



Travail de fin d'études

pour le diplôme d'ingénieur de l'École nationale des travaux publics de l'État

Année 2023-2024

Voie d'approfondissement :
CELVN

Soutenu le 30 août 2024

Devant le jury composé de :

- Président du Jury : Monsieur Raphaël Santos
- Maître de TFE : Madame Cloé Garrel
- Expert : Monsieur Nicolas Picot

Par

Basile Dravigny

**Mise en place de stations hydrométriques participatives sur
des cours d'eau du plateau de l'Aubrac**

**Organisme d'accueil :
Parc Naturel Régional de l'Aubrac**



Notice analytique

AUTEUR			
Nom	Dravigny		
Prénom	Basile		
ORGANISME D'ACCUEIL			
Nom de l'organisme et Localité	Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion du Parc Naturel Régional de l'Aubrac, Aubrac		
Nom du Tuteur	Garrel		
ANALYSE DU TFE			
Titre (français)	Mise en place de stations hydrométriques participatives sur des cours d'eau du plateau de l'Aubrac		
Titre (anglais)	Installation of participatory hydrometric stations on some watercourses on the Aubrac plateau		
Résumé (français)	<p>Ce travail de fin d'études présente dans un premier temps le Parc Naturel Régional de l'Aubrac. De plus, différentes méthodes de mesure de débits et différents types de stations hydrométriques sont traités dans ce rapport. Ensuite, la procédure de mise en place de stations hydrométriques participatives est présentée. Enfin, des résultats de jaugeages sont proposés et soumis à discussions.</p>		
Résumé (anglais)	<p>This end-of-study report begins by presenting the Aubrac Regional Nature Park. It also discusses the different methods of measuring flows and the different types of hydrometric stations. Next, the procedure for setting up participatory hydrometric stations is presented. Finally, the results of gauging are presented and discussed.</p>		
Mots-clés (français, 5 maxi)	Rivière, échelle limnimétrique, débit, règle à jauger, science participative.		
Mots-clés (anglais, 5 maxi)	River, water level gauge, flow, gauging pole, participatory science.		
Termes géographiques (français)	Plateau de l'Aubrac, tête de bassin versant, moyenne montagne		
COLLATION			
	Nb de pages	Nb d'annexes (nb de pages)	Nb de réf. biblio.
	42	10	17

Déclaration de travail personnel

Je déclare que ce rapport constitue l'aboutissement d'un travail personnel et ne peut être suspecté de plagiat.

Le travail présenté distingue explicitement ce que j'ai produit de ce que j'ai emprunté à d'autres. A ce titre, les citations sont clairement identifiables et les sources (écrits, images) qui ont alimenté ma réflexion sont référencées.

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Monsieur Olivier GUIARD, directeur du PNR Aubrac, qui m'a permis de réaliser ce stage, et m'a accueilli au sein de sa structure. Monsieur Jean-Baptiste BARTHELEMY, qui fut mon premier tuteur et m'a accompagné durant la première moitié de mon stage. Madame Cloé GARREL, qui fut ma tutrice au PNR Aubrac par la suite, ainsi que tout le service du pôle Patrimoine Naturel. D'une façon générale, je suis reconnaissant à tous les agents du PNR Aubrac pour leur accueil et ma bonne intégration au sein des services.

De plus, je remercie particulièrement Monsieur Nicolas PICOT, du Centre National d'Etudes Spatiales, qui m'a conseillé au cours de ce travail, et dont la structure a été un partenaire important pour l'aboutissement du projet.

Aussi, je souhaite remercier Messieurs Brice MOURIER et Raphaël SANTOS qui ont été disponibles lorsque c'était nécessaire à l'ENTPE, ainsi que les personnes ayant contribué à l'organisation de ce stage.

Enfin, une reconnaissance particulière pour les élus du PNR Aubrac, qui m'ont bien accueilli et ont été réceptifs à mes requêtes durant mon stage.

Sommaire

Notice analytique	2
Déclaration de travail personnel.....	3
Remerciements.....	4
Sommaire.....	5
Liste des illustrations.....	7
1. Contexte et présentation du PNR.....	8
1.1 Le PNR : un territoire et une structure.....	8
1.2 Le fonctionnement du SMAG du PNR de l'Aubrac	9
1.2.1 Le Comité Syndical	9
1.2.2 Le Conseil Scientifique.....	9
1.2.3 L'Equipe Technique	9
1.3 Présentation de l'organisation des différents pôles.....	10
2. Objectifs du stage et problématique.....	12
2.1 Les objectifs.....	12
2.2 Problématisation.....	12
3. Etat de l'art.....	13
3.1 Différentes méthodes de mesure.....	13
3.1.1 Les méthodes dynamiques	13
3.1.2 Les méthodes physiques	13
3.1.3 Les méthodes cinématiques	14
3.2 Différentes stations hydrométriques	19
3.2.1 Stations standard	19
3.2.2 Stations ultrasonores.....	19
3.2.3 Stations électromagnétiques.....	20
3.2.4 Stations hydrométriques participatives	20
4. Mise en place du projet	21
4.1 Préparatifs et phase amont	21
4.1.1 Définition des stations	21
4.1.2 Dialogue avec les différents partenaires	24
4.2 Installation des stations	27
4.2.1 Station hydrométrique de Nasbinals.....	27
4.2.2 Station hydrométrique de Chaudes-Aigues.....	28
.....	29
4.2.3 Station hydrométrique de Soulages-Bonneval	29
4.2.4 Station hydrométrique d'Argences-en-Aubrac.....	30
4.2.5 Station hydrométrique du Buisson	31

5. Mesures de débits	32
5.1 Jaugeages	32
5.1.1 Journée de comparaison des jaugeages.....	32
5.1.2 Jaugeages sur la station de Nasbinals	33
5.1.3 Jaugeages sur la station de Chaudes-Aigues	35
5.1.4 Jaugeages sur la station de Soulages-Bonneval.....	36
5.2 Discussion des résultats de jaugeage et solutions	37
5.2.1 Discussion des résultats	37
5.2.2 Proposition de solutions.....	38
Conclusion.....	41
Références bibliographiques	43
Annexes.....	44

Liste des illustrations

Figure 1 : Carte présentant les différentes emprises départementales du territoire du PNR de l'Aubrac (source : auteur)	8
Figure 2 : Organigramme de l'équipe technique (source : auteur)	10
Figure 3 : Organigramme du pôle Patrimoine Naturel (source : auteur)	11
Figure 4 : Schéma d'un déversoir en mince paroi rectangulaire (source : auteur)	13
Figure 5 : Courbe Conductivité/Concentration en fonction du temps (source : auteur)	14
Figure 6 : Illustration d'un aménagement pour une mesure par capacité. (Contrôle des débits réglementaires, ONEMA, 2011) [5]	15
Figure 7 : Exemple de moulinet (OTT Hydromet) [15]	16
Figure 8 : Exemple de sonde électromagnétique (OTT Hydromet) [15]	16
Figure 9 : Exemple de profileur ADCP. (Contrôle des débits réglementaires, ONEMA, 2011) [7]	17
Figure 10 : Exemple de règle à jauger (source : auteur)	18
Figure 11 : Illustration de la charge dynamique sur la règle à jauger. (INRAE, Règle à jauger) [16]	18
Figure 12 : Carte des 82 stations hydrométriques du projet OECS. (OECS) [17]	20
Figure 13 : Exemple d'échelle limnimétrique (source : auteur)	21
Figure 14 : Carte des points d'intérêts à l'issue de la sélection dans un rayon de 100m (source : auteur)	22
Figure 15 : Carte des points de croisement entre les itinéraires de randonnée et de VTT, les routes principales et les cours d'eau sur le plateau de l'Aubrac (source : auteur)	22
Figure 16 : Carte localisant les 5 stations hydrométriques participatives (source : auteur)	23
Figure 17 : Aspect final du panneau informatif accompagnant les stations hydrométriques participatives (source : auteur)	25
Figure 18 : Echelle limnimétrique de la station de Nasbinals (source : auteur)	27
Figure 19 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Nasbinals (source : auteur)	28
Figure 20 : Echelle limnimétrique de la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)	28
Figure 21 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)	29
Figure 22 : Echelle limnimétrique de la station de Soulages-Bonneval (source : auteur)	29
Figure 23 : Echelle limnimétrique de la station de Sainte-Geneviève-sur-Argence (source : auteur)	30
Figure 24 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Sainte-Geneviève-sur-Argence (source : auteur)	30
Figure 25 : Echelle limnimétrique du Buisson (source : auteur)	31
Figure 26 : Résultats de la journée de comparaison des jaugeages (source : auteur)	33
Figure 27 : Résultats des jaugeages à la station de Nasbinals (source : auteur)	33
Figure 28 : Données d'étalonnage du conductimètre (source : auteur)	34
Figure 29 : Courbe d'étalonnage du conductimètre (source : auteur)	34
Figure 30 : Résultats des jaugeages par dilution de sel (source : auteur)	35
Figure 31 : Résultats des jaugeages à la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)	36
Figure 32 : Résultats du jaugeage à la station de Soulages-Bonneval (source : auteur)	36
Figure 33 : Comparaison des deux méthodes de jaugeage à la station de Nasbinals (source : auteur)	37
Figure 34 : Comparaison des résultats de jaugeage aux valeurs données par la station de la DREAL (source : auteur)	37
Figure 35 : Schéma de la mesure en présence d'une charge dynamique turbulente (source : auteur)	39

1. Contexte et présentation du PNR

1.1 Le PNR : un territoire et une structure

Un Parc naturel régional est un outil de développement territorial orienté vers la valorisation des richesses naturelles, culturelles (savoir-faire, histoire, bâti...) et paysagères. Il est géré par un SMAG, Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion, regroupant les collectivités publiques du territoire. Il doit garantir un juste équilibre entre le développement économique et social, la valorisation et la préservation des patrimoines. Peut être classé Parc naturel régional un territoire rural aux paysages, au patrimoine culturel et aux milieux naturels de grande qualité, mais dont l'équilibre est fragile.

La création du Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion du Parc naturel régional de l'Aubrac est l'aboutissement d'une large concertation engagée depuis 2002 avec l'ensemble des collectivités et des organismes professionnels du territoire. Le massif de l'Aubrac a été classé Parc naturel régional par décret du 1er ministre le 23 mai 2018 [1] (dans la suite du rapport, les numéros entre crochets renvoient aux références bibliographiques page 43).

Le territoire du PNR de l'Aubrac est assimilable à l'entité géologique du plateau de l'Aubrac, limitée au Nord par la vallée de la Truyère, au Sud par la vallée du Lot et à l'Est par la vallée de la Colagne (rivière affluente du Lot). Ce territoire est constitué d'une partie des 3 départements suivants : Cantal, Lozère et Aveyron. C'est une zone de moyenne montagne, dont l'altitude varie entre 220m à Entraygues-sur-Truyère, ville où la Truyère se jette dans le Lot, et 1469m au Signal de Mailhebiau.

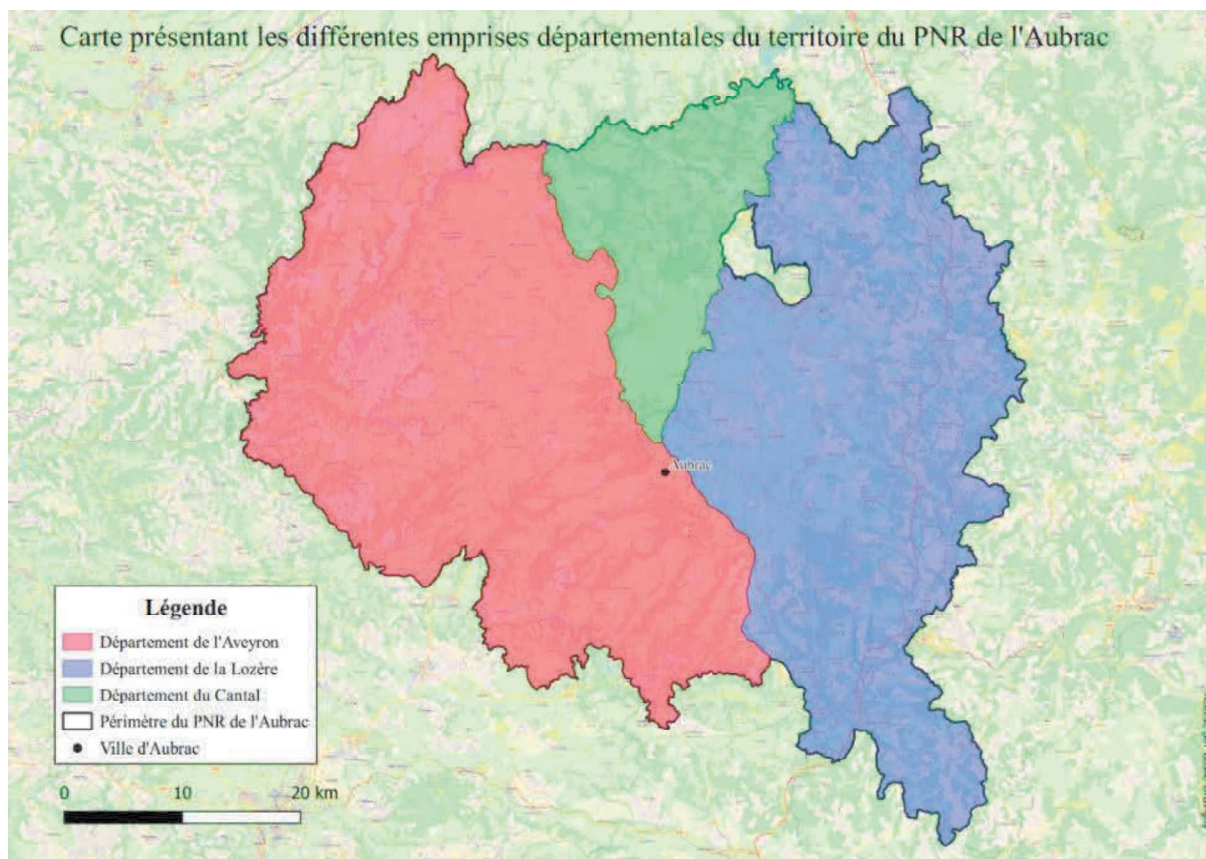


Figure 1 : Carte présentant les différentes emprises départementales du territoire du PNR de l'Aubrac (source : auteur)

1.2 Le fonctionnement du SMAG du PNR de l'Aubrac

Le SMAG du PNR de l'Aubrac est composé de 3 groupes de personnes ayant des rôles différents au sein du parc.

1.2.1 Le Comité Syndical

Le Parc est administré par un Comité syndical organisé en collèges et composé des représentants élus des collectivités et de leurs groupements adhérant au Syndicat mixte. Le Comité Syndical est composé de 115 membres, qui représentent 78 communes, 6 communautés de communes, 3 départements et 2 régions.

Le Comité syndical se réunit en session ordinaire au moins une fois par semestre. Il gère, par ses délibérations, les affaires relevant des missions du syndicat mixte. Il vote le budget, administre les biens, crée les emplois, approuve le compte administratif, examine les comptes-rendus d'activité et se prononce sur toutes les questions, notamment statutaires, relevant de sa compétence.

1.2.2 Le Conseil Scientifique

Dans les chartes de Parcs naturels régionaux, le Conseil Scientifique et Prospectif (CSP) fait partie des instances obligatoires dans la gouvernance du syndicat mixte, il a un rôle consultatif auprès du comité syndical et du bureau syndical. Les élus et techniciens du Parc peuvent mobiliser le CSP pour apporter une vision scientifique sur les actions quotidiennes mais le groupe peut également s'auto-saisir de thématiques qui n'auraient pas été identifiées.

Le Conseil Scientifique et Prospectif, composé aujourd'hui de 14 membres, se réunit au moins 2 fois par an en assemblée plénière. Selon les sollicitations, actions et disponibilités des membres, des réunions ou des rencontres peuvent être organisées en plus des 2 plénières annuelles.

Le Parc de l'Aubrac est en charge de son animation, il se pose comme une interface et un facilitateur entre le monde de la recherche et le territoire de l'Aubrac. L'intérêt du Conseil scientifique et prospectif est de faire correspondre les enjeux des scientifiques avec les besoins du territoire.

1.2.3 L'Equipe Technique

L'équipe technique regroupe tous les agents du PNR de l'Aubrac, qui travaillent sur différentes thématiques. Les agents de l'équipe technique sont au nombre de 22. Elle est constituée en 4 pôles : pôle administration et gestion ; pôle sensibilisation, culture et patrimoine ; pôle développement aménagement ; pôle patrimoine naturel. Ces pôles sont détaillés dans la partie suivante [2].

1.3 Présentation de l'organisation des différents pôles

L'équipe technique du PNR de l'Aubrac est divisée en 4 pôles, qui travaillent sur des thématiques différentes :

- Le pôle **Administration et Gestion** assure l'encadrement de l'équipe technique, le suivi administratif et financier des opérations portées par le Parc et pilote le fonctionnement général de la structure. Il prépare et anime les réunions et les décisions de l'exécutif : bureaux et comités syndicaux. En parallèle, le pôle s'investit dans les réseaux inter-parcs constitués à différentes échelles : régionales, interrégionales (Massif Central) ou nationales (Fédération française des Parcs). Il suit également en direct certains dossiers transversaux et « assure l'intérim » lors de renouvellements de postes.
- Le pôle **Sensibilisation, Culture et Patrimoine** travaille de manière transversale sur l'ensemble des actions portées par le Parc. Il favorise la connaissance du territoire, de ses ressources et enjeux de manière ludique, didactique et sensible. Dans une logique d'approche culturelle et patrimoniale, des actions sont menées autour des paysages, du patrimoine bâti et des chemins qui marquent l'identité de l'Aubrac. Par exemple, il organise des actions éducatives auprès des structures scolaires, crée des livrets de découverte du territoire, ou organise des événements culturels.
- Le pôle **Développement et Aménagement** vise par ses actions à renforcer l'attractivité globale du territoire en accompagnant la création d'activités et d'emplois, en renforçant l'offre d'activités de pleine nature ainsi que les services aux habitants et en valorisant les productions locales.
- Le pôle **Patrimoine Naturel** travaille à concilier le développement du territoire avec la préservation du patrimoine naturel tant remarquable qu'ordinaire. Pour cela, les agents du pôle informent, sensibilisent et accompagnent les élus, propriétaires et acteurs socio-professionnels [3].

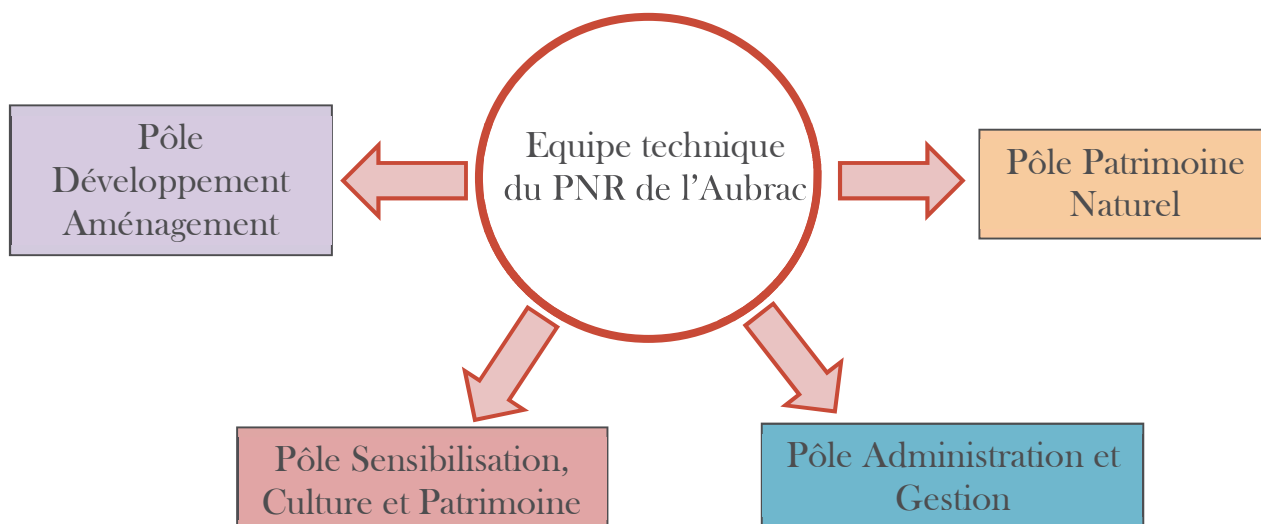


Figure 2 : Organigramme de l'équipe technique (source : auteur)

Plus particulièrement, durant mon stage, j'étais rattaché au pôle Patrimoine Naturel, dont le responsable est Monsieur Bertrand GOGUILLON. L'organigramme du pôle est présenté ci-dessous.

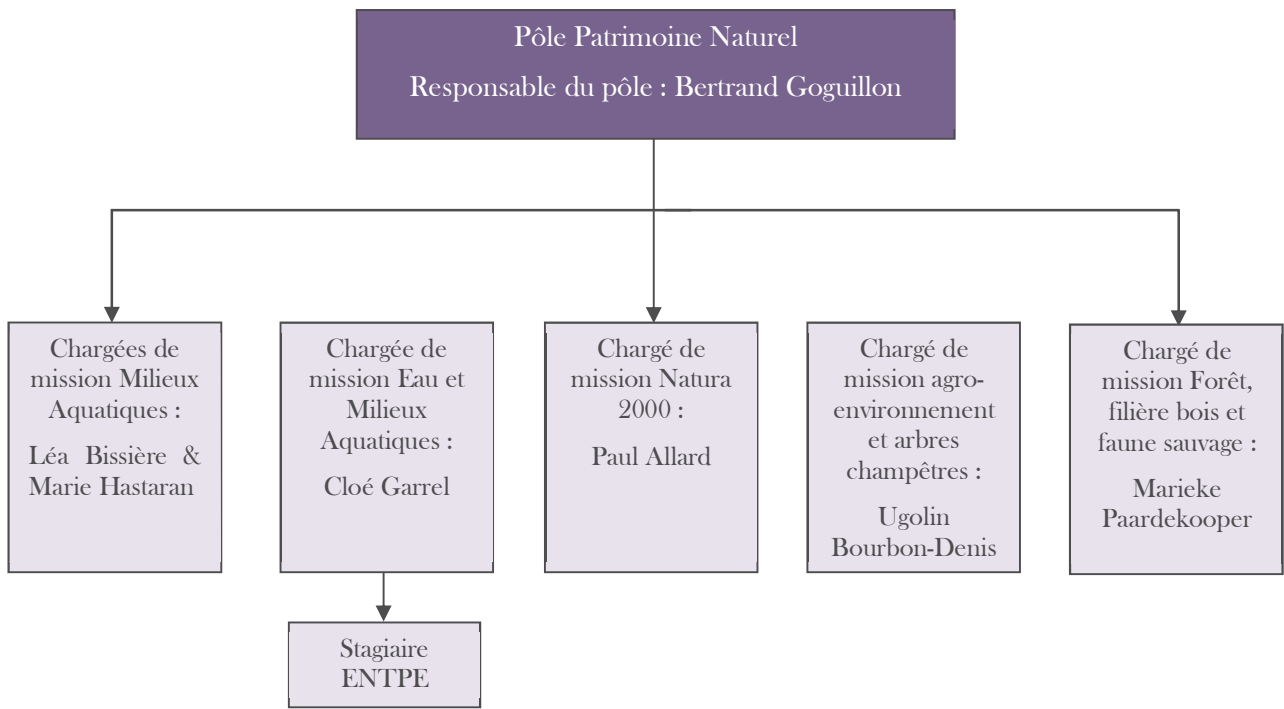


Figure 3 : Organigramme du pôle Patrimoine Naturel (source : auteur)

2. Objectifs du stage et problématique

2.1 Les objectifs

Mon stage avait pour objectif de contribuer à la mise en œuvre de la seconde version de l'Observatoire de l'Eau sur l'Aubrac dans une perspective d'amélioration de la connaissance et de suivi des milieux impactés par le changement climatique. Cette mission rentre dans le cadre de la mesure 9 de la charte du PNR de l'Aubrac qui vise à améliorer la connaissance des cours d'eau et des lacs pour mieux les préserver. Un autre objectif de mon stage était de renforcer la dynamique partenariale entre le PNR et les acteurs du secteur de l'eau sur l'Aubrac.

Plus précisément, les objectifs de mon travail de fin d'études étaient de développer un programme de science participative, ainsi que de mettre en place des stations hydrométriques sur certains cours d'eau de l'Aubrac.

2.2 Problématisation

D'abord, la délimitation géographique de mon travail s'apparente à celle du territoire du PNR de l'Aubrac. En 2022, la période estivale a été très sèche, marquée par de faibles précipitations et des cours d'eau à sec. De plus, l'Aubrac est un territoire hydrologique important, avec 2500km de cours d'eau et ruisseaux, et 17000 ha de zones humides. Il est considéré comme un véritable château d'eau pour les territoires en aval de son bassin versant, avec ses 12 millions de m³ d'eau potable délivrés en 2023. Il a également été constaté que le PNR de l'Aubrac ne produisait pas lui-même de données hydrologiques, et ne possédait donc pas, de ce point de vue, une légitimité vis-à-vis de ses partenaires (Fédérations de pêche, syndicats de rivières, DREAL...) producteurs de données (débits, thermies, biochimie, biologie...).

Il convient de définir certains termes :

Le territoire du PNR de l'Aubrac correspond au plateau de l'Aubrac, comme présenté dans la première partie de ce document. C'est un territoire d'une superficie de 1300km², marqué par différents paysages : landes, grandes forêts de hêtres, prairies, pâturages et rivières.

Une station hydrométrique est un appareillage mis en place sur un cours d'eau, qui permet d'observer et de mesurer une grandeur spécifique liée à l'hydrométrie (hauteur, débit) [4].

Les sciences participatives, ou sciences citoyennes, sont définies comme « les formes de production de connaissances scientifiques auxquelles des acteurs non-scientifiques-professionnels, qu'il s'agisse d'individus ou de groupes, participent de façon active et délibérée. » [5].

Les enjeux sont définis ici comme ce à quoi on accorde de l'importance, ce que l'on peut obtenir grâce à ce projet.

Ainsi, considérant ce contexte, la problématique de mon travail de fin d'études est la suivante :

Dans quelle mesure la mise en place de stations hydrométriques participatives sur le territoire du PNR de l'Aubrac est-elle possible, et quels en sont les enjeux ?

3. Etat de l'art

3.1 Différentes méthodes de mesure

On peut classer les différentes méthodes de mesure du débit en 3 catégories [6] :

3.1.1 Les méthodes dynamiques

Les **méthodes dynamiques**, aussi appelées **méthodes hydrauliques**, sont utilisées dans les cas où l'écoulement se fait sur des ouvrages fixes bien connus et déterminés, en principe immuables, et sur lesquels la hauteur d'eau est mesurée grâce à une règle graduée (par exemple, des vannes, des canaux, des déversoirs). En général, ces ouvrages sont bétonnés et la section hydraulique y reste donc stable dans le temps, par distinction aux berges naturelles dont la structure peut être impactée par l'érosion ou la variation saisonnière de cours d'eau par exemple.

Ainsi, pour ces méthodes hydrauliques le débit Q est connu selon une relation $Q = f(h)$ où h est la hauteur d'eau. Cette relation est issue d'essais réalisés en laboratoire ou sur site, et elle constitue le tarage de l'ouvrage. La courbe du débit en fonction de la hauteur d'eau est appelée courbe de tarage, et reste valable tant que l'ouvrage n'est pas modifié. A cause de certains événements, comme des crues, l'ouvrage pourrait être endommagé, et la courbe de tarage ne serait plus valide.

Il existe de nombreuses lois hydrauliques pour les déversoirs, les vannes et les orifices qui diffèrent en fonction de la structure de l'ouvrage. En voici un exemple pour les déversoirs en mince paroi à section rectangulaire, qui m'a été utile durant mon stage.

$$Q = C \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1,5}$$

Avec :

- Q le débit en m^3/s .
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, la constante gravitationnelle.
- b la largeur de la section du déversoir en m.
- h la hauteur d'eau au-dessus de la crête du seuil, mesurée à une distance $3h$ en amont.
- $C = 0,4 + Cr \cdot \frac{h}{p}$
- p la hauteur de pelle en m.
- $Cr = b/B$
- B la largeur du chenal d'écoulement en m.

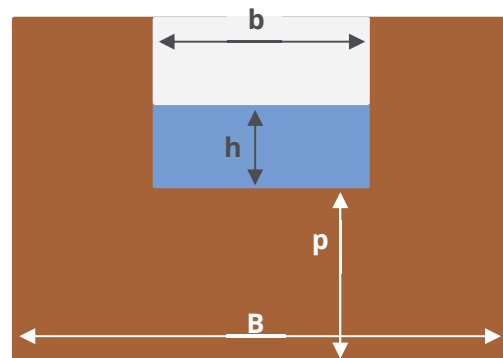


Figure 4 : Schéma d'un déversoir en mince paroi rectangulaire (source : auteur)

3.1.2 Les méthodes physiques

Au sein des **méthodes physiques**, on retrouve principalement la **méthode par dilution**. La méthode de jaugeage par dilution consiste à injecter un traceur dans le cours d'eau et à suivre l'évolution de sa concentration en aval. Le traceur est injecté sous forme d'une solution de concentration en traceur connue. L'injection du traceur peut se faire de façon instantanée (on injecte toute la solution de traceur en une fois) ou à débit constant. Cette méthode exige une certaine technicité de mise en œuvre, et il est important que le traceur soit mélangé de façon homogène au cours d'eau lorsque la mesure de concentration en aval est réalisée. Pour cela, il faut faire attention à la longueur minimale du tronçon de cours d'eau nécessaire à cette bonne homogénéisation, qui est appelée longueur de bon mélange.

Cette méthode repose sur la connaissance de la masse de traceur injectée et sur le suivi de la concentration de ce traceur. Ainsi la formule mathématique permettant de calculer le débit Q (l/s) en

fonction de la masse de traceur injectée m (g), la durée t de la mesure (s), la concentration initiale C_i (g/l) et la concentration moyenne en traceur C_m durant la mesure (g/l) est-elle :

$$Q = \frac{m}{t \cdot (C_m - C_i)}$$

En général, les traceurs utilisés sont de deux sortes : les traceurs ioniques et les traceurs fluorescents. Les plus communs sont le chlorure de sodium (sel de cuisine) et la fluorescéine. Pour suivre l'évolution de la concentration du traceur, on utilise soit un conductimètre, appareil mesurant la conductivité, pour les traceurs ioniques, ou un fluorimètre, appareil mesurant la concentration en traceur fluorescent. Lorsque l'on utilise la méthode par dilution d'un traceur ionique, il est nécessaire d'étalonner le conductimètre afin d'obtenir une relation entre la concentration en traceur dissous et la conductimétrie. On peut ensuite tracer l'évolution de la conductimétrie et de la concentration en fonction du temps. On remarque une augmentation rapide jusqu'à un pic, puis une diminution lente vers la valeur initiale.

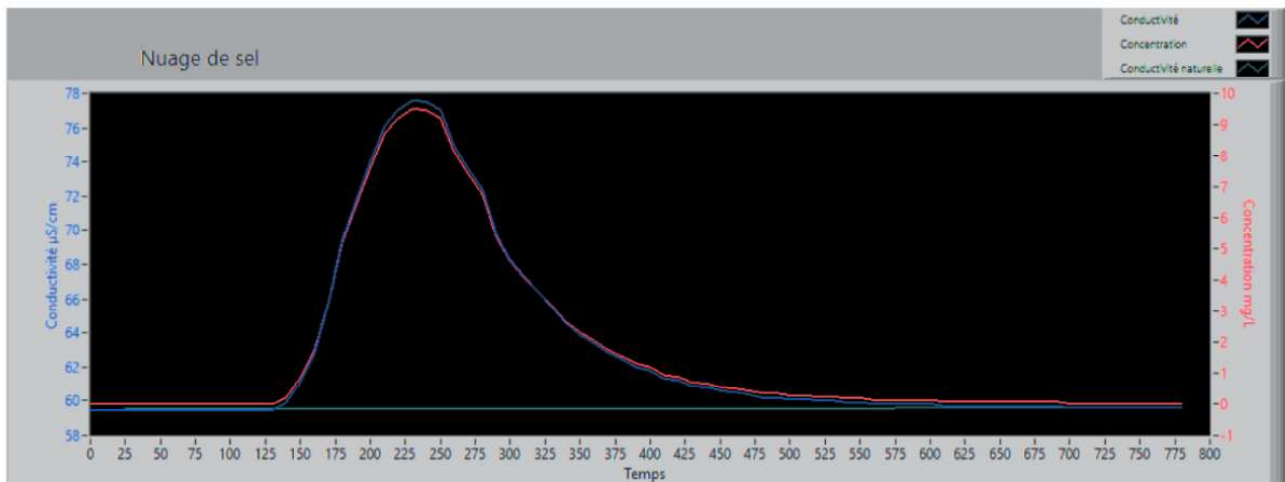


Figure 5 : Courbe Conductivité/Concentration en fonction du temps (source : auteur)

3.1.3 Les méthodes cinématiques

Il existe deux grands types de méthode cinématique : la méthode par capacité et la méthode par exploration du champ des vitesses [7].

La **méthode par capacité**, aussi appelée méthode volumétrique, repose sur la relation mathématique simple reliant le débit Q (m³/s), le volume d'eau écoulé V (m³) et le temps de remplissage t (s), et s'exprime :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Elle consiste à mesurer le temps de remplissage t du volume V , et est adaptée aux faibles débits. En effet, il faut pouvoir recueillir le volume d'eau dans un récipient. En général, la mesure se fait sous une chute d'eau, dont la taille réduite permet de capter toute la quantité d'eau au niveau de la chute. L'illustration qui suit montre un dispositif de mesure de débit sous une chute d'eau. Lors d'une mesure, on place une gouttière qui permet de guider l'eau dans le réservoir, puis de libérer l'écoulement à la fin de la mesure.

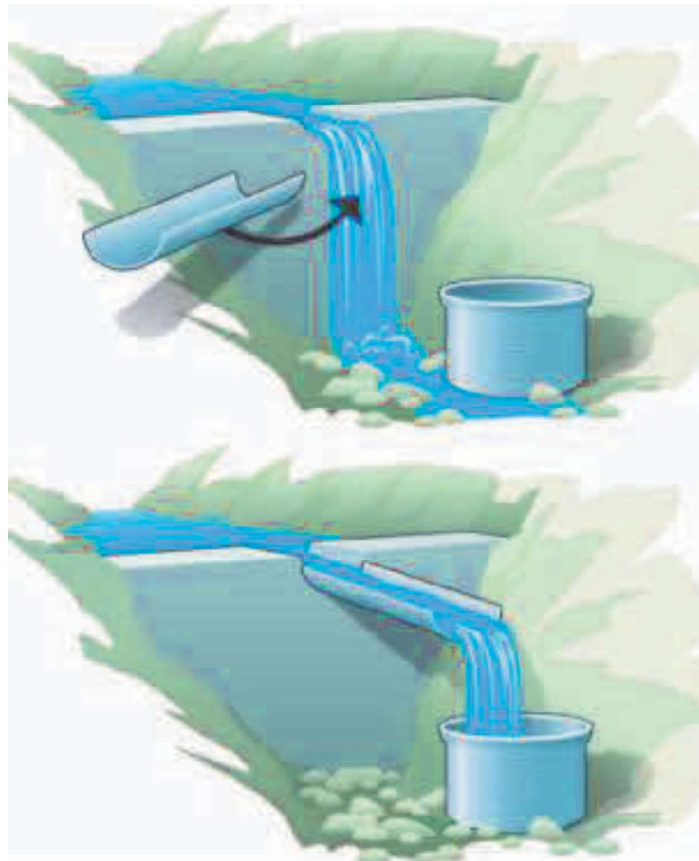


Figure 6 : Illustration d'un aménagement pour une mesure par capacité. (Contrôle des débits réglementaires, ONEMA, 2011) [5]

La **méthode par exploration du champ des vitesses** repose sur la relation mathématique reliant le débit Q (m^3/s), la vitesse moyenne de l'écoulement V_m (m/s), et la surface de la section mouillée S (m^2). Comme la vitesse n'est pas uniforme sur toute la section mouillée, il est nécessaire « d'explorer » le champ des vitesses. La section mouillée est découpée en portions verticales. Au droit de chacune de ces portions, plusieurs mesures de vitesses sont faites à différentes profondeurs, ce qui permet de calculer une vitesse moyenne locale. Ensuite, on calcule un débit moyen local propre à chaque portion, puis on fait la somme de ces débits pour obtenir le débit total de la section correspondante.

Cette méthode se divise habituellement en 3 catégories en fonction du type de matériel utilisé, mais on peut considérer une quatrième catégorie pour l'instrument de jaugeage développé par l'INRAE. On différencie donc les courantomètres, les profileurs Doppler, les flotteurs et la perche transparente à charge dynamique.

- Les courantomètres

Un courantomètre est un instrument de mesure qui permet de déterminer la vitesse en un point de l'écoulement. Il en existe plusieurs sortes en fonction de la technologie utilisée : courantomètre mécanique (appelé hélice ou moulinet), courantomètre électromagnétique ou courantomètre acoustique (utilisant l'effet Doppler). Quel que soit le type de courantomètre utilisé, il est toujours relié à une perche graduée, qui permet, entre autres choses, de mesurer la hauteur d'eau ou de fixer un boîtier numérique affichant les paramètres de la sonde courantométrique.

Le **courantomètre mécanique** est constitué d'une partie nommée « corps du moulinet » qui comprend une hélice tournant autour d'un axe, créant des signaux électriques captés par un dispositif électronique nommé « compteur d'impulsions » attaché au corps du moulinet. Pour la manipulation de ce courantomètre, on l'équipe d'une perche graduée permettant de mesurer la hauteur d'eau.

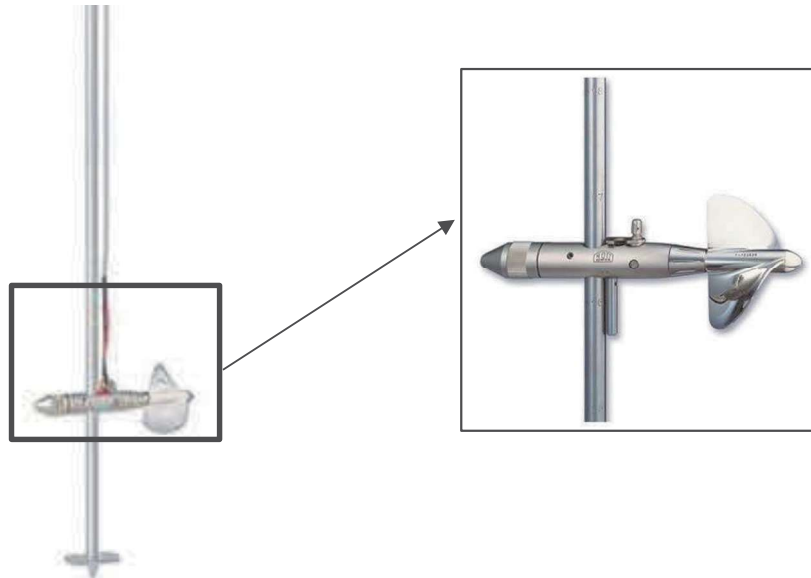


Figure 7 : Exemple de moulinet (OTT Hydromet) [15]

Son fonctionnement repose sur une relation mathématique propre à chaque hélice, caractérisée par son pas hydraulique en mètres, qui est la distance parcourue par l'eau pour générer un tour d'hélice. L'équation permettant de connaître la vitesse est la suivante :

$$V = a * n + b$$

Avec a le pas hydraulique de l'hélice (m), n un nombre entier correspondant au nombre de tours d'hélice par seconde (tr/s) et b la vitesse de frottement de l'hélice (m/s).

Pour une hélice, le constructeur fournit le couple (a ; b) qui lui est propre. L'hélice est étalonnée par le constructeur pour mesurer des vitesses dans un certain intervalle de valeurs.

Le **courantomètre électromagnétique** fonctionne par l'application de la loi de Faraday [8], qui postule qu'un fluide conducteur (ici l'eau) passant dans un champ électromagnétique crée une différence de potentiel proportionnelle à la vitesse de l'écoulement du fluide. Selon ce principe, le courantomètre électromagnétique est constitué d'un capteur qui crée un champ électromagnétique entre deux électrodes. Le passage de l'eau à travers le champ magnétique génère une force électromotrice (FEM), qui est mesurée et dont la valeur est proportionnelle à la vitesse de l'écoulement.



Figure 8 : Exemple de sonde électromagnétique (OTT Hydromet) [15]

Le **courantomètre acoustique à effet Doppler** fonctionne selon le principe physique Doppler. La sonde émet des ondes ultrasonores qui sont réfléchies par les particules en suspension dans l'eau. La différence de phase entre l'onde émise et l'onde réfléchiée est analysée par la sonde, ce qui permet de connaître la vitesse de la particule en suspension dans l'eau, et donc de l'écoulement.

- Les profileurs Doppler

Le **profileur Doppler ADCP** (profileur acoustique de courant à effet Doppler) est surtout utilisé sur de grands cours d'eau et des sections larges, et fonctionne sur le même principe que le courantomètre à effet Doppler. L'appareil est immergé à la surface de l'écoulement et effectue des mesures de profondeur et de vitesses sur toute la verticale. Il peut être utilisé de façon stationnaire ou mobile, et est maintenu à la surface par un support flottant (bateau, flotteur) ou une potence.



**Figure 9 : Exemple de profileur ADCP.
(Contrôle des débits réglementaires,
ONEMA, 2011) [7]**

- Les flotteurs

La **mesure du débit par flotteurs** est utilisée s'il est dangereux de s'introduire dans la rivière, si la vitesse et/ou la profondeur est trop faible, s'il est impossible d'employer les autres méthodes qui utilisent un instrument intrusif ou bien si l'on souhaite estimer rapidement le débit. Cette méthode repose sur une estimation de la surface mouillée moyenne et de la vitesse moyenne, sur un linéaire de cours d'eau défini par une section amont et une section aval. La vitesse v (m/s) d'un flotteur est déterminée en faisant le rapport de la distance L (m) entre les deux sections et du temps T (s) mis par le flotteur pour parcourir cette distance :

$$v = \frac{L}{T}$$

Pour explorer les différentes vitesses de l'écoulement, on utilise plusieurs flotteurs avec des trajectoires de surface différentes. Ainsi, certains flotteurs auront une trajectoire proche de la berge, et d'autres une trajectoire sur la veine d'eau principale. Chaque trajectoire est associée à une verticale, et on obtient des vitesses moyennes partielles pour chaque verticale, à partir desquelles on calcule un débit moyen partiel. En sommant ces débits, on obtient le débit total.

Le matériel nécessaire est peu coûteux et rudimentaire : flotteurs (débris végétaux, bouchons de liège, balles en caoutchouc...), décamètre, chronomètre.

- La perche transparente à charge dynamique,

La **perche transparente à charge dynamique**, aussi appelée **règle à jauger** (nous utiliserons cette appellation par la suite), a été développée par l'INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement). C'est un instrument de jaugeage permettant de mesurer des débits. Il présente de nombreux avantages : simple d'utilisation, peu coûteux, peu encombrant, non sujet à des pannes car dépourvu d'électronique, relativement fiable et précis. De plus, c'est un outil adapté à de petits cours d'eau, comme le sont la majorité des cours d'eau du plateau de l'Aubrac. Néanmoins, il est limité par des contraintes d'utilisation :

- Profondeurs min/max : 5 à 75 cm
- Vitesses min/max : 10 à 90 cm/s
- Charges min/max : 2 à 100 mm

Les dimensions de la règle à jauger sont les suivantes : 9,85x100x1,5 cm. Elle fonctionne comme suit : le long d'une section de jaugeage, on mesure en plusieurs points la profondeur d'eau et la charge dynamique induite par la règle à jauger mise en opposition au courant. Chaque point le long de la section est appelé une verticale. La relation d'étalonnage qui lie la vitesse V (m/s) et la charge dynamique Dh (m) est la suivante :

$$V = 0,641 \cdot \sqrt{2g \cdot Dh} - 0,019 \quad [9]$$

Ainsi, pour chaque verticale, on obtient une valeur de vitesse, grâce à laquelle, connaissant la profondeur, on estime un débit. Enfin, on peut remonter au débit total de la section de jaugeage.



Figure 11 : Illustration de la charge dynamique sur la règle à jauger. (INRAE, Règle à jauger) [16]



Figure 10 : Exemple de règle à jauger (source : auteur)

3.2 Différentes stations hydrométriques

Il existe différents types de stations hydrométriques. Certaines de ces stations sont fondées sur le même principe que les instruments de mesure que nous venons d'aborder en partie 3.1.

3.2.1 Stations standard

Ces stations sont développées sur l'existence d'une relation unique entre la hauteur d'eau h et le débit Q : pour une valeur de hauteur d'eau, il n'existe qu'une valeur de débit. La courbe $Q = f(h)$ est communément appelée courbe de tarage. Pour que cette relation reste vraie dans le temps, le site de la station doit rester immuable. C'est pourquoi le cours d'eau est souvent canalisé avec un ouvrage en béton par exemple. Dans le cas où le lit du cours d'eau est constitué de dalles rocheuses dures, il peut ne pas être nécessaire d'ouvrager le site, la dalle rocheuse n'étant pas amenée à s'éroder ou bouger.

On peut différencier deux types de stations standards différents :

- Les **stations « manuelles »** ou non-automatiques. Ces stations sont équipées d'une échelle limnimétrique, règle graduée d'un mètre de long qui permet de lire la hauteur d'eau. Il est possible d'assembler bout à bout plusieurs échelles limnimétriques pour mesurer plusieurs mètres de hauteur d'eau. Un agent relève alors la hauteur d'eau sur l'échelle limnimétrique et, grâce à la courbe de tarage, obtient le débit correspondant.
Ce type de station, peu coûteux, nécessite donc le déplacement d'un agent pour relever le débit.
- Les **stations automatiques** : ces stations sont équipées d'une centrale d'acquisition qui relève la hauteur d'eau à pas de temps fixe ou variable, et stocke ses données sous la forme d'un fichier (temps ; hauteur). La station peut être équipée d'un système de télétransmission qui envoie les données collectées à la structure en charge de la station. Ensuite, grâce à ces relevés et à la courbe de tarage, on peut connaître le débit correspondant.
Ce type de station a un coût moyen de 7 500€ [6].

Durant certaines périodes, les débits mesurés peuvent ne plus correspondre à la courbe de tarage. On parle alors d'un détarage de la station. Cela peut être dû à la pousse de la végétation, ou à des travaux de curage du cours d'eau.

3.2.2 Stations ultrasonores

Les stations ultrasonores fonctionnent par la mesure de la durée du trajet d'ultrasons émis dans la rivière. Avec cette durée, on peut connaître la vitesse de l'écoulement et, connaissant la section, le débit. Dans la pratique, une rangée verticale de transmetteurs d'ultrasons est installée sur chaque rive, ces deux rangées (notées A et B) étant décalées d'un angle θ connu et séparées par une distance L . Chaque transmetteur sera alternativement émetteur et récepteur d'une onde. La section mouillée est ainsi découpée en sous-sections S_i par le trajet horizontal des ondes ultrasonores. Chaque couple de transmetteurs permet la mesure de deux durées : le temps de trajet de l'onde entre A_i et B_i , et le temps de trajet de l'onde entre B_i et A_i . A cause de la vitesse de l'écoulement, la différence entre ces 2 durées est non nulle.

La vitesse v_i (m/s) est alors donnée par la relation [10] : $v_i = \frac{c^2 \cdot T}{2 \cdot L \cdot \cos \theta}$

Ainsi, le débit sera donné par la relation : $Q = \sum_{i=0}^n S_i \cdot v_i$

avec n le nombre d'ondes ultrasonores plus une, et c la célérité des ondes dans l'eau.

Ce type de station ne peut pas être utilisé sur des cours d'eau peu profonds, car certaines ondes pourraient se réfléchir sur le fond et la surface. De plus, la présence de bulles (dus à une chute d'eau par exemple) peut interférer avec la mesure, tout comme les variations de températures. Enfin, le coût d'une station ultrasonore varie entre 40 000€ et 150 000€.

3.2.3 Stations électromagnétiques

Cette dernière sorte de station utilise la loi de Faraday liant la force électromotrice e (Volt) et le flux magnétique F : $e = -\frac{dF}{dt}$. Un enroulement électromagnétique crée un champ magnétique vertical dans le cours d'eau. L'eau qui passe dans ce champ produit une différence de potentiel e qui est mesurée par des électrodes placées de part et d'autre dans les berges. Le débit Q est ensuite calculé par une relation de la forme : $Q = f(F)$ [11].

Ces stations sont pratiques car la mesure n'est pas influencée par la température de l'eau, la présence de débris, de matières en suspension, le passage de bateaux ou encore la variation structurelle du lit du cours d'eau. Néanmoins, la présence de lignes électriques ou d'ondes radios peut interférer avec la mesure. Enfin, le coût minimum de ce type de station est de 150 000€ [6].

3.2.4 Stations hydrométriques participatives

On peut considérer que les stations hydrométriques participatives, qui sont le sujet de mon travail, constituent un cas particulier des stations hydrométriques standards manuelles, évoquées dans la partie 3.2.1. En effet, elles sont constituées d'une échelle limnimétrique, et relevées non par des agents mais par des citoyens participants. Durant mes recherches, j'ai trouvé deux exemples différents de stations hydrométriques participatives, qui ont enrichi le développement de mon projet.

- Stations hydrométriques participatives de l'EPAGE Loire-Lignon :

L'Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (EPAGE) Loire-Lignon, dont le territoire couvre le bassin de la Loire Amont dans le département de la Haute-Loire, a fait équiper 10 de ses cours d'eau d'échelles limnimétriques et de panneaux informatifs à destination du public. Un prestataire extérieur a réalisé l'installation des échelles limnimétriques, de sondes thermiques, et le tarage des stations. La relation entre la hauteur d'eau et le débit est donc connue. Les panneaux sensibilisent le public sur le sujet du débit, des assècs et de l'importance de suivre l'évolution hydrologique des cours d'eau. De plus, un QR code permet au public de transmettre une valeur de hauteur d'eau à l'EPAGE. Les données sont directement disponibles sur leur site web [12].

- Stations hydrométriques participatives du CNES :

Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) a mis en place un projet nommé OECS (Observations des Eaux Continentales par des Citoyens et des Satellites). L'objectif est de recueillir des données de hauteur d'eau de lacs et de fleuves, afin d'étalonner un satellite, nommé SWOT, faisant les mêmes mesures de hauteur d'eau depuis l'espace. Pour ce faire, le CNES et ses partenaires ont installé des échelles limnimétriques sur de nombreux lacs et cours d'eau du territoire de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, et dans le Nord-Est de la France. Ces échelles limnimétriques sont accompagnées d'un panneau avec un QR code permettant de transmettre un relevé de hauteur d'eau directement visible sur la plateforme web de l'OECS. Ce projet s'intéresse uniquement aux hauteurs d'eau, et non aux débits.

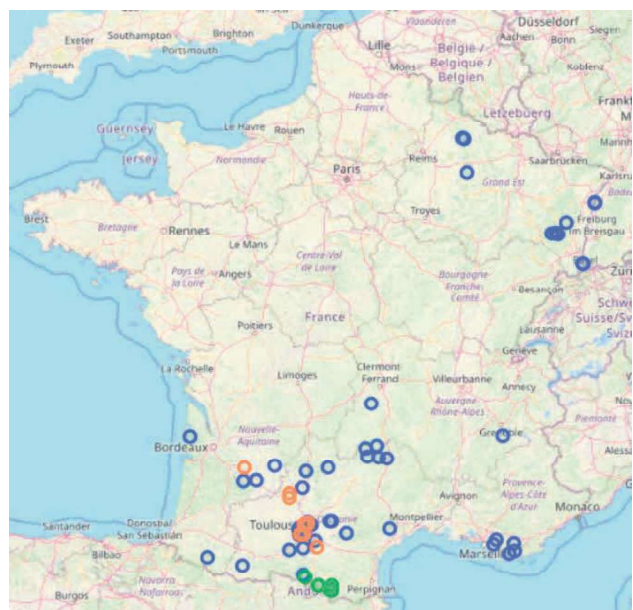


Figure 12 : Carte des 82 stations hydrométriques du projet OECS. (OECS) [17]

4. Mise en place du projet

Ce projet de stations hydrométriques participatives possède deux aspects distincts et complémentaires : la collecte et la transmission de données de hauteur d'eau par le public, constituant l'aspect « science participative », et les mesures de débits dans l'objectif de réaliser, à terme, les courbes de tarage des stations, et constituant l'aspect « jaugeages » du projet. Une station hydrométrique est matérialisée par une échelle limnimétrique, qui est une règle graduée installée dans un cours d'eau pour mesurer le niveau de la surface de l'eau par rapport à la référence de la règle, notée 0.



Figure 13 : Exemple d'échelle limnimétrique (source : auteur)

4.1 Préparatifs et phase amont

4.1.1 Définition des stations

Dans un premier temps, il était nécessaire de définir les futures stations hydrométriques, en fonction de plusieurs facteurs :

- La fréquentation des sites par le public.
- Les moyens matériels et financiers.
- La structure des sites (lit et berges, faciès d'écoulement) et leur pertinence technique.

- Différenciation des sites en fonction de leur fréquentation estimée :

J'ai donc d'abord réalisé un travail sur le logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) QGIS, afin de croiser les différentes données à ma disposition, et estimer les sites qui seraient potentiellement les plus fréquentés. Pour ce faire, j'ai utilisé des données sur les cours d'eau de l'Aubrac, les routes principales et secondaires, les itinéraires de randonnée et de VTT, et j'ai croisé ces différents linéaires pour faire ressortir les points d'intersection les plus importants. En effet, un enjeu important de l'aspect science participative est la fréquentation des sites, qui conditionne la participation du public. Une fréquentation importante des sites accroît la probabilité de participation et de ce fait accroît la quantité de données récoltées.

Pour la couche des cours d'eau, j'ai conservé uniquement les cours d'eau de classes 3, 4 et 5. Les cours d'eau sont ordonnés par classes. La classe 1 correspond aux cours d'eau affluents directs de fleuves. Dans le cas de mon projet, le Lot est un cours d'eau de classe 1. La classe 2 correspond aux affluents directs de ces cours d'eau de classe 1. Ici, la Truyère et la Colagne sont des cours d'eau de classe 2. Ces cours d'eau de classes 1 et 2 sont de trop grands gabarits pour notre étude, et ne correspondent pas aux objectifs du projet. Ensuite, les classes augmentent par rang d'affluence. Les cours d'eau de classe 6, voire 7, sont de très petits rus et forment un chevelu hydrographique dense sur le plateau de l'Aubrac, mais ne sont pas pertinents pour le projet car peu ou pas accessibles au public, ou possédant un débit très faible. C'est pourquoi je me suis intéressé uniquement aux cours d'eau de classes 3, 4 et 5.

Pour les itinéraires de randonnée et de VTT, ainsi que pour les routes, de nombreux points de croisement sont apparus, comme le montre la carte ci-dessous. Néanmoins, les lieux avec la plus grande densité de croisements sont les zones urbaines.

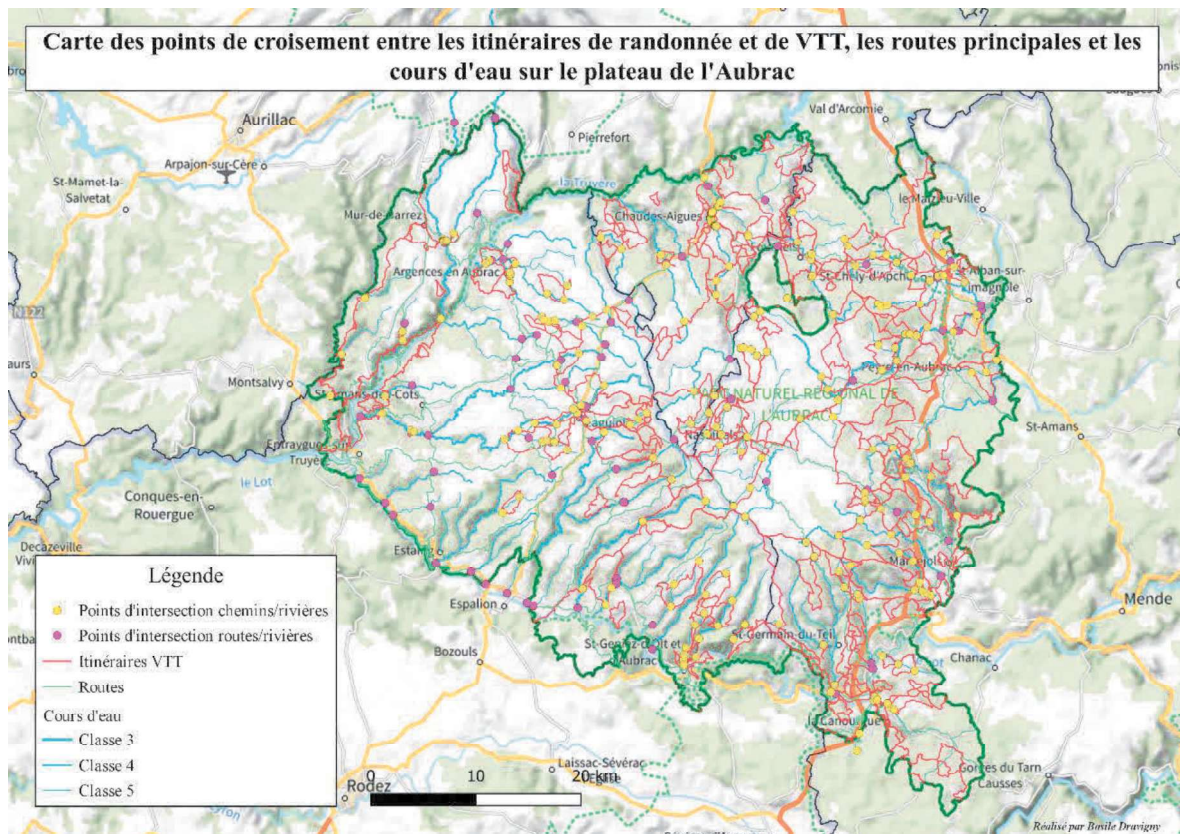


Figure 15 : Carte des points de croisement entre les itinéraires de randonnée et de VTT, les routes principales et les cours d'eau sur le plateau de l'Aubrac (source : auteur)

Ce rendu intermédiaire est peu lisible et très fourni. Pour y remédier, j'ai conservé et regroupé uniquement les points d'intérêt séparés par un rayon de moins de 100m.



Figure 14 : Carte des points d'intérêts à l'issue de la sélection dans un rayon de 100m (source : auteur)

Cela a permis de réduire significativement les solutions, comme le montre la carte qui suit, qui ne sont plus qu'au nombre de 23. Par ailleurs, on remarquera que plusieurs points sont regroupés ou superposés, et peuvent donc être assimilés à un unique point d'intérêt.

Enfin, pour obtenir une sélection finale des sites des futures stations, j'ai effectué des prospections sur le terrain au niveau des sites d'intérêts intermédiaires de la carte ci-dessus. L'objectif de ces prospections était de s'assurer de la pertinence réelle des sites en termes de fréquentation, ainsi que de leur compatibilité avec l'installation d'une station hydrométrique. Il faut en effet que la structure du lit et des berges soit immuable ou considérée comme telle, et que la zone choisie soit adaptée à des mesures de débits. Ainsi, au terme de ces prospections, 5 sites ont été retenus pour devenir 5 stations hydrométriques participatives, comme le montre la carte ci-dessous. On remarquera que 4 d'entre elles sont situées en zone urbaine, et que la cinquième est située proche d'un lac touristique.

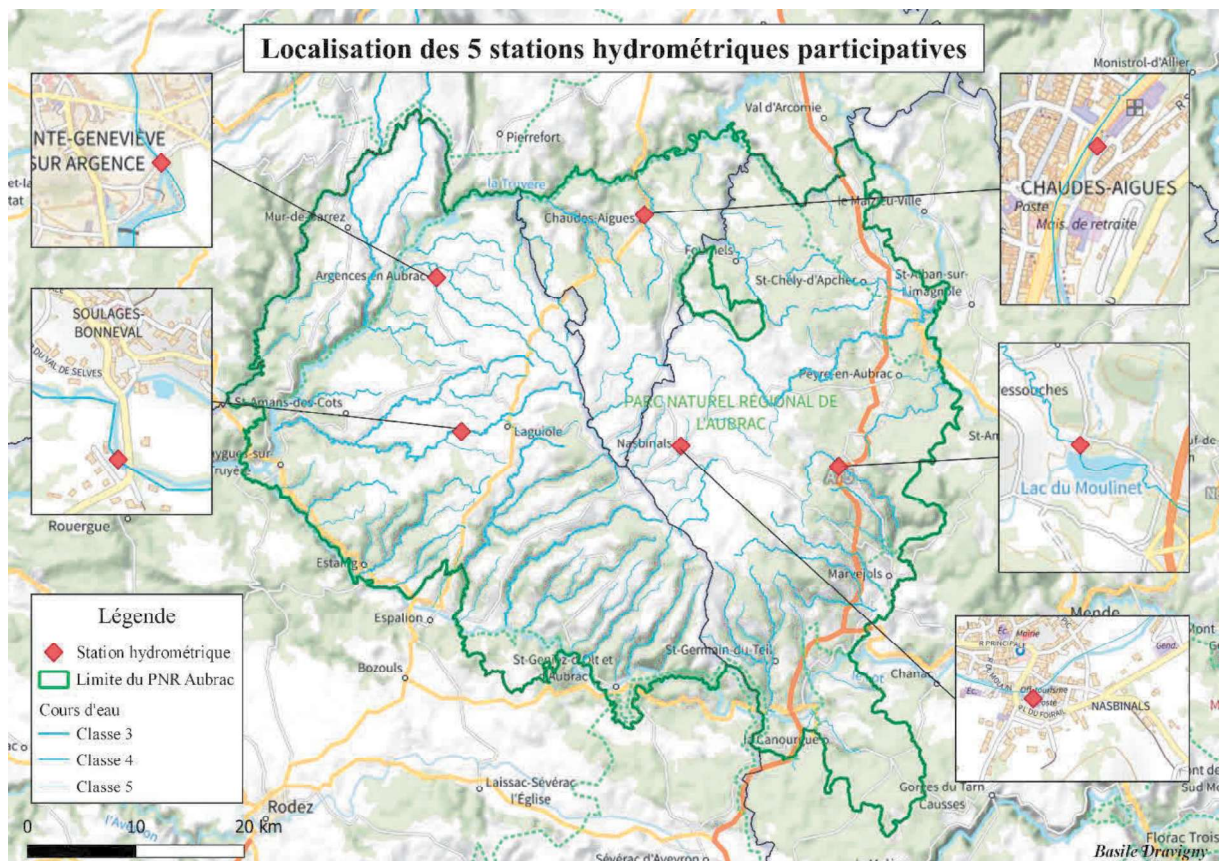


Figure 16 : Carte localisant les 5 stations hydrométriques participatives (source : auteur)

4.1.2 Dialogue avec les différents partenaires

Suite à la définition de ces 5 stations, une prise de contact avec différents partenaires a été nécessaire. Dans un premier temps, j'ai présenté le projet de mise en place de stations hydrométriques participatives lors d'un Comité Syndical, devant les élus du parc. Ce fut l'occasion de rencontrer quelques-uns des élus, qui m'ont fait part de leur intérêt pour le projet, en particulier pour l'aspect de suivi hydrométrique des cours d'eau.

Dans un deuxième temps, j'ai contacté les différents partenaires techniques du PNR de l'Aubrac concernant le domaine des cours d'eau, que sont les Fédérations Départementales des Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques (FDAAPPMA), les Associations Agréées de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques (AAPPMA), les syndicats mixtes de rivières et les autres parcs régionaux et nationaux proches. Ces partenaires sont les suivants : FDAAPPMA de l'Aveyron, FDAAPPMA du Cantal, FDAAPPMA de la Lozère, EPAGE (Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion de l'Eau) Vaur, Syndicat Mixte Lot-Dourdou (SMLD), Parc National des Cévennes (PNC), Parc Naturel Régional des Grands Causses (PNRGC). J'ai pris contact avec ces partenaires dès la phase de réflexion sur les stations, afin d'obtenir leurs avis et leurs conseils. Puis j'ai repris contact avec eux pour discuter d'aspects plus techniques concernant les jaugeages. Cette deuxième phase de discussion avec les partenaires s'est faite par une visioconférence que j'ai organisée le lundi 27 mai 2024, et réunissant tous les partenaires cités ci-dessus. Ce fut l'occasion d'échanger sur le projet, les différentes solutions de jaugeage possibles, et de potentiels partenariats techniques sur le terrain. Cette réunion s'est conclue avec la volonté d'organiser une journée de comparaison des jaugeages avec ces différents partenaires.

De plus, la recherche d'informations concernant les échelles limnimétriques m'a amené à découvrir le projet porté par le CNES, dénommé Observatoire des Eaux Continentales par des Citoyens et des Satellites (OECS), et présenté en partie 3.2.4. Par l'intermédiaire de Monsieur Nicolas Picot, en charge de ce projet OECS, le CNES est devenu partenaire de mon projet de mise en place de stations hydrométriques participatives. En effet, le CNES a fourni au PNR de l'Aubrac 6 échelles limnimétriques émaillées, en échange de la transmission des données de hauteur d'eau collectées à l'OECS.

En outre, mes recherches sur les différentes méthodes de jaugeage m'ont amené à une solution adaptée au projet que je menais : la règle de jaugeage ou perche transparente à charge dynamique, développée par l'INRAE, et présentée en partie 3.1.3. Certains des partenaires techniques ayant déjà eu l'occasion de l'utiliser, j'ai pu profiter de leurs retours d'expériences sur cet outil, en particulier sa précision, son efficacité et sa facilité d'utilisation. En considérant aussi les moyens financiers du PNR de l'Aubrac alloués au projet, le choix de cet outil fut fait. J'ai donc rédigé un bon de commande pour une règle à jaugeer, produite par l'entreprise AAIS, et consultable en annexe A.

Dans le même temps, il fallut réfléchir à la communication en lien avec les stations hydrométriques participatives : un panneau informatif accompagnerait chaque station. Les informations essentielles sont les suivantes : un court texte présentant le projet, la marche à suivre pour participer et transmettre la donnée au parc, et les logos des différents partenaires. Nous avons choisi une transmission des relevés par SMS et non par un QR code. En effet, en considérant l'âge potentiel des participants, le SMS a semblé un moyen accessible à un public plus large. De plus, certaines zones de l'Aubrac sont mal couvertes par le réseau Internet, et un SMS peut pallier ce problème.

Aussi, pour être impactant, le texte devait être concis et le visuel attractif. A cet effet, j'ai contacté deux entreprises de communication spécialisées dans la production de panneaux, en précisant les critères techniques et le nombre de panneaux souhaités. Les panneaux devaient pouvoir rester lisibles et en bon état à l'extérieur, dans une région où les conditions météorologiques sont rigoureuses (neige, gel, pluie, vent, soleil). Après l'étude de prix des devis transmis par les deux entreprises, c'est la société Pic-Bois Pyrénées qui a été retenue. La solution technique qu'elle proposait était l'assemblage de panneaux stratifiés avec des poteaux en châtaignier, pour former des lutrins de 90cm de hauteur. Le devis en question est disponible en annexe B.

Ainsi, avec la chargée de communication du parc et le graphiste de l'entreprise Pic-Bois Pyrénées, nous avons développé un panneau informatif d'un format de 20x20cm, dont voici un aperçu. Les informations demandées aux personnes souhaitant transmettre une donnée de hauteur d'eau sont les suivantes : une photo de l'échelle limnimétrique, la date, le lieu et la hauteur d'eau lue.

QUEL EST LE NIVEAU DE LA RIVIÈRE AUJOURD'HUI ?

Pour mieux connaître l'évolution des cours d'eau de l'Aubrac, nous avons besoin de vous !

Le changement climatique impacte les rivières : baisse des débits, rivières à sec...
 Pour avoir une connaissance plus fine de ces changements et mieux préserver notre ressource en eau, chacun peut prendre une photo de l'échelle graduée qui est placée dans la rivière devant vous, et l'envoyer simplement par SMS au Parc naturel régional de l'Aubrac.

Envoyer par SMS

1. Une photo de l'échelle graduée.
2. Précisez le lieu, la date et la hauteur d'eau que vous lisez.
3. Envoyez tout au 07 57 68 48 66.

PLUS CES RELEVÉS SERONT FAITS RÉGULIÈREMENT, PLUS NOTRE CONNAISSANCE DE L'ÉVOLUTION DES RIVIÈRES SERA PRÉCISE.

Les données collectées sont rendues publiques : Observatoire de l'eau de l'Aubrac et Observatoire citoyen (oecsmap.org) mis en place par l'Agence de l'eau et le Centre national d'études spatiales (CNES) de Toulouse.

EN SAVOIR PLUS SUR CE PROGRAMME D'ACTION

Parc naturel régional de l'Aubrac

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

EAU GRAND-SUD-OUEST

cnès

Figure 17 : Aspect final du panneau informatif accompagnant les stations hydrométriques participatives (source : auteur)

Par la suite, il fallut contacter les 5 communes impactées par l'installation des stations hydrométriques, afin de mettre en place une convention liant la commune et le PNR de l'Aubrac. J'ai donc rédigé un modèle de convention déclinable en fonction de chaque commune, et décrivant le protocole d'installation du matériel (un exemple de cette convention est disponible en annexe C). Cette étape prit un temps conséquent, car les communes n'étaient pas très réactives. J'ai dû faire des relances par mail et téléphone pour obtenir les conventions signées, repoussant ainsi la date possible d'installation des échelles limnimétriques.

Enfin, afin de présenter le projet au grand public, j'ai organisé une visioconférence ouverte à tous, le 20 juin 2024. Ce fut l'occasion de faire un bilan de la situation hydrologique de l'Aubrac, de présenter l'impact du changement climatique sur les débits des cours d'eau et de détailler le projet, en particulier l'aspect participatif. Pour que l'information au sujet de cette visioconférence circule au maximum, la chargée de communication et moi avons réalisé une affiche, consultable en annexe D, que nous avons diffusée dans les mairies, les offices de tourisme et autres lieux publics. Cette visioconférence a été une réussite car elle a réuni 20 personnes intéressées par le projet.

4.2 Installation des stations

L'installation des stations, c'est-à-dire de l'échelle limnimétrique, a pu commencer dès la signature des conventions. Pour ce faire, je me suis appuyé sur l'aide des services techniques communaux des communes concernées, comme cela était précisé dans les conventions. Les échelles limnimétriques ont été fixées avec des goujons d'ancrage en acier inoxydable, solution très résistante et adaptée car les cours d'eau concernés peuvent être sujets à des crues importantes en hiver, transportant des débris et pouvant endommager du matériel qui aurait été mal fixé.

Par ailleurs, en raison des congés estivaux au sein de l'entreprise Pic-Bois Pyrénées, mandatée pour la réalisation des panneaux informatifs nécessaires à la participation du public, la production de ces derniers n'a pas pu être faite à temps. Ainsi, à l'issue de mon stage, les stations ne sont pas encore équipées par les panneaux. Néanmoins, plusieurs élus des communes concernées par les stations ont commencé à transmettre des relevés de hauteur d'eau dès l'installation des échelles limnimétriques. C'est le cas pour les échelles installées sur les communes de Chaudes-Aigues et Sainte-Geneviève-sur-Argence. De plus, j'ai de mon côté effectué des relevés afin d'initier le suivi des hauteurs d'eau.

Voici par ordre chronologique d'installation une présentation des 5 stations installées entre juin et juillet 2024, ainsi qu'un graphique de l'évolution de la hauteur d'eau pour les 3 stations ayant déjà un nombre intéressant de relevés. Les deux autres stations n'ayant qu'une ou deux valeurs relevées pour le moment, un graphique n'est pas pertinent.

4.2.1 Station hydrométrique de Nasbinals

Nasbinals est une commune de Lozère située au centre du parc, traversée par le Ruisseau du Nasbinals, affluent du Bès en rive gauche. Le Bès est lui-même une rivière affluente de la Truyère en rive gauche. C'est une ville très fréquentée entre les mois d'avril et de septembre, car elle est située sur le tracé du Chemin de Saint Jacques de Compostelle, chemin de Grande Randonnée (GR) 65, ainsi que sur le tracé du GR de Pays Tour des Monts d'Aubrac. C'est une commune proche des locaux du PNR de l'Aubrac, environ 8km, et dont le maire, monsieur Bernard Bastide, est le président du PNR de l'Aubrac.

La première échelle limnimétrique a donc été installée le 17 juin 2024, avec l'aide d'un agent technique de la commune.



Figure 18 : Echelle limnimétrique de la station de Nasbinals (source : auteur)

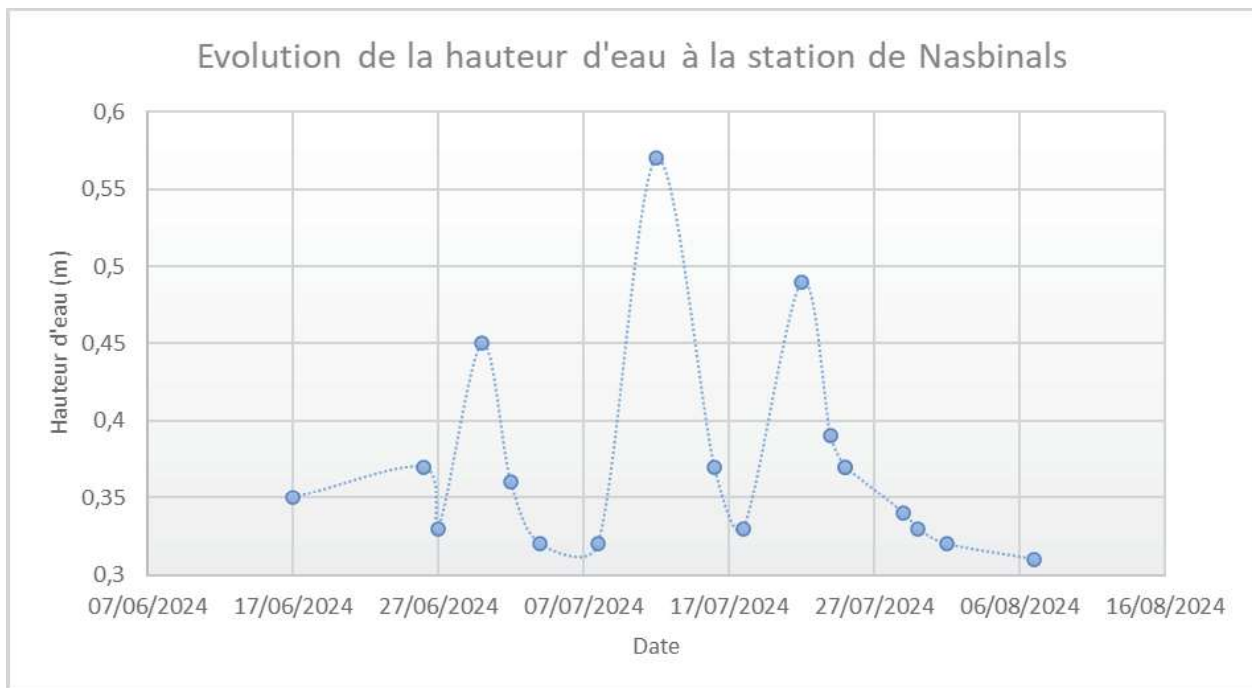


Figure 19 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Nasbinals (source : auteur)

4.2.2 Station hydrométrique de Chaudes-Aigues

Chaudes-Aigues est une commune du Cantal, située au Nord du territoire du PNR de l'Aubrac, et traversée par le Remontalou, un cours d'eau affluent de la Truyère en rive gauche. Chaudes-Aigues est une ville thermale, d'où sortent les eaux les plus chaudes d'Europe (82°C), et est ainsi très fréquentée d'avril à septembre, par des randonneurs et des curistes.

Le débit du Remontalou à Chaudes-Aigues est déjà suivi par une station de la DREAL Auvergne Rhône Alpes. Loin d'être une source de redondance avec notre station hydrométrique participative, cela permettra de comparer les données de débit relevées avec la règle à jauger à celles de la station de la DREAL.

La station de Chaudes-Aigues est particulièrement adaptée aux mesures de débit car le cours d'eau y est canalisé par des parois en béton. Le lit de la rivière est quant à lui recouvert d'un substrat « naturel » (sables, pierres, cailloux).

Cette deuxième échelle limnimétrique a été installée le 3 juillet 2024, avec l'aide de deux agents des services techniques de la commune.



Figure 20 : Echelle limnimétrique de la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)

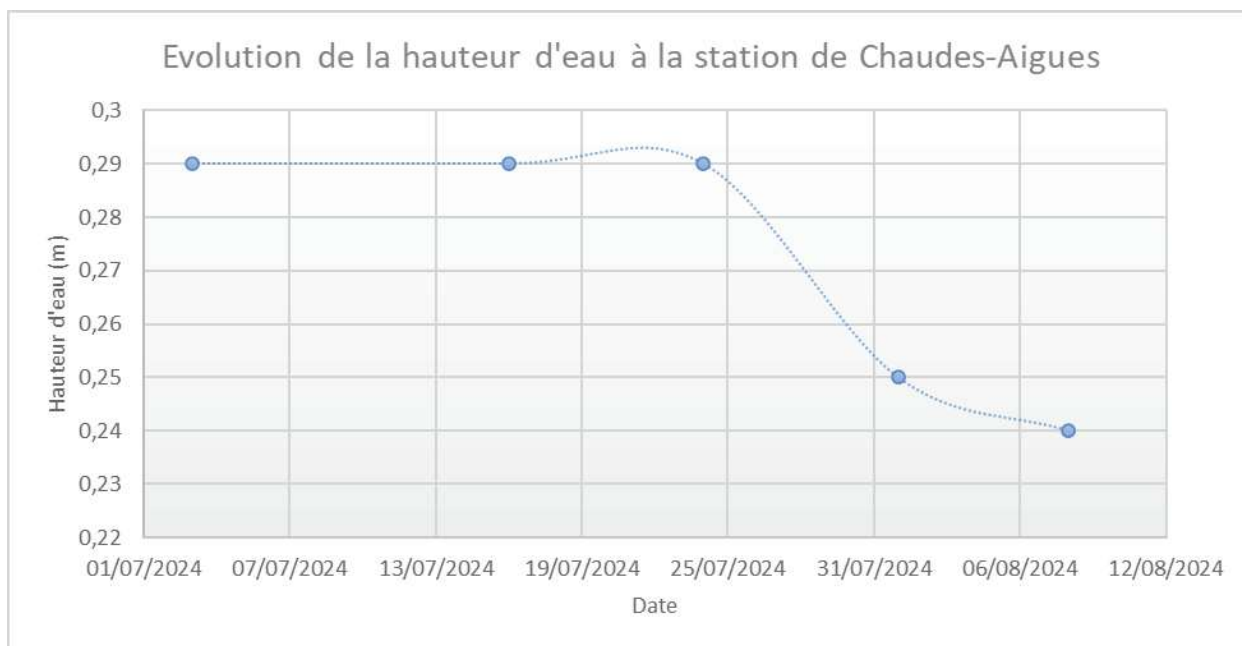


Figure 21 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)

4.2.3 Station hydrométrique de Soulages-Bonneval

Soulages-Bonneval est une commune de l'Aveyron située au centre-Ouest du parc, traversée par la Selves, rivière affluente de la Truyère en rive gauche. C'est une commune proche de Laguiole, ville renommée et touristique de l'Aubrac. Soulages-Bonneval draine donc un certain nombre de randonneurs et touristes.

L'échelle limnimétrique y a été installée le 11 juillet 2024, avec l'aide du maire, monsieur Lionel Pigot, la commune n'ayant pas de services techniques.

A l'heure actuelle, deux relevés ont été collectés :

- 11 juillet 2024 : 41cm.
- 1^{er} aout 2024 : 40cm.



Figure 22 : Echelle limnimétrique de la station de Soulages-Bonneval (source : auteur)

4.2.4 Station hydrométrique d'Argences-en-Aubrac

Argences-en-Aubrac est une commune nouvelle d'Aveyron, regroupant 6 communes depuis 2016, et située au Nord-Ouest du territoire du parc. L'échelle limnimétrique a été installée sur le territoire de « l'ancienne commune » de Sainte-Geneviève-sur-Argence, traversée par l'Argence Vive, rivière affluente de la Tuyère en rive gauche. Nous nous référons à cette station en utilisant le nom de l'ancienne commune par la suite.

L'échelle limnimétrique y a été installée le 22 juillet 2024, avec l'aide d'un autre stagiaire du PNR de l'Aubrac.



Figure 23 : Echelle limnimétrique de la station de Sainte-Geneviève-sur-Argence (source : auteur)

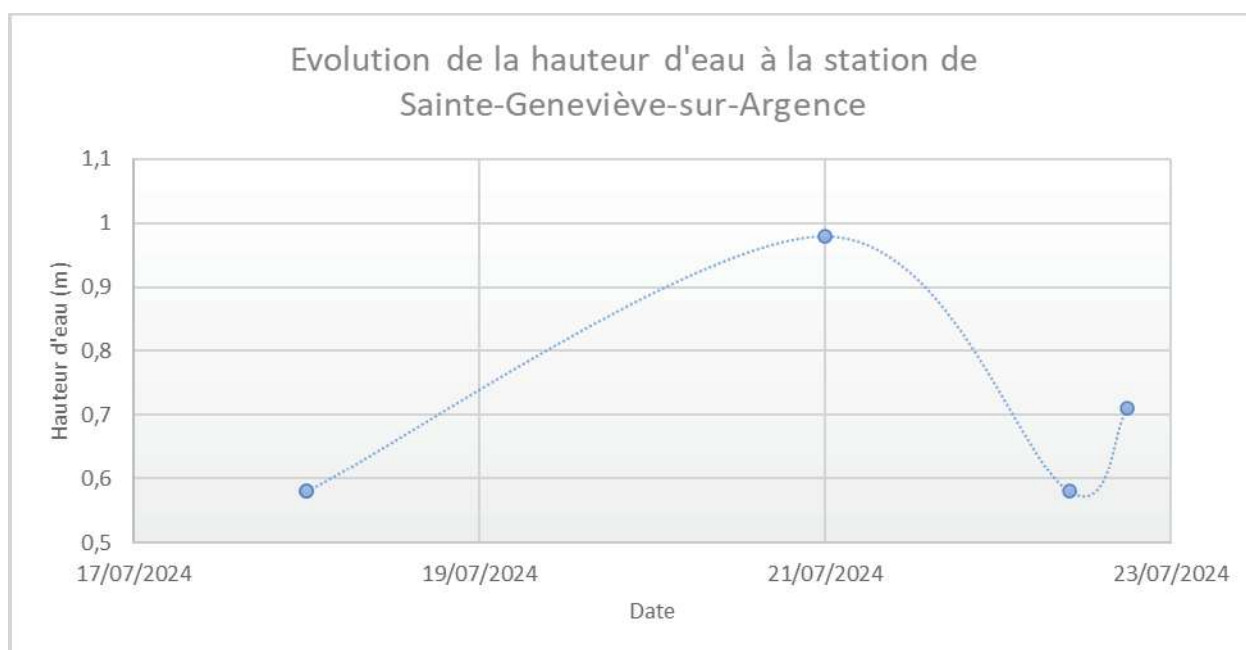


Figure 24 : Evolution de la hauteur d'eau à la station de Sainte-Geneviève-sur-Argence (source : auteur)

4.2.5 Station hydrométrique du Buisson

Le Buisson est une commune de Lozère située à l'Est du territoire du parc, faisant partie de la communauté de communes du Gévaudan. La commune du Buisson possède le lac du Moulinet sur son territoire, lac traversé par la Crueize, rivière affluente de la Colagne en rive droite. Le lac du Moulinet est un lac de barrage créé en 1959, équipé d'une digue de 5m de haut et 140m de long, constituant un réservoir d'eau supplémentaires pour les retenues hydroélectriques de Castelnau-Lassouts, sur le Lot, et de Grandval, sur la Truyère. C'est aussi un site touristique en été, prisé par les baigneurs et les pêcheurs. Un sentier pédestre a été aménagé tout autour du lac, traversant la Crueize par une passerelle sur laquelle j'ai installé l'échelle limnimétrique.

Pour cette échelle limnimétrique, il ne m'a pas été nécessaire de faire une convention avec la commune. En effet, la passerelle est la propriété de la communauté de communes du Gévaudan, qui a donné son accord écrit (par mail) au PNR de l'Aubrac pour l'installation du matériel. Le 30 juillet 2024, l'échelle limnimétrique y a été installée avec l'aide d'un agent des services techniques de la commune du Buisson. Une rallonge en bois a été faite sur la passerelle pour y visser l'échelle limnimétrique.

La seule donnée collectée pour le moment est 33cm le 30 juillet 2024.



Figure 25 : Echelle limnimétrique du Buisson (source : auteur)

5. Mesures de débits

Les mesures de débits, aussi appelées jaugeages, sont le deuxième aspect de ce projet. Grâce à ces mesures, on obtient des couples de données (hauteur d'eau ; débit), et il est ainsi possible de constituer une courbe de tarage associée à la station hydrométrique jaugée. A partir du mois de juillet, j'ai donc effectué des jaugeages sur les 3 stations de Nasbinals, Chaudes-Aigues et Soulages-Bonneval. Pour ce faire, j'ai utilisé la règle à jauger présentée en partie 3.1.3. De plus, la Fédération de Pêche de l'Aveyron m'ayant prêté un conductimètre pendant 3 semaines, j'ai pu réaliser des mesures de débits par dilution de sel. Dans cette partie, nous allons étudier les résultats de ces jaugeages, discuter de leurs limites et des solutions possibles à ces limites.

5.1 Jaugeages

5.1.1 Journée de comparaison des jaugeages

Comme cela avait été évoqué lors de la réunion avec les partenaires techniques (voir partie 4.1.2. p. 23), j'ai organisé une journée de comparaison des jaugeages sur la station de Nasbinals. Cette journée, qui a eu lieu le lundi 8 juillet 2024, a réuni des représentants des structures suivantes :

- Fédération de Pêche de l'Aveyron (FDAAPPMA 12).
- Fédération de Pêche de la Lozère (FDAAPPMA 48).
- EPAGE Viaur.
- Parc National des Cévennes (PNC).
- Parc Naturel Régional de l'Aubrac.

Cette journée avait trois objectifs : partager l'expérience des différents techniciens sur les jaugeages, comparer les mesures obtenues avec différents instruments de mesure et renforcer les liens collaboratifs entre les structures partenaires et le PNR de l'Aubrac.

Les différents instruments de mesure qui ont été utilisés sont :

- Un courantomètre acoustique à effet Doppler SonTek FloxTracker2.
- Un courantomètre électromagnétique OTT MF Pro.
- Un conductimètre Hach HQ40d, pour des mesures par dilution, noté 1.
- Un second conductimètre de marque non connue, noté 2.
- Une règle à jauger de l'INRAE.

La hauteur lue sur l'échelle limnimétrique était de 32cm. Pour la méthode de jaugeage par dilution, nous avons utilisé du chlorure de sodium. Deux mesures ont été réalisées, l'une en injectant une masse de sel dissoute de 30g, l'autre en injectant une masse de sel dissoute de 139g. De plus, deux moyens de dépouillement des données ont été utilisés : la méthode utilisant la moyenne de la concentration en sel durant le jaugeage (méthode présentée en partie 3.1.2.) et le logiciel dédié Solution NaCl. Les résultats des différents jaugeages sont présentés dans le tableau qui suit.

Instruments de mesure	Débit (l/s)	
	Méthode de la moyenne	Logiciel Solution NaCl
Conductimètre 1 - M = 30g	37	41
Conductimètre 2 - M = 30g	17	25
Conductimètre 1 - M = 139g	50	20
Conductimètre 2 - M = 139g	42	46
Règle de jaugeage	33	
Courantomètre FlowTracker2	31	
Courantomètre MF Pro	25	

Figure 26 : Résultats de la journée de comparaison des jaugeages (source : auteur)

5.1.2 Jaugeages sur la station de Nasbinals

La station de Nasbinals ayant été la première installée, j'ai pu effectuer 5 jaugeages, en plus de la journée de jaugeage intercomparative du 8 juillet. A partir du jaugeage du 29 juillet, j'ai élargi le nombre d'emplacements de mesure à 3, puis à 4 à partir du 1^{er} août. Sur cette station, un jaugeage nécessite donc de faire 4 mesures en différents endroits du cours d'eau. Deux mesures sont faites en amont de l'échelle limnimétrique, et deux autres mesures en aval de celle-ci, le tout sur un linéaire d'environ 50m.

	Hauteur d'eau (m)	Nom de la mesure	Débit (l/s)
Jaugeage N°1 - 16 juillet 2024	0,37	Nasb1	65,7
		Nasb2	73,1
		Moyenne	69,4
Jaugeage N°2 - 23 juillet 2024	0,43	Nasb1	129
Jaugeage N°3 - 29 juillet 2024	0,34	Nasb1	55
		Nasb2	51,2
		Nasb3	61,1
		Moyenne	55,8
Jaugeage N°4 - 1^{er} août 2024	0,32	Nasb1	39,9
		Nasb2	47,3
		Nasb3	37
		Nasb4	46,3
		Moyenne	42,6
Jaugeage N°5 - 7 août 2024	0,31	Nasb1	30,9
		Nasb2	34,1
		Nasb3	24,2
		Nasb4	35,5
		Moyenne	31,2

Figure 27 : Résultats des jaugeages à la station de Nasbinals (source : auteur)

En outre, j'ai effectué 3 jaugeages par dilution de sel sur le ruisseau du Nasbinals, les 16, 18 et 23 juillet 2024. La valeur m représente la masse de sel dissoutes injectée pour la mesure. Pour rappel, la méthode de jaugeage par dilution de sel fonctionne ainsi : une masse de sel est diluée dans un volume d'eau du cours d'eau. On place la sonde conductimétrique dans l'eau, à un endroit adapté à la mesure. Le volume d'eau salée est injecté en amont de la sonde conductimétrique, à une distance définie comme la longueur de bon mélange (voir partie 3.1.2). La longueur de bon mélange est fonction du cours d'eau, de son brassage et de son profil. On mesure ensuite la conductimétrie à un pas de temps donné (ici 10 secondes). Cette dernière augmente rapidement, puis diminue lentement jusqu'à retourner à la valeur de conductimétrie initiale du cours d'eau.

Enfin, on réalise un étalonnage pour avoir une relation entre le conductimétrie et la concentration en sel. Pour ce faire, on fait une solution de concentration en sel de 1g/l dont on mesure la conductivité. Puis on réalise des dilutions successives d'un facteur 10 à partir de cette solution mère (en général 4 dilutions successives), et on mesure à chaque fois la conductivité de la solution fille. Voici, dans le tableau suivant, un exemple de données issues d'un étalonnage, et la courbe en résultant.

Solution	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Concentration (mg/l)
Solution mère	1980	1000
Solution fille N°1	292	100
Solution fille N°2	111,7	10
Solution fille N°3	93,5	1
Solution fille N°4	90,7	0,1

Figure 28 : Données d'étalonnage du conductimètre (source : auteur)

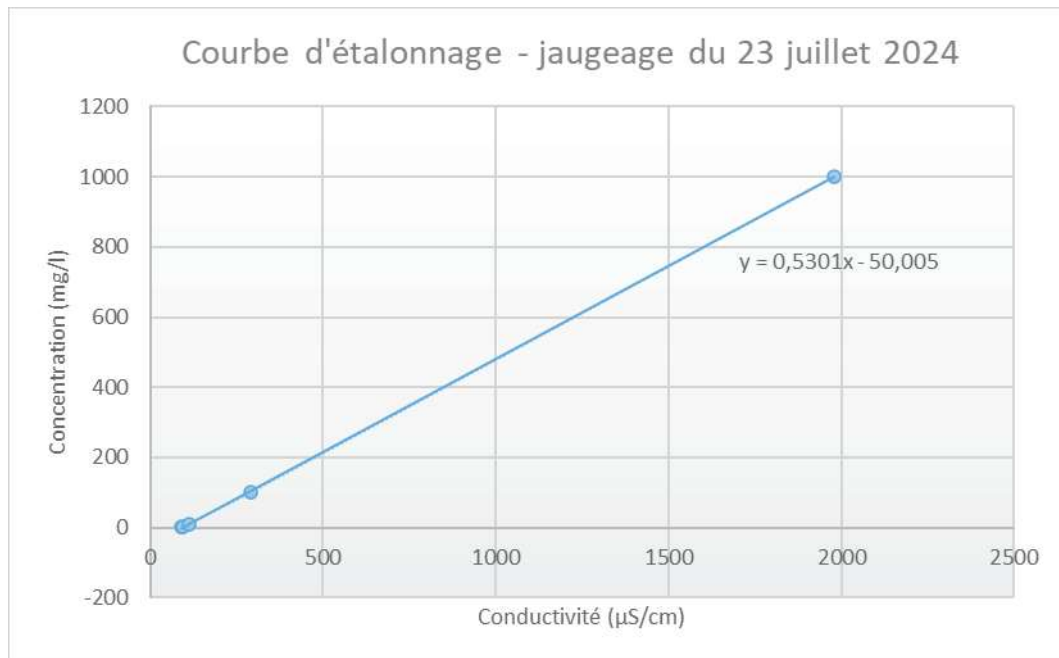


Figure 29 : Courbe d'étalonnage du conductimètre (source : auteur)

L'équation de la courbe d'étalonnage $C(s) = 0,5301 \cdot s - 50,005$ permet de calculer la concentration en sel, notée C (mg/l), à partir de la conductivité, notée s ($\mu\text{S/cm}$).

Pour le dépouillement des données, j'ai utilisé deux méthodes différentes de calcul du débit :

- La première méthode (notée M1), présentée en partie 3.1.2., utilise la concentration moyenne en sel durant le jaugeage. La formule liant le débit Q (l/s), la durée de la mesure T (s), la concentration moyenne C_m (g/l), la concentration initiale C_i (g/l) et la masse de sel injectée m (g) est la suivante :

$$Q = \frac{m}{(C_m - C_i) \cdot T}$$

- La seconde méthode (notée M2) est basée sur la connaissance du volume d'eau salée injectée V (l), la conductivité naturelle du cours d'eau s_{riv} ($\mu\text{S/cm}$), la conductivité moyenne durant la mesure s_m ($\mu\text{S/cm}$), et la conductivité du volume d'eau salée injectée s_i ($\mu\text{S/cm}$). La formule reliant ces valeurs au débit Q (l/s) et à la durée de la mesure T (s) est la suivante [13] :

$$Q = \frac{V \cdot s_i}{(s_m - s_{riv}) \cdot T}$$

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de ces mesures par dilution de sel.

	Hauteur d'eau (m)	Mesure	Méthode	Débit (l/s)
Jaugeage au sel N°1 – 16 juillet 2024	0,37	Mesure N°1 – m = 50g	M1	58,8
Jaugeage au sel N°2 – 18 juillet 2024	0,32	Mesure N°1 – m = 50g	M1	33,7
			M2	34
		Moyenne		33,9
Jaugeage au sel N°3 – 23 juillet 2024	0,43	Mesure N°1 – m = 50g	M1	119,5
			M2	105,3
		Moyenne		112,4
		Mesure N°2 – m = 25g	M1	91,3
			M2	92,3
		Moyenne		91,8
Moyenne mesures N°1 & N°2		102,1		

Figure 30 : Résultats des jaugeages par dilution de sel (source : auteur)

5.1.3 Jaugeages sur la station de Chaudes-Aigues

Sur cette station, j'ai réalisé 3 jaugeages. Lors du premier jaugeage, je n'ai effectué qu'une seule mesure au droit de l'échelle limnimétrique faute de temps. Lors des deux autres jaugeages, j'ai effectué 4 mesures sur un linéaire de 100m en amont de l'échelle limnimétrique. J'ai relevé l'emplacement des sites de mesures pour qu'elles soient toujours faites au même endroit, et afin d'avoir des données comparables. Les résultats des jaugeages sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Hauteur d'eau (m)	Nom de la mesure	Débit (l/s)
Jaugeage N°1 - 16 juillet 2024	0,29	CA	330
Jaugeage N°2 - 1^{er} août 2024	0,25	CA1	215
		CA2	204
		CA3	207
		CA4	211
		Moyenne	209,3
Jaugeage N°3 - 8 août 2024	0,24	CA1	187
		CA2	202
		CA3	165
		CA4	184
		Moyenne	184,5

Figure 31 : Résultats des jaugeages à la station de Chaudes-Aigues (source : auteur)

5.1.4 Jaugeages sur la station de Soulages-Bonneval

Je n'ai pu réaliser qu'un seul jaugeage sur cette station faute de temps, le 1^{er} août 2024. Sur ce site, j'ai effectué 3 mesures sur 3 différentes sections sur un linéaire de 50m autour de l'échelle limnimétrique. Les résultats de ce jaugeage sont renseignés dans le tableau qui suit.

Hauteur d'eau (m)	Nom de la mesure	Débit (l/s)
0,40	SB1	415
	SB2	500
	SB3	408
	Valeur moyenne	441

Figure 32 : Résultats du jaugeage à la station de Soulages-Bonneval (source : auteur)

5.2 Discussion des résultats de jaugeage et solutions

Dans cette partie, nous discuterons des résultats des différents jaugeages, y compris ceux de la journée de comparaison des jaugeages du 8 juillet 2024.

5.2.1 Discussion des résultats

D'abord, pour la journée de comparaison des jaugeages du 8 juillet, les débits mesurés avec le courantomètre SonTek et la règle à jauger sont très proches (respectivement 33 l/s et 31 l/s, soit un écart de 2,9%). De plus, la valeur donnée par le logiciel Solution NaCl pour M = 30g, conductimètre 2, est de 25l/s, ce qui est similaire à la valeur donnée par le courantomètre MF Pro.

On remarque ensuite que les valeurs de débit obtenues par la méthode de dilution de sel sont assez diversifiées : valeur minimale = 17 l/s, valeur maximale = 50 l/s, soit un écart de 294%. Elles varient en fonction de la méthode de dépouillement utilisée, mais aussi en fonction de la masse de sel injectée. On retient d'une façon générale les importants écarts entre les différentes valeurs.

Ensuite, pour les autres jaugeages, nous pouvons comparer les débits mesurés avec la règle à jauger et par dilution de sel, pour les hauteurs d'eau suivantes : 0,32m, 0,37m et 0,43m. Pour la hauteur d'eau de 0,32m, bien que les jaugeages aient été réalisés sur deux jours différents, la hauteur d'eau étant la même, nous pouvons comparer les valeurs qui en sont issues.

Hauteur d'eau (m)	Mesure avec la règle à jauger (l/s) – valeurs A	Mesure par dilution de sel (l/s) – valeurs B	Ecart relatif de B par rapport à A (%)
0,32	42,6	33,9	20,4
0,37	69,4	58,8	15,3
0,43	129	102,1	20,9

Figure 33 : Comparaison des deux méthodes de jaugeage à la station de Nasbinals (source : auteur)

On remarque que les ordres de grandeur sont assez proches, mais que les valeurs diffèrent tout de même d'un écart relatif moyen de B par rapport à A de 18,9%.

Par ailleurs, pour la station de Chaudes-Aigues, nous pouvons comparer les valeurs obtenues par jaugeage à la règle à jauger avec celles données par la station de suivi du débit de la DREAL Auvergne Rhône Alpes, qui constituent une référence [14].

Hauteur d'eau (m)	Débit de la station DREAL (l/s) – valeurs A	Débit issu du jaugeage à la règle à jauger (l/s) – valeurs B	Ecart relatif de B par rapport à A (%)
0,29	295	330	11,9
0,25	190	209,3	10,2
0,24	165	184,5	11,8

Figure 34 : Comparaison des résultats de jaugeage aux valeurs données par la station de la DREAL (source : auteur)

On note un écart relatif moyen de 11,3%, ce qui montre une bonne précision de l'outil règle à jauger. De plus, l'INRAE propose un écart de 10% lors de mesures avec la règle à jauger par rapport aux débits de référence. On retrouve donc, environ, la valeur de marge d'erreur moyenne donnée par l'INRAE à propos de la règle à jauger [15].

Enfin, il est intéressant de comparer les valeurs obtenues avec la règle à jauger entre elles. En effet, pour un jaugeage associé à une hauteur d'eau, on remarque que les différentes valeurs de débits sont assez bien regroupées. Pour des débits de quelques dizaines de l/s (ruisseau du Nasbinals), les différentes valeurs ne varient que de quelques unités et sont comprises dans un intervalle d'une largeur de 10 l/s environ (jaugeages des 29 juillet, 1^{er} et 7 août 2024). De plus, pour les jaugeages sur le Remontalou, les valeurs sont regroupées dans un intervalle [204 ; 215] l/s (1^{er} août 2024) et [165 ; 202] l/s (8 août 2024). Au regard de l'ordre de grandeur du débit, cela reste assez précis, surtout pour les valeurs du 1^{er} août. En outre, le jaugeage à Soulages-Bonneval donne 2 valeurs très proches (408 et 415 l/s) et une 3^e valeur extrême de 500 l/s, sûrement surévaluée à cause de vitesses importantes créant des instabilités sur la règle à jauger.

Considérant ces différentes données, on peut faire deux remarques :

- Les mesures par dilution de sel peuvent être impactées par de nombreux facteurs, créant une grande plage de variation.
- Les mesures avec la règle à jauger peuvent présenter des valeurs extrêmes assez éloignées, mais l'ensemble des mesures est plutôt bien regroupé.

Nous allons donc essayer d'apporter des solutions afin d'améliorer les mesures de débit faites avec ces deux méthodes.

5.2.2 Proposition de solutions

D'une part, concernant les mesures par dilution de sel, plusieurs facteurs sont à prendre en compte afin d'essayer d'améliorer la précision des mesures.

- La **longueur de bon mélange** L_{BM} : cette distance, définie en partie 3.1.2., est importante pour la réussite de la mesure. En effet, le sel dissout doit être réparti de façon homogène dans le cours d'eau pour que la concentration mesurée soit bien représentative du débit total du cours d'eau, et pas uniquement du débit du courant principal par exemple. A cet effet, une formule est proposée afin d'évaluer la longueur de bon mélange théorique. C'est la formule de Rimmar [14], avec B la largeur moyenne du cours d'eau (m) et h la profondeur moyenne du cours d'eau (m) :

$$L_{BM} = \frac{27 \cdot B^2}{h}$$

Néanmoins, c'est une formule théorique dont les résultats sont souvent trop grands pour être appliqués dans la pratique. A titre d'exemple, pour le ruisseau du Nasbinals B = 1,20 m, h = 0,20 m, ce qui donne une longueur de bon mélange de 194,4 m. Dans ce cas, il n'est pas concevable d'utiliser cette formule.

Il semble plus pertinent de s'intéresser aux portions avec des radiers (zones peu profondes avec des écoulements rapides, un substrat grossier de cailloux et de pierres et une surface hétérogène) qui permettent un bon brassage du volume d'eau. Les resserrments, les goulots qui accélèrent l'écoulement ou les chutes d'eau, permettent aussi un bon brassage.

- La **durée de la mesure** : les différentes mesures effectuées durant mon stage montrent l'importance de la durée de la mesure. En particulier, il est nécessaire d'attendre le retour à la valeur initiale de conductivité du cours d'eau. Cela peut s'avérer relativement long (20/25 minutes).
- Les **zones de calme** : certaines parties du cours d'eau peuvent ralentir voire stopper une partie du nuage de sel dissout. C'est le cas par exemple d'un bloc de pierre, d'un gourd dans un virage, ou d'un bras mort. Il faut donc accorder du temps à l'observation du cours d'eau avant d'entamer des mesures, dans le but de trouver les zones susceptibles de retenir une partie du sel.
- Un **système fermé** : la mesure du débit repose sur le principe d'un système fermé. Cette notion est importante à prendre en compte dans les mesures par dilution de sel. En effet, sur la portion de cours d'eau où l'on réalise la mesure, il ne peut pas y avoir d'apports ou de pertes d'eau. Cela pourrait causer deux problèmes :
 - L'ajout et/ou le retrait d'un débit non représentatif du débit du cours d'eau.
 - La perturbation de la mesure de conductivité par une eau de conductivité différente de celle du cours d'eau.

Ces apports ou pertes peuvent être causés par une conduite d'assainissement ou un affluent par exemples.

- La **dilution du sel** : la masse de sel doit être intégralement dissoute dans le volume d'eau injectée. Si quelques grammes ne sont pas dissouts, la mesure sera moins précise, puisque le calcul du débit implique la connaissance de la masse de sel et de la concentration moyenne.

D'autre part, les mesures avec la règle à jaugeur peuvent être améliorées en apportant une attention particulière à certains facteurs.

- La **turbulence de la charge dynamique** : la charge dynamique D_h qui apparait contre la règle à jaugeur (voir page 17) peut ne pas être stable, et présenter une frange turbulente, avec des remous ou des bulles. C'est souvent le cas en présence de vitesses fortes. Pour effectuer une mesure correcte, il faut observer durant une dizaine de secondes l'évolution de cette frange turbulente, et placer le régllet de mesure au niveau de la partie stable de la charge dynamique. Cela est illustré ci-après.

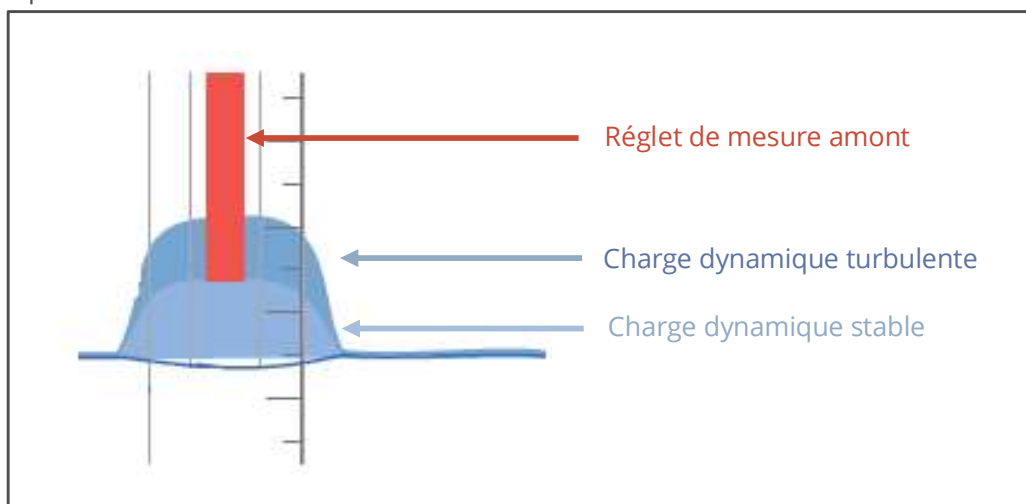


Figure 35 : Schéma de la mesure en présence d'une charge dynamique turbulente (source : auteur)

C'est un aspect important car si l'on n'y prête pas attention, les valeurs de débits obtenues peuvent être surévaluées. C'est une difficulté à laquelle j'ai été confronté lors de mes premiers jaugeages.

- Le **substrat du cours d'eau** : au droit de la section de mesure, le lit du cours d'eau doit être le plus homogène possible. En effet, la présence de blocs ou de pierres, et plus largement une granulométrie trop hétérogène, implique des mesures de profondeur très variables, ce qui diminue la précision du jaugeage. Il peut être préférable de déplacer quelques pierres afin d'avoir une section vraiment adaptée avant d'effectuer le jaugeage.
- La **distance entre chaque verticale** : une verticale correspond à un point de mesure des 3 valeurs suivantes : la distance à la berge de départ, la profondeur et la charge dynamique. L'INRAE conseille de réaliser une verticale tous les 20cm. Néanmoins, si l'écoulement n'est pas réparti de façon homogène sur toute la section de jaugeage, la majorité du débit peut passer uniquement à un certain endroit. Dans ce cas, il peut être intéressant de resserrer les verticales tous les 10cm, afin d'être plus précis.

Conclusion

En considérant le travail effectué durant mon stage de fin d'études, dont une partie a été présentée dans ce rapport, la mise en place de stations hydrométriques participatives sur le territoire du PNR de l'Aubrac est possible et effective, même si elle peut rencontrer des obstacles. En effet, développer un tel projet prend du temps, en partie car il fait appel à des partenaires extérieurs à la structure du PNR de l'Aubrac. Les délais et le bon déroulement du projet peuvent donc être impactés par ces facteurs extérieurs (comme vu en partie 4.1.2 avec la réalisation des panneaux informatifs). De plus, le faible budget alloué à ce projet aurait pu en être un frein, et a nécessité de trouver des solutions alternatives pour le mener à bien, comme le partenariat avec OECS. Néanmoins, l'installation de ces stations hydrométriques participatives a été une réussite, en partie grâce à l'engouement des élus pour ce projet. Ils ont été des facilitateurs de la mise en place du projet, et pour certains les premiers à participer aux relevés des hauteurs d'eau. En outre, nous avons pu constater que la règle à jaugeur développée par l'INRAE est un outil d'autant plus fiable et adapté pour mesurer les débits sur les stations hydrométriques participatives que, pour ce projet, on accorde une plus grande importance à l'évolution qualitative du débit qu'à la mesure de valeurs quantitatives précises.

De plus, le développement de ces stations hydrométriques participatives présente quatre enjeux pour le PNR de l'Aubrac :

- La sensibilisation du public à la ressource en eau et à l'impact du changement climatique sur les cours d'eau constitue un premier enjeu du projet. En effet, par leur participation, les citoyens s'intéressent à la rivière, sont plus à même de se documenter sur cette thématique et souhaitent en savoir plus sur le projet et le suivi des débits. De plus, une partie du public est constituée de touristes, mais l'autre partie rassemble des locaux habitant l'Aubrac à l'année et étant sensibles à leur environnement et à leur cadre de vie. C'est pourquoi ils sont aussi bien ciblés par le projet que le public de passage.
- Un enjeu important est l'adhésion du public et des partenaires politiques et techniques au projet. En effet, le public participe aux relevés, les partenaires politiques autorisent et permettent l'installation du matériel, et les partenaires techniques fournissent leur expérience technique et du matériel. Sans eux, le projet ne pourrait pas aboutir. C'est donc un enjeu de taille que de réunir et convaincre ces différents acteurs de s'associer ou de participer au projet.
- Elles sont un moyen pour le PNR de l'Aubrac de produire des données hydrométriques (hauteur d'eau, débit) lui-même. Jusqu'à présent, le PNR de l'Aubrac ne produisait aucune donnée relative au domaine de l'eau. Les données exploitées par les agents du PNR de l'Aubrac étaient issues de producteurs de données extérieurs (Fédération de pêche, DREAL...). Par ce projet, le PNR de l'Aubrac produit donc ses premières données en interne.
- Elles permettent au PNR de l'Aubrac d'acquérir une légitimité et de la notoriété par rapport à ses partenaires techniques dans le domaine de la gestion de l'eau. En effet, actuellement, le PNR de l'Aubrac assure une gestion sur le bassin de la Truyère. Mais il risque de perdre cet axe de travail au profit de la création d'un syndicat de rivière dédié à la gestion du bassin de la Truyère. Si cela venait à arriver, le PNR de l'Aubrac n'aurait plus que l'Observatoire de l'Eau dans le domaine de la gestion de l'eau sur son territoire. Il est donc important de consolider cet aspect, et la mise en place des stations hydrométriques participatives y joue un rôle.

En conclusion, la mise en place de stations hydrométriques participatives permet au PNR de l'Aubrac d'acquérir une plus grande légitimité dans le domaine de la gestion de l'eau, en devenant producteur de données et en fédérant différents acteurs autour d'un projet. En outre, elle participe au rôle de sensibilisation des élus et du public à la préservation du patrimoine naturel de l'Aubrac. Enfin, elle est

rendue possible par la collaboration de nombreux acteurs qui partagent des objectifs communs d'amélioration de la connaissance et par l'existence d'instruments de jaugeage novateurs abordables et fiables.

Références bibliographiques

- [1] Parc Naturel Régional De L'Aubrac, « La Charte Du Parc - Parc Naturel Régional De L'Aubrac », 25 avril 2023, <https://www.parc-naturel-aubrac.fr/le-parc/charte-parc/>.
- [2] Parc Naturel Régional De L'Aubrac, « Le Parc - Parc Naturel Régional De L'Aubrac », 17 juillet 2023, <https://www.parc-naturel-aubrac.fr/le-parc/>.
- [3] Parc Naturel Régional De L'Aubrac, « Contactez Les Agents Du Parc - Parc Naturel Régional De L'Aubrac », 1^{er} juillet 2024. <https://www.parc-naturel-aubrac.fr/le-parc/equipe-technique/>.
- [4] SCHAPI – Hydroportail, « La Station Hydrométrique », n.d. <https://www.hydro.eaufrance.fr/aide/la-station-hydrometrique>.
- [5] F. Houllier, P-B. Joly, and J-B. Merilhou-Goudard, « Dossier : Des Recherches Participatives Dans La Production Des Savoirs Liés À L'environnement – Les Sciences Participatives: Une Dynamique À Conforter », Natures Sciences Sociétés 25, no. 4 (1^{er} octobre 2017), 418–23, <https://doi.org/10.1051/nss/2018005>.
- [6] Contributeurs aux projets Wikimedia. « Hydrométrie » 30 juillet 2024, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrom%C3%A9trie>.
- [7] Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), « Contrôle des débits réglementaires », 2011.
- [8] COMETEC, « Instrumentation des eaux - Courantomètre électromagnétique », 2015.
- [9] Pike et al., « Development and testing of a modified transparent velocity-head rod for stream discharge measurements », 2016.
- [10] D. Renard et al., « Vélodimétrie Et Débitmétrie : Méthodes Basées Sur Les Ultrasons », La Houille Blanche 73, no. 4–5 (1^{er} juin 1987) : 305–12, <https://doi.org/10.1051/lhb/1987025>.
- [11] R. Duperray, « Electromagnétisme : Loi de l'induction de Faraday », Lycée F. Buisson, PTSI.
- [12] Epage Loire-Lignon, « Suivi Participatif Des Débits Sur Le Bassin Du Lignon », Epage Loire Lignon, 7 août 2024, <https://www.epageloirelignon.fr/observatoire-du-lignon/suivi-participatif-des-debits-sur-le-bassin-du-lignon/>.
- [13] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales - Méthodes de mesure du débit », 2019.
- [14] Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, « Contrôle des débits réglementaires - 7.2.3.1. Estimation de la longueur de bon mélange », 2011.
- [15] OTT HydroMet, « OTT HydroMet | OTT HydroMet », n.d. <https://www.otthydromet.com/>.
- [16] J. Le Coz, « Règles À Jauger - River Hydraulics - INRAE RiverLY », n.d., <https://riverhydraulics.riverly.inrae.fr/outils/instrumentation/regles-a-jauger>.
- [17] « OECS : Observation Des Eaux Par Les Citoyens Et Les Satellites », n.d. <https://map.oecsmap.org/>.

Annexes

A – Bon de commande pour la règle à jager

BON DE COMMANDE N°100 - CG - X
(POUR DES MONTANTS < 25 000 € H.T*)

NOM DU REFERENT TECHNIQUE : Cloé Garrel

NOM & ADRESSE DE L'ENTREPRISE :

AAIS

9 avenue des Buisnières

38360 SASSENAGE

N°SIRET : 34022389000013

RIB : joindre en pj (si nécessaire)

Désignation produit / prestation	Quantité	P x unitaire HT	Total HT	
Perche Transparente Plexi 1000x100mm Epaisseur 8mm sans impression	1	165	165,00€	
Frais de conditionnement et de port	1	10	10,00€	
TOTAL HT		175	175,00€	
		TVA	0,2	35,00€
		TOTAL TTC		210,00€

Commentaire : devis N°112201 (code fournisseur) ; commande sans mise en concurrence (matériel scientifique, exclusivité du fournisseur)

NOM CONVENTION IMPUTEÉ : OBSERVATOIRE DE L'EAU

CODE CONVENTION : X – article 60632

En date du 03/06/2024

VISA Service Financier

Validation Directeur



IMPORTANT : Pour les dépenses proches du seuil de 25 000 € HT se rapprocher de l'AGAF

B – Devis pour les panneaux d'information



Signalétique & mobiliers
CONCEPTION & FABRICATION FRANÇAISE



vendredi 14 juin 2024

Devis 2

Pic Bois Pyrénées
35 route de Bagnères
65190 TOURNAY
05 62 35 29 16
pyrenees@pic-bois.com

PARC NATUREL REGIONAL DE L'AUBRAC
Place d'Aubrac
Au village d'Aubrac
12470 ST CHELY D AUBRAC

Affaire suivie par : DROUILLAC Julien avec Basile DRAVIGNY, port: 0757553309, mail: stagiaire1@parc-naturel-aubrac.fr
Nos références : **235-24-CHELY-D-AUBRAC ST-PARC NATUREL REGIONAL DE L'AUBRAC-12**
Vos références :
Chantier : Lutrin science participative
Titre :

DESIGNATION	QTE	PRIX U HT	PRIX HT
<p>Notice</p> <p>Les fichiers informatiques directement exploitables fournis par vos soins devront impérativement répondre aux exigences de notre cahier technique correspondant au procédé de marquage. Disponible sur demande.</p>	1.0		
<p>Note environnementale - La signalétique et les mobiliers en bois spécifiés sur ce devis sont certifiés PEFC (minimum 70%)</p> <p>Notre entreprise soutient la gestion forestière durable au niveau mondial en adhérant au label PEFC, et suit la provenance et le caractère certifié de nos approvisionnements en bois. Cette chaîne de contrôle certifiée QUAL-PEFC COC-191155, est vérifiée par un organisme indépendant.</p>			
<p>Lutrin format 20x20 cm</p> <p>1 poteau en châtaignier finition brute poncé grain fin, Section 9,5x9,5 cm, hauteur 140 cm (prévu 90 cm hors sol). Coupe à 30° 1 paire de cornières inox pour fixation du visuel en face arrière. Visserie inox de montage fournie. 1 panneau stratifié avec décor 1 face, dos kraft en inclusion ép. 10 mm. Format total 200 x 200 mm cf fichier fourni. Chanfreins + coins non saillants Pré-perçages au dos et visserie inox de montage.</p>	5.0	125.00 €	625.00 €
<p>Pose</p> <p>Déplacement pour repérage et piquetage des emplacements</p>	1.0	362.50 €	362.50 €
<p>Option pose (version sans béton)</p> <p>Déplacement sur site pour réalisation des fouilles et pose sans béton des pupitres directement en terre</p>		150.00 €	0.00 €
<p>ou Option pose (version avec béton)</p> <p>Déplacement sur site pour réalisation des fouilles et pose bétonnée des pupitres (socle d'environ 40x40x40 cm)</p>	5.0	162.50 €	812.50 €

235-24-CHELY-D-AUBRAC ST-PARC NATUREL REGIONAL DE L'AUBRAC-12

Plus d'infos sur www.pic-bois.com

DE2 / NC: 03463

Page 1 de 2

SARL au capital de 8 000 €

Code APE/NAF : 1629 Z

SIRET : 449 140 102 00012

Conception graphique						
Echnage pour mise en page d'un panneau selon ligne graphique du GR 65 mise en valeur des sites Unesco. Contenu texte et iconographique fourni par vos soins. Echanges de PDF pour aller/retour maquettes. Prévu mise en page idem à décliner sur les siddérents visuels					1.0	150.00 €
Total HT départ emballé	Participation frais de port ¹	HT port compris	TVA	Montant TVA	Total € TTC	
1 950.00 €	Compris	1 950.00 €	20.00 %	390.00 €	2 340.00 €	

Poids estimatif: 70.70 kg.

Présentation des maquettes sous 2 semaines

Notre TVA intracommunautaire: FR11449140102

Expédition 6 à 7 semaines après BAT ^{2 3}

Votre N° TVA intracommunautaire: FR7200048692

Bon pour Accord, le :

Nom et signature :

PRIX VALABLES 45 jours calculés pour un règlement : Traite 45 jours date de facture, voir nos conditions de vente. Les délais donnés démarrent à la réception de l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation de la commande.

Merci de renseigner vos coordonnées, ainsi que les adresses de livraison et de facturation.

¹ Calculée d'après la facture du transporteur, ² Donnés à titre indicatif, ³ Hors congés

Convention pour la mise en place de station de suivi des hauteurs d'eau

Dans le cadre du programme de science participative de l'Observatoire de
l'eau du Parc naturel régional de l'Aubrac

Entre les soussignés :

Le Syndicat mixte d'aménagement et de gestion du PNR de l'Aubrac, représenté par son Président,
Bernard BASTIDE, dûment mandaté par le Comité syndical, et ci-après dénommé, le PNR Aubrac
d'une part,

Et

La Commune de Chaudes-Aigues, représentée par son Maire, Michel Brousse, et ci-après dénommée,
la Commune

d'autre part,

il a été exposé ce qui suit :

PRÉAMBULE

L'Aubrac est classé Parc naturel régional depuis le 23 mai 2018. En application des articles R.333-2 et suivants du Code de l'environnement, le SMAG PNR Aubrac est chargé de la gestion du Parc naturel régional de l'Aubrac. Il met en œuvre la Charte du Parc et veille au respect des engagements pris par les signataires de la Charte.

Le SMAG PNR Aubrac est composé de 78 communes, dont celle de Chaudes-Aigues, 2 Régions, 3 Départements et 6 Communautés de communes.

CONTEXTE

Dans le cadre de la mise en œuvre de la Charte du Parc (mesure 1 concernant « la création d'un observatoire multithématique du territoire » et mesures 9,10 et 28 portant sur « l'amélioration des connaissances des milieux aquatiques, des zones humides et de la ressource en eau ») un observatoire de l'Eau a été développé en 2022. Il se compose d'une cartographie dynamique accessible sur le site internet du Parc et présentant l'ensemble des points de suivi pour les paramètres de débit, pluviométrie, thermie (température de l'eau), bioindicateurs (inventaires piscicoles) etc... Ces données sont largement produites par les partenaires techniques du Parc (services de l'Etat, fédérations de pêche...). Actuellement sur le territoire, le suivi des débits est fait :

- Soit de manière visuelle sur de très petits cours d'eau, qui permet de catégoriser les écoulements en visible, non visible ou assec (16 points de suivis sur le territoire).
- Soit par des mesures sur les grands axes du territoire (17 points de mesures répartis sur le Lot, la Truyère, la Colagne, la Rimeize et le Bès).

Aucune donnée liée au débit n'est disponible sur les cours d'eau de taille intermédiaires.

Parallèlement à ce constat, les sécheresses récurrentes et le manque d'eau se font de plus en plus sentir sur le territoire, en lien avec le changement climatique et le grand public est demandeur d'informations sur l'état de la ressource en eau.

De ce fait, le Comité syndical du Parc a délibéré en faveur de la mise en place d'un programme de science participative en lien avec le déploiement de l'Observatoire de l'Eau. Ce programme a pour sujet la mise en place de stations de suivi des hauteurs d'eau sur de petits et moyens cours d'eau du territoire du Parc pour lesquels peu de données sont disponibles. Ces stations se matérialiseront par une échelle limnimétrique et un panneau informatif permettant au public volontaire de relever et de transmettre au Parc la hauteur de ces cours d'eau et d'en déduire leur débit.

ARTICLE 1 : OBJET DE LA CONVENTION

La Commune et le SMAG PNR Aubrac s'accordent sur l'implantation d'une station de suivi des hauteurs d'eau sur le Remontalou.

La présente convention décline les engagements de chacune des deux parties, la durée et les modalités d'exécution de ce projet.

ARTICLE 2 : OBJECTIF DU PROJET ET DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Le PNR Aubrac et la Commune souhaitent travailler à l'atteinte des objectifs suivants :

- Améliorer la connaissance du fonctionnement hydraulique et produire des données concernant l'évolution de la hauteur d'eau et du débit des cours d'eau équipés ;
- Sensibiliser les citoyens sur l'importance que revêtent les cours d'eau et l'impact du changement climatique sur ceux-ci ;

Dans ce but, ils conviennent d'installer une station de suivi des hauteurs d'eau composée d'une échelle limnimétrique et d'un panneau informatif. Les dimensions de l'échelle sont les suivantes : 1m sur 15cm ; le panneau sera composé d'une plaque au format 15x21 cm et d'un piquet d'1m de hauteur.

La station sera localisée sur le Remontalou, au centre-ville sur la portion du cours d'eau entre l'Office de Tourisme et la place du Gravier, sur la parcelle cadastrale AB 226 ou AB 224, dont le gestionnaire est la commune de Chaudes-Aigues. Une carte localisant l'emplacement précis de la station est annexée à la présente convention.

ARTICLE 3 : CALENDRIER DU PROJET

Le calendrier du projet est le suivant :

- Année 2024 : lancement du programme de science participative et installation de la station de suivi des hauteurs d'eau.
- Année 2025 à 2028 : suivi de la station et bilan des données collectées.

ARTICLE 4 : ENGAGEMENTS DU PNR AUBRAC

Le PNR Aubrac s'engage à :

- En amont de l'installation
 - Présenter le cadre du projet à la commune
 - Définir avec la commune les objectifs et les caractéristiques de la station de suivi
 - Associer les partenaires techniques (Fédération de pêche, AAPPMA...) à la discussion
 - Communiquer auprès du grand public sur le lancement du programme de science participative
- Au moment de l'installation du dispositif
 - Réaliser un état des lieux ante et post installation
 - Fournir le matériel nécessaire à l'installation de la station : échelle limnimétrique, visserie, panneau.
 - Accompagner l'installation du dispositif
- Dans le cadre du suivi du programme de sciences participatives
 - Communiquer auprès du grand public afin de faire vivre le programme de science participative
 - Enregistrer les données de hauteur d'eau de la station envoyées par les observateurs
 - Communiquer sur le bilan des données collectées
 - Assurer l'entretien du dispositif

ARTICLE 5 : ENGAGEMENTS DE LA COMMUNE

La commune s'engage à :

- En amont de l'installation (année n),
 - Participer à la définition des objectifs et des caractéristiques de la station de suivi
- Au moment de l'installation du dispositif
 - Mobiliser un agent des services techniques et l'équipement nécessaire (perceuse, visseuse, foret adéquat...) pour installer l'échelle et le panneau dans les conditions prévues.
- Dans le cadre du suivi du programme de sciences participatives
 - Communiquer auprès du grand public afin de faire vivre le programme de science participative
 - Autoriser le grand public à accéder à la station et ne pas en bloquer l'accès
 - Avertir, sans délais, le PNR Aubrac en cas de dommage au dispositif
 - Ne pas bloquer l'accès à la station

ARTICLE 6 : FINANCEMENT DU DISPOSITIF

Le PNR de l'Aubrac assure l'entièreté du financement de l'installation et du suivi du dispositif.

Ce programme de science participative s'inscrit dans le déploiement de l'Observatoire de l'Eau de l'Aubrac, un projet financé à hauteur de 50% l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

ARTICLE 7 : COMMUNICATION ET CONFIDENTIALITE DES DONNEES

Le PNR Aubrac prend en charge la communication autour du programme de science participative.

Les données sont acquises dans le cadre d'un programme cofinancé par des fonds publics, les productions issues de ce programme (rapports, images, données...) sont donc considérées comme des données publiques. Ces données seront notamment communiquées au CNES (Centre national d'études spatiales) dans le cadre du programme OECS (Observatoire des eaux continentales par des citoyens et des satellites) qui vise l'étalonnage des satellites par des données collectées par des citoyens.

ARTICLE 8 : SUIVI ET ÉVALUATION DU PARTENARIAT

Le suivi de la convention de partenariat sera assuré par un agent de la mission Eau du PNR Aubrac dans le cadre de l'Observatoire de l'Eau.

Au terme de la Convention, le PNR de l'Aubrac et la commune effectueront une évaluation du partenariat sur la durée du projet.

ARTICLE 9 : DURÉE DE LA CONVENTION ET CLAUSES DE RÉSILIATION

La présente convention est consentie pour une durée de 5 ans renouvelable par tacite reconduction.

En cas de non-respect des engagements réciproques inscrits dans la présente convention, celle-ci peut être résiliée de plein droit par l'une ou l'autre des parties à l'expiration d'un délai de 6 mois suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure. La présente convention peut également être résiliée d'un commun accord entre les parties.

Fait, pour valoir ce que de droit,
en double exemplaire, le

Le Président du Syndicat mixte d'aménagement et
de gestion du PNR de l'Aubrac :

Bernard BASTIDE

Le Maire de la Commune de Chaudes-Aigues :

Michel BROUSSE



Webinaire ouvert à tous Veillons sur nos cours d'eau



Le changement climatique impacte nos cours d'eau : baisse des débits, concentration des polluants, rivières à sec... Pour avoir une connaissance plus fine de ces changements et mieux préserver cette ressource vitale, le Parc naturel régional de l'Aubrac engage un programme d'observation des débits. Pour cela, il a besoin de la participation d'un bon nombre de personnes s'engageant à relever régulièrement les niveaux des cours d'eau près de chez eux.

Pour comprendre les enjeux de l'eau en Aubrac et savoir comment participer, le Parc organise un webinaire ouvert à tous.

Visioconférence jeudi 20 juin à 18h

| Inscription : eau@parc-naturel-aubrac.fr
| Infos : www.parc-naturel-aubrac.fr/en-action/observatoire-eau



**Lien direct
de connexion
au webinaire**