319	362	
	10525X0005	Louvie-Juzon	Gourgouch	447	443	448	438	
	10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	143	141	149	141	
	10516X0007	Sarrance	Mourtes	305	300	288	299	
	10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	403	393	394	387	
Conductivité	10692X0010	Accous	Care	267	253	268	268	
électrique	10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	142	142	170	151	
(μS/cm)	10696X0009	Accous	Biscos	80	82	81	85	
	10684X0022	Arette	Aumarre	317	390	344	303	
	10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	non visitée	42	73	64	
		Larrau	Jeuxalguiberria	non visitée	non mesurée	/3	40	
	10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	non visitée	non visitée	203	176	
		Arette	Abat d'Ire 2	non visitée	non visitée	non mesurée	22	
		Arette	Pas d'Este	non visitée	non visitée	non mesurée	278	

Min	Max	ecart-type	Ecart-type / moyenne
265	370	48.2	15%
438	448	4.5	1%
141	149	3.6	3%
288	305	7.2	2%
387	403	6.6	2%
253	268	7.3	3%
142	170	13.3	9%
80	85	2.1	3%
303	390	38.3	11%
42	73	16.1	27%

	Indice BSS	Commune	Lieu-dit	23-27 mai	25-29 juillet	14-18 novembre	27 février -
RedOx (mV)	muice B33	Commune	Lieu-uit	2016	2016	2016	3 mars 2017
	10518X0016	Bielle	Ayguelade	non mesurée	251	226	181
	10525X0005	Louvie-Juzon	Gourgouch	368	291	202	186
	10696X0027	Borce	Lous-Cloutets	non mesurée	294	253	189
	10516X0007	Sarrance	Mourtes	147	197	235	181
	10518X0012	Bilhères	Riou, bas-service	non mesurée	219	190	192
D- 40 ()()	10692X0010	Accous	Care	non mesurée	204	154	238
RedOx (mv)	10698X0017	Laruns	Trois-Sapins	196	312	238	192
	10696X0009	Accous	Biscos	non mesurée	222	284	269
	10684X0022	Arette	Aumarre	non mesurée	264	220	291
	10682X0004	Larrau	Jeuxalberri	non visitée	363	232	254
		Larrau	Jeuxalguiberria	non visitée	non mesurée	232	247
	10515X0004	Arette	Abat d'Ire 1	non visitée	non visitée	269	171
		Arette	Abat d'Ire 2	non visitée	non visitée	non mesurée	361
		Arette	Pas d'Este	non visitée	non visitée	non mesurée	209

Min	Max	ecart-type	Ecart-type / moyenne
181	251	35.7	16%
186	368	84.8	32%
189	294	53.0	22%
147	235	36.5	19%
190	219	16.2	8%
154	238	42.7	21%
192	312	55.8	24%
222	284	32.5	13%
220	291	35.8	14%
232	363	70.1	25%

Compte rendu d'installation du système de mesure automatisé du débit de la source de Gourgouch (Louvie-Jouzon)

NB : les liens d'accès au site Internet, ainsi que les logins et mots de passe ont été effacés du compte-rendu.



Direction Régionale Grand Ouest Diapason – Bâtiment B Rue Jean Bart 31670 LABEGE Tél.: 05.61.00.70.40

e-mail: secretariat.toulouse-fr@anteagroup.com

Labège, le 18/04/2017

BRGM
Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine
Parc technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci
33600 PESSAC

A l'attention de Monsieur WUILLEUMIER

N/Réf.: C17-0092

Objet : Suivi du débit de la source de Gourgouch (Louvie-Juzon, 64) - Mise en place d'une sonde de mesure autonome Affaire suivie par : Fabrice REY ☎ 05.61.73.76.22 - email : fabrice.rey@anteagroup.com

Monsieur WUILLEUMIER,

Dans le cadre du suivi du débit de la source Gourgouch (Louvie-Juzon, 64), le BRGM a mandaté Antea Group (commande n°193118 du 16 mars 2017) afin d'installer une sonde de niveau autonome dans le canal de trop-plein de la source et un boitier d'acquisition et d'enregistrement qui permet la télétransmission des données *via* GPRS.

Cette opération a été effectuée avec succès le 4 avril 2017. Des photos du dispositif de mesure sont jointes en annexe à ce courrier.

Les résultats des mesures réalisées, in situ, le jour de l'intervention sont les suivants :

- Débit mesuré au micromoulinet (type C2 de OTT) à 14h00: 28,3 l/s ou 102 m³/h (Cf. points de mesure réalisés sur la section et position de la section sur la photo en pièce jointe);
- Niveau d'eau dans le canal : 13,4 cm mesuré par rapport à l'équerre (haut du canal bétonné, Cf. photo) ;
- Paramètres physico-chimiques (les griffons sont numérotés d'amont en aval, du sud vers le nord) :

	Canal	Griffon 1	Griffon 2	Griffon 3	Griffon 4	Griffon 5
Conductivité (μS/cm à 25°C)	431	429	430	430	416	416
Température (°C)	11,5	11,3	11,4	11,4	11,2	11,3
рН	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8

Par ailleurs, pour se connecter au site de visualisation des données (transmission toutes les 6 heures pour économiser la batterie), voici les éléments d'information nécessaires :

- Site internet
- Login
- Mot de passe :

Il est également possible de manager à distance le boitier d'acquisition de mesure (état de la batterie, changement de la cadence de télétransmission, etc.) et les données (export des données) :

- Site internet
- Login
- Mot de passe

Hydrogéologie, usage de l'eau et changement climatique dans les bassins versants des gaves de Pau et d'Oloron

A noter que lorsqu'une courbe de tarage fiable sera disponible, l'équation pourra être intégrée à partir du site de management des données. Il sera alors possible de visualiser directement des débits et plus des niveaux d'eau.

Enfin, veuillez noter que le pas de temps de mesure retenu pour la sonde est de 30 minutes.

Je vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes sincères salutations.

Fabrice REY Ingénieur de projets Equipe Eaux Ressource et Géothermie Direction Régionale Grand Ouest



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine

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