

Annexe 12 : AVP Phase 2 - AVP de la solution retenue



SYNDICAT PAYS DE MAURIENNE

Aménagement hydraulique du torrent du Saint Antoine à Modane (73)

Rapport 020 - AVP Phase 2
Rapport AVP de la solution retenue

Novembre 2025



AMÉTEN SIEGE DE GRENOBLE

80 avenue Jean Jaurès

38320 EYBENS

Tél : 04.38.92.10.41

Email : grenoble@ameten.fr



SOCIÉTÉ CANAL DE PROVENCE

Agence Vallée du Rhône/Rhône-Alpes

39, rue Rachais

69003 LYON

Indice	Date	Rédaction	Vérification	Version / Modifications
A	07/11/2025	P. Freydier J. Boutaghane	J. Boutaghane	Version initiale

Bibliographie :

- [1] **Meunier 1988 (Cemagref)** : La lave torrentielle du Saint Antoine à Modane le 24 aout 1987
- [2] **ONF RTM 2009** : Torrent du Saint Antoine. Analyse des crues historiques et étude de la fourniture en matériaux
- [3] **INRAE 2018** : Direct field observations of massive bedload and debris-flow depositions in open check dams. Guillaume Piton, Firmin Fontaine, Hervé Bellot, Frédéric Liébault, Coraline Bel, Alain Recking, Thérèse Hugerot, River Flow 2018.
- [4] **ONF INRAE 2022** : French Experience With Open Check Dams : Inventory and Lessons Learnt Through Adaptive Management, Simon Carlados, Guillaume Piton, Damien Kuss, Gilles Charvet, Romain Paulhe, Maxime Morel, and Yann Queffelec. *Check Dam Construction for Sustainable Watershed Management and Planning*, First Edition. Published 2022 by John Wiley & Sons, Inc.
- [5] **Améten/SCP 2025** - Rapport AVP comparatif des solutions techniques envisagées - ST-ANTOINE-1-003-AVP - Phase 1-Rapport AVP comparatif des solutions techniques envisagées-B
- [6] **Lombardi – 2022** - ETUDE DE DANGERS ET CONSTITUTION DES DOSSIERS D'AUTORISATION SYSTÈMES D'ENDIGUEMENTS DE L'ARC, DU SAINT ANTOINE ET DU CHARMAIX SUR LES COMMUNES DE MODANE, FOURNEAUX ET VILLARODIN-BOURGET
- [7] **ETRM 2018** - Étude des possibilités de dépôts de laves torrentielles à la confluence de l'Arc avec le torrent du Saint Antoine
- [8] **ETRM 2018** - Étude des possibilités de dépôts de laves torrentielles à la confluence de l'Arc avec le torrent du Saint Antoine
- [9] **Améten/SCP 2025** - Note technique aménagement Saint-Antoine dans Modane -ST-ANTOINE-1-023-AVP - Phase 2-Note technique aménagement Saint-Antoine dans Modane-A
- [10] **TELT/Géolithe 2022** - 05-_NV01_O3_A_RE_GE_0200_A_G2 AVP - Note d'analyse des données géotechniques - 05-_NV01_O3_A_RE_GE_0202_A_G2 AVP - prédimensionnement
- [11] **TELT/ALLTI 2020** – Plan des réseaux existants - 05-_NV01_O3_A_PL_GN_0210_A_ Plan des réseaux existants
- [12] **Améten/SCP 2025** - Note de recommandation pour la route de contournement - ST-ANTOINE--022-AVP - Phase 2-Note de recommandation pour la route de contournement-A
- [13] **Améten/SCP** – Diagnostic écologique - ST-ANTOINE-3-60-DR-Diagnostic écologique-A

SOMMAIRE

1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	6
2	RAPPEL DES ETUDES ANTERIEURES ET DES CHOIX DE MOA	7
2.1	Études historiques post-1987 (EDD, EBR, etc.)	7
2.2	Étude récente 2025 : AVP phase 1, variantes étudiées	8
2.3	Solution retenue à l'issue des arbitrages en COPIL.....	9
3	HYPOTHESES GENERALES ET DONNEES DE BASE	10
3.1	Rappel des données topographiques utilisées.....	10
3.2	Rappel des données géotechniques exploitables	10
3.3	Connaissances hydrauliques et hydrogéomorphologiques	11
3.4	Contraintes foncières	11
4	DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA SOLUTION RETENUE	13
4.1	Principe d'aménagement global	13
4.2	Lot 1 - Curage de l'Arc à la confluence : un aménagement de protection passive assurant un espace de respiration pour les crues	14
4.3	Lot 2 - Recalibrage du lit aval du Saint Antoine.....	15
4.3.1	Un compromis entre pente hydraulique et faisabilité locale.....	15
4.3.2	Caractéristiques du lit et des berges	16
4.3.3	Principe d'aménagement retenu.....	17
4.3.4	Découpage par tonçons.....	17
4.3.5	Dévoisement des réseaux	19
4.3.6	Mesures de protection complémentaire.....	19
4.4	Lot 3 – Construction de la plage de dépôt	19
4.4.1	Localisation, dimensionnement et caractéristiques techniques.....	19
4.4.2	Contraintes d'insertion, stabilité	21
4.4.3	Phasage et coordination avec les infrastructures temporaires de TELT	21
4.4.4	Risques, précautions et prescriptions techniques.....	22
5	FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	23
5.1.1	Scénario Q100.....	23
6	ASPECTS TECHNIQUES.....	27
6.1	Aspects géotechniques.....	27
6.1.1	Cadre de l'étude	27
6.1.2	Contexte géologique et géotechnique	27

6.1.3	Stabilité des berges du Saint Antoine - lot 2.....	27
6.1.4	Stabilité de la plage de dépôt (lot 3)	28
6.1.5	Matériaux de curage à la confluence (lot 1).....	30
6.2	Déblai / remblai – mouvements de terres	30
6.3	Dimensionnement des enrochements -	31
6.4	Réseaux	33
7	CO-ACTIVITE CONSTRUCTIVE AVEC LE PROJET TELT	35
8	ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX.....	37
9	IMPACT FONCIER	37
10	PHASAGE ET PLANNING DES TRAVAUX	38
10.1	Hypothèses du phasage des travaux	38
10.2	Planning AVP.....	40
11	ESTIMATION FINANCIERE	42
12	CONCLUSION.....	44
ANNEXE 1 - DT.....		45

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans le cadre de la stratégie globale de réduction du risque inondation portée par le PAPI 3, le **Syndicat Pays de Maurienne (SPM)** a engagé une démarche opérationnelle visant à sécuriser durablement les secteurs exposés aux aléas torrentiels, en particulier sur le bassin versant du Saint-Antoine, à Modane.

Ce torrent à lave, caractérisé par un bassin versant de taille modeste mais réactif, a connu plusieurs épisodes marquants, **notamment en 1987 et en 2014**. Ces deux crues, dont les occurrences ont été estimées respectivement centennale et trentennale à cinquantennale par l'ONF RTM, se sont manifestées sous forme de **laves torrentielles** : des crues boueuses à dynamique rapide, au comportement non newtonien, difficilement prévisibles et particulièrement dommageables. De nouveaux épisodes plus récents, **observés en 2023 et 2024**, confirment la récurrence des phénomènes et leur amplification probable dans un contexte de changement climatique.

Depuis 1988, **plusieurs études et travaux** ont été menés pour renforcer la protection du centre de Modane, avec pour objectif d'atteindre un niveau de sécurité proche de **la crue centennale**.

Toutefois, les différentes études de faisabilité avaient mis en évidence une grande disparité entre les solutions envisagées, tant sur le plan technique qu'économique, ne permettant **pas de convergence décisionnelle à ce stade**.

Une première **phase d'Avant-Projet (rapport 010 - AVP phase 1 – [5])** a donc permis d'étudier plusieurs variantes d'aménagement. À l'issue du comité de pilotage, une variante de la **solution S3 a été retenue**, intégrant une plage de dépôt en série avec adaptation des volumes stockés et du curage en confluence.

Le présent **rapport 020 AVP phase 2** formalise **la solution retenue** et en précise le dimensionnement, le phasage et les conditions de réalisation. Il s'appuie sur les études antérieures (*EDD 2020 [6], ETRM 2018 [7], expertise ONF-RTM [2]*), les retours d'expérience récents (notamment la crue d'octobre 2023) ainsi qu'une note technique complémentaire (*rapport 023- [9]*) dédiée à l'aménagement du chenal du Saint-Antoine, qui a permis de consolider les choix retenus en matière de profil hydraulique, de gestion sédimentaire et d'équilibre technico-économique des aménagements.

Ce travail s'appuie également sur **l'expertise technique du groupement** et les méthodes de **dimensionnement issues** de la littérature scientifique et des guides de référence (CFBR, EPTB, ONF RTM, etc.).

Le présent document est structuré comme suit :

- **Le chapitre 1** rappelle le contexte et les objectifs du projet ;
- **Le chapitre 2** présente les études antérieures et les choix de la maîtrise d'ouvrage ;
- **Le chapitre 3** explicite les hypothèses et les données de base utilisées pour la conception ;
- **Le chapitre 4** décrit techniquement les aménagements retenus sur les trois lots de travaux (curage de la confluence, recalibrage du lit, plage de dépôt) ;
- **Le chapitre 5** analyse le fonctionnement hydraulique du système ;
- **Le chapitre 6** détaille les aspects techniques liés au sol, aux matériaux, aux réseaux et aux protections ;
- **Le chapitre 7** aborde les interactions avec le projet TELT et la coactivité constructive ;
- **Les chapitres 8 à 11** traitent des aspects environnementaux, fonciers, du phasage des travaux et de l'estimation financière ;
- **Le chapitre 12** propose une synthèse des conclusions et des perspectives pour les prochaines étapes.

2 RAPPEL DES ETUDES ANTERIEURES ET DES CHOIX DE MOA

2.1 Études historiques post-1987 (EDD, EBR, etc.)

À la suite de l'événement torrentiel majeur de 1987, une série d'études ont été menées afin d'améliorer la connaissance du fonctionnement du torrent du Saint-Antoine et de son bassin versant, ainsi que d'orienter les premières stratégies d'aménagement.

Les principaux enseignements issus de ces travaux peuvent être regroupés autour de plusieurs étapes clés :

- **Les premières études post-1987** ont permis d'établir un diagnostic général du fonctionnement du torrent à la suite de la lave torrentielle centennale. Elles ont confirmé la nature mixte du régime torrentiel déposant selon les secteurs aux ruptures de pente ou au droit d'ouvrages sous dimensionnés (pont de la <RD1006 par exemple) — et mis en évidence la nécessité de gérer les matériaux grossiers en amont du cône de déjection. Ces études ont conduit à la réalisation d'un premier système d'ouvrages (plage de dépôt, protections de berges, recalibrage partiel du lit) constituant la base de la protection actuelle.
- **Les travaux d'expertise menés par l'ONF-RTM [2]** (EBR, rapports techniques, retours d'expérience) ont ensuite consolidé la compréhension du torrent et de son bassin versant. Ils ont décrit la dynamique des laves torrentielles, la pente d'équilibre du lit ($\approx 9\%$), et les conditions de transit ou de dépôt des matériaux dans la traversée urbaine. Ces documents font encore aujourd'hui référence pour la définition des pentes de projet et des dispositifs de piégeage sédimentaire.
- **L'Étude De Dangers (EDD, 2020) [6]**, conduite sous maîtrise d'ouvrage du SPM, a actualisé la connaissance des ouvrages de protection existants. Elle a évalué leur niveau de performance face aux aléas torrentiels, identifié les points de faiblesse (instabilité locale de berges, discontinuités de digues, zones de débordement résiduelles) et proposé des orientations de mise en conformité dans la perspective d'une régularisation du système d'endiguement. Cette étude constitue une base réglementaire et technique pour les phases d'AVP, notamment pour la hiérarchisation des secteurs à renforcer et l'évaluation des enjeux exposés.
- **Les études Irstea et INRAE (2013–2018) [3]** ont apporté des éléments de compréhension sur la morphologie du cône de déjection, le fonctionnement des plages de dépôt et la rhéologie des laves torrentielles alpines. Ces travaux ont permis d'établir des ordres de grandeur de pentes de dépôt, de volumes de crues boueuses et d'épaisseurs de dépôt, directement réutilisés dans la présente étude.
- **Les analyses topographiques et hydrauliques récentes (2013–2024)**, fondées sur des levés Lidar, MNT et levés terrestres successifs, ont mis en évidence la dynamique d'engrèvement du lit à la confluence avec l'Arc et au droit des franchissements, justifiant les curages et recalibrages prévus dans le cadre du projet d'aménagement.

Au total, ces études convergent sur plusieurs constats essentiels :

- la **récence** d'événements de lave torrentielle, renforcée par le contexte de changement climatique ;
- la **nécessité d'ouvrages de stockage et de gestion sédimentaire** en amont du cône ;
- l'**entretien régulier du lit et des franchissements** pour maintenir la capacité hydraulique ;

- et l'importance de **préserver la pente d'équilibre du torrent** pour assurer un transit solide satisfaisant sans aggradation excessive.

Le présent **rapport d'AVP Phase 2** s'appuie sur l'ensemble de ces acquis pour affiner les propositions d'aménagement et actualiser leur faisabilité technique, foncière et économique.

2.2 Étude récente 2025 : AVP phase 1, variantes étudiées

L'**étude AVP Phase 1**, [5] formalisée dans le **rapport ST-ANTOINE-1-003 (mars 2024)**, a été lancée dans le prolongement de la modification du pont de la RD1006 réalisée par TELT en 2022, qui a induit une nouvelle configuration hydraulique locale. Elle vise à proposer des aménagements du lit du torrent du Saint Antoine dans la traversée urbaine de Modane, afin d'adapter le profil en long au nouveau radier (pente de 8,5 %) tout en garantissant un niveau de protection compatible avec les enjeux du centre-ville.

Le diagnostic a d'abord permis de souligner **plusieurs contraintes locales majeures**, limitant les marges d'intervention : présence du pont SNCF et de ses culées peu accessibles, faible disponibilité foncière liée à une urbanisation dense, tracé de la route de contournement à maintenir, compatibilité à trouver avec le projet TELT (jetées, convoyeurs), et risque de conflit avec des réseaux enterrés.

Quatre solutions ont été proposées et comparées, combinant différemment les principes de plage de dépôt (en série ou en dérivation), l'aménagement de la confluence avec l'Arc, et les volumes de stockage. Elles visent toutes un objectif global de stockage de 80 000 m³ pour faire face à un événement centennal, mais selon des répartitions distinctes entre le cône de déjection et la confluence :

- **Solution S1 optimisée** (issue du projet RTM 2008) : création d'une plage de dépôt en dérivation (32 000 m³) associée à l'aménagement de la confluence (25 000 m³). Elle repose sur un canal de dérivation et un tunnel écrêteur, introduisant un risque de défaillance supplémentaire mais nécessitant peu de modification du lit du torrent.
- **Solution S2 optimisée** (issue du projet ETRM / Lombardi 2018) : création d'une plage de dépôt en série de 17 000 m³ et terrassement massif de la confluence pour porter sa capacité à 40 000 m³. Bien que performante, cette solution implique de lourds travaux dans le lit majeur notamment de l'Arc (enrochements, terrassement), pour un coût très élevé (7,4 M€ HT) et un impact environnemental important.
- **Solution S3** : création d'une plage de dépôt unique en série de 32 000 m³, en complément de la plage amont, sans intervention spécifique à la confluence (volume stocké évalué à 25 000 m³). Cette solution présente un bon compromis coût-performance-fonctionnement, pour un emprise foncière modérée et un coût réduit (2,5 M€ HT).
- **Solution S4** : création de deux plages de dépôt en série (2 x 16 000 m³), également sans intervention sur la confluence. Bien que robuste et simple dans son fonctionnement, cette solution se heurte à des contraintes foncières importantes (27 000 m²) en raison de l'allongement du linéaire mobilisé, notamment en aval, hors du périmètre communal.

L'analyse de ces solutions s'est appuyée sur une modélisation 2D avec prise en compte de la rhéologie des laves (modèle Herschel-Bulkley) dans HEC-RAS 6.2, et a permis de démontrer que toutes les configurations permettent le passage de la crue centennale sans débordement majeur, sous réserve de la bonne gestion des volumes de dépôt et de l'entretien courant.

Le tableau comparatif final a mis en évidence la **solution S3** comme la plus équilibrée en termes de coût, emprise, robustesse hydraulique et facilité de gestion, bien qu'un arbitrage reste possible selon les priorités retenues par le maître d'ouvrage (optimisation technique ou minimisation des impacts).

2.3 Solution retenue à l'issue des arbitrages en COPIL

À l'issue de l'AVP Phase 1, les échanges tenus lors des comités de pilotage de mai et juillet 2025 ont permis d'aboutir à un consensus sur une **solution mixte**, combinant **le renforcement du stockage sur le cône de déjection** et **le maintien d'un curage aval à la confluence**, sans création d'ouvrages lourds supplémentaires.

La **solution retenue** repose sur :

- **La création d'une nouvelle plage de dépôt** en aval immédiat de la plage existante, d'un **volume utile de 25 000 m³**.
Cette seconde plage, implantée en série, constitue un prolongement hydraulique naturel de l'aménagement existant d'un volume de rétention de 23 000 m³. Elle a été privilégiée pour sa robustesse de fonctionnement, son entretien limité, sa compatibilité avec le foncier communal, et sa faisabilité dans le contexte contraint de la traversée urbaine.
- **Le maintien d'un volume de curage de 32 000 m³** à la confluence, **sans aménagement de protection supplémentaire**. Ce choix vise à conserver la capacité de stockage dynamique en aval tout en limitant les travaux lourds sur le secteur de l'Arc, fortement contraint par le remblai ferroviaire SNCF.
- **L'aménagement du lit du Saint-Antoine entre la plage de dépôt et la confluence**, consistant en un reprofilage et un recalibrage du lit, de manière à rétablir une pente hydraulique compatible avec le transit des matériaux charriés et des laves torrentielles, et à limiter les dépôts intermédiaires susceptibles d'obstruer les ouvrages de franchissement.

Ces choix permettent de viser un **volume global de protection de 80 000 m³**, intégrant les **23 000 m³ de la plage existante**, les **25 000 m³ de la future plage**, et les **32 000 m³ prévus pour le curage à la confluence**. Ce dimensionnement est cohérent avec les événements historiques (crue de 1987) et le niveau de protection recherché – pour une occurrence de crue centennale.

Ce dimensionnement global répond à l'objectif de **protection centennale** fixé par le maître d'ouvrage, tout en maintenant un équilibre entre performance hydraulique, faisabilité technique, compatibilité foncière et cohérence avec les aménagements connexes de TELT.

Le COPIL a également acté un **phasage des travaux** :

- une première tranche, prévue à l'horizon **2027**, portant sur le curage et la stabilisation du secteur aval ;
- une seconde tranche, à l'horizon **2029**, dédiée à la création de la nouvelle plage de dépôt, avec possibilité d'adaptation du phasage selon la coactivité avec les ouvrages TELT.

Cette solution constitue un compromis robuste, garantissant un niveau de protection adapté aux enjeux de Modane tout en recherchant au mieux la compatibilité foncière, environnementale et opérationnelle du projet.

3 HYPOTHESES GENERALES ET DONNEES DE BASE

3.1 Rappel des données topographiques utilisées

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des données topographiques disponibles et collectées pour la présente étude.

Tableau 1 : Données topographiques collectées pour la présente étude

Emprise	Type de données	Année	Producteur des données
Arc	Levés terrestres	1999	GE-ARC
Arc	Levés terrestres	2006	GE-ARC
Arc	Levés terrestres	2012	ARGEO
Arc	LIDAR	2013	
Modane	Levés terrestres	2016-2021	TELT
Arc	LIDAR	2018	
Arc	LIDAR	2021	MESURALPES
Arc	MNT	2024	VR3D

3.2 Rappel des données géotechniques exploitables

L'étude géotechnique de niveau G2 AVP conduite par **GEOLithe** en 2022 [10] constitue la base principale des hypothèses utilisées à ce stade de l'avant-projet. Cette étude s'appuie sur des campagnes de sondages réalisées entre 2022 et 2023, incluant des sondages carottés, des essais pressiométriques, des essais pénétrométriques et des reconnaissances géophysiques.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- La présence de dépôts alluvionnaires hétérogènes à faible compacité dans le fond du lit du Saint-Antoine, avec alternance de sables, graviers, blocs et matériaux fins ;
- Une capacité portante variable, mais globalement moyenne à médiocre, avec des pressiométries souvent inférieures à 1 MPa ;
- Des risques de liquéfaction ou de déstabilisation limités, mais à surveiller localement, notamment en cas de saturation rapide ;
- Une absence de nappe libre significative au moment des sondages, mais une forte réactivité possible du sol en période de crue ;
- Une variabilité géotechnique élevée, nécessitant un calage plus précis des fondations et des confortements en phase PRO.

Ces données ont permis d'orienter les principes de dimensionnement des ouvrages, notamment la plage de dépôt et les ouvrages d'enrochements, en intégrant des marges de sécurité adaptées au contexte torrentiel.

Des investigations complémentaires sont à prévoir en phase projet, notamment pour confirmer les hypothèses sur la portance et la stabilité des talus remblayés.

3.3 Connaissances hydrauliques et hydrogéomorphologiques

Le torrent du Saint-Antoine est caractérisé par un fonctionnement hydrosédimentaire torrentiel actif, avec des épisodes de laves torrentielles à comportement non newtonien (rhéologie de type Herschel-Bulkley). Ce comportement a été confirmé par les crues historiques de 1987, 2014 et plus récemment octobre 2023.

Les documents de référence mobilisés dans l'analyse hydraulique incluent :

- L'étude RTM et ETRM de 2018, évaluant le volume d'une crue centennale à **environ 80 000 m³**, avec un fonctionnement en plusieurs séquences : dépôt amont, transit résiduel dans le chenal, dépôt partiel en confluence avec l'Arc ;
- Les simulations du modèle Lave2D (IRSTEA), adaptées au Saint-Antoine grâce à la connaissance de la rhéologie et à l'absence de blocs géants dans les séquences aval ;
- Le rapport hydrologique et hydraulique de l'étude de dangers (2020), retenant un débit de projet centennal de **170 à 200 m³/s** et des vitesses d'écoulement dans le chenal principal de **6 à 7 m/s** ;
- Les observations de terrain et les expertises de l'ONF-RTM, soulignant une forte capacité de mobilisation sédimentaire du bassin versant et des mécanismes de dépôt différenciés selon les pentes.

Le profil en long du Saint-Antoine, les pentes locales (entre 6 % et 8,3 %), ainsi que les infrastructures traversantes (ponts, voie ferrée), ont été intégrés dans les scénarios hydrauliques de crue centennale (Q100). Une attention particulière a été portée à la coordination avec les phases transitoires du projet TELT.

L'ensemble des données mobilisées permet de dimensionner des ouvrages compatibles avec une crue de référence Q100, tout en intégrant des marges de sécurité importantes liées à l'incertitude des comportements de laves torrentielles et à la réactivité du bassin versant.

3.4 Contraintes foncières

Le programme de travaux prend place dans un contexte périurbain, où les contraintes foncières sont multiples.

La Figure 1 présente une synthèse de ces contraintes et des orientations d'implantation présentées en phase de consultation pour l'aménagement de la plage de dépôt sur le Saint Antoine.

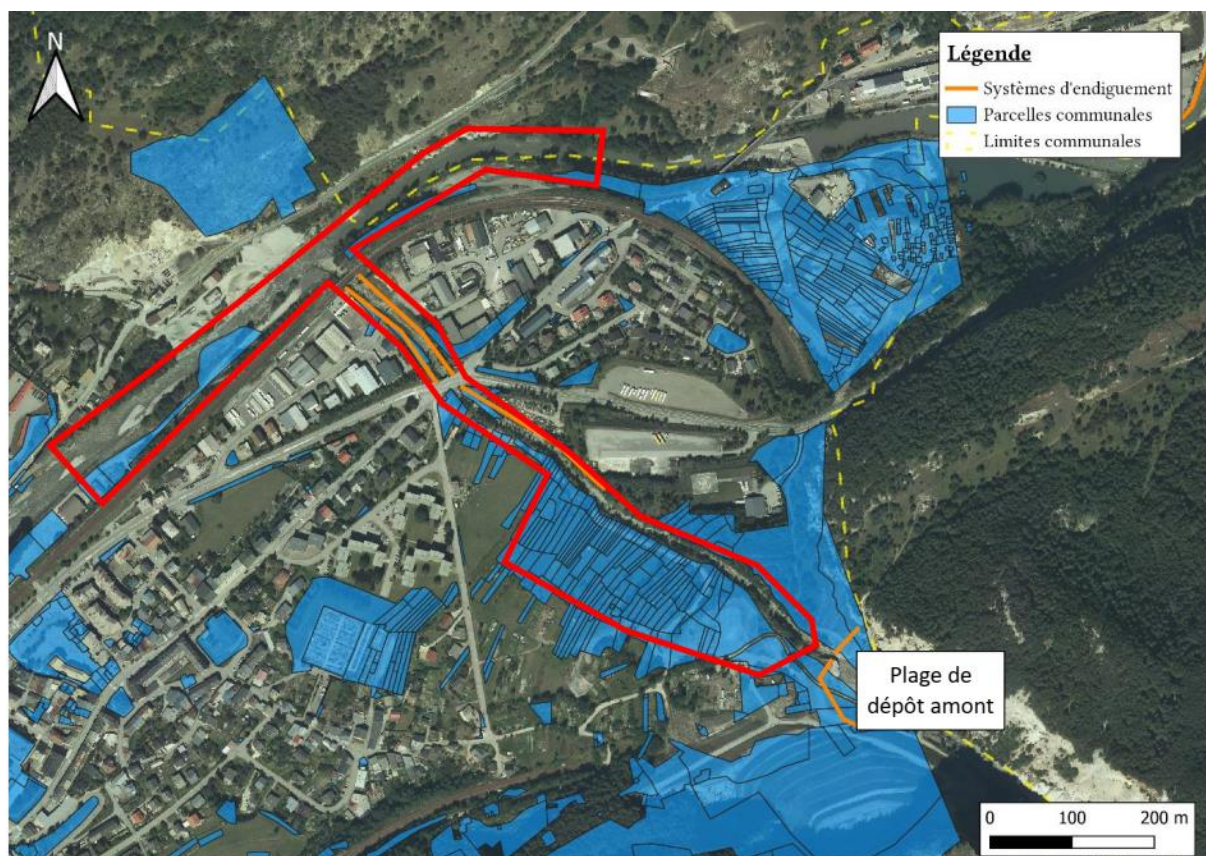


Figure 1 : Foncier communal (bleu) et périmètre maximal du projet d'aménagement (rouge)

L'objectif était d'implanter la nouvelle plage de dépôt sur les parcelles communales. La commune de Modane a mené une DUP qui a permis de couvrir une grande partie du cône de déjection, en rive gauche du torrent du Saint Antoine. Ces actions permettent de définir le périmètre maximal du projet, en rouge sur la figure ci-dessus.

Par ailleurs, le projet d'aménagement doit prendre en compte les contraintes liées aux travaux et aménagements TELT, et notamment :

- La route de contournement de Modane qui existe actuellement le long du St-Antoine, en rive gauche. La création de la nouvelle plage de dépôt impliquera de déplacer partiellement la route de contournement. L'aménagement proposé par TELT devra minimiser les impacts éventuels du déplacement partiel de la route de contournement vis-à-vis des riverains proches.
- Le convoyeur par bandes transporteuses qui traversera le St-Antoine pour acheminer les matériaux issus des travaux de creusement du tunnel.
- Une jetée provisoire de chantier destinée au transit des matériaux extraits du tunnel de base également géré par TELT.

4 DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA SOLUTION RETENUE

4.1 Principe d'aménagement global

L'ensemble du dispositif d'aménagement retenu sur le torrent du Saint-Antoine s'inscrit dans une logique de **protection graduée et cohérente**, articulée autour d'une stratégie combinant **piégeage sédimentaire en amont**, **gestion active du transit solide en aval**, et **création d'espaces de dissipation à la confluence**. Cette approche vise à **réduire significativement la vulnérabilité de la traversée urbaine de Modane** face aux phénomènes de lave torrentielle, tout en maintenant un fonctionnement hydraulique transparent pour les crues courantes.

La solution d'aménagement retenue s'articule donc autour de trois axes, que nous identifions de la façon suivante dans la continuité du rapport, en cohérence avec le phasage proposé au **chapitre 100** :

- **Lot 1 : Curage du lit de l'Arc.** Ce curage se situera à la confluence avec le Saint Antoine, pour un retour du lit de l'Arc au même niveau qu'en 2013.
- **Lot 2 : Recalibrage du lit aval du Saint Antoine.** Cette partie des travaux se situera au niveau de la rupture de pente entre le pont de la RD1006 et la passerelle.
- **Lot 3 : Construction d'une plage de dépôt.** D'un volume de 25 000 m³ à l'aval de la plage de dépôt existante et à l'amont du pont de la RD1006.



Figure 2 : Schéma de principe des aménagements retenus

4.2 Lot 1 - Curage de l'Arc à la confluence : un aménagement de protection passive assurant un espace de respiration pour les crues

L'objectif du curage prévu à la confluence du torrent du Saint-Antoine avec l'Arc est de **rétablir une capacité d'accueil suffisante pour les matériaux transportés en crue**, notamment lors des événements de type lave torrentielle. Ce curage vise à revenir au **niveau de fond du lit de 2013**, soit la situation antérieure à la crue majeure de 2014, qui avait entraîné un dépôt massif de sédiments à l'aval.

La **rapport 010 AVP phase 1** a initialement estimé le volume de curage nécessaire à **environ 25 000 m³** avant de le réévaluer à **32 000 m³**, à la suite d'un **affinement des données topographiques disponibles** et d'une analyse plus détaillée des levés LiDAR.

Cette estimation s'appuie sur les comparaisons des modèles topographiques issus des levés **LiDAR de 2013 et 2021**, jugés les plus précis pour caractériser la morphologie du lit mineur. Il a été vérifié qu'**aucune évolution significative** n'était intervenue entre 2021 et 2024, ce qui conforte la validité du chiffrage.

Ce curage n'est pas une simple opération ponctuelle : il constitue un **élément fondamental du dispositif global de protection passive**, en lien avec la stratégie de gestion des torrents à laves.

Cette opération a donc été conçue comme une **création d'un "espace de respiration"** de la zone de confluence pour les matériaux transportés par le torrent.

Il s'agit alors :

- de **prolonger le rôle de piégeage des matériaux** déjà amorcé par les deux plages de dépôts situées en amont, l'existante (23 000 m³) et la projetée dans le présent AVP (~25 000 m³),
- de **faciliter la décantation des matériaux résiduels**, notamment les fractions plus fines des laves torrentielles, dans une zone à plus faible pente et énergie réduite. Ces matériaux, théoriquement non piégés par les deux plages de dépôt en amont (situées sur le haut du cône de déjection), sont susceptibles d'être repris ponctuellement par les crues de l'Arc,
- de **préserver la capacité de stockage dynamique à la confluence**, en permettant de réduire la mise en œuvre des ouvrages de protection lourds dans un secteur urbain contraint (pont SNCF, ouvrages de franchissement, voiries).

Le maintien de cet espace de respiration à la confluence constitue ainsi **un maillon essentiel** du principe d'aménagement retenu indissociable des deux autres.

Le **linéaire concerné est d'environ 760 mètres**, pour une **profondeur moyenne de curage de 1 mètre**, atteignant **2,5 mètres en pied du cône de déjection du Saint-Antoine**, là où les dépôts sont historiquement les plus importants.

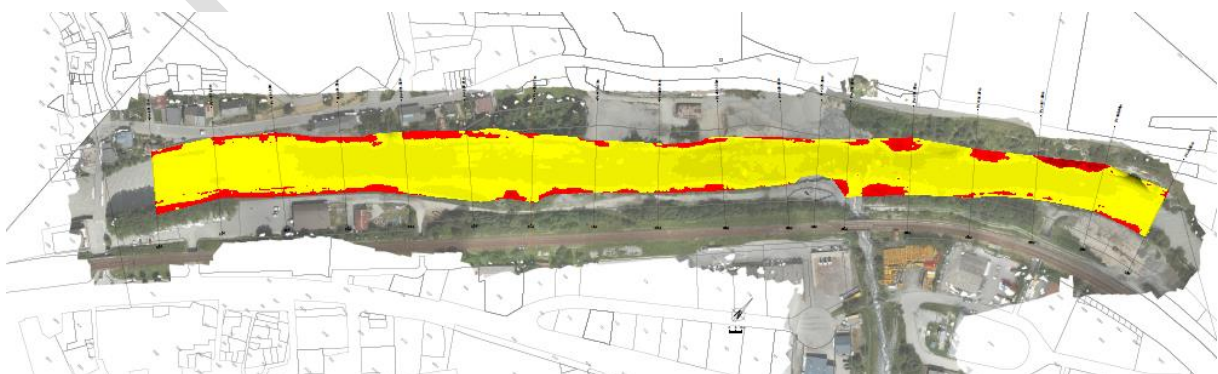


Figure 3 : vue en plan des zones de déblai jaune

Les plans AVP correspondant figurent dans le cahier des plans hors texte du présent rapport - ST-ANTOINE-1-021-AVP - Phase 2-Cahier des plans AVP de la solution retenue-A :

- **6.1 comparaison LIDAR 2013 précis - LIDAR 2021 - VEP.pdf**
- **6.2 comparaison LIDAR 2013 précis - LIDAR 2021 - cahier de profils.pdf**
- **9.0 S2 curage confluence - PROFIL EN LONG.pdf**
- **9.0 S2 curage confluence - VEP.pdf**

4.3 Lot 2 - Recalibrage du lit aval du Saint Antoine

L'aménagement du lit du Saint-Antoine entre la plage de dépôt projetée et la confluence avec l'Arc constitue également un **maillon indispensable** du principe d'aménagement retenu indissociable des deux autres.

L'objectif est double :

- **assurer le transit des matériaux résiduels** depuis les plages de dépôt amont,
- **limiter les risques de dépôt incontrôlé** dans la zone de confluence, tout en maintenant un fonctionnement hydraulique robuste dans un contexte urbain fortement contraint.

4.3.1 Un compromis entre pente hydraulique et faisabilité locale

L'analyse du profil en long du torrent a montré qu'un retour à la pente d'équilibre naturelle (~9 %) serait optimal pour évacuer les matériaux sans dépôt – profil proposé dans l'étude de ETRM-Lombardi 2018.

Cependant, cette solution supposerait un décaissement important sur tout le linéaire entre le pont de la RD1006 et la confluence, en passant sous le pont SNCF.

Elle impliquerait notamment un curage profond sous l'ouvrage ferroviaire, ce qui n'a pas été retenu en comité de pilotage (COPIL) du fait :

- du manque de connaissance sur les fondations du pont SNCF,
- de l'impossibilité d'intervenir sans risques sur ses culées.

Le profil a donc été optimisé pour conserver une pente moyenne de **8 %**, solution **retenue par le maître d'ouvrage** à l'issue d'un comparatif des différentes options de pentes [9]. Ce choix permet de **garantir un transit sédimentaire satisfaisant**, tout en respectant les **contraintes de raccordement amont-aval** et les limites techniques liées à la présence des ouvrages (pont SNCF, passerelle, RD1006).

Le **curage du lit sous le pont de la RD 1006** vise à assurer la continuité du transit sédimentaire entre la plage de dépôt et la confluence avec l'Arc, tout en respectant les contraintes d'ouvrages et de nivellement existants.

Ce curage sera réalisé jusqu'à la base du radier construit sous le pont RD1006, lequel a été mis en œuvre par TELT lors des travaux de remplacement du pont, et **calé à une pente de 8,5 %**.

Le raccordement aval s'effectuera au niveau du lit du torrent en amont du pont SNCF, dans une zone où le décaissement reste possible sans engager les culées du pont SNCF, dont les fondations sont mal connues.

Ce **raccordement progressif** s'effectue à hauteur de la passerelle piétonne, avec une transition entre le fond actuel du lit (ligne noire) et le nouveau profil projeté (ligne rouge), permettant de rétablir une pente moyenne **de l'ordre de 8 %**.

Cette valeur constitue un compromis satisfaisant : **suffisamment dynamique pour assurer le transit des matériaux** sans dépôt excessif, mais **compatible avec les niveaux de fond existants** au droit des ouvrages sensibles.

👉 Voir figure ci-dessous : raccordement du curage sous le pont de la RD1006 – profil en long du Saint Antoine.

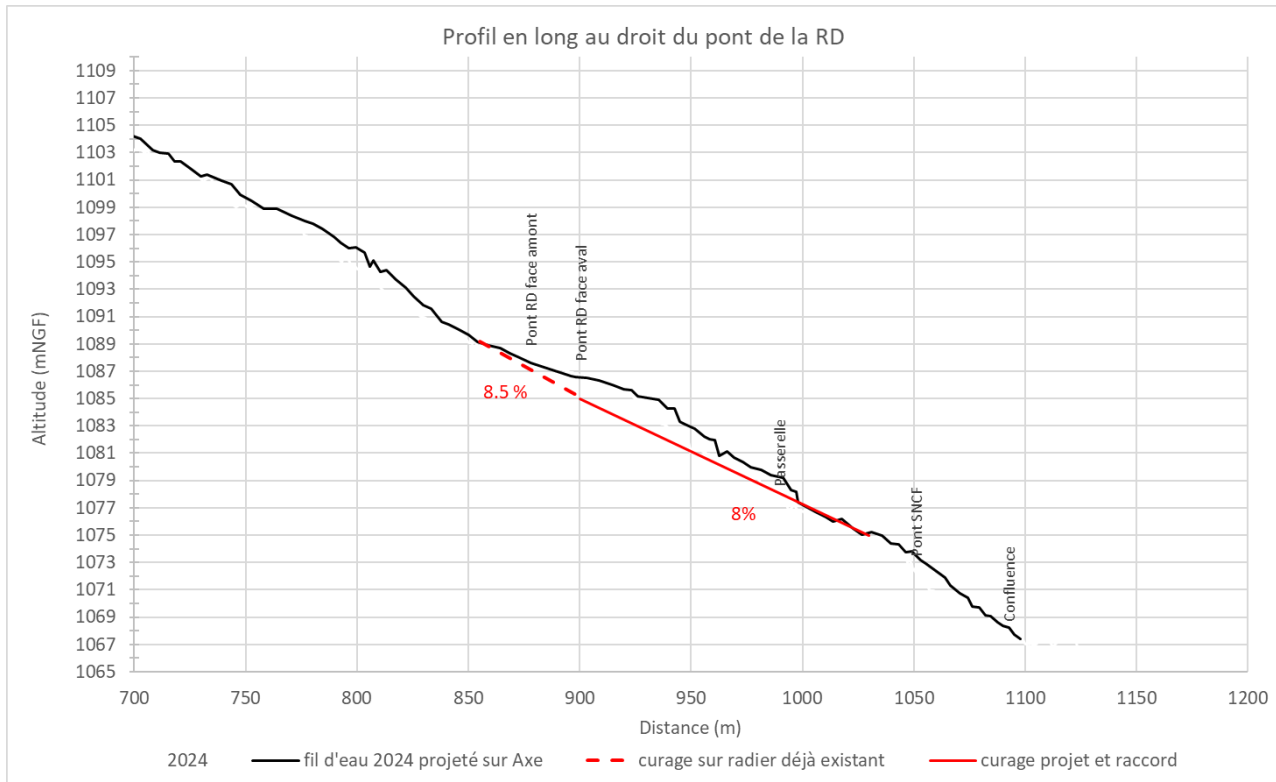


Figure 4 : principe du curage sous le pont de la RD1006

4.3.2 Caractéristiques du lit et des berges

Le **secteur concerné** par le recalibrage du lit (environ **153 m de linéaire**) présente un **lit étroit** encadré par des **berges naturelles très pentues**, avec des pentes atteignant **jusqu'à 150 %**, composées de **blocs de nature et de taille hétérogènes**, pouvant aller **jusqu'à 2 m**. En l'absence de protections, **ces berges se révèlent instables**, avec la présence d'**anses d'érosion localisées**.

Ces berges correspondent en réalité à des **digues en remblai, fortement surélevées** par rapport au terrain naturel en rive gauche, à proximité des enjeux bâtis. Elles font actuellement **l'objet d'une Étude de Danger (EDD)** [6] en cours d'instruction, visant à évaluer leur niveau de protection et les risques associés en l'état actuel.



Figure 5 : berges instables entre le pont de la RD 1006 et la passerelle

4.3.3 Principe d'aménagement retenu

Conformément aux recommandations de l'État, l'aménagement **ne doit pas dégrader le niveau de protection existant**, ni en termes de hauteur, ni de résistance structurelle.

L'objectif est au contraire de garantir **la stabilité hydraulique, le bon transit des matériaux**, et de renforcer les points de faiblesse identifiés, tout en **respectant les contraintes foncières et techniques** du secteur.

Le projet d'aménagement prévoit donc les interventions suivantes :

- **adoucissement des berges** à une pente de 3H/2V ($\approx 66\%$), voir justification stabilité §6.1.3 ;
- **élargissement du fond du lit à 4,5 m**, appliqué à tous les profils en travers disponibles ;
- **pose d'enrochements de pied de berge** et création d'un **radier en enrochement** sur toute la section recalibrée ;
- **mise en œuvre d'une bêche para fouille en béton aval**
- **reconstruction éventuelle du remblai de digue** en arrière de berge, au même niveau et à largeur constante.

4.3.4 Découpage par tonçons

Le linéaire concerné par ces travaux est de **153 ml**. Le curage est de **1m** en moyenne par rapport au fond actuel, avec un maximum à 1.8m au PT4.

Le linéaire de recalibrage est subdivisé comme suit :

- **P1–P2 (45 m)** : zone déjà enrochée par TELT en 2023, radier affleurant, aucun curage requis ;
- **P2–P4 (50 m)** : curage limité, raccordement sur aménagements TELT, sans radier ou nouvelle protection de berge ;
- **P4–P7 (78 m)** : curage plus profond (jusqu'à 1,8 m au point PT4), avec création de radier et protections de berges ;
- **P7–P8 (25 m)** : raccordement progressif au terrain naturel avec radier et protections.

L'ensemble vise à **maintenir une pente régulière**, assurer une **continuité hydraulique vers l'Arc**, et garantir une **stabilité structurelle et hydraulique durable**.

Le plan de l'aménagement est le suivant :

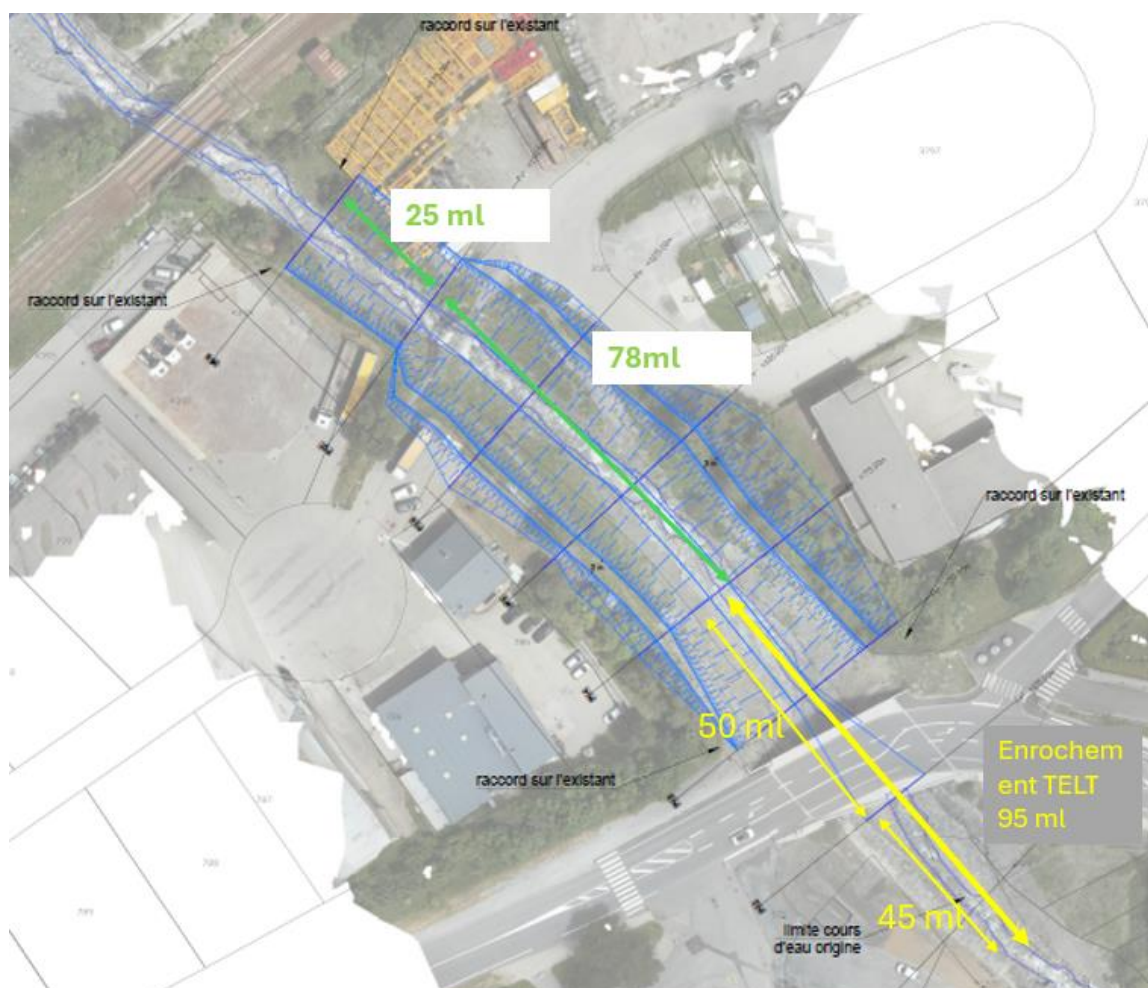


Figure 6 : Vue en plan de l'emprise de l'aménagement et représentation des PT

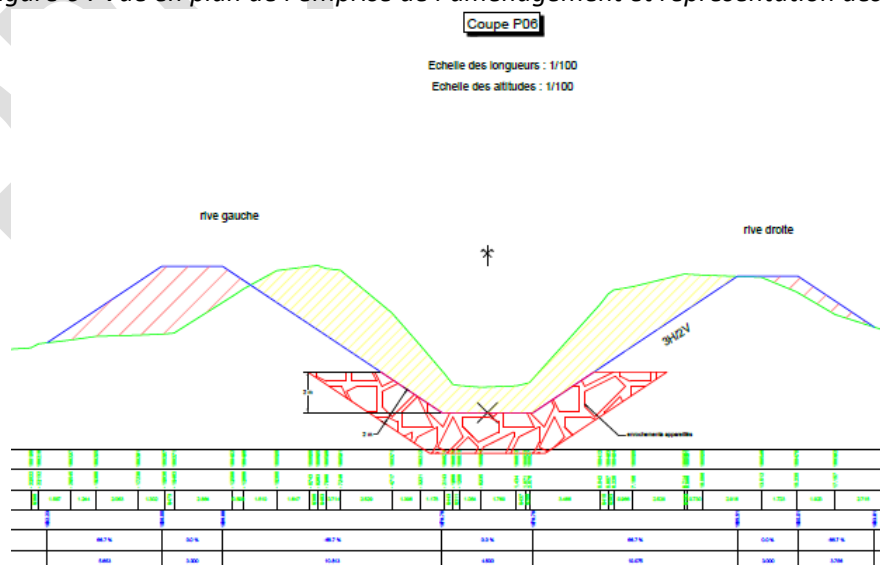


Figure 7 : vue en plan de l'emprise de l'aménagement et vue en coup du PT 6

4.3.5 Dévoisement des réseaux

Le secteur concerné par le recalibrage du lit du torrent traverse une zone urbaine dense, dans laquelle plusieurs réseaux sont présents à proximité immédiate des berges. En particulier, un dévoisement de réseaux enterrés sera nécessaire au niveau de la passerelle mais également en rive droite, dans la portion située entre le pont de la RD1006 et ladite passerelle – voir détail dans le plan des réseaux existants [11] confirmés par les DT réalisés par Améten/SCP en 2025.

Cette intervention est requise pour permettre l'adoucissement des pentes de berge et l'élargissement du fond du lit conformément au profil projeté. Les investigations complémentaires à mener porteront sur l'identification précise des réseaux impactés (eau potable, assainissement, énergie, télécommunications) et sur la coordination des travaux **avec les concessionnaires concernés**. Les modalités de dévoisement seront arrêtées lors des phases ultérieures de conception (PRO/DCE), en lien avec la commune de Modane et les gestionnaires de voirie.

4.3.6 Mesures de protection complémentaire

Un **merlon de protection rive gauche** sera également prolongé entre la passerelle et le pont SNCF, pour **supprimer un point de débordement identifié** lors des dernières études. Ce renforcement complète les dispositifs de confinement du lit mineur.

Les plans détaillés de cet aménagement figurent dans le cahier des plans hors texte du présent rapport - ST-ANTOINE-1-021-AVP - Phase 2-Cahier des plans AVP de la solution retenue-A :

- **13.1 – Curage sous le pont – VEP.ind C**
- **13.2 – Curage sous le pont – Profils.ind C**
- **Profils au droit passerelle.pdf**

4.4 Lot 3 – Construction de la plage de dépôt

La création d'une nouvelle plage de dépôt en amont du pont de la RD1006 constitue **le maillon central** de la stratégie de gestion des crues et du transport solide du torrent du Saint-Antoine. Elle complète l'aménagement du lit en aval (lot 2) en piégeant les matériaux avant leur arrivée dans la zone urbanisée de Modane et la libération de l'espace de respiration à la confluence avec l'Arc (lot).

L'objectif principal de cette plage est de :

- **Favoriser le dépôt de la lave torrentielle** générée en amont, en particulier lors des épisodes extrêmes,
- **Permettre la réduction du volume de matériaux transportés** jusqu'à la confluence avec l'Arc,
- **Limiter les interventions curatives** en aval et protéger les ouvrages sensibles (ponts, digues),
- **Maintenir un fonctionnement hydraulique transparent** dans les conditions normales de crue.

Cette plage complète le système existant en créant un nouveau site de piégeage intermédiaire entre la plage actuelle et la confluence avec l'Arc.

4.4.1 Localisation, dimensionnement et caractéristiques techniques

L'ouvrage a été dimensionné à partir :

- des retours d'expérience de fonctionnement du torrent (événements 1987, 2014) et notamment de la plage de dépôt amont,
- de l'appui technique d'**ETRM**,
- des recommandations INRAE (2018),
- des simulations de remplissage et vidange issues des AVP phase 1 et 2.

Caractéristiques principales de la plage de dépôt :

- **Capacité de stockage utile** : 25 000 à 27 500 m³,
- **Pente de dépôt interne** : 4 %, cohérente avec la dynamique des laves torrentielles locales – cf expertises qui ont fait suite aux événements de 1987 et 2014 (ONF, ETRM),
- **Pente de fond** : 9 %, correspondant à la pente d'équilibre du torrent pour éviter les déséquilibres sédimentaires en aval ayant le moins d'influence sur les érosions aval, conformément au retour d'expérience de torrents équipés de plage de dépôts des Alpes (INRAE 2018),
- **Digues latérales** : en remblais compactés, pente de crête 5 %, conférant une marge de sécurité sur les volumes de stockage,
- **Déversoir de sécurité** : calé sur le débit centennal et sur les dimensions de la plage de dépôt amont, parement aval protégé contre l'érosion (retour d'expérience Saint-Martin-la-Porte, INRAE/ONF 2022),
- **Fermeture aval** : réalisée en béton armé il est de type *fente* de 3 m de large, inspirée de la plage actuelle qui a montré son bon fonctionnement, permettant de bloquer les gros blocs et de ralentir les écoulements solides fréquents,
- **Piste d'accès** : en rive gauche, assurant un accès direct pour le curage et l'entretien.

➡ Voir Figure 8 : Vue en plan de l'aménagement – cahier des plans en annexe (documents 10.1 à 10.7).

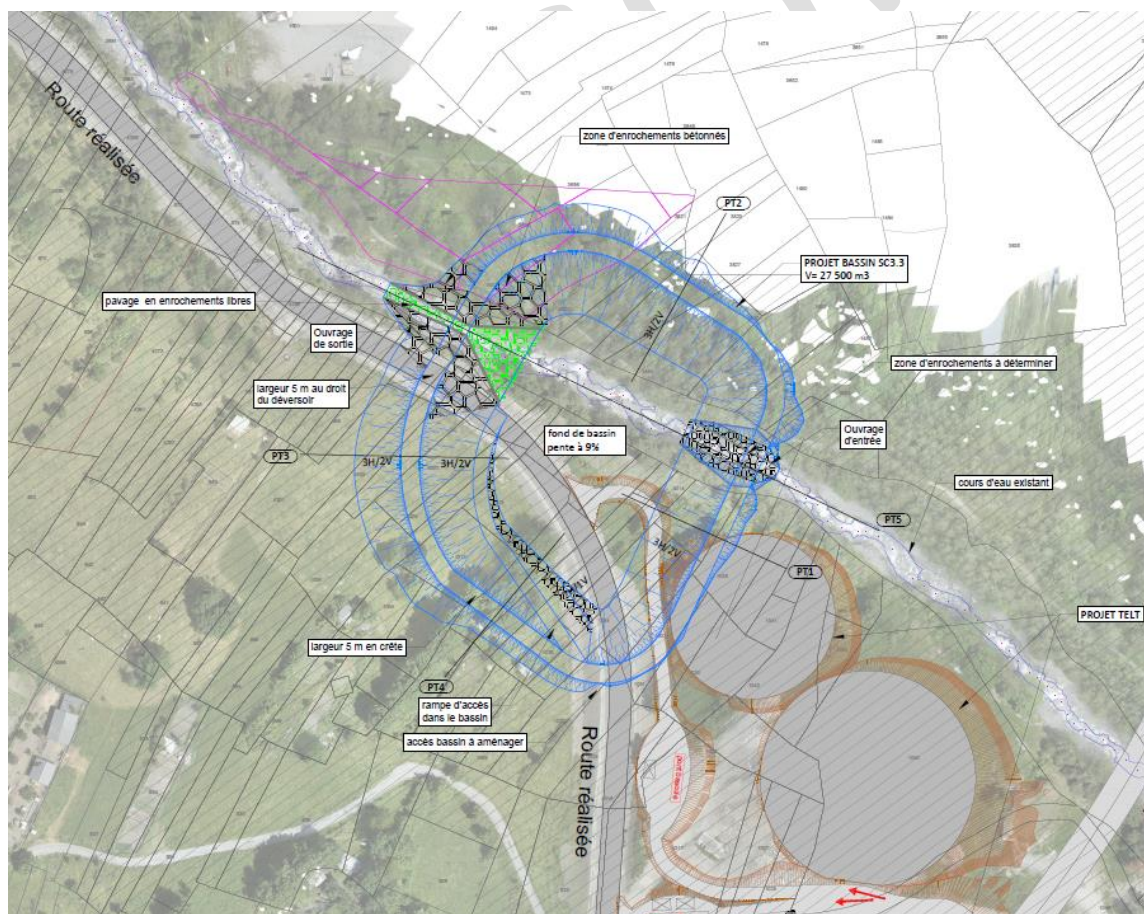


Figure 8 : vue en plan de l'aménagement de la plage de dépôt, (voir cahier des plans)

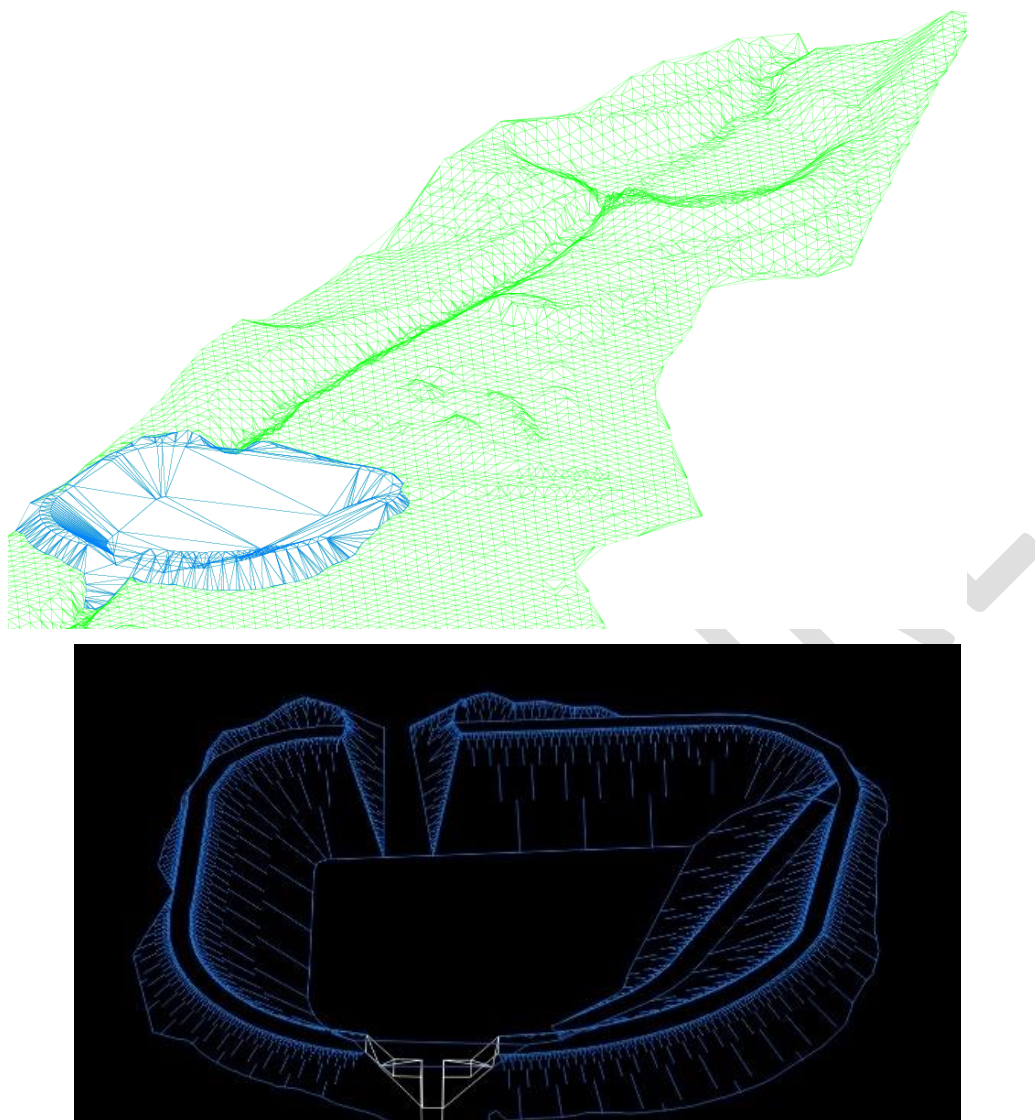


Figure 9 : Schémas 3D l'aménagement plage de dépôt

4.4.2 Contraintes d'insertion, stabilité

La conception de cette plage a dû intégrer plusieurs contraintes majeures :

- **Foncier** : l'emprise projetée repose principalement sur du foncier communal, évitant les acquisitions complexes.
- **Hydraulique** : implantation partielle dans le lit, sans réduction significative de la section d'écoulement en régime non chargé (fonctionnement transparent en l'absence de lave).
- **Stabilité des digues** : vérifiée par dimensionnement géotechnique (pentes talus, matériaux, hauteurs d'eau, pression interne).

4.4.3 Phasage et coordination avec les infrastructures temporaires de TELT

Implantée en rive gauche du torrent, en partie dans le lit mineur, la plage de dépôt projetée s'inscrit dans un contexte fortement contraint, notamment du fait de la présence de **la future route de contournement** portée par **TELT**, dont le tracé traverse directement l'emprise de la plage projetée.

À cela s'ajoute, **en amont immédiat**, une **jetée provisoire de chantier**, également implantée dans le lit du torrent, destinée au transit des matériaux extraits du tunnel de base également géré par TELT.

Ces infrastructures temporaires ont un impact direct sur l'organisation du chantier de la plage de dépôt :

- la **route de contournement actuelle** passe sur une partie de l'assiette même de la future **plage** ;
- la **jetée TELT** **empiète partiellement sur l'amont de l'emprise projetée**, modifiant localement le fonctionnement hydraulique du torrent pendant les travaux.

Un phasage spécifique a été conçu afin de garantir la compatibilité des deux chantiers (plage de dépôt et route de contournement TELT) et d'éviter toute interférence opérationnelle.

Cette coordination repose sur les principes suivants :

- **La réalisation de la plage de dépôt** interviendra après le démantèlement de la route de contournement temporaire, actuellement implantée dans l'emprise directe du bassin.
À ce titre, des recommandations techniques ont été transmises à TELT afin d'anticiper un contournement de l'ouvrage et de permettre la libération complète de l'emprise avant les travaux de terrassement de la plage.
- **Le maintien des accès logistiques de TELT sera garanti** durant les phases critiques, notamment pour la circulation des engins sur les plateformes voisines.
- **Un fonctionnement hydraulique provisoire du torrent sera préservé** pendant toute la phase transitoire, y compris en présence de la **jetée temporaire** installée en amont immédiat par TELT.

Celle-ci modifiant partiellement l'espace disponible, le chantier de la plage sera phasé en deux étapes distinctes :

1. **Une première phase** consistera à réaliser l'ouvrage de fermeture aval, ainsi que les digues latérales, permettant d'assurer dès ce stade un fonctionnement partiel mais efficace du dispositif de piégeage, tout en limitant les volumes mobilisés.
2. **La seconde phase** – après repli de la jetée TELT – permettra de fermer entièrement le bassin et d'atteindre le volume utile final de 25 000 m³,

4.4.4 Risques, précautions et prescriptions techniques

Les principaux points de vigilance sont les suivants :

- **Remplissage prématuré** : une surveillance et un programme de curage réactif sont à prévoir
- **Risque de contournement** : limité par la conception des digues et le contrôle de la ligne de crête,
- **Interaction avec la route de contournement** : une bande de sécurité est conservée entre la digue de la plage et les talus routiers,
- **Stabilité en charge** : à vérifier au stade PRO

Les plans AVP correspondant figurent dans le cahier des plans hors texte du présent rapport - ST-ANTOINE-1-021-AVP - Phase 2-Cahier des plans AVP de la solution retenue-A :

- **10.1 S3.3 plage de dépôt intermédiaire 25000 m3 - CADASTRE.ind D.pdf**
- **10.2 SC3.3 bassin projet 25000 m3-vue aerienne.ind D**
- **10.3 S3.3 plage de dépôt intermédiaire 25000 m3 - COUPES TYPES.ind D.pdf**
- **10.6 S3.3 PHASAGE bassin projet 25000 m3-vue aerienne.pdf**
- **10.7 S3.3 PHASAGE plage de dépôt intermédiaire 25000 m3 - COUPES TYPES.pdf**
- **10.5 S3.3 PHASAGE plage de dépôt intermédiaire 25000 m3 - CADASTRE..pdf**

5 FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

La compréhension fine du fonctionnement hydraulique du torrent du Saint-Antoine, et en particulier de son comportement en crue torrentielle de type lave, constitue un axe central de l'étude de conception.

Cette analyse est indispensable pour vérifier la performance des aménagements projetés vis-à-vis des objectifs de protection contre les aléas torrentiels et des niveaux de sécurité requis au droit des ouvrages sensibles traversés (ponts, digues, zones urbanisées).

Ce chapitre s'appuie sur les résultats de la modélisation 2D réalisée dans le **rapport hydraulique (indice C, §7.5)** intégrant :

- **la topographie actualisée** de l'ensemble du linéaire étudié (issues des levés LiDAR et campagnes topographiques complémentaires),
- **les caractéristiques des aménagements projetés** définis au chapitre 4 (plage de dépôt, recalibrage du lit, curage de confluence),
- **les hypothèses de crue torrentielle centennale** issues du modèle de génération de lave ONF-INRAE MCB, adapté au fonctionnement spécifique du Saint-Antoine,
- **des paramètres de rhéologie variables** (fluide à visqueuse), en cohérence avec les dynamiques observées lors des événements de 1987 et 2014,
- **et une vérification spécifique de l'absence d'obstruction des ponts**, en prenant en compte le rôle combiné des plages de dépôts amont.

5.1.1 Scénario Q100

La modélisation de la lave torrentielle Fluide et Visqueuse a été réalisée dans le **rapport hydraulique ST-ANTOINE-1-002-AVP - Phase 1-Etude hydraulique -B § 7.5**.

La simulation 2D de la lave torrentielle de projet Q100 est relancée après avoir pris en compte les ouvrages et avec les paramètres suivants :

- Q pointe 90 m³/s, soit un débit autour de la médiane des simulations.
- Volume intercepté de 35 000 m³ (volume relâché de 45 000 m³).
- Rhéologie fluide à visqueuse mais pas au-delà, témoignant de l'absence de gros blocs. La rhéologie visqueuse est quand même prise en compte pour ne pas être trop optimiste sur la rhéologie.

Type	τ_c	K	n	$\frac{\tau_c}{\rho}$	$\frac{K}{\tau_c}$	ρ
Fluide	1260	380	0.33	0.6	0.3	2000
Visqueuse	2000	590	0.33	1	0.3	2000

- Pas d'obstruction des ponts par les blocs étant donné qu'ils sont interceptés par les deux plages de dépôts successives

La modélisation 2D de la lave centennale **montre un passage sans débordement et sans accroche** des sous poutres dans la traversée de Modane.

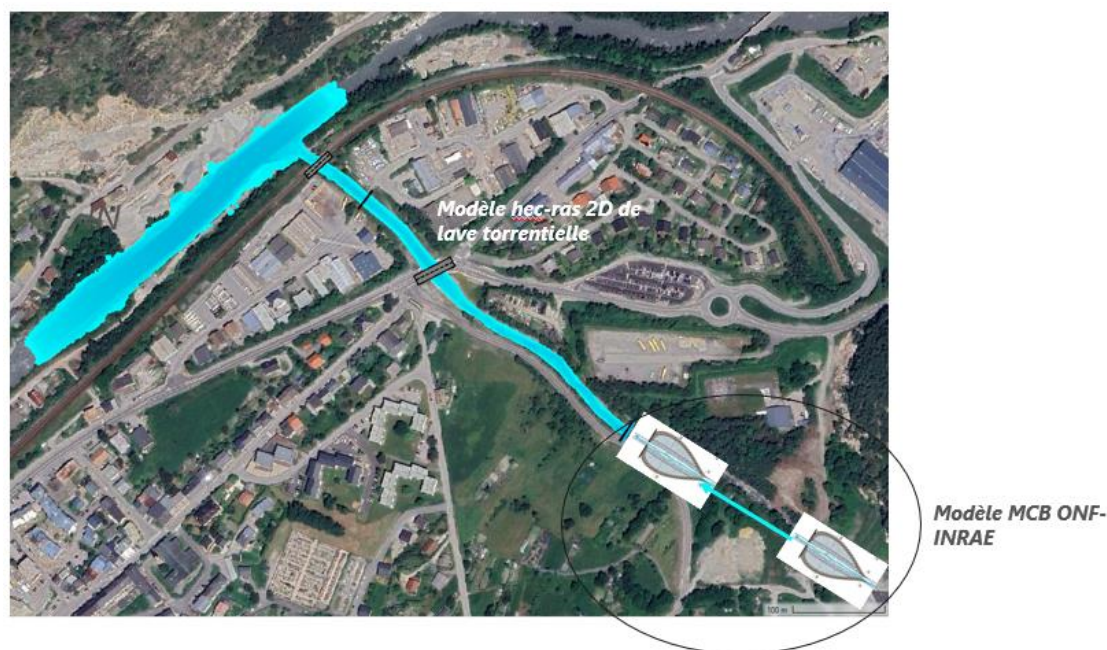


Figure 10 Principe de la modélisation après aménagement et résultat de la modélisation hec-ras 2D de la lave torrentielle centennale visqueuse, après les aménagements sus-cités, et après avoir simulé l'hydrogramme par le modèle MCB ONF-INRAE présentés au §*Erreur ! Source du renvoi introuvable.*

Les résultats au droit des ouvrages, après aménagements, sont les suivants :

- La lave torrentielle passe dans Modane **sans débordement et avec une revanche de 1.8 m** au pont SNCF, **2.2 m à la passerelle** et **2.4 m au pont de la RD**. (voir Figure 13)
- Bien que ce ne soit pas l'objet de l'étude, notons que les digues aval du pont de la RD1006 sont mises en charges, puisque le torrent est de toute façon plus haut que le terrain naturel du cône de déjection
- Entre la zone artisanale et la passerelle, la crête de berge rive gauche est réduite brutalement, le profil est quasi plein bord (50 cm avant débordement) (voir Figure 14)
- Le nouveau merlon proposé dans l'aménagement retenu (voir chapitre 4) permet d'assurer un tirant d'air entre le niveau de la lave « visqueuse » et la crête de berge d'au minimum 1m.

A noter que pour les besoins de l'ACB-AMC, d'autres scénarios de crue seront définis et modélisés selon le guide méthodologique de l'AMC en contexte torrentiel.

Les figures ci-dessous présentent le tableau de résultats, les profils en travers et profils en long de la Q100 après aménagement suscités.

Figure 11 tables des lignes d'écoulements calculées après les aménagements suscités

Ouvrage	Ligne d'écoulement (mNGF) en face amont de l'ouvrage		Sous poutre	Revanche avec la lave fluide	Revanche avec la lave visqueuse
	Q100 fluide (1260 Pa, paramètre K 380)	Q100 visqueuse (2000 Pa, paramètre K 380)			
RD	1090.3	1090.9	1093.28	3.0	2.4
Passerelle	1081.5	1082.2	1084.36	2.9	2.2
SNCF	1075.4	1075.6	1077.36	2.0	1.8

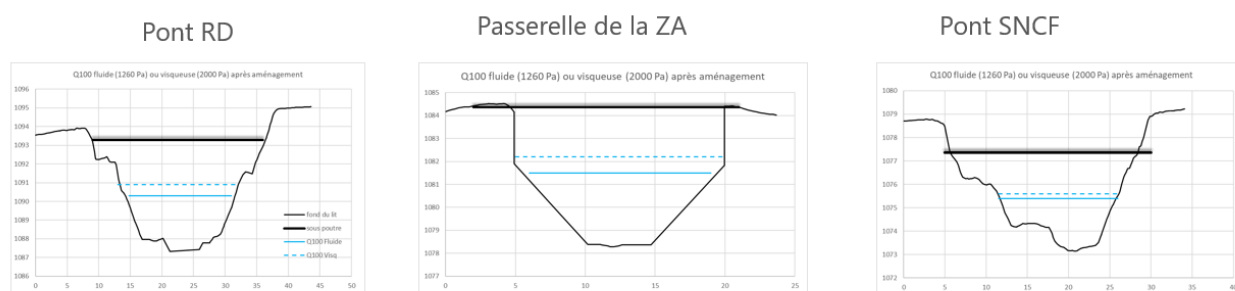


Figure 12 : *profils en travers au droit des ouvrages des lignes d'écoulements Q100 calculées après les aménagements sus-cités*

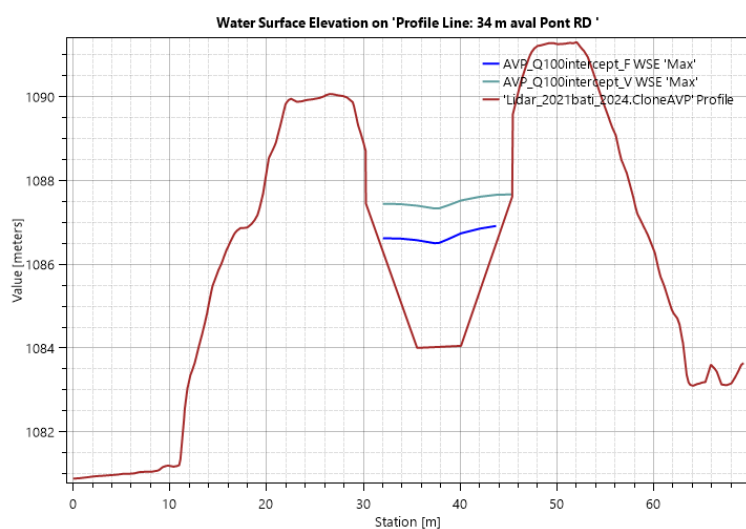


Figure 13 : *profils en travers au droit de la digue située entre la passerelle et le pont de la RD*

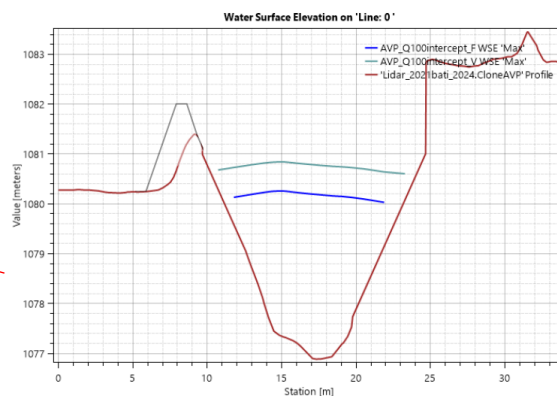


Figure 14 : *profils en travers à l'aval de la passerelle avec schéma de principe du merlon réhaussé reporté sur le profil en travers*

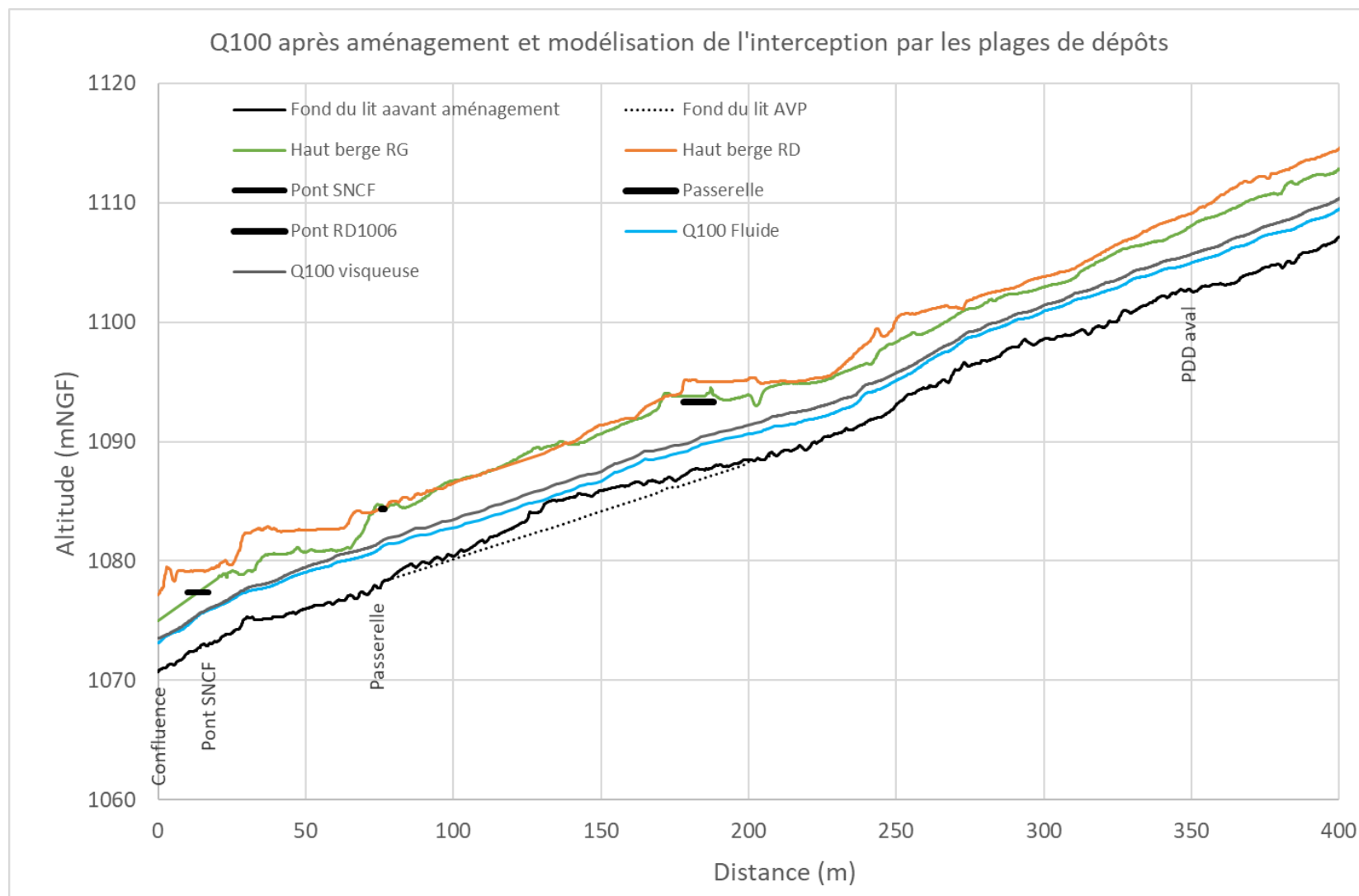


Figure 15 : profil en long des lignes d'écoulements Q100 calculées après les aménagements sus-cités

6 ASPECTS TECHNIQUES

6.1 Aspects géotechniques

6.1.1 Cadre de l'étude

L'étude géotechnique de niveau G2 AVP, réalisée par TELT dans le cadre de l'étude menée par ETRM/Lombardi [11], a permis de caractériser les conditions géotechniques des deux zones d'intervention du projet :

- le **lot 2**, relatif au recalibrage du lit aval et à la stabilisation des berges ;
- le **lot 3**, correspondant à la **création d'une nouvelle plage de dépôt** en rive gauche.

L'objectif de cette étude a été de définir les principes constructifs, d'évaluer la stabilité des remblais projetés, et de préconiser des hypothèses de calcul pour les phases ultérieures et notamment en phase PRO.

6.1.2 Contexte géologique et géotechnique

Le secteur d'étude est localisé sur le cône de déjection du torrent du Saint-Antoine, en rive gauche de l'Arc. Le sous-sol est constitué de dépôts alluvionnaires hétérogènes à dominante graveleuse, incluant localement des blocs de grande dimension (jusqu'à 2 m), reposant sur un substratum marno-calcaire sain.

Les caractéristiques mécaniques estimées des matériaux de remblai et d'alluvions compactées sont les suivantes :

- Γ (densité sèche apparente) = 20 kN/m³ à 21 kN/m³,
- ϕ' (angle de frottement) = 32° à 36°,
- c' (cohésion) = 0 à 10 kPa,
- perméabilité moyenne $k \approx 10^{-3}$ m/s.

Ces valeurs, cohérentes avec les données de la base de sondages régionale, ont été retenues pour les calculs de stabilité et le dimensionnement des ouvrages de protection.

La présence d'une nappe temporaire liée aux crues a également été intégrée dans les analyses de stabilité, notamment en phase de décrue rapide du Saint-Antoine.

6.1.3 Stabilité des berges du Saint Antoine - lot 2

Les berges recalibrées du lot 2 présentent une configuration instable, notamment en rive gauche, constituée de remblais hétérogènes (blocs jusqu'à 2 m) sans ancrage ni protection, dans des pentes naturelles pouvant atteindre 150 %.

Le profil d'aménagement projeté dans le présent document prévoit un adoucissement à 3H/2V (≈ 66 %) pour stabiliser ces talus et permettre leur protection, permettant :

- de réduire la contrainte en pied de berge,
- d'assurer la stabilité globale du talus,
- et de faciliter la mise en œuvre d'un enrochement de pied et d'un radier en protection.

Une analyse de stabilité a été conduite à l'aide du logiciel **TALREN 5**, avec les hypothèses suivantes :

- matériaux : remblais graveleux silteux hétérogènes (GTR classe B5 à C2),
- nappe : crue rare avec tirant d'eau de 2,4 m,
- situation en décrue rapide,
- coefficients de sécurité partiels selon le guide CFBR (2015).

Et également en considérant plusieurs cas de charge :

- conditions statiques à sec,
- crue de plein bord,
- phase de décrue rapide.

Les calculs ont été menés selon les recommandations du CFBR (2015 – Barrages en remblai) et du Référentiel technique des digues fluviales (MEEM, 2016).

Les coefficients de sécurité obtenus sont les suivants :

- **Fs ≥ 1,3** en conditions normales et crue de plein bord,
- **Fs ≈ 1,05 à 1,1** en décrue rapide (cas le plus défavorable) sauf côté torrent

SYNTHESE DES CALCULS DE STABILITE - Torrent St Antoine à MODANE (73)

Phase	Charge sur la crête	Situation	Jeux de coefficients	Profil P5 Normal	Profil P5 inversé	Profil P6 Normal	Profil P6 inversé
Etat actuel	Aucune	Talus côté torrent	CFBR-Exploitation normale	1,25	1,12	1,07	0,93
		Talus côté ZP	CFBR-Exploitation normale	1,61	1,89	2,35	1,86
Après profilage	10 kPa	Talus côté torrent	CFBR-Exploitation normale	1,14	1,18	1,16	1,16
		Talus côté ZP	CFBR-Exploitation normale	1,29	1,47	1,74	1,21
Crue Rare	Aucune	Talus côté torrent	CFBR-Crue Rare	1,66	1,74	1,63	1,69
		Talus côté ZP	CFBR-Crue Rare	1,19	1,45	1,76	1,11
Décrue rapide	10 kPa	Talus côté torrent	CFBR-Crue Rare	0,92	0,92	0,93	0,91
		Talus côté ZP	CFBR-Crue Rare	1,27	1,45	1,74	1,14
Séisme (+)	Aucune	Talus côté torrent	CFBR-Extrême	1,19	1,22	1,17	1,19
		Talus côté ZP	CFBR-Extrême	1,35	1,62	1,76	1,24
Séisme (-)	Aucune	Talus côté torrent	CFBR-Extrême	1,20	1,22	1,18	1,20
		Talus côté ZP	CFBR-Extrême	1,38	1,62	1,82	1,27

Ces résultats confirment la stabilité des profils projetés à 3H/2V, à condition d'un **compactage contrôlé** des remblais de reprise et d'un **ancrage de pied d'enrochement** dimensionné pour limiter l'érosion régressive.

Le cas de décrue rapide, légèrement défavorable, est considéré comme **acceptable** au regard de sa faible fréquence (crue exceptionnelle) et des marges de sécurité intégrées dans la conception. Il convient par ailleurs de rappeler que les laves torrentielles présentent un comportement non newtonien difficile à modéliser précisément avec les outils standards. Dans ce contexte torrentiel actif, la décrue rapide ne permet généralement pas une saturation complète du sol, ce qui **rend l'hypothèse de calcul adoptée particulièrement conservatrice**.

Un **contrôle de stabilité complémentaire sera effectué en phase PRO** pour les tronçons à forte contrainte hydraulique, notamment au droit du PT4 où la profondeur de curage atteint 1,8 m.

6.1.4 Stabilité de la plage de dépôt (lot 3)

Pour rappel, la future plage de dépôt, implantée en rive gauche et en partie dans le lit mineur du torrent Saint-Antoine, est conçue pour intercepter entre **25 000 et 27 500 m³** de matériaux sédimentaires transportés par les laves torrentielles.

Elle comprend :

- deux digues latérales en remblai compacté,

- un bassin à fond en pente de 9 %,
- un ouvrage de fermeture de type fente bétonnée de 3 m de large,
- un **déversoir de sécurité** calibré pour évacuer une crue centennale.

Le principe de stabilité de la plage de dépôt repose sur **des méthodes éprouvées de conception de barrages en remblai de faible hauteur**, s'appuyant notamment sur les recommandations du CFBR (2015) et du guide « Conception des petits barrages » (SETRA/CFBR).

À ce stade de l'étude, **aucun calcul de stabilité spécifique** n'a encore été réalisé, mais les principes de conception ont été définis **par analogie avec la plage de dépôt amont**, dont la conception initiale réalisée par SAFEGE/ETRM (2016) et le retour d'expérience est favorable. Les calculs seront affinés en phase PRO à partir des données issues de la **campagne de reconnaissances géotechniques actuellement en cours** (cf. CCTP ST-ANTOINE-TO2-100-PRO).

La configuration géométrique du bassin et des digues latérales répond aux principes suivants :

- **Compactage en couches successives** de matériaux de type GTR B3 à B6, avec un indice ≥ 95 % Proctor modifié et des couches $\leq 0,30$ m ;
- **Pentes de talus de 3H/2V côté aval et côté bassin**, en adéquation avec les profils de stabilité usuels pour des ouvrages hydrauliques de hauteur < 10 m ;
- **Dispositif de déversoir de sécurité** pour assurer le contrôle du niveau d'eau et éviter les surverses prolongées ;
- **Bêche para fouille en pied de digue aval et protection en enrochements du bassin de dissipation**, jouant un rôle contre l'érosion régressive
- **Fermeture du bassin par une fente bétonnée de 3 m de large**, qui combine les fonctions de retenue mécanique et de filtration hydraulique sélective.

À titre conservatoire, les caractéristiques géomécaniques des remblais ont été estimées comme suit, sur la base des données régionales et de l'étude G2 AVP :

- **Poids volumique (γ)** : 20 à 21 kN/m³ ;
- **Angle de frottement interne (ϕ')** : 32° à 36° ;
- **Cohésion (c')** : 0 à 10 kPa ;
- **Perméabilité moyenne (k)** : environ 10⁻³ m/s.

À ce stade de l'étude, une **hypothèse prudente** a été retenue concernant la nature des matériaux, en considérant une part d'apport extérieur pour garantir l'atteinte des caractéristiques minimales de compactage et de portance nécessaires au bon comportement de l'ouvrage.

Cette part sera optimisée en phase PRO en fonction des résultats des **reconnaissances géotechniques** (essais pressiométriques, granulométrie, perméabilité, portance, etc.).

Les principes retenus sont conformes aux référentiels suivants :

- **CFBR, Recommandations pour les remblais de barrage** (2015) ;
- **MEEM, Référentiel technique des digues fluviales** (2016) ;
- ***Recueil de confortement des digues fluviales** (2018) ;
- **Eurocode 7 – NF EN 1997-1**, pour la vérification des états limites géotechniques ;
- **Guide de conception des petits barrages** (SETRA – CFBR, 2004).

6.1.5 Matériaux de curage à la confluence (lot 1)

Le lot 1 du projet porte sur le curage du lit du torrent Saint-Antoine à sa confluence avec l'Arc, sur environ 150 m linéaires. Cette zone correspond à un secteur de dépôt sédimentaire important en pied de cône de déjection.

Les matériaux à curer sont composés de sédiments fins à grossiers (limons, sables, graviers et blocs), avec une stratification irrégulière. Compte tenu de la localisation urbaine du site, du trafic routier à proximité (RD1006), et d'un historique industriel et logistique dans la plaine de l'Arc, une attention particulière est portée à la **potentielle pollution des sédiments**.

À ce stade AVP, **aucune analyse physico-chimique n'a encore été conduite**, mais des hypothèses de gestion des déblais potentiellement pollués ont été intégrées dans le chiffrage, sur la base :

- du retour d'expérience de curages précédents dans le lit de l'Arc et de torrents affluents,
- de coûts moyens observés pour le traitement hors site de matériaux légèrement pollués.

En phase PRO, une **campagne d'analyses sur échantillons de matériaux** sera réalisée, selon les prescriptions du CCTP spécifique à l'étude géotechnique et environnementale. Elle visera à :

- caractériser la nature et l'ampleur éventuelle de la pollution (analyses HAP, métaux lourds, hydrocarbures...) ;
- définir les modalités de gestion compatibles avec la réglementation (tri, stockage temporaire, filières d'évacuation) ;
- affiner les quantités concernées et le coût associé à la filière externe agréée.

Cette démarche permettra de **lever les incertitudes actuelles** sur la qualité environnementale des matériaux et d'ajuster les modalités de traitement et de valorisation éventuelle des matériaux de curage.

6.2 Déblai / remblai – mouvements de terres

Le programme de travaux comprend une part importante de terrassements, générant à la fois des volumes importants de déblais et des besoins localisés en remblais, notamment pour la construction de la plage de dépôt (lot 3) et le curage de la confluence (lot 1).

Le Tableau 2 présente les volumes de mouvement de terre sur chacun des lots.

Tableau 2 : Synthèse des volumes de déblai et remblai sur les 3 lots de travaux

	Lot 1	Lot 2	Lot 3
Déblai	32 000 m ³	11 000 m ³	39 000 m ³
Remblai	-	5 000 m ³	13 000 m ³

Le bilan global des mouvements de terre montre un **excédent net de matériaux**, notamment en lien avec les curages et terrassements importants prévus aux lots 1 et 3.

Autant que possible, une **logique d'économie circulaire** sera privilégiée pour limiter les flux sortants et entrants sur site. Cela passera par :

- la **valorisation sur place des déblais** issus du curage et du recalibrage, pour alimenter les besoins en remblai (digues, merlons, remblais de protection) ;
- une **organisation optimisée des phasages et du stockage intermédiaire**, pour permettre le séchage ou le criblage éventuel des matériaux réutilisables ;
- une **adaptation des profils d'ouvrage et des techniques de mise en œuvre** aux caractéristiques des matériaux disponibles localement (ex. : granulométrie étendue pour remblais de digue de plage).

Cette approche s'inscrit dans les recommandations du GTR 2024 pour une gestion durable des matériaux.

À ce stade de l'étude, et dans l'attente des résultats des reconnaissances géotechniques et analyses physico-chimiques, le chiffrage des travaux **intègre une hypothèse prudente de 50 % d'import de matériaux** pour les opérations de remblai. Cette proportion sera affinée en phase PRO, en lien avec :

- la caractérisation des matériaux en place (granulométrie, portance, pollution éventuelle) ;
- les exigences de compactage (≥ 95 % Proctor modifié) ;
- et la compatibilité géotechnique avec les usages visés (remblais structuraux, couches drainantes ou filtrantes...).

En phase PRO, une étude détaillée du mouvement des terres sera conduite afin de :

- caractériser précisément les matériaux disponibles par lot (granulométrie, portance, compacité, polluants éventuels) ;
- valider leur aptitude à être réutilisés dans les remblais structurants (plage, digues, enrochements) ;
- organiser les flux de matériaux sur site pour minimiser les transports, les zones de stockage temporaires, et les impacts environnementaux.

L'objectif final sera de maximiser la réutilisation des déblais en remblais techniques ou paysagers, et de limiter les apports extérieurs à ce qui est strictement nécessaire, en conformité avec les exigences du guide GTR 2024 (fascicule 1) et des normes en vigueur (NF P 11-300, NF EN 13285).

6.3 Dimensionnement des enrochements -

La mise en œuvre d'enrochements constitue un élément essentiel de la protection des ouvrages vis-à-vis de l'érosion hydraulique, notamment en contexte torrentiel actif.

Ce mode de protection est particulièrement adapté aux secteurs soumis à :

- des vitesses d'écoulement élevées (jusqu'à 6 à 7 m/s en crue centennale),
- des pentes marquées (> 8 %),
- une forte variabilité des régimes hydrauliques (débits, tirants d'eau),
- et à la présence de matériaux grossiers en transport solide (charriage et laves torrentielles).

Le dimensionnement des blocs s'appuie sur plusieurs approches issues de la littérature (Peterka, USACE, Maynard, Escameia), avec une prise en compte conservatoire de la turbulence, de la pente et des vitesses locales. Les calculs conduisent à des diamètres nominaux (D_{50}) de 0,9 à 1,3 m selon les zones, correspondant à des masses unitaires de 1,5 à 4 t, en accord avec les pratiques observées sur des torrents alpins similaires.

Deux lots sont concernés par des travaux spécifiques :

- **Lot 2 – Recalibrage du lit aval du Saint Antoine :**

Le recalibrage du lit s'accompagne de la mise en œuvre d'enrochements libres non liaisonnés sur le fond du lit et sur les berges, afin de limiter l'érosion longitudinale et latérale. Ces protections sont conçues pour résister à des vitesses $> 6 \text{ m/s}$, estimées en crue centennale selon les modèles et à des pentes de fond de l'ordre de 9 %.

Les blocs d'enrochement, d'un diamètre $\geq 1 \text{ m}$, et de masse moyenne comprise entre 1,5 et 3 t seront mis en œuvre en deux couches croisées, sur un radier granulaire de 1,8 à 2 m d'épaisseur, valeur conservatrice adoptée à ce stade pour garantir la stabilité hydraulique et mécanique. Cette épaisseur est cohérente avec les recommandations du référentiel digues fluviales (MEEM, 2016) et les pratiques observées sur les torrents voisins (Saint-Bernard, Claret).

Les raccordements avec les dispositifs existants (digues, seuils, protections) feront l'objet de **traitements de transition soignés**, avec chevauchements ou ancrages, selon les recommandations du "Recueil de confortement des digues fluviales" (Cerema, 2018), et notamment en raccordement avec les enrochements existants sous le pont de la RD 1006.

- **Lot 3 - Construction de la plage de dépôt :**

Cet ouvrage mobilise plusieurs types d'enrochements en fonction de leur fonction hydraulique et structurelle :

- **Déversoir d'alimentation** : pavage en enrochements libres, posés sur radier de 2 m. Masse unitaire moyenne : 2 à 3 t.
- **Talus de autour de l'ouvrage de fermeture** : enrochements liaisonnés au béton armé pour assurer stabilité et résistance aux efforts latéraux. Béton conforme à la classe XF3 (résistance au gel/dégel avec sels). L'épaisseur de la protection reste de l'ordre de 2 m.
- **Bassin de dissipation aval** : blocs de très grande dimension ($> 3,5 \text{ t}$, jusqu'à 4 t) mis en place en double couche sur une largeur suffisante (3 à 4 blocs), pour encaisser les surpressions locales et éviter tout affouillement.

Lorsque cela est possible, les matériaux d'enrochement issus du site seront réutilisés (sous réserve de contrôle géotechnique et de calibrage), pour limiter les apports extérieurs et favoriser une insertion locale des matériaux.

Dispositions techniques transversales :

- **Vitesse de référence** : 6 à 7 m/s
- **Pente hydraulique** : 8 à 9%
- **Dimensionnement des blocs** : 1,5 à 4 t selon la zone et le niveau de turbulence
- **Assise sur radier** : L'épaisseur de **2 m de radier en matériaux granulaires** est conservée à ce stade de l'AVP. Elle sera précisée en phase PRO après vérification des sollicitations locales (hauteur d'eau, vitesses, cisaillements).

- **Traitements de transition** : Les raccordements aux ouvrages existants ou projetés font l'objet de traitements de **liaison soigneux**, pour assurer la continuité mécanique et hydraulique des protections (emboîtements, dents de scie, géotextiles de transition).
- **Enrochements bétonnés** : Pour les parties liaisonnées (plage de dépôt), les bétons seront conformes à la **classe XF3** (exposition gel/dégel avec sels). Les caractéristiques (dosage, résistance, enrobage, granulats) seront définies en **phase PRO** afin de donner des consignes précises au stade travaux.
- **Entretien et surveillance** : Une **facilité d'accès** aux protections est recherchée, avec des banquettes d'entretien et des talus accessibles pour inspection post-crue.

L'ensemble de ces dispositions sera affiné et confirmé lors de la phase PRO, à partir des résultats de la campagne géotechnique complémentaire, des plans de calepinage et des vérifications locales des efforts hydrauliques (tirants d'eau, cisaillements). L'objectif est d'assurer à la fois la pérennité des structures, leur fonctionnalité en cas de crue majeure, et leur maintenabilité dans le temps.

6.4 Réseaux

6.4.1 Analyse générale

Les DICT ont permis l'identification des réseaux et gestionnaire dans l'emprise de chantier de l'ensemble des lots. Elles confirment la présence des réseaux tels qu'identifiés sur les plans des réseaux dessinés par TELT [11]. Les réponses aux DICT sont rassemblées en annexe 1 au présent document.

Les lots 1 et 3 ne présentent pas de contrainte vis-à-vis des réseaux.

Concernant l'emprise du lot 2, les DICT mettent en évidence la présence de réseaux traversant le cours d'eau au droit de la passerelle piétonne :

- Réseau électrique basse tension,
- Réseau électrique haute tension,
- Réseau télécom,
- Conduite d'eaux usées,
- Conduite eau potable.

Et en rive droite la ligne HTA.

Certains de ces réseaux sont enterrés à faible profondeur sous le lit actuel du Saint Antoine, et sont susceptibles d'être impactés par le projet de recalibration de la pente du lit.

L'impact de la présence de ces réseaux enterrés sur le dimensionnement et les choix techniques du lot 2 est présenté en détail dans la note concernant l'aménagement du lit du Saint-Antoine dans la traversée de Modane [9].

Préalablement à la réalisation du projet, une reconnaissance de l'ensemble des réseaux est à effectuer. Elle consistera en la classification en catégorie A de l'ensemble des réseaux.

6.4.2 Particularités interaction SNCF

1. À l'amont du projet : proximité du tunnel du Saint-Antoine

- La zone de création de la plage de dépôt amont est située légèrement en aval hydraulique du tunnel ferroviaire du Saint-Antoine.
- À ce titre, il est rappelé par SNCF que tous les travaux **susceptibles de générer des vibrations**, des tassements ou des mouvements de terrain (terrassements, compactage, stockage temporaire de matériaux, circulation d'engins lourds, etc.) doivent faire l'objet d'une validation préalable par SNCF Réseau, en lien avec l'Unité Voie Référente.
- En particulier, une attention particulière doit être portée aux **vibrations induites par les travaux**, afin d'éviter tout impact sur les ouvrages enterrés ou sur la stabilité du tunnel.
- Il est rappelé que toute intrusion dans le domaine public ferroviaire sans autorisation est strictement interdite (Code des transports, art. L2242-4).

Bien que les travaux projetés (terrassements, remblais, circulations d'engins, compactage, etc.) soient **positionnés à une distance suffisante du tunnel pour écarter a priori tout risque direct d'instabilité ou d'impact structurel**, une vigilance particulière reste requise.

En effet, malgré cette distance de sécurité, nous veillerons à imposer aux entreprises de travaux des **procédures spécifiques de prévention**, notamment :

- L'établissement préalable d'un **plan de gestion des vibrations et de surveillance géotechnique**, soumis pour validation à SNCF Réseau ;
- La mise en place, si nécessaire, d'un **dispositif de surveillance instrumentée** (fissuromètres, capteurs de vibrations ou inclinomètres) dans les zones sensibles, en coordination avec l'Unité Voie Référente de l'Infrapôle Alpes ;
- Le respect strict des **zones d'exclusion** et des **distances de sécurité vis-à-vis du domaine ferroviaire**, ainsi que des prescriptions du **référentiel IG94589 MOA tiers - DSF**.

Il est rappelé que toute intervention, même indirecte, à proximité du domaine ferroviaire **devra faire l'objet d'une autorisation préalable**, conformément à l'article L2242-4 du Code des transports.

2. À l'aval du projet : remblai en rive gauche à proximité du pont SNCF

- La rehausse du terrain en remblai côté rive gauche, à l'aval du projet, se situe en proximité immédiate du pont ferroviaire existant.
- Cette rehausse reste toutefois **modeste** en hauteur et en emprise, et **ne génère pas d'interaction directe susceptible de contrevenir aux recommandations** formulées par SNCF Réseau.
- Il conviendra néanmoins de **respecter strictement les distances réglementaires** aux infrastructures ferroviaires, et d'éviter tout risque de **déversement, de surcharge ou de tassement différentiel** pouvant affecter les emprises SNCF.
- Toute approche à **moins de 3 m** d'installations électriques ou à **moins de 100 m** d'un passage à niveau nécessitera une **validation spécifique**, conformément au **référentiel IG94589 MOA tiers - DSF**.
- Le projet devra également respecter, le cas échéant, le **guide technique SÉTRA 133** pour les travaux à proximité des passages à niveau.

Nous veillerons à intégrer l'ensemble de ces consignes dans les **pièces de consultation des entreprises**, afin qu'elles soient prises en compte en phase de préparation de chantier et strictement respectées lors de la réalisation des travaux, en lien étroit avec les services techniques de SNCF Réseau.

7 CO-ACTIVITE CONSTRUCTIVE AVEC LE PROJET TELT

Au droit de l'emprise prévue pour la future plage de dépôt, le groupement TELT a engagé la réalisation d'installations temporaires pour le stockage et l'acheminement de matériaux issus du chantier de la galerie de base.

Ces installations comprennent notamment deux jetées circulaires de stockage, une route d'accès interne au site et une arrivée par téléphérique. La superposition des emprises projetées pour les deux opérations est représentée en Figure 17.

Afin de permettre la cohabitation des deux projets, TELT va devoir prévoir la construction d'une route de contournement longeant la future plage de dépôt par l'ouest. Cette situation rend nécessaire un phasage spécifique de la réalisation de la plage de dépôt, intégrant les contraintes techniques et temporelles liées à l'exploitation temporaire du site par TELT.

La construction de la plage de dépôt sera réalisée en 2 phases :

- **Phase 1 – réalisation initiale (phase d'interaction)**

la plage de dépôt sera initialement réalisée de façon à épouser la forme de la zone de stockage TELT, en partie amont de la plage de dépôt (Figure 16). L'espace perdu dans la plage de dépôt a été calculé, il est de **3 000 m³**, ce qui amène le volume de la plage de dépôt à **24 400 m³**

- **Phase 2 - configuration définitive**

à l'issue de remise en état du site après finalisation du projet TELT, la plage de dépôt sera reprise pour lui donner sa configuration finale, d'un volume de **27 300 m³** :

Une note technique rédigée par SCP (*ST-ANTOINE---022-AVP - Phase 2-Note de recommandation pour la route de contournement-A*).

Cette note précise les conditions à respecter pour garantir la stabilité de la digue de la plage de dépôt vis-à-vis des sollicitations dynamiques induites par la circulation des poids lourds sur la nouvelle route de contournement.

La note a été transmise en septembre 2025 au Maître d'Ouvrage en vue d'une transmission à TELT afin qu'ils disposent des éléments nécessaires pour la construction de la route de contournement.

des dispositions complémentaires sont prévues spécifiquement au droit de la **jetée TELT**, afin de prévenir tout risque d'instabilité du talus amont de la digue lié au **poids du stockage de matériaux** et à la **circulation des camions** sur la plateforme.

Ainsi, **la pente amont ne sera pas terrassée jusqu'au pied de la jetée**, de manière à préserver l'intégrité du talus existant et à éviter tout affaiblissement local.

De plus, **une distance de sécurité de 5 m** entre la jetée et la digue, complétée par **une risberme de 5 m de largeur**, est prévue afin d'assurer la stabilité conjointe des deux aménagements pendant la phase d'exploitation.

La plage de dépôt devra être finalisée et ses digues « fermées » après l'arrêt d'exploitation de TELT.

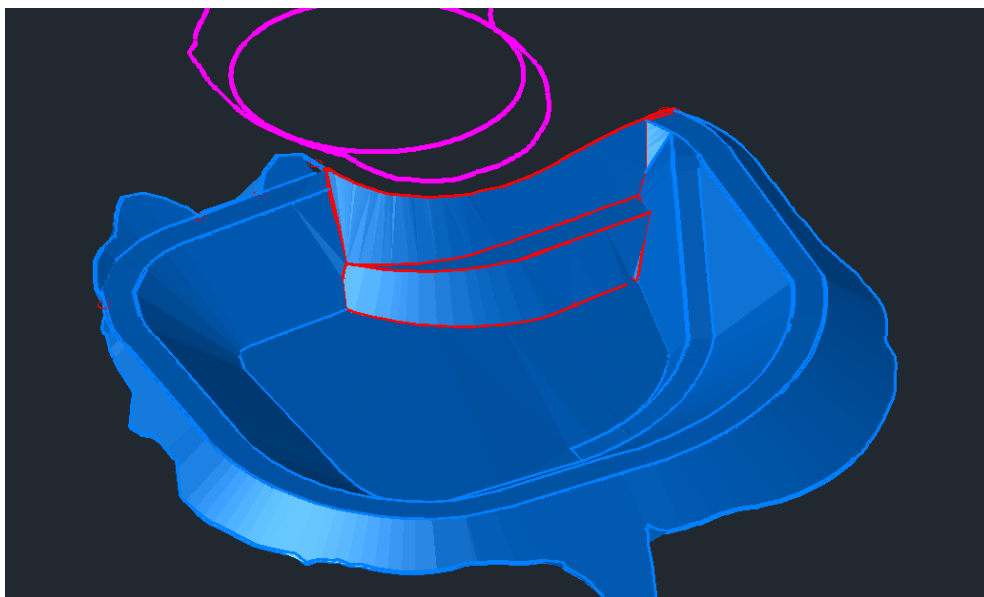


Figure 16 : vue 3D de la plage de dépôt dans la phase 1 du chantier.

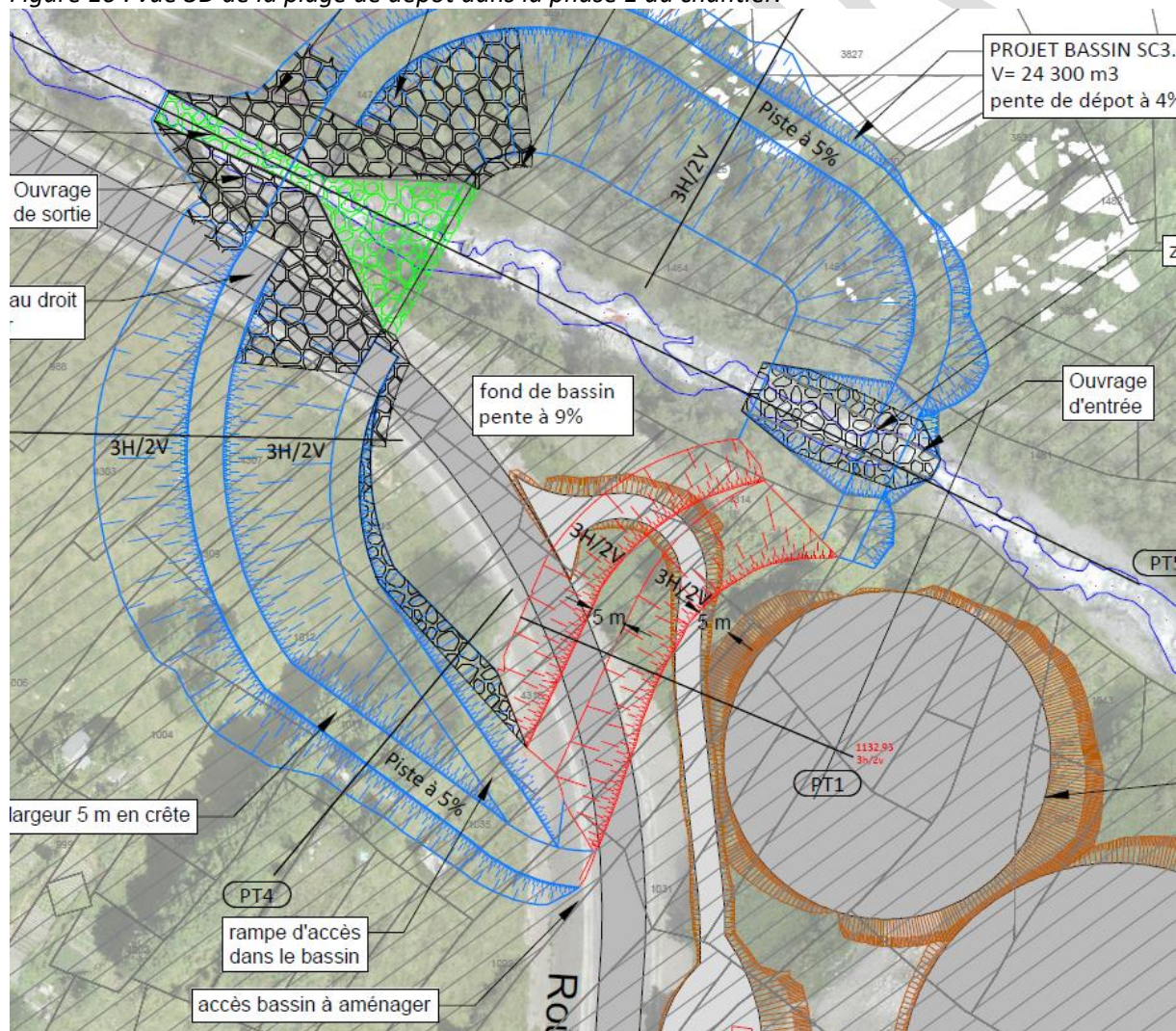


Figure 17 : extrait du cahier des plans, riserme en face amont pour stabiliser la pente durant la phase d'interaction avec l'exploitation TELT

8 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les aspects environnement du projet sont développés dans la note de *Pré-diagnostic environnemental et réglementaire* de 2025 – [13]

9 IMPACT FONCIER

Le SPM souhaite implanter la nouvelle plage de dépôt sur les parcelles communales. La commune de Modane a mené une DUP qui a permis de couvrir une grande partie du cône de déjection, en rive gauche du torrent du Saint Antoine.

Par ailleurs, le projet d'aménagement a pris en compte les contraintes liées aux travaux et aménagements TELT, et notamment :

- **La route de contournement de Modane** qui existe actuellement le long du St-Antoine, en rive gauche. La création de la nouvelle plage de dépôt impliquera de déplacer partiellement la route de contournement. L'aménagement proposé par le prestataire devra minimiser les impacts éventuels du déplacement partiel de la route de contournement vis-à-vis des riverains proches. Le prestataire étudiera également la possibilité d'intégrer la route de contournement dans l'aménagement de la plage de dépôt.
- **Le convoyeur par bandes transporteuses** qui traversera le St-Antoine pour acheminer les matériaux issus des travaux de creusement du tunnel.

Les emprises des lots 1 et 2 sont limitées au cours d'eau et n'impactent pas l'usage des parcelles cadastrales.

L'emprise cadastrale des travaux du lot 3 est présentée dans le cahier de plan hors texte (10.5 S3.3 plage de dépôt intermédiaire 25 000 m³ CADASTRE.pdf).

10 PHASAGE ET PLANNING DES TRAVAUX

10.1 Hypothèses du phasage des travaux

Le phasage des travaux présenté dans ce document constitue à ce stade **une proposition prévisionnelle**, établie dans le cadre de l'AVP pour assurer la cohérence des interventions.

Il sera **affiné en phase PRO**, en lien avec le calendrier du projet TELT, et précisé par les entreprises attributaires lors de l'établissement de **leur plan d'exécution**.

A ce stade de notre analyse, en phase AVP, nous avons retenu les hypothèses suivantes pour bâtir notre proposition de planning AVP :

- Les travaux de curage de l'Arc sont prioritaires, ils seront réalisés en premier.
- Les travaux seront échelonnés sur plusieurs années, selon le découpage suivant :
 - **Année 1** : Lot 1 - Curage du lit de l'Arc
 - **Année 2** : Lot 2 - Curage et recalibrage du lit du Saint Antoine
 - **Année 3** : Lot 3 - Aménagement de la plage de dépôt
 - **Année d'achèvement du projet de jetée TELT** : Reprise de la partie amont de la plage de dépôt pour finalisation au volume projet
- **Il peut être envisagé de réaliser les lots 2 et 3 la première année.**
- Les travaux en lit mineur ne pourront a priori pas avoir lieu entre le **1 novembre et le 31 mars**, en application de l'arrêté d'autorisation à venir.
- **Année 1 - Travaux d'aménagement de l'Arc**
 - a) **Travaux préparatoires** : cette étape comprend la réalisation des documents EXE par l'entreprise attributaire, la réalisation des DT, le constat d'huissier, la réalisation des inventaires écologiques, les levés topographiques et bathymétrique de l'état initial, le balisage et piquetage de l'emprise de travaux, l'installation de la base vie, l'ensemble des démarches nécessaires auprès des riverains, gestionnaires de réseaux et d'infrastructure dans l'emprise de chantier.
 - b) **Mise en œuvre des dispositions de protection de l'environnement** : l'arrêté d'autorisation des travaux précisera les dispositions spécifiques à mettre en œuvre pour la protection des milieux, en phase travaux et définitive, notamment au regard des périodes d'intervention possible pour le débroussaillage et les travaux en rivière.
 - c) **Mise en place des dispositifs de sécurité pour les travaux en rivière** : Les travaux se dérouleront dans le lit mineur de l'Arc, dont les crues sont rapides. Les interventions

a proximité et dans le cours d'eau devront se faire avec toutes les précautions nécessaires et dans le respect de la réglementation en vigueur.

- d) **Curage et mise en dépôt des matériaux de curage** : un batardeau sera mis en place pour permettre les travaux de curage alternativement en rive droite puis rive gauche.
- e) **Levés topographiques et bathymétriques de l'état achevé** : ces levés permettront de juger de l'atteinte des objectifs de curage fixés pour le projet.
- f) **Réception des ouvrages par le MOA et MOE.**

- **Année 2 - Travaux de curage et recalibrage du Saint Antoine :**

- a) **Travaux préparatoires** : cette étape comprend la réalisation des documents EXE par l'entreprise attributaire, la réalisation des DT, le constat d'huissier, la réalisation des inventaires écologiques, les levés topographiques et bathymétrique de l'état initial, le balisage et piquetage de l'emprise de travaux, l'installation de la base vie, l'ensemble des démarches nécessaires auprès des riverains, gestionnaires de réseaux et d'infrastructure dans l'emprise de chantier.
- b) **Mise en œuvre des dispositions de protection de l'environnement** : l'arrêté d'autorisation des travaux précisera les dispositions spécifiques à mettre en œuvre pour la protection des milieux, en phase travaux et définitive, notamment au regard des périodes d'intervention possible pour le débroussaillage et les travaux en rivière.
- c) **Mise en place des dispositifs de sécurité pour les travaux en rivière** : Les travaux se dérouleront dans le lit mineur du Saint Antoine, dont les crues sont très rapides et peu prévisibles. Les interventions a proximité et dans le cours d'eau devront se faire avec toutes les précautions nécessaires et dans le respect de la réglementation en vigueur.
- d) **Dérivation provisoire des eaux** : un dispositif de dérivation sera mis en place afin de permettre l'intervention des engins de chantier. Le dimensionnement hydraulique du dispositif de dérivation sera défini au stade PRO.
- e) **Planche d'essai** : une planche d'essai sera réalisée au démarrage des travaux de recalibrage et de mise en œuvre des enrochements. La validation de cette planche d'essai constituera un point d'arrêt levé par le MOE. Elle permettra de s'assurer que la mise en forme des berges et du fond, et la mise en œuvre des enrochements sont conformes aux prescriptions du CCTP.
- f) **Travaux de recalibrage et de protection des berges et du fond par plots** : les travaux seront réalisés par plot afin de limiter la déstabilisation des berges et limiter l'exposition des berges en cas de survenue d'un épisode de crue en cours de chantier. Les travaux seront réalisés de l'aval vers l'amont. La longueur des plots ainsi que l'ensemble des prescriptions relatives au matériaux et à leur mise en œuvre seront définies au stade PRO et explicitées dans le CCTP.
- g) **Dévoisement des réseaux présents au droit de la passerelle du Saint Antoine** : les DT et la coordination avec les gestionnaires réseaux seront anticipées afin de ne pas présenter un point de blocage à la mise en œuvre des travaux de recalibrage.
- h) **Réception des travaux par le MOA et MOE.**

- **Année 3 – Travaux de création de la plage de dépôt :**

- a) **Travaux préparatoires** : cette étape comprend la réalisation des documents EXE par l'entreprise attributaire, la réalisation des DT, le constat d'huissier, la réalisation des inventaires écologiques, les levés topographiques et bathymétrique de l'état initial, le balisage et piquetage de l'emprise de travaux, l'installation de la base vie, l'ensemble des démarches nécessaires auprès des riverains, gestionnaires de réseaux et d'infrastructure dans l'emprise de chantier.
- b) **Mise en œuvre des dispositions de protection de l'environnement** : l'arrêté d'autorisation des travaux précisera les dispositions spécifiques à mettre en œuvre pour la protection des milieux, en phase travaux et définitive, notamment au regard des périodes d'intervention possible pour le débroussaillage et les travaux en rivière.
- c) **Mise en place des dispositifs de sécurité pour les travaux en rivière** : Les travaux se dérouleront dans le lit mineur du Saint Antoine, dont les crues sont très rapides et peu prévisibles. Les interventions à proximité et dans le cours d'eau devront se faire avec toutes les précautions nécessaires et dans le respect de la réglementation en vigueur.
- d) **Dérivation provisoire des eaux** : un dispositif de dérivation sera mis en place afin de permettre l'intervention des engins de chantier. Le dimensionnement hydraulique du dispositif de dérivation sera défini au stade PRO.
- e) **Terrassement de l'emprise de la plage de dépôt** : mise en dépôt provisoire des matériaux de déblai hors zone de débordement et réglage de la pente du fond de la plage de dépôt selon les prescriptions du projet.
- f) **Réalisation de l'ouvrage de fermeture de la plage de dépôt.**
- g) **Travaux en remblai pour création de la plage de dépôt, en articulation avec la zone de dépôt TELT.**
- h) **Retrait de la dérivation du Saint Antoine.**
- i) **Réception des travaux par le MOA et MOE.**

- **Année de retrait de la zone de dépôt TELT - Reprise de la partie amont de la partie amont de la plage de dépôt :**

La construction de la plage de dépôt sera phasée de façon à ce que sa partie amont soit terminée après que la jetée TELT soit démontée

10.2 Planning AVP

Le planning correspondant au phasage proposé est présenté à la **Figure 18**.

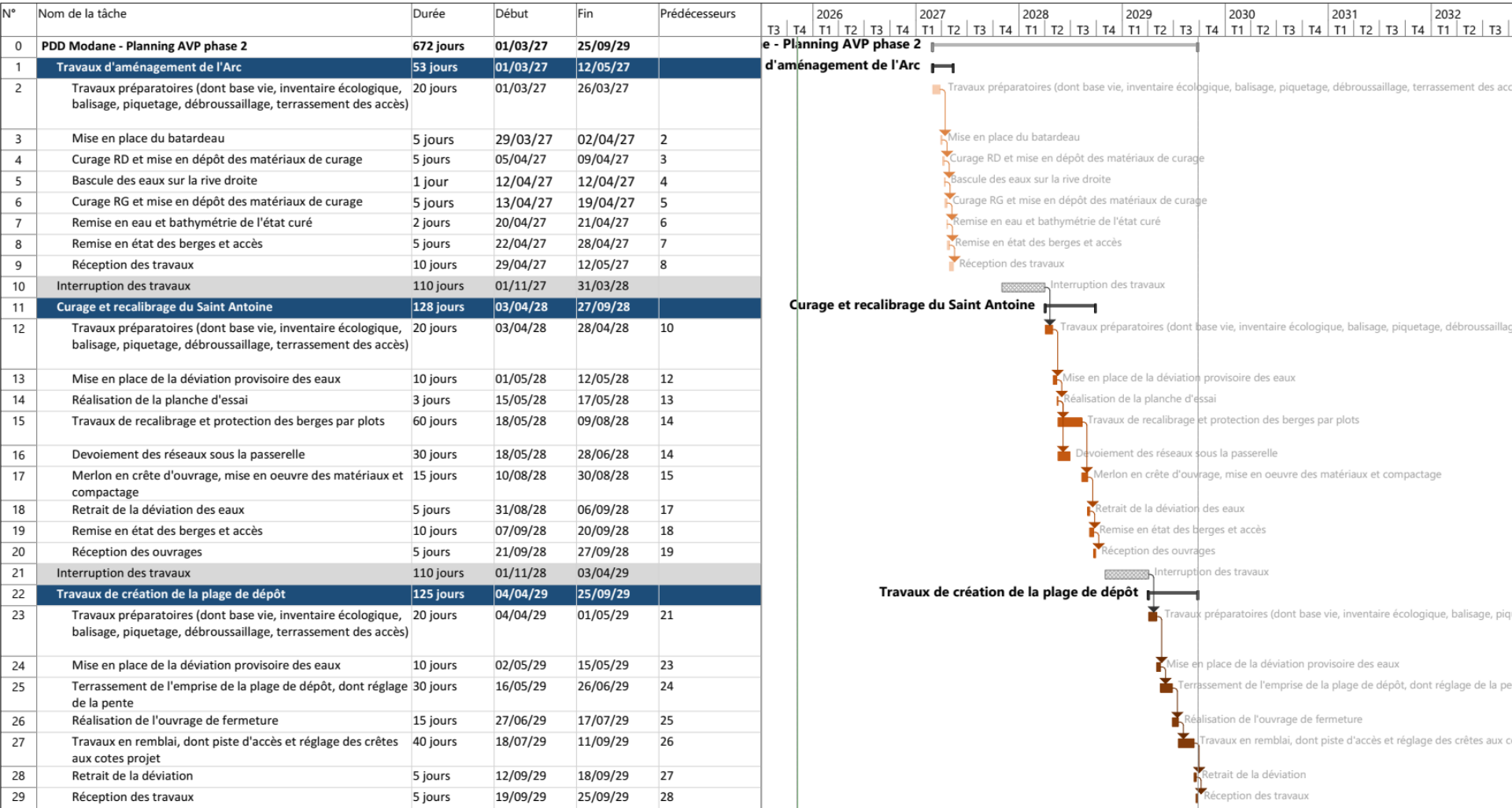


Figure 18 : Planning prévisionnel des travaux

11 ESTIMATION FINANCIERE

L'estimation prévisionnelle des travaux a été consolidée à l'issue des études d'Avant-Projet (phase 2) et est de **3,6 M€ environ, y compris aléas**.

Elle intègre l'ensemble des postes nécessaires à la réalisation des aménagements projetés, incluant :

- les **frais généraux**, tels que l'installation de chantier, les études d'exécution, la signalisation et les mesures environnementales ;
- les **travaux de curage à la confluence** du torrent avec l'Arc (lot 1) ;
- les **travaux de recalibrage du lit du torrent Saint-Antoine** (lot 2) ;
- la **réalisation de la plage de dépôt** en rive gauche (lot 3), poste le plus structurant du programme ;
- les **mesures d'intégration paysagère** en fin de chantier.

Cette estimation repose sur les hypothèses actuelles de volumes de terrassement, de nature des matériaux à mettre en œuvre (enrochements libres ou bétonnés, remblais compactés, dispositifs bétonnés, géotextiles), et des dispositifs de confortement et de gestion hydrosédimentaire.

À ce stade, les coûts sont considérés comme **conservatoires**, notamment du fait :

- des incertitudes liées à la **réutilisation des matériaux excavés**, estimée de manière prudente à 50 % ;
- de la consolidation attendue des **données géotechniques**, en cours de reconnaissance ;
- et des **analyses environnementales à venir** sur les déblais curés, susceptibles d'engendrer des coûts de traitement ou de filière spécifiques.

Le tableau ci-après présente la répartition détaillée des postes estimés à ce stade, qui servira de base pour la préparation de la phase PRO, la planification des travaux et les démarches de cofinancement.

Réf.	Désignation	Unité	Prix Unitaire HT	Prix total AVP HT
A.000	Prix généraux			
A.001	Installations de chantier	F	200 000,00 €	200 000,00 €
A.002	Signalisation de chantier	F	5 000,00 €	5 000,00 €
A.003	Constat d'huissier avant travaux	F	1 000,00 €	1 000,00 €
A.004	Etudes exécutions	F	25 000,00 €	25 000,00 €
A.005	Inventaire écologie	F	2 000,00 €	2 000,00 €
A.006	Dossier de recollement	F	4 000,00 €	4 000,00 €
A.007	PAQ, PPSPS	F	20 000,00 €	20 000,00 €
				257 000,00 €
B.000	Lot 1 : Curage à la confluence		Prix Unitaire H	Prix total HT
B. 001	Travaux préparatoires (balisage des espèces protégées, purge, aménagement des accès, levés topographiques)	F	7 500,00 €	7 500,00 €
B. 002	Batardage de l'Arc par phasage (busage, bascule RD/RG et dépose) y/c épuisement fonds de fouille	F	25 000,00 €	25 000,00 €
B. 003	Travaux en déblai, dont mise en dépôt	m3	14,00 €	452 200,00 €
				484 700,00 €
C.000	Lot 2 : Aménagement du Saint-Antoine		Prix Unitaire H	Prix total HT
C.001	Travaux préparatoires (balisage des espèces protégées, purge, aménagement des accès, levés topographiques)	F	7 500,00 €	7 500,00 €
C.002	Batardage du Saint-Antoine pour déviation des eaux et excavation des matériaux du fond du lit	F	10 000,00 €	10 000,00 €
C.003	Dévoisement des réseaux	F	75 000,00 €	75 000,00 €
C.004	Deblais	m3	12,00 €	132 000,00 €
C.005	Remblais	m3	17,00 €	85 000,00 €
C.006	Enrochements	m3	130,00 €	428 480,00 €
C.007	Barrette bétonnée	m3	220,00 €	- €
C.008	Geotextile	m2	12,00 €	24 000,00 €
				761 980,00 €
D.000	Lot 3 : réalisation de la plage de dépôt en série		Prix Unitaire H	Prix total HT
D.001	Travaux préparatoires (balisage des espèces protégées, purge, aménagement des accès, levés topographiques)	F	10 000,00 €	10 000,00 €
D.002	Batardage du Saint-Antoine pour déviation des eaux et excavation des matériaux du fond du lit	F	10 000,00 €	10 000,00 €
D.003	Travaux en déblai, dont mise en dépôt	m3	12,00 €	468 000,00 €
D.004	Travaux en remblai, dont fourniture matériaux en fourniture externe, mise en forme et compactage	m3	17,00 €	221 000,00 €
D.005	Rampe d'accès au bassin - renforts enrochements bétonnés	m3	220,00 €	85 800,00 €
D.006	Ouvrage d'entrée - enrochements bétonnés	m3	220,00 €	117 920,00 €
D.007	Ouvrage de sortie - face amont - enrochements bétonnés	m3	220,00 €	290 400,00 €
D.008	Ouvrage de sortie - face amont - sabot en enrochement	m3	130,00 €	13 520,00 €
D.009	Ouvrage de sortie - face aval - enrochements bétonnés	m3	220,00 €	127 160,00 €
D.010	Ouvrage de sortie - déversoir - enrochements bétonnés	m3	220,00 €	35 200,00 €
D.011	Ouvrage de sortie - génie civil - semelle béton	m3	600,00 €	30 000,00 €
D.012	Ouvrage de sortie - génie civil - parois béton armé	m3	600,00 €	144 000,00 €
D.013	Ouvrage de sortie - pavage en enrochement libre	m3	130,00 €	109 460,00 €
D.014	Ouvrage de sortie accompagnement de la coulée déversante (talutage)	m3	12,00 €	2 400,00 €
				1 664 860,00 €
E.000	Intégration paysagère - Remise en état des talus		Prix Unitaire H	Prix total HT
E.001	Fourniture et mise en œuvre de terre végétale filtrée sans pierres ou cailloux et autres impuretés.	m2	50,00 €	50 000,00 €
E.002	Ensemencement avec dispositif à pression, fourniture de semence et d'engrais pour les cultures incluse.	F	50 000,00 €	50 000,00 €
				100 000,00 €
				3 268 540,00 €
F.000	Provision pour aléas	F	10%	326 854,00 €
Total HT				3 595 394,00 €
TVA 20%				719 078,80 €
Total TTC				4 314 472,80 €

12 CONCLUSION

La présente étude d'**Avant-Projet phase 2** a permis de formaliser, détailler et chiffrer la solution retenue pour la sécurisation hydraulique du torrent du Saint-Antoine à Modane, en réponse aux enjeux de protection des personnes et des biens face aux phénomènes de laves torrentielles.

Les analyses menées, s'appuyant sur les retours d'expérience historiques (crues de 1987, 2014, 2023), les études techniques antérieures (EDD, ETRM, ONF RTM) et les modélisations hydrauliques actualisées, ont permis de :

- **Valider le choix d'une solution mixte**, combinant une nouvelle plage de dépôt en série (25 000 m³), un curage à la confluence avec l'Arc (32 000 m³) et un recalibrage du lit du torrent pour restaurer une pente de transit dynamique de 8 % ;
- **Établir un phasage opérationnel** en cohérence avec les contraintes locales et les interfaces avec le projet TELT, permettant une mise en œuvre progressive entre 2027 et 2029 ;
- **Définir les principes constructifs** des ouvrages projetés (plage, digues, protections de berges, enrochements, merlons), dans le respect des référentiels techniques en vigueur (CFBR, GTR, MEEM, Eurocode 7) ;
- **Estimer un coût prévisionnel consolidé** à ce stade, intégrant les principales incertitudes techniques et environnementales identifiées.

Cette solution assure un niveau de protection compatible avec une crue centennale, tout en tenant compte des réalités foncières, hydrauliques, environnementales et financières du territoire.

La phase PRO constituera la prochaine étape clé du projet. Elle permettra :

- **D'affiner les dimensionnements** des ouvrages sur la base des reconnaissances géotechniques en cours ;
- **De consolider les hypothèses de réutilisation des matériaux** et d'optimiser les mouvements de terre dans une logique d'économie circulaire ;
- **De lever les incertitudes environnementales** via les analyses physico-chimiques des déblais à curer à la confluence ;
- **De détailler les modes constructifs, les prescriptions techniques et les mesures environnementales**, en vue de la consultation des entreprises.

La **concertation avec les partenaires techniques et institutionnels**, ainsi que la **coordination TELT** (confirmation du déplacement de la route de contournement, phasage adapté avec l'exploitation des jetées), se poursuivront pour garantir la **faisabilité globale du projet et son intégration dans le territoire**.

Ce rapport constitue ainsi une **base technique et financière solide** pour engager la phase de conception détaillée et préparer la mise en œuvre d'un projet stratégique en phase PRO pour la résilience de la commune de Modane face au risque torrentiel.

PROVISoire