



Projet de microcentrale hydroélectrique du Grand Arc

Commune de Randens / Bonvillaret (73)

Etude hydrologique



Sommaire

1	Situation géographique	3
1.1	Cadre géographique général	3
1.2	Bassin versant capté du projet	5
2	Hydrologie	5
2.1	Sources et données utilisées	5
2.2	Méthodologie	6
2.3	Détermination du module	7
2.3.1	Données hydrologiques de la centrale hydroélectrique de Notre Dame des Millières ..	7
2.3.2	Détermination du module à partir des mesures de débits sur le Bon Nant	11
2.3.3	Détermination du module à partir de la microcentrale hydroélectrique de La Léchère	14
2.3.4	Détermination du module à partir de la centrale de Calvin sur le Joudron	14
2.3.5	Détermination du module à partir du bilan hydrologique annuel	15
2.3.6	Conclusion – Module	19
2.4	Mesures ponctuelles	19
2.5	Stations publiques	20
3	Débits réservés	20
4	Conclusion	21

1 Situation géographique

1.1 Cadre géographique général

Situés au début de la vallée de la Maurienne, face au massif de Belledonne, les ruisseaux du Nant Brun, Bon Nant et Nant Clair sont trois affluents de l'Arc prenant leur source dans le massif de la Lauzière, au Char de la Turche et au Petit Arc à environ 2 000 m d'altitude.

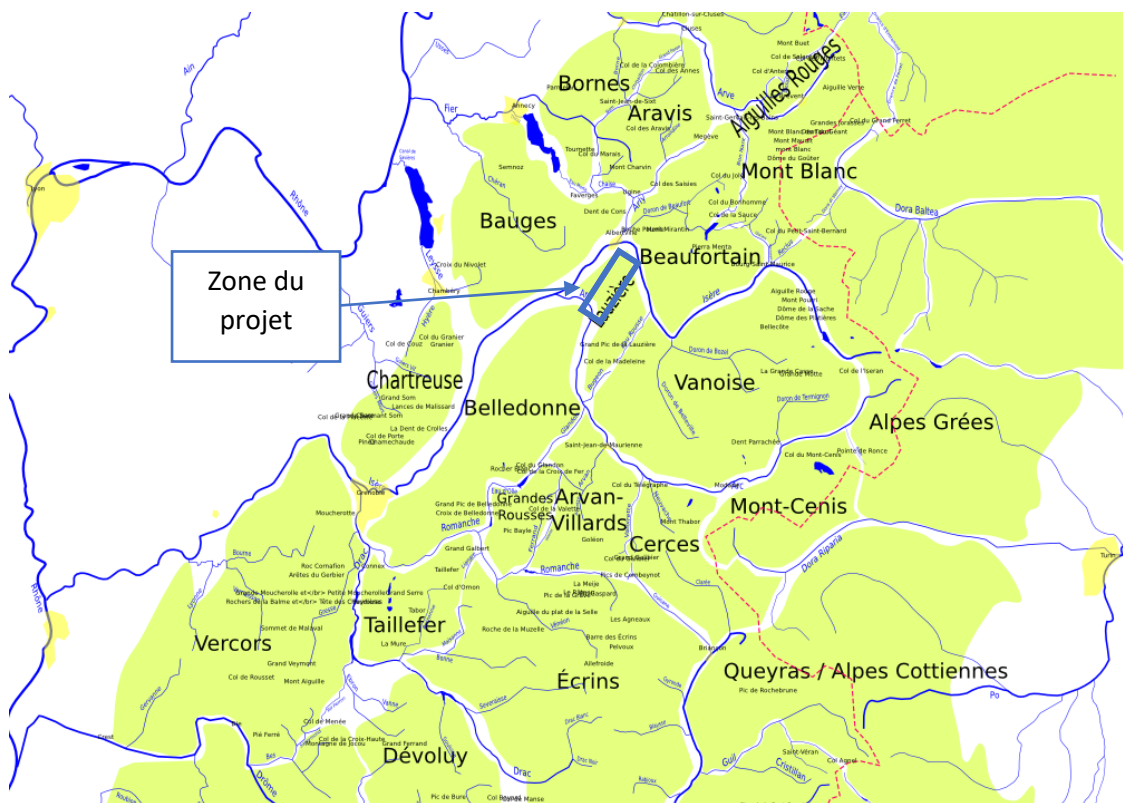


Figure 1 Carte des massifs alpins

D'une superficie totale d'environ 7 km², le bassin versant des trois ruisseaux s'étend sur le flanc Ouest du Grand Arc, sur les communes de Val d'Arc et de Bonvillaret.

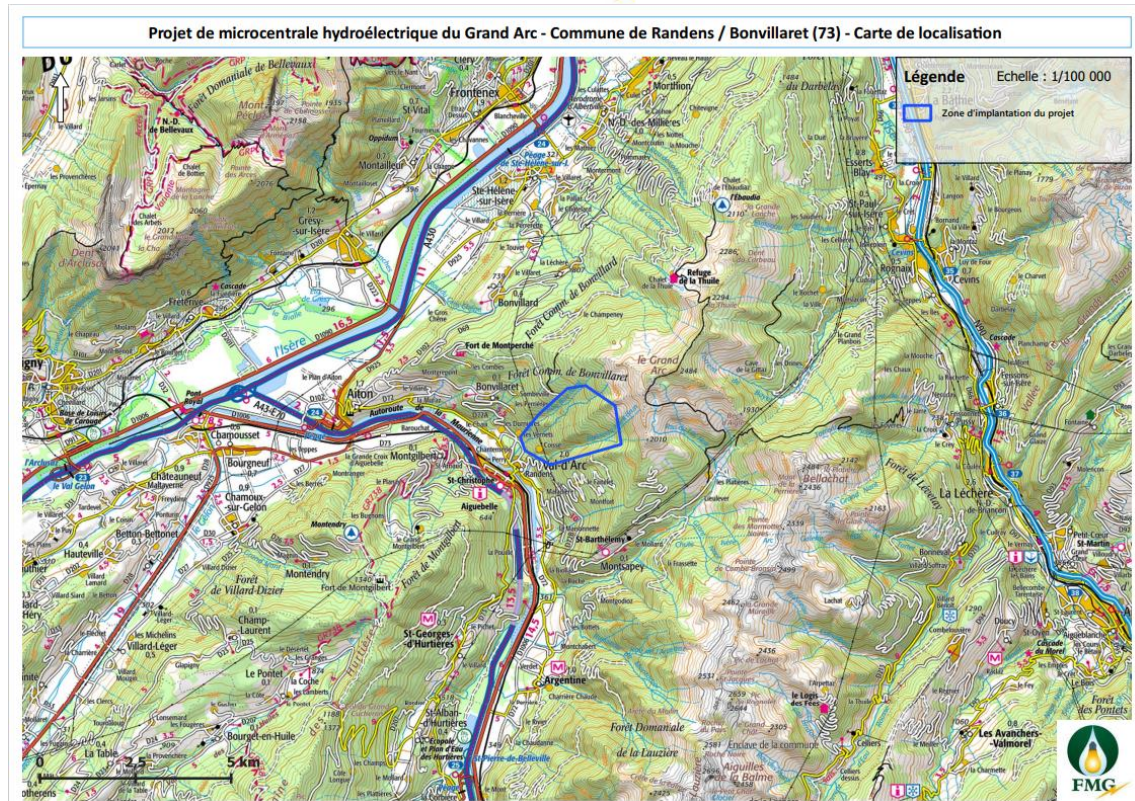


Figure 2 Zone d'étude du projet

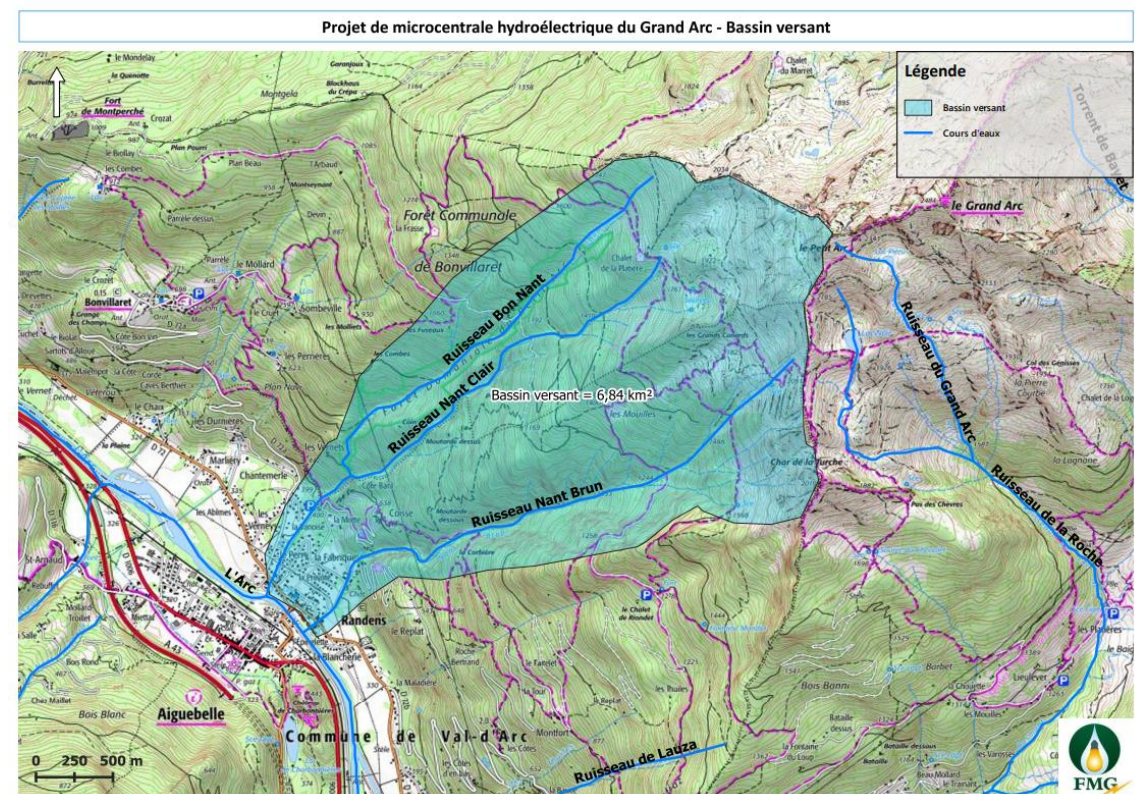


Figure 3 Bassin versant du projet

1.2 Bassin versant capté du projet

La fraction du bassin versant capté par le projet d'aménagement hydroélectrique couvre 39% du bassin versant total des trois cours d'eaux, sur une surface de 2.65 km² (respectivement 0,53 km² pour le Bon Nant, 1,06 km² pour le Nant Clair et 1,06 km² pour le Nant Brun répartie en trois zones - Nant Brun Centre – Nant Brun Ouest et Nant Brun Est).

Ce sous-bassin versant est délimité à l'Est par le Char de la Turche et à l'ouest par le Petit Arc. Il est limité en aval par le futur emplacement des prises d'eau.

Le calcul de l'indice de Gravelius, nous donne un coefficient de 1,32 ce qui indique une compacité des bassins versant assez forte. L'indice de couverture forestière est assez important avec presque la moitié du sous bassin versant capté boisé, soit 44 %.

L'étude de la répartition altimétrique des surfaces du sous-bassin versant capté a permis d'établir une altitude médiane de 1780m.

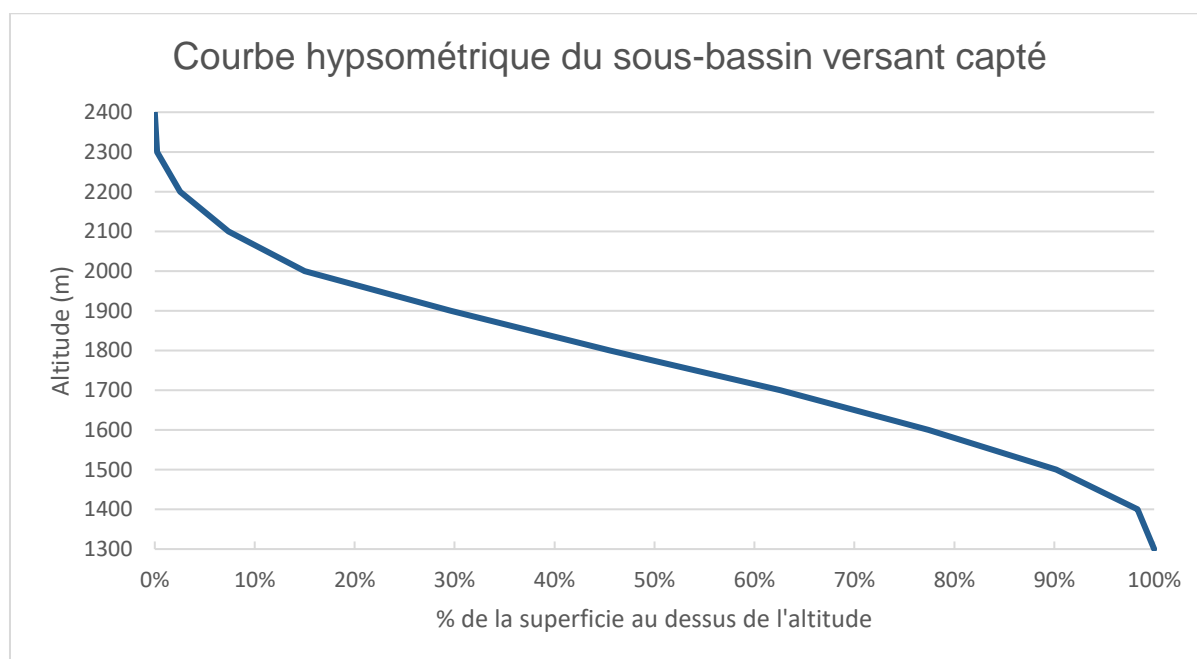


Figure 4 Courbe hypsométrique du sous bassin versant capté

2 Hydrologie

2.1 Sources et données utilisées

Les documents suivants ont été utilisés pour établir l'hydrologie du bassin versant capté :

Données terrain :

- Forces Motrices du Gelon exploite une centrale hydroélectrique sur les ruisseaux de Fontaine Claire et La Combe sur la commune de Notre-Dame-des-Millières. La centrale inaugurée en 2021 est située à proximité du projet du Grand Arc avec des caractéristiques similaires. FMG possède les valeurs des débits sur deux années. Nous avons donc extrapolé le module au site de prise d'eau de la centrale de Notre Dame des Millieres au site de prise d'eau du projet ;



- Il n'existait pas de stations de mesures sur les torrents du Nant Clair, Nant Brun et Bon Nant. Néanmoins, le porteur de projet a installé deux seuils avec une sonde mesurant la hauteur de la lame d'eau sur le Bon Nant et le Nant Brun Centre. Ces installations nous ont permis d'obtenir les débits heure par heure sur environ une année de mesure (octobre 2022 à septembre 2023).

Données bibliographiques :

- Thèse de doctorat – Université de Grenoble - Hydrogéologie du bassin versant du Haut Gelon – G. Pappini – 1976 ;
- Carte des précipitations de la Savoie– Moyenne annuelle de référence 1981-2010 – Météo France.
- Prise d'eau complémentaire sur le Nant Bagneux (Nant Bruyant) pour la microcentrale hydroélectrique de La Léchère – Société EREMA
- Dossier de demande de renouvellement d'autorisation de la centrale de Calvin, située sur le bas Joudron et Arrêté préfectoral 2011 – 924 du 19 décembre 2011
- Hydrologie du ruisseau du Basmont sur la commune d'Argentine.

2.2 Méthodologie

L'étude hydrologique a pour objet de :

- Déterminer le module aux sites de prise d'eau qui sert de base à la fixation du débit réservé ;
- Déterminer la répartition des apports dans l'année afin d'estimer le productible du projet (chronique et courbe des débits classés).

L'approche retenue est la suivante :

- Extrapolation du module au site de prise d'eau de la centrale de La Léchère sur le Nant Bruyant au site de prise d'eau du projet ;
- Extrapolation du module au site de prise d'eau de la centrale de Calvin sur le Joudron au site de prise d'eau du projet, à titre de recoupement ;
- Bilan hydrologique du bassin versant capté à partir des précipitations et l'évapotranspiration pour valider la valeur de module précédemment obtenue ;
- Détermination du régime hydrologique (répartition des apports dans l'année).



2.3 Détermination du module

2.3.1 Données hydrologiques de la centrale hydroélectrique de Notre Dame des Millières

Forces Motrices du Gelon exploite une centrale hydroélectrique sur les ruisseaux de Fontaine Claire et La Combe sur la commune de Notre-Dame-des-Millières. La centrale inaugurée en 2021 est située à proximité du projet et FMG possède les valeurs des débits sur deux années complètes. La centrale est située à proximité du projet du Grand Arc et nous considérons que les torrents sont similaires avec un bassin versant équivalent. De plus, ils sont situés dans le même massif et la topographie et la végétation sont similaires.

La seule différence provient de l'orientation du bassin versant, ouest pour les torrents du Nant Clair, Bon Nant et Nant Brun et plutôt Nord et Nord-Ouest pour la Combe et Fontaine Claire. Cette différence d'orientation affecte peu le volume de précipitation. Elle affecte principalement la période de fonte des neiges.

Il nous paraît donc pertinent de déterminer le module à partir de ces données.

Les débits mesurés sur la centrale hydroélectrique de Notre Dame des Millières proviennent d'un seuil calibré sur chaque prises d'eaux alimentant une grille de type Coanda. Une mesure de niveau à l'amont du seuil donne la hauteur de la lame déversant sur le seuil. Le débit de chaque torrent est calculé en continu par une formule de débit sur un seuil (formule de Francis).

Par ailleurs, on obtient le débit turbiné en fonction de l'ouverture de l'injecteur. On vérifie que le débit turbiné respecte la formule ci-dessous :

$$- Q_{\text{turbiné}} = Q_{\text{prise d'eau 1}} + Q_{\text{prise d'eau 2}} - Q_{\text{réservé 1 et 2}} - Q_{\text{déversé 1 et 2}}$$

Nota : les Q déversés sont mesurés par la lame d'eau des déversoirs des dessableurs

Les débits des seuils ont été vérifiés par des mesures au Salinomadd.

Données générales sur la centrale de Notre-Dame-des-Millières :

Nombre de prises d'eaux	2 (1 sur Fontaine Claire et 1 sur La Combe)
Bassin versant global	2,475 km ²
Bassin versant au km ²	44 l/s/km ²
Module total	110 l/s
Débit d'équipement	143 l/s
Débit réservé total	11 l/s

Concernant le ruisseau de Fontaine Claire :

Bassin versant	1,35 km ²
Module	60 l/s

Débit réservé	6 l/s
---------------	-------

Concernant La Combe :

Bassin versant	1,125 km ²
Module	50 l/s
Débit réservé	5 l/s

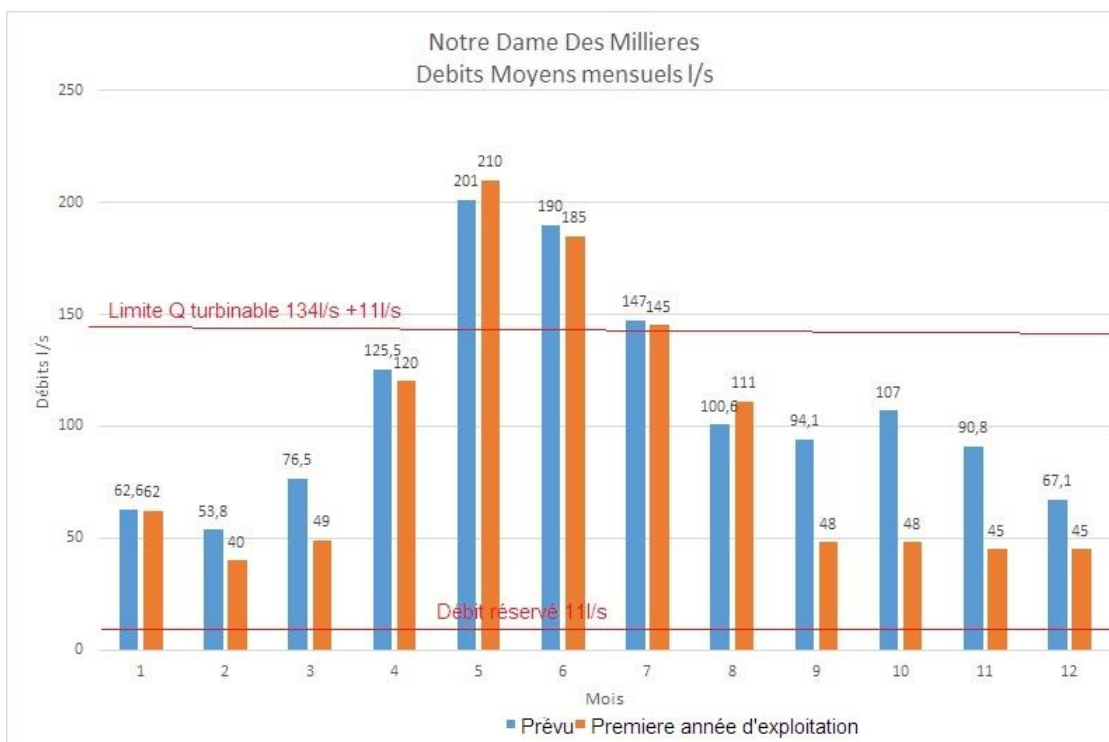


Figure 5 Débits moyen mensuels - Notre Dame des Millières

Après deux ans d'exploitation avec une saison sèche (2022) où la pluviométrie était en dessous des normales et une saison humide en 2021 avec un été très pluvieux, on constate que :

- La pluviométrie globale moyenne annuelle qui avait été retenue (44 l/s/km²) est plutôt de l'ordre de 40 l/s/km² ;
- Les débits d'hiver (février, mars, septembre, octobre et novembre) sont inférieurs aux débits projetés, en conséquence d'un hiver 2021 particulièrement sec.

Concernant le projet du Grand Arc et les torrents du Nant Brun, Bon Nant et Nant Clair, l'installation d'une station de mesure de débit sur le Bon Nant a permis de comparer les débits mesurés avec ceux tirés de l'exploitation de la centrale de Notre Dame des Millières.



Les conclusions après 1 année de mesures (octobre 2022 à septembre 2023) montrent que pour cette période et malgré quelques disparités temporelles, la moyenne des précipitations est du même ordre de grandeur sur les deux sites (40 l/s/km²) ce qui confirme leur similarité.

Nous avons aussi installé une station de mesure sur le Nant Brun, en raison d'un problème technique et de communication avec le réseau 4G, nous n'avons pu exploiter les données de cette station.

La moyenne des précipitations annuelle sur le site de Notre Dame des Millières étant sur 2 ans d'exploitation de 40l/s/km² on retiendra cette valeur et on l'applique sur le site du projet Grand Arc ce qui conduit aux valeurs suivantes. Nous avons conscience que l'année 2022 a été particulièrement sèche. Nous considérons que l'année 2021, plus pluvieuse, compense et permet d'obtenir un module cohérent malgré des données uniquement sur deux ans. Afin de parfaire ces données, l'étude hydrologique comporte d'autres méthodes de calculs du module permettant d'obtenir un ensemble cohérent. Ci-dessous, les données :

Torrents	Bassin versant	Module	Débit réservé	Débit réservé retenu
Bon Nant	0,53 km ²	21,5 l/s	2,15 l/s	2,5 l/s
Nant Clair	1,06 km ²	43 l/s	4,3 l/s	4,5 l/s
Nant Brun Est	0,26 km ²	10,54 l/s	1,054 l/s	1,5 l/s
Nant Brun Centre	0,49 km ²	19,87 l/s	1,98 l/s	2 l/s
Nant Brun Ouest	0,31 km ²	12,57 l/s	1,25 l/s	1,5 l/s
Total	2,65 km ²	107,48 l/s	10,75 l/s	12 l/s

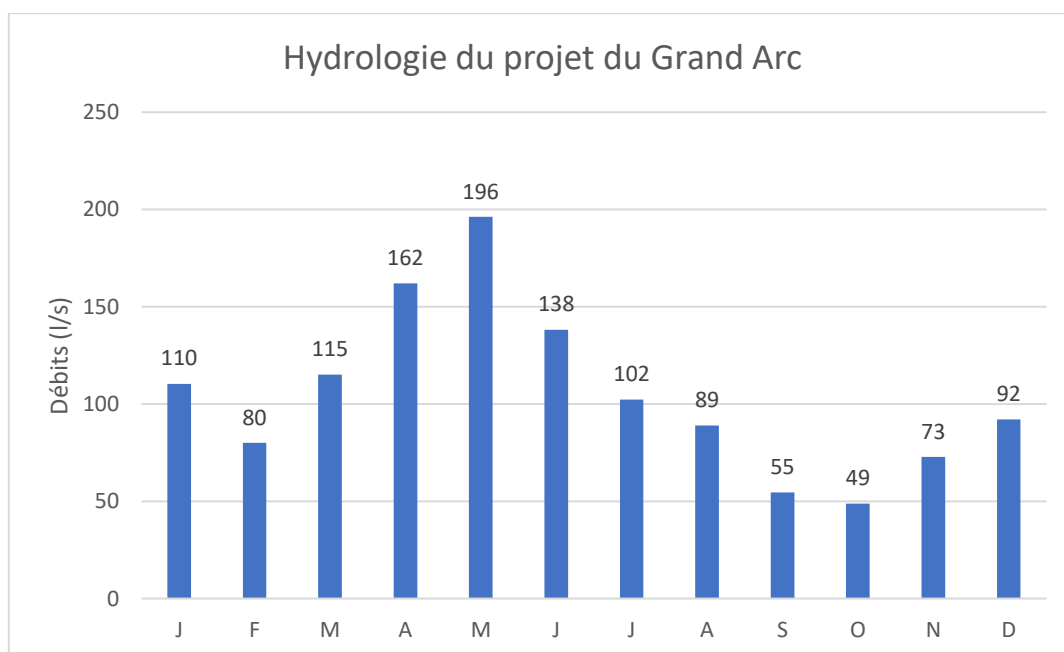


Figure 6 Hydrologie mensuelle du projet du Grand Arc



L'ensemble des données qui nous ont permis d'effectuer ces calculs :

Relevés Notre Dame des Millières (01 Juin 21- 30 juin 23) – BV = 2,475 km²

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
2023	94,33	49,00	109,32	144,26	222,23	168,97	60,8	46	51,5	N/A	N/A	N/A	
2022	65,4	43,2	52,4	169,7	219,6	106,3	41,0	26,2	44,9	83,8	123,8	103,0	
2021	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	187,8	150	140	56,9	52,2	48,6	49,3	
l/s	79,9	46,1	80,9	157,0	220,9	154	83,9	70,7	51,1	68,0	86,2	76,2	
l/s/km²	32,26	18,63	32,68	63,43	89,27	62,3	33,9	28,58	20,64	27,48	34,82	30,78	40

Figure 7 Relevé des débits mensuels de la centrale de NdM - 2021 à 2023

Relevés Bon Nant – Grand Arc (Octobre 22- Septembre 23) – BV = 0,53 km²

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
2023	33	27	35	38	38	29	9,54	5,3	6,36	N/A	N/A	N/A	
2022	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	13	25	
l/s/km²	62,26	50,94	66,04	71,70	71,70	54,72	18	10	12	11,32	24,53	47,17	41,5
l/s	165	135	175	190	190	145	47	26,5	31,8	30	65	125	

Figure 8 Relevés du Bon Nant (Oct 22 - Juin 23)

La troisième ligne est obtenue en divisant le débit mensuel par le bassin versant du Bon Nant (0,53 km²). La dernière ligne est obtenue en multipliant par le bassin versant du projet du Grand Arc (2,65 km²) afin d'obtenir une correspondance entre les deux projets.



Calcul et moyenne des débits mensuels retenus sur le Grand Arc :

Grand Arc - Moyenne des Débits mensuels retenus – BV = 2,65 km²														
Méthode	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne	
													l/s	l/s/km²
A	85,5	49,3	86,6	168,1	236,5	164	89,83	75,7	54,57	72,83	92,2	81,5	104,7	39,5
B	165	135	175	190	190	145	47	26,5	31,8	30	65	125	110	41,5
C	125,2	92,15	130,8	179	213,2	154,5	68,41	51,1	43,18	51,41	78,6	103,2	107,5	40,5

Figure 9 Calcul des débits sur le Grand Arc

La méthode A consiste à calculer le module à partir de Notre Dame des Millières dans le rapport de bassin versant (* 2,65/2,475)

La méthode B consiste à calculer le module à partir des relevés du Bon Nant sur le rapport du bassin versant global du projet du Grand Arc

La méthode C est une moyenne entre les deux méthodes et correspond aux débits mensuels retenus.

Ces résultats donnent un module total de 105 l/s répartis de cette façon :

Torrents	Bassin versant	Module	Débit réservé	Débit réservé retenu
Bon Nant	0,53 km ²	21,5 l/s	2,15 l/s	2,5 l/s
Nant Clair	1,06 km ²	43 l/s	4,3 l/s	4,5 l/s
Nant Brun Est	0,26 km ²	10,54 l/s	1,054 l/s	1,5 l/s
Nant Brun Centre	0,49 km ²	19,87 l/s	1,98 l/s	2 l/s
Nant Brun Ouest	0,31 km ²	12,57 l/s	1,25 l/s	1,5 l/s
Total	2,65 km ²	107,48 l/s	10,75 l/s	12 l/s

Figure 10 Rappel des valeurs de modules calculés sur le Grand Arc

2.3.2 Détermination du module à partir des mesures de débits sur le Bon Nant

Deux seuils ont été installés au mois d'octobre 2021 sur le Nant Brun Centre et sur le Bon Nant, un peu en aval de l'emplacement des prises d'eaux. Les seuils ont permis de mesurer la hauteur de la lame d'eau et d'en déduire le débit correspondant. De plus, ces mesures ont été vérifiées par plusieurs sorties terrain avec des mesures par dilution de sel (appareil Salinomadd).



Figure 11 Seuil sur le Bon Nant



Figure 12 Seuil sur le Nant Brun (centre)

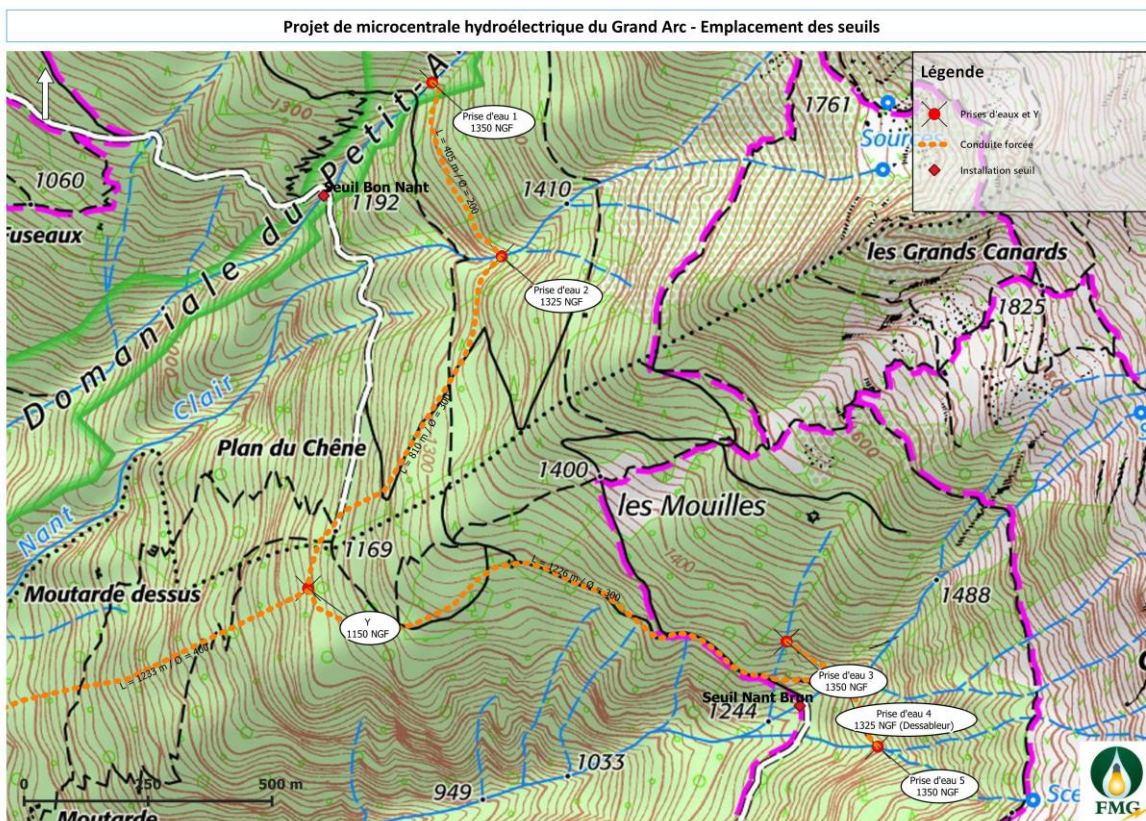


Figure 13 Emplacement des seuils installés

Pour le Bon Nant, le seuil a été installé à l'altitude 1190 m NGF correspondant à un bassin versant de 0,64 km² (0,53 km² pour la prise d'eau).

Moyenne mensuelle des débits enregistrés sur le Bon Nant :

Bassin versant prise d'eau Bon Nant : 0,53 km²

Bassin versant seuil Bon Nant : 0,64 km²

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre
Débits mesurés (l/s)	7,2	15,6	30	39,6	32,4	42	45,6	45,6	34,8	11,4	6,36	7,63
Débits (l/s) prise d'eau	6	13	25	33	27	35	38	38	29	9,54	5,3	6,36

La moyenne sur les 12 mois aux points de mesures est de 26,5 l/s. Par proportionnalité de bassin versant, le débit calculé à la prise d'eau serait de **22,08 l/s**.

On obtient donc une pluviométrie moyenne sur 12 mois pour le Bon Nant de **41,66 l/s/km²**.

Pour le Nant Clair, la proportionnalité de bassin versant est de 2 (1,06/0,53), soit un module estimé à **44,16 l/s**.



Pour le Nant Brun, nous avons conclu qu'il était préférable d'utiliser les valeurs du seuil sur le Bon Nant. En effet, le seuil sur le Nant Brun donne des valeurs incohérentes, nous avons eu un problème de communication et de mauvaise qualité du réseau pour la transmission des données.

Pour le Nant Brun Centre, la proportionnalité de bassin versant est de 0,92 (0,49/0,53), soit un module estimé à **20,31 l/s**.

Pour le Nant Brun Est, la proportionnalité de bassin versant est de 0,49 (0,26/0,53), soit un module de **10,82 l/s**.

Pour le Nant Brun Ouest, la proportionnalité de bassin versant est de 0,58 (0,31/0,53), soit un module de **12,8 l/s**.

Le débit total moyen mesuré est de **110,17 l/s soit 41,5 l/s/km²**

Ce résultat est conforme à celui issue des données de Notre Dame des Millièrès

2.3.3 Détermination du module à partir de la microcentrale hydroélectrique de La Léchère

La société EREMA, dont les activités couvrent l'exploitation de petites centrales hydroélectriques, la formation et les études pour compte de tiers ont adjoint une prise d'eau secondaire à la centrale de La Léchère sur le Nant Bruyant. Le Nant Bruyant est un affluent de l'Isère situé à proximité des cours d'eaux du Nant Clair, Bon Nant et Nant Brun. Son exposition est nord-ouest et les terrains traversés de même nature. L'étude donne accès aux débits mensuels moyens reconstitués du Nant Bruyant au site de la prise d'eau (1172 m NGF) sur la période 1995-2007 (13 années) à partir de la production mensuelle moyenne de la centrale. L'arrêté préfectoral délivré le 7 décembre 1993 par la préfecture de Savoie régit l'utilisation de la prise d'eau existante au pont de la Reisse sur le Nant Bruyant ; le module est estimé à 148,8 l/s pour un bassin versant de 3,75 km² et le débit réservé est de 15 l/s (10 % du module). Le débit spécifique est de 39,68 l/s/km².

Le module au site de prise d'eau de la centrale de La Léchère sur le Nant Bruyant est une base intéressante pour déterminer le module au site de prise d'eau du projet.

Il en ressort un module de 105,152 l/s pour le projet du Grand Arc avec un bassin versant de 2,65 km².

L'utilisation de cette méthode de proportionnalité, utilisant un coefficient basé sur les surfaces drainées, se justifie par une homogénéité de topographie et de géologie entre ces deux bassins versants.

2.3.4 Détermination du module à partir de la centrale de Calvin sur le Joudron

Le bassin versant du Joudron, dans le versant occidental du massif nord Belledonne présente des similitudes avec ceux des ruisseaux du Nant Brun, Bon Nant et Nant Clair pour l'orientation, la géologie et l'altimétrie. Il est cependant éloigné d'environ 25 km.

Les Forces Motrices du Joudron exploite la centrale de Calvin sur le Joudron. En vertu de l'Arrêté préfectoral 2011 – 924 du 19 décembre 2011 de renouvellement d'autorisation le Joudron est doté d'un module de 535 l/s au barrage du Molliet, soit un bassin versant de 12,32 km². On en déduit un débit spécifique de 43,4 l/s/km².



Appliqué au bassins versants captés des ruisseaux du Nant Clair, Nant Brun et du Bon Nant de 2,65 km² **il en ressort un module de 115,01 l/s**. Compte tenu de l'éloignement entre les deux sites cette valeur sera utilisée uniquement à titre de recoupement.

L'utilisation de cette méthode de proportionnalité, utilisant un coefficient basé sur les surfaces drainées, se justifie par une homogénéité de topographie et de géologie entre ces deux bassins versants.

2.3.5 Détermination du module à partir du bilan hydrologique annuel

Pour cette méthode, nous avons utiliser comme source la thèse de doctorat sur l'hydrologie du bassin versant du Haut Gelon par Monsieur Pappini de 1976. Cette thèse concerne le Haut Gelon et son principal affluent, le Joudron, dans le versant occidental du massif nord de Belledonne. Elle a été utilisée comme référence pour les précipitations et les bassins versants du torrent du Joudron.

Les ruisseaux du Nant Clair, Bon Nant et Nant Brun présentent des orientations, une géologie et des altitudes proches. Elle est basée sur une année de mesure (1975) des débits à la Rochette et des précipitations en divers points du bassin du Haut Gelon. Elle a donc permis de déterminer la carte des isohyètes et le module à l'exutoire pour l'année 1975. L'année 1975 est qualifiée d'à peu près moyenne par l'étude. Par ailleurs Météo France indique que l'on ne note pas de signaux de modifications des précipitations en Rhône Alpes (contrairement à la température qui augmente). On peut donc utiliser les données 1975 comme étant à peu près moyennes.

La méthode de calcul est la suivante :

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- Les précipitations P ;
- Le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain ;
- L'évapotranspiration ET .

La lame écoulée E est égale à $P - ET$ où

- P est le cumul annuel de précipitation sur le bassin capté ;
- ET est l'évapotranspiration réelle sur le bassin capté.

On suppose la variation de stock négligeable puisque le bassin versant est relativement imperméable. ET est calculée par une formule empirique.

Précipitations et contexte météorologique :

Véritable barrière aux vents humides venant de l'Ouest, le massif de la Lauzière profite d'une abondante pluviométrie, ce qui participe d'ailleurs à son surnom local de "château d'eau". Cette caractéristique est particulièrement vraie pour le bassin versant étudié de par sa localisation sur la bordure occidentale du Grand Arc où il s'expose directement aux masses nuageuses qui précipitent en tentant de franchir ce chaînon. Ces importantes précipitations sont également à mettre en lien avec son altitude élevée, ne descendant pas sous les 1400 m.

Ces précipitations ont été estimées d'une part en utilisant la carte Savoie Météo France des normales sur la période 1981-2010 (30 années) et d'autre part en se référant à la carte des isohyètes de l'année 1975 issue de la Thèse Pappini pour le bassin du Joudron présentant une orientation et une altimétrie similaires. La carte Météo France est peu précise. Elle indique une valeur de 1600 mm vers 1000 m (le relief grisé est à 1000 m NGF) et une valeur de 2000 mm sur la crête du bassin versant. On en déduit une valeur moyenne sur le bassin versant capté de l'ordre de 1800 mm.

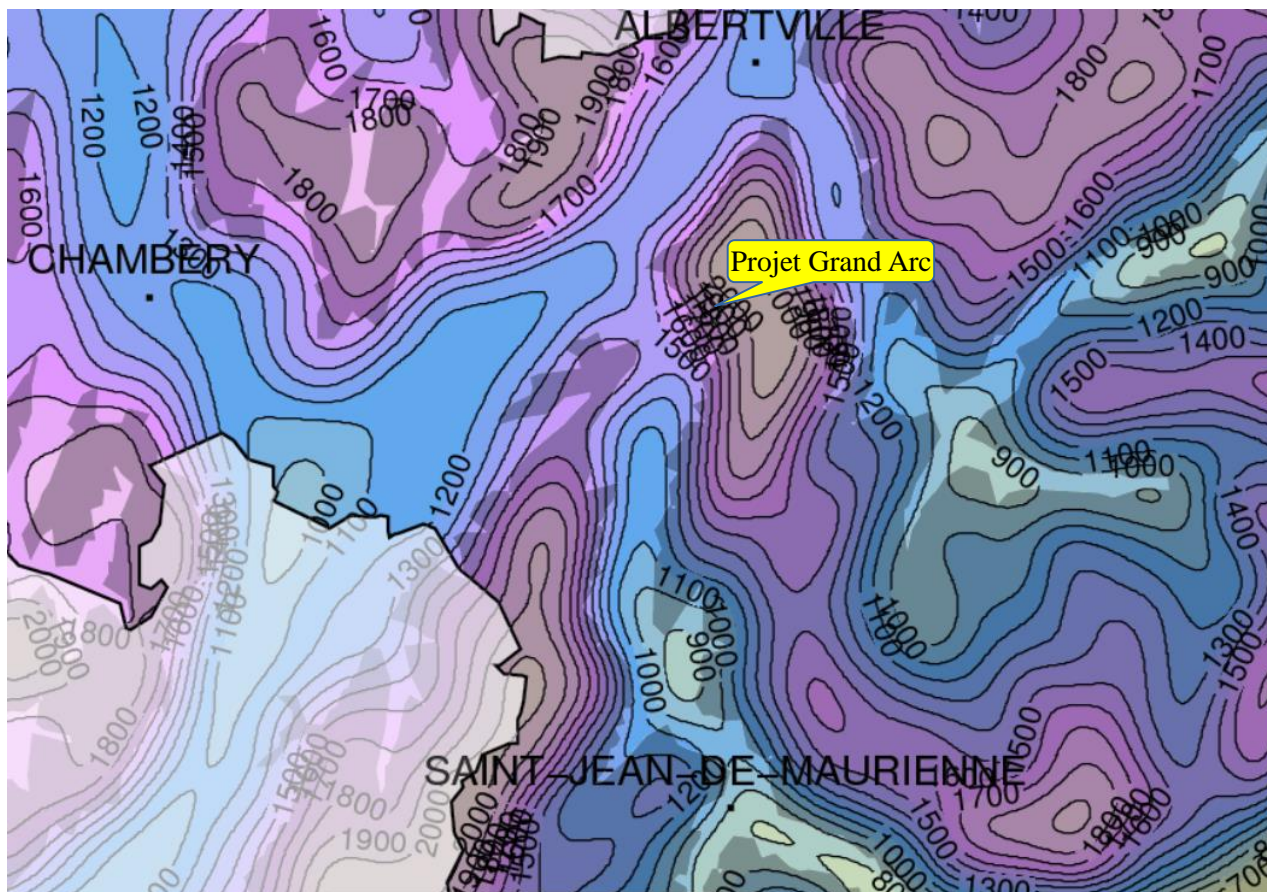
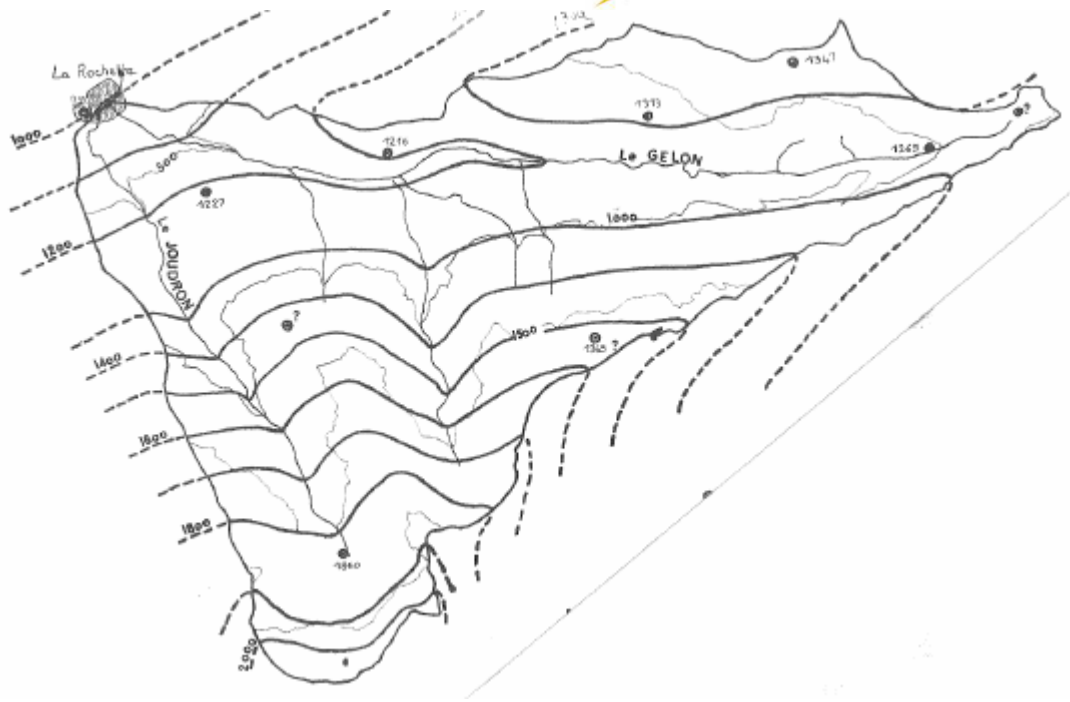


Figure 14 Précipitations – Moyenne 1981-2010 – Météo France

Pour référence on donne ci-après les valeurs normales de deux stations pertinentes :

Poste	Altitude (m NGF)	Normale (mm)
Gilly sur Isère	330	1353,8
Montsapey	960	1612,7

Sur la base de la carte des isohyètes Pappini le cumul annuel de précipitation en 1975 sur le bassin capté varie de 1400 mm à 1400 m NGF (prise d'eau) à 2000 mm. A l'altitude de 1780 m (50 % du bassin versant) ce cumul est de l'ordre de 1800 mm. On retient une moyenne de 1800 mm.



Pour le bilan hydrologique on retient une valeur de 1800 mm sur la base des données de Météo France et de Pappini.

Détermination de la température moyenne annuelle :

$$T = -\frac{5}{1000} * Z + 12,5.$$

Calcul de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est estimée à l'aide de deux formules empiriques, la formule de Turc et la formule de Couagne.

Cette formule se base sur les précipitations annuelles moyennes P ainsi que les températures moyennes annuelles T :



$$ETR_{Turc} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR = évapotranspiration (en mm/an)

P = hauteur de précipitation

L = pouvoir évaporant = $300 + 25T + 0.05 * T^3$

T = température annuelle moyenne à l'altitude médiane

Selon la formule de Coutagne :

Etant donné les fortes précipitations et les faibles températures le déficit d'écoulement est cette fois considéré comme indépendant des précipitations. Coutagne a déterminé une formule basée uniquement sur les températures moyennes annuelles T :

$$ETR_{Coutagne} = P - \frac{1}{0.8 + 0.16 * T} * P^2$$

Avec :

P = hauteur de précipitation

T = température annuelle moyenne à l'altitude médiane

La formule de Turc est plus adaptée au milieu de montagne. Nous réaliserons l'étude avec la cette formule plutôt que celle de Coutagne.

Bilan hydrologique et module :

Les résultats sont :

Projet hydroélectrique du Grand Arc	Formule de Turc	
Bassin versant capté (km ²) – BV	2,65 km ²	
Précipitation moyenne (mm) - P	1800 mm	
Altitude médiane du bassin versant (m) – Z	1780 m	1780 m
Température moyenne (°C) – T	3,6 °C	
Pouvoir évaporant – L	392,3328	
Evapotranspiration réelle (mm) - ETR	384,21	
Lame écoulee (mm) – E	1415,79	



Module (l/s)	118,9 l/s
Module (l/s/km ²)	44 l/s/km ²

Figure 16 Tableau des résultats - Formule de Turc

2.3.6 Conclusion – Module

Méthode de calcul du module du Grand Arc	
Méthode	Module global (l/s)
Notre Dame des Millières	106 l/s
Relevés Bon Nant	110 l/s
Microcentrale La Léchère	105,15 l/s
Joudron	115,01 l/s
Bilan hydrologique annuel	118,9 l/s

Figure 17 Résumé des modules calculés sur le Grand Arc

Les modules calculés sont rapprochés, ce qui nous permet d'avoir une certaine cohérence parmi les méthodes utilisées pour la définition du module. Nous retiendrons, à ce stade du projet, un module de 107,5 l/s, valeur moyenne correspondant aux données de Notre Dame des Millières et du Bon Nant. De plus, nous continuons à mesurer les débits sur le Bon Nant nous permettant par la suite d'affiner l'étude lors de la réalisation du dossier de demande d'autorisation environnementale.

Nota : les valeurs de Notre Dame des Millières sont basées sur une année humide 2021 et une année sèche 2022. L'année 2023 s'achemine vers une année plutôt sèche.

2.4 Mesures ponctuelles

Lors de nos sorties sur site, nous avons aussi réalisé des mesures de débits ponctuelles grâce à la méthode de jaugeage par dilution du sel avec un appareil Salinomadd. Ces mesures nous paraissent difficilement exploitable compte tenu des incertitudes de mesures, de la variété et des décalages. Elles ne sont pas destinées à établir un calcul du module mais à compléter l'étude hydrologique. Ci-dessous, voici les résultats obtenus :

Date mesure	Bon Nant		Nant Brun Centre	
	Hauteur (cm)	Débit (l/s)	Hauteur (cm)	Débit (l/s)
24/05/2022	11	50	9	29
11/07/2022	6,5	23,5	4,4	10,4
15/06/2023	12	58	7,65	23



07/07/2023	8,5	35	-	-
05/10/2023	5	15,8	3,5	7,14

Figure 18 Mesures ponctuelles

2.5 Stations publiques

L'étude des stations publiques hydrologiques a révélé l'absence de stations sur les torrents étudiés. De plus, nous n'avons pas pu identifier d'autres stations pertinentes permettant d'étudier les données pour définir un module cohérent. La station publique la plus proche est située sur l'Arc sur la commune d'Aiguebelle.

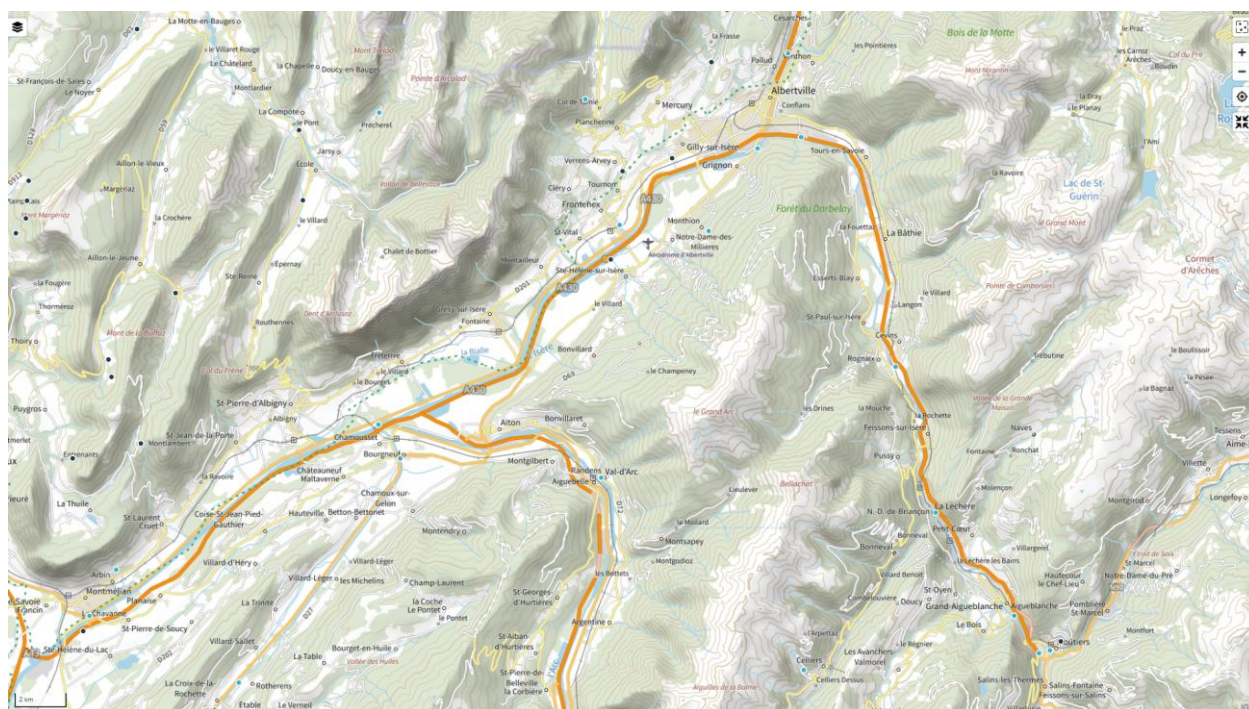


Figure 19 Extrait des stations publiques. Source : <https://hydro.eaufrance.fr/rechercher/entites-hydrometriques>

3 Débits réservés

Compte tenu de l'expérience que nous avons sur Notre-Dame-des-Millières sur deux années d'exploitations, il y a eu au total une période de 2 mois en août et en septembre où le débit était inférieur au débit réservé.

Concernant le QMNA5, il nous paraît difficile à évaluer compte tenu de la configuration des cours d'eaux. Le débit réservé proposé permet d'assurer un débit minimum biologique pertinent.

Nous proposons donc comme sur Notre Dame des Millières un **débit réservé de 10% du module** soit :

Torrents	Bassin versant	Module	Débit réservé	Débit réservé retenu
Bon Nant	0,53 km ²	21,5 l/s	2,15 l/s	2,5 l/s
Nant Clair	1,06 km ²	43 l/s	4,3 l/s	4,5 l/s



Nant Brun Est	0,26 km ²	10,54 l/s	1,054 l/s	1,5 l/s
Nant Brun Centre	0,49 km ²	19,87 l/s	1,98 l/s	2 l/s
Nant Brun Ouest	0,31 km ²	12,57 l/s	1,25 l/s	1,5 l/s
Total	2,65 km ²	107,48 l/s	10,75 l/s	12 l/s

Figure 20 Rappel des valeurs

Concernant les milieux aquatiques, la définition des cinq débits réservés à chacune des cinq prises d'eau doit permettre de s'assurer du maintien de conditions favorables à une excellente expression des potentialités hydroécologiques sur chacun des 5 tronçons court-circuités. Au stade d'avancement du projet, le débit réservé sollicité est de 10 % du module, ce qui permet de maintenir de bonnes conditions de maintien des potentialités hydroécologiques.

Des mesures ponctuelles au niveau des restitutions ont permis de montrer la présence d'apports intermédiaires sur le tronçon court-circuité, plus particulièrement sur le Nant Clair / Bon Nant de l'ordre de 1,5 fois le débit aux prises d'eaux.

4 Conclusion

Le projet de Notre Dame des Millières nous a assuré une vraisemblance entre les deux projets, ce qui a permis de confirmer les mesures entrepris sur site. Le projet du Grand Arc est un projet sérieux avec une hydrologie similaire au projet de Notre Dame des Millières construit il y a maintenant 2-3 ans.