

Demande d’Autorisation Environnementale Unique Rénovation de la centrale hydroélectrique du Randon

Annexe 2 au CERFA 15964-03

DESCRIPTIF TECHNIQUE DU PROJET



Le présent dossier constitue la demande d’autorisation environnementale unique (DAEU) en vue de rénover à neuf la microcentrale hydroélectrique du Randon, dans les Hautes-Alpes.

En aucun cas les pièces présentes dans ce dossier ne sauraient être prises indépendamment les unes des autres.

TABLE DES MODIFICATIONS				
VERSION	DATE	OBJET	REDACTEUR	APPROBATEUR
V1	21/11/2025	Création du document	G. BALANDIER	F. ARNOULD
V2	26/01/2026	Complément transport solide	G. BALANDIER	F. ARNOULD

TABLE DES MATIERES

1.	Présentation générale	8
1.1.	Historique de l'ouvrage.....	8
1.2.	Schéma d'aménagement général	8
1.3.	Rubriques de la nomenclature	11
2.	Hydrologie	11
2.1.	Description physique du bassin versant	11
2.2.	Données disponibles	12
2.3.	Méthodologie	13
2.3.1.	Etude edf-dtg & brli	13
2.3.1.1.	Reconstitution hydrologique et préparation des données.....	13
2.3.1.2.	Méthodes d'estimation des crues extrêmes	14
2.3.2.	Modélisation gr5j-cemaneige.....	14
2.3.2.1.	Données météorologiques	14
2.3.2.2.	Calibration	16
2.4.	Résultats hydrologique	17
2.4.1.	Module et régime hydrologique.....	17
2.4.2.	Basses eaux.....	18
2.4.3.	Hautes eaux.....	19
3.	Caractéristiques techniques de l'ouvrage projeté	21
3.1.	Prise d'eau	21
3.1.1.	Débits dérivés et débits prélevés	25
3.1.2.	Mise en conformité et amélioration de la prise d'eau	26
3.1.2.1.	Dévalaison	26
3.1.2.1.1.	Augmentation de l'inclinaison de la grille d'entonnement	26
3.1.2.1.2.	Mise en place d'une grille ichtyo compatible.....	28
3.1.2.1.3.	Motorisation de la vanne d'entrée	28
3.1.2.1.4.	Goulotte de dévalaison.....	29
3.1.2.2.	Montaison.....	30
3.1.2.2.1.	Augmentation du nombre de bacs	32
3.1.2.3.	Entrée et sortie de la passe a poisson	32
3.1.2.4.	Géométrie des bacs et cloisons.....	32

3.1.3.	Caractéristiques hydrauliques dans la passe	34
3.1.4.	Mise en conformité du débit réservé	35
3.1.5.	Amélioration d'ordre général	35
3.1.5.1.	Automatisme	35
3.1.5.2.	Fonctionnement général de la prise d'eau	36
3.1.5.3.	Transit sédimentaire	37
3.1.	Dessableur et bassin de mise en charge.....	46
3.1.1.	Etat actuel.....	46
3.1.1.1.	Dessableur	46
3.1.1.2.	Bassin de mise en charge.....	46
3.1.1.1.	Modification de l'ensemble	47
3.2.	Conduite forcée	50
3.2.1.	Descriptif technique	50
3.2.1.1.	Conduite actuelle.....	50
3.2.1.2.	Conduite projetée.....	51
3.2.2.	Tracé général	52
3.2.3.	Tracé détaillé	53
3.2.3.1.	Tronçon 1 : de 0 à 200 mètres	54
3.2.3.2.	Tronçon 2 : de 200 à 550 mètres	56
3.2.3.3.	Tronçon 3 : de 550 à 850 mètres	58
3.2.3.4.	Tronçon 4 : de 850 à 1000 mètres	60
3.2.3.5.	Tronçon 5 : de 1000 à 1100 mètres	62
3.2.3.6.	Tronçon 6 : de 1100 à 1300 mètres	64
3.2.3.7.	Tronçon 7 : de 1300 à 1650 mètres	66
3.2.3.8.	Tronçon 8 : de 1650 à 1850 mètres	68
3.2.3.9.	Tronçon 9 : de 1850 à 1950 mètres	70
3.2.3.10.	Tronçon 10 : de 1950 à 2650 mètres	73
3.2.3.11.	Tronçon 11 : de 2650 à 3050 mètres	76
3.2.3.12.	Tronçon 12 : de 3050 à 3250 mètres	79
3.2.3.13.	Tronçon 13 : de 3250 à 3550 mètres	81
3.2.3.14.	Tronçon 14 : de 3550 à 4050 mètres	83
3.2.3.15.	Tronçon 15 : de 4050 à 4125 mètres	87
3.3.	Bâtiment de l'usine hydroélectrique et canal de fuite	89

3.3.1.	Adaptation du bâtiment	91
3.3.2.	Reconstruction du bâtiment.....	93
3.4.	Turbines hydroélectriques.....	99
3.4.1.	Changement du groupe.....	100
3.4.1.1.	Avantages	101
3.4.1.2.	Performance et rendement.....	102
3.4.1.3.	Organes constitutifs.....	104
3.4.2.	Electricité/automatisme	106
3.4.2.1.	Principe de fonctionnement.....	106
3.4.2.2.	Détails des équipements	107
3.5.	Organes de restitution.....	109
3.6.	Vantellerie.....	110
3.6.1.	Prise d'eau et mise en charge.....	110
3.6.2.	Conduite forcée	111
3.6.3.	Usine.....	113
4.	Gestion des travaux.....	113
5.	Exploitation et Maintenance	116
5.1.	Exploitation générale.....	116
5.2.	Gestion des crues et chasses.....	116
5.2.1.	Gestion des crues	116
5.2.2.	Gestion des chasses.....	117
5.3.	Maintenance.....	117
6.	Glossaire	118

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Synoptique de l'aménagement	10
Figure 2 - Carte du bassin versant de la Cerveyrette à la Prise d'eau du Randon	12
Figure 3 - Illustration de la méthode de correction des données pluviométriques	15
Figure 4 - Température moyenne sur le bassin entre 1999 et 2023 (Produit MOD11A2.061)	16
Figure 5 - Débits moyens inter-mensuels	17
Figure 6 - QMNAx - Modélisation GR5J	19
Figure 7 - Crue_x - Modélisation GR5J	20
Figure 8 - Vue de la prise d'eau du Randon.....	21
Figure 9 - Débits réservés du Randon.....	21
Figure 10 - Vue de l'aménagement de la prise d'eau du Randon.....	22
Figure 11 - Vue en plan de la prise d'eau de la chute du Randon	23
Figure 12 - Caractéristiques géométriques de la grille de la prise d'eau.....	23
Figure 13 - Vanne martellière et grille d'entonnement de prise d'eau	24
Figure 14 - Grilles placées entre le dessableur et le bassin de mise en charge.....	24
Figure 15 - Plan de situation d'alimentation du canal de Fontchristiane	26
Figure 16 - Inclinaison de la grille d'entonnement actuelle, étude de SERHY.....	27
Figure 17 - Inclinaison de la grille d'entonnement future, étude de SERHY	27
Figure 18 - Exemple de grilles à barreaux hydrodynamiques.....	28
Figure 19 - Coupe goulotte de dévalaison.....	29
Figure 20 - Calcul des caractéristiques goulotte de dévalaison.....	30
Figure 21 - Bacs n°2, 3 et 4 de la passe à poissons et vanne de contrôle du débit entrant	30
Figure 22 : Comparaison des débits d'évacuation avant et après rénovation	42
Figure 23 - Profil en long de la passe à poisson.....	43
Figure 24 - Coupes multiples de l'ouvrage de prise d'eau.....	44
Figure 25 - Vue en plan de la prise d'eau	45
Figure 26 - Nouvelle mise en charge - vue de dessus.....	47
Figure 27 - Vue du nouveau bassin de mise en charge	48
Figure 28 - Coupes multiples de la modification du dessableur.....	49
Figure 29 - Alimentation du canal de Fontchristiane.....	51
Figure 30 - Cheminement global de la conduite forcée projetée.....	52
Figure 31 - CF projetée tronçon 1 de 0 à 200 m	55
Figure 32 - CF projetée tronçon 2 de 200 à 550 m.....	57
Figure 33 - CF projetée tronçon 3 de 550 à 850 m.....	59
Figure 34 - CF projetée tronçon 4 de 850 à 1000 m.....	61
Figure 35 - Enrochement existant de la passerelle de Terre Rouge, de 1000 à 1100 m.....	62
Figure 36 - CF projetée tronçon 5 de 1000 à 1100 m	63
Figure 37 - CF projetée tronçon 6 de 1100 à 1300 m.....	65
Figure 38 - CF projetée tronçon 7 de 1300 à 1650 m.....	67
Figure 39 - CF projetée tronçon 8 de 1650 à 1850 m.....	69
Figure 40 - Enrochement existant de la berge de la cote 1825 à 1935 m	71
Figure 41 - CF projetée tronçon 9 de 1850 à 1950 m	72
Figure 42 - CF projetée tronçon 10 de 1950 à 2200 m.....	74
Figure 43 - CF projetée tronçon 10 de 2200 à 2650 m.....	75
Figure 44 - Enrochement existant sous le mur de soutènement de la RD902 entre 2700 et 2800 m. À droite, cône du torrent des Rouilles	76

Figure 45 - CF projetée tronçon 11 de 2650 à 2800 m	77
Figure 46 - CF projetée tronçon 11 de 2800 à 3050 m	78
Figure 47 - Localisation de la ZH de la Fontaine de Thura	79
Figure 48 - CF projetée tronçon 12 de 3050 à 3250 m	80
Figure 49 - CF projetée tronçon 14 de 3550 à 3850 m	84
Figure 50 - CF projetée tronçon 14 de 3850 à 4050 m	85
Figure 51 - Vue de l'enrochement existant de l'usine	87
Figure 52 - CF projetée tronçon 15 de 4050 à 4125 m	88
Figure 53 - Bâtiment de l'usine	89
Figure 54 - Vue en plan du bâtiment de l'usine	89
Figure 55 - Rejet des eaux en rivière	90
Figure 56 - Vue en coupes des deux puisards et du départ du canal n° 2	90
Figure 57 - Francis Double du Randon dans l'usine	91
Figure 58 - Exemple d'intégration d'une turbine Pelton dans le bâtiment actuel – vue en plan	92
Figure 59 - Exemple d'intégration d'une turbine Pelton dans le bâtiment actuel – vue en coupe simplifiée	93
Figure 60 - Plan des canaux de fuite	94
Figure 61 - Vue en coupe latérale du bâtiment de l'usine actuelle	95
Figure 62 - Vue en coupe latérale du nouveau bâtiment de l'usine (avec réadaptation des canaux)	95
Figure 63 - Coupe AA-2 du bâtiment	96
Figure 64 - Coupe DD du bâtiment	97
Figure 65 - Coupe DD du bâtiment	97
Figure 66 - Aperçu du nouveau bâtiment de l'usine	98
Figure 67 - Photo de la digue près de l'usine	99
Figure 68 - Groupe turbo alternateur bi-roue Francis de la centrale	100
Figure 69 - Turbine Pelton 6 jets - Plan du turbinier HPP	100
Figure 70 - Comparaison des rendements Pelton/Francis	102
Figure 71 - Charge, rendement et puissance en fonction du débit - Turbine Pelton	103
Figure 72 - Production mensuelle moyenne - Turbine Pelton	104
Figure 73 - Bilan productible annuel - Turbine Pelton	104
Figure 74 - Ventouse de la conduite forcée	112
Figure 75 - Vanne de vidange conduite - usine	112
Figure 76 - Zone de stockage et base de vie	115

TABLEAUX

Tableau 1 - Cotes principales de l'ouvrages actuel	9
Tableau 2 - Récapitulatif des stations météorologiques (Précipitation, T : Température, H : Hauteur d'eau)	14
Tableau 3 - Indicateurs statistiques d'étiage de la Cerveyrette à la prise d'eau du Randon	18
Tableau 4 - Indicateurs statistiques de crue de la Cerveyrette à la prise d'eau du Randon	19
Tableau 5 - Débits classés sur la période de migration	32
Tableau 6 - Caractéristiques géométriques de la passe à poisson	33
Tableau 7 - Caractéristiques hydrauliques dans la passe entre Q0 à 2600 l/s	34
Tableau 8 - Caractéristiques hydrauliques pour Qrivière > 5000 l/s	34
Tableau 9 - Caractéristiques principales de la CF actuelle	50
Tableau 10 - Tableau de rendement Pelton/Francis	103

Tableau 11 - Récapitulatif des éléments de la turbine 106

1. PRESENTATION GENERALE

1.1. HISTORIQUE DE L'OUVRAGE

De nombreux projets ont été étudiés pour utiliser les eaux de la Cerveyrette entre Briançon et Cervières. Le plus ancien remonte à 1920. Il prévoyait de turbiner les eaux sur 294 m de chute à l'emplacement du barrage actuel de Pont Baldy. Mais tous ont échoué face aux difficultés naturelles de mise en œuvre de la conduite forcée ou devant les difficultés techniques que représentait le forage d'une galerie dans la roche de mauvaise qualité. Dans les années 1970, quelques promoteurs firent des propositions de réalisation pour leur propre compte sans qu'aucune suite ne soit donnée.

En 1981, un SIVU (Syndicat Intercommunal à Vocation Unique) constitué par les communes de Cervières et de Briançon est créé. La localité de Puy Saint Pierre fait alors partie de la commune de Briançon. En 1983, lors de la séparation entre Briançon et Puy-Saint-Pierre, la nouvelle commune de Puy-Saint-Pierre conservera une représentation au sein du SIVU, laquelle lui permet de percevoir une quote-part des redevances.

Le 11 juillet 1983, la Préfecture des Hautes Alpes délivre l'arrêté autorisant au Syndicat Intercommunal à Vocation Unique de BRIANCON-CERVIÈRES (SIVU) l'aménagement et l'exploitation de la microcentrale hydroélectrique sur le torrent de la Cerveyrette, sur le territoire des communes de Briançon de Cervières, et le 20 décembre 1984 le groupe est couplé au réseau.

Le 1^{er} juillet 2009, la microcentrale du Randon est louée à EDSB par le SIVU pour une durée de 14 ans. EDSB devient alors exploitant et revendeur de l'ensemble de la production hydro-électrique. Les communes de Briançon, Cervières et Puy Saint Pierre percevant une redevance fixée par convention en partie indexée sur la vente d'électricité.

L'exploitation se poursuit jusqu'à la fin de l'autorisation, laquelle fut renouvelée le 3 juillet 2023 par l'arrêté préfectoral 2023-DPP-CDD-51 du 29 juin 2023.

1.2. SCHEMA D'AMENAGEMENT GENERAL

La pièce jointe n°1 du présent dossier présente la situation géographique de l'aménagement.

L'aménagement hydroélectrique du Randon, situé sur les communes de Cervières (pour l'ensemble des ouvrages) et de Briançon (pour la piste d'accès à l'usine et la ligne électrique d'évacuation de l'énergie produite) dans le département des Hautes-Alpes (05) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, utilise la force hydraulique de la Cerveyrette pour produire de l'énergie hydroélectrique. Ce torrent conflue avec la Durance au niveau de la commune de Briançon.

L'installation hydroélectrique du Randon dispose d'une prise d'eau « par en-dessous », implantée sur le cours de la Cerveyrette, en aval de sa confluence avec le torrent du Blétonnet à la sortie du village de Cervières. Cette prise est munie d'une grille avec des barreaux espacés de 20 mm. Le haut de la grille est à une cote de 1574.18 mNGF.

La centrale est située à la cote 1369.98 mNGF (axe des turbines à 1371.30 mNGF), rive droite, juste en amont de la retenue du barrage de Pont Baldy. Le rejet s'effectue dans la Cerveyrette à la cote 1366.15 mNGF via un canal de fuite busé.

La hauteur de chute brute est donc de 208,55 m.

On notera que l'aménagement du Randon s'inscrit dans la chaîne d'aménagement hydroélectrique suivante reprise d'amont en aval :

- Aménagement EDC de Cervières, dont le rejet se fait directement dans la prise d'eau du Randon
- Aménagement du Randon
- Aménagement EDSB de Pont Baldy, dont la retenue se situe environ 500 m en aval de la restitution de l'usine du Randon
- Aménagement EDF de l'Argentière-la-Bessée sur la Durance, dont une des prises d'eau se situe environ 6 km en aval de la confluence de la Durance et la Cerveyrette au niveau du hameau de Prelles

Remarque : L'arrêté d'autorisation datant du 11 juillet 1983 fixe la puissance maximum brute de l'usine à 4 258 kW. Cette puissance est calculée pour une prise d'eau à 1572.00 mNGF et une restitution à 1355.00 mNGF, soit 217 m de chute. Les relevés topographiques récents montrent une chute de 208,55 m depuis la crête du déversoir de la prise d'eau jusqu'au rejet. Soit une puissance maximum brute de 4 092 kW.

La prise d'eau alimente une conduite forcée permettant le transit vers la centrale du débit d'équipement de 2000 l/s. La conduite d'aménée vers le dessableur et la mise en charge fait 56 ml, et mesure 1000 mm de diamètre. La conduite principale en acier, de longueur 4 223 ml, est de diamètre 900 mm sur les 193 ml de départ puis 800 mm sur 4030 ml jusqu'à l'usine.

La demande d'autorisation est à l'identique, le débit réservé reste inchangé, nous cherchons à optimiser l'existant.

Cote prise d'eau (crête du déversoir)	mNGF	1574.70
Type de prise d'eau principale	-	Par en dessous, avec grille
Type de dessableur à la prise principale	-	Classique en béton
Cote plan d'eau mise en charge prise principale, BMC	mNGF	1571.85
Cote de la centrale (seuil)	mNGF	1369.98
Cote Axe de la turbine	mNGF	1371.30
Cote restitution dans le torrent du Randon (ouvrage de rejet)	mNGF	1366.15

Tableau 1 - Cotes principales de l'ouvrages actuel

Une vision globale de l'aménagement actuel est présentée sur le synoptique page suivante, et les différents éléments de l'ouvrage.

Les modifications envisagées sont présentées au §3 « Caractéristiques de l'ouvrage projeté » du présent document.

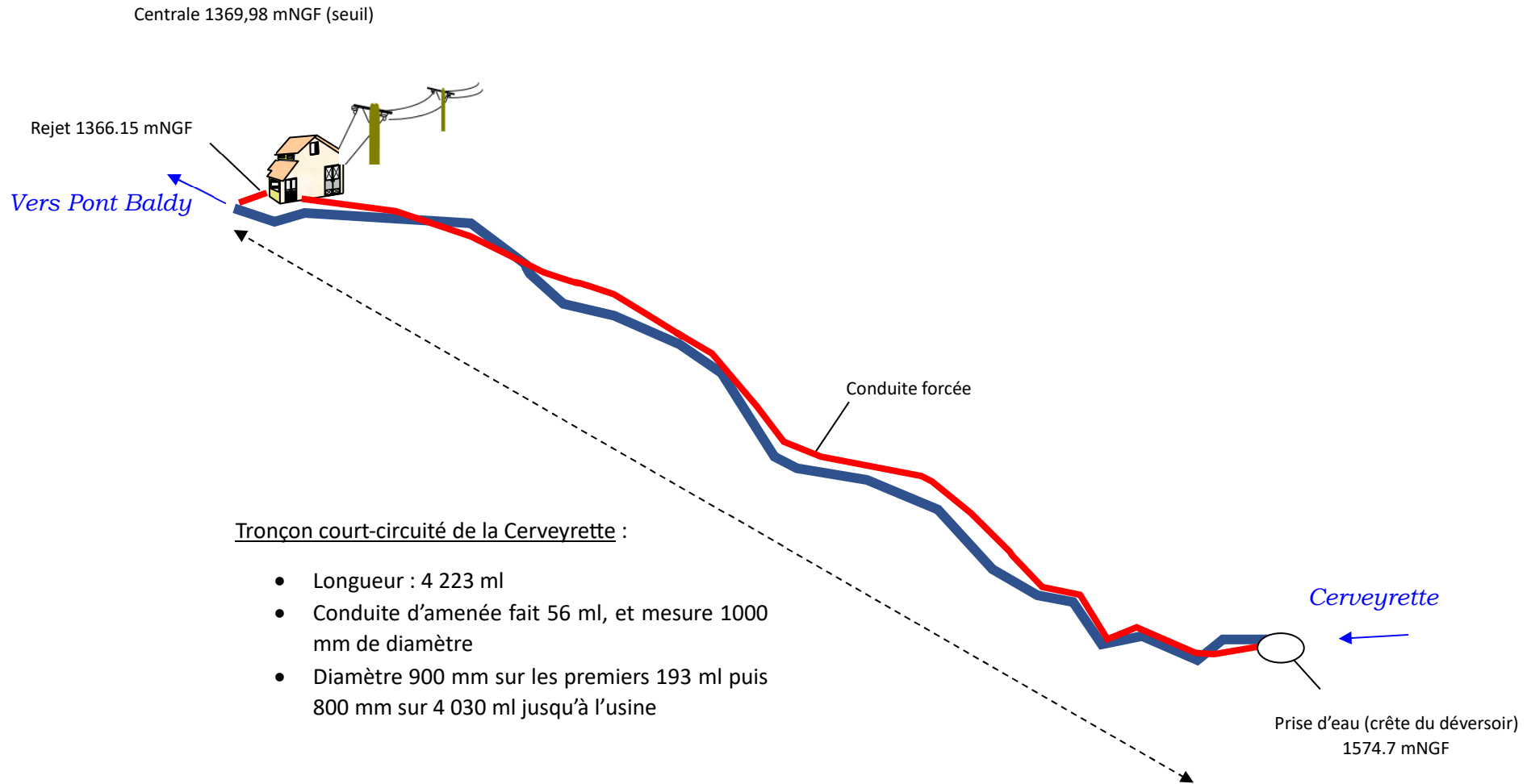


Figure 1 - Synoptique de l'aménagement

1.3. RUBRIQUES DE LA NOMENCLATURE

Rubrique	Intitulé	Régime du projet
1.2.1.0	Prélèvement et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par cette nappe : 1° d'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1000 m ³ /h ou à 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (Autorisation) ; 2° d'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1000 m ³ /h ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau (Déclaration).	Débit d'équipement de 2 m ³ /s soit 7 200 m ³ /h Autorisation
3.1.1.0	Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant : 1° Un obstacle à l'écoulement des crues (Autorisation) ; 2° Un obstacle à la continuité écologique : a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation (Autorisation) ; b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation (Déclaration).	Seuil d'une hauteur supérieure à 50 cm Autorisation
3.1.2.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau, à l'exclusion de ceux visés à la rubrique 3.1.4.0, ou conduisant à la dérivation d'un cours d'eau : 1° Sur une longueur de cours d'eau supérieure ou égale à 100 m (Autorisation) ; 2° Sur une longueur de cours d'eau inférieure à 100 m (Déclaration).	Maintien du seuil de prise d'eau < 100m Déclaration
3.1.4.0	Consolidation ou protection des berges à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales : 1° sur une longueur supérieure ou égale à 200 m (Autorisation) ; 2° sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieur à 200 m (Déclaration).	Protection des berges : > 200 m Autorisation
3.1.5.0	Installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet : 1° destruction de plus de 200 m ² de frayères (Autorisation) ; 2° dans les autres cas (Déclaration).	Modification de la prise d'eau / Réduction du débit (< 200 m ²) Déclaration
3.2.3.0	Plans d'eau, permanents ou non : 1° dont la superficie est supérieure ou égale à 3 ha (Autorisation) ; 2° dont la superficie est supérieure à 0,1 ha mais inférieure à 3 ha (Déclaration).	Superficie de la retenue d'eau < 0,1 ha Non soumis à déclaration
3.2.5.0	Barrage de retenue et ouvrages assimilés : 1° relevant des critères de classement prévus par l'article R214-112 du Code de l'Environnement (Autorisation).	Prise d'eau non classée Non concerné
5.2.2.0	Entreprises hydrauliques soumises à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique (Autorisation).	Autorisation

2. HYDROLOGIE

2.1. DESCRIPTION PHYSIQUE DU BASSIN VERSANT

La Cerveyrette prend sa source à environ 3 080 m d'altitude, au lieu-dit *Le Venton*, à l'ouest du Petit Rochebrune, dans la vallée des Fonds de Cervières. Elle draine un bassin versant d'une superficie totale de 118 km² pour une longueur d'environ 23 km jusqu'à sa confluence avec la Durance, à Briançon.

Le bassin versant intercepté par la prise d'eau de l'aménagement du Randon représente une surface de 92 km², soit environ 78 % du bassin total de la Cerveyrette. Ce bassin présente la forme d'un cirque très abrité, entouré de hauts sommets dépassant fréquemment les 2 700 m (crête de Dormillouse, Petit Rochebrune, Pic de Rochebrune, Pic Ouest — voir figure ci-après).

Son altitude moyenne, de l'ordre de 2 300 m, lui confère un régime hydrologique à dominante nival, sans présence de glaciers. Selon EDF (1998), cette configuration topographique, combinée à sa position géographique au sein du massif, le tient à l'écart des principales circulations pluviométriques, qu'elles proviennent de l'ouest/nord-ouest ou du sud-ouest. La Cerveyrette se caractérise ainsi par un bassin particulièrement abrité.

La prise d'eau de l'aménagement du Randon est située à l'aval immédiat du village de Cervières. Elle capte les eaux de la Cerveyrette ainsi que celles du Blétonnet. Les eaux de la Cerveyrette sont par ailleurs partiellement turbinées par l'aménagement hydroélectrique de Cervières, dont le rejet s'effectue directement dans la retenue du Randon. En revanche, le torrent du Villard (affluent rive droite) n'est pas intercepté par la prise d'eau, bien qu'il rejoigne la Cerveyrette juste en aval de celle-ci.

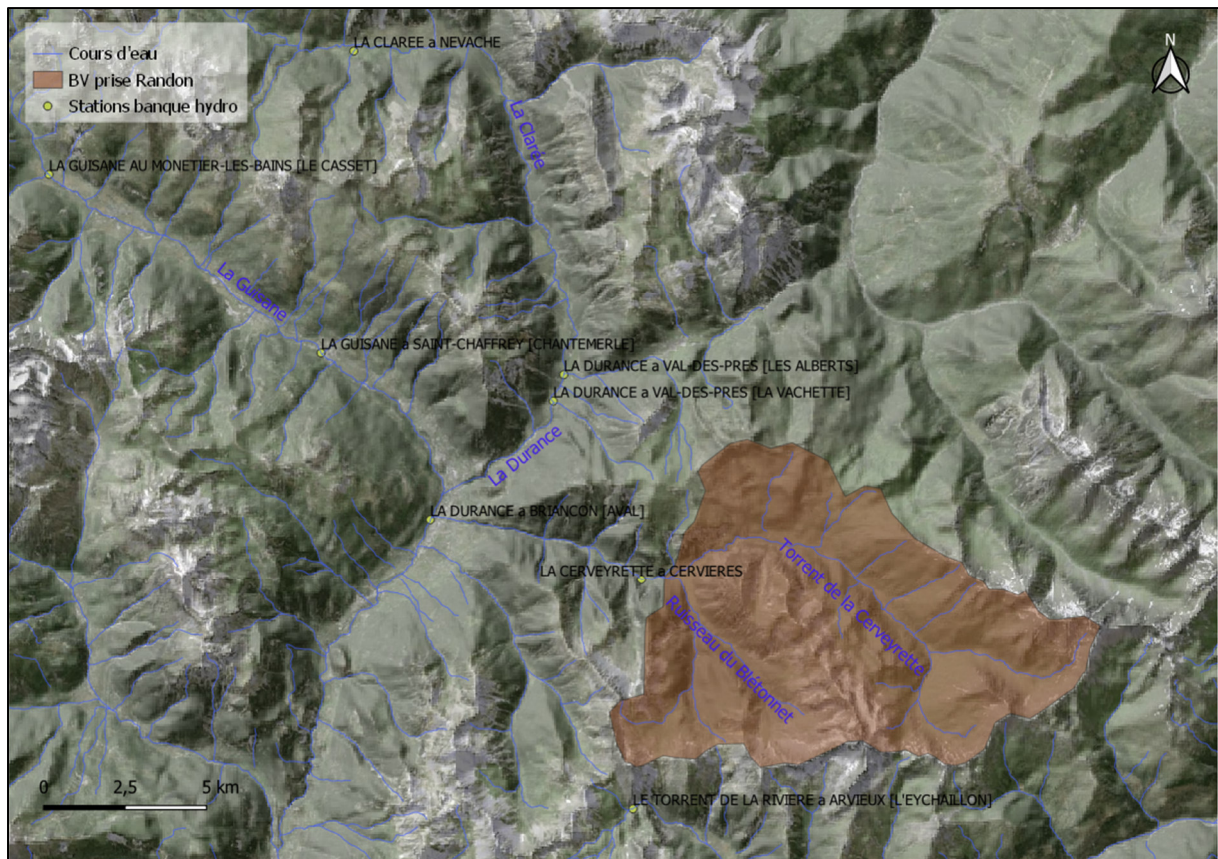


Figure 2 - Carte du bassin versant de la Cerveyrette à la Prise d'eau du Randon

2.2. DONNEES DISPONIBLES

Malgré les prescriptions de l'arrêté d'autorisation, aucun dispositif de mesure des débits n'a été mis en place de manière effective à la prise d'eau de l'aménagement du Randon. Seule une station hydrométrique, gérée par le Service régional de l'aménagement des eaux (Ministère de l'Agriculture), a fonctionné de 1985 à 1994. Toutefois, son exploitation s'est révélée problématique : les valeurs disponibles sont jugées de qualité médiocre, d'après nos comparaisons avec les données de la Banque

Hydro. Les informations associées à cette station restent par ailleurs partielles et ne permettent pas de reconstituer de manière fiable la série de débits sur cette période.

Historiquement, l'hydrologie à la prise d'eau du Randon avait été estimée par corrélation avec les débits mesurés sur la Durance à Val-des-Prés, en appliquant un coefficient correcteur $\alpha = 0,491$.

Afin d'améliorer cette approche et de mieux représenter le fonctionnement hydrologique du bassin versant à une échelle locale, un modèle pluie-débit a été développé fin 2023 à l'aide du modèle GR5J, conçu par l'INRAE et largement éprouvé dans la modélisation hydrologique journalière. Ce modèle a été couplé au module CEMANEIGE, permettant de prendre en compte les processus d'accumulation et de fonte nivale caractéristiques du bassin de la Cerveyrette.

Cette modélisation a permis de reconstituer les débits journaliers sur une période étendue de 1970 à 2023, offrant une vision cohérente de l'évolution hydrologique du bassin sur plus de cinquante ans.

En ce qui concerne les régimes extrêmes (étiages et crues), les résultats issus de l'étude spécifique menée par EDF-DTG & BRLi (2021) ont été retenus. On notera que le module de la Cerveyrette à la prise d'eau du Randon, estimé à 1,9 m³/s, présente une bonne cohérence entre les différentes méthodes employées, ce qui constitue un indicateur solide de la fiabilité de la reconstitution hydrologique.

2.3. METHODOLOGIE

2.3.1. ETUDE EDF-DTG & BRLI

L'étude hydrologique menée sur le barrage du Pont-Baldy visait à réévaluer les crues extrêmes de la Cerveyrette, dans la perspective de la mise à jour de l'Étude de Danger du barrage. Deux approches complémentaires ont été mobilisées : la méthode GRADEX, utilisée historiquement, et la méthode SCHADDEX, aujourd'hui considérée comme la référence pour l'estimation des crues extrêmes par EDF et le CIGB.

Dans un second temps, une extension de l'analyse a été réalisée sur la prise d'eau du Randon et de Cervières, située à l'amont de la retenue, afin de disposer d'une caractérisation complète des régimes hydrologiques, incluant à la fois les crues extrêmes et les étiages sur l'ensemble des aménagements d'EDSB sur la Cerveyrette.

2.3.1.1. RECONSTITUTION HYDROLOGIQUE ET PREPARATION DES DONNEES

Avant l'application de ces méthodes, un important travail de reconstruction des chroniques hydrologiques a été mené. Les débits journaliers ont été reconstitués au droit du barrage à partir :

- Des archives de la DREAL et d'EDF-DTG,
- Des volumes turbinés et déversés fournis par l'exploitant (y compris débit de fuite),
- Et de la corrélation avec les stations voisines de la Durance (Val-des-Prés, Briançon) et de la Guisane (Le Casset).

Les pluies journalières ont ensuite été spatialisées sur le bassin à l'aide des stations de Cervières, Arvieux, Abriès-Ristolas et Château-Queyras, selon la méthode des polygones de Thiessen. Un gradient thermique a permis de distinguer les précipitations liquides et solides, afin d'intégrer l'effet de la neige et du manteau nival dans les bilans hydrologiques.

2.3.1.2. METHODES D'ESTIMATION DES CRUES EXTREMES

Méthode GRADEX

La méthode GRADEX repose sur la proportionnalité entre l'augmentation des pluies extrêmes et celle des débits de crue au-delà d'un certain seuil de saturation du bassin. Les pluies maximales sont analysées par ajustement statistique (loi exponentielle) et transformées en débits par un coefficient de forme de 1.5, défini à partir d'hydrogrammes régionaux. Cette méthode a permis de calculer des débits de crue pour différentes périodes de retour (10, 100, 1 000 et 10 000 ans) à partir de la pluie de référence et du débit pivot décennal.

Méthode SCHADEX

La méthode SCHADEX combine un modèle stochastique de pluies extrêmes avec un modèle pluie-débit semi-distribué (MORDOR-SD). Les pluies extrêmes sont générées selon différents types de temps météorologiques (huit classes identifiées) et pour quatre saisons. Chaque pluie est ensuite injectée dans le modèle hydrologique, calé sur la Durance à Val-des-Prés puis transposé sur la Cerveyrette, afin de produire des milliers de scénarios de crues possibles. La distribution des débits simulés permet d'estimer directement les débits de pointe associés à chaque période de retour, tout en tenant compte de la variabilité météorologique et hydrologique.

2.3.2. MODELISATION GR5J-CEMANEIGE

2.3.2.1. DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données d'entrées du modèle sont déterminées à partir de 4 stations météorologiques : Briançon, Villar-Saint-Pancrace, Cervières et Arvieux, complétées par les données de réanalyses spatialisées issues des modèles SAFRAN (Météo France) et SPAZM (EDF).

REF STATION	ORIGINE	LIEU	ALT	PERIODE	DONNEES
05023001	MétéoFrance	Briançon	1324	1959 - 2005	P, T
05183001	MétéoFrance	Villar-Saint-Pancrace	1310	2003 - 2024	P, T
0527001	MétéoFrance	Cervièrè	1637	1951 - 2021	P
5007001	MétéoFrance	Arvieux La Chalp	1690	1951 - 2024	P, T
EDSB1	EDSB	Amont barrage Pont Baldy	1690	1951 - 2024	H

Tableau 2 - Récapitulatif des stations météorologiques (Précipitation, T : Température, H : Hauteur d'eau)

Pluviométrie :

Les chroniques de données météorologiques sur le bassin ont été estimées à partir des stations météorologiques voisines de Météo-France et corrigées à partir de l'analyse des données issues du produit d'analyse SPAZM. Les données, sous forme de raster de résolution de 1 km x 1 km, fournissent une estimation de la lame d'eau précipitée annuelle pour chaque tuile.

En analysant ce produit ainsi que les observations des stations météorologiques proches, nous avons défini une lame d'eau précipitée « cible » au centre du bassin, permettant de corriger les données enregistrées à la station de référence.

Pour corriger les précipitations mesurées à la station de référence (située en fond de vallée) et obtenir une estimation plus représentative des précipitations moyennes sur l'ensemble du bassin, nous avons appliqué un facteur de correction basé sur les écarts observés entre les stations et le produit SPAZM.

Illustration de la méthode (figure 3) :

L'illustration ci-dessus met en évidence cette démarche (figure 3) :

- La station A, située en vallée, enregistre une précipitation annuelle moyenne de **920 mm**.
- Au centre du bassin, à une altitude plus élevée, les données issues de SPAZM et des observations indiquent une précipitation annuelle moyenne de **1320 mm**.
- Pour corriger les valeurs journalières de la station A, nous appliquons un coefficient de correction **K**, défini comme le rapport entre la lame d'eau cible et celle mesurée en vallée :

$$K = \frac{1320}{920} \approx 1.43$$

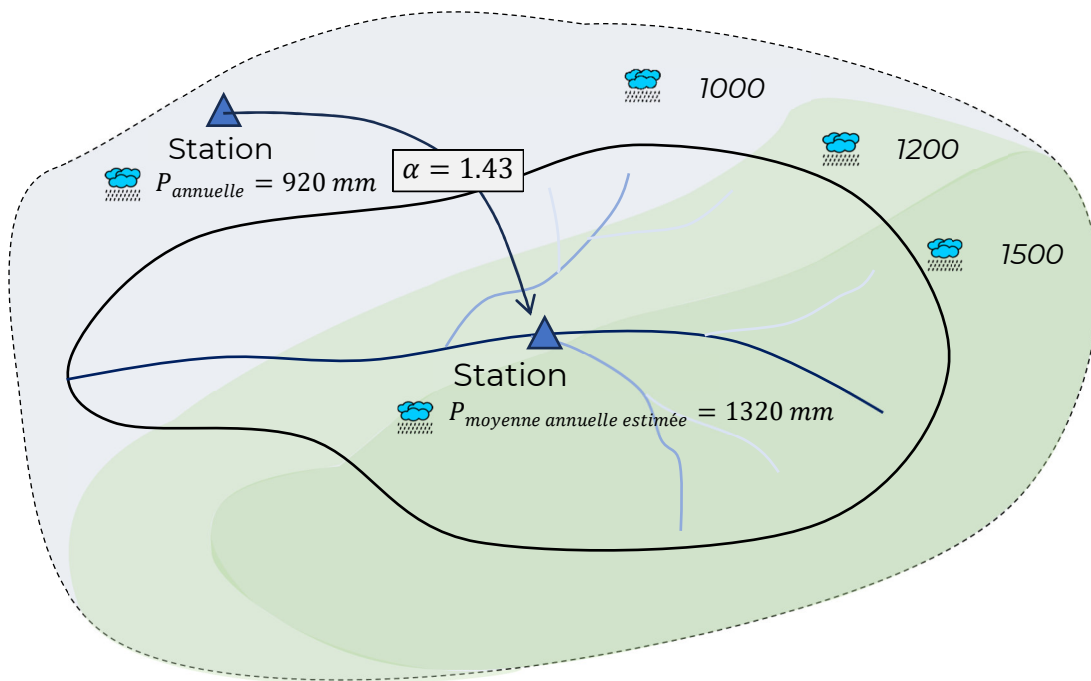


Figure 3 - Illustration de la méthode de correction des données pluviométriques

Température :

Même principe que pour la pluviométrie, afin de corriger la température de la station de référence, nous utilisons un gradient altimétrique de température. Ce gradient a été déterminé à partir du produit MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), développé par la NASA et issu des satellites Terra (lancé en 1999) et Aqua (lancé en 2002). Ces données, disponibles en libre accès, permettent d'estimer la température de surface du sol (LST – Land Surface Temperature) à une résolution spatiale de 1 km, pour les périodes diurnes et nocturnes.

L'analyse du produit MOD11A2 sur la période 1999–2023 a permis d'établir la répartition spatiale des températures moyennes annuelles sur l'ensemble de la vallée de la Cerveyrette. Les valeurs observées

montrent un gradient thermique altitudinal bien marqué, caractéristique des vallées alpines et environ égale à $-0.58\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

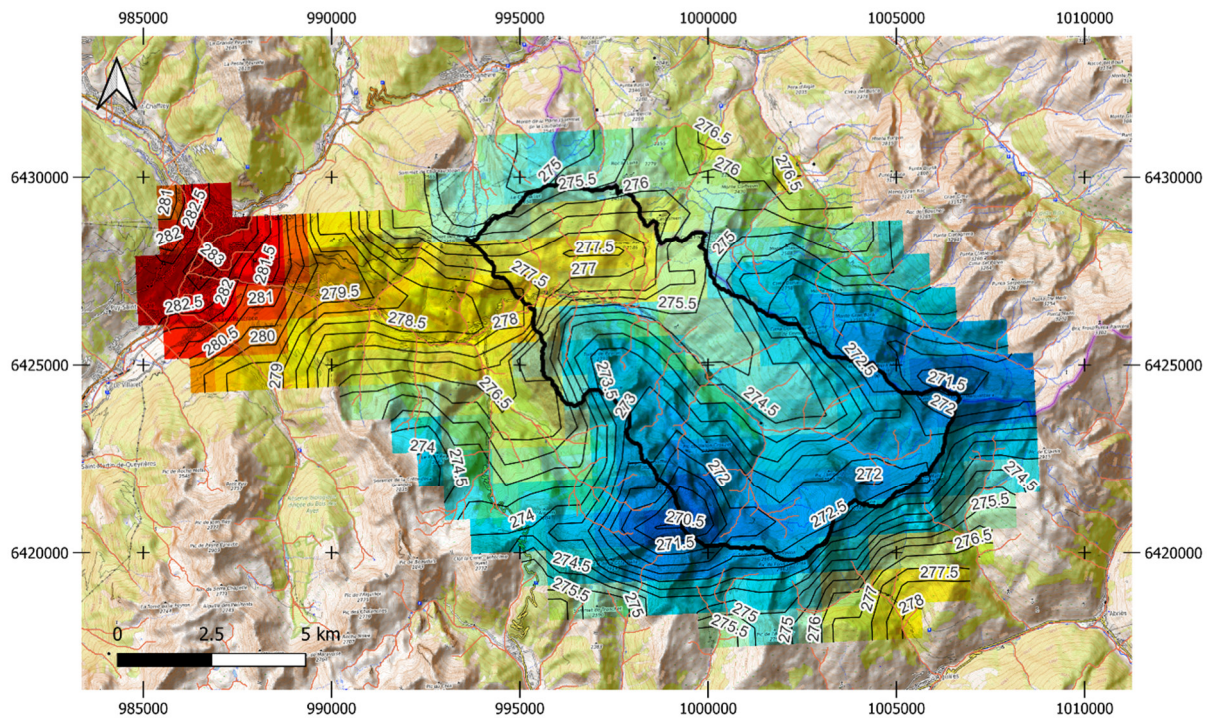


Figure 4 - Température moyenne sur le bassin entre 1999 et 2023 (Produit MOD11A2.061)

Evapotranspiration

Le calcul d'évapotranspiration potentielles (ETP) est basé sur la formule d'Oudin et al. 2005. Cette formule permet une estimation fiable de l'ETP en fonction du jour de l'année, de la température et des coordonnées géographiques de la zone étudiée.

2.3.2.2. CALIBRATION

Une première modélisation hydrologique a été réalisée au niveau du barrage de Pont-Baldy, dont le bassin versant présente une superficie de $115,7\text{ km}^2$. Cette étape a permis de caler les paramètres du modèle sur un secteur bien instrumenté, afin d'assurer une représentation fiable du fonctionnement hydrologique de la Cerveyrette.

Le calage a été effectué à partir :

- De la courbe de tarage établie à partir de la sonde EDSB1, installée en pied de barrage,
- Et d'une chronique de débits reconstitués au droit du barrage sur la période 2001–2019 (sources : EDF-DTG & BRLi).

Le modèle ainsi calé a permis de déterminer les paramètres caractéristiques du bassin versant (coefficients d'infiltration, réservoirs, ruissellement, fonte nivale, etc.). Les performances obtenues au calage sont satisfaisantes, avec un coefficient de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0,81 et un coefficient d'efficacité KGE de 0,82, traduisant une bonne adéquation entre les débits simulés et observés.

Ces paramètres ont ensuite été transférés au sous-bassin du Randon par régionalisation géographique, compte tenu de la proximité spatiale des deux exutoires et de la similitude de leurs caractéristiques physiques (altitude, pente moyenne, régime nival et nature géologique). Cette transposition a permis d’obtenir une chronique de débits simulés au droit de la prise d’eau du Randon, représentative des conditions hydrologiques naturelles du site.

Cette approche a permis de générer une chronique de débits simulés au droit de la prise d’eau du Randon, représentative des conditions naturelles du site. L’approche est jugée robuste et cohérente, la faible distance entre les deux points de modélisation assurant une transférabilité fiable des paramètres hydrologiques. Cependant, de légers biais peuvent subsister sur les périodes de basses eaux, liés à des débits de fuite non jaugés ou à d’autres composantes du débit du barrage non mesurable, malgré la prise en compte du maximum de paramètres disponibles.

2.4. RESULTATS HYDROLOGIQUE

2.4.1. MODULE ET REGIME HYDROLOGIQUE

Le module de la Cerveyrette à la prise d’eau du Randon est estimé à 1.87 m³/s.

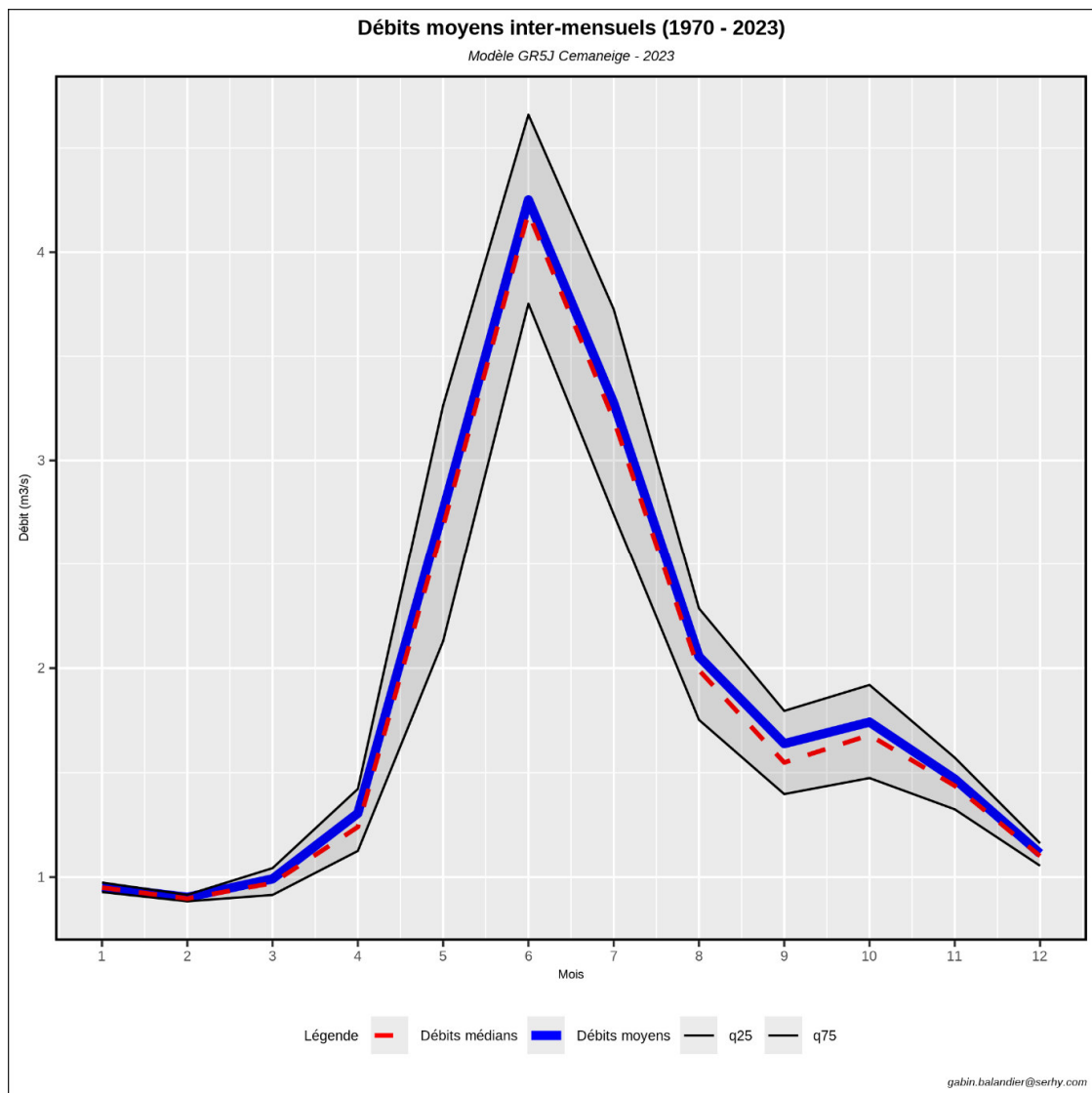


Figure 5 - Débits moyens inter-mensuels

Le régime hydrologique du bassin étudié est de type nivo-pluvial. Le débit présente un pic marqué en mai-juin, correspondant à la fonte des neiges dans ce contexte montagnard.

Par la suite, les débits diminuent progressivement au cours de l'été et de l'automne. Une influence pluviale secondaire est toutefois observée, avec un léger rebond des débits en septembre-octobre, lié aux précipitations. Cette contribution reste cependant modeste par rapport à l'apport neigeux.

Les débits d'étiage, observés en hiver et au début du printemps, sont relativement faibles, de l'ordre de 0.8 à 1 m³/s, confirmant la faible contribution des précipitations hors période de fonte.

Enfin, la variabilité inter-mensuelle est notable, avec un écart plus important entre Q25 et Q75 au moment de la fonte (mai-juin), traduisant l'influence des variations climatiques annuelles sur le régime du bassin.

2.4.2. BASSES EAUX

Les résultats en basse eaux issues EDF-DTG & BRLi (2021) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Indicateur statistique	QMNA	VCN3j	VCN10j
Moyenne	0.96	0.86	0.93
2 ans	0.91	0.82	0.93
5 ans	0.84	0.74	0.80
10 ans	0.76	0.71	0.74

Tableau 3 - Indicateurs statistiques d'étiage de la Cerveyrette à la prise d'eau du Randon

Le tableau présente les valeurs caractéristiques des étiages pour différentes périodes de retour, exprimées en m³/s, selon les indicateurs QMNA, VCN3j et VCN10j.

- **QMNA (débit moyen minimal annuel)** : la valeur moyenne sur la période étudiée est de 0.96 m³/s, avec une tendance à la baisse pour les périodes de retour plus longues, atteignant 0.76 m³/s pour un retour de 10 ans.
- **VCN3j (plus faible débit minimal sur 3 jours consécutifs)** : la moyenne est de 0.86 m³/s, diminuant jusqu'à 0.71 m³/s pour un événement centennal simulé sur 10 ans, indiquant des étiages courts plus marqués que le QMNA.
- **VCN10j (plus faible débit minimal sur 10 jours consécutifs)** : la moyenne est légèrement plus élevée que le VCN3j (0.93 m³/s), et suit la même tendance de baisse avec l'augmentation de la période de retour (0.74 m³/s pour 10 ans).

Ces indicateurs montrent que le bassin connaît des étiages significatifs, surtout en cas de retour long, et que les étiages prolongés (VCN10j) restent légèrement moins sévères que les étiages courts (VCN3j). L'ensemble des valeurs confirme la faible contribution hydrologique en période de sécheresse, typique d'un régime nivo-pluvial.

Pour information, les résultats issus de la modélisation GR5J sont assez similaires mais légèrement surestimés :

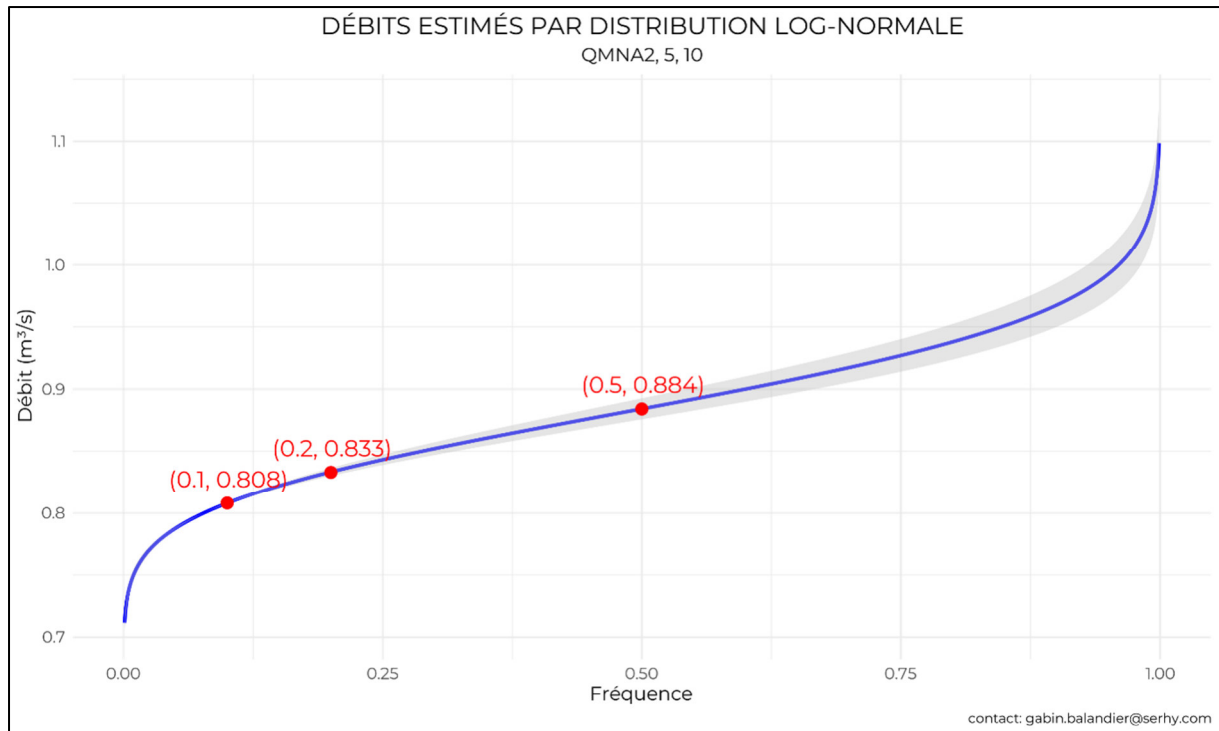


Figure 6 - QMNAx - Modélisation GR5J

2.4.3. HAUTES EAUX

Les résultats en hautes eaux issues (crues) d'EDF-DTG & BRLi (2021) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Périodes de retour (années)	Débits moyens journaliers (m ³ /s)	Débits de pointe (m ³ /s)
2	8.70	13.10
5	12.00	18.10
10	14.20	21.30
100	57.20	85.80

Tableau 4 - Indicateurs statistiques de crue de la Cerveyrette à la prise d'eau du Randon

Les débits augmentent avec la période de retour, comme attendu, illustrant la variabilité du bassin face aux événements extrêmes. La progression n'est pas linéaire : le débit moyen journalier passe de 8.7 m³/s pour une période de retour de 2 ans à 57.2 m³/s pour un événement centennal.

Les débits de pointe sont systématiquement supérieurs aux débits moyens journaliers. L'écart relatif augmente légèrement pour les crues rares, traduisant des crues rapides et intenses, caractéristiques des bassins de montagne.

Les crues fréquentes (2 à 10 ans) sont majoritairement contrôlées par la fonte des neiges, avec une contribution pluviale secondaire. Les crues exceptionnelles (100 ans) peuvent résulter de la combinaison d'un épisode neigeux important et de pluies intenses, expliquant les débits très élevés observés.

Ces valeurs confirment la réactivité du bassin et la dominance du régime nivo-pluvial, tout en soulignant que les crues extrêmes nécessitent une attention particulière dans la conception des aménagements et la gestion des risques.

Pour information, les résultats issus de la modélisation GR5J – Loi de Gumbel sous-estime les débits de crues.

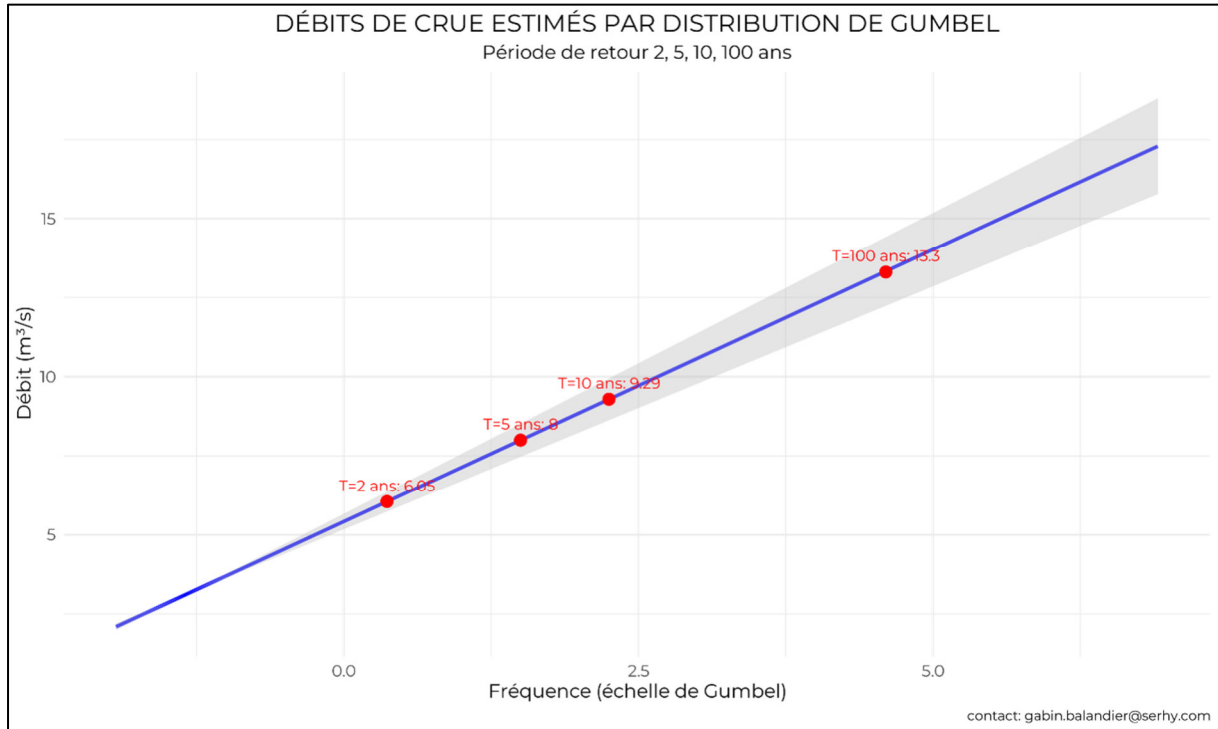


Figure 7 - Crue_x - Modélisation GR5J

Cette sous-estimation s’explique principalement par la nature du modèle GR5J, conçu pour reproduire le fonctionnement global du bassin à l’échelle quotidienne et calibré sur des séries historiques de débits. Les crues rares et exceptionnelles, souvent issues de combinaisons neige-pluie ponctuelles et intenses, sont peu représentées dans les séries historiques utilisées pour la calibration, et le modèle a tendance à lisser les extrêmes. De plus, l’application de la loi de Gumbel aux débits journaliers modélisés amplifie cette limitation, car la distribution statistique repose sur des maxima journaliers qui sont eux-mêmes sous-estimés par GR5J.

En conséquence, la méthode SCHADEX, qui s’appuie directement sur les séries observées et utilise une approche statistique spécifique pour les crues journalières, ainsi que MORDOR, qui intègre des corrections adaptées aux extrêmes, fournissent des estimations plus réalistes des débits pour les événements rares et extrêmes du bassin. Nous retiendrons donc les résultats issus de l’étude EDF-DTG & BRLi 2021.

3. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'OUVRAGE PROJETE

3.1. PRISE D'EAU



Figure 8 - Vue de la prise d'eau du Randon

La prise d'eau du Randon est de type « latérale par en-dessous ». L'eau prélevée passe par une première grille, décrite par la suite et appelée grille d'entonnement, avant de suivre un chenal, et d'arriver dans un dessableur, puis dans un réservoir qui fait office de bassin de mise en charge. Les plans sont joints en annexe.

Cet ouvrage a la particularité d'avoir un débit réservé restitué en 2 endroits distincts. Une première partie du débit réservé est restituée en aval immédiat de la prise d'eau, via la passe à poisson dimensionnée pour un débit prévu de 150 l/s. La seconde partie du débit réservé est restituée en aval du bassin de mise en charge. Une centaine de mètres sépare les 2 restitutions.

Ce fonctionnement avait été validé par la décision 2653 de l'OFB datant du 23 décembre 1986.

La prise d'eau sera modifiée afin de mettre en conformité la configuration du débit réservé et d'améliorer la continuité écologique.



Figure 9 - Débits réservés du Randon

Grille d'entonnement	<ul style="list-style-type: none"> • Remplacement de la grille d'entonnement par une grille d'espacement 10 mm ichtyo compatible • Rehaussement du seuil de la grille (inclinaison plus importante) • Condamnation du tuyau DN150 sous la grille d'entonnement • Mise en place d'une vanne levante au niveau du seuil de la grille • Automatisation de la régulation du plan d'eau
Passe à poissons	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des cloisons du seuil de la passe (dimensionnement des bacs, échancrures alternées, cloisons amovibles) • Modification de l'entrée aval de la passe • Mise en place du bassin de réception en aval des vannes de chasse

	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement d'une rampe d'accès en aval du bassin de réception (pente à 9%)
Dévalaison	<ul style="list-style-type: none"> • Agrandissement de l'orifice d'alimentation de la dévalaison en bac n° 2 de la passe à poissons • Mise en place d'une vanne en sortie de goulotte, maintien du niveau d'eau à une cote constante pour noyer l'orifice d'alimentation • Aménagement d'un bassin de réception des eaux en provenance du débordement du mur de crue • Retrait de la grille du dessableur, l'orifice en place servira uniquement au nettoyage du dessableur
Débit réservé	<ul style="list-style-type: none"> • Création de 1 orifice calibré dans la vanne de chasse RD de la prise d'eau

Tableau 4 - Synthèse des modifications projetées pour la mise en conformité de la prise d'eau

Des études de modification de la passe à poissons en montaison et en dévalaison, de la grille d'entonnement et de la restitution du débit réservé ont été menées. Ces études, présentées plus en détail ci-dessous, ont été validées par l'OFB et entérinées par le nouvel arrêté d'autorisation 2023-DPP-CDD-51 du 29 juin 2023.

L'implantation générale des ouvrages de prise d'eau est représentée ci-après.

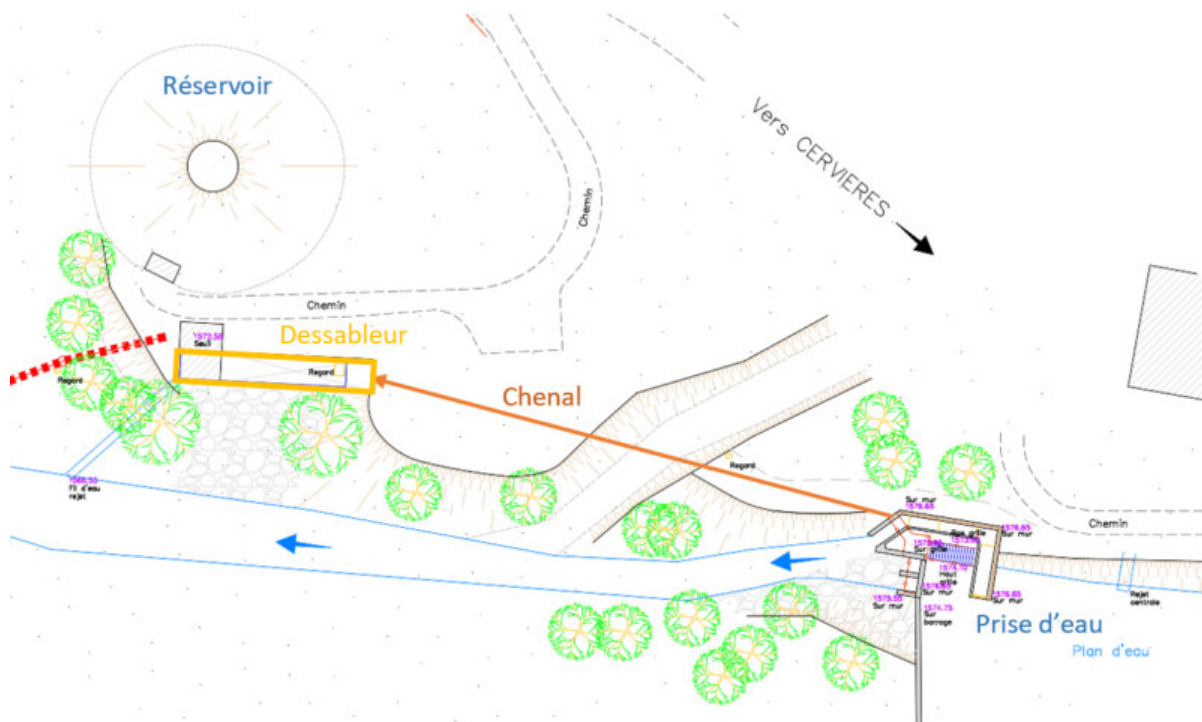


Figure 10 - Vue de l'aménagement de la prise d'eau du Randon



Figure 11 - Vue en plan de la prise d'eau de la chute du Randon

L'entonnement du débit turbiné se fait par « en-dessous » (voir les caractéristiques de la grille ci-dessous). Cette première grille permet d'arrêter les corps flottants (végétaux ...). Elle est constituée de barreaux \varnothing 14 mm espacés de 2 cm, soudés sur cadre à chant de 80 mm. L'eau entonnée circule ensuite dans un chenal vers un bassin de dessablage, puis dans un réservoir au niveau duquel elle est mise en charge dans la conduite forcée.

Largeur	5 m
Distance amont-aval	1,7 m
Inclinaison de la grille	20% (11,5°)
Longueur de grille	1.73 m

Figure 12 - Caractéristiques géométriques de la grille de la prise d'eau

Afin d'éviter l'aspiration des truitelles piégées dans le chenal vers la conduite forcée, un second jeu de grille est placé entre le dessableur et le bassin de mise en charge. Cette grille a un espacement de 1 cm entre barreaux. A cet endroit, la dévalaison des truitelles est assurée par le second orifice de débit réservé du dessableur.

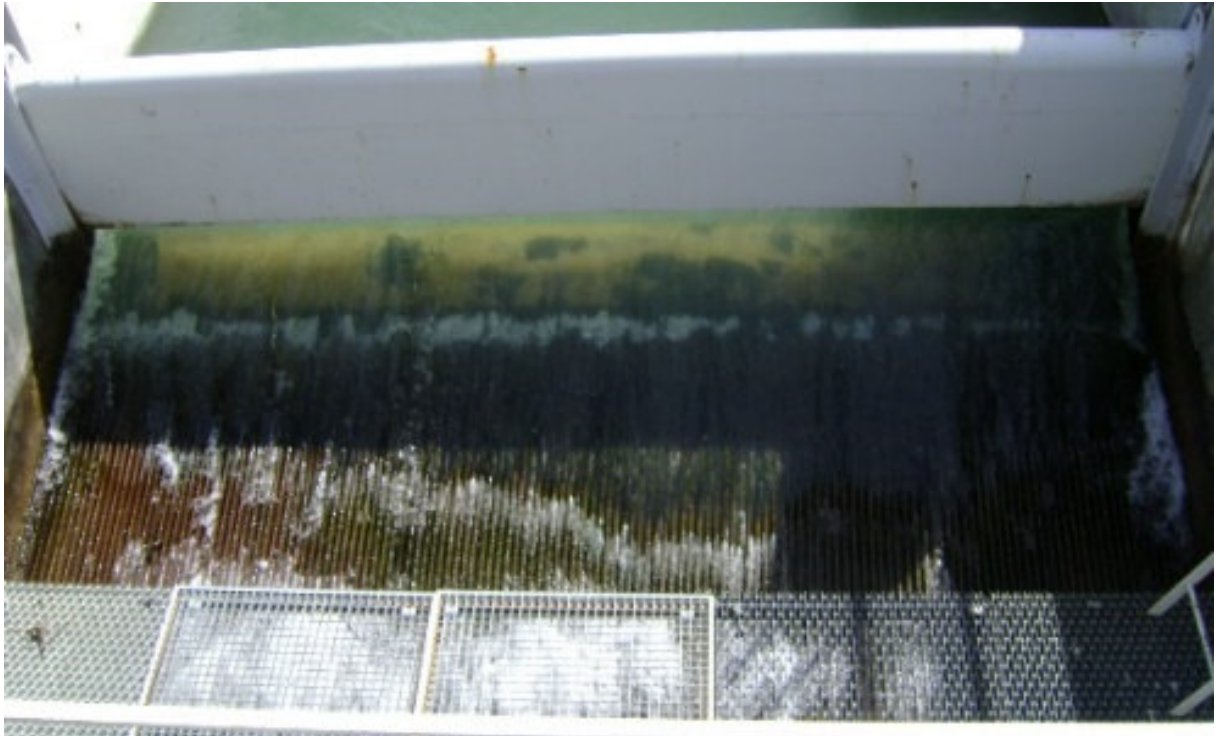


Figure 13 - Vanne martellière et grille d'entonnement de prise d'eau



Figure 14 - Grilles placées entre le dessableur et le bassin de mise en charge

Dans la configuration actuelle, les petits individus en dévalaison peuvent passer à travers la grille d'entonnement, transitant alors dans le chenal d'amenée jusqu'au dessableur pour retrouver la Cerveyrette à l'aval au travers du second orifice de débit réservé.

La mise en conformité nécessitant de restituer la totalité du débit réservé au droit de la prise d'eau, une modification de la grille d'entonnement est indispensable pour permettre la dévalaison des petits individus dès la prise d'eau.

3.1.1. DEBITS DERIVES ET DEBITS PRELEVES

Conformément à l'arrêté d'autorisation et à l'étude d'impact, les débits prélevés ainsi que les débits réservés resteront inchangés.

Ces débits sont les suivants :

- Débit maximum dérivable : $2 \text{ m}^3/\text{s}$,
- Débit réservé de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ de décembre à mars et $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ d'avril à novembre.

Il y a donc 122 jours de l'année à $Q_r = 500 \text{ l/s}$ et 243 jours à $Q_r = 600 \text{ l/s}$

Sur cette base, on estime qu'il n'y aura en rivière que :

- Le débit réservé 268 jours par an (74.5% du temps)
- Le débit réservé et un débit supplémentaire lié à une surverse à la prise d'eau 74 jours par an (20.5%).

Le reste du temps le débit est inférieur suivant la période à 700 ou 800 l/s ce qui correspond à :

- Un aménagement en fonctionnement basse puissance ou à l'arrêt 23 jours par an, soit 5% du temps

Par convention du 25 juillet 2024 entre EDSB et l'ASA des Reymondières, EDSB est tenu d'alimenter un canal d'irrigation dit « de Fontchristiane » dont le départ est situé au lieu-dit « l'Orphe », en rive droite du torrent du 1^{er} mai au 30 octobre de chaque année.

Ce prélèvement sera réalisé tel qu'aujourd'hui, via une vanne installée directement sur la conduite forcée.

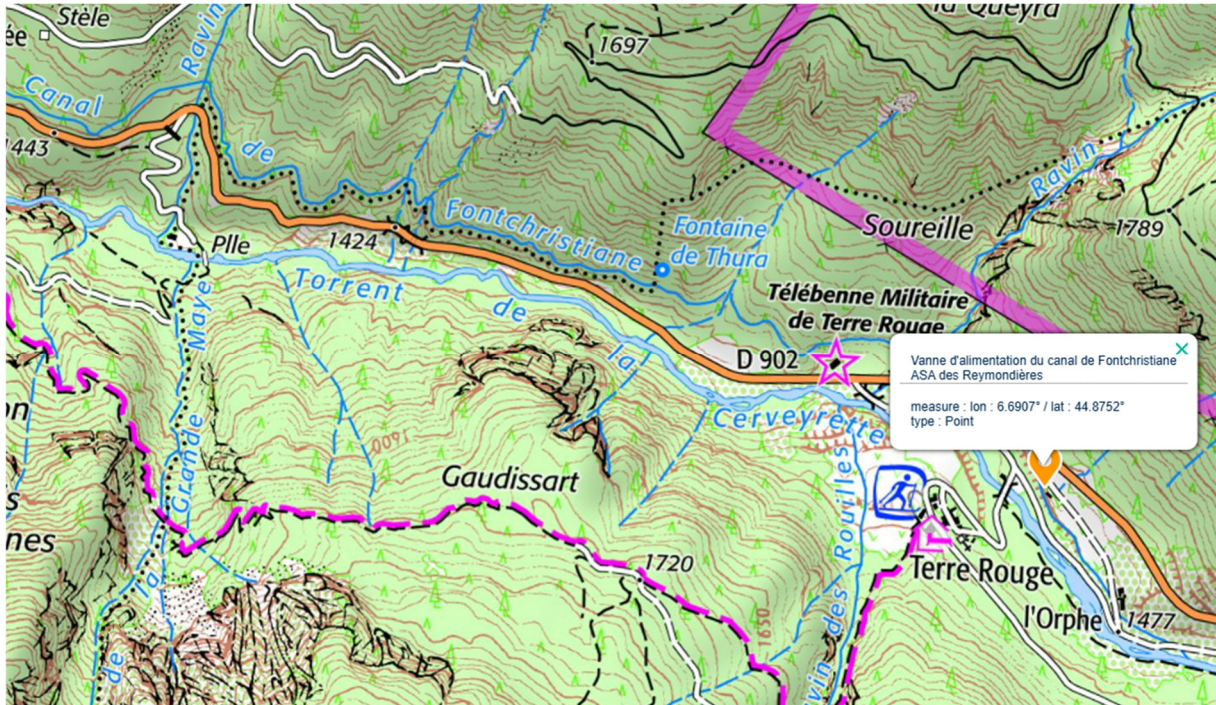


Figure 15 - Plan de situation d'alimentation du canal de Fontchristiane

3.1.2. MISE EN CONFORMITE ET AMELIORATION DE LA PRISE D'EAU

3.1.2.1. DEVALAISON

3.1.2.1.1. AUGMENTATION DE L'INCLINAISON DE LA GRILLE D'ENTONNEMENT

Le seuil de grille actuel est à la cote 1574.18 mNGF . Pour faire transiter le débit d'équipement de 2000 L/s sur le seuil de prise, il faut 38 cm de lame d'eau, ce qui porte le niveau d'eau à 1574.56 mNGF. L'altitude du barrage est à 1574.70 mNGF environ soit 14 cm au-dessus du niveau d'eau maxi. Le seuil de grille pourrait donc être rehaussé de quelques centimètres en conservant néanmoins une marge avant débordement afin d'améliorer l'inclinaison.

Il est possible d'aller jusqu'à 31% d'inclinaison (passer de 11 à 17°) en remontant de 6 cm le seuil de déversement sur la grille et en conservant la longueur active de 1.70 m comme actuellement (voir coupe ci-dessous). Cette inclinaison de 31% est néanmoins une limite pour assurer convenablement la dérivation du débit d'équipement sans que le mur de crue ne déborde.

L'amont de la grille sera muni d'une vanne déversante motorisée, et asservie au débit entrant dans la retenue pour maintenir la cote du plan d'eau de la retenue constante. La vanne sera équipée d'un dispositif pour accompagner le jet plongeant. Plus le débit entrant sera important, plus la vanne sera basse, et donc plus la lame d'eau au-dessus de la grille sera grande.

L'ensemble des organes sera conçu de tel sorte qu'il n'y ait aucun élément saillant susceptible d'engendrer des blessures aux poissons dévalant. Le déversoir créé par la vanne aura un profil arrondi et les jonctions entre les éléments seront également réalisées avec soin. Ce dispositif nécessitera un entretien régulier certes mais au même titre que les organes en place actuellement à la centrale ou à la prise d'eau.

Il est difficile d'apporter des plans plus précis sur ce dispositif à l'heure actuelle, les plans seront faits avec les points d'attentions cité ci-dessus avec une entreprise spécialisée dans le domaine qui n'est pour l'heure pas retenue. Les plans seront ensuite soumis à l'approbation de l'administration avant exécution.

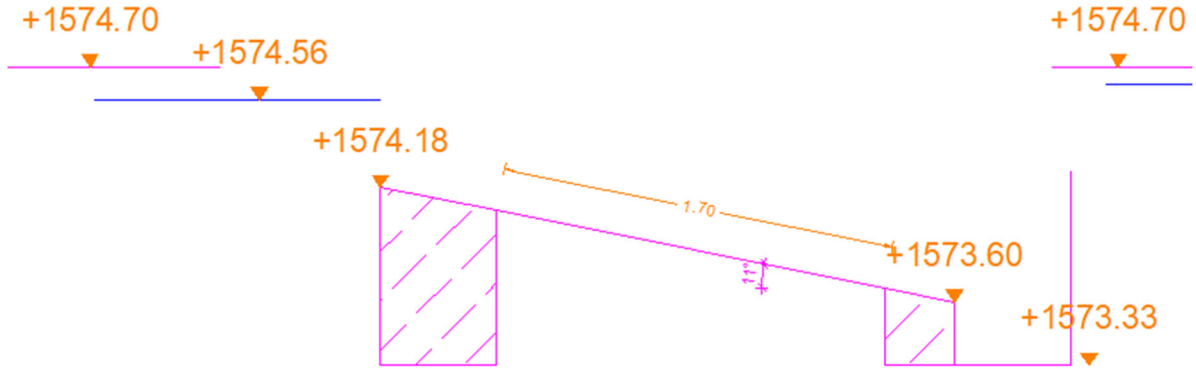


Figure 16 - Inclinaison de la grille d'entonnement actuelle, étude de SERHY

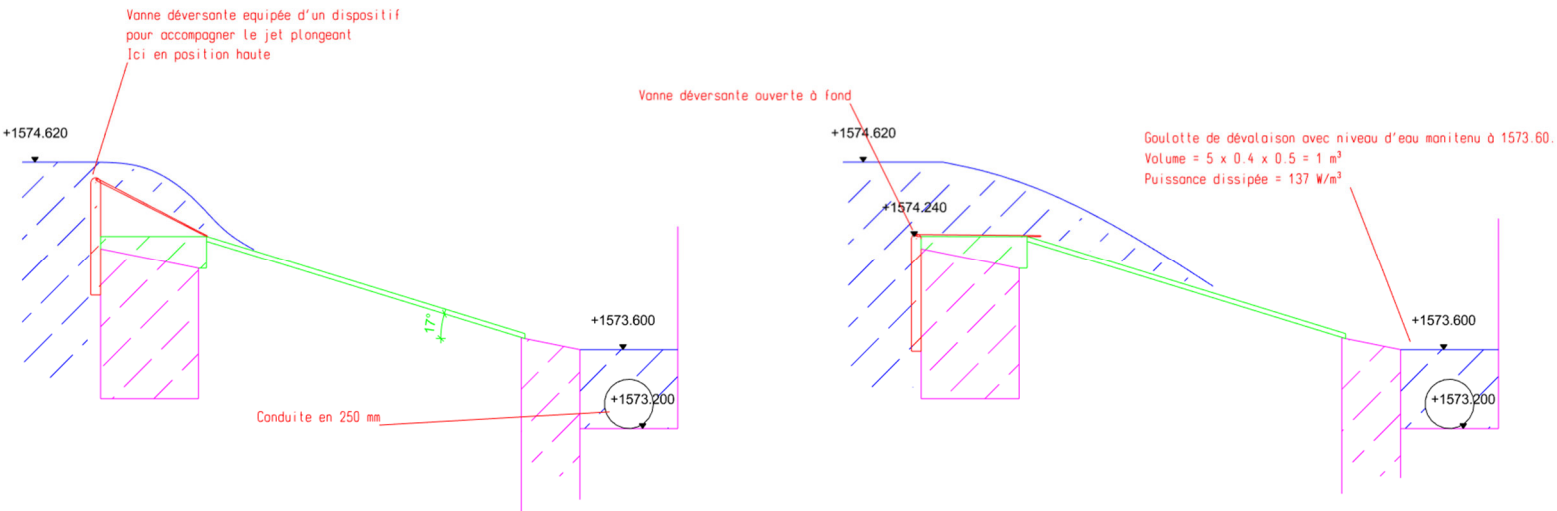


Figure 17 - Inclinaison de la grille d'entonnement future, étude de SERHY

3.1.2.1.2. MISE EN PLACE D'UNE GRILLE ICHTYO COMPATIBLE

Afin de limiter les risques de piégeage des petits individus, il est nécessaire de réduire l'espacement inter-barreaux de la grille d'entonnement.

La grille actuelle a une perméabilité de :

- Epaisseur de barreau de 14 mm
- Espace de 20 mm

Soit $20/34 = 59\%$ de perméabilité

Nous proposons de :

- Réduire l'épaisseur des barreaux à 8 mm
- Réduire l'espacement à 10 mm afin de supprimer le risque d'aspiration des plus petits individus

Soit : $10/18 = 55\%$ de perméabilité

Le resserrement jusqu'à 10 mm est retenu.

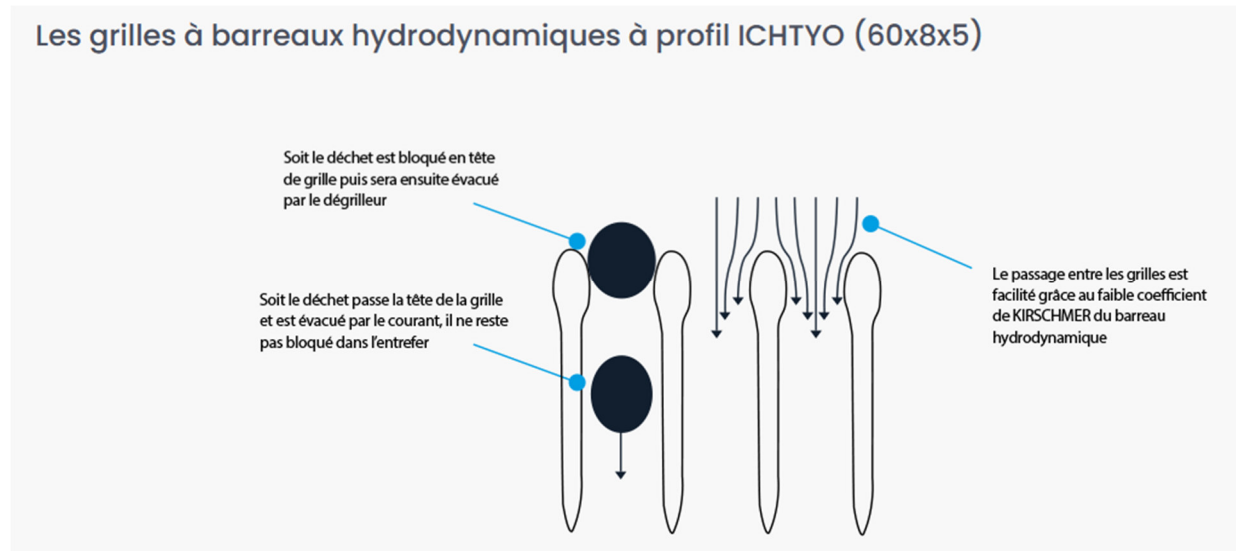


Figure 18 - Exemple de grilles à barreaux hydrodynamiques

3.1.2.1.3. MOTORISATION DE LA VANNE D'ENTREE

Une vanne déversante motorisée sera installée en amont de la grille. Elle sera assujettie au débit entrant dans la retenue afin de maintenir la côte du plan de la retenue constante. L'automate sera programmé de manière à suivre les variations du niveau d'eau amont avec des variations de $-3/+3$ cm.

L'ensemble des organes sera conçu de telle sorte qu'il n'y ait aucun élément saillant susceptible d'engendrer des blessures aux poissons dévalant. Le déversoir créé par la vanne aura un profil arrondi et les jonctions entre les éléments seront également réalisées avec soin. Ce dispositif nécessitera un entretien régulier certes mais au même titre que les organes en place actuellement à la prise d'eau.

Cette même vanne permettra d'isoler la grille de prise en la relevant complètement jusqu'à sa partie fixe. Elle offrira ainsi, en cas de crue ou de fort transport solide, une mise en transparence efficace de l'ouvrage et garantira la protection des ouvrages de prise.

Grâce à la vanne de régulation, le plan d'eau pourra être maintenu à la cote 1 574.62 m NGF tant que le débit entrant dans la prise demeure inférieur ou égal à 14.5 m³/s. Cette capacité de régulation offre une marge particulièrement confortable, dans la mesure où le turbinage devient généralement impossible dès 8 à 10 m³/s en raison de la turbidité excessive de l'eau.

Pour rappel, la cote de 1 574.62 m NGF correspond à une lame d'eau de 38 cm au-dessus du seuil rehaussé de la grille d'entonnement (1 574.18 + 0.06 + 0.38). Cette hauteur d'eau est celle nécessaire pour garantir le débit d'équipement de 2 000 L/s.

3.1.2.1.4. GOULOTTE DE DEVALAISON

La goulotte de dévalaison, située en pied de grille, sera désormais alimentée en permanence par un débit de 40 l/s via une conduite en PVC d'environ DN 250, installée entre le bac C3 et la goulotte. Le génie civil de la goulotte sera rehaussé de manière à augmenter la hauteur d'eau disponible. Une vanne de régulation et d'isolement permettra d'ajuster la hauteur d'eau ainsi que de fermer la goulotte lors des opérations de maintenance.

Actuellement, la goulotte est alimentée par deux orifices provenant du deuxième bac de la passe à poissons. Il est envisagé de remplacer ces deux orifices par un unique orifice de plus grande dimension. La cote du plan d'eau étant régulée à une valeur constante, le niveau hydraulique du bassin n°2 restera lui aussi constant. Afin de prévenir tout risque de blessure pour les poissons dévalant dans la goulotte — notamment par impact contre les parois ou le radier — une vanne de régulation sera installée en aval immédiat de celle-ci. Cette vanne permettra de maintenir une hauteur d'eau minimale de 40 cm au pied de la grille d'entonnement, correspondant à une cote constante de 1573.60 mNGF.

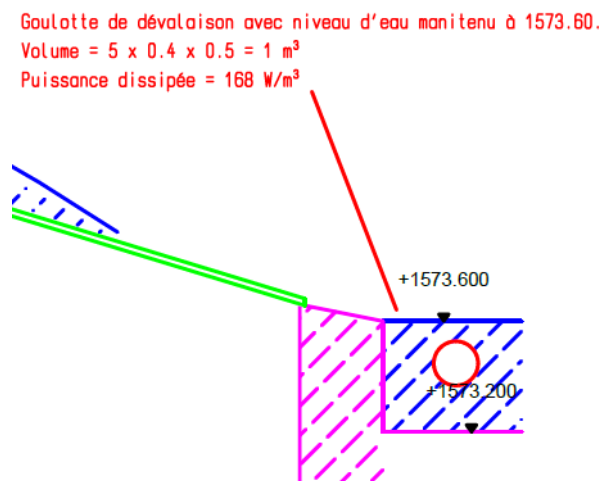


Figure 19 - Coupe goulotte de dévalaison

En conservant le mur d'appui aval de la grille à son niveau actuel et en considérant un remplissage de la goulotte à la cote 1573.60 mNGF, la chute entre le bassin n°2 et la goulotte est de :

$$1574.028 - 1573.60 = 0.428 \text{ m.}$$

Pour assurer l'évacuation du débit attendu dans ces conditions, l'orifice nécessaire doit présenter un diamètre de 16 cm. L'énergie dissipée par cette chute est estimée à 168 W/m³, comme le montre le calcul ci-dessous.

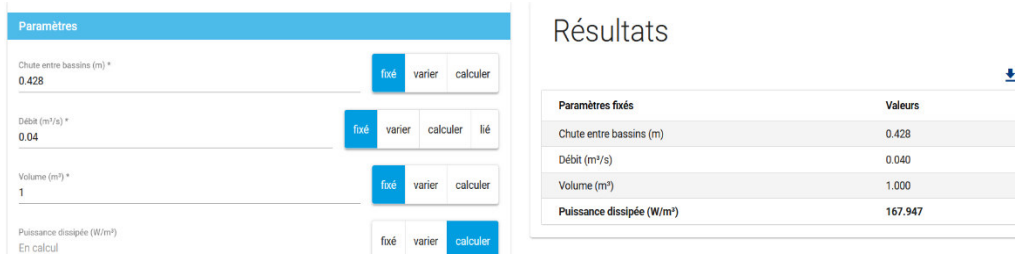


Figure 20 - Calcul des caractéristiques goulotte de dévalaison

3.1.2.2. MONTAISON

La passe à poissons actuelle est constituée de 5 bassins successifs à seuil déversant. Elle a été dimensionnée pour transiter 150 l/s. La gestion du débit se fait en amont par une vanne inversée munie d'un orifice rectangulaire dénoyé. Les bassins sont délimités par des batardeaux rapportés sur la maçonnerie, munis d'échancrures centrales rectangulaires dénoyées. En fonctionnement normal la lame d'eau déversante est de 10 cm pour le débit de transit de 150 l/s.



Figure 21 - Bacs n°2, 3 et 4 de la passe à poissons et vanne de contrôle du débit entrant

Une échelle limnimétrique située dans le bac n° 2 de la passe à poissons permet de vérifier le débit d'eau. Les 150 l/s correspondent à une hauteur de 26 cm. Son réglage est manuel et nécessite qu'un technicien d'exploitation se rende sur site.

Un complément du débit réservé à la prise d'eau est transité par une canalisation DN150 qui relie l'amont du plan de grille et le dernier bassin.

Ci-dessous figure une analyse des débits naturels à la prise d'eau au cours de la période de migration, comprise entre le début du mois de septembre et la fin du mois de janvier. Les débits ont été classés par fréquence d'apparition afin de caractériser la variabilité hydrologique sur cette période. Ces informations permettront d'évaluer l'attractivité et le bon fonctionnement de la passe à poissons.

Débits classés sur la période de migration : début septembre- fin janvier			
Jours	%	Q naturel Prise d'eau [m ³ /s]	Nbre de jrs de dépassement
1	1%	0,447	152
2	1%	0,480	151
3	2%	0,514	150
4	3%	0,538	149
5	3%	0,555	148
6	4%	0,572	147
7	5%	0,580	146
8	5%	0,592	145
9	6%	0,601	144
10	7%	0,613	143
11	7%	0,617	142
12	8%	0,625	141
13	8%	0,634	140
14	9%	0,642	139
15	10%	0,646	138
16	10%	0,659	137
17	11%	0,667	136
18	12%	0,675	135
19	12%	0,683	134
20	13%	0,692	133
21	14%	0,700	132
107	70%	1,193	46
108	71%	1,201	45
109	71%	1,214	44
110	72%	1,226	43
111	73%	1,238	42
112	73%	1,251	41
113	74%	1,263	40
114	75%	1,276	39
115	75%	1,284	38
116	76%	1,292	37
117	76%	1,301	36
142	93%	1,988	11
143	93%	2,042	10
144	94%	2,124	9
145	95%	2,212	8
146	95%	2,320	7
147	96%	2,436	6
148	97%	2,620	5
149	97%	2,851	4
150	98%	3,171	3

151	99%	3,661	2
152	99%	4,776	1

Tableau 5 - Débits classés sur la période de migration

3.1.2.2.1. AUGMENTATION DU NOMBRE DE BACS

Afin de réduire les chutes entre bassin et d'abaisser plus progressivement la cote entre l'amont et l'aval, la passe à poisson va passer de 5 bacs à 12 bacs. Ces bacs sont dimensionnés pour garantir une puissance volumique dissipée inférieure à 200 W/m^3 tout en laissant transiter un débit de 500 L/s dans les trois premiers bacs, puis de 460 L/s ($Q_{passe} - Q_{dévalaison}$) jusqu'au rejet.

Les figures 23, 24 et 25 présentent respectivement la coupe longitudinale de la passe, les vues en coupe de l'ouvrage de prise ainsi que sa vue en plan.

3.1.2.3. ENTREE ET SORTIE DE LA PASSE A POISSON

L'entrée de la passe à poisson sera équipée d'une grille à barreau espacement 20 mm permettant le blocage des gros flottants. Un masque acier dont la partie inférieure se situerait proche de la cote RN est également envisagé pour la déviation de ces mêmes flottants.

Pour compléter une vanne d'isolation sera mise en place permettant la fermeture et l'isolation de la passe pour maintenance ou en cas de crue importante.

A l'aval, une rainure pouvait accueillir une réhausse du dernier seuil, permettra d'adapter la chute en sortie au changement morphologique éventuel de l'aval et de permettre un batardage de la passe.

3.1.2.4. GEOMETRIE DES BACS ET CLOISONS

Les cinq premiers bacs présentent des géométries majoritairement rectangulaires, mais comportent quelques irrégularités, notamment une profondeur plus importante au niveau du quatrième bassin et un ressaut subaquatique lié au passage du chenal d'amenée. Ce « trou » sera comblé afin d'obtenir un radier homogène et d'éviter tout risque de piégeage de poissons. La géométrie détaillée des bacs et des cloisons retenus est présentée ci-dessous.

N° de bassin	Longueur du bassin (m)	Largeur du bassin (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Cote du radier amont (m)	Type	Paramètres	Valeurs
1				1573,06	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1573,5
						L	0,39
	3,5	1,55	1573,06			CdWR	0,4
			0				
2				1573,06	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1573,28
						L	0,39
	3,8	1,55	1573,06			CdWR	0,4
			0				
3				1573,06	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1573,06
						L	0,39
	4,5	1,1	1572,5			CdWR	0,4
			-0,04				
4				1572,5	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1572,77
						L	0,34
	5	1,1	1572,2			CdWR	0,4
			0				
5				1572,2	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1572,55
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,85			CdWR	0,4
			0				
6				1571,85	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1572,33
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,7			CdWR	0,4
			0				
7				1571,7	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1572,11
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,55			CdWR	0,4
			0				
8				1571,55	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,89
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,4			CdWR	0,4
			0				
9				1571,4	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,67
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,25			CdWR	0,4
			0				
10				1571,25	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,45
						L	0,34
	3,5	1,4	1571,15			CdWR	0,4
			0				
11				1571,15	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,23
						L	0,34
	3,5	1,4	1570,95			CdWR	0,4
			0				
12				1570,95	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,01
						L	0,34
	4	1,4	1570,95			CdWR	0,4
			0				
Aval				1570,95	Échancrure (Villemonste)	ZDV	1571,25
						L	0,6
						CdWR	0,4

Tableau 6 - Caractéristiques géométriques de la passe à poisson

Les cloisons seront à échancrure, sans orifice noyé. Elles seront amovibles afin de permettre le dégravage éventuel de la passe. Leur conception permettra également un ajustement aisé des dimensions après la phase de rénovation.

3.1.3. CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DANS LA PASSE

Les caractéristiques hydrauliques dans la passe pour des débits allant de Q0 à 2600 l/s (97% du temps de la période de migration) est présenté ci-dessous :

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Débit (m³/s)	Puissance volumique dissipée (W/m³)	Tirant d'eau moyen (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m³/s)	Type de jet	Charge amont (m)	Charge aval (m)	Ennoïement (%)
Amont	1574.620											
1	1574.398	1573.060	0.222	0.503	151.111	1.338	1573.060	0	de surface	1.120	0.898	80.200
2	1574.174	1573.060	0.223	0.503	168.103	1.114	1573.060	0	de surface	1.118	0.894	80.000
3	1573.949	1573.060	0.226	0.503	155.379	1.449	1572.500	-0.04	de surface	1.114	0.889	79.700
4	1573.729	1572.500	0.220	0.463	118.887	1.529	1572.200	0	de surface	1.179	0.959	81.300
5	1573.509	1572.200	0.220	0.463	122.965	1.659	1571.850	0	de surface	1.179	0.959	81.300
6	1573.289	1571.850	0.220	0.463	128.349	1.589	1571.700	0	de surface	1.179	0.959	81.300
7	1573.069	1571.700	0.220	0.463	134.207	1.519	1571.550	0	de surface	1.179	0.959	81.400
8	1572.849	1571.550	0.220	0.463	140.595	1.449	1571.400	0	de surface	1.179	0.959	81.400
9	1572.630	1571.400	0.220	0.463	147.570	1.380	1571.250	0	de surface	1.179	0.960	81.400
10	1572.411	1571.250	0.219	0.463	161.341	1.261	1571.150	0	de surface	1.180	0.961	81.400
11	1572.192	1571.150	0.219	0.463	163.485	1.242	1570.950	0	de surface	1.181	0.962	81.500
12	1571.973	1570.950	0.218	0.463	173.035	1.023	1570.950	0	de surface	1.182	0.963	81.500
Aval	1571.760	1570.950	0.213	0.463					de surface	0.723	0.510	70.500

Tableau 7 - Caractéristiques hydrauliques dans la passe entre Q0 à 2600 l/s

Les chutes sont de 22cm entre chaque bac et la puissance dissipée nettement inférieur à 200 W/m³, ce qui est jugé très satisfaisant.

Pour un débit en rivière supérieur à 5 000 l/s, il est possible que le niveau à l'entrée de la passe à poissons (en aval immédiat de la prise d'eau) s'élève. En considérant une hypothèse péjorative d'augmentation du niveau d'eau de 50 cm, les simulations hydrauliques indiquent que les conditions de fonctionnement de la passe à poissons seraient les suivantes :

Cloison n°	Cote de l'eau (m)	Cote du radier amont (m)	Chute (m)	Débit (m³/s)	Puissance volumique dissipée (W/m³)	Tirant d'eau moyen (m)	Cote de radier mi-bassin (m)	Débit d'attrait (m³/s)
Amont	1574.620							
1	1574.399	1573.060	0.221	0.502	149.818	1.339	1573.060	0
2	1574.178	1573.060	0.221	0.502	165.752	1.118	1573.060	0
3	1573.955	1573.060	0.222	0.502	152.091	1.455	1572.500	-0.04
4	1573.740	1572.500	0.215	0.462	115.000	1.540	1572.200	0
5	1573.528	1572.200	0.212	0.462	116.890	1.678	1571.850	0
6	1573.321	1571.850	0.208	0.462	118.564	1.621	1571.700	0
7	1573.120	1571.700	0.201	0.462	118.615	1.570	1571.550	0
8	1572.928	1571.550	0.192	0.462	116.215	1.528	1571.400	0
9	1572.749	1571.400	0.179	0.462	110.532	1.499	1571.250	0
10	1572.586	1571.250	0.162	0.462	104.609	1.436	1571.150	0
11	1572.444	1571.150	0.142	0.462	88.216	1.494	1570.950	0
12	1572.323	1570.950	0.121	0.462	71.076	1.373	1570.950	0
Aval	1572.260	1570.950	0.063	0.462				

Tableau 8 - Caractéristiques hydrauliques pour Qrivière>5000 l/s

Dans ces conditions, qui représentent moins de 0.5 % de la durée totale de la période de migration (voir Tableau 5), la passe reste fonctionnelle, bien que dans un régime dégradé et légèrement moins attractif.

3.1.4. MISE EN CONFORMITE DU DEBIT RESERVE

Comme mentionné dans la présentation de l'ouvrage dans son état actuel, le débit réservé est actuellement restitué pour partie dans la passe à poissons (150 L/s) et pour partie au niveau du dessableur (350 L/s en hiver et 450 L/s en été).

Désormais, ce débit sera restitué intégralement (500 L/s) par la passe à poissons et la goulotte de dévalaison au pied de l'ouvrage. Un complément de 100 L/s sera restitué via un orifice calibré disposé sur la vanne barrage de droite. Le débit restera constant, car il dépendra directement du niveau de la retenue, maintenu à une cote de 1574.62 mNGF.

Les plans de la passe à poissons modifiée sont présentés ci-dessous dans la partie consacrée au fonctionnement général de la prise d'eau.

3.1.5. AMELIORATION D'ORDRE GENERAL

Ces modifications des ouvrages de continuité piscicole constituent également l'occasion d'apporter plusieurs améliorations à la prise d'eau, sur la base des retours d'expérience accumulés.

Afin de permettre l'installation de la vanne de régulation du plan d'eau au droit des grilles, tout en garantissant la possibilité d'une isolation complète de la grille de prise et de la prise d'eau, le génie civil sera modifié en faveur d'une rehausse de certains murs de la prise jusqu'à la cote 1576.65 m NGF (hors crête du barrage, maintenue à 1574.70 m NGF). Cette rehausse assure la non-submersibilité de l'ouvrage, y compris en cas de crue centennale (débit de pointe : 85.8 m³/s, étude BRLi 2024 – modèle MORDOR). À ce débit, en prenant en compte la mesure d'approfondissement des vannes décrite ci-après ainsi que les débits déversés sur le barrage, le niveau d'eau atteindrait environ 1576.3 m NGF, soit 1.6 m au-dessus de la crête du barrage, tout en conservant une revanche d'environ 35 cm avec les murs de la prise.

Concernant la vantellerie, les deux vannes de barrage (1 × 1 m) seront approfondies d'un mètre, portant la surface débitante totale de 2 m² à 4 m². Cette modification vise à augmenter significativement la capacité d'évacuation des matériaux, tant en volume qu'en profondeur de tirage.

Ainsi, le débit d'évacuation unitaire par vanne passera de 2.6 m³/s à 6.25 m³/s à la cote RN, portant la capacité totale d'évacuation de la prise d'eau à 12.5 m³/s, auxquels s'ajoutent les débits déversés par le barrage en période de crue significative.

3.1.5.1. AUTOMATISME

La prise d'eau ne dispose aujourd'hui d'aucun élément automatisé. Une électrification de la prise d'eau est prévue dans les travaux :

Barrage

- Automatisation de la vanne de régulation du plan d'eau, intégrée au seuil de la grille d'entonnement. Cette vanne permettra également l'isolement de la prise d'eau, à distance et automatiquement, en cas de débit entrant trop important.

- Automatisation des deux vannes barrage.
- Installation d'une caméra destinée à visualiser l'ensemble de la prise d'eau, et en particulier les conditions d'écoulement dans la passe à poissons.

Dessableur

- Installation d'une caméra permettant de visualiser la surverse du dessableur.
- Mise en place d'un éclairage extérieur sur les zones couvertes par les caméras.
- Installation d'un éclairage intérieur au sein du dessableur.

Éléments complémentaires

- Mise en place d'une sonde de niveau à la prise d'eau : celle-ci permettra d'estimer l'ensemble des débits transitant à la prise. Au-delà de son intérêt hydrologique, cette sonde assurera l'asservissement de la vanne du plan de grille, garantissant ainsi le maintien du plan d'eau au plus proche de la cote de retenue normale.
- L'ensemble de cette instrumentation a vocation à assurer la surveillance de l'aménagement, à vérifier sa conformité réglementaire et à permettre l'automatisation des organes de commande.
- Un dispositif de contrôle visuel des débits, de type échelle limnimétrique, sera en place (déjà présent dans la passe à poissons et au niveau de la retenue).

3.1.5.2. FONCTIONNEMENT GENERAL DE LA PRISE D'EAU

À la suite de ces modifications, la prise d'eau fonctionnera suivant 3 plages de débit en rivière :

- Du débit minimum à 2 600 l/s : 500 l/s transitent par la passe à poissons et la dévalaison, le reste est entonné pour la production hydroélectrique. En période estivale (avril-novembre), 100 l/s transitent via l'orifice calibré dans la vanne barrage en RD.
- De 2 600 l/s à 8800 l/s : 500 l/s transitent par la passe à poissons et la dévalaison, 2 000 l/s sont entonnés pour la production hydroélectrique, le reste transite par la vanne barrage RG.
- De 8800 l/s à >15 000 l/s : la cote du plan d'eau peut théoriquement être maintenue constante en utilisant la deuxième vanne barrage RD mais de tels débits en rivière sont représentatifs de condition de crue qui se traduisent généralement par une mise en transparence de l'ouvrage par sécurité dans la majorité des cas (ouverture complète des vannes barrages et surverses par le déversoir de crue).

Dans les deux premiers cas les puissances volumiques dissipées dans les bacs sont très satisfaisantes. Pour les débits supérieurs à 5000 l/s (présent moins de 0.5% du temps sur la période de migration de septembre à janvier, cf. Tableau 5 ci-dessus), les puissances dissipées restent correctes mais la passe est théoriquement moins attractive en raison d'une chute final réduite à 6.3 cm. Toutefois ces conditions sont nettement moins propices à la montaison piscicole et ce fonctionnement ne devrait pas être préjudiciable.

3.1.5.3. TRANSIT SEDIMENTAIRE

État actuel du fonctionnement sédimentaire

L'ouvrage de prise d'eau existant constitue actuellement un point de discontinuité du transit sédimentaire, en particulier pour la fraction grossière du transport solide (charriage). La section utile limitée des vannes (2 m²), combinée à un radier de vanne positionné à une cote élevée, conduit à :

- Des vitesses d'écoulement insuffisantes lors des débits ordinaires
- Un piégeage préférentiel des matériaux grossiers en amont immédiat de l'ouvrage,
- Une mobilisation effective des sédiments principalement lors des crues les plus importantes.

Ce fonctionnement favorise l'atterrissement amont, réduit la fréquence de transit et peut conduire à un déséquilibre sédimentaire local et un stockage important dans la retenue par manque d'évacuation de la charge solide.

Principes d'amélioration apportés par le projet de rénovation :

Le projet de rénovation prévoit :

- Le doublement de la section utile des vannes (2 m² → 4 m²),
- L'approfondissement du radier de vanne, permettant d'abaisser la cote de contrôle hydraulique.

Ces modifications visent explicitement à améliorer les conditions hydrauliques favorables au transit sédimentaire, sans modifier le régime hydrologique du cours d'eau. Le fonctionnement de la retenue à cote constante permet également de maintenir une charge d'eau de 0,46 m sur la crête de vanne.

Les effets hydrauliques attendus sont :

- Une augmentation des vitesses d'écoulement à débit équivalent
- Une augmentation de la contrainte de cisaillement au fond
- Une mobilisation des matériaux pour une gamme de débits plus large qu'en situation actuelle.

Analyse quantitative et hydraulique du transit solide

Cette analyse vise à quantifier le transport solide par charriage au droit d'une vanne de chasse, en tenant compte :

- De la contrainte hydraulique générée par l'écoulement
- De la taille des grains mobilisables
- De la distribution granulométrique typique des lits de torrents de montagne
- Du calcul du débit solide total et de la répartition par classes de diamètre

Cette approche permet d'évaluer la capacité de transport théorique de chaque vanne après rénovation.

HYPOTHESES ET PARAMETRES

Paramètre	Valeur	Unité/Description
Alt _{RN}	1574.62	mNGF (Altitude de la ligne d'eau à la RN)
Alt _v	1572.24	mNGF (Altitude du seuil de vanne)
H	2	m (hauteur de vanne)
L	1	m (largeur de vanne)
C	0.6	Coefficient de décharge (orifice)
ρ _r	2650	kg/m ³ (masse volumique sédiment)
ρ _w	1000	kg/m ³ (masse volumique de l'eau)
s	2.65	Rapport de densité
C _f	0.015	Coefficient de frottement (Lit à gros galets)
θ _{cr}	0.047	Nombre de shield critique (Turbulent, sol non cohésif)
d ₁₆	0.02	(m) Diamètre de sédiment (16% de la distribution est plus fine)
d ₅₀	0.08	(m) Diamètre de sédiment (diamètre médian)
d ₈₄	0.18	(m) Diamètre de sédiment (84% de la distribution est plus fine)

Tableau 9 : Paramètres - Transport solide

METHODOLOGIE DE CALCUL

L'évaluation du transport solide au droit d'une vanne de chasse repose sur une approche combinant l'hydraulique locale, la granulométrie du lit et les relations classiques de transport sédimentaire. L'objectif est de déterminer la capacité théorique de transport de chaque vanne rénovée, ainsi que la répartition du débit solide par classes de taille des particules.

➤ Débit hydraulique à travers la vanne

Le premier calcul consiste à déterminer le débit d'eau traversant la vanne, fonction de la hauteur de charge et de la largeur de l'orifice. Le débit est estimé selon la formule classique :

$$Q = C_r b H \sqrt{2gH}$$

- b : largeur de vanne [m]
- H : hauteur de charge [m]
- C_r : coefficient de décharge

➤ Vitesse du jet et contrainte de cisaillement

La vitesse moyenne de l'écoulement est calculée à partir du débit et de la section disponible, puis ajustée pour obtenir la vitesse au fond (v_b) en considérant un profil de vitesse typique :

$$v_m = \frac{Q}{A} \quad v_b = 0.85 v_m$$

La contrainte de cisaillement exercée par le flux sur le lit est ensuite estimée par :

$$\tau_b = \rho C_f v_b^2$$

- v_b : vitesse au fond
- C_f : coefficient de frottement, spécifique aux lits à gros galets. (Rickenmann, 1991 ; Graf, 1998)

➔ Diamètre maximal mobilisable

Le diamètre des particules susceptibles d'être entraînées par l'écoulement est obtenu à partir du critère de Shields :

$$d_{\max} = \frac{\tau_b}{\theta_{cr}(\rho_s - \rho)g}$$

Cette relation indique la taille maximale de grain pouvant être mobilisée dans les conditions hydrauliques données, en tenant compte de la densité relative des sédiments et du seuil critique de mouvement.

- Critère de Shields (Shields, 1936 ; Meyer-Peter & Müller, 1948)

➔ Estimation des diamètres représentatifs d_{16}, d_{50}, d_{84}

En l'absence de mesures granulométriques locales pour la Cerveyrette, nous adoptons ces valeurs comme ordres de grandeur représentatifs du lit, sur la base des torrents alpins du massif des Écrins-Pelvoux (Pitlick et al., 2021). Les percentiles D_{16}, D_{50}, D_{84} permettent de représenter respectivement les fractions fines, médianes et grossières du lit, et sont utilisés pour répartir le débit solide dans les calculs.

La distribution granulométrique est large et asymétrique, caractéristique des torrents alpins à forte pente : la majorité des particules sont des graviers et galets de taille moyenne (D_{50}), tandis que la queue de la distribution comprend quelques gros blocs isolés qui élèvent D_{84} . Les particules fines (D_{16}) représentent la fraction mobilisable facilement lors de débits moyens, D_{50} correspond au diamètre médian typique du lit, et D_{84} reflète la présence de blocs mobilisables seulement lors de crues importantes. Ces percentiles constituent ainsi une bonne base pour paramétrer la répartition granulométrique du lit même sans mesures directes sur la Cerveyrette.

Valeurs représentatives :

$$D_{16} \approx 20 \text{ mm}, D_{50} \approx 80 \text{ mm}, D_{84} \approx 180 \text{ mm}$$

Référence :

Pitlick J., Recking A., Liebault F., Misset C., Piton G., & Vazquez-Tarrio D. (2021). Sediment production in French Alpine rivers. *Water Resources Research*, 57, e2021WR030470, pages 19–22. ([ResearchGate](#))

➔ Débit solide par classes

Pour chaque classe de particules d_i , le débit solide par seconde est évalué selon la formule :

$$q_{s,i} = 8 \sqrt{(s-1)gd_i^3(\theta_i - \theta_{cr})^{3/2}}, s = \frac{\rho_s}{\rho}, q_s = 0 \text{ si } \theta_i < \theta_{cr}$$

Le débit solide total par heure est ensuite obtenu en sommant les contributions de chaque classe sur la largeur de la vanne :

$$Q_s = \sum_i q_{s,i} B \cdot 3600$$

Cette approche permet non seulement de quantifier le transport solide total, mais aussi de visualiser sa répartition selon la taille des particules, essentielle pour l'évaluation de l'usure potentielle et de la capacité de passage des vannes.

RESULTAT POST RENOVATION :

Nous obtenons le tableau suivant en considérant une ligne d'eau qui varie entre la RN et +1 m (qui correspond à une situation légèrement supérieure à la crue centennale ($Q_{\text{déversoir}} = 70.58 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_{\text{vannes}} = 16.4 \text{ m}^3/\text{s}$ soit $Q_{\text{tot}} = 86.98 \text{ m}^3/\text{s}$, valeur de référence débit de pointe $Q_{100} = 85.80 \text{ m}^3/\text{s}$.) :

Ligne d'eau	Charge (milieu de vanne)	Débit unitaire (m^3/s)	Vitesse (m/s)	Vitesse au fond (m/s)	τ (Pa)	d_{max} (m) (mobilisable)	θ_{16} (Nombre de Shield)	θ_{50} (Nombre de Shield)	θ_{84} (Nombre de Shield)	$Q_{\text{sd}16}$ (m^3/h)	$Q_{\text{sd}50}$ (m^3/h)	$Q_{\text{sd}84}$ (m^3/h)
1574.62	1.38	6.24	3.12	2.65	105.64	0.14	0.33	0.08	0.04	48.38	16.86	0.00
1574.82	1.58	6.68	3.34	2.84	120.94	0.16	0.37	0.09	0.04	61.17	26.20	0.00
1575.02	1.78	7.09	3.55	3.01	136.25	0.18	0.42	0.11	0.05	74.93	36.83	0.00
1575.22	1.98	7.48	3.74	3.18	151.56	0.20	0.47	0.12	0.05	89.58	48.60	3.15
1575.42	2.18	7.85	3.92	3.34	166.87	0.22	0.52	0.13	0.06	105.08	61.41	9.22
1575.62	2.38	8.20	4.10	3.49	182.18	0.24	0.56	0.14	0.06	121.39	75.19	17.12

Tableau 10 : Résultat de transport solide après rénovation - Equation Meyer-Peter

L'augmentation de la ligne d'eau entraîne une augmentation progressive de la charge exprimée au milieu des vannes, passant de 1,38 m à 2,38 m. Cette évolution se traduit par l'augmentation du débit unitaire compris entre 6,24 m^3/s et 8,20 m^3/s . La progression observée est cohérente avec la formule de débit $Q = C_r b H \sqrt{2gH}$, où le débit croît légèrement plus vite que la charge en raison de la dépendance à $H^{3/2}$. La vitesse moyenne de l'écoulement augmente de 3,12 m/s à 4,10 m/s. La vitesse au fond (v_b) reste systématiquement inférieure à la vitesse moyenne, représentant environ 85 % de v_m , conformément aux profils de vitesse typiques d'un écoulement turbulent sur lits grossiers. Cette augmentation se traduit par une élévation de la contrainte de cisaillement exercée sur le fond.

La contrainte de cisaillement (τ) au fond augmente de 105 Pa à 182 Pa. Cette hausse est liée à l'augmentation de la vitesse au fond et de l'énergie disponible pour mobiliser les sédiments. En conséquence, le diamètre maximal mobilisable (d_{max}) croît avec la ligne d'eau, passant de 0,14 m à 0,24 m. Les particules plus grosses du lit ($D_{84} \approx 0,18 \text{ m}$) restent immobiles tant que la crue n'atteint pas un seuil élevé.

L'analyse des nombres de Shields ($\theta_{16}, \theta_{50}, \theta_{84}$) montre :

- Les particules fines (θ_{16}) sont systématiquement mobilisées ($\theta_{16} > \theta_{cr} \approx 0,047$).
- Les particules médianes (θ_{50}) commencent à être significativement mobilisées à partir d'une ligne d'eau de 1575,02 m.
- Les particules grossières (θ_{84}) ne sont mobilisées qu'à partir de 1575,22 m.

Cette sélectivité granulométrique est typique des torrents alpins : les particules fines et moyennes circulent lors des débits moyens, tandis que les blocs lourds ne sont déplacés que lors des crues importantes.

Débits solides par classes granulométriques :

- Particules fines ($Q_{\text{sd}16}$) : le débit solide augmente régulièrement de 48,38 m^3/h à 121,39 m^3/h , confirmant leur rôle dominant dans le transport solide.

- Particules médianes (Qsd50) : le débit croît de 16,86 m³/h à 75,19 m³/h avec l'augmentation de la ligne d'eau, indiquant une mobilisation progressive des galets moyens.
- Particules grossières (Qsd84) : initialement nul, ce débit atteint 17,12 m³/h pour les lignes d'eau supérieures à 1575,22 m, confirmant la mobilisation des gros blocs uniquement lors de crues exceptionnelles.

RESULTAT SITUATION ACTUELLE :

En comparaison, voici les résultats de transport solide pour une vanne de l'ouvrage actuelle :

Ligne d'eau	Charge (milieu de vanne)	Débit unitaire (m ³ /s)	Vitesse (m/s)	Vitesse au fond (m/s)	τ (Pa)	dmax (m) (mobilisable)	θ_{16} (Nombre de Shield)	θ_{50} (Nombre de Shield)	θ_{84} (Nombre de Shield)	Qsd16 (m ³ /h)	Qsd50 (m ³ /h)	Qsd84 (m ³ /h)
1574.62	0.88	2.49	2.49	2.12	67.36	0.09	0.21	0.05	0.02	21.19	0.93	0.00
1574.82	1.08	2.76	2.76	2.35	82.67	0.11	0.26	0.06	0.03	31.17	5.73	0.00
1575.02	1.28	3.01	3.01	2.56	97.98	0.13	0.30	0.08	0.03	42.37	12.72	0.00
1575.22	1.48	3.23	3.23	2.75	113.29	0.15	0.35	0.09	0.04	54.65	21.36	0.00
1575.42	1.68	3.44	3.44	2.93	128.60	0.17	0.40	0.10	0.04	67.93	31.37	0.00
1575.62	1.88	3.64	3.64	3.10	143.91	0.19	0.44	0.11	0.05	82.14	42.58	1.04

Tableau 11 : Résultat de transport solide situation actuelle - Equation Meyer-Peter

L'ouvrage actuel présente des charges au milieu des vannes comprises entre 0,88 m et 1,88 m, associées à des débits unitaires faibles, compris entre 2,49 et 3,64 m³/s, ce qui limite fortement la capacité d'évacuation. Les vitesses moyennes de l'écoulement varient de 2,49 à 3,64 m/s (section unitaire), avec des vitesses au fond représentant environ 85 % de la moyenne, soit 2,12 à 3,10 m/s, insuffisantes pour mobiliser efficacement la charge solide. En crue, les vannes sont complètement saturées.

La contrainte de cisaillement au fond reste moyenne, comprise entre 67.36 et 143.91 Pa, et le diamètre maximal mobilisable se limite à 0.09-0.19m, limitant la mobilisation des blocs et galets moyens. L'analyse des nombres de Shields confirme que seules les particules fines sont systématiquement transportées. Les particules médianes sont difficilement transportées lors des débits réguliers et plus significativement lors d'évènement majeur. Les blocs grossiers restent quant à eux immobiles quelques soit la plage de débit. Les débits solides par classes granulométriques confirment cette limitation : le transport des particules fines varie de 21.19 à 82.14 m³/h, les particules médianes de 0.93 à 2.58 m³/h et de 0 pour les grossières.

Dans ces conditions, l'ouvrage fonctionne avec une capacité d'évacuation limitée, exposant la retenue à un risque élevé de colmatage par les sédiments de taille moyenne et empêchant l'évacuation des gros blocs, comme l'ont montré les crues de juin 2024 qui ont entraîné le comblement de la retenue de plusieurs milliers de m³ de matériaux.

CONCLUSION :

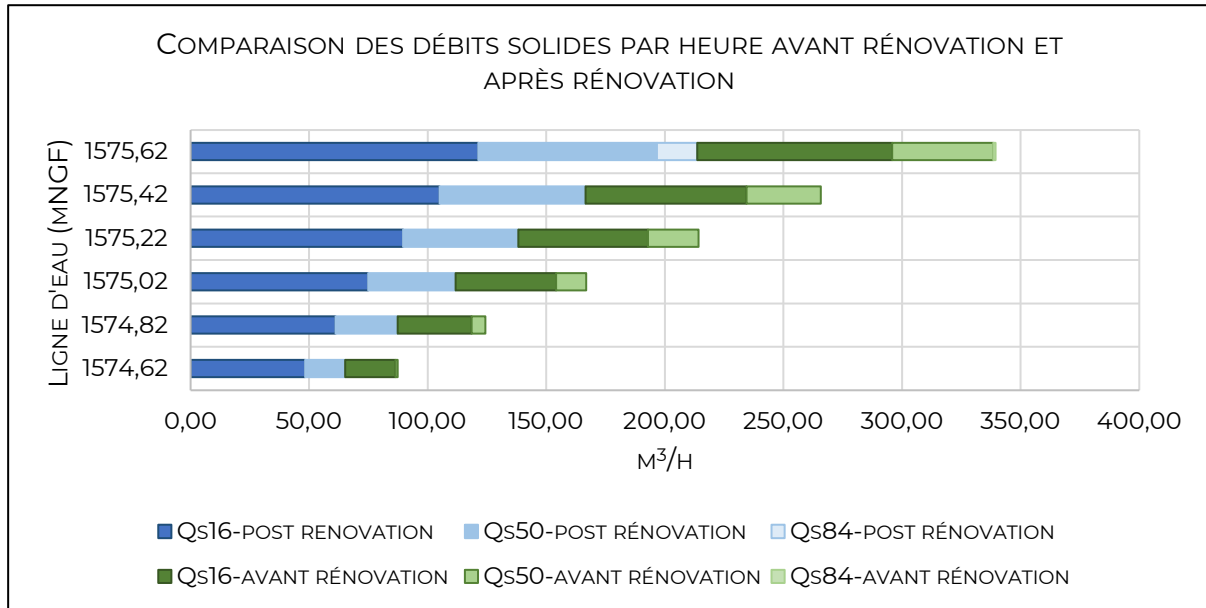
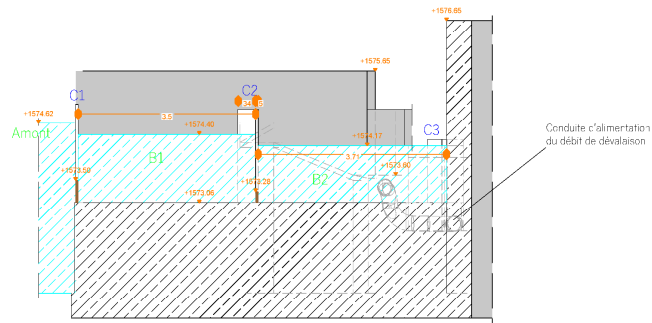


Figure 22 : Comparaison des débits d'évacuation avant et après rénovation

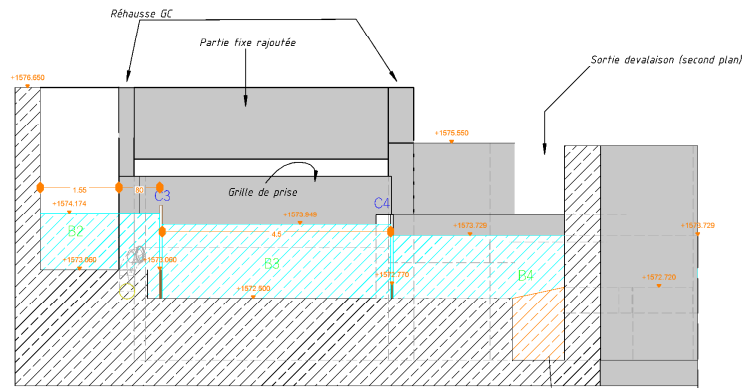
L'agrandissement des vannes permet désormais d'assurer l'évacuation d'un transport solide significatif, avec un débit total passant de 251 m³/h à plus de 420 m³/h lorsque les deux vannes sont cumulées. Cette augmentation importante s'explique par l'amélioration de la capacité de mobilisation des particules, qui couvre désormais plus efficacement l'ensemble des fractions granulométriques, y compris les blocs les plus gros lors des crues exceptionnelles. L'ouvrage est ainsi capable de gérer efficacement les crues avec une bonne mise en transparence, et de limiter le risque de colmatage, ce qui constitue un progrès majeur par rapport à la situation actuelle.

En fonctionnement normal, l'entretien courant pourra désormais être réalisé de manière beaucoup plus efficace, les particules fines et moyennes étant évacuées de façon plus régulière. Cela réduit fortement le risque d'accumulation et de colmatage de la retenue, garantissant le maintien d'une capacité hydraulique optimale. Les blocs grossiers, quant à eux, ne sont mobilisés que dans le cadre de crues exceptionnelles, ce qui correspond au comportement naturel des torrents alpins et assure que l'ouvrage peut absorber les événements extrêmes sans mettre en danger sa stabilité ou son fonctionnement.

L'amélioration des vannes permet donc de mettre l'ouvrage à niveau en termes de transport solide et d'évacuation des matériaux, tout en renforçant sa sécurité hydraulique. Cette intervention garantit non seulement la protection de la retenue et des structures associées, mais elle contribue également à la gestion durable du torrent en permettant l'évacuation régulière des sédiments en limitant le besoin d'intervention mécanique curative et en limitant les risques liés aux crues.

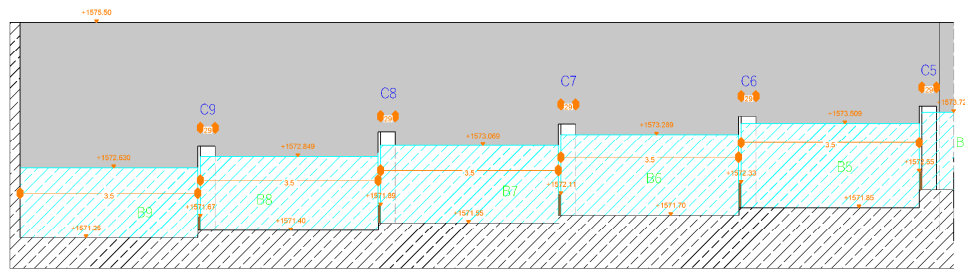


Coupe 1-1

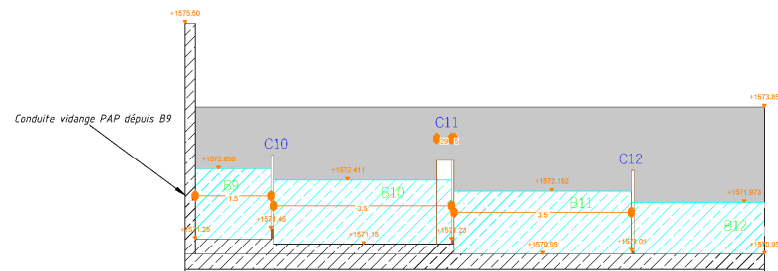


Coupe 2-2

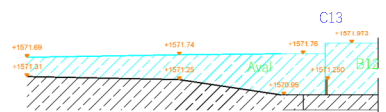
Partie à combler



Coupe 3-3



Coupe 4-4

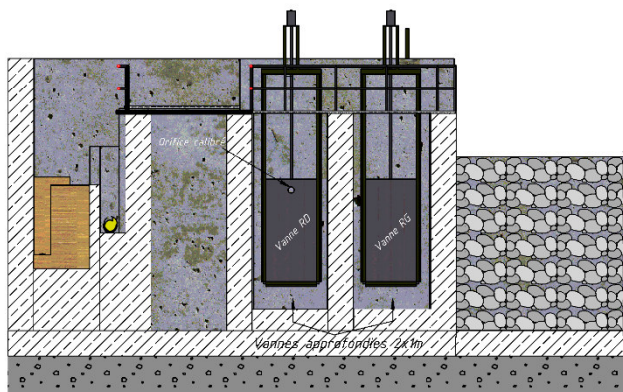


Coupe 5-5

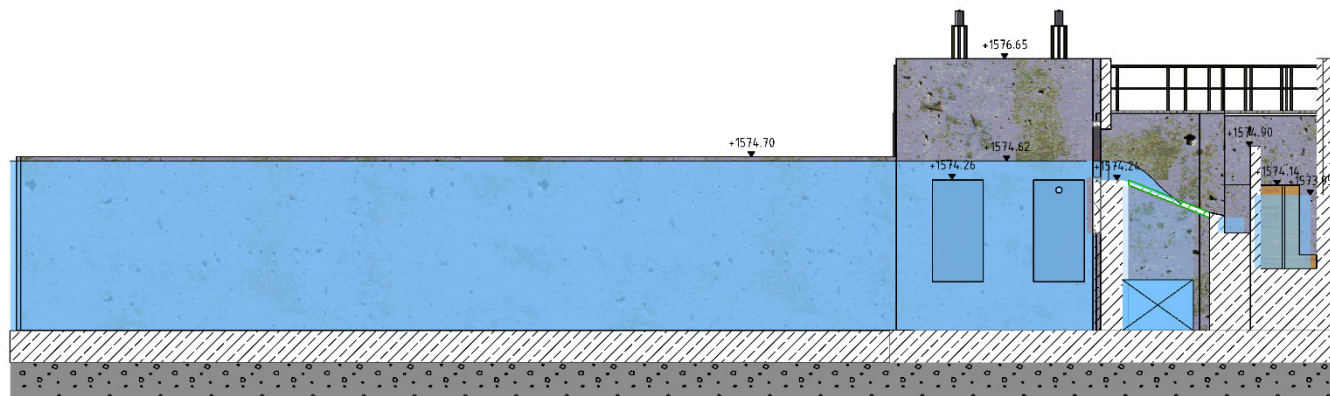
	PROJET : Renovation à neuf de l'aménagement du Randon PLAN : Profil en long PAP 12 basins	
	SERHY INGENIERIE 30 allée des Tilleuls 04200 SISTERON	Dessinateur : JM & GB Echelle : 1 : 100 Format : A3

Figure 23 - Profil en long de la passe à poisson

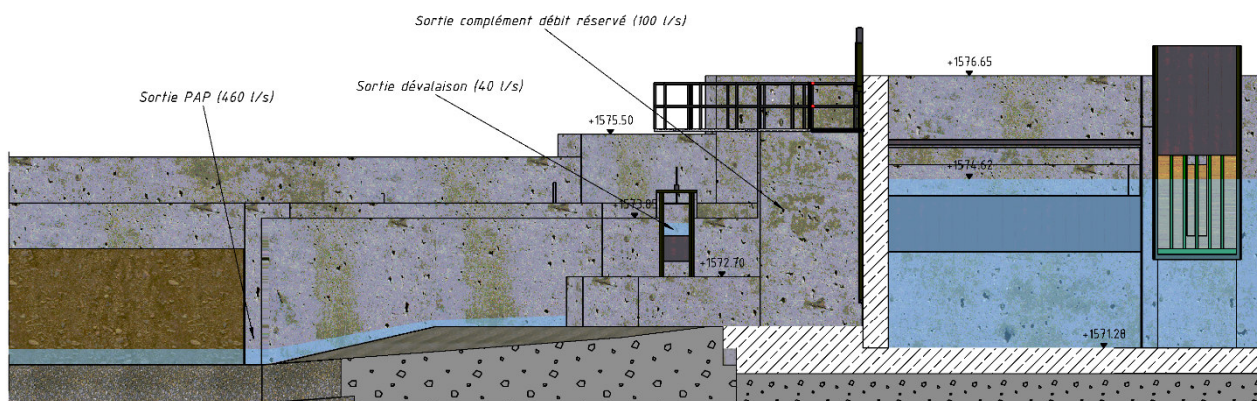
Coupe frontale - vue aval



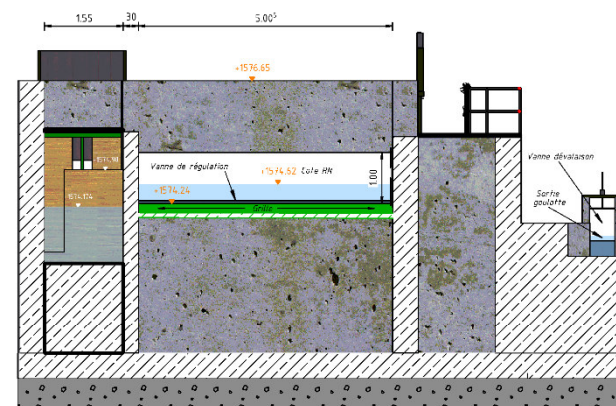
Coupe frontale - vue amont



Coupe longitudinale - axe des vannes



Coupe longitudinale - centre ouvrage

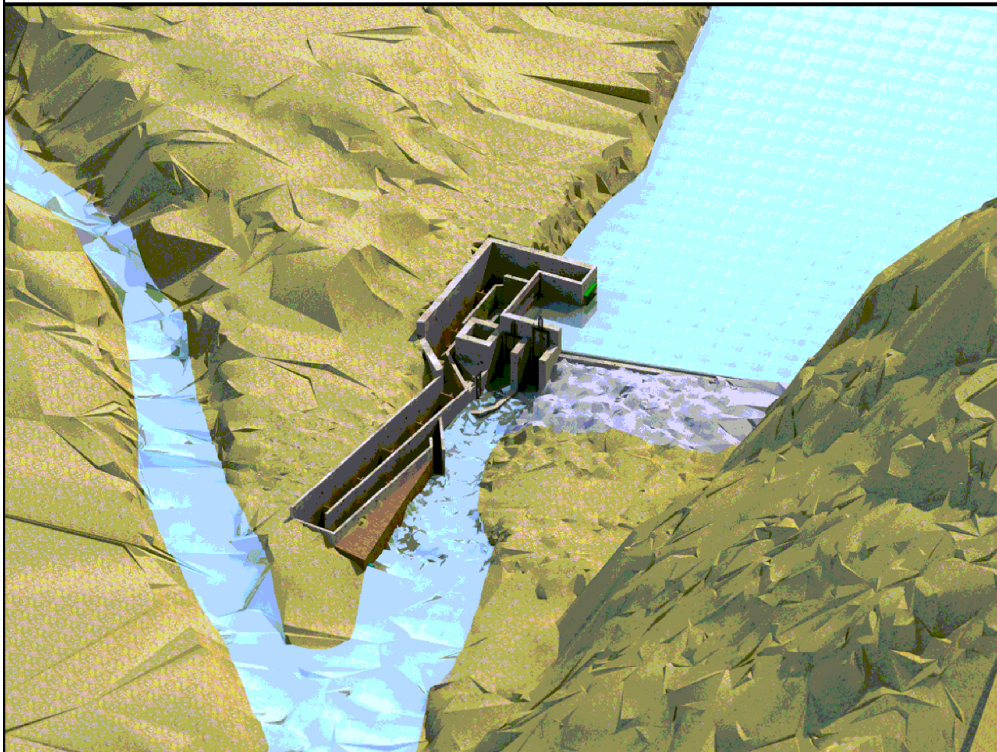
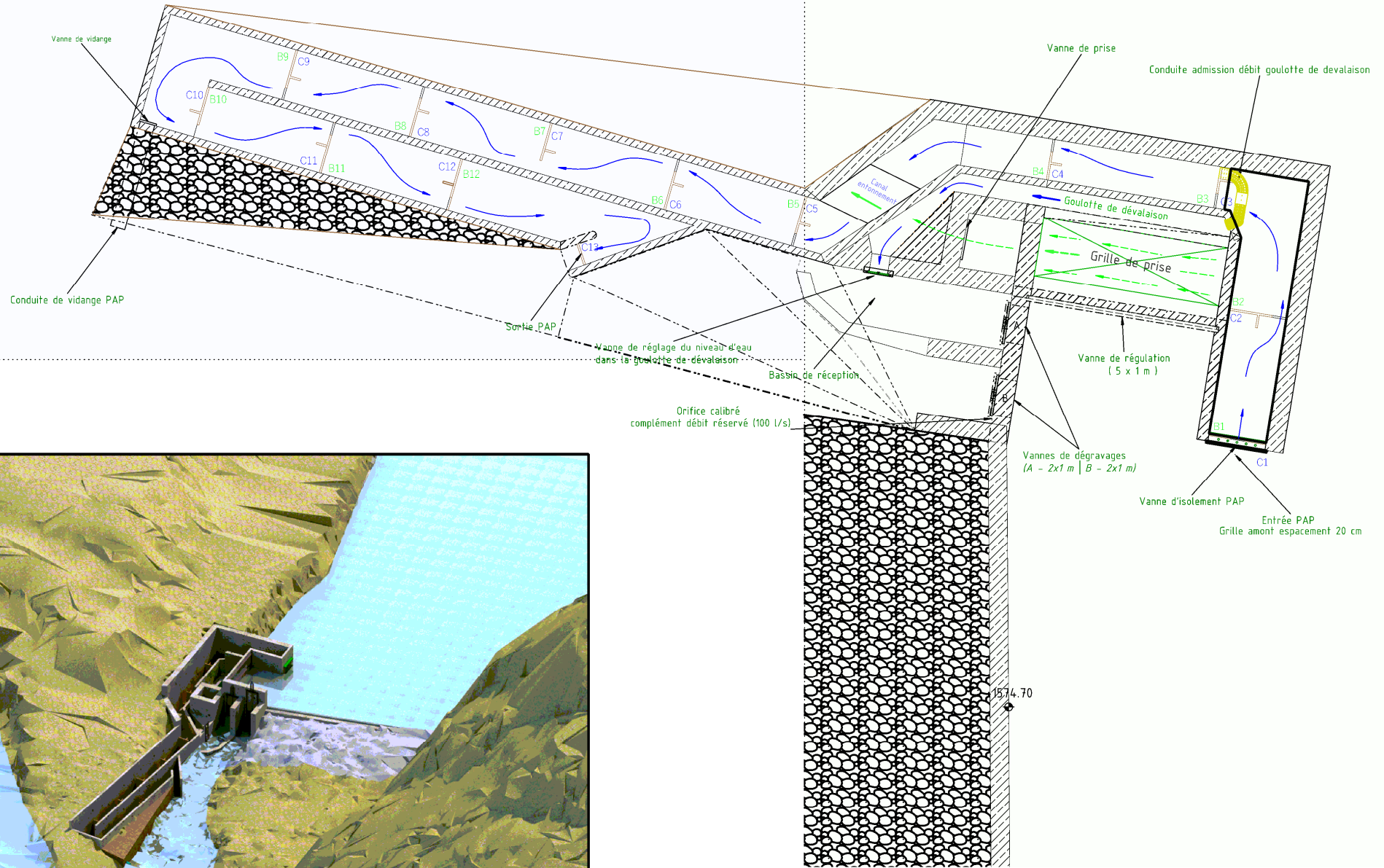


	PROJET : Renovation à neuf de l'aménagement du Randon PLAN : Coupes multiples de la prise d'eau		
	SERHY INGENIERIE 30 allée des Tilleuls 04200 SISTERON	Dessinateur : GB Echelle : 1 : 100 Format : A3	Indice : B Date : 02/11/2025

Figure 24 - Coupes multiples de l'ouvrage de prise d'eau

Nouveau génie civil projeté permettant l'amélioration de la passe à poisson
Design validé par l'OFB en 2023

Génie civil d'origine.
Automatisation de la régulation du plan d'eau, amélioration du dégravage
et de l'alimentation de la dévalaison.



	PROJET : Renovation à neuf de l'aménagement du Randon PLAN : Vue en plan - principe et GC		Indice : C Date : 19/10/2025
	SERHY INGENIERIE 30 allée des Tilleuls 04200 SISTERON	Dessinateur : GB Echelle : 1 : 100 Format : A3	

Figure 25 - Vue en plan de la prise d'eau

3.1. DESSABLEUR ET BASSIN DE MISE EN CHARGE

3.1.1. ETAT ACTUEL

3.1.1.1. DESSABLEUR

Le dessableur, d'une superficie de 60 m² et mesurant 20 mètres de long sur 3 mètres de large, présente une profondeur variant de 3 à 4.5 mètres sous le déversoir de trop plein, offrant ainsi un volume utile de 195 m³. Un déversoir sur toute sa longueur permet l'évacuation du trop-plein vers le torrent, avec une capacité d'évacuation de 3.5 m³/s et une arase située à la cote 1571.45 mNGF. À l'extrémité basse du bassin se trouve une conduite de diamètre 800 mm mesurant environ 20 mètres de longueur, équipée d'une vanne murale de même diamètre. C'est à partir de cette conduite qu'est délivré la seconde partie du débit réservé à savoir entre 0.350 et 0.450 m³/s suivant la saison. Le plan du dessableur est en figure 6 ci-dessous. Elle permet également la vidange du bassin.

3.1.1.2. BASSIN DE MISE EN CHARGE

Cet aménagement dispose de deux mises en charge, un petit bassin de remplissage de la conduite, ainsi qu'un réservoir déporté du dessableur plus volumineux.

Ce petit bassin se situe juste à la suite du bassin dessableur. Il mesure 4 x 2.5 x 4.5 [m], soit un volume de 45 m³. Il est séparé du dessableur par un mur équipé d'une grille amovible en partie supérieure. Cette grille possède un espacement inter-barreaux de 10 mm et permet l'arrêt des éventuels corps solide aillant traverser la grille d'entonnement de la prise d'eau. Le radier se situe à la cote 1567.5 mNGF. Ce petit bassin possède une hauteur utile de mise en charge de 3.95 m. Une première conduite ø1200 mm d'une longueur de 4.7 m et de pente 10% est disposée à 50 cm du fond du bassin. En charge, elle alimente le réservoir décrit plus en détail ci-dessous. Une seconde conduite ø900 mm équipé d'un reniflard ø400 mm est disposée à 70 cm du bassin. Celle-ci vient se greffer directement sur la conduite principale ø900 mm partants du réservoir. Elle permet d'effectuer la mise en charge de la conduite en cas de maintenance ou de défaillance de celui-ci. Actuellement, elle est utilisée pour le pré-remplissage de la conduite avant le démarrage des groupes. Ces deux conduites sont respectivement équipées de vannes murales ø1200 et ø900 mm.

La grille de séparation entre le dessableur et le petit bassin, d'espacement de 10 mm est soumise à des colmatages très réguliers et sa position verticale immergée rend sont nettoyage difficile par l'exploitant. Ce qui conduit parfois à son ouverture. Toutefois dans la situation actuelle avec un complément de débit réservé par le dessableur l'ouverture de la grille conduit à potentiellement aspirer des poissons qui auraient pénétré par la grille d'entonnement de la prise d'eau.

Le réservoir, largement surdimensionné à sa création, possède une capacité de 2500 m³ ce qui permet un pilotage plus que confortable des groupes. Il est de forme circulaire avec un diamètre intérieur de 25.90 m et une hauteur sous coupole de 5 m. La hauteur maximale au centre du bassin est de 10 m. Le radier se situe à la cote 1566.35 mNGF, la hauteur utile de mise en charge est de 5 m. La conduite principale de mise en charge de ø900 mm est installée sur ce réservoir, un puit de ø400 lui sert de reniflard. Une vanne murale ø900 de contrôler son alimentation. Actuellement, cette vanne n'est pas une vanne de sécurité, elle n'est pas asservie sur un débitmètre et n'est pas lestée. Une deuxième

conduite $\varnothing 800$ de 51 m est posée juste à droite de la conduite principale, elle permet la vidange du bassin. Elle est équipée d'une vanne murale $\varnothing 800$. Des murets sont disposés juste en amont de ces deux conduites afin d'uniformiser le flux et d'empêcher l'admission des petites particules. L'ensemble de ces organes est visible sur le plan de masse en figure 7. La cote de mise en charge sera conservée et égale à 1571.85 mNGF.

3.1.1.1. MODIFICATION DE L'ENSEMBLE

Le dessableur et le bassin de mise en charge seront partiellement modifiés. La conduite adjacente partant du petit bassin de mise en charge dont la seule fonction est le remplissage de la conduite, sera supprimée. Outre la suppression de la conduite, ce bassin ne sera pas modifié et complètera la fonction de dessablage. La conduite partant de ce même bassin qui permet le remplissage du réservoir ne sera également pas modifiée. Un nouveau petit bassin sera construit en extension du réservoir et l'intégralité de la fonction de mise en charge y sera transférée. Ce bassin permettra d'améliorer l'homogénéité de l'écoulement de la mise en charge et surtout l'installation d'équipement de fermeture immédiat en cas de rupture conduite. La figure ci-dessous illustre ces modifications.

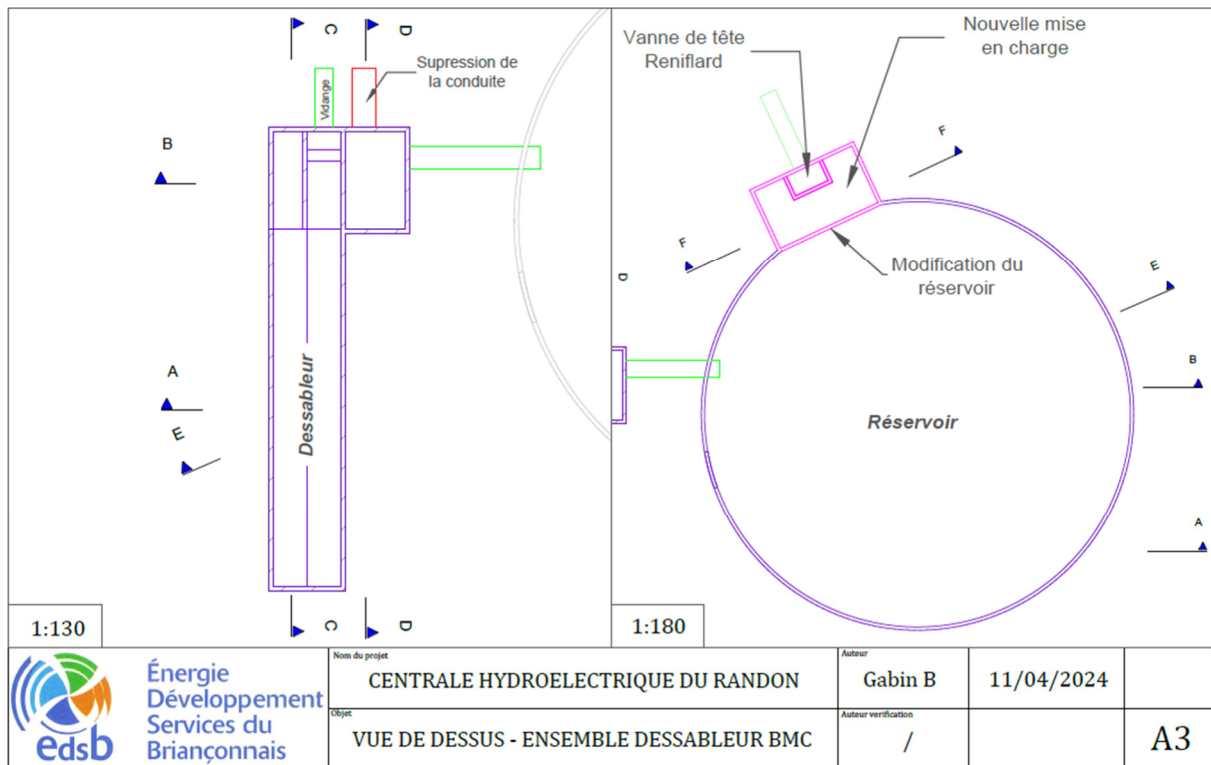


Figure 26 - Nouvelle mise en charge - vue de dessus

Des murets seront disposés autour de l'entonnement pour garantir des conditions d'écoulement symétriques et limiter l'admission de particules. Les dimensions du nouveau bassin sont de 4 mètres de longueur, 6.5 mètres de largeur et 5 mètres de hauteur. Ces dimensions ont été choisies pour faciliter l'intégration du nouveau bassin au réservoir tout en assurant l'espace nécessaire pour une mise en charge efficace comprenant un convergent d'entonnement. Cependant elles pourront être optimisées lorsque le choix des équipements aura été précisé.

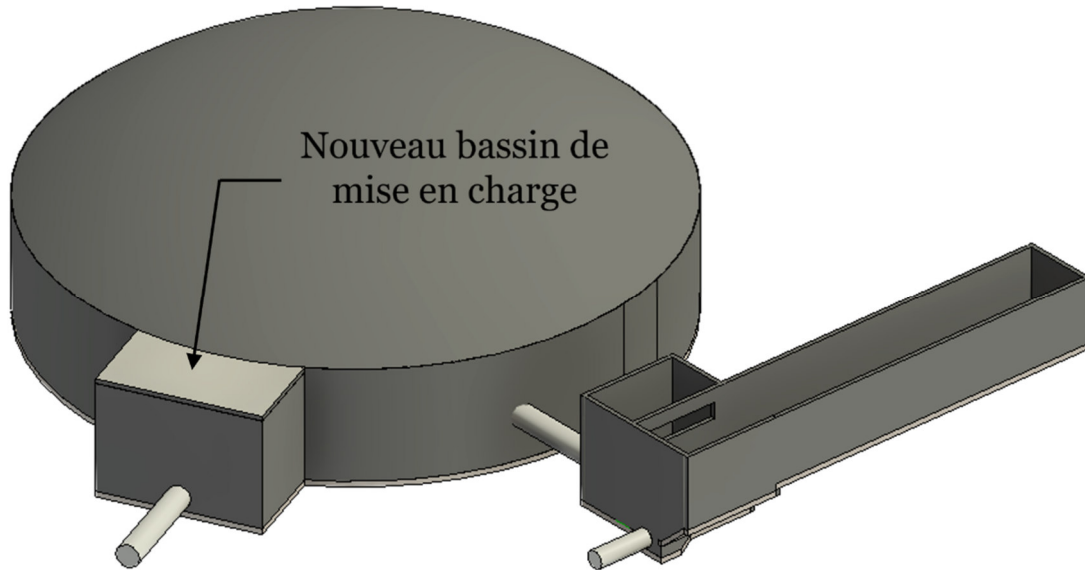
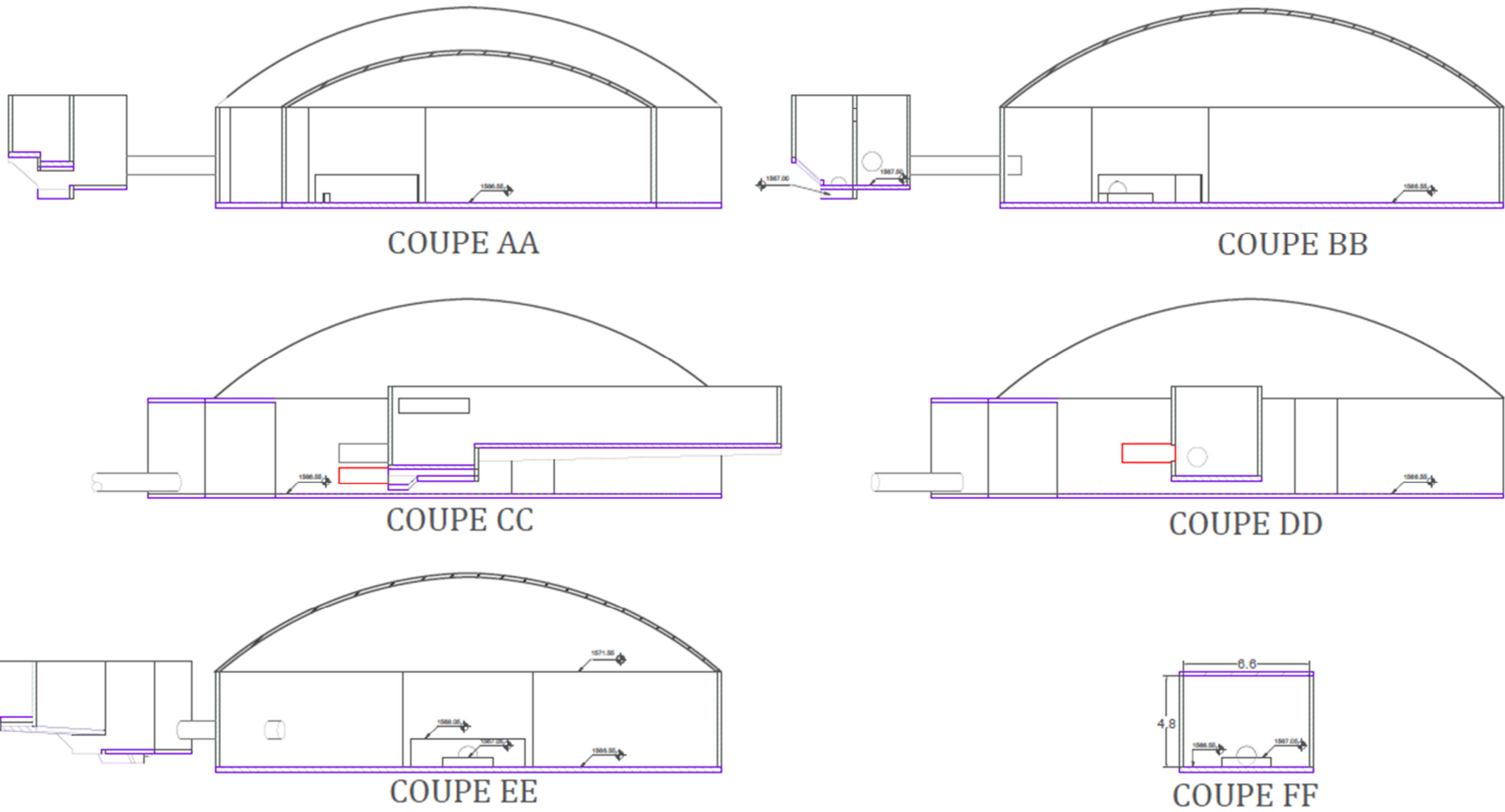


Figure 27 - Vue du nouveau bassin de mise en charge

Une conduite de vidange doit également être implémentée à ce bassin (ou une modification et adaptation de l'existante), ainsi qu'une trappe d'accès. Un convergent DN1400/1000 sera installé et scellé dans le bassin afin de permettre un entonnement propre et progressif de l'eau dans la conduite.

Actuellement, la conduite ne dispose pas de moyen de sécurité en cas de rupture. Pour remédier à cela, il est prévu d'installer un débitmètre à ultrasons dans un regard spécialement conçu à cet effet. La distance d'installation entre l'entonnement et cet appareil doit être de 10 fois le diamètre nominal de la conduite. Ce débitmètre contrôlerait une nouvelle vanne de tête adaptée à la nouvelle conduite $\varnothing 1000$. Cette vanne de vidange sera de dimension 1400 x 1400 mm, équipée d'un contrepoids et d'une motorisation électrique. Une fonction remplissage avec ouverture spécifique de la vanne doit être implémenté à l'automate pour le remplissage de la conduite forcée.




 Énergie Développement Services du Briançonnais	Nom du projet CENTRALE HYDROELECTRIQUE DU RANDON	Auteur Gabin B	11/04/2024	1:200
	Objet VUE D'ENSEMBLE - DESSABLEUR/BMC	Auteur verification /		A3

Figure 28 - Coupes multiples de la modification du dessableur

3.2. CONDUITE FORCEE

3.2.1. DESCRIPTIF TECHNIQUE

3.2.1.1. CONDUITE ACTUELLE

La conduite forcée est en acier revêtu. Elle mesure 4 223 m de longueur dont 193 m environ de diamètre 900 mm et 3940 m de diamètre 800 mm. Du fait de sa grande longueur et de son diamètre trop faible pour le transit du débit d'équipement, les pertes de charge sont très importantes. En outre, l'arrivée en usine, qui se divise en 2 pour raccorder chacune des deux turbines Francis (raccordées à une génératrice commune), présente 4 coudes à 90°, ce qui augmente un peu plus ces pertes.

Les pertes de charge sur la totalité de la conduite s'élèvent à 58 m au débit d'équipement, ce qui représente 29 % des 201.87 m de chute exploitable. La conduite forcée traverse à 4 reprises le lit de la Cerveyrette, elle présente 3 points hauts et 3 points bas non pourvus de dispositif de vidange. Elle n'est également munie d'aucun trou d'homme sur l'ensemble de son linéaire, ce qui rend délicat son inspection ou une éventuelle intervention.

Diamètre conduite principale	mm	800 et 900 (intérieur)
Longueur conduite principale DN 800 mm	m	4 030
Longueur conduite principale DN 900 mm	m	193
Longueur totale conduite principale	m	4 223
Longueur conduite d'amenée	m	56
Diamètre conduite d'amenée	mm	Ø1000

Tableau 12 - Caractéristiques principales de la CF actuelle

Cette conduite a subi plusieurs avaries plus ou moins sévères depuis son installation en 1985, notamment dans la zone où était exploitée une ancienne carrière. Voici une description des incidents survenus :

- Le 2 octobre 1992, un tir de mine à proximité de la conduite a engendré une déformation de celle-ci sur environ 0.4 m² et endommagé la protection extérieure sur 0.6 m². La protection intérieure a possiblement été endommagée.
- Le 29 Avril 1994, un autre tir de mine à proximité de l'ouvrage a engendré le descellement d'un regard de la conduite.
- Le 30 Octobre 1999, le passage d'un engin de TP de l'entreprise Guérin (gestionnaire de la carrière localisée entre 1300 et 1650 m) a engendré la rupture de la conduite (ouverture sur environ 40 cm) à environ 1 km à l'aval de la prise d'eau.
- Le 21 Avril 2023, une trancheuse a percé la conduite sur 80 centimètres au niveau de l'ancienne carrière.

Pour chacun de ces incidents, les réparations de type rustine ont été effectuées sans avarie postérieure. Cependant, l'ensemble de la structure a été fragilisé, soulevant ainsi des interrogations quant à la

durabilité de la conduite dans le temps. Indépendamment de ces dommages structurels, le sous dimensionnement du diamètre peut également générer des phénomènes transitoires de plus forte intensité qui pourraient occasionner d'autres dommages.

La station de traitement des eaux de Cervières (localisée de 300 et 350 m) a été construite postérieurement en bordure du passage de la conduite forcée, ce qui impose des précautions en cas d'intervention dans cette zone.

Un piquage est présent à environ 2300 m du départ. Il est destiné à alimenter le canal de Fontchristiane géré par l'ASA des Reymondières. Cette alimentation se compose d'une conduite DN200 sur une distance de 30 mètres depuis le piquage jusqu'au regard, d'une vanne boisseau sphérique permettant de fermer et d'ouvrir l'alimentation (sans possibilité de régulation), d'une petite vanne de vidange, et d'un diaphragme à l'extrémité de la conduite équipé d'un système de régulation. Le regard ne dispose pas de système de vidange, ce qui entraîne une évacuation inefficace de l'eau vidangée directement dans le sol. Des modifications sont nécessaires pour l'ensemble de cette installation, détaillées au paragraphe suivant.



Figure 29 - Alimentation du canal de Fontchristiane

3.2.1.2. CONDUITE PROJETEE

3.2.2. TRACE GENERAL



Figure 30 - Cheminement global de la conduite forcée projetée

3.2.3. TRACE DETAILLE

Dans le cadre de la séquence ERC du projet, le tracé projeté pour la conduite forcée est un tracé adapté aux enjeux environnementaux relevés dans l'étude d'incidence en pièce jointe n° 5 du présent dossier de Demande d'Autorisation Environnementale Unique.

Il reprend en grande partie le tracé existant et favorise les passages sous les routes ou pistes existantes.

Le descriptif ci-après illustre tronçon par tronçon :

- Le lit mineur du cours d'eau de la Cerveyrette
- Le tracé actuel de la conduite forcée
- Le tracé projeté de la conduite forcée
- Le tampon matérialisant l'emprise des travaux
- Les enjeux environnementaux

Les cotes mentionnées sont les distances depuis la prise d'eau par rapport au tracé de la conduite actuelle, en référence à la levée topographique réalisée par le cabinet de géomètres experts SALLA-LECOMTE en 2021.

3.2.3.1. TRONÇON 1 : DE 0 A 200 METRES

Au regard de nombreux pieds de *Viola Collina* présents sur le tracé de la conduite forcée actuelle, un tracé adapté décalé de 4 à 10 m en rive gauche est projeté.

Ce tracé favorise des traversées de cours d'eau plus franches et perpendiculaires à l'axe de cours d'eau, permettant de prévenir davantage les phénomènes d'érosion.

Les traversées seront réalisées en sur profondeur et protégées de l'érosion par des enrochements de berges et de la conduite constitués de blocs en pose libre tel qu'à l'origine. Le retour d'expérience de l'ouvrage existant montre que cette solution est stable et durable.

La conduite forcée existante devra être maintenue en place sur 265 m de sa section courante et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.

Elle sera retirée aux deux traversées et les blocs des enrochements seront réutilisés pour les traversées projetées.

Les inventaires menés dans le cadre de l'étude d'incidence n'ont pas identifié de zone de frayère potentielle.

Le tracé projeté de ce tronçon nécessite un défrichement, ce point est abordé dans les pièces jointes n° 124 « Localisation et superficie de défrichement » et 125 « Situation cadastrale de défrichement » du présent dossier de Demande d'Autorisation Environnementale.

Légende

- Prise d'eau
- BMC
- Usine
- Amenée & restitution [2]
- CF actuelle pts 50m
- CF actuelle levée topo géomètre
- Enrochements traversés [4]
- CF tracé projeté pts 50m
- CF tracé projeté
- CF projet emprise de travaux (8m par défaut, réduit par endroits)
- Torrent de la Cerveyrette
- Enjeu environnemental floristique ou faunistique

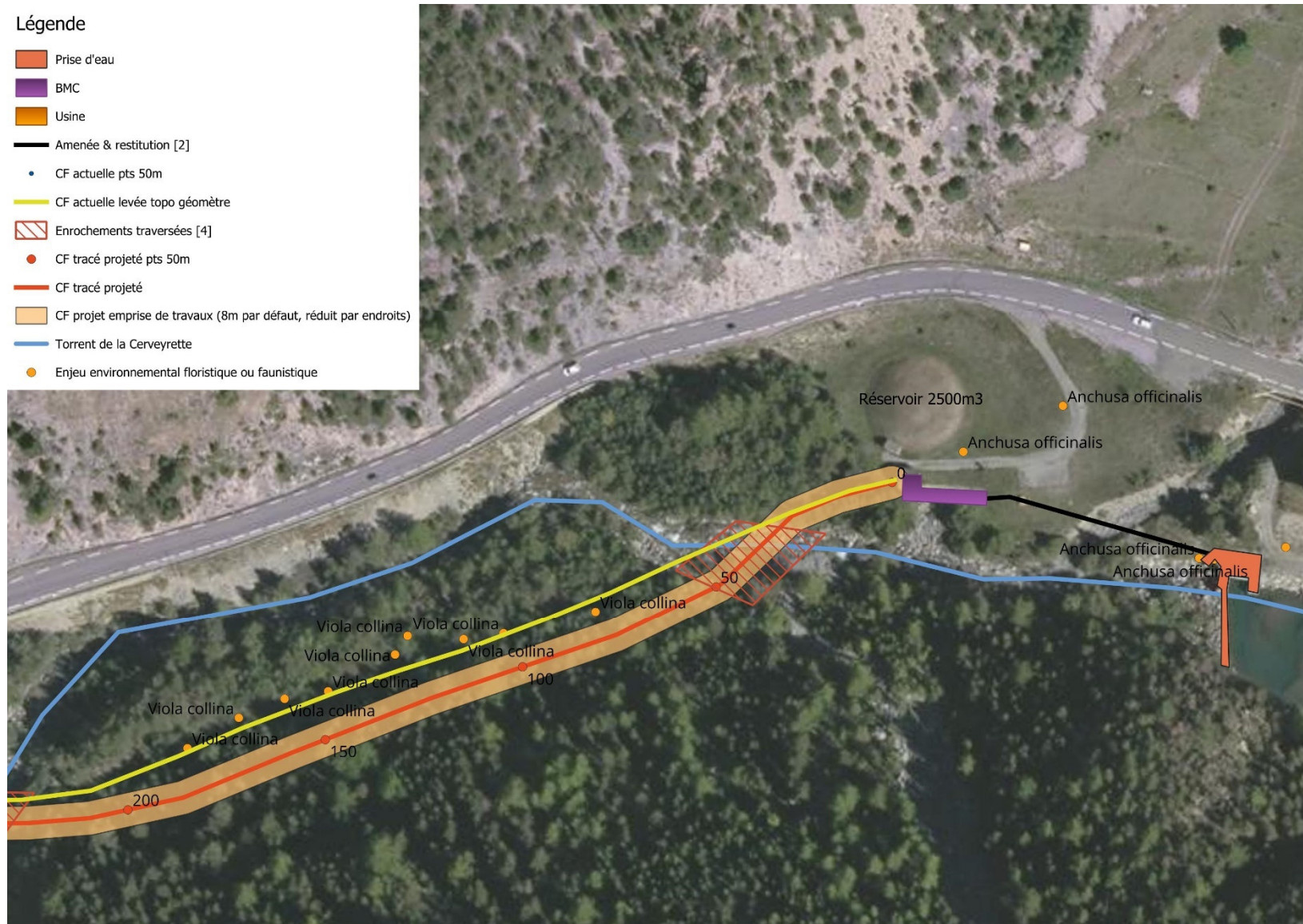


Figure 31 - CF projetée tronçon 1 de 0 à 200 m

3.2.3.2. TRONÇON 2 : DE 200 A 550 METRES

Sur ce tronçon, le tracé projeté suit le tracé actuel de la conduite forcée.

La conduite actuelle sera déposée et évacuée à partir de 300 m et maintenue avant cette distance tel que décrit au paragraphe précédent.

Les contraintes sont essentiellement techniques avec un cheminement en limite de la station d'épuration de la cote 310 à 350 m.

Légende

- CF actuelle pts 50m
- CF actuelle levée topo géomètre
- ▨ Enrochements traversés [4]
- CF tracé projeté pts 50m
- CF tracé projeté
- ▭ CF projet emprise de travaux (8m par défaut, réduit par endroits)
- Torrent de la Cerveyrette
- Enjeu environnemental floristique ou faunistique

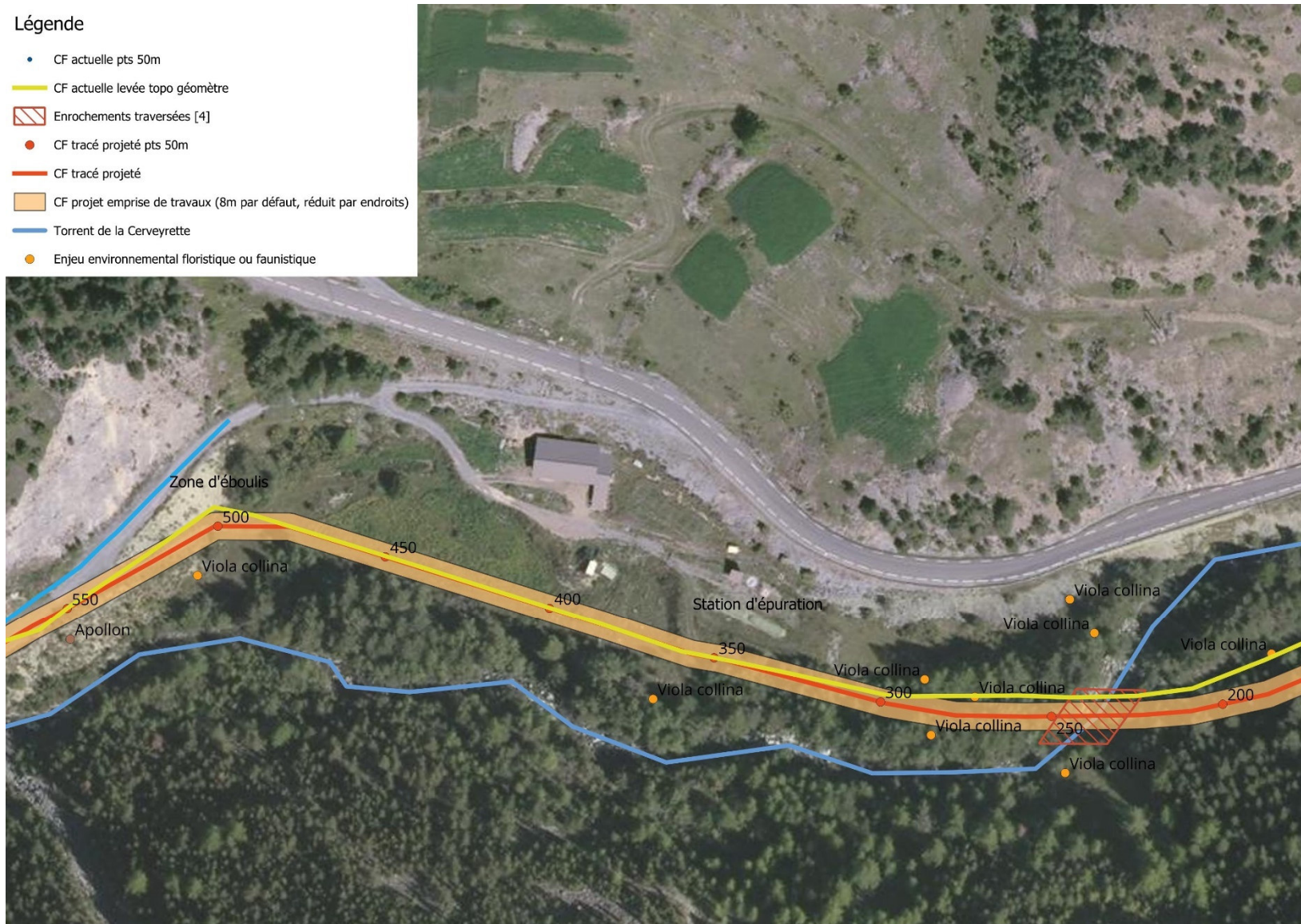


Figure 32 - CF projetée tronçon 2 de 200 à 550 m

3.2.3.3. TRONÇON 3 : DE 550 A 850 METRES

La conduite projetée est décalée sous la piste en retrait de la zone d'éboulis localisée de 500 et 550 m et l'ancienne conduite sera retirée sur la totalité du tronçon.

Sur ce tronçon le tracé est optimisé sous la piste, les enjeux environnementaux seront évités par réduction de l'emprise des travaux et mise en défend aux abords des espèces protégées.

La zone humide de ruissellement présente vers 575 m est une zone potentielle de reproduction de batraciens et devra être inspectée avant le démarrage des travaux. Le cas échéant les pontes devront être déplacées avant éclosion.

Les travaux seront également réalisés hors période de ponte de l'*Alexanor*, avec mise en défend des plants de *Ptychotis Saxifraga* hôte potentiel ce lépidoptère.



Figure 33 - CF projetée tronçon 3 de 550 à 850 m

3.2.3.4. TRONÇON 4 : DE 850 A 1000 METRES

Sur ce tronçon, la conduite actuelle coupe le virage de la piste à la cote 850 m avec présence d'un pied d'*Anchusa Officinalis* et de *Gallium Spurium* (non protégée mais en déclin en région PACA).

En conséquence, le tracé projeté est décalé sur la piste de la cote 850 m à 950 m.

La conduite existante sera maintenue en place sur cette section d'environ 61 m et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.

Réduction de l'emprise de travaux à proximité des pieds de *Viola Collina* et mise en défend de ceux-ci.

Sur le reste de ce tronçon, le tracé projeté sera recentré sous la piste avec dépose de la conduite actuelle située dans le tampon de travaux.



Figure 34 - CF projetée tronçon 4 de 850 à 1000 m

3.2.3.5. TRONÇON 5 : DE 1000 A 1100 METRES

Sur ce tronçon le tracé projeté est optimisé sous la piste avec dépose de la conduite actuelle.

Un confortement de l'enrochement de berge existant est à prévoir en rive droite sur 100 m juste après la première passerelle d'accès à la piste de Terre Rouge, de la cote 1000 à 1100 m environ. Une attention particulière sera portée au risque de colmatage de zones de frayères potentielles durant la phase des travaux.

Cet enrochement d'origine est constitué de blocs en pose libre, d'une hauteur faible d'environ 1 m :



Figure 35 - Enrochement existant de la passerelle de Terre Rouge, de 1000 à 1100 m



Figure 36 - CF projetée tronçon 5 de 1000 à 1100 m

3.2.3.6. TRONÇON 6 : DE 1100 A 1300 METRES

Sur ce tronçon, le tracé projeté est optimisé sous la piste afin de s'éloigner des deux zones humides présentes à 1150 m et 1225 m.

Une surlargeur de fouille permettra de retirer la conduite actuelle, les zones humides seront mises en défend durant la phase des travaux.

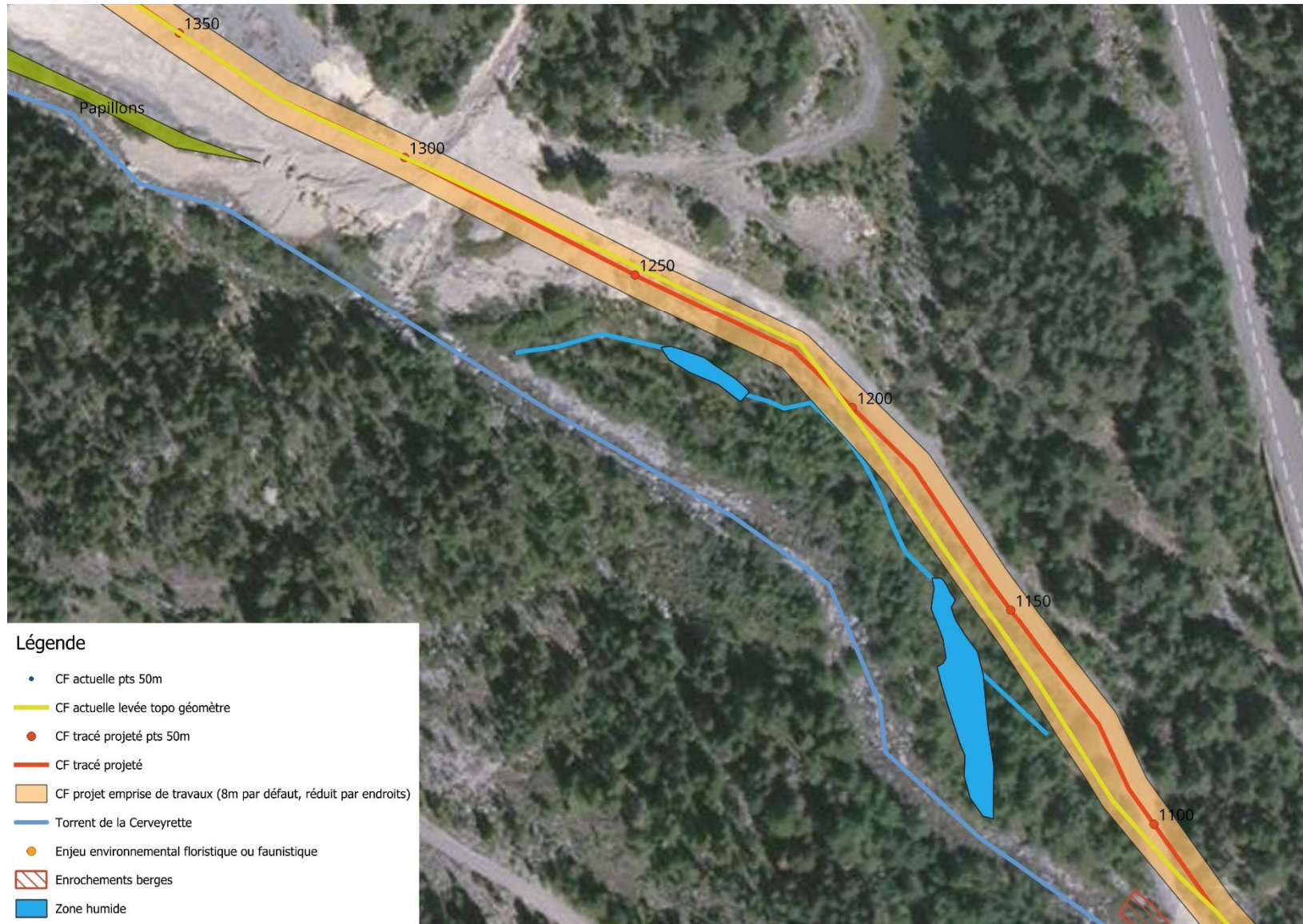


Figure 37 - CF projetée tronçon 6 de 1100 à 1300 m

3.2.3.7. TRONÇON 7 : DE 1300 A 1650 METRES

Dans cette zone de carrière, le tracé projeté suit le tracé existant pour mutualiser la dépose et la pose même si ce n'est pas le cheminement hydraulique optimal. Cela permet de maintenir la conduite projetée plus à l'écart du cours d'eau.

La traversée d'un ruissellement est à réaliser à 1600 m, la pose de bouchons d'argile permettra d'éviter le drainage de cette zone humide le long de la conduite.

Cette ZH est une zone potentielle de reproduction de la grenouille rousse *Rana Temporaria*. Un déplacement des pontes est à prévoir avant éclosion le cas échéant.

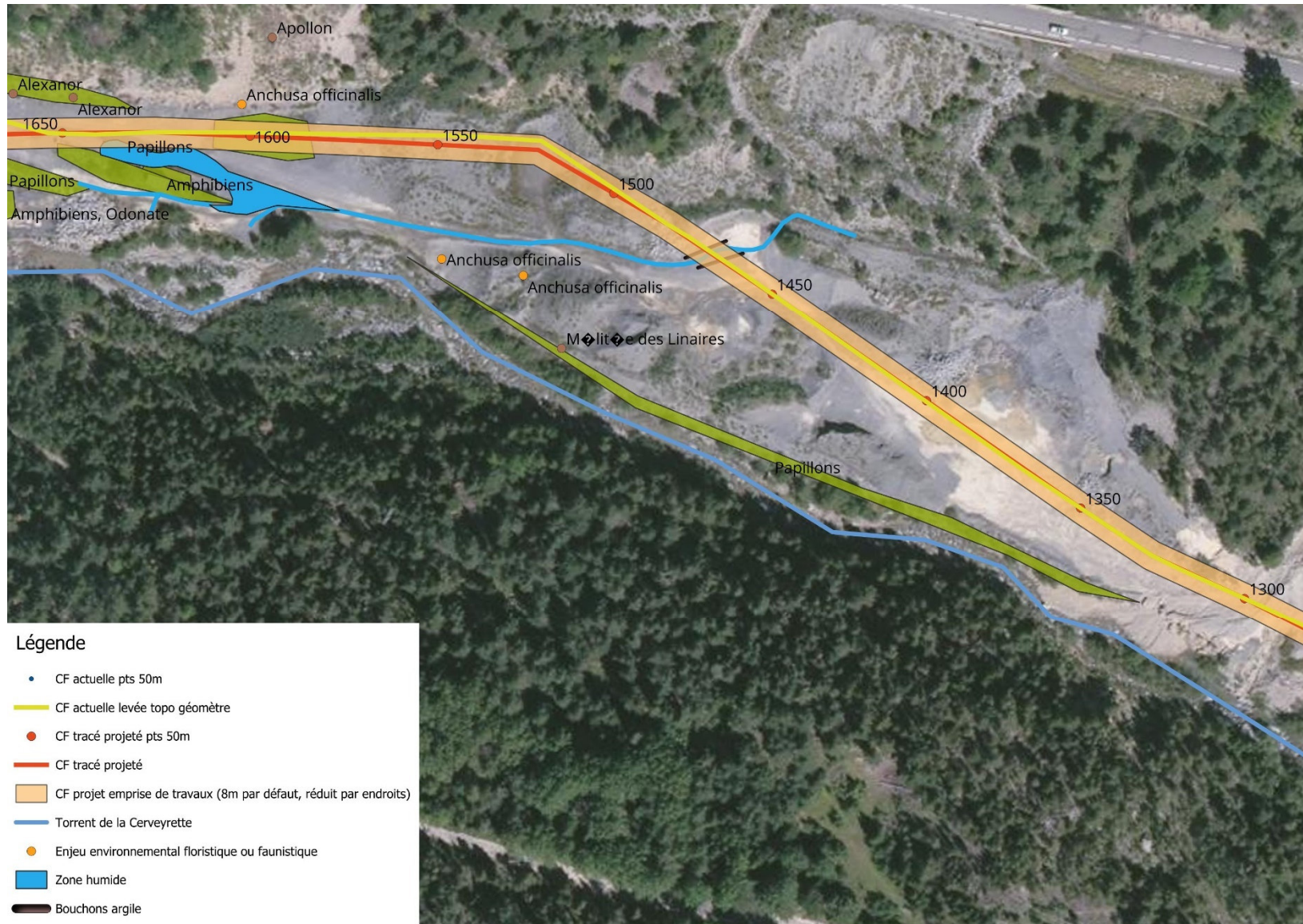


Figure 38 - CF projetée tronçon 7 de 1300 à 1650 m

3.2.3.8. TRONÇON 8 : DE 1650 A 1850 METRES

L'étude d'incidence met en évidence plusieurs enjeux environnementaux sur ce tronçon : zones humides, espèces floristiques protégées ou hôtes d'espèces faunistiques protégées.

Le tracé projeté est décalé sous la piste dès la cote 1650 m en sortie de carrière dans le but d'éviter les impacts sur les zones humides en pied de talus de versant.

Sur cette section, l'emprise des travaux sera restreinte à 6 mètres (au lieu de 8 mètres) avec mise en défend des ZH et des espèces floristiques.

La conduite existante sera laissée en place sur environ 410 m de 1650 à 2075 m et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.



Figure 39 - CF projetée tronçon 8 de 1650 à 1850 m

3.2.3.9. TRONÇON 9 : DE 1850 A 1950 METRES

Sur ce tronçon le tracé projeté est ramené sous la piste en continuité du tracé du tronçon n° 8 et des mesures d'évitement des zones humides.

La conduite existante sera laissée en place sur environ 410 m de 1650 à 2075 m et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.

Un confortement de l'enrochement de berge existant est à prévoir sur 90 m de la cote 1825 m à 1935 m environ. Une attention particulière sera portée au risque de colmatage de zones de frayères potentielles durant la phase des travaux.

Cet enrochement est constitué de blocs en pose libre d'une hauteur d'environ 1.5 m :



Figure 40 - Enrochement existant de la berge de la cote 1825 à 1935 m

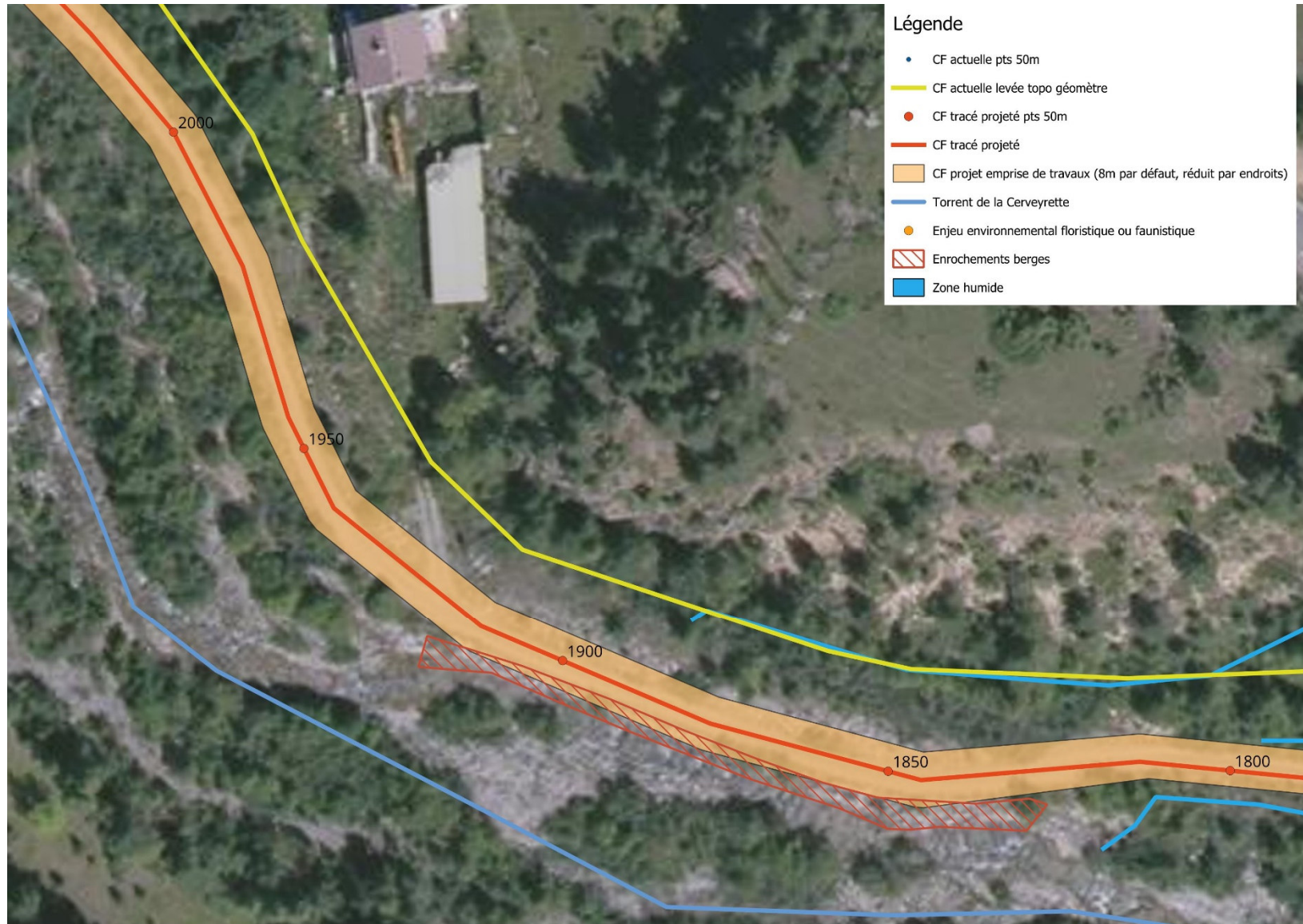


Figure 41 - CF projetée tronçon 9 de 1850 à 1950 m

3.2.3.10. TRONÇON 10 : DE 1950 A 2650 METRES

Sur ce tronçon, le tracé projeté est identique au tracé actuel de la conduite afin de mutualiser la dépose et la pose même si le cheminement hydraulique n'est pas optimal.

La petite zone humide linéaire de la cote 2250 sera mise en défend pendant la durée des travaux.

La conduite existante sera laissée en place sur environ 410 m de 1650 à 2075 m et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.

L'alimentation du canal de Fontchristiane géré par l'ASA des Reymondières sera conservé, le piquage sur la conduite est situé entre la cote 2150 et 2200 m.



Figure 42 - CF projetée tronçon 10 de 1950 à 2200 m

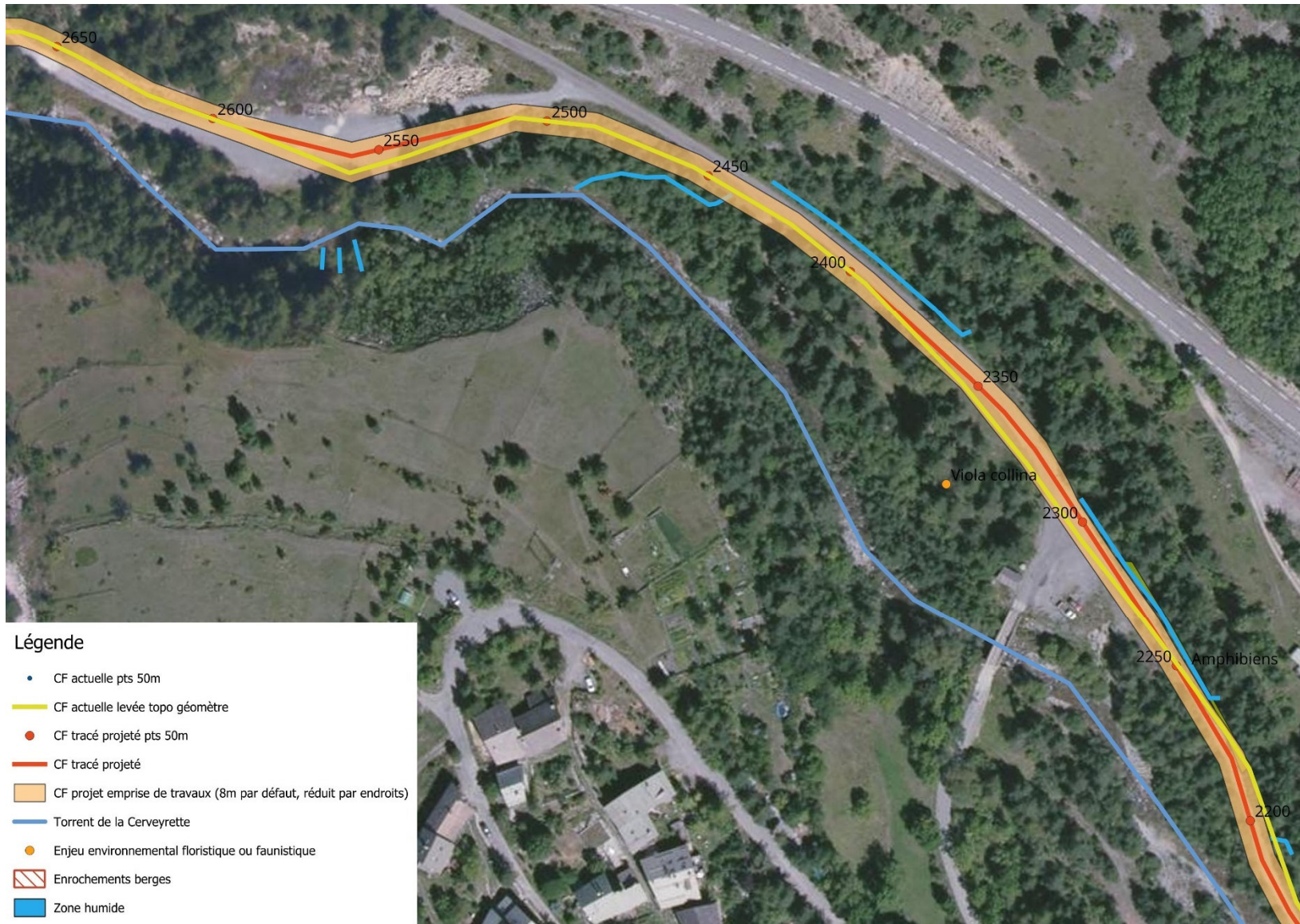


Figure 43 - CF projetée tronçon 10 de 2200 à 2650 m

3.2.3.11. TRONÇON 11 : DE 2650 A 3050 METRES

Sur ce tronçon, la conduite forcée projetée reprendra le tracé existant pour mutualiser la dépose et la pose.

Une zone sensible de stabilité sous le mur de soutènement RD902 est identifiée et fera l'objet d'une attention particulière de soutènement en phase travaux afin de ne pas affaiblir la route.

La déjection du torrent des Rouilles peut causer une divagation de la Cerveyrette par transport solide et créer une érosion de berge à cet endroit déjà contraint. En conséquence, un confortement de l'enrochement existant de 100 m est à prévoir pour pérenniser la stabilité la berge en rive droite à la confluence du torrent des Rouilles et de la Cerveyrette. Aucune zone de frayère n'a été identifiée le long de l'enrochement projeté.

L'enrochement actuel est constitué de blocs en pose libre, d'une hauteur d'environ 2.5 m :



Figure 44 - Enrochement existant sous le mur de soutènement de la RD902 entre 2700 et 2800 m. À droite, cône du torrent des Rouilles



Figure 45 - CF projetée tronçon 11 de 2650 à 2800 m

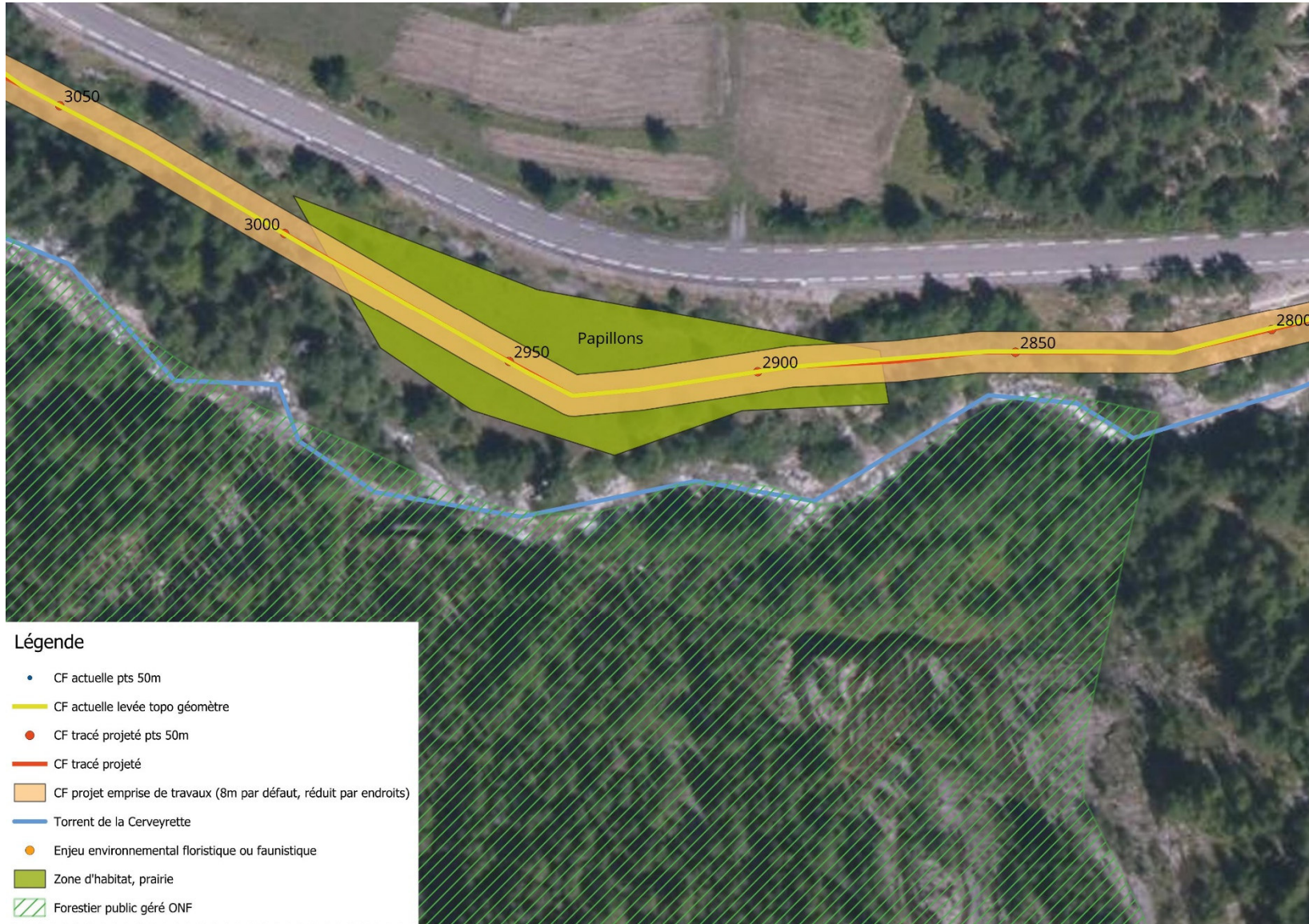


Figure 46 - CF projetée tronçon 11 de 2800 à 3050 m

3.2.3.12. TRONÇON 12 : DE 3050 A 3250 METRES

Sur ce tronçon la conduite projetée déviara du cheminement que la CF existante de 3050 m à 3250 m sur environ 200 m pour éviter les nombreux enjeux de la zone. La conduite existante sera laissée en place sur environ 108 m et obturée aux extrémités par des tôles soudées afin d'éviter le drainage et l'affouillement ou l'effondrement du remblai.

À 3150 m, apport de ruissellement de la Fontaine de Thura passant sous la RD 902 qui évolue en un bras principal élargi créant une zone humide continue jusqu'à la Cerveyrette et dérivée en un second bras plus linéaire qui rejoint la conduite existante 3180 m.



Figure 47 - Localisation de la ZH de la Fontaine de Thura

Présence de pieds de *Dactylorhiza incarnata subsp. Cruenta* (Orchidée des Marais).

Le tracé projeté propose un cheminement le plus en amont possible de la zone humide, à son état le plus étroit et le moins occupé. Un bouchonnage à l'argile de part et d'autre de la CF sera réalisé pour la continuité hydraulique de la ZH.

Ce cheminement remonte en proximité de la RD 902 avec une emprise sur route en phase chantier.

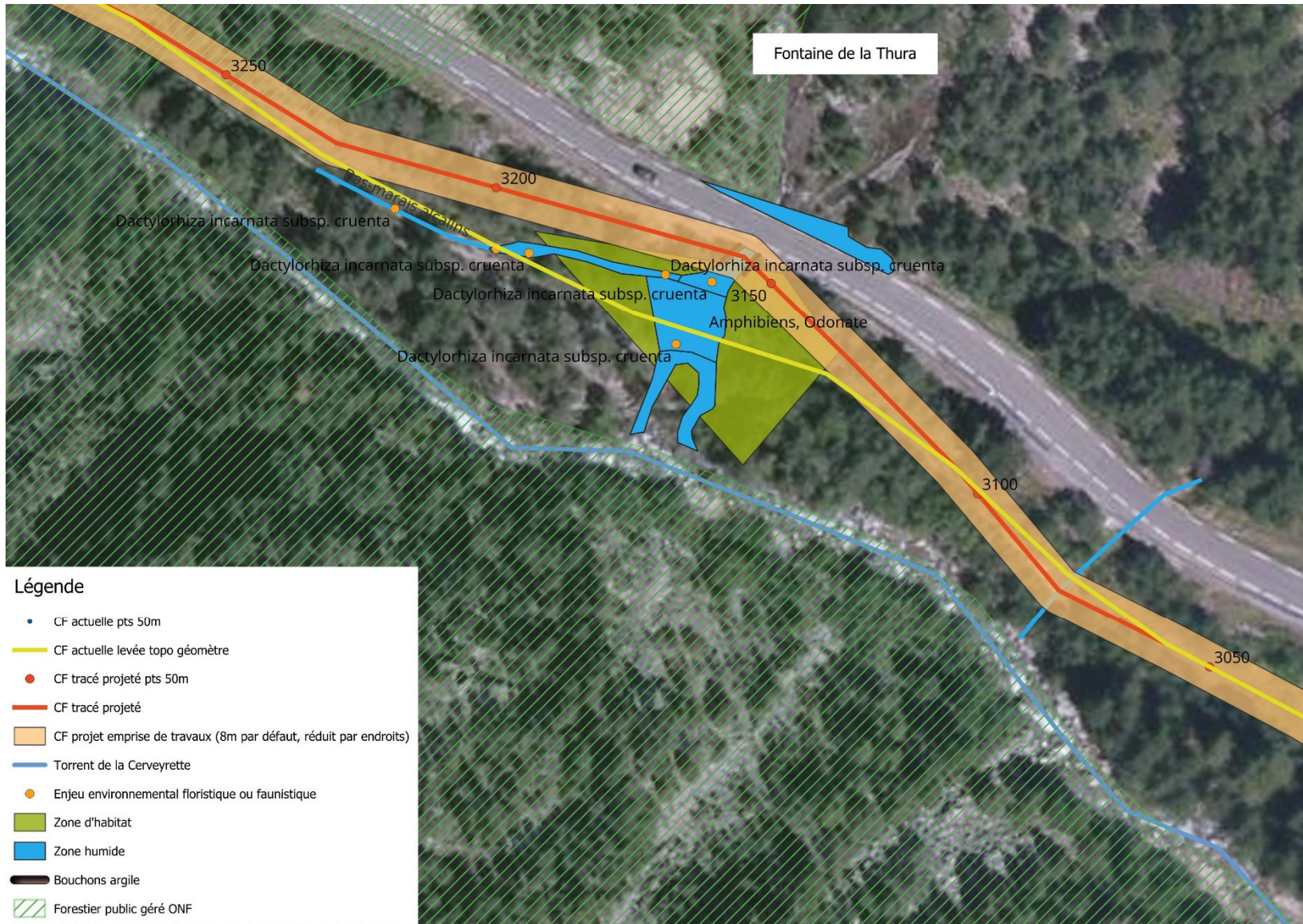


Figure 48 - CF projetée tronçon 12 de 3050 à 3250 m

3.2.3.13. TRONÇON 13 : DE 3250 A 3550 METRES

De 3250 à 3425 m, le tracé de la conduite projetée reprend le tracé existant avec une traversée de zone humide jusqu'au premier enrochement de traversée. Cette zone humide est un ruissellement qui suit la conduite et a très probablement été créé par la pose de celle-ci et le drainage induit d'arrivées d'eau du talus.

Un étrépage de la zone pour conserver et réimplanter le couvert végétal présent (mousses) pourra être réalisé s'il est pertinent.

Les mesures de travaux et de suivi sont décrites dans la pièce jointe n°5 « Etude d'incidence » du présent dossier de Demande d'Autorisation Environnementale.

A noter qu'à 3250 m le projet entre en domaine forestier communal géré par l'ONF jusqu'à 4000 m.

Le tracé dévie ensuite du tracé d'origine pour éviter un pied de *Viola Collina* un peu avant 3500 m avant de rejoindre le tracé existant avant la seconde traversée.

Les deux traversées de cours d'eau seront réalisées en sur profondeur et protégées de l'érosion par des enrochements de berges et de la conduite constitués de blocs en pose libre tel qu'à l'origine. Le retour d'expérience de l'ouvrage existant montre que cette solution est stable est durable.



Figure v - CF projetée tronçon 13 de 3250 à 3550 m

3.2.3.14. TRONÇON 14 : DE 3550 A 4050 METRES

Sur toute cette portion, le tracé projeté est identique au tracé d'origine de la conduite.

Pas d'enjeu environnemental particulier jusqu'à 3900 m.

Une traversée de ruissellement est à maintenir à 3800 m, une attention particulière sera portée à la continuité hydraulique de cette zone par apposition de bouchons d'argile de part et d'autre de la conduite et par remise en état du chenal de canalisation de l'écoulement.

Un confortement de l'enrochement de berge existant de 3825 m à 3930 m sur une longueur d'environ 105 mètres afin de pérenniser la stabilité de la berge en rive droite.

Pas de zone de frayère sur la portion d'enrochement à reprendre.

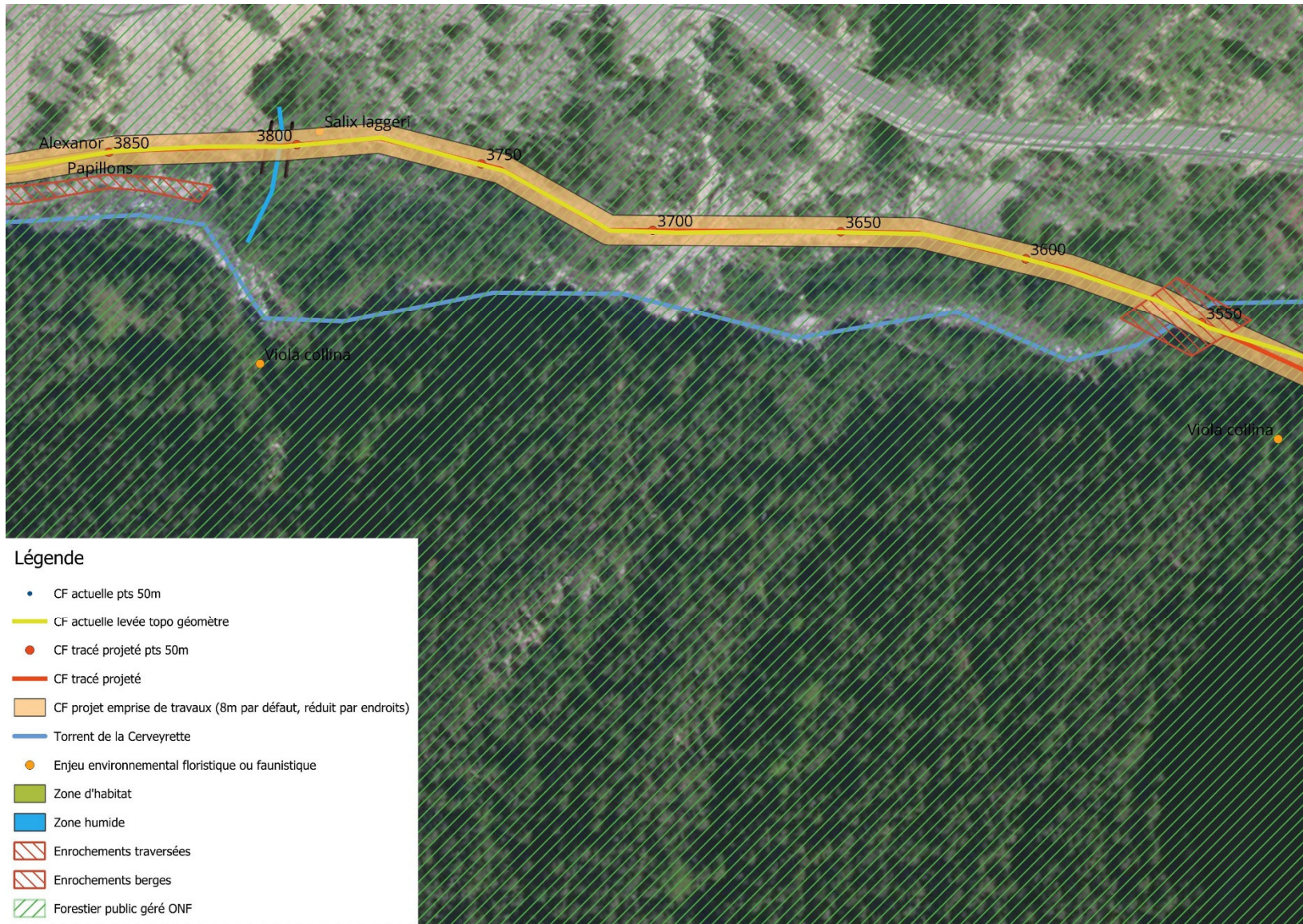


Figure 49 - CF projetée tronçon 14 de 3550 à 3850 m

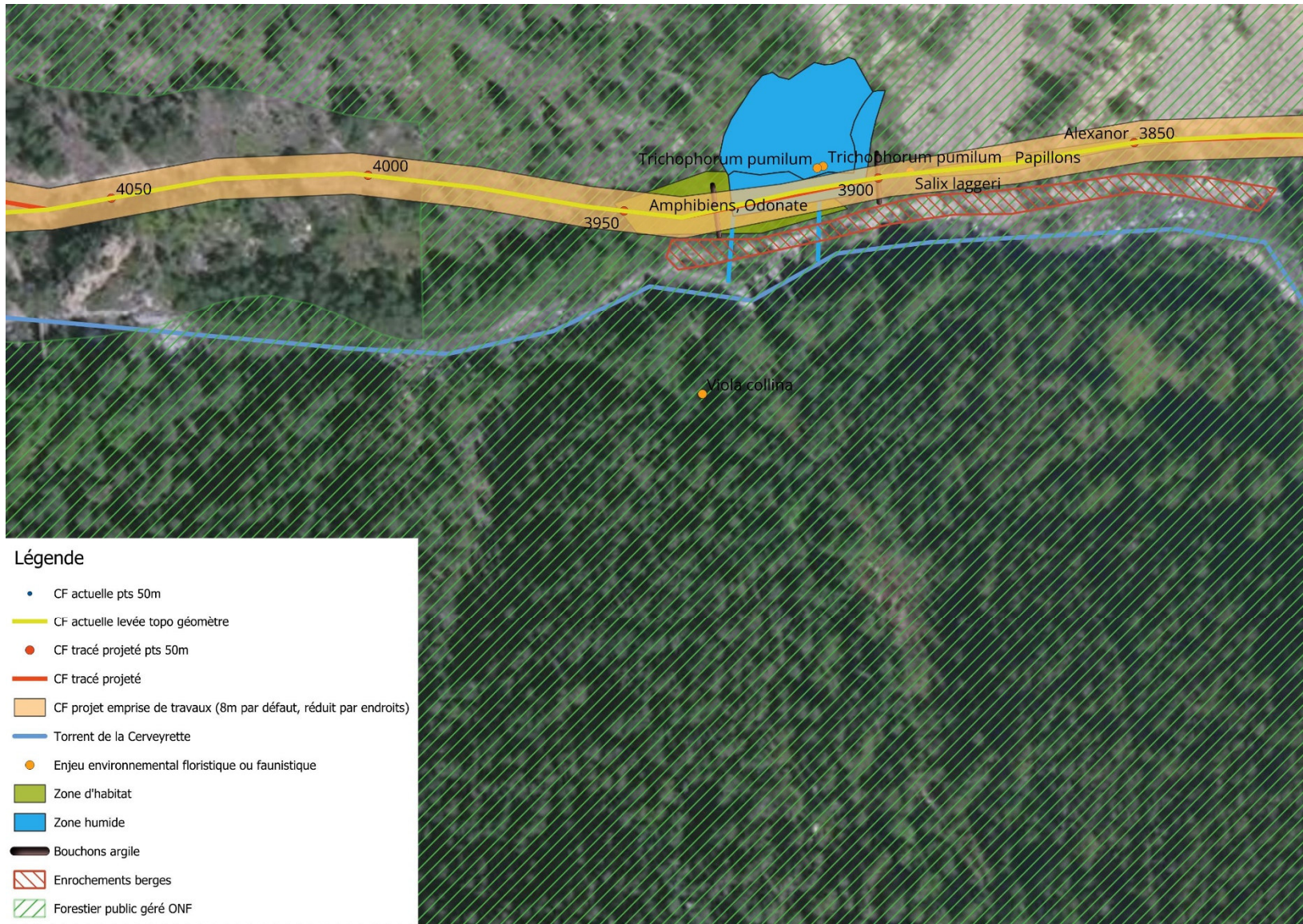


Figure 50 - CF projetée tronçon 14 de 3850 à 4050 m

À 3900 m, entrée dans une zone humide constitué d'un rocher ruisselant et d'écoulements adjacents s'étalant sur le tracé de la conduite et jusque dans le lit de la rivière :



Un pied de *Salix Laggeri* ne pouvant être évité devra être déplacé et l'emprise de chantier réduit à 6 m avec mise en défend des deux pieds de *Trichophorum Pumilum*.

Des bouchons d'argile seront disposés de part et d'autre de la conduite pour éviter le drainage de la zone et garantir la continuité hydraulique d'origine. Un étrépage de la zone sera réalisé avant travaux pour conserver et réimplanter le couvert végétal présent.

3.2.3.15. TRONÇON 15 : DE 4050 A 4125 METRES

Le tracé projeté est identique au tracé d'origine sur son tronçon jusqu'à environ 4080 m à partir desquels il diverge pour entrer du côté droit du bâtiment de l'usine afin de permettre le raccordement au nouveau groupe de production de type Pelton.

Un confortement de l'enrochement existant de protection de l'usine du ravin de la Grande Maye est nécessaire.



Figure 51 - Vue de l'enrochement existant de l'usine

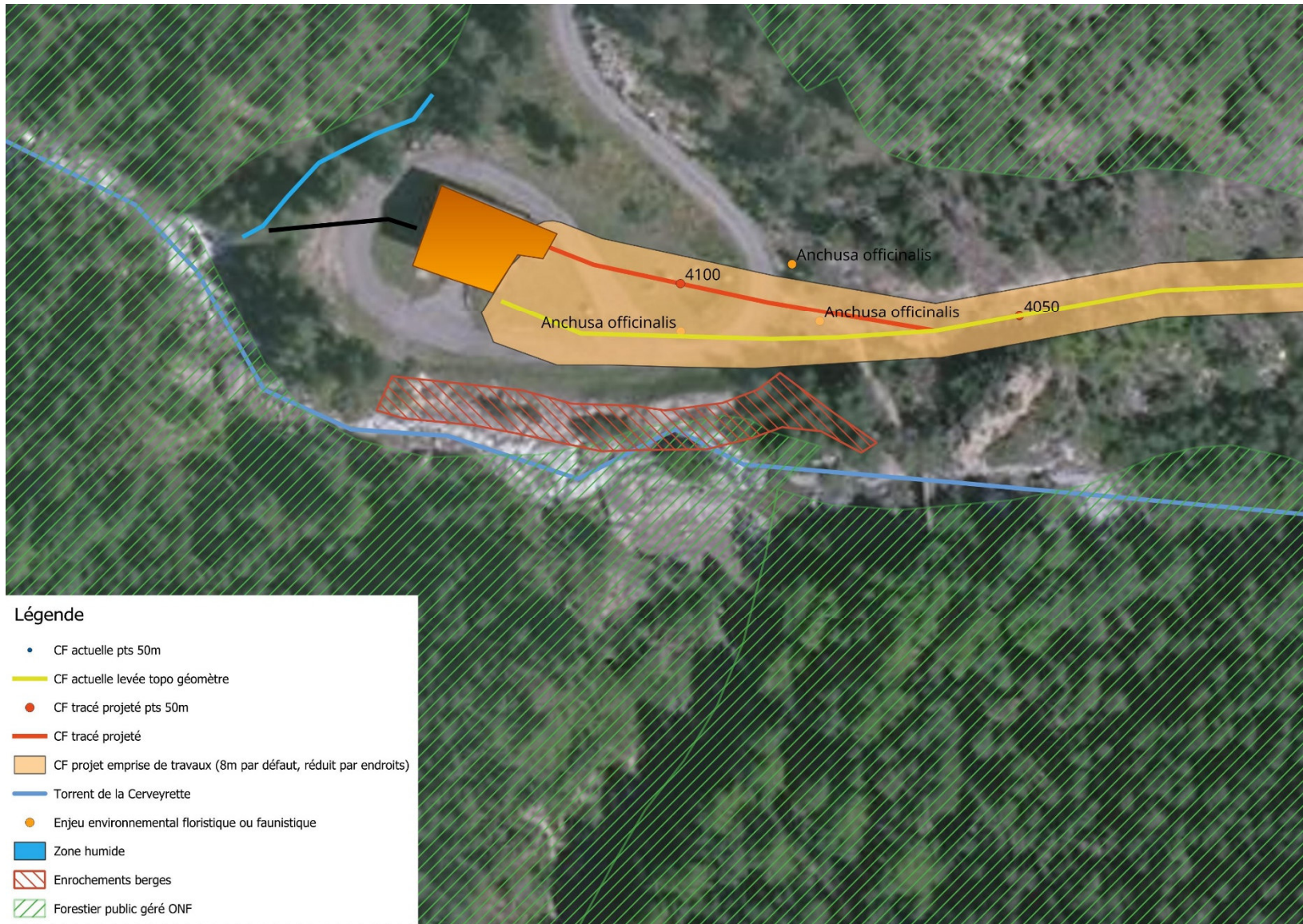


Figure 52 - CF projetée tronçon 15 de 4050 à 4125 m

3.3. BATIMENT DE L'USINE HYDROELECTRIQUE ET CANAL DE FUITE

Le bâtiment de l'usine hydroélectrique est situé en contrebas de la route RD902 reliant Briançon à Cervières, à la limite entre les deux communes justes à l'amont de la retenue de Pont Baldy.

Il est entièrement édifié en béton armé jusqu'au toit, et possède une emprise au sol de 139 m². Il est recouvert de bardeaux de mélèze pour faciliter son intégration paysagère. Il est scindé en plusieurs parties comprenant la salle des machines, la salle de commande, la pièce abritant le poste HTA ainsi qu'un local transformateur.



Figure 53 - Bâtiment de l'usine

La salle des machines mesure 12 m de longueur pour 6 m de largeur. La hauteur sous plafond est d'environ 5 m (jusqu'au faitage), mais la hauteur maximale disponible (sous le pont roulant) n'est que de 3.25 m. Ce chiffre reste variable en fonction de la hauteur des massifs de scellement des roues Francis.



Figure 54 - Vue en plan du bâtiment de l'usine

La fosse sous turbine possède une pente à 3% et se situe à la cote de 1366.92 mNGF. Deux renforcements sont disposés juste en dessous des turbines permettant le noyage des aspirateurs coniques. La hauteur d'eau nominale dans ces puisards est de 1366.62 mNGF. Les eaux transitent par une conduite $\varnothing 1200$ mm de 30 m jusqu'à la Cerveyrette. La restitution des eaux se fait à la cote 1366.15mNGF, à plusieurs mètres au-dessus du niveau de la rivière, assurant ainsi une chute non franchissable par la faune piscicole.



Figure 55 - Rejet des eaux en rivière

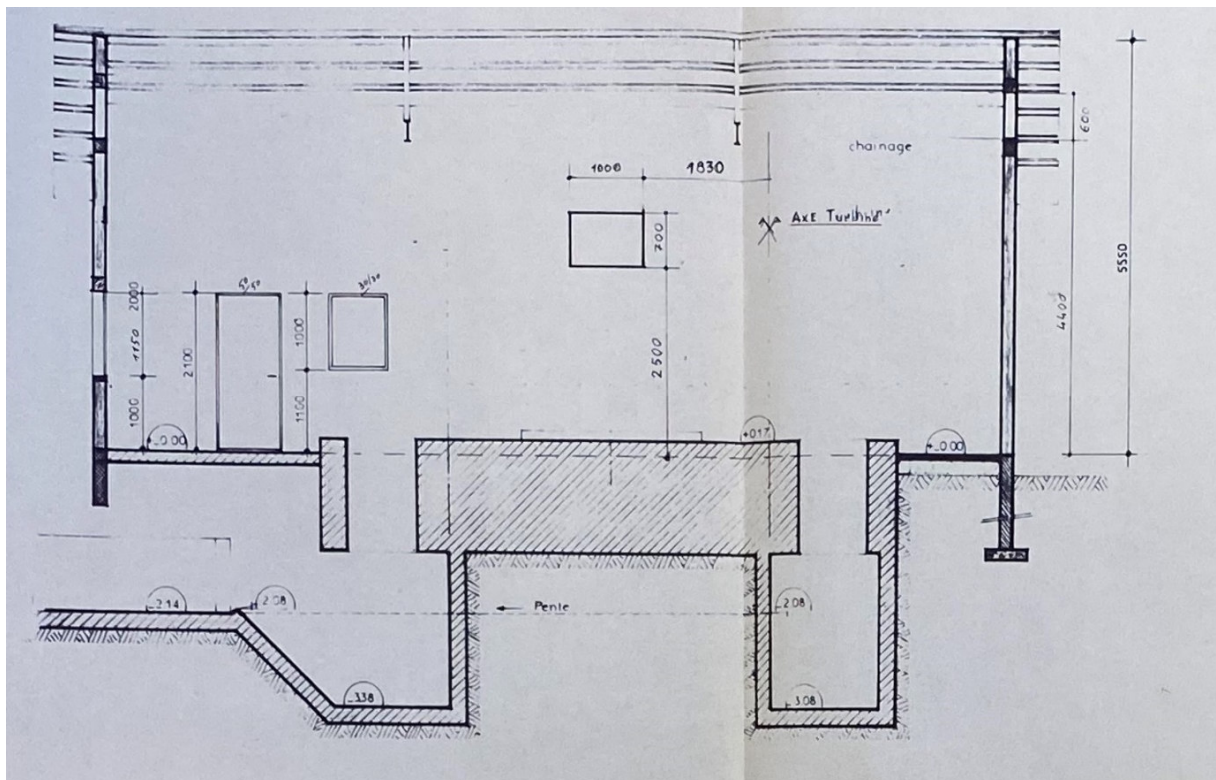


Figure 56 - Vue en coupes des deux puisards et du départ du canal n° 2

3.3.1. ADAPTATION DU BATIMENT

La modification ou la reconstruction du bâtiment de l'usine constitue un point clé de la rénovation de la microcentrale du Randon.

La modernisation de cette centrale nécessiterait une révision majeure du bâtiment existant. Les contraintes actuelles, telles que la hauteur limitée sous le pont roulant et les dimensions restreintes de la salle des machines, rendent très difficile l'intégration d'une turbine Pelton de 2 m³/s.

La configuration actuelle de l'usine, conçue au plus juste pour accueillir la turbine existante (Figure 56), nécessiterait une surélévation ou un abaissement de la dalle ainsi qu'une extension significative de l'espace disponible pour permettre l'installation de la Pelton. Ces adaptations sont techniquement complexes et impliquent la réalisation d'études de structure spécifiques. De plus, l'augmentation importante de la masse de l'ouvrage n'a pas été anticipée lors du dimensionnement initial des fondations, ce qui compromet sérieusement la faisabilité d'une telle intervention qui serait d'ampleur.

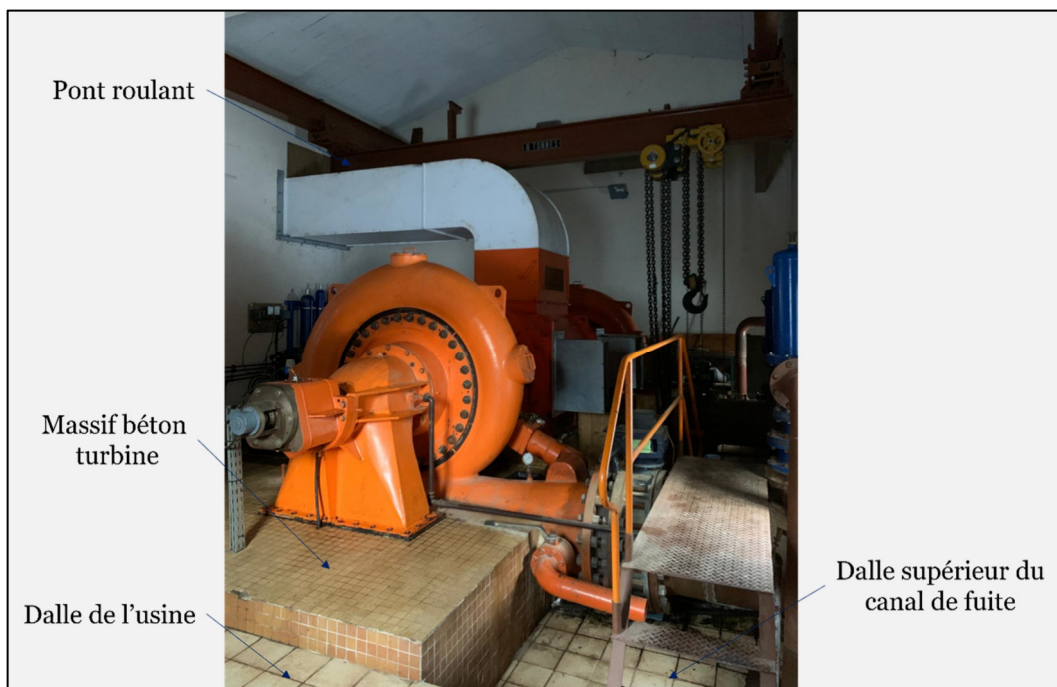


Figure 57 - Francis Double du Randon dans l'usine

L'analyse des conditions hydrauliques et des rendements visibles dans la partie suivante 4.4.1.2 montre que la turbine Pelton est mieux adaptée au site qu'une technologie Francis. En effet, la centrale présente une hauteur de chute élevée et des débits variables pouvant atteindre 2 m³/s, conditions pour lesquelles un Francis présente des rendements inférieurs sur l'année. La réhabilitation de la Francis améliorerait certes les rendements, mais resterait un palliatif : elle ne permettrait pas d'exploiter la nouvelle hauteur de chute liée au remplacement de la conduite forcée ni de s'adapter aux variations de débit marquées, qui augmentent au fil des années, ce qui engendrerait des pertes de rendement et un fonctionnement hors zone optimale.

La Pelton, conçue pour de grandes hauteurs de chute et des débits variables, offre une optimisation de la production sur l'ensemble de la plage de fonctionnement tout en garantissant fiabilité et flexibilité. Le seul inconvénient de ce type de turbine réside dans la hauteur sous plafond requise pour son montage, particulièrement dans le cas d'une configuration à axe vertical.

Le choix d'une Pelton verticale plutôt qu'horizontale s'explique par le nombre de jets nécessaires au bon fonctionnement du groupe. En effet, pour une chute donnée, si l'on souhaite faire transiter un débit plus important, (vitesse en sortie de jet constante), il faut augmenter la section de l'injecteur. Cependant, cette section ne peut pas être agrandie indéfiniment, car elle est limitée par des contraintes mécaniques, d'encombrement et par la taille maximale admissible des augets. Pour compenser cette limitation, on augmente donc le nombre de jets, ce qui permet d'accroître la section débitante totale.

Le nombre de jets d'une turbine Pelton est généralement compris entre un et six. Dans le cas du site du Randon, le rapport chute/débit (environ 200 m de chute pour 2 m³/s de débit) conduit à une configuration optimale à six jets, justifiant ainsi le choix d'une Pelton verticale.

Afin d'illustrer l'emprise de ce type de turbine dans l'usine actuelle, les figures ci-dessous présentent :

- Les vues en plan de l'usine actuelle, avec superposition de l'emprise indicative d'une Pelton à six jets dimensionnés pour 1.5 m³/s, très similaire à la turbine de 2 m³/s envisagée mais avec des dimensions inférieures (Figure XX) ;
- Une vue simplifiée des hauteurs de la turbine en comparaison à celle de l'usine, mettant en évidence les contraintes de hauteur sous plafond pour le montage vertical.

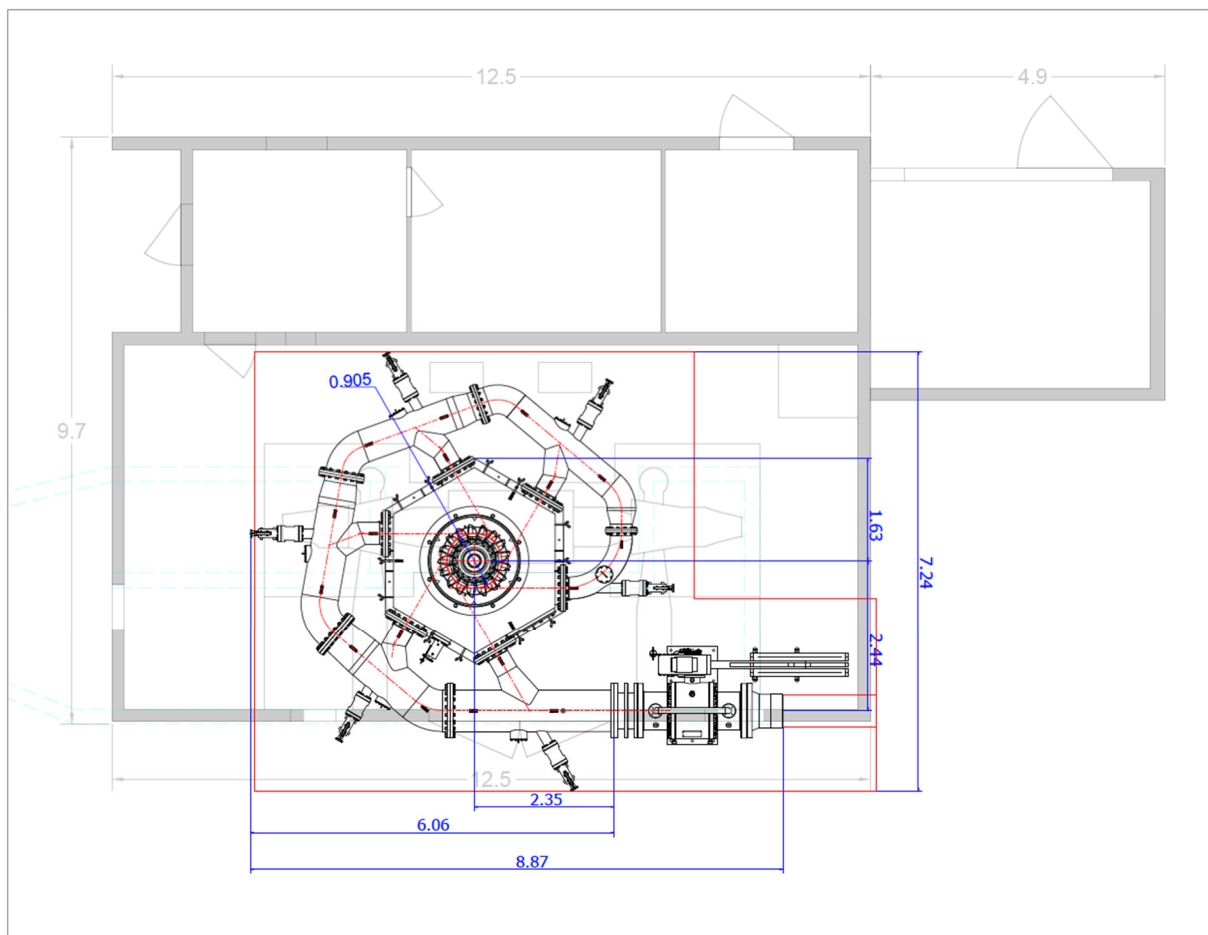


Figure 58 - Exemple d'intégration d'une turbine Pelton dans le bâtiment actuel – vue en plan

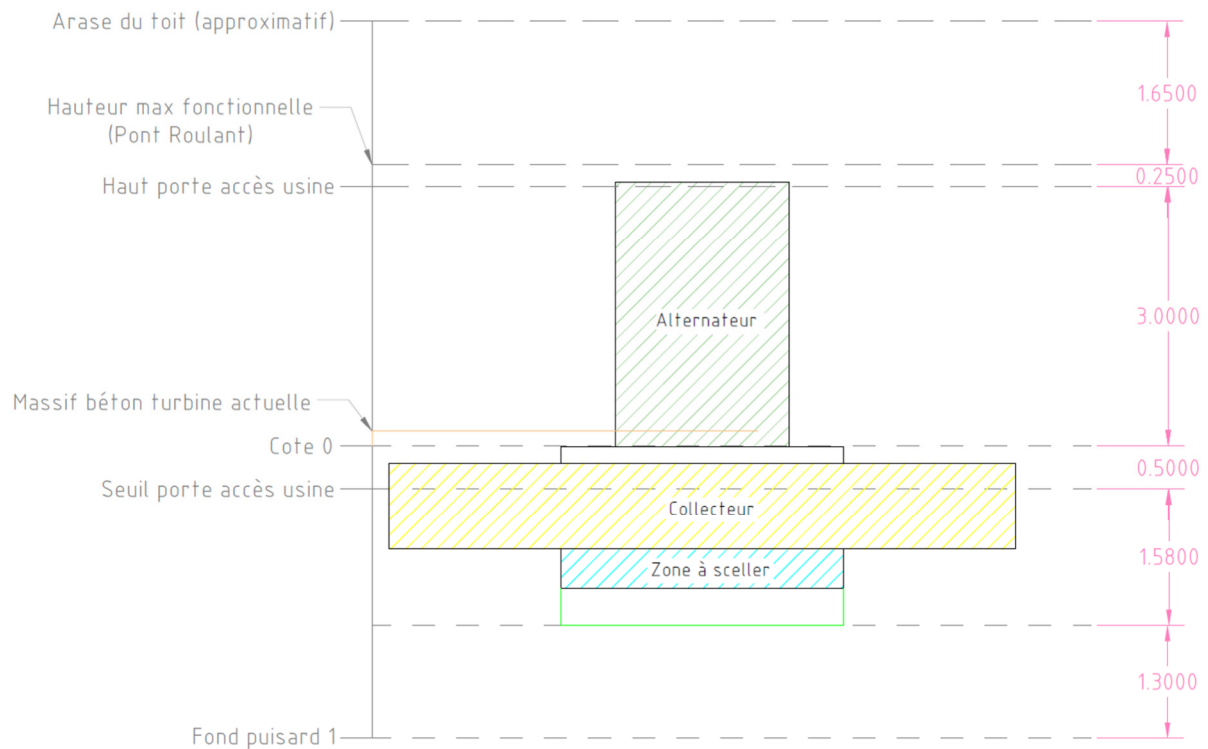


Figure 59 - Exemple d'intégration d'une turbine Pelton dans le bâtiment actuel – vue en coupe simplifiée

Ces illustrations montrent clairement que l'installation d'une Pelton de 2 m³/s dans le bâtiment existant n'est pas réalisable sans modifications majeures. L'intégration nécessiterait la surélévation (hauteur sous crochet insuffisante) ou l'abaissement de la dalle, ainsi qu'une extension significative de la salle des machines, impliquant des travaux très importants et techniquement risqués.

En conclusion, si la Pelton constitue la solution optimale d'un point de vue hydraulique et énergétique, son implantation dans le bâtiment actuel serait très difficile. Pour l'exercice, l'étude d'une turbine Francis de dernière génération, bien que moins performante sur le plan énergétique, a montré qu'elle nécessiterait également des opérations d'élargissement de l'usine. Ces travaux, certes légèrement moins importants que pour la Pelton, se heurteraient néanmoins aux mêmes contraintes structurelles.

C'est pour ces raisons que la solution retenue s'oriente naturellement vers une reconstruction du bâtiment de l'usine.

3.3.2. RECONSTRUCTION DU BATIMENT

Le nouveau bâtiment de l'usine doit être adapté à l'implantation d'un groupe Pelton vertical de 2 m³/s. Le pré dimensionnement de la turbine effectué en interne, servira de base au pré dimensionnement du nouveau bâtiment. Pour rappel, les résultats du pré dimensionnement sont (pour une vitesse de rotation de 600 t/min) :

- Diamètre de roue (PCD) : 860 mm
- Nombre d'injecteur : 6 injecteurs

- Diamètre d'injecteur : 93 mm
- Nombre d'auget : 20 augets
- Largeur d'auget : 309 mm
- Diamètre minimal du logement : 3460 mm

Le bâtiment présenté ci-dessous est dimensionné en se basant sur ces données et les plans existant de deux turbines équivalentes.

Réutilisation des canaux

Le niveau actuel de la dalle de l'usine se situe à 1369.98 mNGF. Un massif béton sur lequel repose la turbine actuelle se situe légèrement plus haut, l'axe actuel de la turbine Francis se situe à 1371.30. Il serait possible de réutiliser dans le cadre de l'installation d'une Pelton le canal 1 qui se situe à 2.14 m en dessous du niveau de la dalle de l'usine.

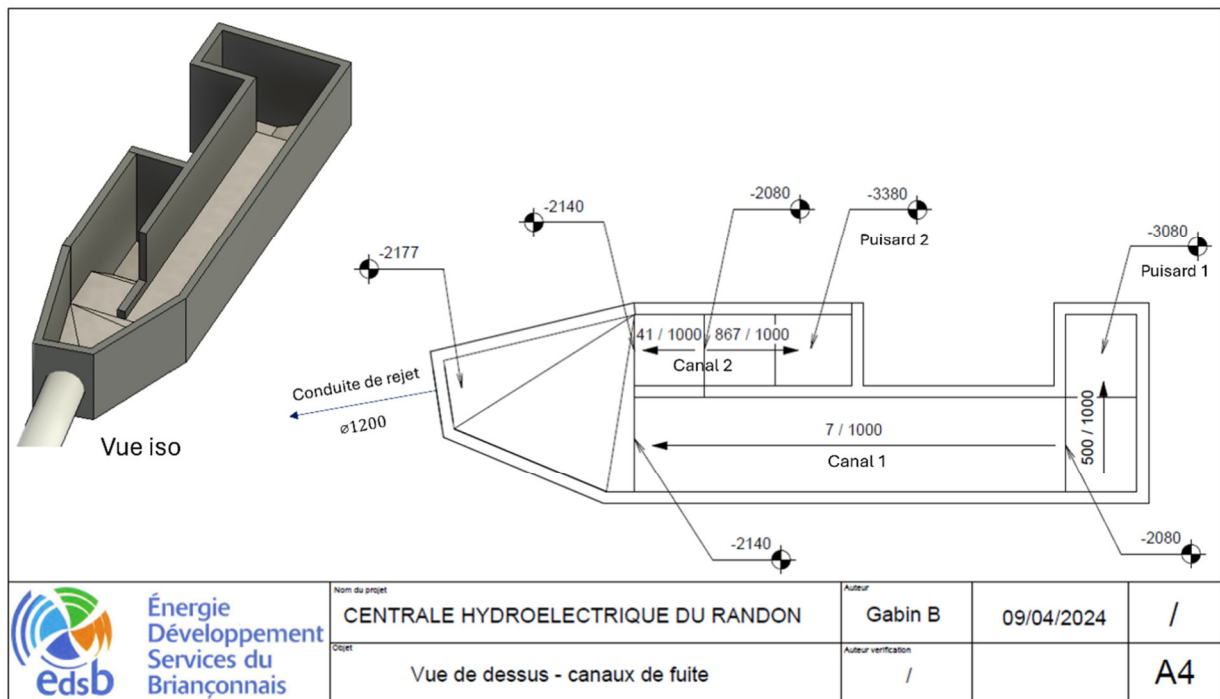


Figure 60 - Plan des canaux de fuite

Le fond du canal de pente 0.7%, se situe à environ 2 m sous la dalle de l'usine. Il serait possible d'implanter la nouvelle usine de sorte à ce que la fosse de la Pelton verticale soit connectée à ce canal. Sa capacité d'évacuation est déjà largement suffisante pour le débit d'équipement de 2 m³/s. En effet, la hauteur d'eau théorique dans le canal 1 avec un débit de 2 m³/s est de 43 cm (formule de Manning Stricker, K = 90). La hauteur du canal étant de 1.80 m, sa réutilisation est donc parfaitement possible.

La position dans l'usine actuelle des canaux est visible en bleu sur la figure ci-dessous (Figure 61). Le massif béton de la turbine actuelle est également visible.

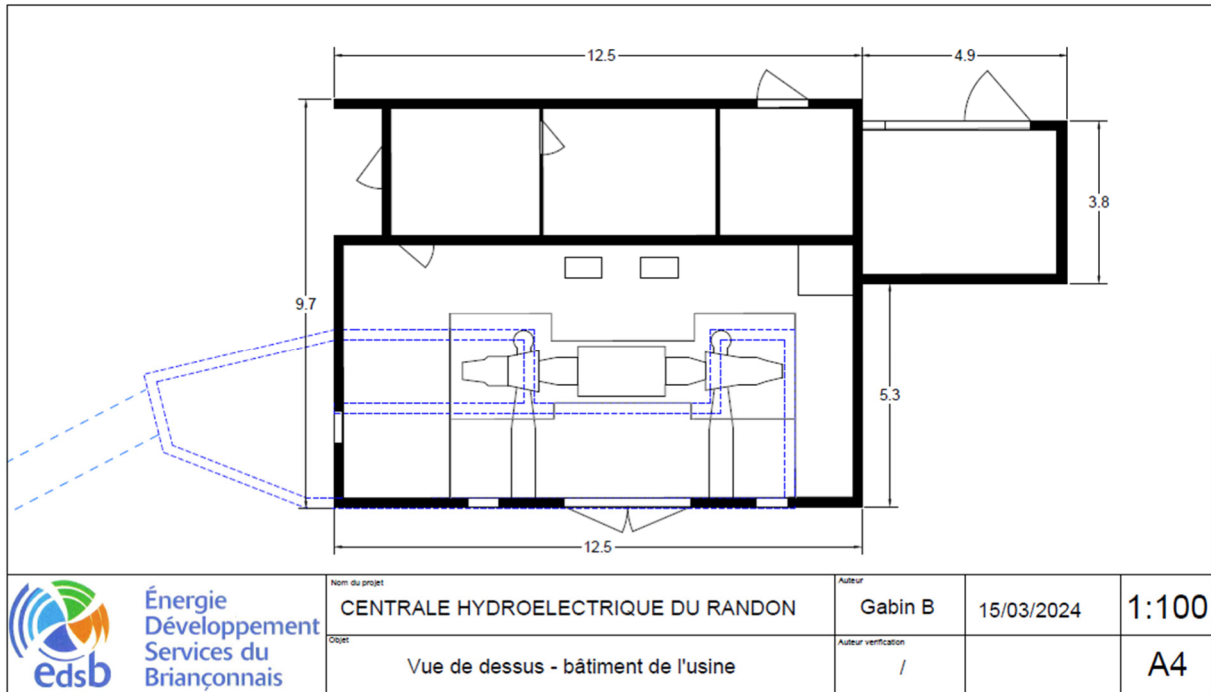


Figure 61 - Vue en coupe latérale du bâtiment de l'usine actuelle

Ci-dessous voici, la solution projetée de bâtiment permettant la réutilisation des canaux de fuite et donc la réduction des impacts liés aux travaux de construction et l'implantation d'une turbine Pelton 2 m³/s suivant les caractéristiques données ci-dessus.

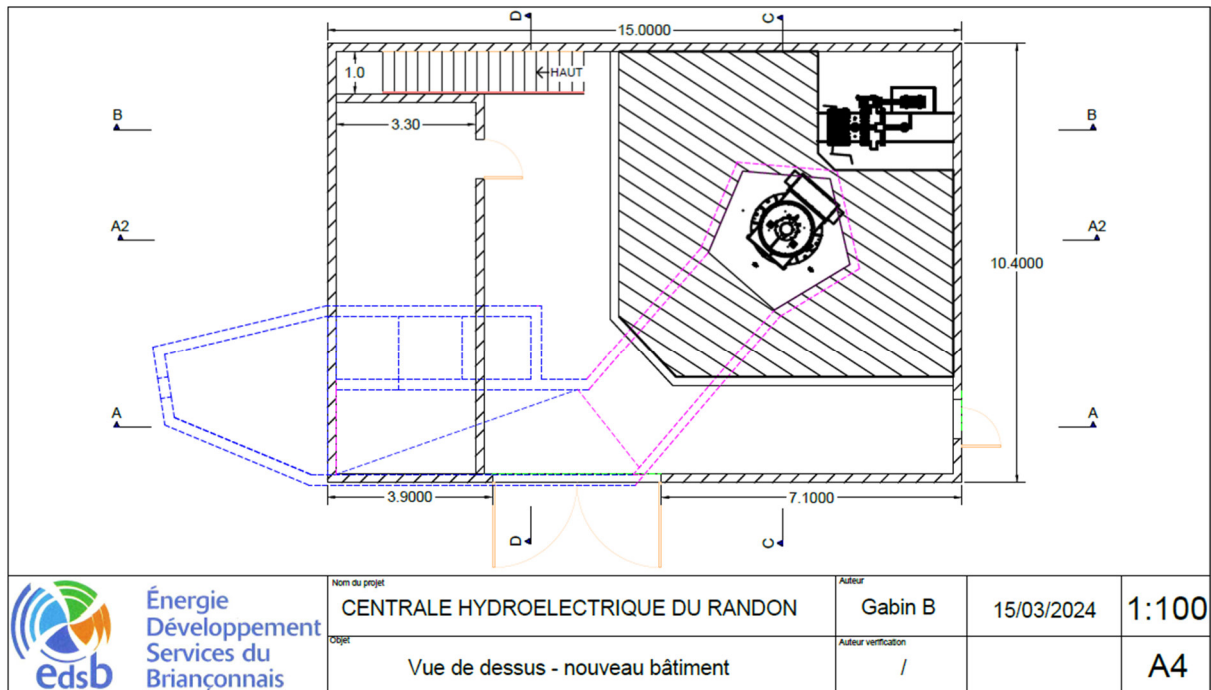


Figure 62 - Vue en coupe latérale du nouveau bâtiment de l'usine (avec réadaptation des canaux)

En bleu sont visibles les canaux de fuite actuels et en rose le raccordement de la fosse sous turbines directement sur le canal 1. L'arrivée de la conduite en usine se fait linéairement, sans coude permettant d'optimiser les pertes d'énergies. Un convergent devra être installé en amont de la vanne de pied

permettant la réduction du diamètre de la conduite. La porte de l'usine est placée de sorte à permettre une manutention des équipements efficaces. L'adaptation du canal de fuite nécessite une légère surélévation de l'axe de la roue afin de permettre une hauteur suffisante sous roue pour l'évacuation des eaux et la maintenance de la turbine (voir figure 56 ci-dessous).

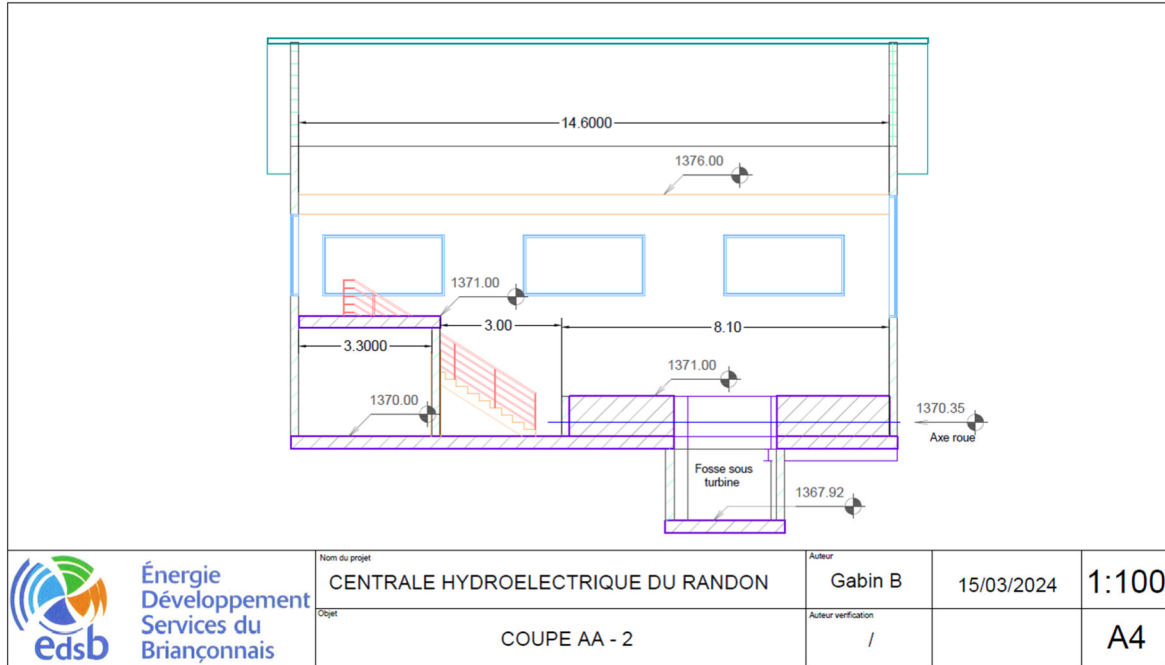


Figure 63 - Coupe AA-2 du bâtiment

Un espace en fond d'usine laisse une surface d'environ 60 m² repartie sur deux étages pour les équipements électriques et le contrôle commande (voir coupe AA2). Le pont roulant est situé à 6 mètres de la dalle de l'usine et 5 m du point bas de l'alternateur, permettant son démontage.

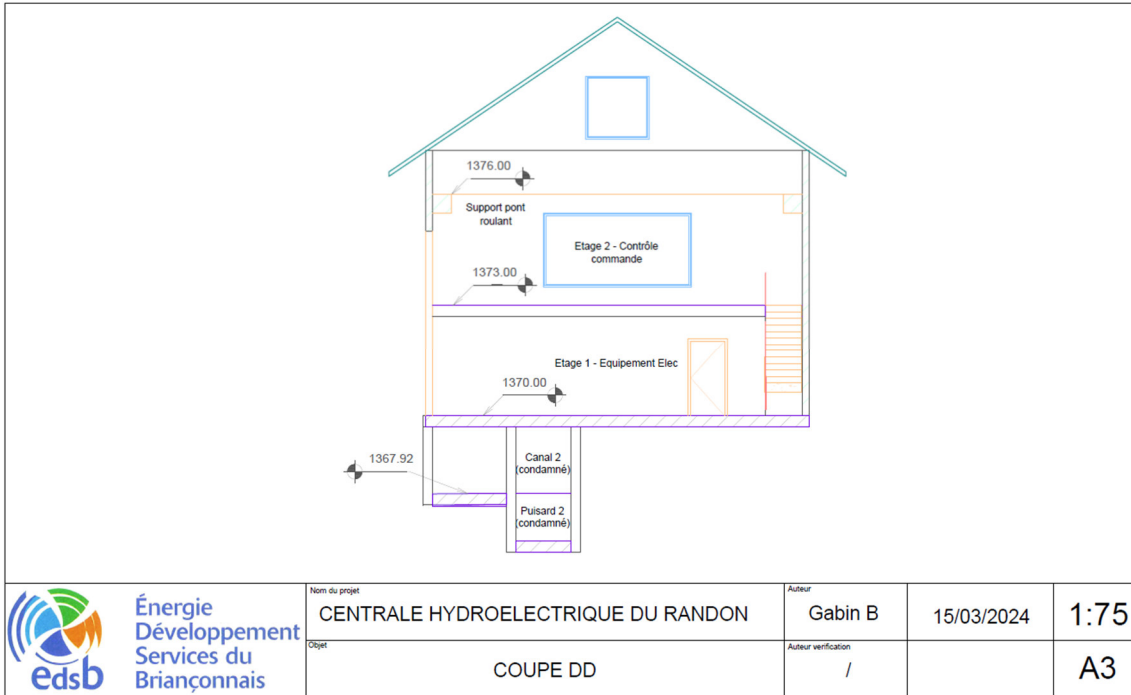


Figure 64 - Coupe DD du bâtiment

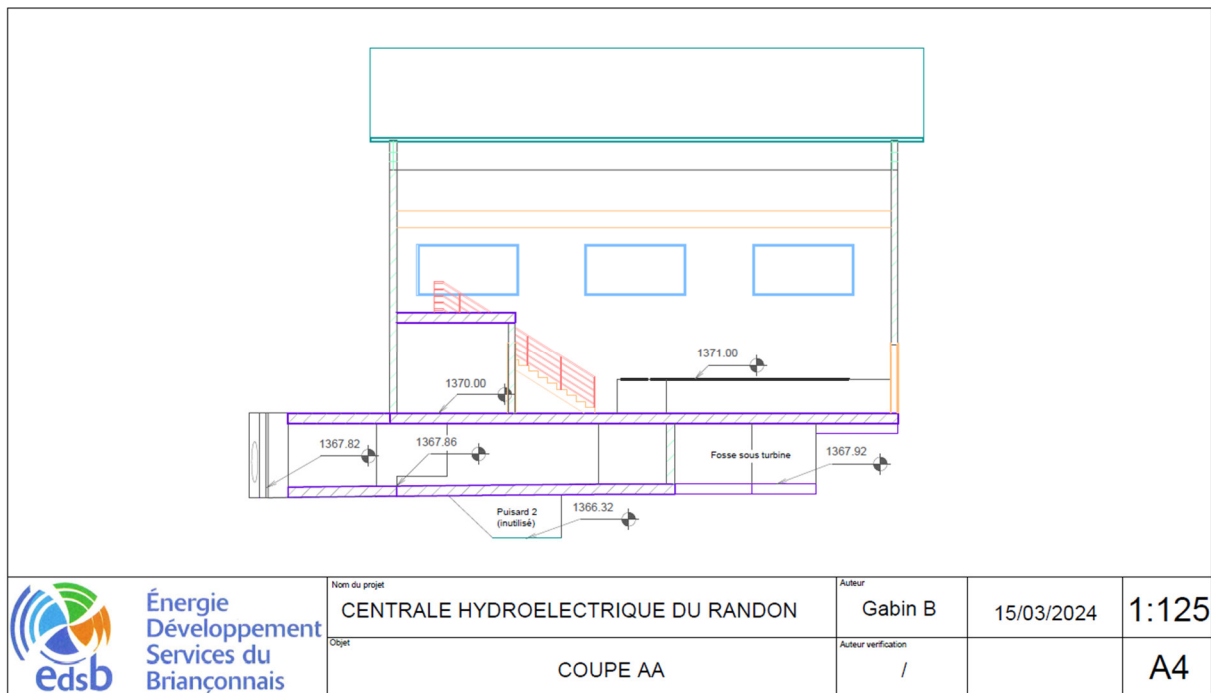


Figure 65 - Coupe DD du bâtiment

Ci-dessous un aperçu à l'échelle du nouveau bâtiment de l'usine sur site. On constate que l'emprise du bâtiment ne sera que peu changé par rapport à l'actuel.



Figure 66 - Aperçu du nouveau bâtiment de l'usine

Dans la conception du nouveau bâtiment de la centrale, des dispositifs d'abris pour chiroptères seront intégrés afin de préserver et favoriser la présence de ces espèces. Des gîtes artificiels, sous forme de caissons en bois ou de bacs à fentes, seront installés dans des zones peu perturbées du bâtiment, principalement en hauteur et à l'abri des courants d'air, pour simuler les conditions naturelles de refuge. Les ouvertures des gîtes sont orientées de manière à limiter l'exposition aux vents dominants et à l'humidité, tout en offrant un accès facile pour les chauves-souris. Parallèlement, les travaux seront planifiés pour éviter la période de reproduction et d'hibernation des espèces locales, réduisant ainsi le risque de dérangement. Enfin, une surveillance post-installation est prévue pour vérifier l'occupation des abris et adapter les dispositifs si nécessaire, garantissant une intégration efficace de la biodiversité dans l'infrastructure hydroélectrique.

Lors d'une visite sur site en février 2024, des traces résiduelles de la crue de décembre 2023 étaient encore visibles, offrant une indication de la hauteur d'eau atteinte lors de cet événement. En particulier, des signes d'écoulement ont été observés dans une zone en amont de l'usine, protégée par une petite digue qui semble se détériorer avec le temps. En cas de crue majeure, il est très probable qu'un débordement du lit se produise dans cette zone fragile, entraînant une inondation de l'usine.

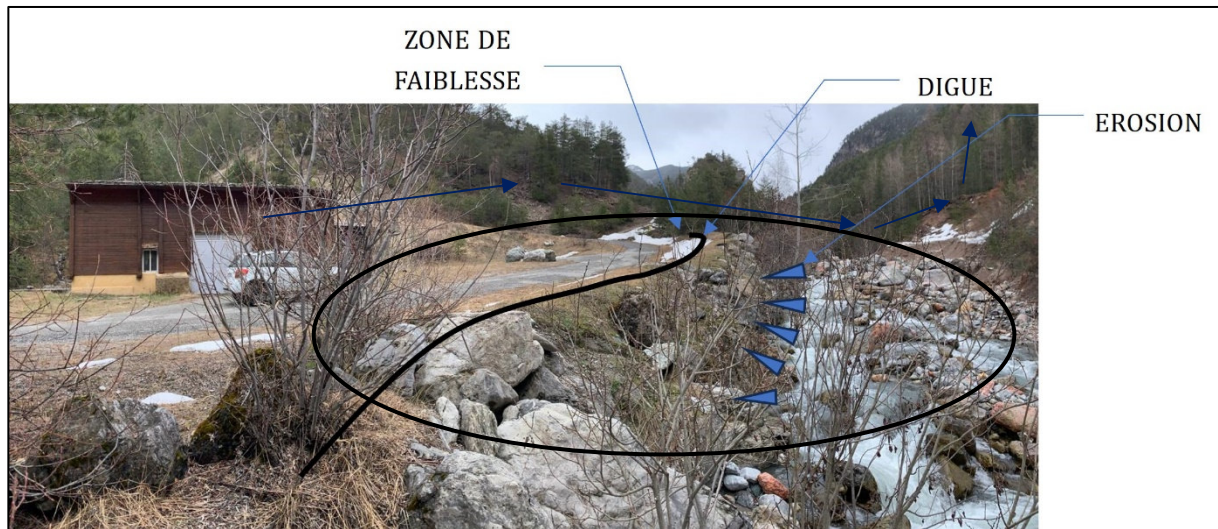


Figure 67 - Photo de la digue près de l'usine

L'état global de la digue se détériore progressivement, notamment sa partie inférieure qui subit une érosion conduisant à une fragilisation de l'ensemble. Des blocs de grande taille deviennent instables et glissent vers le lit de la rivière, mettant en péril la structure. Un confortement et reprise de ces enrochements sera mené parallèlement aux travaux sur l'usine.

3.4. TURBINES HYDROELECTRIQUES

Le groupe actuellement en place est composé de deux roues Francis accouplées à une génératrice de 2420 kW. La vitesse de rotation de l'ensemble est de 1000 tr/min. Le groupe est composé de 6 paliers, dont 2 pour la génératrice et 4 pour les turbines. Initialement, chaque roue Francis était équipée de 13 aubes, offrant une capacité globale de 2 m³/s. Toutefois, en 2015, une erreur de maintenance a entraîné l'installation d'une roue à 11 aubes pour remplacer l'une des deux roues initiales.

L'arrivée sur la turbine Francis se fait via deux piquages DN600 branchés à 90° sur la conduite forcée. Deux massifs bétons scellent ces deux piquages. Ces piquages sont équipés de vannes de pieds et de soupapes de décharge.

Le double coude d'arrivée (mise à niveau des groupes + virage à 90°) génère d'importantes contraintes mécaniques sur la conduite. En résulte des vibrations problématiques. De plus, l'erreur lors du changement de la roue, entraîne un décalage important du centre de gravité de l'arbre et génère des vibrations supplémentaires à vitesse de rotation élevée. Ces deux facteurs cumulés empêchent actuellement le fonctionnement du groupe à pleine puissance, sous peine d'endommager fortement les paliers, voir l'ensemble de l'installation.



Figure 68 - Groupe turbo alternateur bi-roue Francis de la centrale

3.4.1. CHANGEMENT DU GROUPE

Le présent chapitre décrit les caractéristiques techniques du groupe de production prévu dans le cadre de la rénovation complète de la microcentrale hydroélectrique du Randon.

Il est prévu de remplacer la turbine Francis double d'origine par une turbine Pelton à 6 jets.

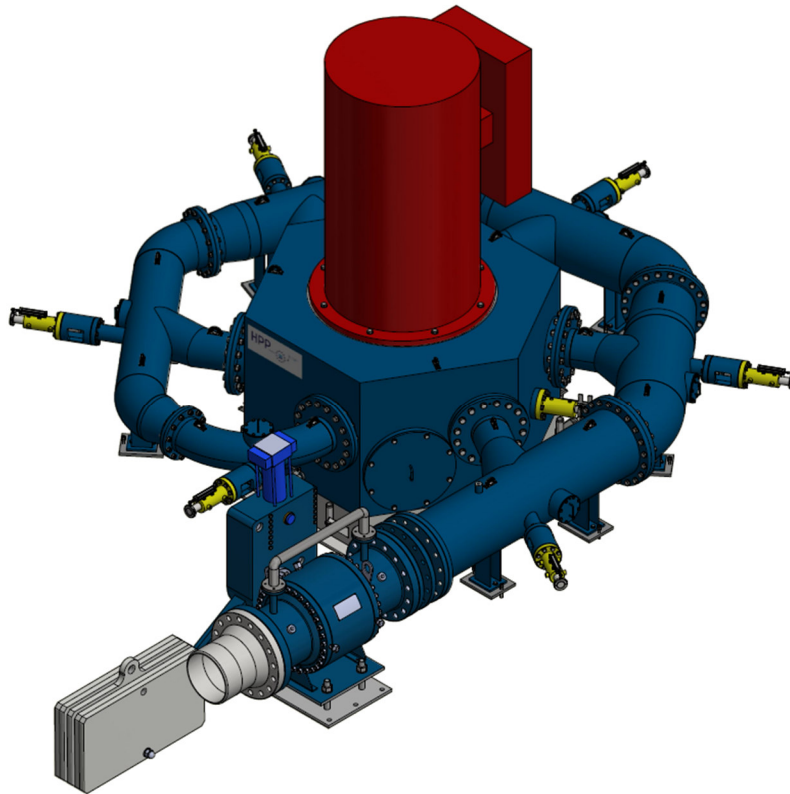


Figure 69 - Turbine Pelton 6 jets - Plan du turbinier HPP

Ce choix répond aux caractéristiques hydrauliques de l'aménagement (haute chute, faible débit unitaire) et aux exigences de performance, de fiabilité et de durabilité attendues pour un fonctionnement à long terme.

3.4.1.1. AVANTAGES

Les groupes Pelton sont les machines de référence pour les hautes chutes et faibles débits unitaires. Sa conception à augets, alimentés par jets à haute pression, permet une conversion quasi intégrale de l'énergie potentielle en énergie mécanique.

Efficacité hydraulique et rendement

Les turbines Pelton atteignent des rendements hydrauliques supérieurs à 90 % au point nominal et conservent un rendement élevé sur une large plage de débits.

Cette performance est due à la régulation fine du débit par les pointeaux et au nombre de jets disponibles : chacun des six injecteurs peut être mis en service ou fermé selon les conditions d'exploitation. Cette flexibilité assure une production énergétique optimale tout au long de l'année, y compris lors des périodes d'étiage.

Flexibilité et finesse de pilotage

Chaque jet est commandé par une aiguille électrohydraulique indépendante, offrant une grande finesse de réglage.

Cette architecture multi-jets permet :

- De gérer efficacement les régimes transitoires (démarrages progressifs, arrêts partiels, variations de charge)
- De faciliter le suivi de production en fonction des besoins réseau ou des consignes d'exploitation
- La possibilité de combiner ou d'isoler certains jets afin d'optimiser le rendement, tout en préservant la stabilité hydraulique en conduite

Robustesse et simplicité mécanique

Les groupes Pelton présentent une construction simple et robuste. La faible sensibilité à la cavitation et la grande résistance mécanique des composants (roue en acier inoxydable, augets usinés, buses renforcées) assurent une durée de vie élevée avec un entretien limité.

Les principales pièces d'usure – augets, aiguilles et buses – sont facilement remplaçables et standardisées.

Compatibilité avec la rénovation de la conduite forcée Ø1000 mm dans le cadre de la rénovation

Le remplacement intégral de la conduite forcée par une conduite Ø1000 mm va considérablement améliorer les conditions hydrauliques d'alimentation :

- Les pertes de charge sont désormais limitées à 17.5 m
- Moins de variation de charge
- Et donc un rendement amélioré

La Pelton 6 jets apparaît donc comme la solution la plus performante, la plus fiable et la mieux adaptée à la configuration hydraulique rénovée du Randon.

3.4.1.2. PERFORMANCE ET RENDEMENT

À titre de comparaison, le rendement d'un groupe Pelton et d'un groupe Francis de puissance équivalente ont été modélisé sur la chronique de débit reconstitué de la Cerveyrette. Les résultats sont visibles ci-dessous :

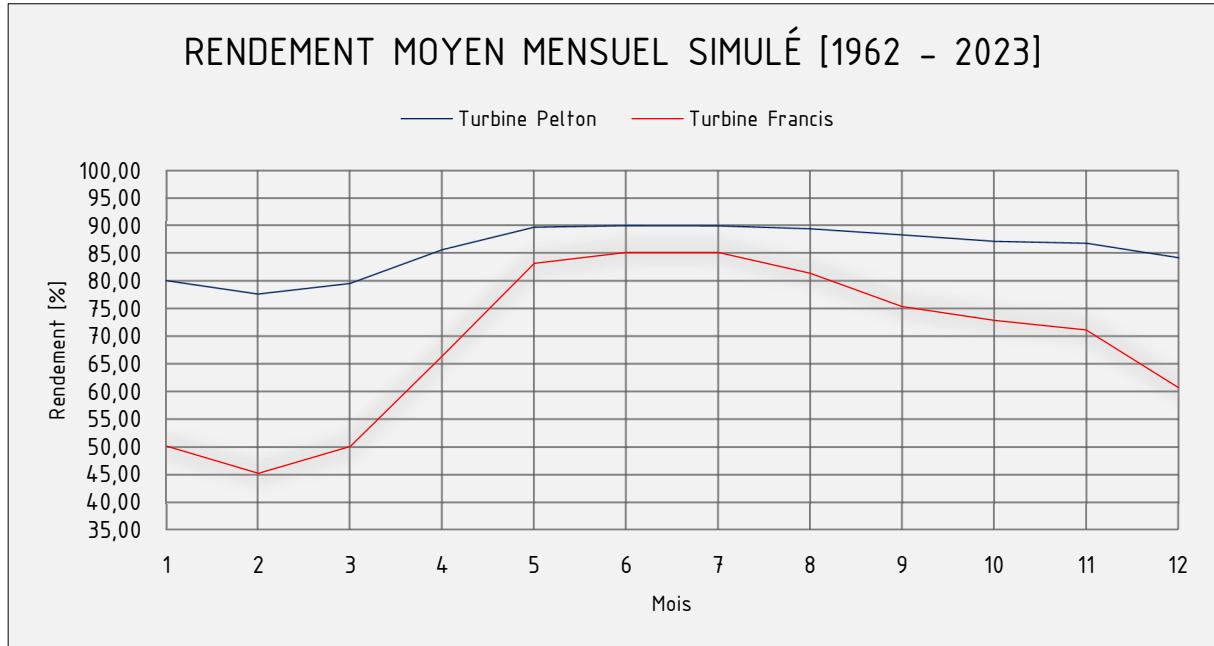


Figure 70 - Comparaison des rendements Pelton/Francis

TABLEAU DE RENDEMENT					
TYPE		PELTON (2m3/s)		FRANCIS (2m3/s)	
MOIS		Scenario			
		Classique	Evolution climatique	Classique	Evolution climatique
1	Janvier	80.09	81.01	50.10	51.96
2	Février	77.66	82.31	45.21	54.36
3	Mars	79.57	86.72	50.07	66.00
4	Avril	85.67	89.80	66.47	81.32
5	Mai	89.69	89.57	83.24	82.66
6	Juin	89.99	89.04	85.20	82.47
7	Juillet	89.92	87.83	85.24	77.27
8	Août	89.45	79.67	81.42	56.74
9	Septembre	88.30	57.57	75.40	30.77
10	Octobre	87.16	72.60	72.89	46.51

11	Novembre	86.79	82.40	71.14	59.82
12	Décembre	84.21	82.86	60.70	57.51
	Moyenne	85.75	81.78	68.92	62.28
	Médiane	89.91	87.62	74.76	76.08

Tableau 13 - Tableau de rendement Pelton/Francis

On constate que la turbine Pelton est la plus adaptée au site et présente des rendements supérieurs.

La turbine Pelton projetée, fonctionnera à des débits variants entre 50 et 2000 l/s sous une charge évoluant entre :

$$Alt_{BMC} - Alt_{axe turbine} - PDC(Q) = H_n$$

La cote d'eau de mise en charge est de 1571.85 mNGF. L'axe de roue de la turbine projeté est situé à 1370.5 mNGF environ. Dans le cas d'une turbine Pelton, la charge s'exprime entre la cote de mise en charge et l'axe de roue, ou l'intégralité de l'énergie potentielle est transformé en énergie cinétique.

Les pertes de charge, PDC(Q), varient en fonction du débit turbiné. Ci-dessous le graphique de la charge, rendement et puissance résultante en fonction du débit :

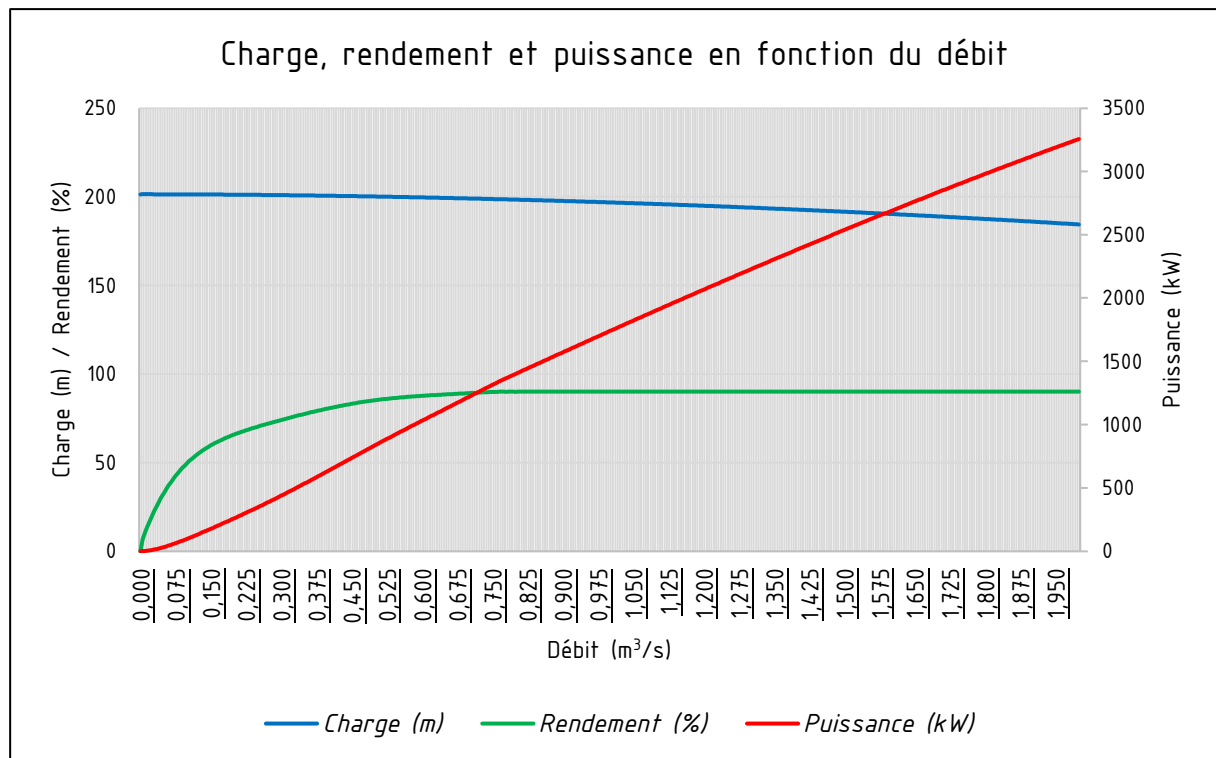


Figure 71 - Charge, rendement et puissance en fonction du débit - Turbine Pelton

Enfin, le graphique ci-dessous illustre la répartition inter-mensuelle moyenne du productible, issue de la simulation réalisée à partir de la chronique de débits reconstituée de la Cerveyrette.

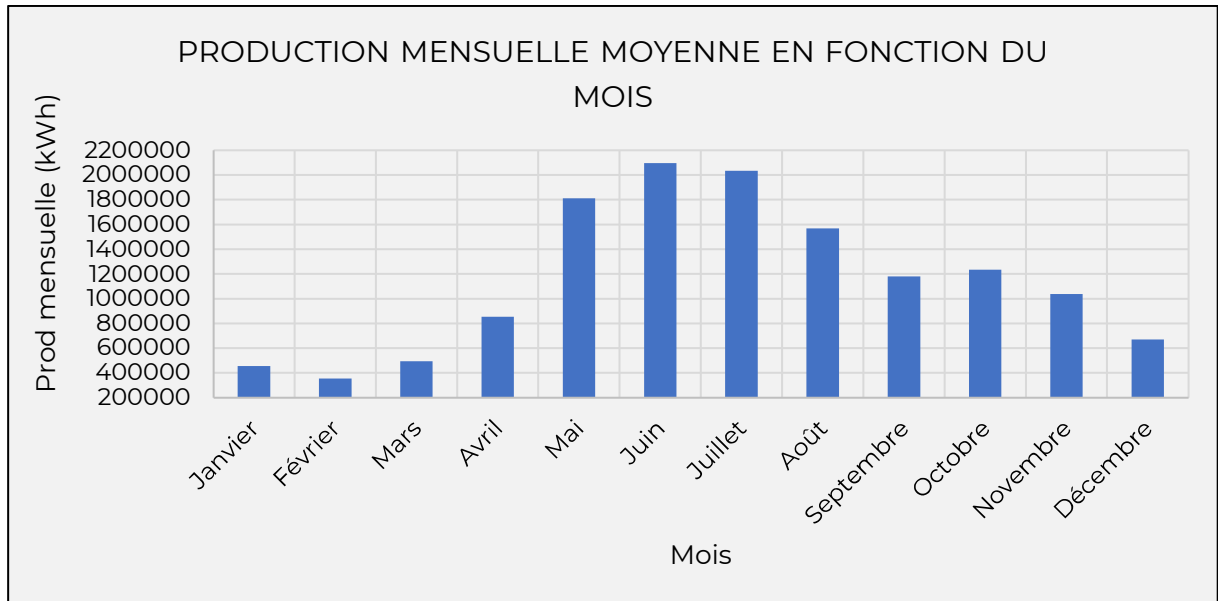


Figure 72 - Production mensuelle moyenne - Turbine Pelton

Cela correspond à un productible annuel de 13.8 GWh, soit une augmentation de 24 % par rapport à la situation actuelle, obtenue sans modification des débits prélevés, mais uniquement grâce à une amélioration des rendements énergétiques et des performances techniques des équipements projetés.

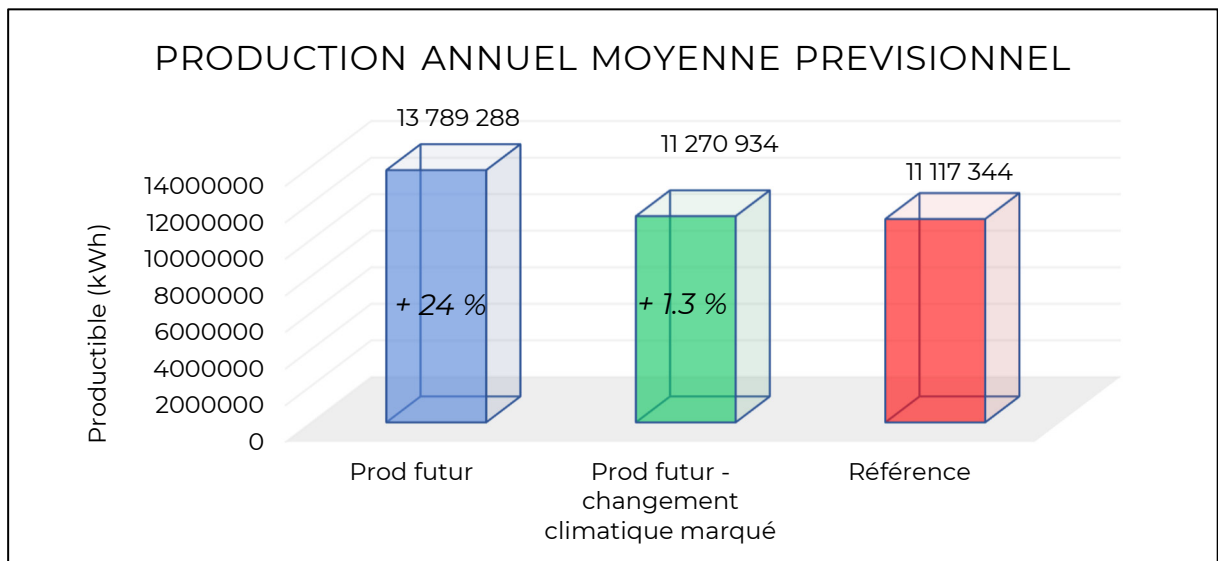


Figure 73 - Bilan productible annuel - Turbine Pelton

3.4.1.3. ORGANES CONSTITUTIFS

Pour information le groupe Pelton retenu pour l'aménagement du Randon sera de type vertical, monté en porte-à-faux sur l'arbre de l'alternateur. L'ensemble se compose des éléments principaux décrits ci-dessous.

La roue

La roue Pelton, ou roue à augets, constitue l'élément central de la turbine. Elle est généralement composée :

- D'un moyeu en acier forgé
- D'augets à double cuillères usinés dans de l'acier inoxydable martensitique

Chaque auget est profilé de manière à diviser le jet d'eau en deux flux symétriques, assurant ainsi une conversion maximale de l'énergie cinétique du jet en énergie mécanique. Le jet frappe la partie médiane de l'auget, puis se divise et s'échappe latéralement en sens inverse de la rotation, minimisant les pertes d'énergie. Le nombre d'augets est choisi pour garantir un recouvrement optimal entre jets successifs et un fonctionnement fluide (généralement entre 18 et 22 augets).

Les injecteurs

La turbine est alimentée par six injecteurs radiaux disposés autour de la roue. Chaque injecteur est constitué de :

- Une buse convergente, orientée vers le plan médian de la roue ;
- Une aiguille mobile, commandée par un vérin électrohydraulique, permettant le réglage du débit et donc de la puissance turbinée ;
- Un déflecteur mobile, utilisé pour dévier instantanément le jet d'eau lors des arrêts d'urgence, évitant ainsi les coups de bélier dans la conduite forcée en réduisant progressivement l'ouverture de l'injecteur.

L'ensemble de ces organes est dimensionné pour résister à la pression d'essai.

L'arbre de transmission

L'arbre de turbine, en acier allié, transmet le couple mécanique de la roue à l'alternateur. Sur une Pelton verticale, il est directement solidaire de l'arbre de la génératrice, formant un ensemble compact et rigide. Le montage porte-à-faux (sans palier inférieur) simplifie la maintenance et élimine les risques de désalignement. L'arbre est équilibré dynamiquement et équipé de dispositifs d'étanchéité pour éviter toute pénétration d'eau dans la génératrice.

Les paliers et butées

Le groupe est supporté par :

- Une butée principale (palier de butée), située au-dessus du rotor, absorbant la poussée axiale descendante
- Un palier radial supérieur, guidant la rotation et assurant la stabilité de l'arbre

Ces paliers sont lubrifiés par graisse. Ils sont munis de capteurs de température et de vibrations pour le suivi d'anomalie. Leur durée de vie est de 100 000 heures.

Le système de régulation

Le système de régulation pilote la position des aiguilles et des déflecteurs. Il comprend :

- Un bloc hydraulique (commande groupe motopompe, accumulateur, distributeurs, réservoir)
- Un automate programmable industriel (API) pour le pilotage du groupe

Ce dispositif assure un contrôle précis de la puissance, la stabilisation du régime de rotation, et la protection des groupes.

Le carter et la structure de support

L'ensemble turbine est enfermé dans un carter métallique assurant :

- La protection contre les projections d'eau
- La réduction du niveau sonore
- La sécurité du personnel d'exploitation

La turbine repose sur un massif béton ancré au radier du bâtiment, intégrant la platine de fixation et les ancrages mécaniques de la structure.

Matériaux et protection anticorrosion

Les composants en contact avec l'eau (buses, augets, corps d'injecteur) sont réalisés en acier inoxydable (AISI 420 ou 17-4PH). Les autres pièces sont en acier peint ou galvanisé.

Synthèse des principaux organes

Élément	Matériau	Fonction principale
Roue et augets	Acier inoxydable martensitique	Conversion énergie du jet
Aiguilles et buses	Acier inoxydable trempé	Réglage du débit
Défecteurs	Acier inoxydable	Sécurité hydraulique
Arbre	Acier allié	Transmission du couple
Paliers	Acier + bronze	Support mécanique
Carter	Acier peint	Protection et confinement

Tableau 14 - Récapitulatif des éléments de la turbine

3.4.2. ELECTRICITE/AUTOMATISME

3.4.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le groupe électromécanique de la centrale du Randon est constitué d'une turbine Pelton verticale à six jets entraînant directement un alternateur synchrone basse vitesse. L'ensemble assure la conversion de l'énergie potentielle de l'eau en énergie électrique injectée sur le réseau HTA via une chaîne d'équipements électriques intégrés et coordonnés.

L'eau issue de la conduite forcée arrive à la turbine sous forte pression. En s'échappant par les buses, elle est convertie en énergie cinétique (jets) qui frappent les augets de la roue Pelton, transmettant ainsi leur énergie cinétique à l'arbre de la machine. Cet arbre entraîne directement l'alternateur, qui transforme l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique triphasée à fréquence et tension contrôlées.

L'électricité produite transite ensuite par une série d'équipements successifs, chacun jouant un rôle spécifique dans la protection, la régulation et l'adaptation de la tension avant injection au réseau public :

1. **L'alternateur** produit le courant alternatif à basse tension (400, 690 V... dépend du type d'installation) et fréquence 50 Hz. Sa vitesse est constante et égale à la vitesse de rotation de la turbine.
2. **L'armoire de puissance**, regroupe l'ensemble des protections et dispositifs de régulation.

3. **Le transformateur principal élévateur** convertit la tension générée (690 V) en tension de distribution HTA (typiquement 20 kV) pour permettre l'injection sur le réseau local.
4. **La cellule HTA** regroupe les appareillages de coupure, de sectionnement et de protection du départ réseau. Elle permet l'isolement du transformateur ou du groupe en cas d'incident, et intègre les relais de protection imposés par le gestionnaire réseau.
5. **Le tableau général basse tension (TGBT)** assure la distribution de l'énergie aux auxiliaires de la centrale (pompes, vannes, circuits hydrauliques, éclairage, ventilation...). Il intègre également les alimentations de secours et le transformateur auxiliaire.
6. **Le chargeur 48 V** et ses batteries associées assurent la continuité d'alimentation des circuits de commande, d'automatismes et de sécurité en cas de coupure du réseau. Cette alimentation secourue est essentielle pour les fonctions critiques : fermeture d'urgence, régulation, alarme, télégestion.
7. **Les systèmes de commande et supervision** (API, HMI, SCADA) assurent la surveillance et la régulation du fonctionnement de l'installation, permettant une exploitation à distance et une consignation automatique des alarmes et événements.

Eau (énergie potentielle) → Turbine Pelton (conversion en énergie mécanique) → Alternateur (conversion en énergie électrique BT) → Armoire de puissance (protection, régulation, synchronisation) → Transformateur élévateur (adaptation à la tension réseau HTA) → Cellule HTA (protection et coupure) → Réseau électrique (injection).

Enjeux techniques

Le dimensionnement et le choix des composants électriques répondent à plusieurs objectifs :

- **Fiabilité** : assurer un service continu avec une maintenance réduite, adaptée aux conditions de site ;
- **Sécurité** : garantir la protection des biens et des personnes (protection différentielle, mise à la terre, isolement galvanique HTA/BT) ;
- **Performance énergétique** : minimiser les pertes électriques et maintenir un haut rendement global du groupe ;
- **Souplesse d'exploitation** : permettre un fonctionnement automatique, la synchronisation réseau et le redémarrage rapide après arrêt.

Le chapitre suivant détaille les caractéristiques techniques et les fonctions de chacun des principaux organes électriques du groupe de production.

3.4.2.2. DETAILS DES EQUIPEMENTS

Alternateur

L'alternateur sera de type synchrone basse vitesse, directement accouplé à l'arbre de la turbine.

Sa puissance nominale sera d'environ 3.25 à 3.5 MVA, correspondant à la puissance mécanique disponible (≈ 3.26 MW).

La tension de sortie envisagée est de 690 V en triphasé, 50 Hz, avec un facteur de puissance réglable ($\cos \phi \approx 0.9$). Le refroidissement se fera par air forcé ou système équivalent selon la technologie retenue.

L'alternateur sera équipé d'un système d'excitation automatique et d'un régulateur de tension (AVR) garantissant la stabilité de la tension aux bornes du groupe. Les dispositifs de protection intégreront à minima : surintensité, défaut d'excitation, sur-température (PT100), déséquilibre et vibrations.

L'ensemble sera monté sur un massif béton dédié, assurant la rigidité et la limitation des vibrations. La masse de l'alternateur (de l'ordre de 10 à 15 tonnes) sera prise en compte pour le dimensionnement du pont roulant de manutention.

Armoire de puissance (BT)

Placée immédiatement en aval de l'alternateur, l'armoire de puissance assure la connexion, la protection et la coupure de la génératrice avant le transformateur.

Elle regroupera :

- Un disjoncteur principal triphasé (ou contacteur de couplage) adapté au courant nominal de la génératrice ;
- Les protections de ligne et de groupe : surintensité, sur/sous-tension, perte d'excitation, fréquence, désynchronisation ;
- Les transformateurs de courant et de tension (TC/TV) pour la mesure et la protection ;
- Un relais de synchronisation automatique pour le couplage au réseau via le transformateur.

L'armoire sera dimensionnée pour supporter les courants nominaux et transitoires, avec sections de barres adaptées. L'ensemble sera câblé en cuivre blindé ou équivalent, relié directement au transformateur élévateur par des caniveaux ou chemins de câbles protégés.

Transformateur élévateur

Le transformateur élévateur assurera l'adaptation de tension entre la génératrice et le réseau HTA. Il sera de puissance environ 4 MVA, permettant de couvrir la puissance électrique nominale ($\approx 3,16$ MW) avec une marge de sécurité.

Caractéristiques générales :

- Type immergé (huile minérale ou ester naturel) ou sec selon le choix définitif ;
- Tension : 690 V / 20 kV ;
- Montage sur socle béton avec bac de rétention pour confinement en cas de fuite d'huile.

L'appareil sera conçu pour un fonctionnement continu à la charge maximale avec un rendement supérieur à 98 %.

Cellules HTA et poste de livraison

Le poste HTA permettra le couplage du groupe au réseau public et assurera les fonctions de protection et d'isolement.

Le raccordement au réseau se fera par câble souterrain HTA, la longueur et la section étant définies lors des études d'exécution. Les protections HTA seront réglées en coordination avec celles de la génératrice et validées par le gestionnaire de réseau avant mise en service.

Tableau basse tension (TGBT) et auxiliaires

Le tableau général basse tension (TGBT), intégré dans l'ACC alimentera l'ensemble des équipements auxiliaires de l'aménagement :

- Groupe hydraulique de commande,
- Pompes de vidange et d'assèchement,
- Ventilation, éclairage, chauffage,
- Instrumentation et communication.

Il sera alimenté en 400 V triphasé à partir du réseau interne, via un transformateur auxiliaire. Le TGBT intégrera les protections différentielles et thermiques nécessaires, ainsi qu'une séparation claire des circuits de commande et de puissance.

Armoire de contrôle-commande (ACC)

L'armoire de contrôle-commande assurera la gestion automatique du groupe de production et de ses auxiliaires.

Elle sera indépendante de l'armoire de puissance, afin de garantir la sécurité et la redondance des fonctions critiques.

Elle regroupera :

- Un automate programmable industriel (API) pour la séquence de démarrage, d'arrêt et de couplage au réseau
- Les modules de régulation de vitesse, de tension et de facteur de puissance
- Les interfaces avec les capteurs de la turbine et de l'alternateur (vitesse, température, vibration, position aiguilles/défecteurs)
- Un pupitre opérateur (IHM) pour la visualisation locale des états et alarmes
- La communication vers le système de supervision ou la téléconduite

Les alimentations de sécurité seront assurées par un chargeur 48 V et des batteries dédiées, garantissant le maintien de la commande et de la surveillance en cas de coupure réseau.

3.5. ORGANES DE RESTITUTION

Les ouvrages de restitution en place seront, dans la mesure du possible, conservés. L'emplacement de la restitution ne sera pas modifié. En cas de reprise éventuelle de la restitution, seules la hauteur et la cote de départ de la conduite pourront être ajustées. Si une modification de l'altitude de restitution devait être envisagée, un différentiel d'au moins 1 mètre entre la matrice inférieure et le niveau de la rivière serait respecté.

Conformément au protocole national ICE (ONEMA) et aux travaux de J.-M. Larinier (1992), la littérature opérationnelle indique que *Salmo trutta* (truite fario) présente des difficultés significatives pour franchir des chutes supérieures à 0,5 m, et qu'une hauteur supérieure à 1,0 m est, en pratique, infranchissable.

Afin de garantir l'absence de remontée de truite, la hauteur de chute minimale retenue est fixée à 1,0 mètre (valeur conservatrice). Si une marge de sécurité supplémentaire est souhaitée pour couvrir des conditions hydrauliques atypiques, cette valeur pourra être portée à 1.2 mètre.

3.6. VANTELLERIE

3.6.1. PRISE D'EAU ET MISE EN CHARGE

a. Vannes de vidange de la retenue

En cas de crue ou d'arrêt de production, l'ouverture des deux vannes murales 1000 x 1000 mm s'effectue manuellement à l'aide d'un cric. Ces vannes permettent d'abaisser ou de stabiliser le niveau d'eau dans la retenue lors des phases de déversement important.

Ces vannes seront approfondies (2000 x 1000 mm) et automatisées dans le cadre de la rénovation.

b. Vanne martellière

Cette vanne permet l'isolement complet de la grille de prise d'eau. Elle est actionnée manuellement grâce à deux crics situés de part et d'autre de la structure.

Cette vanne sera remplacée par une vanne de régulation levante, assurant le maintien du plan d'eau à la cote 1 576.62 m NGF. Elle fera également office de vanne d'isolement de la prise d'eau, garantissant la protection de l'ouvrage en cas de débits entrants trop importants.

c. Vanne de départ de la conduite d'amenée

Vanne murale de dimension 1200 x 1200 mm permettant l'isolement hydraulique de la conduite d'amenée vers le dessableur. Elle assure la mise hors d'eau du canal d'amenée et sécurise les interventions dans l'ouvrage.

2 regards de diamètre 1000 x 1000 mm permettent l'inspection de la conduite d'amenée \varnothing 1000 mm (56 ml).

d. Vanne de la goulotte de dévalaison

Vanne murale manuelle, de dimension estimée à 600 x 800 mm, permettant de régler la lame d'eau dans la goulotte de dévalaison et d'assurer son fonctionnement hydraulique optimal.

e. Vanne d'isolement de la passe à poisson

Cette vanne est manuelle et permet la fermeture de la sortie de la passe à poisson.

f. Vanne de vidange du dessableur

L'ouverture de cette vanne (800 x 800) permet l'évacuation des sédiments accumulés dans le dessableur via une conduite DN800 de 20 ml. Sa manœuvre reste manuelle et s'effectue à l'aide d'un cric. Actuellement, cette vanne assure également la restitution d'une partie du débit réservé.

Après les travaux de rénovation et la restitution intégrale du débit réservé à la prise d'eau, cette vanne n'aura plus qu'une seule fonction : la vidange du bassin du dessableur.

g. Vanne de la conduite bassin de mise en charge → réservoir

Le bassin de mise en charge est séparé du dessableur par un mur équipé d'une grille amovible en partie supérieure. Cette grille possède un espacement inter-barreaux de 10 mm.

Une conduite de diamètre 1200 mm, d'une longueur de 4,7 m et présentant une pente de 10 %, est disposée à 50 cm au-dessus du fond du bassin. Elle assure le transfert de l'eau tranquilisée vers le réservoir. Cette conduite est équipée en tête d'une vanne segment 1200 x 1200 mm, permettant l'isolement et la régulation de l'alimentation du réservoir.

h. Vanne de tête conduite - bassin de mise en charge

Une seconde conduite DN900, équipé d'un reniflard DN400 quitte ce bassin pour rejoindre la conduite principale DN800 qui rejoint l'usine. Cette conduite est équipée en tête d'une vanne 900 x 900 mm.

Dans le cadre des rénovations, cette conduite sera démontée ou définitivement désaffectée. Le projet prévoit en effet la création d'un bassin de mise en charge, en extension directe du réservoir, afin de regrouper en un même ouvrage l'ensemble des fonctions de mise en charge (remplissage, turbinage, sécurité en cas de rupture ou de surpression, etc.) Cette réorganisation permet de centraliser les organes essentiels, de simplifier l'exploitation et d'améliorer la sécurité de l'ouvrage.

i. Vanne de tête conduite - réservoir

Une conduite DN800 (conduite principale) est équipé en tête d'une vanne 800 x 800 mm. Cette vanne est manuelle.

Dans le cadre des rénovations, cette vanne sera remplacée par une vanne de tête 1000 x 1000 mm, conçue pour assurer la sécurité hydraulique de l'aménagement. Cette nouvelle vanne sera :

- Asservie à un débitmètre ou à une palette de survitesse, permettant une fermeture automatique en cas de dépassement du débit nominal ou de dérive anormale des conditions d'exploitation ;
- Équipée d'un contrepoids, garantissant une fermeture gravitaire sûre et rapide en cas de perte d'alimentation électrique ou de dysfonctionnement de la commande ;
- Réarmable manuellement via une pompe à main, offrant la possibilité de rouvrir la vanne après un déclenchement d'urgence, sans nécessiter de moyens mécaniques extérieurs ;
- Dotée d'un dispositif de limitation de vitesse de chute (amortisseur hydraulique) afin de maîtriser la fermeture et d'éviter tout phénomène de coup de bélier ;
- Installée en tête de la conduite de mise en charge, avec une interface de maintenance permettant l'inspection et l'isolement complet de l'ouvrage

Ce dispositif assure :

- La protection de la conduite forcée en cas de rupture aval,
- La sécurisation de la turbine en cas de survitesse ou de perte de charge hydraulique,
- Une exploitation fiable grâce à un organe de sécurité passif (contrepoids),
- Une remise en service simple.

k. Vanne de vidange réservoir

Le réservoir est équipé d'une conduite de vidange de 51 ml et équipé d'une vanne 600 x 600 mm.

3.6.2. CONDUITE FORCEE

a. Ventouses

En plus de la vanne de tête de la conduite forcée, des ventouses sont disposés le long de la conduite.

Ce sont des organes de protection qui permettent l'évacuation et l'entrée d'air. Elles sont placées au point de changement de pente importante. Les piquages sont exécutés sur trois points hauts du tracé de la conduite forcée.

Ces ventouses remplissent trois fonctions :

- Evacuation d'air à grand débit
- Rentrée d'air à grand débit
- Dégazage permanent

Elles sont sectionnables par l'intermédiaire de robinets-vannes \varnothing 100 mm.

Les ventouses sont munies d'un contrôle permettant de vérifier leur bon fonctionnement : évacuation de l'eau.

Après les rénovations, les ventouses seront supprimées et, si nécessaire, remplacées par des dispositifs de protection contre les coups de bélier, adaptés aux nouvelles conditions hydrauliques de la conduite forcée.

b. Canal de Fontchristiane

L'alimentation du canal est assurée par un piquage de 200 mm de diamètre réalisé sur la conduite forcée. Un orifice calibré garantit l'injection correcte du débit dans le canal. En amont de cet orifice, une vanne à boisseau sphérique permet de couper l'alimentation si nécessaire.

Un nouveau piquage sur la nouvelle conduite forcée sera mis en place. La vanne à boisseau sphérique et l'orifice calibré seront remplacés par une vanne permettant un réglage de débit sur la plage 0-150 l/s afin d'ajuster le débit au besoin des irrigants.

c. Vannes de vidanges

La conduite est équipée de deux vannes de vidange \varnothing 200 mm :

- À 300 m à l'aval de la deuxième traversée de la Cerveyrette avant de rejoindre l'ancienne route de Briançon à Cervières.
- Au niveau de l'usine, en bout de conduite forcée. Elle se manœuvre en charge, soit 20 bars, et s'évacue dans un \varnothing 200 mm débouchant à l'amont du canal de fuite (buses \varnothing 1200 mm).



Figure 74 - Ventouse de la conduite forcée



Figure 75 - Vanne de vidange conduite - usine

Une vanne de vidange sera également ajoutée au point bas de 4^{ème} traversée de rivière de la conduite forcée qui en est actuellement dépourvue.

3.6.3. USINE

La turbine Pelton sera équipée d'une vanne de pied, de type papillon PN30 minimum. Cette vanne constitue l'organe principal d'isolement entre la conduite forcée et la turbine. Elle sera dotée d'un joint de démontage permettant de faciliter les opérations de maintenance, l'extraction de la vanne et l'accès à la conduite côté turbine sans nécessiter de dépose complète de la ligne.

La vanne papillon assurera :

- L'isolement hydraulique complet de la turbine lors des interventions ;
- La sécurisation du groupe en cas d'arrêt d'urgence ou de survitesse ;
- Une réactivité de fermeture rapide, indispensable pour protéger l'aménagement en cas d'événement transitoire ;
- Une faible perte de charge, garantissant un fonctionnement optimal du circuit d'alimentation.

Elle sera montée avec ses accessoires de commande (actionneur motorisé, positionneur, organes de sécurité) et intégrée au système de supervision de l'usine. L'ensemble du dispositif répondra aux prescriptions techniques en vigueur pour les ouvrages sous pression en hydroélectricité.

4. GESTION DES TRAVAUX

Remarque : Ce chapitre détaille l'ensemble du chantier, incluant la mise en conformité de la prise d'eau, le remplacement de la conduite forcée et la reconstruction de l'usine.

Programmés sur environ une année calendaire, les travaux seront réalisés lorsque les conditions météorologiques seront favorables et le site accessible sur une durée effective totale d'environ 12 mois.

Pendant la période estivale, afin de maintenir l'alimentation du canal malgré les travaux, une pompe d'une puissance d'environ 15 à 20 kW sera mise en place, assurant un débit suffisant et régulier.

Les travaux seront réalisés en plusieurs phases, en veillant à maintenir la sécurité hydraulique et à limiter les impacts environnementaux :

Phase 1 – Préparation du site (Année N-1 puis N)

- Mise en place des accès chantier et zones de stockage.
- Installation des dispositifs de sécurité (clôtures, signalisation, chemins sécurisés).

Phase 2 – Travaux sur le barrage et la prise d'eau (Année N-1)

- Rehausse des murs de prise.
- Réfection et modification des ouvrages de continuité piscicole.
- Pose des nouvelles vannes et automatismes.
- Electrification et automatisme de la prise d'eau

Phase 3 – Dépose / repose de la conduite forcée (Année N)

- Dévoisement éventuel.
- Démontage de l'ancienne conduite.
- Réalisation des ancrages et protections aval.
- Pose en tronçons, soudure et essais de pression.

Phase 4 – Reconstruction de l'usine (Année N)

- Démolition partielle ou totale du bâtiment existant.
- Réalisation des nouvelles fondations et dalle.
- Montage de la turbine Pelton et auxiliaires.
- Installation des armoires, capteurs et supervision.

Phase 5 – Essais et mise en service (Année N)

- Essais à vide puis en charge.
- Vérification des automatismes de régulation.
- Réglage des débits réservés et d'attrait.
- Contrôle final avec les services instructeurs.

Un **plan de gestion des nuisances** (bruit, turbidité, trafic) sera intégré dans le dossier.

Organisation générale

Les contraintes d'environnement (emprise et phasage des travaux, modalités d'intervention, périodes autorisées, etc.) seront intégrées dans le cahier des charges des entreprises chargées du chantier.

Un **Plan d'Assurance Environnement (P.A.E.)** sera mis en place pour :

- Répertorier toutes les tâches de chantier, leurs impacts sur l'environnement et les dispositions qu'elles imposent aux entreprises et sous-traitants ;
- Réaliser les documents et fiches de suivi indispensables au **Journal Environnement** ;
- Définir clairement les responsabilités et autorités de chacun en matière environnementale ;
- Former le personnel aux bonnes pratiques environnementales.

Le P.A.E. sera rédigé conformément aux pièces du marché, à l'arrêté autorisant les travaux et aux normes et textes de loi en vigueur.

Accès au site, emprise et zone de stockage

L'accès au site se fera par la piste existante sur la **rive droite de la Cerveyrette**.

Un plan de circulation sera établi et diffusé aux entreprises intervenantes

La zone d'installation du chantier pourra être aménagée :

- Au niveau du réservoir
- À la carrière

L'emprise maximale du chantier sera de **2 500 m²**, répartie comme suit :

- 550 m² au niveau de la prise d'eau
- 1 950 m² pour la base de vie et la zone de stockage.

La zone principale de stockage des matériaux (sections de conduite forcée, fourreaux, regards, matériaux) sera réalisée à la carrière :



Figure 76 - Zone de stockage et base de vie

Une zone secondaire de stockage sera réalisée au niveau de la prise d'eau :



5. EXPLOITATION ET MAINTENANCE

5.1. EXPLOITATION GENERALE

Les consignes générales d'exploitation de l'ouvrage du Randon sont décrites dans le document d'exploitation actuel de l'ouvrage « Consigne d'exploitation du barrage du Randon » version P-2018-04 du 18/07/2018.

Ce documents décrit :

- L'ouvrage
- Les modalités de manœuvre des vannes
- Le mode opératoire du fonctionnement des organes
- La surveillance de l'ouvrage
- La passe à poissons et les débits réservés actuels
- La manœuvre du barrage

Cette consigne sera adaptée aux évolutions techniques de l'ouvrage en intégrant en particulier le caractère télépilotable de la prise d'eau.

Le principe de fonctionnement de la vantellerie de cette dernière a été décrit au §3.1.5 du présent document et peut être synthétisé pour les différents régimes de débits ci-après :

Débit D (l/s)	Vanne d'entrée (Vanne martellière inversée, motorisée et régulée)	Vanne barrage 1 (Vanne murale motorisée et régulée)	Vanne barrage 2 (Vanne murale motorisée)	Surverse	Production
$D < D_r + D_{arm}$	Fermée	Fermée	Fermée	Non	Non
$D_r + D_{arm} < D < D_r + 2000$	En régulation	Fermée	Fermée	Non	Oui
$D_r + 2000 < D < 8800$	Ouverte	En régulation	Fermée	Non	Oui
$8800 < D$ et eau claire	Ouverte	En régulation	Ajustée	Possible	Oui
$8800 < D$ et turbidité	Fermée	Ouverte	Ouverte	Possible	Non

D_r : débit réservé, 500 ou 600 l/s en fonction de la période

D_{arm} : débit d'armement du groupe ou débit minimum de turbinage

5.2. GESTION DES CRUES ET CHASSES

5.2.1. GESTION DES CRUES

Sur épisode de crue, l'installation sera arrêtée et mise en sécurité par fermeture de la vanne martellière inversée et de la vanne de passe à poissons.

Les vannes de barrage 1 et 2 seront ouverte permettant le transit des matériaux charriés.

En fin d'épisode, caractérisé par une baisse du débit et une turbidité d'eau acceptable, un contrôle approfondi de la prise d'eau sera réalisé avant remise en exploitation :

- Contrôle visuel du génie civil de l'ouvrage, absence d'embâcle au niveau des vannes de barrage ;
- Contrôle visuel de la passe à poissons, si besoin chasse et nettoyage manuel ;

- Contrôle visuel de la grille d'entonnement, nettoyage si besoin ;
- Remise en eau et contrôle fonctionnel de la passe à poissons en montaison et dévalaison, si besoin chasse et nettoyage manuel ;
- Contrôle fonctionnel du débit réservé ;
- Remise en eau de l'ouvrage et remise en exploitation.

5.2.2. GESTION DES CHASSES

Il n'y a pas d'opération de chasse à proprement parler sur la prise d'eau.

Les vannes de barrage étant régulées ou ajustées en ouverture pour les débits supérieurs à 2800 l/s, la chasse s'effectue en continu pour les débits supérieurs à cette valeur, par chenalisation de la proximité immédiate de la vanne d'entrée.

Des opérations de curages complémentaires n'excédant pas 1000 m³ de matériaux par an peuvent être nécessaires, donnant lieu à un mode opératoire spécifique faisant appel à une pelle mécanique et une demande d'autorisation de travail en cours d'eau.

5.3. MAINTENANCE

Les opérations de maintenance de l'ouvrage seront réalisées :

- Par du personnel formé et habilité à la réalisation de ces opérations ;
- Dans le respect des modes opératoires de mise en sécurité de l'ouvrage et du personnel.

6. GLOSSAIRE

Acronyme	Définition
ASA	Association Syndicale Autorisée
BMC	Bassin de Mise en Charge
CF	Conduite Forcée
CNPN	Conseil National de la Protection de la Nature
DDT	Direction Départementale des Territoires
DN	Diamètre Nominal (exprimé en millimètres)
EDC	Electricité De Cervières
EDSB	Energie Développement Services du Briançonnais
ERC	Eviter, Réduire, Compenser
NGF	Nivellement Général de la France (exprimé en mètres)
PE	Prise d'Eau
OFB	Office Français de la Biodiversité
ONF	Office National des Forêts
SERHY	Société d'Etudes et de Réalisations HYdroélectriques
ZFP	Zone de Frayère Potentielle
ZH	Zone humide
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique