



HAL
open science

Caractérisation agronomique et hydrologique du bassin versant de l'Arrats

Marie Estienne, Cécile Dagès, Delphine Burger-Leenhardt, Jérôme Molenat, Clément Murgue

► **To cite this version:**

Marie Estienne, Cécile Dagès, Delphine Burger-Leenhardt, Jérôme Molenat, Clément Murgue. Caractérisation agronomique et hydrologique du bassin versant de l'Arrats. [Contrat] 2016. hal-02793444

HAL Id: hal-02793444

<https://hal.inrae.fr/hal-02793444v1>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Caractérisation agronomique et hydrologique du bassin versant de l'Arrats

Projet ONEMA-Retenu 2016-2018

Estienne M.¹, Dagès C.², Leenhardt D.¹, Molénat J.², Murgue C.³

01/12/2016

¹INRA, UMR AGIR, BP 52627, F-31326 Castanet Tolosan cedex

²INRA, UMR LISAH, 2 place Pierre Viala, F-34060 Montpellier cedex 1

³Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, BP 32144, F-31321 Castanet-Tolosan

Sommaire

Sommaire	1
Glossaire	4
Introduction	5
Chapitre 1 : Présentation du Bassin versant de l'Arrats.....	6
1. Le bassin versant de l'Arrats.....	6
1.1 La rivière.....	6
1.2 Définition de zones d'études	9
1.2.1 Découpage du territoire en sous bassins versants.....	9
1.2.2 Sélection des zones d'études.	11
2. Les ressources en eau disponible sur le bassin versant de l'Arrats	12
2.1 Le barrage de l'Astarac et la rivière.....	12
2.2 Les structures d'irrigation collective.....	13
2.3 Les retenues d'eau.....	15
2.3.1 Définition de la notion de retenue d'eau	15
2.3.2 Les données disponibles sur le bassin versant de l'Arrats.	16
2.3.3 Caractérisation des retenues du bassin versant de l'Arrats.....	17
2.3.3.1 Répartition des retenues d'eau et capacités.....	17
2.3.3.2 Mode d'alimentation des retenues d'eau de l'Arrats et connexion au réseau hydrographique.....	19
Chapitre2 : Caractérisation météorologique de l'Arrats.....	24
1. Données disponibles	24
1.1 Safran	24
1.2 Climbox	24
2. Variabilité spatiale	26
2.1 Gradient pluviométrique Nord-Sud	26
2.2 Gradient Nord-Sud pour le bilan hydrique.....	27
3. Variabilité temporelle interannuelle.....	28
3.1 Variabilité à l'échelle annuelle.....	28
3.2 Variabilité à l'échelle mensuelle.....	29
Chapitre 3 : Caractérisation hydrologique.	31
1. Données pédologiques	31
1.1 La base de données Infosol au 1/1 000 000.....	31
1.2 Le Référentiel Régional Pédologique.....	31
2. Données de la CACG.....	31
2.1 Les données débitométriques.....	31
2.2 Les données de prélèvement.....	31
2.2.1 Calcul des débits de prélèvement.....	31

2.2.2	Spatialisation des prélèvements	32
3.	Bilan hydrologique.....	33
3.1	Méthode appliquée.....	33
3.1.1	Calcul utilisé pour le bilan.	33
3.1.2	Périodes considérée.....	34
3.2	Analyse du bilan hydrologique.....	34
3.2.1	Du barrage de l'Astarac à la station d'Isle Arne.....	34
3.2.1.1	Principales caractéristiques de la zone.	34
3.2.1.2	Bilan hydrologique.....	34
3.2.2	Du barrage de l'Astarac à la station de Bives.....	36
3.2.2.1	Principales caractéristiques de la zone.	36
3.2.2.2	Bilan hydrologique.....	37
3.2.3	Du barrage de l'Astarac à la station de St Antoine.....	38
3.2.3.1	Principales caractéristiques de la zone.	38
3.2.3.2	Bilan hydrologique.....	40
4.	Décomposition des débits.....	41
4.1	Méthode : La séparation des débits de base et de ruissellement.....	41
4.2	Analyse des résultats obtenus.	42
4.2.1	Du pied du barrage à l'Isle Arné : Zone AS_IA	42
4.2.1.1	Année 2013-2014.....	42
4.2.1.2	Année 2015-2016.....	43
4.2.2	Du pied du barrage à Bives : Zone AS_BI	44
4.2.2.1	Année 2013-2014.....	44
4.2.2.2	Année 2015-2016.....	45
4.2.3	Du pied du barrage à Saint Antoine : Zone AS_SA.....	46
4.2.3.1	Année 2013-2014.....	46
4.2.3.2	Année 2015-2016.....	47
5.	Conclusion.	47
Chapitre 4 : Caractérisation agronomique du bassin de l'Arrats.		48
1.	Les données disponibles.....	48
1.1	Le RPG.....	48
1.2	Les séquences de cultures.....	48
1.3	Corine Land Cover.	48
1.4	L'expertise des acteurs locaux.....	48
2.	Caractérisation de l'agriculture du bassin versant de l'Arrats.	49
2.1	Méthode	49
2.2	Caractéristiques générales.....	50
2.3	Cultures.....	51
2.4	Séquences de cultures.....	55
2.4.1	Identification des séquences de cultures.	55

2.4.2	Distribution spatiale des séquences de cultures.....	56
2.4.2.1	Distribution sur la zone d'étude.....	56
2.4.2.2	Distribution par sous bassin versant.....	60
2.4.2.3	Répartition en fonction des types de sol.....	64
2.5	Systèmes de cultures.....	66
2.6	Mobilisation des ressources en eau pour l'usage agricole.....	67
2.6.1	Les ressources disponibles.....	67
2.6.1.1	Répartition spatiale des îlots irrigables et ressource en eau.....	67
2.6.1.2	Répartition spatiale des séquences de culture et type de ressource.....	68
2.6.2	Les règles de mobilisation des ressources par les agriculteurs.....	69
2.6.2.1	Les règles de mobilisation des ressources dans le cas où l'agriculteur dispose d'un seul type de ressource pour arroser îlot.....	70
2.6.2.2	Les règles de mobilisation d'une ressource quand l'agriculteur dispose de plusieurs ressources pour arroser un même îlot.....	70
3.	Conclusion.....	71
	Bibliographie.....	72
	Annexes.....	74

Glossaire

AFP	Association Foncière de Propriétaires
AGIR :	AGroécologie – Innovations - teRritoires
ASA :	Association Syndicale Autorisée
ASP :	Agence de Services et de Paiement
BAG :	Bassin Adour Garonne
BD :	Base de données
BDGSF :	Base de Données Géographique de Sols de France
CACG :	Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne
DOE :	Débit Objectif d'Etiage
ETP :	Evapotranspiration Potentielle
ID	Identifiant
INRA :	Institut National Recherche Agronomique
ITK :	Itinéraire technique
LISAH :	Laboratoire d'étude des Interactions entre Sol-Agrosystème-Hydrosystème
Le :	Lame d'eau mesurée en entrée d'une zone d'étude
Lp :	Lame d'eau prélevée sur une zone d'étude
Ls :	Lame d'eau mesurée en sortie d'une zone d'étude
Lnr_IA (ou BI ou SA) :	Lame d'eau naturelle reconstituée sur la zone IA (ou BI ou SA)
MAELIA :	Multi-Agents for Environmental norms Impact Assessment
MHYDAS :	Modélisation HYdrologique Des AgroSystèmes
ONEMA :	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatique
OUGC :	Organisation Unique de Gestion Collective
RPG :	Registre Parcellaire Graphique
RRP	Référentiel Régional Pédologique
SAU :	Superficie Agricole Utile
SdC	Système de culture
SIG :	Systèmes d'Information Géographiques
ssBV	Sous Bassin Versant
UMR :	Unité Mixte de Recherche
Zone IA :	Zone allant du barrage de l'Astarac à la station Isle Arne
Zone BI :	Zone allant du barrage de l'Astarac à la station Bives
Zone SA :	Zone allant du barrage de l'Astarac à la station St Antoine

Introduction

Les retenues d'eau sont suggérées dans de nombreux programmes (ex SDAGE et PDM Adour-Garonne) comme une solution pour stocker l'eau en prévision des périodes de sécheresse dans les bassins versants agricoles. L'application de la réforme des volumes prélevables, issue de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006, peut d'ailleurs conduire dans certains cas à la création de nouvelles infrastructures de stockage d'eau. Par ailleurs, la réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements, établie en application de la loi Engagement National pour l'Environnement (dite loi Grenelle 2) du 12 juillet 2010 (décret du 29 décembre 2011) implique que les dossiers de construction de retenues soumis par les pétitionnaires prennent en compte l'impact cumulé des ouvrages en projet avec les ouvrages existants.

Le projet dont il est ici question s'inscrit dans le cadre de la convention INRA-ONEMA 2016-2018. Son objectif est de concevoir une modélisation intégrée du fonctionnement des retenues en relation avec le fonctionnement hydrologique et agricole de leur bassin versant. Cette modélisation aura l'Arrats comme cas d'étude. La modélisation devra apporter des premières réponses relatives à l'effet des pratiques agricoles sur l'hydrologie d'un bassin comportant des retenues à usage d'irrigation, à la modélisation hydrologique de celui-ci et à l'évaluation de l'impact hydrologique des retenues.

Le projet se situe en amont de l'ambition de l'ONEMA de disposer d'une méthodologie et d'outils pour évaluer l'impact cumulé des retenues. En effet, il vise à confronter deux types de modélisation de gestion de l'eau sur des territoires comportant des retenues collinaires : MAELIA, une plate-forme de simulation multi-agent dont la représentation hydrologique est relativement simplifiée (semi-distribuée) mais qui est capable de représenter les pratiques des agriculteurs (prélèvements dans les retenues, irrigation des cultures alimentées à partir de ces retenues) versus MHYDAS, un modèle hydrologique plus fin en termes de représentation des flux (représentation des chemins de l'eau au sein de chaque sous bassin) mais qui, comme la plupart des modèles hydrologiques actuellement mobilisés dans les études d'impact des retenues ne représente pas les pratiques des agriculteurs.

La caractérisation agronomique et hydrologique du bassin versant de l'Arrats est la première étape de ce projet et a pour objectif d'explicitier le fonctionnement actuel de l'Arrats, et donc de préfigurer des scénarii pour la future modélisation. Cette caractérisation fait l'objet de ce rapport, qui constitue le livrable programmé en fin de première année du projet INRA-ONEMA.

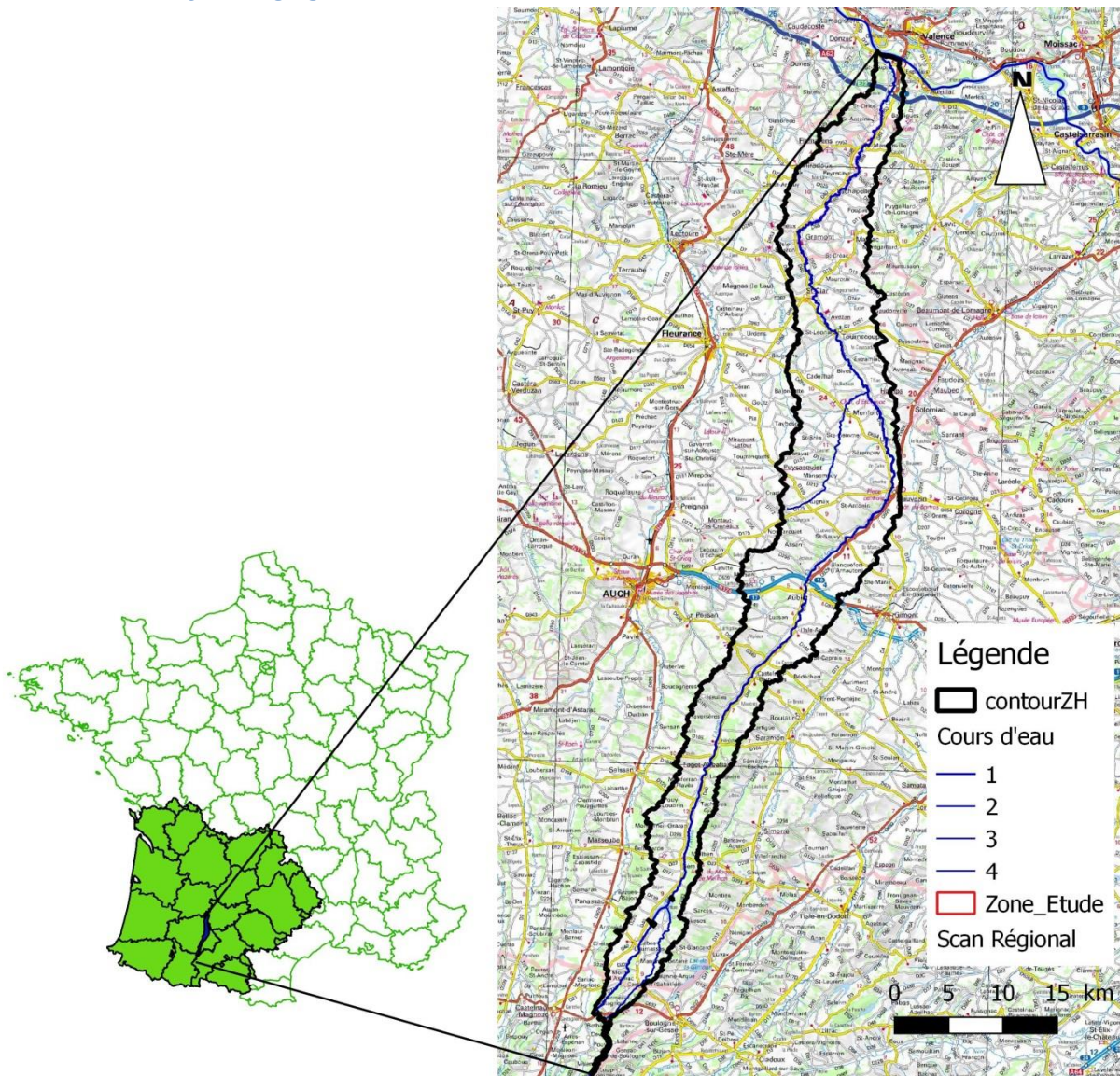
Chapitre 1 : Présentation du Bassin versant de l'Arrats.

1. Le bassin versant de l'Arrats

Le bassin versant de l'Arrats a la particularité d'être long et étroit. En amont et aval, sa largeur est comprise entre 5 et 6 km. Sa plus grande largeur est de 10 km, atteinte dans la partie médiane du bassin. Sa longueur est de 160 km et son aire de 620km². Le bassin recoupe le territoire de 66 communes réparties sur 4 départements :

- 14 en Haute Pyrénées ;
- 42 dans le Gers,
- 8 dans le Tarn et Garonne ;
- 2 en Haute Garonne.

1.1 La rivière.



Carte 1: Localisation de l'Arrats, bassin versant des coteaux de Gascogne, Sud-Ouest – Source IGN, BD Carthage. ©Marie Estienne

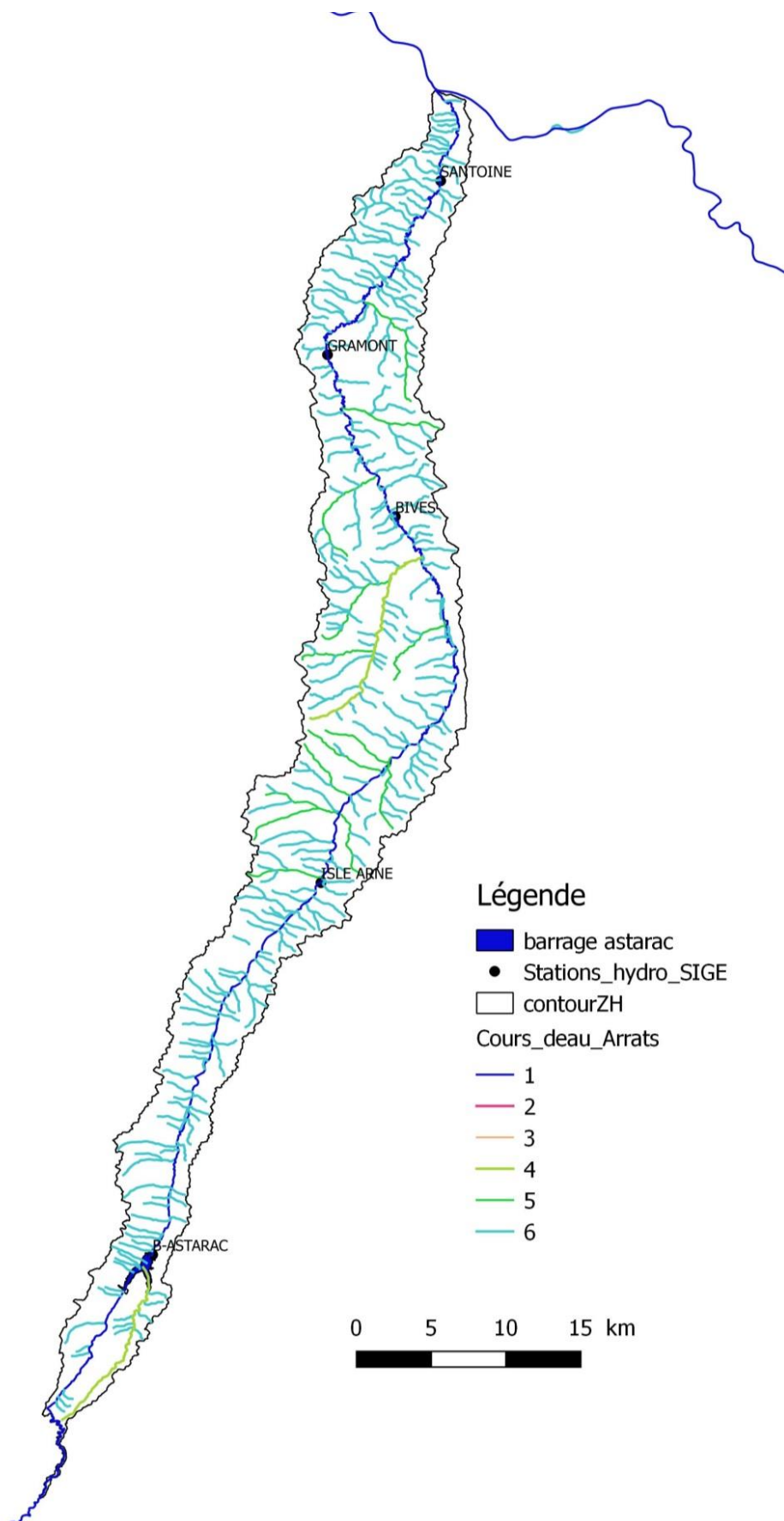
L'Arrats est une des rivières traversant les coteaux de Gascogne, affluent de la Garonne en rive gauche au niveau de la commune de Saint Loup. Sa source naturelle se trouve au niveau des communes de Deveze et Betveze dans le piémont pyrénéen, mais dans les faits, et comme l'ensemble des rivières de Gascogne, l'Arrats est réalimenté par le torrent de la Neste via le Canal de la Neste¹. Cet ensemble hydraulique est communément appelé « système Neste » et est géré par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG).

L'Arrats est connecté au Canal de la Neste au niveau de la commune de Lannemezan via le canal de la Gimone puis la rigole de l'Arrats avant de devenir la rivière Arrats à proprement parler. Long de 29 km ce réseau artificiel de réalimentation est complété par un barrage de 10 millions de m³, le réservoir de l'Astarac, mis en service en 1976 sur les communes gersoises de Bezus-Bajon, Aussos, Cabas-Loumasse et St Blancard. Du pied du barrage jusqu'à la confluence avec la Garonne en amont immédiat de Golfech, la rivière serpente sur 130 km. Le débit réservé fixé au pied du barrage est de 500 l/s.

Le régime naturel de la rivière est pluvial. Hors lâchers, les débits du cours d'eau principal et des affluents ne sont alimentés que par les précipitations.

La carte suivante représente l'hydrographie du bassin versant de l'Arrats. On peut voir qu'hormis le cours d'eau principal de classe 1, les affluents se répartissent entre les classes 4 et 6. Si le chevelu est assez dense, on peut imaginer, compte tenu des classes, de la faiblesse des écoulements continus dans ces ruisseaux et donc de leurs faibles apports au cours d'eau principal.

¹ Source Programme de Gestion Collective de l'Eau de l'Arrats, CACG, 2010



Carte 2: Le réseau hydrographique du bassin de l'Arrats, ses principaux affluents et ses stations de mesures– Source BD Carthage, CACG. ©Marie Estienne.

La BD ONDE, disponible sur le site eaufrance.fr permet de suivre le niveau d'eau visible sur quelques points par bassin versant. Quatre points sont suivis sur le bassin versant de l'Arrats, deux sur le cours d'eau et deux sur des affluents. Il n'y a pas assez de points de suivi pour qualifier les écoulements du réseau secondaire. Cependant d'après les données disponibles (jusqu'à 2012) et en fonction du climat de l'année, les assecs arrivent plus rapidement pendant l'été sur le réseau secondaire que sur le cours d'eau principal, qui n'est presque jamais en assec.

Le tableau ci-après présente les affluents principaux de l'Arrats, ainsi que leur aire d'alimentation. Le linéaire total des affluents représente 278,9 km.

Tableau 1: Les affluents principaux de l'Arrats de l'amont vers l'aval. ND signifie que les données ne sont pas disponibles dans la table des bassins versants élémentaires de l'Arrats. Source BD carthage et bassins versants élémentaires MAELIA².

Affluent	rive	aire du Bv d'alimentation (m ²)	aire du BV (km ²)
L'Arrats de devant	D	2 186 1900	22
Ruisseau de Lussan	G	ND	ND
Ruisseau de Daignan	G	18 094 375	18
Ruisseau du Barbut	D	ND	ND
Ruisseau de Rozès	G	ND	ND
Ruisseau du Courneron	G	ND	ND
Ruisseau d'En Siguès	D	ND	ND
Ruisseau de Lucivielle	G	ND	ND
Ruisseau de la Barrage	G	ND	ND
L'orbe	G	62 223 459	62
Ruisseau du Gélon	G	19 860 000	20
La Lavaissère	D	17 735 000	18
Le Campunau	D	19 709 188	20

Quatre stations d'enregistrement de mesures hydrométriques sont réparties sur le linéaire de la rivière du pied du barrage à la confluence avec la Garonne. Elles sont gérées toutes les quatre par la CACG. La station St Antoine fait également partie du réseau de station de mesure qui alimente la banque Hydro.

- Bassin de l'Astarac, ci-après dénommée AS.
- Isle Arné, ci-après dénommée IA.
- Bives, ci-après dénommée BI.
- Saint Antoine, ci-après dénommée SA.

La station de Gramont est une station de mesure limnimétrique : elle mesure une hauteur d'eau convertie en débit grâce à un abaque. Nous n'avons cependant pas eu accès aux enregistrements de cette station.

1.2 Définition de zones d'études

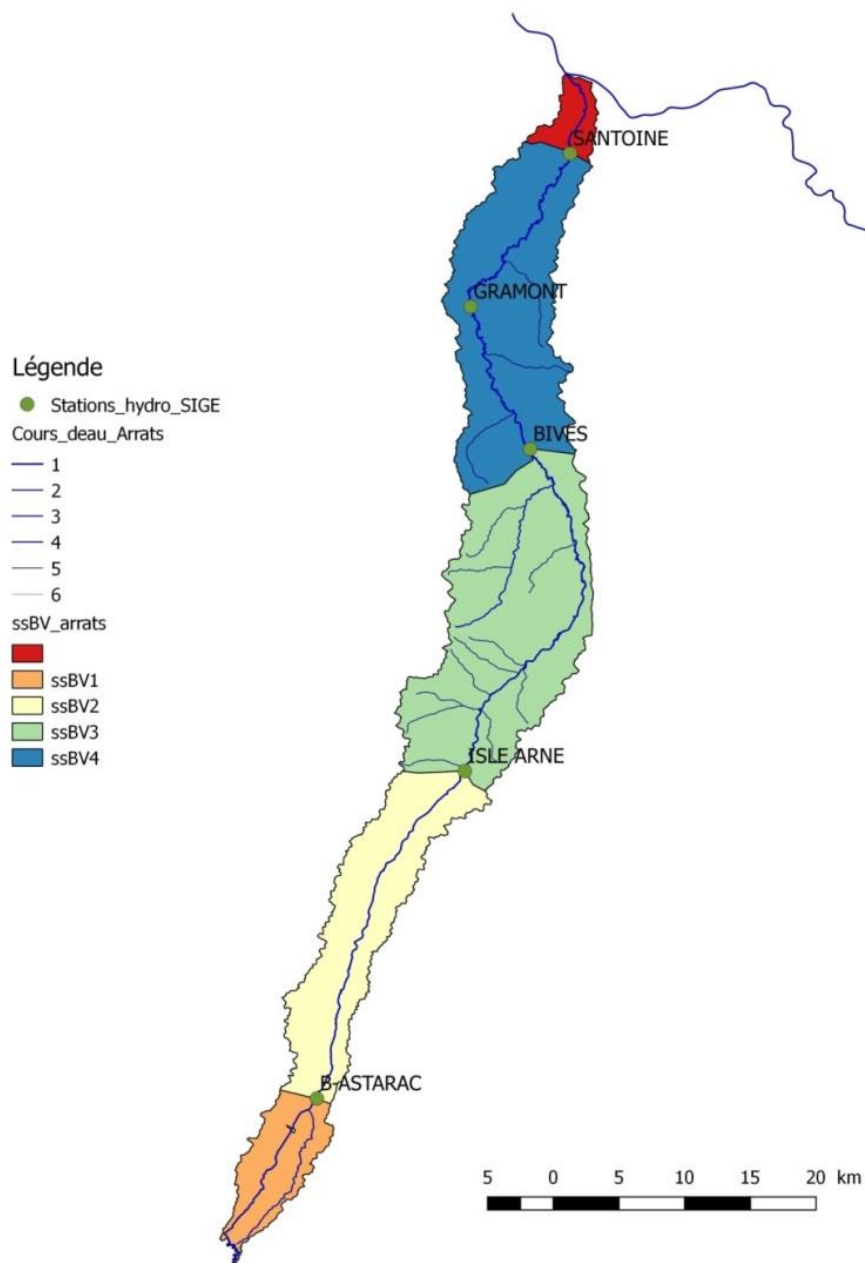
1.2.1 Découpage du territoire en sous bassins versants

Dans le cadre du projet, nous avons été amenés à réaliser un découpage géographique du bassin versant de l'Arrats en sous bassin versant. Ces sous bassins correspondent aux aires d'alimentation des 4 stations de mesures hydrométriques évoquées plus haut. Le résultat de ce découpage est présenté dans la carte 3.

² Les bassins élémentaires pour MAELIA sont les aires d'alimentation des tronçons de cours d'eau, tronçons issus de la BD Carthage.

Dans la suite du document nous retiendrons les dénominations suivantes :

- ssBV1 : amont de la station de l'Astarac
- ssBV2 : Zone comprise entre l'aval de l'Astarac et la station de l'Isle Arné
- ssBV3 : Zone comprise en les stations de l'Isle Arné et Bives
- ssBV4 : Zone comprise entre les stations de Bives et Saint Antoine
- ssBV5 : Aval de la station de St Antoine jusqu'à la confluence.



Carte 3: Découpage de l'Arrats en sous bassin. Source BD Carthage et CACG. ©Marie Estienne

Le tableau ci-dessous détaille les aires d'alimentation de ces sous bassins.

Tableau 2: Surface des aires de contribution aux stations de mesure.

id	toponyme	aire (m ²)	aire (km ²)	Aire cumulée (km ²)
ssBV1	amont Astarac	52 172 446	52	52
ssBV2	amont Isle Arne	132 355 716	132	185

ssBV3	amont Bives	233 177 341	233	418
ssBV4	amont st Antoine	186 151 272	186	604
ssBV5	confluence	18 301 641	18	622

1.2.2 Sélection des zones d'études.

L'analyse du fonctionnement hydrologique s'est faite par une approche de bilan hydrologique, considérant l'ensemble des flux d'eau entrant et sortant d'une zone. Notre analyse se focalisera sur le fonctionnement des sous bassins 2, 3 et 4. En effet, nous n'avons pas connaissance des débits en amont du bassin de l'Astarac et en aval de la station de mesure de St Antoine, point nodal de l'Arrats. De plus, cette zone ne concerne plus que le département du Gers, ce qui simplifie l'acquisition des données, géologiques notamment.

Pour comprendre le fonctionnement hydrologique de l'Arrats, le bassin versant a été découpé en trois zones d'études :

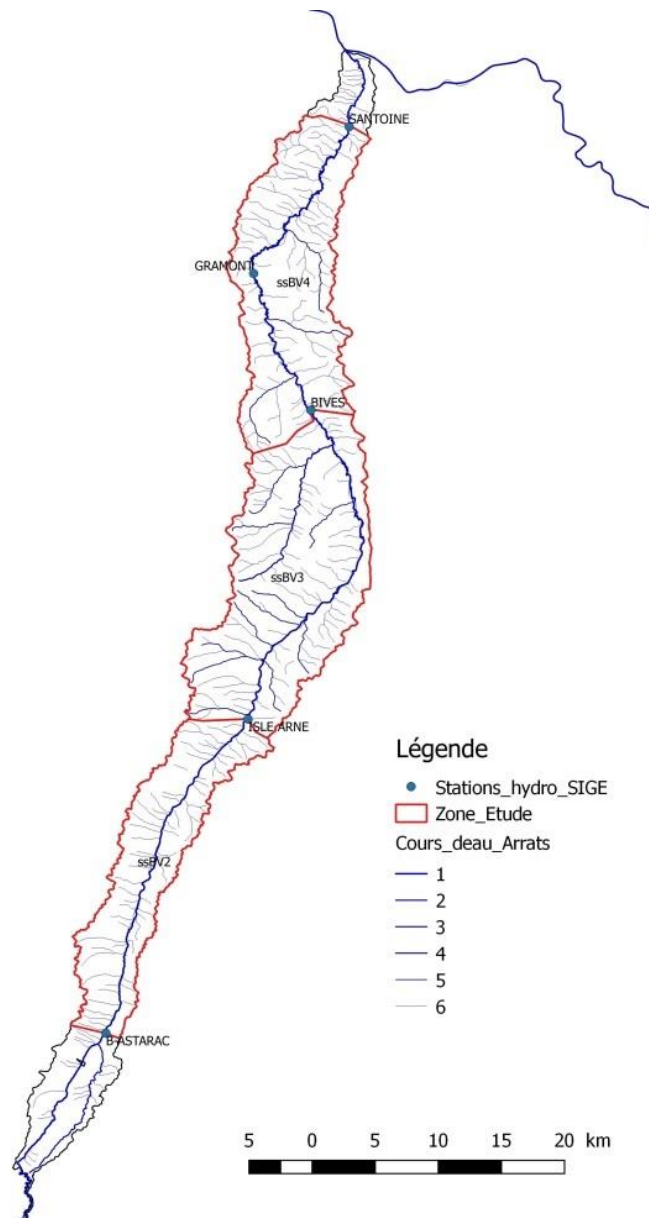
- Du barrage à la station de l'Isle Arné: Zone_AS_IA (sous bassin 2)
- Du barrage à la station de Bives: Zone_AS_BI (sous bassin 2 + sous bassin 3)
- Du barrage à la station de St Antoine: Zone_AS_SA (sous bassin 2, 3 et 4)

Le choix d'avoir des zones d'études qui s'incluent les unes dans les autres s'explique par le fait que l'on doit tenir compte des temps de transfert des lâchers d'eau du barrage de l'Astarac et que cela n'est pas possible si on analyse sous bassin versant par sous bassin versant.

Les classes de cours d'eau mentionnées sur la carte 4 sont déterminées par la longueur du cour d'eau de sa source à son embouchure ou à sa confluence avec un autre cours d'eau.

Tableau 3: Les classes de cours d'eau. Source site du SANDRE.

Classe	
1	tout cours d'eau d'une longueur supérieure à 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une embouchure logique et d'une longueur supérieure à 25 km
2	tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 50 et 100 km ou tout cours d'eau se jetant dans une embouchure logique et d'une longueur supérieure à 10 km
3	tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 25 et 50 km
4	tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 10 et 25 km
5	tout cours d'eau d'une longueur comprise entre 5 et 10 km
6	tous les autres cours d'eau hormis ceux issus de la densification du réseau
7	tous les cours d'eau issu de la densification du réseau



Carte 4: Délimitation des différentes zones d'études. Source BD Carthage et CACG ©Marie Estienne

2. Les ressources en eau disponible sur le bassin versant de l'Arrats

2.1 Le barrage de l'Astarac et la rivière.

L'Arrats, comme les rivières qui traversent les coteaux de Gascogne, est un cours d'eau qui bénéficie d'une réalimentation continue extérieure à son bassin versant via le Canal de la Neste. Cette alimentation, couplée au réservoir de l'Astarac, permet de soutenir le débit de la rivière et de satisfaire les usages agricoles de l'eau en période estivale.

Le réservoir de l'Astarac a été construit en travers du cours d'eau. Il est alimenté par le canal de la Gimone, lui-même alimenté par le canal de la Neste. Il se situe 13km en aval de la source naturelle de l'Arrats³. 10 millions de m³ y sont stockés depuis 1976. Le débit réservé fixé pour l'ouvrage est de 500l/s et le débit maximum restituable est de 2,5m³/s. La rivière en aval

³ Source PGCE Arrats – CACG, 2010

du barrage bénéficie donc de 500 l/s minimum. Entre mi-mai et mi-octobre, les lâchers sont plus conséquents afin de satisfaire l'irrigation et d'assurer le respect du Débit Objectif d'Etiage à St Antoine.

Le barrage et l'Arrats en tant que cours d'eau principal constituent donc une ressource en eau importante.

Comme nous l'explicitons plus bas, le réseau secondaire est assez faible du fait de l'étroitesse du bassin versant. Il partage avec l'Arrats un régime pluvial, il participe donc peu à la réalimentation du cours d'eau principal en dehors de périodes de précipitation.

2.2 Les structures d'irrigation collective

On dénombre 9 structures d'irrigations collectives sur le bassin versant de l'Arrats, en aval du réservoir de l'Astarac. Leurs principales caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant⁴. On note qu'aucun réseau d'ASA n'est présent sur le tronçon Isle Arné-Bives (les stations de pompage de l'ASA de Marsan sont dans le ssBV2 mais son réseau est dans le ssBV3).

Tableau 4: les neuf structures d'irrigation collective du bassin de l'Arrats totalisent plus de 6,5 millions de m³ d'autorisation de prélèvements (1650 l/s) pour une surface irrigable de 2750 ha. Les débits et volumes souscrits sont fournis par la CACG.

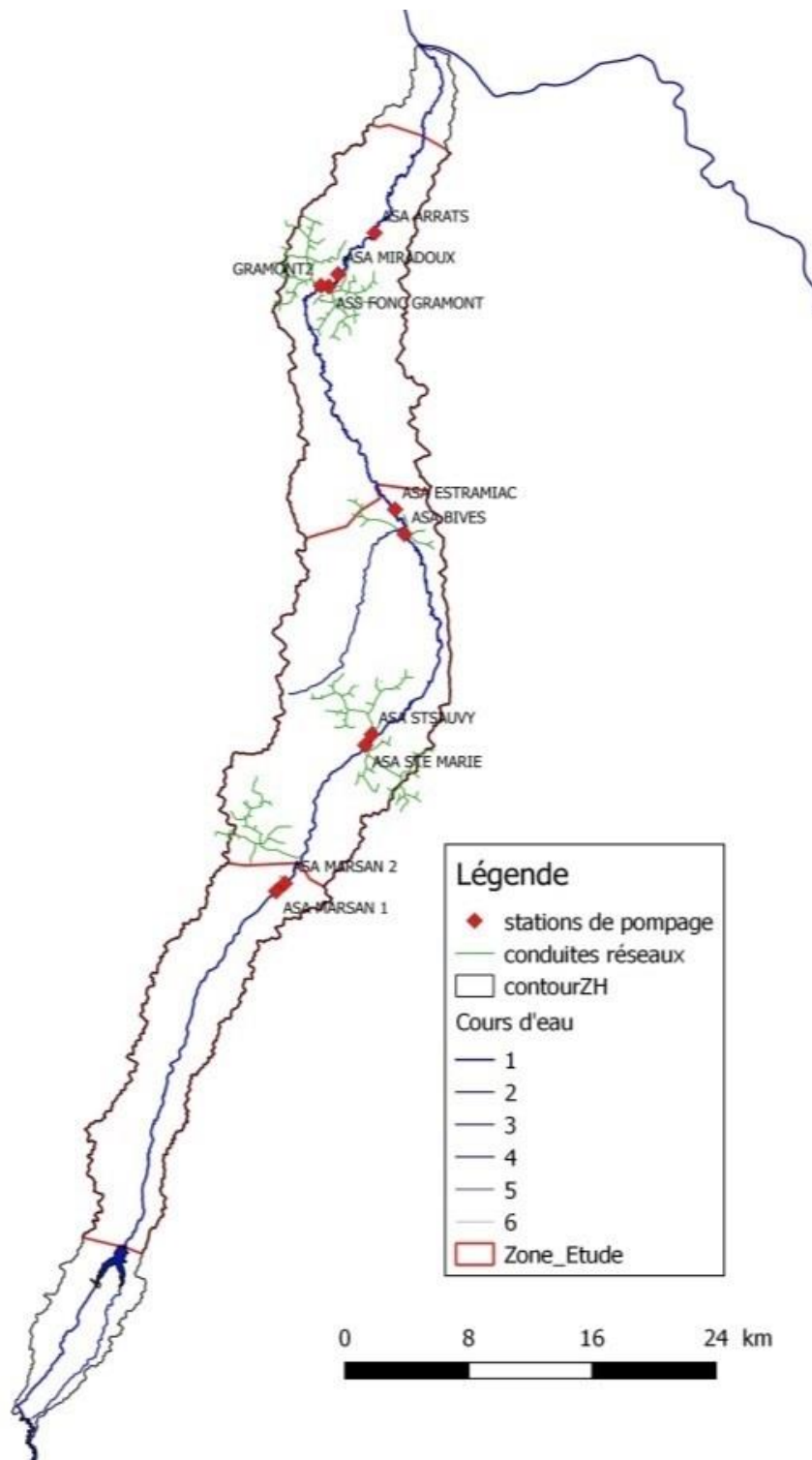
sous bassin	structure d'irrigation collective	périmètre engagé (ha)	nb adhérents	volume souscrit (m3)	débit souscrit (l/s)
ssBV1	ASA Aussos	277	23	664000	166
ssBV3	ASA MARSAN	394	9	854000 dont 450 000 stockés en retenues	236,5
	ASA ESTRAMIAC	250	18	600000	150
	ASA ST SAUVY	200	22	604000	120
	ASA STE MARIE	360	27	864000	216
	ASA Orbe Arrats BIVES	250	24	600000	150
ssBV4	ASS FONC GRAMONT	400	29	960000	240
	ASA MIRADOUX	204	23	520000	122,5
	ASA ARRATS	411	29	988000	247
Total		2750	204	6500000	1650

Les Associations Syndicales Autorisées ou Association Foncière de l'Arrats desservent un périmètre de 2750 hectares et 204 propriétaires parmi lesquels 173 exploitants agricoles. La position des réseaux enterrés est visible sur la carte 5.

Ces ASA ont toutes été créées dans les années 80 (1975 pour la plus vieille et 1989 pour la plus récente).

Les ASA souscrivent un débit de prélèvement auprès de la CACG. Elles répercutent à leurs propriétaires un tarif à l'hectare. C'est-à-dire qu'à surface fixe, le prix est équivalent quel que soit la quantité d'eau consommée.

⁴ PGCE Arrats - CACG 2010, Rapport Akakpo – INRA 2016



Carte 5: Position des réseaux sous pression des ASA du bassin de l'Arrats. Source données CACG. ©Marie Estienne

2.3 Les retenues d'eau.

2.3.1 Définition de la notion de retenue d'eau.

Il faut rappeler que ce projet se place en amont de la volonté de l'Etat de disposer d'une méthode pour qualifier et quantifier l'impact cumulé des retenues d'eau sur un bassin versant. Une expertise menée par l'IRSTEA et un consortium de chercheurs est actuellement en cours et se clôture en fin d'année 2016. Le rapport de l'expertise collective scientifique est d'ores et déjà disponible et propose une typologie des retenues d'eau que l'on peut rencontrer sur un territoire.

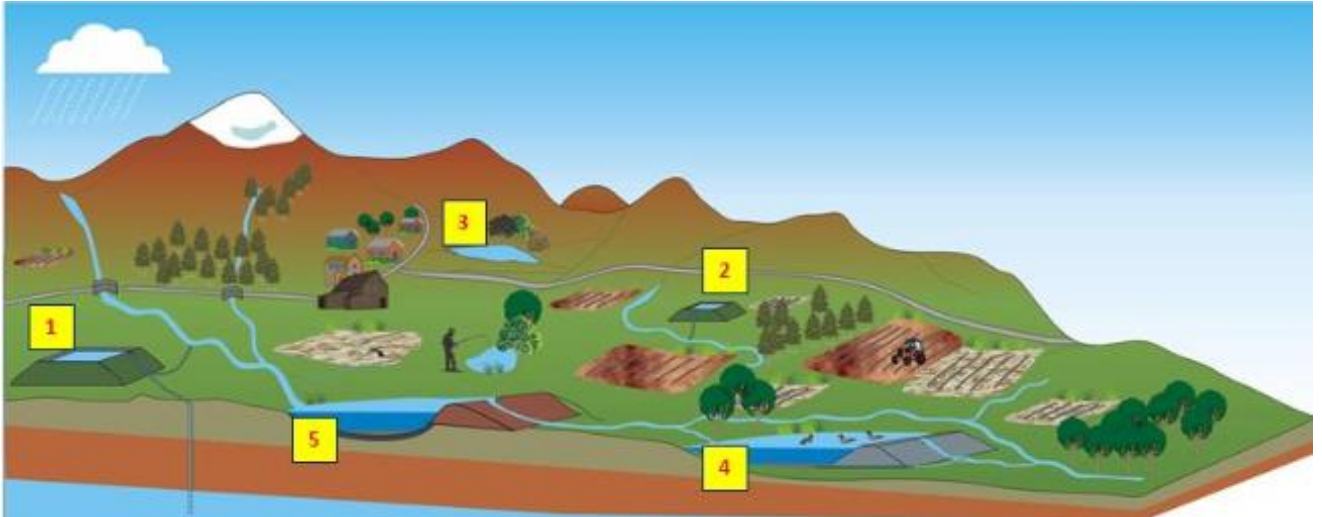


Figure 1: emplacement des retenues selon leur mode d'alimentation. Source Expertise Scientifique Collective « impact cumulé des retenues d'eau », F. Peyriguer (Irstea) d'après O Douez (BRGM).

Tableau 5: les différents types de retenues étudiés dans l'expertise collective. Source rapport Impact cumulé des retenues d'eau, Expertise scientifique collective, Carluer et al. 2016.

1	Réserve alimentée par pompage dans la nappe. Il s'agit d'une réserve déconnectée du réseau hydrographique superficiel, alimentée strictement par pompage dans un aquifère proche.
2	Réserve alimentée par pompage dans la rivière. Egalement déconnectée du réseau hydrographique superficiel, elle est alimentée strictement par pompage dans la rivière.
3	Retenue collinaire. Ces retenues sont alimentées par ruissellement et normalement déconnectées du réseau hydrographique. Parce qu'elles sont situées dans des talwegs de manière à intercepter plus de ruissellement, il s'avère que des ouvrages considérés comme des retenues collinaires peuvent être installés sur des sources ou drainer des nappes: il s'agit alors en réalité de retenues sur cours d'eau, qui devraient être soumises aux réglementations de ce type d'ouvrage (notamment débit minimum).
4	Retenue en dérivation. Une telle retenue s'apparente à une réserve alimentée par pompage dans la rivière (2), mais l'alimentation est ici gravitaire. Toutefois, la déconnexion de la retenue une fois celle-ci remplie est rarement complète, et souvent seul un débit minimum, parfois busé depuis l'amont de la retenue, assure la continuité hydrique du cours d'eau.
5	Retenue en barrage. Ce type de retenue est situé sur un cours d'eau: sauf dispositif particulier de débit minimum (avec prise de l'eau en amont), toute l'eau qui rejoint le cours d'eau à l'aval a transité par la retenue.

On retrouve les quatre derniers types d'ouvrages sur le bassin versant de l'Arrats.

2.3.2 Les données disponibles sur le bassin versant de l'Arrats.

Plusieurs sources de données sont disponibles pour identifier les retenues d'eau de l'Arrats. En plus de la base de données Agence de l'eau des prélèvements (SIEAU), nous disposons de :

- la base de données des prélèvements de l'OUGC Neste et rivières de Gascogne qui gère les volumes prélevables sur le territoire Neste et qui a donc recensé les lacs à usage agricole. Ces lacs font l'objet d'une régularisation via une Autorisation Unique de Prélèvement. Nous avons donc eu connaissance de leur localisation, de leur capacité et donc de l'usage.
- la base de données issue du projet REGARD dont l'objectif était de caractériser les retenues d'eau du Bassin Adour Garonne via un traitement géomatique de la BD Topo de l'IGN⁵. C'est une base de données faite de polygones géospatialisés qui nous renseigne sur l'usage de la retenue quand il a pu être récupéré auprès des DDT, sa capacité et son altitude via un calcul basé sur le MNT, sur la connexion/déconnexion de la retenue au cours d'eau principal provenant soit d'une information fournie soit d'un calcul basé sur la distance au cours d'eau et sur l'ordre de remplissage via ruissellement au sein d'un bassin versant élémentaire qui compterait plusieurs retenues.

L'usage irrigation est celui qui est le mieux documenté dans ces différentes bases et celui sur lequel nous nous sommes basés pour comparer les bases de données entre elle.

Tableau 6: Nombre d'objets recensés et volume total stocké dans les retenues d'eau du bassin versant de l'Arrats selon la BD Regard ou la BD OUGC. Le volume stocké dans la réserve de l'Astarac a été exclu pour ne considérer dans ce tableau que les petites et moyennes retenues d'eau. La « Zone d'Etude » fait référence à la zone allant du pied du barrage de l'Astarac à la station de St Antoine.

	Base Regard	Base OUGC
nb objets	847	
nb objets Zone Etude	744	
nb objets à usage irrigation	170	198
nb objet à usage irrigation Zone Etude	154	179
Volume total stocké (millions de m ³)	6,6	
Volume total stocké Zone Etude (millions de m ³)	6,1	
Volume total irrigation (millions de m ³)	4,5	5,8
Volume total irrigation Zone Etude (millions de m ³)	4,2	5,3
Capacité moyenne des retenues à usage irrigation sur la Zone Etude (m ³)	27 383	29 700
Médiane zone Etude (m ³)	18 000	18 000
Ecart type zone Etude (m ³)	47 394	50 043
Min (m ³)	272	200
Max (m ³)	450 000	450 000
Q1 (m ³)	6 000	5 000
Q3 (m ³)	30 000	30 000

Les données rassemblées par l'OUGC Neste (tableau 5) sont plus exhaustives que celles de la BD REGARD, ce qui s'explique par le mode de collecte de la donnée (recensement exhaustif pour l'OUGC, traitement cartographique de la BD TOPO pour la Base REGARD). Selon l'OUGC

⁵ La BD Topo est la composante topographique du RGE (référentiel géographique à Grande Echelle). Elle contient la modélisation 3D du territoire.

Neste, 179 retenues sont déclarées entre le pied du barrage de l'Astarac et la station de St Antoine. Toutes ne sont pas utilisées mais si elles figurent dans l'AUP de l'OUGC Neste c'est que l'usage et les volumes veulent être préservés pour le futur par les propriétaires.

Plus de 5 millions de m³ sont stockés dans ces retenues dont la capacité varie entre 200 et 450 000 m³. En revanche, on note que 25% des retenues ont une capacité inférieure à 5 000 m³ et 75% des retenues ont une capacité inférieure ou égale à 30 000 m³. La plupart des ouvrages peuvent donc être qualifiés de relativement petits.

On note d'après la base REGARD pour la zone d'étude que les retenues destinées à l'irrigation constituent 21 % des retenues. Et que, si on assimile le volume irrigué au volume des retenues destinées à l'irrigation, le volume total de ces retenues correspond à 69 % du volume de l'ensemble des retenues.

2.3.3 Caractérisation des retenues du bassin versant de l'Arrats

2.3.3.1 Répartition des retenues d'eau et capacités.

Les retenues ne sont pas réparties de façon homogène sur le bassin versant.

Tableau 7: répartition des retenues par sous bassins versants. Ne sont considérés ici que les sous bassins versant compris entre le barrage et la station de St Antoine. Pour l'ensemble des usages, la base REGARD est utilisée et pour l'usage irrigation, ce sont les données de la base OUGC qui sont utilisées.

	retenues	ssBV2	ssBV3	ssBV4
Tout Usage Base Regard	nb objets	160	370	215
	Densité des retenues (nb de retenues/ha et nb ha/retenu(e))	0,012/ha 83.3 ha/ret.	0,016/ha 62.5 ha/ret.	0,011/ha 90.9 ha/ret.
	Volume stocké (millions de m ³)	1,65	2,7	2,1
	Capacité moyenne (m ³)	7 910	7 354	9 892
	Capacité médiane (m ³)	285	288	1 856
	Ecart type	28 316	28 446	24 408
	Min (m ³)	4	4	12
	Max (m ³)	325 000	450 000	300 000
	Q1 (m ³)	106	104	329
	Q3 (m ³)	3 964	2 732	10 440
Usage Irrigation Base OUGC	nb objets	22	69	88
	Densité des retenues (nb/ha)	0,0016	0,0029	0,0047
	Volume stocké (millions de m ³)	0,9	2,6	1,7
	Capacité moyenne (m ³)	41 932	38 326	19 884
	Capacité médiane (m ³)	28 000	20 000	12 500
	Ecart type	66 523	63 823	26 033
	Min (m ³)	2 000	900	200
	Max (m ³)	325 000	450 000	190 000
	Q1 (m ³)	8 000	6 000	4 500
	Q3 (m ³)	45 000	40 000	23 500

Le sous bassin 3 compris entre Isle Arné et Bives est la partie la plus large du bassin versant de l'Arrats, et également celle où le réseau secondaire est le plus dense⁶. C'est là que les retenues sont les plus nombreuses et qu'on observe la plus forte densité de retenues : 1 retenue

⁶ PGCE Arrats, CACG, 2010

pour 62.5 ha . C'est également là que le volume total stocké est le plus important. Si la plus grosse retenue, en dehors du barrage de l'Astarac, est située sur ce bassin (retenue de l'ASA de Marsan), les autres retenues sont globalement plus petites que sur les autres sous bassins : 75% des retenues font moins de 2 732 m³, contre environ 4000 m³ pour le ssBV2 et 10 440m³ pour la partie aval.

Sur le sous bassin 4, compris entre Bives et St Antoine, les retenues d'eau sont de taille plus conséquentes (Q3=10440m³) et le volume total stocké est important : 2,1 millions de m³.

Les retenues à usage irrigation sont plus présentes sur le sous bassin versant 4 mais, comparativement aux autres bassins, elles sont aussi plus petites : 50% de l'effectif à une capacité inférieure ou égale à 12500m³ et 75% à 23500 m³. Sur le sous bassin versant 3, les retenues à usage irrigation permettent de stocker 2,6 millions de m³ ; 75% des retenues ont une capacité inférieure ou égale à 40 000m³ sachant que les capacités varient de 900 m³ à 450000m³. C'est finalement sur le sous bassin amont, compris entre le barrage et l'Isle Arne que l'on trouve que les retenues à usage agricole sont globalement plus importantes que sur les sous bassins aval. Peut-être est-ce dû au fait qu'il n'y a pas de réseau collectif d'irrigation sur ce tronçon.

La répartition des retenues entre sous bassins est visible dans la figure 2.

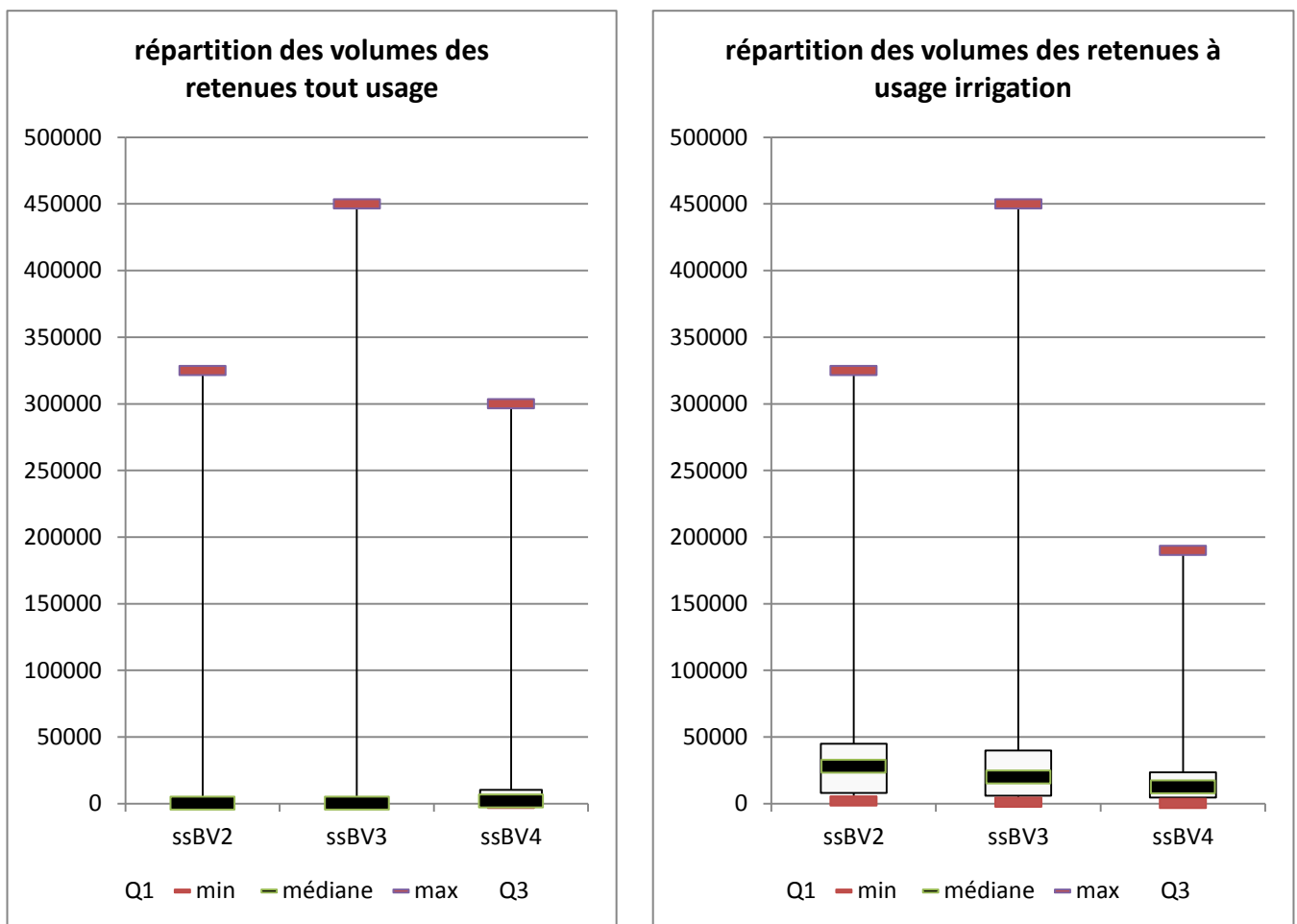


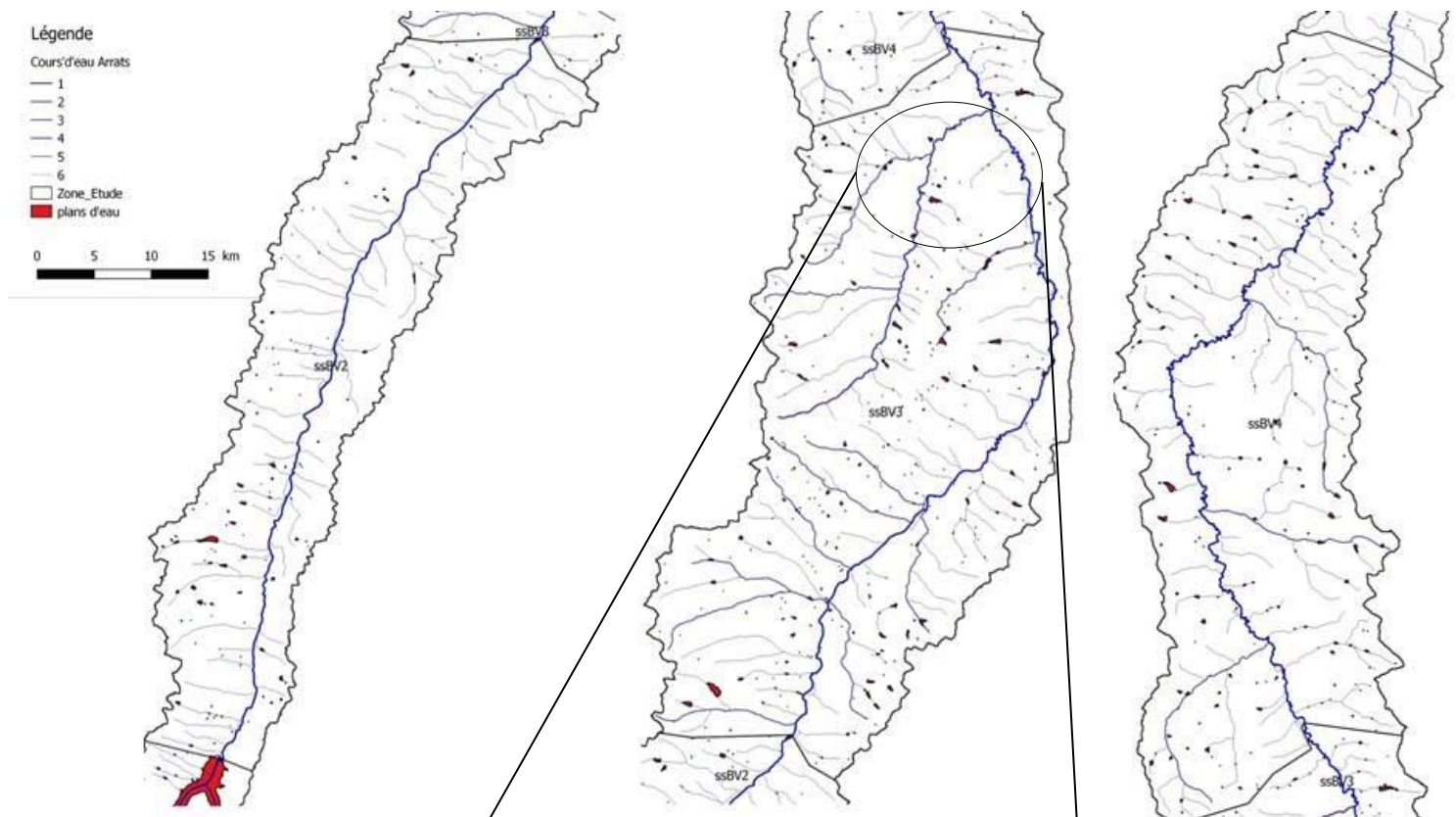
Figure 2: répartition des capacités des retenues d'eau tout usages confondus (graphique de gauche) et pour l'usage irrigation (graphique de droite).

Si l'étendue des valeurs est très importante, on note que la majorité des retenues collinaires ont des capacités moyennes à faibles.

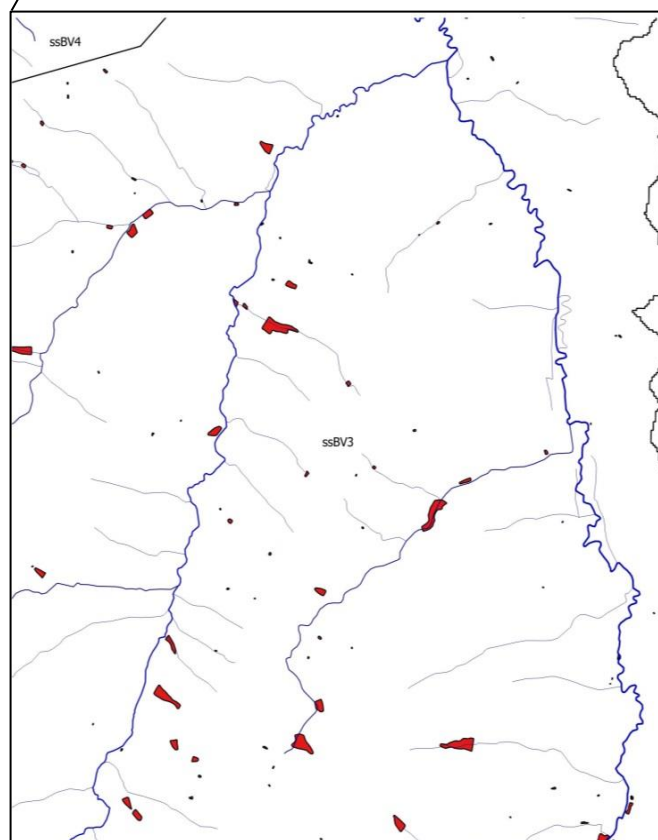
2.3.3.2 Mode d'alimentation des retenues d'eau de l'Arrats et connexion au réseau hydrographique.

La base REGARD contient parfois des informations sur le mode d'alimentation. Ainsi, 326 objets, soit 38% des données, sont rattachés à un mode d'alimentation. La source de cette information n'est pas toujours identifiée ; il peut s'agir de la DDT32, de l'ONEMA ou encore de l'OUGC.

Les retenues sont principalement situées à proximité ou sur les cours d'eau secondaires dont l'écoulement est intermittent et influencé par les précipitations (carte 7). Selon la typologie des retenues d'eau réalisée pour l'expertise scientifique collective menée par IRSTEA sur l'impact cumulé des retenues (tableau 4), on distingue des retenues de type 3 (ruissellement), 4 (dérivation) et 5 (sur le cours d'eau). La lecture géographique ne nous renseigne pas sur la présence d'une alimentation via pompage en rivière qui caractérise le type 2. Le type 1 est absent du fait de l'absence de nappe.



Carte 6: les retenues d'eau de l'Arrats ne sont pas réparties de façon homogène sur le bassin versant. Source BD Regard, BD Carthage. ©Marie Estienne



Carte 7: Zoom sur une partie du sous bassin versant compris entre Isle Arné et Bives.

Un mode d'alimentation a donc été attribué aux retenues d'eau identifiées sur l'Arrats, en ne retenant que 2 catégories : les retenues dites connectées au réseau hydrographique (en dérivation ou sur le cours d'eau) et les retenues dites déconnectées (ruissellement uniquement). La méthode, réalisée par l'INRA dans le cadre du Projet REGARD⁷, prend en compte, pour chaque retenue, son altitude, sa distance au cours d'eau, sa position par rapport à la tête de bassin, et le gabarit du cours d'eau le plus proche.

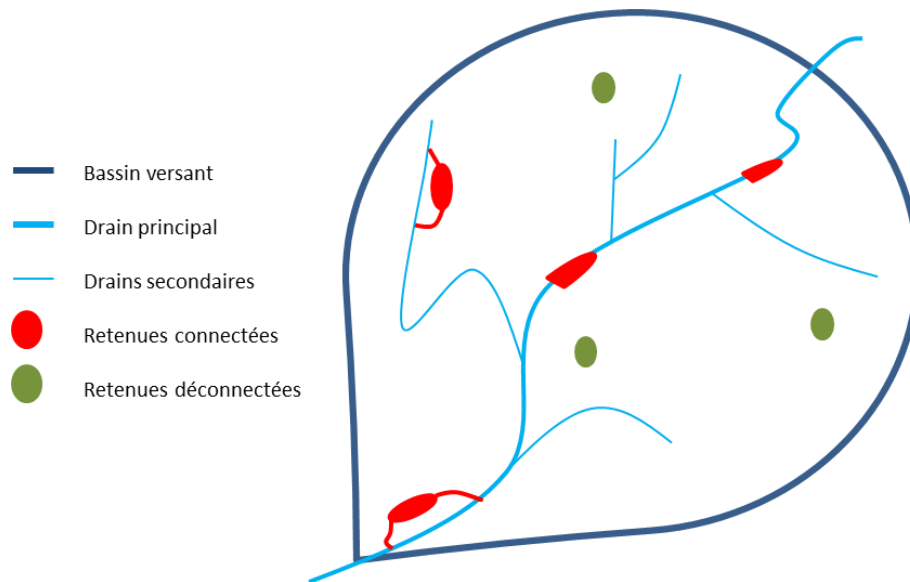


Figure 3: fonctionnement hydrologique des retenues de type 3, 4 et 5 au sein d'un bassin versant. Source projet REGARD. ©Camille Truche.

Toutes les retenues du Bassin Adour Garonne ont fait l'objet de ce traitement. L'information fournie par ce traitement vient en complément des informations DDT quand elles sont disponibles. Nous obtenons sur l'Arrats 332 retenues connectées au réseau hydrographique et 516 déconnectées du réseau.

⁷ Caractérisation des retenues collinaires du bassin Adour Garonne, Camille Truche-INRA, 2016.

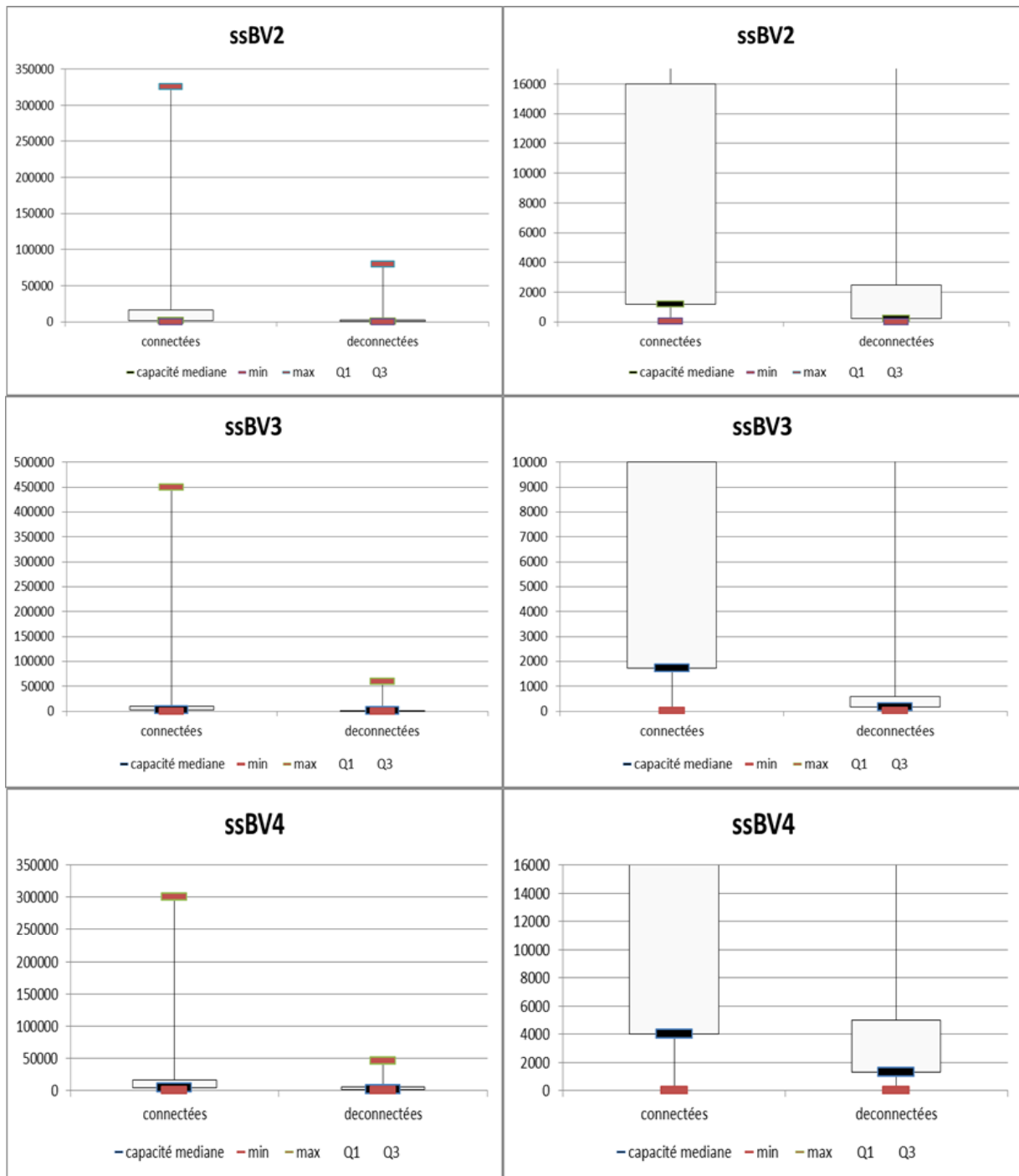


Figure 4: répartition des modes d'alimentation des retenues sur les sous bassins versants compris entre le barrage et St Antoine. Pour chaque sous bassin versant, le graphique de gauche présente la répartition des capacités des retenues, le graphique de droite est un zoom sur la boîte. Source utilisée : table plan_deau, BD Regard. ©Marie Estienne.

Si en termes d'effectifs, il y a moins de retenues connectées, on note sur les trois sous bassins versants considérés que les retenues connectées sont comparativement plus grandes : 75% des retenues connectées ont des capacités variant entre 10 000 et 16 000 m³ quand 75% des retenues déconnectées ont des capacités variant entre 500 (ssBV 3) et 5 000 m³. Les capacités de stockage totale des deux types de retenues par zone sont détaillées dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 8: détail des capacités de stockage des retenues connectées et déconnectées par sous bassin versant. Source BD Regard. ©Marie Estienne.

	Type de retenues	connectées	déconnectées
ssBV2	nb objets	43	117
	Volume stocké (millions de m3)	0,7	0,5
	capacité moyenne	18000	4200
ssBV3	nb objets	138	232
	Volume stocké (millions de m3)	2	0,6
	capacité moyenne	15120	2730
ssBV4	nb objets	126	89
	Volume stocké (millions de m3)	1,6	0,4
	capacité moyenne	13425	4900

Chapitre 2 : Caractérisation météorologique de l'Arrats

Afin de caractériser le fonctionnement hydrologique du bassin versant, nous devons avant tout le caractériser du point de vue climatique. De par sa position géographique (proximité des Pyrénées au Sud, de la Méditerranée à l'Est et de l'Atlantique à l'Ouest) et sa configuration longiligne, le bassin versant de l'Arrats est soumis à une variabilité climatique importante, à la fois spatiale et temporelle.

1. Données disponibles

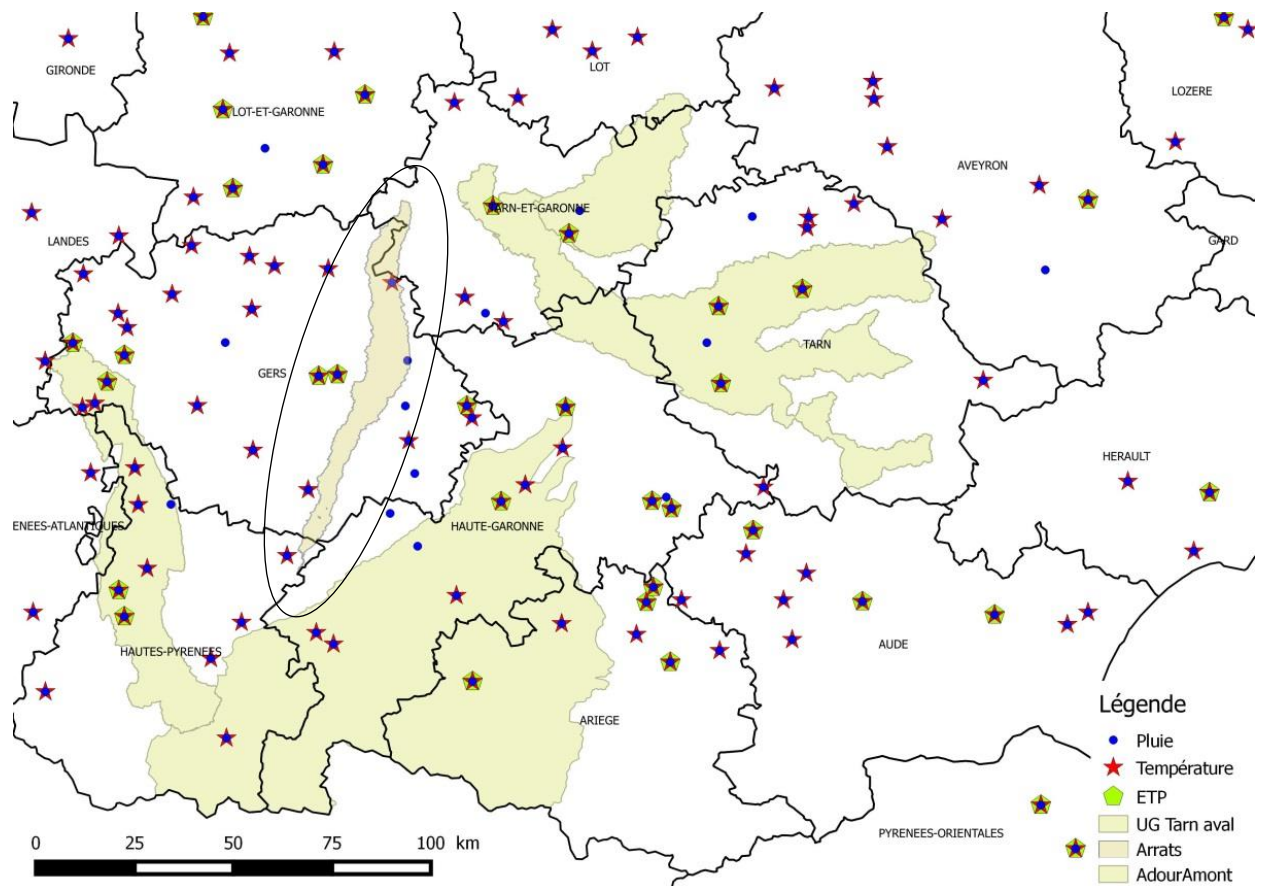
Compte tenu de l'étendue et de la forme du bassin versant, d'une part, et de la faible densité de stations météorologiques, d'autre part, nous avons préféré utiliser des données météorologiques interpolées sur une maille relativement fine pour caractériser le climat du bassin versant et tenter de détecter un éventuel gradient entre l'amont et l'aval. Nous avons à notre disposition deux types de données issues de la même source à savoir les données Météo France.

1.1 Safran

Les données SAFRAN sont des données interpolées sur une maille de 8x8km. La reconstruction statistique du climat à partir des données collectées par Météo France est réalisée par Météo-France directement. Ces données sont achetées par l'INRA. SAFRAN sous-estime les précipitations ce qui a pour effet de surestimer l'Evapotranspiration Potentielle (Modélisation des éléments clefs d'un territoire irrigué, Rapport ONEMA 2016).

1.2 Climbox

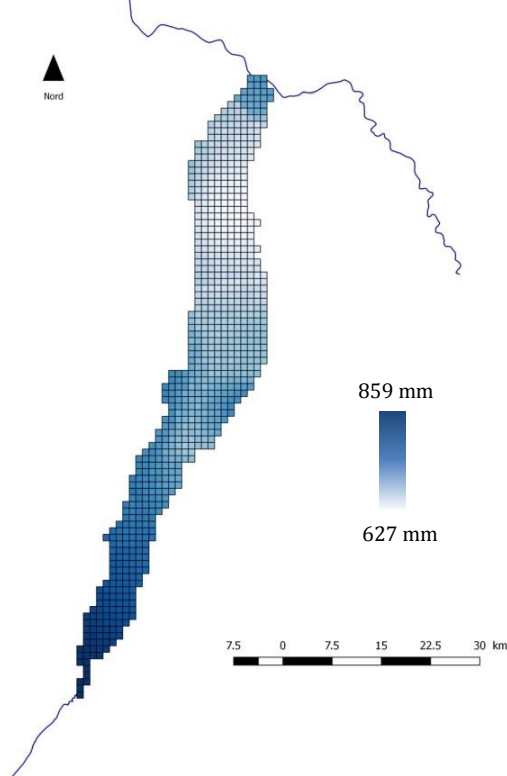
Climbox est constitué par une base de données météorologique achetées par Arvalis auprès de Météo-France et par un algorithme d'interpolation des données permettant de spatialiser le climat à la maille que l'on souhaite. Le mode de calcul de l'Evapotranspiration Potentielle est différent du modèle SAFRAN et est considéré comme étant plus précis (Modélisation des éléments clefs d'un territoire irrigué, Rapport ONEMA 2016). C'est pourquoi dans le reste de l'Etude, nous avons utilisé en premier lieu la reconstruction Climbox sur une grille de 1x1km. C'est également ces données qui sont mobilisées dans MAELIA



Carte 8 : position des stations météo France rachetées par Arvalis pour Climbox. Le bassin versant de l'Arrats est entouré en noir. Deux stations sont situées sur le bassin même (une station pluie et une station pluie+température), et celles à proximité sont utilisées pour spatialiser le climat. Source Arvalis.

2. Variabilité spatiale

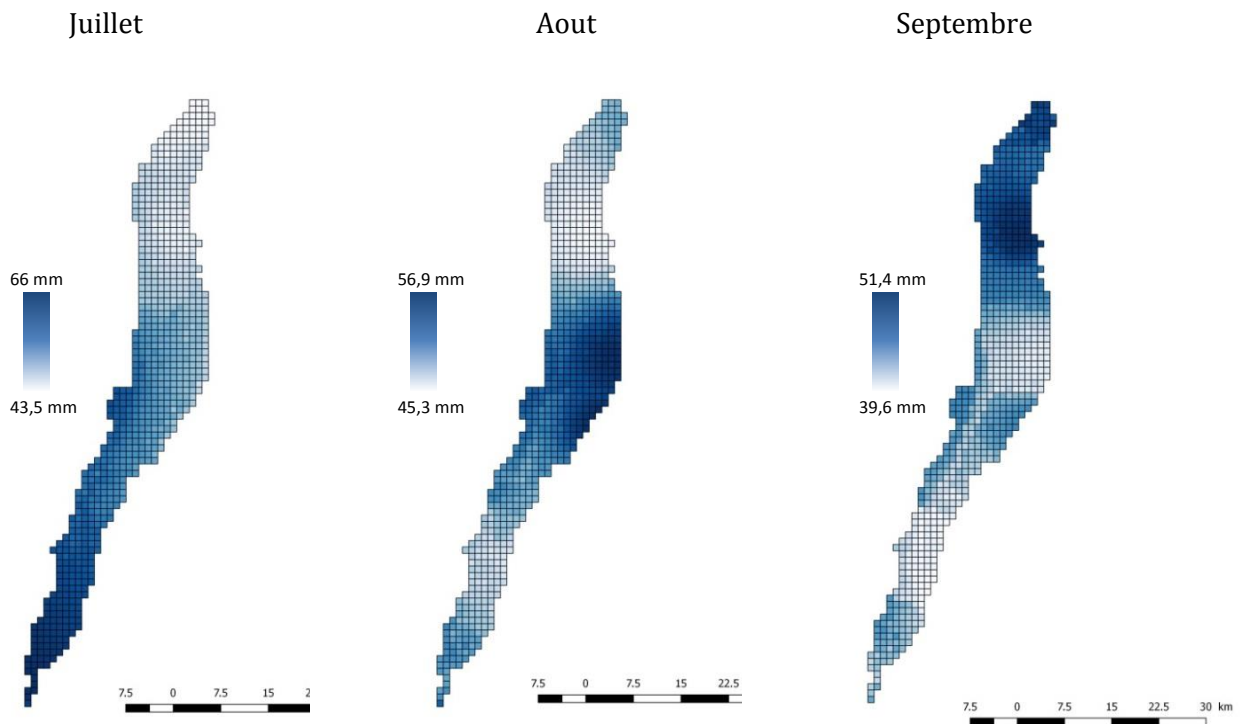
2.1 Gradient pluviométrique Nord-Sud



La carte ci-contre montre qu'en moyenne annuelle les précipitations sont plus importantes à l'amont du bassin versant (Sud).

La pluviométrie moyenne calculée sur une chronique de 16 ans varie de 859 mm à l'amont du bassin versant à 627 mm à l'aval. Il y a donc plus de 200 mm d'écart sur un linéaire de 160 km².

Carte 9: Gradient pluviométrique Nord Sud – Moyenne annuelle Clim

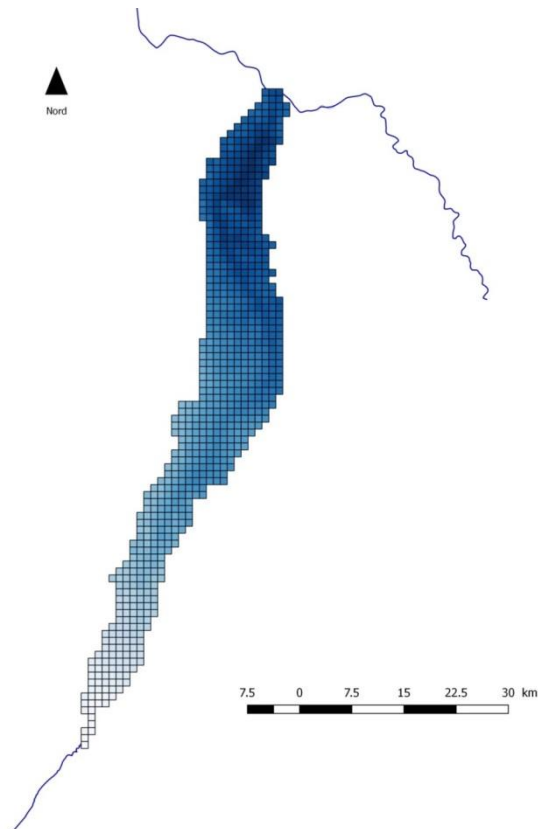


Carte 10: Evolution des pluviométries moyennes sur les trois mois d'été (1999-2015). ©Marie Estienne

La carte 9 est une analyse ciblée sur les mois d'été. Il s'agit d'une moyenne mensuelle calculée sur les années [1999-2015] pour les mois de juillet, août, septembre.

On constate à la lecture de ces cartes que si le gradient de pluviométrie Nord-Sud est bien visible en Juillet, c'est moins le cas sur les mois d'août et septembre. Au mois d'août, on voit que la moyenne des pluies est plus importante sur le centre du bassin versant, tandis qu'en septembre, c'est à l'aval que les pluies sont plus importantes. Cela peut s'expliquer par le fait que certains orages de fin d'été sont très localisés et ont des trajectoires précises.

2.2 Gradient Nord-Sud pour le bilan hydrique

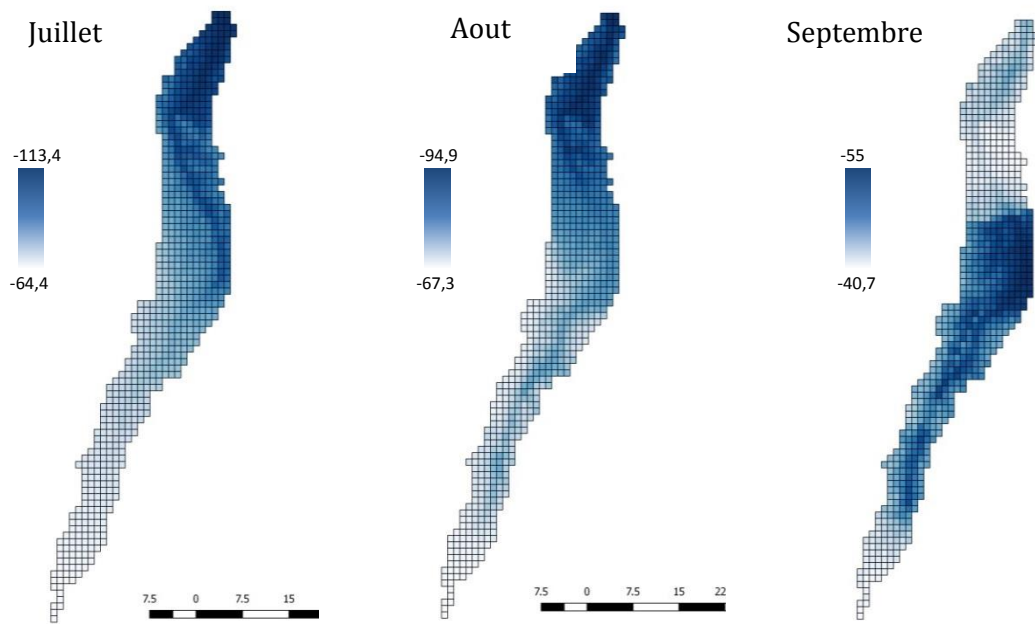


Le bilan hydrique est la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle. Il varie entre 0 (zone blanche) et -283 mm (zone bleu foncée). On voit d'ailleurs assez bien sur la carte que les valeurs les plus négatives se trouvent à proximité du cours d'eau, dont le linéaire est retracé en quelque sorte.

Carte 11: Gradient P-ETP Sud Nord, calculé sur la base des pluviométries et ETP moyennes sur les années 1999 à 2015. Source Climbox. Les valeurs varient entre 0 (blanc) et -283 mm (bleu foncé) ©Marie Estienne

Ci-après (carte 12), on peut voir une présentation du bilan hydrique calculé à partir des moyennes des précipitations et de l'ETP sur les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre.

Les mois de Juin, Juillet et Août sont assez semblables au gradient annuel. En revanche, on constate qu'en septembre le bilan hydrique est bien plus négatif dans la partie centrale du bassin versant de l'Arrats qu'à l'aval. Cela s'explique par l'importance relative de la pluviométrie moyenne en septembre sur la zone aval (cf carte 10)



Carte 12: Bilans hydriques moyens sur les quatre mois d'été (1999-2015). ©Marie Estienne

3. Variabilité temporelle interannuelle.

3.1 Variabilité à l'échelle annuelle

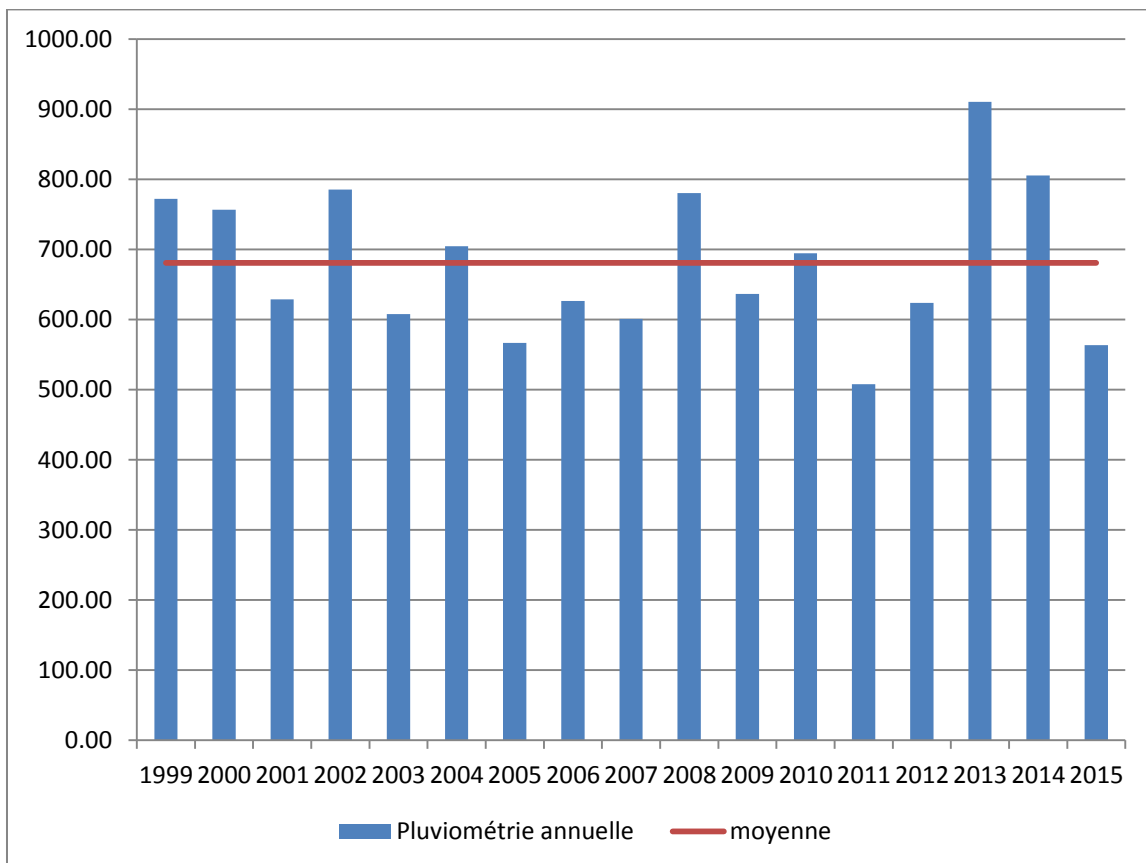


Figure 5: pluviométrie annuelle moyenne sur le bassin versant de l'Arrats de 1999 à 2015. Source Climbox.

La moyenne des précipitations sur le bassin versant de l'Arrats est de 680 mm. Cette moyenne est calculée sur la base des précipitations des 16 dernières années. On retrouve sur ce graphique les années connues pour être largement excédentaires (2013) ou très déficitaires (2011, 2005...)

3.2 Variabilité à l'échelle mensuelle.

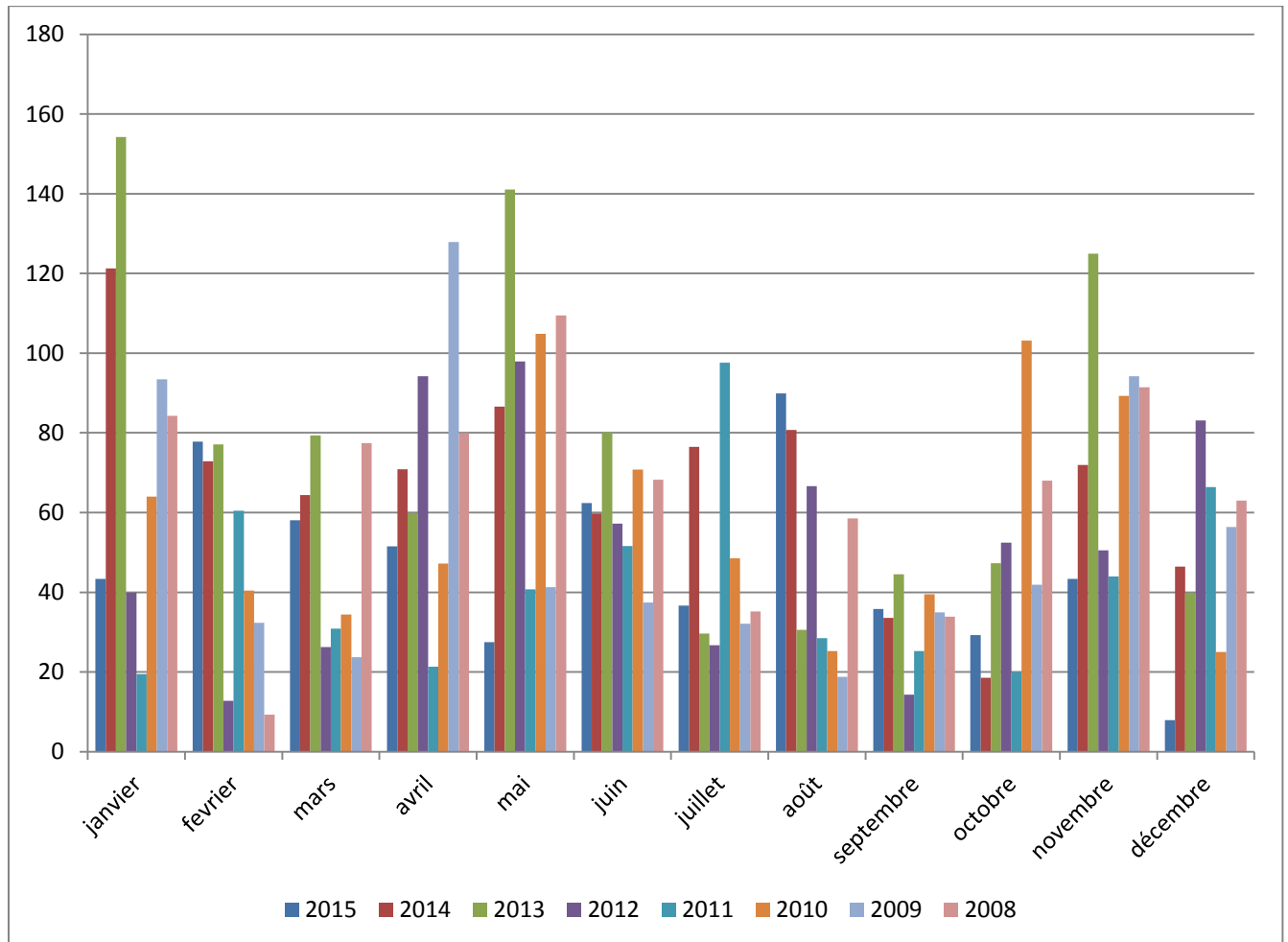


Figure 6: variabilité des précipitations mensuelles pour les années 2015 à 2008. Source Climbox

On note, figure 6, une variabilité très forte de la pluviométrie mensuelle d'une année à l'autre. Pour les années 2015 à 2008, les mois les plus humides sont les mois de janvier, avril, mai et novembre. En années sèches, (2015, 2011), on note que c'est en particulier sur ces mois-là que le déficit se fait.

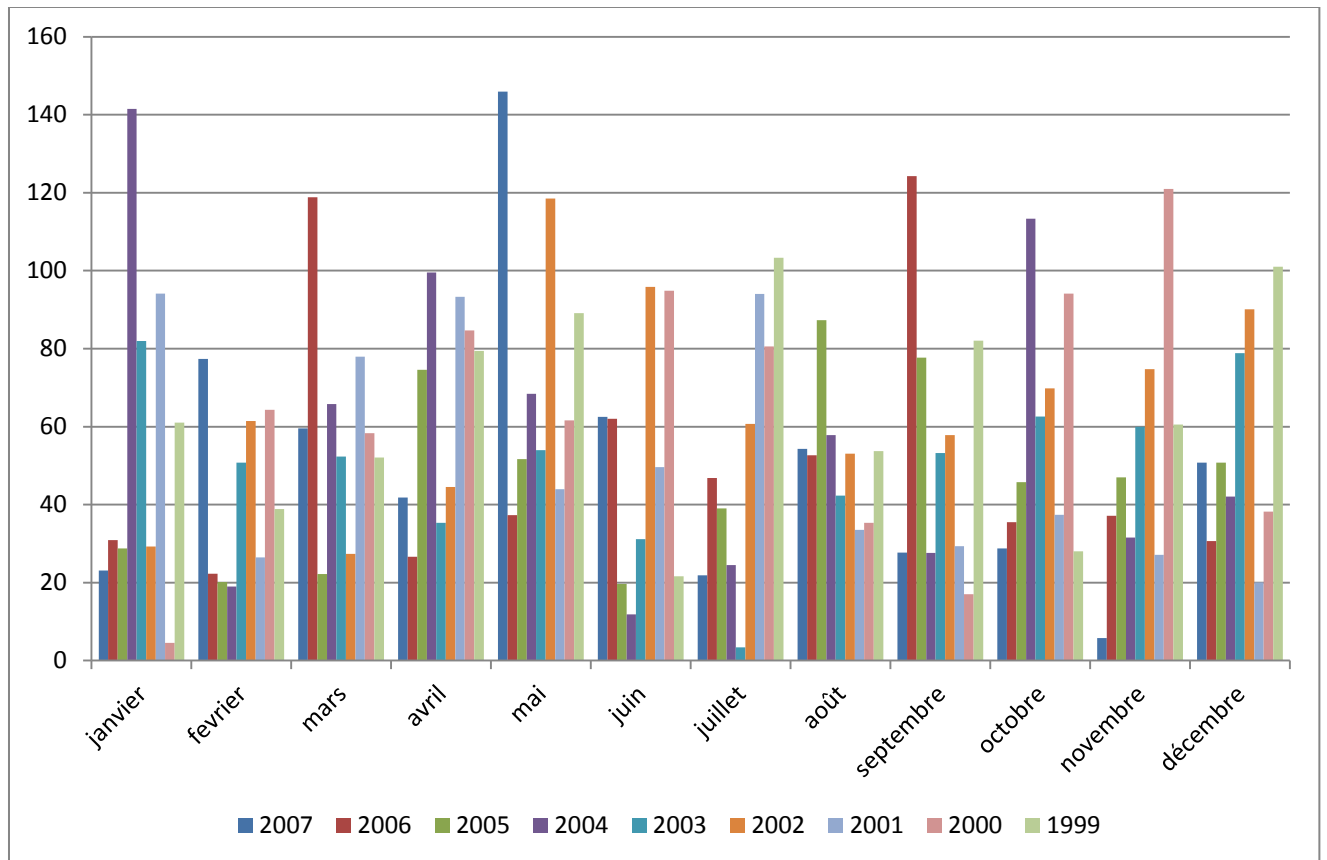


Figure 7: variabilité des précipitations mensuelles pour les années 2007 à 1999. Source Climbox

On fait le même constat sur la figure 7 : il y a une forte variabilité des précipitations mensuelles d'une année à l'autre. Avril et mai sont de 2007 à 1999 deux mois où les précipitations sont importantes, de même qu'octobre et novembre.

Chapitre 3 : Caractérisation hydrologique.

1. Données pédologiques

1.1 La base de données Infosol au 1/1 000 000.

Pour alimenter les deux modèles que sont MAELIA et celui d'OpenFLUID, la diversité des types de sol du bassin versant doit être renseignée. L'Unité InfoSol de l'INRA d'Orléans a développé une base de données des sols géologiques français (BDGSF) au 1:1 000 000.

Grâce à un projet précédent, nous possédons la BDGSF sur le territoire du BAG. Cette base a été par ailleurs retraitée par InfoSol via des fonctions de pédo-transfert pour déduire des variables nécessaires au fonctionnement des modules hydrologique (modèle SWAT) et agronomique (modèle AqYield) de MAELIA.

Il nous est rapidement apparu que l'échelle de cette information n'était pas assez précise au regard de ce que nous souhaitions modéliser. Nous avons donc cherché une donnée sol spatialement plus précise : le référentiel régional pédologique.

1.2 Le Référentiel Régional Pédologique.

Le référentiel régional pédologique ou RRP est une base de données des types de sols géologiques disponible au 1 :250000.

2. Données de la CACG

La CACG, partenaire du projet, a fourni des données de suivi sur une période allant de 2006 à 2016. Ces données sont de deux types.

2.1 Les données débitométriques.

Les quatre stations hydrométriques de l'Arrats (cf. Chapitre 1, partie 2) mesurent une fois par heure le débit de la rivière. Les données sont disponibles en m³/s sur une période allant du 01/01/2012 au 13/10/2016. La qualité de ces données est bonne malgré quelques périodes d'absence de mesures. Pour faciliter leur exploitation, une moyenne journalière a été construite sur la plage horaire 0-23h.

2.2 Les données de prélèvement.

2.2.1 Calcul des débits de prélèvement

Les données de prélèvement sont issues du suivi des compteurs pendant la campagne d'irrigation. Celle-ci se déroule généralement entre le 15 mai et le 15 octobre. Nous disposons des données des années 2006 à 2016.

Les compteurs ne concernent que les prélèvements contractualisés avec la CACG, c'est-à-dire essentiellement les prélèvements en eau superficielle dans le cours d'eau principal. Il y a plusieurs types de compteurs : certains permettent de faire de la télé-relève rendant les index disponibles quotidiennement ; d'autres doivent être relevés manuellement par un agent de la

CACG. Les données de ces derniers sont donc ponctuelles dans la saison. La télé-relève se généralise néanmoins et devrait couvrir l'intégralité du bassin versant de l'Arrats sous peu.

La donnée brute disponible est donc un relevé d'index à une date fixe et pour un compteur. Il faut donc établir une consommation entre deux dates de relevés allant de quelques heures à plusieurs semaines pour chaque compteur.

A partir de ce volume prélevé sur une période donnée, nous établissons un débit moyen journalier prélevé. En l'absence de données de consommations journalières, cela nous permet de lisser les prélèvements sur plusieurs jours et donc de reconstruire une chronique journalière de débit prélevé journalier (Q_{pj}).

$$Q_{pj} \text{ (m}^3\text{/h)} = (\text{consommation (m}^3\text{)} / (t_2 - t_1)) / 24$$

t est exprimé en jour.

Consommation est la différence entre les index à t_1 et t_2 .

De manière similaire aux débits d'entrée et de sortie, le débit prélevé journalier est converti en volume moyen journalier prélevé (en $\text{m}^3\text{/s}$) et rapporté à la surface d'étude, nous obtenons la lame d'eau prélevée journalière (L_{pj}).

2.2.2 Spatialisation des prélèvements.

La donnée « prélèvement » nous informe sur une consommation par compteur et par date. Grâce au numéro de compteur, nous pouvons faire un lien entre les consommations de l'année n et une couche géographique des prélèvements agricoles contractualisés avec la CACG.

Nous pouvons donc spatialiser en partie les volumes prélevés par année et par zone d'étude. Selon les informations de la couche SIG⁸, nous obtenons la répartition des compteurs suivante :

Tableau 9: nombre de compteurs contractualisés avec la CACG pour chaque zone. Les compteurs des ASA sont inclus dans ce décompte par Zone. Les compteurs de l'ASA de Marsan sont pris en compte dans la Zone AS_IA. Source fichier SIG CACG

Nb compteurs Zone AS_IA	Nb compteurs Zone AS_BI	Nb compteurs Zone AS_SA	Nb compteurs total BV
57	118	176	235

38 prélèvements contractualisés avec la CACG sont hors de notre zone d'étude.

Le tableau ci-dessous résume par année et par zone le nombre et le pourcentage des prélèvements pris en compte dans le bilan par rapport au nombre de prélèvements présents dans le fichier cartographique³.

Tableau 10: nombre de compteurs relevés par la CACG par an et par zone. Entre 75 et 80% des compteurs sont spatialisés correctement et pris en compte dans le bilan hydrique, sauf en 2012.

	Nb compteurs relevés total BV	Zone AS_IA	Zone AS_BI	Zone Etude
2012	140 (60%)	21(37%)	43 (36%)	64 (54%)
2013	226 (96%)	44 (77%)	90 (76%)	141(80%)
2014	177 (75%)	45 (79%)	92 (77 %)	144 (82%)
2015	178 (75%)	45 (79%)	92 (77 %)	144 (82%)
2016	176 (75%)	45 (79%)	92 (77%)	141 (80%)

⁸ Couche SIG qui inventorie les prélèvements contractualisés avec la CACG. Fournie par la CACG

On peut considérer que notre bilan est fiable bien que ne tenant pas compte de tous les prélèvements.

Le tableau ci-dessous résume par année le volume prélevé et la part de ce volume affectée à chaque zone d'étude après appariement des consommations par compteurs à la couche SIG et calcul du débit moyen journalier.

Tableau 11: volumes prélevés sur chaque zone suite au traitement de spatialisation des prélèvements. Les valeurs en rouge sont issues de la CACG et les valeurs en bleu sont celles issues du calcul du volume moyen journalier prélevé.

	Volume prélevé total BV (m ³) (source CACG)	Volume AS_IA (m ³)		Volume AS_BI (m ³)		Volume Zone Etude (m ³)	
2012	5 987 628	180 644	220 377	2 470 076	2 505 225	4 324 470	4 602 210
2013	7 895 645	501 903	506 903	3 416 657	3 728 312	6 393 241	5 441 239
2014	3 905 208	333 907	332 872	1 984 689	2 022 912	3 116 690	3 183 354
2015	6 363 443	380 325	355 171	2 679 654	2 652 190	4 431 053	4 412 947
2016	3 095 212	309 792	314 557	1 501 663	1 518 967	2 821 600	2 799 893

Les valeurs des volumes prélevés réels et celles issues du calcul sont du même ordre de grandeur. Les valeurs calculées représentent entre 98% et 105% du volume réel sauf en 2012 sur la Zone AS_IA et en 2013 sur la zone d'étude où le décalage est important ($V_{calculé}=85\%$ de $V_{réel}$).

Les volumes calculés de la zone d'étude représentent entre 69% (2013, 2014) et 90% (2016) des volumes réels prélevés sur la totalité du bassin.

En 2012, un faible pourcentage des compteurs a pu être apparié. Il y a très probablement des volumes dont nous n'avons pu tenir compte à rajouter dans le bilan.

3. Bilan hydrologique

3.1 Méthode appliquée

3.1.1 Calcul utilisé pour le bilan.

Grâce aux données récoltées, nous avons pu estimer les lames d'eau journalières sortantes (L_{sj}) par le cours d'eau principal et lames d'eau journalières entrantes (L_{ej}) par le cours d'eau principal de chaque zone en convertissant les débits moyen journalier (Q_j) en volumes journaliers (V_j), qui ont eux-mêmes été rapportés à la surface du bassin considérée.

$$L_j \text{ (mm)} = (Q_j \text{ (m}^3\text{/s)} * 3600 * 24) / \text{Aire surface (m}^2\text{)}$$

Dans les différents tableaux présentés ci-dessous, les valeurs de lames d'eau naturelles reconstituées (L_{nr}) sont présentées comme nulles si le résultat mathématique est négatif. Cela est fait dans le but d'être plus parlant et de ne pas fausser les valeurs des rapports. Quand la valeur nulle est prise à la place de la valeur négative, cela s'illustre par un rapport lame prélevée/lame naturelle reconstituée de 100%.

La lame d'eau naturelle reconstituée correspond au débit d'eau générée sur la zone d'étude correspondant à l'ensemble du ruissellement de l'eau de pluie sur cette zone. Il est

calculé en soustrayant au débit sortant le débit entrant et en y ajoutant ensuite les prélèvements. Le calcul est le suivant :

$$Lnr_j = Ls_j - Le_j + \text{Prélèvement}$$

Les lames d'eau et les prélèvements sont exprimés en mm.

3.1.2 Périodes considérée.

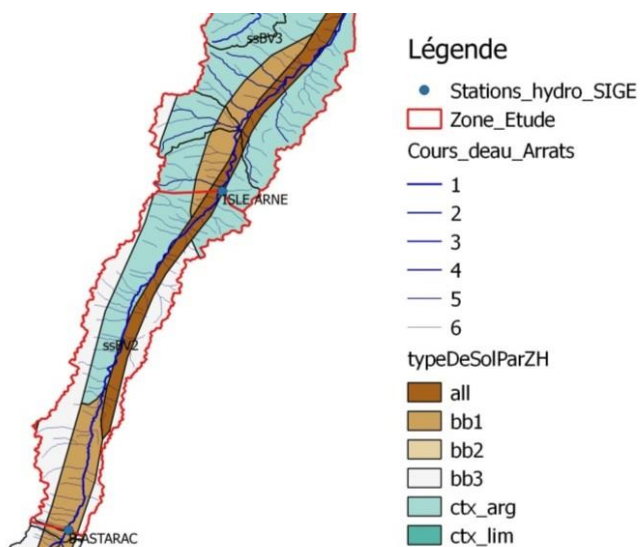
Le bilan hydrologique est calculé sur des périodes qualifiées d'année hydrologique : il s'agit de période allant du 1er septembre d'une année au 31 aout de l'année suivante.

Au pas de temps mensuel, le bilan hydrologique est présenté sur deux années hydrologiques 2013/2014 et 2015/2016. Ces deux années ont été choisies pour voir comment se comporte l'hydrologie du bassin en année plutôt humide (2013/2014) et plutôt sèche (2015/2016). Le bilan mensuel des autres années est présenté en Annexe xx.

3.2 Analyse du bilan hydrologique

3.2.1 Du barrage de l'Astarac à la station d'Isle Arne.

3.2.1.1 Principales caractéristiques de la zone.



Carte 13: la zone allant du pied du barrage à la station Isle Arné.
©Marie Estienne

Cette zone possède une surface de 132 km². Elle est assez étroite, avec un réseau secondaire composé d'un chevelu de cours d'eau intermittents (source PGCE Neste).

La vallée y est dissymétrique avec un versant droit court et pentu, avec des sols calcaires superficiels et un versant rive gauche en terrasse, avec des sols argilo-sableux acides type bouldène.

3.2.1.2 Bilan hydrologique.

3.2.1.2.1 Par année

Tableau 12: bilan par année hydrologique sur la Zone AS_IA c'est-à-dire la zone allant du pied du barrage à la station de mesure de l'Isle Arné.

	Le	Ls	Lp	Lnr_IA	pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_IA/pluie	Lp/Lnr_IA
2012/2013	102	179	3	81	865	912	57%	9%	4%
2013/2014	126	316	2	202	926	882	40%	21%	1%
2014/2015	132	176	3	47	616	982	75%	8%	7%
2015/2016	126	120	2	ND	653	913	105%	0%	100%

La lecture de ce tableau nous informe que :

- Pour les trois années précédents 2016, les lames d'eaux sortantes sont supérieures aux entrantes ; la lame d'eau naturelle est positive voire importante (193 mm en 2013) pour les années humides. Sur ces trois années, les prélèvements (3 mm en moyenne) représentent une faible part de la lame d'eau naturelle.
- On peut noter qu'en 2013/2014, il y a eu moins d'évapotranspiration que de précipitation ; le ruissellement est plus important cette année-là.
- L'année 2015/2016 est singulière. Si elle n'a pas été beaucoup plus sèche que 2014/2015 (comparaison des valeurs de précipitation et d'ETP), on note que la lame d'eau sortante est inférieure à l'entrante, que la lame d'eau naturelle reconstituée est nulle et que par conséquent, les prélèvements sont particulièrement impactant.
- La lame d'eau entrante correspondant aux lâchers du barrage de l'Astarac est relative constante d'une année à l'autre.

3.2.1.2.2 Par mois : focus sur les années 2013/2014 et 2015/2016.

Tableau 13: Bilans hydrologiques des années 2013/2014 et 2015/2016. Les valeurs marquée * son incomplètes du fait d'une absence de mesure (panne de matériel) ou non disponibles (ND).

Mois	Le	Ls	Lp	Lnr_IA	pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_IA/pluie	Lp/Lnr_IA
sept-13	12	12	0,4	0	40	90	102%	2%	54%
oct-13	9	10	0,0	1	46	59	88%	3%	3%
nov-13	8	20	0,0	12	139	19	41%	9%	0%
déc-13	7	14	0,0	7	36	21	52%	19%	0%
janv-14	9	82	0,0	73	131	24	10%	56%	0%
févr-14	9	39	0,0	30	76	34	24%	39%	0%
mars-14	10	61	0,0	51	73	62	16%	70%	0%
avr-14	9	32	0,0	23	75	83	28%	31%	0%
mai-14	8	14	0,0	5	96	102	62%	5%	0%
juin-14	11	10	0,3	0	67	149	113%	2%	21%
juil-14	17	12	0,7	0	70	129	141%	0%	100%
août-14	15	10	0,7	0	78	110	150%	0%	100%
sept-15	9	11	0,3	2	33	85	87%	5%	20%
oct-15	9	10	0,1	1	22	55	89%	6%	9%
nov-15	9	10	0,0	1	46	32	88%	4%	0%
déc-15	7	8	0,0	1	7	26	84%	32%	0%
janv-16	6	ND*	0,0	0	98	25	128%	3%	0%
févr-16	6	26	0,0	20	102	34	23%	20%	0%
mars-16	6	22	0,0	16	64	58	28%	26%	0%
avr-16	6	11	0,0	5	68	83	55%	7%	0%

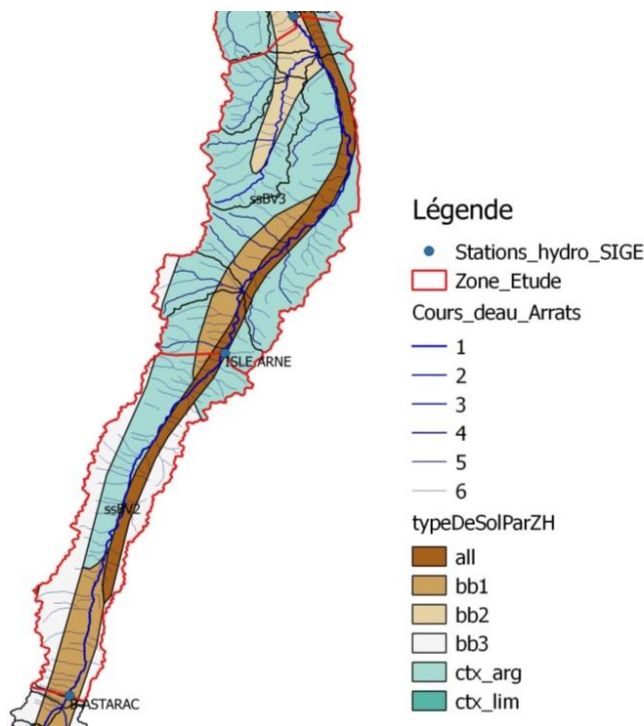
mai-16	6	ND*	0,0	ND	93	106	ND	ND	ND
juin-16	7	ND*	0,2	ND	36	122	ND	ND	ND
juil-16	24	ND*	0,8	ND	65	141	ND	ND	ND
août-16	30	15	1,0	0	20	145	202%	0%	100%

On note à l'analyse de ce tableau plusieurs éléments :

- Pour ce qui est du rapport flux entrant/flux sortant,
 - o en 2013/2014, celui-ci est toujours inférieur à 100% sauf en périodes de prélèvements. Pour ces périodes, cela peut s'expliquer par i) une sous-estimation des prélèvements sur cette zone, ii) l'incertitude dans la mesure des débits en entrée et sortie, iii) aux temps de transfert entre les lâchers d'eau du barrage et la mesure à Isle Arne. iv) à l'infiltration vers la nappe de l'eau de rivière sur le bief.
 - o En 2015/2016, on note que le rapport Le/Ls est supérieur à 100% en janvier 2016 mais cela est dû à l'absence de mesure de débit sortant du 27/12/2015 au 20/01/2016, probablement dû à une panne de matériel. Le cas se retrouve en mai, juin et juillet 2016 où le bilan ne peut être établi du fait de l'absence de mesure à Isle Arne.
- Pour ce qui est de l'impact des prélèvements sur la lame d'eau naturelle reconstituée, pour les deux années, il est de 100% en étiage, période où la lame d'eau naturelle est nulle ou presque.
- On note une lame d'eau générée sur la zone d'étude en période hivernale pour les deux années. Il nous faut déterminer si elle est issue du ruissellement ou d'une alimentation souterraine.

3.2.2 Du barrage de l'Astarac à la station de Bives.

3.2.2.1 Principales caractéristiques de la zone.



Carte 14: la zone AS_BI allant du barrage de l'Astarac à la station de Bives. ©Marie Estienne

La zone allant du pied du barrage jusqu'à la station de mesure de Bives fait 365 km². Elle s'élargit en aval d'Isle Arne. On note la présence de l'affluent principal de l'Arrats, l'Orbe, qui afflue en rive gauche en amont de Bives. Le réseau secondaire est plus dense et les cours d'eau sont de classe supérieure, ce qui signifie que leurs écoulements sont moins intermittents que sur le tronçon précédent.

En termes de géomorphologie, la partie en aval l'Isle Arne est faite de collines au relief doux sur des formations calcaires. Les sols sont de type argilo-calcaires (terreforts) plus ou moins profonds. Ce sont des sols qui ont une capacité de stockage de l'eau importante.

3.2.2.2 Bilan hydrologique.

3.2.2.2.1 Par année

Tableau 14: bilan par année hydrologique de la zone AS_BI couvrant l'aire entre le bassin de l'Astarac et la station de Bives

	Le	Ls	Lp	Lnr_BI	Pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_BI/pluie	Lp/Lnr_BI
2012/2013	37	223	8,8	195	827	925	17%	24%	4%
2013/2014	46	221	5,9	183	869	893	21%	21%	3%
2014/2015	48	118	6,6	77	596	1000	40%	13%	9%
2015/2016	46	95	6	60	651	924	48%	8%	10%

On note que sur cette zone, le rapport des lames d'eau annuelles entrante et sortante est toujours inférieur à 100%. Cela signifie qu'il y a un apport d'eau extérieur au cours d'eau principal. On pense à l'Orbe et au réseau secondaire plus dense avec une surface de ruissellement et d'infiltration plus importante. On peut aussi penser à une réalimentation complémentaire par le souterrain.

Les prélèvements représentent entre 3 et 10% de la lame d'eau naturelle reconstituée, ce qui est peu mais non négligeable.

Les années 2014/2015 et 2015/2016 sont des années sur lesquelles l'ETP cumulée a été largement supérieure aux précipitations. On note qu'il y a eu potentiellement moins de ruissellement, la lame d'eau naturelle reconstituée ne représentant qu'environ 10% des précipitations cumulées.

3.2.2.2.2 Par mois : focus sur les années 2013/2014 et 2015/2016.

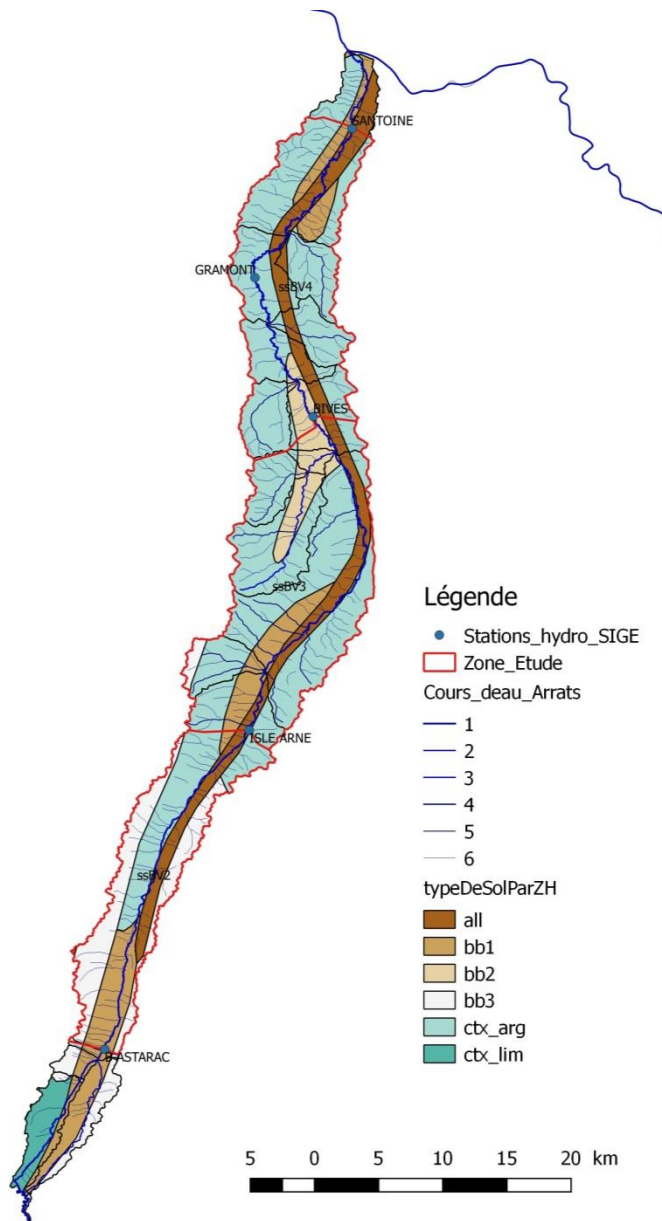
Tableau 15: bilan hydrologique par mois des années 2013/2014 et 2015/2016

Mois	Le	Ls	Lp	Lnr_BI	Pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_BI/pluie	Lp/Lnr_BI
sept-13	4	4	2,2	2	41	91	114%	4%	133%
oct-13	3	3	0,0	0	49	59	94%	0%	14%
nov-13	3	15	0,0	12	114	19	21%	10%	0%
déc-13	3	12	0,0	9	38	19	23%	24%	0%
janv-14	3	44	0,0	41	127	23	7%	32%	0%
févr-14	3	46	0,0	42	68	33	7%	62%	0%
mars-14	4	43	0,0	39	58	63	9%	67%	0%
avr-14	3	25	0,0	22	66	84	13%	33%	0%
mai-14	3	12	0,0	9	84	104	26%	10%	0%
juin-14	4	7	0,6	4	68	153	55%	6%	15%
juil-14	6	6	1,5	1	62	132	107%	2%	136%
août-14	6	5	1,5	1	92	113	102%	2%	107%
sept-15	3	3	1,5	2	30	86	97%	5%	92%
oct-15	3	3	1,1	1	29	55	113%	3%	152%
nov-15	3	4	0,0	0	41	32	89%	1%	0%
déc-15	3	2	0,0	0	8	25	116%	0%	0%
janv-16	2	3	0,0	0	95	25	88%	0%	0%
févr-16	2	25	0,0	22	97	34	9%	23%	0%
mars-16	2	24	0,0	22	62	59	9%	35%	0%
avr-16	2	9	0,0	7	64	85	24%	11%	0%
mai-16	2	7	0,0	5	107	108	33%	4%	0%
juin-16	3	4	0,2	2	36	123	59%	5%	11%
juil-16	9	6	1,3	0	66	145	145%	0%	100%
août-16	11	5	1,7	0	18	147	206%	0%	100%

- Pour ce qui est du rapport Le/Ls :
 - o En 2013/2014, il est légèrement supérieur à 100% en période d'étiage. En juillet et aout 2014, les prélèvements suffisent quasiment à expliquer la différence entre flux entrant et flux sortant.
 - o En 2015/2016, il est supérieur à 100% en octobre et en décembre 2015 du fait d'une très faible pluviométrie (29 mm et 8mm) et de faibles débits ces deux mois. Le/Ls est très fortement supérieur à 100% en juillet et aout 2016. Cela peut être dû à des imprécisions de mesure de débit à Bives, ou encore à une imprécision des prélèvements ; cela peut également s'expliquer par une infiltration vers le souterrain.
- Pour ce qui est de l'impact des prélèvements, il est très important en période d'étiage

3.2.3 Du barrage de l'Astarac à la station de St Antoine

3.2.3.1 Principales caractéristiques de la zone.



Carte 15: La zone allant du pied du barrage de l'Astarac à la station de Saint Antoine, juste en amont de la confluence avec la Garonne. ©Marie Estienne

La zone d'étude part du pied du barrage de l'Astarac et va jusqu'à la station de mesure de St Antoine, un peu avant la confluence physique avec la Garonne.

La station de St Antoine est un point de mesure historique, qui permet de gérer le DOE de l'Arrats.

Il faut préciser cependant que pour le système Neste, un Débit Objectif d'Etiage (DOE) global a été imaginé. Sa valeur est de 500 l/s pour les cinq rivières gérées par la CACG. Des DOE dédiés à chaque cours d'eau doivent cependant être imaginés sous peu pour faciliter la gestion.

Cette zone fait 552 km². Elle se compose donc des deux zones décrites précédemment plus la partie comprise entre Bives et St Antoine.

On note un rétrécissement de la vallée en aval de Bives, avec une diminution de la densité du réseau secondaire.

Cette zone est faite de calcaire dur donnant naissance à des sols calcaires superficiels de type peyrusquet.

3.2.3.2 Bilan hydrologique.

3.2.3.2.1 Par année

Tableau 16: bilan hydrologique de la zone allant du barrage de l'Astarac à la station de Saint Antoine.

	Le	Ls	Lp	Lnr_SA	Pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_SA/pluie	Lp/Lnr_SA
2012/2013	24	230	10	215	852	1050	11%	25%	5%
2013/2014	30	202	6	177	890	825	15%	20%	3%
2014/2015	32	95	8	72	618	1001	33%	12%	11%
2015/2016	30	97	6	76	649	931	31%	12%	8%

On note que la lame d'eau entrante est assez stable tous les ans (autour de 30mm). La lame d'eau sortante fluctue en revanche beaucoup et est directement influencée par la quantité de précipitations constatées sur l'année.

Les prélèvements représentent une part faible de la lame d'eau naturelle reconstituée mais non négligeable.

3.2.3.2.2 Par mois : focus sur les années 2013/2014 et 2015/2016

Tableau 17: bilans hydrologiques mensuels pour les années 2013/2014 et 2015/2016.

Mois	Le	Ls	Lp	Lnr_SA	Pluie	ETP	Le/Ls	Lnr_SA/Pluie	Lp/Lnr_SA
sept-13	3	3	0,8	1	45	55	107%	1%	134%
oct-13	2	3	0,3	1	47	25	75%	2%	27%
nov-13	2	12	0,2	10	125	20	17%	8%	2%
déc-13	2	10	0,2	8	40	19	18%	21%	2%
janv-14	2	56	0,0	54	121	22	4%	44%	0%
févr-14	2	40	0,0	38	73	33	6%	52%	0%
mars-14	2	37	0,0	34	64	64	7%	53%	0%
avr-14	2	18	0,2	16	71	84	12%	23%	1%
mai-14	2	9	0,0	7	87	104	23%	8%	1%
juin-14	3	6	0,9	5	60	154	41%	8%	19%
juil-14	4	5	1,7	2	77	132	90%	3%	79%
août-14	4	4	1,4	2	81	113	94%	2%	85%
sept-15	2	3	1,1	2	36	86	74%	5%	59%
oct-15	2	2	0,8	1	29	55	101%	3%	103%
nov-15	2	3	0,0	1	43	31	80%	1%	0%
déc-15	2	2	0,0	1	8	25	75%	7%	0%
janv-16	2	11	0,0	10	94	24	14%	10%	0%
févr-16	1	23	0,0	22	92	35	6%	24%	0%
mars-16	2	23	0,0	21	59	59	7%	36%	0%
avr-16	1	11	0,0	9	70	85	14%	13%	0%
mai-16	2	8	0,0	6	102	110	20%	6%	0%
juin-16	2	6	0,5	5	41	124	29%	11%	10%
juil-16	6	4	1,7	0	55	149	161%	0%	100%
août-16	7	2	1,9	0	18	149	329%	0%	100%

- Pour ce qui est du rapport flux entrant/flux sortant :
 - o En 2013/2014, il est inférieur à 100% sauf en septembre 2013. Cela indique une lame d'eau générée sur la zone importante au regard des apports par l'amont (barrage). En été, le rapport frôle les 100%, les apports en amont correspondant en volume aux prélèvements.
 - o En 2015/2016, le déficit de la rivière est marqué par un rapport Le/Ls très largement supérieur à 100% en juillet et août 2016. En juillet l'écart entre lame d'eau entrante et lame d'eau sortante est de 2 mm soit l'équivalent de la lame d'eau prélevée. En Août, en revanche, l'écart entre entrant et sortant est de 5 mm alors que les prélèvements sont également de 2mm. Comme pour la zone la plus amont, cela peut avoir plusieurs origines: i) une sous-estimation des prélèvements sur cette zone, ii) l'incertitude dans la mesure des débits en entrée et sortie, iii) les temps de transfert entre les lâchers d'eau du barrage et la station de Saint-Antoine et iv) l'infiltration vers la nappe de l'eau de rivière sur le bief. En période hivernale, la lame d'eau sortante est plus importante du fait des précipitations et du ruissellement ; on note cependant qu'elle est bien plus faible en 2016 qu'en 2014.
- Pour ce qui est de l'impact des prélèvements sur la lame d'eau naturelle reconstituée, il est toujours très important. Cette lame d'eau est d'ailleurs nulle pendant l'été 2016 alors qu'en juillet-août 2013, elle était de 2 mm.

4. Décomposition des débits

4.1 Méthode : La séparation des débits de base et de ruissellement.

La fonction Baseflow du package R EcoHydrology (Annexe 1) a été utilisée pour déterminer dans le débit naturel reconstitué la part due à un débit de ruissellement et la part due à un débit de base, qui peut caractériser une alimentation par une nappe.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats obtenus. Pour plus de lisibilité, les valeurs négatives résultant du calcul du débit naturel reconstitué ont été prises égales à 0.

La courbe rouge « bt » matérialise le débit de base et la courbe verte « qft » (pour quick flow) matérialise le débit dû au ruissellement.

4.2 Analyse des résultats obtenus.

4.2.1 Du pied du barrage à l'Isle Arné : Zone AS_IA

4.2.1.1 Année 2013-2014

décomposition du débit naturel reconstitué sur la zone AS_IA

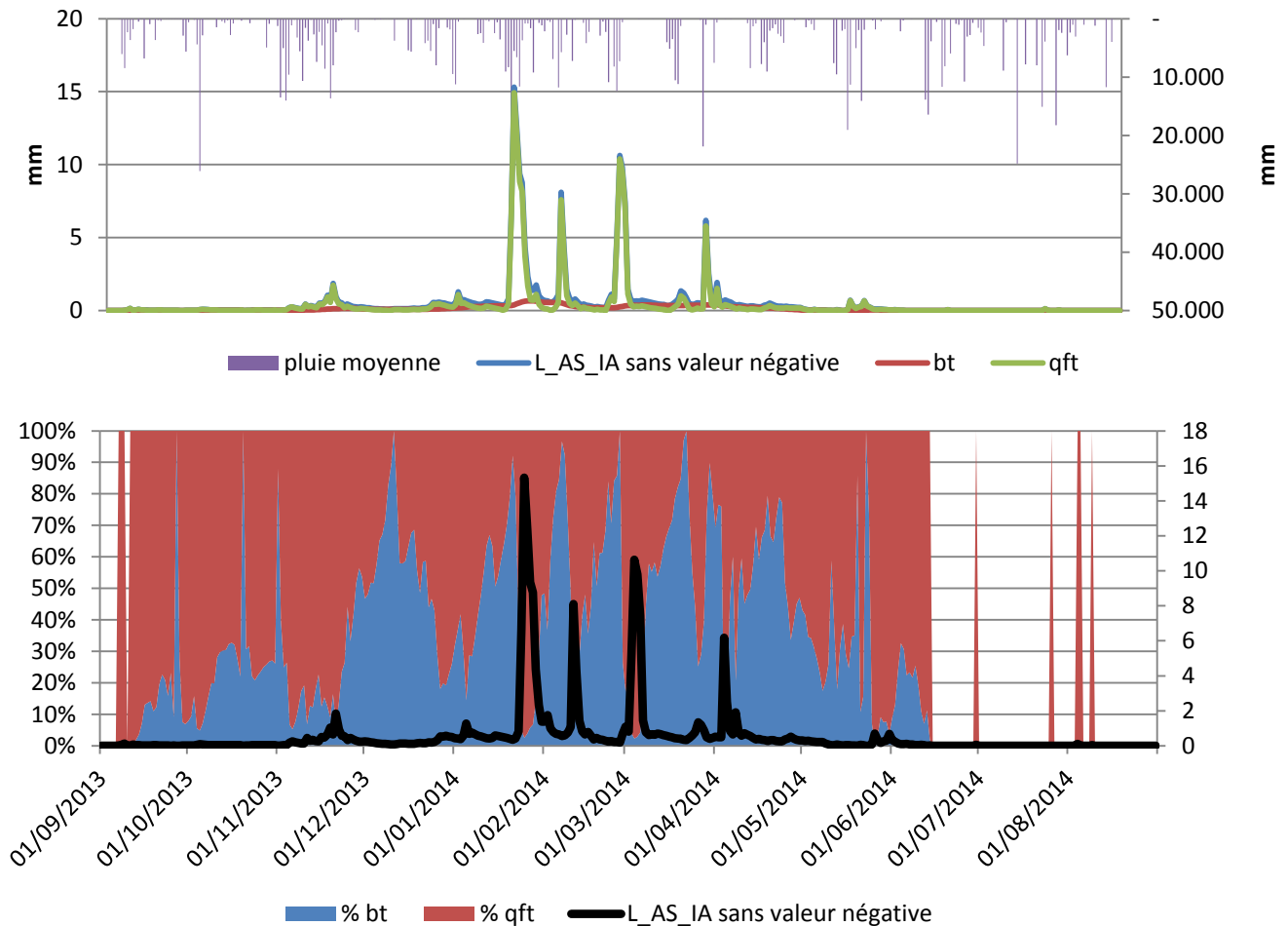


Figure 8: Année hydrologique 2013-2014. En haut débit naturel reconstitué journalier à Isle Arne décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyétoGRAMME (axe de gauche).

On note qu'en période de pluie, la Zone AS_BI réagit assez rapidement par des pics de débit et une part importante du ruissellement (pic du 25/01/2014 : 90% de ruissellement). En dehors des périodes de précipitations, le débit baisse très rapidement pour rejoindre des valeurs presque nulles, la part de débit de base est alors prédominante (exemple en décembre 2013). Jusqu'au mois de novembre et à partir du mois de juillet, les pluies, parfois importantes supérieures à 25 mm/j, ne génèrent pas de crue.

En cumulée, la lame d'eau naturelle reconstituée en 2013/2014 est de 205 mm. Le débit de ruissellement représente 159 mm (78%) et le débit de base 46mm (22%)

4.2.1.2 Année 2015-2016.

décomposition du débit naturel reconstitué sur la zone AS_IA

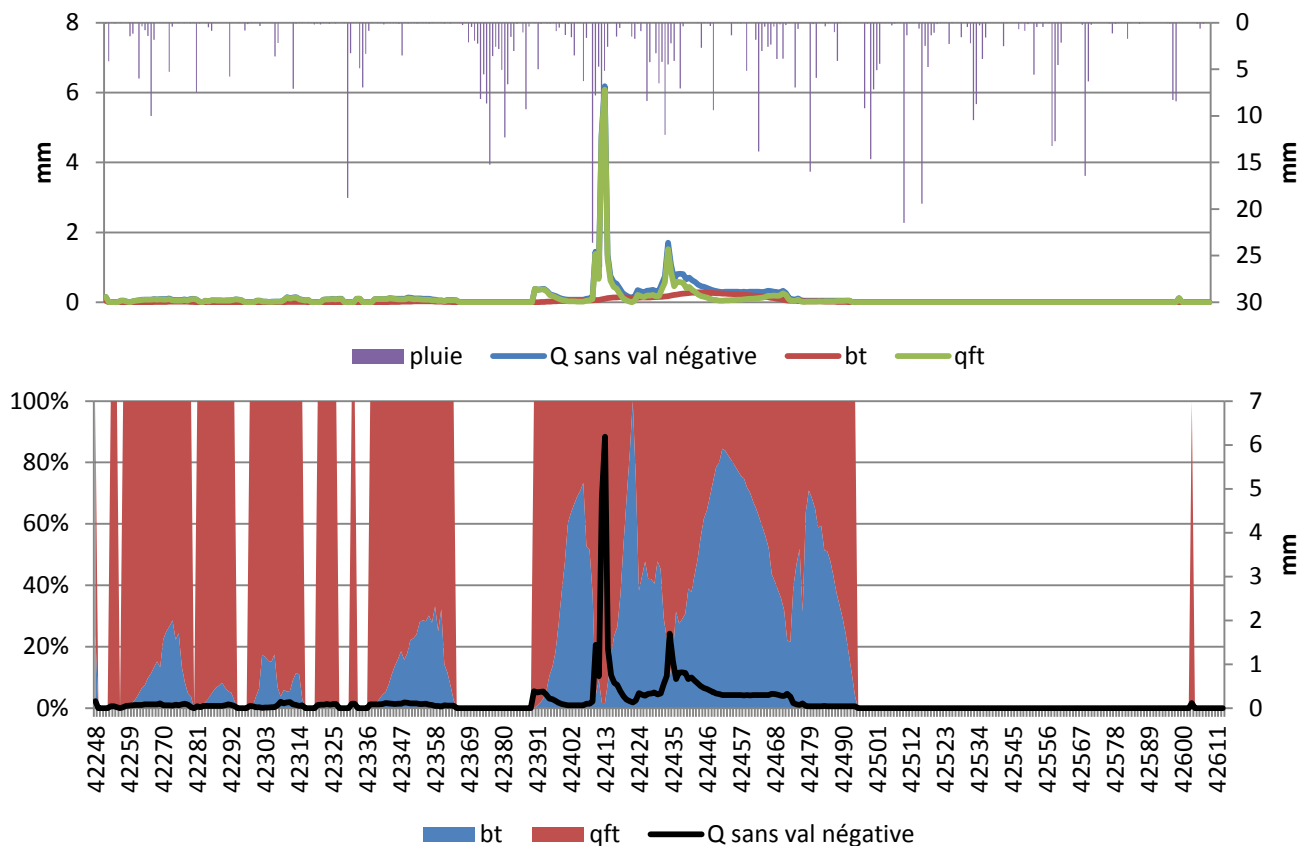


Figure 9: Année hydrologique 2015-2016. En haut débit naturel reconstitué journalier à Isle Arne décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyétoqramme (axe de gauche).

Sur la décomposition de la lame d'eau naturelle reconstituée de l'année 2015/2016, on note une réactivité moindre de la zone aux précipitations, notamment en mars et avril 2016. Peut-être est-ce dû à une mauvaise estimation du débit sortant, ou au fait que les sols ne sont pas ou plus saturés en eau et qu'ils ont donc un effet limitant sur le ruissellement. On note sur cette même période, comme l'année 2013/2014 que le débit de base est proportionnellement plus important en période de très faible débit (environ 1mm).

En cumul la lame d'eau naturelle reconstituée est de 52 mm sur cette zone. Il manque néanmoins des données sur certaines périodes. Pour les moments où on peut les calculer, la lame d'eau imputable au débit de base est de 13 mm (25%) et elle est de 38 (75%) mm pour le ruissellement.

Sur les deux années, aussi différentes soient-elles, le débit de base est vraiment faible comparativement au débit de ruissellement.

4.2.2 Du pied du barrage à Bives : Zone AS_BI

4.2.2.1 Année 2013-2014

décomposition du débit naturel reconstitué de la zone AS_BI

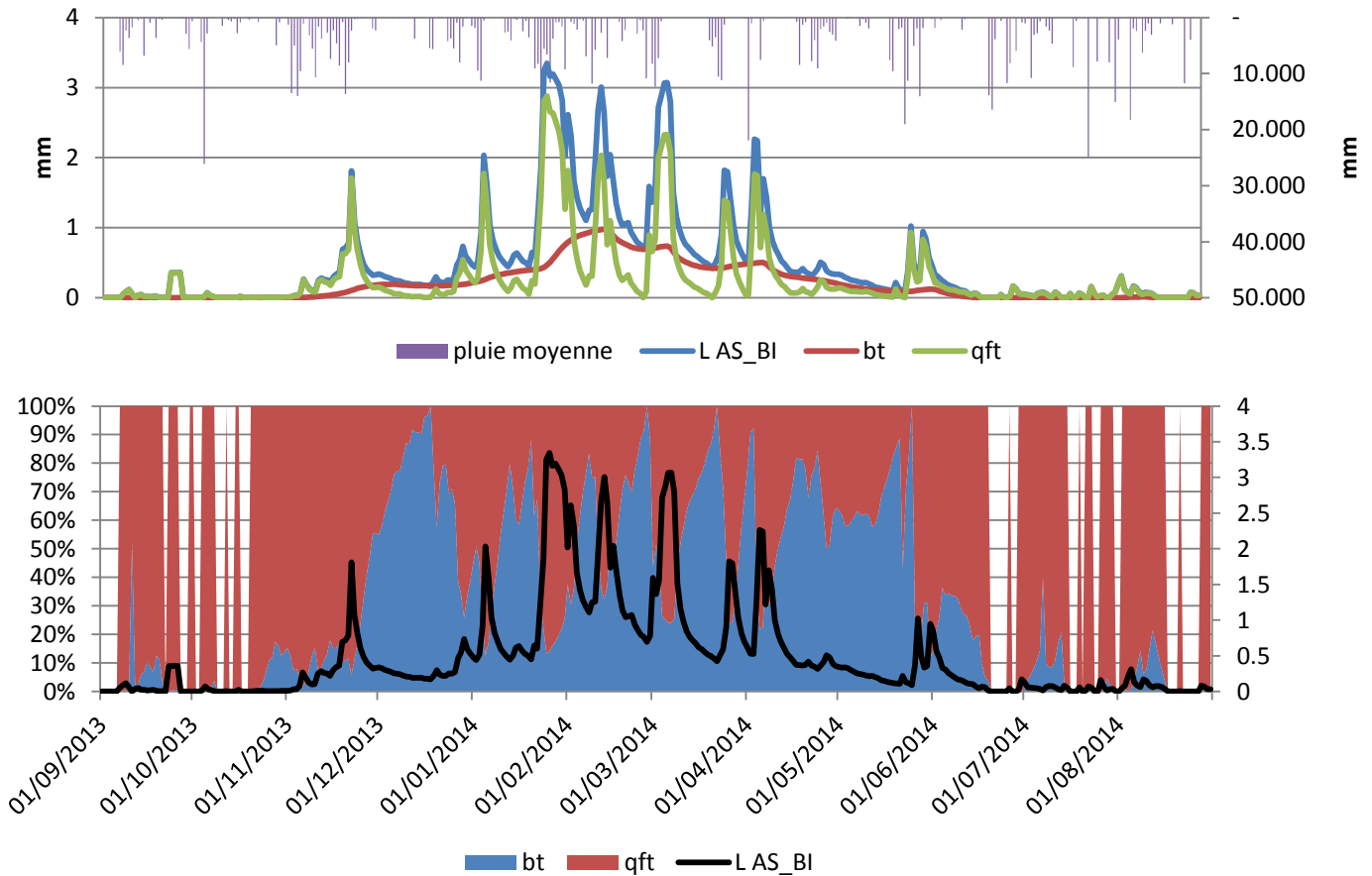


Figure 10: Année hydrologique 2013-2014. En haut débit naturel reconstitué journalier à Bives décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyétoGRAMME (axe de gauche).

Le débit de ruissellement constitue la majeure partie du débit naturel reconstitué. Mais à la différence de la zone précédente, l'écoulement de base constitue une part importante.

En cumul, la lame d'eau de l'année 2013/2014 est de 183 mm avec 76 mm (41%) issus du débit de base et 107 mm (59%) issus du débit de ruissellement. La présence d'une nappe soutenant les débits à la suite des événements de pluie pourrait expliquer ce rapport entre ruissellement et écoulement de base.

4.2.2.2 Année 2015-2016.

décomposition du débit naturel reconstitué sur la zone AS_BI

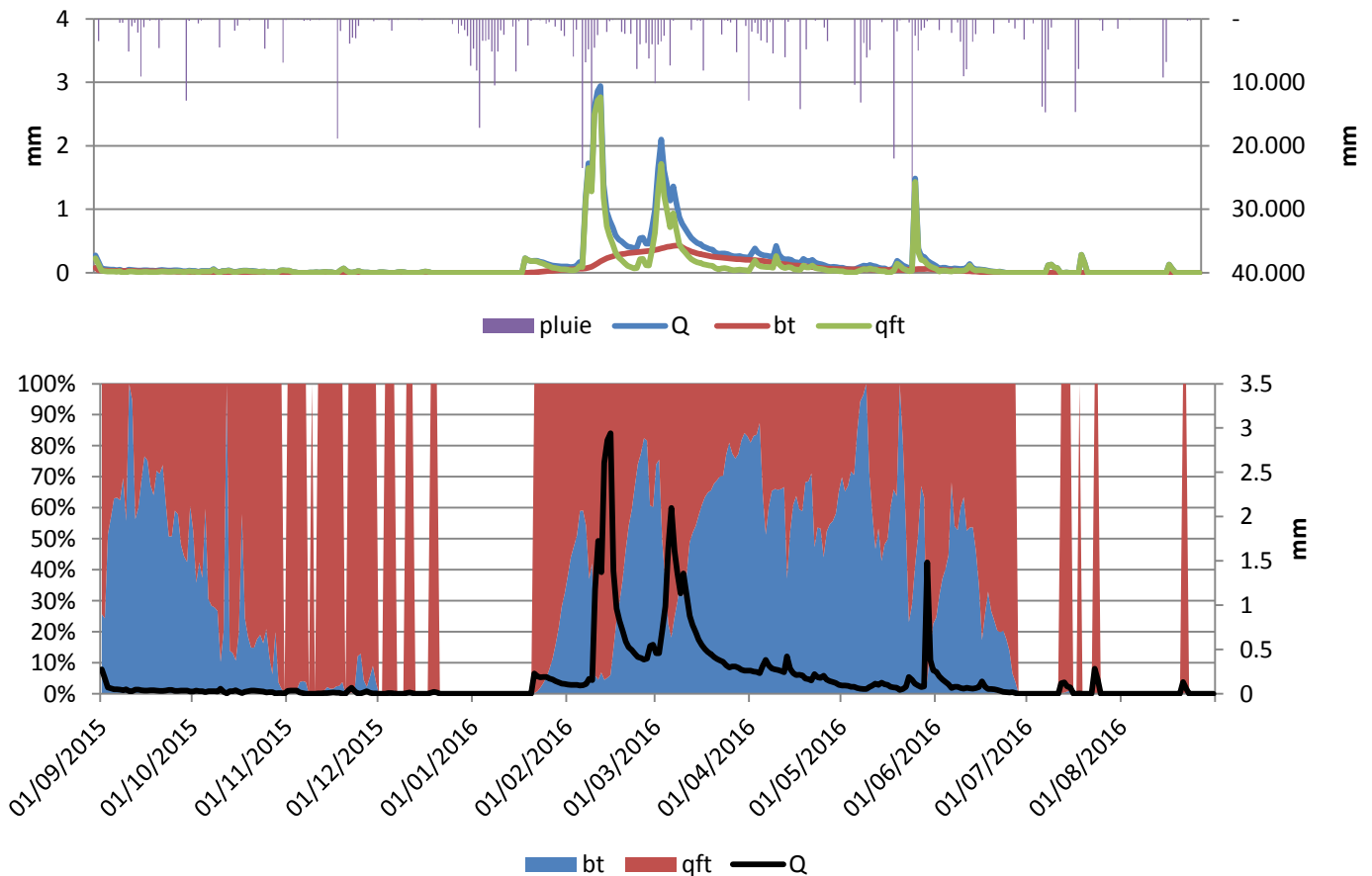


Figure 11 : Année hydrologique 2015-2016. En haut débit naturel reconstitué journalier à Bives (Q) décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyétoGRAMME (axe de gauche).

Du fait d'une moindre pluviométrie en 2016, on voit mieux sur la période 15-mars/1^{er}-juin, le soutien du débit par le débit de base. Ce soutien est faible car les débits sur cette période-là sont inférieurs à 0,5 mm. Néanmoins, on visualise bien la baisse progressive de la lame d'eau naturelle reconstituée.

En cumul sur l'année 2015/2016, la lame d'eau cumulée est de 60 mm pour ce tronçon ; 21 mm (36%) sont issus du débit de base et 39 mm (64%) du ruissellement.

Sur ces deux années, la part du débit de base est approximativement la même dans la lame d'eau naturelle reconstituée, autour de 40%.

4.2.3 Du pied du barrage à Saint Antoine : Zone AS_SA

4.2.3.1 Année 2013-2014

décomposition du débit naturel reconstitué de la zone AS_SA

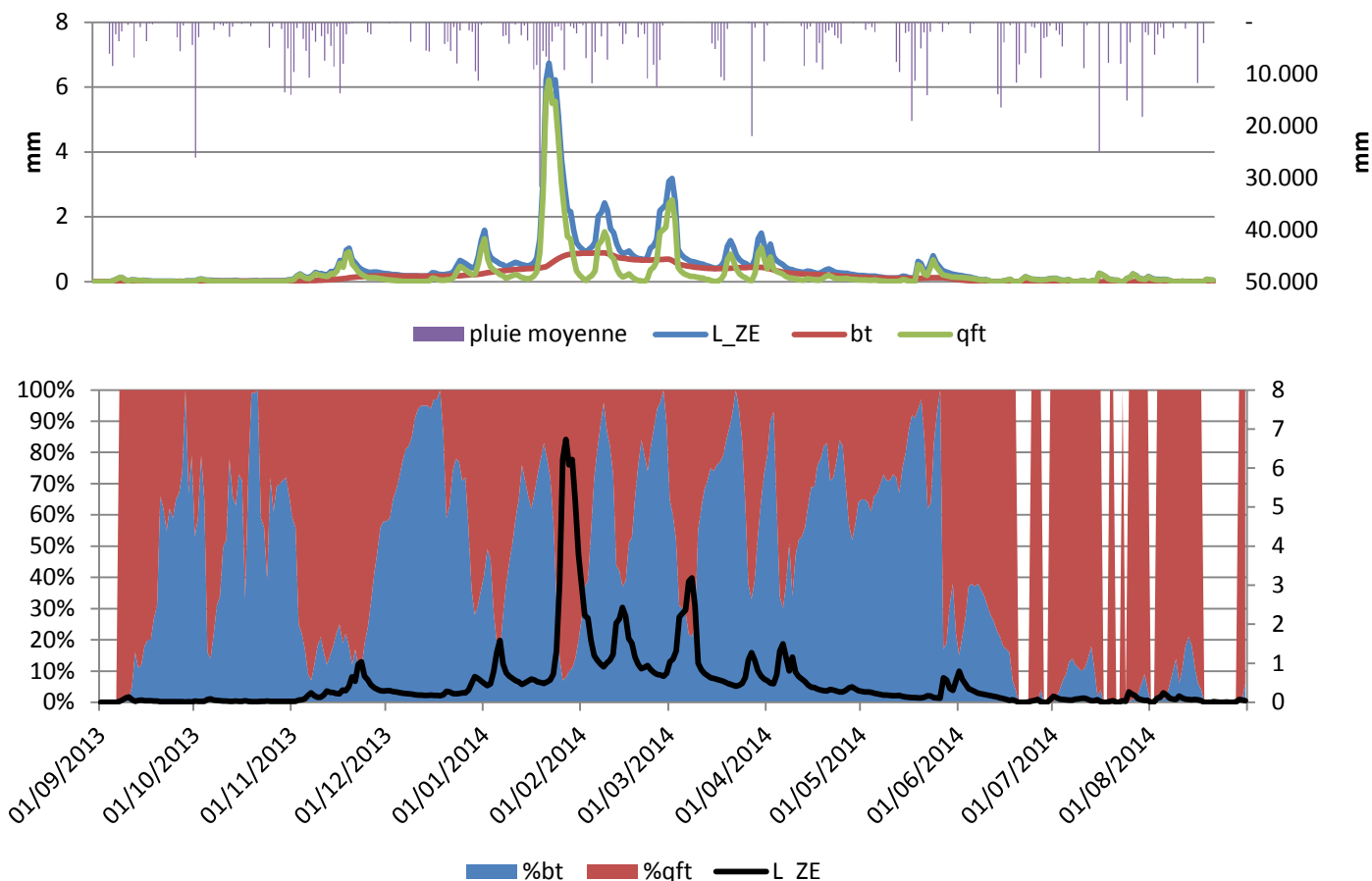


Figure 12: Année hydrologique 2013-2014. En haut débit naturel reconstitué journalier à Saint Antoine décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyétoGRAMME (axe de gauche)

A la lecture de la figure 12, on voit que le débit de base est positif entre décembre 2013 et avril 2014 (courbe verte, graphique du haut). La part du débit de ruissellement est toujours plus importante mais on voit qu'il y a plus d'inertie dans le retour à 0 de la lame d'eau naturelle reconstituée. On peut donc envisager la présence d'un aquifère de subsurface, présent entre l'Isle Arne et Saint Antoine.

En cumul sur l'année, pour une lame d'eau de 178 mm, 73 mm (41%) sont issus du débit de base et 105 (59%) sont issus du ruissellement.

4.2.3.2 Année 2015-2016

décomposition du débit naturel reconstitué de la Zone AS_SA

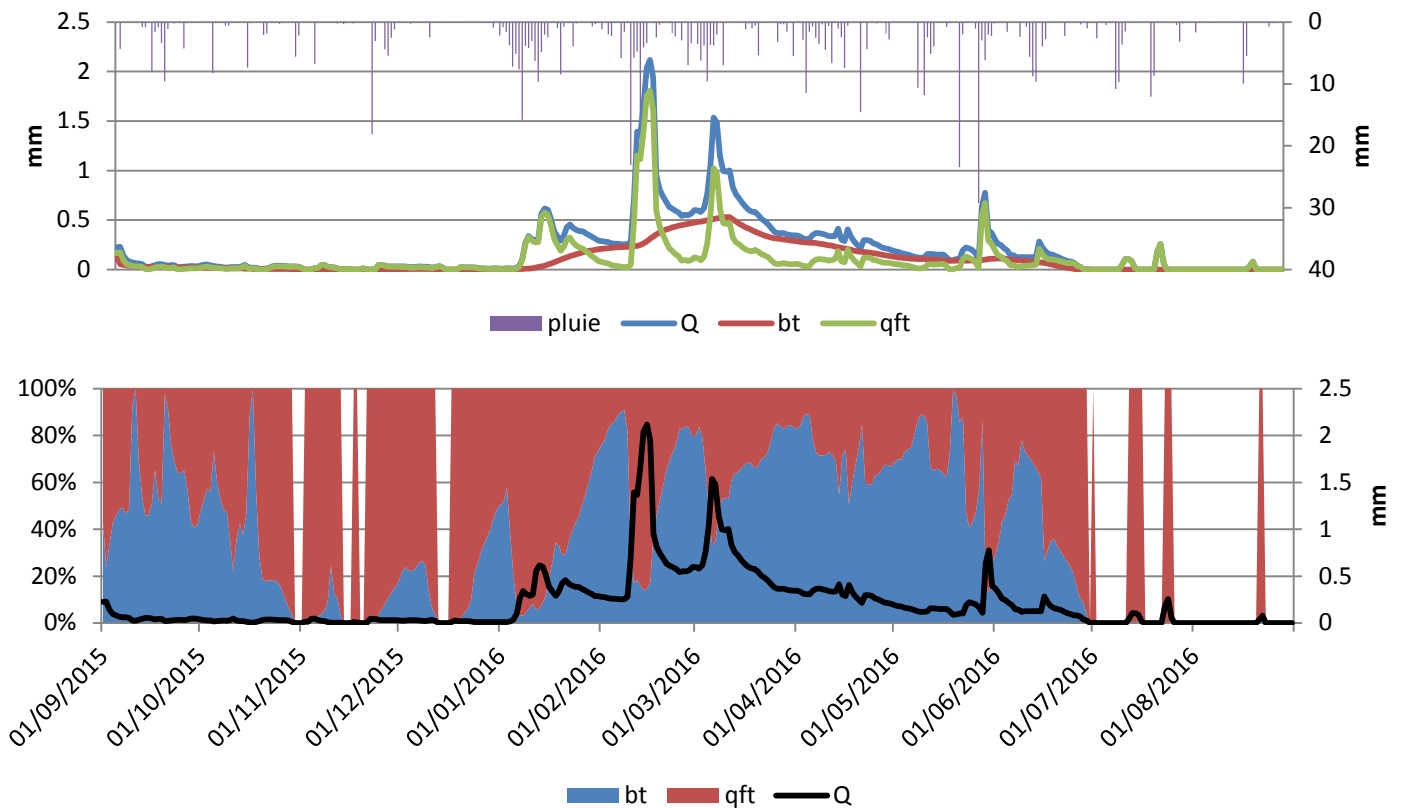


Figure 13: Année hydrologique 2015-2016. En haut débit naturel reconstitué journalier à Saint Antoine (Q) décomposé en ruissellement (trait vert) et écoulement de nappe, ou débit de base (rouge). La pluie journalière est représentée sous la forme de hyéogramme (axe de gauche).

L'année 2015/2016 nous permet de corroborer l'analyse précédente du fait de pluies plus rares. On visualise bien la diminution progressive de la lame d'eau en avril-mai 2016 et la part importante du débit de base dans l'écoulement à ce moment-là.

En cumul sur l'année, pour une lame d'eau de 78 mm, 38 mm sont issus du débit de base et 39 mm sont issus du ruissellement, soit une répartition presque 50/50.

Sur la totalité de la zone d'étude, la part du débit de base dans la lame d'eau reconstituée est plus importante en année sèche (50% en 2016) qu'en année humide (41%).

5. Conclusion.

On identifie la présence d'un aquifère de subsurface sur le bassin versant de l'Arrats. Il s'agit d'une nappe située 1 à 2 mètres sous le cours d'eau, et dont l'origine s'explique par la présence d'horizons imperméables sous la rivière. L'alimentation de la rivière par cette nappe peut se faire durant quelques jours à quelques semaines.

Il faudrait donc tenir compte de cet élément lors de la modélisation.

Chapitre 4 : Caractérisation agronomique du bassin de l'Arrats.

1. Les données disponibles.

1.1 Le RPG

Le registre parcellaire graphique est une base de données issue des déclarations PAC des agriculteurs. Il s'agit d'une couche géographique faite de polygones matérialisant les îlots agricoles. Les îlots sont constitués d'une ou plusieurs parcelles non séparées par une route, un fossé ou un ruisseau. Le RPG nous permet donc de connaître chaque année les cultures en place par îlots. On peut également regrouper ces îlots en exploitations grâce à un code agriculteur disponible dans la base de données. La dernière année du RPG disponible est 2014.

1.2 Les séquences de cultures

L'UMR AGIR a développé un algorithme qui permet de construire une séquence de culture pour chaque îlot à partir des différentes versions du RPG [LEENHARDT D., THEROND O., MIGNOLET C., 2012]. Cela nous permet non seulement d'identifier les types de rotations mis en place sur un territoire mais aussi d'identifier des îlots potentiellement irrigués et donc irrigables. En effet, le RPG des années 2006 à 2009 fournit l'information des cultures irriguées par îlot. On fait donc l'hypothèse qu'un îlot est irrigué quand entre 2006 et 2009, des cultures irriguées ont été déclarées sur cet îlot et quand en année n, il présente une culture irrigable.

Chaque année, le dernier RPG disponible doit être soumis à cet algorithme afin d'inclure la dernière culture connue de la rotation.

Actuellement les séquences couvrent les années 2006 à 2012. Les années 2013 et 2014 seront ajoutées au premier trimestre 2017.

1.3 Corine Land Cover.

La base de données Corine Land Cover donne une information géographique sur l'occupation des terres. Elle est pilotée à l'échelle européenne par l'Agence Européenne pour l'Environnement dans le cadre du projet CORINE.

Les données sont disponibles à l'échelle 1/100 000 et elles sont homogènes pour l'ensemble des pays européens.

Dans le cadre de la modélisation avec MAELIA, seules les données concernant les surfaces non agricoles et d'arboriculture sont utilisées, les surfaces agricoles étant issues du RPG.

1.4 L'expertise des acteurs locaux.

Le développement du module décisionnel de MAELIA est fondé sur la valorisation du savoir des experts locaux. Ces experts sont enquêtés via des entretiens semi-directifs. Cette forme d'entretien permet de donner une ligne directrice à l'entretien et, en fonction des interrogations de l'enquêteur, de pousser l'enquêté à formaliser un certain nombre d'indicateurs. Ces entretiens sont ensuite analysés et partiellement retranscrits. Les informations sont formalisées sous forme d'arbres décisionnels selon des règles SI...ALORS, qui sont ensuite codées pour alimenter le module décisionnel de MAELIA. Les entretiens semi-directifs doivent être nombreux afin d'obtenir les informations les plus précises et stables

possibles (répétitivité de l'information). Cette récolte de données peut être très longue du fait du temps d'entretien lui-même et du temps d'analyse de l'entretien ensuite.

Une description plus détaillée des bases de données utilisées est disponible dans le rapport INRA ONEMA « Modéliser des éléments clefs d'un territoire irrigué » de février 2016.

2. Caractérisation de l'agriculture du bassin versant de l'Arrats.

2.1 Méthode

Pour caractériser le fonctionnement agronomique du bassin versant de l'Arrats et plus particulièrement la zone comprise entre l'aval du barrage et la station hydrométrique de St Antoine, nous nous sommes appuyés sur les résultats d'une méthode de modélisation des systèmes de cultures développée par l'UMR AGIR (Rizzo et al, soumis⁹).

Cette méthode a pour objectif de modéliser le fonctionnement des systèmes de cultures en fonction de leur emplacement sur un bassin versant. Le déroulement est le suivant :

- Etape 1 : Des experts du territoire étudié sont identifiés et interviewés. L'objectif est de cibler un référent régional ou départemental. Pour les aider à formaliser les règles de décisions nécessaires au fonctionnement de MAELIA, des supports ont été développés tels qu'une carte pour s'accorder sur les limites du territoire et du bassin versant, un tableau répertoriant les principales cultures du territoire suite à l'analyse du RGA 2010 ou du RPG 2012 et différents diagrammes par cultures, construits pour faciliter la formalisation des itinéraires techniques détaillés et la récupération des indicateurs « seuils » (somme température avant semis, cumul de pluviométrie nécessaire pour commencer, reporter ou arrêter l'arrosage...). Grâce à ces supports, les principales conduites de cultures sont identifiées mais on peut également identifier une variabilité spatiale des itinéraires techniques entre différentes zones du territoire considérées et une variabilité au sein de deux systèmes de cultures différents.
- Etape 2 : Les séquences de cultures du RPG obtenues grâce à l'algorithme AGIR sont classées. Les classes (ou types) de séquences de cultures ont été déterminées sur la base des séquences RPG reconstituées, du « poids » de certaines cultures dans la rotation et de leur influence sur la gestion de l'irrigation. On aboutit à un nombre restreint de types de séquences de cultures, irrigués ou non, en fonction de ce qui les compose.
- Etape 3 : En parallèle, les classes de cultures du RPG sont recombinaisonnées de façon à spécifier davantage les cultures en place, notamment grâce aux connaissances expertes recueillies en entretien.
- Etape 4 : Grâce aux règles de² décisions formalisées pendant l'entretien, le fonctionnement des systèmes de culture (définis à l'étape 2), en fonction du type de sol et du matériel d'irrigation, sont modélisés via des arbres de décisions. [en annexes].
- Etape 5 : On affecte un système de culture à chaque parcelle de chaque exploitation pour laquelle on retrouve la combinaison [séquence de culture type/type de sol/matériel d'arrosage].

Cette méthode a été développée sur les territoires de l'Adour Amont et du Tarn Aval.

Du fait de la proximité géographique et des cultures en places, les règles de l'Adour Amont sont en partie reprises pour l'Arrats.

⁹ Cet article est actuellement soumis à la revue Agricultural Systems. La version soumise est intégrée au rapport fait à l'ONEMA début 2016 : LEENHARDT D., RIZZO D., THEROND O., 2016. Modélisation des éléments clefs d'un territoire irrigué. Rapport d'étude INRA-ONEMA, 65pp.

Une campagne d'entretien avec des agriculteurs menée par Koladé Akakpo pendant son stage à l'INRA a permis d'enrichir les données et de mieux les adapter à la réalité de l'Arrats.

2.2 Caractéristiques générales

Le RPG 2012 est donc la dernière année pour laquelle les séquences de cultures sont à jour, c'est pourquoi nous avons décidé de conserver cette année comme référence pour identifier les principales caractéristiques du bassin versant de l'Arrats et de notre zone d'étude.

Tableau 18: Principales caractéristiques du bassin versant de l'Arrats et de la zone étudiée allant du pied du barrage à St Antoine. La SAU est obtenue par traitement du RPG. Source RPG 2012, table filot.

	bassin versant total	Zone Etude
Aire km ²	620	552
SAU (ha)	46 000	42 000
Part de l'aire totale occupée par la SAU	74%	76%
SAU irrigable (ha)	12 400	10 900
Part de SAU irrigable	27%	26%
Nb exploitations	1 122	979
Nb exploitations irrigables	337	296
% d'exploitations irrigables	30%	30%

La zone étudiée en aval du barrage représente 90% du bassin versant de l'Arrats. On dénombre une SAU de 42 000ha répartie entre 979 exploitations. 26% de cette SAU est estimée irrigable sur la base du RPG de 2006 à 2009.

2.3 Cultures.

Comme cela est expliqué dans la méthode, les classes de RPG font l'objet d'un travail de recombinaison afin de mettre en évidence les cultures présentes sur le territoire d'étude.

Tableau 19: les classes originelles du RPG. Source ASP.

Classe	Cultures
1	Ble tendre
2	Mais grain et ensilage
3	Orge
4	Autres cereales
5	Colza
6	Tournesol
7	Autres oleagineux
8	Proteagineux
9	Plantes a fibres
10	Semences
11	Gel (surfaces gelees sans production)
12	Gel industriel
13	Autres gels
14	Riz
15	Legumineuses a grains
16	Fourrage
17	Estives landes
18	Prairies permanentes
19	Prairies temporaires
20	Vergers
21	Vignes
22	Fruits a coque
23	Oliviers
24	Autres cultures industrielles
25	Legumes-fleurs
26	Canne a sucre
27	Arboriculture
28	Divers

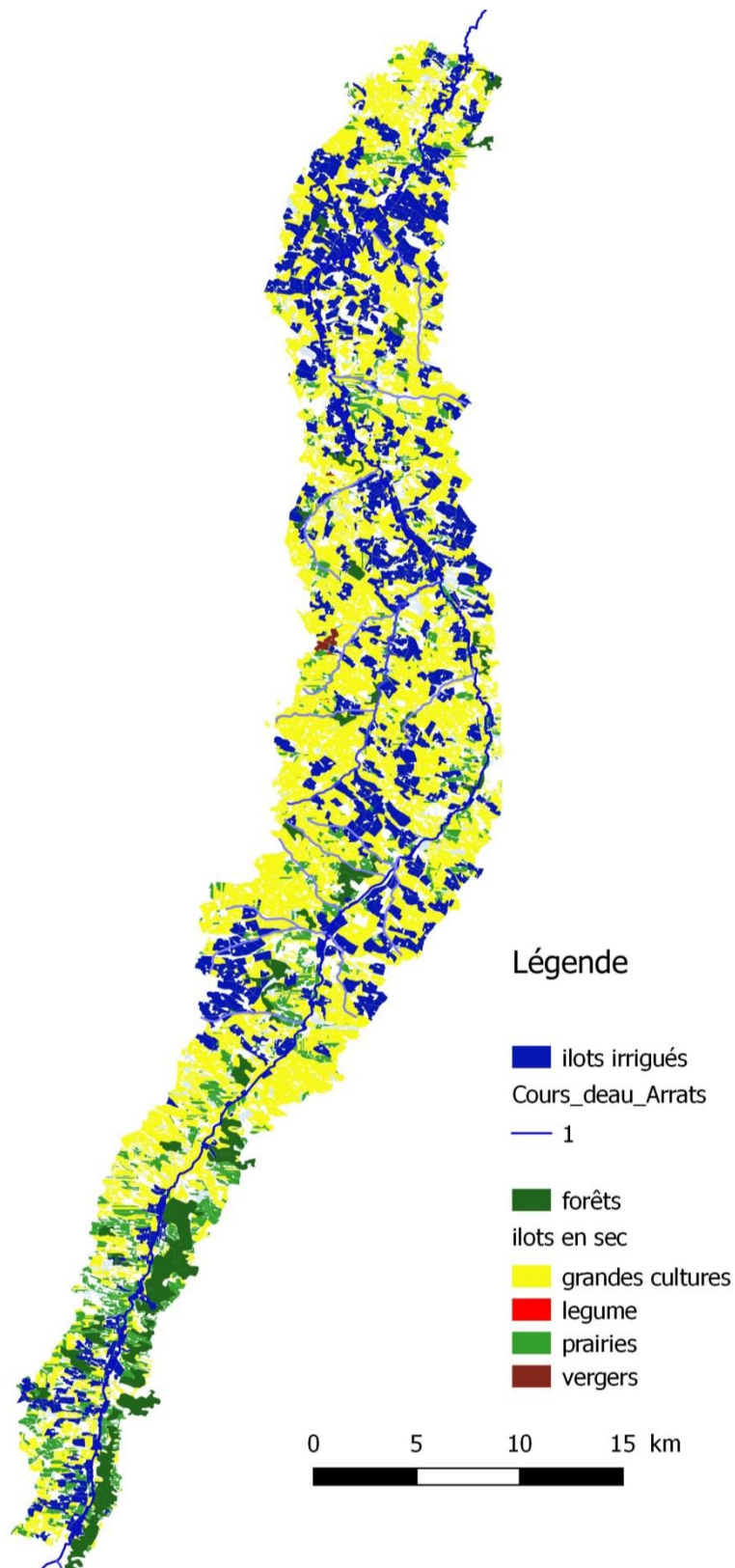
Cela permet de transformer les classes d'origine (tableau 17) à de nouvelles classes plus représentatives (tableau 18). Toutes les classes ne font pas l'objet de modification. On aboutit à 14 classes de cultures.

Tableau 20: Simplification de certaines classes de culture du RPG mise en place sur le bassin versant de l'Arrats afin de ne faire figurer que les cultures représentatives du bassin versant.

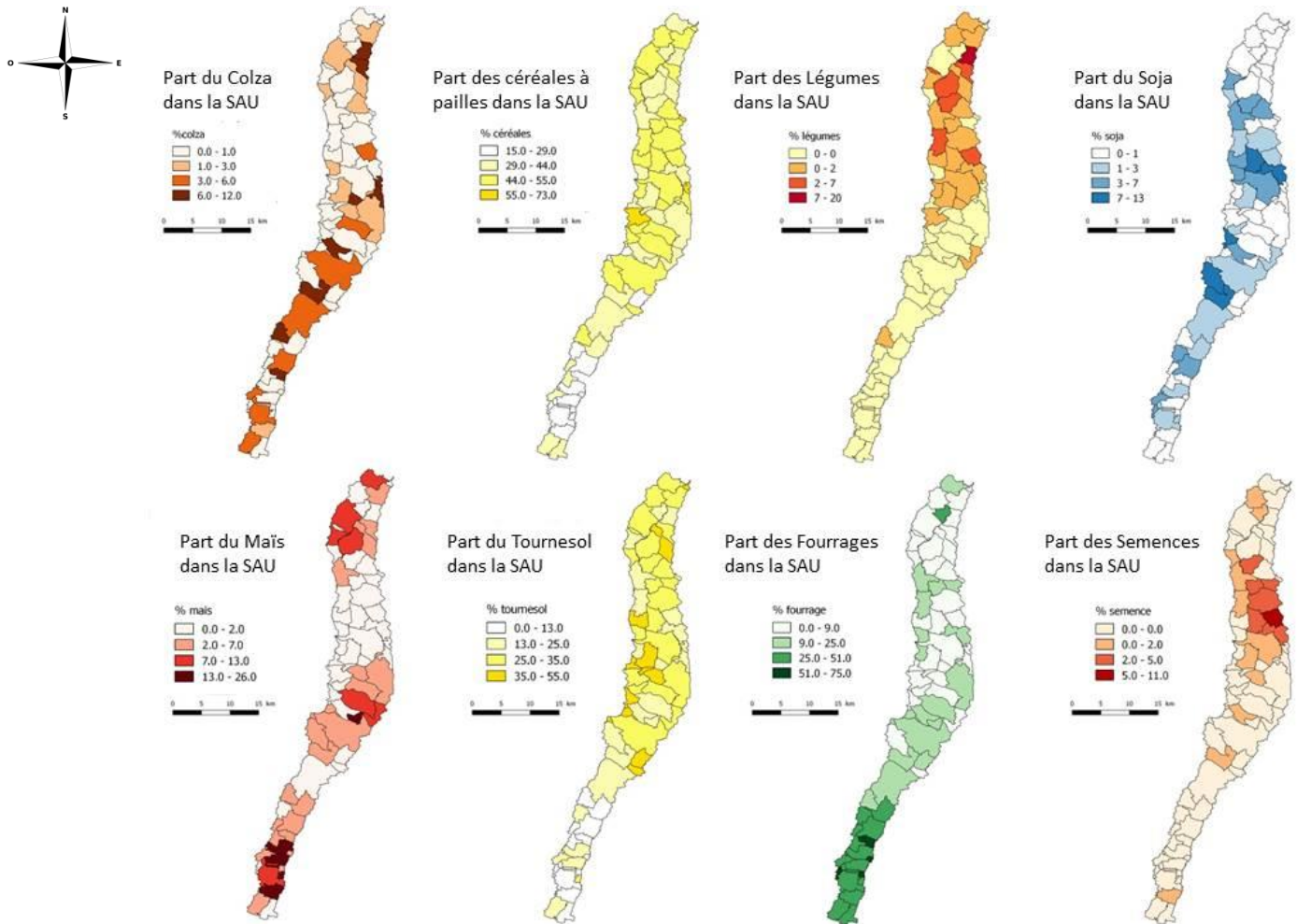
Cultures	Cultures simplifiées
Arboriculture	Arboriculture
Colza	Colza
Ble tendre	CerealesPaille
Orge	
Autres cereales	
Autres cultures industrielles	
Plantes a fibres	Gel
Gel (surfaces gelees sans production)	
Gel industriel	
Autres gels	
Divers	
Legumes-fleurs	Maraichage
Mais grain et ensilage	Maïs
Proteagineux	Pois
Legumineuses a grains	
Estives landes	Prairiep
Prairies permanentes	
Fourrage	Prairiet
Prairies temporaires	
Semences	Semences
Autres oleagineux	Soja
Tournesol	Tournesol
Vergers	Vergers
Fruits a coque	
Oliviers	
Vignes	Vignes

Comme précisé plus haut, la simplification des classes du RPG de l'Adour Amont est reprise pour l'Arrats du fait de la proximité géographique des deux territoires. Cependant la phase d'entretiens de Koladé Akakpo a permis d'identifier la présence significative de maraichage de plein champ sur l'Arrats. Les règles de décisions prévalent à l'irrigation de ce type de production ont été précisées et seront détaillées plus bas.

Sur la base de cette simplification, la carte 16 illustre l'occupation générale du sol de la zone étudiée. Les grandes cultures sont majoritaires sur le bassin versant de l'Arrats. On note que l'amont du bassin est occupé majoritairement par des forêts et des prairies, en particulier la rive droite dont les sols sont superficiels et calcaires et sur des pentes plus abruptes.



Carte 16: Occupation du sol de la zone comprise entre le pied du barrage et la station St Antoine. Les données présentées si dessus sont issues du RPG 2012 combiné aux prétraitements MAELIA et du CLC 2006. Les prétraitements croisent les données du RPG et du CLC pour identifier les zones non agricoles et reconstituer des ilots et exploitations arboricoles fictives sur les classes de Vergers disponibles dans le RPG. ©Marie Estienne



Carte 17: part (%) de la SAU communale occupée par les cultures rencontrées sur notre zone d'étude allant du pied du barrage de l'Astarac à la station St Antoine. Source RPG 2012, table parcelle issues des prétraitements MAELIA . ©Marie Estienne

La carte 17 présente la part de la SAU communale occupée par chaque culture présente sur l'Arrats en 2012. Ne sont traitées que les communes dont 80% de la surface appartient à la zone d'étude définie au début de cette étude.

Par ordre d'importance, on trouve :

- Les céréales à paille, présentes sur la quasi-totalité des communes et qui occupent, selon les communes, entre 15% et 73% de la SAU. Les surfaces les plus importantes sont présentes dans les 3/4 Nord du bassin versant de l'Arrats.
- Le tournesol, présent sur la quasi-totalité des communes et représentant entre 0% et 55% de la SAU. Les surfaces les plus importantes sont situées, comme pour les céréales à pailles, dans les 3/4 Nord de la zone, comme les céréales à paille.
- Le colza, est plus faiblement présent sur le territoire (environ 50% des communes), avec une part dans la SAU comprise entre 1% et 12%. Les surfaces les plus importantes sont situées dans la moitié Sud de la zone.
- Les fourrages sont présents sur toutes les communes et peuvent représenter jusqu'à 51% de la SAU, sauf sur trois communes où ils représentent 85% de la SAU. On observe que c'est sur les communes les plus en amont que la part des fourrages est la plus importante.
- Le maïs est représenté dans la SAU de 50% des communes. Dans certaines communes de l'extrême amont, il peut représenter jusqu'à 26% de la SAU et à l'extrême aval, il peut représenter jusqu'à 13% de la SAU.
- La part de la SAU communale occupée par le maraichage de plein champ est comprise entre 2 et 7%. Les communes concernées sont situées dans la moitié Nord du bassin versant et localement la SAU en légume peut atteindre 20%.

- Le soja est également présent dans quelques communes du bassin versant mais la part de la SAU communale dédiée au soja en 2012 ne dépasse pas 13% et est plutôt comprise entre 1 et 7%.
- Les semences sont présentes dans très peu de communes, elles se retrouvent plutôt sur les commune du Nord du bassin, avec une part de la SAU comprise entre 1 et 11%.

2.4 Séquences de cultures

2.4.1 Identification des séquences de cultures.

L'étape 2 de la méthode a permis de réduire le nombre de séquences observées dans le RPG de 3247 à 20 séquences types. Ces séquences types sont utilisées avec d'autres facteurs pour associer, à chaque culture, un itinéraire technique (ensemble de règles de décisions)

Tableau 21: Les séquences de cultures définis pour l'Adour Amont et repris pour le bassin versant de l'Arrats. Sur chaque ligne sont indiqués, le nom de la séquence de culture type, si elle comporte des cultures irrigables et les différentes cultures de la succession. Lorsqu'une seule culture est mentionnée, il s'agit d'une monoculture ou une culture pérenne. Si n cultures sont mentionnées, on considère la succession comme une rotation de longueur n. Ce tableau est enrichi des rotations incluant des légumes de plein champ identifiées par Koladé Akakpo.

ID FAMILLE DE SÉQUENCE DE CULTURE	irrigable	CULTURE1	CULTURE2	CULTURE3	CULTURE4	CULTURE5
cereale*	non	Cereales Paille				
cerealesPaille/colza	non	Cereales Paille	colza			
cerealesPaille/tour	non	Cereales Paille	tour			
cerealesPaille/x_irr	oui	Cereales Paille	tour	maraichage		
gel	non	gel				
mais*	oui	mais				
mais/x_irr	oui	mais	mais	mais	soja	Cereales Paille
mais/x_sec	non	mais	mais	mais	soja	Cereales Paille
maraichage*	oui	maraichage	Cereales Paille			
prairiep	non	prairiep				
prairiet/cerealesPaille	non	prairiet	prairiet	prairiet	Cereales Paille	
prairiet/mais_irr	oui	prairiet	prairiet	prairiet	mais	
prairiet/mais_sec	non	prairiet	prairiet	prairiet	mais	
semence*	oui	semence				
semence/x_irr	oui	semence	semence	Cereales Paille		
vergers_irr	oui	vergers				
vergers_sec	non	vergers				
vignes	non	vignes				

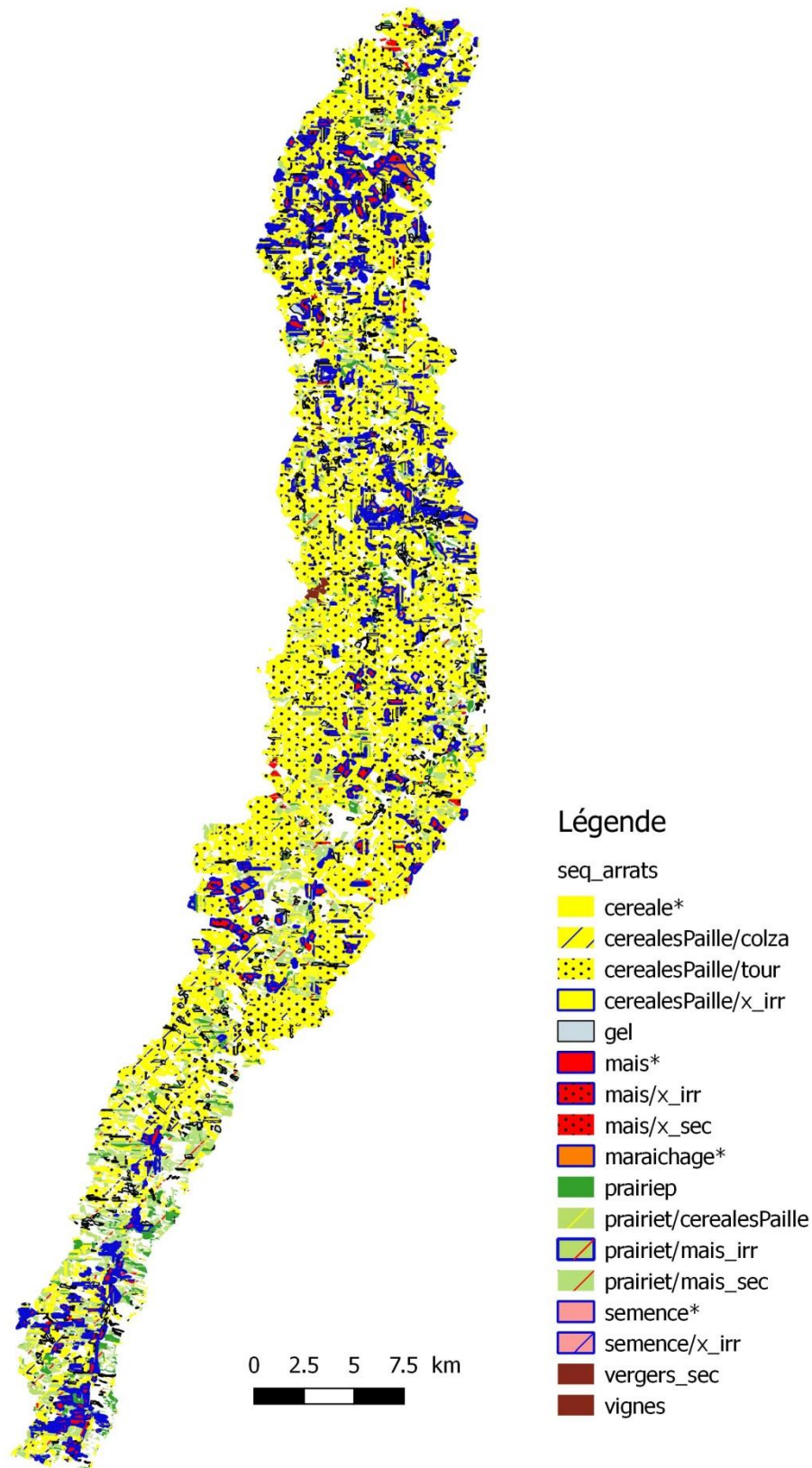
Remarque : comme on associe à chaque culture de la séquence un itinéraire technique (ou 2 si la culture est irrigable), on obtient un type « système de culture » pour chaque type de séquence.

La séquence de culture CP/x_irr reprend la rotation irriguée observée par Koladé Akakpo pendant son stage composée de blé, tournesol, maïs ou légumes.

La séquence irriguée maraichage* a également été observée sur l'Arrats pendant la phase d'enquête. Il s'agit d'une succession légume, blé.

2.4.2 Distribution spatiale des séquences de cultures.

2.4.2.1 Distribution sur la zone d'étude



Carte 18: occupation du sol par les différents systèmes de culture de la zone d'Etude. Les parcelles cerclées de bleu sont occupées par des systèmes de cultures irrigués. Les identifiants des rotations (légende) sont explicités dans le tableau 19. Source Prétraitements MAELIA, RPG 2012. ©Marie Estienne.

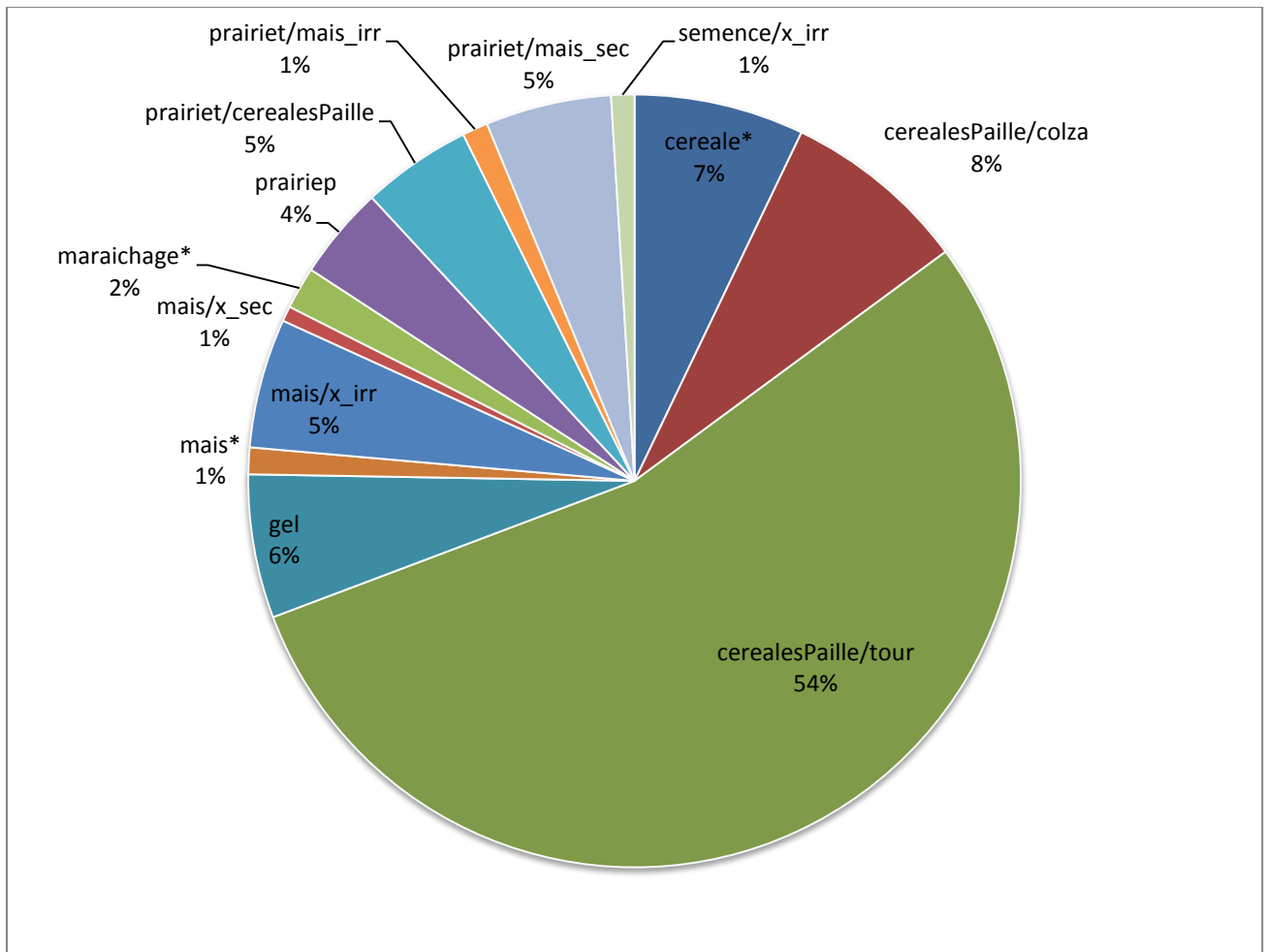


Figure 14: répartition des séquences de culture sur le bassin de l'Arrats

Les séquences de culture rencontrées sur l'Arrats et plus particulièrement la zone comprise entre le pied du barrage et la Station St Antoine. La SAU totale est de 42 000 hectares. Source RPG et MAELIA. Une culture suivie d'une* signifie qu'elle est pratiquée en monoculture

Le système de culture « céréales à paille/tournesol » est le plus courant sur le bassin versant de l'Arrats (en turquoise sur la figure 14). Il représente plus de la moitié de la SAU du bassin et est considéré non irrigué. Les céréales à paille désignent généralement le blé tendre. Au second rang, on trouve les systèmes non irrigués prairie temporaire/maïs_sec, monoculture de céréales (céréale*) et céréales à paille/colza qui représentent chacun 8% de la SAU. Au troisième rang, vient le système irrigué maïs suivi d'une autre culture (maïs, soja ou blé) (cf tableau 19) soit 5% de la SAU.

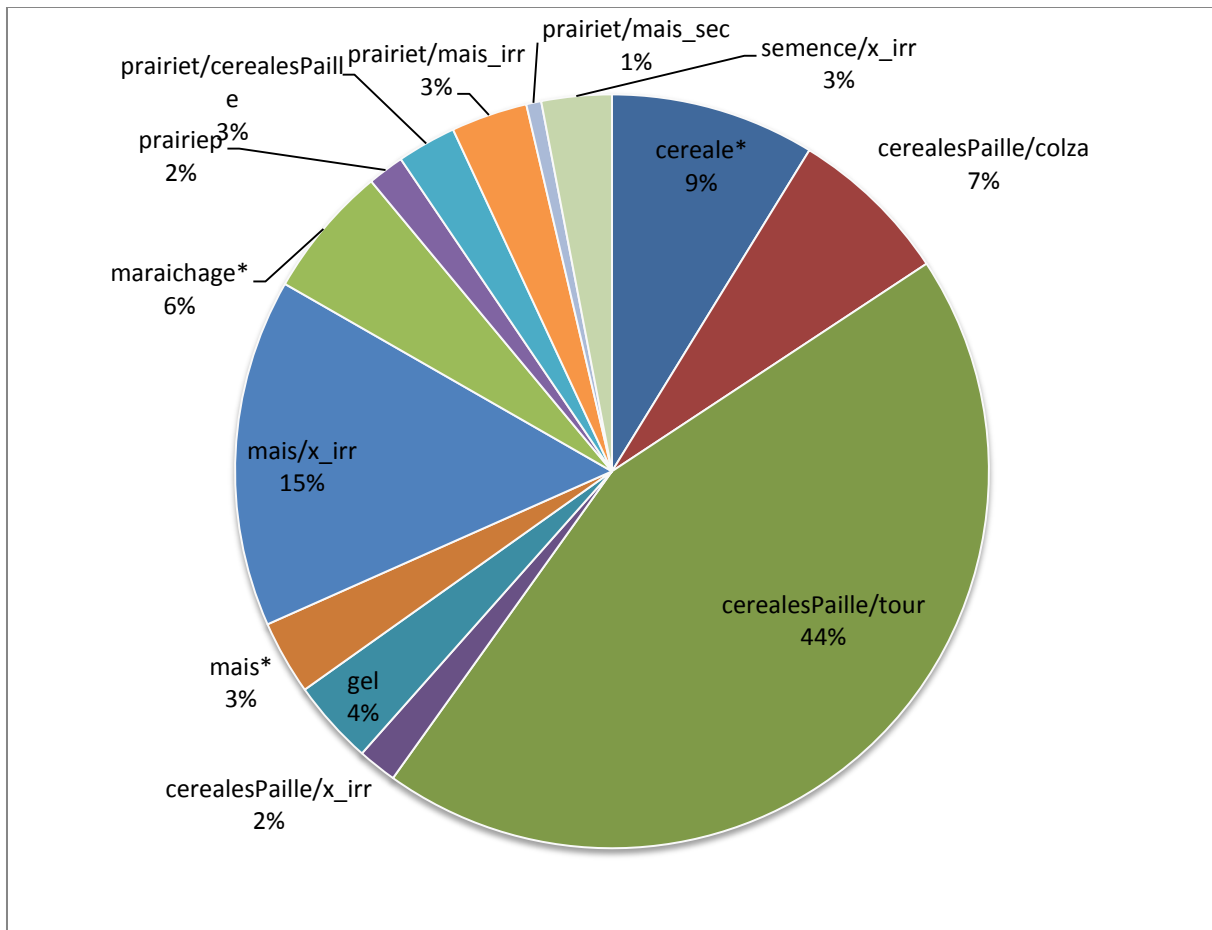


Figure 15: répartition des séquences de culture sur les îlots irrigables du bassin versant de l'Arrats

Les séquences de culture présentes sur les îlots irrigables du bassin versant de l'Arrats. Les îlots irrigables représentent 28% de la SAU soit 11 888 hectares. Une culture suivie d'une* signifie qu'elle est pratiquée en monoculture.

Si l'on considère les îlots irrigables présents sur notre zone d'étude, c'est-à-dire les îlots déclarés irrigués au moins une fois entre 2006 et 2009 et donc équipés, on retrouve au premier rang le système de culture « céréales à paille/tournesol » avec 44% de la SAU irrigable. Le système irrigué « maïs/x_irr » (blé ou soja) et le système sec « céréales* » (monoculture de céréales) représentent respectivement 15% et 9% de la SAU irrigable.

On remarque que près de 70% de la SAU irrigable est occupée par des systèmes de cultures qui ne sont pas irrigués.

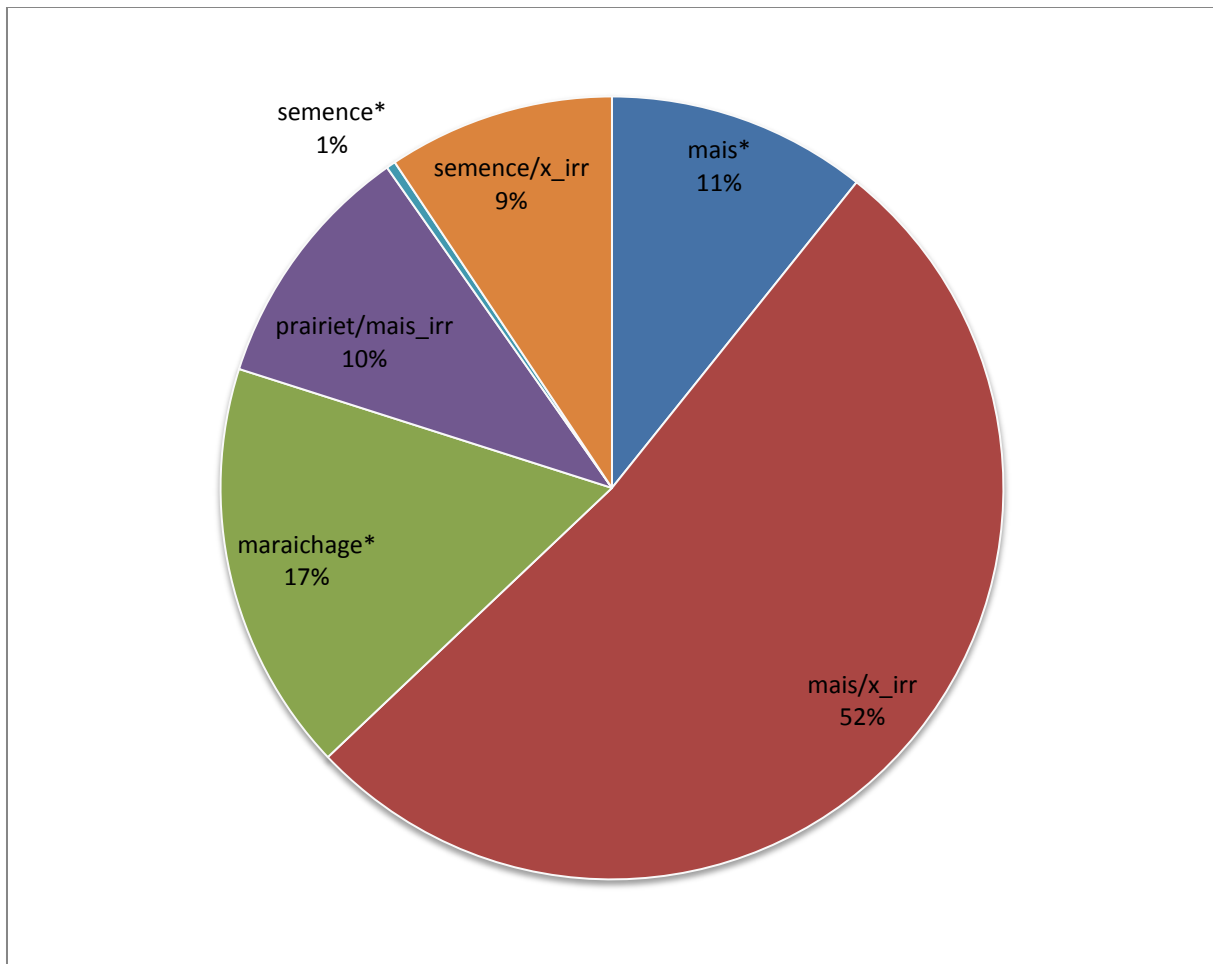


Figure 16: **part des séquences de culture irriguées dans le bassin versant de l'Arrats**

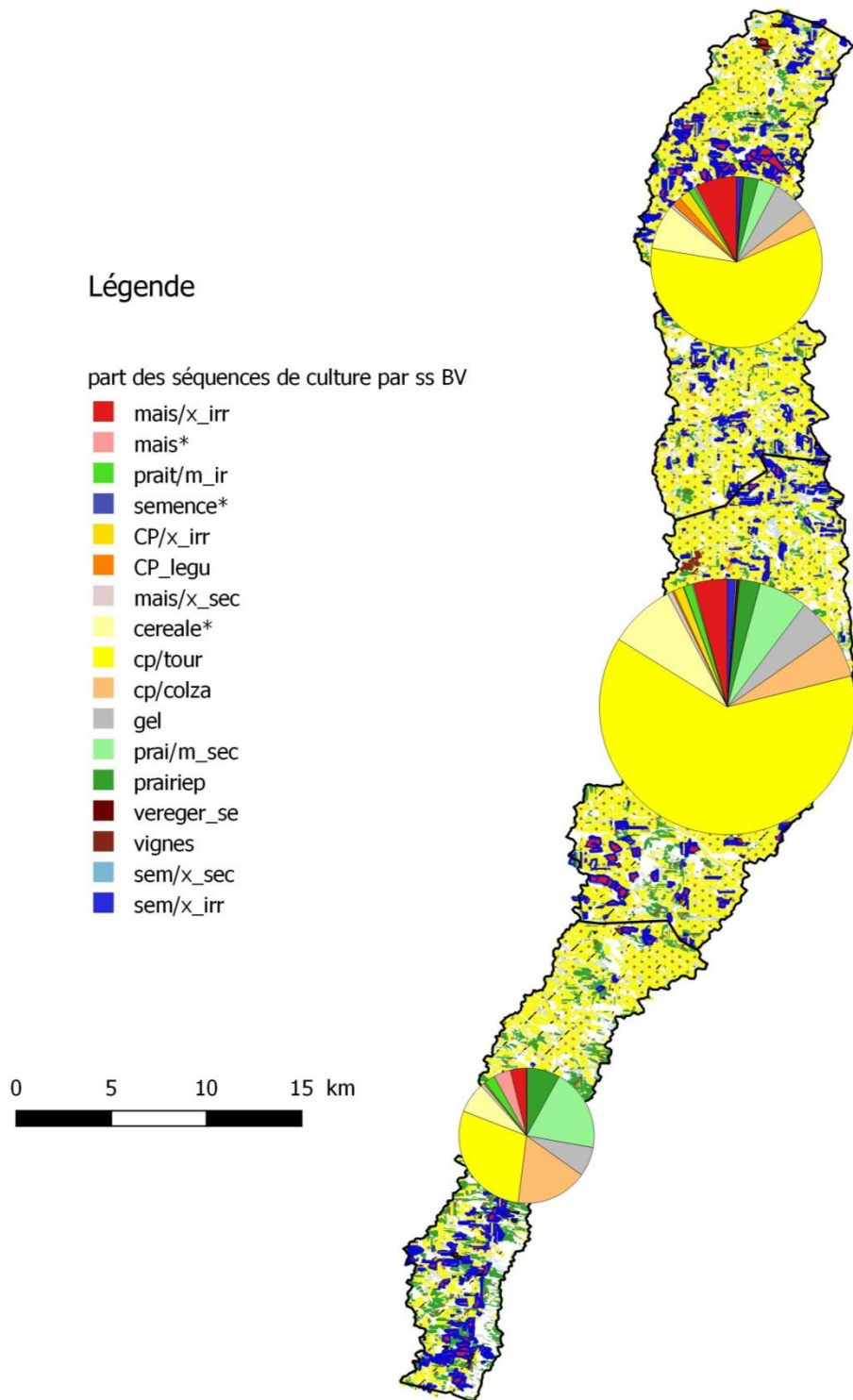
Les séquences de cultures irriguées occupent une surface de 4325 hectares soit 11% de la SAU totale de la zone comprise entre le pied du barrage et la station de St Antoine. Une culture suivie d'une* signifie qu'elle est pratiquée en monoculture

Les principaux systèmes de cultures irrigués sont la rotation maïs/x_irr (maïs, soja ou blé) (52%) et la rotation maraichage* (17%). Viennent ensuite la monoculture de maïs (11%) et la rotation prairie temporaire/maïs (10%).

2.4.2.2 Distribution par sous bassin versant.

Nous considérons dans ce paragraphe les trois sous bassins versants définis plus haut c'est-à-dire le sous bassin versant 2 (ssBV2) allant du barrage à la station d'Isle Arné, le sous bassin versant 3 (ssBV3) allant d'Isle Arné à Bives et le sous bassin versant 4(ssBV4) allant de Bives à St Antoine.

Pour chacun de ces territoires, nous avons étudié la répartition des systèmes de cultures et des systèmes de cultures irrigués rencontrés sur l'Arrats (cartes 19 et 20).

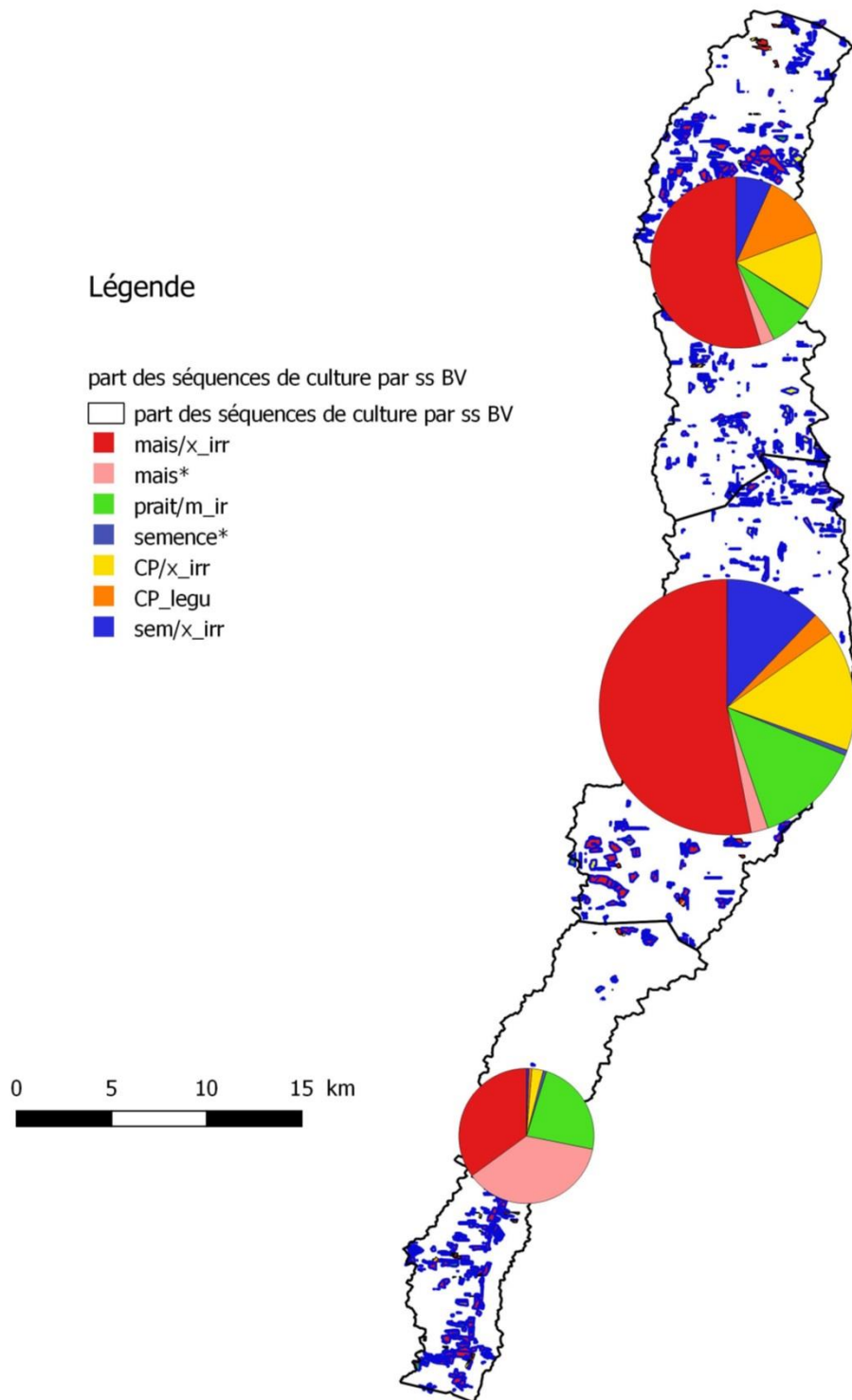


Carte 19: part des systèmes de cultures sur les trois sous bassins versants de l'Arrats. Source table parcelle (prétraitements MAELIA) ©Marie Estienne.

Entre L'Astarac et l'Isle Arné, on retrouve en majorité la rotation blé/tournesol (25%). Les rotations blé/colza et prairies temporaires/maïs sec représentent environ 20% de la SAU de ce tronçon. Les rotations irriguées à base de maïs représentent environ 10% des surfaces de ce bassin. Pour rappel, celui-ci est assez étroit, et les parcelles irriguées (en bleu sur la carte 19) sont majoritairement rive gauche, la plus large sur ce tronçon.

Entre l'Isle Arné et Bives, la rotation blé/tournesol est encore majoritaire avec presque 60% de la SAU occupée sur ce tronçon. La monoculture de céréales est importante (10% environ de la SAU). Les rotations irriguées maïs/autres culture et prairie temporaire/maïs sont les principales rotations irriguées de ce secteur (respectivement 5% et 3%).

Entre Bives et St Antoine, enfin, c'est la rotation blé/tournesol qui est prépondérante avec environ 60% de la SAU occupée. C'est sur ce dernier sous bassin versant que la part des systèmes de cultures irrigués est la plus importante : un peu moins de 20% environ.



Carte 20: part des systèmes de cultures irrigués sur les trois sous bassins versants de notre zone d'étude. Source table parcelle (prétraitements MAELIA) ©Marie Estienne.

Entre l'Astarac et l'Isle Arné, la monoculture de maïs irrigué et la rotation maïs/ autre culture sont présentes dans des proportions équivalente (environ 30% chacune). Viennent ensuite la rotation prairie temporaire/ maïs (20%) et la rotation blé/autre culture irriguée (3%).

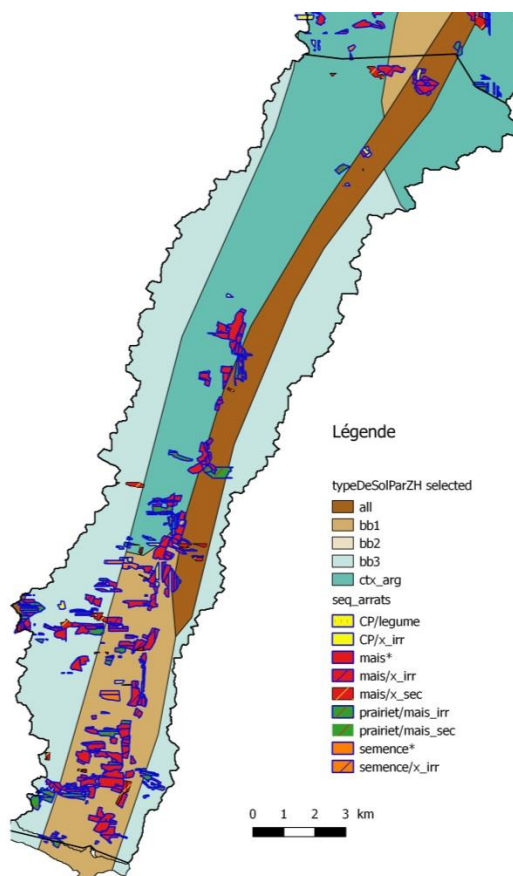
Entre l'Isle Arné et Bives, c'est la rotation irriguée maïs/autre culture (un peu plus de 50%) qui domine. Viennent ensuite en part équivalentes les rotations blé/autre culture, prairie

temporaire/maïs et la monoculture de semence (un peu moins de 20% chacune). La rotation à base de légume n'est présente que sur 3% de la SAU.

Entre Bives et St Antoine, la rotation irriguée maïs/autre culture est prépondérante (environ 55%). Vient ensuite la rotation blé/autre culture (20%). La rotation blé/légume occupe sur ce tronçon une part importante de la SAU (environ 20%).

2.4.2.3 Répartition en fonction des types de sol.

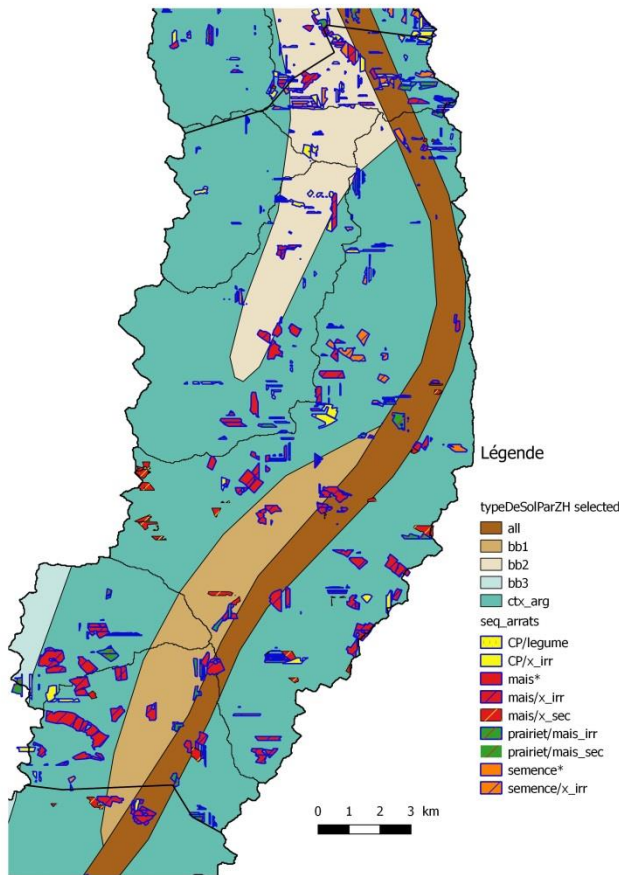
L'analyse suivante est à prendre avec du recul dans la mesure où la donnée sol utilisée (issue de la BDGSF) est très peu précise comparativement aux données du RPG. Elle méritera d'être refaite ou modifiée une fois que l'accès au référentiel régional pédologique sera assuré.



Sur le tronçon de l'Astarac à l'Isle Arné, les parcelles en rouge sur la carte 21 sont occupées par des rotations à base de maïs. Elles sont situées majoritairement rive gauche de l'Arrats, dans des sols de type alluvions ou coteaux argilo-calcaires.

On note l'absence de parcelles en rotation à base de blé.

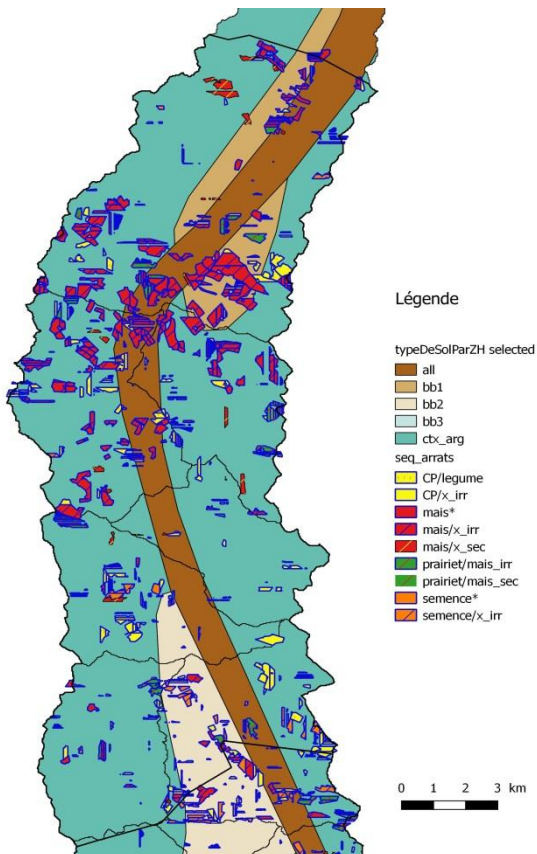
Carte 21: focus sur le sous bassin versant entre l'Astarac et l'Isle Arné. Répartition des séquences de cultures irriguées en fonction des types de sols. Source BDGSF 1/10e6, RPG et table parcelle (prétraitements MAELIA) ©Marie Estienne.



Sur le tronçon Isle Arné – Bives, les coteaux argilo-calcaires sont les plus représentés (terreforts), et donc naturellement c'est sur ce type de sol que l'on retrouve la majorité des systèmes de cultures irrigués.

Il est cependant intéressant de noter que dans l'enclave de boulbène moyen présente en amont de Bives, on trouve très peu de rotation à base de maïs ; les séquences de cultures en place sont blé/autre culture irriguée et quelques parcelles de semences.

Carte 22: focus sur le sous bassin versant médian. Distribution spatiale des séquences de cultures irriguées sur les différents types de sols. Source BDGSF 1/10e6, RPG et table parcelle (prétraitements MAELIA) ©Marie Estienne.



Sur le tronçon Bives-St antoine, les parcelles en rotation à base de maïs sont situées en majeure partie dans la moitié Nord de ce tronçon, aussi bien en zone de coteaux argilo-calcaires, que d'alluvions ou de boulbènes légères.

On retrouve les parcelles en rotation blé/légumes plutôt dans les coteaux argilo-calcaires.

Carte 23: focus sur le sous bassin versant Bives-St antoine. Distribution spatiale des séquences de cultures irriguées sur les différents types de sols. Source BDGSF 1/10e6, RPG et table parcelle (prétraitements MAELIA) ©Marie Estienne.

2.5 Systèmes de cultures.

La modélisation de l'agro-système avec MAELIA nécessite de définir des systèmes de cultures. Un système de culture est la combinaison d'une séquence de culture de référence (tableau 19), et d'un itinéraire technique pour chacune des cultures de la séquence. L'itinéraire technique d'une culture donnée dépend de la séquence de culture dans laquelle elle est insérée, du type de sol sur lequel elle est et, dans le cas d'une culture irriguée, du matériel d'irrigation utilisé. La variabilité des situations rencontrées sur le territoire en termes de combinaisons de séquence de culture x type de sol x matériel d'arrosage conduit à un grand nombre de systèmes de culture.

L'itinéraire technique (ITK) décrit l'ensemble des opérations techniques nécessaires à la mise en place d'une culture (semis, binage, irrigation, récolte...). Dans MAELIA, ces opérations sont générées grâce à une table de règles de décisions qui formalisent leurs critères de déclenchements pour chaque culture.

Tableau 22: exemple de table de paramétrage de semis. ©Romain Lardy.

SEMIS_TEMPS	[ha/h]	1.8	→ Débit de chantier (nombre d'hectares réalisés par heure)
SEMIS_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	2	→ Nombre de sous-fenêtres temporelles
SEMIS_DEBUT	[jour]	121 152	} Sous-fenêtres temporelles : 1 mai-31mai et 1 juin – 15 juin
SEMIS_FIN	[jour]	151 166	
SEMIS_JOURS_TMIN	[jour]	7 3	} La température minimale sur les 7/3 derniers jours était supérieure à 3/3 °
SEMIS_TMIN_MIN	[C°]	3 3	
SEMIS_JOURS_PLUIE	[jour]	7 5	} Il a plu moins de 10/10 mm sur les 7/5 derniers jours
SEMIS_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	10 10	
SEMIS_HUMIDITE_SOL_MAX	[-]	0.9 1	→ Remplissage RU inférieur à 90%/100% de l'état ressuyé
SEMIS_EFFET_RUs	[?]	W1 W1	→ Impact de l'opération technique sur le sol de la parcelle (modification de la texture du sol sur 6 cm)

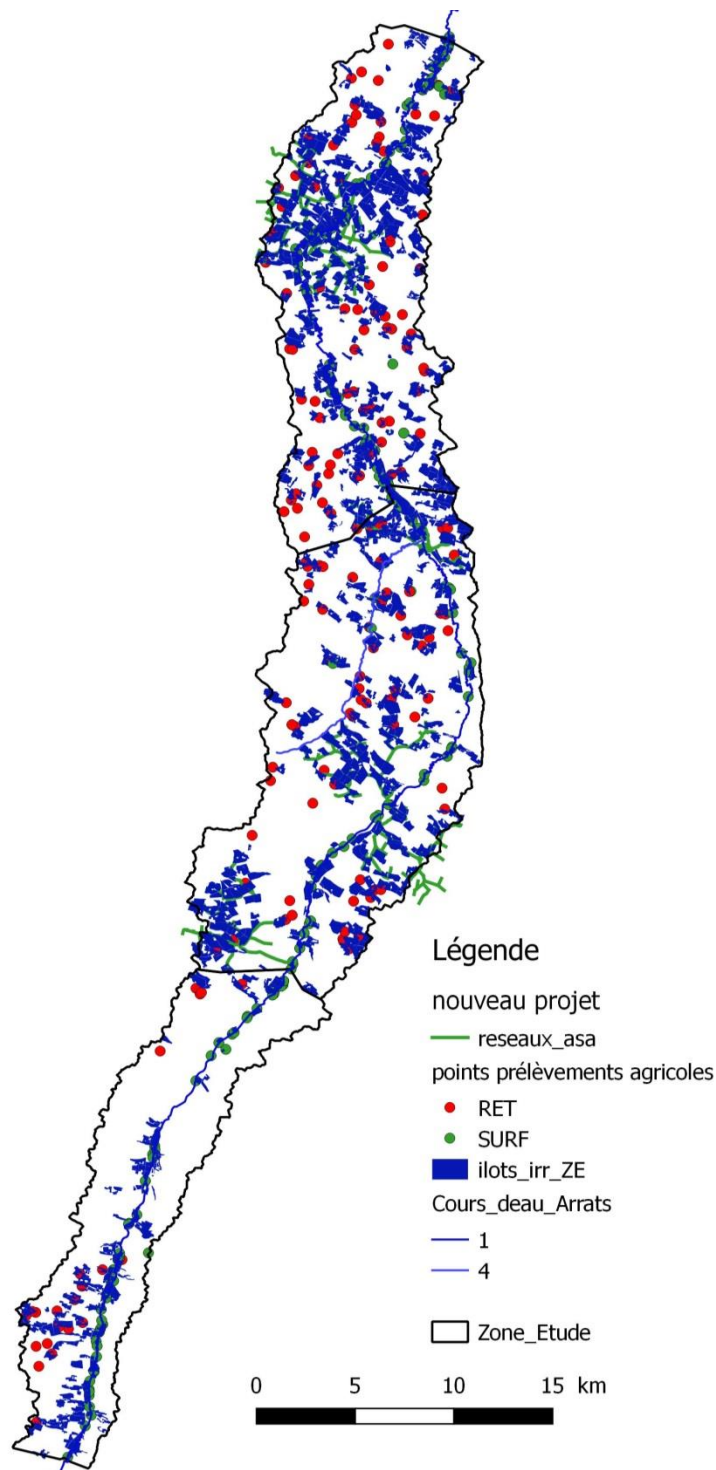
Les ITK sont construits avec l'aide d'experts des territoires étudiés. Sur l'Arrats, les ITK définis sur l'Adour Amont sont repris, avec de légères modifications concernant les systèmes de culture qui incluent une culture de légumes ou maraichage (CP/x_irr et CP/légume dans le tableau 19). Nous avons ajouté un caractère irrigué aux ilots concernés, et créé des ITK supplémentaires qui correspondent aux pratiques de maraichage de plein champs observées localement (cf. Koladé ?). Ces ITK supplémentaires sont décrits en annexe 2.

2.6 Mobilisation des ressources en eau pour l'usage agricole.

2.6.1 Les ressources disponibles.

Comme expliqué dans la partie 2 du chapitre 1, les irrigants du bassin versant de l'Arrats ont plusieurs possibilités d'accès à l'eau : retenues collinaires, pompage en rivière via un collectif (ASA) ou individuellement.

2.6.1.1 Répartition spatiale des îlots irrigables et ressource en eau.



Carte 24: les îlots irrigables du bassin versant de l'Arrats et les points de prélèvements à usages agricoles, retenues en rouge et pompage en rivière en vert. Source RPG 2006-2009 et OUGC Neste rivière de Gascogne. ©Marie Estienne.

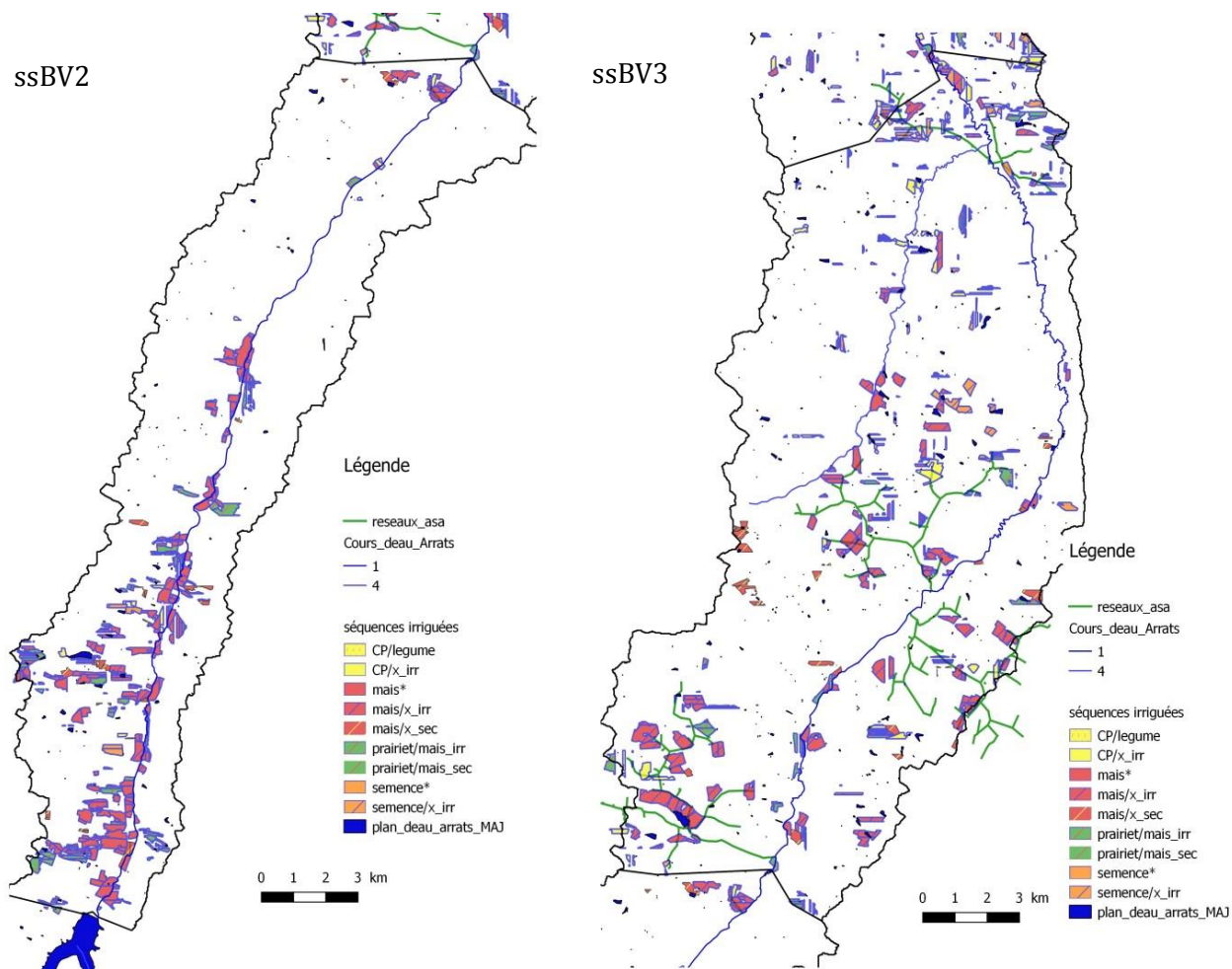
Les îlots irrigables de l'Arrats (en bleu carte 24) sont principalement situés le long du cours d'eau et aux alentours des réseaux enterrés des ASA¹⁰. Les retenues, elles, sont présentes sur les zones de coteaux, là où il n'y a pas de réseaux collectifs. Elles permettent d'arroser quelques îlots épars.

Il semble que certaines retenues ne soient pas rattachées à un îlot irrigable. Cela peut s'expliquer de différentes manières :

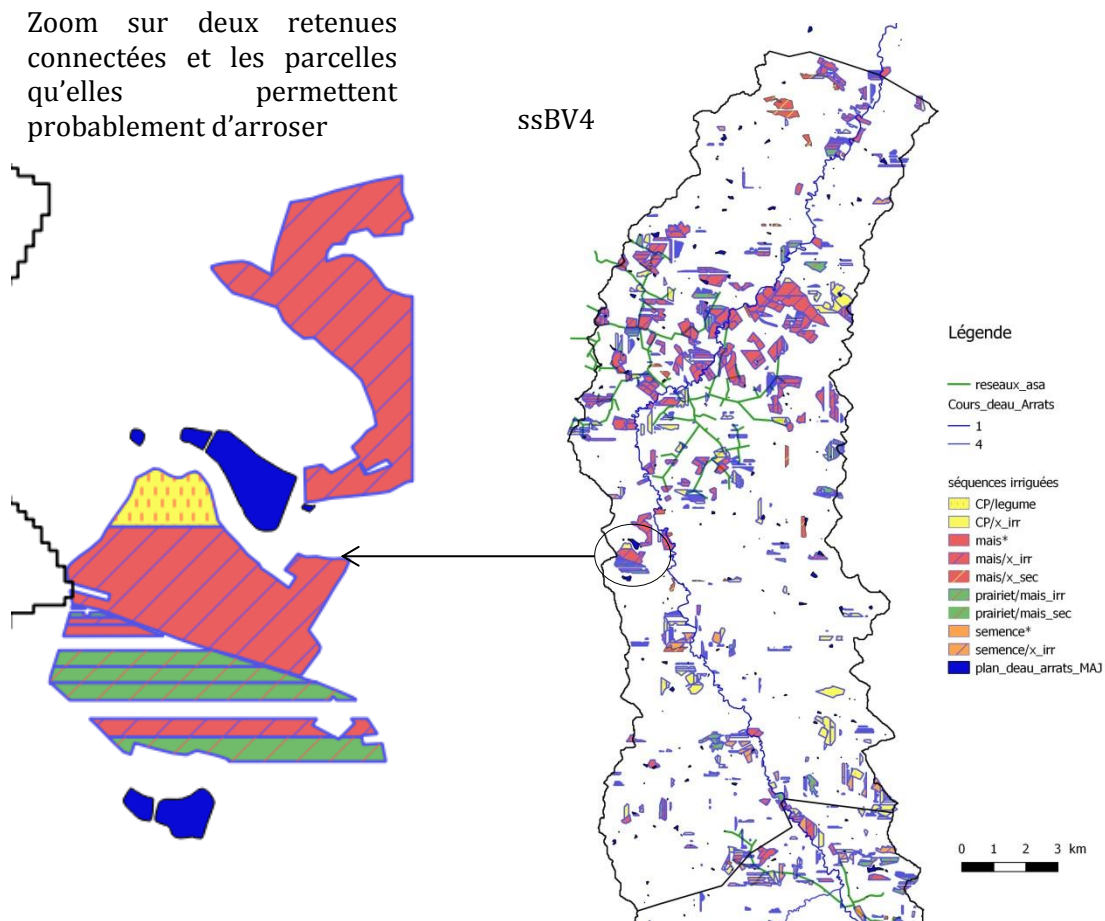
- La retenue est postérieure à 2009, date à partir de laquelle nous n'avons plus l'information du caractère irrigable d'un îlot. L'îlot est donc peut être irrigué sans que l'on puisse le savoir.
- La position géographique de la retenue (source OUGC) n'est pas la bonne.
- La retenue a été déclarée utilisée pour conserver une autorisation de prélèvement quand bien même elle n'est plus utilisée.

2.6.1.2 Répartition spatiale des séquences de culture et type de ressource.

Comme explicité plus haut, les séquences de culture irriguées de l'Arrats occupent la moitié de la sole irrigable en 2012. La carte suivante illustre leur distribution spatiale, qui suit logiquement celle des îlots irrigables.



¹⁰ Source Données CACG



Carte 25: Carte des ressources en eau et des parcelles irriguées. Les séquences de cultures irriguées se retrouvent à proximité des réseaux collectifs. Source parcelles RPG, MAELIA, CACG pour les réseaux collectifs et BD Carthage pour les cours d'eau. ©Marie Estienne.

On n'observe pas de lien particulier entre des séquences de cultures irriguées et un type de ressource (retenue, pompage en rivière ou ASA).

2.6.2 Les règles de mobilisation des ressources par les agriculteurs

Le projet sur l'Arrats porte sur la modélisation de l'impact cumulé des retenues collinaires. Il nous faut donc analyser les dynamiques de remplissage et de vidange des retenues. En modélisant le fonctionnement de l'irrigation, MAELIA nous aide à simuler la vidange des retenues. Encore faut-il savoir quelle est la ressource prioritairement utilisée par un agriculteur quand celui-ci dispose de plusieurs types de ressources. On entend par type de ressources l'eau de surface, les retenues et les nappes. Comme il n'y a pas de nappe souterraine sur notre zone d'étude et plus largement sur le bassin de l'Arrats, nous nous concentrerons uniquement sur les exploitations qui peuvent mobiliser soit des prélèvements en cours d'eau et ou en retenue. Deux cas de figure se présentent : soit l'agriculteur dispose d'un seul type de ressource pour arroser un îlot, soit l'agriculteur dispose de deux types de ressources pour arroser un même îlot.

2.6.2.1 Les règles de mobilisation des ressources dans le cas où l'agriculteur dispose d'un seul type de ressource pour arroser îlot.

Il s'agit du cas le plus simple, le plus répandu et le mieux connu. Quand un agriculteur n'a pas le choix de sa ressource, il l'utilise pour arroser les cultures qui en ont besoin selon des règles de décision bien précises. Ces règles de décision d'irrigation permettent de reconstituer la partie de l'itinéraire technique correspondant aux apports d'eau aux cultures, et donc le calendrier et le montant des prélèvements d'eau dans la ressource. Ces règles ont été formalisées grâce à de nombreux entretiens sur différents territoires : Aveyron, Tarn et Adour Amont. Pendant la campagne, ces règles de décisions sont modélisées et l'irrigation se répète jusqu'à la fin de la période définie ou atteinte du quota affecté à l'agriculteur ou déclenchement de mesure de restriction.

Les entretiens ont également permis d'identifier les combinaisons de facteurs permettant d'attribuer ces règles aux parcelles : type de culture x type de sol x matériel d'arrosage.

Tableau 23: Exemple de la formalisation des règles de décision d'irrigation pour un maïs demi tardif irrigué en coteaux. Les trois premières lignes décrivent les facteurs de localisation de la règle qui est décrite par les lignes suivantes. Source présentation module agricole MAELIA. ©Romain Lardy.

IS_IRRIGATION	[O/N]	0	→ Culture irriguée ?
MATERIEL	[NA]	enroul12	→ Matériel associé
IRRIGATION_TD	[jours]	7	→ Délai minimal de retour
IRRIGATION_DEBUT	[jour]	135	} Fenêtre temporelle (garde fou; dates extrêmes de la campagne d'irrigation)
IRRIGATION_FIN	[jour]	288	
IRRIGATION_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	3	→ Nombre de sous-fenêtres de stade « physiologique » (autant que l'utilisateur en veut)
IRRIGATION_ECHV_DEBUT	[echV]	0.01 0.9 2.4	} Sous-fenêtre « stade physiologique »
IRRIGATION_ECHV_FIN	[echV]	0.9 2.4 2.5	
IRRIGATION_DOSE	[mm]	30 30 30	→ Dose apportée (unique ou /période)
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_CUMUL	[jour]	14 7 7	} Conditions nécessaires pour réaliser l'irrigation sur la parcelle – Règles / sous-fenêtres de stade « physiologique »
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_CUMUL_ANNULATION	[mm]	30 40 30	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_SIGNIF	[jour]	3 2 2	
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_SIGNIF_REPORT	[mm]	10 15 15	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_PREVUES	[jour]	7 2 2	
IRRIGATION_HAUTEURS_PLUIE_PREVUES	[mm]	20 30 20	
IRRIGATION_HUMIDITE_SOL_MAX	[-]	0.5 0.75 0.6	
IRRIGATION_REPORT_MAX	[jour]	7	→ Durée maximale de suspension
IRRIGATION_GROUPE	[NA]	maïs	→ Famille de blocs d'irrigation ²

On recense 1342 îlots irrigués sur l'Arrats dont 1188 îlots sont arrosés à partir d'une seule ressource. Ce résultat est obtenu grâce à l'algorithme d'appariement des îlots avec les points de prélèvements communiqués par l'OUGC Neste et rivière de Gascogne.

2.6.2.2 Les règles de mobilisation d'une ressource quand l'agriculteur dispose de plusieurs ressources pour arroser un même îlot.

Dans ce deuxième cas de figure, des règles d'arbitrage entre ressource sont mises en place avant les règles qui organisent le fonctionnement de l'irrigation.

Le stage de Koladé Akakpo avait pour objet de caractériser les règles d'arbitrage mises en place par les irrigants quand ils ont accès à plusieurs types de ressources : retenue et eau superficielle pour l'Arrats.

Dans un premier temps, il a fallu identifier cette configuration grâce à l'analyse de l'appariement entre les prélèvements agricoles fournis par l'OUGC et les îlots irrigables du RPG¹¹. 106 îlots du bassin versant de l'Arrats (8%) sont ainsi rattachés à deux types de ressources différentes, une retenue et un prélèvement en eau superficielle.

Dans un second temps, différents entretiens ont été menés sur le bassin versant de l'Arrats chez des exploitants identifiés (grâce aux présidents d'ASA notamment) comme ayant accès à plusieurs types de ressources et étant susceptibles d'arroser un même îlot avec.

Ces entretiens ont permis d'apprendre que dans le bassin versant de l'Arrats, il y a finalement peu ou pas d'arbitrage dans la mobilisation d'une ressource vis-à-vis d'une autre car chacune arrose en réalité des îlots différents et que les retenues, en cas d'accès multiple à l'eau, sont finalement peu utilisées. Dans certains cas, la retenue intervient comme une ressource de secours en cas de pollution de la rivière.

Il est vrai que l'Arrats est un cours d'eau réalimenté et que les restrictions d'arrosage sont particulièrement rares. Différentes hypothèses ont été formulées¹² pour expliquer ce fonctionnement et elles ont été testées sur d'autres territoires afin de les valider ou non:

- H1 : Dans un bassin réalimenté, il y a peu de tension sur la ressource en eau de surface, d'où une non-utilisation des retenues.
- H2 : La non utilisation des retenues serait due à la tarification mise en place par la CACG et les ASA qui distribuent l'eau ensuite via des réseaux enterrés. Les ASA payent un forfait à la CACG pour un débit de pompage fixe, dans la limite d'un volume confortable. Les ASA répercutent ce prix à leurs adhérents. Pour rentabiliser ce coût, les agriculteurs ont intérêt à utiliser d'eau distribuée par l'ASA plutôt que d'utiliser leur retenue, ce qui engendrerait des coûts supplémentaires de pompage.
- H3 : Dans un bassin versant très étroit, l'accès à la rivière est aisé (directement ou via une ASA dont le linéaire de canalisations sera donc relativement faible, et par conséquent les coûts de structure associés seront aussi réduits), ce qui favorise l'utilisation de ce seul type de ressource.

Il résulte de cette enquête que la priorisation d'une ressource repose souvent sur un critère technique : à la satisfaction d'un besoin en débit. Les entretiens effectués ne sont néanmoins pas assez nombreux pour pouvoir établir des règles robustes d'utilisation des ressources en eau en cas de situations d'arbitrage entre des ressources de plusieurs types.

3. Conclusion.

Le bassin versant de l'Arrats est donc un bassin où les séquences de grandes cultures en sec occupent la majorité de la SAU. Selon les données du RPG 2012, il semblerait que les séquences de cultures irriguées n'occupent que la moitié de la SAU irrigable du bassin.

Pour des questions de temps, nous n'avons pas nourri cette étude des dernières données RPG disponibles. Cela sera fait ultérieurement.

Les premières simulations du fonctionnement du bassin versant de l'Arrats (en aval de l'Astarac et jusqu'à St Antoine) seront faites avec les données présentées plus haut. Si les sorties de simulation étaient trop en décalage avec ce qui est observé dans la réalité, la caractérisation agricole du bassin serait revue et des règles de décisions spécifiques au territoire seraient établies suite à un travail d'enquête auprès d'experts du territoire.

¹¹ Appariement géographique entre un îlot et un ou plusieurs points de prélèvements susceptibles de l'arroser. Réalisé pendant les prétraitements des données.

¹² Rapport de Stage M1 septembre 2016, Koladé Akakpo.

Bibliographie.

- BERGEZ J-E., DEBAEKE P., DEUMIER J-M., LACROIX B., LEENHARDT D., LEROY P., WALLACH D., 2001. MODERATO: A decision tool to help on irrigation scheduling on corn crops. Ecological Modelling 137, 43-60. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438000004312>
- CARLUER et al, 2016. Expertise collective de l'impact cumulé des retenues d'eau dans le milieu aquatique. Rapports disponibles en ligne : <https://expertise-impact-cumule-retenues.irstea.fr/les-rapports/>
- CACG 2010. Diagnostic et élaboration du Plan de Gestion Collective de l'Eau sur l'Arrats.
- CACG, 2012. Révision du Plan de Gestion des Etiages Neste et Rivières de Gascognes.
- HABETS F., PHILLIPE E., MARTIN E., DAVID C. H., LESEUR F., 2013. Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. Hydrology and Earth System Science.
- LEENHARDT D., TROUVAT J-L., GONZALÈS G., PÉRARNAUD V., PRATS V., BERGEZ J-E., 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale. I. ADEAUMIS, a simulation platform based on bio-decisional modelling and spatial information. Agric. Water Manage., 68(3) :207-232. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T3X-4CS4ND5-1/2/134491d232043ed855b4ae2cfd1abf5>
- LEENHARDT D., TROUVAT J-L., GONZALÈS G., PÉRARNAUD V., PRATS V., BERGEZ J-E., 2004. Estimating irrigation demand for water management on a regional scale. II. Validation of ADEAUMIS. Agric. Water Manage., 68(3) : 233-250.
- LEENHARDT D., THEROND O., MIGNOLET C., 2012. Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ? Agronomie, Environnement & Sociétés, vol 2, n°2, décembre 2012. En ligne : <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol2-n2-decembre-2012-assolement-et-gestion-quantitative-de-leau/revue-aes-vol2-n2-6/>
- LEENHARDT D., MURGUE C., THEROND O., 2015. Une approche agroécologique de la gestion quantitative de l'eau en zone de déficit chronique. Innovations Agronomiques n° 43 (2015), pages 57-70.
- LEENHARDT D., RIZZO D., THEROND O., 2016. Modélisation des éléments clefs d'un territoire irrigué. Rapport d'étude INRA-ONEMA, 65pp.
- MATON, L., LEENHARDT, D. *, BERGEZ, J.-E., 2007. Georeferenced indicators of maize sowing and cultivar choice for better water management. Agronomy for Sustainable Development, 27: 377-386. <http://www.springerlink.com/content/m54w4m42x8505071>
- MATON, L. , LEENHARDT, D. *, BERGEZ, J.-E., 2009. Choix de précocité et pratiques de semis en maïsiculture irriguée du sud-ouest de la France : quelle diversité et comment l'expliquer ? Cahiers Agriculture, 18, 26-34. http://www.jle.com/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/48/43/resume.phtml?type=text.html
- MURGUE C., THEROND O., LEENHARDT D., 2015. Hybridizing local and generic information to model cropping system spatial distribution in an agricultural landscape. Land Use Policy.

Plate-forme de documentation MAELIA : <http://maelia-platform.inra.fr/>

RIZZO D., THEROND O., LARDY R., MURGUE C., LEENHARDT D., 2016. A rapid, spatially explicit approach to modeling cropping systems at the regional scale. Soumis pour publication à la revue Agricultural Systems en octobre 2016.

THEROND O., SIBERTIN-BLANC C., LARDY R., BALESTRAT M., HONG Y., LOUAIL T., MAYOR E., BAI V., TAILANDIER P., VAVASSEUR M., MAZZEGA P., 2014. Integrated modelling of social-ecological systems : The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems. In: D. P. Ames, N. W. T. Quinn, A. E. Rizzoli (Eds.), 7th Int. Congress on Env. Modelling and Software. San Diego. 8 p.

These :

MURGUE C., 2014. Quelles distributions spatiales de systèmes de culture pour limiter l'occurrence des crises de gestion quantitative de l'eau ? Une démarche de conception évaluation sur le territoire de l'Aveyron aval. Thèse de doctorat, INPT Toulouse, FR, 211 p. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002866/>

Rapport de Stage

AKAKPO K., 2016. Caractérisation des pratiques de prélèvements des agriculteurs dans leurs ressources en eau.

Annexes.

Annexe 1 : Fonction Baseflow du package R EcoHydrology

BaseflowSeparation *Baseflow Separation*

Description

This function reads a streamflow dataset and produces a baseflow dataset. It can be run using 1, 2 or 3 passes

Usage

```
BaseflowSeparation(streamflow, filter_parameter = 0.925, passes = 3)
```

Arguments

streamflow	A vector containing streamflow values
filter_parameter	The value recommended by Nathan and McMahon (1990) is 0.925, however, the user might want to play with this value (0.9-0.95)
passes	The number of times you want the filter to pass over your data. 1-3

Value

This will return a 2 column data frame with nrow = length of input streamflow data. The first column contains baseflow, while the second contains quickflow, both in the same units as the input.

Author(s)

Josephine Archibald

References

Lyne, V. D. and M. Hollick (1979). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Hydrology and Water Resources Symposium, Perth, Institution of Engineers, Australia.

Nathan, R. J. and T. A. McMahon (1990). "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis." Water Resources Research 26(7): 1465-1473.

Examples

```
##### Look at a dataset for Owasco Lake in NY:
data(OwascoInlet)
summary(OwascoInlet)

## Get an approximation for baseflow using a 3 pass filter:
bfs<-BaseflowSeparation(OwascoInlet$Streamflow_m3s, passes=3)

## You can check out how this looks with the hydrograph function:
hydrograph(input=OwascoInlet,streamflow2=bfs[,1])
```

Annexe 2 : Description des ITK de deux systèmes de culture de l'Arrats.

- ITK blé et légumes pour la séquence de référence Maraichage irrigué par goutte à goutte sur sol limoneux.

NOM_ITK_AFFICHAGE	*	maraichage_irr_lim	commentaires
ZONE_PEDO	[NA]	all bb1 bb2 bb3 sables	Tous types de sol sauf les argileux qui nécessitent un travail en plus
IDS_SDCS	[NA]	mais* mais/x_irr prairiet/mais_irr semence* semence/X vergers_irr maraichage* cerealesPaille/x_irr	
ID_ESPECE	[NA]	maraichage	
MATERIEL	[NA]	goutte	
IS_CULTURE_HIVER	[NA]	N	
IS_PREPA_SOL	[NA]	0	Nécessite une préparation du sol
PREPA_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	2	
PREPA_TEMPS	[Ha/h]	3,5	Temps de préparation du sol
PREPA_DEBUT	[jour]	79 110	Deux créneaux de préparation possibles : entre les jours 274 et 304 ou 305 et 319.
PREPA_FIN	[jour]	109 120	
PREPA_JOURS_P-ETP_MOY	[jour]	NA	Critères pour procéder à la préparation du sol.
PREPA_P-ETP_MIN	[mm]	NA	
PREPA_JOURS_PLUIE	[jour]	3 2	
PREPA_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	10 10	
PREPA_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	1.1 1.3	
PREPA_EFFECT_RUs	[NA]	W2 W2	
IS_REPRISE_SOL	[NA]	N	
REPRISE_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	NA	
REPRISE_TEMPS	[Ha/h]	NA	
REPRISE_DEBUT	[jour]	NA	
REPRISE_FIN	[jour]	NA	
REPRISE_JOURS_P-ETP_MOY	[jour]	NA	
REPRISE_P-ETP_MIN	[mm]	NA	
REPRISE_JOURS_PLUIE	[jour]	NA	
REPRISE_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	NA	
REPRISE_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	NA	
REPRISE_EFFECT_RUs	[NA]	NA	
IS_SEMIS	[NA]	0	
SEMIS_TEMPS	[Ha/h]	2	
SEMIS_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	1	
SEMIS_DEBUT	[jour]	105	2 créneaux de semis : entre les jours 283 et 319 et entre les jours 320 et 334.
SEMIS_FIN	[jour]	166	
SEMIS_JOURS_TMIN	[jour]	3	Critères pour semer
SEMIS_TMIN_MIN	[degre sC]	3	
SEMIS_JOURS_PLUIE	[jour]	3	
SEMIS_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	5	

SEMIS_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	1,1	
SEMIS_EFFET_RUs	[?]	W1	
SEMIS_OPERATEUR	[NA]	NA	
IS_BINAGE_SOL	[NA]	N	
BINAGE_TEMPS	[Ha/h]	NA	
BINAGE_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	NA	
BINAGE_DEBUT	[jour]	NA	
BINAGE_FIN	[jour]	NA	
BINAGE_EchV_MIN	[%]	NA	
BINAGE_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	NA	
BINAGE_EFFET_RUs	[NA]	NA	
BINAGE_COMMENTAIRE	[NA]	NA	
IS_IRRIGATION	[NA]	0	ITK irrigué donc règles pour l'irrigation.
IRRIGATION_TD	[jours]	2	5 mm apportés tous les deux jours
IRRIGATION_DOSE	[mm]	5	
IRRIGATION_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	1	Règles de décisions qui permettent la modélisation de l'irrigation
IRRIGATION_DEBUT	[jour]	105	
IRRIGATION_FIN	[jour]	288	
IRRIGATION_ECHV_DEBUT	[echV]	NA	
IRRIGATION_ECHV_FIN	[echV]	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_CUMUL	[jour]	NA	
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_CUMUL_ANNULATION	[mm]	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_SIGNIF	[jour]	NA	
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_SIGNIF_REPORT	[mm]	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_PREVUES	[jour]	NA	
IRRIGATION_HAUTEURS_PLUIE_PREVUES	[mm]	NA	
IRRIGATION_JOURS_P-ETP	[jour]	NA	
IRRIGATION_P-ETP_MAX	[mm]	NA	
IRRIGATION_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	0,8	
IRRIGATION_IS_THEORIQUE	[NA]	N	
IRRIGATION_SEUIL_TRM_MIN	[?]	NA	
IRRIGATION_DOSE_THEO	[mm]	NA	
IRRIGATION_SIRR1	[?]	NA	
IRRIGATION_SIRR2	[?]	NA	
IRRIGATION_SIRR3	[?]	goutte	
IRRIGATION_OPERATEUR	[NA]	NA	
IRRIGATION_REPORT_MAX	[jour]	5	
IRRIGATION_GROUPE	[]	goutte	
IS_RECOLTE	[NA]	0	
RECOLTE_TEMPS	[Ha/h]	3	
RECOLTE_TEMPS_INTERNE	NA	1	
RECOLTE_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	2	
RECOLTE_DEBUT	[jour]	274 289	2 créneaux pour la

RECOLTE_FIN	[jour]	288 304	récolte
RECOLTE_ECHV_MIN	[mm]	1.75 1.6	Critères climatiques et d'humidité du sol pour récolter.
RECOLTE_JOURS_PLUIE	[jour]	3 2	
RECOLTE_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	10 15	
RECOLTE_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	0.8 1	
RECOLTE_EFFET_RUs	[?]	W1 W1	
RECOLTE_OPERATEUR	[NA]	NA	
IS_FERTI	[?]	N	
FERTI_NB_SOUS_PERIODES	[?]	NA	
FERTI_TEMPS	[ha/h]	NA	
FERTI_DEBUT	[jour]	NA	
FERTI_FIN	[jour]	NA	
FERTI_DOSE/Ha	[kg/ha]	NA	
FERTI_JOURS_PLUIE_OBS	[jour]	NA	
FERTI_HAUTEURS_PLUIE_OBS_MIN	[mm]	NA	
FERTI_ECHV_DEBUT	[echV]	NA	
FERTI_ECHV_FIN	[echV]	NA	
isPHYTO	[?]	NA	
PHYTO_TEMPS	[Ha/h]	NA	
PHYTO_DOSE/Ha	[?]	NA	
PHYTO_NB_SOUS_PERIODES	[?]	NA	
PHYTO_DEBUT	[jour]	NA	
PHYTO_FIN	[jour]	NA	
PHYTO_JOURS_PLUIE_OBS	[jour]	NA	
PHYTO_HAUTEURS_PLUIE_OBS_MIN	[mm]	NA	
PHYTO_JOURS_PLUIE_PREVUES	[jour]	NA	
PHYTO_HAUTEURS_PLUIE_PREVUES_MIN	[mm]	NA	

- ITKs blé et tournesol pour la séquence de référence Céréales à paille/tournesol en sec

NOM_ITK_AFFICHAGE	*	CP_sec_*	tour_sec_arg	commentaires
ZONE_PEDO	[NA]	*	ctx_lim	le sol n'impacte pas l'ITK du blé. Pour le tournesol, le choix se porte sur un ITK spécifique en coteaux argilo-calcaire, sol le plus présent sur notre Zone.
IDS_SDCS	[NA]	mais/x_sec cereale* cp/tour cp/colza gel prairiet/cp prairiet/mais_sec mix prairiep vergers_sec vignes haricots*	mais* mais/x_irr prairiet/mais_irr semence* semence/X vergers_irr mais/x_sec cereale* cp/tour cp/colza gel prairiet/cp prairiet/mais_sec mix prairiep vergers_sec vignes haricots*	
ID_ESPECE	[NA]	CP	tour	
MATERIEL	[NA]	NA	NA	
IS_CULTURE_HIVER	[NA]	0	N	
IS_PREPA_SOL	[NA]	0	0	Nécessite une préparation du sol
PREPA_NB_SOU	[NA]	2	2	

Caractérisation du fonctionnement agro-hydrologique du bassin versant de l'Arrats

S_PERIODES				
PREPA_TEMPS	[Ha/h]	0.9	0.9	Temps de préparation du sol
PREPA_DEBUT	[jour]	274 305	288 319	Deux créneaux de préparation possibles : entre les jours 274 et 304 ou 305 et 319.
PREPA_FIN	[jour]	304 319	318 334	
PREPA_JOURS_P-ETP_MOY	[jour]	NA	NA	Critères pour procéder à la préparation du sol.
PREPA_P-ETP_MIN	[mm]	NA	NA	
PREPA_JOURS_PLUIE	[jour]	3 2	3 2	
PREPA_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	10 10	10 10	
PREPA_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	1 1.15	1 1.15	
PREPA_EFFECT_RUs	[NA]	W3 W3	W3 W3	
IS_REPRISE_SOL	[NA]	N	N	
REPRISE_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	NA	NA	
REPRISE_TEMPS	[Ha/h]	NA	NA	
REPRISE_DEBUT	[jour]	NA	NA	
REPRISE_FIN	[jour]	NA	NA	
REPRISE_JOURS_P-ETP_MOY	[jour]	NA	NA	
REPRISE_P-ETP_MIN	[mm]	NA	NA	
REPRISE_JOURS_PLUIE	[jour]	NA	NA	
REPRISE_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	NA	NA	
REPRISE_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	NA	NA	
REPRISE_EFFECT_RUs	[NA]	NA	NA	
IS_SEMIS	[NA]	0	0	
SEMIS_TEMPS	[Ha/h]	1.8	1.8	
SEMIS_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	2	2	
SEMIS_DEBUT	[jour]	283 320	79 121	2 créneaux de semis : entre les jours 283 et 319 et entre les jours 320 et 334.
SEMIS_FIN	[jour]	319 334	120 171	
SEMIS_JOURS_TMIN	[jour]	NA	3 3	Critères pour semer
SEMIS_TMIN_MIN	[degr esC]	NA	5 5	
SEMIS_JOURS_PLUIE	[jour]	NA	3 2	
SEMIS_HAUTEURS_PLUIE_MAX	[mm]	NA	15 10	
SEMIS_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	1 1	1 1.05	
SEMIS_EFFECT_RUs	[?]	W1 W1	W1 W1	
SEMIS_OPERATEUR	[NA]	NA	NA	

IS_BINAGE_SOL	[NA]	N	N	
BINAGE_TEMPS	[Ha/h]	NA	NA	
BINAGE_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	NA	NA	
BINAGE_DEBUT	[jour]	NA	NA	
BINAGE_FIN	[jour]	NA	NA	
BINAGE_EchV_MIN	[%]	NA	NA	
BINAGE_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	NA	NA	
BINAGE_EFFECT_RUs	[NA]	NA	NA	
BINAGE_COMMENTAIRE	[NA]	NA	NA	
IS_IRRIGATION	[NA]	N	N	ITK en sec donc pas de règles pour l'irrigation.
IRRIGATION_TD	[jours]	NA	NA	
IRRIGATION_DOSE	[mm]	NA	NA	
IRRIGATION_NB_SOUS_PERIODES	[NA]	NA	NA	
IRRIGATION_DEBUT	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_FIN	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_EchV_DEBUT	[echV]	NA	NA	
IRRIGATION_EchV_FIN	[echV]	NA	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_CUMUL	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_CUMUL_ANNULATION	[mm]	NA	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_SIGNIF	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_HAUTEUR_PLUIE_SIGNIF_REPORT	[mm]	NA	NA	
IRRIGATION_JOURS_PLUIE_PREVUES	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_HAUTEURS_PLUIE_PREVUES	[mm]	NA	NA	
IRRIGATION_JOURS_P-ETP	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_P-ETP_MAX	[mm]	NA	NA	
IRRIGATION_HUMIDITE_SOL_MAX	[%]	NA	NA	
IRRIGATION_IS_THEORIQUE	[NA]	N	N	
IRRIGATION_SEUIL_TRM_MIN	[?]	NA	NA	
IRRIGATION_DO	[mm]	NA	NA	

SE_THEO				
IRRIGATION_SIR R1	[?]	NA	NA	
IRRIGATION_SIR R2	[?]	NA	NA	
IRRIGATION_SIR R3	[?]	NA	NA	
IRRIGATION_OP ERATEUR	[NA]	NA	NA	
IRRIGATION_RE PORT_MAX	[jour]	NA	NA	
IRRIGATION_GR OUPE	[]	irr_enr12_9j	irr_enr12_9j	
IS_RECOLTE	[NA]	0	0	
RECOLTE_TEMP S	[Ha/ h]	3	3	
RECOLTE_TEMP S_INTERNE	NA	0	0	
RECOLTE_NB_S OUS_PERIODES	[NA]	2	2	
RECOLTE_DEBU T	[jour]	161 201	213 244	2 créneaux pour la récolte
RECOLTE_FIN	[jour]	200 211	243 273	
RECOLTE_ECHV_ MIN	[mm]	1.75 1.65	1.75 1.6	Critères climatiques et d'humidité du sol pour récolter.
RECOLTE_JOURS _PLUIE	[jour]	3 1	3 1	
RECOLTE_HAUT EURS_PLUIE_MA X	[mm]	10 15	10 15	
RECOLTE_HUMI DITE_SOL_MAX	[%]	1 1.1	1 1.1	
RECOLTE_EFFET _RUs	[?]	W1 W1	W1 W1	
RECOLTE_OPER ATEUR	[NA]	NA	NA	
IS_FERTI	[?]	N	N	
FERTI_NB_SOUS _PERIODES	[?]	NA	NA	
FERTI_TEMPS	[ha/h]	NA	NA	
FERTI_DEBUT	[jour]	NA	NA	
FERTI_FIN	[jour]	NA	NA	
FERTI_DOSE/Ha	[kg/h a]	NA	NA	
FERTI_JOURS_PL UIE_OBS	[jour]	NA	NA	
FERTI_HAUTEUR S_PLUIE_OBS_M IN	[mm]	NA	NA	
FERTI_ECHV_DE BUT	[ech v]	NA	NA	
FERTI_ECHV_FIN	[ech v]	NA	NA	
isPHYTO	[?]	NA	NA	
PHYTO_TEMPS	[Ha/ h]	NA	NA	
PHYTO_DOSE/H a	[?]	NA	NA	
PHYTO_NB_SOUS	[?]	NA	NA	

S_PERIODES				
PHYTO_DEBUT	[jour]	NA	NA	
PHYTO_FIN	[jour]	NA	NA	
PHYTO_JOURS_PLUIE_OBS	[jour]	NA	NA	
PHYTO_HAUTEURS_PLUIE_OBS_MIN	[mm]	NA	NA	
PHYTO_JOURS_PLUIE_PREVUES	[jour]	NA	NA	
PHYTO_HAUTEURS_PLUIE_PREVUES_MIN	[mm]	NA	NA	