

SAINT ALBAN DES VILLARDS
MISE EN SECURITE DU BARRAGE
DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION D'EXECUTION
DES TRAVAUX DE DEMANTELEMENT DU BARRAGE ET DE
CREATION DU CHENAL

Rédacteurs

Entité	Représentants	Fonction
SHEMA	Aude POINOT	Cheffe de Projets Développement
SHEMA	Jean-Charles GALLAND	Directeur Général

Destinataires

Entité	Représentants	Fonction
DREAL Concession	Isabelle CHARLEMAGNE	Adjointe au chef du pôle Police d'Axe et Concessions Hydroélectriques
DREAL Concession	Cyril BOURG	Chargé de Mission Concessions Hydroélectriques
DREAL OH	Olivier BONNER	Adjoint au chef de pôle Sécurité des Ouvrages Hydrauliques
DREAL OH	Alexandre WEGIEL	Inspecteur Sécurité des Ouvrages Hydrauliques

Référence documentaire : ETU-349B

Les modifications apportées entre la version A et la version B apparaissent en **SURLIGNEES** et correspondent aux modifications apportées sur le chenal suite au retour de l'expert ETRM sur ce sujet. Les modifications apportées permettent de réduire les impacts sur le milieu.

CONFIDENTIEL

Table des matières

Préambule	7
1. Règlementation applicable.....	9
2. Enjeux et objectifs du dossier.....	10
2.1. Enjeux présentés par les travaux de mise en sécurité	10
2.1.1. En phase travaux	10
2.1.2. Après les travaux	11
2.2. Objectifs du dossier	11
3. Les données d’entrées.....	11
4. Identification du pétitionnaire	13
4.1. Maître d’ouvrage.....	13
4.2. Maître d’œuvre	13
4.3. Qualification de la maîtrise d’œuvre.....	14
5. Localisation du projet.....	15
6. Présentation de l’opération	16
6.1. Etat actuel.....	16
6.2. Démantèlement du barrage	20
6.2.1. Dépose des organes et équipements.....	20
6.2.2. Protection de la conduite forcée.....	21
6.2.3. Démantèlement du barrage	22
6.2.4. Démolition du génie civil.....	23
6.2.5. Dépose de la conduite forcée.....	23
6.3. Création du chenal	23
6.3.1. Dimensionnement du chenal	23
6.3.2. Configurations des protections de berge.....	25
6.3.3. Prescriptions constructives des protections en enrochements.....	32
6.3.4. Synthèse des modifications apportées au chenal.....	33
6.4. Ouvrages complémentaires	36
6.4.1. Conduite forcée complémentaire raccordée à la conduite existante.....	36
6.4.2. By-pass pour la maintenance de la prise d’eau optimisée.....	36
7. Précautions générales	37
8. Phasage de l’opération et analyse de risque.....	39
8.1. Planning global de l’opération	39
8.1.1. Echéances réglementaires et contraintes du site	39
8.1.2. Synthèse et définition de la période propice aux travaux	44
8.1.3. Planning global de l’opération.....	45
8.2. Description des phases.....	46

8.2.1. Consignation de l’ouvrage.....	46
8.2.2. Démantèlement de l’ouvrage	47
8.2.3. Réalisation du chenal	49
8.2.4. Mouvement des terres.....	53
8.3. Analyse de risque	57
9. Du 1 ^{er} octobre 2025 au 30 novembre 2026	63
10. Cartographies	64
11. Impacts environnementaux	64
11.1. Enjeux du site	64
11.1.1. Zonages environnementaux.....	64
11.1.2. Fonctionnement hydromorphologique.....	66
11.1.3. Peuplement piscicole	67
11.1.4. Peuplement macro invertébrés.....	67
11.1.5. Continuité écologique	67
11.1.6. Milieux terrestres	68
11.1.7. Nuisances sonores.....	68
11.1.8. Nuisances poussières	68
11.1.9. Synthèse des enjeux environnementaux	69
11.2. Impacts pendant et après travaux.....	71
11.2.1. Généralités	71
11.2.2. Effets temporaires – En phase travaux	71
11.2.3. Effets permanents – après les travaux.....	72
11.3. Mesures ERC : Eviter, Réduire, Compenser.....	72
11.3.1. Eviter.....	73
11.3.2. Réduire	73
11.3.3. Compenser	73
12. Coûts de l’opération.....	74
13. Annexes	75
13.1. Annexe 1 : Pièce n°6 - Etude hydraulique et sédimentaire de la prise de La Chal (version provisoire) – Août 2023 - ETRM	75
13.2. Annexe 2 : Pièce n°12 - Investigations géotechniques et analyses physico-chimiques – Août 2023 – PYRITE et SOCOR	75
13.3. Annexe 3 : Phasage des travaux de mise en sécurité de l’ouvrage.....	75
13.4. Annexe 4 : Localisation des travaux au 1/25 000.....	75
13.5. Annexe 5 : Détermination de la probabilité d’occurrence du risque de survenance d’un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.....	75
13.6. Annexe 6 : Analyse de l’efficacité du dispositif d’alertes météorologiques depuis 2019.	75

Table des illustrations

Figure 1: Localisation du projet- carte au 1/25000e - IGN Géoportail.....	15
Figure 2: carte de l’emprise estimée des travaux et parcelles cadastrales concernées	16
Figure 3: Localisation du barrage et sa retenue sur la commune de Saint-Colomban-des-Villards-hameau de la Chal - Géoportail.....	17
Figure 4: Plan (vue de dessus) du barrage, de la prise d’eau et des ouvrages associés – plan EDF-CIH, 2000.....	17
Figure 5: Photographie de la retenue d'eau et de la prise d’eau - Hydrostadium le 13/11/2024.....	18
Figure 6: Vue en plan du génie civil de la prise d’eau de la Chal – plan EDF-CIH, 2002.....	18
Figure 7: Vue en coupe de la prise d’eau avec : en rouge, le clapet de surface ; et en orange, la vanne de fond) - plan EDF-CIH, 2000	19
Figure 8: Vue en coupe du barrage et des dispositions constructives – plan EDF-CIH, 2000	20
Figure 9: Vue en plan du pertuis du barrage et d’une partie des équipements de la prise d’eau – plan EDF-CIH, 2000.....	21
Figure 10: Localisation du regard avec coupure de la conduite forcée et mise en place d’un fond plein	22
Figure 11: Profil en long du chenal sur axe rive gauche.....	24
Figure 12: Schéma explicatif de la chute créée pour la réalisation de la prise d'eau optimisée	25
Figure 13: Sectorisation des configurations du chenal	26
Figure 14: Reprofilage du lit - chenal amont.....	26
Figure 15: Illustrations de l'état existant des berges du Glandon en aval immédiat du pont communal (Hydrostadium, Novembre 2024)	27
Figure 16: Schéma de la protection rive gauche à la confluence Tepey-Glandon	28
Figure 17: Illustration de l'épi à réaliser en rive droite pour ramener les écoulements vers le lit du Glandon et de la forme d'entonnoir souhaitée	29
Figure 18: Coupe type du chenal sur le secteur médian	29
Figure 19: Secteur médian 2 avec emprise de la prise d'eau optimisée	30
Figure 20: Schéma explicatif sur l'ancrage du radier du chenal sous le fond du lit du Glandon dans le secteur aval	31
Figure 21: Coupe type du chenal sur le secteur aval.....	31
Figure 22: Exutoire du chenal sans protection permettant une libre évolution du lit	32
Figure 23: Conduite de by-pass en bleue, passant entre le chenal et la banquetta (représentée en jaune) en rive gauche	36
Figure 24: Température moyenne mensuelle et niveau de pluie moyen mensuel à Saint-Colomban-des-Villards - Source Meteoblue, étude 2024.....	40
Figure 25: Nombre de jours moyen mensuel de gel et de température comprise entre -18°C et +4°C à Saint-Colomban-des-Villards - Source Meteoblue, étude 2024.....	40
Figure 26: Courbe des débits moyens mensuels au droit de l'aménagement sur le Glandon - source EDF-DTG, étude 2024	41
Figure 27: Courbe des débits classés au droit de l'aménagement sur le Glandon - source EDF-DTG, étude 2024	41

Figure 28: Histogramme de répartition des événements hydromorphologiques remarquables entre 1994 et 2024, d’après les observations.....	43
Figure 29: Localisation de la déconnexion avec la conduite forcée existante	47
Figure 30: Localisation de la déconnexion avec la conduite forcée existante	47
Figure 31: phase n°1a de démantèlement du barrage et de la prise d’eau associée, crête	48
Figure 32: phase n°1b de démantèlement du barrage et de la prise d’eau associée	48
Figure 33: phase n°2a de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée.....	48
Figure 34: phase n°2b de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée	48
Figure 35: phase n°3a de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée.....	49
Figure 36: phase n°3b de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée	49
Figure 37: phase n°1 de création du chenal : réalisation du chenal provisoire de dérivation.....	50
Figure 38: phase n°2 de réalisation du chenal : basculement du lit du Glandon dans le chenal provisoire	50
Figure 39 : phase n°3 de réalisation du chenal : réalisation du chenal définitif dans le secteur médian	51
Figure 40: protection amont au droit du Tepey après basculement du lit- pose de la conduite de by-pass et terrassement de la banquette	51
Figure 41: réalisation du chenal partie amont de la confluence entre le Tepey et le Glandon.....	52
Figure 42: travaux sur la rive gauche du chenal amont	52
Figure 43: Vue depuis la rive gauche du torrent du Glandon de la plateforme principale de stockage provisoire en rive droite – HSM, novembre 2024.....	53
Figure 44: cartographie de principe de réinjection des matériaux (ISL, 2021)	55
Figure 45: Extrait du protocole ISL [8].....	57
Figure 46: Carte de la ZNIEFF de type 1 englobant la zone travaux.....	65
Figure 47: Carte de la ZNIEFF de type 2 englobant la zone de travaux.....	65
Figure 48: Le Glandon en amont immédiat de l’ouvrage.....	66
Figure 49 : Vue du Glandon depuis la retenue.....	66
Figure 50: La Glandon au droit du pont communal	66
Figure 51: Dépôt sédimentaire en aval de l’ouvrage	66
Figure 52: Extrait de l'arrêté préfectoral du 10 décembre 2013 sur les nuisances sonores.....	68

Table des tableaux

Tableau 1: Rubriques de la nomenclature "Eau"	9
Tableau 2: Synthèse des modifications apportées au chenal par rapport à la version initiale du dossier	35
Tableau 3 : Récapitulatif des données météorologiques entre novembre et mars	39
Tableau 4: Récapitulatif des débits de crue liquide	42
Tableau 5: Synthèse des contraintes du site et identification de la période propice aux travaux	44
Tableau 6: Analyse de risque du décalage des travaux de mise en sécurité	57
Tableau 7: Synthèse des enjeux environnementaux	69
Tableau 8: Synthèse des impacts en phase travaux.....	72
Tableau 9: Synthèses des impacts après travaux.....	72
Tableau 10: Coûts globaux de l'opération.....	74

PREAMBULE

La centrale de Saint Alban des Villards a été concédée à FHYT le 26 octobre 1999 par arrêté préfectoral. L'aménagement a été mis en service en 2003.

Le règlement d'eau a été modifié par arrêté préfectoral le 02 juin 2006.

FHYM s'est substituée à FHYT par arrêté préfectoral du 25 novembre 2008 et SHEMA s'est substituée à FHYM par arrêté préfectoral du 26 décembre 2017.

La retenue de la Chal existe donc depuis plus de 20 ans. Plusieurs événements hydromorphologiques sont survenus dans le torrent du Glandon et ont conduit les services de l'Etat à solliciter des études complémentaires à SHEMA sur son ouvrage :

- La crue du 08 août 2017, avec débordements en queue de retenue mais sans incidence sur les tiers, a conduit la DREAL à demander à SHEMA une étude sur le transport solide. Ladite étude a été transmise le 19 juillet 2018 et a été complétée le 19 novembre 2018 suite à plusieurs échanges avec les services de l'Etat. Les débordements à l'amont ont été générés par la présence d'embâcles au niveau du pont des moulins et les débordements à l'aval ont été provoqués par la présence d'une quantité importante de matériaux dans la retenue.
- Une lave torrentielle, qualifiée plus tard d'exceptionnelle, a eu lieu le 05 août 2018. Cet événement a conduit à des débordements importants au niveau du pont communal, mis en charge par des embâcles, et à des débordements très légers en rive droite du barrage.
- Suite à cet événement, la préfecture a pris un arrêté (SPR NH-POH-18-0912-AW) en date du 12 décembre 2018 pour demander la réalisation d'un diagnostic de l'ouvrage et la modification des conditions d'exploitation du barrage (mesures transitoires).
- La note sur les mesures transitoires a été fournie par SHEMA le 28 février 2019, le diagnostic l'a été le 17 octobre 2019 et SHEMA a également fourni une étude complémentaire sur le transport sédimentaire présentant en particulier diverses solutions.

Sur la base de ces éléments, de multiples échanges ont eu lieu entre SHEMA et les services de l'Etat sur la qualification du risque et l'étude de solutions : 9 réunions ont eu lieu entre janvier 2020 et janvier 2023.

La préfecture a ensuite présenté à SHEMA un arrêté préfectoral de mise en sécurité du barrage prescrivant des travaux ne permettant plus l'entonnement de l'eau donc a fortiori la production d'électricité. SHEMA a fait part de son désaccord sur ces prescriptions, et a en particulier présenté des arguments démontrant l'impossibilité de respecter les délais imposés dans le projet d'arrêté. L'arrêté SPR NH-POH-23-0162-AW a malgré tout été pris par la préfecture de la Savoie le 28 mars 2023 ([1]). SHEMA a déposé un recours gracieux puis un recours contentieux respectivement le 24 mai et le 21 juillet 2023 sur la nature inappropriée des travaux prescrits, l'infaisabilité des délais, et le déséquilibre économique induit par de telles prescriptions.

Entre le 04 mai 2023 et aujourd'hui, SHEMA et les services de l'Etat ont réalisé 5 réunions d'avancement sur les sujets à la fois de qualification du risque, de sécurisation du site, et de pérennisation de la production d'énergie. SHEMA a en particulier présenté les nombreuses contraintes inhérentes au site et la grande difficulté à qualifier le phénomène de lave torrentielle, générant un temps d'étude particulièrement long pour aboutir à une solution efficace et pérenne.

Le 12 juin 2024, SHEMA a présenté plusieurs solutions aux services de l'Etat et attendait leur positionnement quant à la possibilité d'étudier plus en profondeur certaines d'entre-elles (voir annexe de la note technique de présentation des solutions de prise d'eau [5]). Sans réponse, aucune solution n'a pu être choisie avant le 30 juin 2024 par les parties, ce qui a conduit à l'impossibilité de déposer le

dossier de demande d'autorisation pour les travaux de mise en sécurité avant la date butoir prescrite à l'article 2 de l'arrêté [1].

SHEMA a, par ailleurs, réalisé une note technique en date du 29 juillet 2024, présentant les différentes solutions de prise d'eau et les contraintes liées au site, et a demandé aux services de l'Etat de se positionner sur les paramètres dimensionnants et les principes à retenir dans l'élaboration du futur ouvrage. A ce jour, SHEMA n'a pas eu de retour des services de l'Etat sur cette note.

Une réunion en préfecture s'est tenue le 12 septembre 2024, à l'issue de laquelle la préfecture a adressé à SHEMA un procès-verbal de manquement administratif le 19 septembre 2024 exigeant le dépôt du dossier de demande d'autorisation pour les travaux de mise en sécurité au plus tard le 30 novembre 2024. **Il s'agit du présent dossier.**

Lors de cette réunion, la préfecture a également demandé à SHEMA de qualifier la tenue du barrage au risque de lave torrentielle et de présenter des solutions alternatives à la création d'un nouvel ouvrage, le classement du cours d'eau en liste 1 et réservoir biologique étant un frein légal à la création d'une nouvelle prise d'eau telle que demandée par les services de l'Etat.

Les études demandées par la préfecture nécessitent du temps et des ressources spécifiques pour traiter de sujets pour lesquels il n'existe ni référentiels ni exigences réglementaires. Elles ne peuvent être prises en charge en parallèle à la réalisation du dossier de demande d'autorisation d'exécution de travaux de mise en sécurité du barrage, que SHEMA n'a pas été en mesure de réaliser auparavant, ainsi qu'indiqué ci-dessus. SHEMA fera son possible pour produire ces études d'ici le mois de janvier, mais elles pourraient demander des délais supplémentaires pour être réalisées.

SHEMA déposera également en début d'année 2025, un dossier de demande d'autorisation pour la modernisation de la prise d'eau. Le présent dossier tient compte des éléments de construction nécessaires à cet ouvrage.

1. REGLEMENTATION APPLICABLE

Les travaux nécessaires pour respecter l'arrêté préfectoral de mise en sécurité du barrage [1] sont soumis à la réglementation Loi sur l'eau et aux rubriques de la nomenclature « Eau » en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement :

Tableau 1: Rubriques de la nomenclature "Eau"

Rubrique	Intitulé	Régime	Justifications
3.1.1.0	<p>Installations, ouvrages, remblais et épis, dans le lit mineur d'un cours d'eau, constituant :</p> <p>1° Un obstacle à l'écoulement des crues (A)</p> <p>2° Un obstacle à la continuité écologique :</p> <p>a) Entraînant une différence de niveau supérieure ou égale à 50 cm, pour le débit moyen annuel de la ligne d'eau entre (A) l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation</p> <p>b) Entraînant une différence de niveau supérieure à 20 cm mais inférieure à 50 cm pour le débit moyen annuel de la ligne (D) d'eau entre l'amont et l'aval de l'ouvrage ou de l'installation</p> <p><i>Au sens de la présente rubrique, la continuité écologique des cours d'eau se définit par la libre circulation des espèces biologiques et par le bon déroulement du transport naturel des sédiments</i></p>	Autorisation	<p>Seuil de 2,50m créé dans le chenal pour l'accueil de la prise d'eau optimisée</p> <p>Autorisation</p>
3.1.4.0	<p>Consolidation ou protection des berges, à l'exclusion des canaux artificiels, par des techniques autres que végétales vivantes :</p> <p>1° Sur une longueur supérieure ou égale à 200 m (A)</p> <p>2° Sur une longueur supérieure ou égale à 20 m mais inférieure à 200 m (D)</p>	Autorisation	<p>Réalisation d'un chenal avec protection de berges en enrochements libres et bétonnés sur un linéaire de 2 fois 270 m</p> <p>Autorisation</p>
3.1.5.0	<p>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</p>	Déclaration	<p>Aucune zone de frayères observée mais possible zone de croissance ou d'alimentation</p> <p>Déclaration</p>

	d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet " : 1° Destruction de plus de 200 m ² de frayères (A) 2° Dans les autres cas (D)		
--	---	--	--

Les travaux sont donc soumis à **autorisation** au titre de la loi sur l'eau.

2. ENJEUX ET OBJECTIFS DU DOSSIER

Les travaux de démantèlement du barrage et de construction du chenal présentent divers enjeux qui sont en grande partie directement dépendants des spécificités du site :

2.1. ENJEUX PRESENTES PAR LES TRAVAUX DE MISE EN SECURITE

2.1.1. En phase travaux

➤ **La santé et la sécurité des travailleurs :**

L'hydrologie et la météorologie du site contraignent fortement les travaux. En effet, la température, le gel, la neige et les hauts débits empêchent de travailler une grande partie de l'année. La santé et la sécurité des travailleurs, ainsi que la sureté des ouvrages provisoires sera une priorité pendant les travaux.

➤ **Les impacts environnementaux :**

L'étude environnementale réalisée en 2024 [13] montre l'absence d'enjeu piscicole sur cette portion du Glandon. En effet, ce torrent étant soumis à de violents et nombreux évènements hydromorphologiques, il n'est pas propice au développement d'une vie piscicole ni même à son maintien. Les impacts des travaux sur la vie aquatique seront donc limités. Afin de préserver l'environnement proche et aval, des dispositions seront mises en œuvre pour limiter les impacts potentiels (limitation de l'emprise des travaux, nettoyage des engins, réalisation au maximum de travaux hors d'eau etc.)

➤ **Les nuisances :**

De tels travaux vont générer du bruit et de la poussière. La période propice aux travaux étant très limitée, une partie de l'été sera concerné par les travaux, entraînant des nuisances pour le voisinage. Cet impact sera limité au maximum, mais il doit s'apprécier au regard du planning très contraint de l'opération.

➤ **La limitation de la perte de production :**

Pour rappel, la centrale hydroélectrique de Saint-Alban-des-Villard a une puissance électrique de 8 350 kW, et permet de produire 30 000 000 kWh d'électricité décarbonée par an, soit l'équivalent de la consommation électrique de 15 000 personnes (35% des besoins électriques des Mauriennais).

Les travaux de démantèlement du barrage actuel, de construction du chenal et de réalisation de la prise d'eau optimisée doivent être réalisés de sorte à limiter l'arrêt de chute, afin de limiter au mieux la perte de production d'électricité verte en Maurienne.

2.1.2. Après les travaux

➤ **Les fonctionnalités des ouvrages réalisés :**

Les ouvrages réalisés doivent permettre le transit des évènements hydromorphologiques dimensionnants (voir [5]) tout en pérennisant l’outil de production d’électricité décarbonée. Cette première phase d’intervention doit être adaptée à la seconde phase qui consistera en l’implantation de la prise d’eau optimisée.

➤ **L’intégration paysagère des ouvrages réalisés :**

Les ouvrages réalisés doivent s’insérer au mieux dans leur environnement proche, en particulier parce qu’ils sont situés à proximité d’habitations (essentiellement des résidences secondaires occupées en période estivale).

2.2. OBJECTIFS DU DOSSIER

Afin de répondre aux exigences de l’arrêté préfectoral [1] et du procès-verbal de manquement administratif [2], SHEMA a réalisé le présent dossier. L’objectif de celui-ci est de présenter :

- L’opération de démantèlement du barrage actuel et de création du chenal, tels que prescrits dans l’arrêté préfectoral [1], et en cohérence avec les travaux de prise d’eau optimisée ;
- Le phasage et le planning de ladite opération ;
- L’analyse de risque lié au planning précité ;
- Les impacts environnementaux de l’opération ;
- Les coûts.

La partie technique a été étudiée par HYDROSTADIUM, appuyé par le bureau d’étude ETRM (spécialisé en écoulement torrentiel), sur la base des informations fournies par SHEMA et des diverses études réalisées auparavant. Le volet environnemental a été réalisé par le bureau d’études ECCEL Environnement.

3. LES DONNEES D’ENTREES

Les données d’entrée utilisées pour la rédaction du présent dossier sont les suivantes :

Numéro	Titre	Producteur	Date	Auteurs
Données réglementaires				
1	Arrêté préfectoral SPRNH-POH-23-0162-AW- mise en sécurité du barrage de la Chal	Préfecture de Savoie	28/03/2023	DREAL Auvergne Rhône Alpes
2	Procès-verbal de manquement administratif	Préfecture de Savoie	19/09/2024	DREAL Auvergne Rhône Alpes
3	Arrêté préfectoral portant autorisation pluriannuelle de travaux de réinjection sédimentaire	Préfecture de Savoie	15/07/2021	DREAL Auvergne Rhône Alpes

4	Arrêté préfectoral SPRNH-POH-19-0421-AW définissant les mesures transitoires d'exploitation du barrage de prise d'eau de la Chal	Préfecture de Savoie	14/05/2019	DREAL Auvergne Rhône Alpes
Etudes antérieures				
5	Note technique de présentation des solutions de prise d'eau	SHEMA	29/07/2024	SHEMA
6	Etude hydraulique et sédimentaire de la prise de La Chal (version provisoire)	SHEMA	Août 2023	ETRM
7	Etude de stabilité et diagnostic sureté du barrage de la Chal, rapport 18F-225-RL-1 revC	SHEMA	15/10/2019	ISL
8	Protocole de réinjection sédimentaire, rapport 18F-225-RL-4 rev H	SHEMA	30/07/2019	ISL
Données topographiques/bathymétriques				
9	Levé photogrammétrique de la retenue de la Chal- Modèle Numérique de terrain- relevé de terrain d'avril 2023	SHEMA	Avril 2023	VR3D
Plans				
10	Plans des ouvrages de l'existant (plans BPE) vues en plan et vues en coupes N° IH STAL D : - 30 1000 1 à 3 HGB-B - 30 2000 1 à 3 HGB-B - 30 3000 1, 2, 4 et 14 HGB-B	SHEMA	2000 et 2002	EDF
Données géotechniques/physico-chimiques				
11	Saint-Alban barrage Reconnaissances géotechniques caractérisation des matériaux	SHEMA	Juillet 2019	GINGER CEBTP
12	Investigations géotechniques et analyses physico-chimiques	SHEMA	Août 2023	PYRITE ingénierie / SOCOR analyse environnementale

Données environnementales- études				
13	Note de synthèse – Analyse des enjeux piscicoles sur le Glandon à hauteur du barrage de la Chal (73)	SHEMA	Juin 2024	ECCEL Environnement
Données foncières				
14	Plan topographique- emprises travaux- SHEMA	SHEMA	10/2018	SARL Jacquinot- géomètre expert

L'ensemble des pièces précitées, en dehors de la [6] et de la [12] (étude torrentielle ETRM et investigations géotechniques PYRITE), ont déjà toutes été transmises aux services de l'Etat. Les pièces 6 et 12 se trouvent respectivement en Annexe 1 : Pièce n°6 - Etude hydraulique et sédimentaire de la prise de La Chal (version provisoire) – Août 2023 - ETRM ; et Annexe 2 : Pièce n°12 - Investigations géotechniques et analyses physico-chimiques – Août 2023 – PYRITE et SOCOR ; du présent dossier.

4. IDENTIFICATION DU PETITIONNAIRE

4.1. MAITRE D'OUVRAGE

Raison sociale : SHEMA – Société Hydraulique d'Etudes et de Missions d'Assistance

Service en charge du dossier : Equipement développement

Adresse : 35-37 Rue Louis Guérin 69100 VILLEURBANNE

Code SIREN : 562 122 620

Code NAF : 3511Z

Nom et qualité du responsable du dossier : Aude POINOT, cheffe de projets développement

Courriel : aude.poinot@edf.fr

Téléphone : 06.49.79.42.55

4.2. MAITRE D'ŒUVRE

Raison sociale : HYDROSTADIUM

Adresse : 22 Avenue des Vieux Moulins 74000 ANNECY

Code SIREN : 438 289 662

Code NAF : 7112B

Nom responsable chantier : Aurélien MERLO

Courriel : aurelien.merlo@hydrostadium.fr

Téléphone : 07.61.67.32.82

4.3. QUALIFICATION DE LA MAITRISE D’ŒUVRE

Agrément de la maîtrise d’œuvre en tant qu’organisme intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques :

9 août 2022 JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Texte 29 sur 94

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES

Arrêté du 3 août 2022 portant agrément de la société HYDROSTADIUM en tant qu’organisme intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques

NOR : TREP2139033A

Le ministre de la transition écologique et de la cohésion des territoires,
 Vu le code de l’environnement, notamment ses articles L. 211-3 et R. 214-129 à R. 214-132 ;
 Vu l’arrêté du 15 novembre 2017 précisant les catégories et les critères des agréments des organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que l’organisation administrative de leur délivrance ;
 Vu le dossier de demande d’agrément du 18 février 2022 déposé par la société HYDROSTADIUM, complété par l’envoi du 1^{er} juin 2022,

Arrête :

Art. 1^{er}. – En application de l’arrêté du 15 novembre 2017 susvisé, la société HYDROSTADIUM (numéro SIREN 438 289 662) est titulaire de l’agrément suivant :

Dénomination de l’agrément	Agrément valable jusqu’au
Barrages de classe C et digues – études et diagnostics	31 juillet 2030
Barrages de classe C et digues – études, diagnostics et suivi des travaux	31 juillet 2030

Art. 2. – Le directeur général de la prévention des risques est chargé de l’exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 3 août 2022.

Pour le ministre et par délégation :
L’adjoint au directeur général de la prévention des risques,
 P. SOULÉ

LISTE DES ORGANISMES AGRÉÉS EN TANT QU’INTERVENANTS POUR LA SÉCURITÉ DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Type d’agrément :
 1 : digues et barrages – études et diagnostics
 2 : digues et barrages – études, diagnostics et suivi des travaux
 3 : barrages de classe C et digues – études et diagnostics
 4 : barrages de classe C et digues – études, diagnostics et suivi des travaux

5 : assésation - tous barrages
 6 : assésation - barrages de classe C
 7 : EOD de conduites forcées

Date du dernier arrêté portant agrément : 18/01/2024
 Date de publication de cet arrêté au Journal Officiel : 26/01/2024

N° agrément	Nom de l’organisme	Identifiant	Date du dernier arrêté portant agrément de l’organisme	Date de publication au JO du dernier arrêté	Date de validité de l’agrément								
					1	2	3	4	5	6	7		
58	HYDROSTADIUM	SIREN 438 289 662	03/08/2022	09/08/2022				31/07/2030	31/07/2030				

5. LOCALISATION DU PROJET

Les travaux concernent la centrale de Saint Alban des Villards, implantée en Maurienne (Savoie – 73), objet d’une concession hydroélectrique.

Les travaux concernent en particulier le barrage prise d’eau situé sur la commune de Saint-Colomban-des-Villards (code ROE26768). Les travaux se font exclusivement sur cette commune, et les accès se font depuis les routes départementales et communales.

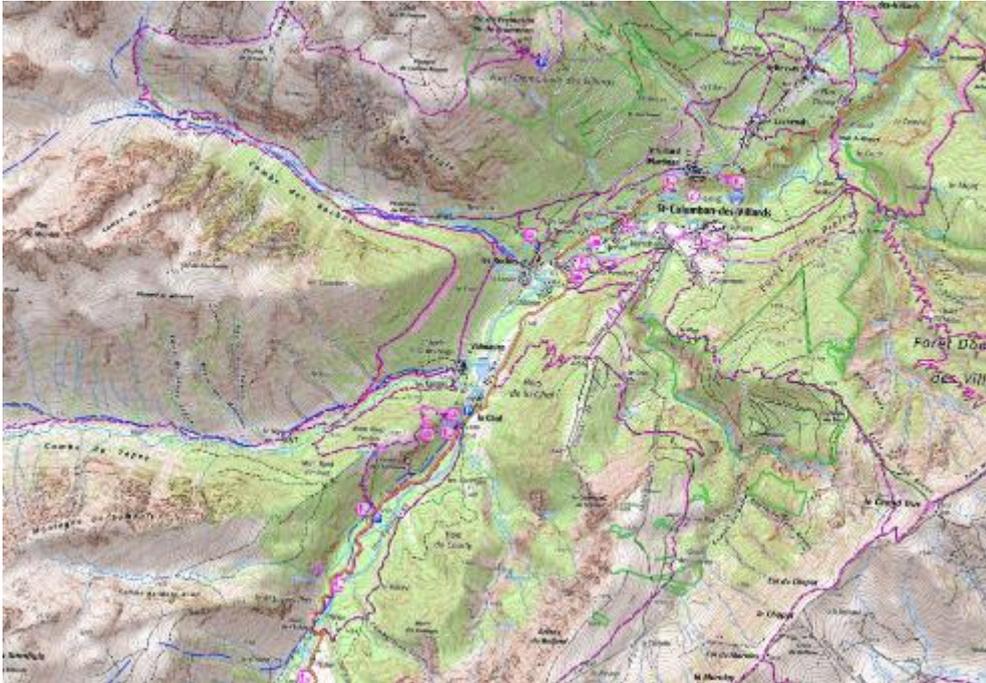


Figure 1: Localisation du projet- carte au 1/25000e - IGN Géoportail

Les travaux, matérialisés en orange ci-dessous, concernent essentiellement le domaine concédé :



Figure 2: carte de l’emprise estimée des travaux et parcelles cadastrales concernées

Certains travaux dépassent le domaine concédé puisqu'ils ont lieu à l’amont de la confluence avec le Tepey et jusqu'au pont communal. L'emprise précise des travaux est encore en cours de détermination. Si ceux-ci impactent des parcelles de propriétaires privés, ces-derniers seront contactés par SHEMA pour obtenir leur accord préalable dans le cadre de l’application de l’arrêté préfectoral [1].

6. PRESENTATION DE L’OPERATION

6.1. ETAT ACTUEL

Sont présentés ci-dessous les ouvrages actuels du barrage (appelé barrage de La Chal) à Saint-Colomban-des-Villards (73, Savoie) :



Figure 5: Photographie de la retenue d'eau et de la prise d'eau - Hydrostadium le 13/11/2024

A noter qu’une partie du fond de la retenue dispose de protections en enrochements mais également en matériaux traités. Des dispositifs de drainage sont également présents ainsi qu’un piège à cailloux.

La prise d’eau est en béton armé. Son radier, en béton armé également, a fait l’objet de réparations à base d’abracroc, un mortier de réparation.

L’entonnement amont est représenté par deux voiles d’une longueur de 20 à 30 m environ, de type mur en L. A l’aval, deux voiles sont présents également jusqu’à la fin du radier. Une bêche para fouille sur 3m de hauteur vient protéger le génie civil de l’affouillement.

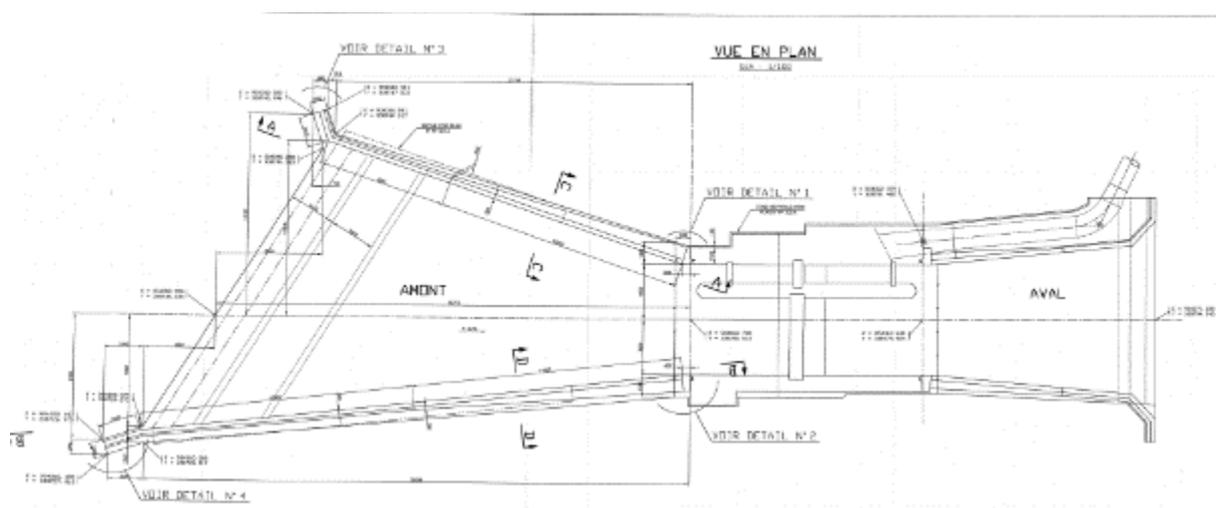


Figure 6: Vue en plan du génie civil de la prise d’eau de la Chal – plan EDF-CIH, 2002

Les principaux équipements présents sur la prise d'eau sont les suivants (liste non exhaustive) :

- Clapet de surface,
- Vanne de fond,
- Vanne de débit réservé,
- Vannes de dégravage amont et aval,
- Vanne de tête,
- Plan de grille,
- Dégrilleur,
- Batardeaux,
- Tôles acier de protection,
- Dispositifs de mesure de niveau, de turbidité et de pluviométrique avec systèmes de protection,
- Etc.

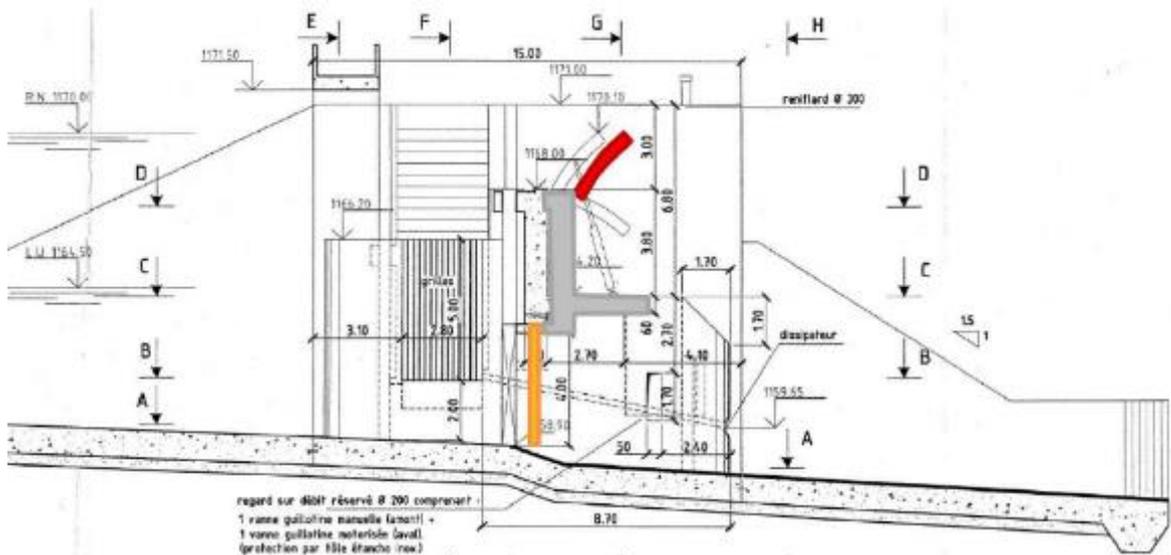


Figure 7: Vue en coupe de la prise d'eau avec : en rouge, le clapet de surface ; et en orange, la vanne de fond) - plan EDF-CIH, 2000

Globalement, le barrage est composé des matériaux suivants :

- Remblai majoritaire en graves sableuses : matériau 0/40,
- Matériau drainant en 5/20 disposé en tranchée,
- Butée de pied en enrochements,
- Complexe d'étanchéité avec géomembranes, géotextiles,
- Drains PVC et autres matériaux.

Des travaux de confortement ont été réalisés avec la mise en œuvre sur le parement amont du barrage de matelas Reno (matelas gabions) sur une surface d'environ 3500m².

Le démantèlement nécessitera un tri important des matériaux afin de les réutiliser sur site et/ou de les faire valoriser par les entreprises.

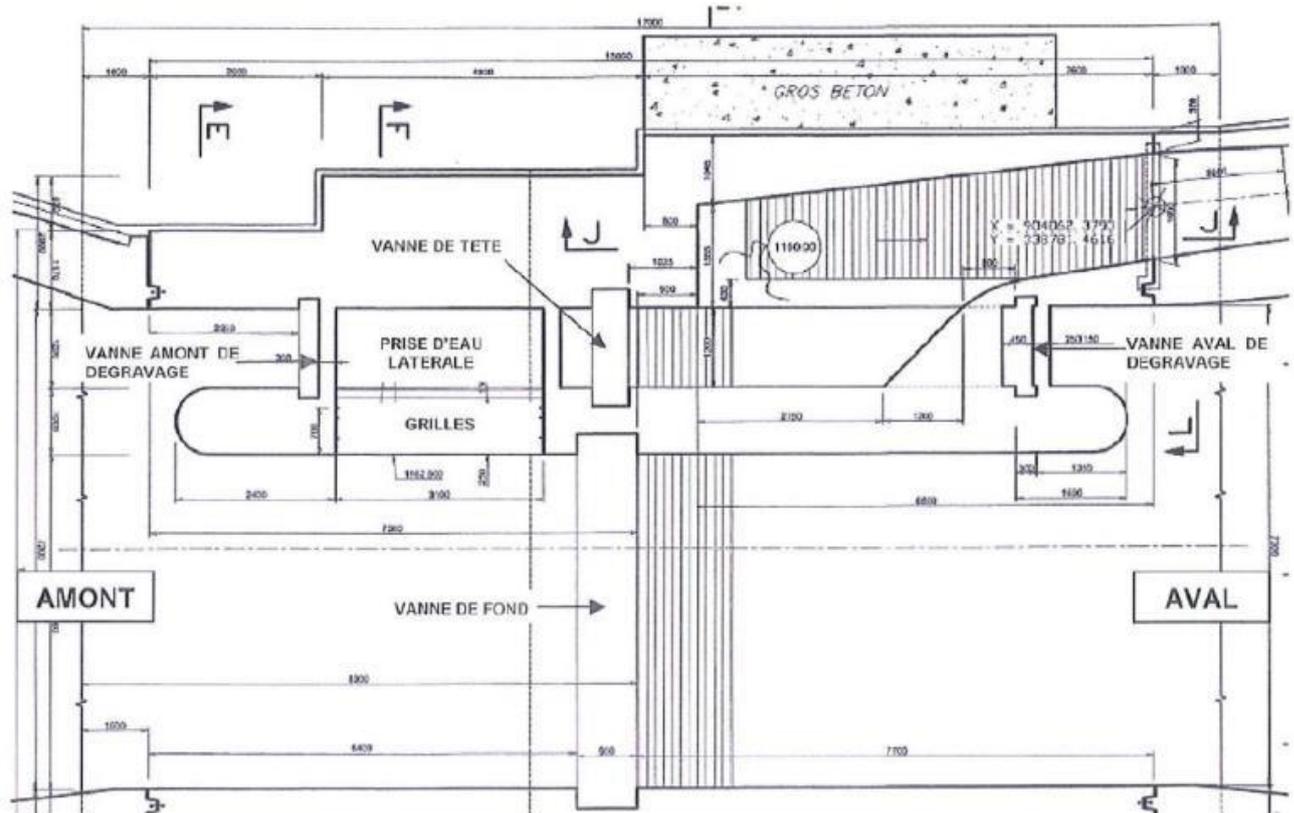


Figure 9: Vue en plan du pertuis du barrage et d’une partie des équipements de la prise d’eau – plan EDF-CIH, 2000

Une vigilance accrue en phase travaux devra être apportée lors de la vidange des circuits hydrauliques. Toutes les dispositions seront prises pour qu’aucune fuite ne s’écoule vers le milieu naturel (bacs de rétention, filtres et boudins absorbants, ...). Les mesures sont précisées dans le paragraphe 11.3.2.

Les matériaux non valorisables seront stockés dans des bennes à déchets après tri et évacués vers des centres de traitement.

6.2.2. Protection de la conduite forcée

La conduite forcée sera protégée d’éventuels déchets qui pourraient glisser à l’intérieur lors des travaux de démantèlement.

Un regard sera réalisé sur la conduite forcée en aval du barrage dans un secteur qui ne sera pas modifié dans le cadre des travaux et sur du foncier appartenant à SHEMA (parcelle R-824).



Figure 10: Localisation du regard avec coupure de la conduite forcée et mise en place d'un fond plein

Un trou d'homme est déjà existant à cet emplacement.

La conduite sera mise à l'air libre puis découpée. Le départ vers l'usine sera bouché par une planche de coffrage bloquée par un bloc LEGO, ou éventuellement par un fond plein en acier.

A noter qu'il faut que la conduite ne puisse plus être accessible par des tiers et éviter tout risque d'entrée de matériaux à l'intérieur.

Un regard sera réalisé autour de la conduite pour permettre par la suite son raccordement avec la conduite provenant de la prise d'eau optimisée.

6.2.3. Démantèlement du barrage

Une première étape de démantèlement consistera à créer une brèche dans le barrage de part et d'autre de la prise d'eau.

Les travaux seront réalisés depuis la crête vers le pied de l'ouvrage avec :

- Démolition des revêtements de surface et évacuation ;
- Déblai et tri des matériaux ;
 - ➔ L'objectif est de pouvoir réutiliser une partie des matériaux présents sur site (matériau drainant 5/20, 0/40, etc.),
 - ➔ Les matériaux non valorisables seront mis en benne et évacués vers une filière de traitement appropriée (géomembrane et géotextiles, flexibles, revêtements bitumineux, tuyaux PVC, PEHD).

Des plateformes de stockage et de tri seront mises en place en rive droite. Le plan d'installation sera fourni en phase préparatoire de chantier.

La partie rive droite du barrage sera terrassée à 3/2 avec confection de redans (hauteur talus de 11m). Ce point devra être confirmé par la G2 PRO.

En pied, une piste de 5 m de large permettant l'accès et la circulation en rive droite du futur chenal sera maintenue en crête des futurs enrochements.

La partie rive gauche du barrage sera terrassée pour permettre la réalisation du secteur aval de la banquette d'expansion des laves torrentielles. Les talus définitifs seront également terrassés à 3/2.

Les matériaux issus du démantèlement du barrage seront réutilisés pour partie sur site et en partie valorisés par le titulaire des travaux.

6.2.4. Démolition du génie civil

La démolition du génie civil sera exécutée au fur et à mesure des déblais du barrage, depuis la crête vers les fondations de la prise d'eau (voir paragraphe 8.2.2).

La démolition ne concernera que les ouvrages ou partie d'ouvrages nécessaires à la constitution de la brèche ou du futur chenal. Par exemple, les tranchées para fouilles ne seront démolies que sur les hauteurs nécessaires à la réalisation du chenal.

Tous les moyens seront mis en œuvre pour éviter l'envol de poussières. Ils seront adaptés à la réalisation des travaux.

De même, tous les moyens de protection seront mis en œuvre pour la sécurité du personnel.

Enfin, le milieu naturel devra être protégé de tout rejet ou dépôt lors du démantèlement du barrage (béton, laitance de béton, acier, déchets tous types). Les mesures applicables sont fournies au paragraphe 11.3.2).

A ce stade, il est envisagé d'évacuer les bétons de démolition vers un centre de traitement. Une autre solution pourrait consister à les concasser et les cribler sur site pour une réutilisation en couche de forme ou en drainant.

Le choix du traitement des bétons de démolition dépend des résultats de la mission G2PRO et de la faisabilité technico-économique des solutions.

6.2.5. Dépose de la conduite forcée

Le tronçon de la conduite forcée présent dans le corps du barrage sera déposé jusqu'au regard situé en aval. Les équipements présents dans le regard actuel (débitmètre et palette de survitesse) seront démontés par l'exploitant pour une réutilisation ultérieure.

6.3. CREATION DU CHENAL

6.3.1. Dimensionnement du chenal

Le dimensionnement du chenal repose sur l'étude hydraulique et sédimentaire [6] menée par ETRM en 2023 sur la prise d'eau de la Chal.

ETRM est un bureau d'études spécialisé en hydraulique et hydromorphologie sur les cours d'eau de montagne. M. KOULINSKI est expert en transport solide en milieu torrentiel et a été mandaté par SHEMA pour mener une étude sur le Glandon et la prise d'eau optimisée.

Après échanges avec ETRM en avril 2024 et en décembre 2024, les hypothèses d'entrée validées pour le dimensionnement du chenal sont les suivantes :

- Pente de 7,5% dont la référence est prise au niveau du seuil en béton existant située à l'aval du pont communal ;

- Point de rupture de pente situé au droit du barrage actuel (pente passant de 7,5 à 5,6%) ;
- Largeur en pied du chenal de 12 m ;
- Protections de berge de 3,5 m de hauteur en rive droite afin de contenir une lave torrentielle dont les paramètres de rugosité sont les plus défavorables compte tenu des données transmises par le service RTM (la justification des données d'entrée est détaillée dans la note [5]) ;
- Protections de berge en rive gauche à hauteur de la banquette soit 1,50 m à 2,0 m.

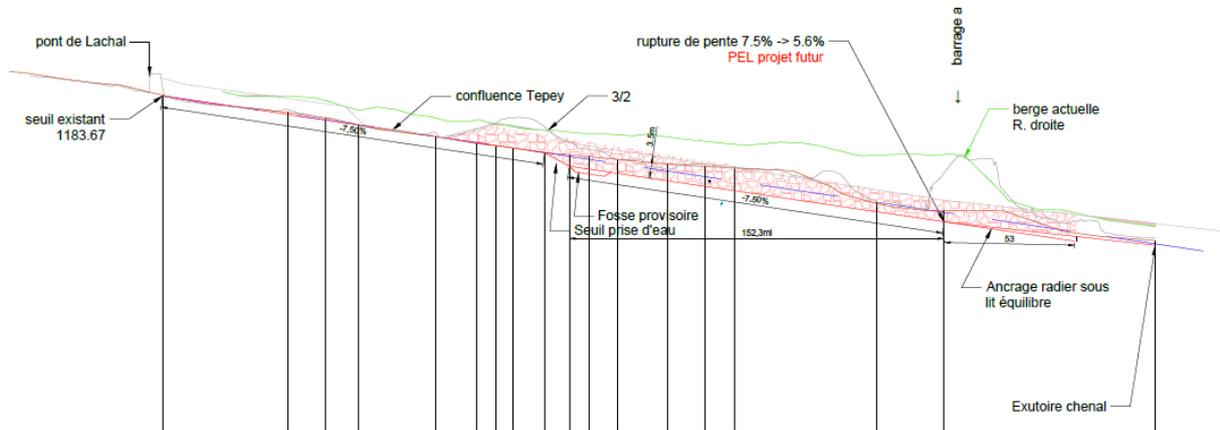


Figure 11: Profil en long du chenal sur axe rive gauche

En parallèle à la création du chenal, une banquette d'une largeur de 15 m avec une pente latérale de 10% est préconisée en rive gauche, permettant l'écrêtement des laves torrentielles de forte ampleur et de limiter les contraintes en rive droite ([6]). Son entrée est positionnée en amont de la prise d'eau optimisée et sa hauteur est calée à +1,50 m / +2,00 m par rapport au fond du chenal.

Pour information, les dimensions proposées ci-dessus permettent de faire transiter dans le chenal la crue liquide objectif de 80 m³/s (crue millénale) avec une lame d'eau de moins de 1 m, largement contenue par la hauteur des berges.

Le dimensionnement permet également de faire transiter une lave torrentielle de 300 m³/s (issue de [6]) avec une hauteur d'écoulement de 3,5 m et des vitesses comprises entre 6 m/s et 10 m/s selon la rhéologie des laves.

Par ailleurs, en rive droite, des remblais seront réalisés en arrière des enrochements conformément à la demande de l'arrêté préfectoral de mise en sécurité [1]. Les remblais présenteront des élévations permettant de protéger les habitations rive droite au droit de la retenue et du barrage actuel.

La conception du chenal à réaliser en 2025 anticipe la réalisation de la prise d'eau optimisée. Cela intègre les caractéristiques suivantes :

- Chute comprise entre 2,0 et 2,50 m dans le profil en long à 7,5%, répartie sur une longueur de 10 m environ. Cette chute sera localisée au niveau de la prise d'eau optimisée pour permettre le bon calage des ouvrages d'alimentation et de restitution de celle-ci, c'est-à-dire à l'aval de la confluence avec le Tepey et environ 180 m en amont de l'emplacement de l'ouvrage actuel. Le seuil présentera un coursier avec une pente de 1/1 en enrochements bétonnés ;

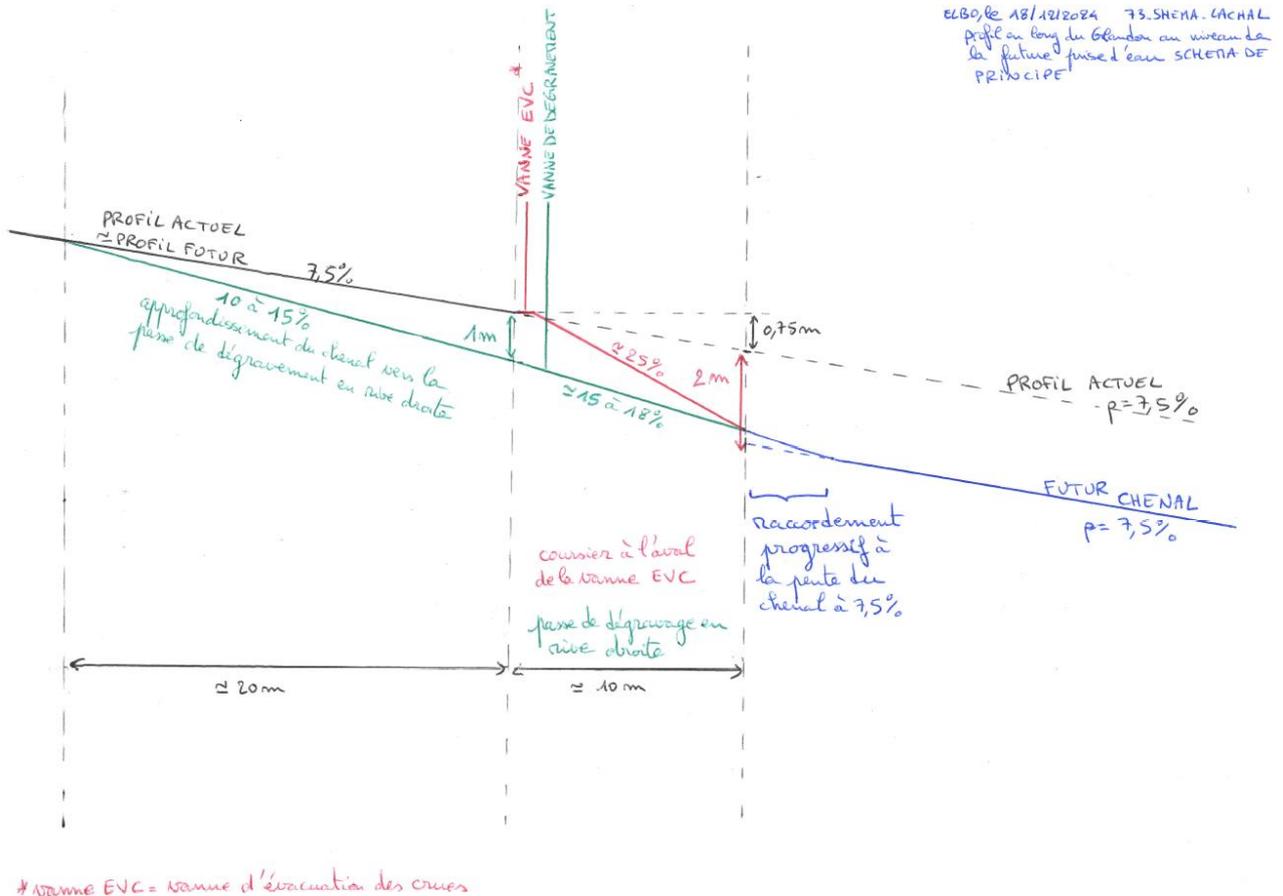


Figure 12: Schéma explicatif de la chute créée pour la réalisation de la prise d'eau optimisée

6.3.2. Configurations des protections de berge

Au regard des vitesses d'écoulement et des charges hydrauliques définies dans [6] pour les crues et laves « projet », les protections de berge devraient être réalisées entièrement en enrochements liaisonnés.

Les échanges avec M. KOULINSKY (ETRM) ont amené à des optimisations des protections au regard des faibles enjeux sur la partie aval du chenal.

ETRM préconise la réalisation de protections avec de l'enrochement libre en surdimensionnant la blocométrie et en veillant à une pose très soignée des enrochements (pas d'éléments saillants).

Par ailleurs, le secteur situé au droit de la future prise d'eau optimisée sera également réalisé en enrochements libres selon les mêmes configurations de façon provisoire afin de :

- Limiter les volumes d'enrochements liaisonnés mise en œuvre qui devront être démontés pour la réalisation de la prise d'eau optimisée ;
- Limiter l'impact carbone du projet en réduisant fortement les quantités de béton ;
- Limiter les impacts sur le milieu (réduction de la durée des travaux, réduction des risques liés au phase de bétonnage).

Ces enrochements seront réutilisés dans le cadre des travaux de réalisation de la prise d'eau optimisée prévus en 2026.

Sont indiquées ci-dessous les configurations du chenal selon les différents secteurs du projet de l’amont vers l’aval :

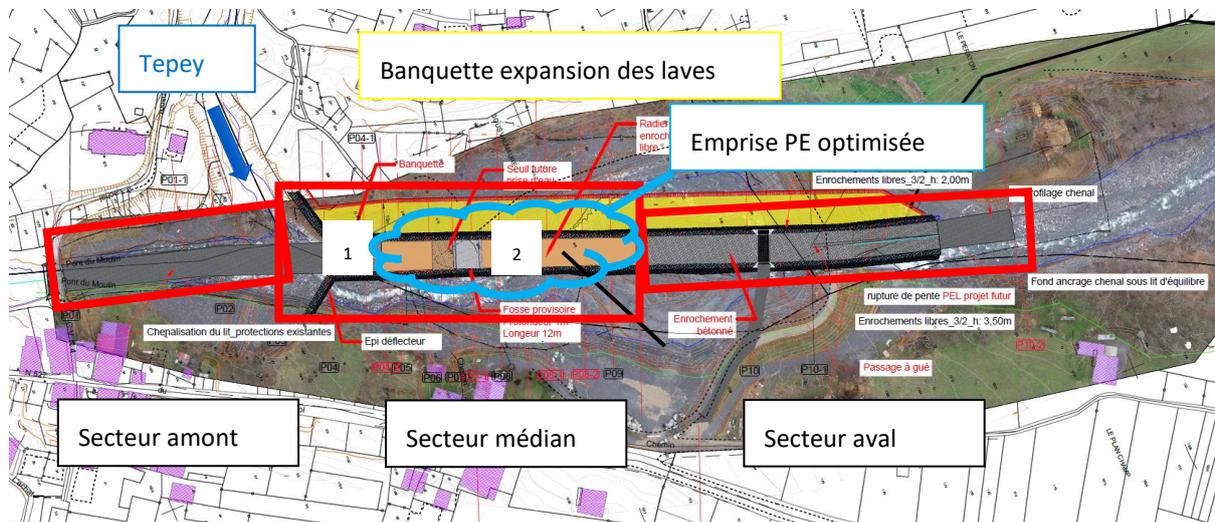


Figure 13: Sectorisation des configurations du chenal

Secteur amont : du pont communal à la confluence Glandon-Tepey

Ce secteur sera reprofilé très légèrement pour atteindre la pente constante et objectif de 7,5%.

Il s’agit d’un très faible remodelage du lit car la pente du torrent sur ce tronçon se situe déjà autour de 7.5 %. Ainsi, les protections de berge existantes en rive droite seront conservées ; les talus de la banquette rive gauche également.

Ces modifications permettent de limiter grandement l’impact du projet sur le milieu tout en répondant à la prescription de reprofilage du lit de l’arrêté préfectoral [1].

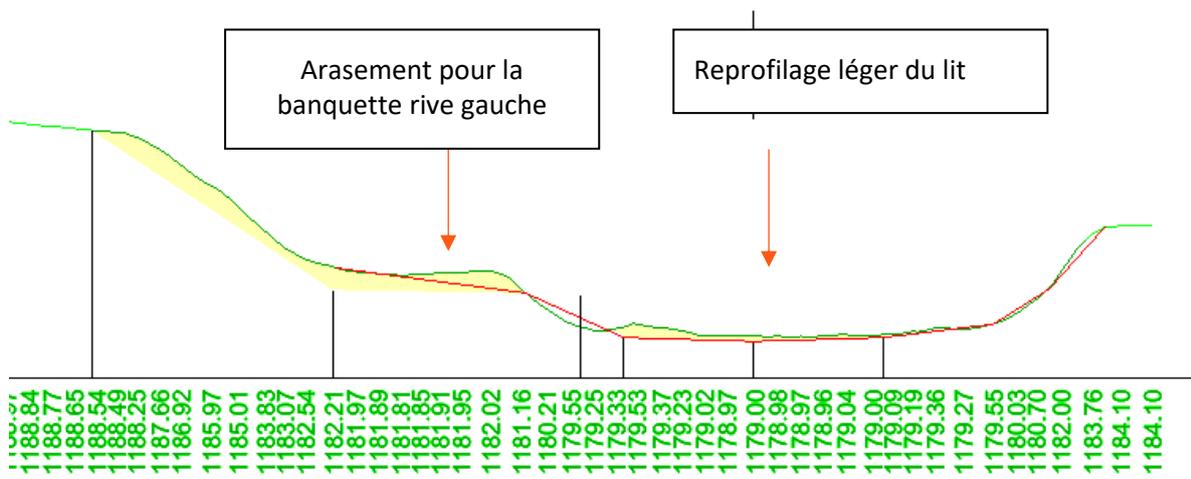


Figure 14: Reprofilage du lit - chenal amont

Un abaissement léger (de 0 à 50 cm) du sommet de la berge rive gauche permettra de créer une banquette d'expansion en cas de crue exceptionnelle en augmentant la section de passage et en réduisant le risque de débordement en rive droite (au droit des enjeux).



Figure 15: Illustrations de l'état existant des berges du Glandon en aval immédiat du pont communal (Hydrostadium, Novembre 2024)

Secteur médian 1 : Confluence Glandon/Tepey jusqu'aux radiers de la prise d'eau optimisée

Rive gauche

La protection de berge en rive gauche débutera au niveau du ruisseau du Tepey, à l'aval de sa confluence avec le Glandon pour assurer un ancrage amont et pour se prémunir du risque de déchaussement de la protection en cas de crue du Tepey.

Cette protection sera en enrochements bétonnés (fuseau 1000/3000 kg) présentant un fruit de 1/1 sur une hauteur comprise entre 2,00 m et 2,50 m selon la hauteur du terrain à protéger. Elle viendra en remplacement de la protection existante pour obtenir une protection monobloc et jointive avec l'aval.



Figure 16: Schéma de la protection rive gauche à la confluence Tepey-Glandon

A partir de l’entrée de la banquette (cf. §6.3.1), la protection de berge sera continue avec une hauteur de protection de 2,00 m jusqu’au secteur situé à 20 m en amont de la prise d’eau.

Rive droite

Entre la fin de la protection de berge existant et la confluence avec le Tepey, une large zone de bande active du torrent (vingtaine de mètres) est présente. Les habitations sont situées en retrait (25 m de la berge actuelle). C’est pourquoi, le bureau d’études ETRM recommande de ne pas réaliser une protection sur la berge existante et de réaliser un épi déflecteur en aval de cette bande active (situé légèrement en amont de la confluence avec le Tepey).

Cette protection permettra de ramener les écoulements des laves vers le chenal en cas de débordement plus en amont. Cet épi sera réalisé au niveau du terrain naturel existant. L’objectif étant de créer un entonnoir pour les laves entre les deux rives.



Figure 17: Illustration de l'épi à réaliser en rive droite pour ramener les écoulements vers le lit du Glandon et de la forme d'entonnait souhaitée

La rive droite sera ensuite protégée par une carapace en enrochements bétonnés présentant un fruit de 1/1 et une hauteur de 3,50 m jusqu'à l'amont de la prise d'eau optimisée.

Au-dessus de la protection, une risberme avec piste d'entretien sera réalisée. Au-delà, des plateformes avec modelés seront réalisées conformément aux prescriptions de l'arrêté préfectoral.

Fond du chenal

Le fond du chenal sera protégé entièrement en enrochements bétonnés (1000/3000 kg) depuis la confluence Glandon/Tepey jusqu'à l'amont de la prise d'eau optimisée. Le lit en base sera légèrement profilé en V afin de concentrer la lame d'eau en période d'étiage et favoriser le charriage des matériaux lors des crues morphogènes.

Ci-dessous une coupe type du chenal sur ce secteur médian 1.

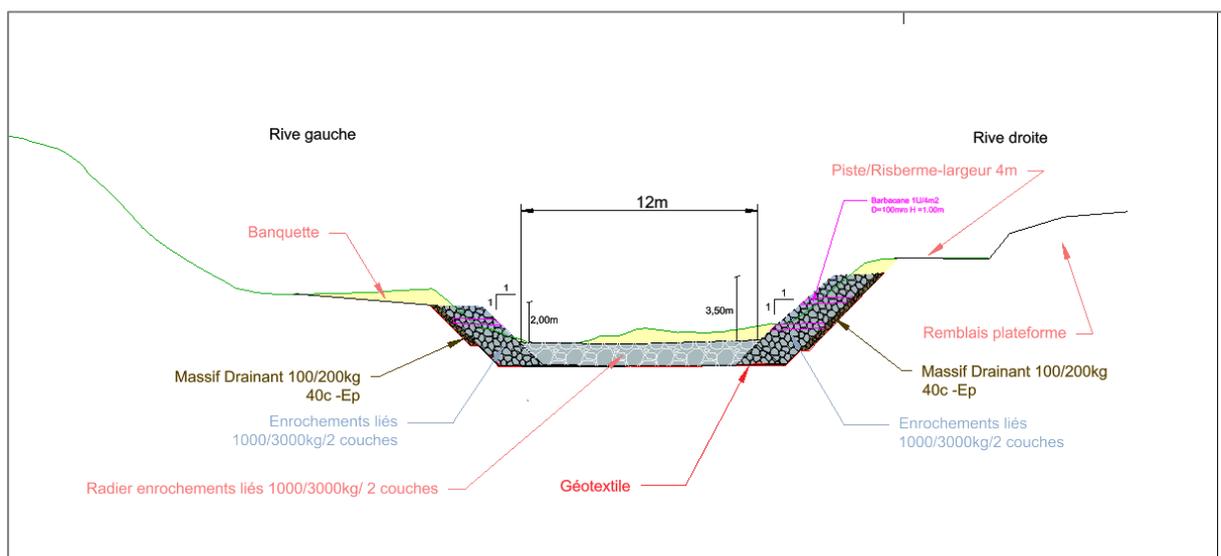


Figure 18: Coupe type du chenal sur le secteur médian

Secteur médian 2- secteur de la prise d'eau optimisée

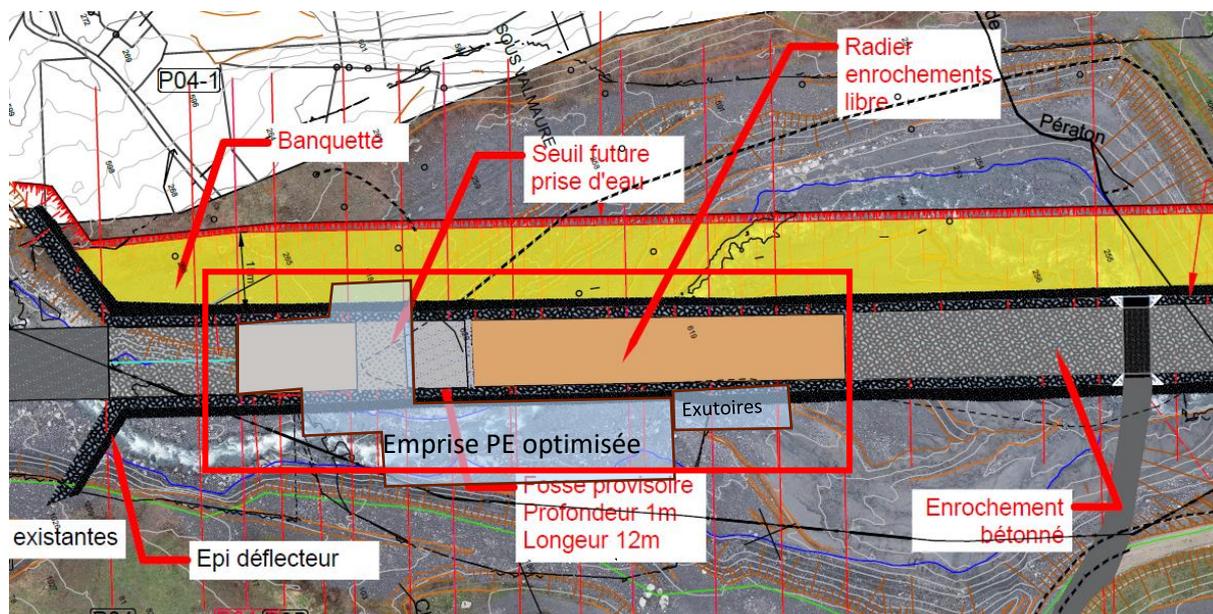


Figure 19: Secteur médian 2 avec emprise de la prise d'eau optimisée

Sur ce secteur, les protections seront réalisées en enrochements libres pour permettre un démontage plus aisé lors de la réalisation de la prise d'eau. Il s'agit de protections provisoires qui seront modifiées et consolidées après la réalisation de la prise d'eau prévue en 2026.

Ces protections présenteront un radier en enrochements libres d'1,60 m d'épaisseur (fuseau 1000/30000 kg). Les protections de berge présenteront un fruit de 3/2 pour des hauteurs de 2,00 m en rive gauche et 3,50 m en rive droite (fuseau 1000/5000 kg).

Ce type de protection sera mis en œuvre jusqu'à l'aval des exutoires de la prise d'eau optimisée.

Au niveau du seuil présentant la chute de 2,50 m (cf. §6.3.1), une fosse de dissipation sera mise en œuvre de façon provisoire pour limiter les risques d'affouillement entre les deux phases de travaux (le chenal sera réalisé en 2025 et la prise d'eau en 2026). Cette fosse présentera une longueur de 12 m et une profondeur de 1 m.

Secteur aval - de l'aval des exutoires à la fin du chenal

Ce secteur débute à la sortie des exutoires de la prise d'eau optimisée (cf. Figure 13). ETRM préconise d'ancrer le chenal sous le lit naturel en aval du point d'inflexion des pentes (passage de 7,5% à 5,6%) jusqu'à obtenir un recouvrement de 1 m au-dessus du radier :

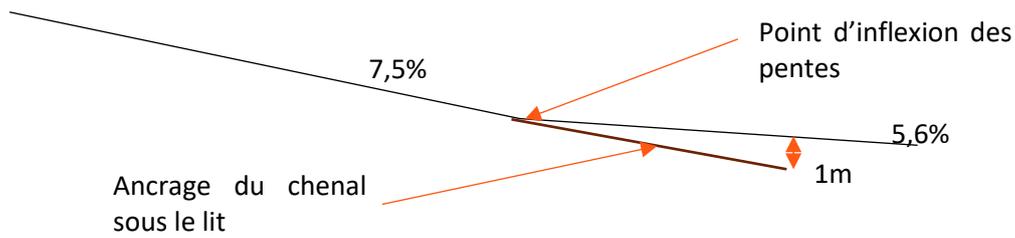


Figure 20: Schéma explicatif sur l'ancrage du radier du chenal sous le fond du lit du Glandon dans le secteur aval

Sur ce secteur les enjeux attenants au torrent sont très limités :

- en rive gauche on ne recense pas d'enjeu menacé par les crues excepté la prolongation de la conduite forcée ;
- en rive droite, un bâtiment agricole se situe en arrière du barrage à plus de 50 m du lit.

De ce fait, les protections des berges en rive droite et en rive gauche seront réalisées en enrochements libres (fuseau 1000/5000 kg) pentés à 3H/2V. En rive gauche, la protection sera réalisée sur une hauteur de 2,00 m alors qu'en rive droite elle le sera sur 3,50 m avec un ancrage progressif dans le terrain naturel.

Cette protection s'arrêtera au même niveau que le radier en enrochements bétonnés.

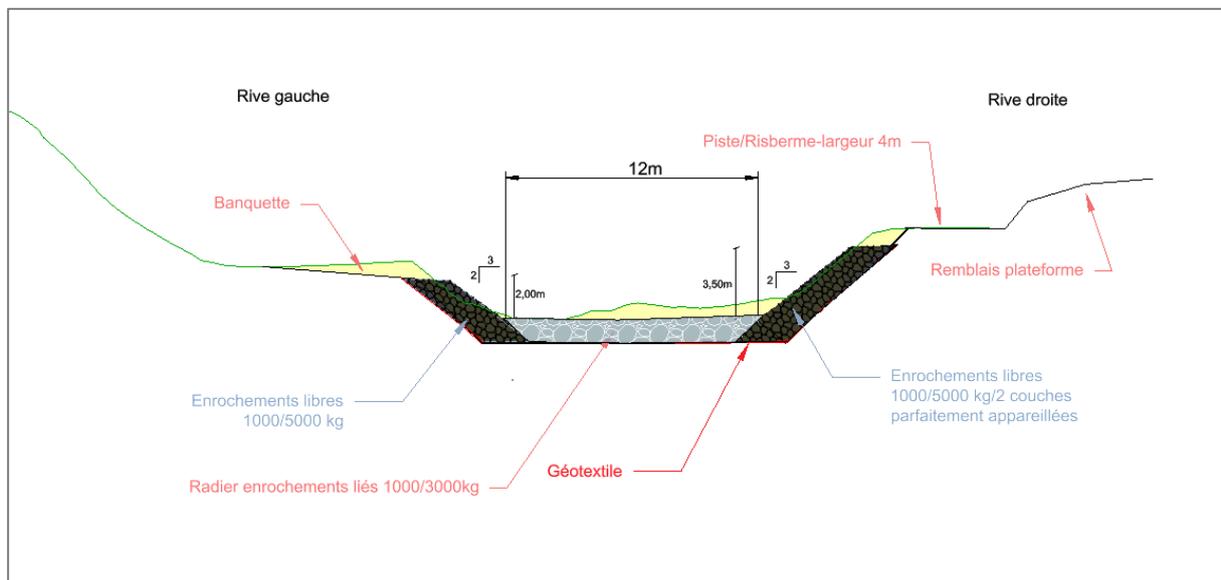


Figure 21: Coupe type du chenal sur le secteur aval

Sur un linéaire d'une trentaine de mètres après l'ancrage du chenal enroché sous le lit du Glandon, le lit sera reprofilé simplement en déblais/remblais avec la même section hydraulique qu'en amont pour se raccorder au terrain naturel. Ce secteur ne sera pas protégé par des enrochements mais laissé à une libre évolution hydromorphologique, comme préconisé par ETRM.

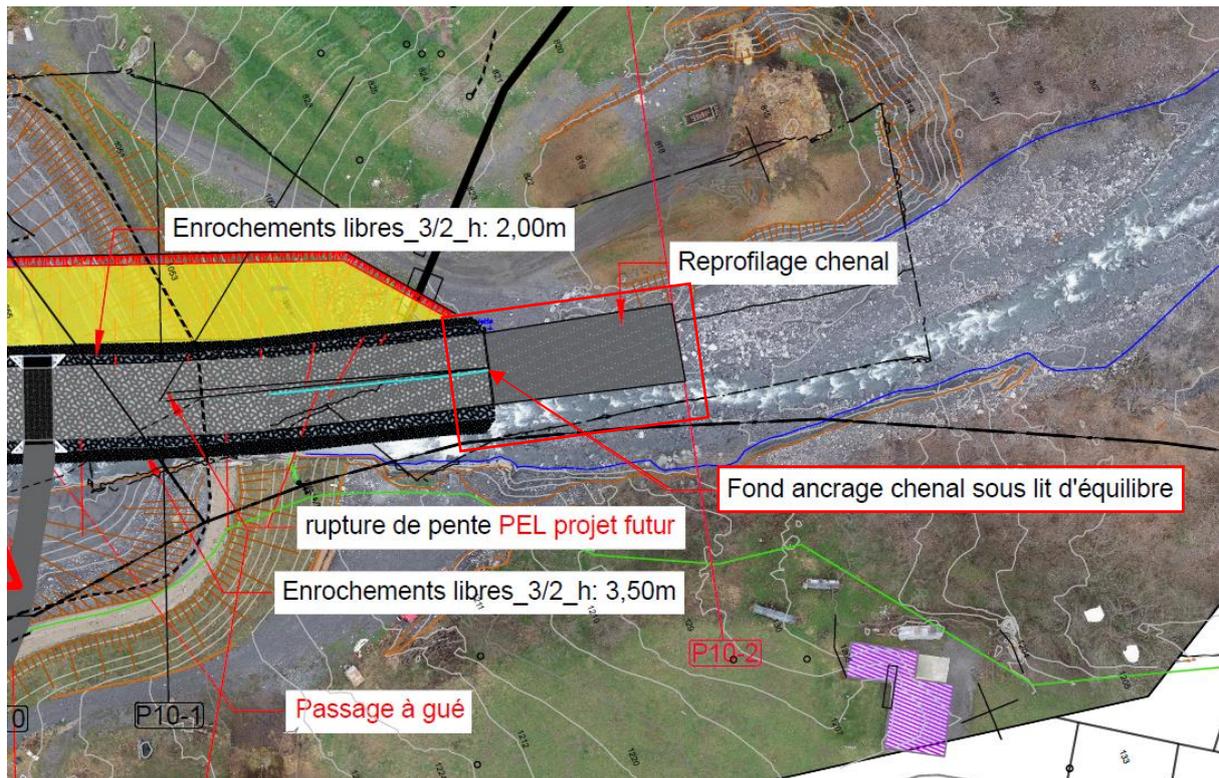


Figure 22: Exutoire du chenal sans protection permettant une libre évolution du lit

→ Une mesure de suivi de l'évolution du lit du Glandon sera mise en place sur ce secteur afin de s'assurer de l'absence d'érosion de la berge rive droite au droit de la dernière habitation. Actuellement cette habitation est située à plus de 25 m de la berge du Glandon. Son niveau altimétrique (plus de 3 m plus haut que le lit actuel) et son éloignement du lit vif actuel la rend peu vulnérable aux inondations. Le risque à surveiller est l'érosion de la berge rive droite et le déplacement naturel du lit vif à proximité de l'habitation.

Le suivi consistera à relever une fois tous les ans, ou après chaque crue morphogène, 2 profils en travers complets du lit géoréférencés. Ces deux profils auront été relevés après la fin des travaux pour faire état de référence pour le suivi.

Des repères fixes en berge seront également implantés et relevés par un géomètre pour suivre le trait de crête de berge en rive droite.

6.3.3. Prescriptions constructives des protections en enrochements

Les prescriptions constructives pour la réalisation des protections de berge sont indiquées ci-dessous :

- Protections de berge en enrochements bétonnés :

- Les enrochements de la carapace présenteront un fuseau de 1000/3000 kg. Ils seront mis en œuvre conformément aux règles de l'art en deux couches. Ils seront bétonnés avec un béton C30/37 XF3 (résistance au gel) dosé à 315 kg/m³ minimum ;

- Une couche drainante en face arrière sera mise en œuvre pour respecter les critères de filtre. Elle sera appliquée sur un géotextile filtrant préalablement mis en œuvre sur le talus à protéger ;
- Des barbacanes de 100 mm seront positionnées au sein du confortement à raison de 1U/4 m². Elles seront bouchonnées avec du géotextile en face arrière.

- **Protections de berge en enrochements libres :**

- Les enrochements présenteront un fuseau 1000/5000 kg. Ils seront mis en œuvre conformément aux règles de l'art en deux couches avec un fruit de 3/2. Des blocs de calage de plus petites tailles seront tolérés afin de réduire les interstices entre les blocs ;
- La mise en œuvre soignée et bien appareillée ne devra présenter aucun élément saillant risquant de déstabiliser les blocs ;
- En sous-face une couche d'assise et un géotextile anti-poinçonnant et anti-contaminant sera mise en œuvre .

- **Radier du chenal :**

- Mise en œuvre d'enrochements 1000/3000 kg sur 2 couches, liés au béton C30/37 XF3 sur 2 couches sur la partie bétonnée ou pose en libre de façon provisoire au droit de la prise d'eau ;
- Mise en place ponctuelle de puits drainant pour limiter les sous-pressions.

6.3.4. Synthèse des modifications apportées au chenal

Ci-dessous une synthèse des modifications apportées au chenal par rapport à la version initiale A du dossier, datée du 29 novembre 2024. :

		Configuration initiale (Dossier de novembre 2024)	Configuration optimisée (Dossier actuel de décembre 2024)
Chenal amont	Rive gauche	<ul style="list-style-type: none"> - Abaissement banquette - Protection enrochements bétonnés fruit 1/1- hauteur : 2 m - Sabot anti-affouillement 6 m³ 	Chenalisation sur 12 m de largeur du fond du lit et maintien des protections existantes. Reprofilage du lit conformément à l'arrêté préfectoral [1]
	Fond du lit	Mise en œuvre de seuils de fond- inter distance de 50 m	
	Rive droite	<ul style="list-style-type: none"> - Protection enrochements bétonnés fruit 1/1- hauteur: TN - Sabot anti-affouillement 6m³ 	
Chenal médian	Rive gauche	<ul style="list-style-type: none"> - Protection enrochements bétonnés fruit 1/1 à 1/5 (au droit de la prise d'eau) – Hauteur : 2 m à 3,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Protection enrochements bétonnés fruit 1/1 (de la confluence Tepey/Glandon à la banquette) - hauteur: 2m à 2,5 m - Protection en enrochements libres fruit 3/2 depuis l'amont de la prise d'eau jusqu'à la fin du chenal - hauteur 2 m
	Fond du lit	Enrochements bétonnés : amont immédiat de la chute de 2,0 m jusqu'à l'aval des exutoires	<ul style="list-style-type: none"> - Enrochements bétonnés au droit de la banquette - Enrochements libres de part et d'autre de la future prise d'eau y compris du seuil jusqu'aux exutoires de la prise d'eau optimisée - Création d'une fosse de dissipation provisoire de 12 m de longueur sous le seuil
	Rive droite	<ul style="list-style-type: none"> - Protection enrochements bétonnés fruit 1/1 à 1/5 (au droit de la prise d'eau) - Hauteur : 3,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'un épi déflecteur hors lit mineur en face du Tepey - Protection définitive en enrochements bétonnés fruit 1/1- hauteur : 3,5m jusqu'en face de la banquette - Protection provisoire 3/2 en enrochements libres - hauteur 3,5m jusqu'à la fin du chenal
Chenal aval	Pente de 7,5% puis 5,6% après point d'inflexion du lit		<ul style="list-style-type: none"> - Pente de 7,5% et ancrage à -1 m sous le fond du lit - Réduction de la longueur du chenal protégé de 35 m et reprofilage de cette même longueur sans protections

Rive gauche	- Protection enrochements bétonnés fruit 1/1 - hauteur : 2 m - Sabot anti-affouillement 6 m ³	Protection enrochements libres fruit 3/2 - hauteur : 2 m
Fond du lit	Mise en œuvre de seuils de fond- inter distance de 50 m	Enrochements bétonnés depuis l'aval des exutoires jusqu'à la fin du chenal
Rive droite	- Protection enrochements bétonnés fruit 1/1- hauteur : 3,5 m - Sabot anti-affouillement 6m ³	- Protection enrochements libres fruit 3/2 - hauteur : 3,5 m

Tableau 2: Synthèse des modifications apportées au chenal par rapport à la version initiale du dossier

6.4. OUVRAGES COMPLEMENTAIRES

6.4.1. Conduite forcée complémentaire raccordée à la conduite existante

Dans le cadre de la demande d’autorisation pour la modernisation de la prise d’eau, un allongement de la conduite forcée sera nécessaire. Celle-ci devra passer sous le cours d’eau pour se raccorder à la prise d’eau optimisée.

Pour anticiper la traversée du chenal (de la rive droite à la rive gauche) par cette conduite forcée, il est prévu la pose en attente d’une buse DN1500 avec disposition d’un regard de part et d’autre du chenal.

La conduite forcée prolongée, toujours en DN1200, sera, dans un second temps, mise en œuvre dans la buse et scellée à la conduite existante au niveau des regards.

6.4.2. By-pass pour la maintenance de la prise d’eau optimisée

La prise d’eau optimisée devrait être entretenue de manière régulière, ce qui pourrait nécessiter la réalisation d’interventions hors d’eau avec dérivation du cours d’eau.

Pour se faire, sans avoir à démolir le chenal nouvellement créé, une conduite de by-pass sera installée entre le chenal et la banquette réalisée en rive gauche :

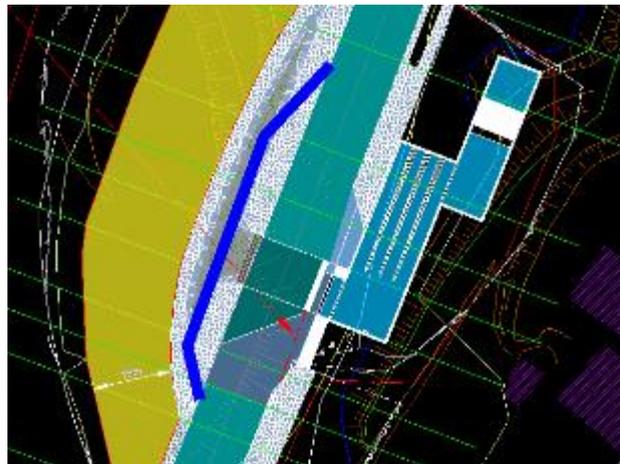


Figure 23: Conduite de by-pass en bleue, passant entre le chenal et la banquette (représentée en jaune) en rive gauche

Cette conduite présentera une pente de 8% environ.

Son entonnoisement sera réalisé en amont du radier de la prise d’eau optimisée. Son exutoire sera situé en amont immédiat et en face des exutoires du dessableur présents en rive droite, permettant ainsi de dessabler en sortie de ces exutoires lors de la déviation du Glandon par cette conduite de by-pass.

Cette conduite sera utilisée en période d’étéage, période plus propice à la réalisation de travaux de maintenance sur la prise d’eau optimisée. Sa capacité débitante devra donc permettre de faire passer le débit maximum observé entre octobre et avril (voir Figure 26), et jusqu’à 3 fois le module du Glandon soit $3 \times 2 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$. En prenant un coefficient de sécurité de 30%, la débitance de la conduite de by-pass devra être de $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Un premier dimensionnement indique qu’une conduite DN1500 suffirait. Son usage sera limité aux opérations de maintenance sur la prise d’eau optimisée, le matériau utilisé sera donc adapté à la fréquence d’usage et au risque d’abrasion généré par la vitesse de l’eau (béton ou PEHD).

L’entonnoisement devra présenter un biseau et ne pas être fait à 90° par rapport à l’axe du cours d’eau pour limiter les pertes de charge et permettre la débitance théorique.

Son entonnoisement amont sera fermé par une plaque acier verrouillable et étanche.

7. PRECAUTIONS GENERALES

Dans le cadre du dossier de demande d'autorisation et d'approbation de travaux en concession, le concessionnaire s'engage expressément à :

- Informer, au plus tard quinze jours avant le début du chantier, du démarrage de l'opération et du phasage des travaux, les services DREAL Concession et DREAL OH aux adresses mails indiqués par lesdits services ;
- Informer immédiatement, en cours de chantier, le service de contrôle (dont les coordonnées seront fournies à SHEMA à la délivrance de l'autorisation de travaux) de tout incident susceptible d'entraîner une atteinte à la sécurité des personnes et des biens, à la santé publique ou à l'environnement ;
- Informer immédiatement, en cours de chantier, en cas d'incident susceptible d'entraîner une atteinte à l'environnement aquatique, le service de contrôle (dont les coordonnées seront fournies à SHEMA à la délivrance de l'autorisation de travaux) ;
- Informer immédiatement, en cours de chantier, en cas de danger grave et imminent pour les biens et les personnes, le SIDPC de la Préfecture coordinatrice de la concession (les coordonnées des différents services seront fournies à SHEMA lors de la délivrance de l'autorisation de travaux) ;
- Informer, au plus tard quinze jours à l'issue des travaux, de la fin effective du chantier les services DREAL Concession et DREAL OH aux adresses mails indiqués par lesdits services ;
- À l'issue des travaux, à adresser au service instructeur un compte-rendu de leur réalisation, dont l'importance sera proportionnée à l'ampleur et à la durée des travaux précisant a minima le déroulement de l'opération, les résultats du suivi lorsque prévu ou prescrit, les dispositions particulières éventuellement mises en œuvre, les difficultés éventuellement rencontrées et les solutions apportées, comparant les travaux réellement exécutés par rapport à ceux prévus dans le dossier. Ce compte-rendu est transmis dans un délai de 4 mois à compter de la date de fin des travaux, en rapport avec l'ampleur et la durée des travaux, et avec les plans détaillés des travaux exécutés.
- À identifier les différentes catégories de déchets induits par les travaux (inertes, non-dangereux non-inertes, dangereux) et à les traiter conformément à la réglementation. Les déchets sont stockés provisoirement dans des bennes régulièrement vidées, hors zone inondable. Les diverses catégories de déchets sont collectées séparément et font l'objet d'un traitement consistant à privilégier, dans l'ordre :
 - a) la préparation en vue de la réutilisation ;
 - b) le recyclage ;
 - c) toute autre valorisation, notamment la valorisation énergétique ;
 - d) l'élimination.

Le concessionnaire sera en mesure de justifier l'élimination des déchets par des installations dûment autorisées conformément à la réglementation en vigueur. Les documents justificatifs seront conservés cinq ans.

Les modalités de gestion et la traçabilité des déchets seront détaillées dans le compte-rendu de réalisation des travaux mentionné ci-dessus.

Lors de la réalisation des travaux, les dispositions proposées pour prévenir les risques de pollution accidentelle des milieux terrestres et aquatiques sont les suivantes :

- les véhicules et engins de chantier justifient d'un contrôle technique récent et l'entretien des engins est fait préventivement en atelier avant l'arrivée sur site. De plus, ils sont conformes aux dispositions en vigueur les concernant en matière de limitation de leurs émissions sonores et de gaz ;

- les engins sont sortis du lit du cours d'eau tous les soirs et toute manipulation sur les engins (entretien, réparation ou apport de carburant) est réalisée en dehors du lit mineur et au-dessus de rétentions. Le stockage des carburants et lubrifiants est interdit à proximité de la rivière. Le stockage des huiles et carburants se fait sur rétention et, si possible, sur les zones les plus éloignées des cours d'eau ;
- la zone de chantier dispose d'un kit de dépollution qui permet d'isoler toute fuite d'hydrocarbure (barrage flottant, floculant absorbant d'hydrocarbures...) ; en cas de fuite de carburants ou d'huile, les terrains souillés sont récupérés et évacués en décharge agréée.
- l'ensemble des matériels susceptibles de contenir des lubrifiants ou hydrocarbures sont stockés au-dessus de rétentions ; les manipulations associées et le ravitaillement des engins se font au-dessus de rétentions ;
- dans la limite de leur disponibilité sur le marché, les lubrifiants et tous autres produits utilisés pour assurer le fonctionnement des engins à proximité immédiate du cours d'eau sont biodégradables.

Le concessionnaire s'engage également :

- À communiquer à l'entreprise intervenante les prescriptions techniques, les consignes issues du dossier et de l'arrêté d'autorisation.
- En cas de risque de crue, à arrêter le chantier et à retirer les installations, matériels et engins susceptibles d'être touchés par une montée des eaux. Ces éléments seront définis avec l'entreprise en charge des travaux.
- À baliser le chantier et limiter son emprise (accès, garages, zones de mise en défens).

8. PHASAGE DE L'OPERATION ET ANALYSE DE RISQUE

8.1. PLANNING GLOBAL DE L'OPERATION

8.1.1. Echéances réglementaires et contraintes du site

L'arrêté préfectoral de mise en sécurité [1] prévoit la fin de la réalisation des travaux pour le 30 juin 2025.

Comme indiqué par SHEMA :

- lors du contradictoire sur le projet de cet arrêté préfectoral (courrier du 12 janvier 2023),
- lors de la réunion avec les services de l'Etat du 19 janvier 2023,
- à nouveau par courrier du 24 janvier 2023 sur la proposition de modification dudit arrêté,
- et comme répété lors des différentes réunions entre SHEMA et les services de l'Etat entre le 4 mai 2023 et le 12 septembre 2024,

un tel délai n'est pas réalisable en raison des diverses contraintes du site. Celles-ci sont exposées ci-après.

➤ Contraintes réglementaires et environnementales :

Les travaux en rivière sont interdits entre le 1^{er} octobre et le 31 mars de chaque année en raison de la période de frai des poissons, d'après la note (1) présente dans l'article 2 du règlement d'eau daté du 2 juin 2006.

Toutefois, d'après l'étude environnementale réalisée par ECCEL ENVIRONNEMENT (voir [13]), ce tronçon du Glandon est jugé très peu attractif pour l'ichtyofaune et la faune benthique, avec des habitats quasi inexistantes et aucun poisson recensé lors des inventaires piscicoles réalisés en 2023. L'enjeu piscicole est donc jugé très faible sur ce tronçon.

➤ Contrainte météorologique :

Le site est situé entre 1 150 et 1 200 m d'altitude.

Les conditions météorologiques observées¹ sur la commune de Saint-Colomban-des-Villards (légèrement en aval du site, donc à une altitude moindre) entre novembre et mars sont les suivantes :

Tableau 3 : Récapitulatif des données météorologiques entre novembre et mars

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Température moyenne	Entre -3 et 6°C	Entre -6 et 2°C	Entre -7 et 1 °C	Entre -5 et 3°C	Entre -2 et 7°C
Nombre de jours de gel moyen	20/30 jours	28/30 jours	29/31 jours	26/29 jours	23/31 jours
Précipitations totales moyennes	143 mm	151 mm	143 mm	114 mm	124 mm
Nombre de jours de pluie moyen	16/30 jours	16/30 jours	15/31 jours	14/29 jours	16/31 jours

¹ Source : Meteoblue, relevés météorologiques depuis 1985 :
https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/saint-colomban-des-villards_france_2981037

Nombre de jours de neige moyen	11/30	14/30	15/31	14/29	13/31
---------------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

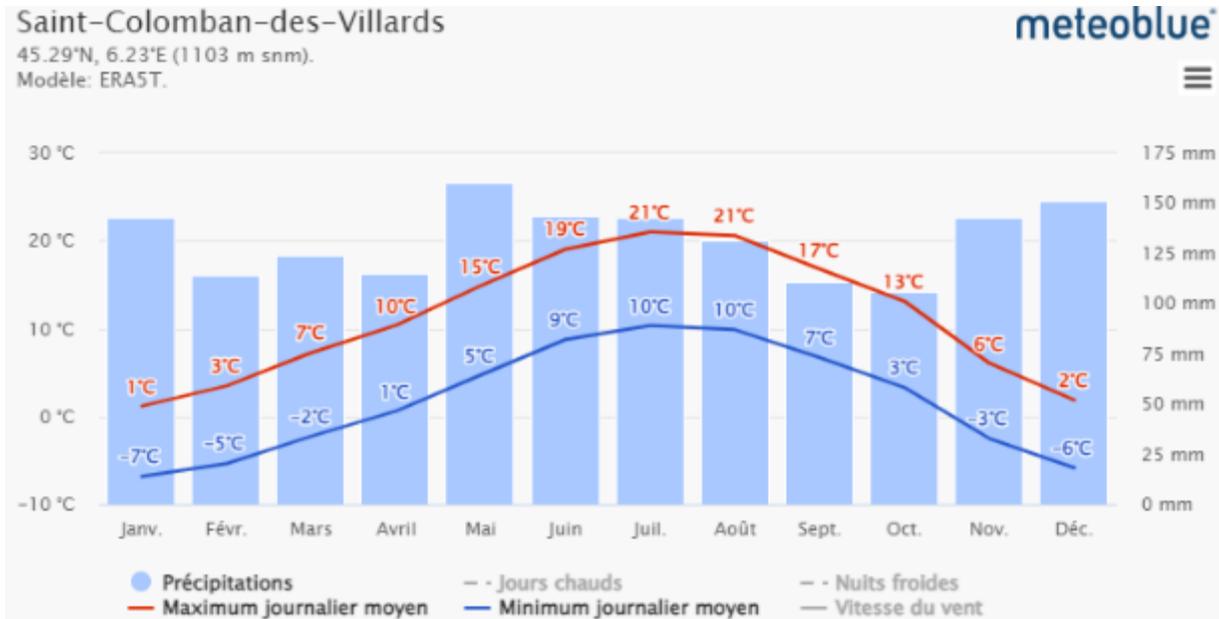


Figure 24: Température moyenne mensuelle et niveau de pluie moyen mensuel à Saint-Colomban-des-Villards - Source Meteoblue, étude 2024

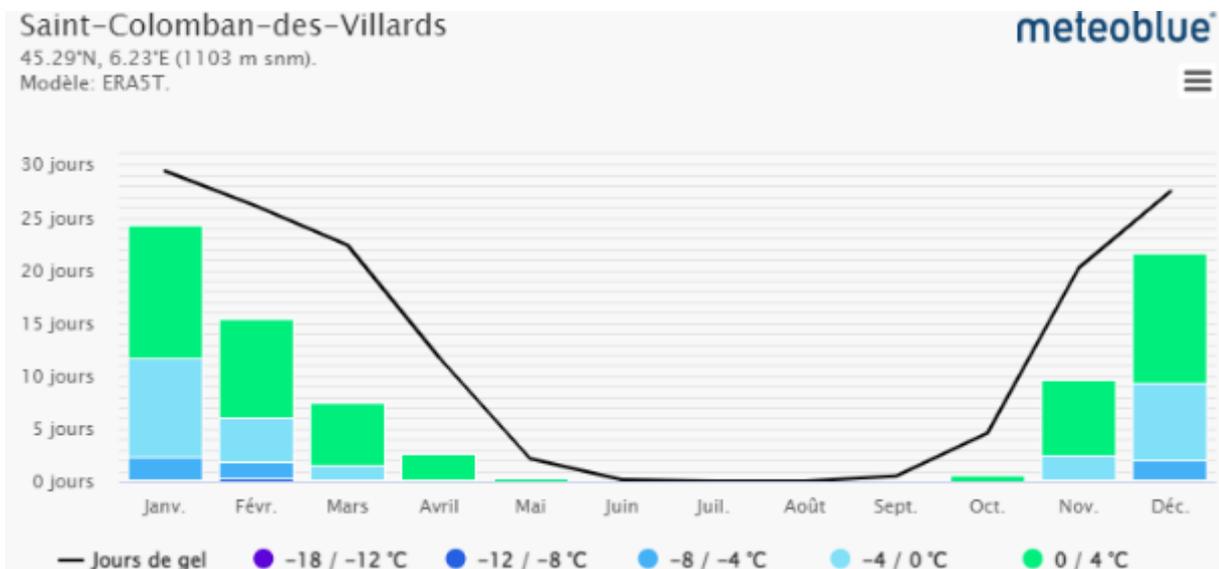


Figure 25: Nombre de jours moyen mensuel de gel et de température comprise entre -18°C et +4°C à Saint-Colomban-des-Villards - Source Meteoblue, étude 2024

Afin d’assurer la santé et la sécurité des travailleurs, les températures ne doivent pas être trop basses et le site doit être visible (absence de neige).

Au regard des opérations à réaliser sur site, le sol ne doit pas être gelé (démolition, démantèlement, bétonnage).

La période hivernale, de novembre à mars, n’est donc pas propice à la réalisation de tels travaux.

➤ **Contrainte hydrologique :**

EDF - DTG a réalisé en 2024 une étude hydrologique sur le Glandon à partir des données disponibles entre 1963 et 2023, et en ressort la courbe des débits moyens mensuels (avec quantiles 10%, 50% et 90%) et la courbe des débits classés suivantes :

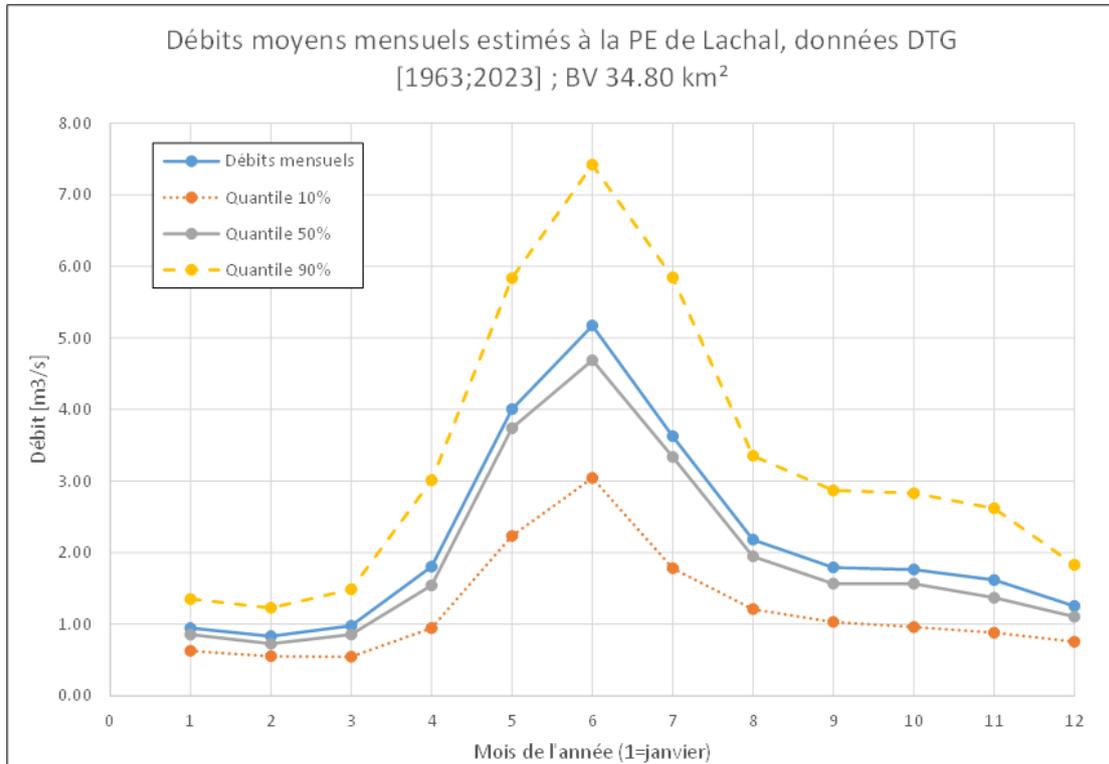


Figure 26: Courbe des débits moyens mensuels au droit de l'aménagement sur le Glandon - source EDF-DTG, étude 2024

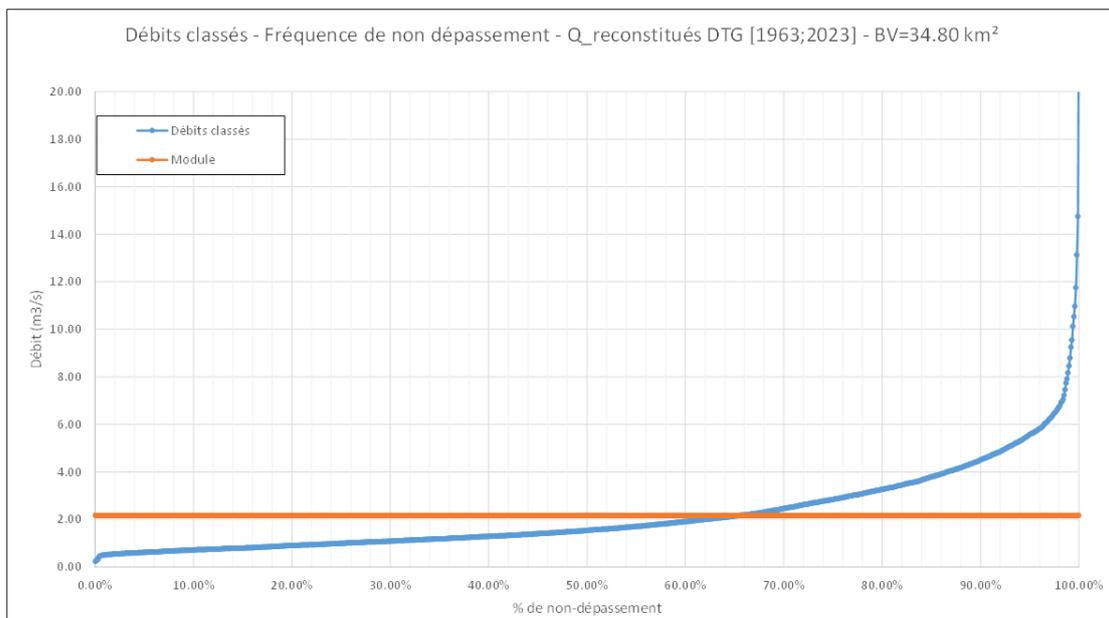


Figure 27: Courbe des débits classés au droit de l'aménagement sur le Glandon - source EDF-DTG, étude 2024

Les débits moyens dans le Glandon dépassent les 3 m³/s à partir du mois de mai, puis peuvent atteindre jusqu’à 7 m³/s en juin, et repassent sous la barre des 3 m³/s dès le mois d’août.

L’ampleur des batardeaux dépendra du débit que l’on souhaite faire passer dans le chenal provisoire ou lors des travaux en demi cours d’eau. Il est nécessaire de trouver un compromis entre un batardeau protégeant la zone de travail jusqu’à un débit maximum dont l’occurrence est suffisamment élevée, et un débit dont la vitesse reste modérée pour ne pas créer d’érosion du batardeau et limiter ainsi l’emprise de celui-ci.

De plus, les crues apparaissent majoritairement en période de fonte et/ou de fortes précipitations. Or, la période de fonte s’étend des mois d’avril à juillet, et les pluies les plus importantes ont lieu en décembre, janvier, mai, juin et juillet (entre 144 et 160 mm de pluie, avec plus de 20 jours de précipitation par mois sur la période estivale, voir Figure 24).

Pour mémoire, d’après [7], les débits de crue liquide sont les suivants :

Tableau 4: Récapitulatif des débits de crue liquide

Occurrence de la crue	Débit de la crue
Q2	16 m ³ /s
Q10	22 m ³ /s
Q50	40 m ³ /s
Q100	50 m ³ /s
Q1000	80 m ³ /s
Q10000	120 m ³ /s

Les travaux en rivière sur cette période se dérouleront à proximité de la retenue pour les premières phases (voir descriptif des phases au 8.2), puis dans le lit du cours d’eau à l’abri d’un batardeau protégeant les travailleurs et la zone de travaux jusqu’à la crue de chantier (restant à définir).

Pour assurer la sécurité des travailleurs, il est nécessaire de s’éloigner des périodes à risque de fortes eaux, donc d’éviter tout travaux dans le lit du cours d’eau entre mai et août.

➤ **Contrainte sécurité et sûreté hydraulique :**

D’après l’historique des événements hydromorphologiques remarquables² depuis la mise en service de l’aménagement (recensés dans le PPR, les rapports du RTM, les rapports annuels de suivi des événements sur le barrage etc.) ceux-ci se sont déroulés en grande majorité entre mi-juillet et mi-août :

² On appelle « événement hydromorphologique remarquable » tout événement de type crue avec charriage et lave torrentielle observé sur le site.

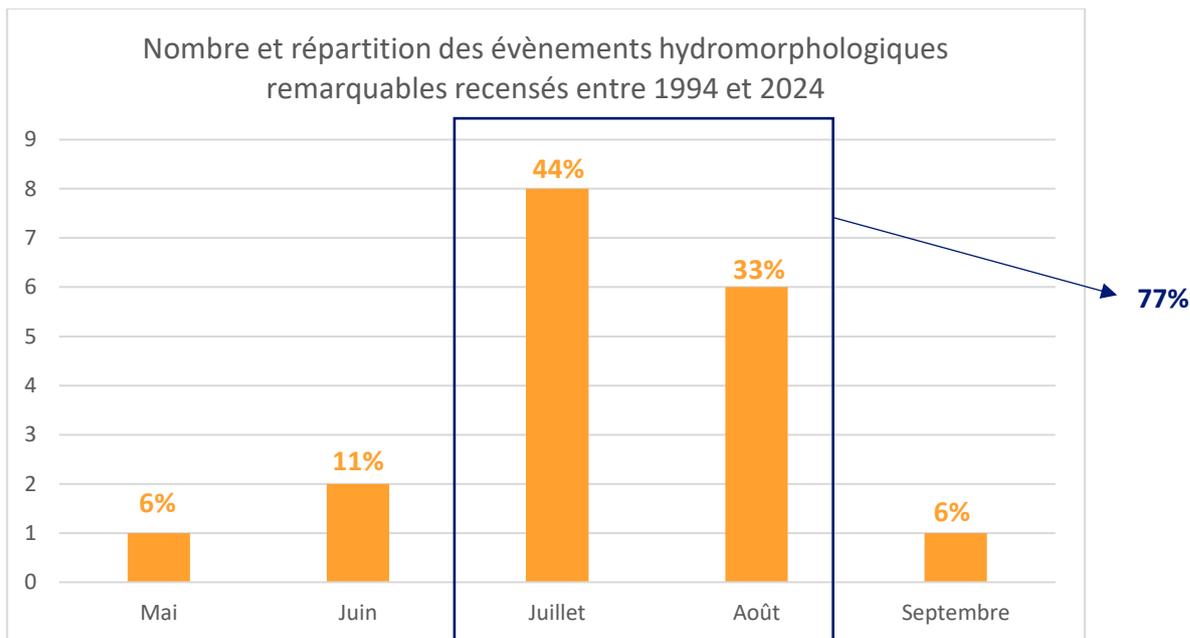


Figure 28: Histogramme de répartition des événements hydromorphologiques remarquables entre 1994 et 2024, d'après les observations

Par ailleurs, la période de surveillance accrue de l'aménagement a été fixée par arrêté préfectoral du 1^{er} mai au 30 septembre de chaque année.

La période de plus forte occurrence des événements hydromorphologiques à risque (crues avec charriage ou laves torrentielles) s'étend donc sur les mois estivaux, avec une plus forte probabilité en juillet et août.

Pour la sécurité des travailleurs, il est nécessaire de s'éloigner des périodes à risques d'évènements hydromorphologiques, donc d'éviter tout travaux dans le lit du cours d'eau en juillet et août.

8.1.2. Synthèse et définition de la période propice aux travaux

Tableau 5: Synthèse des contraintes du site et identification de la période propice aux travaux

Contrainte	2025		2026											
	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Av.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Réglementaire		(1)							(2)					
Environnementale														
Météorologique														
Hydrologique														
Sécurité/sureté														
Planning de réalisation														

Phasage adapté aux risques

(1) : date de remise du dossier de demande d’autorisation des travaux de mise en sécurité

(2) : date de fin de la réalisation de la mise en sécurité d’après l’arrêté préfectoral

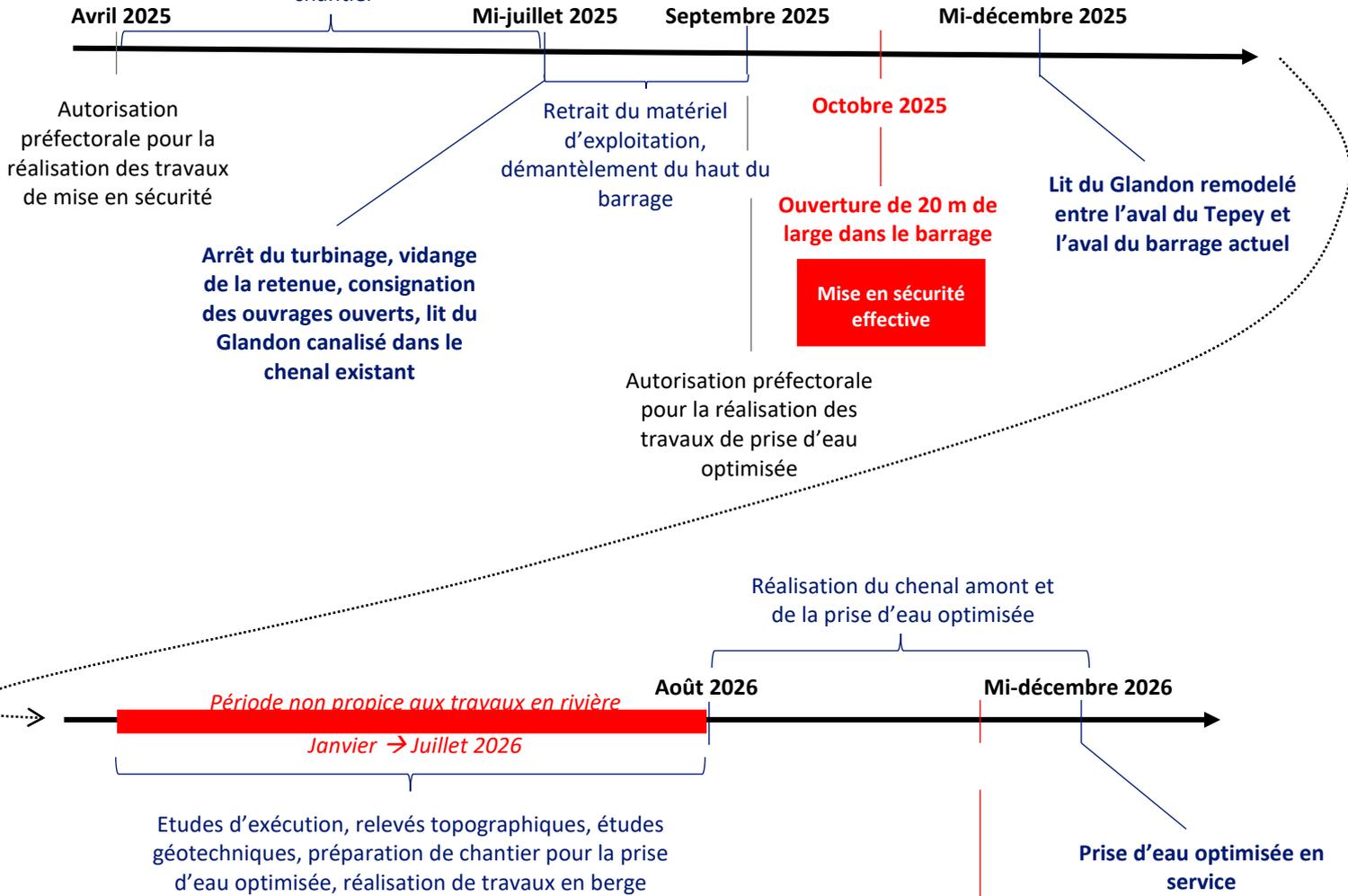
- Période d’interdiction de travaux en rivière
- Période défavorable en termes de météorologie (température, gel, neige)
- Période de fortes eaux et de risque crue
- Période à risque d’événements hydromorphologiques, avec **risque accru en juillet/août**
- Période sans travaux
- Période des travaux

8.1.3. Planning global de l’opération

A mettre

Etudes d’exécution, relevés topographiques, études géotechniques, préparation de chantier

Création du chenal médian et aval



Les premières phases de démantèlement du barrage (telles que décrites au paragraphe 8.2) se font hors d’eau, jusqu’à l’arrivée en pied de barrage qui nécessite alors de dévier le Glandon donc de travailler en dehors de la période de fortes eaux et de risque de lave torrentielle. Ces premières phases prennent environ 1,5 à 2 mois, d’où un début d’intervention mi-juillet pour attaquer le pied du barrage dès début/mi-septembre.

Dans ce planning, SHEMA prévoit de travailler sur le chenal jusqu’à décembre 2025. Les températures risquent d’être défavorables dès la mi-novembre, mais l’objectif de cette demande est de profiter de l’éventualité d’un hiver tardif. Dans le cas contraire, les travaux non terminés seront repris à l’été 2026.

En raison des diverses contraintes évoquées précédemment, et en particulier afin d'assurer la sécurité des travailleurs, SHEMA demande le report des travaux en 2025 et 2026 :

1. La mise en sécurité, au sens de l'ouverture du barrage permettant le transit sans entrave des crues et laves torrentielles, sera effective en octobre 2025 ;

2. La réalisation du chenal médian et aval se terminera en **novembre 2025 ;**

3. La réalisation du chenal amont, quant à elle, se terminera en **décembre 2025.**

Ce planning est donné hors intempéries et hors aléas techniques et pourrait nécessiter un report d'une partie des travaux sur 2026.

L'analyse de risque sur ce report des travaux est présentée au paragraphe 8.3.

Également, au regard du très faible enjeu piscicole, et de la période réduite propice aux travaux sur ce site, SHEMA demande une dérogation afin de réaliser des travaux en rivière entre le 1^{er} octobre et le 15 décembre 2025 et 2026.

8.2. DESCRIPTION DES PHASES

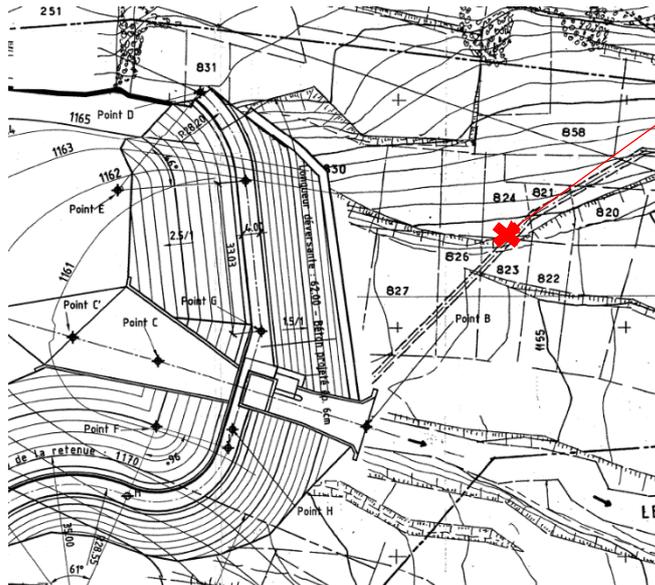
8.2.1. Consignation de l'ouvrage

La centrale hydroélectrique sera mise à l'arrêt.

La retenue sera entièrement vidangée (le clapet étant toujours ouvert, seule la vanne de fond sera ouverte progressivement conformément aux consignes d'exploitation).

La centrale sera consignée électriquement, et la vanne de fond sera bloquée mécaniquement par des équerres soudées sous la vanne.

La conduite forcée sera vidangée pour permettre la déconnexion de la conduite forcée à environ 40 m en aval de la prise d'eau existante :



Création d'un regard + découpe de la
conduite forcée existante + pose
d'un fond plein



Figure 29: Localisation de la déconnexion avec la conduite forcée existante

Un regard sera disposé à cet emplacement pour anticiper le raccord de la conduite forcée prolongée.
Les vannes de dégravage amont et aval seront maintenues fermées pour isoler la vanne de tête.
Les matériels électriques et les groupes hydrauliques seront consignés et évacués du site.

8.2.2. Démantèlement de l'ouvrage

Le démantèlement du barrage sera réalisé par phases successives afin de limiter les risques en chantier sur la stabilité du génie civil et des remblais.

NB : Le titulaire des travaux de démolition pourra proposer un phasage différent pour permettre un gain de temps.

La pente d'équilibre du remblai pour le démantèlement est prise à 3/2 (possiblement 1/1 en phase provisoire).

Le démarrage des travaux est prévu fin-juillet 2025.

NB : L'extrait de plan utilisé ci-dessous est une vue depuis l'aval du barrage.

Etape 1 : Déblai crête de barrage de 1171,50 à 1166,00 environ – Phase 1a

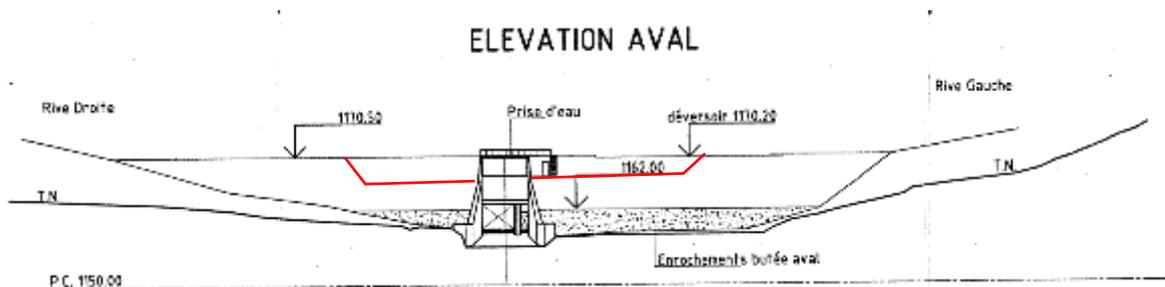


Figure 31: phase n°1a de démantèlement du barrage et de la prise d'eau associée, crête

Etape 2 : Démolition du génie civil associé - Phase 1b

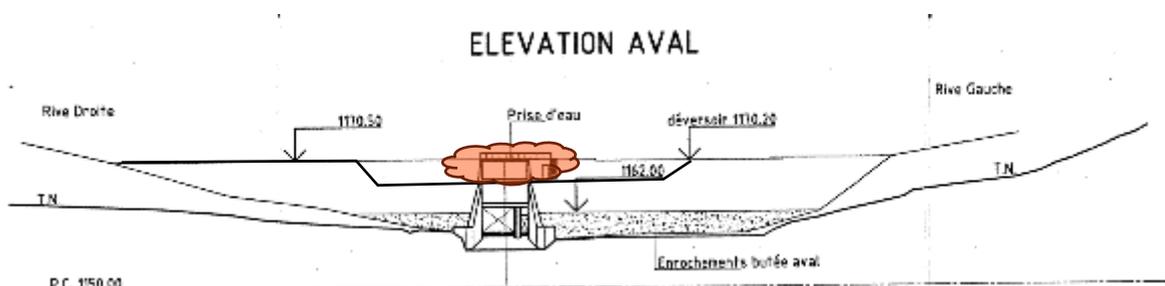


Figure 32: phase n°1b de démantèlement du barrage et de la prise d'eau associée

Etape 3 : Déblai crête du barrage de 1166,00m NGF à 1160,00m NGF – Phase 2a

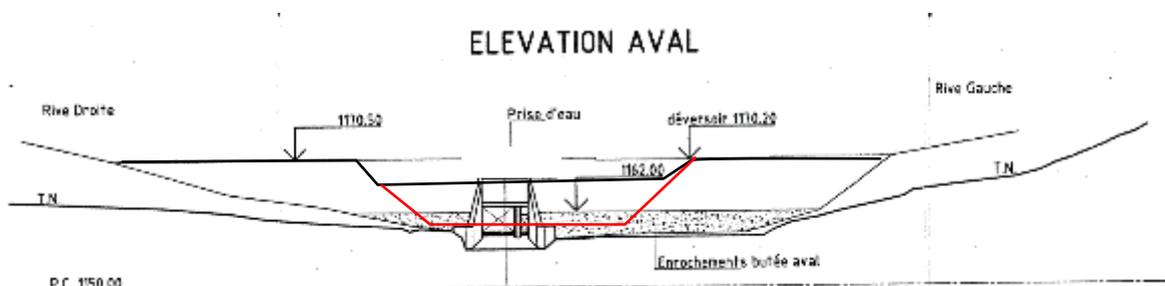


Figure 33: phase n°2a de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée

Etape 4 : Démolition du génie civil associé - Phase 2b

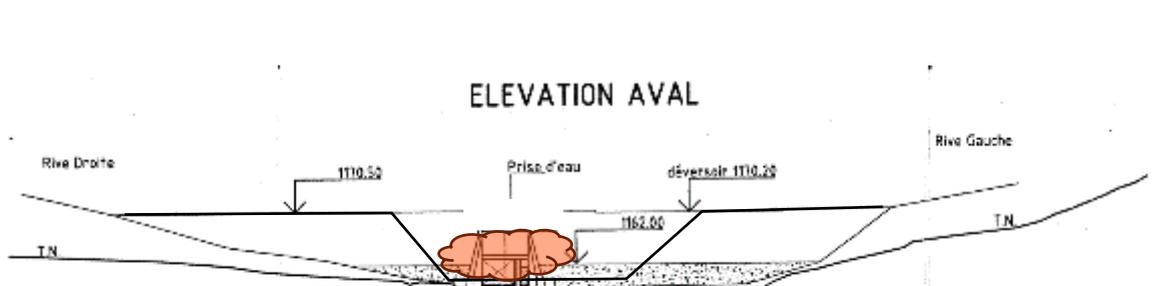


Figure 34: phase n°2b de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée

Etape 5 : Déblai en pied du barrage – Phase 3a

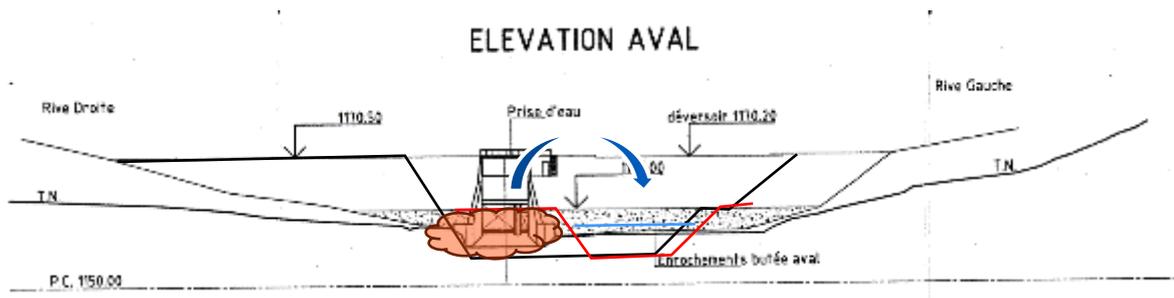


Figure 35: phase n°3a de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée

En rouge, le profil du chenal provisoire au droit de la prise d'eau actuelle.

- ➔ Cette phase nécessitera le basculement du cours d'eau dans le chenal provisoire en rive gauche. Cette phase doit se dérouler en dehors de la période à risque d'évènements hydromorphologiques.

Etape 6 : Démolition des fondations de la prise d'eau et du barrage – Phase 3b

Démolition des radiers béton, para fouille, etc. nécessaire à la bonne réalisation du chenal. La démolition sera réalisée jusqu'à une cote de 1156 m NGF environ.

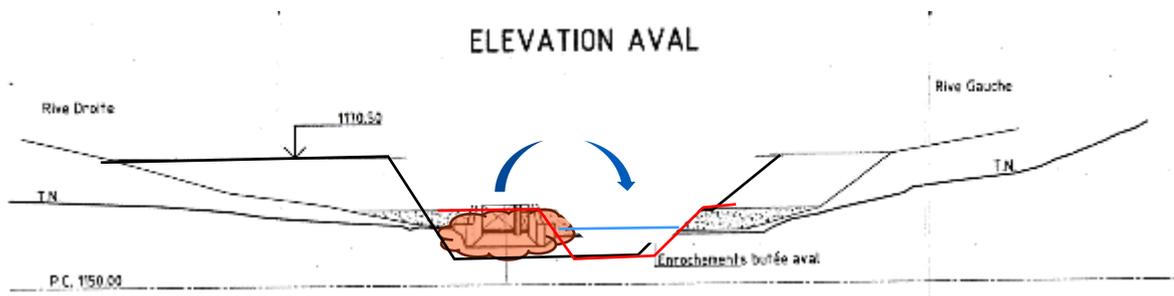


Figure 36: phase n°3b de démantèlement du barrage et sa prise d'eau associée

Le cours d'eau est encore dévié dans le chenal provisoire lors de cette phase.

8.2.3. Réalisation du chenal

Dérivation du Glandon

Pour permettre la réalisation du chenal définitif en aval de la confluence entre le Tepey et le Glandon, tout en se protégeant des crues du torrent, celui-ci sera dérivé en rive gauche au niveau de la future banquette dans un chenal provisoire.

Ce chenal sera créé avant la fin du démantèlement du barrage pour permettre la bascule du lit en eau lors de la démolition des fondations du barrage et de la prise d'eau (phase 3a et 3b aux étapes 5 et 6 présentées ci-dessus).

Phase 1
Création dérivation Glandon

Délai: 2 semaines
sept. 2025

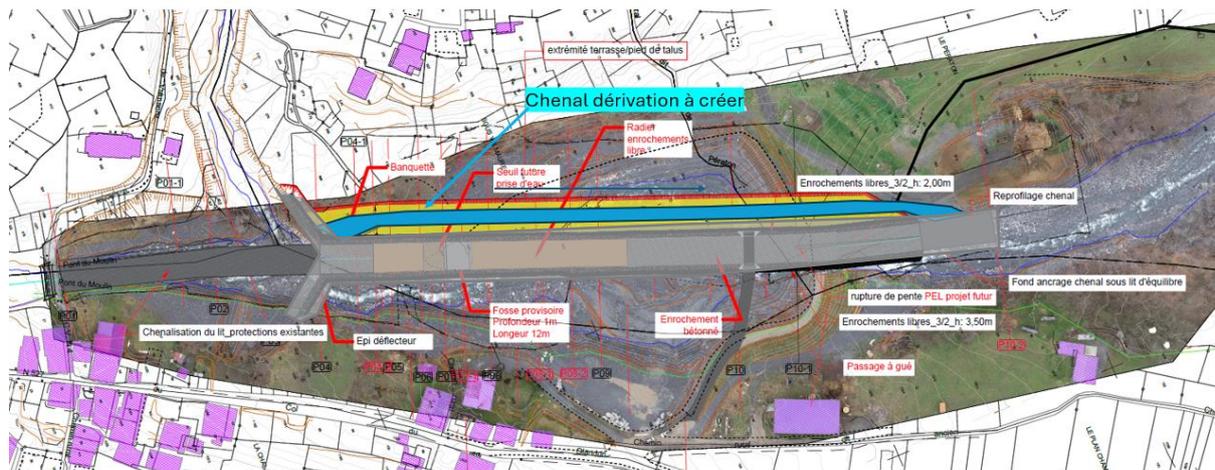


Figure 37: phase n°1 de création du chenal : réalisation du chenal provisoire de dérivation

Les dimensions du chenal provisoire seront de l’ordre de 8 m de large et 2 m de hauteur, permettant de faire transiter la crue de chantier. La pente sera calée entre le point d’entrée de la future banquette en amont et le point de raccordement en aval du barrage existant, soit 7% environ.

Un merlon sera réalisé entre la dérivation et le futur chenal avec les matériaux de déblais.

De même, le batardeau amont sera réalisé avec les matériaux de déblais et une base en enrochements pour limiter les risques d’érosion de pied. Le batardeau sera néanmoins fusible sur sa partie haute pour les fortes crues afin de ne pas créer de sur-aléa.

Des passages busés seront mis en œuvre pour permettre le passage de la rive droite à la rive gauche du chenal ; passages busés dimensionnés pour le transit de la crue de chantier.

Une fois le chenal provisoire réalisé, le cours d’eau du Glandon est basculé vers celui-ci :

Phase 2
Basculement Lit Glandon

Délai: 2 jours
sept. 2025

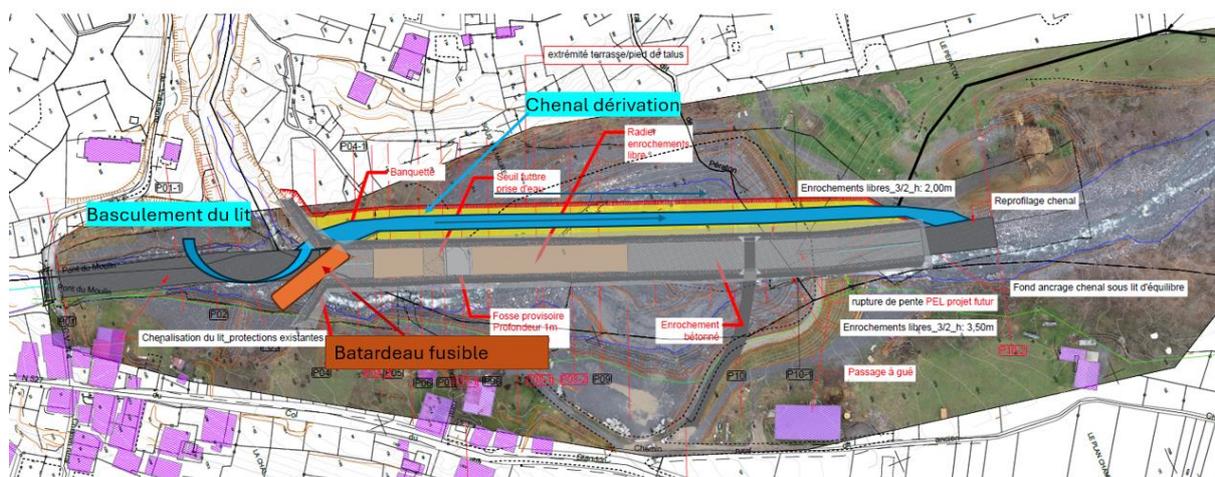


Figure 38: phase n°2 de réalisation du chenal : basculement du lit du Glandon dans le chenal provisoire

Réalisation du chenal : partie médiane et aval

Le chenal sera réalisé de l’amont vers l’aval ce qui permet d’anticiper les travaux, sans attendre la fin du démantèlement de la prise d’eau actuelle.

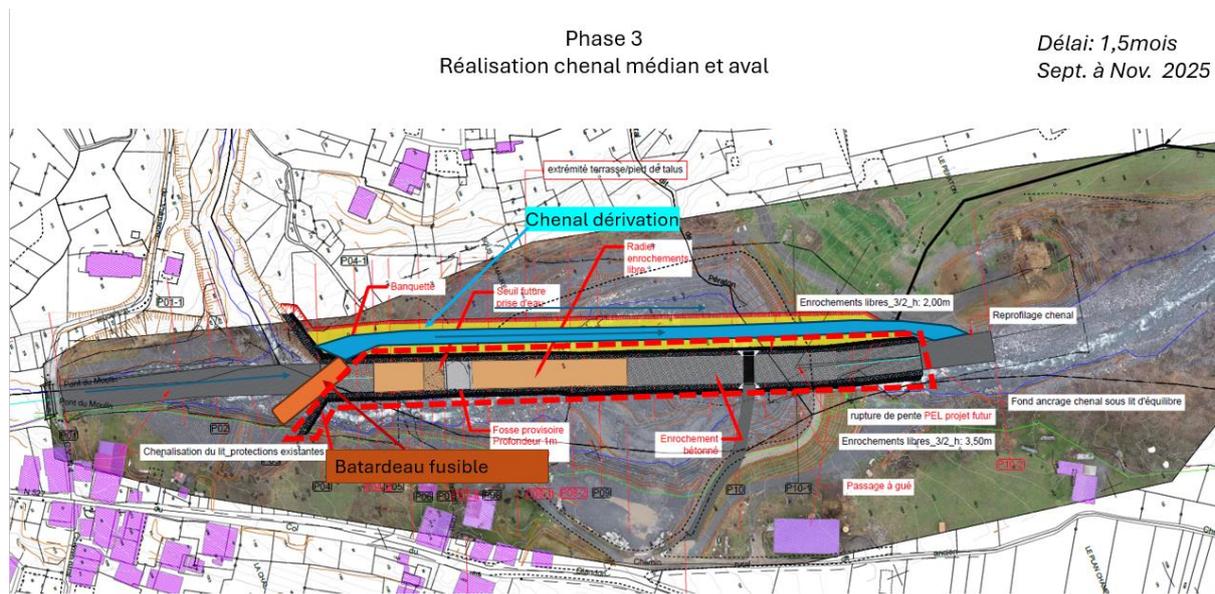


Figure 39 : phase n°3 de réalisation du chenal : réalisation du chenal définitif dans le secteur médian

Le chenal médian est réalisé pendant les mois de septembre à novembre 2025.

Pour finaliser les travaux sur le chenal médian, la protection en rive gauche au droit du Tepey sera réalisée.

Pendant cette phase, la conduite de by-pass sera mise en œuvre et la banquette sera terrassée dans sa version définitive.

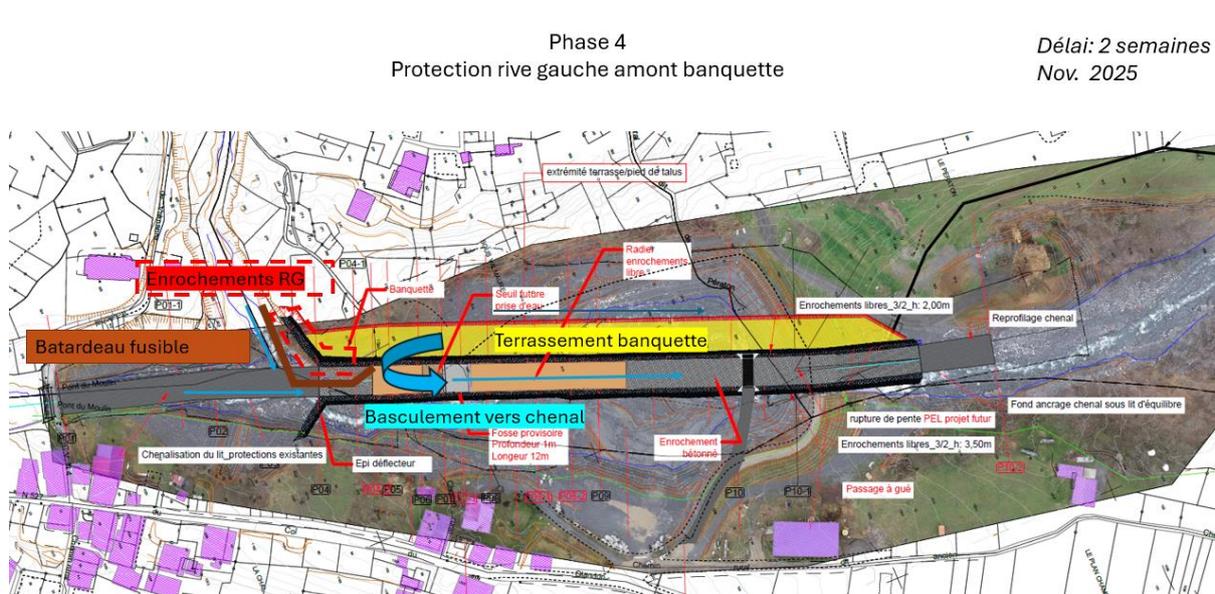


Figure 40: protection amont au droit du Tepey après basculement du lit- pose de la conduite de by-pass et terrassement de la banquette

Réalisation du chenal amont

Les travaux de chenalisation entre le pont communal et la confluence Tepey-Glandon seront réalisés par demi-cours d’eau à l’abri d’un batardeau longitudinal.

L’objectif étant de reprofiler à la pente objectif le chenal actuel qui présente une largeur suffisante et supérieure à 12 m.

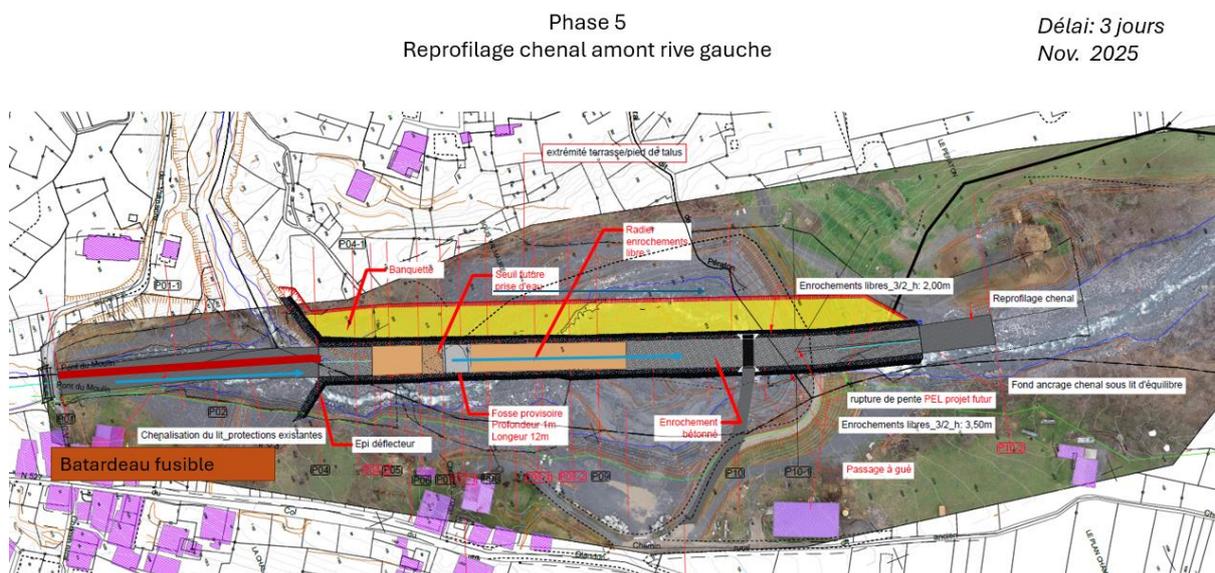


Figure 41: réalisation du chenal partie amont de la confluence entre le Tepey et le Glandon

Ensuite, les travaux en rive droite seront réalisés pour finaliser le chenal :

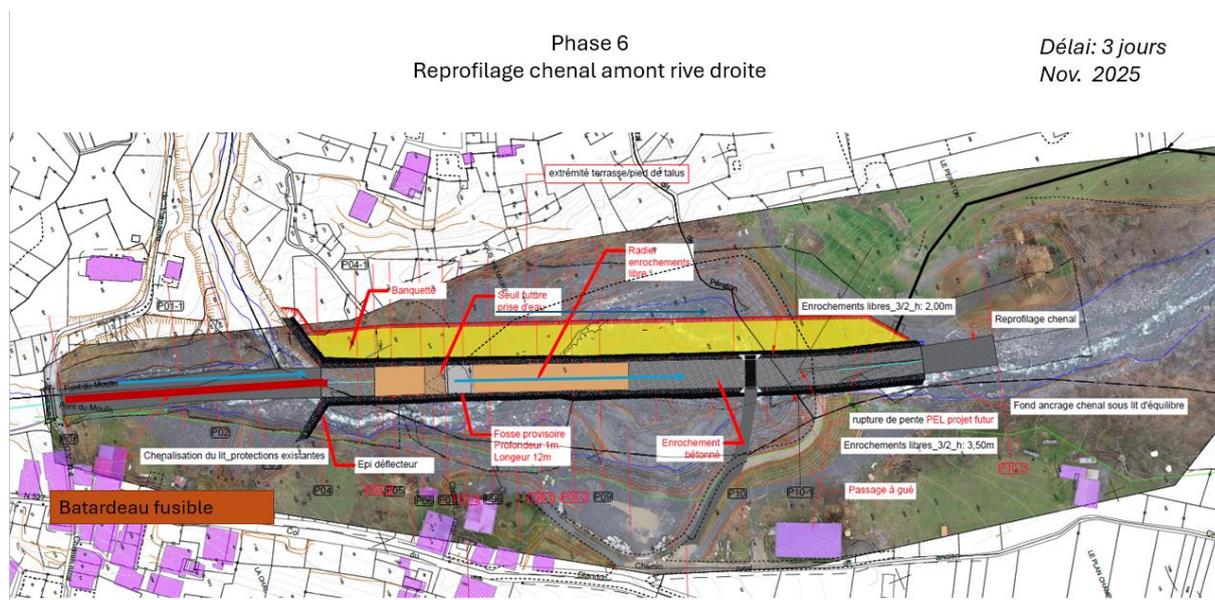


Figure 42: travaux sur la rive gauche du chenal amont

Les phases de travaux ci-dessus sont prévues entre septembre et décembre 2025.

Le phasage des travaux imaginé à ce stade est présenté en Annexe 3 : Phasage des travaux de mise en sécurité de l'ouvrage. Il sera amendé et optimisé en période de préparation avec le futur titulaire des travaux.

8.2.4. Mouvement des terres

Accès en phase travaux

Les accès en phase travaux se feront par la rive droite depuis la RD927 et depuis la route communale de la Chal jusqu'à la retenue actuelle.

Dans un premier temps, un passage busé provisoire sera mis en œuvre dans le lit du torrent du Glandon pour permettre l'accès en rive gauche une fois la retenue vidangée. Ce passage busé est similaire à ce qui est régulièrement autorisé et réalisé dans le cadre des travaux de maintenance de la retenue actuelle.

Plateforme de dépôt provisoire

Les plateformes nécessaires pour le stockage provisoire des matériaux se situent principalement en rive droite. D'autres secteurs au sein de la concession pourront servir pour les stockages en phase chantier. Ils seront définis en période de préparation avec le titulaire des travaux.

Aucun déboisement ou débroussaillage en rive gauche ne sera autorisé. Les emprises sont limitées aux seuls secteurs déjà utilisés pour les travaux de curage de la retenue.



Figure 43: Vue depuis la rive gauche du torrent du Glandon de la plateforme principale de stockage provisoire en rive droite – HSM, novembre 2024

Déblais/remblais

Les cubatures au stade PRO montrent un bilan excédentaire de matériaux, c'est-à-dire un volume plus important de déblais que de remblais nécessaires à la réalisation des ouvrages.

Les déblais ont pour origine :

- Démantèlement du barrage : 12 000 m³ environ répartis théoriquement en :

- 8 500 m³ de grave sableuse 0/40,
- 1 200 m³ de matériaux drainant 5/20,
- 1 200 m³ d'enrochements présents en butée de pied,
- 600 m³ de matériaux 80/100 issus des matelas Reno ;
- Réalisation du chenal : 25 000 m³ environ ;
- Réalisation de la banquette en rive gauche : 24 000 m³ environ.

Les volumes totaux de déblais sont estimés à 61 000 m³ environ.

Les remblais seront nécessaires pour :

- Remblais contigus des ouvrages : 3 000 m³ environ (matériau 0/40 en réutilisation) ;
- Remblai drainant : 1 500 m³ (élaborés à partir des matériaux du site 5/20, 0/40 et 80/100) - *en attente de confirmation par la G2PRO* ;
- Remblais de la plateforme rive droite : 6 000 m³ (issus des déblais du chenal C1B5) ;
- Modelages sur site : 5 000 m³ (issus des déblais du chenal C1B5).

Une partie des matériaux C1B5 du site peut être réinjectée dans le cours d'eau sur plusieurs années conformément au protocole défini par ISL [8] (10 000 m³ au total mais 2 500 m³ en 2025, voir paragraphe ci-dessous).

Les volumes totaux de remblais seraient donc de 25 000 m³ au total, et seulement 18 000 m³ en 2025 (réinjection pluriannuelle).

La balance est donc défavorable avec près de 36 000 m³ de matériaux excédentaires en 2025.

NB : Le mouvement des terres et les cubatures ont été faites sur la base d'un relevé topographique d'avril 2023. Les plans d'exécution seront basés sur un relevé à faire au printemps 2025. Une incertitude subsiste concernant les volumes de déblais/remblais liés à l'évolution du chenal et de la sédimentation dans la retenue.

Réinjection des matériaux

L'opération prévoit la réinjection d'une partie des matériaux issus des déblais du chenal. Ces matériaux sont des matériaux provenant naturellement de l'amont du bassin versant et qui se sont stockés dans la retenue.

Le protocole de réinjection suivra les prescriptions de l'arrêté préfectoral de juillet 2021 [3] ainsi que l'étude menée par ISL [8].

Il est proposé de réaliser quatre campagnes sur les années 2025, 2026, 2027 et 2028, à raison de 3 injections par an. Les volumes seront de l'ordre de 2 500 m³/an.

L'objectif est d'optimiser le mouvement des terres au niveau de la retenue actuelle et de réinjecter les matériaux stockés dans celle-ci sur plusieurs années, afin de ne pas extraire des matériaux de leur milieu naturel.

Les volumes à réinjecter (10 000 m³ minimum) seront stockés provisoirement en rive droite amont du barrage sur la plateforme actuelle.

La figure suivante indique le principe de réinjection sédimentaire qui serait mis en œuvre (les volumes ne seront pas nécessairement ceux indiqués) :

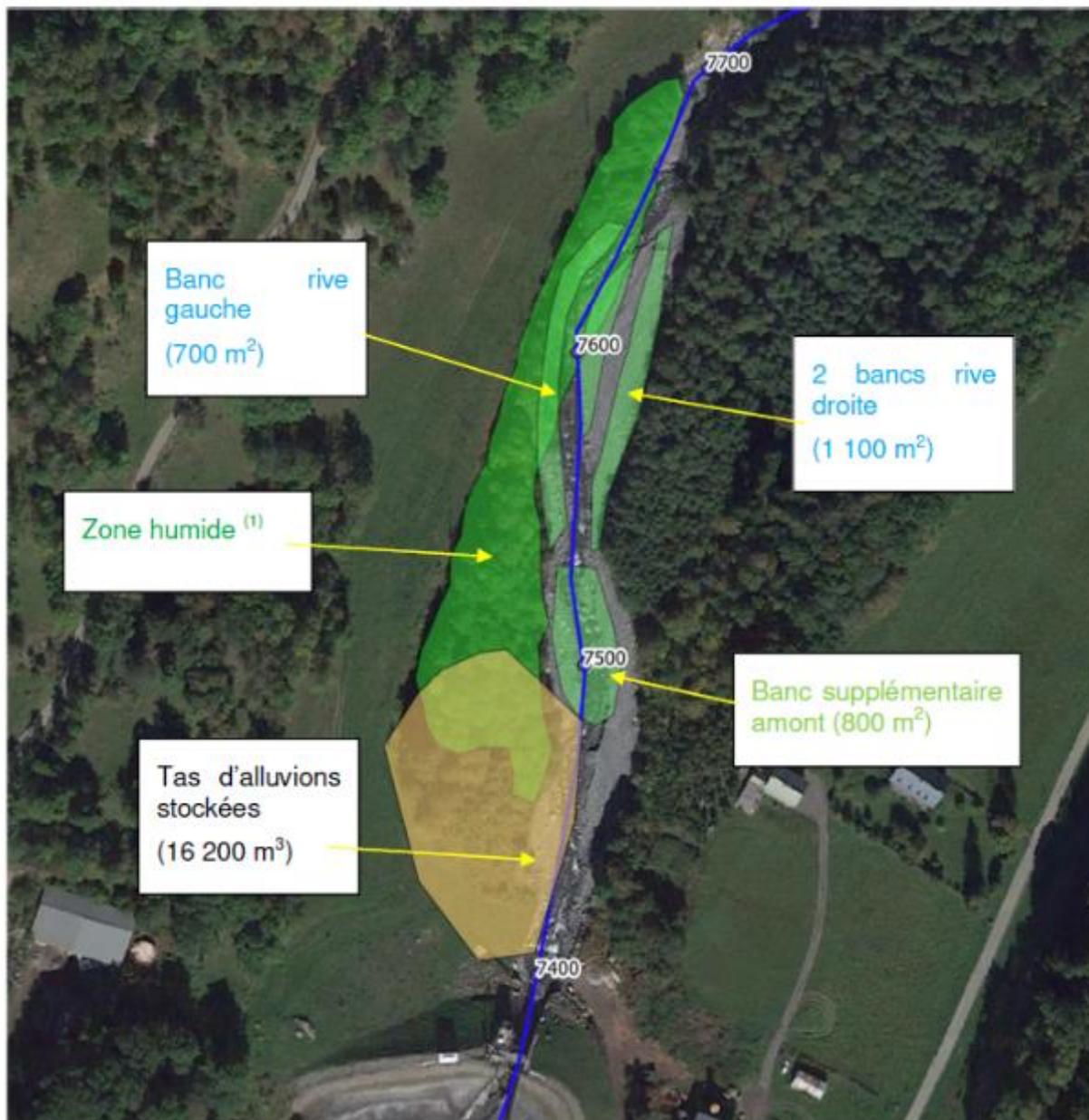


Figure 44: cartographie de principe de réinjection des matériaux (ISL, 2021)

Conformément à l'arrêté préfectoral [3], une note sera transmise à la DREAL pendant la période de préparation afin de confirmer les volumes et les secteurs de réinjection selon la morphologie du lit du Glandon au printemps 2025.

Qualité physico-chimique des matériaux

Plusieurs campagnes d'analyses physico-chimiques des matériaux présents dans la retenue ont été réalisés ([11] et [12]).

Les analyses menées par GINGER en 2019 montrent le caractère inerte et de bonne qualité des matériaux, issus d'une tête de bassin versant sans sources de pollution anthropiques.

Les analyses respectent les critères du seuil S1. Les matériaux peuvent donc être réinjectés dans le cours d'eau en aval de la zone travaux.

Criblage des matériaux

Une option est proposée sur la mise en place d'un criblage des matériaux issus de la retenue afin de les réutiliser sur site.

Le criblage aurait pour objectif :

- De retirer la partie fine des matériaux pour la réutiliser en modelés et re végétalisation du site après amendement ;
- De cribler la partie grossière pour constituer :
 - o Des matériaux de remblais compactables,
 - o Des matériaux drainants,
 - o Des matériaux de couche de forme ou de fondation (pour les substitutions nécessaires),
 - o Des matériaux plus facilement valorisables par les entreprises et limitant les volumes d'évacuation.

Cette option sera étudiée en phase de préparation avec les entreprises.

Toutes les autorisations afférentes seront demandées.

Evacuation des matériaux

Le mouvement des terres intègre une part d'aléa, notamment sur le foisonnement des matériaux et la réutilisation possible de ceux-ci sur site, qui pourrait aboutir à une nécessité d'évacuation d'une partie des matériaux.

L'objectif est de ne pas avoir à évacuer de matériaux, ou tout au moins de limiter au maximum les évacuations pour limiter le bilan carbone de l'opération, les nuisances au voisinage et pour des raisons économiques.

Par ailleurs, la valorisation des matériaux par les entreprises est très difficile dans un contexte d'offre importante liée aux chantiers de TELT, qui conduit à la saturation des sites de valorisation disponibles.

L'étude [8] a envisagé l'option d'évacuation des matériaux vers des filières de recyclage.

Voici les principales conclusions sachant que les volumes à l'époque étaient quasiment identiques (37 000 m³) :

Concernant les besoins en granulats, le tableau suivant présente la liste des carrières dans le département de la Savoie à proximité de St-Colomban-des-Villards (source DREAL : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/rechercheICForm.php>).

Entreprise	Commune	Distance
GAUDIN SARL	ST ETIENNE DE CUINES	8,5 km
MARTOIA CARRIERES-TP SARL	PONTAMAFREY	11,5 km
APPRIN RENE & CIE SAS	ST JEAN DE MAURIENNE	21 km
SEGY SA	MONTRICHER ALBANNE	33 km
BORGHESE LOUIS SA	CHAMOUSSET	47 km
SABLIERES DE SAINTE HELENE SNC	STE HELENE SUR ISERE	50 km

Figure 5 : Liste des carrières à proximité de la Chal

Par ailleurs, il semble que l'entreprise Eiffage Carrières et Matériaux de Savoie située à St-Julien-Montdenis (13,8 km), qui ne fait pas partie de la liste mais que l'on trouve sur les Pages Jaunes, puisse également être une entreprise à considérer (à vérifier).

Les installations de traitement des matériaux les plus proches du site de la Chal autorisées à traiter les matériaux sont les sociétés Gaudin Sarl et Martoia carrières TP Sarl, situées respectivement à 8,5 et 11,5 km, soit à 10 km en moyenne.

Avec des engins du type pelle (de 40 à 50 t), le rythme de curage serait de 1 250 m³/j.
Le curage de 37 000 m³ nécessite donc près de 1,5 mois d'intervention.

Avec un curage effectué en moyenne tous les 5 ans, avec un objectif de curage de 1 250 m³/j, un passage par la route supposerait environ 80 allers-retours par jour de camions de 30 t, soit un toutes les 6 minutes pendant 1,5 mois : trafic qui risque d'être difficilement acceptable même pour une route peu fréquentée.

Les nuisances concernant la gêne à la circulation, la poussière et le bruit généré par le trafic.

Par ailleurs, avec cette cadence, la réfection de la chaussée est à prévoir.

Avec un curage effectué plus souvent, la circulation des camions serait plus espacée.

Figure 45: Extrait du protocole ISL [8]

L'objectif est donc de réutiliser un maximum de matériaux sur site et de réinjecter dans le lit du Glandon et de limiter au strict nécessaire l'évacuation de matériaux.

L'évacuation en semi-remorques (capacité de 24 m³) nécessiterait donc 1 500 rotations sur une période de 3 mois (60 jours) soit un peu plus de 3 rotations par heure.

Cette cadence est une cadence moyenne avec des pics possibles à 6 rotations par heure (1 rotation toutes les 10 min), induisant des nuisances de circulation, de bruit, de poussière, etc.

8.3. ANALYSE DE RISQUE

En raison des contraintes du site, SHEMA demande le report de la fin des travaux de mise en sécurité de l'ouvrage en 2026, sachant que l'ouverture du barrage (sur la totalité de la hauteur et sur une largeur de 20 m) permettant le transit sans entrave des crues et laves torrentielles sera effective dès le mois d'octobre 2025. La réalisation de la partie amont du chenal, cependant, ne sera terminée qu'en novembre 2026.

L'analyse de risque ci-dessous évalue le risque résiduel d'un événement exceptionnel entre le 30 juin 2025 (date de fin de réalisation des travaux définie dans l'arrêté préfectoral de mise en sécurité) et novembre 2026 (date de fin des travaux du chenal tel que prescrits dans l'arrêté préfectoral de mise en sécurité) concernant les tiers (les risques relatifs aux travailleurs ont été décrits au paragraphe 8) :

Pages suivantes :

Tableau 6: Analyse de risque du décalage des travaux de mise en sécurité

Etat du site

Fonctionnement normal ;

La visite technique approfondie du 21 décembre 2021 atteste du bon état du barrage ;

Le dernier rapport d'auscultation daté de 2021, complété du rapport de prise en charge et de diagnostic réalisé par EDF-DTG en 2023, confirment le bon état actuel du barrage ;

Le barrage est surveillé mensuellement conformément à la Consigne de Surveillance et d'Auscultation ;

Application de l'arrêté préfectoral sur les mesures transitoires (voir [4]), c'est-à-dire :

- Maintien d'un volume utile de 30 000 m³ entre le 1^{er} mai et le 30 septembre de chaque année,
- Maintien du clapet en position ouverte toute l'année ;
- Mise en place de plusieurs systèmes d'alertes météorologiques :
 - o Vigilances orange « pluie-inondation » et « orage » du département de la Savoie,
 - o Alertes sur dépassement des seuils pluviométriques pilotées EDF-DTG sur informations de Météo France (1^{er} seuil de veille à 6mm/1heure, 2^{ème} seuil déclenchant l'ouverture de la vanne de fond à 12mm/1heure)
 - o Intégration au dispositif APIC,
 - o Accès au site professionnel et au service téléphonique de Météo France 24h/24 et 7j/7,
- Mise en place d'un système de détection des événements hydromorphologiques via trois sondes de mesure de niveaux d'eau installées sous les ponts départementaux en amont du site, et alertant l'exploitant en cas de niveau et/ou de gradient de niveau supérieurs à un seuil.

permettant de mettre en transparence l'ouvrage avant la survenance d'un évènement. Ces prévisions sont très localisées et le contact direct avec les prévisionnistes permet une très grande réactivité en exploitation. Par ailleurs, la connaissance historique du site par l'exploitant permet une bonne appréhension des évènements.

Du 30 juin au 15 juillet 2025

Evènements redoutés	Probabilité d'occurrence des évènements redoutés	Conséquences
Crue de débit supérieur à la débitance de l'ensemble clapet + vanne de fond du barrage à PHE (soit 158 m ³ /s en tenant compte d'un coefficient de colmatage réduisant la débitance maximale théorique, voir détail du calcul dans [7]).	Une crue de débit supérieur ou égal à 158 m ³ /s est au moins décennale [7] (moins d'une fois tous les 10 000 ans). Sa probabilité annuelle d'occurrence est donc inférieure à 0,01% (10 ⁻⁴).	L'exigence de sûreté pour les barrages de classe C en remblai est de considérer les évènements de période de retour au moins millénaire. Ici nous avons un barrage en remblai de classe C en mesure de faire transiter une crue au moins décennale, cela signifie donc que le risque correspondant est très largement inférieur aux exigences de sûreté réglementaires (chapitre 3 de l'annexe I de l'arrêté du 6 août 2018).

	<p>Evènement exceptionnel, défini comme étant une lave torrentielle d'apport volumique de 40 000 m³ (d'après l'analyse du service RTM dans son rapport sur l'évènement d'août 2018),</p> <p>Détecté par le système d'alertes météorologiques et / ou par le système de détection, permettant la mise en transparence de l'ouvrage avant l'arrivée de l'évènement sur site.</p>	<p>La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel est cinquantennale d'après l'analyse réalisé par RTM dans son rapport de 2018 (2%/an, soit $2 * 10^{-2}$).</p> <p>Sur la période visée (2 semaines), la probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel se limite à 0,39% ($3.9 * 10^{-3}$, soit une fois tous les 255 ans). Le calcul est détaillé en Annexe 5 : Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.</p>	<p>Aucune, l'ouvrage étant en transparence.</p> <p><i>Tout évènement hydromorphologique d'ampleur moindre transiterait par le lit du cours d'eau, lui-même chenalisé y compris dans la retenue actuelle. Il pourrait y avoir du dépôt de part et d'autre du chenal existant, mais la probabilité du comblement complet de la retenue sur la période (soit les 30 000 m³ de volume utile) est nulle. D'autant qu'il y aurait un phénomène efficace de reprise des matériaux en raison de la mise en transparence totale et permanente de l'ouvrage et de la capacité de transport très importante du cours d'eau.</i></p>
--	---	---	---

	<p>Evènement exceptionnel, défini comme étant une lave torrentielle d'apport volumique de 40 000 m³ (d'après l'analyse du service RTM dans son rapport sur l'évènement d'août 2018),</p> <p>Avec défaillance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Soit du système d'alerte météorologique ou du système de détection ; - Soit de la vanne de fond. 	<p>La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel est cinquantennale d'après l'analyse réalisé par RTM dans son rapport de 2018 (2%/an, soit $2 * 10^{-2}$).</p> <p>Sur la période visée (2 semaines), la probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel se limite à 0,39%* ($3,9 * 10^{-3}$, soit une fois tous les 255 ans).</p> <p>Par ailleurs, le retour d'expérience sur les alertes météorologiques révèle un taux d'efficacité de 80 % (voir Annexe 6 : Analyse de l'efficacité du dispositif d'alertes météorologiques depuis 2019), donc une probabilité d'occurrence de défaillance de 20 % ($20 * 10^{-2}$).</p> <p>Le système de détection des évènements par mesure de niveau sera nouvellement installé, son efficacité n'est pas encore prouvée mais il s'agit d'un système en redondance des alertes météorologiques donc sa défaillance n'a pas d'impact sur la probabilité d'occurrence globale du risque traité ici.</p> <p>Enfin, le retour d'expérience depuis 2019 ne révèle aucune défaillance de la vanne de fond qui ne soit pas successif à la défaillance du système d'alerte météorologique.</p> <p>Ainsi, l'occurrence globale du risque est estimée à 0,08 % ($8 * 10^{-4}$, soit une fois tous les 1 250 ans).</p>	<p>L'exigence de sûreté pour les barrages de classe C en remblai est de considérer les évènements de période de retour au moins millénaire. Ici nous avons un barrage en remblai de classe C en mesure de faire transiter un évènement de période de retour 1 250 ans, cela signifie donc que le risque correspondant est inférieur aux exigences de sûreté règlementaires (chapitre 3 de l'annexe I de l'arrêté du 6 août 2018).</p>
--	---	---	---

	<p>Deux évènements exceptionnels successifs sur la période visée.</p>	<p>Sur la période visée (2 semaines), la probabilité d'occurrence de deux évènements exceptionnels successifs est de 0,0015% ($1,5 * 10^{-5}$, soit une fois tous les 65 500 ans). Le calcul est détaillé en Annexe 5 : Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.</p>	<p>La probabilité d'avoir deux évènements successifs de ce type sur la période considérée est de $1,5 * 10^{-5}$, ce qui correspond à une période de retour de 65 500 ans, très largement supérieure à la valeur de référence pour les barrages de classe C en remblai tel celui de La Chal (période de retour au moins millénaire). Le risque correspondant est donc très largement inférieur aux exigences de sûreté réglementaires (chapitre 3 de l'annexe I de l'arrêté du 6 août 2018).</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Du 15 juillet au 30 septembre 2025</p>	Etat du site		
	<p>Arrêt du turbinage ; Retenue vidangée ; Ouvrages consignés ouverts ; Application de l'arrêté préfectoral sur les mesures transitoires (voir [4]), c'est-à-dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maintien d'un volume utile de 30 000 m³ entre le 1^{er} mai et le 30 septembre de chaque année. 		
	Evènements redoutés	Probabilité d'occurrence des évènements redoutés	Conséquences
	<p>Crue de débit supérieur à la débitance de l'ensemble clapet + vanne de fond du barrage à PHE (soit 158 m³/s en tenant compte d'un coefficient de colmatage réduisant la débitance maximale théorique, voir détail du calcul dans [7]).</p>	<p>Une crue de débit supérieur ou égal à 158 m³/s est au moins décennale [7] (moins d'une fois tous les 10 000 ans). Sa probabilité annuelle d'occurrence est donc inférieure à 0,01% (10^{-4}).</p>	<p>L'exigence de sûreté pour les barrages de classe C en remblai est de considérer les évènements de période de retour au moins millénaire. Ici nous avons un barrage en remblai de classe C en mesure de faire transiter un évènement au moins décennale, cela signifie donc que le risque correspondant est très largement inférieur aux exigences de sûreté réglementaires (chapitre 3 de l'annexe I de l'arrêté du 6 août 2018).</p>

<p>Evènement exceptionnel, défini comme étant une lave torrentielle d'apport volumique de 40 000 m³ (d'après l'analyse du service RTM dans son rapport sur l'évènement d'août 2018).</p>	<p>La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel est cinquantennale d'après l'analyse réalisé par RTM dans son rapport de 2018 (2%/an, soit $2 * 10^{-2}$).</p> <p>Sur la période visée (2 semaines), la probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel se limite à 0,39% ($3,9 * 10^{-3}$, soit une fois tous les 255 ans). Le calcul est détaillé en Annexe 5 : Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.</p>	<p>Aucune, l'ouvrage étant en transparence.</p> <p><i>Tout évènement hydromorphologique d'ampleur moindre transiterait par le lit du cours d'eau, lui-même chenalisé y compris dans la retenue actuelle. Il pourrait y avoir du dépôt de part et d'autre du chenal existant, mais la probabilité du comblement complet de la retenue sur la période (soit les 30 000 m³ de volume utile) est nulle. D'autant qu'il y aurait un phénomène efficace de reprise des matériaux en raison de la mise en transparence totale et permanente de l'ouvrage</i></p>
<p>Deux évènements exceptionnels successifs sur la période visée.</p>	<p>Sur la période considérée (47 jours entre juillet et août et 30 jours en septembre) la probabilité d'occurrence d'un évènement redouté se limite à 1,34%* ($1,34 * 10^{-2}$, soit une fois tous les 75 ans). Le calcul est détaillé en Annexe 5 : Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.</p> <p>La probabilité d'occurrence de deux évènements redoutés successifs est donc de 0,018% ($1,8 * 10^{-4}$, soit une fois tous les 5 555 ans). Le calcul est détaillé en Annexe 5 : Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes.</p>	<p>La probabilité d'avoir deux évènements successifs de ce type sur la période considérée est de $1,8 * 10^{-4}$, ce qui correspond à une période de retour de 5 555 ans, très largement supérieure à la valeur de référence pour les barrages de classe C en remblai tel celui de La Chal (période de retour au moins millénaire). Le risque correspondant est donc très largement inférieur aux exigences de sûreté règlementaires (chapitre 3 de l'arrêté du 6 août 2018).</p>

Etat du site

A l'amont du Tepey : lit naturel du Glandon jusqu'à août 2026, puis Glandon contenu en demi cours d'eau entre août et novembre 2026 pour la réalisation du chenal amont.

A l'aval du Tepey : Glandon dévié en rive gauche entre octobre et décembre 2025, puis réintégré dans le chenal élargi réalisé entre la queue de la retenue et l'aval du barrage actuel (chenal médian et aval).

La retenue (c'est-à-dire l'élargissement du lit ou la « plage de dépôt » considérée par le service RTM) n'existera plus à compter de décembre 2025.

Evènements redoutés

Probabilité d'occurrence des évènements redoutés

Conséquences

Aucun.

Tout évènement hydromorphologique transitera par le lit du cours d'eau, lui-même chenalisé y compris lors de ses déviations en rive gauche ou en demi-cours d'eau. Les batardeaux réalisés protégeront les zones de travaux et les travailleurs, ils seront fusibles afin de permettre une restitution de la largeur totale du lit en cas d'évènement majeur. Ainsi, il n'y aura plus de débordement possible en dehors du lit. Les risques concerneront uniquement la zone de travaux et non plus les tiers.

Nulle.

Aucune.

9. DU 1^{ER} OCTOBRE 2025 AU 30 NOVEMBRE 2026

10. CARTOGRAPHIES

Différentes cartes seront transmises aux services instructeur 1 mois avant le début des travaux :

- Localisation des travaux, accès, base-vie de chantier, zone de stockage etc. ;
- Lieux de circulation des engins de chantier ;
- Points de traversée du cours d'eau ;
- Localisation des zones de réinjection sédimentaire et des zones de stockage de matériaux, avec matérialisation de la zone humide.

La localisation de la zone de travaux au 1/25 000 est disponible en Annexe 4 : Localisation des travaux au 1/25 000Annexe 4 :

11. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

11.1. ENJEUX DU SITE

11.1.1. Zonages environnementaux

Le torrent du Glandon est concerné par un classement en **Liste 1** au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement, de sa source jusqu'à la confluence avec le torrent du Bellard.

Ce classement en Liste 1 est en lien avec la fonction de **réservoir biologique** sur le Glandon identifié par le SDAGE 2016-2021 : « *Le Glandon de la source au torrent de Bellard inclus, affluents compris* ». La pertinence des réservoirs biologiques de ce précédent SDAGE a été soulignée par une étude INRAE, menée entre 2018 et 2020. En conséquence, ces réservoirs biologiques ont été reconduits pour le nouveau SDAGE 2022-2027.

Ce réservoir biologique assure une fonction de diffusion vers l'aval, avec pour espèce cible, la truite commune.

La zone des travaux se situe au sein de **deux ZNIEFFs** répertoriées :

- ZNIEFF de type 1 – Versant Ouest de la vallée des Villards _ n°820031848

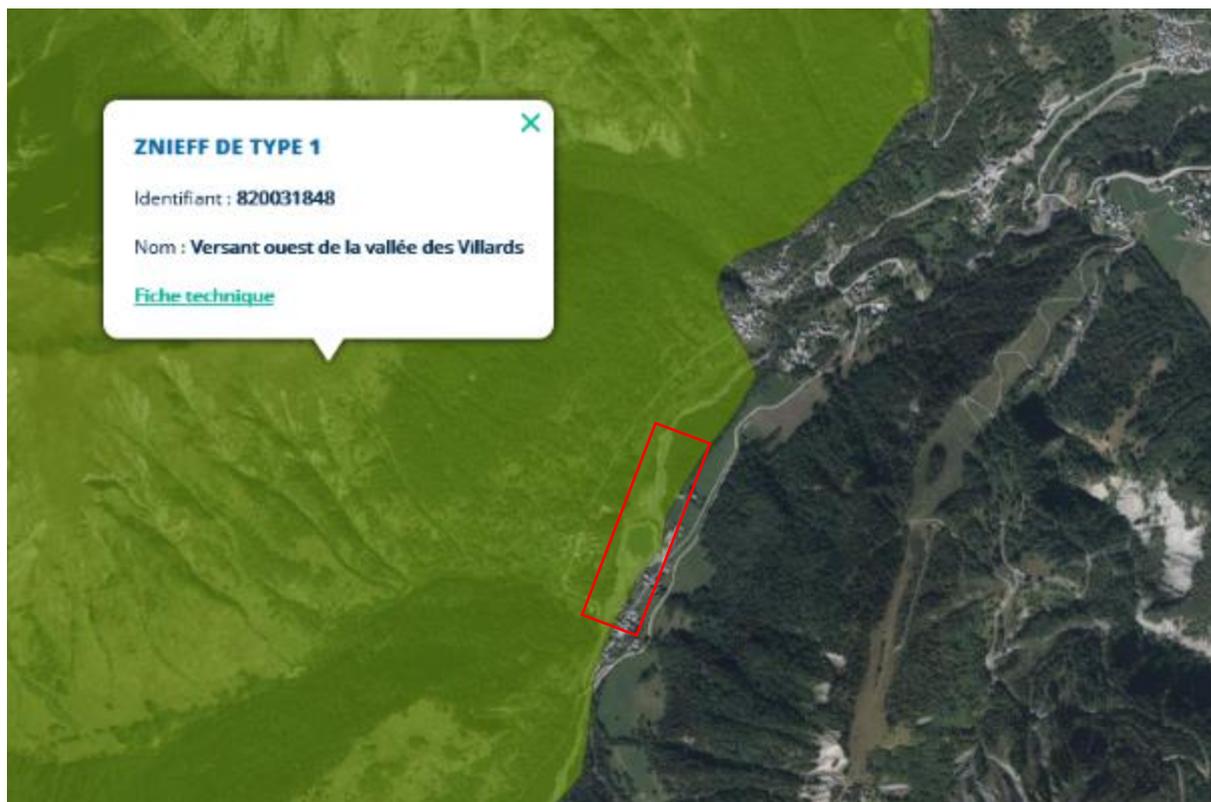


Figure 46: Carte de la ZNIEFF de type 1 englobant la zone travaux

- ZNIEFF de type 2- Massif de Belledonne et chaîne des Hurtières- n°820031917

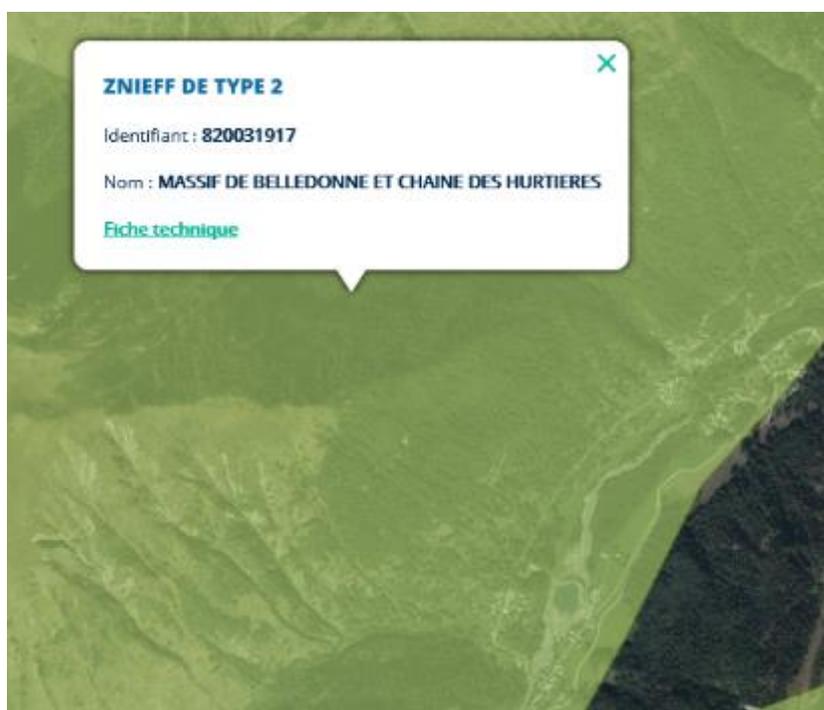


Figure 47: Carte de la ZNIEFF de type 2 englobant la zone de travaux

Aucune zone Natura 2000 n'est présente à proximité des travaux.

D'un point de vue « paysage », le site du col du Glandon est un site classé Loi 1930 « Sommets et vallées d'Arves et du Mont-Cenis ». Il se situe à 5km de la zone de travaux. **Le projet n'impacte pas ce site classé ni directement ni indirectement.**

11.1.2. Fonctionnement hydromorphologique

De part et d'autre de la retenue de La Chal, la pente moyenne du Glandon est relativement forte (environ 8 à 10 % à l'amont et 7% à l'aval).

Le cours d'eau se caractérise ici par un transport sédimentaire très important : le charriage massif modèle le fond de vallée, avec une largeur à plein bord de 10 à plus de 35 m par endroit, nettement dessinée par les dépôts granulométriques de toute taille. En effet, plusieurs affluents rive droite sont à l'origine de ce transport solide très important (Combe Jean Fabre, Combe du Golet, Ravin du Sapey), avec notamment des phénomènes de type laves torrentielles. Les bandes de dépôts sédimentaires de part et d'autre du lit mineur peuvent atteindre 1,5 m d'épaisseur par endroits.



Figure 48: Le Glandon en amont immédiat de l'ouvrage



Figure 49 : Vue du Glandon depuis la retenue

Le lit mineur, d'une largeur comprise entre 3 et 6 m, évolue dans cet espace de mobilité. De fait, la ripisylve est totalement déconnectée du lit mineur, et n'offre des potentialités de connexion latérale qu'à des débits vraisemblablement largement supérieurs au module.

Les faciès d'écoulement sont très majoritairement lotiques, avec des successions de rapides entrecoupés de quelques fosses. La granulométrie est logiquement très grossière : les blocs et les pierres sont dominants, accompagnés de sables comme fraction accessoire. Le colmatage de surface est très marqué (classe 5 selon la classification Archambaud).



Figure 50: La Glandon au droit du pont communal



Figure 51: Dépôt sédimentaire en aval de l'ouvrage

Globalement, le Glandon sur ce tronçon est très peu attractif pour l'ichtyofaune. Les habitats piscicoles sont peu diversifiés :

- Les caches sont rares avec seulement la présence de quelques fosses ;
- La déconnexion du lit mineur avec la végétation rivulaire induit de fait l'absence d'habitat tel que les sous-berges ou les chevelus racinaires ;
- Les frayères potentielles sont inexistantes, la granulométrie étant grossière et le colmatage très important.

Concernant la faune benthique (macro invertébrés), malgré la présence de substrats biogènes, le Glandon apparaît peu attractif en raison de l'hydrologie, du transport solide, des caractéristiques hydromorphologiques, du colmatage important et de l'homogénéité des substrats et des vitesses d'écoulements.

11.1.3. Peuplement piscicole

Des inventaires piscicoles ont été réalisés en 2023 en amont immédiat (station GLA1185) et en aval immédiat (station GLA1125) de l'ouvrage de La Chal. Sur les 2 stations, la forte pente induit des écoulements lotiques, constitués exclusivement de rapides. Les habitats pour l'ichtyofaune sont quasi inexistantes en raison de la déconnexion de la ripisylve, de l'absence de caches (présence marginale d'abris en sous-berge et de chevelus racinaires sur la station aval) et de frayères potentielles.

Aucun poisson n'a été recensé lors de ces inventaires piscicoles.

L'intérêt piscicole est jugé comme très faible sur le Glandon de part et d'autre de l'ouvrage de La Chal. Sur ce secteur, le cours d'eau apparaît peu favorable à la truite commune, les habitats étant peu diversifiés avec une quasi-absence de caches ou de frayères potentielles, un transport sédimentaire très important et des substrats principalement grossiers et fortement colmatés.

11.1.4. Peuplement macro invertébrés

Dans le cadre de l'exploitation du barrage de La Chal, un suivi hydro biologique a été réalisé sur le Glandon en 2023, de part et d'autre de la retenue. Les 2 stations ont été prospectées au cours de 2 campagnes annuelles : en mars et octobre 2023.

La qualité hydro biologique valide le bon état biologique, selon l'arrêté du 27 juillet 2018, sur les deux stations suivies. En effet, des taxons polluosensibles ont été recensés, traduisant ainsi une bonne qualité de l'eau du cours d'eau, exempt de perturbations physico-chimiques.

Néanmoins, le Glandon, de part et d'autre de l'ouvrage de La Chal, présente des peuplements macro invertébrés particulièrement peu abondants et peu diversifiés, ce qui témoigne de la faible habitabilité et de l'instabilité du milieu en lien avec les contraintes hydrologiques et hydromorphologiques du bassin versant.

11.1.5. Continuité écologique

En amont de Saint-Colomban-des-Villards, seul le barrage de La Chal est référencé dans le Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE), sous le code ROE26768. A proximité de l'aménagement, aucun autre ouvrage infranchissable n'a été recensé sur le Glandon et ses affluents. L'ouvrage de La Chal constitue donc le seul obstacle artificiel infranchissable à la montaison et à la dévalaison pour la truite commune. Rappelons toutefois que, dans ce secteur, l'intérêt piscicole est fortement limité par les caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau et que la continuité longitudinale à la montaison

est très souvent limitée par la présence d'infranchissables naturels en lien avec les fortes pentes des différents cours d'eau (Glandon, torrent du Tépey, torrent des Roches).

Dans le cadre du démantèlement du barrage et de la réalisation du chenal d'écoulement, un seuil de hauteur 2,5 à 3 m sera construit au droit du projet de prise d'eau optimisée, environ 180 m à l'amont du seuil actuel, qui lui, présente une hauteur d'environ 10 m.

11.1.6. Milieux terrestres

Aucune intervention ne sera autorisée hors des emprises déjà largement anthropisées. Les emprises seront balisées physiquement sur site, notamment la zone humide en rive gauche aval.

11.1.7. Nuisances sonores

Les travaux prescrits par l'arrêté préfectoral [1] nécessitent des moyens importants de chantier. Des nuisances sonores liées aux travaux seront nécessairement émises pendant toute la durée du chantier (engins, charrois, etc.).

Elles restent cependant limitées aux avoisinants immédiats et faibles en termes de décibels.

Un point de référence avant travaux sera réalisé. Des mesures ponctuelles de bruit pourront être réalisées sur demande des services de contrôles. L'émergence de bruit devra être conforme à la réglementation en vigueur (arrêté du 10 décembre 2013) :

NIVEAU DE BRUIT AMBIANT existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit de l'installation)	ÉMERGENCE ADMISSIBLE pour la période allant de 7 heures à 22 heures, sauf dimanches et jours fériés	ÉMERGENCE ADMISSIBLE pour la période allant de 22 heures à 7 heures, ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
Supérieur à 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Figure 52: Extrait de l'arrêté préfectoral du 10 décembre 2013 sur les nuisances sonores

Les travaux seront réalisés sur les horaires 7h-18h.

11.1.8. Nuisances poussières

Le chantier devra respecter la réglementation en lien avec les émissions dans l'air de poussières notamment les articles 40 et 41 de l'arrêté du 10 décembre 2013.

Des mesures pourront être effectuées lors de certaines phases du chantier sur demande des services de contrôle.

11.1.9. Synthèse des enjeux environnementaux

Tableau 7: Synthèse des enjeux environnementaux

Thématique	Diagnostic	Niveau d'enjeu	Sensibilités vis-à-vis du projet	Niveau de sensibilité	Argumentaire
Zonages environnementaux	Cours d'eau concerné par le classement en Liste 1 au titre de l'article L214-17 du code de l'environnement. Cours d'eau classé comme réservoir biologique (RbioD00220) et en arrêté de frayères pour la Truite Commune (<i>Salmo trutta fario</i>).	Fort	Amélioration des fonctionnalités caractérisant le réservoir biologique (dévalaison). Risque de destruction de frayères à truite commune en phase travaux.	Nul	L'objectif du réservoir biologique est la diffusion vers l'aval de la truite commune. Le démantèlement du barrage restaurera la continuité longitudinale. Aucune frayère potentielle n'ayant été recensée au droit du projet, aucun impact n'est à prévoir sur les habitats de reproduction de la truite commune.
Habitats naturels aquatiques	Habitats peu attractifs pour la faune aquatique (poissons et macro invertébrés) au droit du projet, en raison des caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau.	Faible	Risque de destruction des habitats favorables à la faune aquatique en phase travaux.	Faible	Le linéaire n'est pas favorable à l'ichtyofaune et est peu favorable à l'établissement d'un peuplement macro invertébrés abondant et diversifié.
Faune aquatique	Absence de peuplement fonctionnel de truite commune sur le linéaire concerné par les travaux. Bon état biologique basé sur l'I2M2. Présence de taxons polluosensibles témoignant de la bonne qualité physico-chimique des eaux. Peuplement peu abondant et peu diversifié en raison des conditions hydromorphologiques.	Modéré	Absence de sensibilité pour le peuplement piscicole. Risque de destruction des habitats favorables à la faune aquatique en phase travaux.	Faible	Le linéaire n'est pas favorable à l'ichtyofaune et est peu favorable à l'établissement d'un peuplement macro invertébrés abondant et diversifié.

Thématique	Diagnostic	Niveau d'enjeu	Sensibilités vis-à-vis du projet	Niveau de sensibilité	Argumentaire
<p>Continuités écologiques</p>	<p>Le barrage de La Chal est l'unique ouvrage référencé dans le ROE. Il constitue un obstacle à la montaison et à la dévalaison.</p> <p>Montaison limitée par la présence d'infranchissables naturels en lien avec les fortes pentes du Glandon et de ses affluents.</p>	<p>Fort pour la dévalaison</p> <p>Faible pour la montaison</p>	<p>Restauration partielle de la continuité longitudinale (dévalaison).</p>	<p>Nul</p>	<p>Le projet ne créera pas de nouvelles discontinuités aquatiques. Le démantèlement du barrage restaurera la continuité longitudinale pour la dévalaison.</p> <p>La réalisation d'un seuil d'une hauteur de 2,5 à 3 m maintiendra l'état actuel concernant la montaison, avec un seuil moindre par rapport à l'état actuel.</p>

11.2. IMPACTS PENDANT ET APRES TRAVAUX

11.2.1. Généralités

Le secteur des travaux est limité :

- au lit du Glandon entre le pont communal et une centaine de mètres en aval du barrage actuel ;
- Au barrage lui-même ;
- A la retenue du barrage.

Les enjeux sont très limités dans l'emprise du projet, celle-ci étant déjà largement anthropisée : ouvrages existants, entretiens réguliers, zones de stockage, pistes et zones de réinjection des matériaux, zones d'accès etc.

Les travaux à mener resteront limités aux strictes emprises existantes, avec une extension à l'amont de la confluence avec le Tepey (demande de l'arrêté préfectoral [1]).

Néanmoins, les travaux peuvent avoir des impacts à l'aval sur le ruisseau du Glandon :

- Rejet de laitances de béton vers l'aval ;
- Rejet de Matières En Suspension (MES), hors période de crue ;
- Rejet accidentel d'huile, de carburant, etc.

Les travaux seront donc réalisés, à sec, entièrement à l'abri de batardeaux.

L'écoulement du Glandon sera dévié pour permettre la réalisation de la majorité des travaux. Lorsque ce n'est pas possible, les travaux sont réalisés en demi cours d'eau.

Les instants critiques se résument à la remise en eau des chenaux et lors du démontage des batardeaux. Toutes les mesures seront prises pendant ces phases pour limiter les impacts sur la qualité de l'eau, en particulier, il est proposé de mettre en place sur ces phases critiques un suivi MES et oxygène.

Par ailleurs, aucun engin ne sera autorisé à traverser le cours d'eau sauf pour le premier passage nécessaire pour atteindre la rive gauche. Des passages à gué busés seront mis en place. Ils seront correctement dimensionnés pour permettre l'écoulement moyen du Glandon.

11.2.2. Effets temporaires – En phase travaux

En ce qui concerne les peuplements aquatiques, bien que les travaux se situent dans un secteur où les peuplements piscicoles et macro invertébrés sont très faiblement abondants, la phase chantier peut entraîner un risque de destruction directe d'individus et de leurs habitats. Cependant, les modalités de travaux en rivières qui prévoit la dérivation du cours d'eau et la pose de batardeau pour travail en demi cours d'eau limitent nettement les impacts sur la faune aquatique au droit des emprises chantier. Par ailleurs, aucun habitat de reproduction de la truite commune ne sera impacté par les travaux, aucune frayère potentielle n'ayant été recensée sur le linéaire concerné.

En cas de départ important de Matières En Suspension (MES), les peuplements aval sensibles à la qualité de l'eau, peuvent également être impactés. Néanmoins, au regard de la durée des travaux et de la nature inerte des sédiments, l'incidence sera négligeable avec les préconisations suivies par l'entreprise des travaux.

Les effets temporaires, dus à la phase travaux, sur le milieu naturel sont donc considérés comme faibles.

Tableau 8: Synthèse des impacts en phase travaux

Thématique	Type d’impact	Direct / indirect	Positif / Négatif	Niveau d’impact
Faune aquatique : macro invertébrés	<i>Rappel : peuplement peu abondant et peu diversifié, présence de taxons polluo-sensibles.</i> Impacts liés à la dérivation du cours d’eau et aux interventions des engins dans le lit : dérive des macro invertébrés benthiques. Recolonisation des macro invertébrés généralement rapide (exemple des laves torrentielles).	Direct	Négatif	Non significatif
Faune aquatique : poissons	<i>Rappel : absence de peuplement piscicole fonctionnel / absence de frayère potentielle.</i> Impacts liés aux interventions des engins dans le lit : destruction potentielle d’habitats piscicoles (zone de transit) sur un faible linéaire.	Direct	Négatif	Non significatif
Pollution des eaux	<i>Rappel : travaux réalisés après dérivation du cours d’eau ou en demi cours d’eau.</i> Impacts liés aux interventions des engins dans le lit : augmentation potentielle des teneurs en matières en suspensions (MES) limitée dans le temps mais potentiellement importante / pollution potentielle par fuite d’huile ou d’hydrocarbures des engins.	Direct	Négatif	Faible

11.2.3. Effets permanents – après les travaux

Sur l’aire d’étude, au regard des faibles abondances et diversités observées pour les macro invertébrés et de l’absence de peuplement piscicole en raison des caractéristiques hydromorphologiques du cours d’eau, le démantèlement de l’ouvrage et la création du chenal d’écoulement n’auront pas de conséquences significatives sur les communautés benthiques et piscicoles.

L’effacement de l’ouvrage aura en revanche un effet positif sur la continuité écologique, en permettant la dérive du macrofaune benthique et la diffusion de l’ichtyofaune vers l’aval.

Tableau 9: Synthèses des impacts après travaux

Thématique	Type d’impact	Direct / indirect	Positif / Négatif	Niveau d’impact
Continuités écologiques	Impacts liés à l’effacement du barrage : amélioration de la continuité longitudinale permettant la dérive du macrofaune benthique et la diffusion de l’ichtyofaune vers l’aval.	Direct	Positif	Non évaluable

11.3. MESURES ERC : EVITER, REDUIRE, COMPENSER

11.3.1. Eviter

Au vue des impacts faibles en phase travaux et positifs après travaux, aucune mesure EVITER n'a été étudiée.

11.3.2. Réduire

Avant tous travaux, une pêche électrique sera réalisée sur les secteurs mis en assec. Plusieurs opérations seront nécessaires suivant le phasage travaux envisagé. La première pêche sera à réaliser sur tout le tronçon médian et aval du chenal sur le Glandon.

Par ailleurs, sont listées ci-dessous les mesures prises en phase travaux pour réduire voire éviter les impacts sur les milieux à l'aval :

- Les engins amenés à travailler sur le chantier devront avoir été nettoyés au préalable pour s'assurer de ne pas disséminer des espèces envahissantes exotiques dans ce secteur préservé ;
- La zone humide présente en aval rive gauche sera sanctuarisée le temps des travaux notamment lors de la campagne de réinjection (à noter que la piste d'accès est déjà existante) ;
- Les travaux seront réalisés hors d'eau après dérivation du cours d'eau ou à l'abri de batardeaux ;
- Aucune circulation en eau par les engins ne sera tolérée (hors premier passage) ;
- Lors des phases critiques de basculement du cours d'eau, des mesures de MES et oxygène dissous pourront être mises en œuvre (point de référence à l'amont de la zone travaux et deux points à l'aval (100 m et 1 km). Elles seront mises en œuvre par le titulaire des travaux de façon hebdomadaire sur toute la période du chantier, et de façon journalière lors des étapes critiques de remise en eau de chenaux et de basculement de batardeaux.
- Lors des travaux de démolition de la prise d'eau :
 - o les circuits hydrauliques seront purgés avec mise en place de dispositifs de rétention sur site ;
 - o des bâches seront mises en œuvre en pied de prise d'eau pour récupérer les gravats avec des boudins absorbants ou tout autre moyen proposé par le titulaire et validé par le Maître d'œuvre - une obligation de résultat est imposée à l'entreprise ;
 - o si nécessaire, la zone travaux sera arrosée pour éviter l'envol de poussières lors de la démolition du génie civil ;
 - o Des mesures de poussières seront mises en œuvre pendant la durée du chantier sur demande des services de contrôle.
- Les engins seront stationnés hors du cours d'eau, soir et weekend sur les plateformes actuelles, non inondables ;
- Le remplissage des engins et leur entretien seront réalisés sur des plateformes prévues à cet effet avec mise en place d'un bac de rétention ;
- Les engins seront équipés de kits anti-pollution ;
- La circulation pendant les travaux sera limitée à 20km/h dans l'emprise chantier ;
- Des bennes à déchets avec tri seront installées à la base vie.

11.3.3. Compenser

Les travaux étant prescrits dans le cadre d'un arrêté préfectoral, aucune mesure compensatoire n'est envisagée.

Le site sera néanmoins renaturé par réalisation de modelés de terre sur les secteurs le permettant. Des plantations d'arbustes et un ensemencement sont prévus également sur les assiettes de terrassement, hors plateforme et banquettes. L'objectif étant d'intégrer au mieux les ouvrages réalisés.

Cette renaturation sera réalisée à la fin des travaux de la prise d'eau optimisée.

12. COÛTS DE L'OPERATION

Le chiffrage global de l'opération, hors coût de la prise d'eau optimisée, est présenté ci-après :

Tableau 10: Coûts globaux de l'opération

N°	TRAVAUX	Montant total (€ H.T)
A	Prix généraux (études, installations de chantier, constats d'huissier, mesures particulières telles que les pêches de sauvegarde, etc.)	
	SOUS-TOTAL Famille A	180 000,00 €
B	Démantèlement barrage	
	SOUS-TOTAL Famille B	290 000,00 €
C	Terrassements et réalisation du chenal	
	SOUS-TOTAL Famille C	2 450 000,00 €
F	Conduites	
	SOUS-TOTAL Famille F	105 000,00 €
AUTRES MISSIONS	Mission de Maitrise d'œuvre complète (PRO, ACT, VISA, DET, AOR)	163 000,00 €
	Mission Coordonnateur sécurité/santé (CSPS)	15 000,00 €
	Missions géotechniques (G2PRO, G4)	20 000,00 €
	Etudes complémentaires Environnement (hors étude d'impact/inventaires 4S)	20 000,00 €
	Mission Ecologue en suivi de chantier	5 000,00 €
	TOTAL OPERATION (€ H.T)	3 248 000,00 €
	TVA 20% (€ H.T)	649 600,00 €
	TOTAL OPERATION (€ T.T.C)	3 897 600,00€

13. ANNEXES

13.1. ANNEXE 1 : PIECE N°6 - ETUDE HYDRAULIQUE ET SEDIMENTAIRE DE LA PRISE DE LA CHAL (VERSION PROVISoire) – AOUT 2023 - ETRM

13.2. ANNEXE 2 : PIECE N°12 - INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES ET ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES – AOUT 2023 – PYRITE ET SOCOR

13.3. ANNEXE 3 : PHASAGE DES TRAVAUX DE MISE EN SECURITE DE L'OUVRAGE

13.4. ANNEXE 4 : LOCALISATION DES TRAVAUX AU 1/25 000

13.5. ANNEXE 5 : DETERMINATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE DU RISQUE DE SURVENANCE D'UN EVENEMENT HYDROMORPHOLOGIQUE EXCEPTIONNEL SUR DIFFERENTES PERIODES

13.6. ANNEXE 6 : ANALYSE DE L'EFFICACITE DU DISPOSITIF D'ALERTE METEOROLOGIQUES DEPUIS 2019



ÉTUDE HYDRAULIQUE ET SÉDIMENTAIRE DE LA PRISE D'EAU DE LA CHAL

Août 2023

RAPPORT PROVISOIRE

ETRM
Eaux, Torrents et Rivières de Montagne

S.A.R.L. E.T.R.M.
Vincent KOULINSKI
581 ROUTE DE MONT CARMEL
73700 Les Chapelles
Tél. : 04.79.40.04.78
etrm@cegetel.net

1. INTRODUCTION	1
1.1. OBJET DE L'ÉTUDE	1
1.2. AMÉNAGEMENT ACTUEL	2
1.3. ANALYSE DIACHRONIQUE.....	5
1.4. CRUES HISTORIQUES.....	8
2. CARACTÉRISTIQUES DU GLANDON	10
2.1. BASSIN VERSANT.....	10
2.1.1. Caractéristiques d'ensemble.....	10
2.1.2. Torrents de rive droite.....	12
2.1.3. Glandon amont.....	19
2.1.4. Torrent du Tépey	25
2.1.5. Zone alluvionnaire aval	30
2.1.6. Gorges.....	32
2.2. PROFILS EN LONG	33
2.2.1. Profil en long d'ensemble (1909).....	33
2.2.2. Évolution dans la zone de la retenue	36
2.3. HYDROLOGIE.....	37
2.3.1. Pluies journalières.....	37
2.3.2. Débits de pointe	37
2.3.3. Hydrogrammes de crue.....	38
2.3.4. Débits classés	40
2.3.5. Conditions d'écoulement.....	41

3.1.	MODES DE TRANSPORT SOLIDE	43
3.2.	APPORT SOLIDE PAR CHARRIAGE	44
3.2.1.	Granulométrie	44
3.2.2.	Formule de transport (Lefort 2015)	44
3.2.2.1.	Présentation.....	44
3.2.2.2.	Les paramètres de la formule	44
3.2.2.3.	Énoncé de la formule de transport solide.....	46
3.2.2.3.1.	Calcul du débit de transition q_0	46
3.2.2.3.2.	Calcul de la concentration C_p (ppm = mg/litre)	48
3.2.3.	Volume de transport par charriage lors des crues.....	50
3.2.4.	Charriage ordinaire	52
3.3.	LAVES TORRENTIELLES	54
3.3.1.	Caractéristiques des laves torrentielles	54
3.3.1.1.	Structure transversale.....	54
3.3.1.2.	Structure longitudinale.....	55
3.3.1.3.	Transit du front	56
3.3.1.4.	Écoulement des laves	58
3.3.1.5.	Hydrologie - Précipitations représentatives	59
3.3.2.	Volumes de crue	60
3.3.3.	Conditions d'écoulement des laves	62
3.3.3.1.	Rhéologie des laves.....	62
3.3.3.2.	Conditions d'écoulement.....	62
3.3.3.2.1.	Impact de la pente	62
3.3.3.2.2.	Impact de la largeur	67



4.1.	CONTRAINTES LIÉES AU CHARRIAGE	70
4.1.1.	Tendance naturelle au dépôt et continuité du transport	70
4.1.2.	Pente nécessaire au transit des matériaux	70
4.1.3.	Engrèvement du lit aval	72
4.2.	CONTRAINTES LIÉES AUX LAVES TORRENTIELLES.....	73
4.2.1.	Incompatibilité des laves torrentielles avec une retenue d'eau	73
4.2.2.	Régularité des sections - Absence de choc frontal	74
4.2.3.	Limites du curage mécanique	75
4.3.	PRINCIPES DE SOLUTIONS	76
4.3.1.	Synthèse des principes évoqués	76
4.3.2.	Localisation de la prise d'eau	79
4.4.	PRINCIPE DE LA PRISE D'EAU PROPOSÉE	81
4.4.1.	Principe général	81
4.4.2.	Profil en long général.....	83
4.4.3.	Schéma d'ensemble	85
4.4.4.	Lit des laves torrentielles	86
4.4.4.1.	Lit amont.....	86
4.4.4.2.	Clapet.....	88
4.4.4.3.	Lit aval	88
4.4.4.4.	Méga-grille.....	89
4.4.5.	Ouvrage de prise	90
4.4.5.1.	Chenal et vanne de chasse.....	90
4.4.5.2.	Grille de prise.....	91

1. INTRODUCTION

1.1. Objet de l'étude

La prise d'eau de la Chal sur le torrent du Glandon paraît peu compatible avec le transport solide. Cela génère notamment des dépôts en queue de retenue comme le montre la photo suivante :



Figure 1 : Vue d'ensemble de la prise d'eau et de la retenue associée.

Une restructuration de cette prise d'eau est envisagée, ce qui nécessite

- 🌊 L'analyse des écoulements d'eau et des dépôts en amont et au droit de la prise, notamment pour assurer la protection des riverains.
- 🌊 La prise en compte du transit des laves torrentielles en amont et au droit de la prise d'eau. Il convient de noter que les caractéristiques de ces laves torrentielles sont mal connues.
- 🌊 L'analyse de l'évolution du lit en aval de l'ouvrage. En effet, le lit actuel est très engravé suite à la réduction des débits liquides.

1.2. Aménagement actuel

Les données suivantes sont extraites du rapport¹ ISL de 2019 :

	Caractéristiques
Cote de crête	1171,90 m NGF (*)
Débit d'équipement de la centrale	3,2 m ³ /s
Chute brute maximale	319,65 m
Chute nette max à plein débit	299 m
Turbine	Pelton axe vertical
Conduite d'amenée	3714 m Phi 1200
Conduite forcée	1035 m Phi 1200
Cote de RN actuelle	1170,00 m NGF
Cote des PHE actuelles	1170,50 m NGF
Cote mini turbinable	1165,40 m NGF (information des consignes d'exploitation) : arrêt du groupe
Cote minimale d'exploitation	1161,0 m NGF
Axe turbine	850,35 m NGF
Débit de pointe de la crue millénaire	80 m ³ /s
Débit de pointe de la crue décennale	120 m ³ /s
Débit de pointe de la crue torrentielle rare (période de retour env. 100 ans)	300 m ³ /s

Cette retenue a été créée en 2002. Son volume serait de l'ordre de 55 000 m³, mais il est très variable en fonction des dépôts et des curages.

¹ Shema - ÉTUDE DE STABILITÉ ET DIAGNOSTIC DE SURETÉ DU BARRAGE DE LA CHAL - Comparaison des solutions d'aménagement pour le passage des crues - ISL - Avril 2019.

Les différents levés bathymétriques/topographiques de la retenue effectués depuis la crue de 2018 permettent de constater la diminution importante de sa capacité utile initiale, du fait des apports du Glandon (en crue et courant). Le tableau suivant donne l'évolution du volume utile de la retenue :

Date	2003 (initial)	2006	Sept. 2018	Juin 2019	Janv. 2020
Volume utile	55 000 m ³	50 500 m ³	31 500 m ³	27 500 m ³	24 400 m ³

Aujourd'hui, la gestion vise plutôt le maintien d'un volume de l'ordre de 30 000 m³.

La figure suivante montre les ouvrages de prise et de vannage au moyen d'une coupe au droit du barrage :

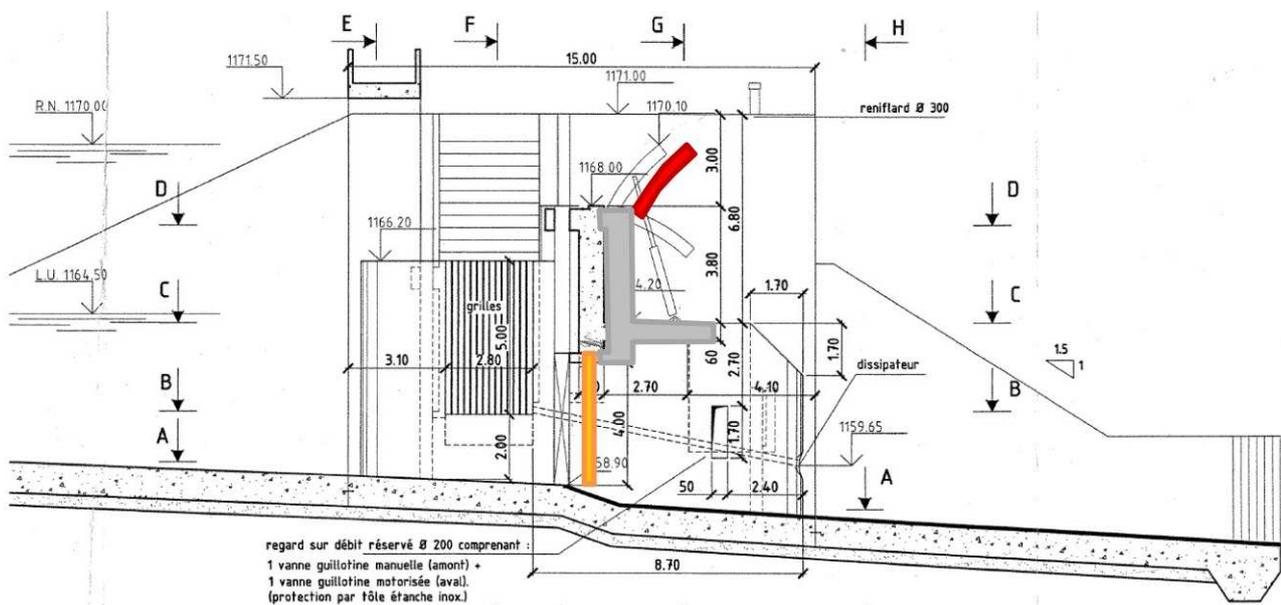


Figure 2 : Coupe des ouvrages actuels.



Figure 3 : Vue de l'ensemble des ouvrages de gestion de la retenue.



1.3. Analyse diachronique

La photo de 1948 est la plus ancienne disponible sur ce secteur.

Elle montre un lit large et divaguant sur l'ensemble du linéaire.

Le lit du Nant des Granges est clairement visible ce qui est encore le cas en 1956.

La confluence avec le Tépey présente de fortes divagations avec la présence d'une île, bien amoindrie en 1956.

Le lit aval est caractéristique d'un lit alluvionnaire et du combat entre les divagations du torrent (essentiellement lors des crues) et la ripisylve.

Une - ou plusieurs - crues entre 1948 et 1956 ont conduit à un élargissement mais aussi de nouveaux bras dans la zone alluvionnaire boisée. Il s'agit d'un comportement classique de rivière torrentielle.





Entre 1956 et 2001, le lit a connu des évolutions importantes avec la formation de nouveaux bras mais aussi à partir des années 1980 une réduction de la dynamique du Glandon en l'absence de forte crue.

Ainsi, la photo de 2001 montre un lit très refermé et une croissance historique des ripisylves.

Le lit du Nant des Granges, clairement visible dans le milieu du XX^{ème} siècle, est ici masqué par les boisements.

Cette évolution n'est pas sans conséquences. En effet, les études de l'aménagement ont été réalisées durant cette période de très faible dynamique ont eu naturellement tendance à sous estimer le transport solide face à un lit envahi par la végétation et vraisemblablement partiellement pavé.

La confluence avec le Tépey qui présentait de fortes divagations montre en 2001 un lit étroit et boisé.

Même le lit aval, caractéristique d'un lit alluvionnaire divaguant montre un lit étroit avec des bras secondaires boisés en 2001.

La photo de 2003, prise juste après la réalisation de la retenue, met bien en évidence les travaux réalisés mais aussi l'absence d'évolution du lit en dehors de la zone des travaux si ce n'est une poursuite des boisements.

La retenue montre une vaste capacité et une emprise limitée des dépôts en queue de retenue.





La photo de 2013 montre un élargissement du lit en amont avec un lit de nouveau visible pour le Nant des Granges. Cette évolution n'a pas subi d'évolution importante en 2019.

Par contre, le lit est nettement plus visible en aval du pont de la RD 927, et plus encore en aval du pont communal, conséquence directe des crues subies sur cette période.

La photo de 2013 montre un engravement important en queue de retenue - encore dans sa configuration initiale - alors que la photo de 2019 montre une retenue très réduite sous l'effet des dépôts de matériaux.

Ces dépôts de curages (recharge) sont encore visibles en aval de la retenue après 2013.

En aval, la situation en 2013 témoigne d'un transport solide modéré et même - peut être - d'un début de pavage en aval de la retenue.

En 2019, les dépôts dans le lit aval et sa remontée sont naturellement accompagnés de divagations plus marquées... mais loin de celles observées au milieu du XX^{ème} siècle.

L'analyse diachronique permet de dégager plusieurs phases :

- ✘ Une période ancienne de forte activité jusque vers les années 1970.
- ✘ Une période de calme hydrologique vers la fin du XX^{ème} siècle, notamment lors des études de l'ouvrage.
- ✘ La construction de l'ouvrage lors de cette période calme.
- ✘ Une gestion délicate des dépôts massifs depuis l'occurrence de crues récentes.



1.4. Crues historiques

Depuis la création de la retenue, le Glandon semble subir une recrudescence des crues. Le tableau suivant regroupe les éléments qui nous ont été transmis et notamment les fiches événements du RTM des crues de 2018 et 2021.

1994	Crue avec débordement du pont communal
2002	Construction de la prise d'eau.
30-07-2017	Rapidité de l'événement, Événement du type lave : arrivée d'une coulée de boue massive dans la retenue (« gros arbre dans le barrage ») Épaisseur de dépôts et reprise des matériaux importantes. Durée de chasse longue : 17 h
08-08-2017	Engrèvement du radier du pont de la RD 927 en amont de la Chal et du pont communal sur une vingtaine de centimètres. Événement du type lave : arrivée d'une coulée de boue massive dans la retenue Bloc rocheux coincé sous vanne de dégravage (1 T environ selon l'exploitant).
05-08-2018	Lave torrentielle suite à un orage. Apport massif d'une lave torrentielle par le torrent du Sapey et de la Combe du Golet et propagation en aval jusqu'à la confluence avec le Nant des Granges malgré une forte régulation du transport solide. Lave torrentielle sur le Nant des Granges. La hauteur d'écoulement sous le pont de la RD 927 en amont de la Chal aurait été comprise entre 4 et 5.5 mètres pour une largeur de 15 mètres. Pas d'évolution sensible pour cette crue sous les ponts. Surverse importante sur le pont de la route communale (11 m × 2.7 m) et débordement sur les terrains riverains. Retenue déjà très engravée avant la crue par les épisodes de 2018.
21-08-2018	Nouvelle lave avec obstruction de la RD 927 au Sapey d'en Haut.
1-07-2020	Crue.
2021	Réinjection de 2000 m ³ en aval du barrage.
30-07-2021	Fort orage vers 19 h très en amont, près du col du Glandon. Apport de petites laves torrentielles des affluents amont. Laves torrentielles sur le Torrent du Sapey, la Combe du Golet mais pas sur le Nant des Granges, vraisemblablement trop en aval. Écoulement de 1.5 mètre seulement au niveau du pont de la RD 927 (lave

torrentielle très fluide ou charriage hyperconcentré ?)

Pas de débordement au droit du pont communal mais engrèvement de l'ordre du mètre avec un risque de débordement accru sur les habitations.

Blocage de la vanne de fond par les matériaux.

La photo suivante montre les dépôts majeurs après la crue (document RTM) :



Figure 4 : Remplissage de la retenue par les matériaux en 2021.

2. CARACTÉRISTIQUES DU GLANDON

2.1. Bassin versant

2.1.1. Caractéristiques d'ensemble

La figure suivante est issue du rapport de l'étude² du transport solide de ISL. Elle montre le bassin versant considéré par rapport à l'ensemble du bassin versant du Glandon :

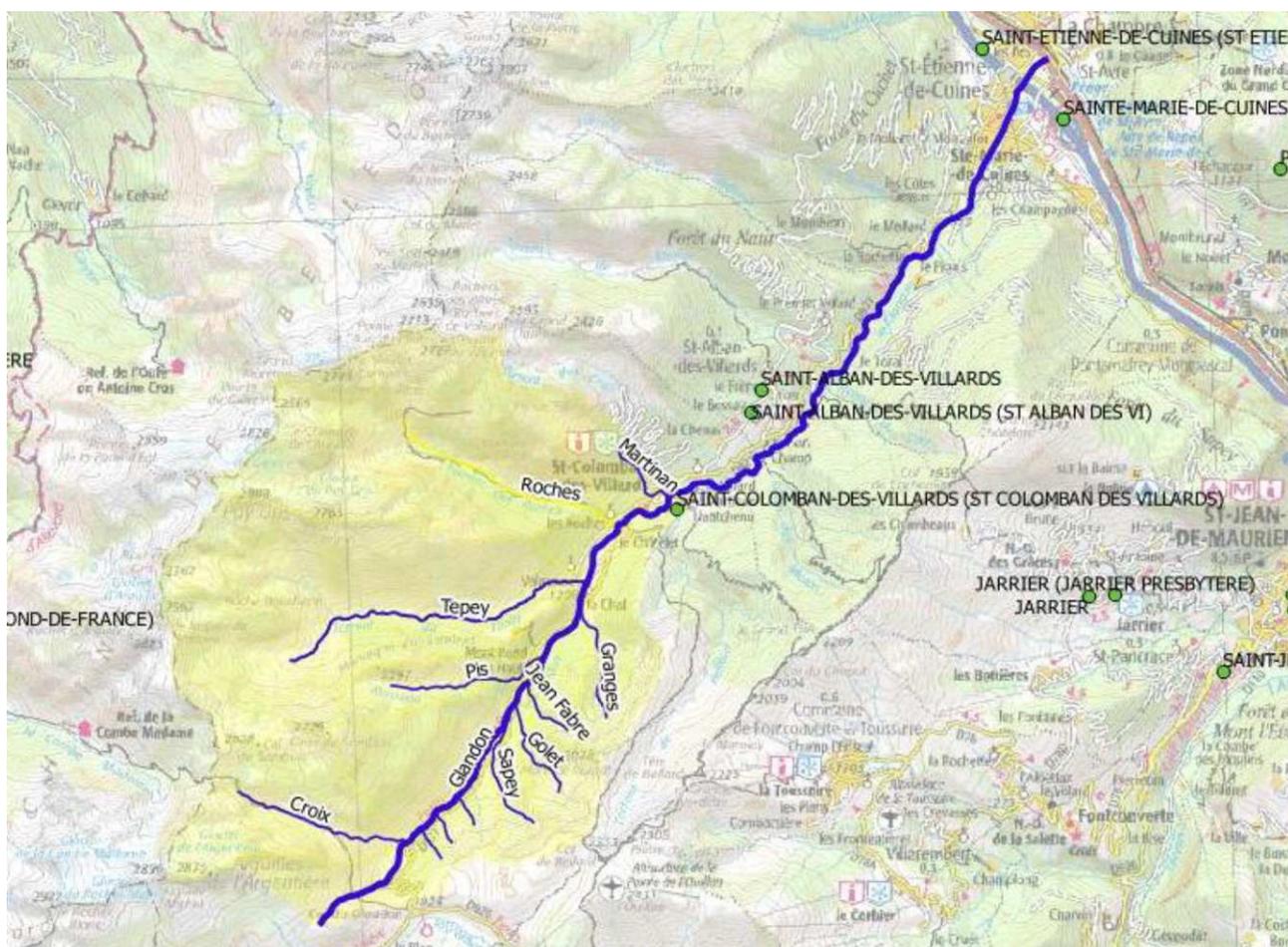


Figure 5 : Vue d'ensemble de l'aménagement.

² Shema - Étude transport solide torrent Glandon - Etude du transport sédimentaire du torrent du Glandon et influence du barrage de la Chal - ISL - Juillet 2018.

La figure suivante montre plus spécifiquement le bassin versant drainé par la retenue avec les principaux affluents et le torrent des Roches en aval :

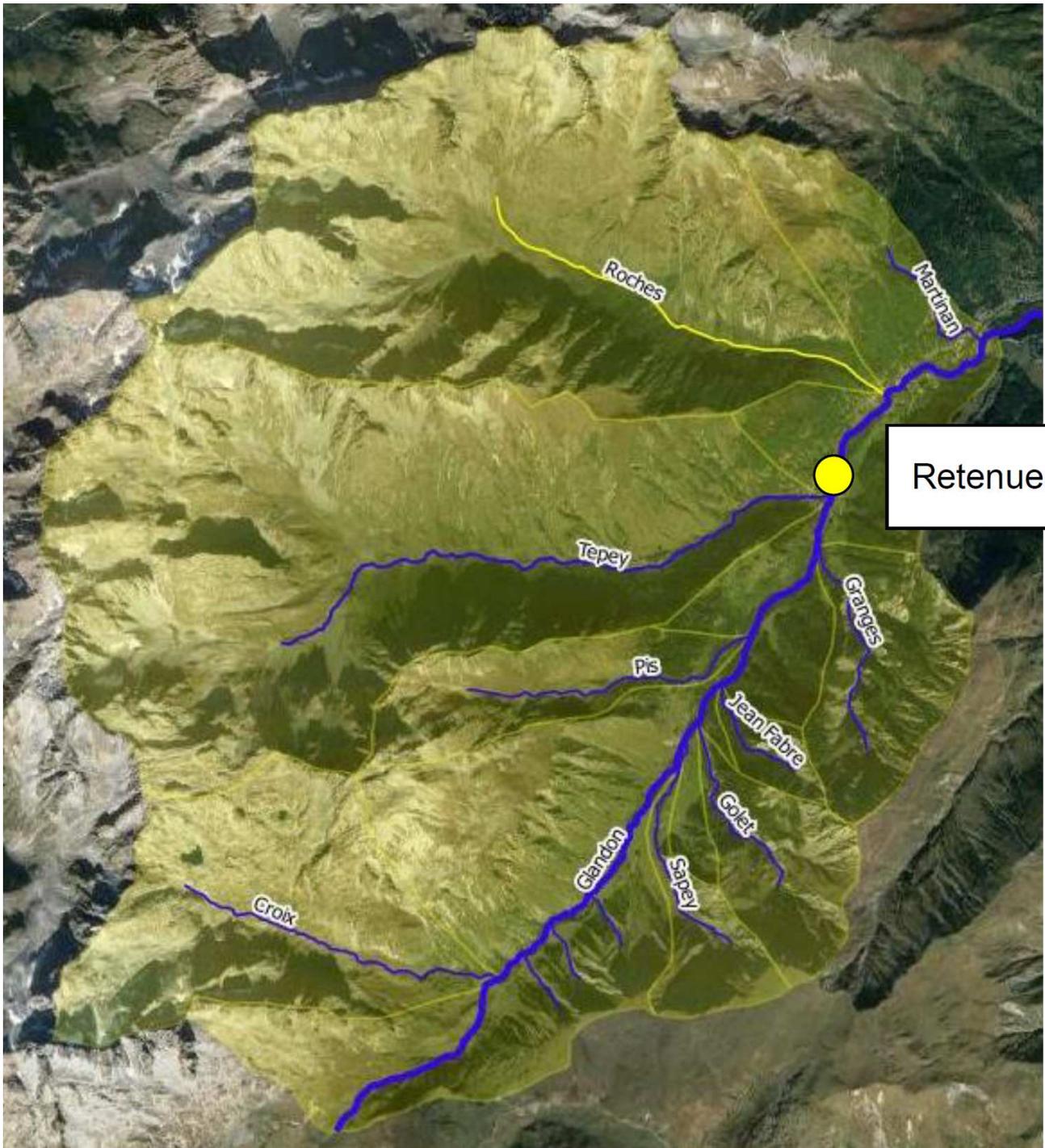


Figure 6 : Bassin versant de la retenue.

Le bassin versant du Gandon présente une forte hétérogénéité géologique entre sa rive droite et sa rive gauche.

Sa rive gauche est composée de terrains cristallins (massif de Belledonne).

Sa rive droite est composée de terrains beaucoup plus tendres (terres noires très érodables). Les affluents rive droite du Gandon ont creusé des profonds ravins très instables fournissant de grandes

quantités de matériaux. Ces matériaux schisteux sont fortement propices à la formation de laves torrentielles.

Les 3 affluents principaux du Glandon produisant des laves torrentielles sont de l'aval vers l'amont :

- 🌊 Nant des Granges.
- 🌊 Ravin du Golet.
- 🌊 Ravin du Sapey.

2.1.2. Torrents de rive droite

Ces torrents s'écoulent drainent des bassins versants entaillés dans les schistes. Cette géologie est très favorable à la formation de laves torrentielles boueuses. Ils présentent des caractéristiques très voisines, ce qui explique qu'ils soient présentés en même temps.

La photo suivante montre les falaises sommitales du torrent du Sapey où la pente est très forte et l'érosion est tellement active qu'elle ne permet pas le développement de la végétation :



Photo 1 : Falaises amont du bassin versant du Sapey.

En pied de falaise, des dépôts d'éboulis se sont progressivement constitués et sont érodés activement par les écoulements :



Photo 2 : Formation de talwegs en pied de falaise sur le torrent du Sapey.

Ce creusement dans les terrains de couvertures conduit l'écoulement à éroder directement le substratum rocheux. Les blocs s'accumulent alors sur le fond et pourront être mobilisés lors de la prochaine crue, d'autant plus facilement que les débits sont élevés.

Les photos page suivante montrent :

- 🌊 Un glacier en pied de falaise avec la formation de plusieurs bras, et un chenal transversal dans un secteur très raide pour regrouper les écoulements dans un lit unique afin de limiter les risques de débordement sur la RD 927.
- 🌊 Un glissement de terrain très actif qui alimente fortement le torrent en matériaux et qui constitue une réserve de matériaux en cas de crue. Cette capacité de fourniture est d'autant plus importante que le torrent passe sur le glissement de terrain. Ce dernier est bloqué dans son aval par un verrou rocheux d'un affluent central du Nant des Granges.



Photos 3 & 4 : Ravin du Sapey d'en haut et glissement dans le Nant des Granges.

L'érosion est donc multiple ce qui garantit une fourniture abondante et permanente de matériaux au torrent. L'épuisement de la fourniture en matériaux est ici exclu.

La photo suivante montre l'érosion généralisée dans la partie centrale - très raide - de la Combe du Golet et particulièrement un glissement de terrain en rive gauche (à droite sur la photo).



Photo 5 : Érosion généralisée dans la Combe du Golet.

En pied de versant, la pente chute fortement - même si elle reste très soutenue. L'érosion exclusive des secteurs amont fait alors place à une zone d'échanges et de régulation.

- ✘ Ainsi, la première photo page suivante montre des érosions de berges importantes dans le cours aval du Golet, mais aussi le stockage de très gros blocs... qui pourront être repris lors des prochaines crues. Cette zone de régulation aval permet d'assurer la fourniture en matériaux même en cas de pénurie dans le secteur amont.
- ✘ La seconde photo, toujours sur la Combe du Golet montre l'érosion très active d'abord dans des terrasses (anciennes moraines ?) puis directement sur le cône de déjection. L'érosion sur le cône de déjection est ordinairement assez faible, mais prend des proportions remarquables dans le cas du Golet.



Photos 6 & 7 : Érosions dans le cours aval et sur le cône de déjection du Golet.

La figure suivante montre l'essentiel du cône de déjection du Golet avec un tracé assez direct vers le Glandon.



Photo 8 : Cône de déjection du Golet et lit aval du Sapey.

Cette photo montre le lit du torrent du Sapey parallèle à celui du Glandon : non seulement, le Sapey suit la génératrice la plus au nord de son cône de déjection, mais il suit ensuite le Glandon, avec une pente assez faible pour un torrent à lave.

Il est remarquable d'observer que cette réduction de pente ne s'accompagne d'aucun dépôt massif.

La première photo page suivante montre un tel tracé très original le long du lit du Glandon. Elle illustre aussi la différence de morphologie entre un torrent à lave (section lisse et régulière) et un torrent pavé et générant essentiellement du charriage.

La seconde photo montre le cours terminal du Nant des Granges avec un cône de déjection à peine marqué et une arrivée brutale dans le lit du Glandon juste en amont de la Chal. Cette configuration est évidemment très défavorable juste en aval de cette confluence.



Photo 9 : Lit du Sapey et cône de déjection à peine marqué du Nant des Granges.

2.1.3. Glandon amont

Dans son cours amont, le Glandon reçoit relativement peu de matériaux alors que le bassin versant est déjà étendu et que la pente est forte. Le lit est alors pavé sur l'essentiel du parcours. La photo suivante montre d'un des premiers apports significatifs depuis le versant rive droite, très dégradé :



Photo 10 : Début des apports rive droite en amont du Sapey.

Cependant, les apports deviennent très importants au niveau du pont de l'Echet, à 1410 m d'altitude, avec les apports supplémentaires du Sapey et de la Combe du Golet. Le Glandon change alors de morphologie et le lit pavé devient alluvionnaire et largement divaguant comme le montre la seconde photo page suivante.

Les respirations du lit sont alors très importantes et le lit permet une heureuse - mais insuffisante - régulation du transport solide.

Il convient de noter que le lit sur l'ensemble de son linéaire - comme sur les deux affluents - est fortement incisé, ce qui suggère plutôt une réduction des apports solides à long terme.



Photos 11 & 12 : Lit du Glandon en aval des apports du Sapey et du Golet.



Photos 13 & 14 : Lit large et divagant parcouru par les laves.

Les photos précédentes montrent :

🌊 Un lit large et divaguant, très caractéristique d'un transport solide intense par charriage avec ici une pente particulièrement forte. La décroissance de pente est ici très marquée et passe de 12 % dans la zone de confluence à "seulement" 8 % au niveau du franchissement. Cette zone joue un rôle de régulation du transport solide prépondérant. Cependant, les laves issues des bassins versants schisteux présentant souvent des contraintes de cisaillement critiques modérées, les laves semblent parvenir à traverser ce secteur malgré la grande largeur du lit.

🌊 La seconde photo montre :

- Un transport solide en suspension très élevé. Il s'agit très vraisemblablement du transit le plus important... mais sans impact sur le lit.
- Une forte respiration du lit lors des crues.
- Un lit très encaissé dans les anciens dépôts qui couvrent ici tout le fond de vallée.

Comme le montre la photo suivante, la confluence avec le Nant des Granges est située dans un secteur relativement étroit, ce qui ne permet pas de réguler le transport solide ni les apports massifs de lave. Or, la confluence est implantée juste en amont du village :



Photo 15 : Confluence Nant des Granges avec le Glandon.

Les photos page suivante montrent le lit en amont de la Chal sans aucune possibilité de régulation du transport solide.



Photos 16 & 17 : Lit étroit entre le pont communal et la RD 927.

En amont de la retenue, la succession de laves torrentielles a conduit à des dépôts massifs... et à des curages importants... mais seulement partiels, ce qui conduit à une lente réduction de la largeur du lit... et de sa capacité à stocker des dépôts.



Photo 18 : Risque élevé de débordement en 2020 en aval du pont.



Photo 19 : Vue des dépôts en queue de retenue.

C'est juste en amont de la retenue que le Glandon reçoit le torrent du Tépey.

2.1.4. Torrent du Tépey

Le torrent du Tépey draine une longue vallée orientée Est - Ouest dans sa partie aval :



Photo 20 : Vallée du Tépey.

Bien qu'il existe quelques résidus glaciaires à l'agonie, mais aussi de nombreux éboulements le transport solide paraît très réduit dans le cours amont, les zones d'érosion étant souvent déconnectées du réseau hydrographique.

La photo suivante montre le lit pavé au droit du hameau du Tépey avec un transport solide très modéré :



Photo 21 : Lit pavé au droit du Tépey.

Il est cependant possible d'observer une zone d'érosion active en rive gauche, au niveau de la ravine du Fou en rive droite en aval du Tépey.

Cette ravine se caractérise par un éboulis dans les matériaux instables de son cours supérieur comme c'est le cas de nombreux talwegs sur ce versant. Cependant, la caractéristique de ce talweg réside dans la formation d'un écoulement continue de lave torrentielle jusqu'au torrent du Tépey, alimentant fortement son transport solide.

Il est probable qu'à moyen terme, le même type de phénomène se produise sur d'autres sites. Cependant, le transport solide global reste faible.

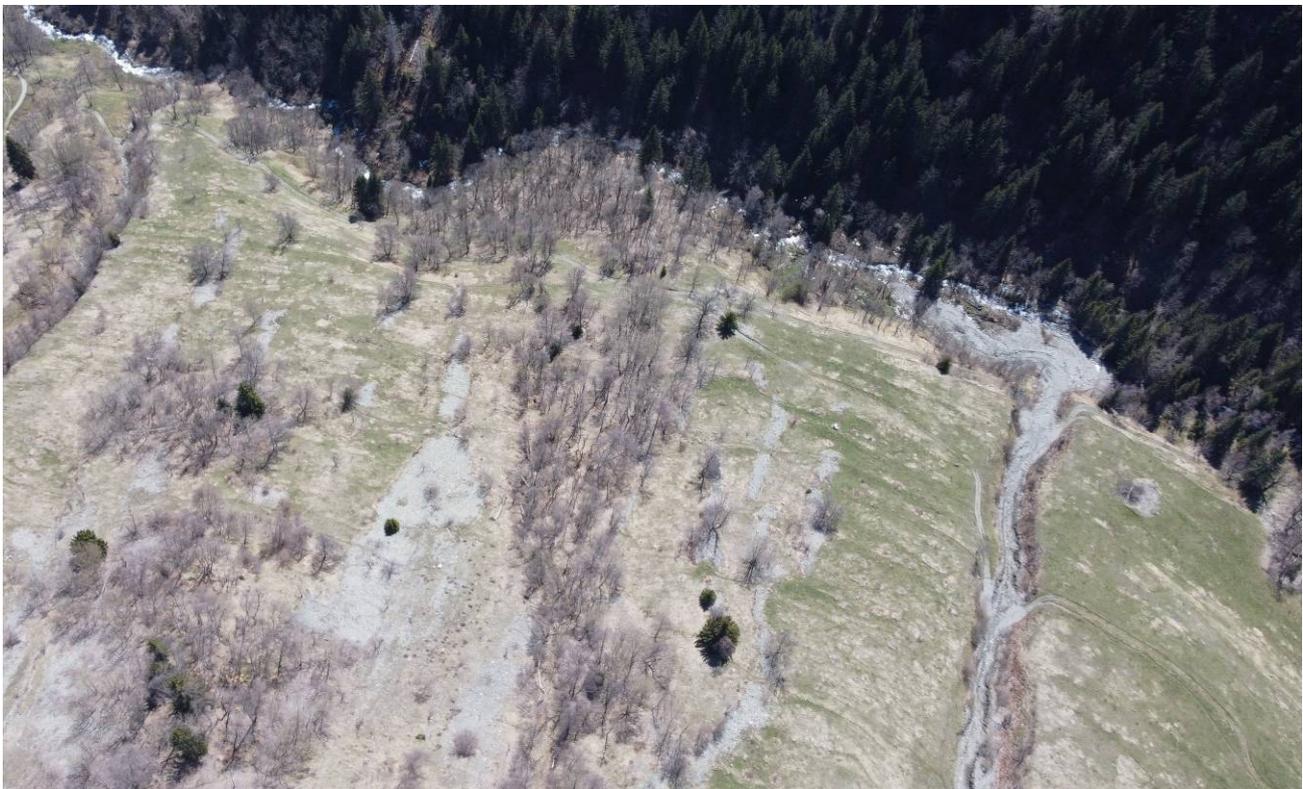


Photo 22 : Zone de départ chenal et cône de déjection de la Ravine du Fou.

Dans son cours inférieur, le lit parait pavé et un dépôt semble très exceptionnel avant la confluence avec le Glandon.

Les apports liquides de ce torrent sont très importants (de l'ordre de la moitié des apports du Glandon amont), ce qui explique une réduction naturelle de la pente du Glandon à la confluence.

La photo suivante montre le cours aval de ce torrent et sa confluence en queue de retenue, dans une zone aujourd'hui fortement influencée par les dépôts et les curages qui en découlent.



Photo 23 : Cours aval du torrent du Tépey.

La figure suivante montre la confluence en 2023 et la différence de morphologie entre les apports solides du Glandon et le Tépey.



Photo 24 : Confluence du Tépey dans la zone de dépôt de la retenue.

2.1.5. Zone alluvionnaire aval

Entre la confluence avec le Tépey - et donc maintenant la retenue de prise d'eau - et les Roches, le Glandon développe une véritable zone alluvionnaire :



Figure 7 : Ensemble de la zone alluvionnaire aval.

Les zones actuellement boisées correspondent pour l'essentiel à d'anciens lits. Dans ce secteur, le Glandon est naturellement divaguant, ce qui explique les érosions de berge naturelles que l'on peut observer.

La première photo page suivante montre les fortes respirations en aval de l'ouvrage. En effet, la tendance à long terme devrait être au dépôt de matériaux, le transit solide étant inchangé - si les chasses sont efficaces - alors que le débit liquide est réduit. Ce risque peut être limité par une gestion adaptée des chasses de matériaux, quitte à perdre de la production. Dans l'état actuel, le stockage et l'extraction de matériaux conduit plutôt à un abaissement du lit en aval.

La seconde photo montre le verrou rocheux au droit du village des Roches, et les blocs bien visibles en berge et qui illustrent la présence d'un ancien éboulement ayant fait barrage dans cette zone et expliquant le secteur alluvionnaire en amont.



Photos 25 & 26 : Respiration en aval du barrage et éboulement aux Roches.

2.1.6. Gorges

En aval des Roches, le lit est d'abord lourdement pavé et la pente est forte. Un dépôt, même régressif paraît exclu dans cette zone.

Photo 27 : Lit pavé en aval des Roches.

Ensuite, sur plusieurs kilomètres, le Glandon s'écoule dans des gorges. La morphologie est un peu plus complexe avec

- ✘ Un secteur globalement pavé,
- ✘ Des érosions diffuses mais potentiellement de grande ampleur étant donnée la pente des versants.
- ✘ Des tronçons localement alluvionnaires et divaguant.

L'impact de la retenue paraît marginal dans ce tronçon.

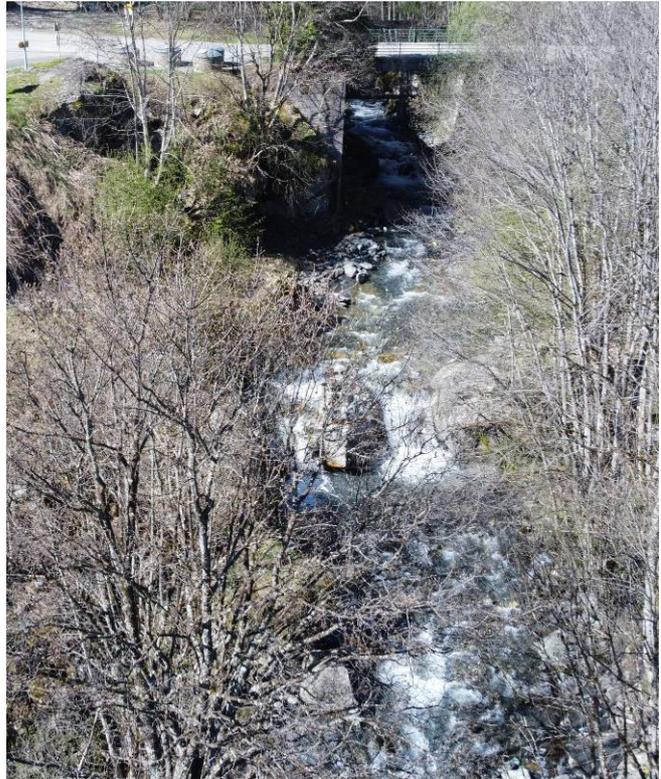


Photo 28 : Alternance de zones alluvionnaires et de secteur pavé dans le cours aval.

2.2. Profils en long

2.2.1. Profil en long d'ensemble (1909)

La figure suivante montre le profil en long de 1909 tel que présenté par ISL en 2018 :

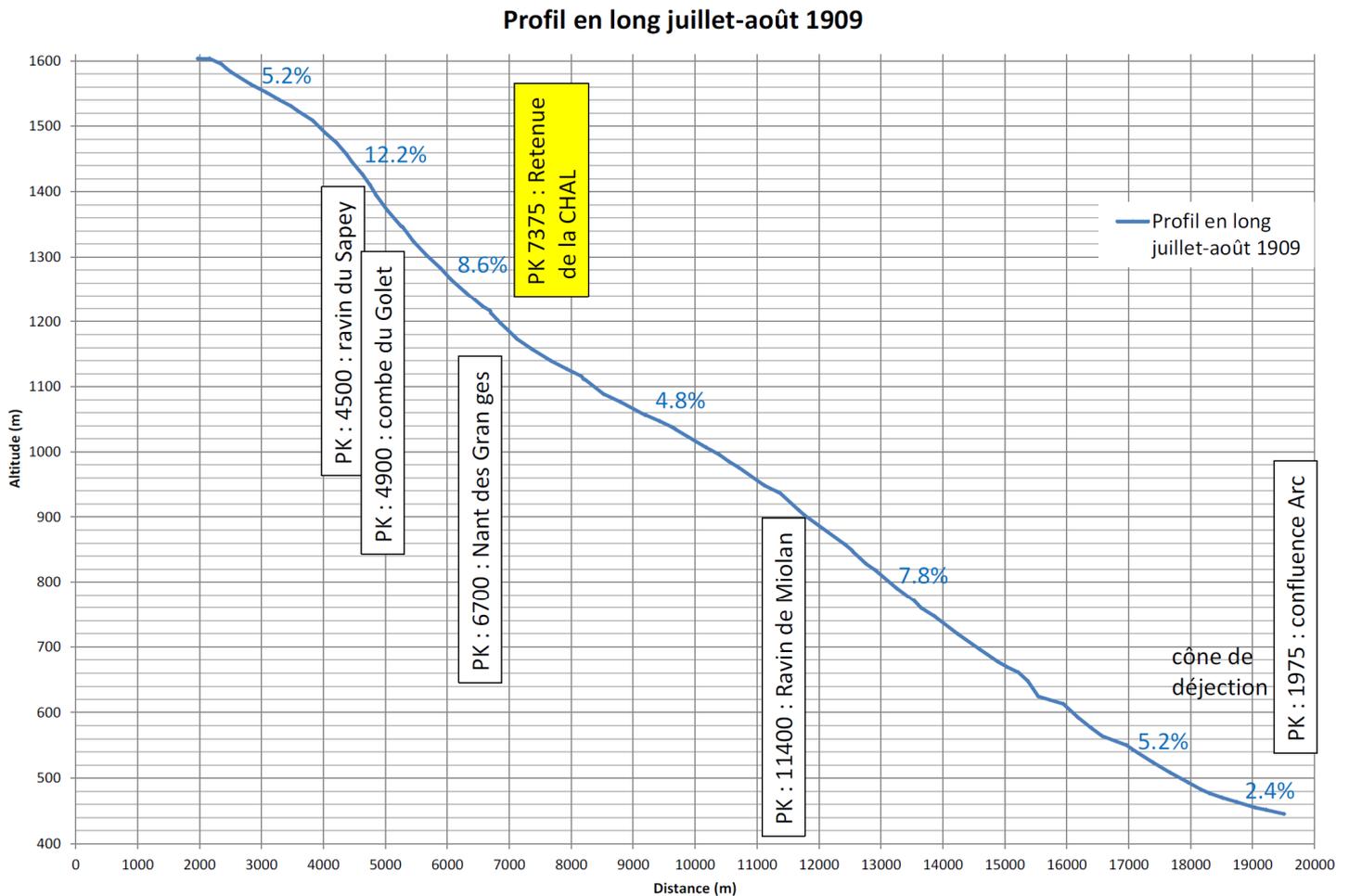


Figure 8 : Profil en long des Grandes Forces Hydrauliques.

Ce graphique conduit à distinguer les tronçons suivants :

- 🌊 Un tronçon amont plutôt pavé en amont de la confluence avec le torrent de Sapey (pente de 5.2%).
- 🌊 Les apports majeurs de laves torrentielles par le torrent du Sapey et de la Combe du Golet (en plus des affluents secondaires) conduisent à une augmentation remarquable de la pente (12.2%), comme c'est souvent le cas pour les torrents à lave. Cet accroissement de pente débute en amont de la confluence actuelle, le long du cône de déjection historique du torrent de Sapey,
- 🌊 Une vaste zone "alluvionnaire" correspond à une régulation du transport solide avec une forte décroissance de la granulométrie et de la pente. Dans cette zone, les écoulements de charriage divaguent et les laves torrentielles s'étalent. La pente s'adoucit à 8.6% en aval du ruisseau de Pis.

- 🌊 Le Nant des Granges apporte également de grandes quantités de matériaux au Glandon mais n'influence pas sa pente de façon majeure, une augmentation de la pente dans ce secteur étant naturellement liée à la contraction de la Chal. L'impact du Nant des Granges est alors difficile à isoler.
- 🌊 Sous l'effet des apports - essentiellement liquides - du Tépey, la pente s'adoucit et reste régulière jusqu'à l'ancien éboulement des Roches. Il s'agit de la seule zone purement alluvionnaire avec une pente d'équilibre de 5.8%. La retenue de la Chal est implantée exactement au niveau de cette rupture de pente, essentielle à la régulation du transport solide amont !
- 🌊 L'éboulement ancien des Roches matérialise l'entrée dans les gorges avec une pente beaucoup plus forte (8%). Cette pente moyenne masque vraisemblablement de fortes irrégularités suivant la morphologie du lit, mais le phénomène prépondérant est ici - clairement - le transit jusqu'au sommet du cône de déjection.
- 🌊 Sur le cône de déjection, la pente n'est plus que de 2.4 %; ce qui traduit deux phénomènes :
 - L'augmentation des débits liquides, beaucoup plus marquée que les apports solides dans ce lit aval.
 - La médiocre qualité des matériaux (schistes) avec deux conséquences :
 - La forte réduction du diamètre moyen des matériaux transportés.
 - La "disparition" d'une forte fraction du transport solide par charriage, les matériaux étant réduits en sables puis en fines et transportés en grande quantité par suspension.

La figure suivante montre les - faibles - évolutions entre le profil en long de 1909 et celui de 2018 :

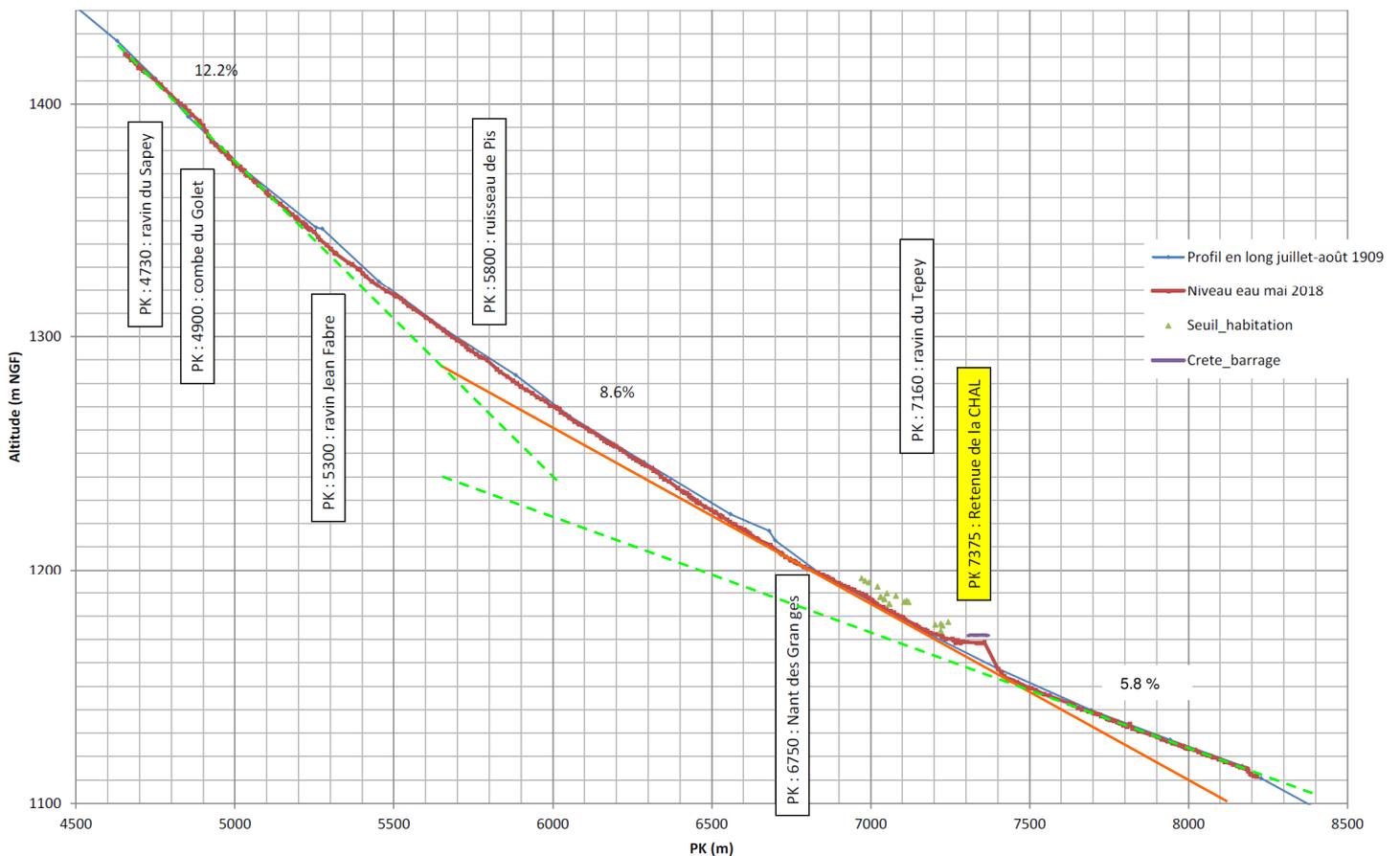


Figure 9 : Profils en long de 1909 et 2018.

Ce graphique montre les variations de pente très progressives ce qui est caractéristique d'un cours d'eau à fort transport solide.

Il apparaît aussi que le barrage est situé exactement au niveau d'une réduction de pente, ce qui est très défavorable. Au contraire de la réduction de pente amont liée à un laminage progressif du transport solide, c'est une véritable rupture de pente que l'on observe dans la zone de la retenue en lien avec les apports du Tépey. Une telle configuration introduit de fortes variations naturelles des niveaux :

- 🌊 En cas de crue du Glandon, les apports amont - notamment les laves torrentielles - sont très intenses. Les matériaux se déposent en partie dans la zone de rupture de pente, malgré la reprise facilitée par les apports du Tépey.
- 🌊 En temps ordinaire - ou pour une crue du Tépey - le débit liquide est élevé en aval de la confluence et une reprise est observée. Cette reprise permet d'assurer la pente d'équilibre de 5.8 % sur le long terme.

Cette configuration impose des dépôts exceptionnels dans la zone de confluence, quelques soit le type d'ouvrage qui y est construit.

2.2.2. Évolution dans la zone de la retenue

Depuis la lave de 2018, la zone de la retenue fait l'objet d'un suivi topographie important. Le graphique suivant regroupe l'ensemble de ces données tels que transmises par Hydrostadium :

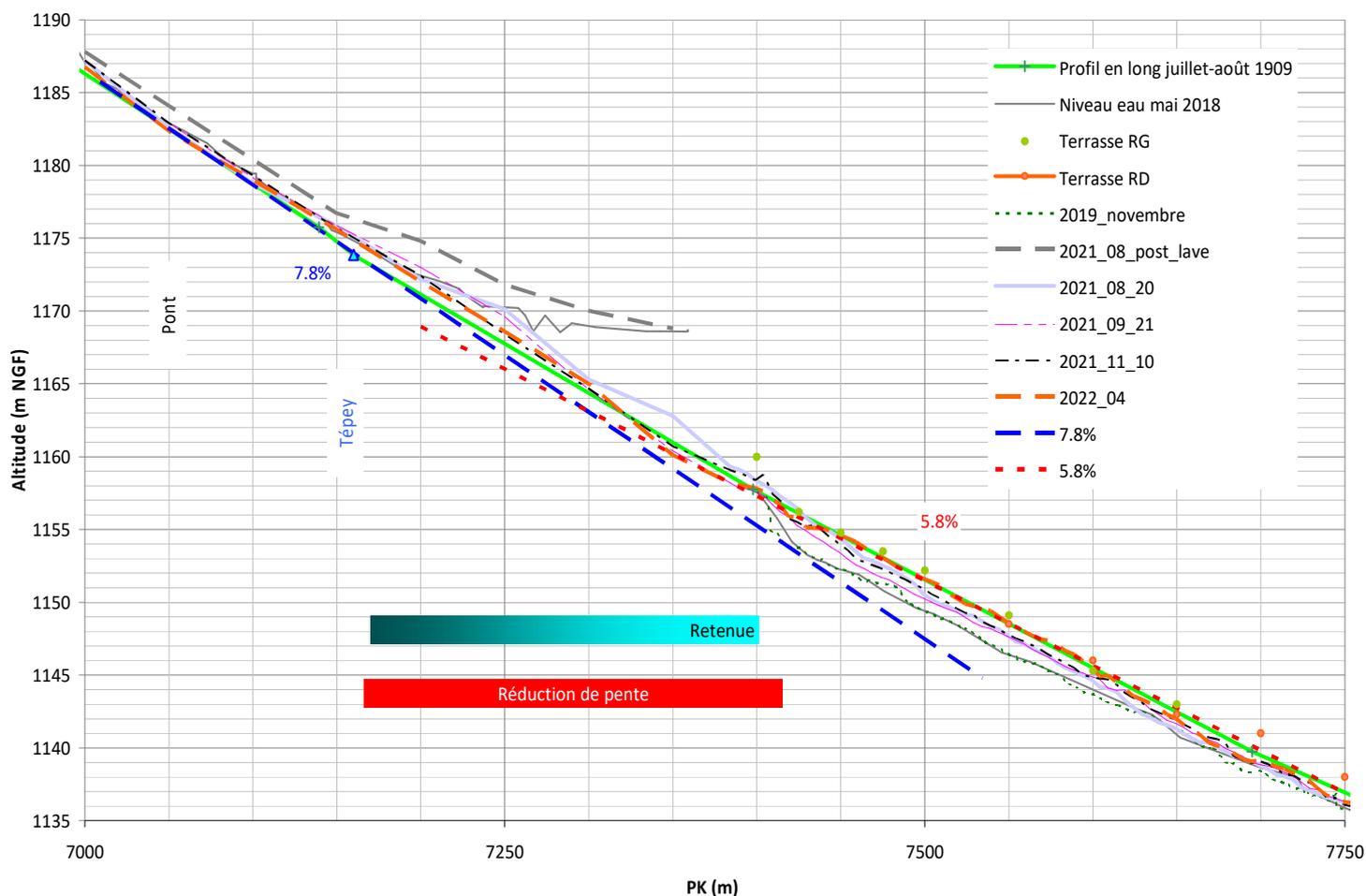


Figure 10 : Profil en long dans la zone de la retenue.

Ce profil en long montre le profil en long de 1909 à l'état naturel (il s'agit du seul profil en long disponible avant réalisation de l'aménagement) et les ajustements de pente réalisés :

- 7.8 % en amont du Tépey.
- 5.8 % dans la zone alluvionnaire aval.

Entre les deux, la zone de transition et de dépôt naturels correspond à l'emprise de la retenue !

Le profil en long de 2019 n'a été levé qu'en aval de l'aménagement. Il est particulièrement instructif car il montre dans la zone une réduction de pente avec un affouillement de plusieurs mètres en aval de la retenue. Cela traduit la pénurie en matériaux lié à leur dépôt dans la retenue et l'absence de transparence de l'aménagement.

Les dépôts après la lave de 2021 montrent une forte tendance au dépôt calée quasiment au niveau de la cote nominale de la retenue, ce qui traduit une exploitation préférentiellement sur un niveau haut. Les dépôts après la lave montrent un engravement de près de 2 mètres en amont, ce qui est évidemment problématique. Par contre, Une meilleure transparence de l'ouvrage après crue - et la recharge en aval - permet une première remontée des niveaux.

Le niveau de 2022 montre une transparence nettement plus importante avec des dépôts moindres en amont, et une remontée des niveaux en aval avec un retour à un niveau proche de celui de 1919, ce qui paraît optimal. Une remontée au dessus de ces niveaux n'est pas exclue à moyen terme comme craint dans l'étude SOGREAH de 1987.

2.3. Hydrologie

2.3.1. Pluies journalières

Le rapport³ complémentaire de ISL retient les pluies journalières suivantes correspondant à la station de S^t Alban :

- P10 = 84 mm
- P100 = 114 mm

2.3.2. Débits de pointe

Les débits de pointe estimés par ISL au niveau de la prise d'eau actuelle (en charriage) sont les suivants pour un bassin versant de 35 km² :

	Amont barrage	Amont Tépey	Tépey	A
Superficie (km ²)	34.8	20.5	14.3	
Q ₂	16 m ³ /s	11 m ³ /s	8 m ³ /s	1.1
Q ₁₀	24 m ³ /s	16 m ³ /s	12 m ³ /s	1.7
Q ₅₀	40 m ³ /s	27 m ³ /s	20 m ³ /s	2.8
Q ₁₀₀	50 m ³ /s	34 m ³ /s	26 m ³ /s	3.5
Q ₁₀₀₀	80 m ³ /s	54 m ³ /s	41 m ³ /s	5.6
Q ₁₀₀₀₀	120 m ³ /s	80 m ³ /s	61 m ³ /s	8.3

³ Shema - RETENUE DE LA CHAL - Etude hydrologique complémentaire - ISL Mai 2023

Ce tableau indique aussi le paramètre A qui permet la comparaison d'un bassin versant à l'autre suivant la formule suivante :

$$A = Q/S^{0.75}$$

Avec

Q	Débit de pointe en m ³ /s
S	Superficie du bassin versant

Ces débits paraissent un peu faibles par rapport aux estimations réalisées dans la région et notamment sur l'Arvan. Elles seraient pourtant supérieures à celles issues de l'étude EDF sur la prise d'eau du Glandon, un peu en aval.

Le cas des laves torrentielles est traité spécifiquement ci-dessous.

2.3.3. Hydrogrammes de crue

L'hydrogramme de crue est indispensable pour la simulation d'un épisode de crue et pour la détermination des volumes de matériaux apportés. Cet hydrogramme est défini par le débit de pointe.

Cependant, il est nécessaire de connaître sa durée ou son volume, ces paramètres étant directement liés au volume de matériaux apportés.

La démarche retenue est alors la suivante pour le Glandon en amont de la prise d'eau :

- Le scénario retenu pour une **crue centennale** est celui d'un épisode pluvieux intense durant une journée, la pluie étant évidemment irrégulière durant cette période. C'est donc une pluie centennale journalière qui est retenue, soit 114 mm ici.
- Le volume d'eau écoulé est déterminé en considérant un coefficient de ruissellement sur la journée. Le bassin versant reçoit de fortes pluies (ce qui majore le coefficient de ruissellement) et un coefficient de ruissellement - élevé - de 0.5 est retenu ici.
- La durée de la crue est alors ajustée pour obtenir le volume déterminé précédemment. Cela conduit à un hydrogramme plutôt trapu, mais réaliste pour une forte crue, avec une durée de montée de 8 heures.
- Le même temps de montée est conservé pour les autres périodes de retour ce qui conduit à des crues trapues et volumineuses.

Le graphique suivant montre les débits centennaux autour de la confluence (il n'y a pas ici de somme des débits liquides à chaque pas de temps car ces hydrogrammes sont destinés à calculer des volumes solides sans déphasage des débits de pointe) :

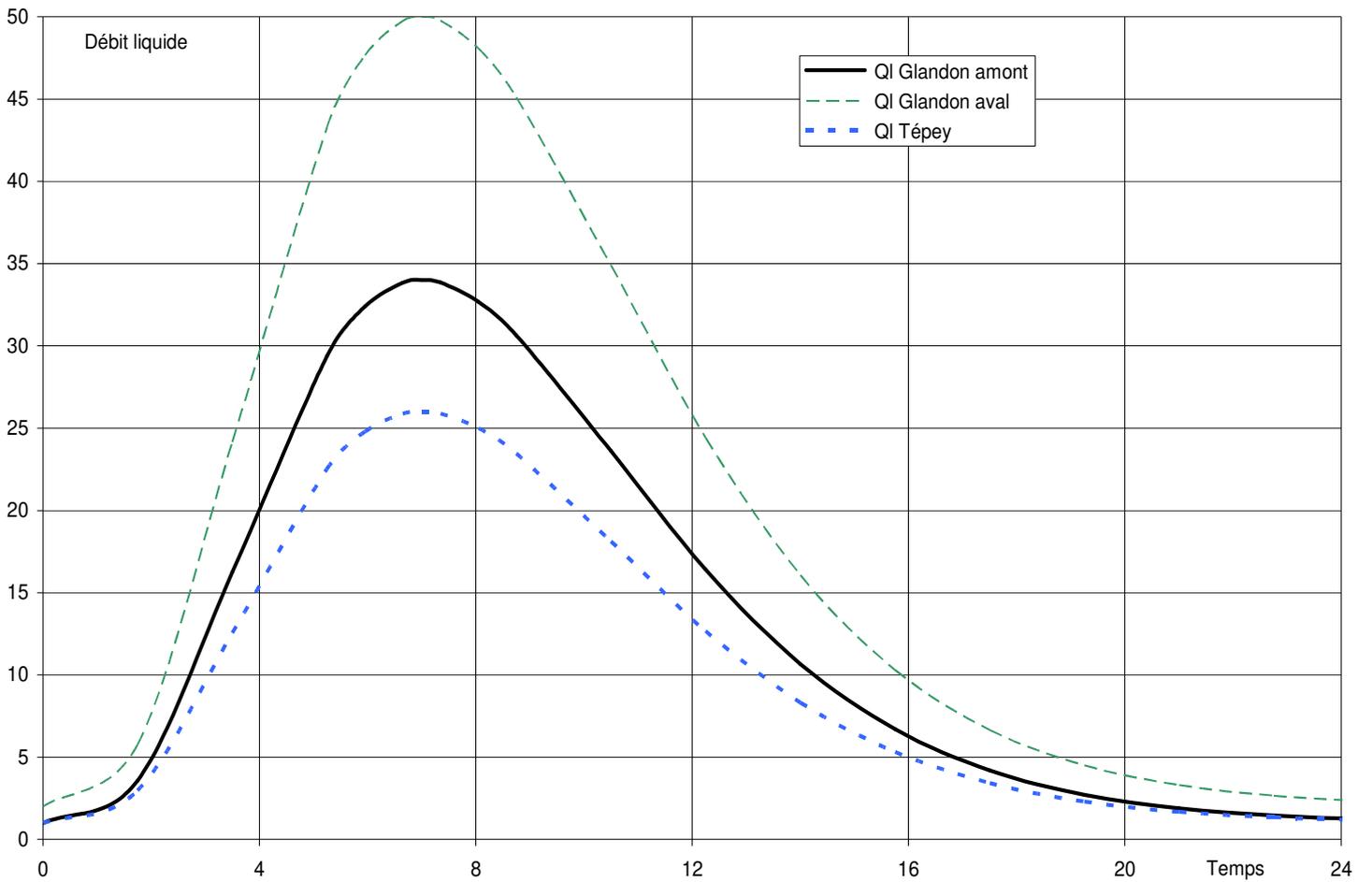


Figure 11 : Hydrogrammes de crue centennaux.

2.3.4. Débits classés

La figure suivante montre les débits classés spécifiques :

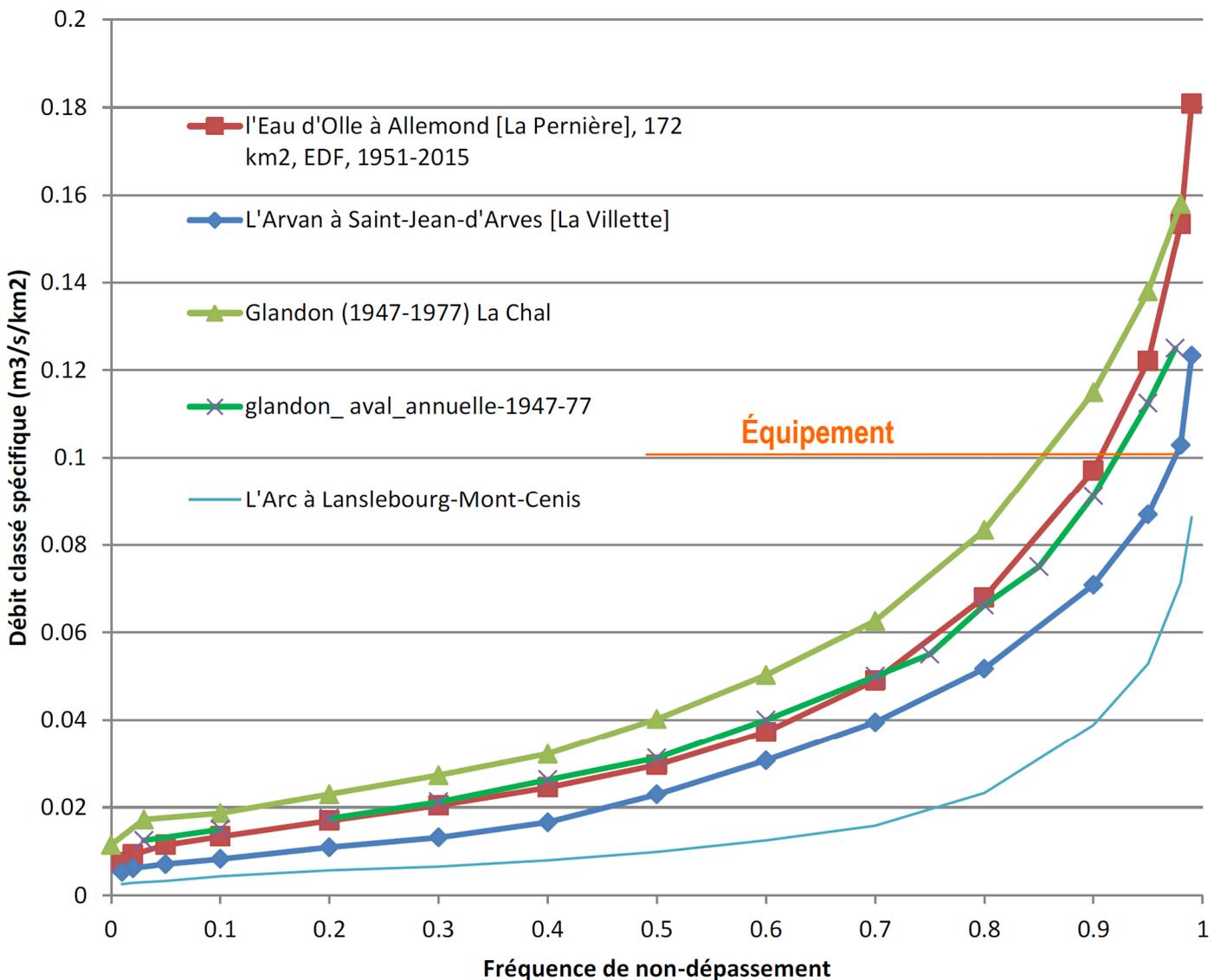


Figure 12 : Débits classés spécifiques (ISL 2018).

Ce graphique indique aussi le débit spécifique d'équipement de l'aménagement.

Par la suite, ISL a retenu les débits spécifiques observés sur le site de l'Eau d'Olle.

Il est alors possible de connaître les débits en aval de l'aménagement pour le débit d'équipement de 3.2 m³/s (le débit réservé est négligé dans cette approche car il ne permet aucun transit de matériaux par charriage).

La difficulté provient plutôt de définir le seuil d'arrêt de la centrale pour les débits élevés. On retient ici - dans un premier temps - une exploitation de l'usine jusqu'à Q_2 soit 16 m³/s, ce qui paraît très élevé.

La figure suivante montre l'ensemble des débits liquides avant et après aménagement :

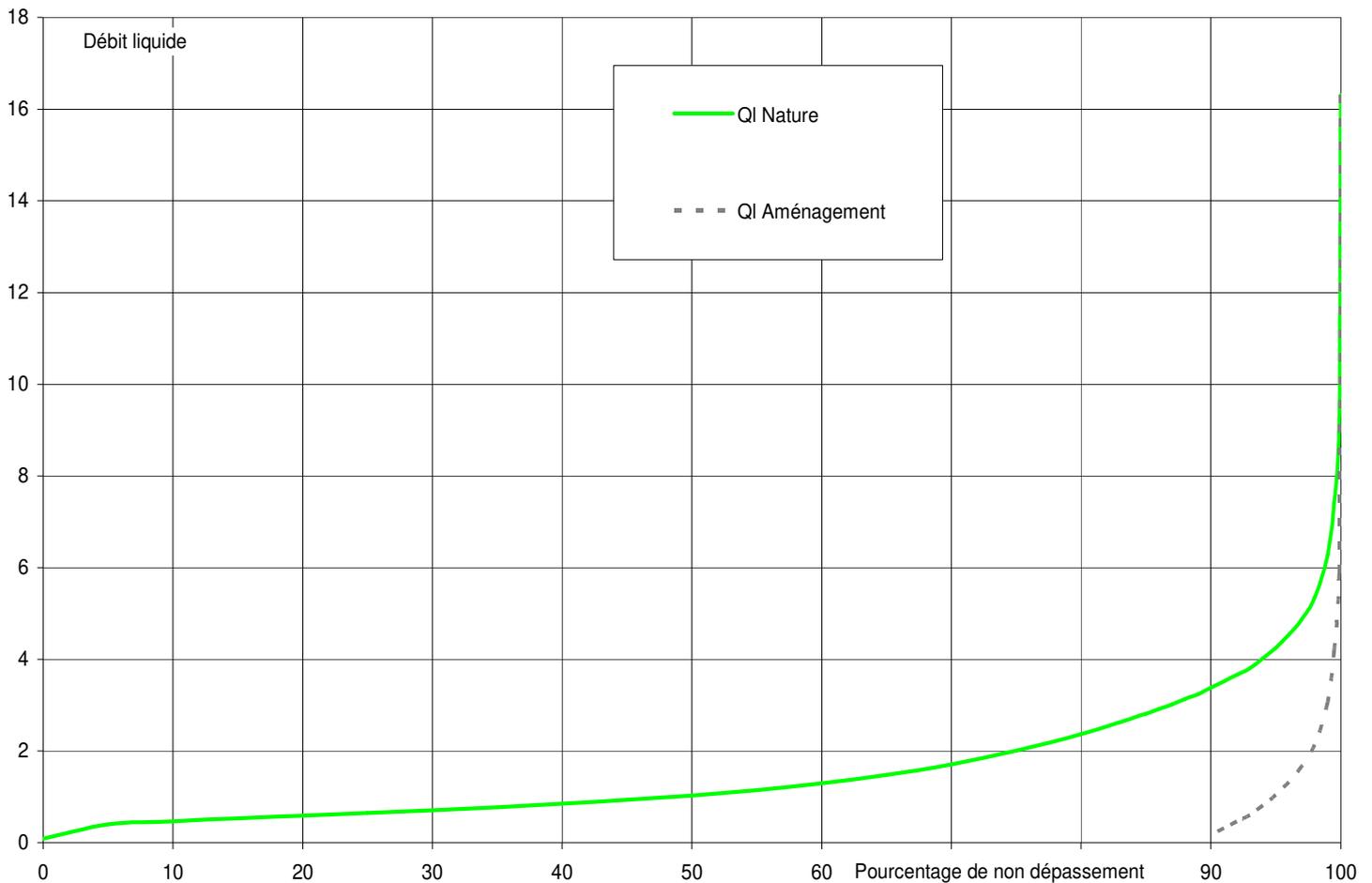


Figure 13 : Courbes de débit classées en aval du barrage.

2.3.5. Conditions d'écoulement

Il peut être surprenant de ne s'attacher que tardivement aux conditions d'écoulement lors d'une crue. Pourtant les conditions d'écoulement ne sont qu'une conséquence des évolutions morphologiques observées.

Lorsque le lit est très large, l'écoulement divague et n'utilise pas toute la largeur d'un lit large mais se concentre en un ou plusieurs bras.

La figure suivante montre - en fonction de la largeur de l'écoulement - les hauteurs de charge critique pour des débits suivants :

- ⇒ 24 m³/s pour un débit décennal.
- ⇒ 50 m³/s pour un débit centennal.

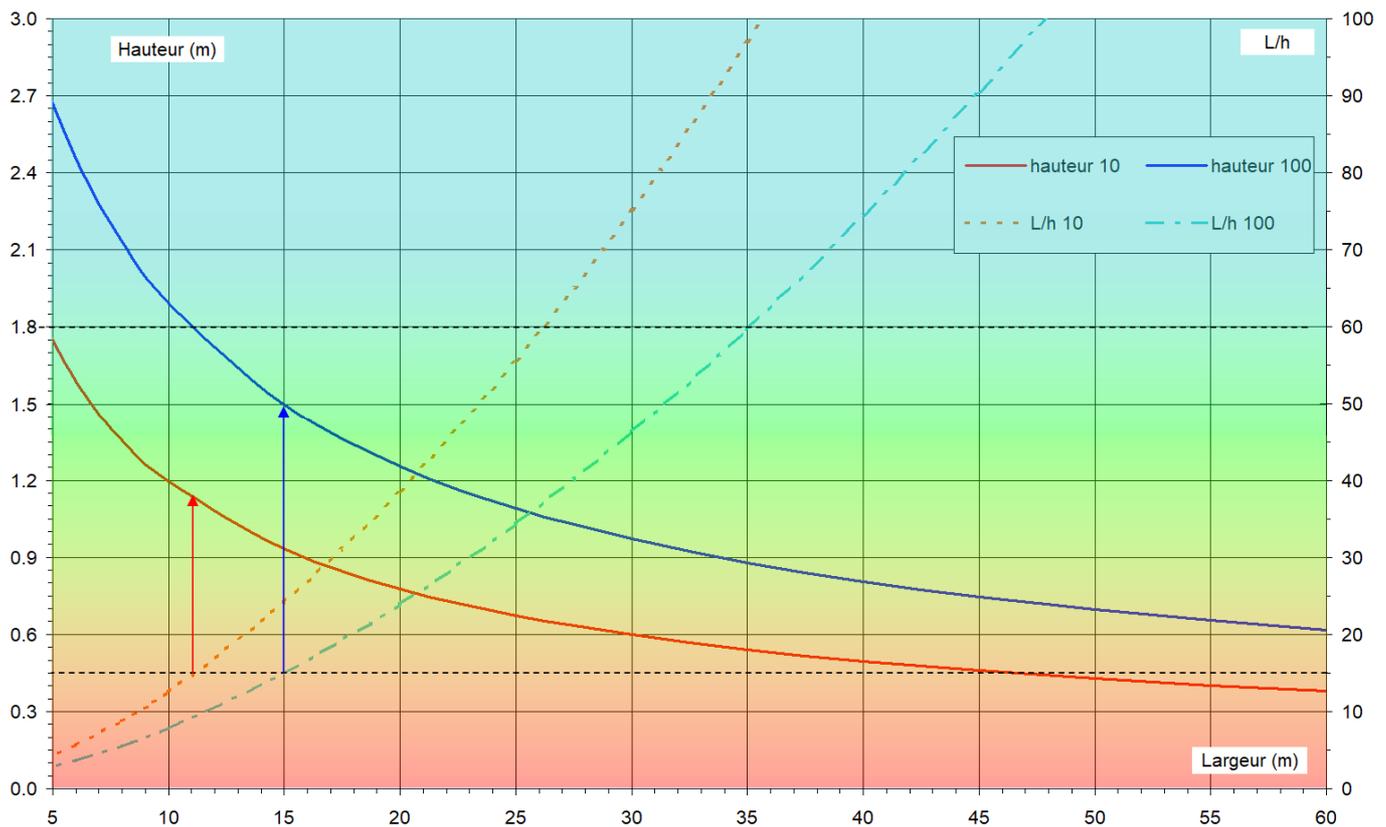


Figure 14 : Conditions d'écoulement en crue.

Ce graphique montre aussi un paramètre important relatif au transport solide : le rapport entre la largeur de la section d'écoulement et sa hauteur :

- ⇒ Pour des valeurs faibles de L/h (généralement inférieure à 15 ou 20), le lit est trop étroit et cause des survitesses et des affouillements.
- ⇒ Pour des valeurs importantes (souvent supérieures à 50), l'écoulement divague et n'occupe qu'une partie du lit. Il n'y a pas vraiment de dysfonctionnement, mais seule une partie de la section est utilisée par l'écoulement même en crue. Un élargissement au-delà n'est pas nécessaire du seul point de vue hydraulique.

Cette approche ne concerne que les conditions d'écoulement. Il peut être intéressant de mettre en place un lit plus large, notamment pour permettre une régulation du transport solide. Par contre, pour maximiser le transport solide, une solution consiste à réduire la largeur du lit. C'est plutôt ce type de solution qui doit être recherchée ici.

Si l'on retient un rapport L/h de 15, alors les hauteurs sont de :

- ☞ 1.1 mètre pour le débit décennal de $24 \text{ m}^3/\text{s}$. La largeur sera alors de 11 mètres.
- ☞ 1.5 mètres pour le débit centennal de $50 \text{ m}^3/\text{s}$. La largeur sera alors de 15 mètres.

Dans ce cas, malgré une forte augmentation du débit liquide, la hauteur et la largeur varient peu.

A contrario, une largeur supérieure à 26 mètres pour une crue décennale et de 35 mètres pour une crue centennale n'apporterait aucune réduction de hauteur d'écoulement car - dans ce cas - la largeur réelle du lit sera supérieure à la largeur de l'écoulement, celui-ci balayant l'ensemble du lit durant la crue.

3. ANALYSE DU TRANSPORT SOLIDE

3.1. Modes de transport solide

Trois modes de transport solide peuvent être considérés sur le Glandon :

- Le transport solide par **suspension** correspond au déplacement des matériaux au sein de l'écoulement : ils sont assez fins pour que la turbulence de l'écoulement dépasse la vitesse de chute du grain. Ces matériaux sont transportés sans contact permanent avec le lit. Ils n'ont donc pas d'influence majeure sur le comportement de l'écoulement et la morphologie du lit. Ainsi, bien que ce phénomène assure généralement le transit de l'essentiel du volume de matériaux, il n'est pas analysé ni quantifié par la suite car il n'a pas d'influence sur le lit mineur. Il s'agit sans doute du mode transport qui représente - de loin - l'essentiel des matériaux transportés.
- Le transport solide par **charriage** correspond aux éléments grossiers traînés ou roulés sur le fond par l'écoulement. Les interactions avec le lit sont prépondérantes et ce type de transport est directement lié à la morphologie du lit. D'autre part, il est nécessaire que les contraintes hydrauliques soient élevées pour pouvoir assurer le transport des cailloux sur le fond. Un tel transport est donc exceptionnel et ne se produit que quelques dizaines de jours par an, lorsque les débits sont particulièrement élevés. Ce type de transport est directement responsable de l'évolution de la géométrie du lit, ce qui explique qu'il soit analysé en détail par la suite. Par contre, sauf exception, il n'a pas d'influence directe sur les écoulements.

La figure suivante schématise ces deux modes de transport solide classiques :



Figure 15 : Différents types de transport solide en rivière.

- Le transit de **laves torrentielles** correspond à l'écoulement d'un fluide monophasique boueux lors des crues. Ce phénomène modifie profondément les écoulements. Par rapport au charriage, il ne s'agit pas d'une gradation du transport solide mais d'un changement complet de nature. L'étude des torrents à lave est donc radicalement différente de celle des torrents avec seulement du charriage. Ce phénomène est largement dimensionnant mais rare, ce qui explique que son rôle sur le transit global du Glandon soit très faible.

3.2. Apport solide par charriage

3.2.1. Granulométrie

Les mesures réalisées par ISL conduisent à un diamètre moyen de 100 mm, ce qui est très classique pour un torrent à fort transport solide.

3.2.2. Formule de transport (Lefort 2015)

Cette formule novatrice est encore relativement peu connue. Elle est donc présentée en détail ci-dessous. Elle conduit à des résultats remarquablement pertinents sur une très vaste gamme de conditions hydrauliques ce qui explique quelle soit mise en œuvre par la suite.

3.2.2.1. Présentation

La formule prolonge un travail présenté en 2007 et alors inachevé en ce qui concerne le charriage partiel. Les idées à la base de la formule de 2007 étaient les suivantes :

- Calculer le transport solide par charriage et suspension dans le plus large domaine d'application.
- Ne recourir qu'aux paramètres primaires, nécessaires et suffisants, à savoir le débit, la pente, les spécifications du matériau et la largeur des cours d'eau confinés entre berges stables, cohésives ou boisées. Comme l'a noté Recking, ce choix évite l'emploi de paramètres d'écoulement, hauteur ou vitesse, sources d'imprécision dans le résultat du calcul, notamment dans les torrents et rivières torrentielles. Néanmoins nous avons dû recourir au coefficient de Strickler (berges exclues) pour prendre en compte la résistance due aux formes de lit, surtout les dunes et les rides de sable.
- Déterminer les limites de validité, notamment en regard de la formation du pavage associé à un charriage partiel, c'est à dire privilégiant le transport des plus petits éléments. Lors de sa publication lors d'un colloque de la SHF en 2007, l'analyse du pavage aux faibles transports amorcée avec les données de l'Idaho n'avait pas abouti. Réalisées postérieurement, les études d'Alain Recking intéressent principalement le charriage partiel ; c'est en partant de ses acquis que nous avons repris, corrigé et complété l'étude de 2007.

3.2.2.2. Les paramètres de la formule

Débit liquide q

Le débit liquide q par unité de largeur est le débit écoulé dans le lit actif par unité de largeur : notre définition exclut le débit écoulé dans le lit majeur et plus généralement les surfaces constituées par des dépôts de matériaux de lessivage (washload) ou couvertes par une végétation permanente.

Pente J

La pente J est la pente de la ligne d'énergie, égale à la pente de la ligne d'eau en écoulement uniforme, mais qui peut en différer notablement en écoulement graduellement varié. Lorsque le

transport est un transport de régime 3, la pente de la ligne d'énergie est régulée par le transport et peu variable le long du tronçon de mesure : elle peut donc être assimilée à la pente moyenne de la ligne d'eau. Lorsque le transport est un transport de régime 1 (charriage partiel), la pente varie le long de l'alternance seuil-mouille et sa détermination est moins évidente.

Largeur L

La largeur L est la largeur de l'écoulement actif caractérisée par la présence d'un matériau de fond provenant du charriage. Cette définition exclut à la fois les fonds rocheux et les bancs limoneux ou boisés.

Dans les essais de laboratoire, ce sera la largeur du canal. Dans les fleuves et rivières à lit d'étiage unique, ce sera la largeur du lit ordinaire. L'appréciation sera plus difficile dans le cas des rivières en tresse, lorsque la largeur et la pente sont variables dans le temps et l'espace en fonction du régime des crues (rivières méditerranéennes) : le meilleur choix est la partie mouillée de la largeur du lit actif, variable en fonction du débit.

Spécifications du matériau

Il s'agit du matériau constitutif du lit alluvial et résultant du transport solide fluvial (par opposition à glaciaire). La granulométrie du matériau du lit est censée être mesurée par comptage suivant la méthode de Wolman : ce choix résulte du mode de prélèvement utilisé pour les mesures de l'Idaho et les autres rivières compilées par l'USGS.

Mais les matériaux sableux utilisés en laboratoire ou mesurés sur le terrain sont définis en masse et non en surface, ce qui en principe n'est pas correct; mais ce choix ne peut être évité et est pratiquement sans conséquence, car la granulométrie des sables est le plus souvent étroite. D'autre part la couche de surface des sables est peu sujette au pavage; la contrainte de cisaillement étant largement supérieure à la contrainte critique, le charriage partiel n'y est guère observé.

Pour les rivières moyennes à lit de gravier, la différence entre les granulométries de surface et de sub surface sera significative ; lorsque la mesure n'a pas été effectuée par comptage de surface, mais en masse, profondément ou superficiellement, il faudra s'attendre à des charriages surestimés au voisinage du début de transport.

Le diamètre choisi comme référence est le diamètre moyen d_m du matériau du lit et est défini par :

$$d_m = \sum \frac{d_i P_i}{P} \quad d_i, \text{ diamètre et } P_i, \text{ poids}$$

Ce choix, qui fut celui de Meyer-Peter et Müller, se substitue au d_{50} couramment employé, ce qui majore l'influence des gros éléments dans la composition d'un mélange en granulométrie étendue. Le diamètre moyen est compris entre le d_{50} et le d_{75} et permet à notre avis de mieux représenter le début d'entraînement, du moins pour les rivières peu ou non pavées. Remarquons que le choix du diamètre moyen d_m diffère de celui de Recking qui adopte le d_{84} , mais fait aussi intervenir le d_{50} dans le calcul du nombre de Recking.

L'étendue granulométrique sera évaluée avec la « gradation » égale à l'écart type lorsque la distribution des tailles est log-normale :

$$Gr = \frac{1}{2} \left[\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right]$$

La densité du matériau intervient sous la forme du poids spécifique γ_s et de la densité sous eau $s-1$, c'est à dire prenant en compte la poussée d'Archimède.

La viscosité cinématique de l'eau ν est variable avec la température et entre dans le calcul du diamètre sédimentologique adimensionnel d_m^* , nécessaire pour le paramétrage des sables fins et moyens et qui s'écrit :

$$d_m^* = d_m \left[\frac{g(s-1)}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

3.2.2.3. Énoncé de la formule de transport solide

Le calcul du transport solide comporte deux régimes :

- Le calcul du débit de transition q_0 ,
- Le calcul de la concentration C_p de part et d'autre du débit de transition q_0 .

3.2.2.3.1. Calcul du débit de transition q_0

Le débit de transition q_0 n'est pas le débit de début de mouvement : il correspond au régime 2 du transport, entre le charriage partiel (ou régime 1), qui ne modifie pas la couche grossière de surface et est constitué de sable et de petit gravier à faible concentration et le charriage généralisé (ou régime 3) qui permet la mise en mouvement de la couche grossière constituant le pavage de surface.

Le débit q_0 s'applique à l'ensemble de la section, définie par la largeur active mouillée L ; il s'exprime sous une forme analogue au débit de début d'entraînement dans la formule de Meyer-Peter et celle de Smart et Jaeggi :

$$\frac{q_0}{\sqrt{g((s-1)d_m)^3}} = C_{(d_m^*)} \cdot \left(\frac{d_m}{L} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{-0.5} \cdot J^{-n}$$

Les variables adimensionnelles sont détaillées ci-après :

Fonction $C_{(d_m^*)}$

La fonction $C_{(d_m^*)}$ décrit la variation de la contrainte de Shields en fonction du diamètre sédimentologique sous une forme analogue à celle rencontrée dans la littérature pour la contrainte critique :

$$C_{(d_m^*)} = 0.0444 \cdot \left[1 + \frac{15}{1 + d_m^*} - 1.5 e^{(-d_m^*/75)} \right]$$

La valeur 0.0444 est proche de celle de la constante de Meyer-Peter, mais ce n'est qu'une coïncidence dénuée de signification. En pratique, on pourra considérer que ce paramètre est constant et égal à 0.0444 pour les lits de graviers et galets.

Rapport d_m/L

Le rapport d_m/L est en fait le produit des deux rapports d_m/h et h/L :

- d_m/h exprime la variation du coefficient de frottement en fonction de la rugosité relative.
- h/L prend en compte l'effet de paroi exprimé théoriquement avec le rayon hydraulique lorsque la largeur est faible ; mais surtout, il décrit sommairement l'inégale distribution du débit sur le lit par la formation de bancs aux grandes largeurs. Le choix de ce paramètre est pour beaucoup dans l'aptitude de la formule à quantifier les transports sur le terrain et en laboratoire avec les mêmes constantes numériques.

Exposant n

L'exposant n attaché à la pente J est variable et s'écrit :

$$n = 1.6 + 0.06 \log (J)$$

Cette variation empirique de l'exposant pente correspond à une augmentation de la contrainte de cisaillement avec la pente.

Rapport k_s/k_r

La mise en mouvement du matériau du lit se produit lorsque la contrainte exercée par le fluide est supérieure à la résistance des grains élémentaires constitutifs du lit. Mais à la résistance des grains s'ajoutent les résistances dites de forme qui varient de manière différente, telles que celles résultant des dunes, des rides pour les sables et des seuils et mouilles dans les méandres. Le calcul du coefficient de Strickler d'un écoulement à surface libre permet de rendre compte de l'importance respective des résistances de grain et de forme. La variable adimensionnelle $(k_s/k_r)^{-0.5}$ exprime l'incidence du rapport entre le coefficient de rugosité du lit et le coefficient de rugosité attaché au grain, sur lit plat. Ce rapport avait déjà été introduit par Meyer-Peter et Müller dans leur formule de 1948, mais, avec un exposant supérieur à 2, pesait beaucoup plus lourdement sur le résultat. L'introduction de cette variable dans le calcul du débit de transition améliore sensiblement la qualité de la formule. Deux cas vont alors se présenter :

- Les variables hydrauliques ont été calculées en supposant l'écoulement uniforme ou mieux par un calcul des lignes d'eau en écoulement graduellement varié à débit connu; ce calcul permet de déterminer le coefficient de rugosité, en général le coefficient de Strickler.
- Mais plusieurs séries de mesure du fichier USGS ne précisent pas la hauteur d'eau; par ailleurs les données de hauteur des torrents de forte rugosité relative sont souvent peu fiables; pour ces données, le calage de la formule a nécessité une détermination approchée de la variable k_s/k_r . Pour cette détermination, nous partirons des équations de l'écoulement uniforme de Recking et Rickenmann : elles conduisent à l'expression suivante du rapport k_s/k_r en fonction du nombre sans dimension caractérisant la submersion relative :

$$q^* = \frac{q}{\sqrt{g J d_{84}^3}} \quad \text{Si :} \quad q^* < 139 \quad k_s/k_r = 0.9 q^{*0.23} \quad \text{si non :} \quad k_s/k_r = 0.9$$

Cette équation est écrite par Recking avec le diamètre d_{84} ; nous la transformerons en utilisant le diamètre moyen d_m et en ajustant les constantes sur les données expérimentales, d'abord sur les données incomplètes puis sur l'ensemble des jeux de données afin de déterminer son champ d'application.

En considérant le nombre sans dimension : $q^* = \frac{q}{\sqrt{g J d_m^3}}$ nous obtiendrons :

$$\text{Si : } q^* < 200 \quad k_s/k_r = 0.75 \left(\frac{q^*}{200} \right)^{0.23} \quad \text{sinon : } k_s/k_r = 0.75$$

3.2.2.3.2. Calcul de la concentration Cp (ppm = mg/litre)

Pour faciliter l'exploitation des données et leur représentation, nous caractériserons le transport solide par la concentration C_p exprimée en ppm, mg/litre ou gr/m³. La concentration est en pratique adimensionnelle et facilite la comparaison entre les données de laboratoire et les calculs. Le débit solide journalier G_s est égal suivant cette définition à :

$$G_s \text{ (tonnes/jour)} = 0.0864 C_p \cdot Q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

La concentration C_p exprimée en mg/litre s'écrit :

$$C_p = 1700000 \cdot J^m \cdot \frac{S}{(s-1)^{1.65}} \cdot G_r^{0.2} \cdot cor \cdot F \left(\frac{q}{q_0}, q^* \right)$$

Les variables constitutives sont les suivantes :

1. L'exposant m , attaché à la pente J , s'écrit : $m = 1.8 + 0.08 \log(J)$
2. Le terme $\frac{\gamma_s}{(s-1)^{1.65}}$ dépend du poids spécifique du matériau et de la densité minorée par la poussée d'Archimède. Pour les matériaux de densité moyenne 2.65, ce terme est égal à 1.16.
3. La « gradation » $Gr = \frac{1}{2} \left[\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right]$ mesure l'étendue granulométrique
4. Le facteur de correction de dune cor traduit l'influence des fortes rugosités induites surtout en laboratoire par certaines dunes (mais pas toutes) et la majoration du frottement qui en résulte. Sa variation s'efforce de traduire la formation et l'aplatissement des dunes avec le débit analysé par Yalin. Il ne doit être appliqué qu'aux diamètres inférieurs à 0.6 mm et s'écrit :

$$\text{Si : } d_m^* < 14 \text{ et si } k_s/k_r < 0.63 ; cor = 1 - 1.4 e^{-0.9 \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^2 \cdot \left(\frac{q}{q_0} \right)^{0.5}} \quad \text{sinon : } cor = 1$$

Ce coefficient peut être utilisé sur le terrain, mais influence assez peu les résultats.

5. Le rapport $\frac{q}{q_0}$ rapport du débit par unité de largeur au débit q_0 de transition entre les régimes 1 et 2.

6. Le nombre sans dimension $M = \frac{q^* + 2.5}{200}$ est un facteur de réduction du transport par charriage partiel, c'est à dire lorsque q/q_0 est inférieur à 1 ; il varie de 1 à 0.02 lorsque la submersion relative h/d_m décroît de 9 à 1.5. SI $q^* \geq 200$ alors $M=1$.

7. La fonction du débit F comporte deux équations :

- La première caractérise le régime 1 du transport, c'est à dire le charriage partiel des petits éléments, sable et gravier, sur lit pavé;
- La deuxième caractérise le régime 3 du transport, c'est à dire le transport généralisé par charriage d'abord, puis par charriage et suspension des matériaux du lit.

Les deux équations de la fonction F, applicables de part et d'autre du débit de transition q_0 , s'écrivent :

$$\text{Si } q < q_0 \quad F1 = 0.06 M \frac{q}{q_0}$$

$$\text{Si } : q > q_0 \quad F2 = \left[6.1 \left(1 - 0.938 \left(\frac{q_0}{q} \right)^{0.284} \right)^{1.66} \right]^Z$$

Les deux fonctions renvoient la valeur 0.06 lorsque $q = q_0$, si la fonction M est égale ou supérieure à 1.

8. L'exposant Z décrit dans l'équation (4.8.14) la majoration du débit solide lorsque l'on passe du charriage à la saltation, puis à la suspension.

$$Z = 1 + \frac{0.38}{d_m^{*0.45}} \cdot \left[\frac{q}{\sqrt{g} d_m^3} \right]^{0.192}$$

En posant $Z = 1$, on obtient l'ordre de grandeur de la fraction du débit solide transporté par charriage de fond. Pour un lit de graviers, l'exposant Z est égal à 1.

Cette formule couvre une gamme de phénomène très large. Dans le cas du Borne qui nous préoccupe, elle présente l'avantage d'être particulièrement précise dans à proximité du seuil de début de transport, paramètre toujours très délicat dans l'estimation des volumes transités.

3.2.3. Volume de transport par charriage lors des crues

La figure suivante montre les hydrogrammes - liquides et solides :

- 🌊 Du Glandon en amont du Tépey, avec une pente de 7.8 %,
- 🌊 Du Glandon en aval de la retenue avec une pente de 5.8 % et un débit inchangé par la retenue dans le cas d'une crue aussi forte.

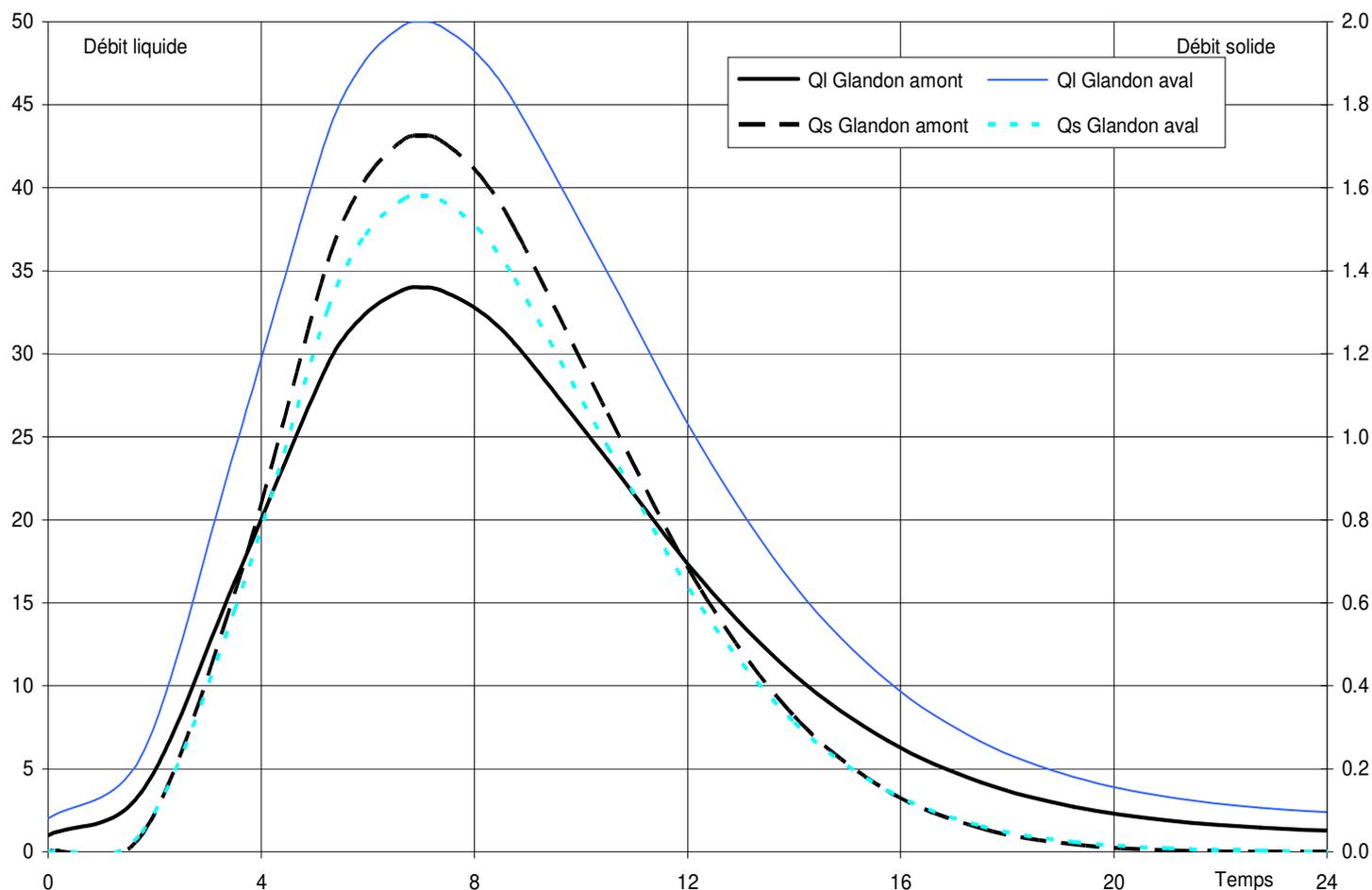


Figure 16 : Hydrogrammes de crues centennales de part et d'autre du Tépey.

Ce graphique rappelle que les débits liquides aval sont très supérieurs ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) à ceux en amont du Tépey ($34 \text{ m}^3/\text{s}$).

Pourtant, la réduction de la pente inverse les proportions et le transit en aval ($40\,000 \text{ m}^3$) est significativement inférieur à ceux qui peuvent provenir de l'amont ($48\,000 \text{ m}^3$) alors que les apports solides du Tépey (inconnus) s'ajoutent encore au bilan. Il ne s'agit ici que de définir des ordres de grandeur et surtout de mettre en évidence les évolutions possibles du transport solide et les tendance au dépôt ou à l'érosion.

Dans cette configuration, la tendance serait au dépôt de matériaux à la confluence, par le seul fait de la réduction de pente. Il convient cependant d'être prudent car en amont de la confluence, le lit est partiellement pavé : le transport solide peut alors être plus faible que la capacité de transport, qui

seule peut être calculée. Ainsi, en aval d'un lit pavé, le risque de dépôt est difficile à établir car le transport solide effectif peut être inférieur au transport solide calculé.

Ce calcul montre que ce site ne présente pas toujours une continuité du transport solide, quelque soit l'ouvrage qui est construit - même en excluant tout prélèvement au niveau de la prise.

De la même façon, le graphique suivant montre une faible tendance au dépôt pour une crue décennale :

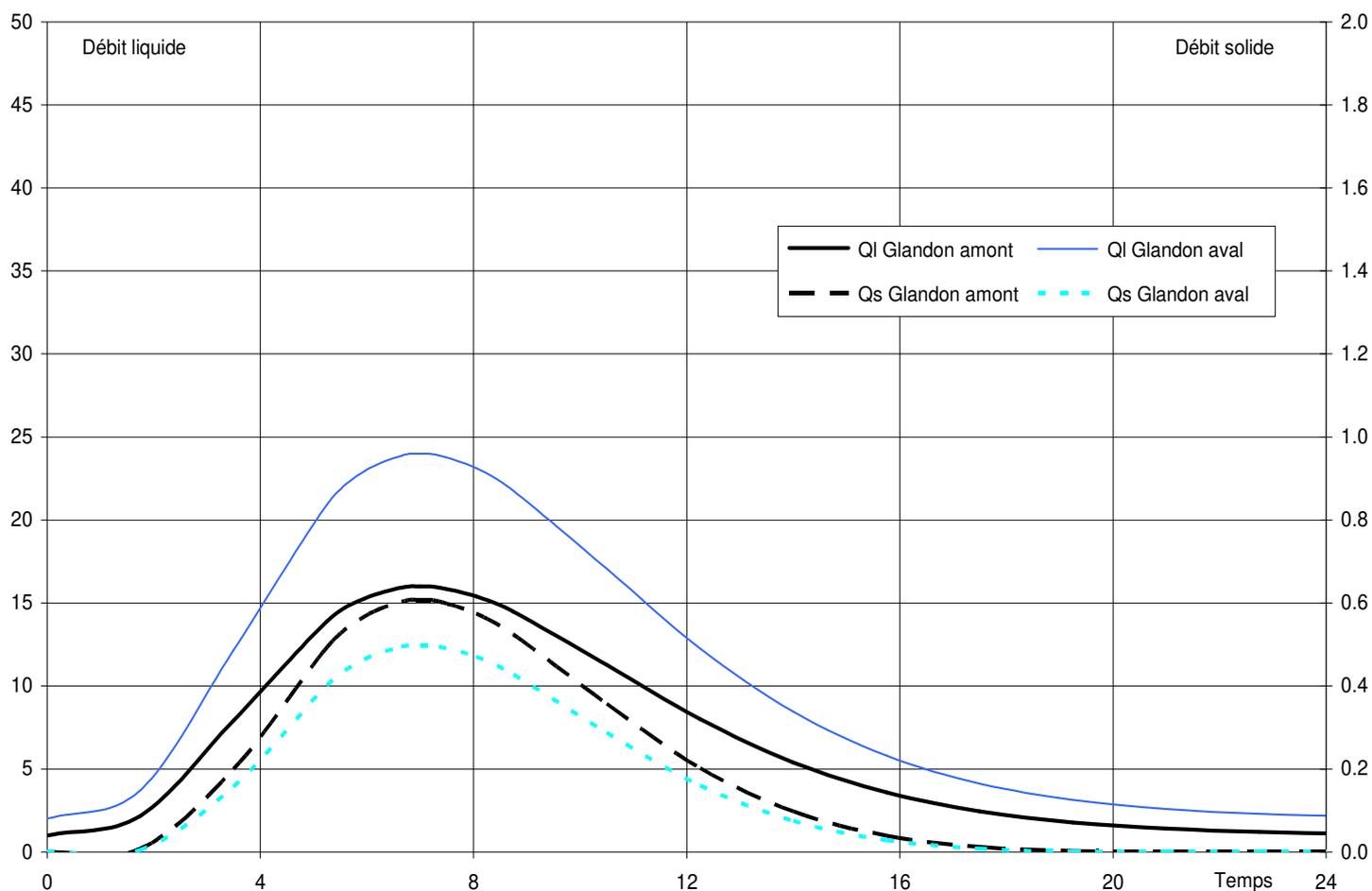


Figure 17 : Crues décennales de part et d'autre du Tépey avec tendance au dépôt.

Comme précédemment - et avec les mêmes réserves - la il parait une tendance au dépôt au niveau de la confluence avec le Tépey, celui-ci apportant vraisemblablement plusieurs milliers de m³ pour une crue décennale et quelques dizaines de milliers pour une crue centennale.

Le tableau suivant indique les capacités de transport calculées :

	Crue décennale	Crue centennale
Amont Tépey	16 000 m ³	48 000 m ³
Aval Tépey	13 000 m ³	40 000 m ³

3.2.4. Charriage ordinaire

Il convient de noter que les incertitudes sur les volumes transités sont beaucoup plus importantes pour les débits ordinaires (proches du seuil de début de mouvement) que pour les fortes crues. Ce calcul n'a donc pour objectifs que de dégager des ordres de grandeurs pour éclaircir le fonctionnement de la zone. Ce n'est donc pas la valeur absolue du volume transité qui doit être pris en compte (il est vraisemblablement surestimé), mais l'impact des aménagements sur ces volumes calculés.

L'objectif de ce calcul est de mettre en évidence le rôle des prélèvements - quelque en soient les modalités - sur l'équilibre du lit aval, l'analyse des profils en long montrant de fortes variations en aval de la prise.

La figure suivante montre les courbes de débit classées :

- Pour le débit liquide et le débit solide associé.
- Pour la situation "naturelle" et après aménagement et prélèvement du débit liquide pour alimenter l'usine avec un maximum prélevé de 3.2 m³/s.

Le graphique suivant indique les débits liquides et les débits solides pour seulement 20 % du temps, le transit solide étant très insignifiant pour des débits liquides plus faibles :

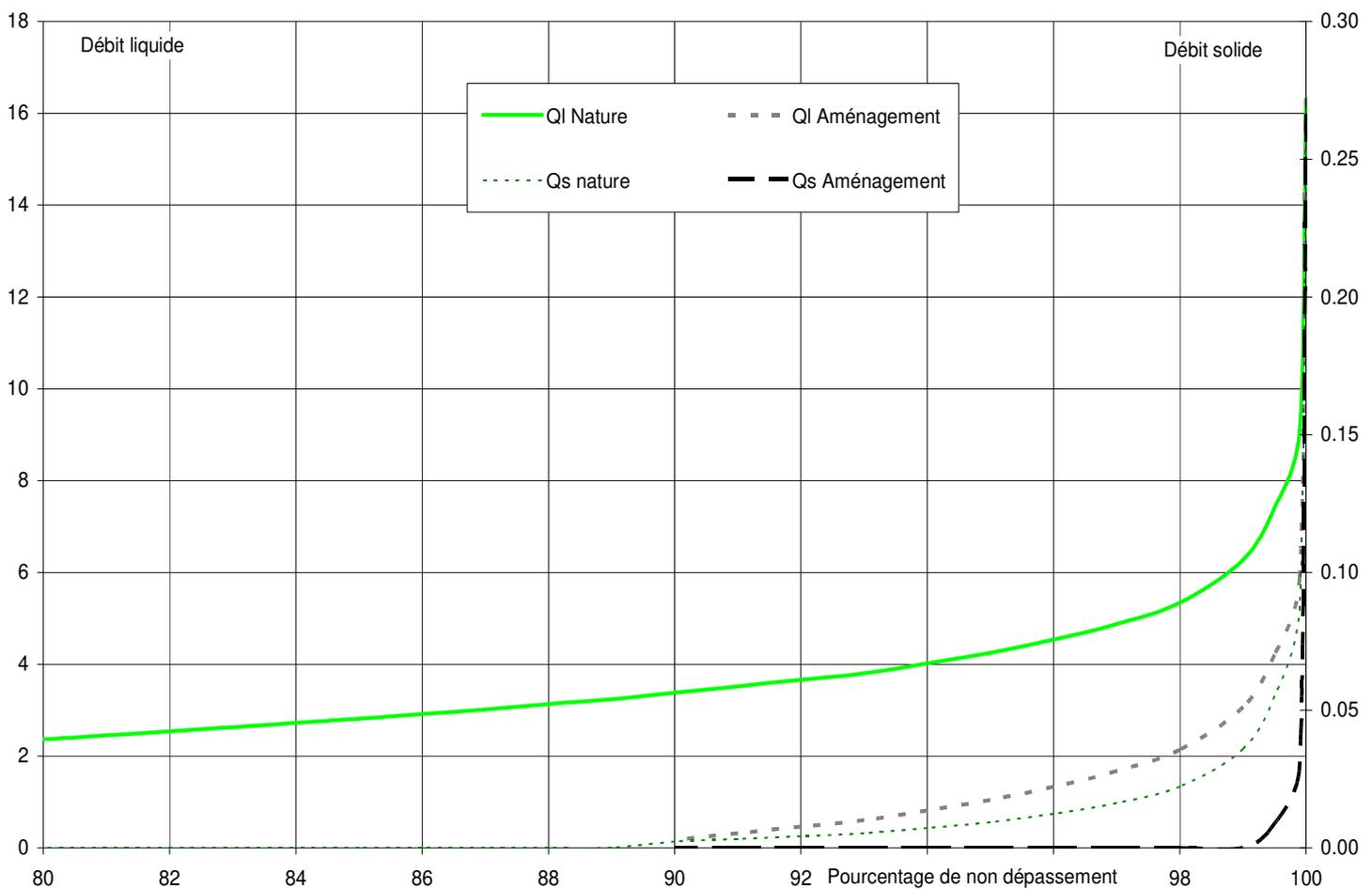


Figure 18 : Courbes de débit classées liquides et solides.

Ce graphique confirme que le transport solide par charriage n'est significatif qu'une trentaine de jours par an. Les débits liquides sont alors généralement compris entre 3.4 et 10 m³/s. évidemment, le prélèvement d'eau (3.2 m³/s) joue alors un rôle majeur sur cette gamme de débit.

Le transport solide est alors 10 fois plus rares et le volume calculé passe ici de 60 000 m³ à 11 000 m³ par an en considérant que l'usine est totalement arrêtée pour un débit liquide amont de plus de 16 m³/s.

De manière plus générale, le débit solide aval est calculé pour un lit aval de 15 mètres de largeur.

Débit liquide d'arrêt de la centrale	volume transité
État naturel	60 000 m ³
5 m ³ /s	40 000 m ³
7 m ³ /s	30 000 m ³
9 m ³ /s	19 000 m ³
16 m ³ /s	11 000 m ³
-	9 000 m ³

Ce calcul montre que le seuil de mise en transparence de la prise d'eau joue un rôle majeur sur la capacité de transport - et donc l'équilibre du lit - en aval. Il est illusoire de vouloir quantifier précisément le seuil nécessaire.

Ainsi, la démarche pourra être la suivante :

- En cas d'engravement du lit aval, le seuil de mise en transparence serait abaissé et une longue chasse sera réalisée.
- En cas d'abaissement du lit aval (peu probable en l'absence de prélèvement de matériaux au droit de la prise d'eau), le seuil de mise en transparence pourra être remonté.

3.3. Laves torrentielles

3.3.1. Caractéristiques des laves torrentielles

3.3.1.1. Structure transversale

Les écoulements de laves torrentielles présentent une section transversale très différente de celle d'un lit avec un charriage important. En effet, la rhéologie de la lave ne permet pas son étalement, et elle reste concentrée dans un lit relativement étroit. Ainsi, les laves parviennent à imposer une section assez indépendante du terrain naturel comme le montre la figure suivante :

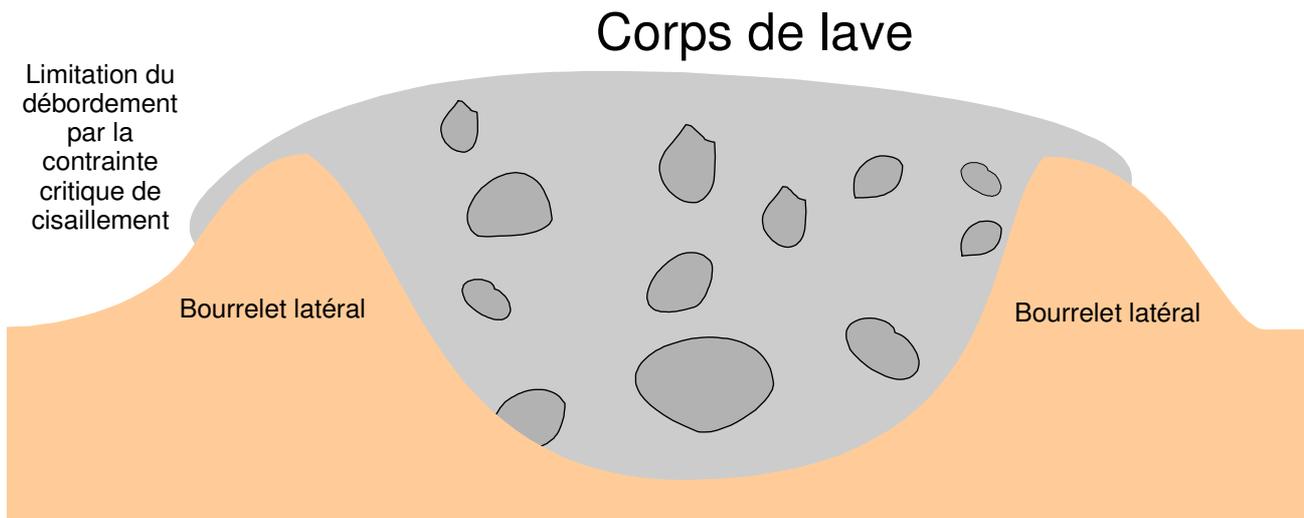


Figure 19 : Section transversale d'une coulée et du lit.

Dans l'exemple ci-dessus, la lave est parvenue à "construire" deux digues latérales qui lui permettent de conserver une pente et une section optimales, indépendamment du terrain environnant. Cette configuration est très nette sur le torrent du Sapey.

Cette figure illustre deux particularités des laves torrentielles :

1. **La section est peu variable** d'une crue à l'autre. La section d'écoulement dépend des caractéristiques rhéologiques de la lave, de la pente mais assez peu du débit.
2. **Le sommet de la lave est concave.** Par rapport aux sections relevées sur le terrain, il est donc nécessaire de prévoir une revanche importante pour prendre en compte cette particularité, par exemple lors de la construction d'un ouvrage de franchissement.

Dans le cas du Glandon, la contrainte de cisaillement critique est relativement faible et la lave présente une étonnante capacité à s'adapter à la géométrie initiale du lit, avec des écoulements relativement rapides.

3.3.1.2. Structure longitudinale

Une lave boueuse est usuellement formée de trois parties :

1. Le bourrelet frontal constitué des plus gros blocs, généralement en contact direct. Ce bourrelet frontal présente une section qui peut être très importante. Il est poussé par le corps de la coulée. Des blocs de plusieurs dizaines - voir quelques centaines - de tonnes peuvent être transportés lors des crues. Dans le cas du Glandon, le volume de très gros blocs paraît faible, mais les blocs ne peuvent être négligés. Le choc du bourrelet frontal avec un ouvrage est particulièrement destructeur, les efforts étant localement considérables.
2. Le corps de la coulée est constitué d'un mélange boueux homogène. Il joue un rôle moteur dans le déplacement de la coulée. Là encore, les efforts mécaniques sont très élevés, notamment à cause d'une densité proche de 2 à 2.4 T/m³.
3. La queue de coulée dans laquelle on peut observer un charriage hyperconcentré. La section d'écoulement est alors nettement plus réduite. Cet écoulement joue un rôle vraisemblablement très important sur le Glandon notamment à cause de la taille importante du bassin versant qui génère des débits liquides élevés en plus des écoulements de laves torrentielles qui ne proviennent que d'une petite partie du bassin versant.

La figure suivante schématise une telle structure :

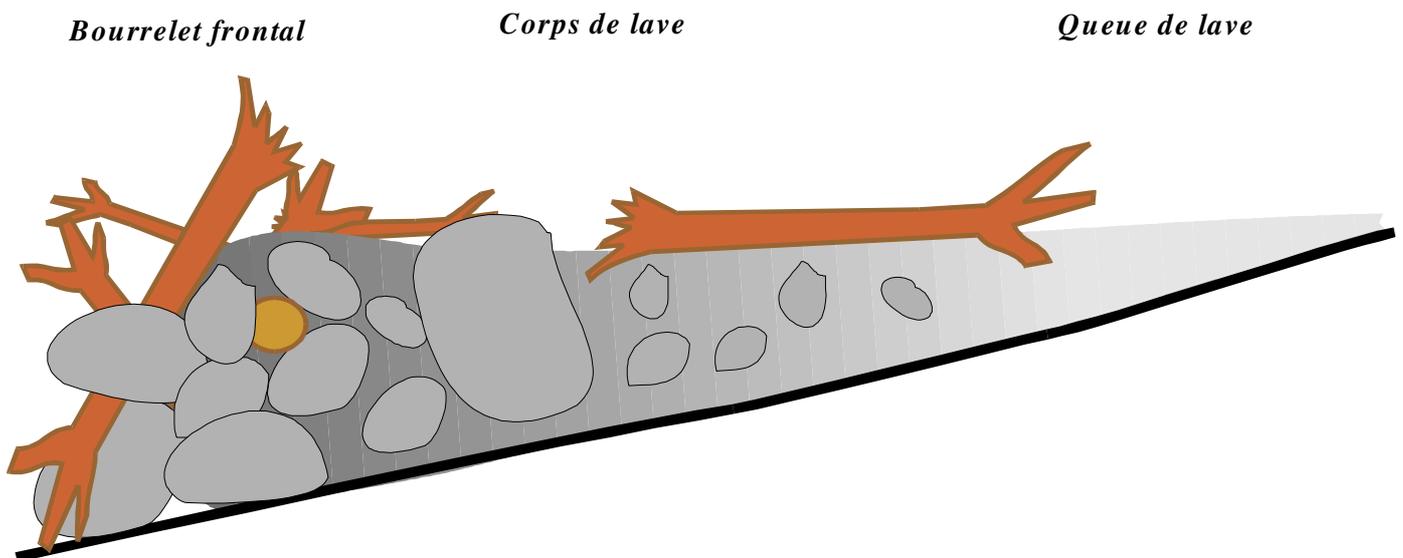


Figure 20 : Structure longitudinale d'une lave torrentielle.

Les caractéristiques de ces fronts, constitués de gros éléments - accumulés par la lave torrentielle lors de son déplacement - échappent à toute quantification. Or, ce sont eux qui génèrent souvent les dégâts les plus importants.

3.3.1.3. Transit du front

Une caractéristique des laves torrentielles est le transport de très gros blocs, beaucoup plus gros que ce qui peut être repris en charriage. Ces blocs se déposent généralement à la confluence car ils ne peuvent être transportés plus en aval. Ils ajoutent évidemment à la capacité de destruction des laves et peuvent imposer des changements brutaux de lit.

La photo suivante montre la destruction d'un bâtiment par une lave, même sans très gros bloc :



Figure 21 : Effet d'une lave sur un bâtiment.

La photo suivante montre un bloc de 200 m³ transporté par la Ravoire de Pontamafrey en Savoie lors de la crue de 1924.



Figure 22 : Transport d'un très gros bloc par une lave.

La photo suivante montre l'arrêt de la lave sur des terrains en pente, observation impossible avec de l'eau :



Photo 29 : Effet du seuil de début de mouvement sur le modèle réduit du Manival (CNR).

Ce point est essentiel pour le dimensionnement des ouvrages, la lave torrentielle étant capable de s'arrêter si elle est "épuisée".

3.3.1.4. Écoulement des laves

La principale caractéristique des laves torrentielles découle de leur caractère non Newtonien, c'est-à-dire qu'au contraire de l'eau, il n'y a pas de relation linéaire entre la vitesse de cisaillement et la contrainte de cisaillement.

De plus, la loi de comportement (relation entre vitesse et contrainte de cisaillement) fait apparaître un seuil de début de mouvement. Le seuil de contrainte correspond à la contrainte nécessaire pour que le mouvement débute : on peut donc avoir une épaisseur importante de lave sur une pente significative, sans qu'il y ait de mouvement des matériaux comme le montre la photo précédente.

La figure suivante illustre ce type de comportement. Elle indique l'évolution de la vitesse en fonction de la hauteur de fluide pour une lave et pour de l'eau :

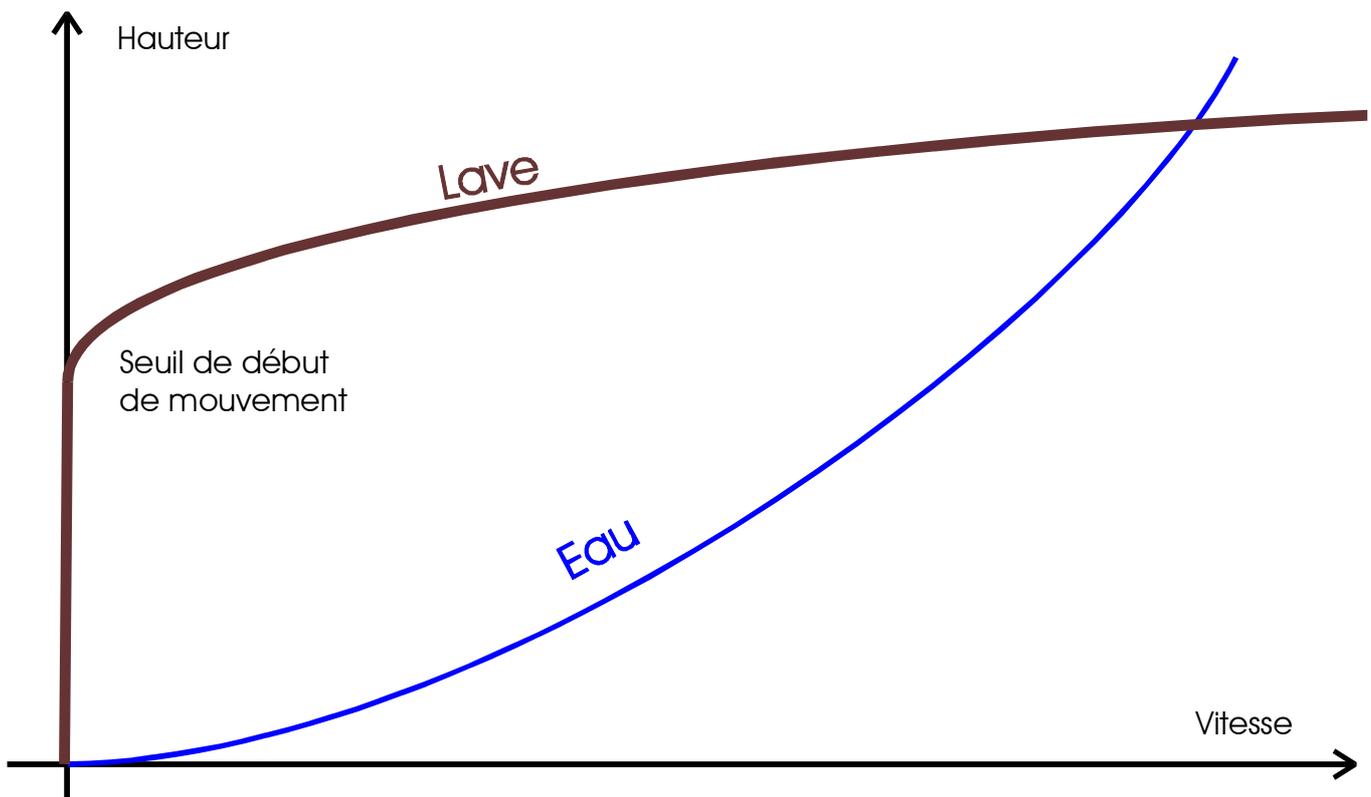


Figure 23 : Relation hauteur - vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle.

Cette loi hauteur - vitesse conduit à une remarque essentielle : la hauteur de lave est presque indépendante du débit car la vitesse augmente très vite. Le débit n'est alors pas un paramètre prépondérant, au contraire d'un écoulement d'eau.

Les connaissances des écoulements de lave torrentielle ont fait des progrès considérables ces dernières années. Ces nouvelles approches sont basées sur l'analyse de la loi de comportement des matériaux. Ainsi, COUSSOT⁴ a montré que la loi de comportement des mélanges boueux pouvait être représentée par un modèle de HERSCHEL & BULKLEY :

$$\tau = \tau_c + K \frac{\partial v}{\partial y}^{1/3}$$

Avec

<p>τ Contrainte de cisaillement</p> <p>τ_c Seuil de contrainte dépendant du matériau</p>	<p> K Coefficient caractéristique du matériau</p> <p> v Vitesse de lave à la cote y</p> <p> y Distance depuis le fond</p>
--	---

Ce type d'équation n'est valable que pour un mélange boueux avec une faible proportion de matériaux grossiers. On peut donc l'employer pour le corps de la lave. Par contre, elle est sans signification pour le bourrelet frontal, composé de matériaux beaucoup plus granulaires et où la matrice d'éléments fins a un rôle nettement plus réduit.

L'ensemble de ces caractéristiques correspond aux laves torrentielles boueuses, avec une matrice fine très développée comme c'est le cas dans les terrains schisteux de la rive droite du Glandon.

3.3.1.5. Hydrologie - Précipitations représentatives

L'une des caractéristiques des laves torrentielles réside dans leur fonctionnement par bouffée intrinsèquement lié à la rhéologie de ces écoulements. À titre indicatif, la figure suivante montre un "hydrogramme" de crue traduisant ce fonctionnement :

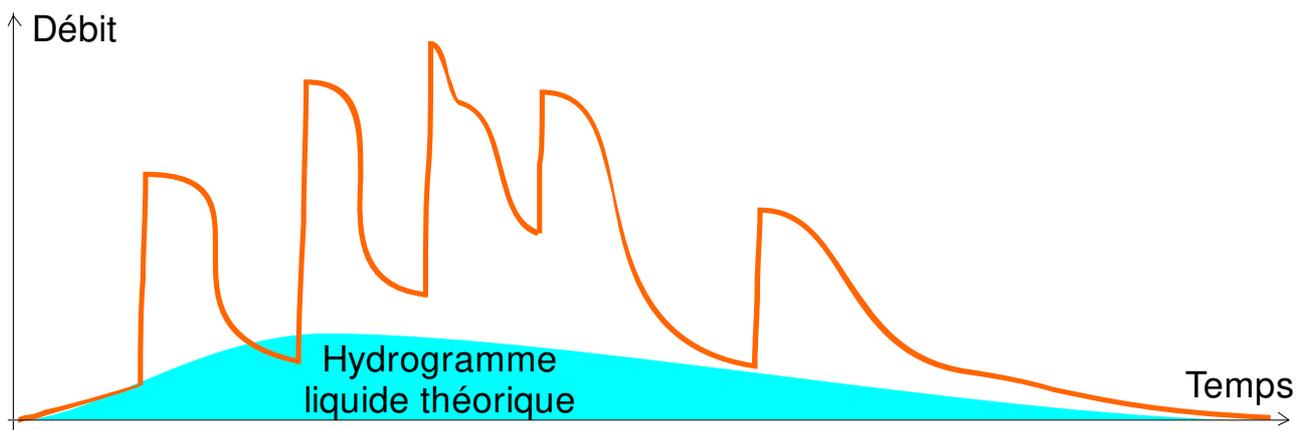


Figure 24 : Section transversale d'une coulée et du lit.

⁴ Rhéologie des laves torrentielles - Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble - 1992.

Le débit de pointe paraît alors un phénomène secondaire et très variable car notamment lié au bourrelet frontal. Sa détermination ne paraît donc pas nécessaire. Par contre, la détermination du volume apporté durant la crue est beaucoup plus importante.

On a longtemps considéré que la pointe de crue se produisait au moment du passage du premier front. Il apparaît cependant que si la lave présente un front avec accroissement brutal du débit, les débits les plus élevés ne sont pas forcément observés lors de la pointe de crue.

3.3.2. Volumes de crue

L'étude ISL de 2018 estime les apports de lave suivants :

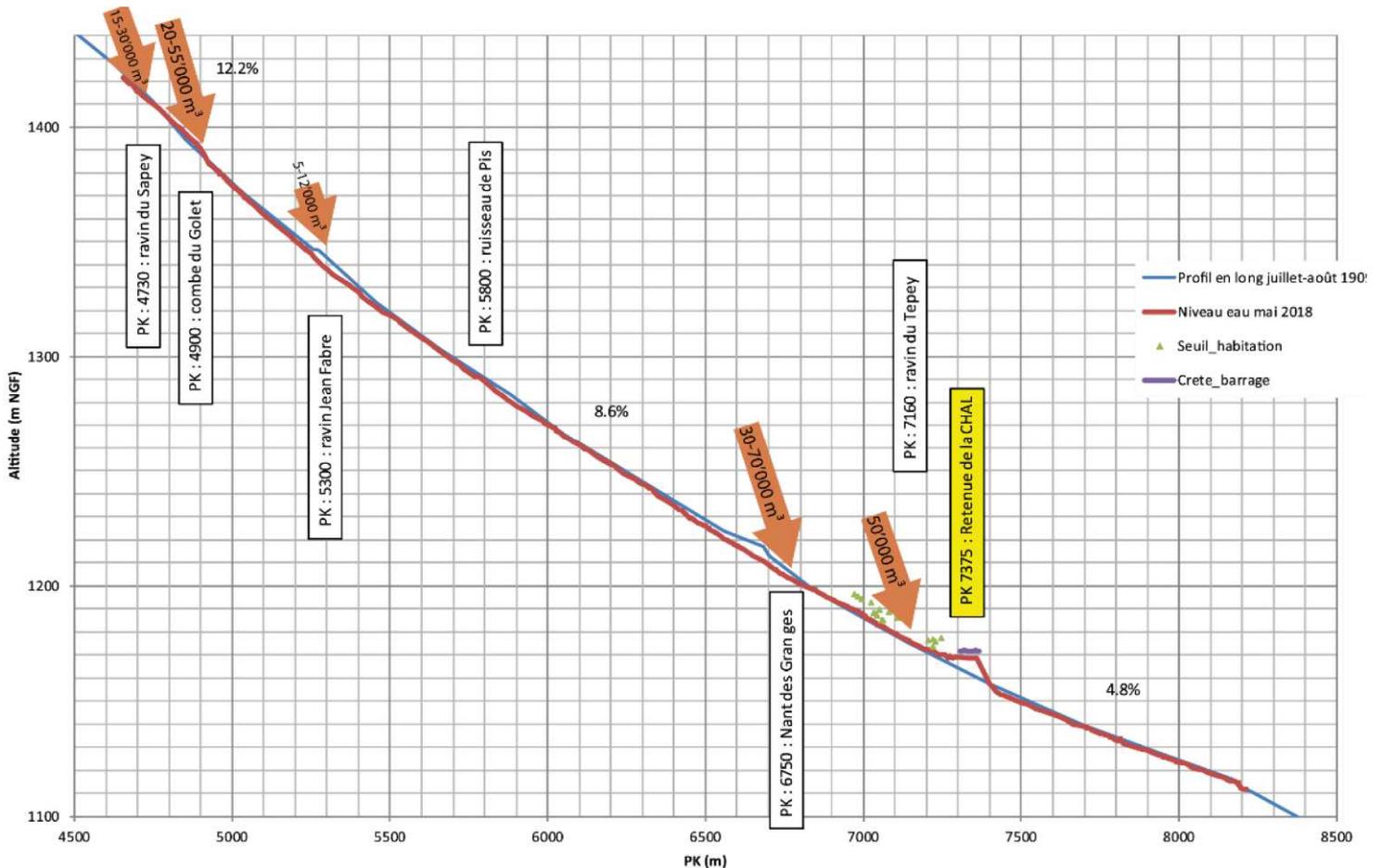


Figure 25 : Volume d'apport estimé par ISL en 2018

À la confluence, les phénomènes de reprise de la lave torrentielle sont particulièrement complexes :

- Les apports liquides du Glandon vont augmenter la teneur en eaux et 'fluidifier' la lave, facilitant sa propagation dans le lit aval.
- Les débits liquides du Glandon (si il est en crue) vont emporter la matrice argileuse, privant la lave de son 'moteur'. Les matériaux grossiers vont alors se déposer. La reprise des matériaux est alors particulièrement intense et diminue nettement l'ampleur des dépôts

L'étude ISL fait l'estimation de la lave torrentielle rare au niveau de la retenue de la Chal (période de retour d'environ 100 ans). Ses caractéristiques sont :

- Débit de pointe : 300 m³/s
- Volume apporté : 60 000 m³

L'hydrogramme proposé est alors le suivant :

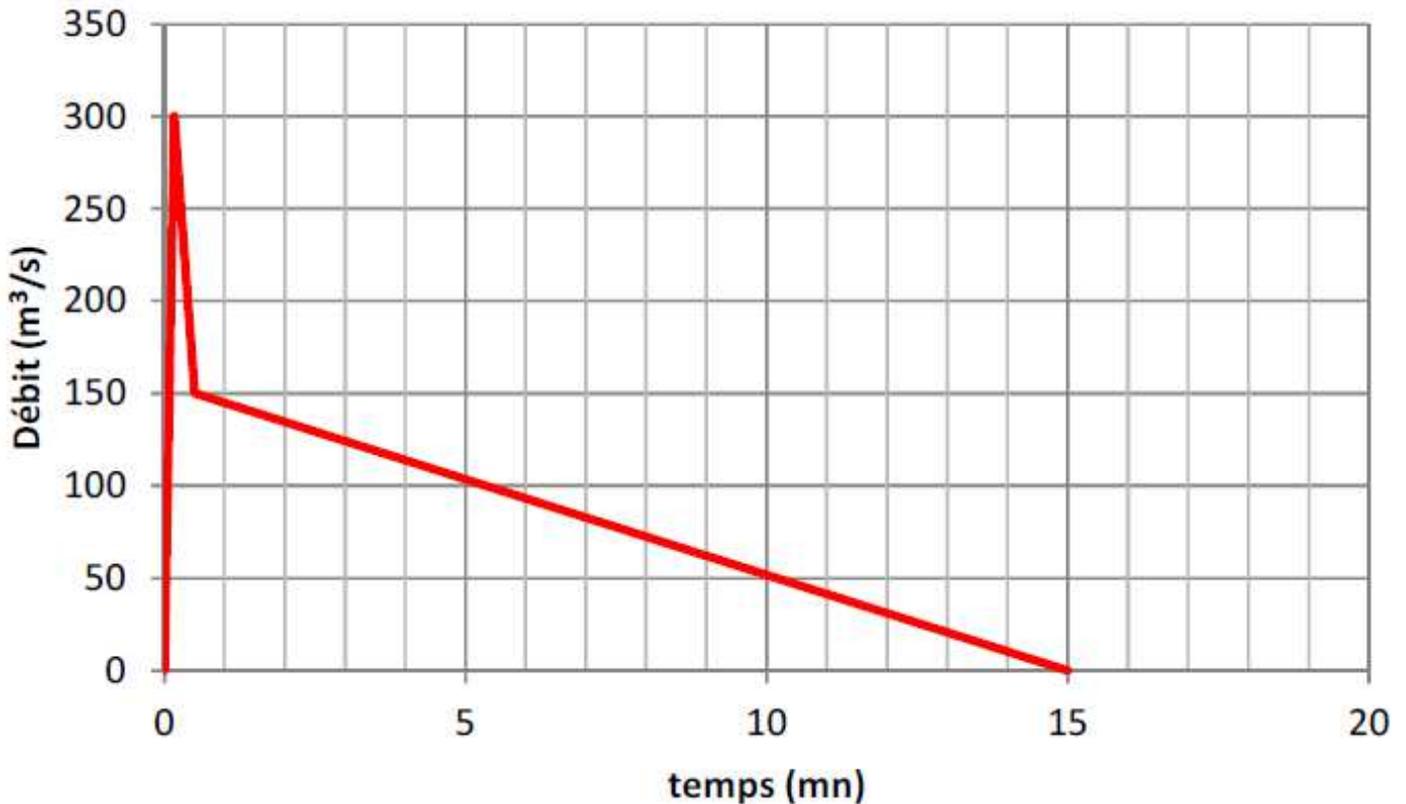


Figure 26 : Hydrogramme de la lave torrentielle rare à la Chal (source : ISL).

Cet hydrogramme plausible, et le débit de pointe de 300 m³/s, sont conservés par la suite.

À noter que la durée considérée pour le débit de pointe est d'environ 1 minute. Le reste du temps de la bouffée soit environ 15 minutes, le débit est inférieur à 150 m³/s

Il convient cependant de garder à l'esprit que cet hydrogramme ne représente qu'un scénario possible, les crues du Glandon étant vraisemblablement complexes au gré des apports des différents affluents. D'autre part, rien ne s'oppose à un hydrogramme "inversé" avec une montée progressive des débits avant la pointe de crue.

3.3.3. Conditions d'écoulement des laves

3.3.3.1. Rhéologie des laves

L'étude ISL apporte les éléments suivants :

Suite à des échanges avec les services RTM Maurienne - que nous n'avons pas retrouvés - les différents paramètres du modèle ont été fixés aux valeurs affichées dans le tableau suivant.

Paramètre	Valeur
densité ρ	2200 kg/m ³
ratio τ_C / ρ	0,80 [0,60-1,00]
ratio K / τ_C	0,3

Ces valeurs sont classiques pour des laves boueuses fluides. La prise en compte d'un ratio τ_C / ρ compris entre 0.6 et 1 conduit à une incertitude de l'ordre de 40 % sur les niveaux, soit plus d'un mètre sur la hauteur d'écoulement.

Cette incertitude n'est pas très élevée, mais elle est incompressible, quelques doit les outils employés en l'absence de nouvelles observations.

3.3.3.2. Conditions d'écoulement

3.3.3.2.1. Impact de la pente

La figure suivante montre, pour les rhéologies présentées ci-dessus, les hauteurs d'écoulement :

- 🌊 Pour une section trapézoïdale de fruit unitaire,
- 🌊 Pour une largeur en base de 10 mètres,
- 🌊 Pour des débits de 100, 200 & 300 m³/s.

Ce graphique ne représente pas les vitesses supérieures à 15 m³/s car

- Des laves aussi rapides paraissent improbables sur ce site.
- Les équations sont établies pour des écoulements globalement laminaires. Pour des vitesses très élevées, la turbulence devient prépondérante et limite la vitesse de l'écoulement. On sort alors du domaine de validité de ces formules.

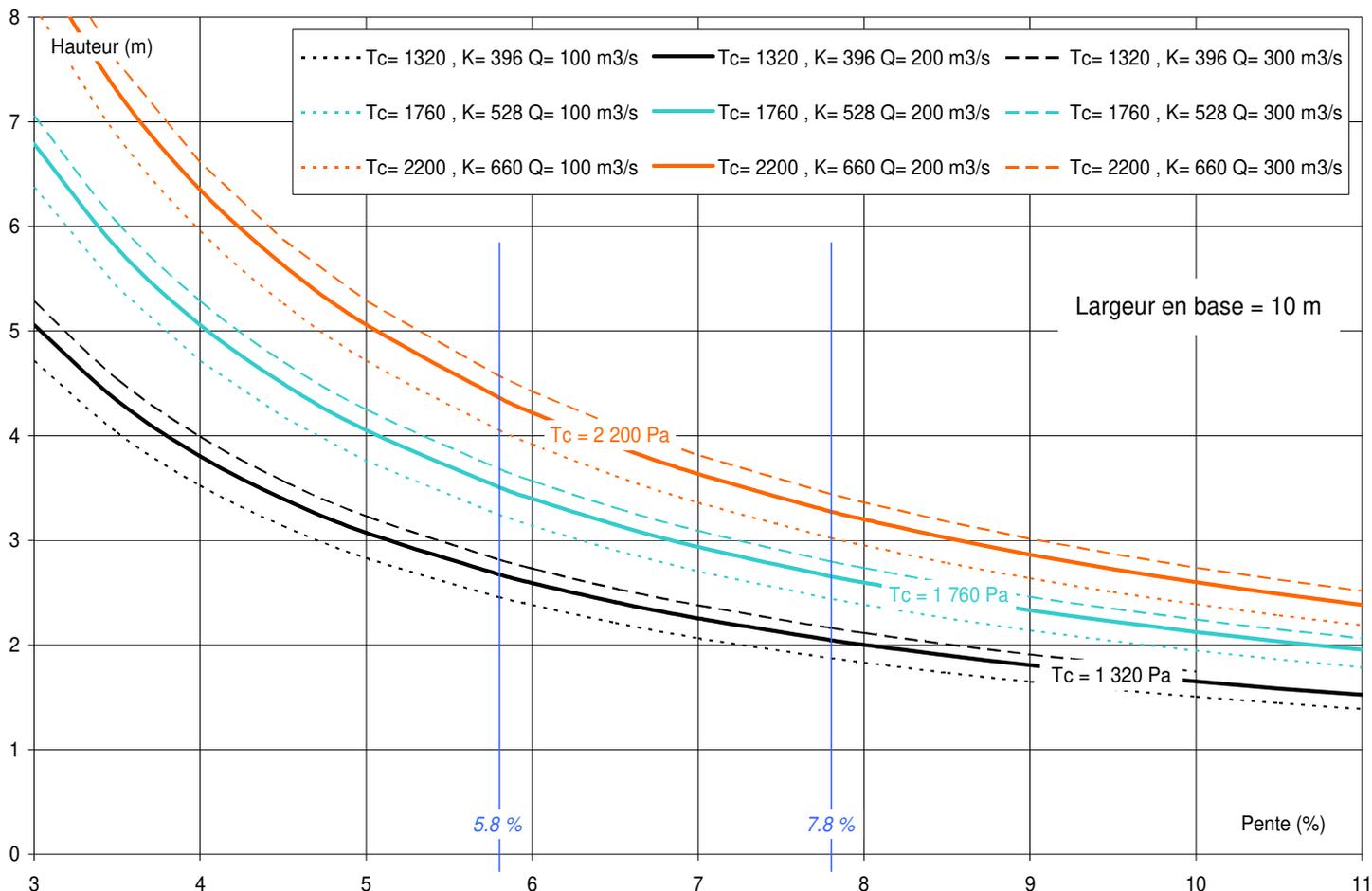


Figure 27 : Effet de la pente sur les hauteurs d'écoulement pour un lit de 10 m de large.

Ce graphique conduit aux remarques suivantes :

- ✘ Le débit n'est pas un paramètre important, les niveaux correspondant à 300 m³/s n'excèdent que de quelques décimètres ceux atteints pour 100 m³/s.
- ✘ Au contraire du charriage, la lave torrentielle ne se dépose pas brutalement lorsque la pente diminue : elle augmente son rayon hydraulique. Dans les faits, si la largeur est suffisante, la lave se dépose latéralement et finie par s'épuiser par manque d'apports.
- ✘ Le passage d'une pente de 7.8 à 5.8 % impose une surélévation de l'ordre du mètre, ce qui est très significatif.
- ✘ Ces pentes sont déjà faibles pour un écoulement de lave. On note qu'en dessous de 5 % de pente la hauteur augmente rapidement.

Le même calcul est réalisé pour un lit de 20 mètres de largeur (sous réserve que l'écoulement occupe bien toute la largeur du chenal) :

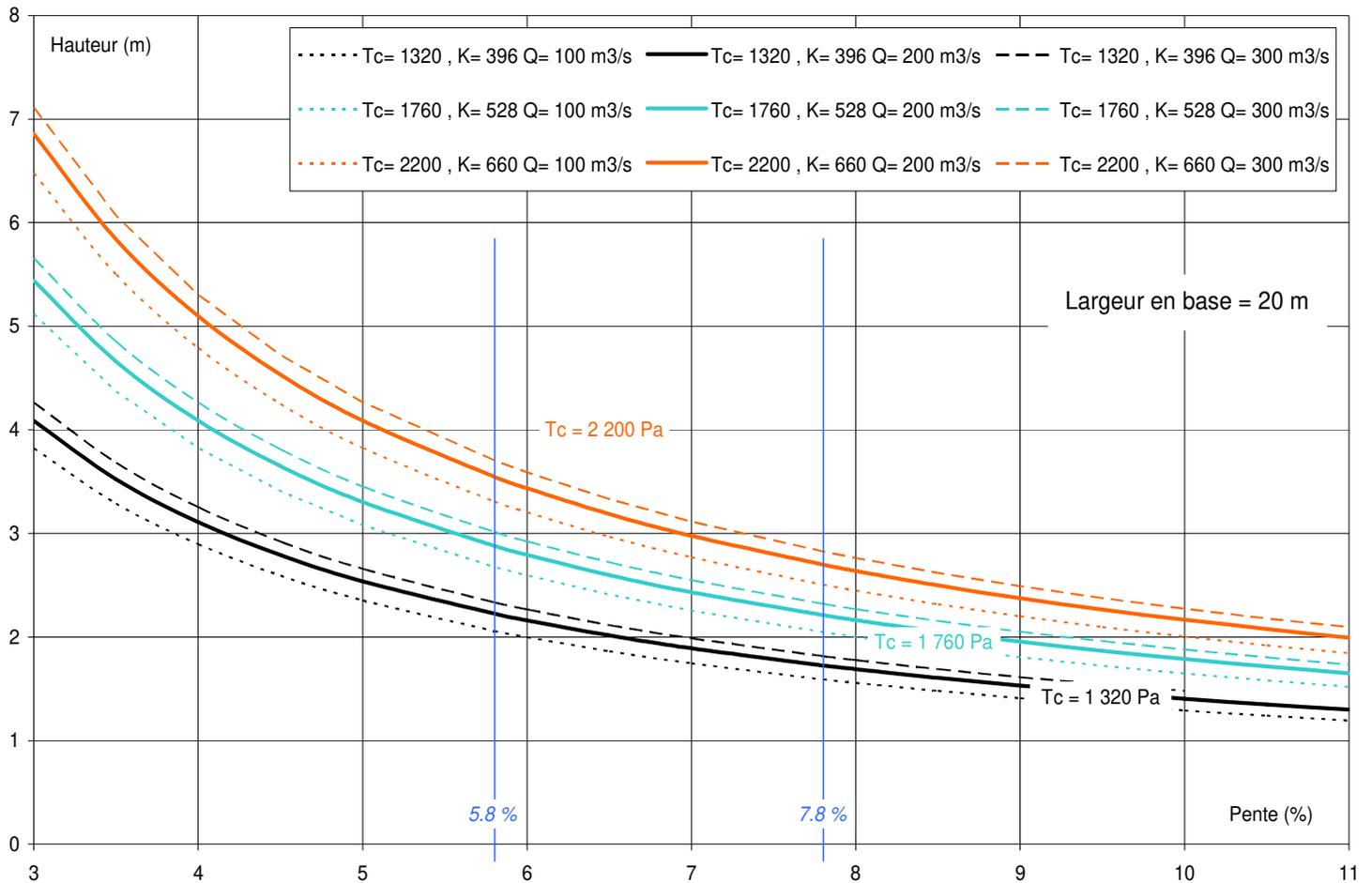


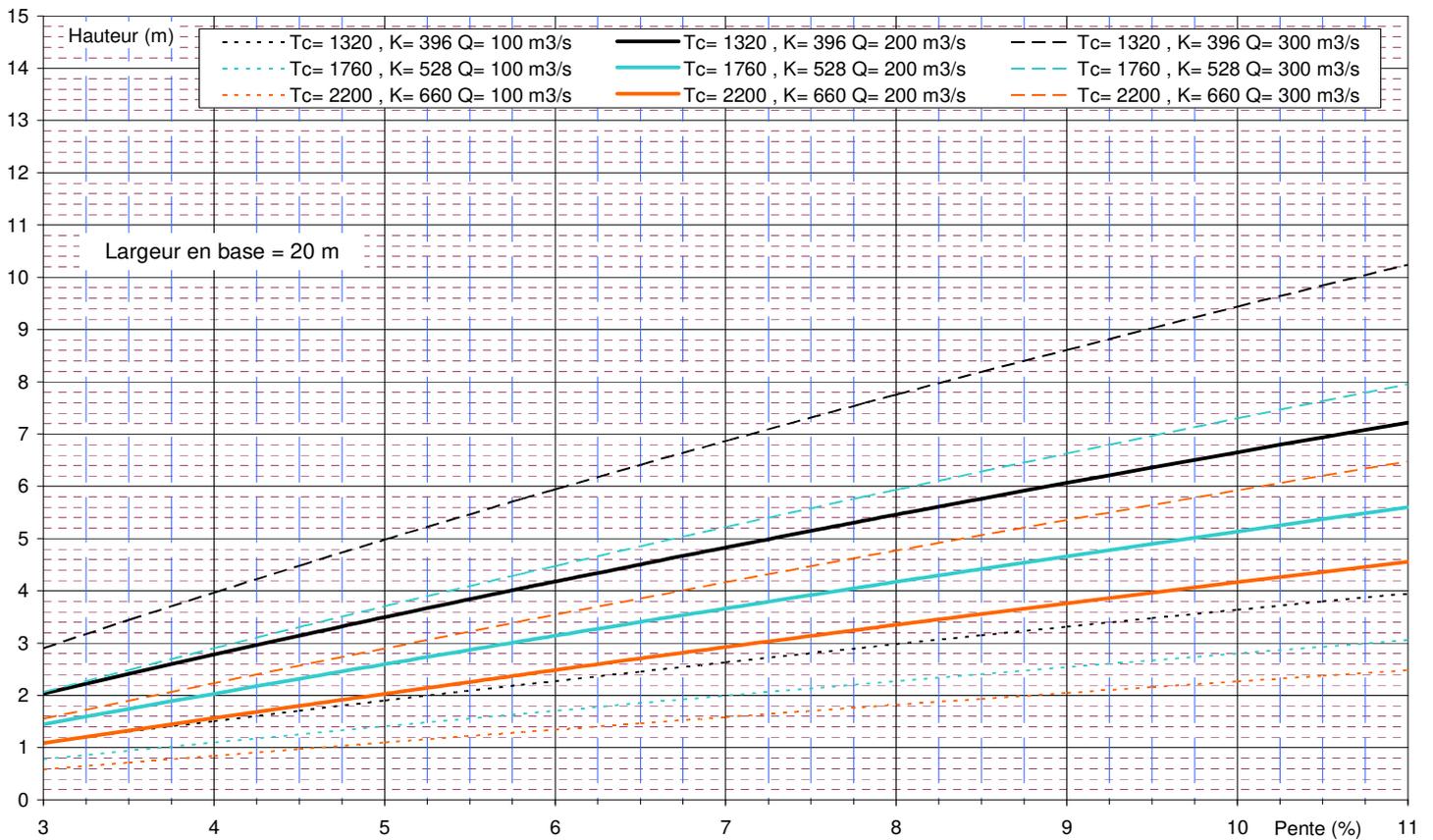
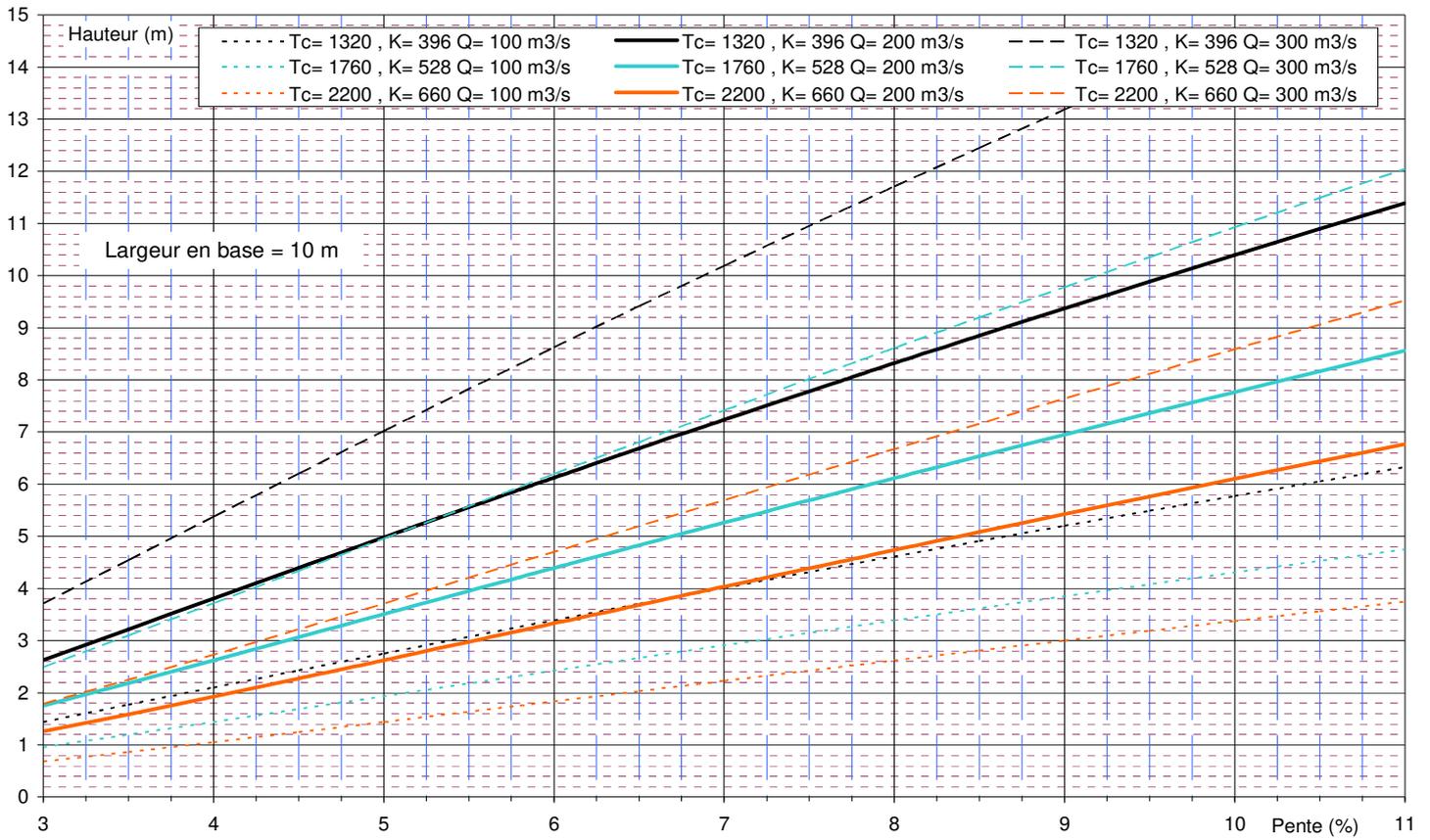
Figure 28 : Effet de la pente sur les hauteurs d'écoulement pour un lit de 20 m de large.

Le comportement d'ensemble n'est pas modifié et les variations de hauteur sont dans les mêmes rapports.

Le doublement de la largeur du lit ne permet qu'un gain de quelques décimètres (voir 1 m pour les laves les plus épaisses) sur la hauteur d'écoulement, ce qui est caractéristiques d'un fluide à seuil.

Les graphiques page suivante montrent les vitesses d'écoulement pour des largeurs de 10 et 20 mètres. Au contraire de la hauteur, la vitesse est très dépendante du débit, la rhéologique devenant alors secondaire.

Évidemment, les hauteurs variant peu en fonction de la largeur, c'est la vitesse qui s'adapte pour permettre l'écoulement du débit. Ainsi, les écarts de vitesses sont très importants entre un lit de 10 mètres de largeur et un lit de 20 mètres de largeur.



Figures 29 & 30 : Vitesse pour une largeur de 10 ou 20 mètres.

La vitesse peut être très forte, et devenir prépondérante dans le calcul de la charge.

La charge est définie comme le niveau de lave majoré du terme $V^2/2g$. Elle est représentative de l'énergie de l'écoulement, valeur beaucoup moins variable que sa hauteur.

Ainsi, la figure suivante montre l'évolution de la charge pour un lit de 20 mètres de largeur :

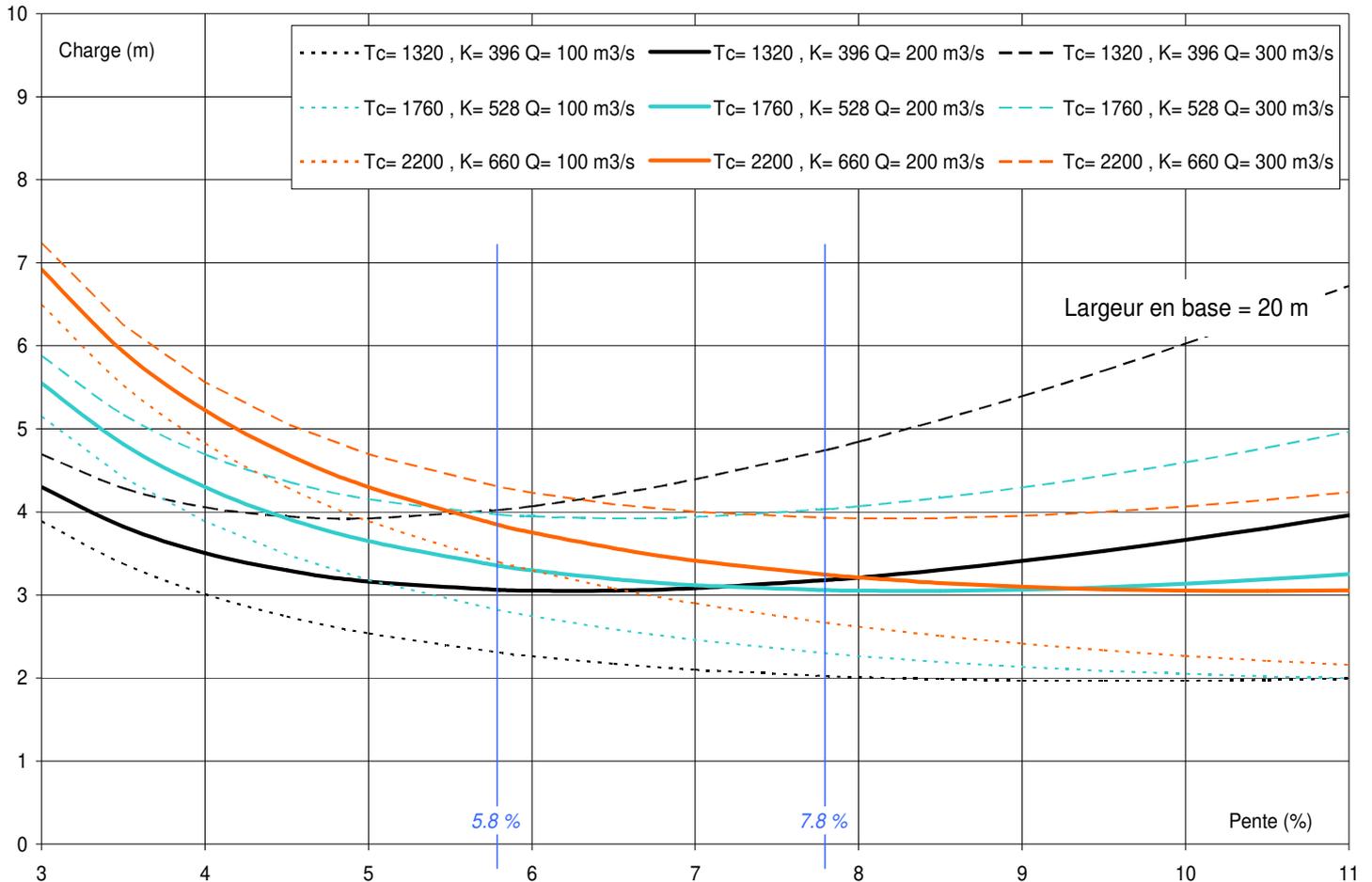


Figure 31 : Charge de lave pour une largeur en base de 20 mètres.

Ce graphique illustre bien la dualité de la charge :

- ▶ Pour les faibles pentes - et faibles vitesses - la hauteur d'écoulement est importante et la charge aussi.
- ▶ Pour les fortes pentes - et les fortes vitesses - le terme $V^2/2g$ devient prépondérant et la charge est très élevée.
- ▶ Classiquement, le niveau de charge est minimum pour un Nombre de Froude de 1.

3.3.3.2.2. Impact de la largeur

Afin d'avoir une approche plus globale, un ensemble de largeur est pris en compte, avec les mêmes hypothèses que précédemment et une pente de 7.8 %, comme en queue de retenue.

La figure suivante montre les hauteurs d'écoulement, toujours pour un chenal trapézoïdal :

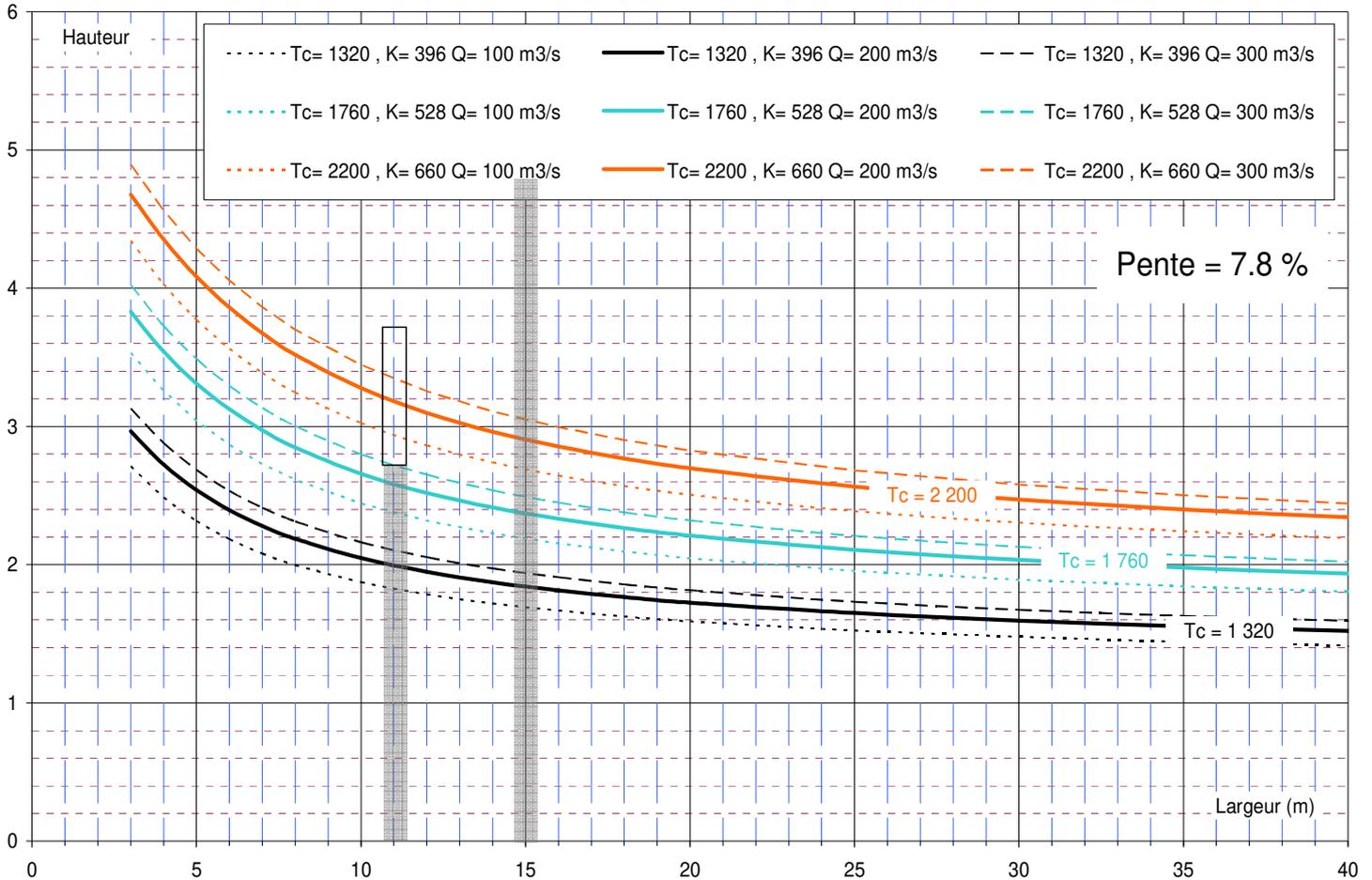


Figure 32 : Effet de la hauteur sur la hauteur de lave pour une pente de 7.8 %.

Évidemment, le débit est toujours est paramètre secondaire et la rhéologie est prépondérante.

Ce graphique indique aussi :

- La hauteur de 2.7 mètres du pont communal pour une largeur de 11 mètres. Le graphique indique aussi une surélévation d'un mètre lié à la poutre et à la surélévation sur le pont. Ce graphique suggère une hauteur cohérente avec les deux contraintes de cisaillement critiques les plus élevées. Il convient d'être prudent par rapport à ce résultat car les évolutions du fond durant la crue semblent importantes... mais ne sont pas connue. D'autre part, les obstructions partielles et temporaires par les flottants ou le front ne peuvent être exclues.
- La hauteur moyenne de 4.75 mètres observée sous le pont de la RD 975 en aout 2018. Cette hauteur paraît très exagérée et incompatible avec les observations en aval. Cependant, un ensemble d'éléments suggère qu'il s'agit d'une valeur surestimée :
 - Le pont était obstrué sur le tiers de sa largeur dans sa partie basse.
 - Le niveau du fond durant la crue n'est pas connu lors de la pointe de crue.

- Les riverains témoignent de la formation d'embâcle sous ce pont.
- Le pont forme une contraction brutale qui perturbe les écoulements.
- Le pont est situé dans un coude, ce qui génère des instabilités transversales.

Si ces deux mesures ponctuelles ne suffisent pas à réaliser un calage du lit, elles montrent qu'une revanche importante doit être prise en compte pour le dimensionnement des ouvrages.

Comme précédemment, la figure suivante montre la vitesse dans les chenaux en fonction de la largeur :

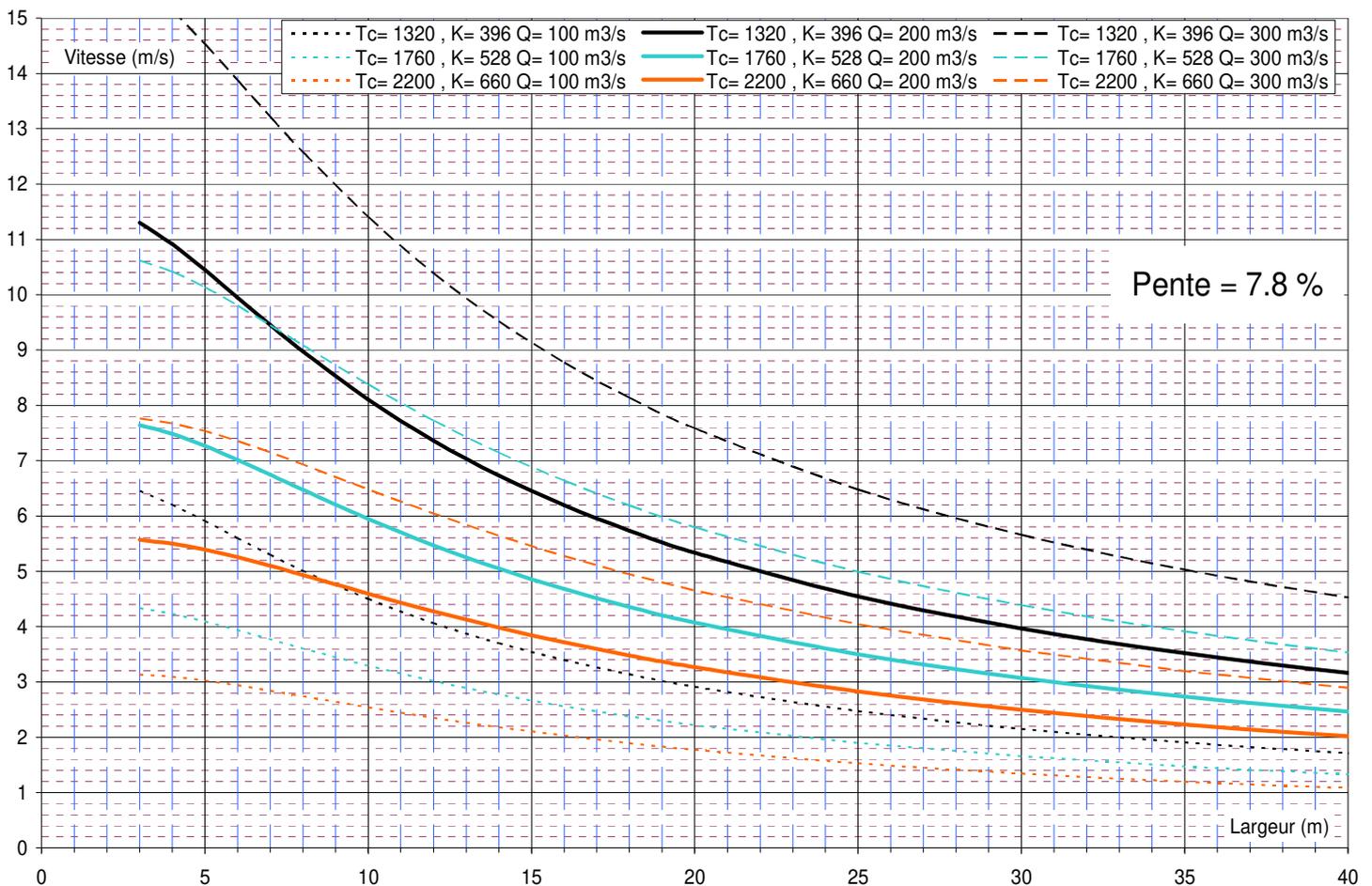


Figure 33 : Impact de la largeur sur la vitesse d'écoulement.

Ce graphique montre le rôle prépondérant du débit sur la vitesse. Sans surprise, les laves les plus fluides sont les plus rapides. Classiquement, les vitesses des laves peuvent être très supérieures à la vitesse des écoulements d'eau.

D'autre part, il montre qu'un rétrécissement excessif conduit à une réduction du rayon hydraulique et donc de la vitesse de l'écoulement. Ce phénomène est encore plus marqué pour une section rectangulaire, un rétrécissement excessif conduisant à un blocage de l'écoulement.

Enfin, la figure suivante montre la hauteur de charge en fonction de la largeur. Cette figure montre une croissance très rapide de la hauteur de charge lorsque la largeur du lit devient inférieure à une douzaine de mètres, surtout pour les laves les plus fluides.

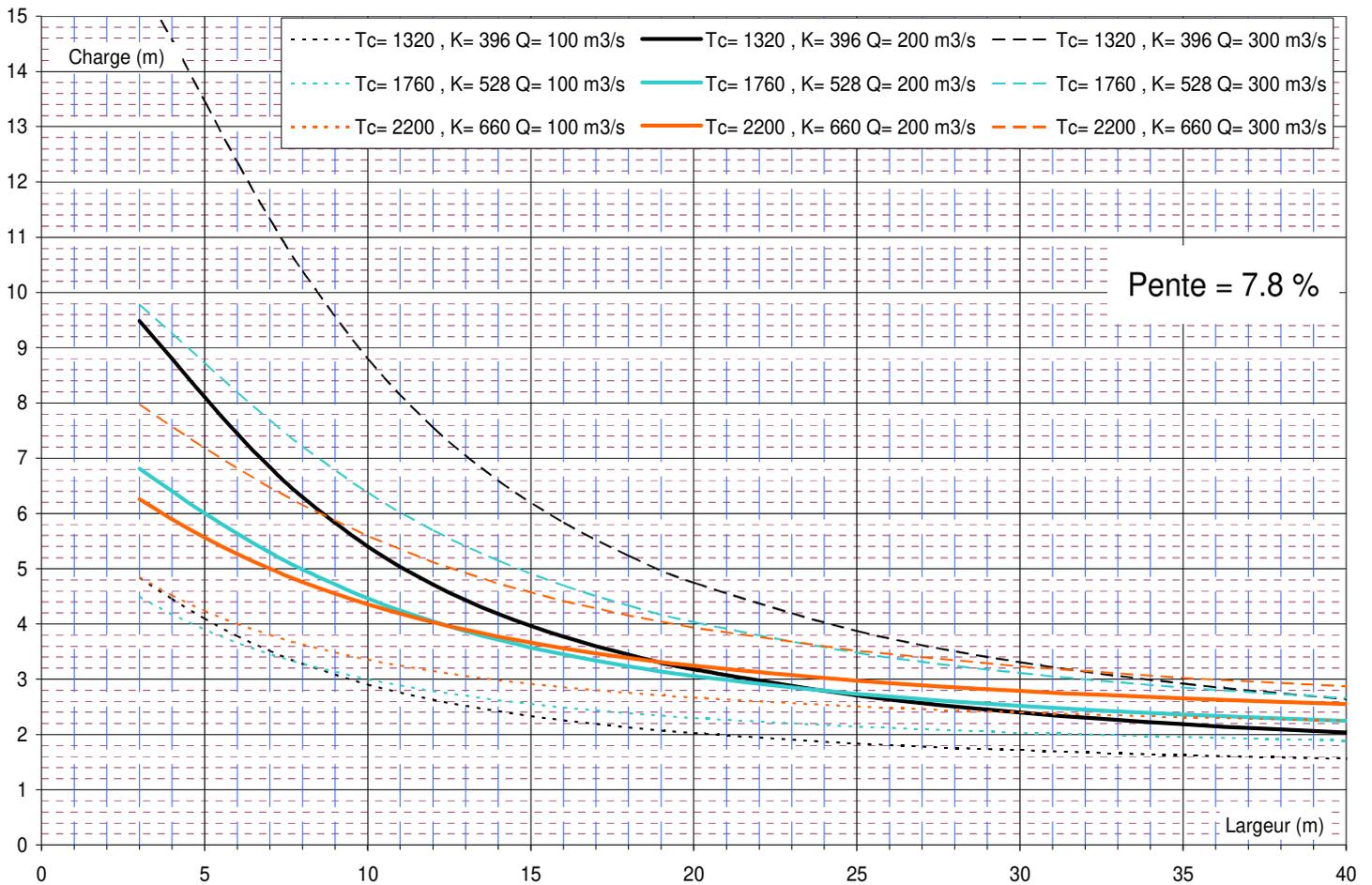


Figure 34 : Niveau de charge en fonction de la largeur.

4. PRINCIPES D'AMÉNAGEMENT

4.1. Contraintes liées au charriage

4.1.1. Tendance naturelle au dépôt et continuité du transport

La prise d'eau est située dans une zone de rupture de pente qui subit naturellement des dépôts en fonction de deux paramètres largement indépendants :

- Les apports solides par charriage du Glandon (et dans une moindre mesure du Tépey) inconnus car les lits amont - au moins partiellement - sont pavés.
- La répartition des débits entre le Glandon amont (toujours chargé en matériaux) et le Tépey qui apporte essentiellement de l'eau.

Ce risque de dépôts importants est indépendant des caractéristiques de la prise d'eau.

Le dépôt est un risque majeur au niveau de cette prise d'eau. Ainsi, il est souhaitable que l'ouvrage soit le plus transparent possible au transit solide ... et ce d'autant plus que les débits sont élevés car C'est alors que se produit l'essentiel du transit.

Cela hypothèque la possibilité d'un plan d'eau qui serait ensuite curé car cela reviendrait à se priver du transit des matériaux durant les crues, lorsque le transit est le plus élevé possible... sauf à pouvoir vider le plan d'eau avant le début de la crue.

4.1.2. Pente nécessaire au transit des matériaux

Il paraît donc essentiel de ne pas aggraver la situation et de créer un ouvrage maximisant le transport solide. Les principaux paramètres pour faciliter le transit solide sont :

1. La pente,
2. La largeur du lit.

Ainsi, le graphique page suivant montre, pour un diamètre moyen de 10 centimètres :

- La loi débit solide / débit liquide pour une largeur de 20 mètres. Cette largeur est un peu supérieure à celle du lit actuel (totalement remanié après une série de curages) mais plus en rapport avec le lit observé dans les années 1950, et une pente de 7.8 %.

- La même loi avec des largeurs différentes et les pentes correspondantes pour obtenir le même débit solide pour le débit de 15 m³/s. Ce débit est assez fort pour influencer le lit mais reste assez faible pour se produire assez souvent.

Sans surprise, ce graphique montre qu'une largeur plus faible nécessite une pente plus réduite pour présenter le même débit solide à 15 m³/s. Ainsi, une réduction de largeur de 20 à 10 mètres conduit à une diminution de pente de 7.8 à 6.9 %.

Cependant, il s'agit dans ce cas d'un équilibre dynamique :

- ✘ Pour les débits plus faibles, l'effet de la largeur sera encore sensible et la capacité de transport va rester forte... entraînant plutôt une érosion du lit.
- ✘ Inversement, pour les débits élevés, la réduction de pente est prépondérante et les débits solides sont plus faibles, ce qui entraîne un dépôt.

Évidemment, un élargissement conduit à des évolutions inverses.

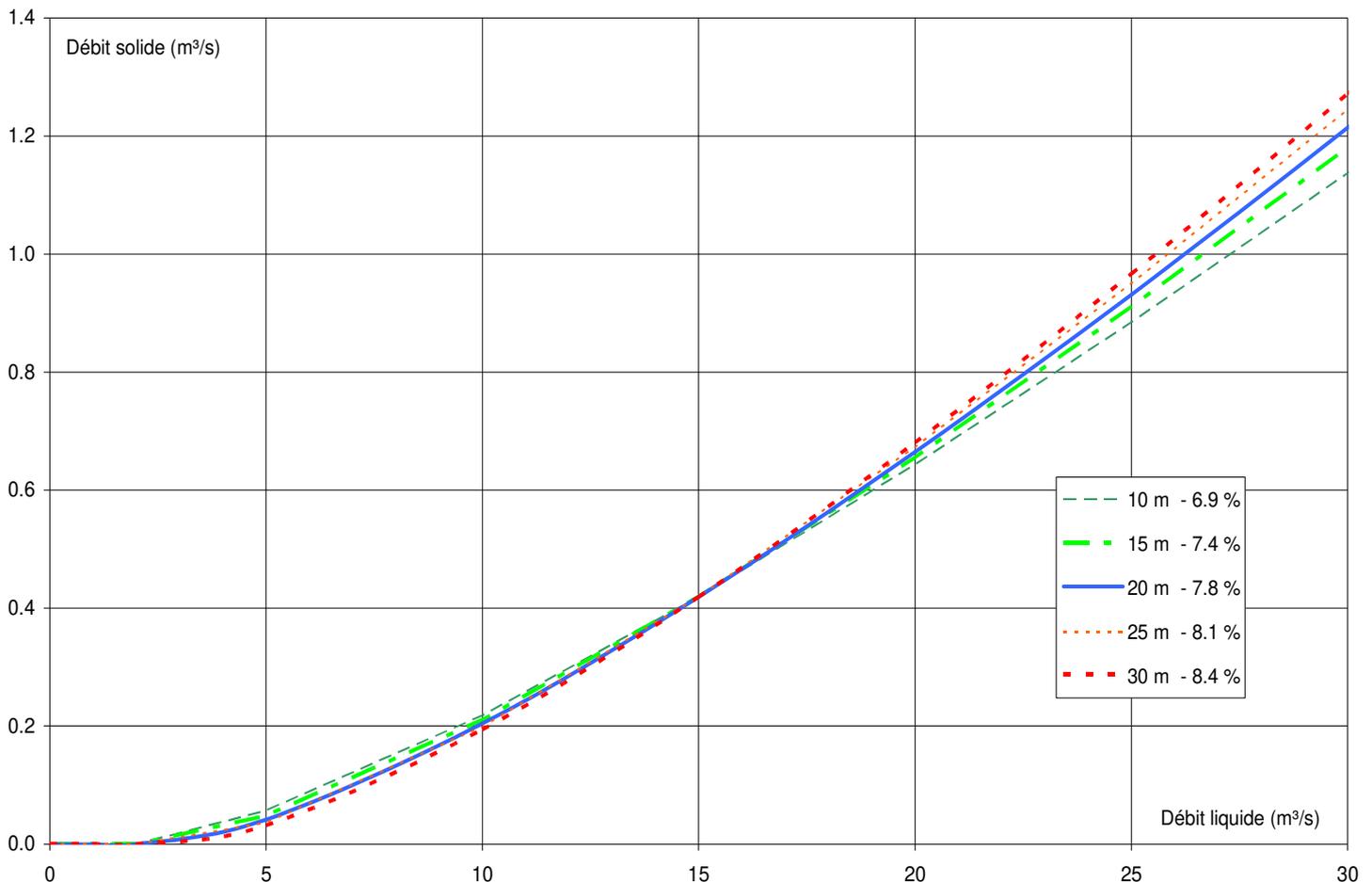


Figure 35 : Relation entre débit liquide et débit solide.

Cette évolution de la capacité de transport en fonction du débit montre qu'un équilibre parfait n'est pas possible et qu'il ne s'agit que d'un équilibre dynamique à moyen terme.

La figure suivante établit le lit entre pente d'équilibre et largeur dans cette zone :

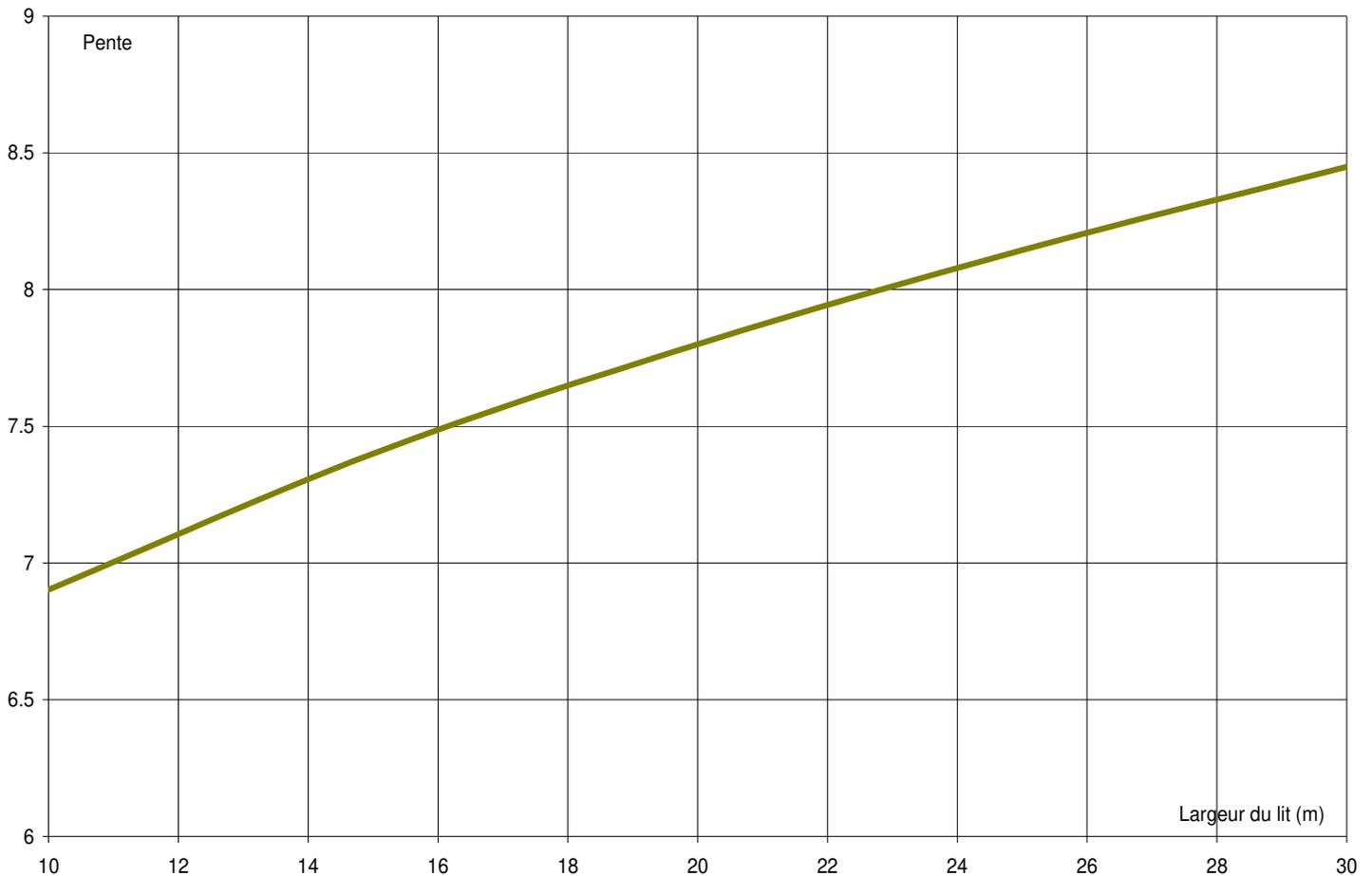


Figure 36 : Impact de la largeur du lit sur la pente d'équilibre.

4.1.3. Engravement du lit aval

Comme exposé précédemment, le risque associé à une prise d'eau en amont d'une zone alluvionnaire est de créer un dépôt de matériaux en aval, le transit solide étant - idéalement - inchangé alors que le débit liquide est fortement réduit par la dérivation.

Ce dépôt est indépendant du dimensionnement de la prise d'eau mais correspond à un équilibre global du lit aval. Deux solutions peuvent être envisagées :

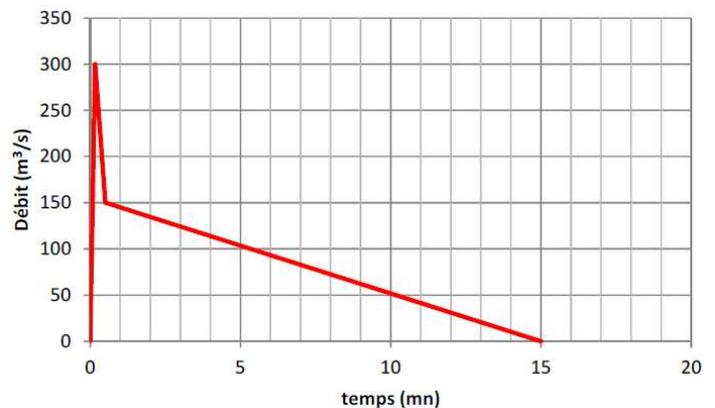
- ▶ Un curage mécanique, très problématique à long terme.
- ▶ Une modification de la gestion de la prise avec des chasses plus fortes, plus fréquentes et/ou plus longues.

4.2. Contraintes liées aux laves torrentielles

4.2.1. Incompatibilité des laves torrentielles avec une retenue d'eau

Les laves torrentielles se caractérisent par des débits 5 à 10 fois supérieurs aux débits ordinairement observés en charriage. Le débit de pointe a été estimé à 300 m³/s et un hydrogramme a été défini tel que présenté ci contre.

Si cet hydrogramme est crédible, ce n'est pas la seule possibilité et le scénario le plus probable ne correspond pas à une montée brutale à 300 m³/s.



Pour une retenue de faible taille, le débit aval est proche du débit entrant. La photo suivante montre l'arrivée d'une lave... et les vagues propageant les ondes de crue en aval.



Figure 37 : Ondes de propagation de la crue.

Durant cette crue, la revanche a été très faible, pour une crue loin d'être centennale. Un déversement sur les digues n'est pas exclu dans l'état actuel.

Pour la pointe de crue très courte, le laminage de la crue peut être significatif si la retenue présente un volume important, l'évacuateur de crue une faible largeur et si la pointe de crue est brutale.

Un débit liquide de 300 m³/s en aval de l'ouvrage paraît très improbable. Par contre, il n'est pas possible d'exclure un débit liquide de l'ordre de 150 m³/s.

Or, le comportement en aval du barrage est très différent :

- ✘ La lave va s'étaler et se déposer - au moins pour l'essentiel du volume - dans la zone alluvionnaire aval. Sa propagation très atténuée jusqu'au droit de St Colomban paraît très improbable et une arrivée jusqu'au cône de déjection du Glandon paraît exclue.
- ✘ Un écoulement liquide va se propager en aval, sans laminage pour des pentes aussi fortes - jusqu'à l'Arc.

L'hydrogramme précédent correspondrait à une crue "rare" soit une période de retour de l'ordre du siècle. Il pourrait conduire à un débit aval de l'ordre de 150 m³/s.

Or, le débit décamillennal est estimé à 120 m³/s au droit du barrage.

Autrement dit, un plan d'eau d'un volume significatif ferait passer le débit centennal de 50 à 150 m³/s avec un période de retour correspondante de l'ordre de 10 000 ans dans l'état naturel.

Une telle solution ne paraît pas acceptable.

4.2.2. Régularité des sections - Absence de choc frontal

La régulation de la section comme de la pente permet d'optimiser le transit des laves torrentielles. Le critère principal est le rayon hydraulique qui permet de maximiser la contrainte de cisaillement afin de rester au dessus de la valeur critique.

Étant donnée la vitesse de l'écoulement un choc frontal peut avoir trois conséquences :

- ❖ Des "éclaboussures" de laves, sur plusieurs mètres de hauteur.
- ❖ Une surélévation des niveaux de lave et des risques de débordement très majorés.
- ❖ Une destruction des ouvrages par la poussée de la lave. Le choc peut être majoré par la présence de très gros blocs. De façon forfaitaire, les hypothèses pour le dimensionnement des ailes des barrages RTM soumis à un choc frontal de lave serait de 5 à 10 fois la poussée hydrostatique de l'eau ! Autrement dit, les ouvrages - notamment les vannes - devraient résister à des efforts jusqu'à 10 fois supérieurs à ceux usuellement retenus, avec toujours un risque de destruction par un très gros bloc.

Ainsi, la règle de dimensionnement des ouvrages consiste à éviter tout choc frontal avec les laves torrentielles.

Latéralement, les efforts sont nettement plus faibles, mais restent très élevés avec des risques de poinçonnement. Cela signifie que les contraintes liées aux laves torrentielles sont très difficilement compatibles avec le transit des laves.

4.2.3. Limites du curage mécanique

- Vu Les apports très importants du Glandon,
- Vu La forte tendance au dépôt, potentiellement exacerbée par la prise d'eau,
- Vu La nécessité de préserver l'équilibre du lit alluvionnaire en aval,
- Vu La piètre qualité des matériaux,
- Vu L'absence de débouchés sur site et la nécessité de long transport,
- Vu L'impossibilité actuelle de proposer des curages et des transports décarbonnés,
- Vu Les impacts forts des interventions mécaniques dans le lit, y compris du point de vue paysager.

Une solution basée sur un curage régulier de la prise d'eau ne peut être défendue et toute solution doit viser la plus grande transparence possible au transport solide.

Même dans ce cas, il est probable que certaines crues nécessitent des curages et des chasses spécifiques.

Ces limitations sont valables et pour les laves torrentielles et pour le charriage torrentiel, lui aussi capable de générer des dépôts importants.

4.3. Principes de solutions

4.3.1. Synthèse des principes évoqués

L'étude de comparaison ISL de 2019 a analysé cinq solutions d'évacuation des crues qui presque toutes font l'hypothèse d'un stockage d'eau, incompatible avec les laves torrentielles :

- 🌊 Déversoir de sécurité : maintien du pertuis et des organes existants et réalisation d'un déversoir de sécurité en crête rive gauche (solution proposée dans le diagnostic de sûreté);
- 🌊 Digue déversante : maintien du pertuis et des organes existants et confortement de la digue pour la rendre résistante à la surverse par-dessus la crête (solution proposée dans le diagnostic de sûreté).
- 🌊 Vannage de crue : dépose de la vanne de fond et du clapet, démolition du mur masque intermédiaire et remplacement des ouvrages par une vanne unique calée à une cote permettant l'exploitation de l'ouvrage (solution proposée par l'étude complémentaire sur le transport sédimentaire).
- 🌊 Clapet unique : dépose de la vanne de fond et du clapet, démolition du mur masque intermédiaire, rehausse du radier actuel et mise en place d'un clapet dans la passe existante calé à une cote permettant l'exploitation de l'ouvrage. Reprise de la partie prise d'eau avec ajout d'un dessableur, d'un bassin de mise en charge et d'une vanne de tête.
- 🌊 Prise tyrolienne : remplacement de la prise d'eau actuelle par une prise d'eau type tyrolienne, ce qui permet d'envisager l'effacement - partiel ou complet - du barrage. Cette solution aurait été repoussée car peu compatible avec un débit d'équipement aussi important. Elle n'est donc pas développée par la suite, même si elle paraît bien adaptée au site... malgré une dénivelée disponible très faible.

S'y ajoute la reconception de la prise d'eau étudiée par Hydrostadium en 2023 :

- 🌊 Chenalisation du lit du Glandon et prise d'eau latérale avec un - ou deux - clapets. Ce projet présente de nombreux équipements en contact direct avec les laves torrentielles. Il est présenté ci-dessous.

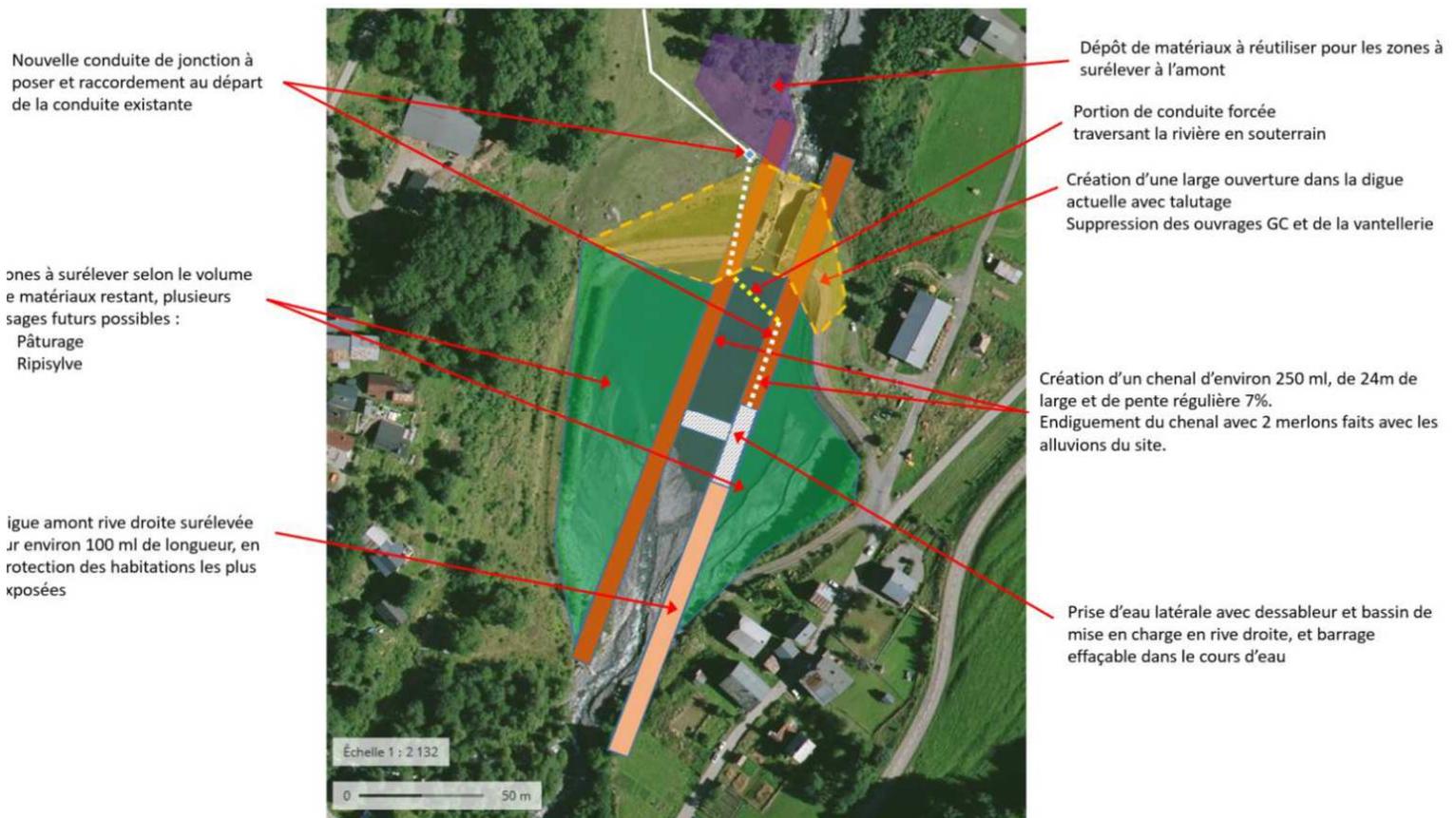


Figure 38 : Projet initial.

Les principes généraux de ce projet sont les suivants :

- Déconstruction du barrage actuel et de ses digues.
- Chenalisation sur 24 mètres de largeur et 7 % de pente.
- Réalisation de digues latérales.
- Prise d'eau en rive droite pour faciliter l'accès... puis traversée du lit par la conduite pour rejoindre la conduite actuelle.
- Prise d'eau par une grille latérale.
- Construction d'un ou deux clapets dans l'axe du lit.

La vue ci contre montre la prise d'eau telle qu'initialement envisagée avec une forte exposition aux laves torrentielles :

- ✗ De la grille latérale,
- ✗ De la vanne de chasse. Il s'agit d'une contrainte très forte car cette vanne doit être exposée à l'écoulement d'eau pour permettre le transit des matériaux lors des phases de charriage mais ne doit pas être exposé aux laves torrentielles.
- ✗ La construction de deux clapets conduit à la réalisation d'un massif central, exagérément exposé aux chocs des laves.

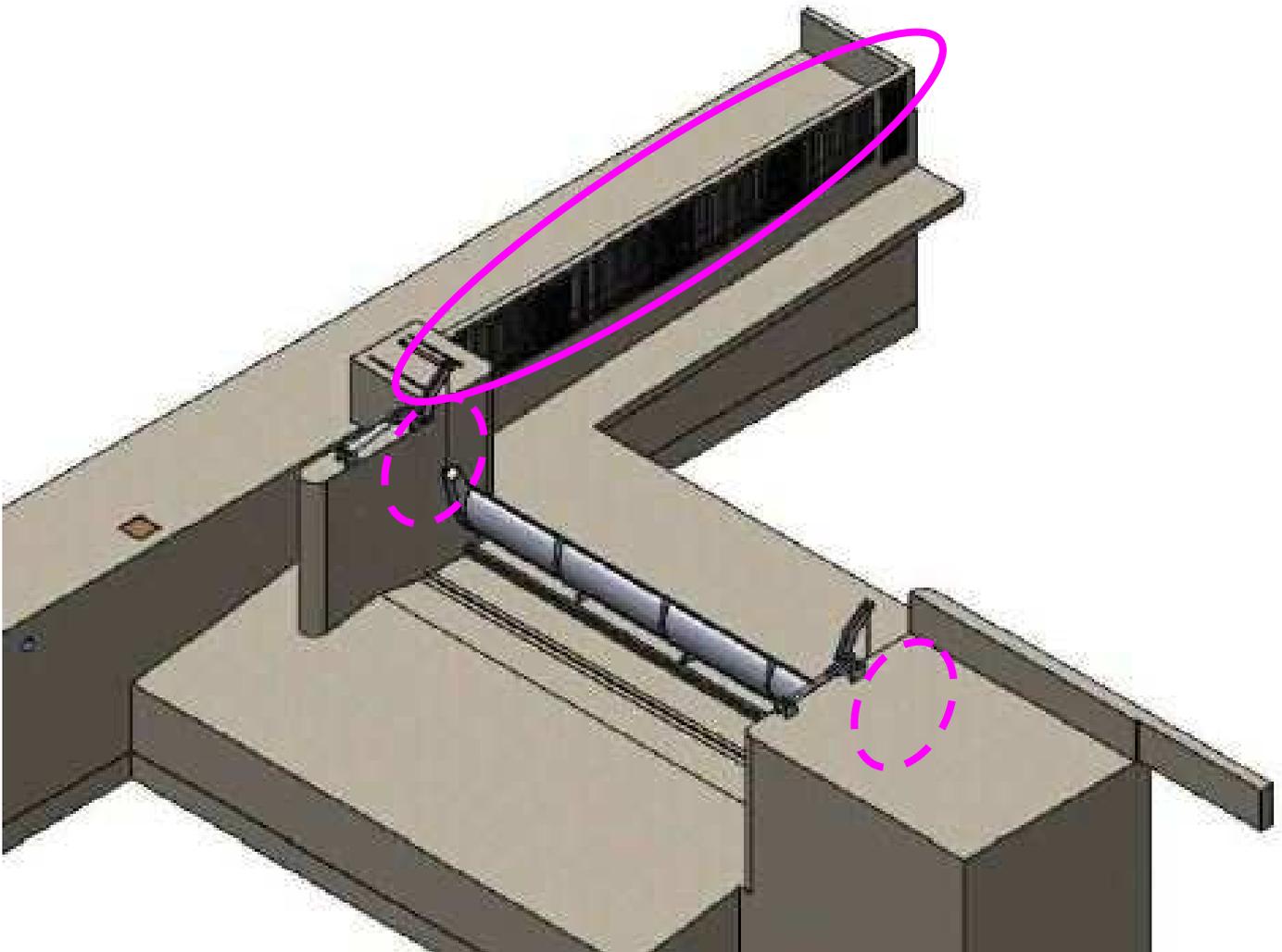


Figure 39 : Vue schématique de la prise d'eau initialement envisagée.

4.3.2. Localisation de la prise d'eau

L'implantation de la prise d'eau actuelle est la plus défavorable possible avec une localisation qui correspond à :

- 🌊 L'arrivée à l'amont de laves torrentielles puissantes,
- 🌊 La transition entre un secteur pavé raide en amont et une zone alluvionnaire aval.
- 🌊 Les apports liquide importants mais aléatoire du Tépey.

Étant donnée la conduite forcée - et l'usine - existantes il ne parait pas envisageable de déplacer l'ouvrage en aval, même si une prise d'eau au niveau du verrou des Roche serait en tous points préférable !

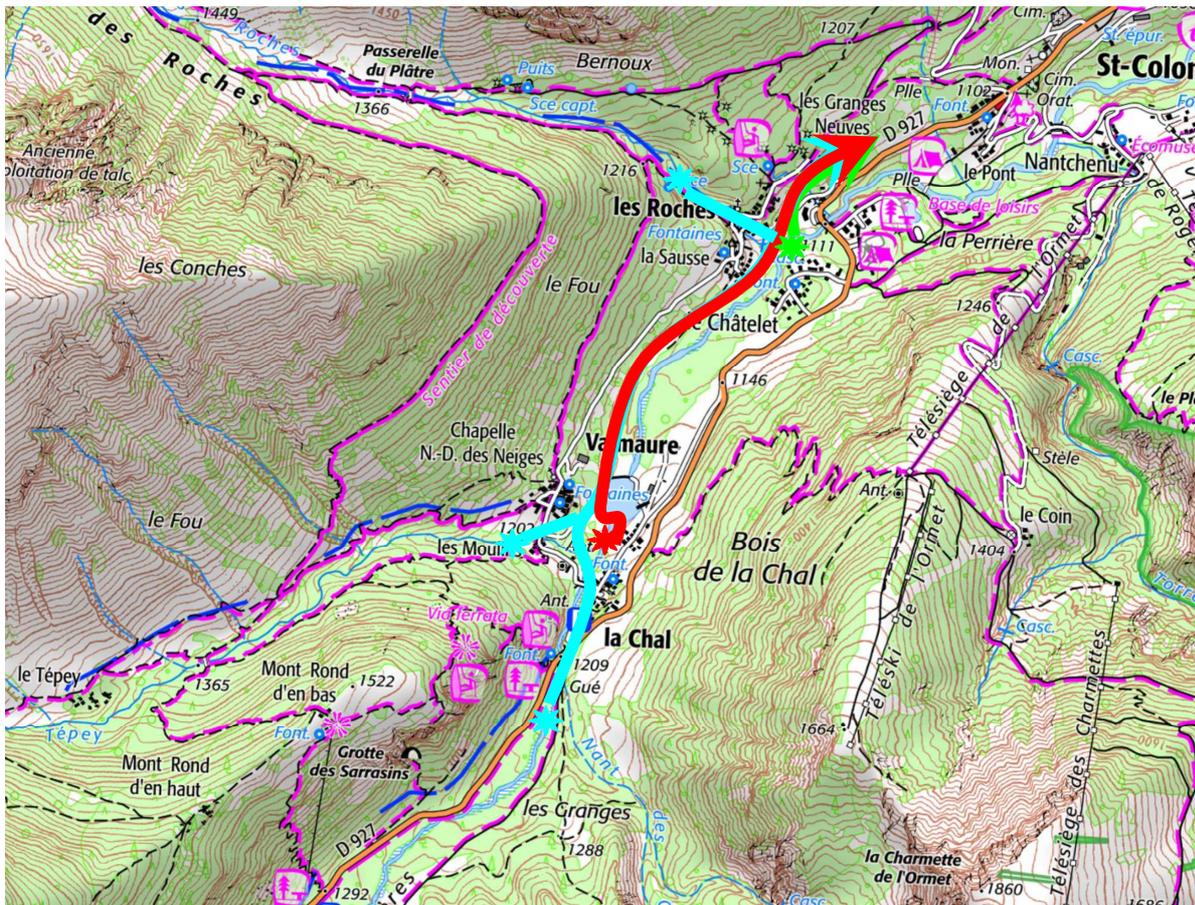
Une localisation "idéale" consisterait à s'éloigner de la rupture de pente et donc de la confluence avec le Tépey. Étant données les enjeux en amont, une implantation ne parait guère possible en aval du pont de la RD 927. La confluence avec le Nant des Granges - et ses puissantes laves torrentielles étant située peu en amont une prise d'eau juste en amont serait nettement préférable. Dans cette zone, les enjeux sont très faibles ce qui faciliterait la construction d'une prise d'eau de grande hauteur, ce qui facilite toujours la chasse des matériaux. Cette prise principale pourrait être complété par :

- ✘ Une prise d'eau peu contraignante sur le Tépey en amont des Moulins,
- ✘ Éventuellement, une d'eau sur le torrent des Roches, avec, là aussi, un transport solide plus réduit.

Les contraintes administratives paraissant insurmontables, cette solution n'est pas développée, et la prise d'eau sera implantée le plus en amont possible (et donc le plus loin possible de la rupture de pente) mais en aval de la confluence avec le Tépey.

D'autre part, pour faciliter l'accès, l'exploitant souhaite une prise d'eau implantée en rive droite. On verra que cette disposition, sur la rive opposée au Tépey, est moins favorable pour faciliter l'auto-curage de la prise.

La figure suivante montre de façon schématique les implantations optimales de la prise (en vert et bleu)... et l'implantation retenue (en rouge) :



Figures 40 : Localisations envisageables de la prise d'eau.

4.4. Principe de la prise d'eau proposée

4.4.1. Principe général

La plupart des prises d'eau implantées sur des torrents à lave concernent des débits faibles et de fortes pentes. La solution alors employée est une prise d'eau tyrolienne "par en dessous".

Nous ne connaissons pas d'exemples de prise d'eau latérales sur des torrents connaissant régulièrement des laves torrentielles (fréquences au moins décennales). L'ouvrage proposé est expérimental et des adaptations seront donc nécessaires. Seule la mise en œuvre d'un modèle réduit permettrait une optimisation d'un tel ouvrage.

Le principe est de réaliser une prise d'eau en deux parties :

- ✘ Un lit pour les laves torrentielles. Il est constitué :
 - 🌊 D'une terrasse basse, sur la rive opposée à la grille de prise, permettant un débordement aisé des laves torrentielles imposantes et donc une réduction des contraintes sur la berge du côté de la prise d'eau.
 - 🌊 D'un chenal du côté de la grille de prise. Ce chenal doit permettre de contenir les écoulements en charriage - au moins jusqu'à la crue centennale en l'absence de dépôt - et les "petites" laves torrentielles. Par contre, les laves torrentielles d'ampleur déborderont sur la terrasse latérale. Ce chenal sera constitué en deux parties. Il ne comporte aucun équipement à l'exception :
 - ▶ D'un clapet qui devra être abattu en cas de forte crue et de lave torrentielle.
 - ▶ D'une méga-grille latérale permettant d'éviter l'étalement de la lave. Elle sera donc très sollicitée.
- ✘ Les ouvrages de prises, à l'abri des laves torrentielles derrière la méga-grille. Ils sont constitués des éléments suivants :
 - 🌊 Un chenal de chasse, le long de la méga-grille. Il sera calé sous le niveau du lit et présentera une pente régulière de l'ordre de 10 %.
 - 🌊 Une grille latérale calée au moins 1 mètre du dessus du radier de chasse.
 - 🌊 Une vanne de chasse aval, présentant la même largeur que le radier et pouvant être ouverte sur toute la hauteur.

La figure suivante est une vue en plan schématique de cette prise :

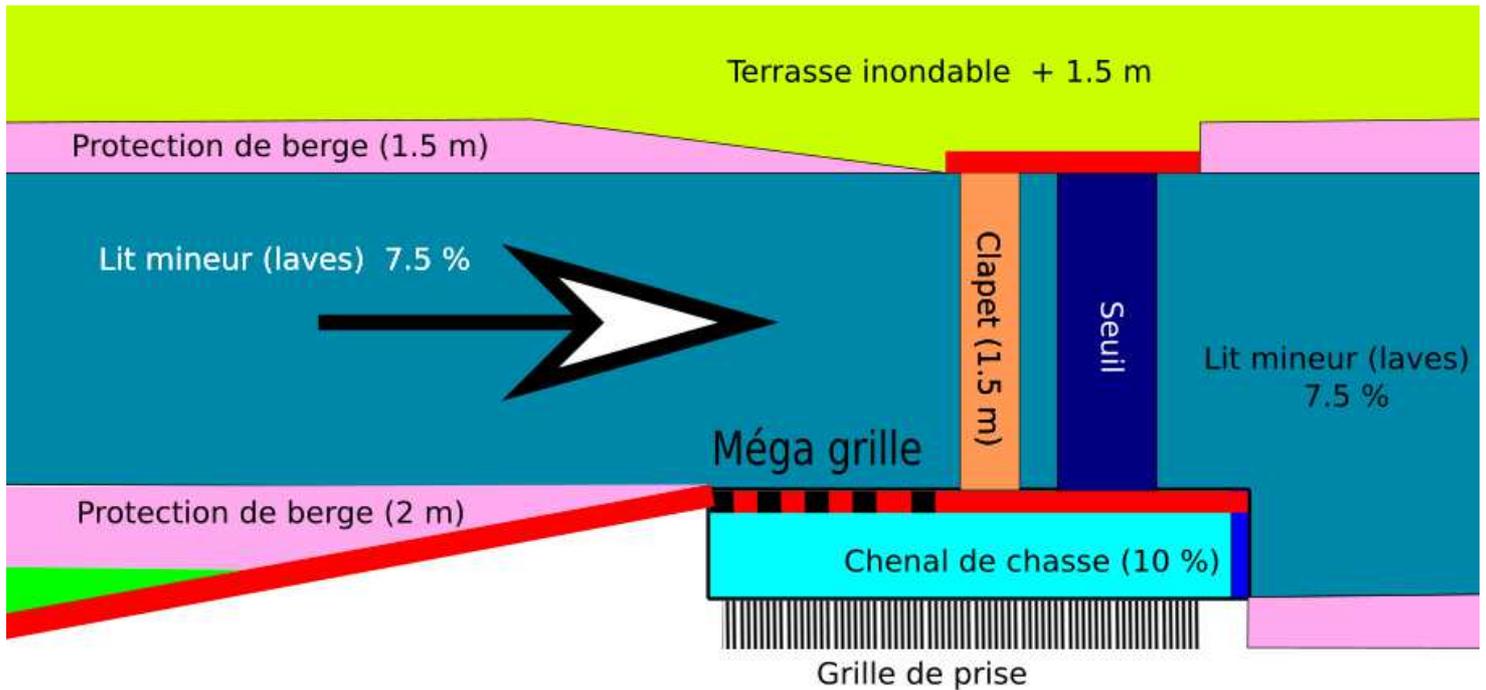


Figure 41 : Vue en plan schématique de l'ouvrage de prise.

Ces différents ouvrages sont présentés ci-dessous.

Le transit solide étant extrême ici, une excellente protection anti usure devra être mise en place sur tous les ouvrages en contact avec le transport solide, en particulier sur les radiers. L'attention du maître d'ouvrage est attirée sur le risque de dégradation des ouvrages par le choc des fronts de lave.

4.4.2. Profil en long général

La figure suivante montre le profil en long de l'aménagement :

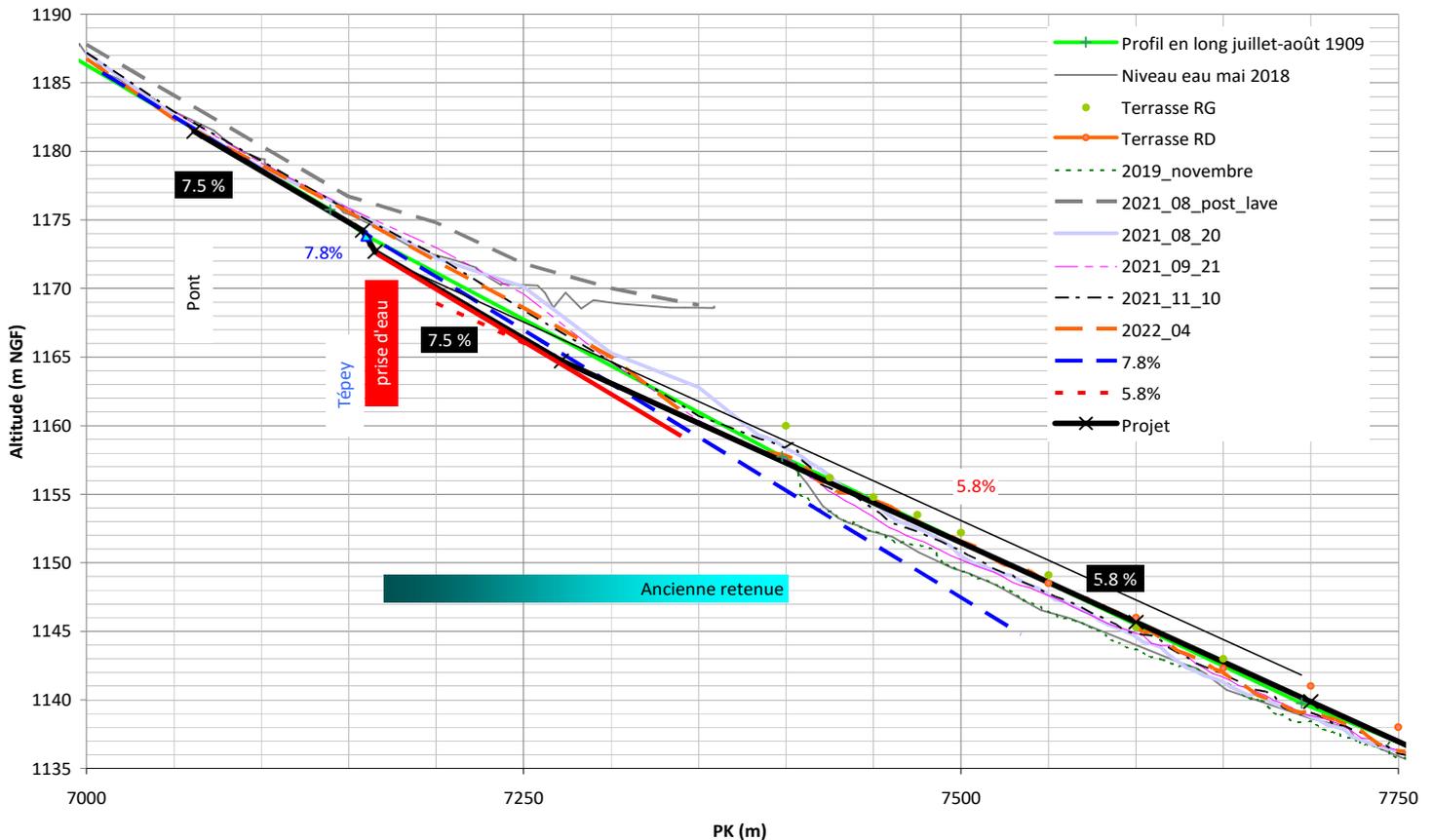


Figure 42 : Profil en long général de l'aménagement.

Ce profil en long est basé sur les hypothèses suivantes :

- 🌊 Le niveau le plus bas connu est appliqué au niveau du pont communal.
- 🌊 Une pente régulière de 7.5 % est appliquée en aval jusqu'à la confluence avec le Tépey et la prise d'eau. Un tel tracé est le plus bas connu dans cette zone, même avant aménagement. Il permet donc de minimiser les impacts de cet aménagement.
- 🌊 La prise d'eau impose une dénivellée supplémentaire de 1 mètre, ce qui paraît un minimum. Ce point est détaillé ci-dessous. Cette disposition permet de minimiser les risques de dépôt dans cette zone.
- 🌊 La pente de 7.5 % reste appliquée en aval, jusqu'à être calée 2 mètres sous le niveau objectif aval. Cela permet le calage d'un radier parafouille qui s'adapte aux variations de niveaux aval (il serait partiellement affouillé avec le niveau observé en 2019, mais la nouvelle prise d'eau devrait permettre d'éviter une pénurie en matériaux aussi intense. Cette pente de 7.5 % en aval permet de s'éloigner autant que possible le dépôt de la prise d'eau.
- 🌊 Le niveau aval de référence correspond au niveau historique - et celui de 2022 - avec une pente régulière de 5.8 %.

Outre la surveillance de la prise d'eau, le tronçon aval devra faire l'objet d'un suivi attentif à cause des respirations attendues dans cette zone.

La figure suivante montre le profil en long au droit de la prise d'eau. Celle-ci devra être implantée aussi en amont que possible. Cette cote n'étant pas précisément connue, les altitudes et des abscisses sont ici relatives :

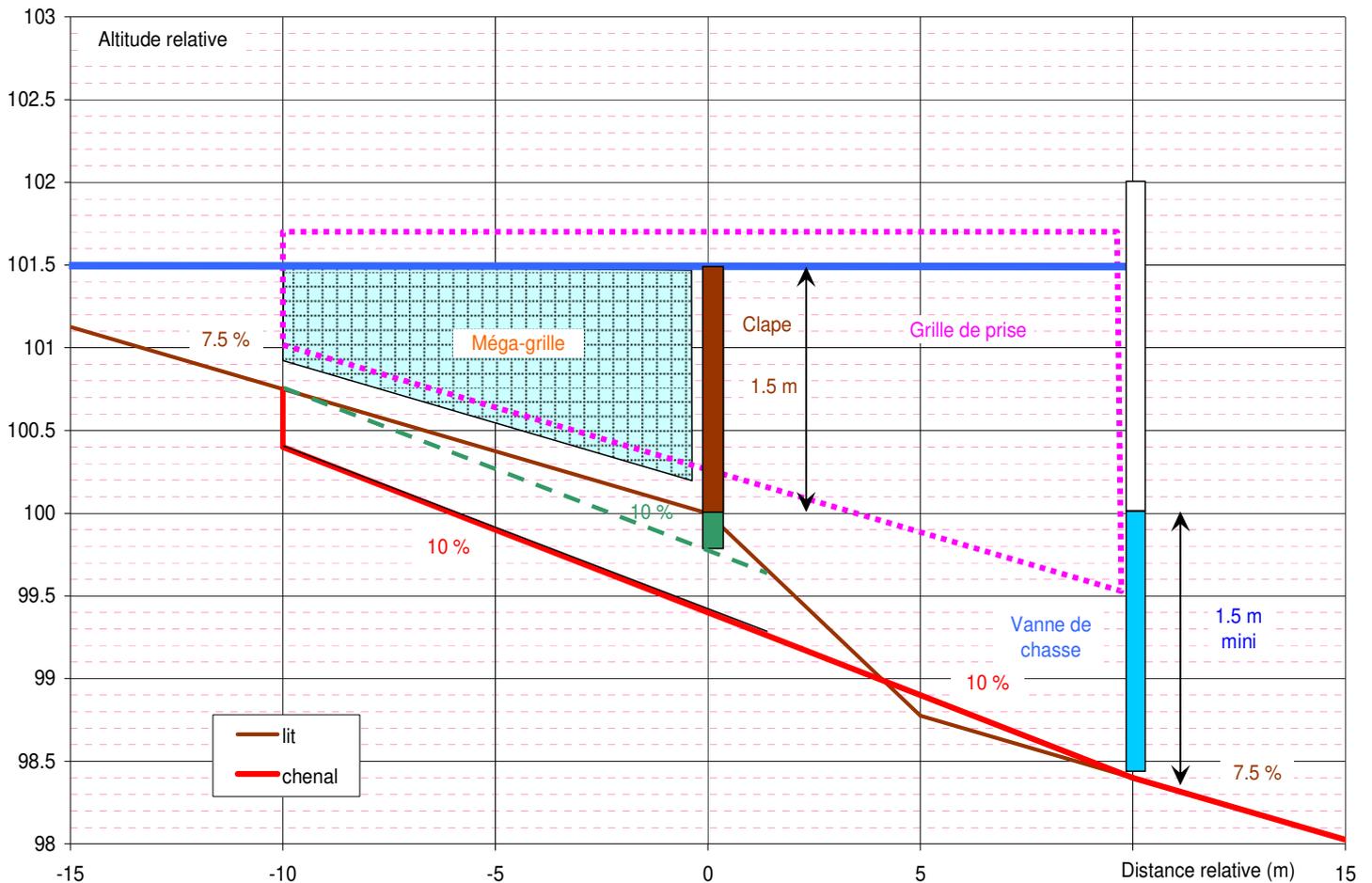


Figure 43 : Profil en long schématique de la prise d'eau.

Ce profil en long montre :

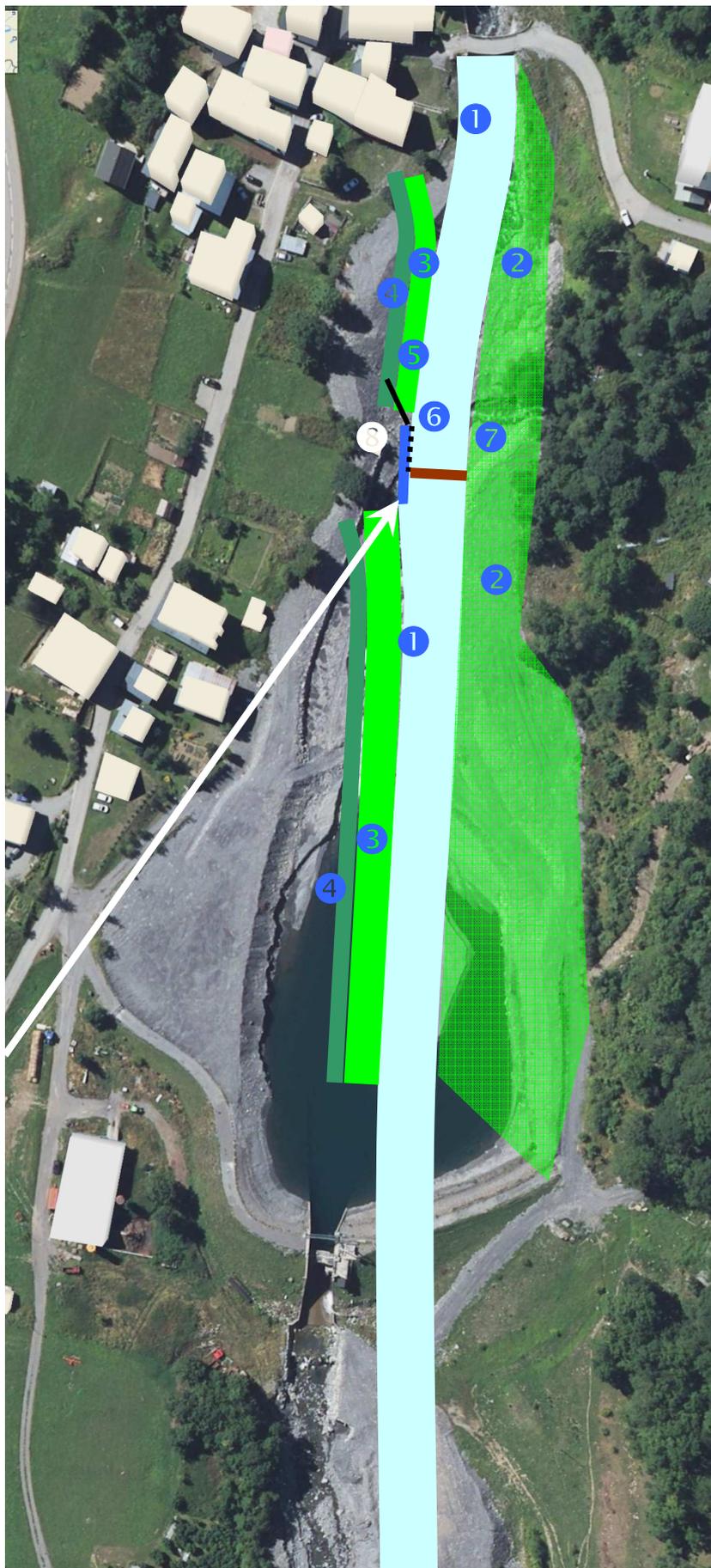
- Le lit pour les laves torrentielles, avec une pente de 7.5 % de part et d'autre de la prise d'eau. Une augmentation de pente en aval du clapet permettra de rattraper le niveau du radier de chasse (voir ci-dessous) et réduire les risques de dépôt au droit du clapet. Ce clapet aura une hauteur de 1.5 m, comme le lit principal pour les laves.
- La méga grille permettant l'alimentation du chenal de chasse. Elle pourra être calée au dessus du radier du lit.
- Le chenal de chasse, avec un encaissement de 30 centimètres par rapport au lit à son extrémité amont et une pente de 10 % jusqu'au niveau de la vanne de chasse.
- L'emprise maximum de la grille de prise, calée 60 centimètres au dessus du radier de chasse en amont et 1 mètre en aval. Une section plus faible peut être envisagée après remontée vers l'amont de la vanne de chasse ou - de préférence - remontée vers le haut du bas de la grille de prise.
- Le lit aval avec une pente de 7.5 % de nouveau.

4.4.3. Schéma d'ensemble

Ce schéma montre les différents éléments constitutifs :

1. Le chenal principal de 15 à 20 mètres de large avec de faibles rayons de courbures et une pente de 7.5 %.
2. La terrasse rive gauche calée 1.5 mètres au dessus du niveau du lit. L'objectif est de maximiser sa largeur, principalement en amont de la prise.
3. La protection de berge et la risberme rive droite. Elle n'est pas tracée dans le cours supérieur. En effet, le pont n'est pas compatible avec l'écoulement des crues. Cette situation sera indépendante de la prise avec le nouveau projet car le niveau du lit sera alors le plus bas observé, même avant aménagement. Les protections dans cette zone très contraintes dépendront des travaux réalisés au niveau du pont.
4. Le merlon en retrait de la risberme.
5. L'entonnement de la prise d'eau
6. La méga grille.
7. Le clapet de la prise d'eau.
8. Le chenal de chasse.

Figure 44 : Vue en plan d'ensemble de l'aménagement.



4.4.4. Lit des laves torrentielles

4.4.4.1. Lit amont

La largeur du lit mineur est un compromis entre les éléments suivants :

- ✘ La pente de 7.5 % conduit à une largeur optimale de 16 mètres pour assurer la continuité du transport solide comme indique au paragraphe 4.1.2 page 70.
- ✘ L'analyse du rapport L/h conduit à une largeur comprise entre 15 m (minimum pour le débit centennal) et 25 m (maximum pour le débit décennal) comme indiqué au paragraphe 2.3.5.
- ✘ Le graphique suivant montre la variation de la hauteur de lave pour une pente de 7.5 %. Ce graphique montre que la hauteur varie peu entre 15 et 20 mètres et qu'une hauteur de berge de 4 mètres paraît un minimum. Il convient de noter que - plus encore que le charriage, la lave torrentielle reste concentrée dans une partie de la section d'écoulement lorsque celle-ci devient trop importante : généralement, toute la largeur est recouverte de lave durant la crue, mais la vitesse n'est élevée que dans une fraction de la largeur. Le calcul est alors exagérément optimiste.

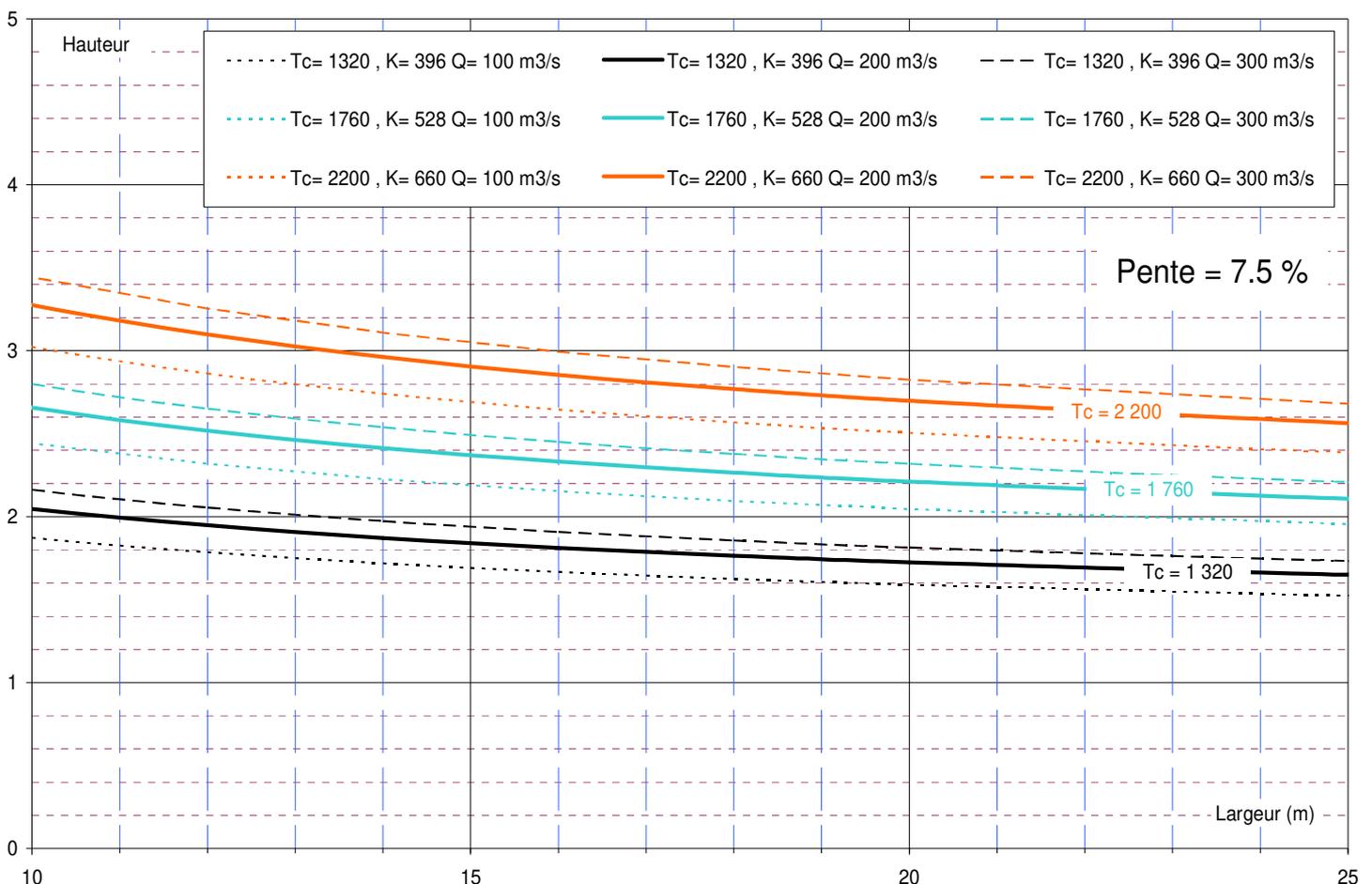


Figure 45 : Écoulement de lave pour un chenal trapézoïdal à 7.5 % de pente.

Ainsi, une largeur entre 15 et 20 mètres paraît optimale. Elle sera constante sur tout le linéaire.

La section d'écoulement présentera les caractéristiques suivantes :

- 🌊 Pente régulière de 7.5 %.
- 🌊 La largeur du lit mineur sera de 15 à 20 mètres.
- 🌊 Le fruit sera de 2H/1V ou 3H/2V Et les berges seront protégées préférentiellement par des enrochements liaisonnés :
 - Sur une hauteur de 2 mètres minimum en rive droite.
 - Sur toute la hauteur de berge (1.5 mètres) en rive gauche.
- 🌊 Une terrasse de 10 mètres de largeur minimum (20 m de préférence) sera calée 1.5 mètres au dessus du lit et présentera une pente transversale de 2 % vers le lit. Elle s'étendra jusqu'au pied de versant rive gauche. Elle sera végétalisée et - idéalement pâturée. Elle pourra être boisée en aval du clapet.
- 🌊 En rive gauche, une risberme de 5 à 10 mètres de largeur sera calé 3 à 3.5 m au dessus du lit. Elle est destinée à ralentir les écoulements de lave débordants. Elle sera végétalisée et - idéalement pâturée. La photo ci contre montre l'intérêt d'un tel aménagement.



Photo 30 : Effet du seuil de début de mouvement sur l'étalement d'une lave.

- 🌊 En retrait de cette risberme, un merlon en tout venant et végétalisé d'une hauteur de 1.5 mètres (1 m minimum) permettra d'éviter d'éventuels débordement.

La coupe schématique suivante illustre une telle disposition :

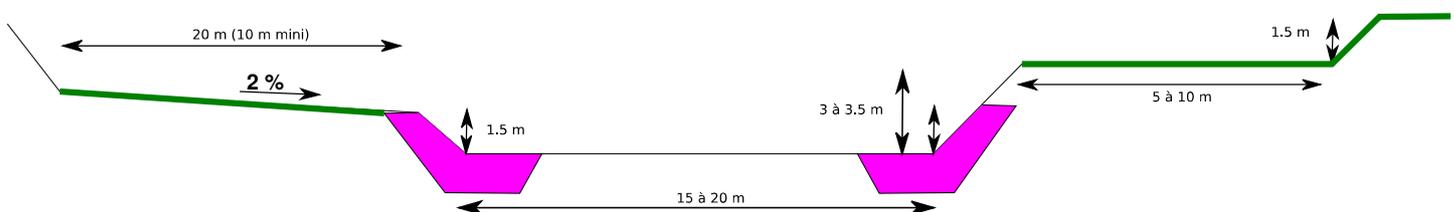


Figure 46 : Section type du lit principal.

Cette géométrie devra être entretenue, notamment avec des curages en cas de débordement sur les terrasses ou risbermes, y compris en cas d'apport solide massif du Tépéy.

4.4.4.2. Clapet

Un radier sera construit sur toute la largeur depuis 10 mètres en amont du clapet jusqu'à 15 mètres en aval du clapet. Pour réduire les risques de dépôt le long de la méga grille, une pente transversale vers la méga grille est conseillée sur ce radier en amont du clapet.

En amont de la prise d'eau, le fruit de la rive gauche sera réduit progressivement sur une dizaine de mètres de longueur et le mur latéral sera dans le prolongement de cette berge. Toute proéminence risque d'être détruite par les laves, les contraintes sur cette berge étant très élevées.

Deux options sont proposées concernant la pente du radier le niveau du lit à l'extrémité amont étant inchangé :

- ▶ Une pente de 7.5 %, comme en amont. Dans ce cas, le clapet présentera une hauteur de 1.5 m.
- ▶ Une pente de 10 %, qui présente l'avantage de réduire les risques de dépôt le long de la méga-grille et qui nécessite un clapet de 1.75 mètre de hauteur. Cette option réduit - un peu - la hauteur du seuil aval.

Le mur latéral rive droite sera dans le prolongement de la méga grille et les ouvrages de commande du clapet seront aussi masqués dans l'épaisseur du mur.

L'abaissement du clapet devra être très rapide en cas de détection de lave torrentielle. Pour cela, un détecteur de lave (géophone) sera implanté à la confluence avec le Nant des Granges. Le volume d'eau en amont de ce clapet est marginal et permet un abaissement très rapide (quelques dizaines de secondes).

De façon préventive, un abaissement en période de crue est conseillé. La mise en place d'un pluviographe dans le secteur du pont de l'Echet - RD 927 - ou, de préférence, au Mont de Cuinant faciliterait la gestion du site.

Il existe - notamment en cas de non abaissement du clapet - un risque de contournement de la prise d'eau par la terrasse rive gauche. Deux solutions peuvent être envisagées :

- 🌊 La prise en compte d'un tel affouillement latéral dans le dimensionnement des ouvrages et notamment de l'appui rive gauche du clapet.
- 🌊 La mise en place d'un seuil enterré sous le niveau de la terrasse rive droite. Cette solution paraît plus fiable mais plus coûteuse.

Le risque de contournement est faible et ses conséquences paraissent modérées.

4.4.4.3. Lit aval

En aval de la prise, le lit présentera le même type de section. La largeur du lit mineur sera majorée de la largeur de la vanne de chasse (et des murs latéraux). Une réduction progressive de la largeur peut être envisagée, notamment en cas de dépassement de la largeur de 20 mètres.

4.4.4.4. Méga-grille

Il s'agit incontestablement de l'ouvrage dont le dimensionnement est le plus délicat. Les contraintes sont fortes et contradictoires :

- Cette grille doit contenir la lave torrentielle, ce qui impose des contraintes latérales très fortes (correspondant au moins à la pression hydrostatique d'un fluide de densité 4 T/m^3 sur une hauteur de 4 à 5 m). Cela suggère des barres plutôt horizontales (le faible angle avec la pente du lit réduit les risques de blocage des matériaux dans la grille). Toute proéminence est à proscrire. Le changement de barres après une crue doit être relativement facile, des dégradations étant prévisibles lors de l'écoulement de certaines laves torrentielles.
- Elle doit réduire fortement les risques d'écoulement de lave, ce qui conduit à un entrefer de 10 à 20 centimètres maximum. Il convient de noter que, pour les laves torrentielles, l'épaisseur des "barreaux" constitue un paramètre important. C'est aussi le cas - hélas - pour le blocage des matériaux entre les barreaux.
- Elle doit permettre le passage d'un débit liquide important lorsque le clapet est remonté alors que la sa section n'est pas très grande (9 m^2 y compris des barreaux très épais).
- Le risque principal est l'obstruction de cette grille par le charriage torrentiel. Ainsi, il est proposé que le bas de la grille soit calé 15 centimètres au dessus du radier. Cela suggère aussi un lit aussi étroit que possible. Les difficultés d'exploitation de cette méga grille ne doivent pas être sous estimées, notamment parce qu'il impose un double changement de direction à l'écoulement et donc aux matériaux à chasser.
- Un courant inversé - depuis le chenal de dégravage vers le lit mineur à travers cette grille pourrait faciliter considérablement sa gestion. Il serait obtenu grâce aux eaux du Tépey (voir ci-dessous).
- La mise en place d'un vannage du coté du chenal de dégravage pourrait permettre de faciliter la gestion de cette grille. Il paraît judicieux de prévoir sa mise en place, quitte à ne l'installer que si le retour d'expérience y est favorable.
- La grille - ou plutôt le mur rive droite le long de la prise d'eau - devra présenter une hauteur de l'ordre de 5 mètres par rapport au niveau du radier.
- Sur l'ensemble de ce mur, les proéminences devront être évitées et les différents éléments disposés en écaille de poisson notamment à l'interface entre le mur et la grille.

Cet ouvrage très spécifique justifie - à lui seul - la mise en œuvre d'un modèle réduit physique. A défaut, les dispositions constructives devront permettre des modifications de l'ouvrage en fonction du retour d'expérience.

4.4.5. Ouvrage de prise

4.4.5.1. Chenal et vanne de chasse

En retrait de la méga grille et du mur associé, très épais, le chenal de chasse devra permettre d'évacuer les matériaux. Son fonctionnement est délicat dans la mesure où il impose un coude à 90° aux matériaux solides pour reprendre la direction de l'aval. Ainsi, les dispositions sont les suivantes :

- ✗ Sa largeur sera de l'ordre de 2 mètres.
- ✗ Sa pente longitudinale de 10 % est très favorable au transit des matériaux. Évidemment, le fond de ce chenal sera lisse et particulièrement résistant à l'abrasion.
- ✗ Pour faciliter le curage des dépôts de matériaux en cas de crue, il est proposé de caler ce chenal au moins 30 centimètres minimum sous le radier du lit principal et même 45 centimètres sous le bas de la méga grille. Ainsi, en cas d'ouverture totale de la vanne de chasse, la chute de l'eau dans le chenal facilitera une reprise des matériaux.

La figure suivante est une coupe schématique de l'ouvrage, depuis le lit mineur parcouru par les laves torrentielles et la grille de prise à l'abri.

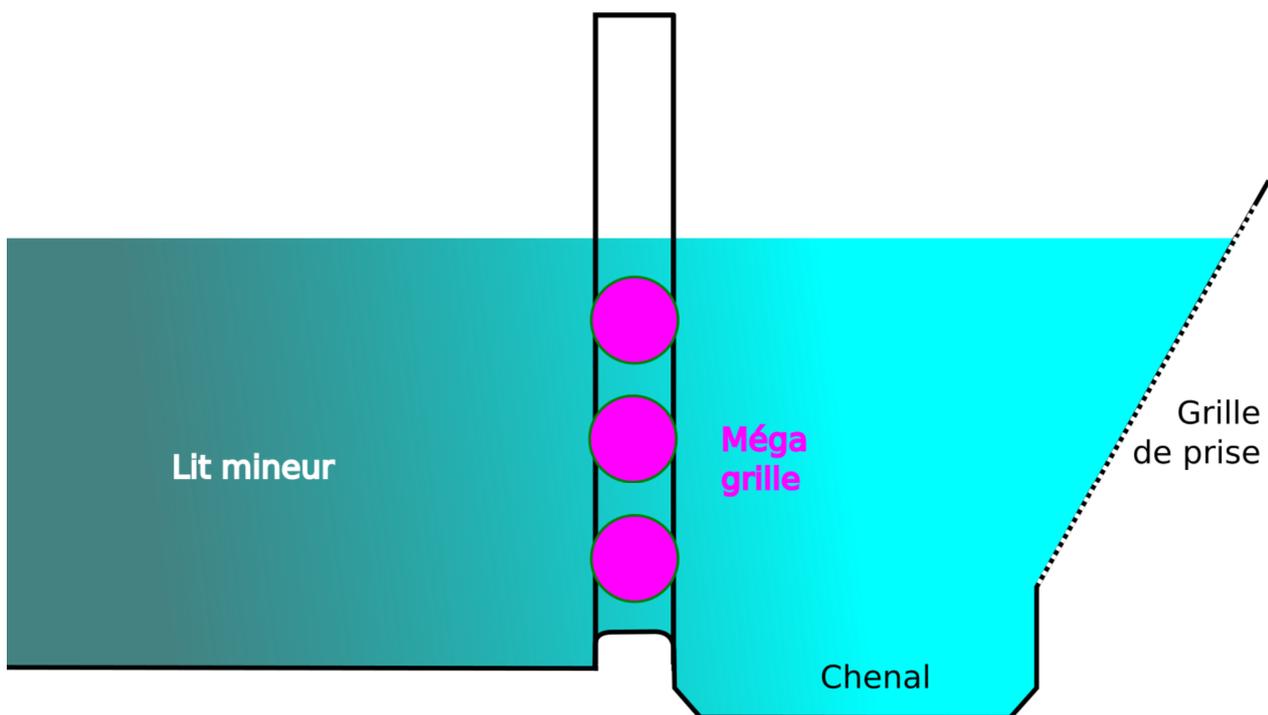


Figure 47 : Coupe type de l'ouvrage de prise.

Ce chenal rectiligne se terminera par une vanne de chasse présentant la même largeur que le chenal et d'une hauteur efficace d'au moins 1.5 mètres et de préférence sur toute la hauteur. Cette vanne présentera deux modes de fonctionnement :

- 🌊 En période de hautes eaux, elle permettra de transit des petits matériaux par une ouverture partielle. Il convient de rappeler que lors de ces phases, la concentration en matériaux risque d'être très forte en aval de la prise d'eau (dérivation du débit d'équipement), ce qui conduira à un dépôt probable en aval. Il pourra alors être nécessaire de réaliser des chasses complètes ou des arrêts de production pour éviter ce dépôt. L'arrêt excessif des matériaux dans la retenue avait - après la construction - permis d'éviter ces dépôts et avait même conduit à un enfoncement de près de 2 mètres en aval du barrage.
- 🌊 Lors des épisodes de chasse, elle sera totalement ouverte et l'écoulement en torrentiel - et la chute entre le lit mineur et le chenal - faciliteront une chasse des éventuels matériaux dans le chenal.

Il convient de préciser qu'une alimentation directe de ce chenal de chasse par le Tépey présenterait de multiples avantages :

- 🌊 Apport d'eau "claire" usuellement peu chargée, ce qui facilite les chasses et la reprise des matériaux.
- 🌊 Reprise des matériaux dans le chenal facilité par la chute des eaux provenant du Tépey.
- 🌊 Moindre débit à travers la méga grille et donc risque d'obstruction plus réduit.
- 🌊 Fonctionnement indépendant des laves du Glandon permettant par exemple un fonctionnement avec les seules eaux du Tépey lors des phases de remise en état.
- 🌊 Possibilité d'application un courant inversé sur la méga grille (du chenal vers le lit) grâce à cette alimentation.
 - Pendant la lave, ce courant réduit les risques de colmatage de la méga grille.
 - Après la lave ou une obstruction partielle de la méga grille, ce qui facilite sont nettoyage.

Cette alimentation par le Tépey nécessite une implantation dans la zone de confluence, préférentiellement en rive gauche du Glandon (ou une alimentation spécifique après prélèvements des débits ordinaires du Tépey).

4.4.5.2. Grille de prise

La grille de prise est ici protégée des laves torrentielles par la méga grille et du charriage par le chenal de chasse. Son dimensionnement est beaucoup plus classique et n'est pas l'objet du présent rapport.

LISTE DES GRAPHIQUES ET DESSINS

Figure 1 : Vue d'ensemble de la prise d'eau et de la retenue associée.	1
Figure 2 : Coupe des ouvrages actuels.	3
Figure 3 : Vue de l'ensemble des ouvrages de gestion de la retenue.....	4
Figure 4 : Remplissage de la retenue par les matériaux en 2021.	9
Figure 5 : Vue d'ensemble de l'aménagement.....	10
Figure 6 : Bassin versant de la retenue.	11
Figure 7 : Ensemble de la zone alluvionnaire aval.	30
Figure 8 : Profil en long des Grandes Forces Hydrauliques.	33
Figure 9 : Profils en long de 1909 et 2018.....	35
Figure 10 : Profil en long dans la zone de la retenue.	36
Figure 11 : Hydrogrammes de crue centennaux.....	39
Figure 12 : Débits classés spécifiques (ISL 2018).....	40
Figure 13 : Courbes de débit classées en aval du barrage.	41
Figure 14 : Conditions d'écoulement en crue.	42
Figure 15 : Différents types de transport solide en rivière.	43
Figure 16 : Hydrogrammes de crues centennales de part et d'autre du Tépey.	50
Figure 17 : Crues décennales de part et d'autre du Tépey avec tendance au dépôt.	51
Figure 18 : Courbes de débit classées liquides et solides.	52
Figure 19 : Section transversale d'une coulée et du lit.	54
Figure 20 : Structure longitudinale d'une lave torrentielle.....	55
Figure 21 : Effet d'une lave sur un bâtiment.	56
Figure 22 : Transport d'un très gros bloc par une lave.....	57
Figure 23 : Relation hauteur - vitesse pour de l'eau et pour une lave torrentielle.	58
Figure 24 : Section transversale d'une coulée et du lit.	59
Figure 25 : Volume d'apport estimé par ISL en 2018.....	60
Figure 26 : Hydrogramme de la lave torrentielle rare à la Chal (source : ISL).....	61
Figure 27 : Effet de la pente sur les hauteurs d'écoulement pour un lit de 10 m de large.	63
Figure 28 : Effet de la pente sur les hauteurs d'écoulement pour un lit de 20 m de large.	64

Figures 29 & 30 : Vitesse pour une largeur de 10 ou 20 mètres.....	65
Figure 31 : Charge de lave pour une largeur en base de 20 mètres.	66
Figure 32 : Effet de la hauteur sur la hauteur de lave pour une pente de 7.8 %.....	67
Figure 33 : Impact de la largeur sur la vitesse d'écoulement.	68
Figure 34 : Niveau de charge en fonction de la largeur.	69
Figure 35 : Relation entre débit liquide et débit solide.....	71
Figure 36 : Impact de la largeur du lit sur la pente d'équilibre.	72
Figure 37 : Ondes de propagation de la crue.	73
Figure 38 : Projet initial.	77
Figure 39 : Vue schématique de la prise d'eau initialement envisagée.....	78
Figures 40 : Localisations envisageables de la prise d'eau.....	80
Figure 41 : Vue en plan schématique de l'ouvrage de prise.....	82
Figure 42 : Profil en long général de l'aménagement.....	83
Figure 43 : Profil en long schématique de la prise d'eau.....	84
Figure 44 : Vue en plan d'ensemble de l'aménagement.....	85
Figure 45 : Écoulement de lave pour un chenal trapézoïdal à 7.5 % de pente.	86
Figure 46 : Section type du lit principal.	87
Figure 47 : Coupe type de l'ouvrage de prise.	90

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Falaises amont du bassin versant du Sapey.	12
Photo 2 : Formation de talwegs en pied de falaise sur le torrent du Sapey.	13
Photos 3 & 4 : Ravin du Sapey d'en haut et glissement dans le Nant des Granges.	14
Photo 5 : Érosion généralisée dans la Combe du Golet.	15
Photos 6 & 7 : Érosions dans le cours aval et sur le cône de déjection du Golet.	16
Photo 8 : Cône de déjection du Golet et lit aval du Sapey.....	17
Photo 9 : Lit du Sapey et cône de déjection à peine marqué du Nant des Granges.	18
Photo 10 : Début des apports rive droite en amont du Sapey.	19
Photos 11 & 12 : Lit du Glandon en aval des apports du Sapey et du Golet.....	20
Photos 13 & 14 : Lit large et divaguant parcouru par les laves.	21
Photo 15 : Confluence Nant des Granges avec le Glandon.....	22
Photos 16 & 17 : Lit étroit entre le pont communal et la RD 927.	23
Photo 18 : Risque élevé de débordement en 2020 en aval du pont.	24
Photo 19 : Vue des dépôts en queue de retenue.	24
Photo 20 : Vallée du Tépey.	25
Photo 21 : Lit pavé au droit du Tépey.....	26
Photo 22 : Zone de départ chenal et cône de déjection de la Ravine du Fou.....	27
Photo 23 : Cours aval du torrent du Tépey.	28
Photo 24 : Confluence du Tépey dans la zone de dépôt de la retenue.....	29
Photos 25 & 26 : Respiration en aval du barrage et éboulement aux Roches.....	31
Photo 27 : Lit pavé en aval des Roches.....	32
Photo 28 : Alternance de zones alluvionnaires et de secteur pavé dans le cours aval.	32
Photo 29 : Effet du seuil de début de mouvement sur le modèle réduit du Manival (CNR).....	57
Photo 30 : Effet du seuil de début de mouvement sur l'étalement d'une lave.	87



Pyrite ingénierie

Retenue de La Chal – Sismique réfraction

Investigations géophysiques

16 Août 2023



Agence du Bourget du Lac • Savoie Technolac
34 Allée du Lac d'Aiguebelette, 73370, Le Bourget du Lac
Tél. 33 (0) 4 79 25 35 85 • www.groupe-cebtp.com



Pyrite ingénierie					
Retenue de La Chal – Sismique réfraction					
Valmaure (73)					
RAPPORT – étude géophysique – Indice 01					
Dossier : KAS4-N061					
Indice	Date	Rédacteur	Vérifié par	Contenu	Observations
1	16/08/2023	T. Bailly	T. Chauveau	18 pages + Annexe 1	-
2					

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

Table des matières

1. Introduction.....	5
1.1. Contexte général et objectif de l'étude	5
1.2. Contexte géographique	5
1.1. Contexte géologique.....	5
2. Investigations géophysiques.....	6
2.1. Programme de mesure	6
2.2. Personnel mobilisé.....	6
3. Sismique réfraction	7
3.1. Principe de la méthode.....	7
3.2. Limites de la méthode.....	8
3.3. Matériel de mesure et paramètres d'acquisition.....	8
3.4. Implantation et caractéristiques des mesures	11
3.5. Contrôle qualité des données	15
3.6. Traitement des données	15
4. Résultats et interprétation.....	17
Annexes.....	18

Liste des figures

FIGURE 1.1 : LOCALISATION DU SITE D'ETUDE.

FIGURE 1.2 : ZONE D'ETUDE POSITIONNEE SUR LA CARTE GEOLOGIQUE AU 1/50000 (SOURCE « INFOTERRE.BRGM.FR).

FIGURE 3.1: SCHEMA DE PRINCIPE

FIGURE 3.2 : PHOTOS DES OPERATIONS SUR LE TERRAIN.

FIGURE 3.3 : IMPLANTATION DES PROFILS DE SISMIQUE P1 ET P2 (SYSTEME DE COORDONNEES RGF93 CC45). LES LIGNES DE NIVEAU EN ARRIERE-PLAN CORRESPONDENT AU RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE FOURNIT PAR PYRITE INGENIERIE LE 7/08/2023.

FIGURE 3.4 : PROFILS SISMQUES P1 ET P2 SUR FOND DE CARTE TOPOGRAPHIQUE FOURNIT PAR PYRITE INGENIERIE LE 7/08/2023 (SYSTEME DE COORDONNEES RGF93 CC45).

FIGURE 3.5 : HODOCHRONES DES PROFILS P1 (EN HAUT) ET P2 (EN BAS).

Liste des Tableaux

TABLEAU 2.1 : PERSONNEL ; OPERATIONS ET INGENIERIE

TABLEAU 3.1 : PARAMETRES D'ACQUISITION DES MESURES DE SISMIQUE REFRACTION

TABLEAU 3.2: COORDONNEES GPS RGF93 CC45 DES GEOPHONES ET POINTS DE TIRS DES PROFILS P1 ET P2.

1. Introduction

1.1. Contexte général et objectif de l'étude

Dans le cadre du projet de modification du captage du Glandon au niveau de la retenue de La Chal, GINGER CEBTP a été mandaté par Pyrite Ingénierie pour réaliser des essais géophysiques visant à rechercher la profondeur du rocher à l'approche du barrage.

La méthode de sismique réfraction a été mise en œuvre avec 2 profils de 115 mètres démarrant au niveau de la retenue et encadrant le cours d'eau. Le Glandon circulait librement au moment des mesures avec une largeur de quelques mètres.

La campagne de mesures a été réalisée le 7 Août 2023 par deux ingénieurs GINGER après avoir validé sur place l'implantation des profils en présence d'un représentant de Pyrite Ingénierie. Un relevé des positions de mesure et des tirs a été effectué au GPS différentiel ; il correspond aux conditions topographiques du jour et est indissociable des résultats présentés dans ce document, compte tenu des remaniements en cours.

1.2. Contexte géographique

La retenue de La Chal est située en Savoie (73), sur le cours du Glandon, au niveau des communes de La Chal et Valmaure (Figure 1.1).



Figure 1.1 : Localisation du site d'étude.

1.1. Contexte géologique

La carte géologique au 1/50000 (Figure 1.2 ; source « infoterre.brgm.fr ») situe la retenue de La Chal dans le cône torrentiel de déjection du Glandon (formation FJz). Côté Ouest, on retrouve des dépôts glaciaires de type moraines et des éboulis actuels à anciens mêlés à des moraines (formation E). Le « rocher » est représenté côté Ouest par les Granites du complexe plutonique de Saint Colomban des villards (formation py3-4(1)). Côté Est, on trouve des éboulis mêlés à des moraines (formation E). Le « rocher » est représenté à l'Est par des schistes argilo-calcaires du Lias (formation I3b-4S).

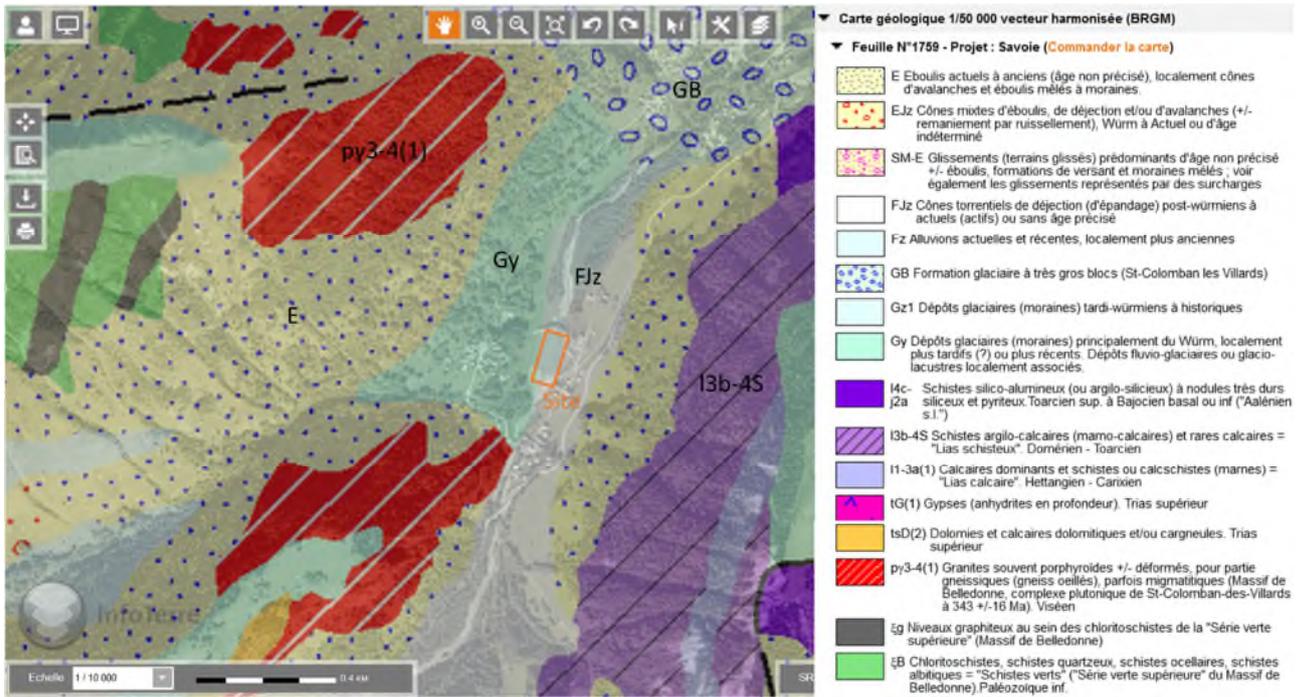


Figure 1.2: Zone d'étude positionnée sur la carte géologique au 1/50000 (source « infoterre.brgm.fr).

2. Investigations géophysiques

2.1. Programme de mesure

Ginger a mis en œuvre la sismique réfraction avec la réalisation de 2 profils de 115 mètres, composés de 24 géophones 4.5 Hz espacés de 5 mètres. Pour chacun des profils, des tirs ont été exécutés avec une masse de 8 kg selon 10 positions de tirs. Au moment des tirs, les opérations ont été coordonnées pour faire cesser l'activité des pelleteuses travaillant en amont de la zone d'implantation des profils.

2.2. Personnel mobilisé

La liste du personnel impliquée dans la campagne géophysique est détaillée dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Personnel ; opérations et ingénierie

Personnel – Opérations		Niveau technique
Acquisition des données	Thibaut Bailly / Céline Filippi	Ingénieur / Ingénieur - docteur
Personnel – Traitement et Interprétation		Niveau technique
Traitement des données	Thibaut Bailly	Ingénieur
Interprétation et Rapport	Thibaut Bailly	Ingénieur
Contrôle Qualité	Thomas Chauveau	Ingénieur

3. Sismique réfraction

3.1. Principe de la méthode

La théorie de l'élasticité montre que sous l'effet d'une contrainte (ébranlement) les solides subissent une déformation correspondant à quatre types principaux d'ondes, eux-mêmes regroupés en deux groupes : les ondes de volume « P » et « S » et les ondes de surface « Love » et « Rayleigh ».

La sismique réfraction s'intéresse à l'étude des ondes de volume et plus particulièrement à l'étude des ondes P, appelées également ondes de compression, qui se déplacent longitudinalement, à une vitesse V_p . Les ondes S sont appelées quant à elles ondes de cisaillement et se déplacent transversalement à une vitesse V_s .

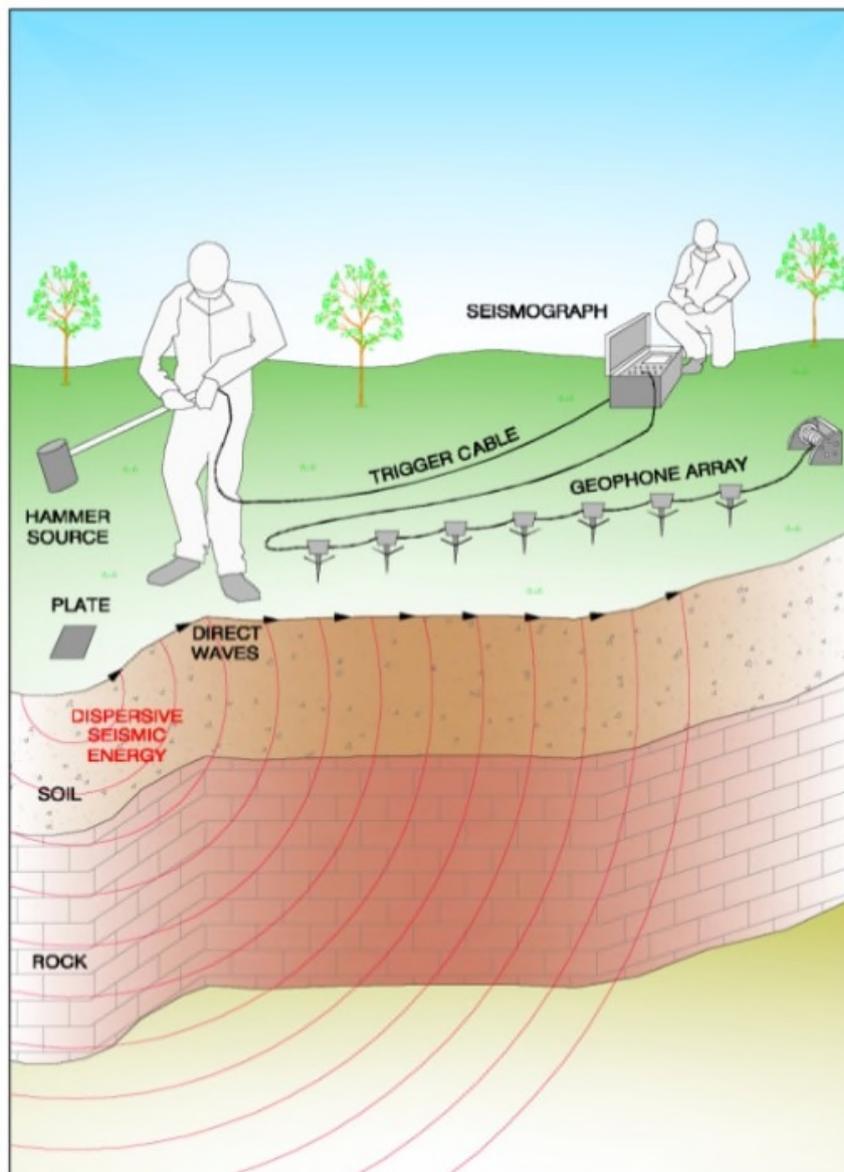


Figure 3.1: Schéma de principe

Ainsi, les vitesses sismiques étudiées en réfraction sont les vitesses de déplacement de l'onde de compression, qui a la particularité d'être la plus rapide. Cette onde, arrivant toujours en premier sur les capteurs, est aisément reconnaissable. Les rayons sismiques suivent les mêmes lois que les rayons lumineux et en particulier la loi de Snell – Descartes (figure ci-dessous).

La méthode de sismique réfraction vise donc à mesurer le temps écoulé entre un instant T_0 et l'arrivée effective des ondes en surface, à des distances connues de la source d'énergie. Lorsque l'on est près de la source, les premières ondes enregistrées sont celles qui se sont propagées dans la première couche ; à mesure que l'on s'éloigne de la source, les premières arrivées sont les ondes qui ont voyagées à la surface de chacune des couches en profondeur : la vitesse de propagation dans ces couches étant plus grande, le temps de parcours est par conséquent plus court.

Dans la pratique, on utilise une série de capteurs couplés mécaniquement au sol à intervalle régulier. Ces capteurs transforment l'onde acoustique reçue en un signal électrique qui est transmis à un enregistreur numérique qui amplifie, filtre et enregistre la forme de l'onde pour chacune des traces. Le pointé des premiers temps d'arrivées de l'onde P sur chaque capteur permettra ensuite de construire un graphique temps-distance (appelé également hodochrone ou dromochronique) qui sera utilisé pour le calcul des vitesses sismiques et des épaisseurs des couches géologiques.

3.2. Limites de la méthode

La méthode présente les limitations suivantes :

- L'application de la sismique réfraction n'est valable que pour des vitesses croissantes avec la profondeur. Une couche lente sous une couche rapide ne pourra pas être déterminée.
- La sismique réfraction fournit des vitesses moyennes représentatives d'un grand volume de sol, qui dépend de la longueur du dispositif. Elle n'est pas toujours appropriée pour détecter des variations locales de géométrie
- Une dalle mince de roche compacte peut ne pas être visible. En effet, si cette dernière est intercalée dans des sédiments meubles, la vitesse moyenne augmentera légèrement mais pas assez pour la mettre en évidence.
- Les irrégularités locales du substratum seront probablement lissées.
- La profondeur de pénétration effective d'un système d'acquisition dépend de la longueur de la flûte mais aussi des contrastes de vitesses.

3.3. Matériel de mesure et paramètres d'acquisition

Le matériel de mesure utilisé pour les mesures de sismique réfraction comporte (Figure 3.2) :

- Un enregistreur sismique numérique 24 traces (Geode GEOM2TRICS);
- 24 géophones 4.5 Hertz plantés dans le sol suivant un espacement de 5 mètres ;
- Une source sismique : une masse de 8kg ;
- Un accéléromètre fixé à la masse permettant le déclenchement des enregistrements ;

- Un PC d'acquisition sismique permettant le paramétrage des acquisitions ainsi que la visualisation et le pré-traitement des données, en direct, sur le terrain.



Figure 3.2 : Photos des opérations sur le terrain.

Les paramètres d'acquisition utilisés pour les mesures de sismique réfraction sont les suivants (Tableau 3.1) :

Tableau 3.1 : Paramètres d'acquisition des mesures de sismique réfraction

Paramètres	Description
Enregistreur	Geode
Sources	Masse de 8 Kg
Capteurs	Géophones 4.5Hz
Nombre de capteurs	24 capteurs
Espacement entre capteurs	5 m
Longueur enregistrement	1 s
Pas d'échantillonnage	62.5 μ s
Nombre de position de tirs par base de 13 traces	Tous les 3 capteurs + tirs offsets
Nombres de tirs (stack) par position	7

3.4. Implantation et caractéristiques des mesures

La reconnaissance s’est déroulée suivant 2 profils nommés P1 et P2 ci-après (Figure 3.3 et Figure 3.4). Les coordonnées GPS effectives des géophones et des points de tir ont été relevées au GPS différentiel à la fin de chaque acquisition avant le démontage de la ligne. L’incertitude de positionnement constatée selon X, Y et Z est inférieure à 4 cm pour l’ensemble des points.

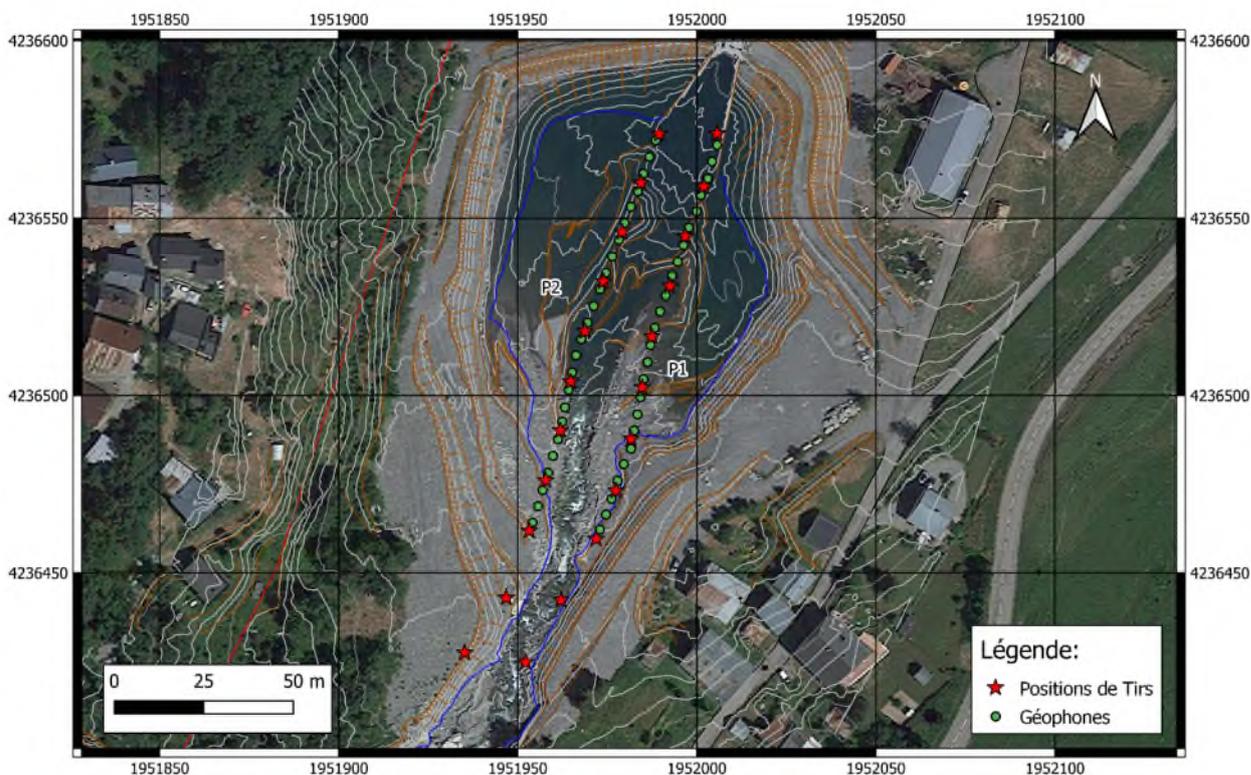


Figure 3.3 : Implantation des profils de sismique P1 et P2 (système de coordonnées RGF93 CC45). Les lignes de niveau en arrière-plan correspondent au relevé topographique fournit par Pyrite Ingénierie le 7/08/2023.

Les coordonnées RGF93 Lambert CC45 des géophones et points de tir sont donnés dans le tableau suivant (Tableau 3.2).

Tableau 3.2: Coordonnées GPS RGF93 CC45 des géophones et points de tirs des profils P1 et P2.

Profil	Type de point	Id	X (m)	Y (m)	Z (m)
P1	Géophone	p1-g1	1952005.645	4236570.614	1163.533
P1	Géophone	p1-g2	1952004.257	4236565.921	1163.814
P1	Géophone	p1-g3	1952003.02	4236561.138	1163.961
P1	Géophone	p1-g4	1952001.095	4236556.47	1164.292
P1	Géophone	p1-g5	1951999.936	4236551.913	1164.584
P1	Géophone	p1-g6	1951997.744	4236547.326	1164.676

Profil	Type de point	Id	X (m)	Y (m)	Z (m)
P1	Géophone	p1-g7	1951996.241	4236542.385	1164.79
P1	Géophone	p1-g8	1951994.623	4236537.642	1165.035
P1	Géophone	p1-g9	1951993.073	4236533.671	1165.293
P1	Géophone	p1-g10	1951991.322	4236528.129	1166.517
P1	Géophone	p1-g11	1951989.709	4236523.627	1167.136
P1	Géophone	p1-g12	1951988.209	4236519.005	1167.772
P1	Géophone	p1-g13	1951986.996	4236514.16	1168.15
P1	Géophone	p1-g14	1951986.224	4236509.337	1168.582
P1	Géophone	p1-g15	1951985.065	4236504.565	1168.943
P1	Géophone	p1-g16	1951984.244	4236499.486	1169.511
P1	Géophone	p1-g17	1951983.398	4236494.615	1170.021
P1	Géophone	p1-g18	1951982.495	4236490.074	1170.695
P1	Géophone	p1-g19	1951981.604	4236484.964	1172.321
P1	Géophone	p1-g20	1951979.594	4236480.623	1172.044
P1	Géophone	p1-g21	1951977.866	4236475.91	1172.14
P1	Géophone	p1-g22	1951976.172	4236470.849	1171.5
P1	Géophone	p1-g23	1951974.608	4236466.436	1171.868
P1	Géophone	p1-g24	1951972.928	4236462.103	1172.5
P1	Tir	p1-tir-2.5	1952005.632	4236573.785	1162.257
P1	Tir	p1-tir12.5	1952001.923	4236558.903	1164.068
P1	Tir	p1-tir27.5	1951996.761	4236544.899	1164.793
P1	Tir	p1-tir42.5	1951992.477	4236530.782	1166.248
P1	Tir	p1-tir57.5	1951987.448	4236516.567	1168.035
P1	Tir	p1-tir72.5	1951984.75	4236502.246	1169.207
P1	Tir	p1-tir87.5	1951981.608	4236487.705	1171.209
P1	Tir	p1-tir102.5	1951977.382	4236473.189	1171.581
P1	Tir	p1-tir117.5	1951971.859	4236459.477	1172.417
P1	Tir	p1-tir137.5	1951962.069	4236442.329	1173.302
P1	Tir	p1-tir157.5	1951952.161	4236424.919	1173.591
P2	Géophone	p2-g1	1951988.475	4236571.88	1164.017
P2	Géophone	p2-g2	1951986.745	4236567.253	1164.209
P2	Géophone	p2-g3	1951985.035	4236562.522	1164.345
P2	Géophone	p2-g4	1951983.534	4236557.524	1164.551
P2	Géophone	p2-g5	1951981.572	4236553.18	1165.041
P2	Géophone	p2-g6	1951979.847	4236548.662	1165.294
P2	Géophone	p2-g7	1951978.226	4236543.899	1165.584
P2	Géophone	p2-g8	1951976.383	4236539.143	1166.008

Profil	Type de point	Id	X (m)	Y (m)	Z (m)
P2	Géophone	p2-g9	1951974.571	4236534.531	1166.064
P2	Géophone	p2-g10	1951972.958	4236529.904	1166.139
P2	Géophone	p2-g11	1951971.196	4236525.17	1166.361
P2	Géophone	p2-g12	1951969.457	4236520.498	1166.608
P2	Géophone	p2-g13	1951967.718	4236515.819	1166.929
P2	Géophone	p2-g14	1951966.266	4236511.282	1167.384
P2	Géophone	p2-g15	1951965.16	4236506.457	1167.739
P2	Géophone	p2-g16	1951964.167	4236501.518	1167.829
P2	Géophone	p2-g17	1951963.139	4236496.598	1168.367
P2	Géophone	p2-g18	1951962.35	4236492.563	1170.881
P2	Géophone	p2-g19	1951961.206	4236487.631	1171.416
P2	Géophone	p2-g20	1951959.808	4236482.942	1171.55
P2	Géophone	p2-g21	1951958.405	4236478.2	1171.709
P2	Géophone	p2-g22	1951956.912	4236473.309	1171.701
P2	Géophone	p2-g23	1951955.637	4236468.754	1172.612
P2	Géophone	p2-g24	1951954.109	4236464.123	1172.879
P2	Tir	p2-tir-2.5	1951989.49	4236573.703	1163.935
P2	Tir	p2-tir12.5	1951984.391	4236559.921	1164.344
P2	Tir	p2-tir27.5	1951979.125	4236546.068	1165.398
P2	Tir	p2-tir42.5	1951973.918	4236532.088	1166.092
P2	Tir	p2-tir57.5	1951968.762	4236518.045	1166.629
P2	Tir	p2-tir72.5	1951964.78	4236503.847	1167.622
P2	Tir	p2-tir87.5	1951961.878	4236490.085	1171.229
P2	Tir	p2-tir102.5	1951957.77	4236476.035	1171.83
P2	Tir	p2-tir117.5	1951953.192	4236461.753	1173.106
P2	Tir	p2-tir137.5	1951946.753	4236442.957	1174.601
P2	Tir	p2-tir157.5	1951935.138	4236427.606	1179.16

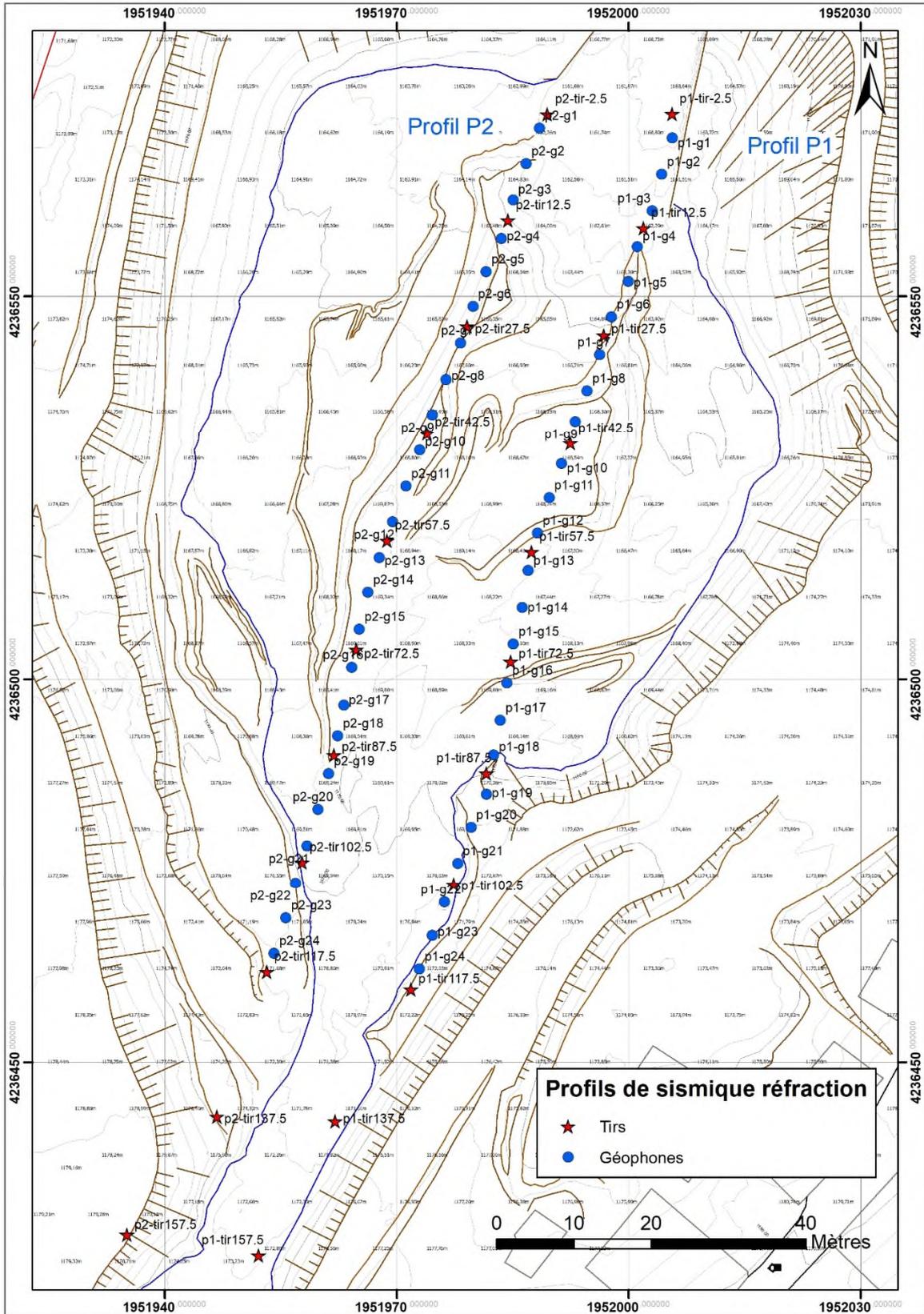


Figure 3.4 : Profils sismiques P1 et P2 sur fond de carte topographique fournit par Pyrite Ingénierie le 7/08/2023 (système de coordonnées RGF93 CC45).

3.5. Contrôle qualité des données

Lors de l'acquisition, un affichage en temps réel des sismogrammes a permis pour chaque tir un contrôle de leur bonne acquisition et de leur qualité. L'opérateur vérifie notamment qu'il est capable de repérer l'onde réfractée sur les sismogrammes et il effectue un nombre d'essais suffisant par position de tir afin de maximiser le rapport signal sur bruit lors des stacks de post-traitement.

Il a été constaté une forte atténuation des ondes sismiques en ce qui concerne les profils P1 et P2. Les arrivées des ondes réfractées n'ont pas pu être identifiées systématiquement avec certitude sur l'ensemble des 24 géophones et les tirs Offset sont difficilement exploitables. Néanmoins, la redondance du traitement et l'utilisation des règles applicables à la réfraction, (réciprocités des trajets sismiques et parallélisme des branches hodochrones) ont permis d'obtenir les hodochrones de façon fiable.

3.6. Traitement des données

Les données de sismique réfraction ont été traitées par la méthode Wavepath Eikonal Tomography (WET).

Le traitement des données se fait en trois étapes :

- Etape 1 (Figure 3.5) : Pointé des temps d'arrivées des ondes P sur l'ensemble des géophones de la ligne sismique et pour chaque position de tir. Les diagramme temps-distance (ou hodochrones) sont obtenus. Le pointé est opéré sur les signaux stackés et filtrés au besoin (somme en phase des frappes consécutives à la même position de tir). L'onde réfractée, quand elle existe, est la plus rapide parmi les ondes générées par les tirs. On pointe donc systématiquement la première arrivée. Dans certains cas, la première arrivée peut correspondre à une onde P directe sur les géophones proches de la source voir sur toute la ligne en cas d'absence de réfracteur en profondeur.
- Etape 2 (Tableau 3.2) : Intégration des données de positionnement (X, Y, Z) des géophones et des positions de tirs.
- Etape 3 : Calcul du modèle de vitesses par inversion des temps de propagation des premières arrivées. Cette étape génère une section transversale représentant la distribution des vitesses de l'onde P le long du profil étudié. Les données sont inversées suivant la méthode WET. L'inversion WET est opérée en utilisant le logiciel Rayfract. Pour chaque profil, un modèle initial de type gradient de vitesse est d'abord créé. L'inversion consiste ensuite en des itérations successives des modèles créés lors du processus en faisant varier les paramètres jusqu'à obtenir un modèle final expliquant correctement les données de départ. Les résultats se présentent sous forme de sections 2D de la vitesse de propagation des ondes P.

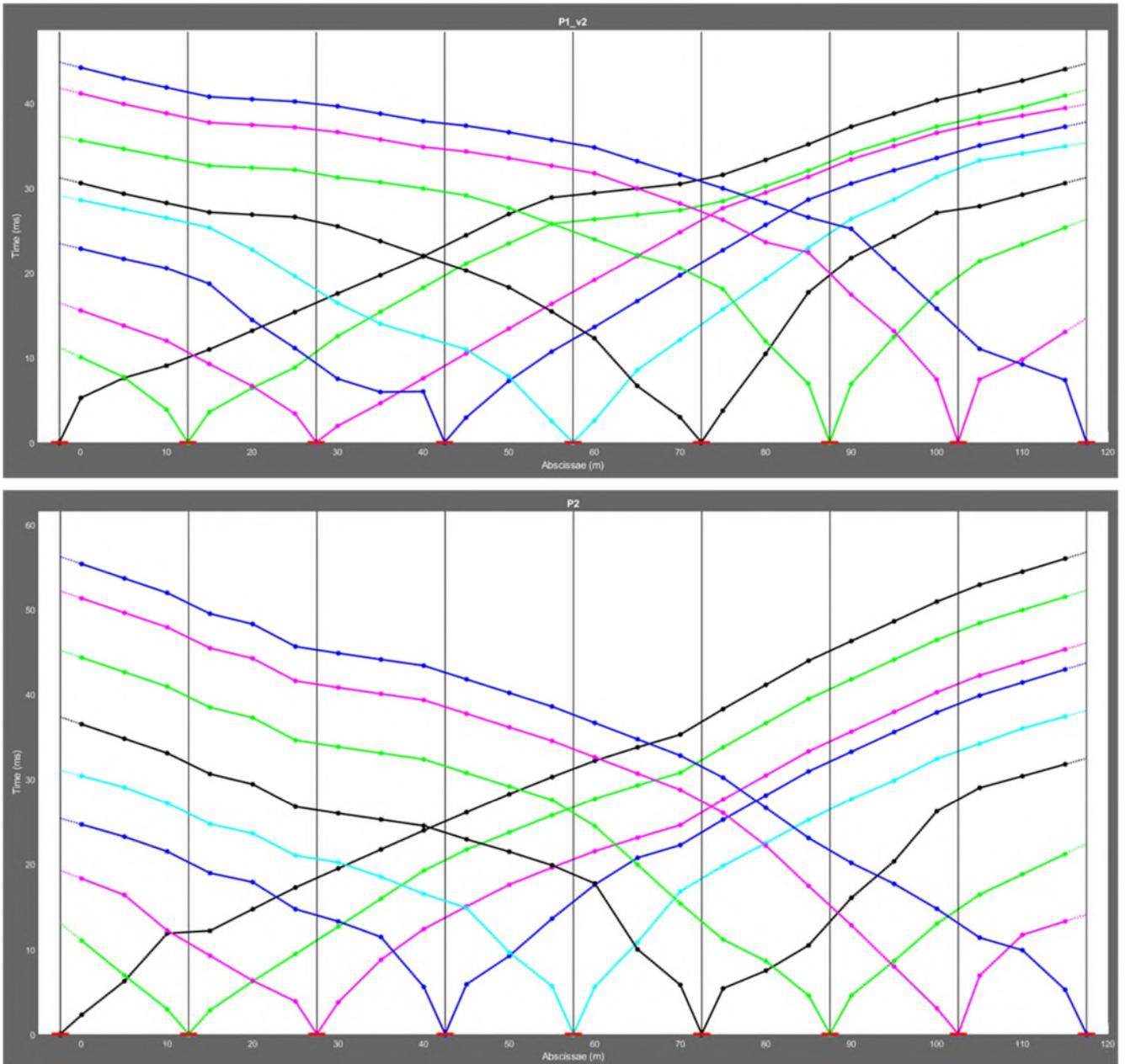


Figure 3.5 : Hodochrones des profils P1 (en haut) et P2 (en bas).

4. Résultats et interprétation

Les variations des vitesses de propagation des ondes de compression sont dépendantes des propriétés mécaniques des matériaux constituant le sous-sol étudié. La répartition des vitesses marque donc des différences de rigidité et de compacité en relation avec les matériaux rencontrés. Un niveau superficiel d'alluvions ou de roche détritique peu compact est alors caractérisé par une vitesse sismique faible tandis qu'un matériau plus rigide (roche sous-jacente) l'est par une vitesse sismique plus élevée.

Les résultats des inversions des données sismiques sont présentés en annexe 1.

Pour le profil P1 (annexe 1) :

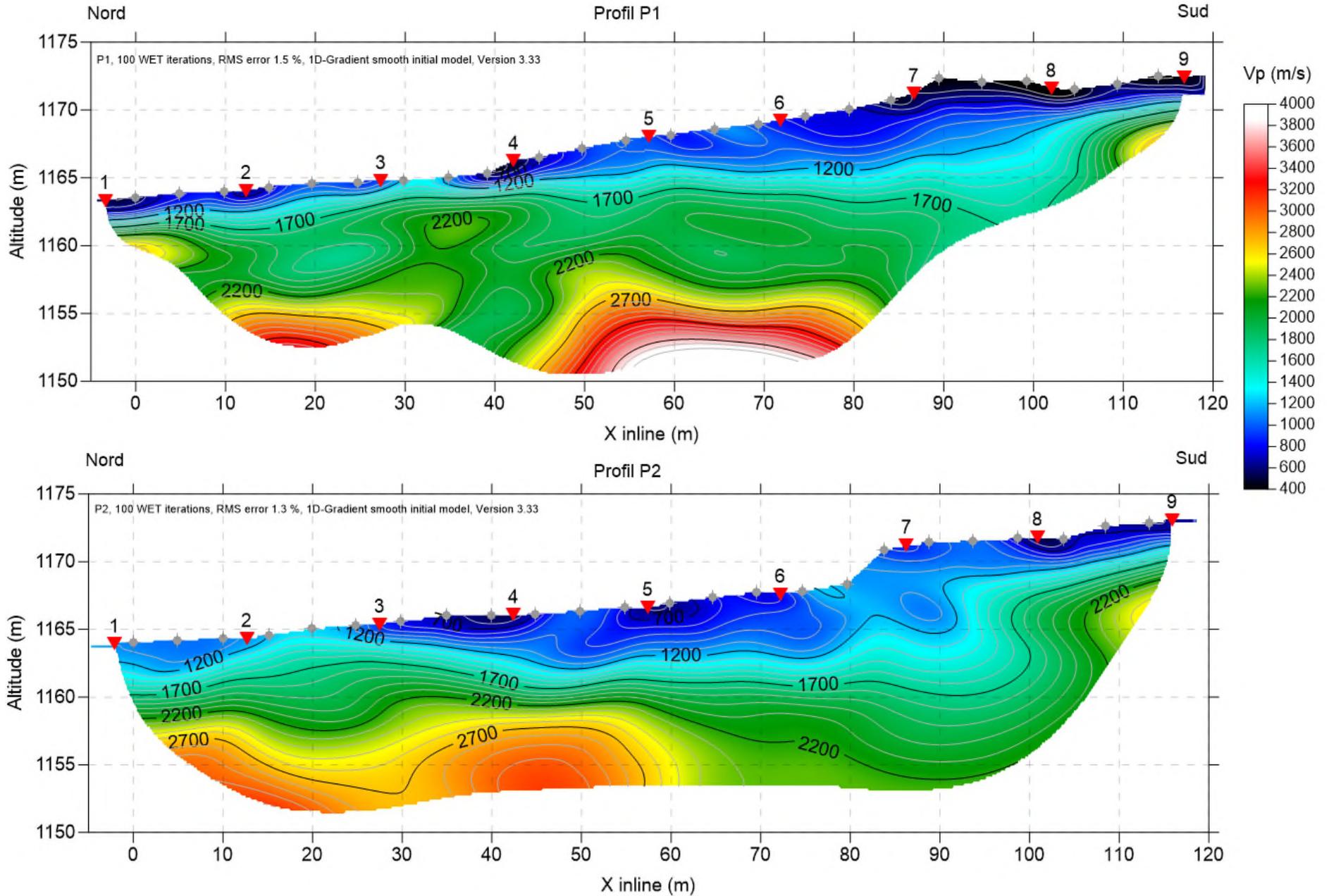
On note la présence d'une première couche fine de faible vitesse ($V_p < 1500$ m/s) de l'ordre de 1 à 2 mètres d'épaisseur dans la partie basse du profil et qui a tendance à s'épaissir en allant vers l'amont (jusqu'à ~5-7 m au niveau du géophone P1-G20) avant de diminuer à nouveau à l'extrémité du profil (géophones P1-G22 à P1-G24). Sous cette 1^{ère} couche apparaît une couche avec des vitesses intermédiaires autour des 2000 m/s puis une troisième couche pouvant être assimilée à un rocher avec une vitesse V_p autour de 3000 m/s et plus. Cette dernière n'est pas touchée en tout point du profil mais apparaît positionnée autour des 10 à 15 mètres de profondeur dans la partie centrale (géophones P1-G3 à P1-G17), possiblement à plus grande profondeur entre les géophones P1-G18 à P1-G22, et plus proche de la surface aux deux extrémités du profil.

Pour le profil P2 (annexe 1) :

On note la présence d'une première couche fine de faible vitesse ($V_p < 1500$ m/s) de l'ordre de 1 à 3 mètres d'épaisseur dans la partie basse du profil et qui a tendance à s'épaissir en allant vers l'amont (jusqu'à presque 10 mètres au niveau du géophone P2-G18) avant de diminuer à nouveau à l'extrémité du profil (géophones P2-G20 à P2-G24). Sous cette 1^{ère} couche apparaît une couche avec des vitesses intermédiaires autour des 2000 m/s puis une troisième couche pouvant être assimilée à un rocher avec une vitesse V_p autour de 3000 m/s. Cette dernière n'est pas touchée en tout point du profil mais apparaît positionnée autour des 8 à 12 mètres de profondeur dans la partie basse du profil (géophones P2-G1 à P2-G13), probablement à plus de 15 mètres de profondeur en remontant vers l'amont (géophones P2-G14 à P2-G22) et à nouveau plus proche de la surface à l'extrémité Sud (géophones P2-G23 et P2-G24).

Annexes

Intitulé	Annexe n°
Tomographies sismiques – Profils P1 et P2	1





www.groupe-cebtp.com

CONTACT

Ginger

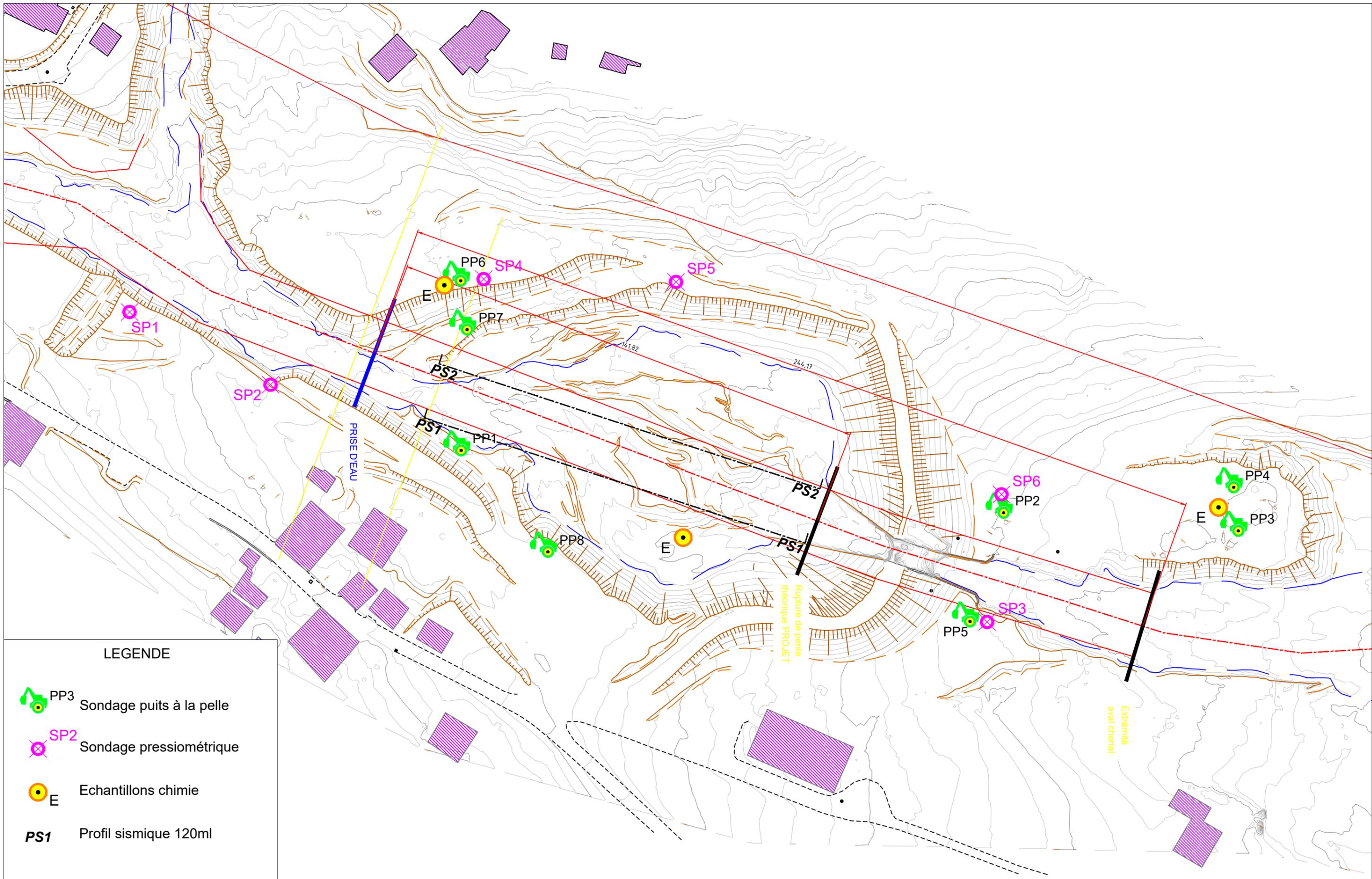
Savoie Technolac

34 Allée du Lac d'Aiguebelette

73370 Le Bourget du Lac

Tél. : +33 (0) 4 79 25 35 80

www.groupe-cebtp.com



LEGENDE

-  **PP3** Sondage puits à la pelle
-  **SP2** Sondage pressiométrique
-  **E** Echantillons chimie
-  **PS1** Profil sismique 120ml



Antémys

GÉOTECHNIQUE
Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage

SP1

Chantier

ST-COLOMBAN-DES-VILLARDS

Dossier

LY23 13097-11

Sondage destructif

Date de début

11/09/2023

Cote début

0 m

Machine

GEO 305 (2808)

Opérateur

GIRARDON M

Cote fin

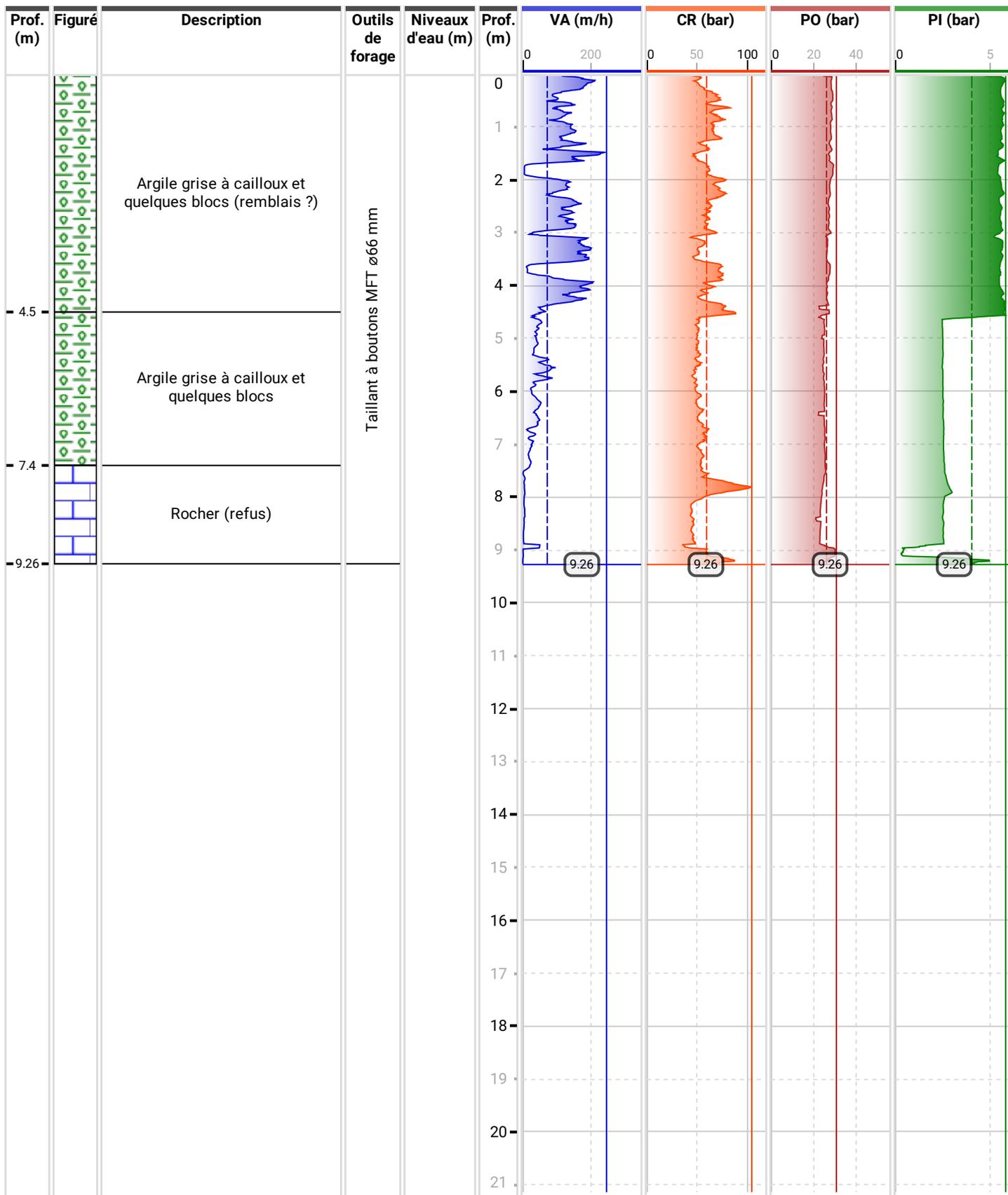
9.26 m

Outil de forage

Taillant à boutons MFT

Diamètre de l'outil

66 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP2

Chantier
ST-COLOMBAN-DES-VILLARDS

Dossier
LY23 13097-11

Sondage destructif

Date de début
12/09/2023

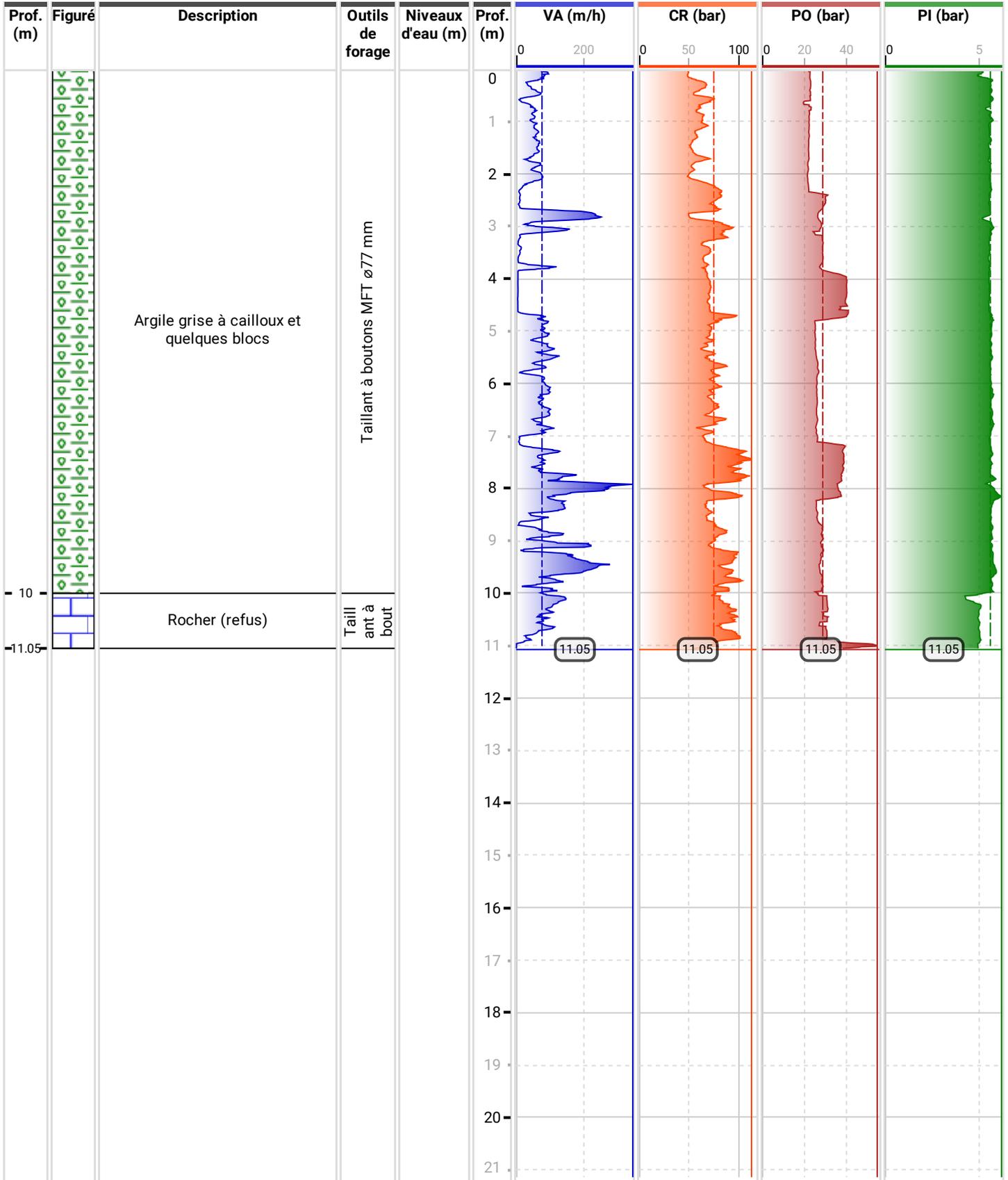
Cote début
0 m

Machine
GEO 305 (2808)

Opérateur
GIRARDON M

Cote fin
11.05 m

Outil de forage
Taillant à boutons MFT
Diamètre de l'outil
77 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP2 BIS

Chantier
ST-COLOMBAN-DES-VILLARDS

Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
13/09/2023

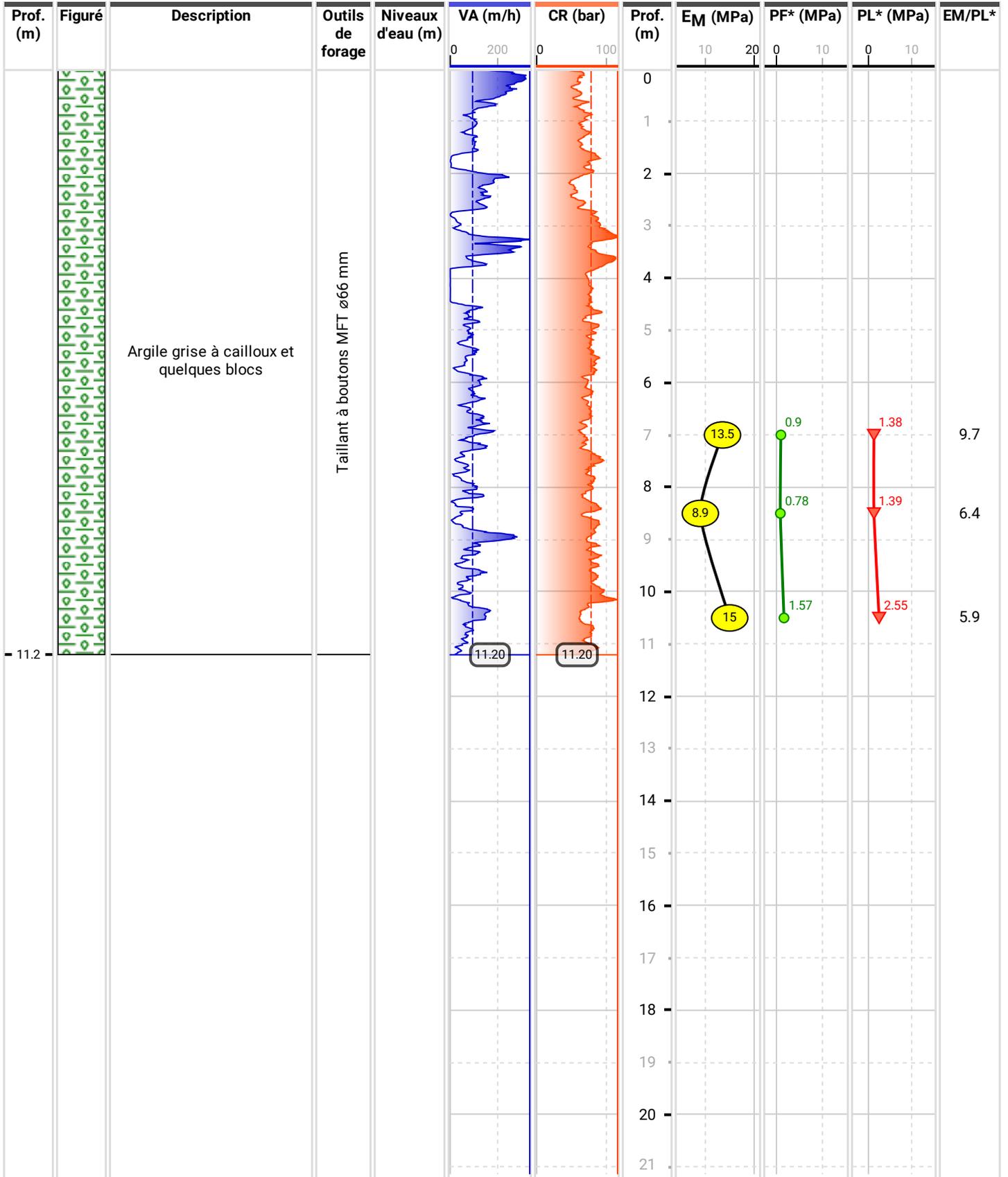
Cote début
0 m

Machine
GEO 305 (2808)

Opérateur
GIRARDON M

Cote fin
11.2 m

Outil de forage
Taillant à boutons MFT
Diamètre de l'outil
66 mm





Antémys

GÉOTECHNIQUE
Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP2 BIS

Chantier
ST-COLOMBAN-DES-VILLARDS

Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
13/09/2023

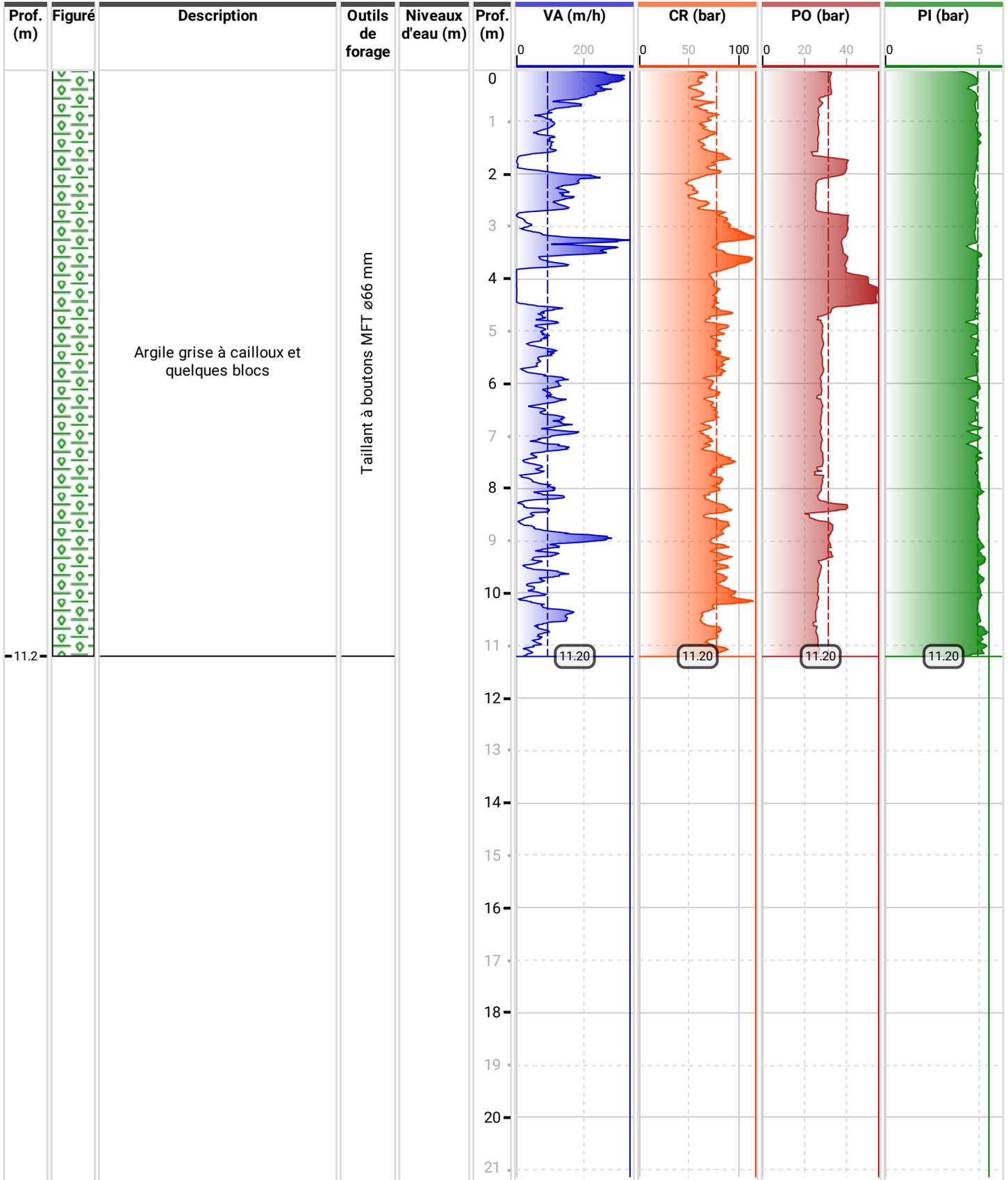
Cote début
0 m

Machine
GEO 305 (2808)

Opérateur
GIRARDON M

Cote fin
11.2 m

Outil de forage
Taillant à boutons MFT
Diamètre de l'outil
66 mm



Argile grise à cailloux et quelques blocs

Taillant à boutons MFT ø66 mm



Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP3

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

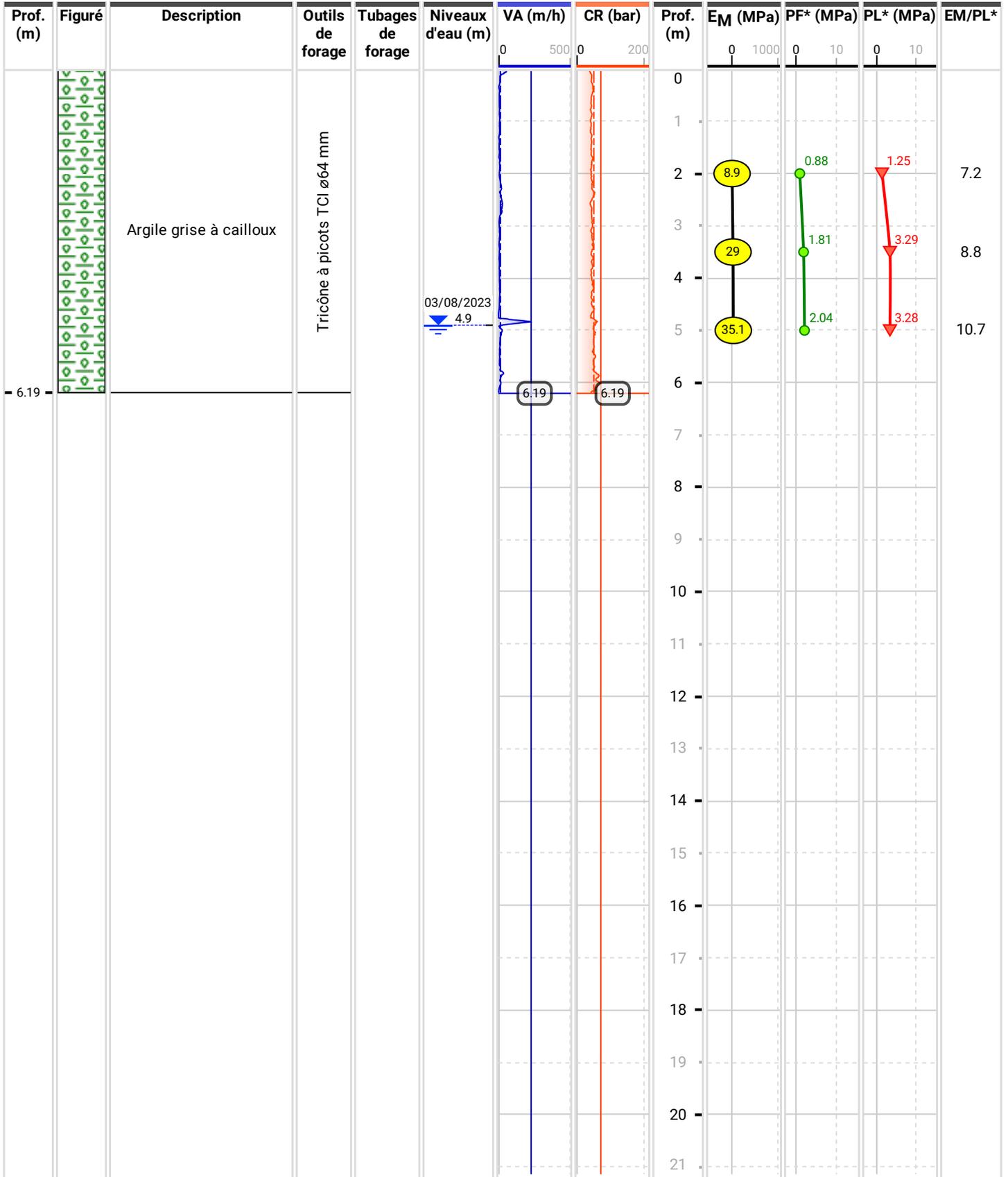
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
03/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
6.19 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP3

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

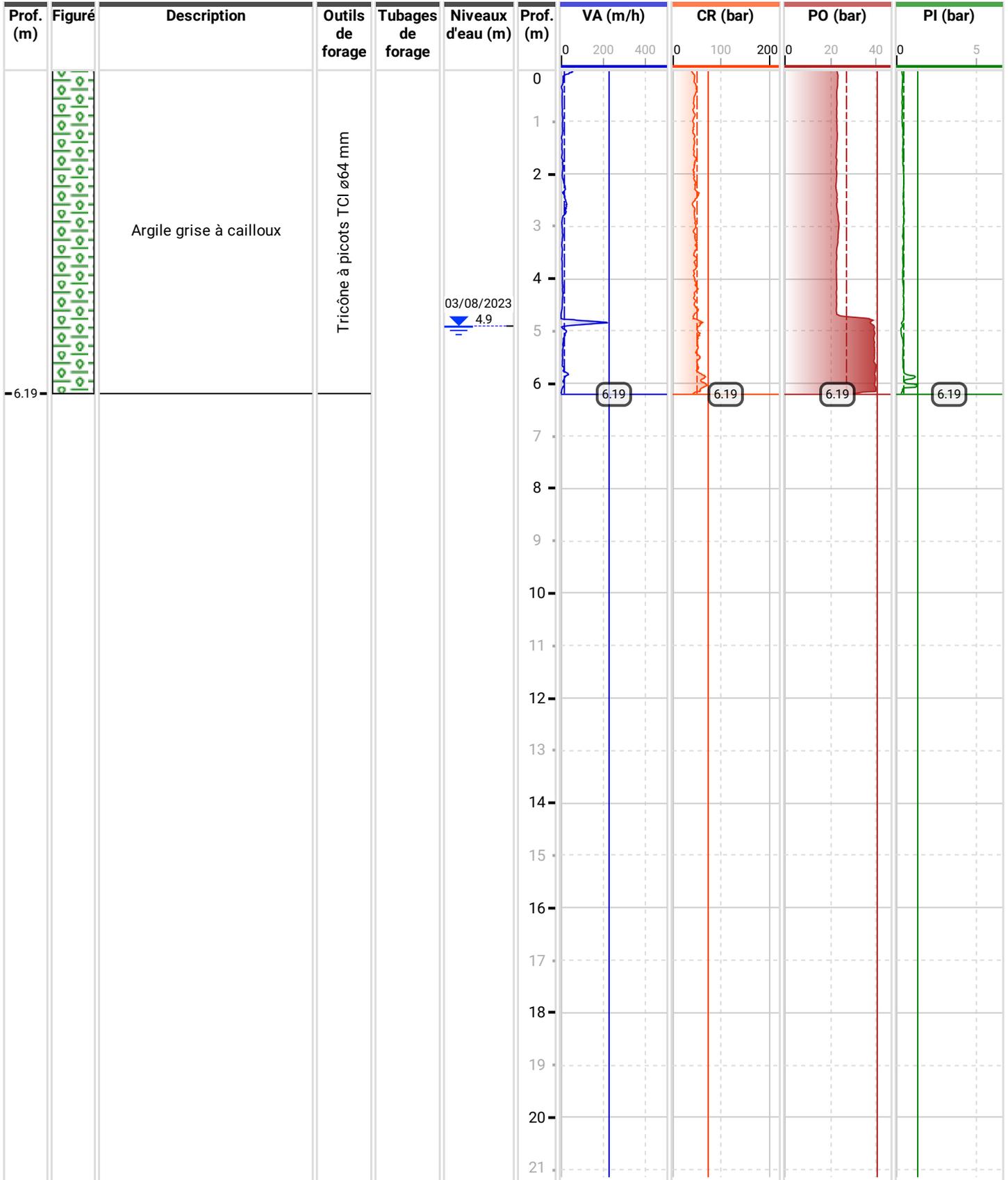
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
03/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
6.19 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP4

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

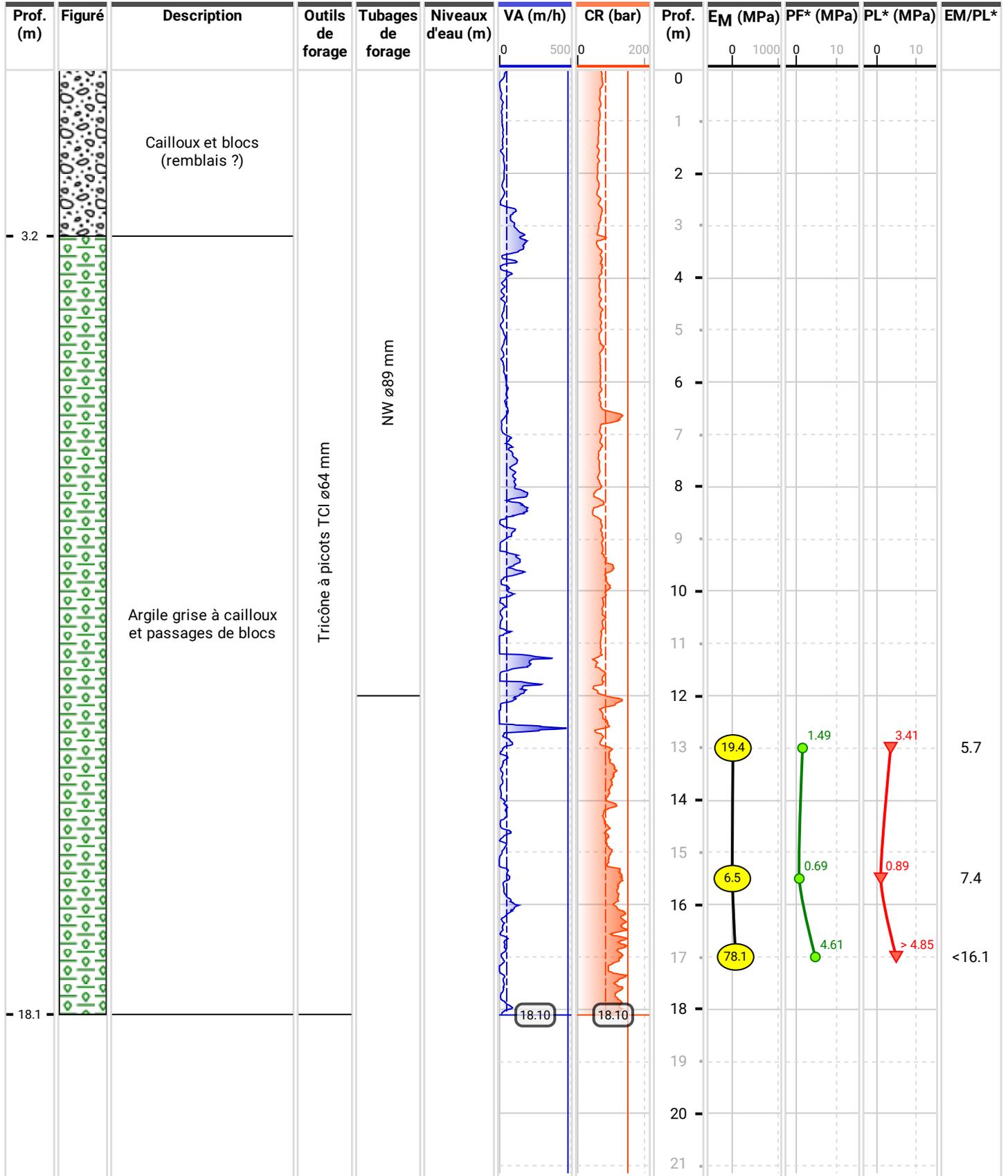
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
01/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
18.1 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP4

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

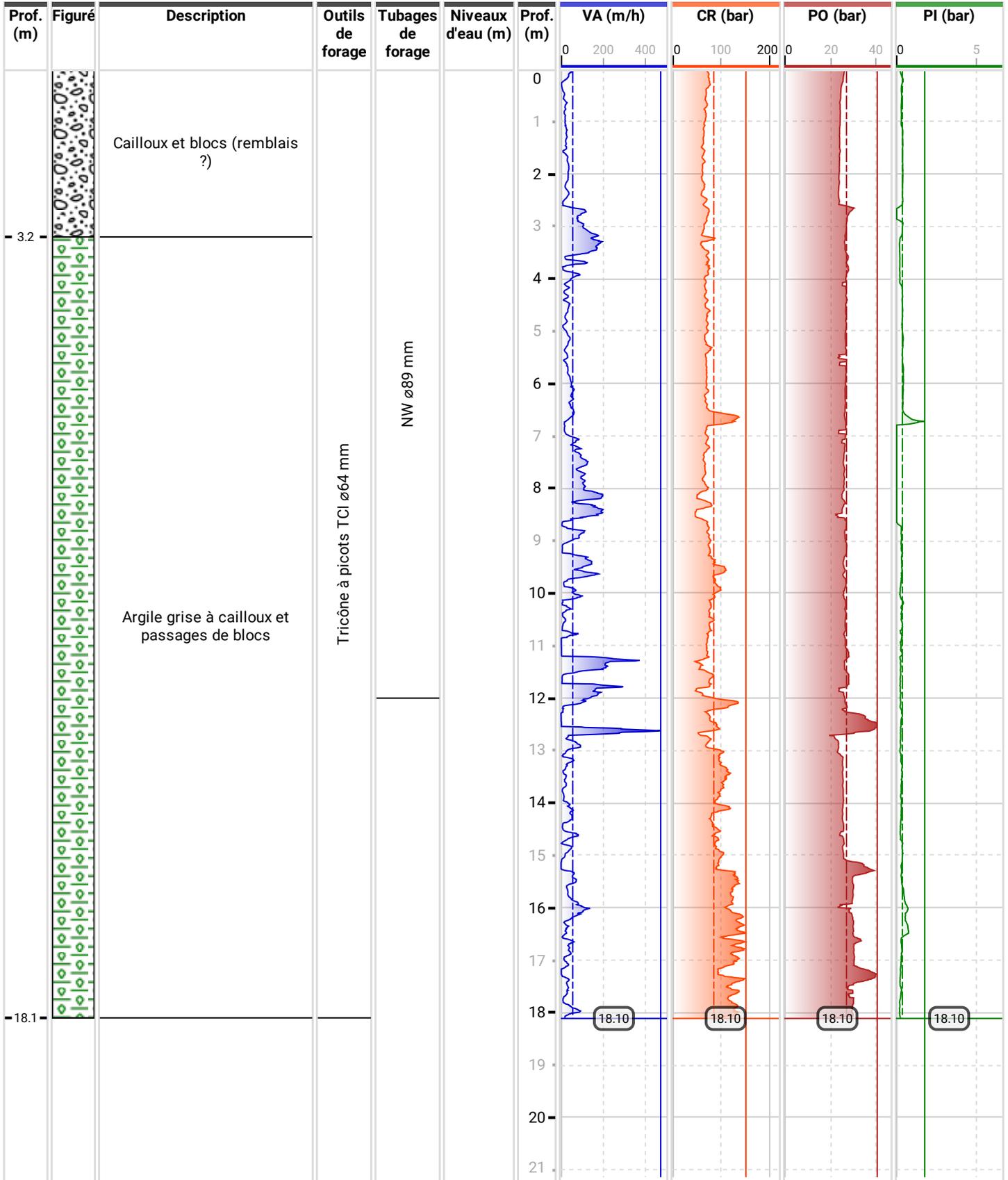
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
01/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
18.1 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP5

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
02/08/2023

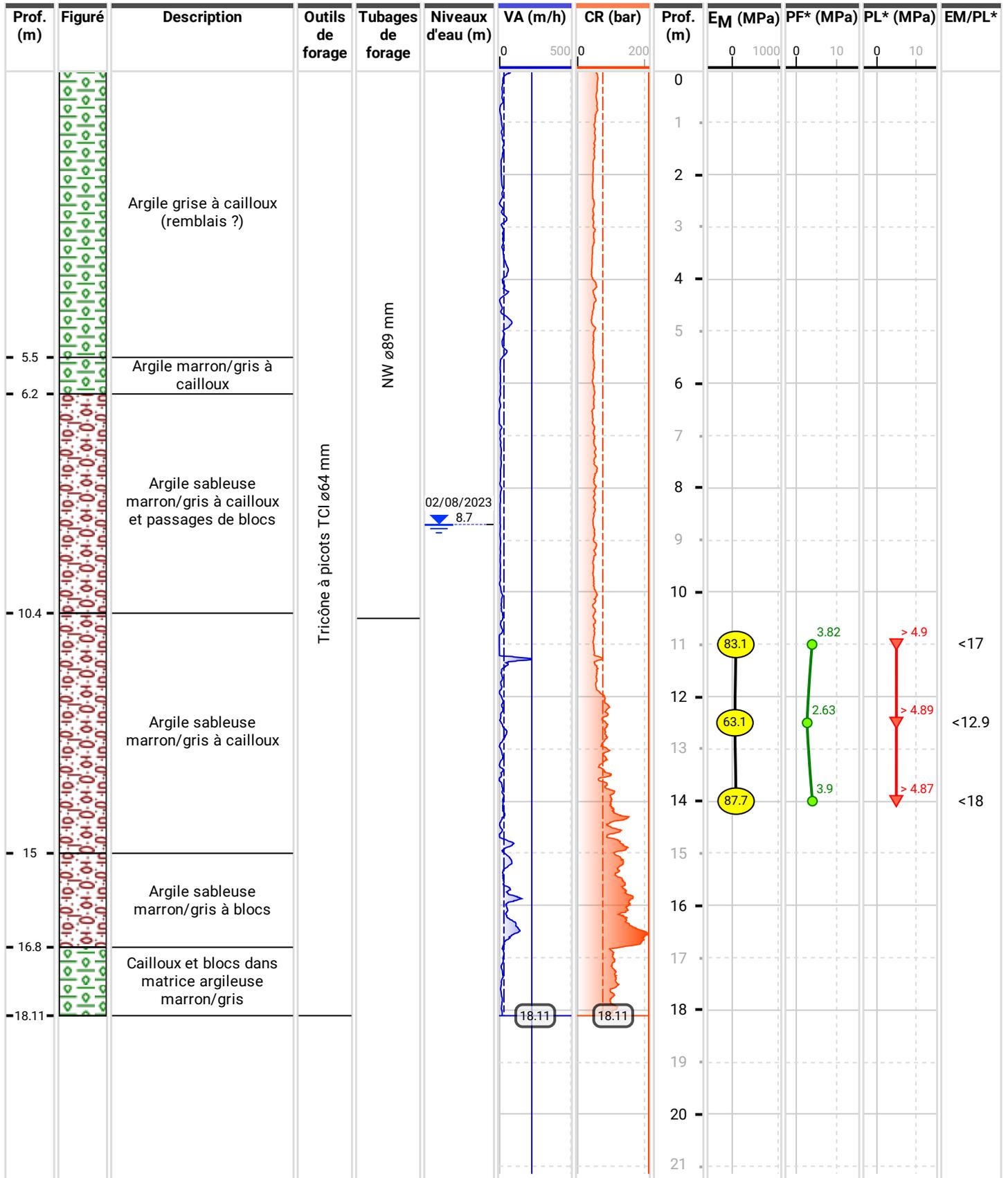
Cote début
0 m

Machine
GEO 305 (2808)

Opérateur
GIRARDON M

Cote fin
18.11 m

Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP5

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

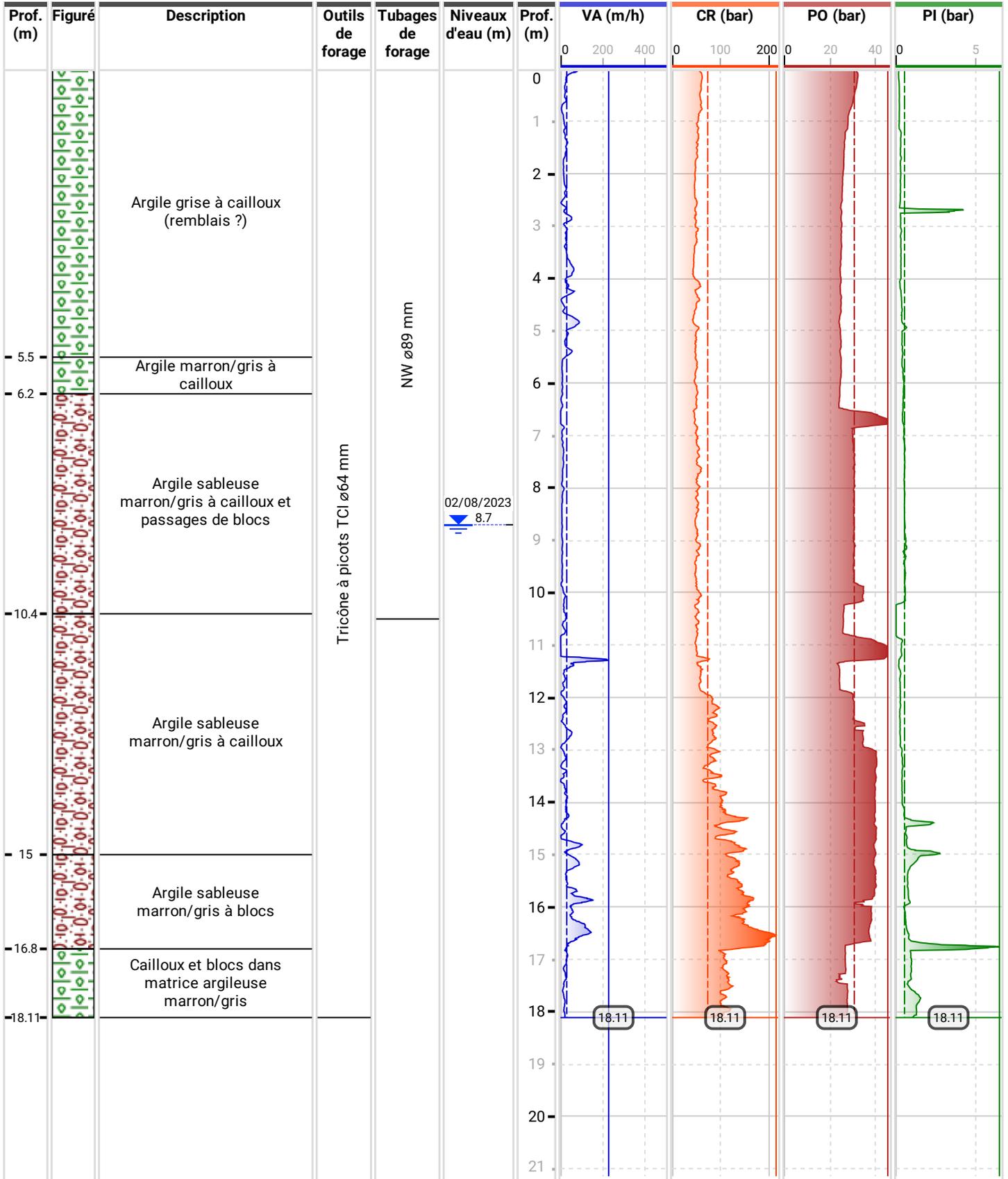
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
02/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
18.11 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP6

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

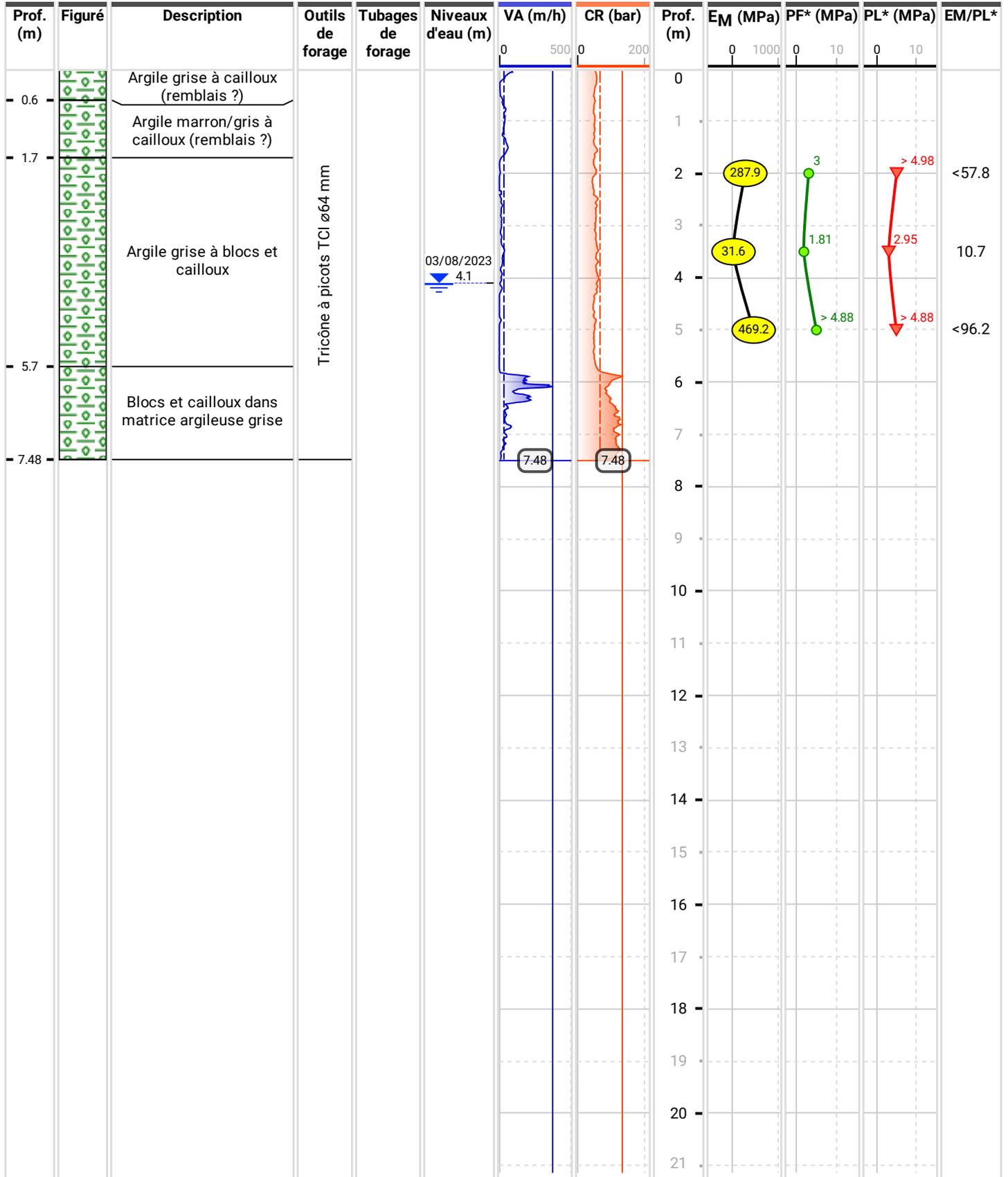
Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
03/08/2023
Opérateur
GIRARDON M

Cote début
0 m
Cote fin
7.48 m

Machine
GEO 305 (2808)
Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm





Antémys
GÉOTECHNIQUE

Rue du Développement - 01090 GUEREINS
Tél : 04.74.60.23.16 - Fax : 04.74.68.17.55

Observation

Forage
SP6

Chantier
ST COLOMBAN DES VILLARDS

Dossier
LY23 13097-11

Sondage pressiométrique

Date de début
03/08/2023

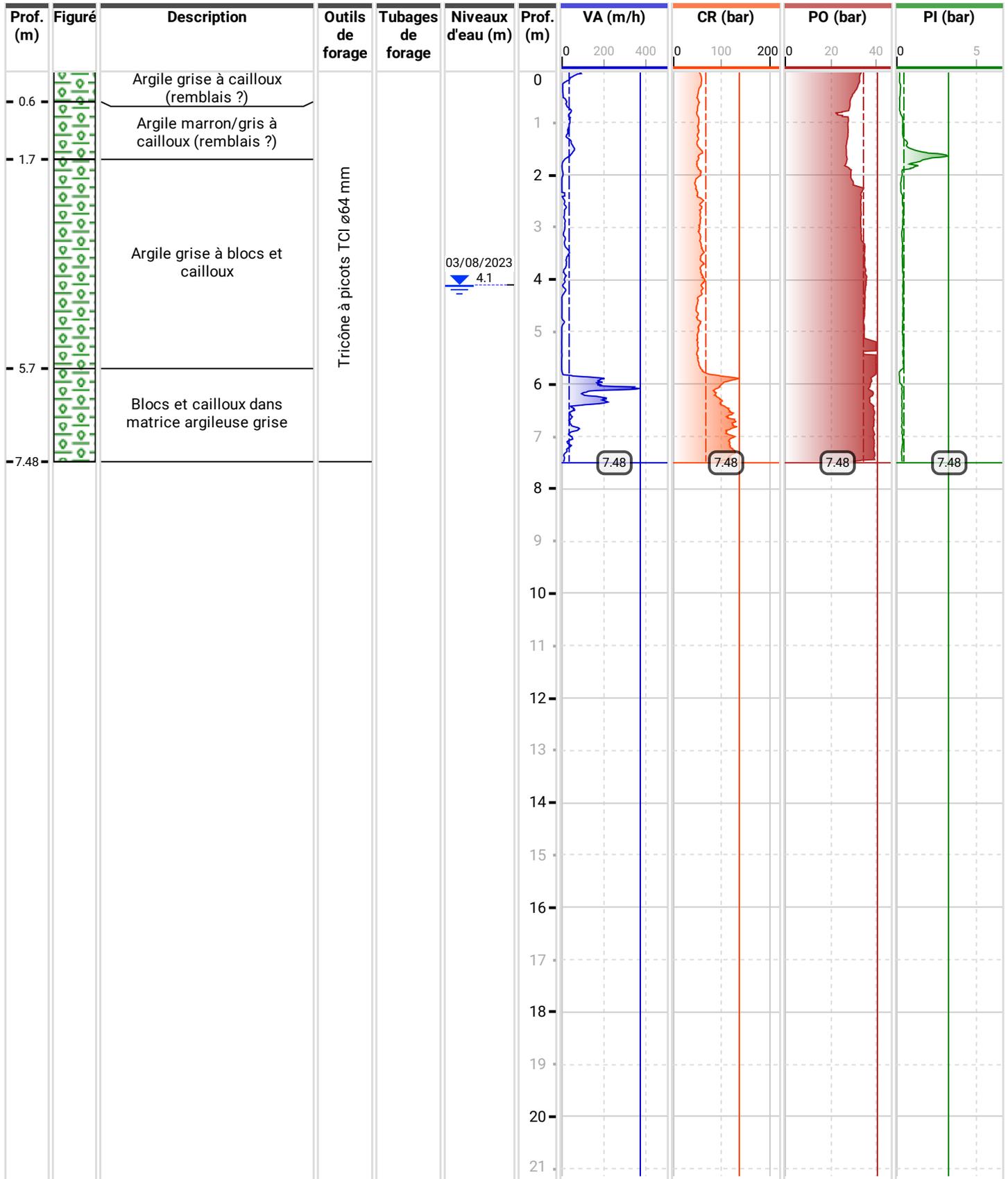
Cote début
0 m

Machine
GEO 305 (2808)

Opérateur
GIRARDON M

Cote fin
7.48 m

Outil de forage
Tricône à picots TCI
Diamètre de l'outil
64 mm



Dossier n° : LB-23238

Date des essais : 16/08/2023

Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS

Opérateur : AN

Site: LA CHAL

Température : 105 °C

Cliant : Pyrite Ingenierie

Matériau à l'essai

Sondage : PP1

Prof. échantillon (m): NC

Prof. prélt (m) : NC

Mode de prélt : Pelle

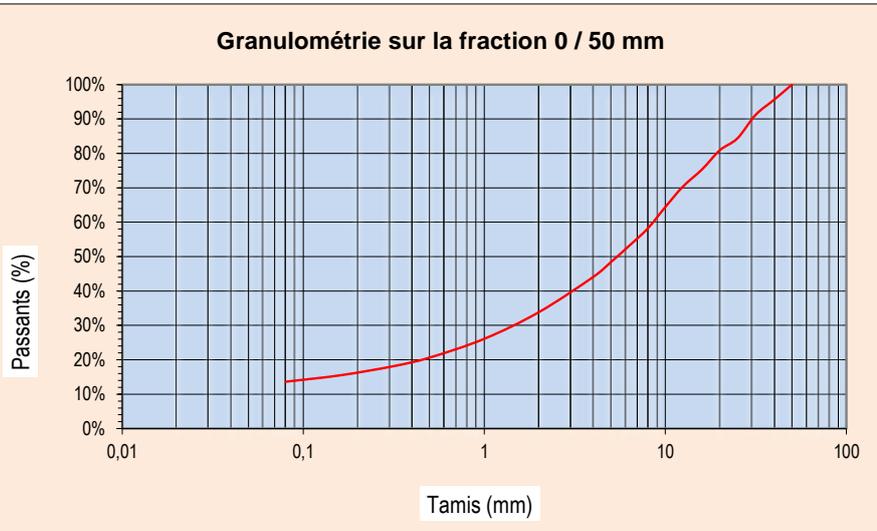
Description visuelle des sols : Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Date prélt : /

Réception n° : 23-08-010

Granularité (Norme NF P 94-056)

D max (mm) = 46	
Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
50	100,0%
20	80,9%
5	48,4%
2	33,8%
0,08	13,6%



Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	0,05

Comportement mécanique

	Norme	Valeur

Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn	NF P94-050	7,6%

Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

CLASSE du SOL

B5

Date : 18/08/2023

Observation :

Date : 18/08/2023

Rédacteur : AN

Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238

Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : LA CHAL

Client : Pyrite Ingenierie

Mode de prêt : Pelle

Date prêt : /

Réception n° : 23-08-010

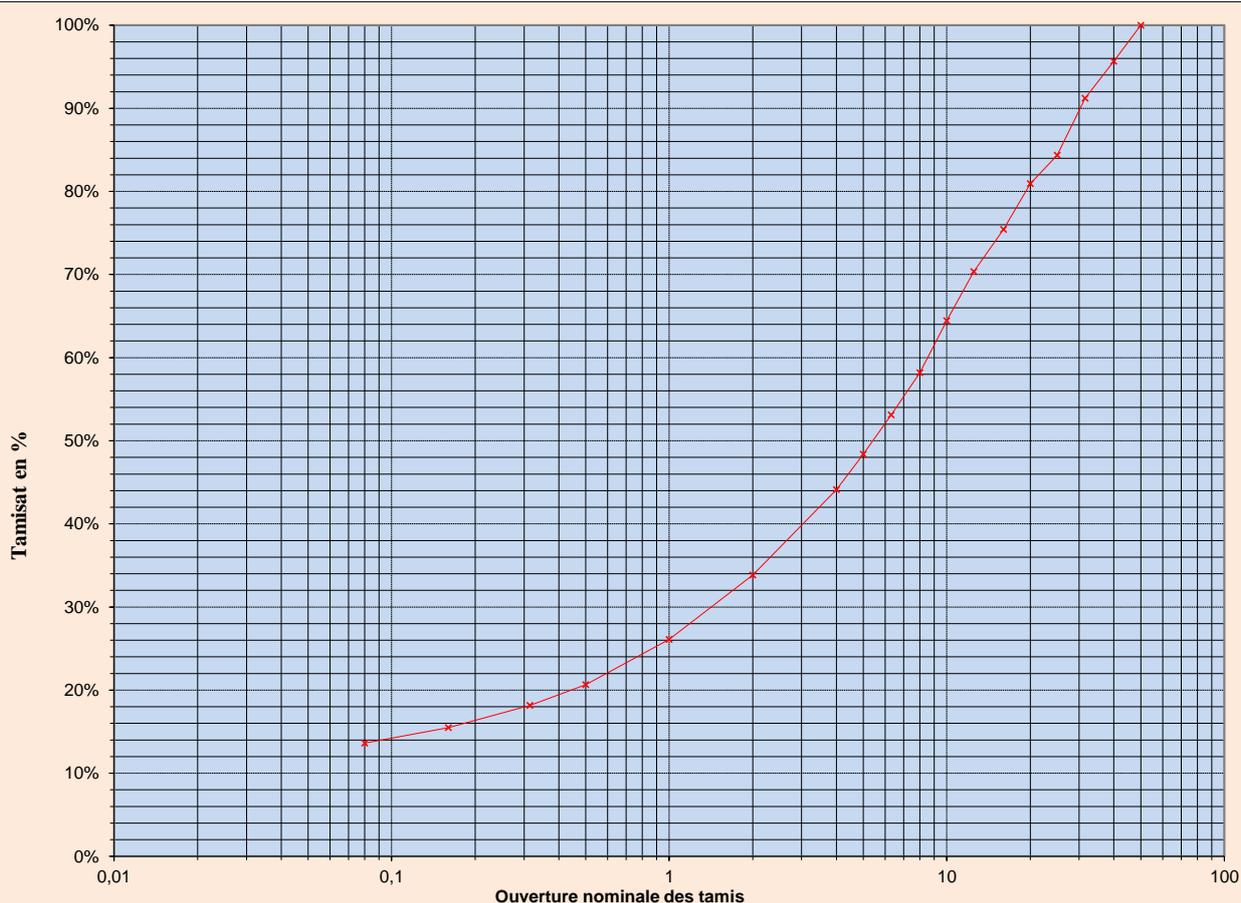
Date des essais : 18/08/2023

Opérateur : AN

Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP1
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise



dm : 40 mm (plus grand tamis utilisé)

Dmax : 46 mm (diam. max du plus gros grain)

Teneur en eau 7,6 %

Tamis d (mm)	125	100	80	63	50	40	31,5	25
Passant %	100%	100%	100%	100%	100,0%	95,7%	91,2%	84,4%
Tamis d (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
Passant %	80,9%	75,4%	70,3%	64,4%	58,2%	53,1%	48,4%	44,1%
Tamis d (mm)	2	1	0,5	0,315	0,16	0,08		
Passant %	33,8%	26,1%	20,7%	18,1%	15,5%	13,6%		

Date : 18/08/2023

Rédacteur : AN

Observation :

Date : 18/08/2023

Vérificateur : APA



Procès-verbal d'essai

Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol

Norme française NF P 94-068, Octobre 1998

Dossier n° : LB-23238
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
Site : LA CHAL
Client : Pyrite Ingenierie
Mode de prêt : Pelle
Date prêt : /
Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 17/08/2023
Opérateur : AN
Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP1
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Détermination de la teneur en eau pondérale D<5mm

Masse de la tare (g)	10,9
Masse totale humide (g)	152,3
Masse totale sèche (g)	138,1
Masse de l'eau (g)	14,2
Masse du sol sec (g)	127,2
Teneur en eau %	11,1%

Echantillonnage

Masse humide (m1 en g)	56,6
Masse sèche (m0 en g)	50,9

Volume V de solution de bleu de méthylène à 10g/l injecté (cm³ ou ml)

5

Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
Fraction 0/5	48,4%

VBS

0,05

Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN

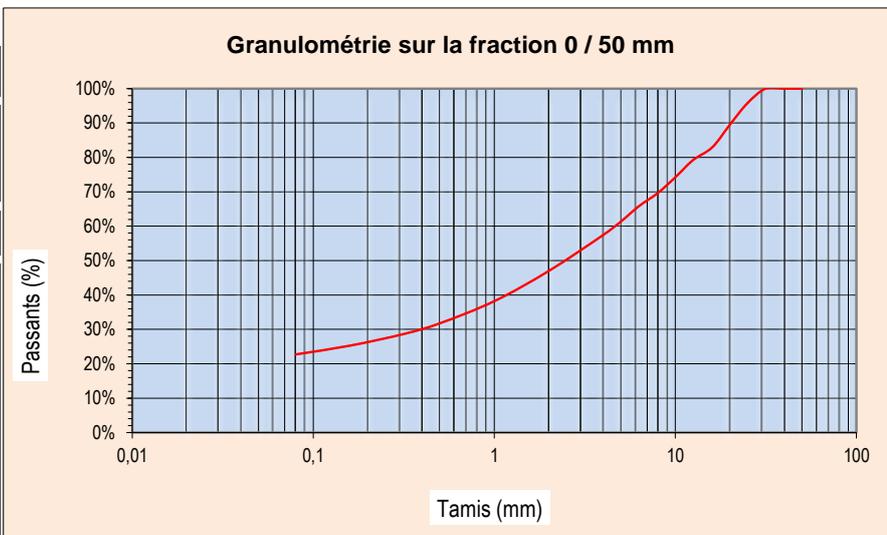
Observations :

Date : 18/08/2023
Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238	Date des essais : 16/08/2023
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS	Opérateur : AN
Site: LA CHAL	Température : 105 °C
Client : Pyrite Ingenierie	Matériau à l'essai
Mode de prélt : Pelle	Sondage : PP3+PP4
Date prélt : /	Prof. échantillon (m): NC
Réception n° : 23-08-010	Prof. prélt (m) : NC
	Description visuelle des sols : Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Granularité (Norme NF P 94-056)

D max (mm) = 30	
Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
50	100,0%
20	89,5%
5	61,3%
2	47,0%
0,08	22,7%



Argilosité	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	0,09

Comportement mécanique	Norme	Valeur

Etat hydrique	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn	NF P94-050	7,2%

Etat hydrique (suite)	Norme	Valeur

CLASSE du SOL

B5

Date : 18/08/2023	Observation :	Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN		Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238

Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : LA CHAL

Client : Pyrite Ingenierie

Mode de prêt : Pelle

Date prêt : /

Réception n° : 23-08-010

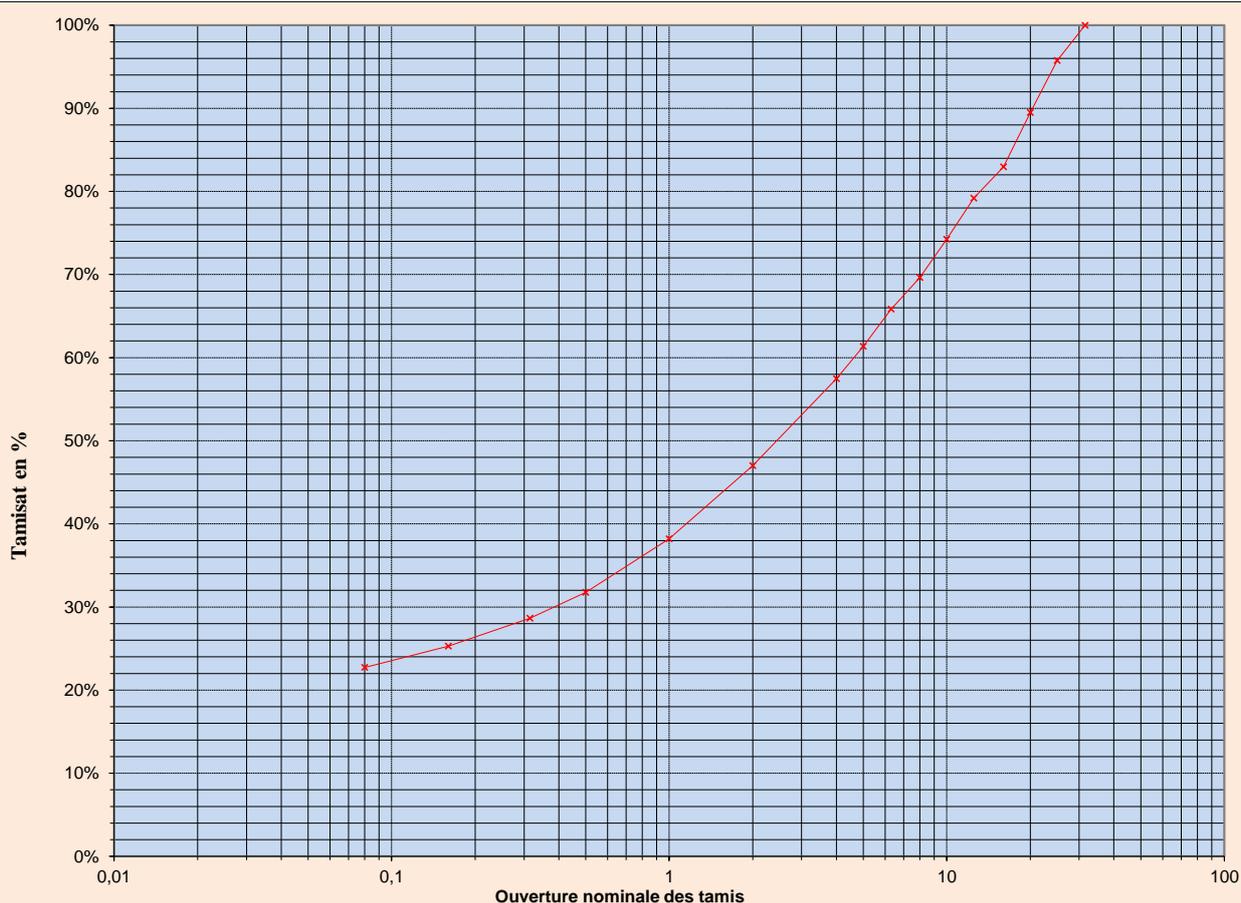
Date des essais : 18/08/2023

Opérateur : AN

Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP3+PP4
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise



dm : 25 mm (plus grand tamis utilisé)	
Dmax : 30 mm (diam. max du plus gros grain)	

Teneur en eau 7,2 %

Tamis d (mm)	125	100	80	63	50	40	31,5	25
Passant %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%	95,8%
Tamis d (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
Passant %	89,5%	83,0%	79,2%	74,2%	69,7%	65,8%	61,3%	57,5%
Tamis d (mm)	2	1	0,5	0,315	0,16	0,08		
Passant %	47,0%	38,2%	31,8%	28,6%	25,3%	22,7%		

Date : 18/08/2023

Rédacteur : AN

Observation :

Date : 18/08/2023

Vérificateur : APA



Procès-verbal d'essai

Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol

Norme française NF P 94-068, Octobre 1998

Dossier n° : LB-23238
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
Site : LA CHAL
Client : Pyrite Ingenierie
Mode de prêt : Pelle
Date prêt : /
Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 17/08/2023
Opérateur : AN
Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP3+PP4
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Détermination de la teneur en eau pondérale D<5mm

Masse de la tare (g)	10,8
Masse totale humide (g)	746,7
Masse totale sèche (g)	676,5
Masse de l'eau (g)	70,2
Masse du sol sec (g)	665,7
Teneur en eau %	10,5%

Echantillonnage

Masse humide (m1 en g)	45,2
Masse sèche (m0 en g)	40,8

Volume V de solution de bleu de méthylène à 10g/l injecté (cm³ ou ml)

6

Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
Fraction 0/5	61,3%

VBS

0,09

Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN

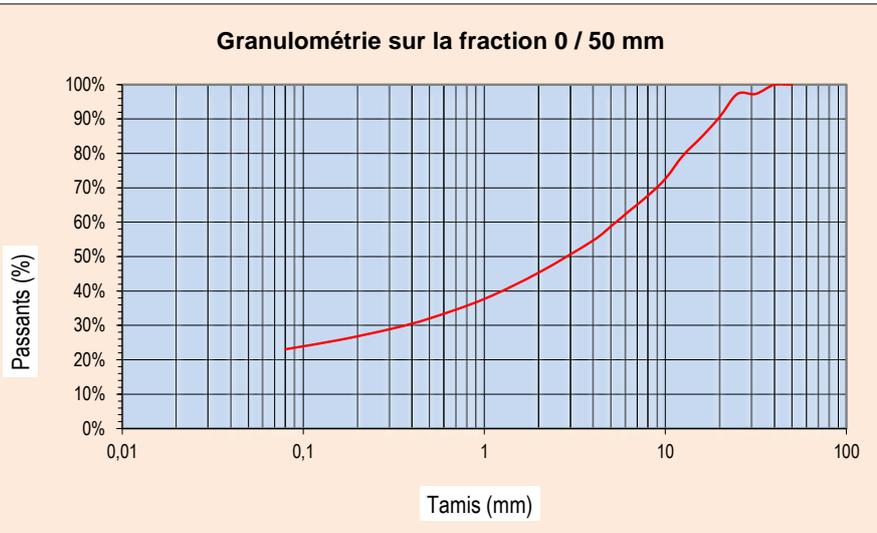
Observations :

Date : 18/08/2023
Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238	Date des essais : 16/08/2023										
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS	Opérateur : AN										
Site: LA CHAL	Température : 105 °C										
Client : Pyrite Ingenierie	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Matériau à l'essai</th> </tr> <tr> <td>Sondage :</td> <td>PP5</td> </tr> <tr> <td>Prof. échantillon (m):</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>Prof. prélt (m) :</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>Description visuelle des sols :</td> <td>Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise</td> </tr> </table>	Matériau à l'essai		Sondage :	PP5	Prof. échantillon (m):	NC	Prof. prélt (m) :	NC	Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise
Matériau à l'essai											
Sondage :		PP5									
Prof. échantillon (m):		NC									
Prof. prélt (m) :		NC									
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise										
Mode de prélt : Pelle											
Date prélt : /											
Réception n° : 23-08-010											

Granularité (Norme NF P 94-056)

D max (mm) = 38	
Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
50	100,0%
20	90,7%
5	58,8%
2	45,4%
0,08	23,1%



Argilosité	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	0,08

Comportement mécanique	Norme	Valeur

Etat hydrique	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn	NF P94-050	7,0%

Etat hydrique (suite)	Norme	Valeur

CLASSE du SOL

B5

Date : 18/08/2023	Observation :	Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN		Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238

Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : LA CHAL

Client : Pyrite Ingenierie

Mode de prêt : Pelle

Date prêt : /

Réception n° : 23-08-010

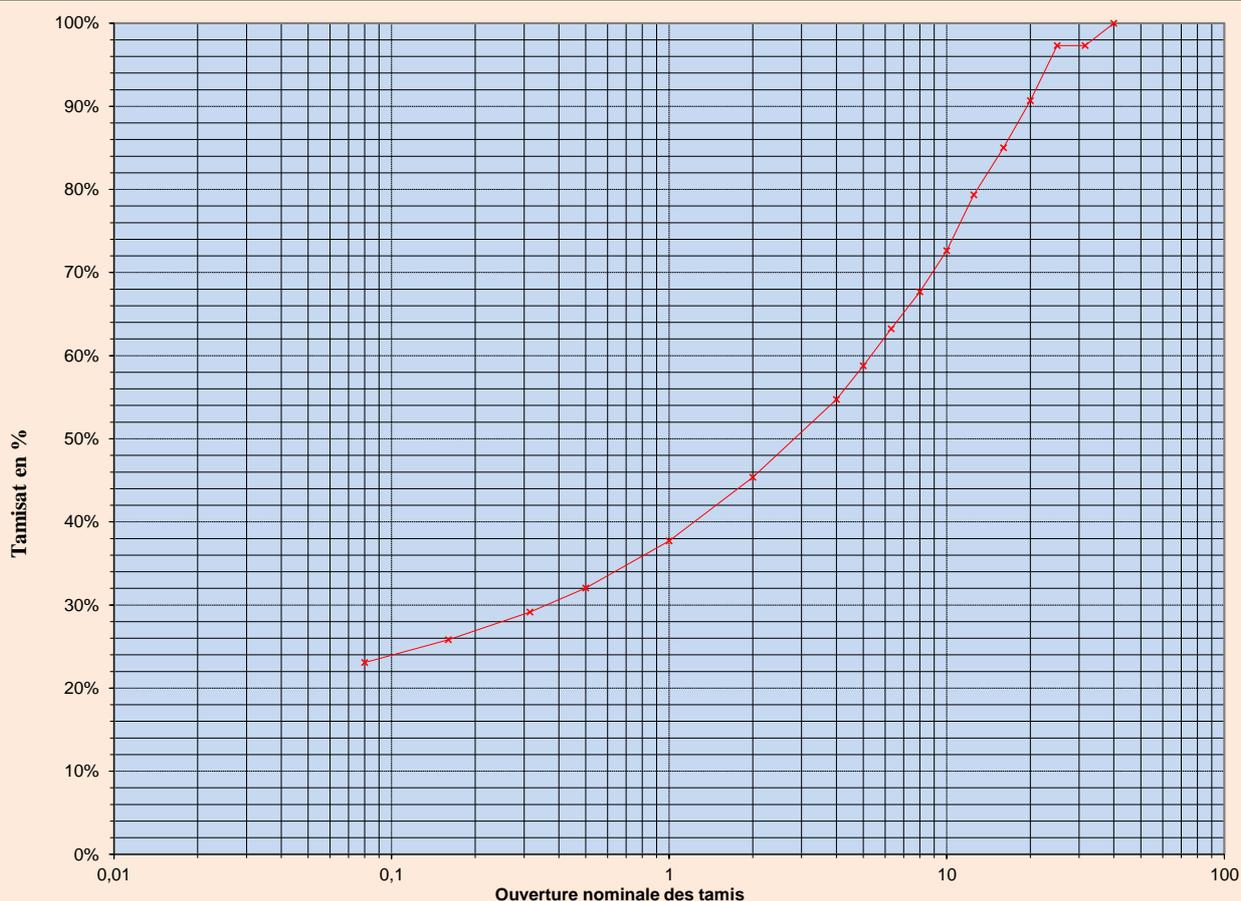
Date des essais : 18/08/2023

Opérateur : AN

Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP5
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise



dm : 31,5 mm (plus grand tamis utilisé)

Dmax : 38 mm (diam. max du plus gros grain)

Teneur en eau 7,0 %

Tamis d (mm)	125	100	80	63	50	40	31,5	25
Passant %	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%	97,3%	97,3%
Tamis d (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
Passant %	90,7%	85,0%	79,4%	72,6%	67,7%	63,2%	58,8%	54,7%
Tamis d (mm)	2	1	0,5	0,315	0,16	0,08		
Passant %	45,4%	37,7%	32,0%	29,2%	25,8%	23,1%		

Date : 18/08/2023

Rédacteur : AN

Observation :

Date : 18/08/2023

Vérificateur : APA



Procès-verbal d'essai

Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol

Norme française NF P 94-068, Octobre 1998

Dossier n° : LB-23238
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
Site : LA CHAL
Client : Pyrite Ingenierie
Mode de prêt : Pelle
Date prêt : /
Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 17/08/2023
Opérateur : AN
Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP5
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Détermination de la teneur en eau pondérale D<5mm

Masse de la tare (g)	10,8
Masse totale humide (g)	601,4
Masse totale sèche (g)	543,4
Masse de l'eau (g)	58,0
Masse du sol sec (g)	532,7
Teneur en eau %	10,9%

Echantillonnage

Masse humide (m1 en g)	48,4
Masse sèche (m0 en g)	43,6

Volume V de solution de bleu de méthylène à 10g/l injecté (cm³ ou ml)

6

Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
Fraction 0/5	58,8%

VBS

0,08

Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN

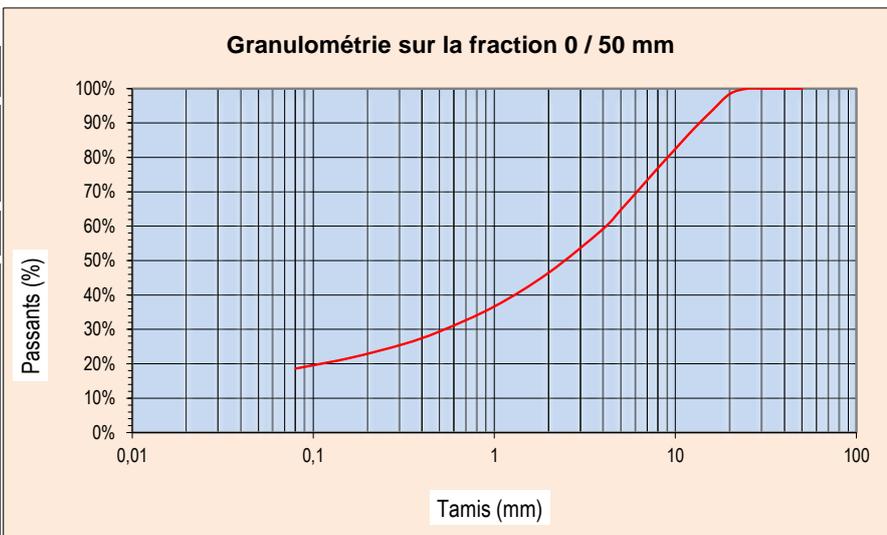
Observations :

Date : 18/08/2023
Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238	Date des essais : 16/08/2023
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS	Opérateur : AN
Site: LA CHAL	Température : 105 °C
Client : Pyrite Ingenierie	Matériau à l'essai
Mode de prélt : Pelle	Sondage : PP6+PP7
Date prélt : /	Prof. échantillon (m): NC
Réception n° : 23-08-010	Prof. prélt (m) : NC
	Description visuelle des sols : Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Granularité (Norme NF P 94-056)

D max (mm) = 56	
Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	93,9%
Sur fraction 0/50	
50	100,0%
20	98,5%
5	64,8%
2	46,5%
0,08	18,6%



Argilosité	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	0,05

Comportement mécanique	Norme	Valeur

Etat hydrique	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn	NF P94-050	7,8%

Etat hydrique (suite)	Norme	Valeur

CLASSE du SOL

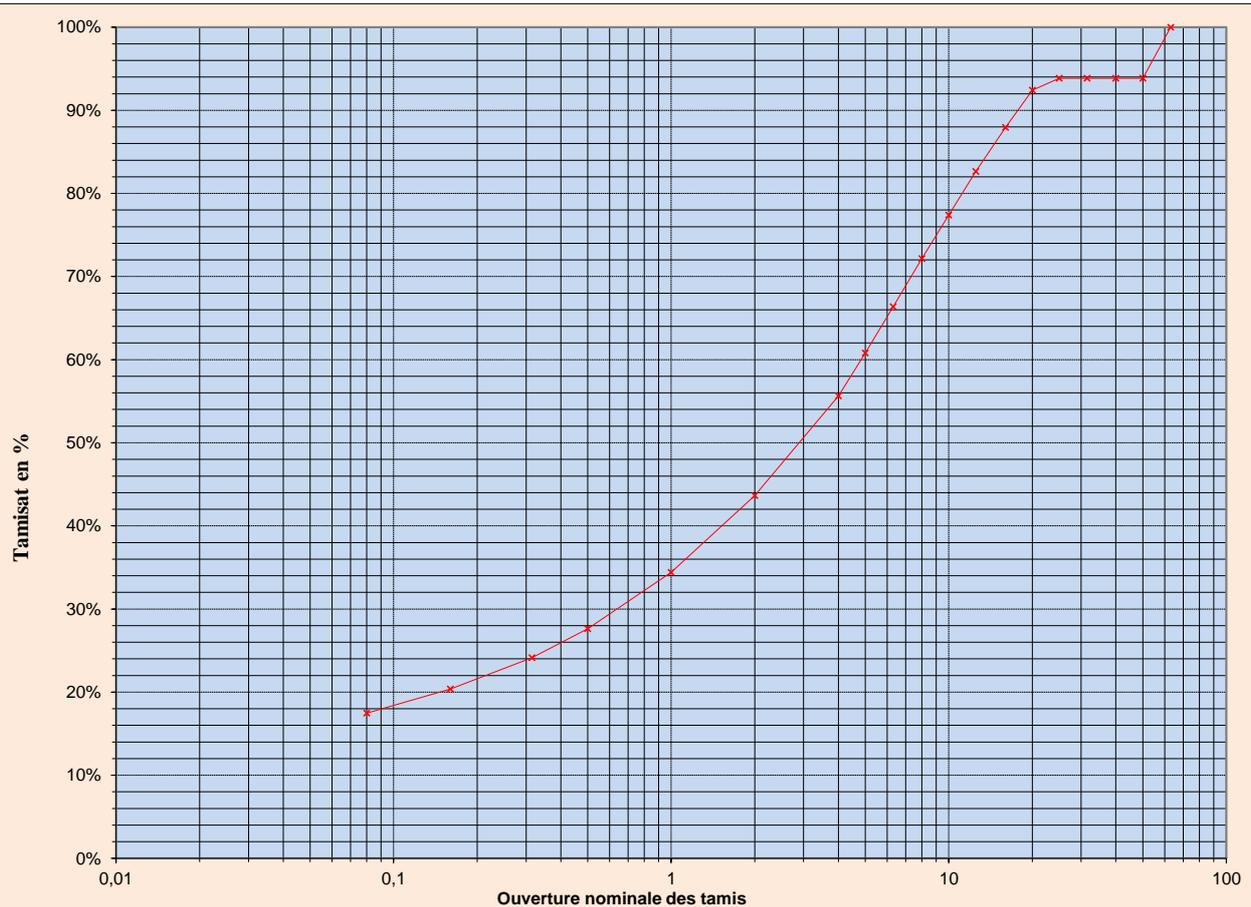
C1B5

Date : 18/08/2023	Observation :	Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN		Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238
 Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
 Site : LA CHAL
 Client : Pyrite Ingenierie
 Mode de prêt : Pelle
 Date prêt : /
 Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 18/08/2023
 Opérateur : AN
 Température : 105 °C

Matériau à l'essai	
Sondage :	PP6+PP7
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise



dm : 50 mm (plus grand tamis utilisé)
Dmax : 56 mm (diam. max du plus gros grain)

Teneur en eau	7,8 %
---------------	-------

Tamis d (mm)	125	100	80	63	50	40	31,5	25
Passant %	100%	100%	100%	100,0%	93,9%	93,9%	93,9%	93,9%
Tamis d (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
Passant %	92,4%	87,9%	82,7%	77,4%	72,2%	66,4%	60,8%	55,6%
Tamis d (mm)	2	1	0,5	0,315	0,16	0,08		
Passant %	43,6%	34,4%	27,6%	24,1%	20,4%	17,5%		

Date : 18/08/2023
 Rédacteur : AN

Observation :

Date : 18/08/2023
 Vérificateur : APA



Procès-verbal d'essai

Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol

Norme française NF P 94-068, Octobre 1998

Dossier n° : LB-23238
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
Site : LA CHAL
Client : Pyrite Ingenierie
Mode de prêt : Pelle
Date prêt : /
Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 17/08/2023
Opérateur : AN
Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP6+PP7
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Détermination de la teneur en eau pondérale D<5mm

Masse de la tare (g)	10,8
Masse totale humide (g)	344,1
Masse totale sèche (g)	310,8
Masse de l'eau (g)	33,4
Masse du sol sec (g)	300,0
Teneur en eau %	11,1%

Echantillonnage

Masse humide (m1 en g)	66,2
Masse sèche (m0 en g)	59,6

Volume V de solution de bleu de méthylène à 10g/l injecté (cm³ ou ml)

5

Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
Fraction 0/5	64,8%

VBS

0,05

Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN

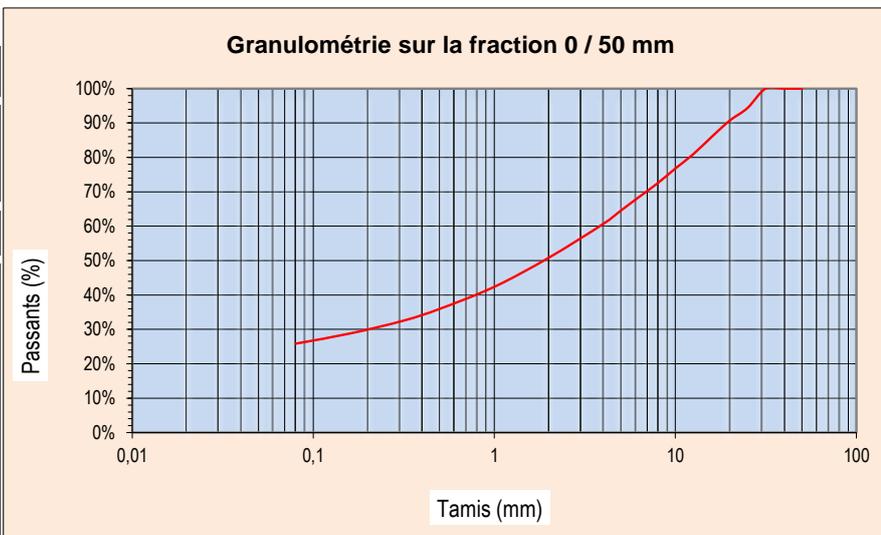
Observations :

Date : 18/08/2023
Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238	Date des essais : 16/08/2023
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS	Opérateur : AN
Site: LA CHAL	Température : 105 °C
Client : Pyrite Ingenierie	Matériau à l'essai
Mode de prélt : Pelle	Sondage : PP8
Date prélt : /	Prof. échantillon (m): NC
Réception n° : 23-08-010	Prof. prélt (m) : NC
	Description visuelle des sols : Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Granularité (Norme NF P 94-056)

D max (mm) = 29	
Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
50	100,0%
20	90,7%
5	64,5%
2	50,8%
0,08	25,9%



Argilosité	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	0,09

Comportement mécanique	Norme	Valeur

Etat hydrique	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn	NF P94-050	8,0%

Etat hydrique (suite)	Norme	Valeur

CLASSE du SOL

B5

Date : 18/08/2023	Observation :	Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN		Vérificateur : APA

Dossier n° : LB-23238

Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : LA CHAL

Client : Pyrite Ingenierie

Mode de prêt : Pelle

Date prêt : /

Réception n° : 23-08-010

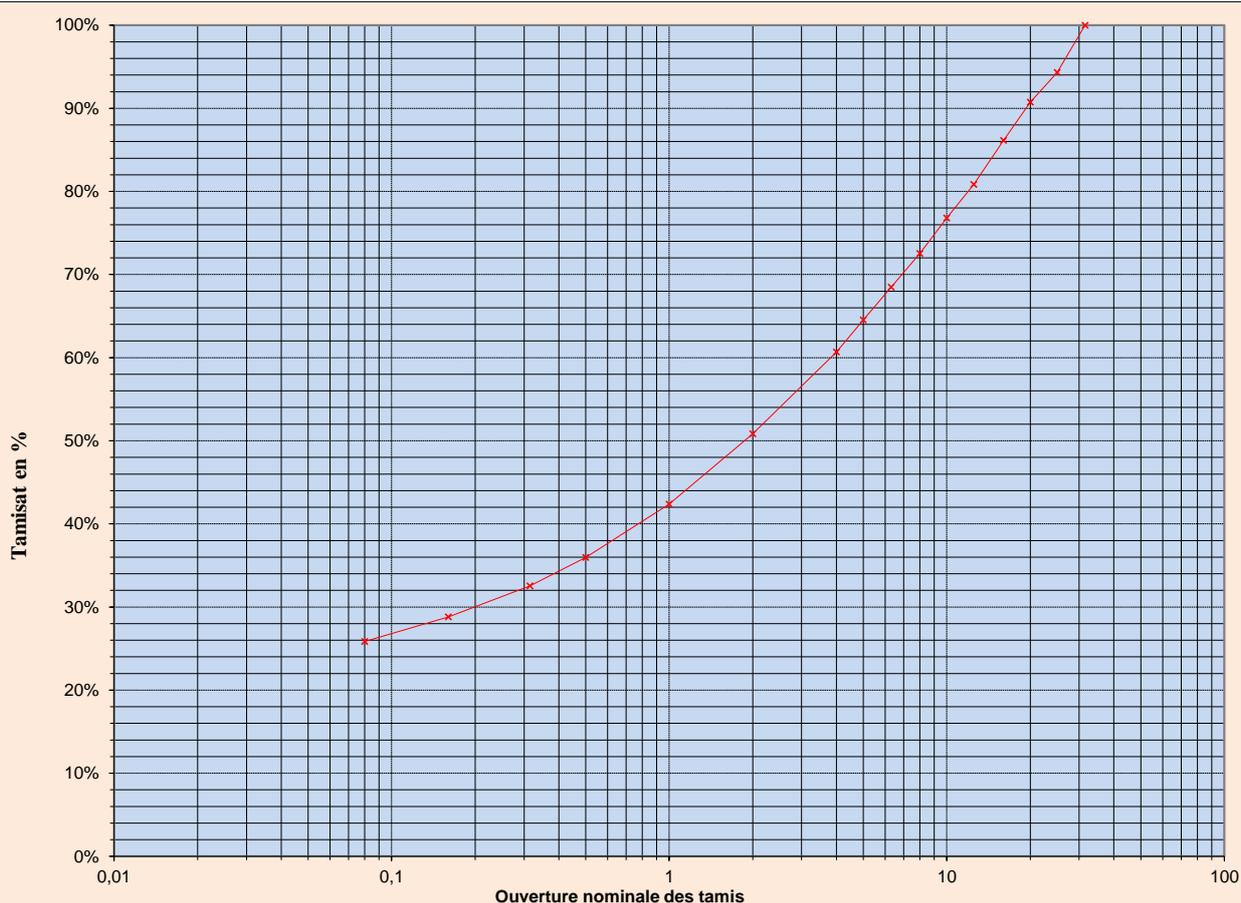
Date des essais : 18/08/2023

Opérateur : AN

Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP8
Prof. échantillon (m) :	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise



dm : 25 mm (plus grand tamis utilisé)

Dmax : 29 mm (diam. max du plus gros grain)

Teneur en eau 8,0 %

Tamis d (mm)	125	100	80	63	50	40	31,5	25
Passant %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%	94,3%
Tamis d (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4
Passant %	90,7%	86,2%	80,9%	76,8%	72,5%	68,5%	64,5%	60,7%
Tamis d (mm)	2	1	0,5	0,315	0,16	0,08		
Passant %	50,8%	42,4%	36,0%	32,5%	28,8%	25,9%		

Date : 18/08/2023

Rédacteur : AN

Observation :

Date : 18/08/2023

Vérificateur : APA



Procès-verbal d'essai

Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol

Norme française NF P 94-068, Octobre 1998

Dossier n° : LB-23238
Chantier : ST COLOMBAN DES VILLARDS
Site : LA CHAL
Client : Pyrite Ingenierie
Mode de prêt : Pelle
Date prêt : /
Réception n° : 23-08-010

Date des essais : 17/08/2023
Opérateur : AN
Température : 105 °C

Matériau à l'essai

Sondage :	PP8
Prof. échantillon (m):	NC
Prof. prêt (m) :	NC
Description visuelle des sols :	Graves et blocs schiteux à matrice sablo-silteuse grise

Détermination de la teneur en eau pondérale D<5mm

Masse de la tare (g)	11,8
Masse totale humide (g)	520,0
Masse totale sèche (g)	467,1
Masse de l'eau (g)	53,0
Masse du sol sec (g)	455,3
Teneur en eau %	11,6%

Echantillonnage

Masse humide (m1 en g)	58,8
Masse sèche (m0 en g)	52,6

Volume V de solution de bleu de méthylène à 10g/l injecté (cm³ ou ml)

7

Tamis (en mm)	Passants (en %)
Fraction 0/50	100,0%
Sur fraction 0/50	
Fraction 0/5	64,5%

VBS

0,09

Date : 18/08/2023
Rédacteur : AN

Observations :

Date : 18/08/2023
Vérificateur : APA

Détermination des références de compactage d'un matériau

(Norme française NF P 94-093, octobre 1999)

Sondage : PP1+PP6

Dossier n°: LB-23238

Profondeur : NC

Date d'essai : 29/08/2023

Nature du sol : Graves et blocs schisteux à matrice sablo-silteuse grise

Chantier: ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : La Chal

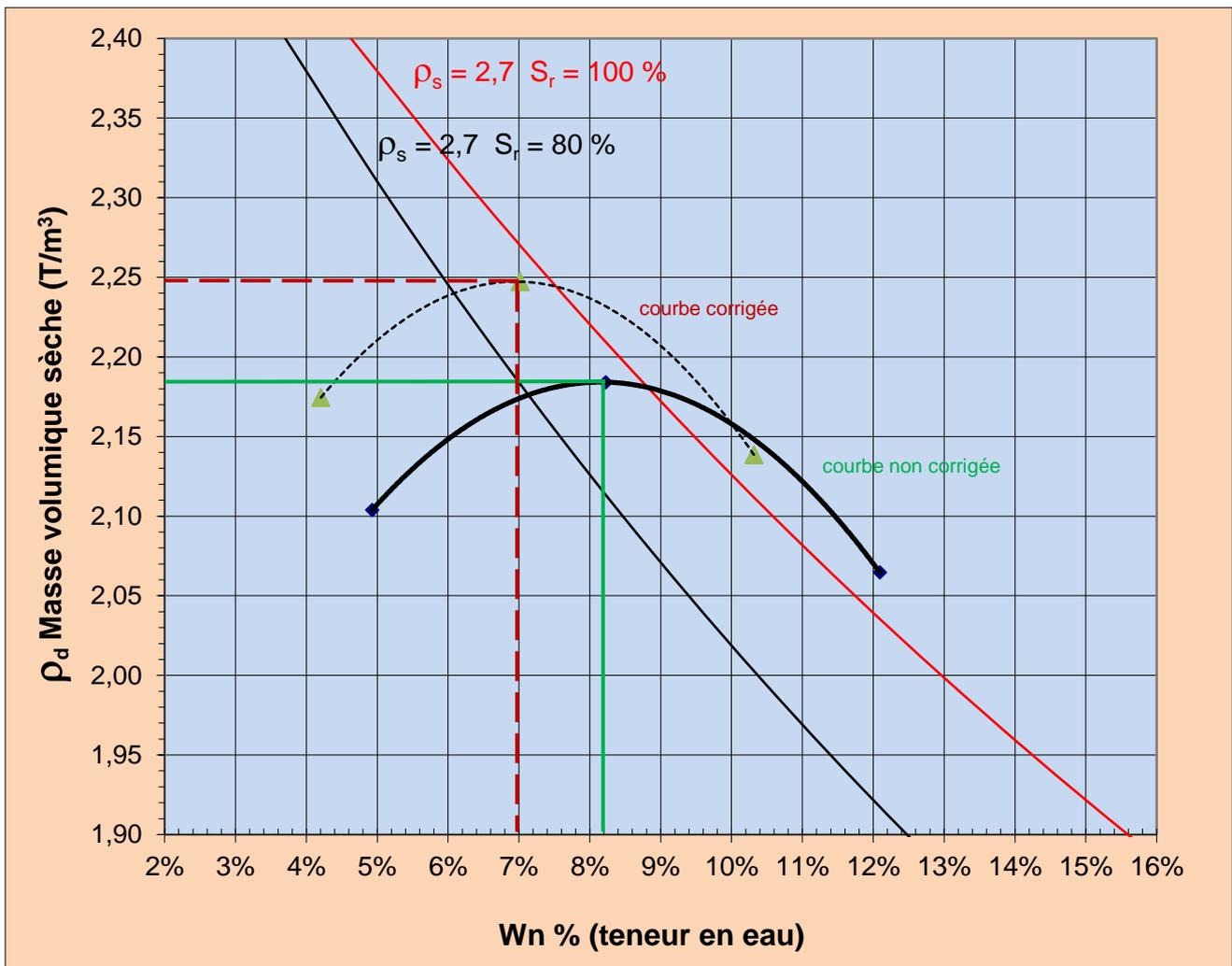
Moule	
Proctor	X
CBR	X



% refus à 5 mm = /
% refus à 20 mm = 14,7%

ρ_s estimée	2,7	T/m3
W_{opn} corrigée =	7,0%	
$\rho_{d\ opn}$ corrigée =	2,25	T/m3

ρ_s estimée	2,7	T/m3
W_{opn} =	8,2%	
$\rho_{d\ opn}$ =	2,18	T/m3



Commentaires :

Date: 30/08/2023
Opérateur: RG/AN

Détermination des références de compactage d'un matériau

(Norme française NF P 94-093, octobre 1999)

Sondage : PP7+PP8

Dossier n°: LB-23238

Profondeur : NC

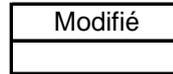
Date d'essai : 29/08/2023

Nature du sol : Graves et blocs schisteux à matrice sablo-silteuse grise

Chantier: ST COLOMBAN DES VILLARDS

Site : La Chal

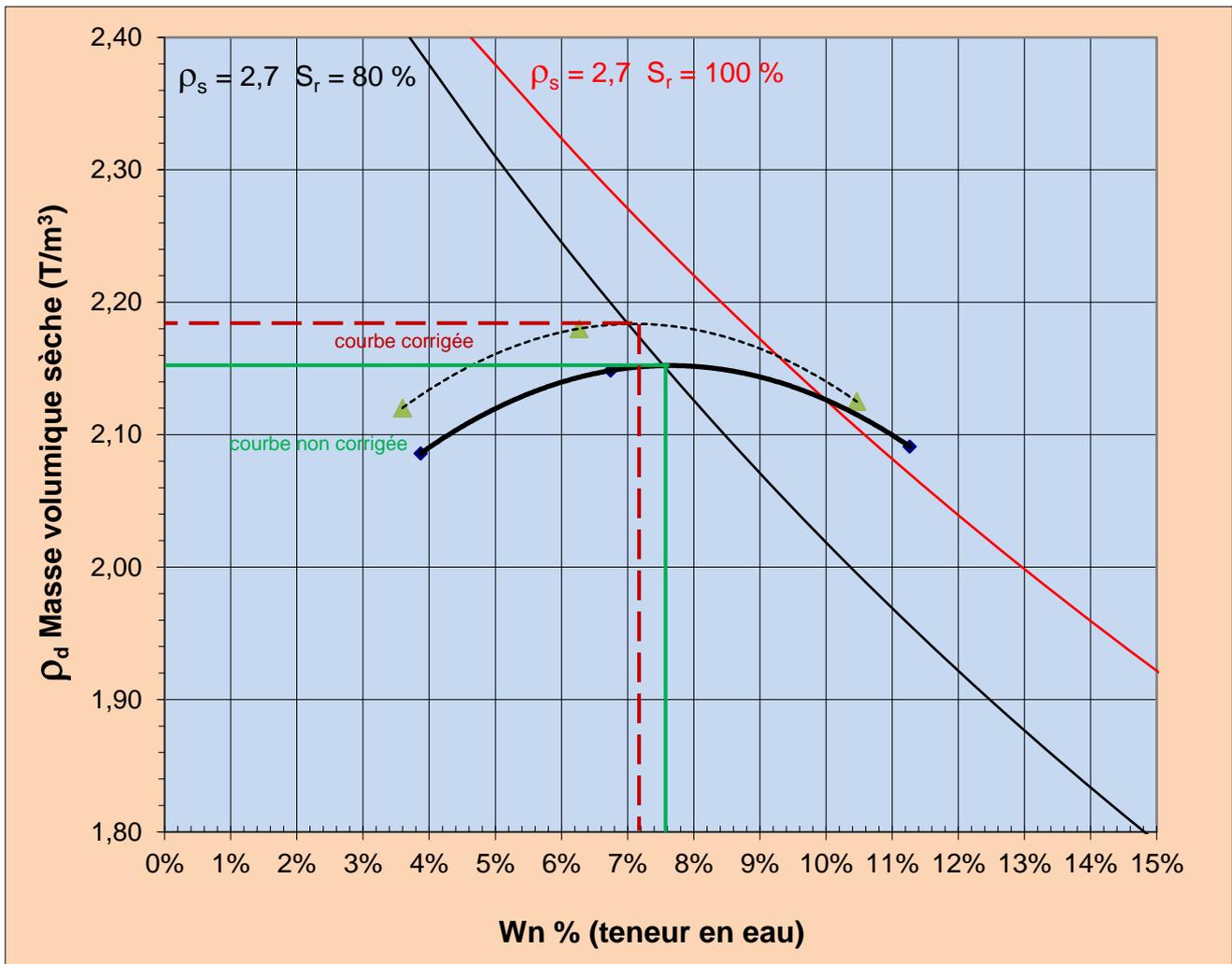
Moule	
Proctor	<input type="checkbox"/>
CBR	<input checked="" type="checkbox"/>



% refus à 5 mm = /
% refus à 20 mm = 7,1%

ρ_s estimée	2,7	T/m3
W_{opn} corrigée =	7,2%	
$\rho_{d\ opn}$ corrigée =	2,18	T/m3

ρ_s estimée	2,7	T/m3
W_{opn} =	7,6%	
$\rho_{d\ opn}$ =	2,15	T/m3



Commentaires :

Date: 30/08/2023
Opérateur: RG/AN



PYRITE INGENIERIE
 Mme Christine GACHET

alpespace 427 voie Thomas Edison
 73800 STE HELENE DU LAC

Le rapport établi ne concerne que l'échantillon soumis à l'essai. Il comporte 3 pages.

La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.

Le laboratoire est responsable de toutes les informations fournies dans le rapport, sauf lorsque l'information est fournie par le client. En outre, le laboratoire ne saurait être tenu pour responsable des informations fournies par le client et affectant la validité des résultats.

Dans le cas où le laboratoire n'a pas été chargé de l'étape d'échantillonnage, les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

Les activités de laboratoire sont réalisées au sein de SOCOR à DECHY, hormis les paramètres éventuellement sous-traités qui sont réalisés chez le sous-traitant, dont l'adresse est indiquée sur son rapport d'essais joint

Les paramètres sous-traités sont identifiés par (*).

La référence de l'échantillon, sa nature, ainsi que la date de prélèvement, si celui-ci a été réalisé par le client, sont des informations fournies par ce dernier.

Identification dossier :	SOC23-8549	Référence contrat :	SOCC23-477
Identification rapport :	SOC2308-504 V1	Identification échantillon :	SOC2308-504
Référence client :	SEDIMENTS RETENUE		
Nature:	Sédiments		
Prélèvement :	Réceptionné le 02/08/2023		
	Prélevé par le client		

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.

Date de début d'analyse le 02/08/2023

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Analyse sur le produit						
<i>Analyses physiques</i>						
Préparation d'une boue à 4mm	-	-				
<i>Analyse de base</i>						
Préparation de l'échantillon - homogénéisation	-	-	NF ISO 11464 et NF ISO 14507			
Humidité totale	22.40	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
Matières sèches	77.60	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
<i>Analyse élémentaire</i>						
Carbone organique total (COT)	0.60	% sec	NF EN 15936 Méthode B			
Analyses physicochimiques						
<i>Analyses physicochimiques de base</i>						
Perte au feu à 550°C	2.6	% sec	Calcination à 550 °C et gravimétrie - NF EN 13039			
Composés organiques						
<i>BTEX</i>						
Benzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Toluène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Ethylbenzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Xylène ortho	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Xylènes (m + p)	<1.0	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
HAP						
Naphtalène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluorène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Phénanthrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Chrysène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (b) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (k) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Dibenzo (a,h) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (g,h,i) pérylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Indéno (1,2,3 cd) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Somme des 16 HAP	0.800	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Hydrocarbures C10-C40						
Indice hydrocarbures C10-C40	<25	mg/kg sec	GC/FID - NF EN 14039			
PCB congénères						
PCB 28	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 52	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 101	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 118	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 138	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 153	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 180	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Somme des 7 PCB	<0.07	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB totaux calculés	<0.30	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Test de lixiviation						
Lixiviation : 1 éluat de 24h						
Concassage à 4 mm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Refus de concassage à 4 mm	0	% brut	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Taux d'humidité	22.4	%	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Prise d'essai mise à lixivier	116	g	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume d'eau ajouté	874	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de début	08/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de fin	09/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Filtration 0.45 µm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume du lixiviat récupéré	840	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Température du lixiviat	conforme	°C	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Métaux						

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Baryum lixiviable	0.066	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Baryum lixiviable	0.66	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	< 0.050	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	<0.5	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	< 0.0005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	<0.005	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.009	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.09	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Mercuré lixiviable	< 0.001	mg/l	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Mercuré lixiviable	<0.01	mg/kg sec	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Analyses physicochimiques de base						
pH à 20°C sur lixiviat	8.05	-	Electrochimie			
Carbone organique (COT) lixiviable	< 3	mg/l	COTmètre - NF EN 1484			
Carbone organique (COT) lixiviable	<30	mg/kg sec	COTmètre - NF EN 1484			
Fraction soluble	68	mg/l	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Fraction soluble	0.068	% sec	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Indice phénol lixiviable	52.0	mg/kg sec	Flux continu (CFA) - NF EN ISO 14402			
Fluorures lixiviables	< 0.05	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Fluorures lixiviables	<0.50	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	4.5	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	45.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	24.9	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	249.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			

CET_3

Analyses à effectuer pour mise en CET classe 3 (inertes)

Claude LAMBRE
 Directeur Laboratoire





PYRITE INGENIERIE
 Mme Christine GACHET

alpespace 427 voie Thomas Edison
 73800 STE HELENE DU LAC

Le rapport établi ne concerne que l'échantillon soumis à l'essai. Il comporte 3 pages.

La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.

Le laboratoire est responsable de toutes les informations fournies dans le rapport, sauf lorsque l'information est fournie par le client. En outre, le laboratoire ne saurait être tenu pour responsable des informations fournies par le client et affectant la validité des résultats.

Dans le cas où le laboratoire n'a pas été chargé de l'étape d'échantillonnage, les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

Les activités de laboratoire sont réalisées au sein de SOCOR à DECHY, hormis les paramètres éventuellement sous-traités qui sont réalisés chez le sous-traitant, dont l'adresse est indiquée sur son rapport d'essais joint

Les paramètres sous-traités sont identifiés par (*).

La référence de l'échantillon, sa nature, ainsi que la date de prélèvement, si celui-ci a été réalisé par le client, sont des informations fournies par ce dernier.

Identification dossier :	SOC23-8549	Référence contrat :	SOCC23-477
Identification rapport :	SOC2308-505 V1	Identification échantillon :	SOC2308-505
Référence client :	PP3/PP4		
Nature:	Sédiments		
Prélèvement :	Réceptionné le 02/08/2023		
	Prélevé par le client		

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.

Date de début d'analyse le 02/08/2023

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Analyse sur le produit						
<i>Analyses physiques</i>						
Préparation d'une boue à 4mm	-	-				
<i>Analyse de base</i>						
Préparation de l'échantillon - homogénéisation	-	-	NF ISO 11464 et NF ISO 14507			
Humidité totale	7.90	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
Matières sèches	92.10	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
<i>Analyse élémentaire</i>						
Carbone organique total (COT)	0.40	% sec	NF EN 15936 Méthode B			
Analyses physicochimiques						
<i>Analyses physicochimiques de base</i>						
Perte au feu à 550°C	2.6	% sec	Calcination à 550 °C et gravimétrie - NF EN 13039			
Composés organiques						
<i>BTEX</i>						
Benzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Toluène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Ethylbenzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Xylène ortho	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Xylènes (m + p)	<1.0	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
HAP						
Naphtalène	0.323	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthène	0.144	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluorène	0.119	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Phénanthrène	0.370	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Chrysène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (b) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (k) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Dibenzo (a,h) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (g,h,i) pérylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Indéno (1,2,3 cd) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Somme des 16 HAP	1.556	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Hydrocarbures C10-C40						
Indice hydrocarbures C10-C40	<25	mg/kg sec	GC/FID - NF EN 14039			
PCB congénères						
PCB 28	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 52	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 101	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 118	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 138	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 153	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 180	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Somme des 7 PCB	<0.07	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB totaux calculés	<0.30	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Test de lixiviation						
Lixiviation : 1 éluat de 24h						
Concassage à 4 mm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Refus de concassage à 4 mm	0	% brut	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Taux d'humidité	7.9	%	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Prise d'essai mise à lixivier	97.7	g	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume d'eau ajouté	892.3	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de début	08/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de fin	09/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Filtration 0.45 µm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume du lixiviat récupéré	840	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Température du lixiviat	conforme	°C	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Métaux						

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Baryum lixiviable	0.004	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Baryum lixiviable	0.04	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	< 0.050	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	<0.5	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	< 0.0005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	<0.005	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.007	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.07	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Mercure lixiviable	< 0.001	mg/l	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Mercure lixiviable	<0.01	mg/kg sec	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Analyses physicochimiques de base						
pH à 20°C sur lixiviat	7.85	-	Electrochimie			
Carbone organique (COT) lixiviable	15	mg/l	COTmètre - NF EN 1484			
Carbone organique (COT) lixiviable	150	mg/kg sec	COTmètre - NF EN 1484			
Fraction soluble	374	mg/l	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Fraction soluble	0.374	% sec	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Indice phénol lixiviable	37.0	mg/kg sec	Flux continu (CFA) - NF EN ISO 14402			
Fluorures lixiviables	< 0.05	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Fluorures lixiviables	<0.50	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	0.5	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	5.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	226.3	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	2263.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			

CET_3

Analyses à effectuer pour mise en CET classe 3 (inertes)

Claude LAMBRE
 Directeur Laboratoire





PYRITE INGENIERIE
 Mme Christine GACHET

alpespace 427 voie Thomas Edison
 73800 STE HELENE DU LAC

Le rapport établi ne concerne que l'échantillon soumis à l'essai. Il comporte 3 pages.

La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.

Le laboratoire est responsable de toutes les informations fournies dans le rapport, sauf lorsque l'information est fournie par le client. En outre, le laboratoire ne saurait être tenu pour responsable des informations fournies par le client et affectant la validité des résultats.

Dans le cas où le laboratoire n'a pas été chargé de l'étape d'échantillonnage, les résultats s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu.

Les activités de laboratoire sont réalisées au sein de SOCOR à DECHY, hormis les paramètres éventuellement sous-traités qui sont réalisés chez le sous-traitant, dont l'adresse est indiquée sur son rapport d'essais joint

Les paramètres sous-traités sont identifiés par (*).

La référence de l'échantillon, sa nature, ainsi que la date de prélèvement, si celui-ci a été réalisé par le client, sont des informations fournies par ce dernier.

Identification dossier : SOC23-8549
 Identification rapport : **SOC2308-506 V1**

Référence contrat : SOCC23-477
 Identification échantillon : **SOC2308-506**

Référence client : PP6
 Nature: Sédiments
 Prélèvement : Réceptionné le 02/08/2023
 Prélevé par le client

Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. Pour déclarer, ou non, la conformité à la spécification, il n'a pas été tenu explicitement compte de l'incertitude associée au résultat.

Date de début d'analyse le 02/08/2023

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Analyse sur le produit						
<i>Analyses physiques</i>						
Préparation d'une boue à 4mm	-	-				
<i>Analyse de base</i>						
Préparation de l'échantillon - homogénéisation	-	-	NF ISO 11464 et NF ISO 14507			
Humidité totale	5.90	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
Matières sèches	94.10	% brut	Séchage en étuve - NF EN 12880			
<i>Analyse élémentaire</i>						
Carbone organique total (COT)	0.40	% sec	NF EN 15936 Méthode B			
Analyses physicochimiques						
<i>Analyses physicochimiques de base</i>						
Perte au feu à 550°C	2.2	% sec	Calcination à 550 °C et gravimétrie - NF EN 13039			
Composés organiques						
<i>BTEX</i>						
Benzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Toluène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Ethylbenzène	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Xylène ortho	<0.5	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
Xylènes (m + p)	<1.0	mg/kg sec	HSS/GC/MS - NF EN ISO 22155			
HAP						
Naphtalène	0.195	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Acénaphthylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluorène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Phénanthrène	0.102	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Chrysène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (b) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (k) fluoranthène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (a) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Dibenzo (a,h) anthracène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Benzo (g,h,i) pérylène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Indéno (1,2,3 cd) pyrène	<0.05	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Somme des 16 HAP	0.997	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17503			
Hydrocarbures C10-C40						
Indice hydrocarbures C10-C40	<25	mg/kg sec	GC/FID - NF EN 14039			
PCB congénères						
PCB 28	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 52	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 101	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 118	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 138	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 153	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB 180	<0.01	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Somme des 7 PCB	<0.07	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
PCB totaux calculés	<0.30	mg/kg sec	GC/MS - NF EN 17322 (2020)			
Test de lixiviation						
Lixiviation : 1 éluat de 24h						
Concassage à 4 mm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Refus de concassage à 4 mm	0	% brut	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Taux d'humidité	5.9	%	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Prise d'essai mise à lixivier	95.6	g	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume d'eau ajouté	894.4	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de début	08/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Date de fin	09/08/2023	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Filtration 0.45 µm	-	-	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Volume du lixiviat récupéré	850	ml	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Température du lixiviat	conforme	°C	Test de lixiviation sur produit <4 mm - NF EN 12457-2			
Métaux						

Paramètres analytiques	Résultats	Unités	Méthodes	Détection	Références de qualité	COFRAC
Baryum lixiviable	0.002	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Baryum lixiviable	0.02	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Chrome lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cuivre lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Nickel lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	< 0.005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Plomb lixiviable	<0.05	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	< 0.050	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Zinc lixiviable	<0.5	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	< 0.0005	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Cadmium lixiviable	<0.005	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.006	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Molybdène lixiviable	0.06	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Antimoine lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Arsenic lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	< 0.001	mg/l	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Sélénium lixiviable	<0.01	mg/kg sec	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2			
Mercure lixiviable	< 0.001	mg/l	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Mercure lixiviable	<0.01	mg/kg sec	SAA SnCl2 vap. froides - NF EN ISO 12846			
Analyses physicochimiques de base						
pH à 20°C sur lixiviat	8.05	-	Electrochimie			
Carbone organique (COT) lixiviable	< 3	mg/l	COTmètre - NF EN 1484			
Carbone organique (COT) lixiviable	<30	mg/kg sec	COTmètre - NF EN 1484			
Fraction soluble	54	mg/l	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Fraction soluble	0.054	% sec	Gravimétrie après séchage à 105°C - NF T90-029			
Indice phénol lixiviable	30.0	mg/kg sec	Flux continu (CFA) - NF EN ISO 14402			
Fluorures lixiviables	< 0.05	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Fluorures lixiviables	<0.50	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	0.2	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Chlorures lixiviables	2.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	21.7	mg/l	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			
Sulfates lixiviables	217.0	mg/kg sec	Chromatographie ionique - NF EN ISO 10304-1			

CET_3

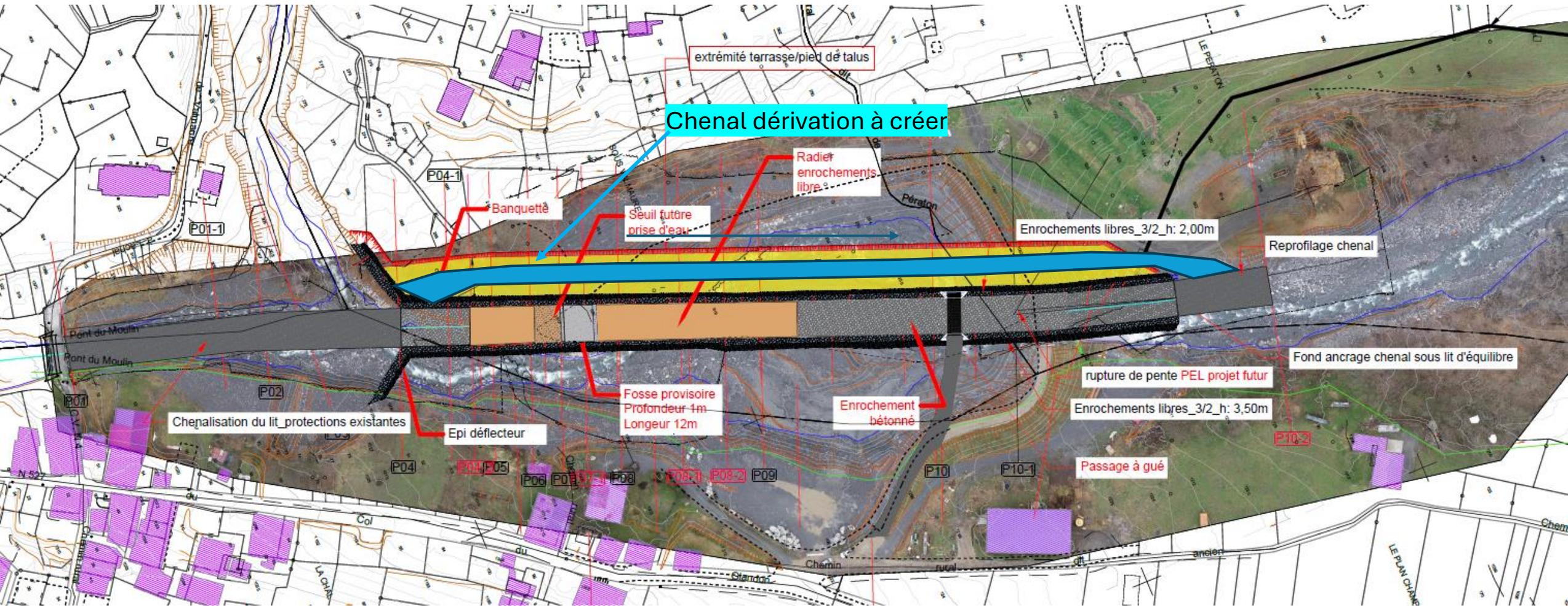
Analyses à effectuer pour mise en CET classe 3 (inertes)

Claude LAMBRE
 Directeur Laboratoire



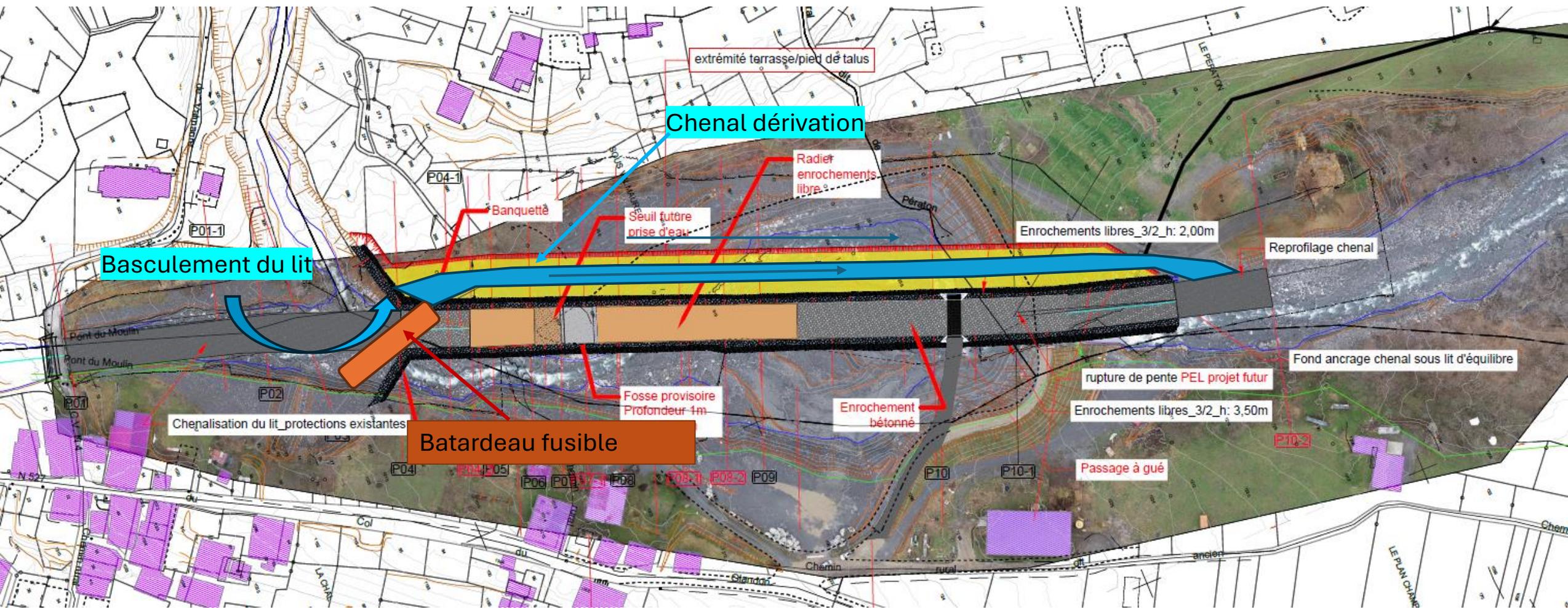
Phase 1 Création dérivation Glandon

Délai: 2 semaines
sept. 2025



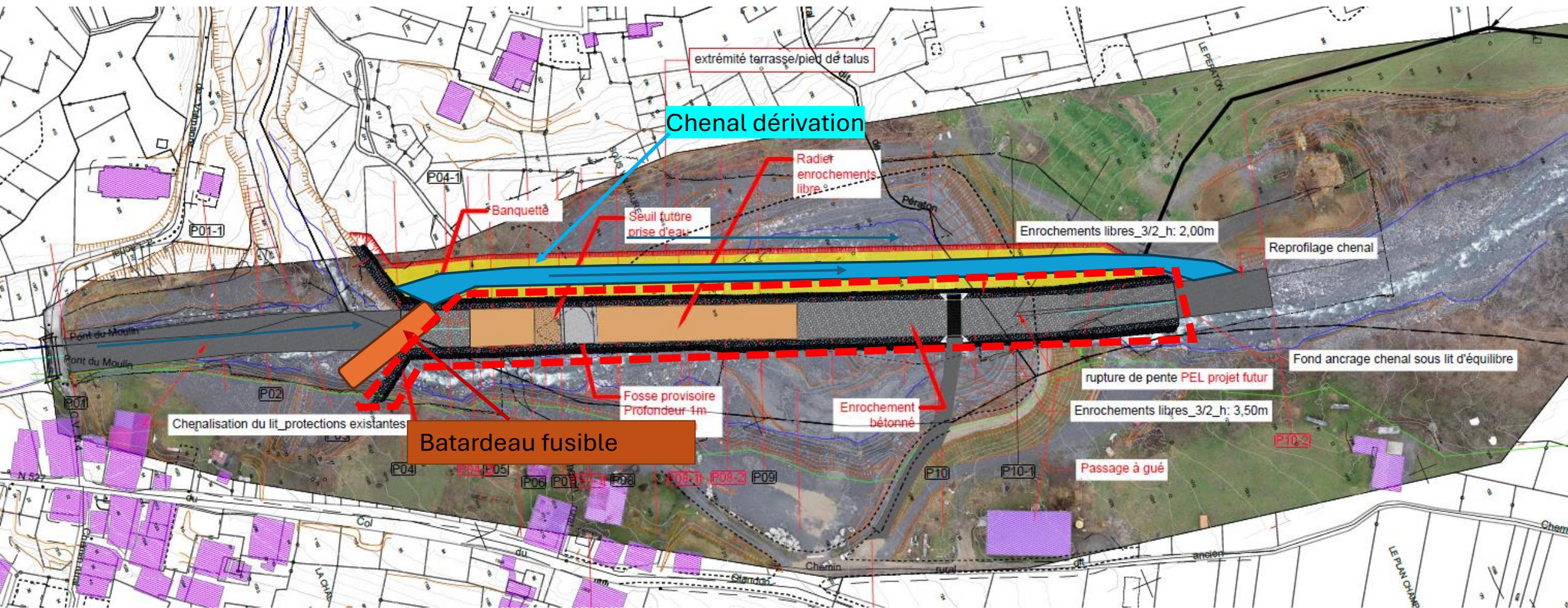
Phase 2 Basculement Lit Glandon

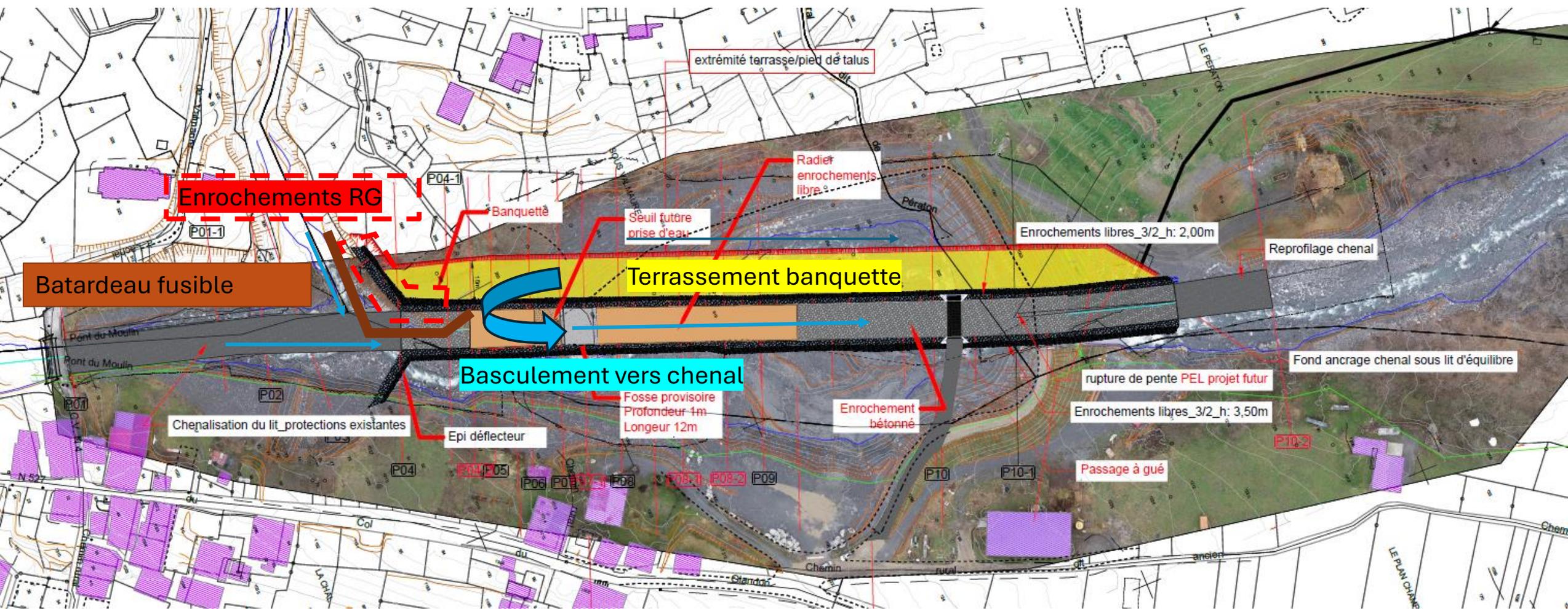
Délai: 2 jours
sept. 2025

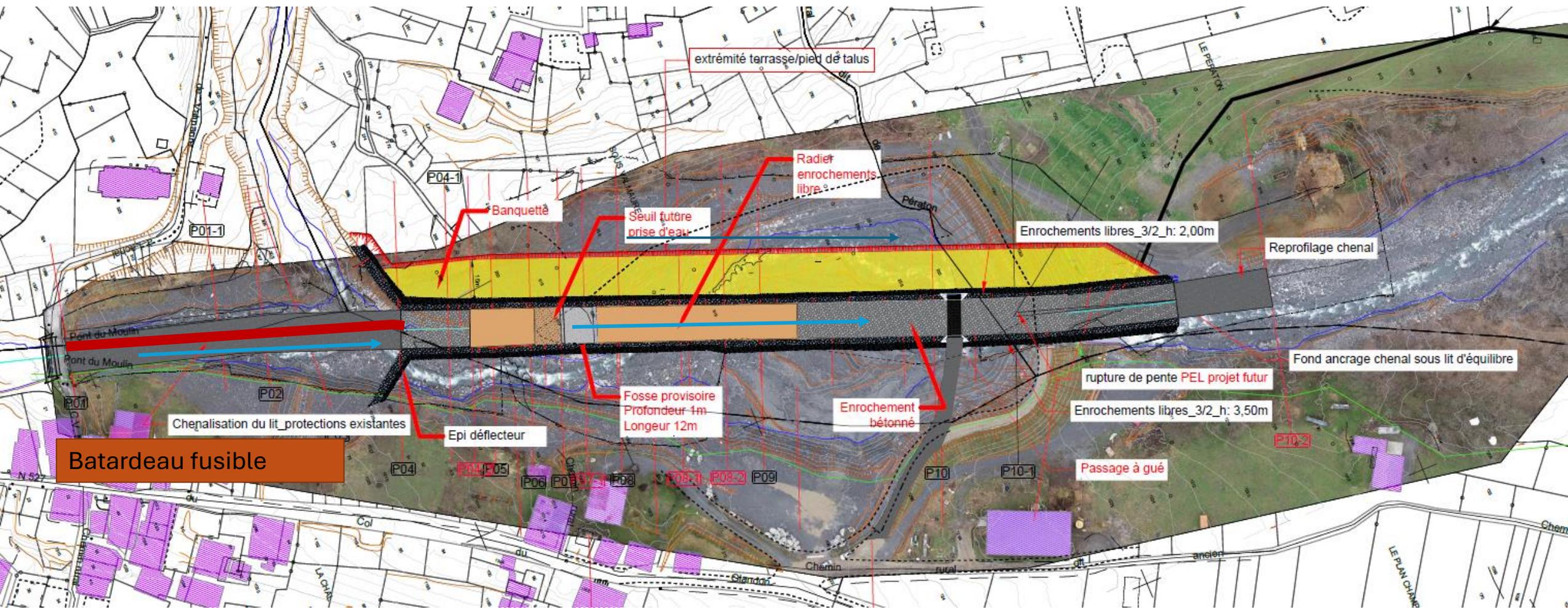


Phase 3
Réalisation chenal médian et aval

Délai: 1,5mois
Sept. à Nov. 2025

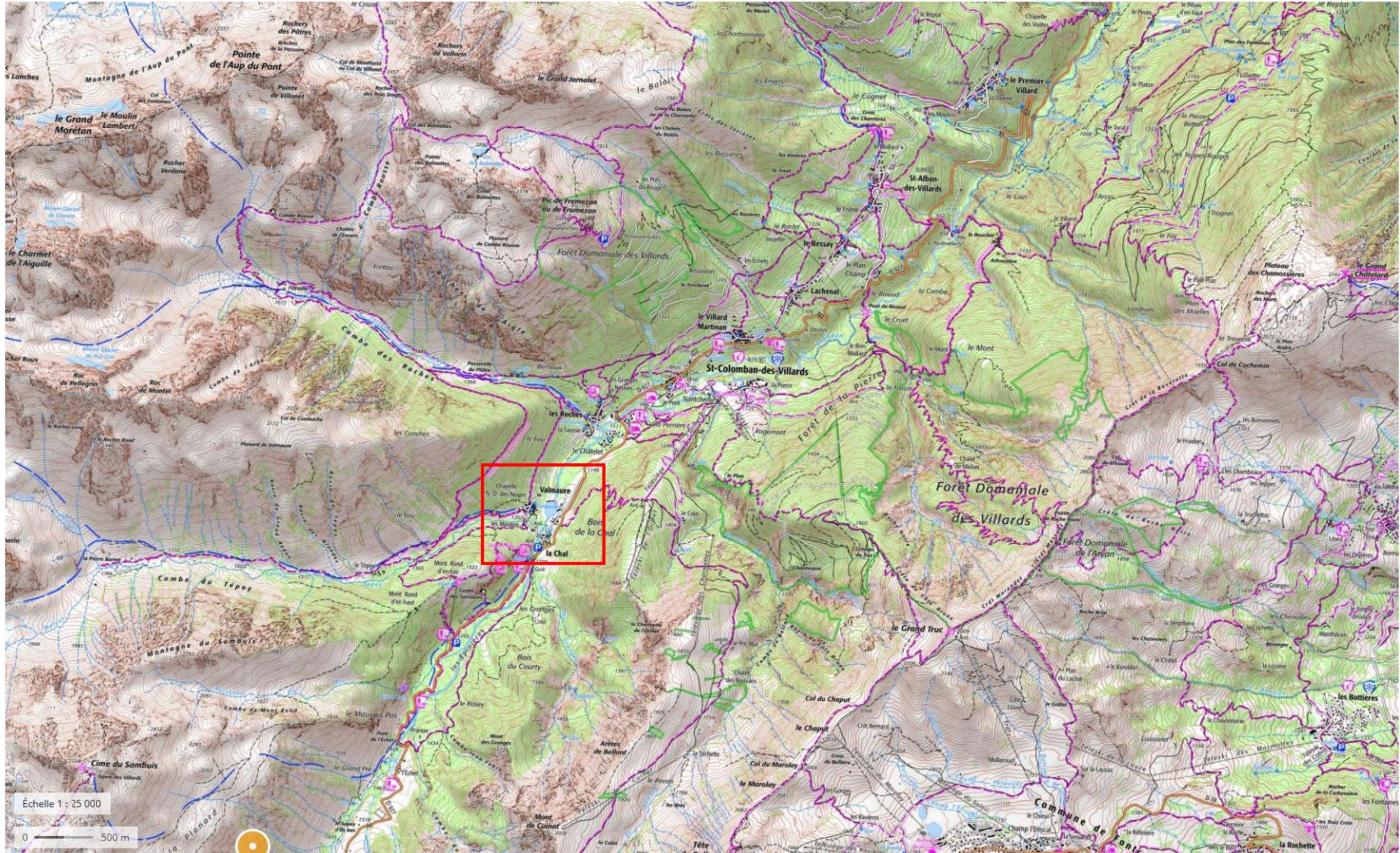






Annexe 4

Localisation des travaux au 1/25 000



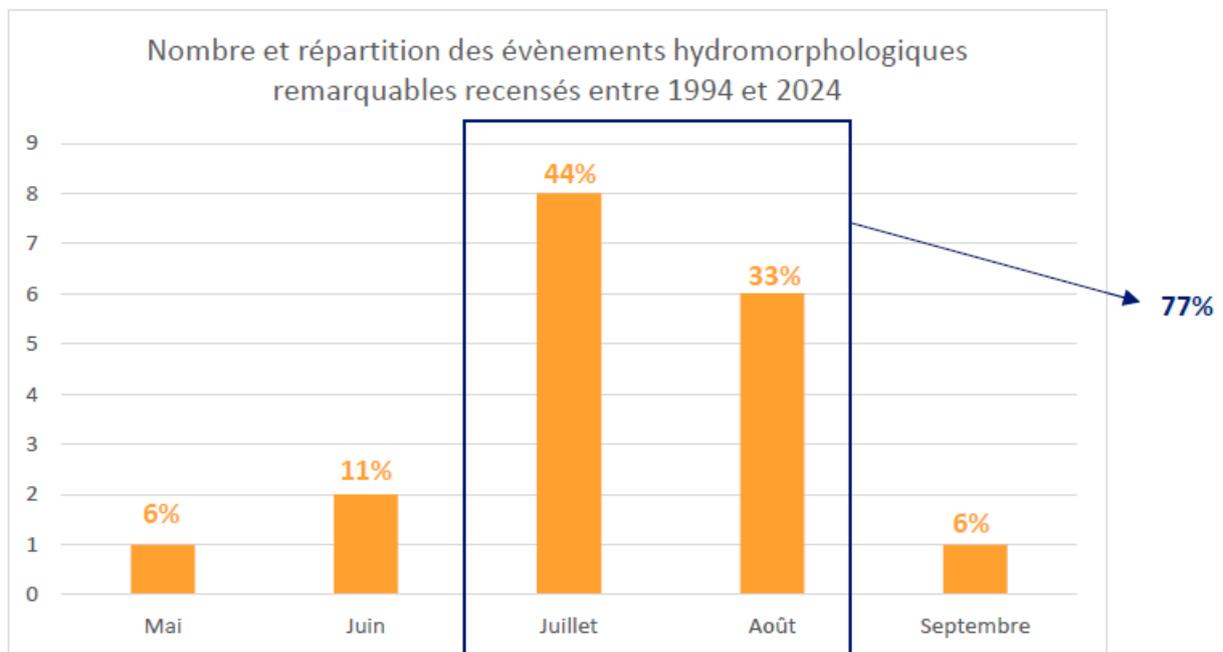
Annexe 5

Détermination de la probabilité d'occurrence du risque de survenance d'un évènement hydromorphologique exceptionnel sur différentes périodes

Un évènement hydromorphologique exceptionnel est défini par le service RTM dans son rapport d'août 2018 comme un évènement d'occurrence cinquantennale. Sa probabilité d'occurrence est donc de 2% ($2 * 10^{-2}$).

La période de surveillance accrue de l'aménagement a été fixée par arrêté préfectoral du 1^{er} mai au 30 septembre de chaque année, il sera donc considéré l'hypothèse majorante que la probabilité d'occurrence de survenance d'un évènement exceptionnel est concentrée sur cette période de 5 mois. Ceci est corroboré par le graphe ci-dessous.

D'après l'historique des évènements hydromorphologiques remarquables¹ depuis la mise en service de l'aménagement (recensés dans le PPR, les rapports du RTM et les rapports annuels de suivi des évènements sur le barrage) ceux-ci se sont déroulés en grande majorité entre mi-juillet et mi-août :



Histogramme de répartition des évènements hydromorphologiques remarquables recensés entre 1994 et 2024

Sur la base de cette analyse, il sera considéré par la suite que la probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel se répartit de la façon suivante : 80% sur les mois de juillet et août et de 20% sur les mois de mai, juin et septembre.

¹ On appelle « évènement hydromorphologique remarquable » tout évènement de type crue avec charriage et lave torrentielle observé sur le site.

Ainsi :

- La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel sur les mois de mai, juin et septembre est de : $2\% * 20\% = 0,4\%$, soit $4 * 10^{-3}$
La probabilité journalière sur cette période correspond à la probabilité divisée par le nombre de jours (31 jours en mai, 30 jours en juin et septembre). Elle est alors de $\frac{4*10^{-3}}{31+30+30} = 4,4 * 10^{-5} = 0,0044\%$
- La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel sur les mois de juillet et août est de : $2\% * 80\% = 1,6\%$, soit $1,6 * 10^{-2}$
La probabilité journalière sur cette période correspond à la probabilité divisée par le nombre de jours (31 jours en juillet et août). Elle est alors de $\frac{1,6*10^{-2}}{31+31} = 2,6 * 10^{-4} = 0,026\%$.

Sur la période du 30 juin au 15 juillet 2025 :

La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel sur cette période est calculée comme suit :

$$1 * 0,0044\% + 15 * 0,026\% = 0,39\%$$

La probabilité d'occurrence un évènement exceptionnel sur la période est donc de 0,39%, soit $3,9 * 10^{-3}$, ou encore une fois tous les 255 ans.

La probabilité d'occurrence de deux évènements exceptionnels successifs sur cette période est de $0,39\%^2 = 0,0015\%$, soit $1,5 * 10^{-5}$, ou encore une fois tous les 65 000 ans.

Sur la période du 15 juillet au 30 septembre 2025 :

La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel sur cette période est calculée comme suit :

$$(16 + 31) * 0,026\% + 30 * 0,0044\% = 1,34\%$$

La probabilité d'occurrence d'un évènement exceptionnel sur la période est de 1,34%, soit $1,34 * 10^{-2}$, soit une fois tous les 75 ans.

La probabilité d'occurrence de deux évènements exceptionnels successifs sur cette période est de $1,35\%^2 = 0,018\%$, soit $1,8 * 10^{-4}$, ou encore une fois tous les 5 555 ans.

Annexe 6

Analyse de l’efficacité du dispositif d’alertes météorologiques depuis 2019

Le tableau ci-dessous présente l’état des lieux des alertes météorologiques reçues par l’exploitant, des ouvertures du barrage qu’il a réalisées, des évènements effectivement constatés et des évènements qui ont été ratés par le dispositif d’alertes météorologiques :

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Alertes météorologiques	4	5	3	15	18 alertes : - 10 veilles ¹ - 8 vigilances ²	35 alertes : - 25 veilles - 10 vigilances
Mise en transparence du barrage	4	5	2	15	8	13 Dont 3 ouvertures préventives à la discrétion de l’exploitant
Evènements réellement constatés		3	1	2	2	2
Evènements ratés			1		1 (alerte reçue mais trop tardivement)	

Le dispositif d’alerte météorologique a largement évolué depuis 2019 (alertes uniquement départementales, puis de plus en plus locales, avec la mise en place d’un dispositif entre Météo France et EDF-DTG permettant les alertes veilles et vigilances à partir de 2023).

Sur les six années 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 et 2024, on dénombre ainsi :

- 45 alertes météorologiques ;
- 47 mises en transparence du barrage (l’exploitant a réalisé 2 ouvertures à son initiative) ;
- 10 évènements remarquables ;
- 2 évènements remarquables non identifiés par le dispositif d’alerte.

La probabilité d’occurrence du risque de défaillance du système d’alerte météorologique s’évalue donc **au maximum à 20 % ($20 * 10^{-2}$)**. Il s’agit en effet d’une probabilité majorante car le système d’alerte a nettement évolué depuis 2019. Il a en particulier gagné en robustesse avec le déploiement en 2023 du nouveau dispositif construit avec EDF-DTG et Météo France, puis l’intégration du retour d’expérience de l’année 2023 et le recalage des seuils d’alerte. Il n’a ainsi connu aucune défaillance dans sa dernière version en 2024.

¹ Alerte veille : n’engendre pas nécessaire l’ouverture du barrage, mais surveillance de l’exploitant

² Alerte vigilance : engendre l’ouverture du barrage