



HAL
open science

L'étiage 2020 dans les Gardons amont (Cévennes) Projet pilote de suivi des débits d'étiage Rapport sur huit stations temporaires d'étiage et deux stations pérennes Janvier 2021

Philippe Martin, Pierre-Alain Ayrat, H. Di Costanzo, Jean-Marc Domergue, Stéphane Ecrepont, Nadine Grard, Loïs Ribet

► To cite this version:

Philippe Martin, Pierre-Alain Ayrat, H. Di Costanzo, Jean-Marc Domergue, Stéphane Ecrepont, et al.. L'étiage 2020 dans les Gardons amont (Cévennes) Projet pilote de suivi des débits d'étiage Rapport sur huit stations temporaires d'étiage et deux stations pérennes Janvier 2021. [Rapport de recherche] Avignon Université. 2020. hal-03452911

HAL Id: hal-03452911

<https://hal.science/hal-03452911>

Submitted on 27 Nov 2021

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.



L'étiage 2020 dans les Gardons amont (Cévennes)
Projet pilote de suivi des débits d'étiage
Rapport sur huit stations temporaires d'étiage
et deux stations pérennes

Janvier 2021

*Philippe Martin**, *Pierre-Alain Ayrat****, *Hadrien Di Costanzo**, *Jean-Marc Domergue***,
*Stéphane Ecrepon****, *Nadine Grard***, *Loïs Ribet*****

* Avignon université et UMR 7300 ESPACE

** INRAe, UMR 7300 ESPACE

*** IMT Mines Alès, LGEI

**** Université J. Fourier, Grenoble

Convention et avenant en date du 4 juin 2018 entre le EPTB Gardons et Avignon université (UMR ESPACE) sur l'installation et le suivi de stations d'étiage dans les Gardons de 2018 à 2020.

Avignon université (UMR ESPACE), 74 rue L. Pasteur, 84029 Avignon cedex

Sommaire

1	Contexte	4
1.1	Ressources en eau	4
1.2	Partenariat	4
1.3	Problèmes durant l'année 2020	5
1.3.1	Pertes de matériel	6
1.3.2	Modifications de lits.....	9
1.3.3	Perte des enregistrements et réinstallation	11
2	Les sites étudiés.....	13
2.1	Sur le Gardon de Saint-Jean	13
2.2	Sur le Gardon d'Alès.....	13
3	Équipement et types de données	14
3.1	Équipement	14
3.2	Données.....	15
3.3	Données d'étiage.....	16
4	Premiers résultats	18
4.1	Situation climato-hydrologique.....	18
4.2	Les jaugeages et les courbes de tarage	19
4.3	Méthodologie de traitement des enregistrements	21
5	La Salindrenque	24
5.1	Station de Lasalle sur la Salindrenque	24
5.1.1	Présentation de la station.....	24
5.1.2	Tableau des jaugeages	25
5.1.3	Chronique de récupération des données.....	25
5.1.4	Courbe de tarage	25
5.1.5	Hydrogramme et éléments statistiques.....	26
5.2	Station de Thoiras sur la Salindrenque aval.....	27
5.2.1	Présentation de la station.....	27
5.2.2	Tableau des jaugeages.....	28
5.2.3	Chronique des récupérations de données	28
5.2.4	Courbe de tarage	28
5.2.5	Hydrogramme et éléments du fonctionnement	29
6	Gardon de Saint-Jean	30
6.1	La Borgne aval à Saumane (station de Rafinesque).....	30
6.1.1	Présentation de la station.....	30
6.1.2	Chroniques de récupération des données	31

6.1.3	Tableau des jaugeages	31
6.1.4	Courbe de tarage	32
6.1.5	Hydrogramme et éléments du fonctionnement	32
6.2	Le Gardon de Saint-André de Valborgne au pont de l'Elze.....	33
6.2.1	Présentation de la station.....	33
6.2.2	Chronique de récupération des données.....	34
6.2.3	Tableau des jaugeages	35
6.2.4	Courbe de tarage	35
6.2.5	Hydrogramme et éléments du fonctionnement	35
6.3	Le Gardon de Saint-Jean à Saint-Jean du Gard (pont de Cambonéral).....	37
6.3.1	Présentation de la station.....	37
6.3.2	Chronique de récupération des données.....	38
6.3.3	Tableau des jaugeages	38
6.3.4	Courbe de tarage	39
6.3.5	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	39
7	Le Gardon de Mialet	40
7.1	Le Gardon de Sainte Croix Vallée française au Martinet.....	40
7.1.1	Présentation de la station.....	40
7.1.2	Chronique de récupération des données.....	41
7.1.3	Tableau des jaugeages	41
7.1.4	Courbe de tarage	42
7.1.5	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	42
7.2	Le Gardon de Mialet à Saint Etienne Vallée française	43
7.2.1	Présentation de la station.....	43
7.2.2	Chronique de récupération des données.....	44
7.2.3	Tableau des jaugeages	44
7.2.4	Courbe de tarage	45
7.2.5	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	45
7.3	Le Gardon de Mialet au Roucan à Corbès	46
7.3.1	Présentation de la station.....	46
7.3.2	Chronique de récupération des données.....	48
7.3.3	Tableau des jaugeages	48
7.3.4	Courbe de tarage	49
7.3.5	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	50
8	Le Gardon d'Alès.....	51
8.1	Le Gardon d'Alès aux Cambous	51
8.1.1	Présentation de la station.....	51

8.1.2	Chronique de récupération des données.....	52
8.1.3	Tableau des jaugeages.....	53
8.1.4	Courbe de tarage.....	53
8.1.5	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	54
8.2	Le Galeizon à l'Aube morte.....	54
8.2.1	Présentation de la station.....	54
8.3	Problèmes de mesure et pannes de matériels.....	55
8.3.1	Chronique de récupération des données.....	57
8.3.2	Tableau des jaugeages.....	58
8.3.3	Hydrogramme et éléments de fonctionnement.....	58
9	Conclusions générales.....	59
10	Tableaux en annexe (mesure limnimètre du 13/06 au 19/09).....	60

1 Contexte

L'EPTB Gardons a réalisé un Plan de Gestion Concertée de la Ressource en eau entre 2007 et 2011. Ce plan a mis en évidence un problème de ressources en eau à l'échelle du bassin versant des Gardons. Une étude sur les volumes prélevables commandée par l'EPTB Gardons confirme ce constat.

Le secteur cévenol est apparu comme une zone prioritaire pour réfléchir à des économies d'eau. Des plans locaux de gestion ont été lancés sur le Gardon de Saint-Jean, la Salindrenque et le Gardon de Mialet. Ils sont aujourd'hui achevés et font l'objet d'une mise en œuvre avec un travail d'optimisation des prélèvements par les béals. Par ailleurs le Département du Gard a lancé une importante étude en 2019 – 2020 sur les conséquences prévisibles des changements climatiques à venir, qui devrait se poursuivre en 2021 et au-delà (Climat 3.0).

Une problématique spécifique a ensuite été avancée sur le lien pouvant exister entre le Gardon d'Alès et le karst hettangien (pertes du Gardon à l'aval de La-Grand-Combe, résurgences à l'amont d'Alès, efficacité du soutien d'étiage du barrage de Sainte-Cécile-d'Andorge).

De manière plus générale, ces démarches ont souligné le déficit important de connaissance sur les débits d'étiage, notamment dans les secteurs cévenols, et sur le tronçon en lien avec le karst hettangien.

1.1 Ressources en eau

Dans le cadre du SAGE des Gardons (adopté le 4 novembre 2015), la gestion quantitative est apparue comme une question prioritaire. Le déficit de connaissance sur les débits d'étiage était aussi un point important pour lequel des actions pouvaient être planifiées.

Disposition A2-2b : le réseau de stations hydrométriques de niveau 2 doit être complété, notamment sur les sous-bassins du Gardon d'Alès (Cambous, Galeizon) et du Gardon aval (Collias).

Disposition A2-2c : le SAGE préconise la mise en place d'un système de suivi des débits d'étiage aux points locaux nodaux (niveau 3).

Disposition A2-2d : au-delà du suivi par des stations hydrométriques et par l'Observatoire national des étiages, le SAGE recommande la mise en place de campagnes de suivi permettant d'améliorer la connaissance du fonctionnement des cours d'eau. Elles pourraient se dérouler sur trois à cinq ans et concerner prioritairement les secteurs complexes et peu couverts par des stations de suivi du Gardon ainsi que ses principaux affluents.

Disposition A2-2f : le SAGE préconise la mise en place d'un observatoire participatif des débits d'étiage.

Enfin, le contrat de rivière des Gardons, ainsi que sa réactualisation à mi-parcours comportent plusieurs actions concernant le suivi des débits à l'étiage.

B1-I-4.1 : Installation de stations hydrométriques (État, CD30)

B1-I-4.2 : Mise en œuvre d'un suivi régulier (EPTB Gardons)

B1-I-4.4 : Carte de sensibilisation du public sur le site Internet de l'EPTB Gardons (ex SMAGE).

1.2 Partenariat

L'EPTB Gardons a travaillé durant de nombreuses années (2003-2012) avec le CNRS dans le cadre d'un projet pilote sur la ressource en eau à Peyrolles. Pour ce faire, l'UMR a mis en place différentes stations de suivi de débits d'étiage à vocation de recherche. Un échange avec l'Université d'Avignon a mis en évidence la possibilité de tester l'installation de différentes stations hydrométriques non pérennes en lien avec les besoins spécifiques de l'EPTB Gardons, pour la gestion des étiages. Ceci a conduit à la signature de deux conventions entre l'EPTB Gardons et d'Avignon université dès 2015, l'une de trois ans (2015-2017) avec un financement de l'Agence de l'eau RMC de manière à répondre à différents objectifs et l'autre de deux ans (2016-2017) portant plus particulièrement sur le Gardon d'Alès et ses affluents. Ces deux conventions ont été renouvelées, pour trois ans pour la première (2018 – 2020) et pour un an (avenant à la convention 2016 – 2017) pour la seconde. Le présent rapport est donc le dernier rapport concernant les conventions triennales et ces stations d'étiage. Il fait suite aux rapports annuels rendus depuis 2016 (étiage 2015) pour chacune des conventions.

La convention 2018-2020 a pour but le suivi des débits d'étiage des cours d'eau cévenols en appui à l'optimisation de la gestion des *béals*.

L'objectif étant d'acquiescer de la donnée et de la mettre en perspective avec des actions de gestion. L'EPTB Gardons n'est donc pas identifié comme gestionnaire-fournisseur de données en continu, notamment durant les périodes estivales.

La gestion des stations hydrométriques nécessite de nombreux déplacements sur sites dans la mesure où les relevés des données ne sont pas automatisés et dans la mesure où, comme nous le verrons ci-dessous, de nombreux problèmes peuvent apparaître. Une automatisation n'aurait de sens pour de telles stations que pour alerter précocement sur un dysfonctionnement (barrage fait par des estivants, panne de sonde...). Sauf situation très particulière (secteur non fréquenté, seuil inamovible, matériel redondant, etc.) de telles stations nécessitent un suivi au moins bimensuel, ce qui permet en outre d'acquiescer des valeurs jaugées de débits nécessaires aux courbes de tarage qu'il faut vérifier chaque année, voire reconstituer si les crues ont produit un travail géomorphologique dans le lit mineur.

1.3 Problèmes durant l'année 2020

En 2020, les tournées ont été réalisées sur deux jours généralement le lundi pour les stations de Cambous, Galeizon, Salindrenque au pont de Thoiras, sur la Salindrenque à Lasalle, le Gardon de Mialet à Roucan, et le mardi pour celles de Saint-Jean-du-Gard, de Saumane, de Saint-André-de-Valborgne, de Saint-Etienne-Vallée-Française et pour le Gardon de Sainte-Croix. Mais de nombreuses autres journées de travail ont été nécessaires en 2020 en raison, en particulier, de la situation sanitaire et de crues majeures destructrices.

Ainsi, l'année 2020 a été fortement perturbée d'une part par l'apparition de la Covid-19 et par des épisodes climatiques assez exceptionnels (crues des 12 juin et 19 septembre 2020).

Le confinement généralisé décidé à la mi-mars par le Gouvernement ainsi que la mise en télétravail de personnels, n'a pas permis, ce que les niveaux hydrologiques auraient permis en raison des bas débits du printemps d'installer comme chaque année, les huit stations temporaires d'étiage en avril. Ce travail n'a pu être entrepris, et encore avec de grandes difficultés liées aux diverses réglementations, au maintien en télétravail de certains personnels, etc. qu'à partir du déconfinement en mai.

La mobilisation totale des personnels pouvant avoir une activité de terrain a toutefois permis d'installer toutes les stations d'étiage entre le 12 mai 2020 et le 18 mai 2020. La réinstallation a alors été faite en doublant, comme les années précédentes, les systèmes de mesure (sondes, etc.) de façon à éviter d'avoir des lacunes dans les mesures ; l'expérience ayant montré qu'en particulier les sondes immergées sont très loin d'avoir les durées de fonctionnement annoncées par les constructeurs.

Il est assez fréquent qu'une sonde de deux ans d'âge ne puisse plus être connectée à un PC et donc déchargée de ses mesures. Ceci semble lié à l'état de la batterie, laquelle, en fin de vie, est assez souvent en mesure d'alimenter la mesure, mais pas de supporter la connexion et le transfert des données, ce qui semble demander plus de puissance. Dans ces cas une « astuce » consiste à réchauffer la sonde, par exemple en la mettant au soleil (ou avec un sèche-cheveux !) ce qui doit activer et faciliter les réactions chimiques dans la batterie et donc permettre de récupérer des données. Ces solutions ne sont que des pis-aller. La sonde doit ensuite être impérativement changée.

La fin du mois de mai et le début du mois de juin ont alors été consacrés à la réalisation de jaugeages afin de revalider les courbes de tarage. Ce travail était quasiment terminé quand est intervenue la crue du 12 juin qui a été très forte dans le Gardon d'Anduze et qui n'avait pas été annoncée comme pouvant être dévastatrice.

Dans les jours qui ont suivi, des tournées d'inspection ont montré que les dégâts subis par les stations temporaires d'étiage étaient très importants ; ces stations n'étant absolument pas faites pour résister à des débits de très hautes eaux.

1.3.1 Pertes de matériel

Les tableaux (Fig.1 – 4) montrent les pertes qui ont alors été observées.

FIG.1 — PERTES ET PANNES DE MATÉRIELS ENREGISTRÉES LORS DES CRUES DU 12/06/20

<i>Pertes crue 12/6/2020</i>	<i>SDEC niveau</i>	<i>SOLINST niveau</i>	<i>SOLOPHEME</i>	<i>SDEC baro</i>	<i>SOLINST baro</i>	<i>Sonde Keler</i>	<i>Hobo</i>
<i>Cambous</i>	1	1	-			-	-
<i>Galeizon</i>	1	1		1			-
<i>Lasalle-village</i>	-	-	0	-	-	0	-
<i>Roucan</i>	1	1	-	0	0	-	-
<i>Sainte Croix</i>	1	0		0	0	-	-
<i>SainteAndré</i>	-	-	0	-	-	0	1
<i>Saint-Etienne</i>	-	-	1	-	-	1	-
<i>Saint-Jean</i>	1	-	-	-	1	-	-
<i>Saumane</i>	-	-	1	-	-	1	-
<i>Thoiras</i>	0	-	0	0	-	0	-

Dès la semaine 25, il a donc fallu réaliser le démontage de ce qui restait des installations dévastées et réinstaller de nouveaux équipements.

Globalement trois cas se sont présentés.

- D'une part dans le meilleur des cas les sondes ont résisté à la charge hydraulique (les sondes utilisées sont souvent des 0-2 m afin d'accroître la précision ; pour plusieurs stations le niveau d'eau a été très largement supérieur) et les tubes n'ont pas été arrachés. Dans ces cas il a toutefois été observé à peu près systématiquement un engravement des tubes qui se remplissent de sable et de limon. Il est alors totalement impossible de faire remonter la sonde immergée avec le lien prévu à cet effet. Le tube doit être démonté pour être lavé à grande eau afin de chasser progressivement cette charge alluviale. Souvent les goujons ont été matés et il n'est plus possible de libérer le tube simplement en dévissant les boulons. Ceux-ci doivent être coupés, ce qui implique une réinstallation générale et donc un nouveau nivellement (relation Hlu vs charge). La présence de cette charge alluviale dans le tube est assez étonnante dans la mesure où les trous faits dans le tube métallique fermé aux deux extrémités, pour assurer un transfert de pression, sont de petite taille (de 3 à 4 mm). Il faut donc imaginer un nombre quasiment infini de particules qui frappent le tube afin qu'une petite partie d'entre elles arrive à entrer par de tels accès.
- D'autre part, dans certains cas le niveau atteint par l'eau a été tel que les enregistreurs externes de type Solophème et/ou les sondes barométriques ont été noyés. Cela a été le cas par exemple pour le Solophème à St Etienne vallée française. Il convient donc de remplacer le matériel ainsi détruit. Cet ennoisement n'exclut pas la possibilité d'arrachage, en particulier des câbles reliant l'enregistreur Solophème à la sonde de pression. Souvent dans de tels cas la sonde barométrique couplée à la sonde hydrométrique n'a même pas été retrouvée.
- Enfin certaines stations ont été totalement dévastées et l'ensemble du lit a été érodé de façon majeure. Dans de tels cas comme pour la station de Saumane, il ne reste plus rien, même pas le support de fixation.

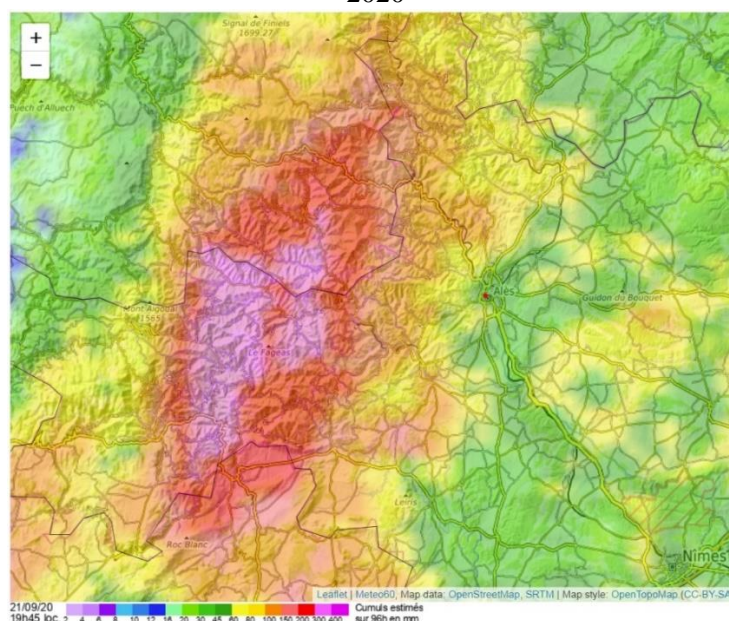
FIG.2 — BOITE DU SOLOPHÈME DE ST ETIENNE VALLÉE FRANÇAISE ENSABLÉE APRÈS LA CRUE DU 12 JUN 2020 ; MATÉRIEL DÉTRUIT BIEN QUE FIXÉ ENVIRON 4 MÈTRES AU-DESSUS D'UN LIT TRÈS LARGE



(Photo du 15 juin 2020)

Cette première crue a été suivie d'une seconde à la mi-septembre (19/09/2020). Cette crue est la conséquence, malgré le niveau de sécheresse atteint par les sols et les aquifères superficiels, de très importantes précipitations (Fig.3) tombant dans un temps très court.

FIG.3 — CAPTURE D'IMAGE SUR LE SITE [HTTPS://WWW.METEO60.FR](https://www.meteo60.fr) DES PRÉCIPITATIONS DU 18 ET 19 SEPTEMBRE 2020



Même si la haute vallée de l'Hérault et l'Aigoual ont été particulièrement affectés (718 mm le 19/09/2020 à Valleraugue), la vallée du Gardon de Saint-Jean du Gard et d'Anduze a été aussi fort éprouvée.

La lave froide qui est descendue très vite des crêtes des Cévennes a causé de nouvelles pertes sur le réseau d'étiage bien que nous ayons, par précaution, désinstallé en urgence le 18/09/2020 les stations qui étaient les plus exposées à une pluie qui était annoncée comme modeste et étalée dans le temps. De plus elle devait tomber sur des sols très secs ce qui laissait envisager un coefficient de ruissellement assez limité et une crue de fin d'été relativement banale. L'intensité des pluies qui a conduit à une concentration rapide des débits dans les lits majeurs a entraîné une capacité érosive peu commune à laquelle nos installations, mais aussi bien d'autres (pont, station d'épuration...), ne pouvaient résister.

FIG.4 — PERTES ET PANNES DE MATÉRIELS ENREGISTRÉES LORS DES CRUES DU 19/09/20

<i>Pertes crue 19/9/2020</i>	<i>SDEC niveau</i>	<i>SOLINST niveau</i>	<i>SOLOPHEME</i>	<i>SDEC baro</i>	<i>SOLINST baro</i>	<i>Sonde Keler</i>
<i>Cambous</i>	0	0	-	0	0	-
<i>Galeizon</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Lasalle-village</i>	-	-	1	-	-	1
<i>Roucan</i>	0	0		0	0	-
<i>Sainte Croix</i>	1	-	-	1	-	-
<i>SainteAndré</i>	-	-	0	-	-	0
<i>Saint-Etienne</i>	-	-	1	-	-	1
<i>Saint-Jean</i>	0	-	-	1	-	-
<i>Saumane</i>	-	1	-	-	1	-
<i>Thoiras</i>	0	-	1	0	-	1

Ce qui frappe quand on circule 24 h plus tard dans ces vallées, c'est d'une part l'importance des embâcles, des monceaux de bois très largement hachés, décapés, broyés que l'on peut observer, mais c'est aussi d'autre part, le niveau atteint ici ou là par la rivière dont la puissance des flots a dévasté les ripisylves. Fort probablement ces embâcles proviennent de ces ripisylves meurtries (Fig.7 – 8). La dégradation évidente des bois conduit à penser que la charge solide véhiculée a été très importante et pour partie, grossière. Seuls des galets ou des blocs, portés par un flux de densité relativement élevée (charges en limons et sables), ont pu marquer et broyer ces végétaux de bords de rivière.

FIG.5 — BARRAGE DU SITE DE ROUCAN – GARDON DE MIALET ; PRISE D'EAU DU BÉAL DE LA BAMBOUSERAIE ; LA GRILLE DE PROTECTION DU CAPTAGE EST ENTIÈREMENT RECOUVERTE DE DÉBRIS VÉGÉTAUX ; LES ARBRES DE RIVE GAUCHE ONT ÉTÉ ÉTÊTÉS ET POUR PARTIE BROYÉS.



(Photo du 23 juin 2020)

Ces observations conduisent à penser, en première analyse, que le matériel grossier qui a été mis en mouvement provient pour une large part des formations alluviales encore existantes dans le fond des vallées. Les versants étant actuellement largement boisés, ils ont dû fournir plutôt des fines. Cette attaque, de ce qui pouvait hier passer pour des terrasses — anciens lits abandonnés par incision et que les crues ne peuvent plus atteindre —, explique pour partie l'importance des embâcles. D'une certaine façon l'énergie s'est dissipée localement plus dans une érosion latérale que verticale, ce qui est logique, car les Gardons coulent en bien des endroits sur leur bed-rock, sur la roche en place.

Tout ceci a donc entraîné des modifications notables des lits majeurs.

1.3.2 Modifications de lits

On ajoutera que de telles crues, car la crue du 19 septembre a eu les mêmes conséquences que celle de juin, produisent souvent une modification du seuil qui définit la station, sauf dans le cas de seuils artificiels — Aube morte — ou de seuils rocheux en strates — Thoiras —, mais encore faudrait-il vérifier qu'il n'y a pas eu d'érosion latérale des berges au droit de la station, ce qui modifierait la courbe de tarage pour les moyennes eaux.

On a aussi pu observer de très forts atterrissements à l'aval du pont du Martinet et un très important creusement sous le pont lui-même où étaient installées les sondes, lors de la crue du 19/9 ; sondes qui par deux fois ont été totalement arrachées.

Il semblerait donc que la charge alluviale grossière se déplace par « paquets » même s'il est probable qu'une partie de la charge de tels paquets est renouvelée lors de la crue. Tout se passe comme si, en fonction des conditions hydrauliques au cours de la crue, telle partie du lit se trouvait décapée, alors que telle autre connaissait un alluvionnement majeur. Ceci semble assez différent de ce qui se passe lors de crues moyennes ou mineures durant lesquelles la rivière semble « seulement » étaler la charge alluviale en comblant ici un creux et en érodant là un seuil.

FIG.6 — STATION DE LASALLE DÉTRUITE PAR LA CRUE DU 19/9/2020 ; LE SOLOPHÈME ÉTAIT AU NIVEAU DU GENOU DROIT DU PERSONNAGE ; LA CRUE EST MONTÉE AU NIVEAU DE SA MAIN DROITE. AU PREMIER PLAN CE QUI RESTE DU TUBE DE LA SONDÉ KELLER



(Photo du 21 septembre 2020)

Ces évolutions des lits ont donc obligatoirement entraîné une série de jaugeages afin de vérifier et/ou de reconstituer les courbes de tarages. Si les formes des courbes restent souvent les mêmes, les paramètres des lois sont différents. Il est alors plus difficile de s'appuyer sur les jaugeages des années précédentes par exemple pour mieux assurer les valeurs des débits de moyennes eaux qui n'ont pas pu être jaugeés à nouveau lors de la phase de tarissement qui a suivi.

FIG.7 — STATION DE SAUMANE SUR LA BORGNE ; LE LIT A ÉTÉ INTÉGRALEMENT « DÉCAPÉ » ; LE SOLOPHÈME ÉTAIT EN RIVE GAUCHE AU NIVEAU DE LA STRATE



(Photo du 21 septembre 2020)

FIG.8 — STATION DE SAUMANE SUR LA BORGNE ; ANCIEN EMPLACEMENT DU SOLOPHÈME EN RIVE GAUCHE ; LE BOITIER ÉTAIT DANS UN ARBRE QUI A DISPARU



(Photo du 21 septembre 2020)

1.3.3 Perte des enregistrements et réinstallation

La conséquence immédiate de ces crues, sur un plan hydrologique, a été la perte des enregistrements lorsque les matériels n'ont pu être retrouvés ou ont été détruits — ainsi pour bon nombre de stations la période entre la mi-mai et la mi-juin est lacunaire —, mais inversement dans quelques cas où le matériel n'a pas été détruit nous possédons au moins les hauteurs des pics de crue (Fig.9), lesquelles peuvent être transformées en débit, mais avec probablement une grosse marge d'erreur : de tels niveaux n'ayant jamais été jaugés (Fig.10). La crue du 19/9 a ainsi livré des hauteurs plus ou moins remarquables, mais dans plusieurs cas la perte des données conduit à ce que les mesures soient arrêtées au jour de la tournée précédant la crue, généralement fin août — début septembre.

FIG.9 — STATION DE ST ETIENNE VALLÉE FRANÇAISE ; ESSAI DE RÉCUPÉRATION DE LA SONDÉ KELLER ET DE SON CÂBLE



(Photo du 21 septembre 2020)

Le rééquipement après le 12 juin a été fait sur les réserves de matériel que nous avons pour l'ensemble de nos stations (étiage ou pas). Toutefois, faute de matériel, il n'a généralement plus été possible de doubler la mesure. Après la crue du 19 septembre toutes les stations temporaires d'étiage ont été démontées et les sites remis en état. Il n'a été conservé que les goujons permettant de placer une échelle limnimétrique afin de pouvoir, si le site est repris, relier de nouvelles mesures aux anciennes. Seules les deux stations annuelles (Aube morte sur le Galeizon et Cambous sur le Gardon d'Alès) ont fait l'objet d'un rééquipement afin d'assurer les mesures jusqu'à la fin de l'année 2020 comme indiqué dans le cadre conventionnel. Il n'a toutefois pas été possible immédiatement de remettre une sonde avec la conductivité à Cambous.

FIG.10 — STATION DE SAINT-JEAN DU GARD ; PONT DE CAMBONÉRAL ; L'EAU EST MONTÉE SUR LA ROUTE DE LA CORNICHE EN RIVE GAUCHE, AU NIVEAU DE LA VOITURE ; DESTRUCTION PARTIELLE DU TABLIER DU PONT ; NOTRE INSTALLATION AVAIT ÉTÉ DÉMONTÉE LE 18/09/2020 EN PRÉVISION D'UNE CRUE, MAIS PAS D'UNE TELLE AMPLEUR



(Photo du 21 septembre 2020)

Toutes ces difficultés (confinement...) et perturbations (crues...) n'ont pas permis, comme ce fut le cas lors des années précédentes, de faire des tournées régulièrement espacées d'une semaine. Seuls un rythme bimensuel et des interventions ponctuelles ont pu être réalisés. Ceci n'a toutefois pas d'importance sur les enregistrements qui ont pu être faits et récupérés. Cela a toutefois quelques conséquences sur le dépouillement des enregistrements et sur la chaîne de calcul des débits ; les perturbations de niveau, en particulier anthropiques (barrage, pompage, etc.) n'étant plus observées avec la même régularité. Les corrections de hauteur d'eau liées à de tels phénomènes sont donc plus « spéculatives » tout en restant logiques et cohérentes en fonction de l'expertise dont nous disposons.

Par ailleurs, la nécessité de refaire les courbes de tarage ou au moins de les vérifier a conduit à décaler dans le temps le calcul des débits, ce qui n'est jamais une bonne chose. Il est préférable d'avoir en tête tous les petits faits conjoncturels qui peuvent expliquer des enregistrements problématiques. La transmission et donc la conservation de ce type d'information (en usant par exemple de fiches terrain) sont donc essentielles, car c'est rarement la personne qui calcule les débits qui a réalisé les tournées.

2 Les sites étudiés

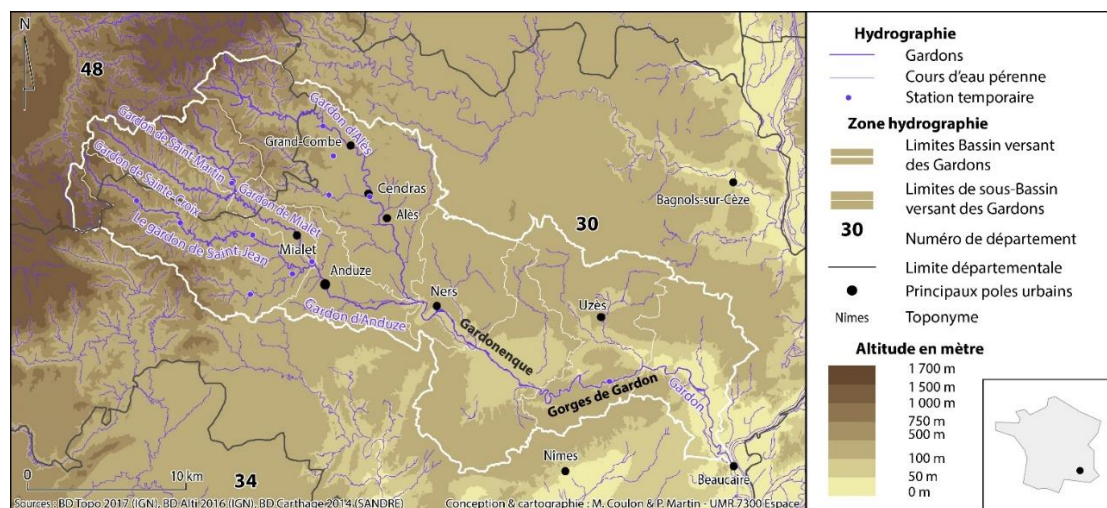
Dix stations ont été fonctionnelles pour le suivi de l'étiage 2020 (deux stations pérennes en amont du secteur du karst hettangien (Galeizon et Gardon en sortie du barrage des Cambous) et huit stations temporaires d'étiage sur les sous-bassins versants de la Salindrenque, du Gardon de Saint-Jean, du Gardon de Mialet et du Gardon d'Alès).

2.1 Sur le Gardon de Saint-Jean

Le dispositif s'appuie sur huit stations temporaires (Fig.11).

- 1 — Station de la Salindrenque, à Lasalle (38 km²); longitude 3°52' 10,30"E; latitude 44°02' 39,80"N; altitude 219 m. Cette station au lieu-dit « le moulin de la Roque » remplace la station du camping à Lasalle qui a été abandonnée à l'issue de la campagne 2017.
- 2 — Station de la Salindrenque au pont de Thoiras (68 km²); longitude 3° 56,00' 04,20"E; latitude 44° 03,00' 57,70"N; altitude 155 m.
- 3 — Station de la Borgne à Rafinesque à Saumane (amont confluence; 28 km²); longitude 3° 45,00' 42,20"E; latitude 44°07' 33,00"N; altitude 324 m.
- 4 — Station du Gardon de Saint-André au pont de l'Elze à St-André-de-Valborgne (29 km²); longitude 3° 41,00' 26,60"E; latitude 44° 09,00' 02,60"N; altitude 419 m.
- 5 — Station du Gardon de Saint-Jean au pont de Cambonéral (145 km²); longitude 3° 52,00' 22,10"E; latitude 44° 06,00' 44,00"N; altitude 186 m.
- 6 — Station du Gardon de Sainte-Croix au pont du Martinet (97 km²); longitude 3° 50,00' 22,00"E; latitude 44° 10,00' 11,90"N; altitude 239 m.
- 7 — Station du Gardon de Saint-Étienne à Solières à St-Étienne-Vallée-française (80 km²); longitude 3° 50,00' 35,31"E; latitude 44° 10,00' 17,62"N; altitude 242 m.
- 8 — Station du Gardon de Mialet au Roucan (Corbès) (224 km²); longitude 3° 58,0'04,30" E; latitude 44°04' 46,50" N; altitude 135 m.

FIG.11 — CARTE DE LOCALISATION DES STATIONS PÉRENNES ET TEMPORAIRES D'ÉTIAGE SITUÉES EN CÉVENNES (ROND BLEUS)



2.2 Sur le Gardon d'Alès

Deux stations pérennes ont également fonctionné (Fig.11).

- 9 — Station du Gardon d'Alès en sortie du barrage des Cambous (113 km²); longitude 3° 59,00' 19,36" E; latitude 44° 14,00' 0,65" N; altitude 208 m.
- 10 — Station sur le Galeizon à l'Aube morte (Cendras) (61 km²); longitude 3° 58, 57, 76" E; latitude 44° 09'00' 25,31" N; altitude 181 m.

3 Équipement et types de données

À l'exception du site de l'Aube morte sur le Galeizon, qui utilise un seuil en béton, calibré pour les moyennes et les hautes eaux, dans tous les autres cas, il ne s'agit que de sections naturelles, donc géométriquement conformes à la morphologie générée par les flux passants, mais parfois instables.

Dans plusieurs cas, la hauteur d'eau à la station est contrôlée par un seuil rocheux : Lasalle, Thoiras, Saint-Jean du Gard, Mialet, Cambous. Dans le cas des Gardons de Saint-Étienne et de Sainte-Croix, elle utilise un lit largement alluvial, ce qui pose des problèmes de détarage presque à chaque crue.

Cela étant, les stations ont été choisies pour suivre au mieux les étiages avec des sections étroites, sur socle autant que possible, et de façon à éviter, *a priori*, le plus souvent, la réalisation de petits barrages en été, par des usagers du lit des rivières. Dans la mesure du possible elles ont été positionnées de façon à être très discrètes, pour des raisons « esthétiques », mais surtout pour ne pas attirer l'attention des utilisateurs estivaux des lieux. Comme nous le verrons, ce but n'a pas toujours été atteint.

Ces stations n'étaient donc absolument pas (sauf l'Aube morte) choisies et pensées pour faire face à des crues majeures comme celle du 12 juin et du 19 septembre 2020, crues qui ont surpris très largement la communauté des hydrologues. Celle du 12 juin sans être inconnue à cette époque, est rarissime et n'a guère été anticipé par les services météorologiques d'alerte. Celle du 19 septembre, là encore pas inconnue à la mi-septembre, a largement été sous-estimée par les services d'alerte ; le niveau rouge n'est intervenu qu'à la suite du franchissement de certains niveaux d'eau observés par le Service de prévision des crues (SPC Grand delta).

Cela étant il faut noter que les débits ont été très différents à l'ouest (Gardon d'Anduze) et à l'est (Gardon d'Alès). Si les stations en amont de Saint-Jean du Gard ont été très affectées, celles dans le bassin du Gardon d'Alès ont été peu affectées. Il y a donc un gradient très fort, de pluies et de débits, du sud-ouest au nord-est. Ainsi dans les deux cas (juin et septembre) nos stations sur la Cèze ont été peu affectées.

3.1 Équipement

Chaque site est équipé au moins d'une sonde de mesure de pression de l'eau (P_e , charge hydraulique) positionnée près du fond de la rivière, associée à une sonde barométrique (P_a , pression atmosphérique). Le niveau d'eau, dans la rivière (C , charge), étant obtenu par différence entre P_e et P_a . Les températures de l'eau sont également enregistrées par ces matériels.

Les sondes hydrométriques (Fig.12) sont protégées mécaniquement par des tubes métalliques fermés. Pour chaque station, on a réalisé un ancrage (goujons) permettant de positionner une échelle limnimétrique, qui n'est mise en place qu'au moment du relevé (Hlu, hauteur lue), de façon à renforcer la discrétion des points de mesure. Cet ancrage permet de repositionner l'échelle au même niveau, assurant ainsi la continuité des mesures entre chaque campagne annuelle.

En 2020, toutes les stations ont été équipées à la mi-mai avec des sondes de niveau (sondes immergées ou centrale externe) et parfois avec trois systèmes comme à l'Aube morte où était en plus expérimenté un EDA (voir ci-dessous). Il était prévu d'utiliser une sonde comme sonde de référence, l'autre comme matériel de secours. Le fait de doubler les enregistrements permet dans une certaine mesure de pallier aux pannes, ou aux vols, toujours possibles.

En 2020, on a eu recours initialement sur six sites (Galeizon à l'Aube morte, Salindrenque à Lasalle et au pont de Thoiras, la Borgne amont à Saumane, Saint-André de Valborgne au pont de l'Elze, Saint-Étienne-Vallée-Française) à du matériel Sigma-Sud (sondes de pression Keller ou ATM.1ST connectées à une centrale Solophème). Dans la suite du texte, ce couple sonde/centrale sera appelé Solophème. À la station de l'Aube morte, on utilise les trois types de matériel disponible, ce qui permet de comparer les enregistrements. Un test d'une sonde Hobo avait en outre été programmé à la station de Saint-André de Valborgne. À la suite des crues et des destructions, les équipements ont été revus comme indiqué dans chaque partie du rapport relative à une station.

FIG.12 — SONDES SOLINST : LEVELOGGER (DANS SON SABOT DE TRANSFERT DE DONNÉES) ET BAROLOGGER (GAUCHE), MINIDIVER (CENTRE) ; SONDE DE PRESSION KELLER ET CENTRALE SOLOPHÈME (DROITE)



Notons que les sondes mini Diver et Levelogger présentent une incertitude assez grande de mesure (de l'ordre de 5 mm), ce qui impose une cadence de mesure élevée (résolution temporelle à 5 min) ; laquelle permet de rendre compte de phénomènes, par exemple, horaires (pompage, prélèvement de la végétation...). La cadence élevée permet de moyenniser le bruit plus ou moins brownien produit par ces sondes. Celui-ci peut être sauvegardé par exemple en conservant l'écart type des 288 valeurs, lequel permet de calculer un intervalle de confiance avec un seuil choisi. Nous avons pratiqué ainsi pour les valeurs d'étiage au sens strict et pour la moyenne sur les trois derniers jours du cycle (cf. tableau en annexe).

Pour les Solophème, la sonde de pression est également immergée, et reliée avec un câble de 10 m à la centrale externe. La sonde utilisée a une amplitude comprise entre 0 et 10 m, avec une précision de 1 mm. La compensation de la pression atmosphérique est assurée directement via un capillaire intégré dans la connectique, assurant la liaison avec l'atmosphère aérienne. L'information est stockée dans un boîtier en plastique de 15 cm x 15cm x 12 cm, logé dans une cellule de protection en bois ou en métal placée hors d'eau, normalement. Les sondes Keller ont aussi leur défaut. En particulier elles se décalent lors des crues comme nous le verrons ci-dessous avec le cas de l'Aube morte. Par ailleurs les enregistreurs Solophèmes ont des problèmes d'horloge, ce qui doit conduire systématiquement à vérifier, à la main, la régularité de la mesure.

3.2 Données

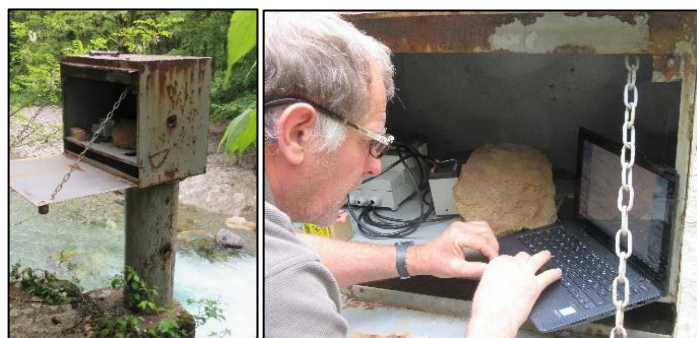
Ces matériels ont fonctionné comme indiqué dans le tableau (Fig.13).

FIG.13 — TABLEAU DE FONCTIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE MESURE EN 2020 (LACUNE DE LA CRUE DU 12/6 NON PRISE EN COMPTE)

<i>Cours d'eau</i>	<i>Localisation</i>	<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>Durée de suivi (semaines)</i>
Salindrenque	Lasalle	12 mai	01 septembre	17
Salindrenque	Thoiras	12 mai	1 octobre	21
Borgne	Saumane	18 mai	31 août	15
Gardon	St-André-de-V	15 mai	18 septembre	18
Gardon	St-Jean-du-Gard	18 mai	18 septembre	18
Gardon	Ste-Croix-VF	15 mai	01 septembre	17
Gardon	St-Etienne -VF	15 mai	31 août	15
Gardon	Roucan	25 mai	1 octobre	19
Gardon d'Alès	Cambous	01 jan	pérenne	52
Galeizon	Aube morte	17 juin	pérenne	52

Le démontage a été réalisé après la crue du 19 septembre (sauf stations annuelles). À la station de l'Aube morte sur le Galeizon, la sonde est placée au fond du puits de l'ancien limnigraphe et la centrale de mesure dans le boîtier fermé (Fig.14).

FIG.14 — Puits du limnigraphe sur le Galeizon à l'Aube morte, abritant l'équipement de mesure Solophème (gauche) ; sonde dans le puits du limnigraphe, centrale Solophème et récupération du fichier de données (droite)



Les données sont transmises directement depuis la centrale, sur un ordinateur portable, au moyen d'une prise RS232. Ce matériel a quelques avantages. Outre d'avoir une bonne précision comme nous avons pu le constater durant les dernières campagnes, la sonde reste fixe durant toute la durée de la campagne. Ceci assure donc une grande stabilité de la mesure, à la différence des sondes extraites, pour lesquelles il y a une perte de données durant 10 à 30 minutes (délai entre la sortie de la sonde, sa lecture et la relance programmée) ; cette opération s'accompagne le plus souvent par une instabilité de la mesure durant 30 à 60 min, avant de fournir des mesures « vraies ».

Il subsiste toutefois un défaut sur la version logicielle actuellement utilisée avec les centrales Solophème. Comme il n'existe pas à ce jour de programmation différée, une fois les données récupérées et effacées ou non, il y a génération de 4 à 5 mesures supplémentaires dans l'heure qui suit cette récupération. Il faut systématiquement y faire attention, mais cela peut être corrigé à la main avec un tableur. Ceci nécessite donc de toujours comparer la chronique produite par le Solophème à une chronique théorique générée sous tableur.

La sonde Keller des Solophème est en outre sujette à des décalages lorsqu'elle subit une forte pression (lié à des problèmes de membrane) comme nous allons le voir avec l'exemple des données de la station du Galeizon.

Enfin, ce matériel est par ailleurs vulnérable aux infractions et nécessite un site particulièrement discret pour éviter tout risque de visite. Nous avons fait fabriquer un boîtier métallique moins vulnérable au vandalisme qui a été utilisé sur plusieurs sites.

Dans la plupart des cas, les séries hauteur/temps obtenues sont directement exploitables, soit avec la sonde de référence soit avec l'autre sonde (sonde dite de secours). Les chroniques des différentes sondes doivent toutefois être appareillées.

3.3 Données d'étiage

Dans ce texte de synthèse, nous nous en tenons à la définition scientifique de l'étiage qui est le dernier jour d'un cycle hydrologique qui correspond au débit moyen journalier le plus bas de ce cycle avant les premières crues généralement d'automne.

Lorsque les débits sont très faibles, il n'est pas toujours aisé de déterminer ce jour. Si on considère les débits mesurés sur des périodes plus courtes (5 min), il apparaît qu'il existe souvent des débits plus faibles au pas de 5 min que le débit moyen journalier choisi, à d'autres moments (la veille, le lendemain...). Dans ces cas la moyenne journalière livre une valeur un peu supérieure au débit d'étiage à 5 min. Par ailleurs, sur quelques stations on observe des variations de débit qui peuvent être naturelles (pompage de la végétation) ou anthropiques

(prélèvements d'eau). Suivant les cas il est plus ou moins possible de corriger ces fluctuations artificielles qui sont intempestives.

Cela étant, la moyenne sur vingt-quatre heures, permet de lisser la fluctuation généralement sinusoïdale du probable pompage de la végétation. Il n'en est parfois pas de même pour les prélèvements anthropiques qui relèvent de logiques différentes. C'est pourquoi il est utile de moyenniser sur trois jours les débits mesurés à la fin d'un cycle. On en arrive ainsi aux débits d'étiage moyen sur trois jours (Q_{e3j}). L'étiage est donc une situation extrême de basses eaux (débit inférieur au module, soit annuel, soit mensuel, en théorie établi sur trente ans) qui généralement se place temporellement à la fin d'un tarissement qui est une décroissance souvent exponentielle du débit. Ce tarissement s'initie à l'issue d'une décrue (qui débute après la pointe de crue) et s'achève sur une montée de crue qui conduit à une nouvelle pointe de crue.

Il correspond en théorie à un régime hydrologique non influencé (sans apport par des précipitations) de vidange progressive de tous les aquifères présents en amont de la station considérée. La chronique des débits sera généralement donnée sous une forme semi-logarithmique ($\log(Q)$ vs t) soit graphiquement, soit numériquement, les logarithmes utilisés étant en base dix dans les graphiques, et en base e pour les calculs.

4 Premiers résultats

Nous envisagerons successivement quelques caractéristiques climatiques pour la période allant de septembre 2019 à septembre 2020, puis quelques éléments relatifs aux écoulements de la même période.

4.1 Situation climato-hydrologique

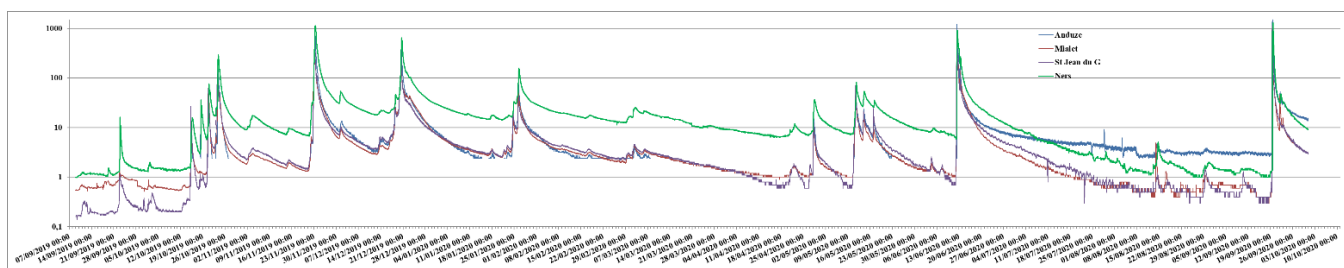
Par rapport aux moyennes mensuelles calculées à St Christol les Alès entre 1950 et 2018 il apparait que les six premiers mois de l'année 2020 ont été plutôt secs (Fig.15). Ceci est conforme à la situation observée en avril — mai avec des débits bas. Sauf sur Valescure les précipitations de septembre apparaissent modérées.

FIG.15 — PRÉCIPITATIONS MENSUELLES DU 1^{ER} SEPTEMBRE 2019 AU 30 SEPTEMBRE 2020 À ST CHRISTOL-LEZ-ALÈS, VALESCURE ET ST JULIEN LES ROSIERS

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Total Sept-Aout
<i>St Christol</i>	87	175,4	193	52,6	64,4	19,6	34	63,5	69,8	28,5	4,5	42,5	72,5	714
<i>Valescure</i>	41	219	246	193	97	51	30	48	92	78	2	30	314,50	1127
<i>St Julien</i>	55	233	192	95	75	36	40	55	62	24	6	67	77,5	940

Sans des précipitations donnant de petites crues en mai et surtout sans celle du 12 juin 2020 les débits de basses eaux de l'été 2020 auraient été très bas. Les débits sont à la mi-avril à Saint-Jean du Gard et à Mialet proches d'un mètre cube par seconde (Fig.16). Ces valeurs seront retrouvées peu avant la crue du 12 juin.

FIG.16 — HYDROGRAMMES DE QUATRE STATIONS SPC DU GARDON (BANQUE HYDRO) ; CYCLE 2019 – 2020 EN M³/S (DONNÉES BRUTES À 5 MIN)

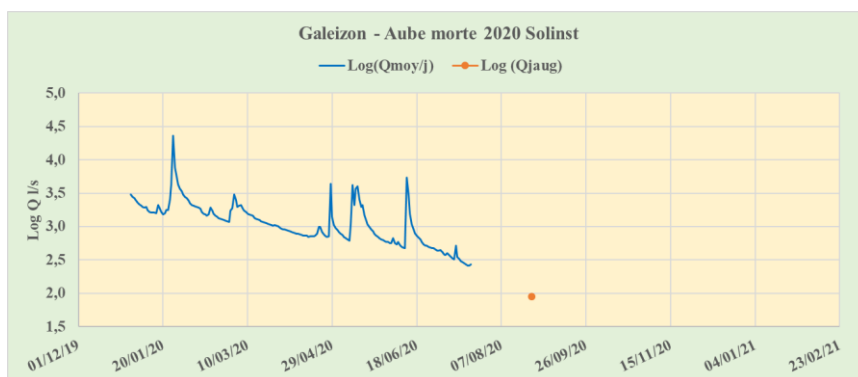


La figure 16 montre clairement les deux grandes crues qui ont encadré la courte période estivale de basses eaux. On notera aussi que les débits à Anduze sont manifestement trop hauts et même, pendant une large partie de l'été, supérieurs à ceux de Ners. Il y a là de toute évidence un problème de mesure. Comme assez classiquement le débit d'étiage à Ners a été proche d'un mètre cube.

En 2020, le débit de l'étiage *sensu stricto* est observé en général entre la mi et la fin aout l'ensemble des bassins sauf celui de Cambous (en sortie du barrage de Cambous). L'allure des débits de ces cours d'eau peut présenter des disparités qui seront exposées dans la description de chaque station. Les caractéristiques de l'étiage sont par ailleurs reportées dans un tableau en annexe.

Dans certains cas (Fig.17), les pertes subies n'ont pas permis de déterminer un étiage « vrai », observé.

FIG.17 — HYDROGRAMME DU GALEIZON À L' AUBE MORTE : DONNÉES JOURNALIÈRES DE LA SONDE SOLINST AVANT PANNE



Les débits spécifiques d'étiage (étiage *sensu stricto* ou moyenne sur les trois derniers jours du cycle = $Qe3j$) sont donnés dans le tableau placé en annexe.

4.2 Les jaugeages et les courbes de tarage

De la mi-mai à la fin septembre 2020, sur l'ensemble des stations d'étiage, 54 jaugeages ont été réalisés, soit entre un et neuf selon les sites. On compte au total 491 jaugeages depuis 2015.

Les jaugeages sont réalisés par dilution d'une saumure (0,2 à 7 kg de chlorure de sodium), injectée très rapidement dans le cours d'eau dans un secteur présentant un bon brassage. Dans l'ensemble, les caractéristiques des eaux (naturellement peu minéralisées, et en général avec une conductivité de 50 à 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sont favorables à ce type de jaugeage. Les eaux de la Salindrenque à Thoiras tout en étant de conductivité plus élevée lors des traçages (124,7 à 478 $\mu\text{S}/\text{cm}$) n'ont pas posé de problème particulier.

On dispose maintenant de jaugeages qui s'étendent sur une gamme importante de débits. En prenant en compte les plus forts débits jaugés, les courbes de tarage qui couvrent une gamme assez large de débits nécessitent des fonctions un peu plus complexes qu'un simple polynôme. La transformation des débits et des hauteurs en logarithme aboutit la plupart du temps à des ajustements linéiques.

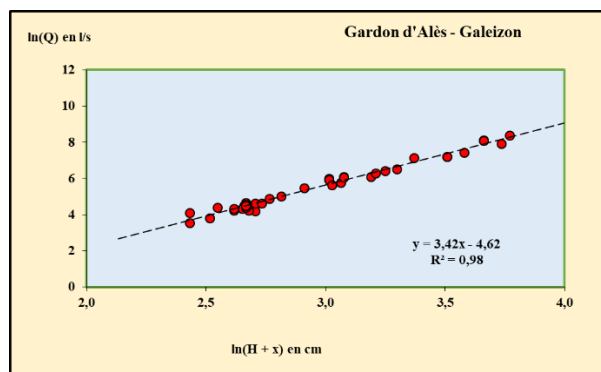
L'analyse des coefficients de détermination lors du calcul de la courbe de tarage conduit à constater que la station de Thoiras est de bonne qualité et offre une précision importante. Il en est de même pour la plupart des stations où le coefficient de détermination est pratiquement toujours supérieur à 0,98.

En 2020, certaines stations fournissent des courbes de tarage beaucoup plus robustes que celles des années précédentes. D'autres sont plus spéculatives en raison du travail morphologique réalisé par les crues. Les modifications des conditions hydrauliques entre les deux dernières campagnes ont nécessité la construction de nouvelles courbes de tarage pour la campagne 2020.

Il faut cependant distinguer les situations de moyennes eaux et de début d'étiage, de celles de l'étiage franc, où des incertitudes peuvent subsister sur les jaugeages par dilution (jusqu'à 15 %) sur certaines stations.

À l'issue des campagnes 2015 à 2020, on peut raisonnablement conclure que les courbes de tarage de moyennes et basses eaux sont maintenant d'assez bonne qualité pour les deux stations pérennes, du Galeizon (Fig.18) et de Cambous (hors problème des barrages), mais aussi pour les stations très stables comme celle de Thoiras (Fig.19).

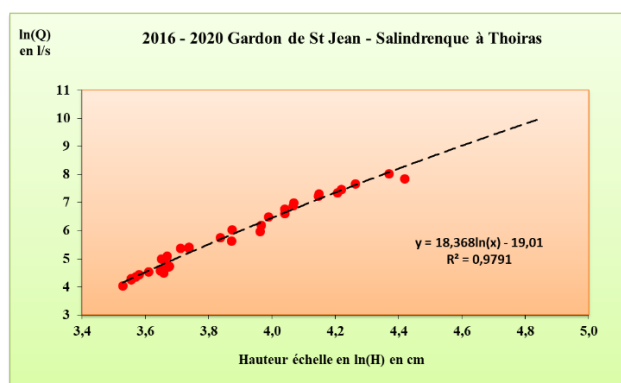
FIG.18 — COURBE DE TARAGE « LINÉARISÉE » DE LA STATION DU GALEIZON À L'AUBE MORTE ; LOGARITHMES NÉPÉRIENS



Pour celle du Galeizon, la géométrie de la station, renforcée par l'existence d'un seuil bétonné, et en dépit du fait que ce dernier a pu être érodé, assure une excellente relation hauteur-débit. Les jaugeages de 2020 à l'Aube morte confirment la courbe et l'on trouve un débit de 35 l/s très près du point de l'étiage *sensu stricto*. La relation puissance est toutefois un peu complexe. Un facteur de correction (H-x) a été introduit pour tenir compte de la variation plus rapide des débits en basses eaux que ne le laisserait supposer un modèle puissance simple (une droite dans un graphique bilogarithmique).

L'amont du seuil en béton s'est engravé ce qui joue peut-être un rôle dans les transformations observées de la relation entre la hauteur lue et la charge mesurée. Par ailleurs un renard semble se développer en rive droite. Cela a peut-être un rapport avec la variation de la relation : hauteur lue/charge mesurée.

FIG.19 — COURBE DE TARAGE DE LA STATION DE LA SALINDRENQUE AU PONT DE THOIRAS



La courbe de tarage de la Salindrenque à Thoiras a dû être adaptée afin de pouvoir envisager de donner une valeur de débit lors de la crue de juin 2020. Si nous nous limitons aux faibles débits, un ajustement polynomial en X^2 est suffisant (cf. le rapport de 2019). Toutefois dès que les hauteurs d'eau dépassent une certaine valeur la parabole passe par un sommet et décroît, ce qui conduit en crue à des débits de plus en plus faibles au fur et à mesure que la montée de crue se développe. L'une des solutions qui présentent une certaine cohérence sans affecter la précision des calculs des débits de basses eaux est de rechercher un modèle mettant en jeu plusieurs logarithmes. Le résultat peut alors être assez satisfaisant comme pour la station de Thoiras, mais il faudrait toutefois essayer de valider cette courbe avec des jaugeages à haut débit.

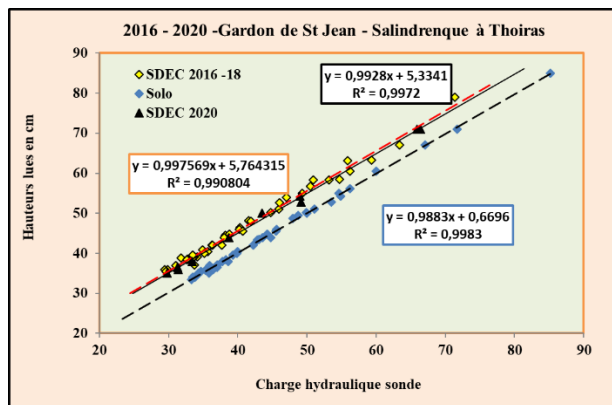
Cela étant, la validité de ces courbes ne s'entend qu'entre les valeurs jaugées correspondant à des hauteurs particulières nonobstant toutes les incertitudes indiquées. C'est pourquoi nous avons indiqué en annexe la plage de valeurs à l'intérieur de laquelle une certaine précision dans les débits peut être assurée avec chaque station.

4.3 Méthodologie de traitement des enregistrements

À chaque passage et particulièrement lors de chaque jaugeage, l'opérateur relève le niveau d'eau par une lecture de l'échelle limnimétrique (Hlu). Que la sonde soit sortie de l'eau pour la décharger ou non, celle-ci enregistre, à la même heure, la charge hydraulique qu'elle supporte (C).

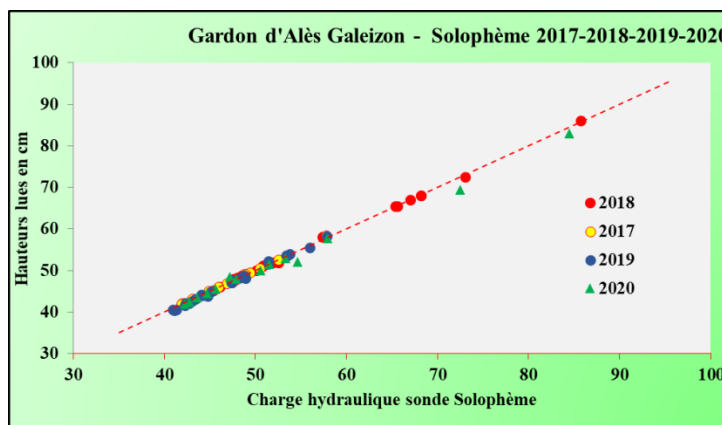
Il devient alors possible de traiter statistiquement la relation entre la charge et la hauteur lue (Fig.20), d'en tirer un modèle, lequel sera utilisé pour recalibrer les données enregistrées de façon à ce qu'elles correspondent aux niveaux lisibles sur l'échelle limnimétrique, c'est-à-dire aux niveaux observés au moment des jaugeages. Cette relation est donc essentielle. Comparées aux mesures effectuées les années précédentes, celles de 2020 améliorent souvent la qualité des relations, mais pas toujours, car il peut exister de petits décalages. Ces dernières sont la plupart du temps, de forme linéaire, et hautement significatives. Ces relations sont déterminantes dans le calcul des débits. Elles permettent aussi de moyenniser de petites erreurs résiduelles.

FIG.20 — RELATION HLU VS CHARGES POUR LE SOLOPHÈME ET LA SONDE SDEC DE THOIRAS DE 2016 À 2020



On s'attendait à cette linéarité dans la mesure où, par hypothèse, on peut penser qu'il y a une proportionnalité simple entre la variation de la hauteur d'eau lue sur l'échelle limnimétrique et la charge enregistrée (Fig.21) ; cette proportionnalité pouvant n'être qu'une constante. Ceci donne en fait empiriquement le nivellement de la station, la différence de hauteur entre le capteur de pression de la sonde et le zéro de l'échelle. Cette approche est plus simple que de réellement niveler (mettre exactement à la même hauteur, ou à une hauteur déterminée avec un théodolite) le capteur et le zéro de l'échelle, ce qui en milieu naturel pour des stations de petits cours d'eau serait très difficile à obtenir.

FIG.21 — RELATION ENTRE LA CHARGE HYDRAULIQUE ET LES VALEURS LUES SUR L'ÉCHELLE LIMNIMÉTRIQUE POUR LE GALEIZON À L'AUBE MORTE DE 2017 À 2020



Il est difficile de replacer au millimètre près une sonde hydro lors de sa réimmersion. Son zéro est donc quasiment toujours à recalculer.

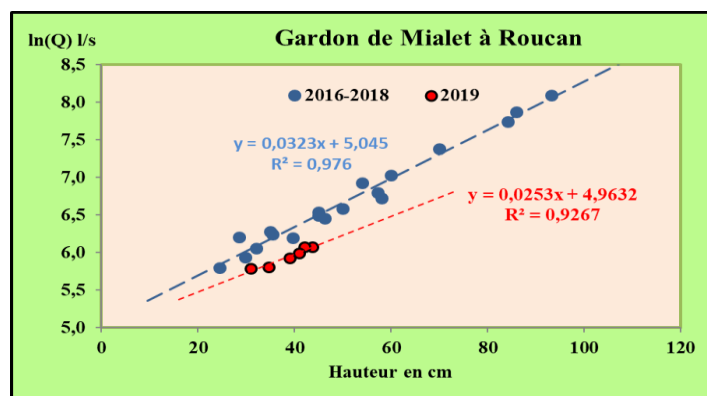
Par ailleurs, nous nous sommes efforcés de réinstaller en mai les mêmes sondes que celles utilisées les années précédentes pour chaque station.

Il reste en outre parfois un problème avant de faire correspondre les hauteurs d'eau mesurées aux débits jaugés. C'est la question des interventions intempestives et le plus souvent inconscientes d'utilisateurs de la rivière (touristes, enfants...). Ceux-ci constituent, pour leurs besoins propres, de très petites retenues d'eau en construisant un petit barrage avec ce qui est disponible localement de façon à élever à l'arrière, de cinq à dix centimètres en général, le plan d'eau. Évidemment cette élévation progressive du niveau de l'eau est enregistrée par la sonde (si c'est possible : absence des personnes, etc.).

Nos équipes, lorsqu'elles passent vérifier et récupérer les enregistrements, détruisent ces petits barrages produisant ainsi un abaissement tout aussi artificiel du niveau de l'eau qui est lui aussi enregistré. En conséquence au moment du dépouillement des données, il faut corriger ces variations et cela ne peut se faire qu'à la main après une lecture du limnigramme en soustrayant une hauteur de quelques centimètres à la mesure de hauteur d'eau entre le moment de la construction du barrage (souvent en milieu de journée) et l'heure de passage de nos équipes. Dans la mesure du possible on essaye de garder une certaine progressivité dans la soustraction lors de la montée du plan d'eau (celui-ci se remplit lentement) et au contraire d'introduire un abaissement assez rapide lors de la destruction du barrage, car la vidange se fait assez vite.

Si la destruction n'est pas possible, le problème est reporté à la tournée suivante avec la possibilité que ledit barrage soit modifié entre temps ; soit qu'il soit conforté, rehaussé, soit qu'il soit détruit en totalité ou en partie. Ces phases pouvant alterner évidemment. Dans de tels cas, il est très délicat de retrouver un débit satisfaisant. La fin de la chronique à Lasalle montrera un tel exemple. Tout cela induit des complications qui ne peuvent être analysées qu'au cas par cas et être traitées à la main en s'appuyant sur la plus large expertise possible.

FIG.22 — RELATION ENTRE LES DÉBITS CALCULÉS ET LES HAUTEURS D'EAU EN SITUATION DE BASSES EAUX SUR LE GARDON DE MIALET AU ROUCAN EN 2016-2018 ET EN 2019



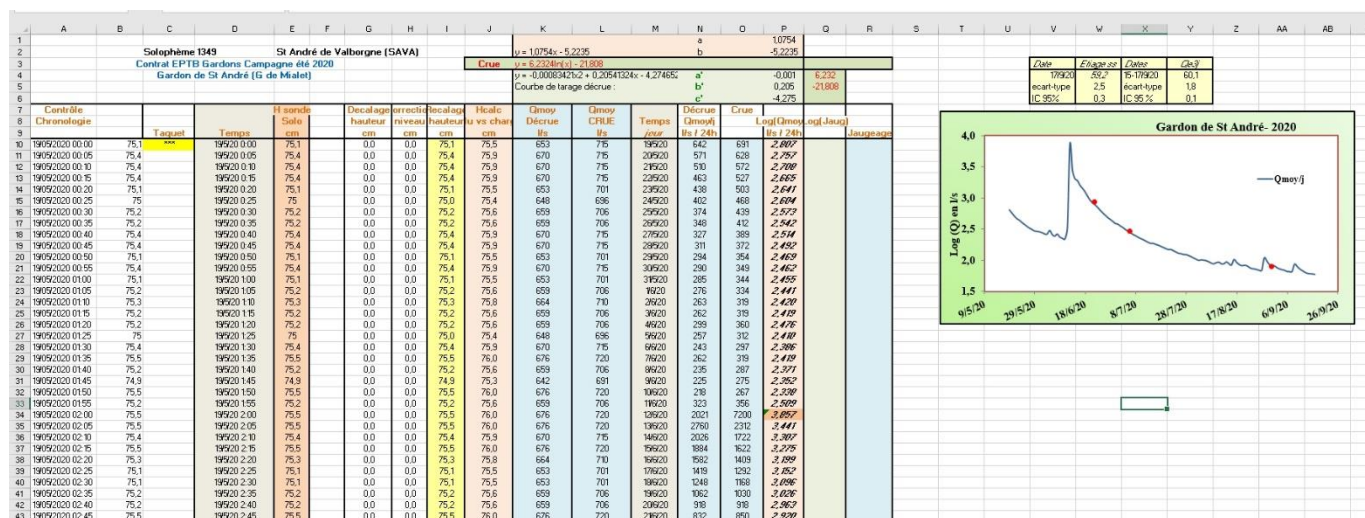
En croisant les hauteurs observées et les débits jaugés, grâce à la courbe de tarage, il devient alors possible de déterminer le débit pour chaque mesure de charge, quelle que soit la résolution temporelle. Il faut cependant veiller à la validité de la relation, comme c'est le cas pour le Gardon de Mialet à Roucan, où les conditions hydrauliques ont évolué entre 2016-2018 et 2020, ce qui se traduit par une nouvelle équation (Fig.22). La logique principale consiste à calculer les débits à la plus faible résolution (pour nous 5 min) puis sur les valeurs de débit de faire d'autres calculs comme celui du débit moyen journalier. Ceci permet d'obtenir n débits par jour contre un si l'on calculait une moyenne des hauteurs enregistrée transformée ensuite en débit.

À partir de ces valeurs de hauteur calculées à cinq minutes, nous avons déterminé le débit moyen journalier, donc sur vingt-quatre heures, en moyennant deux cent quatre-vingt-huit valeurs de débits.

À l'issue de toutes ces corrections et validations, en croisant les hauteurs calculées et les valeurs jaugées, il devient possible de tester la relation entre les débits jaugés et les débits obtenus au bout de toute la chaîne de calculs. Ces éléments, tout comme la comparaison entre les débits calculés et jaugés, permettent d'avoir une meilleure idée de la véracité des débits obtenus.

Les relations précédentes (H calculée = f H sonde, courbe de tarage) étant établies, un calcul automatique du débit toutes les 5 minutes, et le débit moyen journalier calculé sur 288 valeurs, est fait sur un tableur, une fois les éventuels défauts de mesure compensés — essentiellement l'impact des petits barrages — (Fig.23).

FIG.23 — EXEMPLE DE FEUILLE DE CALCUL EXCEL POUR LE TRAITEMENT DES DÉBITS À 5 MIN, DES DÉBITS MOYENS JOURNALIERS — CAS DU GARDON DE SAINT-ANDRÉ À SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE EN 2020



Dans la partie analytique, les stations sont présentées d'amont en aval, du sud-ouest au nord-est, donc en débutant par la Salindrenque (Lasalle, Thoiras), affluent du Gardon d'Anduze, en continuant par le Gardon de Saint-André-de-Valborgne et le Gardon de St-Jean du Gard, et passant par la Borgne à Saumane, pour terminer par le Gardon de Mialet mesuré à Saint-Étienne-Vallée-Française, au Martinet sur le Gardon de Sainte-Croix-Vallée-Française et au Roucan près de Mialet. À cela s'ajoute le Gardon d'Alès avec une station à Cambous, et une station sur le Galeizon aval, à l'Aube morte.

Ces stations sont décrites dans le tableau de synthèse donné en annexe.

5 La Salindrenque

5.1 Station de Lasalle sur la Salindrenque

La campagne 2020 utilise la station mise en place en 2018. Maintenant installée en bordure ouest du village de Lasalle, au lieu-dit le Moulin de la Roque, la superficie est de 38 km² pour la station amont de la Salindrenque. Longitude : 3° 51'25,55"E ; latitude : 44° 02'31 0,99"N ; altitude : 219 m (Fig.24).

FIG.24 — STATION DE LASALLE SUR LA SALINDRENQUE AMONT, DURANT L'ÉTÉ 2019 ET 2020 — À GAUCHE ÉCHELLES ET SONDES ; CENTRE : SEUIL VERS L'AVAL — À DROITE, SEUIL OBSTRUE



5.1.1 Présentation de la station

Le site retenu se trouve en rive gauche du cours d'eau, s'appuyant sur un rocher granitique, caché par la végétation et en bordure d'une propriété privée. Cet emplacement est très discret. On y accède en empruntant un passage à gué. La station est contrôlée hydrauliquement par un seuil granitique 10 mètres à l'aval, ouvert sur une largeur d'un mètre environ. Après l'installation, un petit barrage a été mis en place précocement. Pour éviter des problèmes avec les riverains, il n'a pas été démonté, mais une correction systématique a été introduite dans la feuille de calcul.

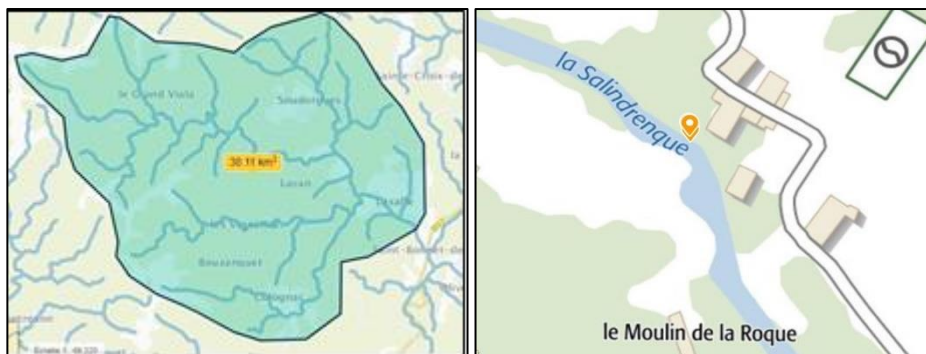
Cette station qui avait résisté à la crue du 12/06/2020 a été totalement emportée par celle du 19/09/2020 (Fig.6). La chronique s'arrête donc au 1/09/2020, date de la dernière tournée avant la crue (Fig.25) et qui ne peut être la date de l'étiage « vrai ».

FIG.25 — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA STATION DE LASALLE SUR LA SALINDRENQUE AMONT EN 2020

<i>Sonde</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Fermeture (TU)</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de la mesure</i>
Solphème	Niveau	12/05/2020 13 h	1/09/2020	3225	5 min

Avec l'avancement des basses eaux, durant l'été, la vitesse très faible complique la réalisation des jaugeages par dilution (grande durée de traçage). Un site mieux adapté pour les faibles débits (Fig.27), à une centaine de mètres en amont, où tout l'écoulement se fait sur le socle, a été utilisé durant l'été (Fig.26).

FIG.26 — BASSIN VERSANT DE LA SALINDRENQUE À LASALLE ET CARTE DE LOCALISATION



5.1.2 Tableau des jaugeages

Plusieurs jaugeages ont été effectués.

FIG.27 — JAUGEAGES AU SEL RÉALISÉS EN 2020 A LA STATION DE LASALLE SUR LA SALINDRENQUE AMONT

<i>Date</i>	<i>Heure</i>	<i>Technique</i>	<i>Qualité (Dilution)</i>	<i>H (cm)</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>Conductivité (μS/cm)</i>	<i>Équipe</i>
12/05/2020	13 h	Dilution	Cohérent	99,5	2771	70,9	JMD — PM
25/05/2020	13 h 15	Dilution	Cohérent	59,0	691	94,5	JMD — PM
03/06/2020	14 h 5	Dilution	Douteux	52,8	310	110,7	JMD — LR
15/06/2020	8 h 45	Dilution	Cohérent	82,0	1449	74,4	JMD — LR
23/06/2020	8 h 45	Dilution	Cohérent	54,0	573	150,8	JMD — LR
21/07/2020	11 h	Dilution	Cohérent	41,5	65	142,6	JMD — LR — SE
01/09/2020	11 h 53	Dilution	Cohérent	23,6	21,7	198,1	JMD — PM

5.1.3 Chronique de récupération des données

La chronique des huit fichiers récupérés au cours des tournées s'étend du 12 mai au 1^{er} septembre 2020 (Fig.28).

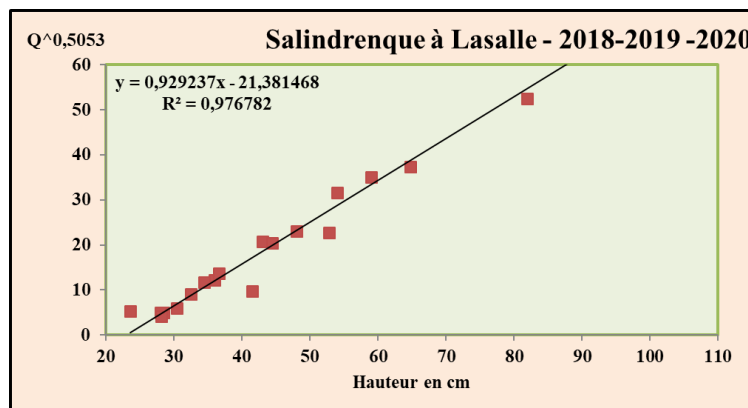
FIG.28 — PÉRIODES DE FONCTIONNEMENT DE LA SONDÉ DE RÉFÉRENCE À LASALLE (SALINDRENQUE) EN 2020

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
12/05/2020	15/06/2020	0 h	8 h 45	5 min
15/06/2020	23/06/2020	8 h 45	8 h 40	5 min
23/06/2020	06/07/2020	8 h 40	10 h 15	5 min
07/07/2020	21/07/2020	10 h 15	11 h 45	5 min
21/07/2020	04/08/2020	11 h	11 h 40	5 min
04/08/2020	18/08/2020	11 h 40	11 h 30	5 min
18/08/2020	31/08/2020	11 h 30	11 h 45	5 min
31/08/2020	01/09/2020	11 h 45	9 h 30	5 min

5.1.4 Courbe de tarage

La courbe de tarage de la station de Lasalle utilise l'ensemble des jaugeages 2018, 2019 et 2020 qui intègre tous les jaugeages disponibles avec des hauteurs d'eau comprises entre 24 cm et 100 cm. Comme on peut le voir sur la figure 29, elle permet de calculer les débits entre 10 et 4000 l/s.

FIG.29 — COURBE DE TARAGE DE LA SALINDRENQUE (GARDON) À LASALLE ENTRE LA HAUTEUR LUE ET LE DÉBIT JAUGÉ



La crue de juin ne semble pas avoir modifié le seuil granitique.

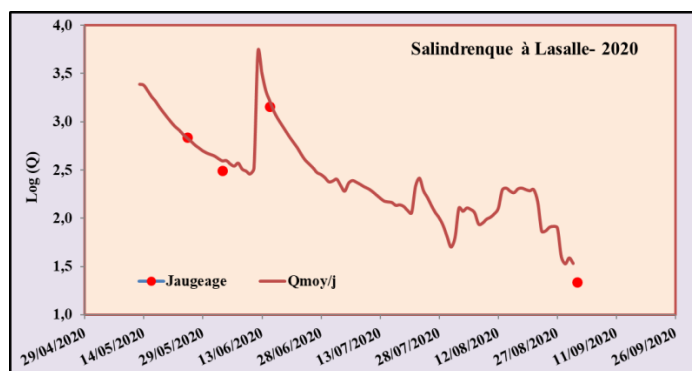
5.1.5 Hydrogramme et éléments statistiques

L'hydrogramme obtenu (Fig.30) présente la chronique des débits moyens journaliers avec une échelle log, depuis la mi-mai jusqu'au 1 septembre 2020. Les jaugeages, représentés sur la figure, permettent de mieux apprécier l'écart entre le jaugeage (valeur instantanée mesurée) et le débit (moyen journalier, obtenu par le calcul).

Cette station est une de celles qui ont résisté à la crue de juin. La valeur de la pointe de crue (5,3 m³/s) est cohérente avec l'étendue de la courbe de tarage. La fin du mois de juillet et le mois d'aout apparaissent assez « chaotiques », très probablement en raison d'actions anthropiques sur les débits, en amont de la station.

Sur la base des débits moyens journaliers, l'étiage au sens strict mesuré a pu se produire le 31 aout 2020 (?) avec un débit de 34 l/s +/- 0,2 l/s. Le débit d'étiage Q_{ej3}, observé du 29 au 31 aout a été calculé avec une valeur moyenne de 36 +/- 0,5 l/s. Ces valeurs correspondent à un débit spécifique à l'étiage de 0,58 l/s/km² et sur la fin du cycle de 0,78 l/s/km². Évidemment l'étiage « vrai » a pu aussi se placer entre le 31/08 et le 19/09. Ce que nous ne pouvons vérifier, la chronique ayant été totalement perdue.

FIG.30 — HYDROGRAMME DE LA SALINDRENQUE À LASALLE DURANT L'ÉTIAGE 2020



5.2 Station de Thoiras sur la Salindrenque aval

Cette station est utilisée depuis 2016, et elle présente de bonnes conditions pour les mesures de faibles débits. Les coordonnées sont : longitude 3°56' 11,5"E; latitude : 44°04' 10,6"N; altitude : 155 m; surface du bassin drainé 68 km². Elle est située cent vingt mètres à l'amont du pont de la D57 non loin de la confluence avec le Gardon de Saint-Jean (Fig.33). La station utilisée en 2015 était quelques centaines de mètres plus en amont.

FIG.31 — STATION DE THOIRAS SUR LA SALINDRENQUE AVAL PRÈS DU PONT DE LA D 57 EN HAUT À GAUCHE ; POINT DE JAUGEAGE EN HAUT À DROITE ; PLAN D'EAU AVEC LA SONDE MINI DIVER ; RÉCUPÉRATION DU FICHER DE LA SONDE EN BAS À DROITE.



5.2.1 Présentation de la station

Le point de mesure se trouve en rive droite du cours d'eau, sur un plan d'eau contrôlé vingt mètres à l'aval par un banc rocheux calcaire, coupé par deux saignées d'un mètre de large, qui apparaissent lors des moyennes eaux. Cet endroit a servi de point d'injection pour les jaugeages au sel lors des moyennes eaux, le point d'injection étant déplacé à l'aval pour les plus faibles débits. Le conductimètre est alors positionné, 40 mètres à l'aval, où l'eau court sur des dalles orientées dans le sens du cours d'eau, et où la pente assez forte favorise le bon brassage au moment de l'injection (Fig.31). En 2020, aucun obstacle susceptible de perturber l'écoulement à proximité de la sonde n'a été observé. Le Solophème a été détruit par la crue de septembre (Fig.35). La sonde SDEC a été démontée le 1^{er} octobre 2020. Elle permet d'obtenir toute la séquence depuis la mi-mai jusqu'en octobre, et donc les 2 crues (Fig.32).

FIG.32 — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA STATION DE THOIRAS SUR LA SALINDRENQUE AVAL

<i>Sonde</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Fermeture</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de la mesure</i>
Mini Diver 0-10 m secours	Niveau et T (°C)	12/05/2020 15 h	01/10/2020	U 0371	5 min
Baro Diver	Pression atmosphérique et T (C°)	12/05/2020 15 h	01/10/2020	U 0145	5 min
Solophème	Niveau d'eau (mm)	12/05/2020 14 h 50	01/09/2020	SS 1348	5 min

FIG.33 — BASSIN VERSANT ET CARTE DE LOCALISATION DE LA STATION DE THOIRAS SUR LA SALINDRENQUE AVAL



5.2.2 Tableau des jaugeages

En 2020, quatre jaugeages de contrôle ont été réalisés, pour des hauteurs d'eau comprises entre 35 et 85 cm, correspondant à des débits de 71 à 1864 l/s (Fig.34).

FIG.34 — JAUGEAGES RÉALISÉS EN 2020 À LA STATION DE THOIRAS SUR LA SALINDRENQUE AVAL

Date	Heure	Technique	Qualité (Dilution)	H (cm)	Q (l/s)	Conductivité (µS/cm)	Équipe
12/05/2020	14 h	Dilution	Incohérent	85	1864	121	JMD — PM
03/06/2020	13 h	Dilution	Cohérent	52,8	493	256	JMD — PAA
15/06/2020	8 h	Dilution	Cohérent	71	2134	119,3	JMD — LR
01/09/2020	11 h 5	Dilution	Cohérent	35	70,9	459,7	PM — JMD

5.2.3 Chronique des récupérations de données

FIG.35 — PÉRIODES DES RELEVÉS EN 2020 DE LA SONDE SOLOPHÈME À LA STATION DE THOIRAS SUR LA SALINDRENQUE AVAL

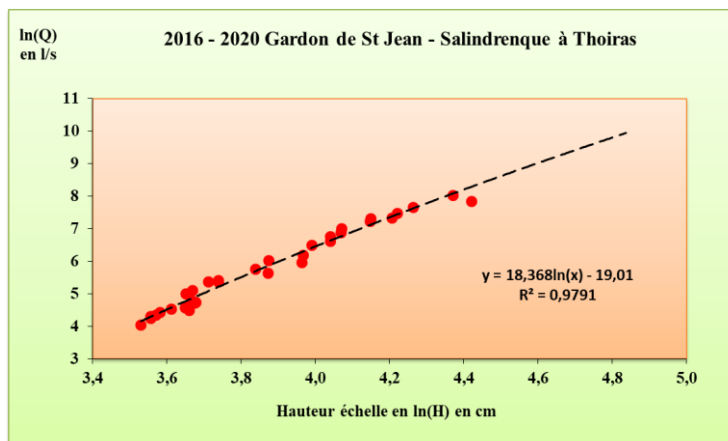
Début	Fin	H début (TU)	H fin (TU)	Observations
12/05/2020	03/06/2020	14 h	13 h	5 min
03/06/2020	15/06/2020	13 h	8 h	5 min
15/06/2020	23/06/2020	8 h	8 h 10	5 min
23/06/2020	07/07/2020	8 h 10	9 h 50	5 min
07/07/2020	21/07/2020	9 h 50	10 h 21	5 min
21/07/2020	04/08/2020	10 h 21	10 h 16	5 min
04/08/2020	18/08/2020	10 h 16	11 h 8	5 min
18/08/2020	01/09/2020	11 h 8	11 h	5 min

La perte du Solophème a entraîné l'arrêt de la chronique établie avec ses mesures au 1/09/2020. Ceci conduit à proposer un hydrogramme entièrement calculé avec la sonde de secours SDEC.

5.2.4 Courbe de tarage

La courbe de tarage à Thoiras (Fig.36) s'appuie sur les 36 jaugeages effectués depuis avril 2016. Elle permet de rendre compte des débits de la période étudiée en 2020, et en particulier de celle des basses eaux. La stabilité hydraulique de la station permet de construire une courbe de bonne qualité pour des débits variant de 50 à 3000 l/s ce qui est une bonne sécurité pour les débits de basses à moyennes eaux. Par rapport à celle utilisée en 2019, elle a toutefois dû être un peu complexifiée pour essayer de donner une évaluation plausible des débits de pointe de crue.

FIG.36 — COURBE DE TARAGE POUR LA STATION DE LA SALINDRENQUE AU PONT DE THOIRAS



Il s'agit en fait d'introduire une fonction puissance du logarithme de la hauteur d'eau.

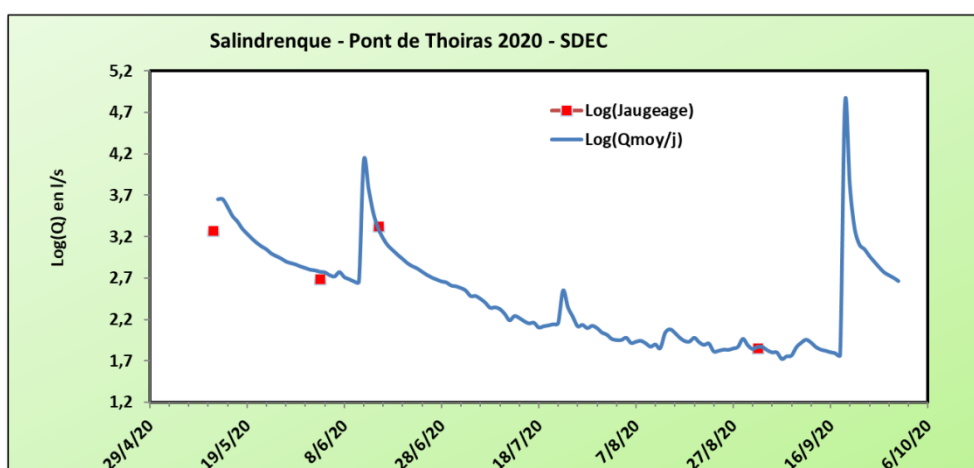
5.2.5 Hydrogramme et éléments du fonctionnement

L'hydrogramme calculé montre la même organisation temporelle que ce que nous avons vu à la station de Ners (Fig.16). La période de basses eaux (relatives) est encadrée par les crues de juin et septembre.

De la mi-mai à la mi-juin, le débit décroît de façon notable (Fig.37). Il est ensuite remonté par la crue du 12/06/2020. À l'issue de la décrue s'engage un tarissement qui aboutira à l'étiage le 18/09/2020 avec un débit de 58,1 l/s +/- 0,4 l/s, soit comme débit de fin de cycle sur 3 jours (16 – 18/06/2020) : 60,9 l/s +/- 0,5 l/s. Soit respectivement : 0,85 l/s/km² et 0,89 l/s/km².

Les débits de pointe de crue sont sujets à caution. Toutefois on peut retenir comme ordre de grandeur mieux établi pour la crue de juin que pour celle de septembre : 13 m³/s et 65 m³/s.

FIG.37 — ÉVOLUTION DES DÉBITS DURANT L'ÉTIAGE ESTIVAL 2020 POUR LA SALINDRENQUE À THOIRAS



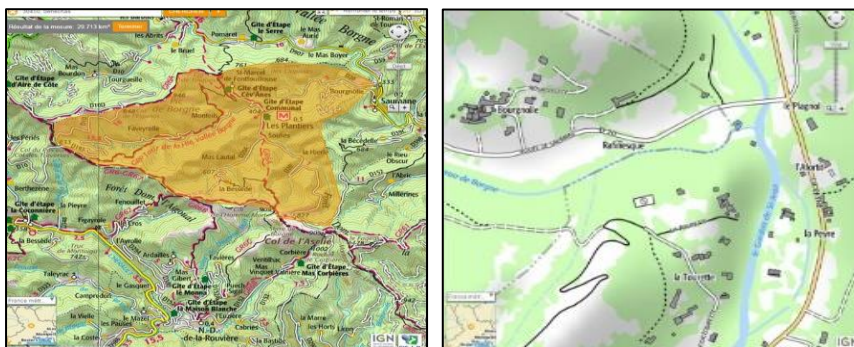
6 Gardon de Saint-Jean

Le Gardon de Saint-Jean est suivi en trois points sur son axe principal (en amont avec le Gardon de Saint-André, puis Gardon de Saint-Jean), et sur un affluent, la Borgne.

6.1 La Borgne aval à Saumane (station de Rafinesque)

Surface drainée : 28 km² ; longitude 3°45' 42,2"E ; latitude 44°07' 33,0"N ; altitude 324 m. (Fig.38)

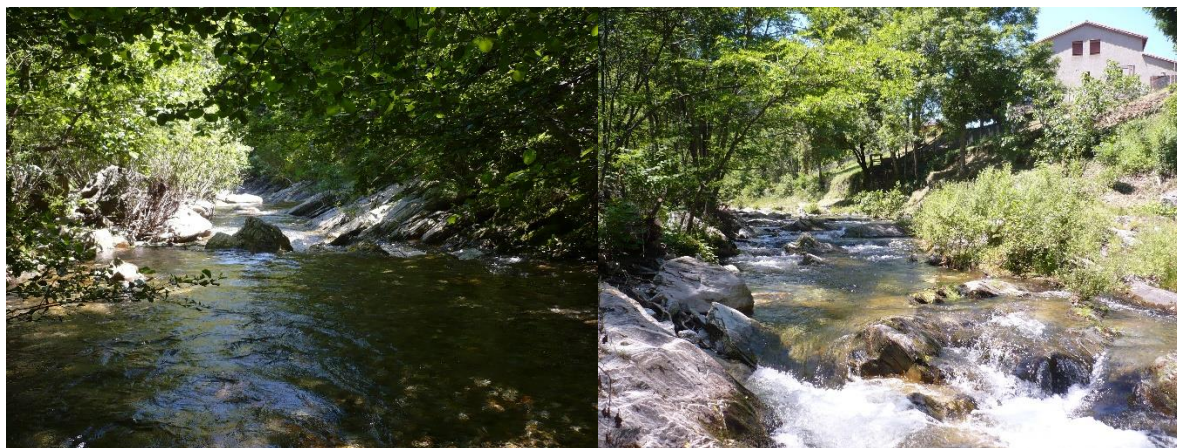
FIG.38 — CARTES DU BASSIN VERSANT ET DE LA LOCALISATION DE LA STATION DE RAFINESQUE SUR LA BORGNE AVAL À SAUMANE



6.1.1 Présentation de la station

En 2020, cette station a été dévastée par deux fois, le 12/06 et le 19/09/2020. La première réinstallation à la suite du confinement avait été faite un peu à l'aval de la station de l'installation de 2019 afin de nous adapter aux modifications de lit lors de l'automne et l'hiver 2019 – 2020. Les différentes crues avaient fait apparaître un seuil rocheux de bonne facture un peu à l'aval (Fig.39 gauche). Cette première station (Solophème) a été détruite par la crue du 12/6. On comparera d'ailleurs les photos prises le 25/05/2020 à celles réalisées soit après le 12/06, soit surtout après le 19/09 (Fig.7 et 8).

FIG.39 — STATION DE RAFINESQUE SUR LA BORGNE AVAL À SAUMANE — SITE AVAL INITIAL (À GAUCHE), STATION AMONT APRÈS LE 12/06 (À DROITE)



Photos du 15 juin 2020

La seconde installation (sonde immergée et barométrique Solinst) a été faite en raison des changements intervenus dans le lit plus en amont au niveau de dalles (Fig.39 droite). Un tube métallique fixé par des brides et

des goujons avait été placé dans un trou d'eau en amont de la petite cascade. La sonde barométrique était dans un arbre en rive droite à environ 3 m de hauteur au-dessus du lit mineur.

Lors de la crue du 19/09/2020, le tube a été arraché et l'arbre de la sonde déraciné et couché. Le résultat a été une perte de l'ensemble du dispositif (Fig.40).

FIG.40 — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA STATION DE RAFINESQUE SUR LA BORGNE AVAL À SAUMANE

Sonde	Donnée produite	Mise en place (TU)	Fermeture (TU)	N° sonde ou Solophème	Fréquence de la mesure
Solophème	Niveau (cm)	18/05/2020	12/06/2020	2236	5 min
Levellogger	Niveau (cm)	22/06/2020	19/09/2020	21 100 845	5 min
Barologger	Pression atmosphérique	22/06/2020	19/09/2020	2 115 103	5 min

6.1.2 Chroniques de récupération des données

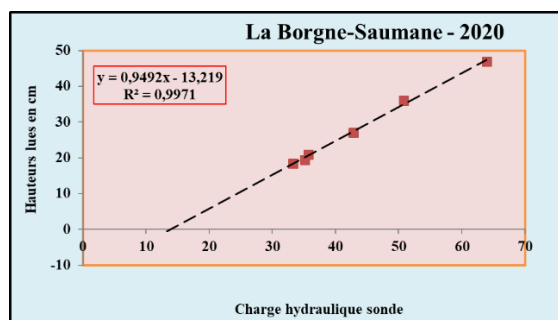
Ces multiples difficultés ont toutefois permis d'enregistrer les séquences suivantes (Fig.41) :

FIG.41 — SÉQUENCES ENREGISTRÉES À LA STATION DE RAFINESQUE SUR LA BORGNE AVAL À SAUMANE À COMPTER DU 18 MAI – REMPLACEMENT DE LA STATION À LA SUITE DE LA CRUE DU 12 JUIN LE 22 JUIN

Début	Fin	H début (TU)	H fin (TU)	Observations
18/05/2020	25/05/2020	9 h	9 h 51	5 min
22/06/2020	06/07/2020	9 h 51	8 h 51	5 min
06/07/2020	20/07/2020	8 h 51	8 h 15	5 min
20/07/2020	03/08/2020	8 h 15	8 h 50	5 min
03/08/2020	17/08/2020	8 h 50	9 h	5 min
17/08/2020	31/08/2020	9 h	9 h 5	5 min

Le 21/09/2020 nous avons pu constater la ruine complète de notre seconde installation. Il reste toutefois une relation entre la hauteur lue à l'échelle et la charge sur la sonde. Cette relation est assez simple (Fig.42)

FIG.42 — LA BORGNE À SAUMANE (STATION DE RAFINESQUE) : RELATION ENTRE LA HAUTEUR LUE ET LA CHARGE SUR LA SONDE (2020)



Toutefois, la station ayant changé de place il a fallu faire plusieurs jaugeages pour essayer de reconstruire et valider une courbe de tarage (Fig.44).

6.1.3 Tableau des jaugeages

Huit jaugeages ont été réalisés en 2020 à la station de Rafinesque, à partir du 18/05/2020. Les jaugeages couvrent une gamme de hauteurs comprise entre 19,5 et 78,5 cm (60 à 785 l/s), et on note une petite distorsion par

rapport à l'année précédente, les niveaux les plus bas observés en 2018 étant sans doute un peu influencés (feuilles ?). Une nouvelle courbe de tarage a été construite pour 2020.

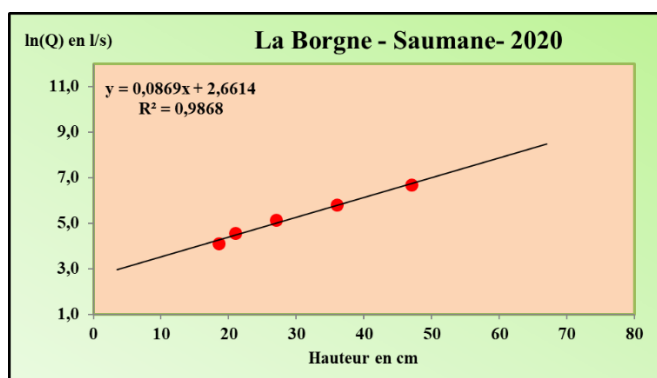
FIG.43 — JAUGEAGES RÉALISÉS À LA STATION DE RAFINESQUE SUR LA BORGNE AVAL À SAUMANE

Date	Heure	Technique	Qualité (Dilution)	H (cm)	Q (l/s)	Conductivité (µS/cm)	Équipe
18/05/2020	9 h	Dilution	Cohérent	76,5	785	66	JMD — PM
25/05/2020	10 h 25	Dilution	Cohérent	68,5	466	76	JMD — PM
22/06/2020	9 h 51	Dilution	Cohérent	47	812	69,8	JMD — LR
06/07/2020	8 h 51	Dilution	Cohérent	36	329	88	JMD — LR
20/07/2020	8 h 15	Dilution	Cohérent	27	170	97,6	JMD — LR — SE
03/08/2020	8 h 50	Dilution	Cohérent	21	97	112,2	LR — SE
17/08/2020	8 h 55	Dilution	Cohérent	19,5	85	106,8	LR — SE
31/08/2020	9 h 5	Dilution	Cohérent	18,5	60,3	118,9	JMD — PM

6.1.4 Courbe de tarage

La courbe de tarage 2020 est obtenue avec tous les jaugeages de cette campagne. C'est une fonction linéique, une fois transformés les débits en logarithmes (Fig. 44).

FIG.44 — COURBE DE TARAGE POUR LA BORGNE À SAUMANE (STATION DE RAFINESQUE) EN 2020



Les deux jaugeages du mois de mai ne peuvent être utilisés, car il est impossible de relier les hauteurs lues en mai à celles lues après le 12/06. Cette courbe de tarage est très imparfaite, mais permet toutefois un calcul des débits les moins importants de basses eaux entre 5 et 200 l/s. (Fig.44).

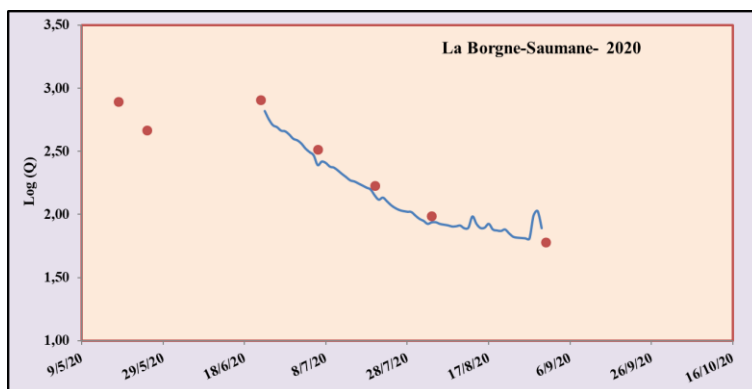
6.1.5 Hydrogramme et éléments du fonctionnement

L'hydrogramme de la figure 45 est très limité. Il couvre de façon continue une période allant de mi-juin à fin août. Il correspond à une décroissance continue du débit tout juste affectée par de petits apports d'eau. La partie initiale peut être considérée comme une phase de fin de décrue (crue du 12/06/2020) et la partie finale comme une phase de tarissement (entre les deux derniers jaugeages). L'enregistrement du mois de septembre aurait permis de préciser les choses si la station n'avait pas été détruite.

Si on considère le 27 août comme l'étiage le débit d'étiage serait de 64,1 l/s +/- 0,15 l/s et le Q_{e3j} : 64,5 l/s +/- 0,02 l/s. Soit des débits spécifiques de 2,29 l/s/km² et 3,3 l/s/km². Ce sont certes des valeurs élevées, mais conformes au débit jaugé le 31/8/2020. Rappelons que l'étiage en 2019 était intervenu le 6 septembre, et avec un débit de 32,1 +/- 0,04 l/s et un Q_{e3j} de 32,4 +/- 0,04 l/s, soit environ deux fois inférieurs.

Toutefois le prolongement d'un modèle linéaire sur la base des débits enregistrés en août donnerait au 18 août un débit proche de 48 l/s, soit environ 1,8 l/s/km².

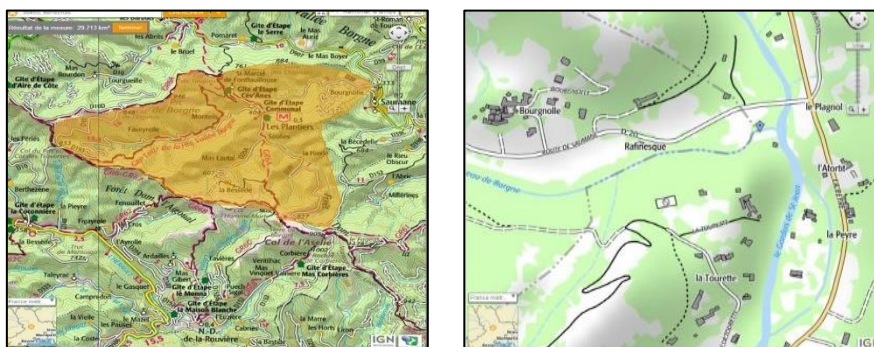
Fig.45 — Hydrogramme de la Borgne à Saumane (station de Rafinesque) en 2020



6.2 Le Gardon de Saint-André de Valborgne au pont de l'Elze

Surface drainée 29 km². Longitude 3°41' 26,6"E. Latitude 44°09' 02,6"N. Altitude 419 m (Fig.45)

FIG.46 — CARTE DU BASSIN ET LOCALISATION DE LA STATION DE SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE

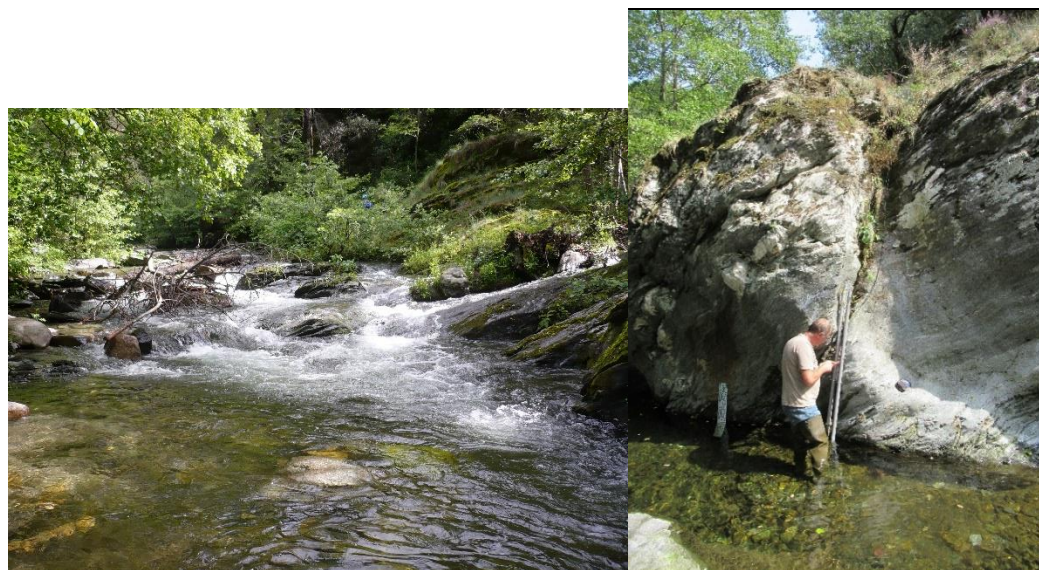


6.2.1 Présentation de la station

Cette station est encaissée. Depuis 2018, l'accès se fait en rive gauche, par un petit chemin surplombant la rivière, en face de l'ancienne entreprise Bourrelly. Cette configuration, plutôt discrète et sans visiteur, est propice à la protection du site et du matériel (Fig.47).

Le point de mesure se trouve dans un corridor de dalles de schiste avec une paroi d'une dizaine de mètres en rive gauche, sur laquelle sont appuyés tant l'échelle que le tube des sondes. La pente est importante, ce qui assure un bon mélange lors des jaugeages. La section est assez étroite, ce qui conduit à une élévation notable du niveau quand le débit augmente, ce qui favorise une relation de qualité entre les débits jaugés et les hauteurs lues sur l'échelle limnimétrique. Malheureusement, le site est remanié chaque année par les crues, et on observe, soit des dépôts, soit des creusements au niveau de la station, qui modifient la section. De ce fait, la courbe de tarage doit être refaite chaque année, mais un nombre limité de points suffit pour obtenir une bonne courbe.

FIG.47 — STATION DE SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE ; GARDON DE SAINT-ANDRÉ AU PONT DE L'ELZE ; À GAUCHE LE SITE VU DE L'AMONT AVANT LA CRUE DE JUIN ; À DROITE, TUBES CASSÉS ABRITANT LA SONDE KELLER ET LA SONDE HOBO (DÉMONTAGE LE 18/09/2020)



(Photos : 15/05/2020 à gauche ; du 18/09 à droite)

Installée le 15/05/2020 après le déconfinement, cette station a été en partie détruite par la crue du 12/06/2020. Le tube de la sonde Keller a été cassé, mais la sonde a continué à fonctionner (!) ; celui de la sonde Hobo qui était en test a été emporté (Fig48). Il n'en reste donc rien. La station étant à risque elle a été démontée le 18/09/2020 par précaution et n'a pas été réinstallée ensuite. Les enregistrements sont donc disponibles jusqu'à cette date (Fig.49).

FIG.48 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DE ST-ANDRÉ-DE-VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE

<i>Sonde</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Fermeture (TU)</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de la mesure</i>
Hobo hydro	Pression de l'eau, débit et T	15/05/2020	12/06/2020	-	5 min
Hobo hydro	Pression de l'eau, débit et T	20/07/2020	18/09/2020	20 860 119	5 min
Hobo baro	Pression atmosphérique et T air et eau	15/05/2020	18/09/2020	20 860 120	5 min
Solophème	Niveau d'eau	18/05/2020	18/09/2020	SS 1349	5 min

6.2.2 Chronique de récupération des données

FIG.49 — SÉQUENCES D'ENREGISTREMENT DES DONNÉES DES SONDES À LA STATION DE ST-ANDRÉ-DE-VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE (SOLOPHÈME)

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
15/05/2020	18/05/2020	8 h 56	10 h 5	5 min
18/05/2020	25/05/2020	10 h 5	10 h 30	5 min
22/06/2020	06/07/2020	8 h 48	9 h 52	5 min
06/07/2020	20/07/2020	9 h 52	9 h	5 min
20/07/2020	03/08/2020	9 h	9 h 46	5 min
03/08/2020	17/08/2020	9 h 46	9 h 45	5 min
17/08/2020	31/08/2020	9 h 45	10 h	5 min
31/08/2020	18/09/2020	10 h	12 h 5	5 min

6.2.3 Tableau des jaugeages

Une série de neuf jaugeages a été réalisée au niveau de cette station (Fig.50).

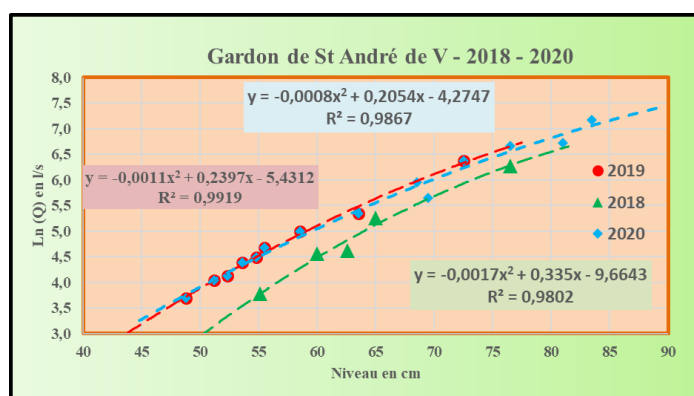
FIG.50 — JAUGEAGES RÉALISÉS À LA STATION DE ST-ANDRÉ-DE-VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE EN 2020

Date	Heure	Technique	Qualité	H (cm)	Q (l/s)	Conductivité (µS/cm)	Équipe
15/05/2020	8 h 56	Dilution	Cohérent	68,5	1291	91,5	JMD — PM
18/05/2020	10 h 5	Dilution	Cohérent	76,5	785	77,9	JMD — PM
25/05/2020	10 h 30	Dilution	Cohérent	68,5	382	76	JMD — PM
22/06/2020	8 h 48	Dilution	Cohérent	80	834	66	JMD — LR
06/07/2020	9 h 52	Dilution	Incohérent	60,5	284	72,1	JMD — LR
31/08/2020	10 h	Dilution	Cohérent	57	76,9	86,1	JMD — PM

6.2.4 Courbe de tarage

En 2019, la courbe de tarage pour le Gardon de Saint-André prend en compte les débits mesurés entre 40 et 1291 l/s (Fig.51), et elle s'ajuste sur une fonction polynomiale entre les hauteurs lues et des débits convertis en logarithme. Elle est suffisante pour calculer les débits de la campagne 2020 à l'exception de la crue du 12/06/2020. Pour cette dernière nous avons extrapolé une fonction logarithmique. La pointe de crue est alors évaluée à 7,2 m³/s.

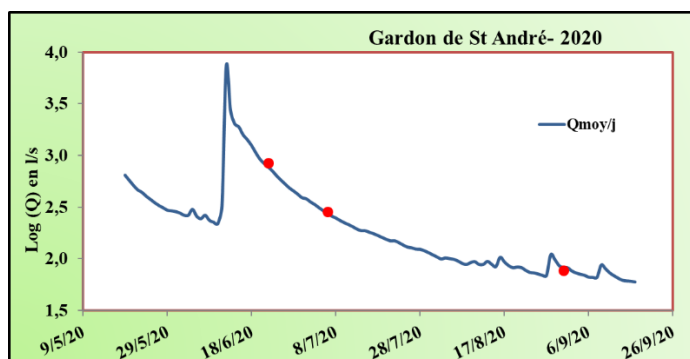
FIG.51 — COURBE DE TARAGE DU GARDON DE SAINT-ANDRÉ À SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE 2018 - 2020



6.2.5 Hydrogramme et éléments du fonctionnement

Reconstitué de cette façon l'hydrogramme présente une décroissance continue des débits depuis la pointe de crue jusqu'à l'étiage le 18/09/2020. Cette longue baisse peut être interprétée comme une récession juste perturbée par de très petites crues en fin de période (Fig.52).

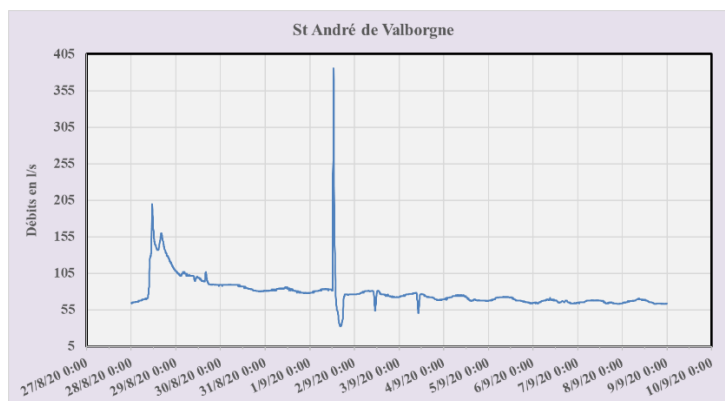
FIG.52 — DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GARDON À SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE EN 2020



L'étiage 2020 se produit le 17 septembre avec un débit moyen journalier de 59,2 +/- 0,3 l/s et le débit moyen minimum en 3 jours est de 60,1 +/- 0,1 l/s entre le 15 et le 17 septembre. Rapporté à la surface du bassin drainé le débit spécifique de l'étiage 2020 est de 2 l/s/km² (Tableau en annexe).

L'enregistrement fait apparaître une séquence originale qui fait suite à une baisse de débit notable le 02/07/2020 (Fig.53).

FIG.53 — DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GARDON À SAINT-ANDRÉ DE VALBORGNE AU PONT DE L'ELZE DU 29 AOUT AU 9 SEPTEMBRE

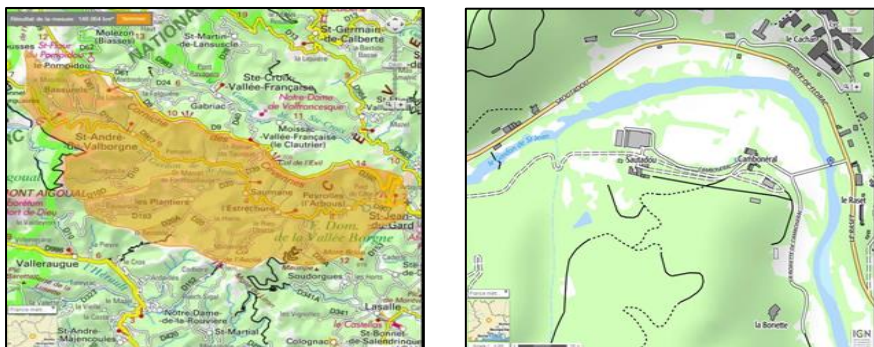


La figure 53 montre sur un hydrogramme à 5 min, après une très petite crue le 29/08, une montée brusque et forte (pour ce cours d'eau) du débit qui ne peut s'expliquer par une pluie, car la baisse est elle aussi très rapide. Cette figure pourrait être interprétée comme le résultat d'une lâchure à l'issue de laquelle un restockage d'eau est effectué. La rivière retrouve alors presque son débit nominal, avant toutefois deux «prélèvements» les 3 et 4 septembre, comme si on cherchait à finir de remplir quelque chose (?). Au-delà du 5 septembre, la rivière retrouve un rythme normal d'oscillations liées probablement aux prélèvements réalisés par la végétation.

6.3 Le Gardon de Saint-Jean à Saint-Jean du Gard (pont de Cambonéral)

Surface drainée 145 km². Longitude 3°52' 22,1" E. Latitude 44°06' 44,0"N. Altitude 186 m (Fig.54)

FIG.54 — CARTE DU BASSIN VERSANT ET LOCALISATION DE LA STATION DE SAINT-JEAN-DU-GARD (PONT DE CAMBONÉRAL)



6.3.1 Présentation de la station

La station se trouve en rive droite du Gardon, sous le pont de Cambonéral, à environ un kilomètre en amont du centre-ville de Saint-Jean du Gard. Elle est contrôlée vers l'aval par un seuil rocheux créant une petite chute d'environ 0,80 m et elle est plutôt propice pour de bonnes mesures de basses eaux (Fig. 55). Sa proximité avec la route en fait cependant un point de baignade.

FIG.55 — STATION DE SAINT-JEAN DU GARD — À GAUCHE, GARDON DE SAINT-JEAN AU PONT DE CAMBONÉRAL, VU DE L'AMONT — À DROITE, ÉCHELLE AU PLUS BAS DE L'ÉTIAGE, LE 9 SEPTEMBRE 2019



Le matériel se trouve à la base de la troisième pile du pont en partant de la rive droite. Du fait de la relative baisse des eaux à la fin du printemps 2020, une première installation a été réalisée le 18 mai. L'ensemble de l'installation a été détruite par la crue du 12 juin 2020 (Fig.10). Une nouvelle installation a été réalisée le 23/6/2020. Cette dernière a été démontée le 18/09/2020 (Fig.56) en prévision des pluies annoncées pour le 19/09/2020, le site étant « sensible ». Bien que sur la face aval du pont, derrière une pile, cette station a connu des problèmes à chaque crue un peu importante, comme si s'établissait une « surcharge » hydraulique endommageant les sondes immergées, plusieurs ont ainsi été détruites.

FIG.56 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DE SAINT-JEAN À SAINT-JEAN DU GARD (PONT DE CAMBONÉRAL)

<i>Sonde</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Fermeture (TU)</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de la mesure</i>
Levellogger	Pression de l'eau Débit et T (°C)	18/05/2020	12/06/2020	1 071 044	5 min
Barologger	Pression atmosphérique	18/05/2020	12/06/2020	2 066 806	5 min
SDEC diver	Pression de l'eau Débit et T (°C)	23/06/2020 11 h 30	18/09/2020	BW021	5 min
SDEC baro	Pression atmosphérique	23/06/2020 11 h 30	18/09/2020	BE 163	5 min

6.3.2 Chronique de récupération des données

FIG.57 — SÉQUENCES DE FONCTIONNEMENT DE LA STATION DE SAINT-JEAN À SAINT-JEAN-DU-GARD (PONT DE CAMBONÉRAL) À COMPTER DU 18 MAI – REMPLACEMENT DE LA STATION À LA SUITE DE LA CRUE DU 12 JUI, LE 23 JUI

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
18/05/2020	25/05/2020	13 h	12 h	5 min
23/06/2020	06/07/2020	11 h 39	7 h 30	5 min
06/07/2020	20/07/2020	7 h 30	7 h 36	5 min
20/07/2020	03/08/2020	7 h 36	7 h 44	5 min
03/08/2020	17/08/2020	7 h 44	8 h	5 min
17/08/2020	31/08/2020	8 h	8 h	5 min
31/08/2020	18/09/2020	8 h	11 h 30	5 min

6.3.3 Tableau des jaugeages

Quatre jaugeages ont été réalisés depuis le 18 mai (Fig.58) et viennent s'ajouter aux jaugeages réalisés depuis 2015 sur ce site. En 2020 nous avons pu jauger des hauteurs d'eau importantes.

FIG.58 — JAUGEAGES RÉALISÉS LA STATION DE SAINT-JEAN À SAINT-JEAN-DU-GARD (PONT DE CAMBONÉRAL)

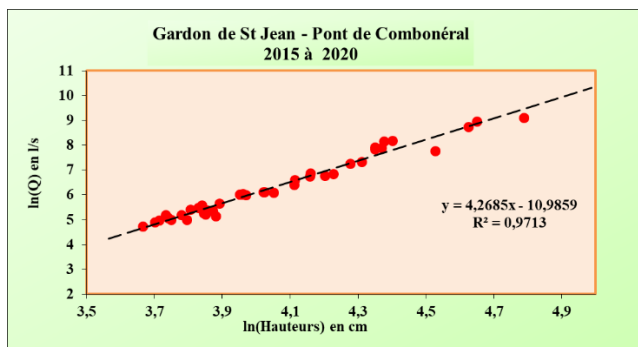
<i>Date</i>	<i>Heure TU</i>	<i>Technique</i>	<i>Qualité</i>	<i>H (cm)</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>Conductivité (µS/cm)</i>	<i>Équipe</i>
18/05/2020	13 h	Dilution	Cohérent	104,5	7885	114,2	JMD — PM
25/05/2020	12 h	Dilution	Cohérent	79	2666	80,1	JMD — PM
23/06/2020	11 h 39	Dilution	Incohérent	92,7	2395	81,2	JMD — LR
31/08/2020	8 h	Dilution	Cohérent	49	284	12,2	JMD — PM

6.3.4 Courbe de tarage

La station apparaissant comme stable, elle possède maintenant une courbe de tarage de bonne qualité, en prenant l'ensemble des jaugeages réalisés depuis 2015 (Fig.59).

Le meilleur ajustement possible est une fonction puissance, qui se linéarise en bilog.

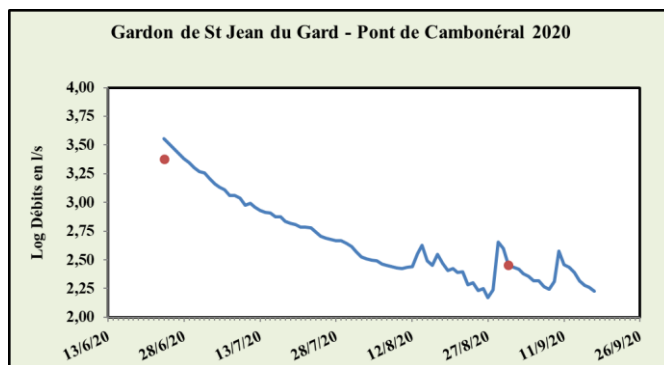
FIG.59 — COURBE DE TARAGE DE LA STATION DE SAINT-JEAN À SAINT-JEAN DU GARD (PONT DE CAMBONÉRAL)



6.3.5 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

Les mesures ont démarré le 18 mai 2020. La station comme indiqué ci-dessus a été emportée par la crue du 12/06/2020. Les débits disponibles débutent donc seulement au 24 juin 2020, car il a fallu attendre que le débit baisse pour réparer la station. La fin de la période est marquée par de très petites crues avant la crue majeure du 19/09/2020 (Fig.60).

FIG.60 — HYDROGRAMME DU GARDON DE SAINT-JEAN À SAINT-JEAN DU GARD (PONT DE CAMBONÉRAL) EN 2020



L'étiage se produit le 27 aout (149 +/- 2,5 l/s), et le débit moyen sur trois jours du 25 - 27 aout est de 165 +/- 2 l/s, soit un débit spécifique de 1,02 l/s/km² (ou : 1,13 l/s/km²).

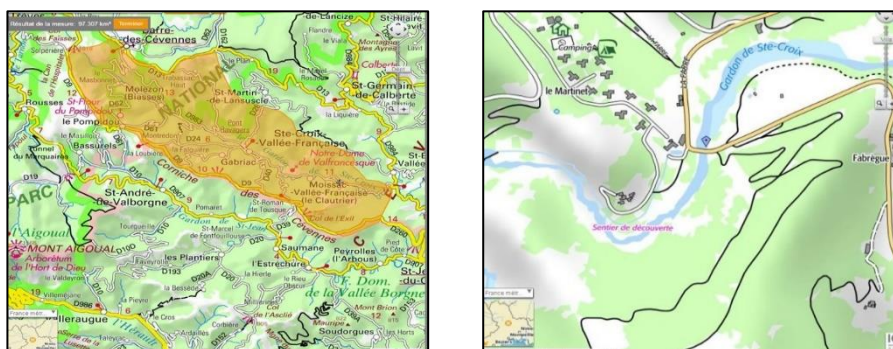
7 Le Gardon de Mialet

Sur le Gardon de Mialet nous disposons de trois stations, l'une sur le Gardon de Sainte-Croix, la deuxième sur le Gardon de Saint-Étienne et enfin une troisième plus à l'aval des deux précédentes à Roucan.

7.1 Le Gardon de Sainte Croix Vallée française au Martinet

Surface drainée 97 km². Longitude 3°50' 27,4 'E. Latitude 44° 10' 11,9''N. Altitude 231 m (Fig.61).

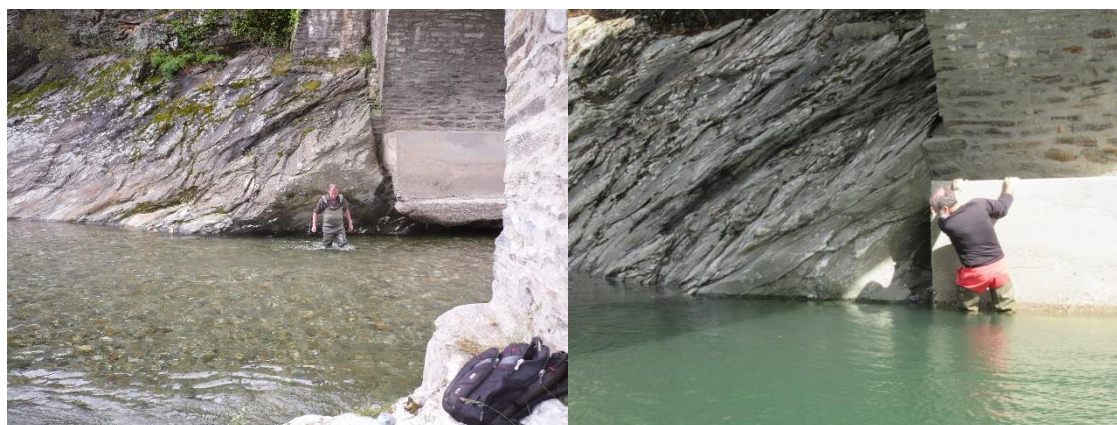
FIG.61 — CARTE DU BASSIN VERSANT ET SITUATION DE LA STATION DU MARTINET SUR LE GARDON DE SAINTE-CROIX



7.1.1 Présentation de la station

Cette station s'appuie sur un substratum schisteux induré, localisé en rive droite du Gardon, et sous le pont de la départementale D983, au lieu-dit le Martinet. L'endroit est sensible aux atterrissements, juste en sortie du pont. Il s'agit du site initial utilisé pour la campagne 2015, mais qui avait subi des interventions dans le lit du cours d'eau, lors de la réfection de la pile gauche du pont. En 2016, un nouveau site *a priori* plus favorable, celui de la Clède, deux kilomètres en amont, s'était finalement révélé durant l'été être tout aussi perturbé par des petits barrages à répétition. Le site du Martinet a donc été repris en 2017, mais il n'est pas idéal. Il peut être affecté de petits mouvements des sédiments qui se déposent souvent au printemps juste en aval du pont, et qui peuvent être remobilisés par les crues estivales. À ce niveau le Gardon peut présenter en outre des crues majeures qui peuvent réaliser un travail morphologique important (Fig.62).

FIG.62 — GARDON DE ST CROIX, STATION DU MARTINET ; À GAUCHE LE SITE LE 15/05/2020, LE TUBE DE LA SONDE EST À CÔTÉ DU BRAS DROIT DU PERSONNAGE ; À DROITE LE MÊME SITE LE 21/09/2020



Par ailleurs cet endroit est proche d'un point de baignade assez fréquenté. Il arrive que des familles avec de jeunes enfants s'installent sous le pont ou à proximité. Cette occupation de vacance peut générer des aménagements temporaires et variés (petits barrages, dérivations...) susceptibles d'affecter la relation hauteur/débit. Cela étant, nous n'avons jamais eu à déplorer d'actes de malveillance à l'encontre des matériels. En 2020, nous avons ainsi eu à gérer de tels barrages parfois conséquents tant en élévation (10 à 15 cm de hauteur d'eau en plus) qu'en largeur (parfois une dizaine de mètres) que des adolescents *a fortiori* des enfants ne peuvent pas construire.

Cette station ne s'avère donc pas optimale, mais il n'a pas été trouvé de meilleurs sites à proximité.

FIG.63 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DE SAINTE CROIX VALLÉE FRANÇAISE EN 2020

Sonde	Donnée produite	Emplacement	Mise en place (TU)	Fermeture (TU)	N° sonde	Fréquence de la mesure
Mini Diver (référence)	Pression de l'eau et T (°C)	Sous le pont	15/05/2020 12 h 20	12/06/2020	S3191	5 min
Mini Diver (référence)	Pression de l'eau et T (°C)	Sous le pont	22/06/2020 13 h	31/08/2020	U0 552 214	5 min
Baro Diver	T (°C) et Pression atmosphérique	Mur du pont	15/05/2020 12 h 20	31/08/2020	UO121	5 min

Plusieurs sondes hydrologiques et barométriques ont été utilisées, mais une chronique assez courte au total a pu être établie. La chronique initiale a été perdue lors de la crue du 12/06 et la crue du 19/09 a vraisemblablement emporté le matériel, ce qui limite le calcul de l'hydrogramme au jour de la précédente tournée (31/08/2020) (Fig.64). Une plongée n'a pas permis de le retrouver.

7.1.2 Chronique de récupération des données

FIG.64 — SÉQUENCES ENREGISTRÉES À LA STATION DU MARTINET SUR LE GARDON DE SAINTE-CROIX

Début	Fin	H début (TU)	H fin (TU)	Observations
15/05/2020	27/05/2020	12 h 25	10 h	5 min
27/05/2020	22/06/2020	10 h	12 h	5 min
22/06/2020	06/07/2020	12 h	11 h 50	5 min
06/07/2020	20/07/2020	11 h 50	10 h 23	5 min
20/07/2020	03/08/2020	10 h 23	10 h 15	5 min
03/08/2020	17/08/2020	10 h 15	12 h 30	5 min
17/08/2020	31/08/2020	12 h 30	12 h 10	5 min

7.1.3 Tableau des jaugeages

Nous avons cette année, avec des conditions difficiles, réalisé huit jaugeages (Fig.65).

FIG.65 — JAUGEAGES EFFECTUÉS SUR LE SITE DU MARTINET SUR LE GARDON DE SAINTE-CROIX

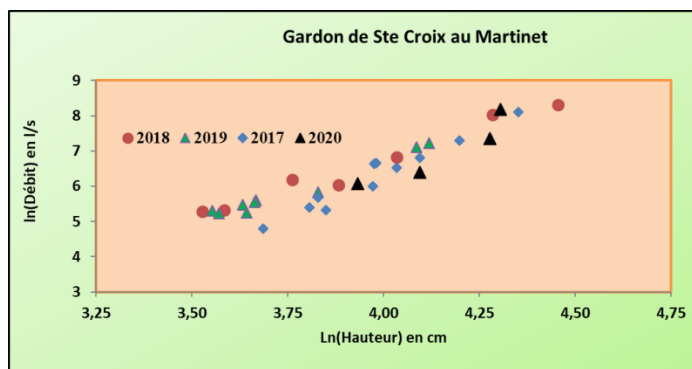
Date	Heure	Technique	Qualité	H cm	Q l/s	Conductivité $\mu\text{S/cm}$	Remarque
15/05/20	12 h 25	Dilution	Cohérent	74	3596	86,8	
27/05/20	10 h	Dilution	Cohérent	40,1	1005	95,1	
22/06/20	12 h	Dilution	Douteux	91	2961	80,5	
06/07/20	11 h 50	Dilution	Douteux	72	1551	88,9	
20/07/20	10 h 23	Dilution	Cohérent	60	598	93,8	Petit barrage
03/08/20	10 h 15	Dilution	Cohérent	56	344	101,5	Barrage
17/08/2020	12 h 30	Dilution	Cohérent	60	283	108,6	Barrage
31/08/2020	12 h 10	Dilution	Cohérent	51	435,8	103,2	

7.1.4 Courbe de tarage

La courbe de tarage peut être établie à partir de huit jaugeages réalisés entre le 15 mai et le 31 août (Fig.65), qui couvrent la gamme des débits entre 283 et 3596 l/s.

La morphologie du lit ayant changé, certains jaugeages ayant été faits avant la crue de juin, il était délicat de construire une courbe de tarage. Le parti qui a été pris a été de reprendre l'ensemble des jaugeages disponibles, de postuler une certaine permanence de la hauteur du seuil, même si celui-ci est parfois surcreusé parfois alluvionné et de regarder la cohérence du nuage de points ainsi créés (Fig.66).

FIG.66 — COURBE DE TARAGE DE LA STATION DU GARDON DE SAINTE-CROIX AU MARTINET EN 2020

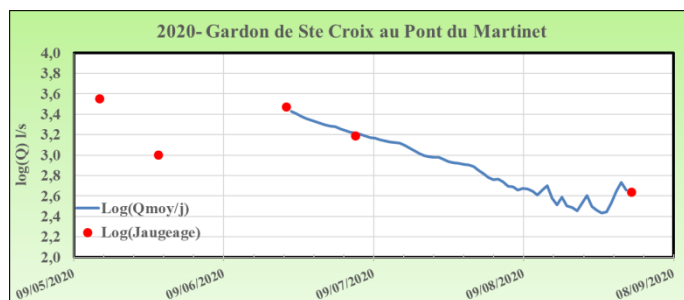


Très clairement, en bilog les points correspondant aux jaugeages des années 2017, 2018, 2019 et 2020 s'alignent de façon rectiligne. Certes il apparaît une certaine variabilité dans les débits en fonction des hauteurs (elle est liée aux phénomènes de surcreusement et d'alluvionnement), ce qui donne une certaine épaisseur au nuage de points, mais il n'est pas illogique de penser que la fonction puissance qui résumera le mieux ce nuage permettra d'obtenir une approximation acceptable des débits de 2020. En procédant ainsi nous avons pu calculer un hydrogramme pour cette station (Fig.67).

7.1.5 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

À partir de la fin juin, les débits décroissent de façon exponentielle. Seules quelques crues de la fin du mois d'août rompent cette tendance. On notera que le niveau jaugeé fin mai a été retrouvé mi-juillet ce qui donne une idée sur la recharge que les pluies du 12/06/2020 ont pu réaliser.

FIG.67 — VARIATION DES DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GARDON DE SAINTE-CROIX AU MARTINET EN 2020

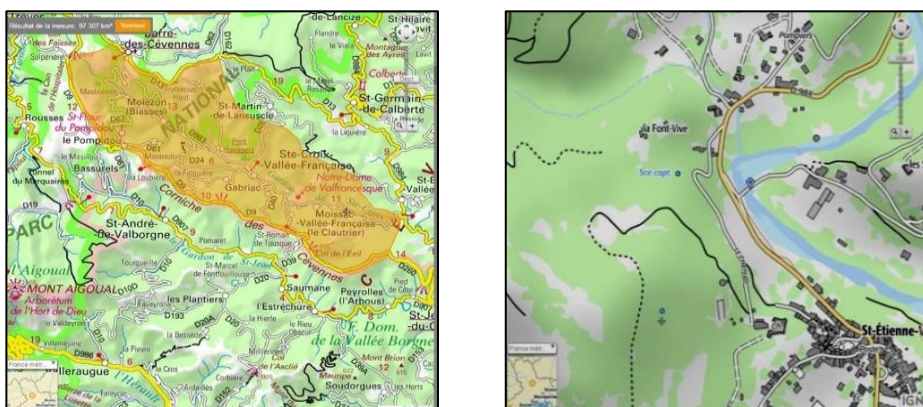


L'étiage est postulé au 25/08/2020 dans la mesure où la chronique de septembre a été perdue. Le débit d'étiage serait donc de 270,9 l/s +/- 0,99 l/s et le Qe3j de 290,8 l/s +/- 1,59 l/s. Un prolongement de la décroissance exponentielle jusqu'au 18 septembre donnerait des valeurs inférieures. Avec les valeurs disponibles, le débit spécifique serait de 2,79 l/s/km² à l'étiage et de 2,99 l/s/km² lors des trois jours de plus basses eaux.

7.2 Le Gardon de Mialet à Saint Etienne Vallée française

Surface drainée 80 km². Longitude 3°50' 22,0"E. Latitude 44°10' 11,9"N. Altitude 239 m (Fig.68).

FIG.68 — CARTE DU BASSIN VERSANT ET SITUATION DE LA STATION DU GARDON DE MIALET À SAINT ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE



7.2.1 Présentation de la station

FIG.69 — STATION DU GARDON DE SAINT-ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE — À GAUCHE, LE SITE LE 22 JUN 2020 — À DROITE, LE SITE LE 20 JUILLET 2020



Le site de 2018, en rive gauche du Gardon de Saint-Étienne, une soixantaine de mètres en amont du pont qui dessert le hameau de Solières, a été repris pour la campagne 2020. Les deux crues ont balayé ce site et sont montées les deux fois au-dessus la boîte du Solophème pourtant située à 4 ou 5 mètres au-dessus du lit mineur, le lit du Gardon étant en outre, au droit de la station, particulièrement large.

Les deux Solophèmes installés ont été détruits ainsi que les sondes Keller afférentes (Fig.2 et 9).

FIG.70 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DU GARDON DE SAINT-ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE EN 2020

Sonde	Donnée produite	Emplacement	Mise en place (TU)	Fermeture (TU)	N° sonde	Fréquence de la mesure
Solophème	Niveau d'eau. T	Sur le même rocher	15/05/2020 à 11 h	27/05/2020	090901	5 min
Solophème	Niveau d'eau. T	Sur le même rocher	18/06/2020	31/08/2020	SS2084	5 min

7.2.2 Chronique de récupération des données

FIG.71 — SÉQUENCES ENREGISTRÉES À LA STATION DU GARDON DE MIALET À SAINT-ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H Fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
15/05/2020	18/05/2020	11 h	12 h 12	5 min
18/05/2020	27/05/2020	12 h 12	9 h	5 min
18/06/2020	22/06/2020	13 h 50	11 h	5 min
22/06/2020	06/07/2020	11 h	11 h 5	5 min
06/07/2020	20/07/2020	11 h 5	9 h 55	5 min
20/07/2020	03/08/2020	9 h 55	12 h	5 min
03/08/2020	17/08/2020	12 h	11 h 45	5 min
17/08/2020	31/08/2020	11 h 45	11 h 25	5 min

7.2.3 Tableau des jaugeages

Dix jaugeages ont été réalisés, mais plusieurs sont très douteux (Fig.72). La largeur du site, la faible hauteur d'eau, le mauvais brassage de la saumure dans l'écoulement de la rivière conduisent à des valeurs hautement spéculatives. Il y a même un traçage avec plusieurs kilogrammes de sel pour lequel le conductimètre n'a enregistré aucune variation de conductivité. Il faut donc penser que le nuage de saumure est passé au loin ! En sélectionnant les meilleurs jaugeages, on peut arriver à une courbe de tarage, mais qui est indicative.

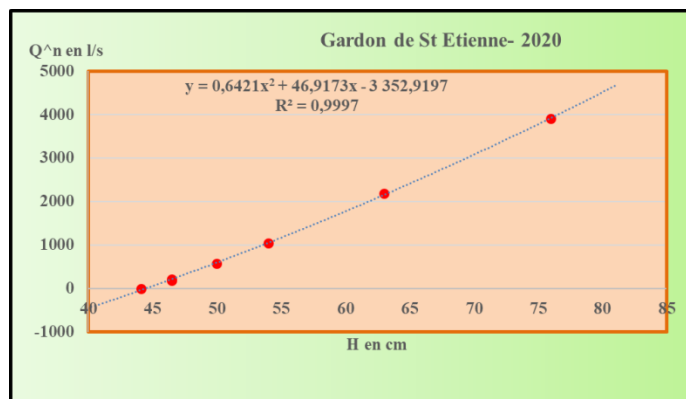
FIG.72 — JAUGEAGES EFFECTUÉS SUR LE SITE DU GARDON DE ST-ÉTIENNE-VALLÉE-FRANÇAISE

<i>Date</i>	<i>Heure</i>	<i>Technique</i>	<i>Qualité</i>	<i>H (cm) Échelle 1</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>Conductivité (μS/cm)</i>	<i>Équipe</i>
15/05/2020	11 h	Dilution	Médiocre	70	-	67,5	JM D — PM
18/05/2020	12 h 12	Dilution	Incalculable	66	-	67,2	JMD — PM
27/05/2020	9 h	Dilution	Cohérent	56,2	901	72,9	JMD — PM
18/06/2020		Dilution	Cohérent	76	3913	78,9	PAA
22/06/2020	11 h	Dilution	Mauvais	63	2179	76,9	JMD — LR
06/07/2020	11 h 5	Dilution	Cohérent	54	1051	76,4	JMD — LR — CL
20/07/2020	9 h 55	Dilution	Cohérent	50	570	78,9	JMD — LR — SE
03/08/2020	12 h	Dilution	Cohérent	46,5	191	85,7	LR — SE
17/08/2020	11 h 45	Dilution	Cohérent	48,5	187	92,3	LR — SE
31/08/2020	11 h 25	Dilution	Cohérent	46,5	213,7	93,3	PM — JMD

7.2.4 Courbe de tarage

La station de Saint-Étienne n'étant pas stable d'un point de vue hydraulique, il a fallu construire à nouveau une courbe de tarage pour la campagne 2020 (Fig.73).

FIG.73 — COURBES DE TARAGE DU GARDON DE SAINT-ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE EN 2020

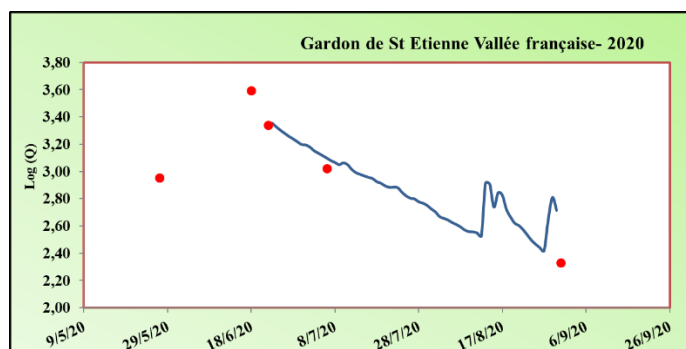


Celle-ci a nécessité d'introduire un exposant pour les débits de façon à la linéariser. On a aussi vérifié que le débit était négligeable lorsque la hauteur d'eau pouvait l'être.

7.2.5 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

L'hydrogramme de l'année 2020 du Gardon de Saint-Étienne entre le 23 juin et le 31 juillet (Fig. 74) montre une décroissance rapide du débit interrompue seulement par la petite crue de la mi-août, puis par l'amorce de celle formée à la fin août.

FIG.74 — VARIATION DES DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GARDON À SAINT-ÉTIENNE VALLÉE FRANÇAISE



Si nous nous en tenons à ces mesures, l'étiage est observé le 27 août avec un débit moyen en 24 heures de 261,6 +/- 1,33 l/s et le débit moyen le plus faible en 3 jours, entre le 25 et le 27 août avec 276,1 +/- 1,19 l/s. Ceci donne un débit spécifique d'étiage de 3,27 l/s et de 3,45 l/s sur les 3 jours.

7.3 Le Gardon de Mialet au Roucan à Corbès

Surface drainée 224 km². Longitude : 3° 58,0' 04,3" E. Latitude : 44°04' 46,5" N. Altitude : 135 m.

FIG.75 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN

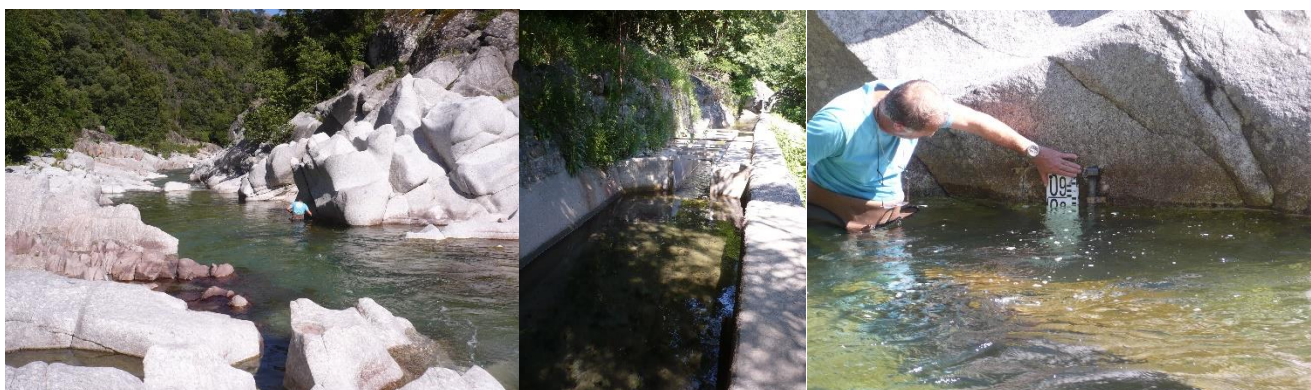


7.3.1 Présentation de la station

La station de Roucan en rive droite du Gardon de Mialet s'appuie sur un socle rocheux (granite) qui se trouve cinquante mètres à l'aval de la Levade alimentant la prise d'eau de la Bambouseraie, par l'intermédiaire d'un long béal, en rive gauche du Gardon. Grâce à l'amabilité des propriétaires du camping Cévennes-Provence, la station est accessible en rive droite en passant par le camping (Fig.76). Du fait de son encaissement, le niveau est en moyennes eaux plus élevé que sur les autres stations, ce qui retarde la mise en place en début de campagne, et il peut monter fortement lors des crues.

Une partie de l'eau qui sert à alimenter le béal est restituée avant le point de mesure (et donc comptabilisée dans le jaugeage effectué à l'aval). Quant au débit acheminé dans le béal jusqu'à la Bambouseraie, il est contrôlé par le gestionnaire de la Bambouseraie au moyen d'une échelle de niveau, dans un canal Venturi. Le prélèvement est variable au cours du temps. Il n'est pas mesuré en continu.

FIG.76 — STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN. À GAUCHE : LE SITE AVEC UN DÉBIT CONSÉQUENT AU MOMENT DE L'INSTALLATION DE LA STATION ; AU CENTRE LE BÉAL ; À DROITE LA LECTURE DE L'ÉCHELLE ET LES TUBES DES SONDES



Notons au sujet du prélèvement d'eau occasionné par la Bambouseraie, qu'il est limité dans le temps, sans doute à la période d'exploitation horticole, mais sans que l'on puisse pour notre part en connaître l'étendue et l'ampleur du prélèvement journalier. En 2017, nous avons observé qu'il variait entre 30 et 60 l/s, alors qu'en 2015 il était compris entre 100 et 180 l/s. En 2018, il était passé de 170 l/s fin juin à une valeur médiane de 100 l/s jusqu'au 1^{er} octobre, enfin, le 18 octobre, alors que l'étiage était terminé, il était de 200 l/s. Pour 2019, il n'a pas été réalisé de sondage de débit du béal, et la comparaison avec les valeurs des années est délicate, dans la mesure où la

hauteur d'eau dans le canal a été modifiée par la pose d'une planche, relevant de 17 cm le niveau. La situation de 2020 a été perturbée par les deux crues majeures de juin et de septembre. Il n'a donc pas été possible de porter une attention forte au fonctionnement de ce béal.

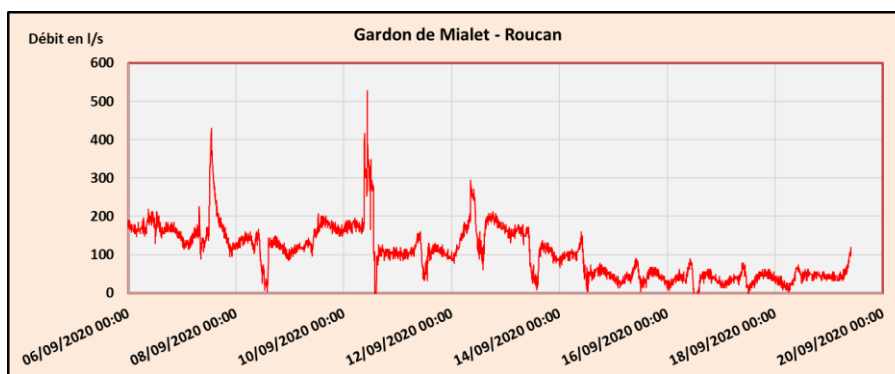
FIG.77 — CARACTÉRISTIQUES DE LA STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN

Matériel	Donnée produite	Mise en place (TU)	Fermeture (TU)	N° sonde	Fréquence de mesure
Mini Diver	Pression de l'eau Débit et T (°C)	25/05/2020 14 h 30	3/06/2020 13 h	S4493	5 min
Levelogger	Pression de l'eau Débit et T (°C)	25/05/2020 14 h 30	3/06/2020 13 h	-	5 min
Mini Diver	Pression de l'eau Débit et T (°C)	23/06/2020 10 h 45	1/09/2020 13 h 10	S4493214	5 min
Levelogger	Pression de l'eau Débit et T (°C)	23/06/2020 10 h 45	1/09/2020 13 h 10	2 110 837	5 min
Barologger	T (°C) Pression atmosphérique	25/05/2020 14 h 30	1/10/2020 13 h 30	-	5 min
Baro Diver	Pression atmosphérique	25/05/2020 14 h 30	1/10/2020 13 h 30	R7168	5 min

Le lieu de la station hydrométrique pour les débits d'étiage reste inchangé depuis 2015, dans la mesure où il n'a pas été trouvé un site plus favorable à des mesures non influencées. Il faut noter qu'un peu en amont, la station voisine gérée par le Service de Prévision des Crues Grand delta, et qui subit de la même façon des influences diverses (barrages suivis de rupture, prélèvements d'eau) n'est plus vraiment exploitée depuis 2016. L'équipement remis en place dans le canyon granitique à compter du 25 mai 2020 comprenait cette année encore, deux sondes de pression immergées (une de référence et une de secours) et une sonde barométrique placée dans le camping. La sonde hydrométrique comptabilise les flux passant dans la rivière et une évaluation de ceux qui sont dérivés, comme indiqué au-dessus, au niveau du barrage, vers l'aqueduc de la Bambouseraie. La mesure effectuée par notre équipe concerne aussi bien les débits qui passent par-dessus le barrage que ceux qui filtrent à travers la maçonnerie.

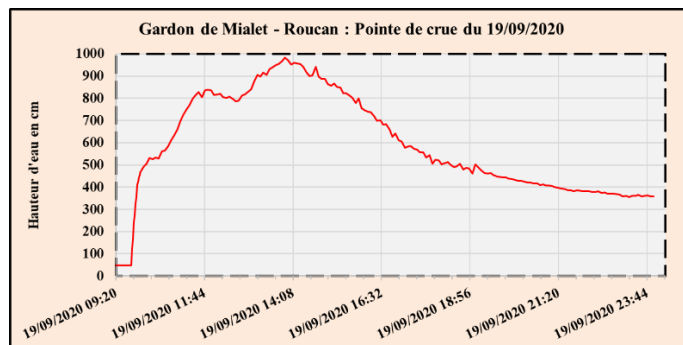
Cette première installation a été détruite par la crue du 12 juin 2020, les tubes ayant été arrachés (Fig.77). Une nouvelle installation a donc été effectuée le 23 juin 2020 quand le site est redevenu accessible (Fig.5). Deux sondes hydro ont été réinstallées. Ces dernières ont permis d'avoir une évaluation de la crue du 19/09/2020.

FIG.78 — HYDROGRAMME DE LA STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN PENDANT LES TRAVAUX SUR LE BARRAGE ET AVANT LA CRUE DU 19/09/2020



Toutefois peu avant cette crue, le site a été sous l'influence d'une opération d'investigation du barrage situé en amont. Il s'agissait, d'après les informations que nous avons pu collecter, de vérifier la solidité du barrage. Cette opération a conduit à modifier les écoulements. L'hydrogramme obtenu (Fig.78) porte la trace de ces modifications. Cela étant, toute trace de travaux a été effacée par la crue du 19/09/2020 (Fig.79)

FIG.79 — VARIATION DES HAUTEURS D'EAU A LA STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN LORS DE LA POINTE DE LA CRUE DU 19/09/2020



La récupération des données (Fig.80) a été compliquée par les hauteurs d'eau importantes à la fin du confinement, par la crue du 12/06/2020 et par la crue du 19/09/2020, le site ne redevant accessible qu'au début octobre. Nous avons donc pu le 1/10/2020 d'abord retrouver les sondes, et ensuite démonter l'installation malgré une hauteur d'eau encore importante.

7.3.2 Chronique de récupération des données

FIG.80 — SÉQUENCES ENREGISTRÉES À LA STATION DU GARDON DE MIALET A ROUCAN

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
25/05/2020	03/06/2020	14 h 30	13 h	5 min
03/06/2020	23/06/2020	13 h	10 h 45	5 min
23/06/2020	07/07/2020	10 h 45	11 h 33	5 min
07/07/2020	21/07/2020	11 h 33	12 h	5 min
21/07/2020	04/08/2020	12 h	12 h 25	5 min
04/08/2020	18/08/2020	12 h 25	12 h 30	5 min
18/08/2020	01/09/2020	12 h 30	13 h 10	5 min
01/09/2020	01/10/2020	13 h 10	13 h 30	5 min

Toutefois, la sonde SDEC est tombée en panne au début du mois de septembre et les calculs ont donc été faits avec la sonde Solinst « de secours ».

7.3.3 Tableau des jaugeages

Les 7 jaugeages de 2020 couvrent une faible gamme de débits (Fig. 81), comprise entre 408 et 4446 l/s. La comparaison avec la courbe de tarage 2016-2018 montre un décalage, qui s'explique par la modification hydraulique à la station après une crue de l'automne 2018. Il faut noter aussi l'arrivée d'un gros tronc d'arbre, à côté des sondes, et un dépôt sédimentaire dans le voisinage. Le dépôt de sédiment de l'an dernier a été purgé lors des deux crues rapprochées du 20/10 (hauteur maxi de 3,20 m) et du 23/10 (4,27 m) !

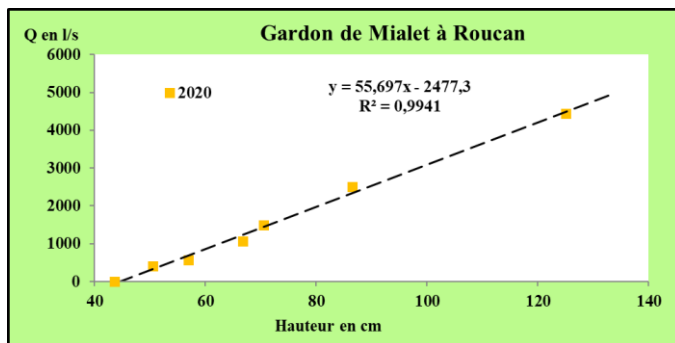
FIG.81 — JAUGEAGES EFFECTUÉS SUR LE SITE DU GARDON DE MIALET AU ROUCAN EN 2020

<i>Date</i>	<i>Heure</i>	<i>Technique</i>	<i>H cm</i>	<i>Qualité</i>	<i>Q l/s</i>	<i>Conductivité $\mu\text{S/cm}$</i>	<i>Équipe</i>
25/05/2020	14 h 30	Dilution	86,5	Cohérent	2505	111,7	JMD — PM
03/06/2020	13 h	Dilution	70,5	Cohérent	1497	126,1	JMD — LR
23/06/2020	10 h 45	Dilution	127,5	Cohérent	4446	89,3	JMD — LR
21/07/2020	12 h	Dilution	66,75	Cohérent	1065	126	JMD — LR — SE
04/08/2020	12 h 25	Dilution	57	Cohérent	577	154,2	LR — PAA
18/08/2020	12 h 45	Dilution	61	Cohérent	558	141	LR — SE
01/09/2020	13 h 15	Dilution	50,5	Cohérent	408,2	157,1	PM — JMD

7.3.4 Courbe de tarage

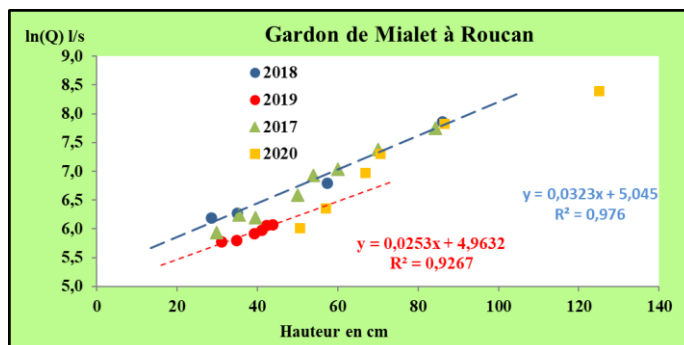
La courbe de tarage de la figure 82 a été recalculée. Elle se révèle très simple.

FIG.82 — COURBE DE TARAGE DU GARDON DE MIALET À ROUCAN EN 2020



Elle est à comparer aux autres courbes qui ont été utilisées de 2017 à 2020.

FIG.83 — RELATIONS HAUTEURS DÉBITS DU GARDON DE MIALET À ROUCAN DE 2017 À 2020

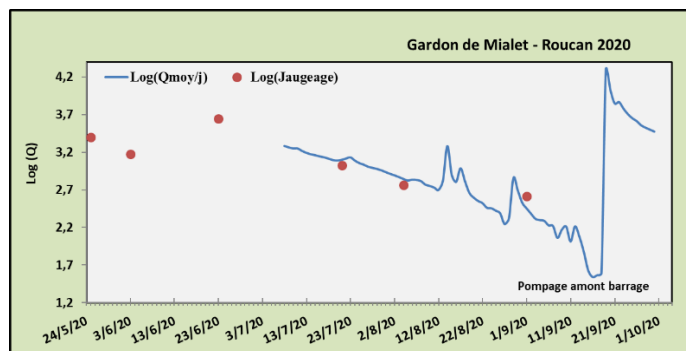


Tout ceci traduit une mobilité du seuil qui s'engrave ou s'érode suivant les années.

7.3.5 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

L'hydrogramme (Fig.84) montre qu'au cours de l'été 2020, après la crue de juin le tarissement a été simple, tout juste perturbé par deux petites crues au mois d'août.

FIG.84 — DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GARDON DE MIALET À ROUCAN EN 2020 (SANS LE BÉAL)



Certaines petites oscillations sont « curieuses » et l'on voit très bien la conséquence des travaux sur le barrage ; le logarithme exagérant l'impression d'une forte baisse.

Fort de cette constatation il devient délicat de fixer le jour de l'étiage. Il est probable qu'il doit se situer vers la mi-septembre. À partir des données dont nous disposons, nous le fixerons au 11/09/2020. Le débit était alors de 103,9 l/s +/-2,6 l/s et le débit moyenné sur trois jours (9 – 11/09/2020) de 138,5 l/s +/-4,5 l/s.

Tout ceci permet de calculer un débit spécifique à l'étiage de 0,47 l/s/km² et sur les trois derniers jours de 0,618 l/s/km².

8 Le Gardon d'Alès

Sur le Gardon d'Alès, deux stations ont vocation à fonctionner pendant six ans en continu et à enregistrer en particulier les étiages depuis 2015.

La première de ces stations est située à l'aval immédiat du barrage des Cambous sur le Gardon d'Alès (commune de Branoux-les-Taillades). La seconde a été installée sur un affluent de rive droite, le Galeizon, au lieu-dit l'Aube morte (commune de Saint-Paul la Coste).

8.1 Le Gardon d'Alès aux Cambous

Surface drainée : 113 km². Longitude : 3°59' 19,8" E. Latitude : 44°14' 02,0" N. Altitude : 205 m.

FIG.85 — BASSIN VERSANT ET CARTE DE LOCALISATION DE LA STATION DES CAMBOUS SUR LE GARDON D'ALÈS



8.1.1 Présentation de la station

La station de mesure de Cambous dispose d'un système d'enregistrement à l'année, en place sur une section naturelle rocheuse (schistes), en rive gauche du Gardon, cinquante mètres à l'aval du barrage des Cambous (Fig.86). Elle a été mise en place en avril 2015 pour une durée de trois ans (2015 – 2017), puis la reconduction du projet par l'EPTB Gardons permet de poursuivre les mesures sur ce site jusqu'en 2020. Elle peut être toutefois difficile d'accès lors des plus hautes eaux.

FIG.86 — STATION DES CAMBOUS SUR LE GARDON D'ALÈS : À GAUCHE LE SITE D'INJECTION POUR LES JAUGEAGES, À DROITE LA STATION



Le matériel a été doublé (une sonde de pression mini Diver et une sonde Solinst associées à leur sonde barométrique respective). Il s'agit d'éviter qu'une panne sur l'un ou l'autre des systèmes n'affecte, lors d'une

période qui peut être non négligeable, du fait de l'inaccessibilité du site en hautes eaux, la mesure du débit. Cette solution nous permet en outre de comparer *in situ* les résultats des deux systèmes. Comme d'autres, cette station n'a pas été exempte de pannes.

FIG.87 — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA STATION DES CAMBOUS SUR LE GARDON D'ALÈS

<i>Matériel</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Fermeture (TU)</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de mesure</i>
Mini Diver	Pression de l'eau et T (°C)	24/10/2016 10 h	31/12/2020	BE 323 219	5 min
Levelogger 0-10 m	Pression. T (°C)	24/10/2016 10 h	31/12/2020	2 091 389	5 min
Baro Diver	Pression atmosphérique	24/10/2016 10 h	31/12/2020	S 8521	5 min
Baro Logger	Pression atmosphérique	24/10/2016 10 h	31/12/2020	2 043 823	5 min

Toutefois, la sonde Solinst (H, T, C) est tombée en panne à la fin de l'année 2019 et n'a pu être remplacée qu'au début de l'année 2020 par une sonde de secours, mais sans conductivité. De même la sonde SDEC est tombée en panne le 27/12/2020 à 21 h 25 (arrêt de la mesure de la charge, mais pas de la température). La chronique des débits moyens journaliers combine donc les mesures effectuées par les deux sondes.

La convention d'Avignon université s'achevant au 31/12/2020 la sonde SDEC n'a pas été remplacée et la station n'a pas été, pour le moment, démantelée, à la demande de l'EPTB Gardons qui devrait en reprendre la gestion annuelle.

8.1.2 Chronique de récupération des données

Le tableau ci-dessous présente les relevés des sondes depuis le début de l'année 2020. Les données qui sont traitées pour la période estivale correspondent à la sonde miniDiver.

FIG.88 — PÉRIODES DE FONCTIONNEMENT CONTINU DE LA SONDE MINIDIVER DE LA STATION DES CAMBOUS SUR LE GARDON D'ALÈS

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
16/04/2020	17/06/2020	9 h	9 h 25	5 min
17/06/2020	07/07/2020	9 h 25	7 h 35	5 min
07/07/2020	21/07/2020	7 h 45	7 h 50	5 min
21/07/2020	04/08/2020	7 h 50	8 h 10	5 min
04/08/2020	18/08/2020	8 h 10	7 h 37	5 min
18/08/2020	01/09/2020	7 h 37	8 h	5 min
01/09/2020	05/10/2020	8 h	13 h	5 min
05/10/2020	27/12/2020	13 h	21 h 25	5 min

D'une manière générale, les données des deux sondes sont relevées lors de chaque tournée. La comparaison des résultats fournis par les deux matériels, les années précédentes, avait conduit à préférer les résultats issus de la sonde miniDiver, la sonde Levelogger étant utilisée en dépannage, car elle a connu une panne (perte de la conductivité en juin 2019, puis perte de la mesure de la hauteur d'eau fin 2019).

La chronique ainsi calculée sera donc complétée par les données issues de la sonde de secours après le 26 décembre 2020.

8.1.3 Tableau des jaugeages

Il n'a été fait qu'un jaugeage en 2020 en moyennes eaux pour vérifier le calage de l'hydrogramme dans un environnement très changeant.

FIG.89 — JAUGEAGES EFFECTUÉS SUR LE SITE DU GARDON D'ALÈS À CAMBOUS 2020

Date	Heure	Technique	H cm	Qualité	Q l/s	Conductivité $\mu\text{S/cm}$	Équipe
05/10/2020	12 h 40	Dilution	92,5	Cohérent	1621	91,6	JMD — PM

Du fait de sa position à l'aval du barrage, la station enregistre les variations de niveaux associées à la gestion de l'ouvrage. Par ailleurs le débit semble « choisi » et maintenu à certains niveaux (débits réservés ?) à certaines périodes. Dans ces conditions l'idée même d'un débit d'étiage pose problème, car rien ne dit que le débit minimal mesuré de fin de cycle soit le débit de l'étiage du bassin versant ni le jour de l'étiage.

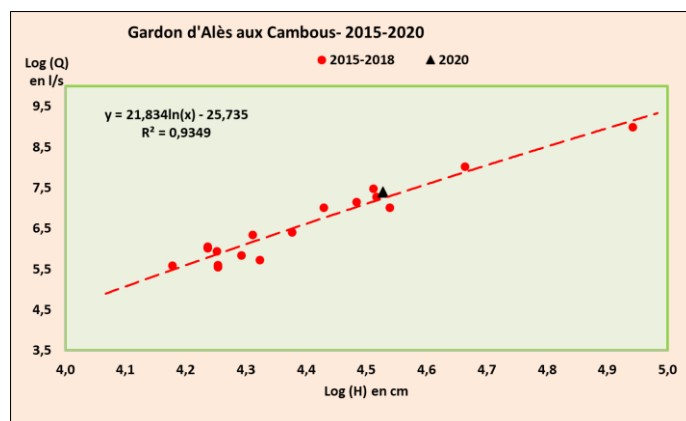
De plus un barrage assez conséquent a été construit cet été à l'aval de la station, ce qui a conduit à un gros travail sur la chronique. Cet exercice est très « spéculatif », car il est difficile d'attribuer les variations de niveau d'eau soit à un barrage de type estival, soit à une modification de la gestion des débits de fuite du barrage. En particulier les 10/03, 23/03, 14/09, 17/09 et 18/09 apparaissent des variations de débit qui ont été interprétées comme des modulations des débits de fuite du barrage (baisse du niveau, puis augmentation des débits sur une journée). Normalement la construction d'un barrage par des estivants produit l'effet inverse. Mais cela demanderait à être validé par le gestionnaire.

Les débits obtenus sont donc des débits anthropisés qu'il faudrait pour bien faire croiser avec les relevés de la gestion du barrage, ce qui ne correspond pas à la demande qui nous a été adressée. Nous ne savons même pas si ce type d'information est conservé par le gestionnaire du barrage (?).

8.1.4 Courbe de tarage

La courbe de tarage (Fig.90) de la station des Cambous est maintenant bien calée dans la gamme 70 - 140 cm (259 et 8060 l/s). Le jaugeage réalisé en 2020 s'ajuste parfaitement au modèle.

FIG.90 — COURBE DE TARAGE DE LA STATION DES CAMBOUS SUR LE GARDON D'ALÈS

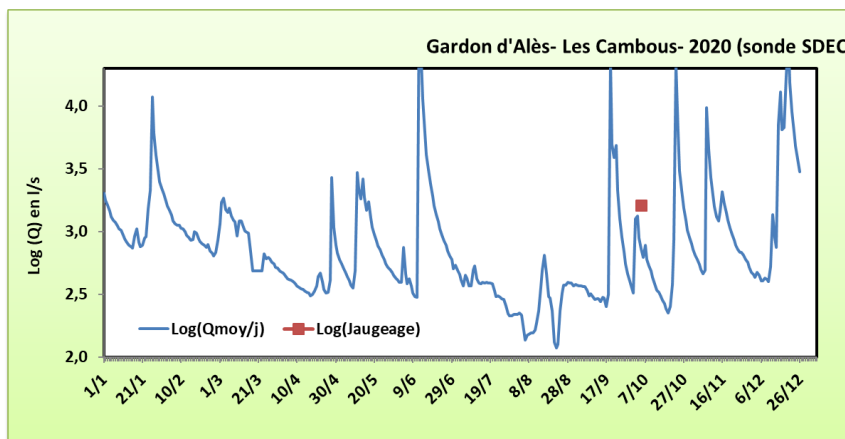


Moyennant une transformation logarithmique des hauteurs et des débits, on obtient une relation linéique. Il devient ensuite difficile de jauger au-dessus de 150 cm avec la méthode par dilution, car il faudrait injecter beaucoup de sel et la lecture du niveau, par l'intermédiaire d'une échelle mobile, devenant impossible. Les débits donnés pour les crues sont très spéculatifs.

8.1.5 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

Sur cet hydrogramme il est possible de trouver un débit minimum (118,8 +/- 0,8 l/s le 22/08/2020), mais celui-ci ne peut s'analyser comme un étiage. Il s'agit d'un débit « anthropique ».

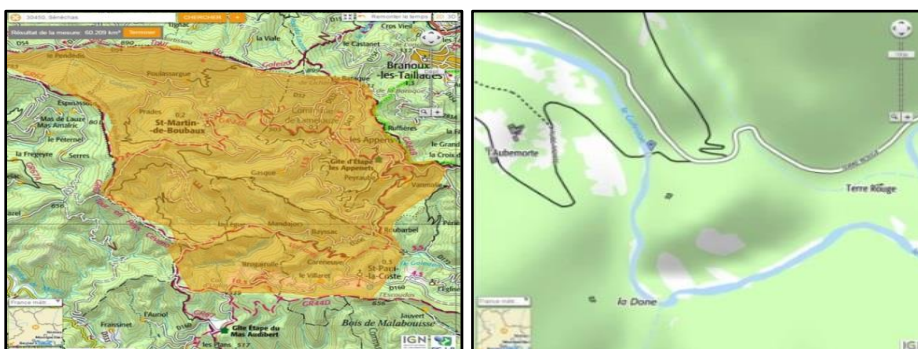
FIG.91 — HYDROGRAMME DU GARDON D'ALÈS À LA STATION DES CAMBOUS DE 2020 (SONDE SDEC)



8.2 Le Galeizon à l'Aube morte

Surface drainée 61 km². Longitude 3°58' 57,9"E. Latitude 44°10' 11,9"N. Altitude 189 m (Fig.92)

FIG.92 — BASSIN VERSANT ET CARTE DE LOCALISATION DE LA STATION DE L'AUBE MORTE SUR LE GALEIZON (D'APRÈS COPIES D'ÉCRAN DE GÉOPORTAIL – IGN)



8.2.1 Présentation de la station

La station sur le Galeizon à l'Aube morte, sur terrain schisteux, est la reprise d'une ancienne station hydrométrique du Conseil départemental du Gard dont nous avons réutilisé tant le système de puits et de caisson de l'ancien liminigraphe à flotteur ainsi que le seuil qui est en béton, mais érodé par endroits (Fig.93).

Le dispositif de mesures se trouve en rive gauche. Contrairement à ce que nous avons pu espérer, ce seuil maçonné n'est pas étanche à sa base (existence d'un renard). Il faut donc tenir compte de sous écoulements. Le seuil pour les débits d'étiages ou de basses eaux, de section rectangulaire, a été détérioré au fil du temps (surcreusement formant gouttière). Cependant, et après les échanges que nous avons eus avec le Syndicat Mixte des Hautes Vallées Cévenoles et l'EPTB Gardons, il a été décidé de ne pas en modifier la forme.

Un site à l'aval présente une section resserrée et canalisée dans un goulet de schistes. Il a servi pour réaliser les jaugeages depuis l'étiage 2015. Ce site se prête bien aux mesures fines. Nous l'avons repris en 2020 pour estimer les très faibles débits.

Le site sert aussi maintenant de lieu de formation (IMT Mines Alès – Avignon université – UMR ESPACE, etc.). Différentes manipulations y sont donc réalisées lors de certaines phases hydrologiques (tarissement, moyennes eaux...). De plus ce site sert de lieu test pour évaluer les différents systèmes de mesure de débit (sondes...). Pour ces raisons et bien d'autres (vallée peu anthropisée d'intérêt écologique évident, taille du bassin versant drainé, type de lithologie, etc.), nous continuerons à gérer ce site pendant quelque temps à des fins de recherche. Dans cette perspective l'équipement en place dans ce bassin versant sera amené à être modifié. En particulier nous devrions chercher à mesurer la pluie tombant dans le bassin.

FIG.93 — STATION DU GALEIZON À L'AUBE MORTE — À GAUCHE, SEUIL ; AU CENTRE, ÉCHELLE LI MINIMÉTRIQUE ET TUBES ABRITANT LES SONDES MINI DIVER ET LEVELOGGER ; À DROITE, STATION VUE DEPUIS LE SEUIL VERS L'AVAL

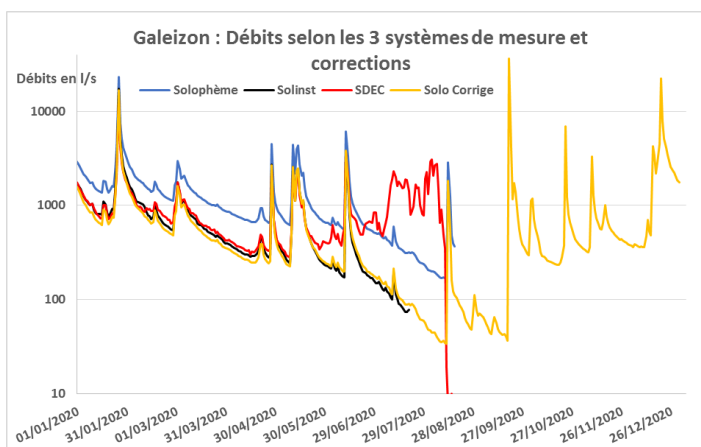


Ce site est donc multi équipé ce qui permet des vérifications comme nous allons le voir.

8.3 Problèmes de mesure et pannes de matériels

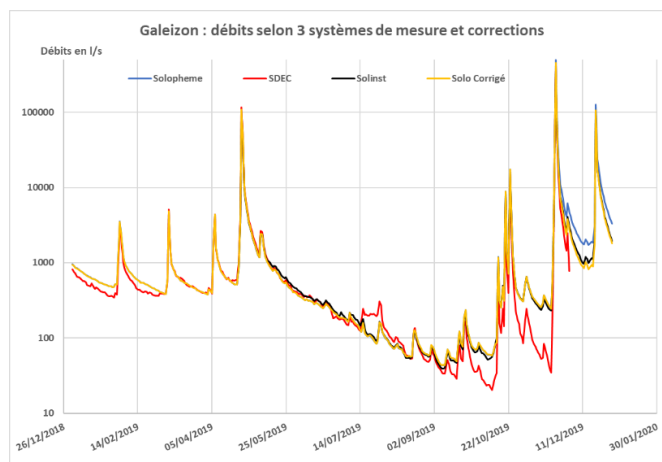
La chronique acquise grâce à une sonde Sdec (Fig.94) a montré une évolution problématique ; les débits augmentant alors qu'ils auraient dû baisser. De plus les chroniques obtenues avec la sonde Solinst et avec le Solophème divergeaient de plus en plus. Pour faciliter les choses, la sonde Solinst est tombée en panne courant juillet.

FIG.94 — GALEIZON : DÉBITS MESURÉS SUR L'ANNÉE 2020 PAR TROIS SYSTÈMES DE MESURE



Si l'évolution de la sonde Sdec correspond à une défaillance progressive de la sonde (ce qui est assez rare) qui a dû être remplacée, la divergence entre la sonde Solinst et le Solophème a conduit à réanalyser la chronique de 2019 (Fig.95).

FIG.95 — GALEIZON : DÉBITS MESURÉS SUR L'ANNÉE 2019 PAR TROIS SYSTÈMES DE MESURE



Cette réanalyse montre que la sonde Sdec avait déjà des problèmes avec une tendance à la minimisation des débits (courbe rouge). La courbe issue du Solophème (en bleu), à partir de la crue de fin novembre, a commencé à s'écarter de celle obtenue avec la sonde Solinst (courbe noire). Ceci est dû à un problème de recalage de la sonde Keller immergée à demeure.

Lors de fortes crues et donc lors d'importantes hauteurs d'eau, et cela même si la limite de charge de la sonde n'est pas atteinte, la sonde immergée peut se décaler, dans le cas présent de 6,2 cm. Si ce problème n'est pas perçu, les débits obtenus divergent de ceux calculés par d'autres moyens.

En recalant la chronique issue du Solophème, on arrive alors à une superposition des mesures réalisées avec la sonde Solinst et avec le Solophème (courbe orange). Ce dernier, constitué d'une sonde immergée de haute précision et d'un boîtier enregistreur externe, est classiquement envisagé comme le système le plus performant, sauf dans de tels cas. Dans les problèmes que pose aussi ce système il faut rappeler les décalages d'horloge. Cela nécessite, systématiquement, pour chaque récupération de données, d'intégrer un traitement visant à comparer une chronologie standard à celle créée par le Solophème et à faire les corrections nécessaires, généralement en début d'enregistrement.

Le Solophème a connu en outre une panne d'enregistrement entre le 6/10 et le 22/11 sans qu'il ait été possible d'en déterminer l'origine. La chronique des hauteurs d'eau a donc dû être complétée par celles enregistrées par un EDA (matériel succédant au Solophème) en test à la station à partir du 8/10. Les journées manquantes ont été recalculées en utilisant un modèle logarithmique. Pour terminer, la sonde du Solophème a fortement de nouveau décalé lors de la crue du 20/12. Ceci a donc nécessité un nouveau recalage à la main de la chronique postérieure des hauteurs d'eau.

Le recalage de la chronique, tout comme d'ailleurs l'effacement éventuel, par exemple, de montées du niveau de l'eau liées à des barrages construits par des estivants, s'effectue toujours sur les données brutes de hauteur d'eau au pas de l'enregistrement. Ces données sont ensuite normées grâce à la relation empirique établie entre la hauteur d'eau enregistrée par la sonde et la hauteur d'eau lue au niveau de l'échelle limnimétrique. On arrive ainsi à des hauteurs normées, lesquelles sont transformées en débits grâce à la courbe de tarage. Toutes ces opérations sont effectuées au pas de temps de la mesure, ici 5 min. Ce n'est qu'ensuite, selon les besoins, que des valeurs correspondant à des pas de temps différents (1 h, 12 h, 24 h, etc.) sont calculées.

De même le système technique est conçu de telle façon que tout ajout d'un jaugeage dans la liste de ceux qui permettent de calculer la courbe de tarage, non seulement modifie ladite courbe, mais permet aussi un recalcul automatique des débits, tant de l'année en cours, que des années précédentes. Ceci prenant fin, en particulier, quand la station se voit très affectée par une crue qui en change la section, mais ce qui n'est pour le moment pas le cas sur le Galeizon à l'Aube morte.

Ces différents problèmes ont donc conduit à changer plusieurs matériels au cours de l'année 2020 et à un très lourd travail de production de débits.

FIG.96 — CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MATÉRIEL À LA STATION DU GALEIZON À L'AUBE MORTE

<i>Sonde</i>	<i>Donnée produite</i>	<i>Mise en place (TU)</i>	<i>Récupération (TU)</i>	<i>N° sonde</i>	<i>Fréquence de la mesure</i>
Mini Diver 0-10 m	Pression de l'eau Débit et T (°C)	21/09/2020	HS	V 0872214	5 min
Mini Diver 0-10 m	Pression de l'eau Débit et T (°C)	21/09/2020	31/12/2020	BW021	5 min
Solinst	Pression de l'eau Débit et T (°C)	21/09/2020	HS	210 728 30	5 min
Baro Diver	Pression atmosphérique	08/04/2015	HS	U 0166	5 min
Baro Diver	Pression atmosphérique	21/09/2020	31/12/2020	BE163	5 min
Baro Solinst	Pression atmosphérique	16/07/2020	31/12/2020	204 38 33	5 min
Solophème	Niveau d'eau	25/04/2017	31/12/2020	SS 2234	5 min
EDA 151	Niveau d'eau	08/10/2020	31/12/2020	SS 3198	5 min

Le tableau (Fig.96) montre que tous les systèmes peuvent être affectés par des pannes, mais que globalement ce sont les sondes autonomes immergées qui sont le plus sujettes à des problèmes. Les sondes barométriques sont plus résistantes — la baro Diver Sdec a fonctionné par exemple 5 ans — mais les enregistreurs Solophème sont aussi exposés à des pannes. À l'Aube morte, l'enregistreur est dans le logement de l'ancien enregistreur limnigraphique afin de bénéficier du puits de tranquillité. Ceci a pour conséquence que l'appareil subit des variations de température entre l'été et l'hiver, importantes, voire notables dans une même journée. Il est peu probable que ces différences thermiques soient sans conséquence sur la longévité de ces matériels. Un aménagement particulier devra donc être envisagé.

La station de l'Aube morte sur le Galeizon étant une station pérenne et proximale elle reçoit des visites fréquentes, particulièrement en été.

8.3.1 Chronique de récupération des données

Les données sont relevées périodiquement au cours de l'année, sauf quand le niveau de l'eau est trop élevé. IL n'est alors pas possible d'atteindre les sondes immergées ; le Solophème étant lui normalement hors d'eau, et accessible, même en cas de crue importante.

La figure 97 indique également les relevés qui précèdent la campagne d'étiage (avant le 17 juin). Après cette date les suivis ont été faits tous les 15 jours jusqu'au début septembre. La chronique est complète pour les enregistrements obtenus avec le Solophème, alors qu'on enregistre des problèmes pour les deux autres sondes (panne, etc.).

FIG.97 — Périodes de fonctionnement des sondes de la station de l'Aube morte sur le Galeizon du 1 janvier au 31/12/2020

EDA

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
21/07/2020	31/12/2020	9 h 30	23 h 55	5 min

Solophème

<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>H début (TU)</i>	<i>H fin (TU)</i>	<i>Observations</i>
01/01/2020	16/04/2020	0 h	10 h	5 min
16/04/2020	17/06/2020	10 h 5	11 h 15	5 min
17/06/2020	06/07/2020	10 h 52	8 h 30	5 min
07/07/2020	21/07/2020	8 h 30	8 h 50	5 min
21/07/2020	04/08/2020	8 h 50	9 h 16	5 min
04/08/2020	18/08/2020	9 h 16	8 h 40	5 min
18/08/2020	25/08/2020	8 h 40	7 h 45	5 min
25/08/2020	01/09/2020	7 h 45	9 h 15	5 min
01/09/2020	21/09/2020	9 h 15	13 h 15	5 min
08/10/2020	31/12/2020	13 h 10	23 h 55	5 min

8.3.2 Tableau des jaugeages

En 2020, deux jaugeages au sel ont été réalisés (Fig.98) en fin de tarissement.

FIG.98 — JAUGEAGES RÉALISÉS À LA STATION DE L'AUBE MORTE SUR LE GALEIZON.

<i>Date</i>	<i>Heure</i>	<i>Technique</i>	<i>Qualité</i>	<i>H (cm)</i>	<i>Q (l/s)</i>	<i>Conductivité (µS/cm)</i>	<i>Équipe</i>
25/08/2020	7 h 20	Dilution	Cohérent	43,5	89,7	107,2	NG — LR
01/09/2020	9 h 15	Dilution	Cohérent	44,5	102,1	108,6	PM — JMD

8.3.3 Hydrogramme et éléments de fonctionnement

Les données présentées dans ce rapport concernent la centrale Solophème et le capteur de pression Keller 0-4 m (Fig.4).

Pour la période de suivi de l'étiage, l'hydrogramme semi-logarithmique des débits (Fig.99) montre une allure assez classique, avec une récession continue entre le début de juillet et la mi-août. Comme lors de plusieurs années la décroissance des débits est plus qu'exponentielle. Dans un tel cas, les valeurs devraient s'aligner selon une droite dans un graphique bilogarithmique. Sur l'hydrogramme de 2020, on voit clairement une convexité qui indique une vidange plus rapide des aquifères qu'une baisse exponentielle des débits. Une analyse plus fine pourrait peut-être permettre d'ajuster deux segments de droite et donc d'envisager que deux sources d'eau, en régime non influencé (sans pluies) alimentent le flux au niveau de la station.

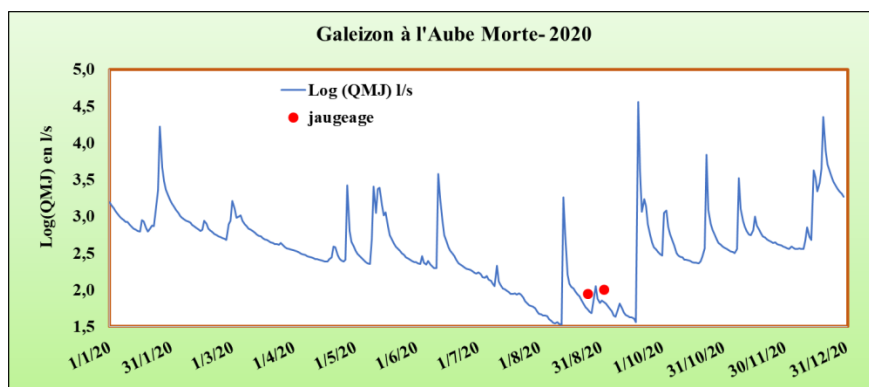
Le tarissement ne débute toutefois qu'après la crue de la mi-juin (12/6/20) qui a été dévastatrice sur le Gardon d'Anduze, mais assez limitée sur le Gardon d'Alès et sur le Galeizon. Ensuite, le Galeizon a connu une crue qui a remonté un peu les débits. Cette phase de basses eaux se clôturant par la crue, elle aussi très problématique sur le Gardon d'Anduze, de la mi-septembre (19/9/20).

L'étiage *sensu stricto* se produit le 12 août, avec un débit moyen en 24 heures de 34 l/s +/- 0,2 l/s et en trois jours du 10 au 12 août, de 35 +/- 0,3 l/s, ce qui correspond à des débits spécifiques de 0,5 l/s/km². Mais à la mi-septembre les débits sont du même ordre, très légèrement supérieur. La sortie définitive du cycle s'effectue vraiment avec la crue du 19 septembre. À cette date on mesure un débit moyen journalier de 38,5 m³/s et un débit

de pointe vers 14h 15 d'environ 397 m³/s (et une hauteur d'eau normée de 1,96 m). La décroissance des débits et ensuite très rapide ce qui indique bien que la recharge des aquifères, par cette crue, a été limitée.

L'automne et l'entrée dans l'hiver verront une suite de crues assez modestes sauf celle plus notable de mi-décembre.

FIG.99 — DÉBITS MOYENS JOURNALIERS DU GALEIZON (GARDON D'ALÈS) À LA STATION DE L'AUBE MORTE DU 1^{ER} JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 2020 — CALCUL À PARTIR DES DONNÉES DU SOLOPHÈME



9 Conclusions générales

La sixième campagne de 2020 a été marquée par des événements hydrologiques majeurs (en juin et en septembre) qui devront être étudiés en détail.

La crue de juin, si elle a été dévastatrice pour nos installations dans la Gardon d'Anduze a été aussi un apport très important d'eau sans laquelle, l'été 2020, en certains lieux du bassin du Gardon, aurait été très problématique.

Les pertes en matériels comme le montrent les tableaux ci-dessus ont été très importantes. Après la crue de juin, les réinstallations ont été réalisées avec des matériels de secours dont nous disposions. Par ailleurs en bien des points du réseau hydrographique le travail morphologique a été tel que, sauf cas particulier (seuils rocheux) toutes les courbes de tarage ont été au moins à vérifier et dans bien des cas à reconstruire. Ceci réduit la qualité des données produites dans certains cas.

À ces problèmes liés aux caprices de la nature se sont ajoutées bien des difficultés liées au mauvais fonctionnement des sondes, de tous les types de matériel. À ce titre l'exemple qui a été développé ci-dessus de la situation à l'Aube morte sur le Galeizon est fort pédagogique. La chronique n'a pu être produite qu'en mettant en œuvre 4 systèmes de mesure (sondes SDEC et Solinst, Solophème et EDA 151, ce dernier n'étant là qu'à titre de test).

Bien évidemment tout cela a dû être réalisé dans le cadre des restrictions d'action et de circulation liées à la Covid-19 et en se passant, en outre, de l'apport d'un ingénieur expérimenté. Si on considère toutes ces difficultés, les résultats obtenus sont presque inespérés.

Dans tous les cas l'année 2020 montre un éventail de difficultés peu prévisibles qu'une gestion telle que celle de l'EPTB Gardons s'apprête à engager, doit considérer avec attention.

10 Tableaux en annexe (mesure limnimètre du 13/06 au 19/09)

<i>Code station</i>	<i>Rivière</i>	<i>Station lieu-dit</i>	<i>Surface drainée k m²</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Mesure Limnimètre</i>	<i>Mesure conductivité</i>	<i>Mesure température</i>	<i>Résolution maxi de travail</i>
LASS	Salindrenque	Lasalle — le moulin de La Roque	38	3° 52'10.3"E	44° 02'39.8"N	219	1 Keller 0-2 m 1 Solophème	Non	oui	5 min
THOI	Salindrenque	Thoiras	68	3° 56'04.2" E	44° 03'57.7" N	155	1 mini Diver 0-10 m 1 Keller 0-2 m 1 Solophème	Non	oui	5 min
SAVA	Gardon Saint-Jean	Saint-André de V	29	3° 41'26.6" E	44° 09'02.6" N	419	1 Keller 0-2 m 1 mini Diver 0-10 m Solophème	Non	oui	5 min
SAUM	La Borgne	Saumane	28	3° 45'42.2" E	44° 07'33.0" N	324	1 Levelogger 0-10 m	Non	oui	5 min
SJDG	Gardon Saint-Jean	Saint-Jean du Gard	145	3° 52'22.1" E	44° 06'44.0" N	186	1 mini Diver 0-10 m	Non	oui	5 min
SCVF	Gardon Sainte-Croix	Le Martinet	97	3° 50'27.4 "E	44° 10'11.9" N	231	1 mini Diver 0-10 m	Non	oui	5 min
SEVF	Gardon Mialet	Saint Étienne VF	80	3° 50'22.0" E	44° 10'11.9" N	239	1 Keller 0-2 m Solophème	Non	oui	5 min
ROUC	Gardon Mialet	Roucan	224	3° 58'04.3" E	44° 04'46.5" N	235	1 mini Diver 0-10 m 1 Levelogger 0-10 m	Non	oui	5 min
GALE	Galeizon	Aube morte	61	3° 58'57.9" E	44° 10'11.9" N	189	1 mini Diver 0-10 m 1 Levelogger 0-10 m 2 Keller 0-2 m Solophème EDA 151	Oui panne au 12/2/20	oui	5 min
CAM	Gardon d'Alès	Cambous	113	3° 59'19.8" E	44° 14'02.0" N	203	1 mini Diver 0-10 m 1 Levelogger 0-10 m	Non	oui	5 min

Les débits sont donnés à 0 h TU

Ce sont les débits moyens journaliers calculés sur la base de mesures à 5 min

	<i>Débit minimal sur la CT l/s</i>	<i>Débit maximal sur la CT l/s</i>	<i>2020 Date début</i>	<i>2020 Date Fin</i>	<i>Q moy/jour minimorum l/s</i>	<i>Intervalle confiance l/s</i>	<i>Q moy/jour minimorum l/s/km²</i>	<i>Q moy/étiage sur 3 jours l/s</i>	<i>Intervalle confiance l/s</i>	<i>Q moy étiage sur 3 jours l/s/km²</i>	<i>Station Lieu-dit</i>
HGLasalle	14	3876	12/05/2020	01/09/2020	34	+/-0,2	0,89	36	+/-0,5	0,95	Lasalle
HGTThoiras	57	3053	12/05/2020	01/10/2020	58	+/-0,4	0,85	60,9	+/-0,5	0,89	Thoiras
HGStAV	40	531	15/05/2020	18/09/2020	59	+/-0,3	2,04	60,1	+/-0,1	2,07	Saint-André de Valborgne
HGSaumane	27	3123	18/05/2020	31/08/2020	64,1	+/-0,15	2,30	64,5	+/-0,02	3,30	Saumane
HGSt Jean	113	9131	18/05/2020	18/09/2020	149	+/-2,5	1,02	165	+/-2	1,13	Saint-Jean du Gard
HGMartinet	65	4103	15/05/2020	01/09/2020	271	+/-0,99	2,79	290,8	+/-1,59	2,99	Le Martinet
HGStEVF	93	4070	15/05/2020	31/08/2020	262	+/-1,33	3,27	276,1	+/-1,19	3,45	Saint Étienne VF
HGRoucan	275	3278	25/05/2020	01/10/2020	104	+/-2,6	0,47	138,5	+/-4,5	0,61	Roucan
HGaleizon	45	4395	01/01/2020	31/12/2020	34	+/-0,2	0,55	35,0	+/-0,2	0,55	Aube morte
HGCambous	259	8060	101/01/2020	31/12/2020	-	-	-	-	-	-	Cambous