

DEMANDE D'EXAMEN AU CAS PAR CAS – ANNEXES

Mars 2025 – Indice A



AMENAGEMENT DE LA BERGE DE LA SEE TONSO SUR LA COMMUNE DE SAINT-MARTIN-VESUBIE

Assistance à Maîtrise d'Ouvrage

Bureau d'études ICTP
254 Corniche Fahnestock
06700 Saint-Laurent-du-Var



N° 25/18 – Cas/Cas Annexes – Ind. A

Informations relatives au documentINFORMATIONS GENERALES

Rédacteur(s) : Anaïs TOSOLINI - Chargée d'études réglementaires et environnementales

Indice : A

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Indice	Date	Vérifié par	Fonction
A	28/03/02025	Sandy LE GOUÉE	Chef de projet

DESTINATAIRES

Nom	Société
Nicolas GASTAUD	SEE Tonso



SEE TONSO
Quartier Les Coudens
06450 SAINT MARTIN VESUBIE



Date	21/03/2025	Version	1
------	------------	---------	---

AMENAGEMENT DES BERGES DE LA SEE TONSO

Commune de St Martin Vésubie et Roquebillière

Etude d'incidence hydraulique



Mercantour Concept

Conception d'aménagement en montagne – expertise des
risques naturels

SIRET : 907 524 920 000 10

473 chemin du Pont des Colles – 06610 LA GAUDE

Tel : 06 73 38 10 29

<https://mercantourconcept.fr/>

Table des matières

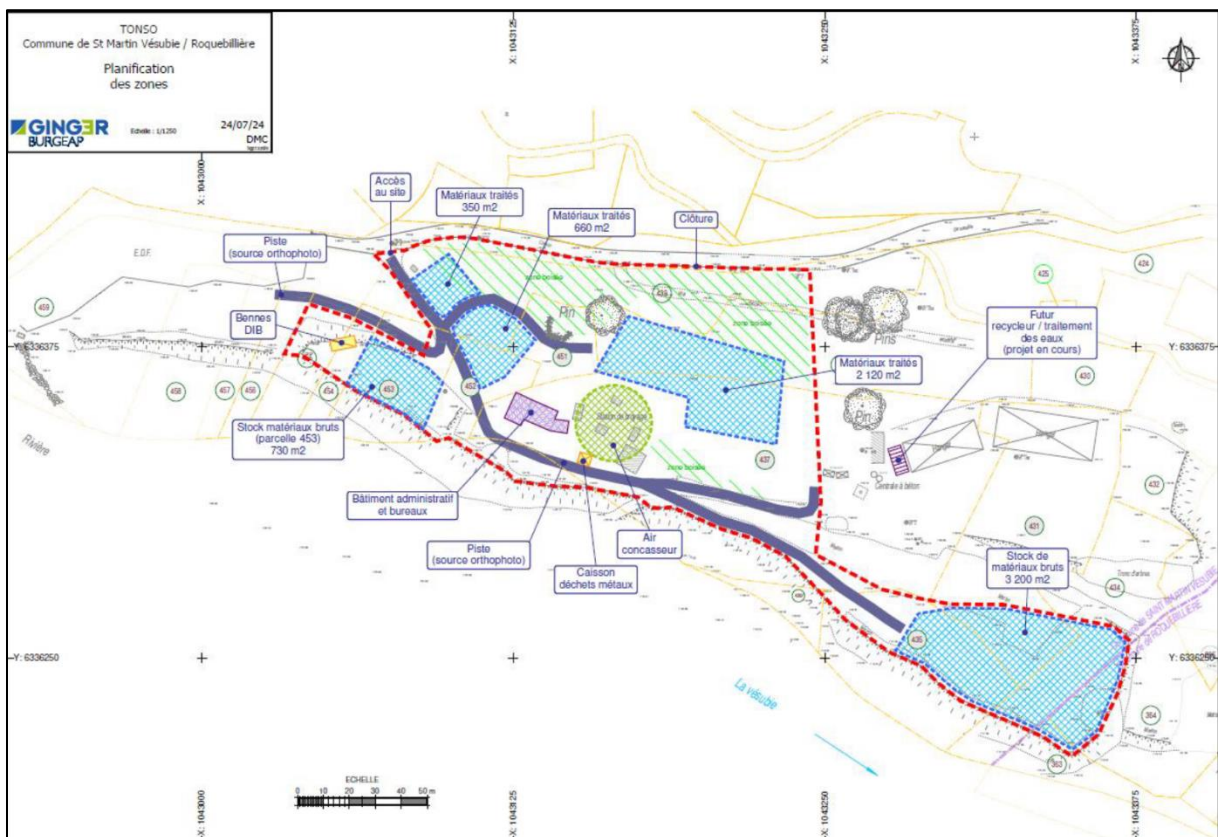
1.	Objet de l'étude	3
1.1	Zone d'étude	3
1.2	Objet	5
1.3	Moyens mis en œuvre	8
2.	Hydrologie.....	12
3.	Analyse du fonctionnement hydromorphologique du site	15
3.1	Géologie.....	15
3.2	Morphologie	16
3.3	Granulométrie	17
4.	Analyse du fonctionnement de la tempête Alex – transport solide.....	19
5.	Projet d'aménagement des berges.....	25
5.1	Principe d'aménagement	25
5.2	Terrassement – remblais en lit majeur	27
5.3	Protections de berges par enrochement	30
6.	Incidence sur les écoulements.....	36
6.1	Hydrogrammes	36
6.2	Sédigraphe – détermination des apports solides.....	37
6.3	Modélisation du transport solide	39
6.4	Situations modélisées.....	40
6.5	Résultats des modélisations	43
7.	Plans et profils en travers avec résultat des modélisations	51
8.	Phasage.....	63

1. Objet de l'étude

1.1 Zone d'étude

La zone étudiée correspond au lit de la Vésubie le long de la SEE Tonso définie sur la carte en page suivante.

La société Tonso exploite une installation classée pour la protection de l'environnement sur ce site, comprenant une centrale à béton et une installation de tri et recyclage de matériaux du BTP. D'après le plan ci-dessous actualisé en 2024, l'ICPE s'étend sur une longueur de 360m depuis la parcelle 453 jusqu'à la parcelle 434 sur la commune de St Martin Vésubie.

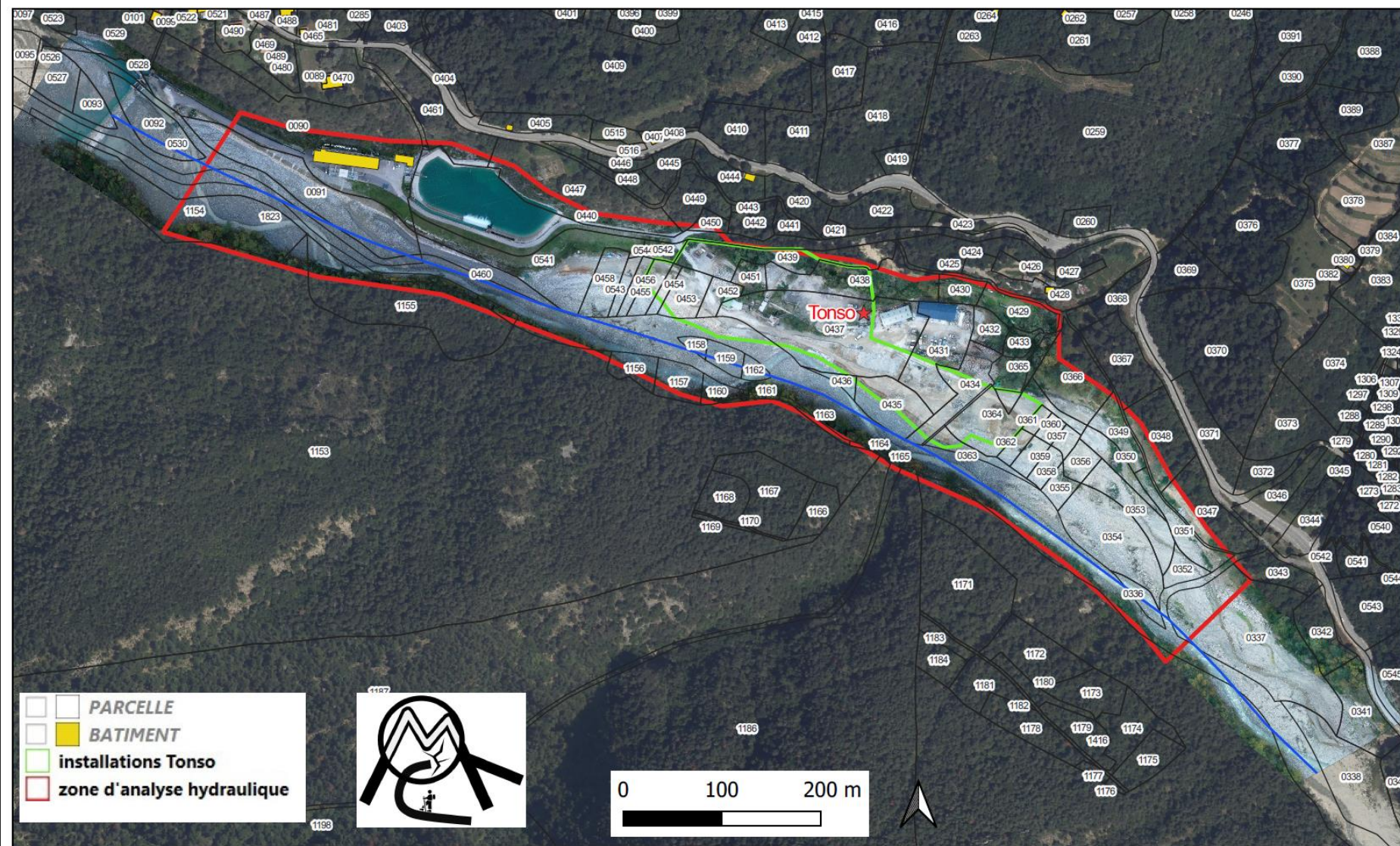


Plan de l'ICPE Tonso actualisé en 2024

Pour les besoins de l'étude, nous avons analysé en détail les phénomènes hydrauliques sur une zone plus large de la Vésubie allant de la centrale EDF (450m en amont de l'ICPE), jusqu'à environ 300m en aval de l'ICPE.

Ces zones sont délimitées sur la carte en page suivante.

Zone d'étude - Etude Hydraulique d'aménagement des berges de la SEE Tonso



1.2 Objet

L'objectif de l'étude est de définir un aménagement pérenne des berges de la SEE Tonso.

Lors de la crue du 02 octobre 2020, la tempête Alex a profondément bouleversé le lit de la Vésubie sur le site, modifiant son lit le temps de la tempête. Les érosions de berge ont provoqué la destruction d'une partie des installations de l'ICPE et un recul des berges de 30 à 40m le long des terrains exploités par le SEE Tonso.

Le lendemain de cet événement, la SEE Tonso a reconstitué en partie ses terrains, pour reprendre son activité. Cependant malgré une emprise des plateformes bien inférieure à celles préexistantes à la tempête Alex, les talus en remblais sont érodés par les crues successives de la Vésubie du fait du changement de morphologie du torrent.

La Préfecture des Alpes Maritimes a mis en demeure la SEE Tonso, par arrêté préfectoral, de remettre en état le lit de la Vésubie, tel qu'il était directement après la tempête Alex, à défaut de déposer une demande d'autorisation au titre du code de l'environnement pour des travaux d'aménagement des berges. L'application des mesures conservatoires demandées étant très contraignantes en termes d'évacuation de remblais et ne permettant pas la poursuite des activités de l'ICPE, la SEE Tonso désire étudier une solution technique qui permettrait de s'adapter à la nouvelle morphologie de la Vésubie tout en pérennisant en partie les terrains indispensables à ses activités.

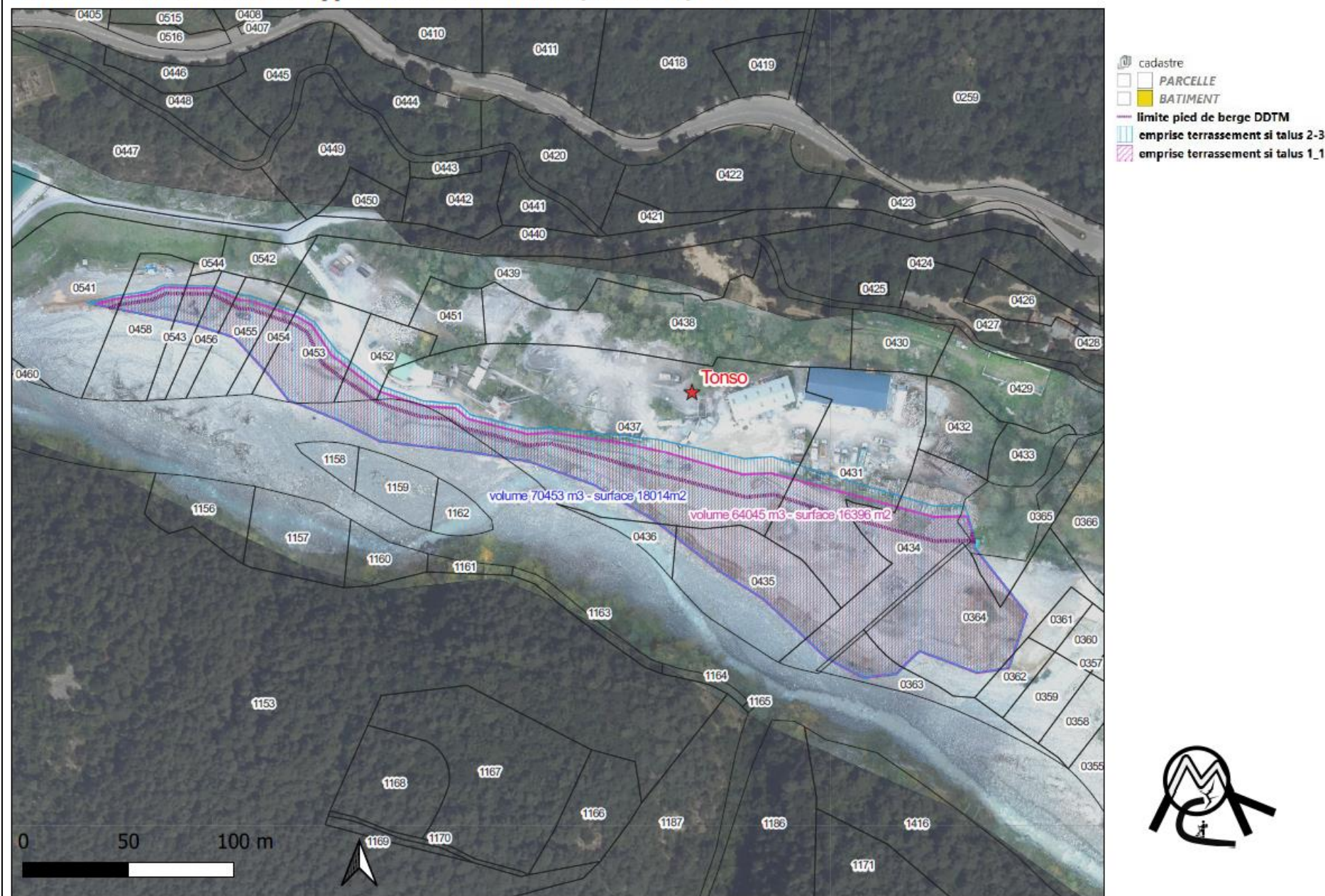
Pour mieux comprendre l'incidence de la remise en état du lit de la Vésubie à sa topographie directement après la crue, nous avons simulé en page suivante les terrassements nécessaires à ces travaux avec une hypothèse de niveau base des terrassements située à 1m au-dessus du lit actuel.

Il ne serait pas possible de rétablir des talus subverticaux trop instable comme ceux formés par la crue Alex et il serait nécessaire de taluter les berges à des pentes de 3H/2V (talus autostable) ou 1/1 (nécessitant un ouvrage de soutènement).

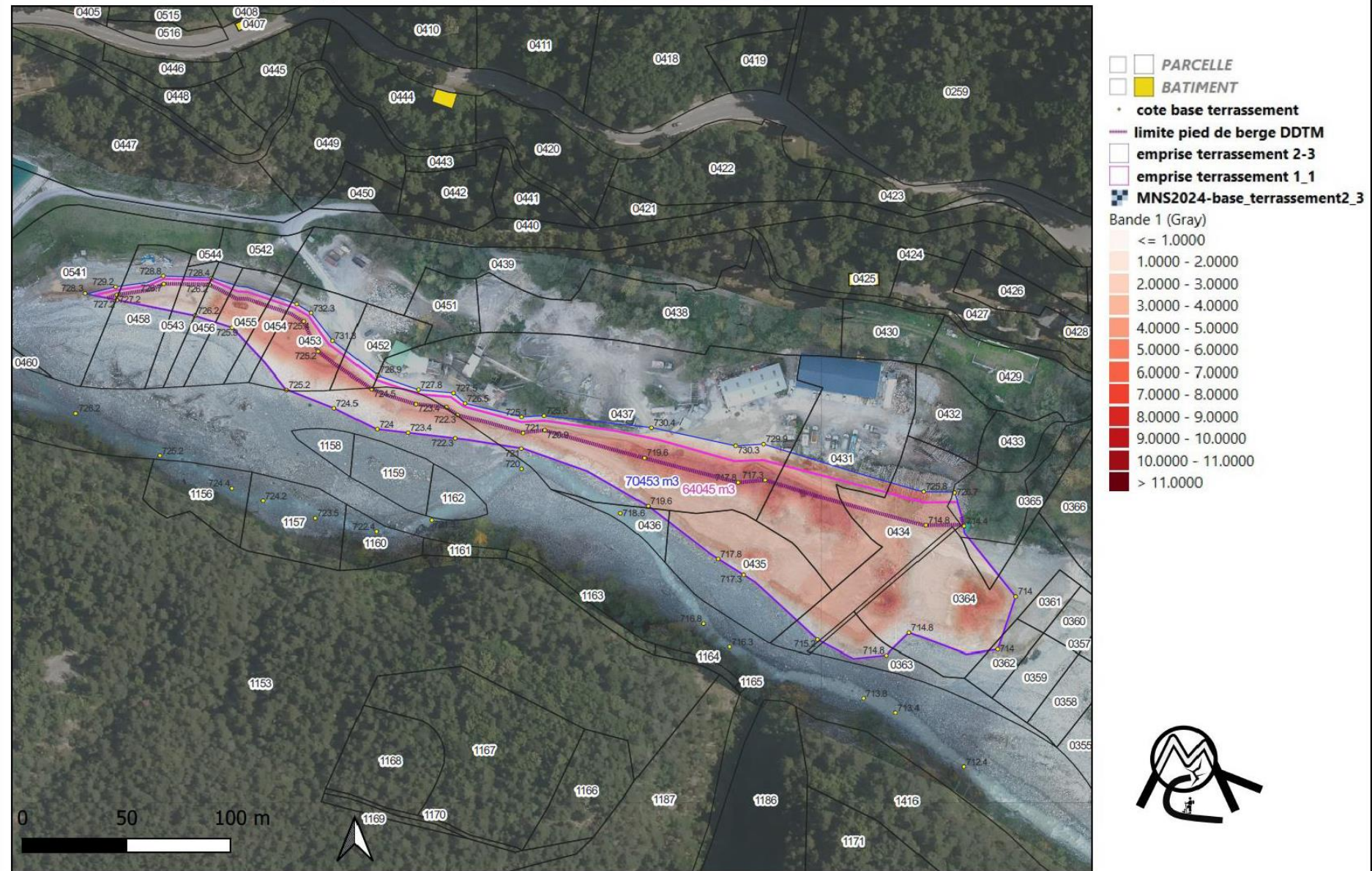
L'emprise des terrassements, prescrits par la DDTM, couvre la totalité des pistes de circulation de l'ICPE et nécessiterait l'évacuation de 70 000 m³ à 64 000 m³ en fonction des pentes de talus à établir, sur des hauteurs de décaissement de 1m à 8m. Malgré la forte largeur du lit qui serait établie, les berges seraient toujours aussi exposées au risque d'érosion et d'affouillement directement en pied des bâtiments par les phénomènes d'engraissement et de divagation du lit. De plus la proximité des fondations du concasseur avec la crête de talus à rétablir nécessiterait de prévoir son déplacement.

Ces éléments ont poussé la société Tonso à entreprendre des études pour statuer sur une possibilité de protection de ses installations avec un lit moins large, tout en respectant le libre écoulement des crues et des sédiments.

Terrassements suivant limites DDTM pour obtenir niveau du lit +1m
Volumes calculés avec hypothèses de talus 1/1 et 2V/3H



Terrassements suivant limites DDTM pour obtenir niveau du lit +1m
Volumes calculés avec hypothèses de talus 1/1 et 2V/3H



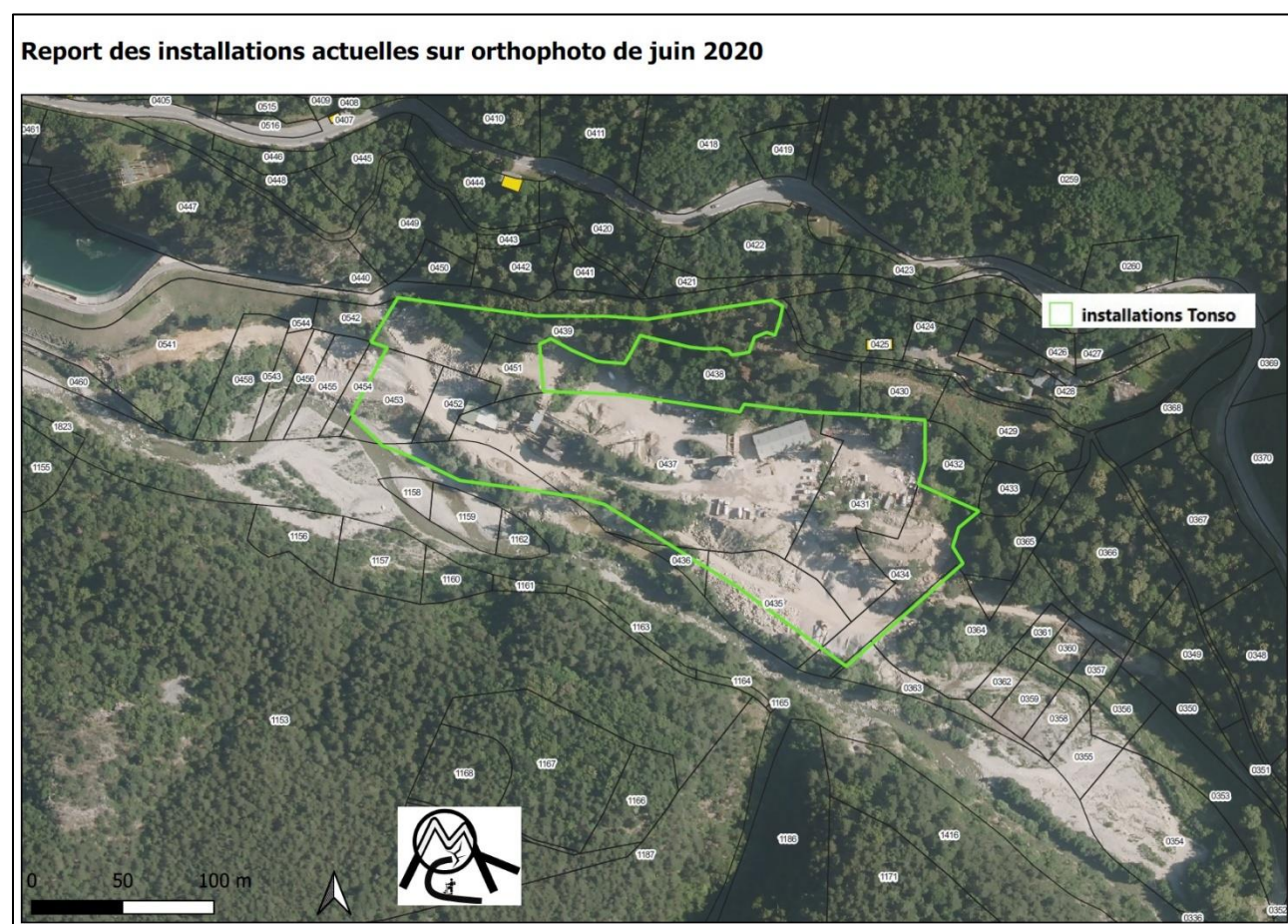
1.3 Moyens mis en œuvre

Les données topographiques utilisées sont les suivantes :

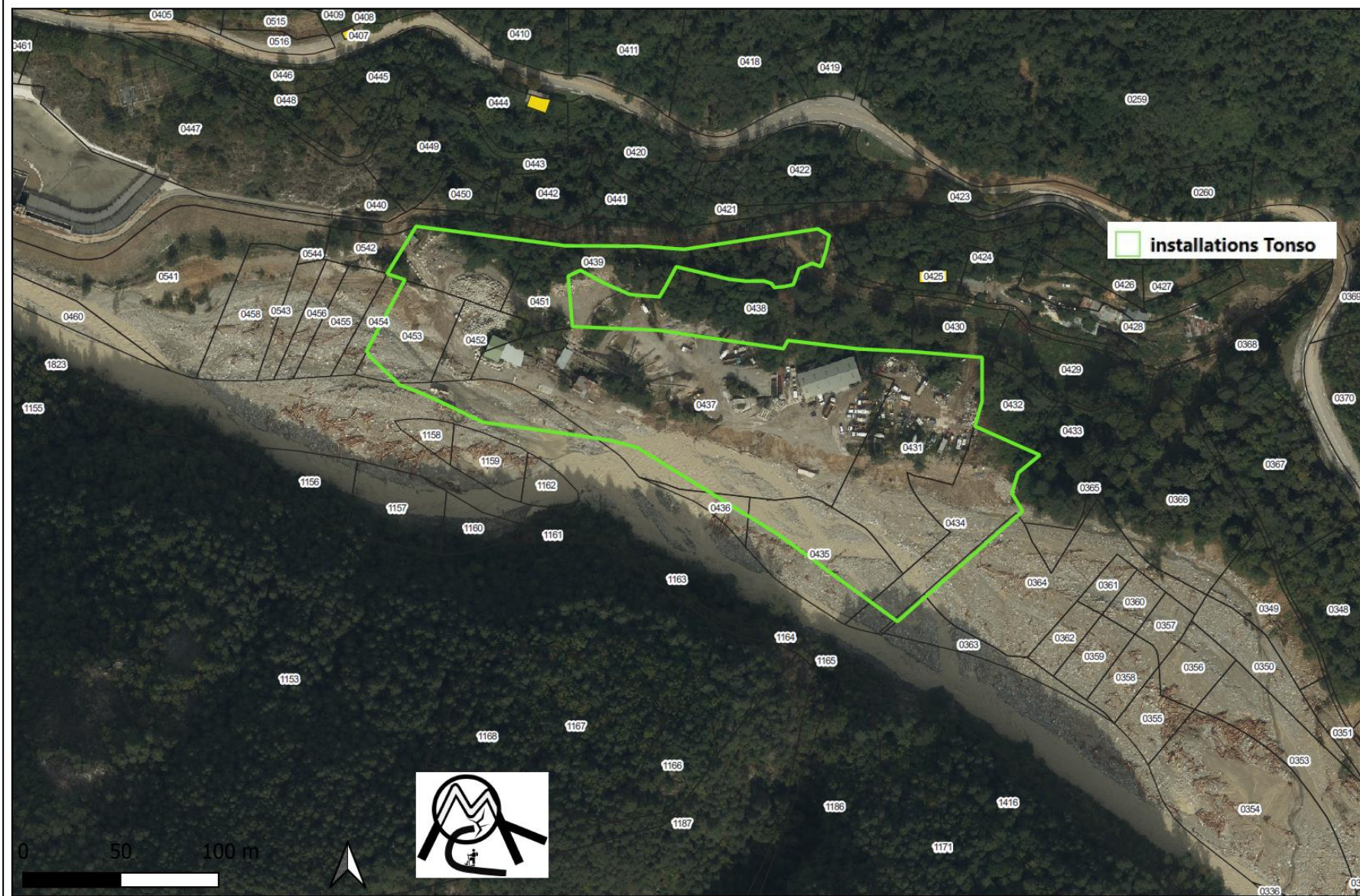
- Levé topo LIDAR de 2018 réalisé par MNCA
- Levé topo LIDAR et orthophoto post tempête Alex de novembre 2020
- Levé topo LIDAR de juin 2021 réalisé par l'IGN

Des modèles numériques de terrain au maillage de 0.5 m ont été extraits de chacun de ces levés topographiques pour pouvoir analyser l'évolution du lit de la Vésubie et du charriage.

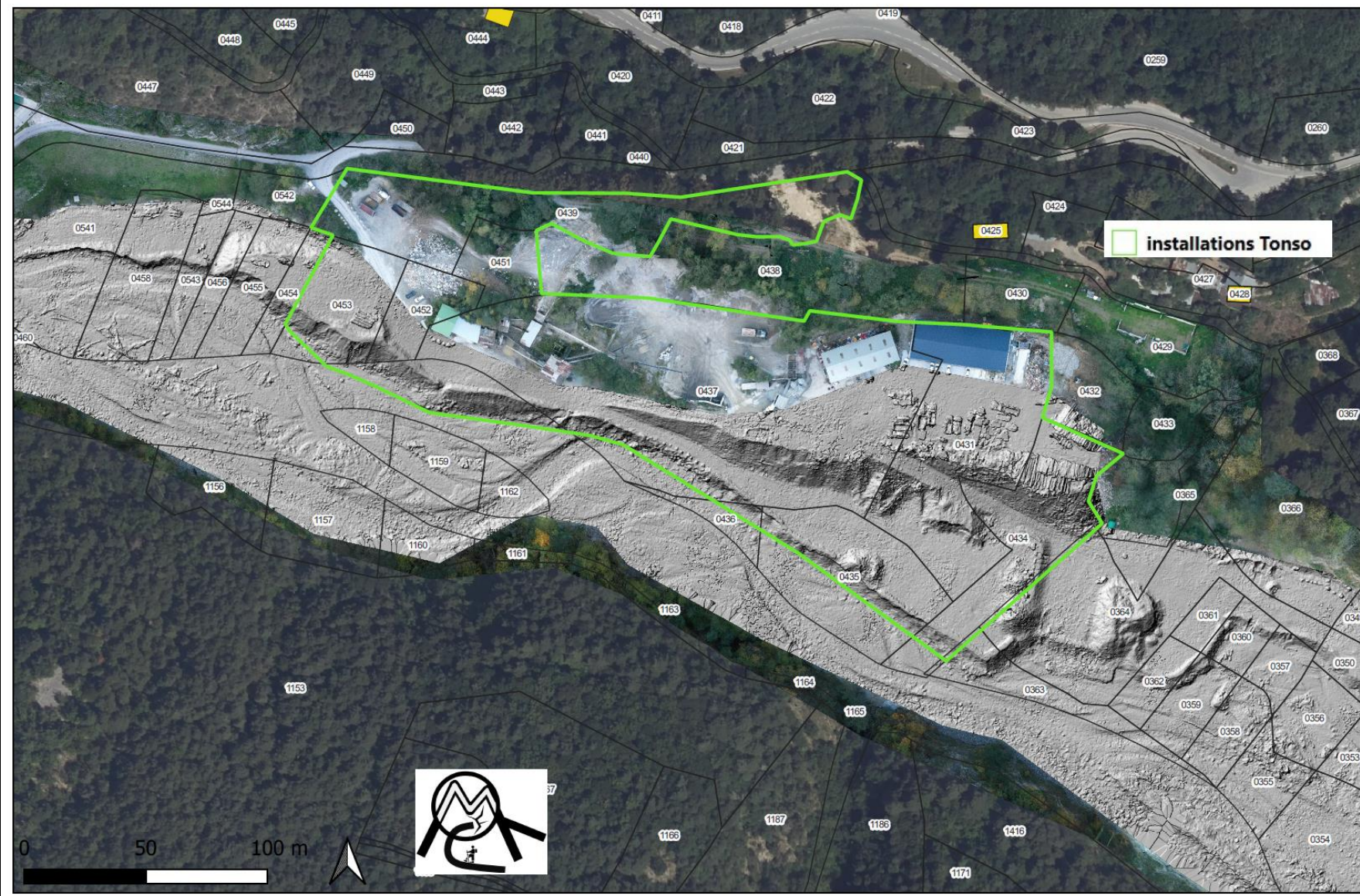
Dans le cadre de cette étude nous avons réalisé un relevé photogrammétrique en novembre 2024, calé sur un levé topographique de la carrière par le géomètre Matteudi en juin 2024. Ce relevé a permis d'obtenir un modèle numérique de terrain et une orthophoto du lit avec une précision intéressante pour l'étude hydraulique de 20cm en altitude et 10cm en plan. La zone relevée couvre 1500m du lit de la Vésubie depuis le seuil EDF en amont jusqu'à 400 m en aval de l'ICPE Tonso. Le relevé est géoréférencé en RGF93 Lambert 93.



Report des installations actuelles sur orthophoto Alex novembre 2020



Ombrage du modèle numérique de surface obtenu par photogrammétrie de novembre 2024



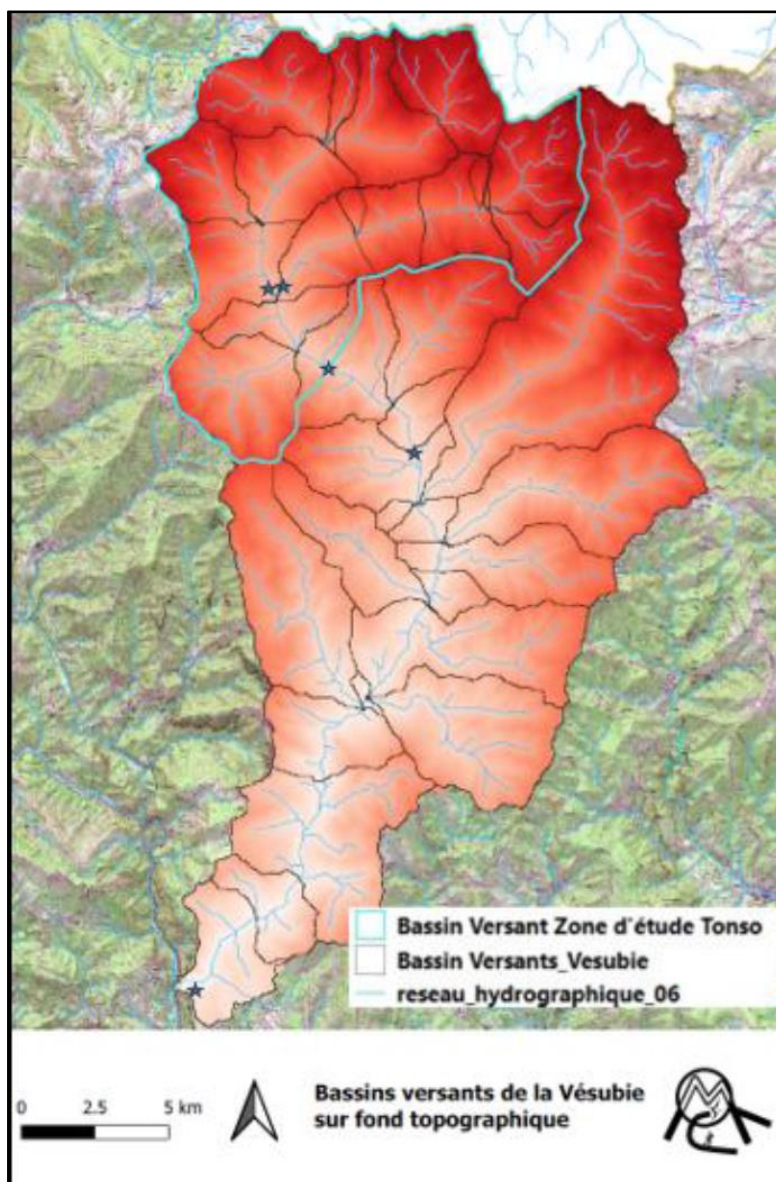
2. Hydrologie

L'analyse hydrologique effectuée dans le cadre de cette étude est basée sur une analyse du bassin versant de la Vésubie au droit du projet et sa comparaison avec les débits de références des études hydrologiques antérieures existantes sur la Vésubie, notamment ceux cités comme références dans les PPRI existant ou en projet sur les communes de St Martin Vésubie et Roquebillière.

Les estimations de débits de la tempête Alex correspondent aux estimations du retour d'expérience technique de la crue Alex rédigé par le CEREMA en 2021 pour sa partie hydrologie et le RTM06 en 2022 pour le volet torrentiel.

Les fourchettes de débits estimées par les différentes méthodes utilisées étant très large, nous avons considéré la moyenne des estimations pour étudier la cohérence en termes de débit spécifique et mieux calibrer un phénomène exceptionnel sur la zone d'étude. Les débits spécifiques sont obtenus par une formule de régression de type $Q \times S^{0.75}$ conseillés pour les transferts de bassin.

Carte des bassins versants et exutoires considérés dans l'analyse hydrologique



Débits des études antérieures :

Cours d'eau - Exutoire	BV	Altitude moyenne du bassin versant	Q100	Q 100 spécifique	Qalex fourchette	Qalex médian	QAlex spécifique	Source des données - Etude
	km ²	m NGF	m ³ /s	m ³ /s/km ^{1.5}	m ³ /s		m ³ /s/km ^{1.5}	
Madone de Fenestre à SMV village	37	2009	130 à 200	13.33	250 à 300	275	18.33	Q100 Etude ETRM 1994 - QAlex régression du jaugeage passerelle de la Marre - Expertise hydromorphologique de la Madone de Fenestre MercantourConcept juillet 2022
Boréon à SMV village	65.5	1998	314	13.64	250 à 370	320	13.90	Q100 PPRI St Martin Vesubie - QAlex RETEX Alex Estimation RTM au pont de Venanson fev 2022
Vésubie barrage EDF Muselle	127	1882	368	9.73	380 à 800	600	15.86	Q100 - Etude EDF DTG 1998- Q Alex RETEX Alex Consensus hydrologique CEREMA 2021
Vésubie à Roquebillière - pont vieux	154	1800	350 à 425	8.10 à 9.72	500 à 850	675	15.44	Q100 de 425 m ³ /s issue de l'Etude Lefort 1998 - Q100 de 350 m ³ /s Etude ONF RTM de 2008 Q Alex RETEX Alex Consensus hydrologique CEREMA 2021
Vésubie exutoire avec le Var	392	1443	690	7.83	700 à 1100	950	10.78	Q100 - Etude Lefort 1998 identique à estimation ONF/RTM 2008 Q Alex RETEX Alex Consensus hydrologique CEREMA 2021

Pour proposer des débits caractéristiques au droit de la zone d'étude nous avons retenus les valeurs les plus hautes de débits de références considérant que ces valeurs sont basées sur les statistiques des crues passées et que les débits de pointe de crue semblent tendre à augmenter avec l'évolution du climat. De plus nous avons analysé l'altitude moyenne des bassins versants par analyse SIG pour étudier la variation spatiale des débits spécifiques. Ces débits spécifiques augmentent fortement avec l'augmentation de l'altitude et incitent à augmenter le débit centennal calculé par EDF au droit du barrage en 1998 à 420 m³/s pour obtenir un débit spécifique de 11.1 m³/s/km^{1.5} cohérent avec le gradient hypsométrique constaté sur la Vésubie.

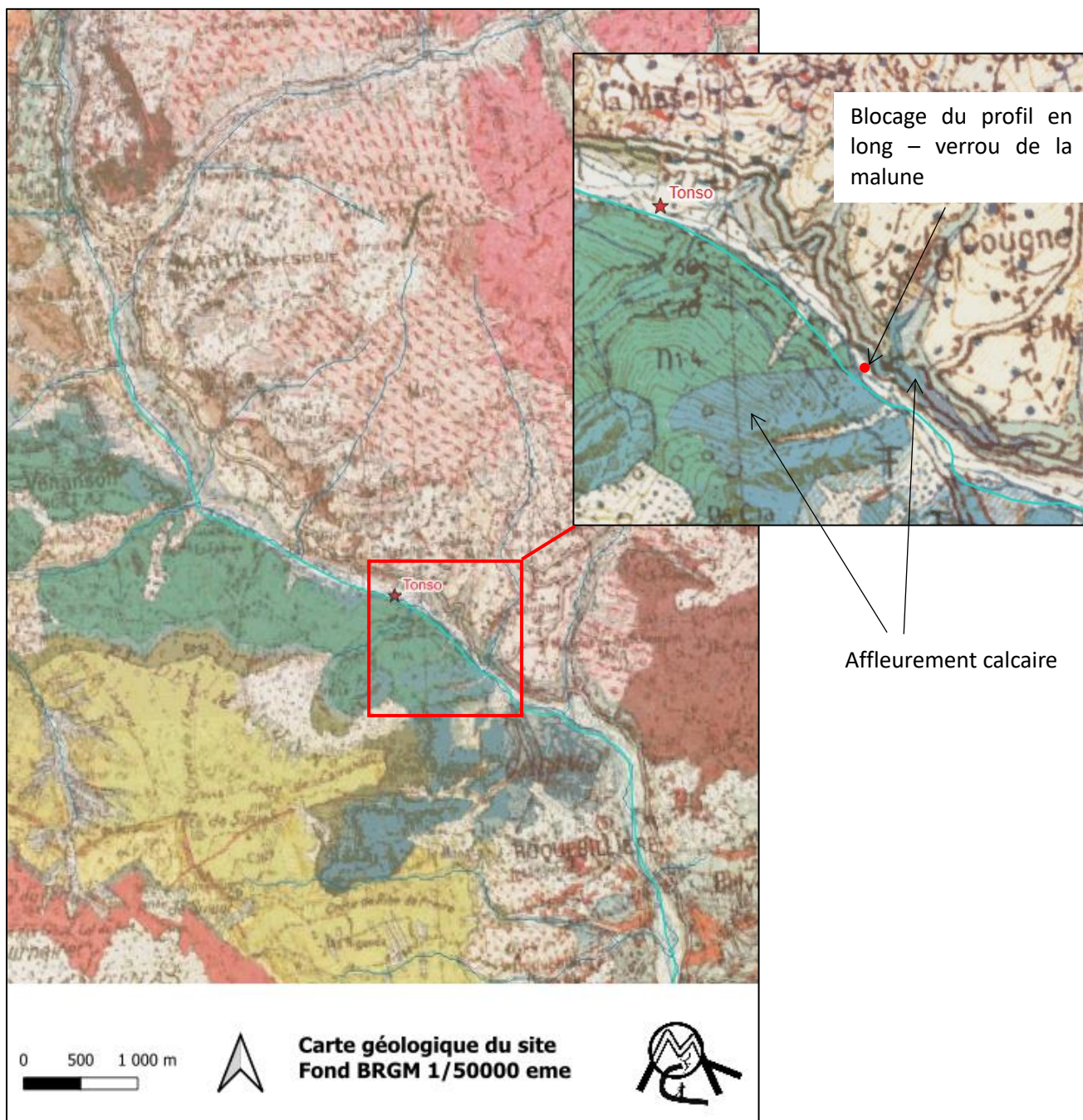
Débits retenus :

Cours d'eau - Exutoire	BV	Altitude BVmoyen	Q50	Q100 retenu	Q 100 spécifique		Qalex retenu - Q500 ans	QAlex spécifique
	km ²	m NGF	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s/km ^{1.5}		m ³ /s	m ³ /s/km ^{1.5}
Vésubie Zone d'étude TONSO	127	1882	311	420	11.10		600	15.86

3. Analyse du fonctionnement hydromorphologique du site

3.1 Géologie

Le site de la SEE TONSO est situé dans les gorges de la Malune entre le village de St Martin Vésubie et Roquebillière. Sur ce tronçon la Vésubie coule entre les calcaires du secondaire qui forment des affleurements très raides et peu érodable en rive droite et des terrains beaucoup plus tendres en rive gauche qui ont permis à la Vésubie de s'inciser à cet endroit. La rive gauche est formée de terrains triasiques et fluvioglaciers sur lesquelles reposent les installations de la SEE Tonso.

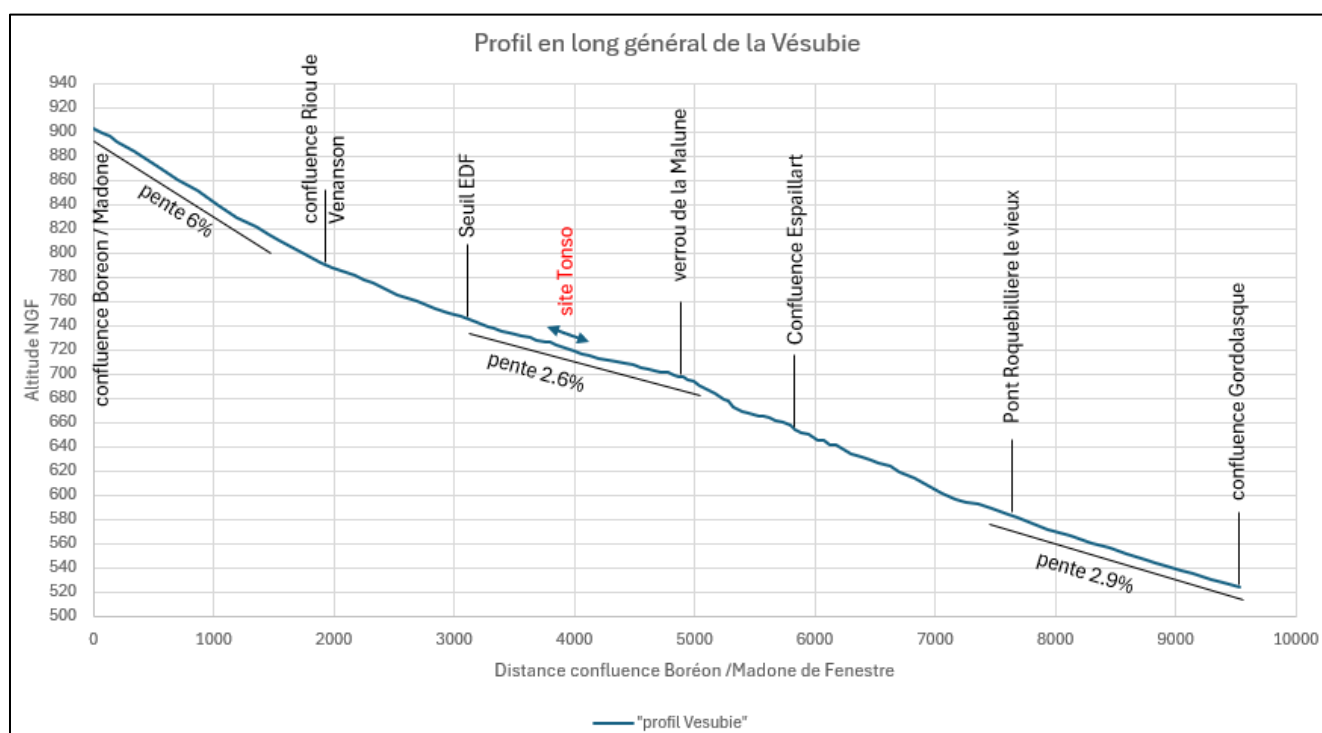


3.2 Morphologie

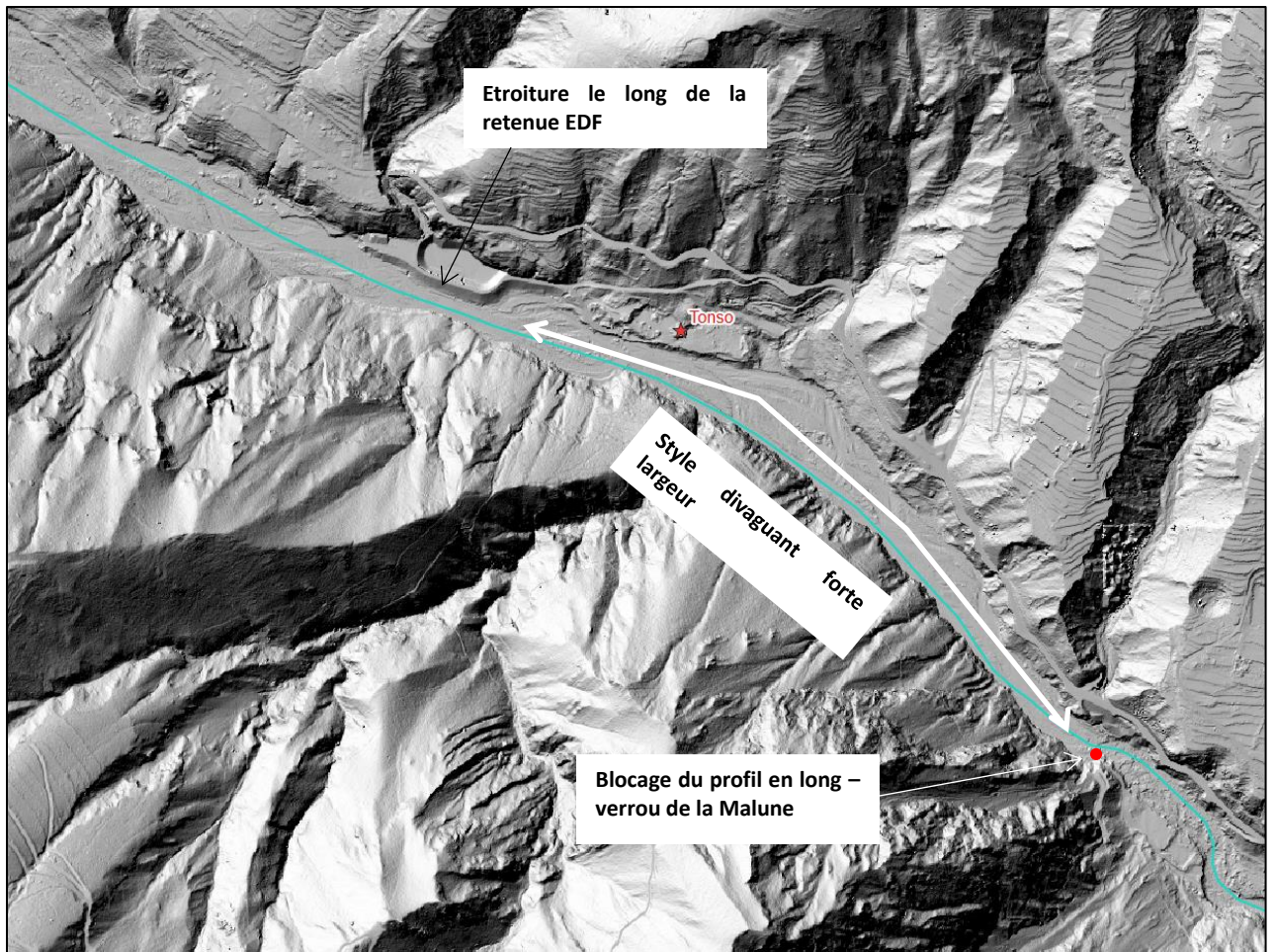
La crue Alex a mis en évidence une situation de blocage du profil en long par un verrou rocheux situé 800m en aval du site de Tonso au droit de la confluence avec le vallon de Cougne. En effet la carte géologique montre que les calcaires et dolomies du Secondaire traverse la Vésubie en ce point précis de changement de morphologie de la Vésubie. Il s'agit probablement d'une zone d'affleurement peu profond du substratum rocheux des calcaires ou tout du moins d'une zone où les deux berges sont formées de roches plus résistantes à l'érosion et où le lit ne peut pas s'élargir malgré les crues.

Ce verrou joue un rôle de seuil à grande échelle et contrôle la morphologie de la Vésubie en amont, au moins jusqu'au seuil EDF, voir jusqu'au niveau de la confluence avec le riu de Venanson en l'absence de barrage.

Cette morphologie ressort clairement de l'analyse du profil en long avec une zone de pente relativement homogène à 2.6% en amont du verrou et une subite accélération de la pente en aval au niveau de la confluence avec l'Espailard avant de retrouver une zone alluviale à Roquebillière.



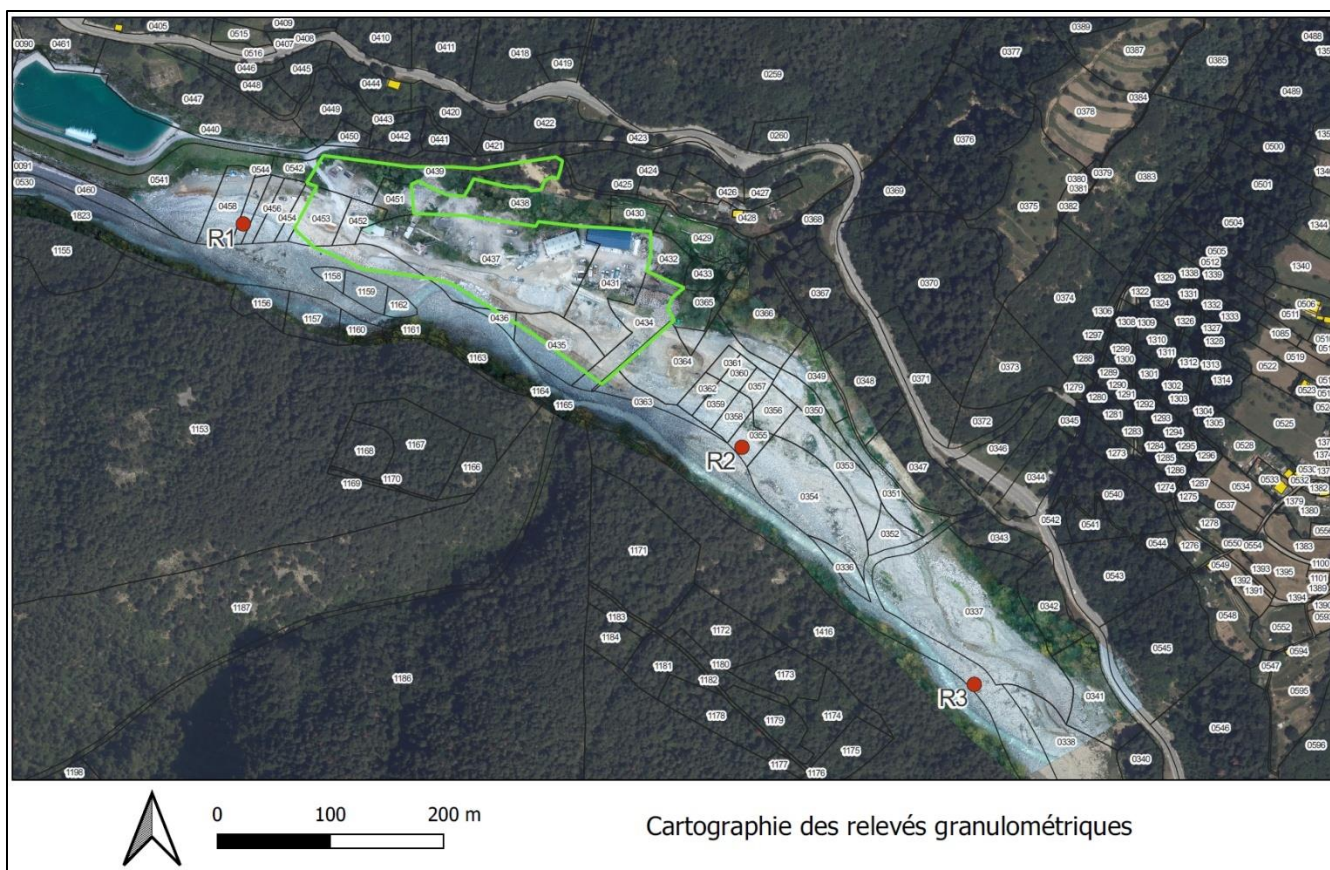
De ce fait la Vésubie a un style typique d'une zone alluviale à chenaux divaguant sur toute la zone d'étude, excepté le long du bassin EDF où la largeur réduite à 22m contraint le torrent dans une section rectiligne chenalisée.



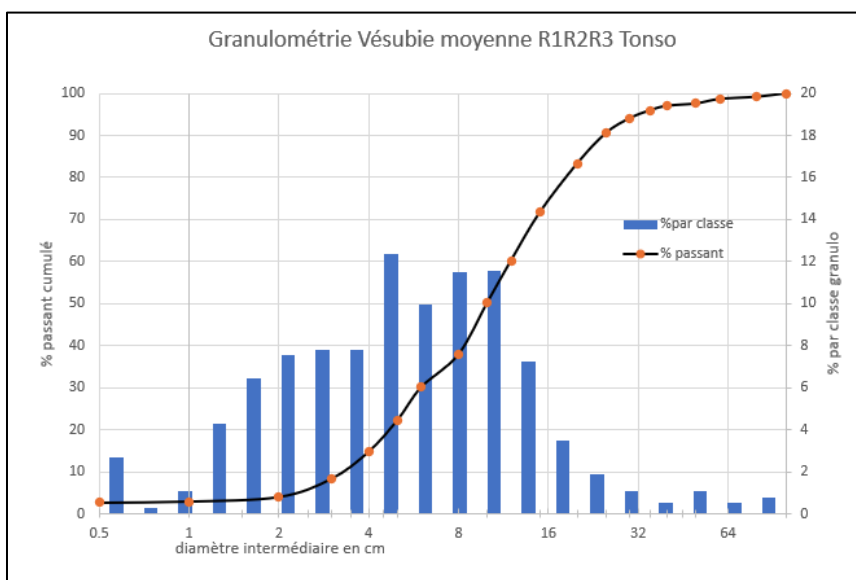
Ombrage du relief après la crue Alex mettant en évidence la zone de divagation

3.3 Granulométrie

3 mesures granulométriques ont été réalisées sur 3 atterrissements dans la zone d'étude. Il s'agit de 3 dépôts de la crue Aline. Ils ont été choisis pour leur homogénéité, leur absence de terrassement mécanique depuis les dernières crues et l'éloignement des bourrelets de dépôts les plus hauts provoqués par des embâcles ou des amas de très gros blocs.



La moyenne des 3 relevés, cumulant 360 mesures de taille, donne la courbe de répartition des classes granulaires suivante :



D16	4.0cm
D20	4.8cm
D50	9.9 cm

D84	20cm
D90	25 cm
D moyen	13.4

4. Analyse du fonctionnement de la tempête Alex – transport solide

Sur le site d'étude, la tempête Alex a eu pour effet de modifier assez fortement la largeur du lit et les niveaux de fond de lit.

- Avant la crue Alex, le déficit de matériaux transportés par les crues vis-à-vis des capacités de charriage du lit, ne permet pas l'expression du style divaguant sur l'ensemble du tronçon étudié. Toutefois en amont des principales étroitures du lit la Vésubie dépose ses matériaux et la divagation s'exprime sur des zones de 200m de long par 60 à 70m de largeur. Le pincement du lit est très fort au niveau des installations de l'ICPE Tonso. La largeur du lit est seulement de 11m le long de l'éperon rocheux faisant face au site. La pente du lit s'établit à environ 2.2%.
- La crue Alex a eu pour effet de remonter fortement le niveau du lit. Le transport sédimentaire a été intense, alimenté au niveau maximum de la capacité de charriage par l'érosion des matériaux des berges, la remobilisation des matériaux du lit et les apports des affluents et les glissements des rives.

Le niveau est remonté de :

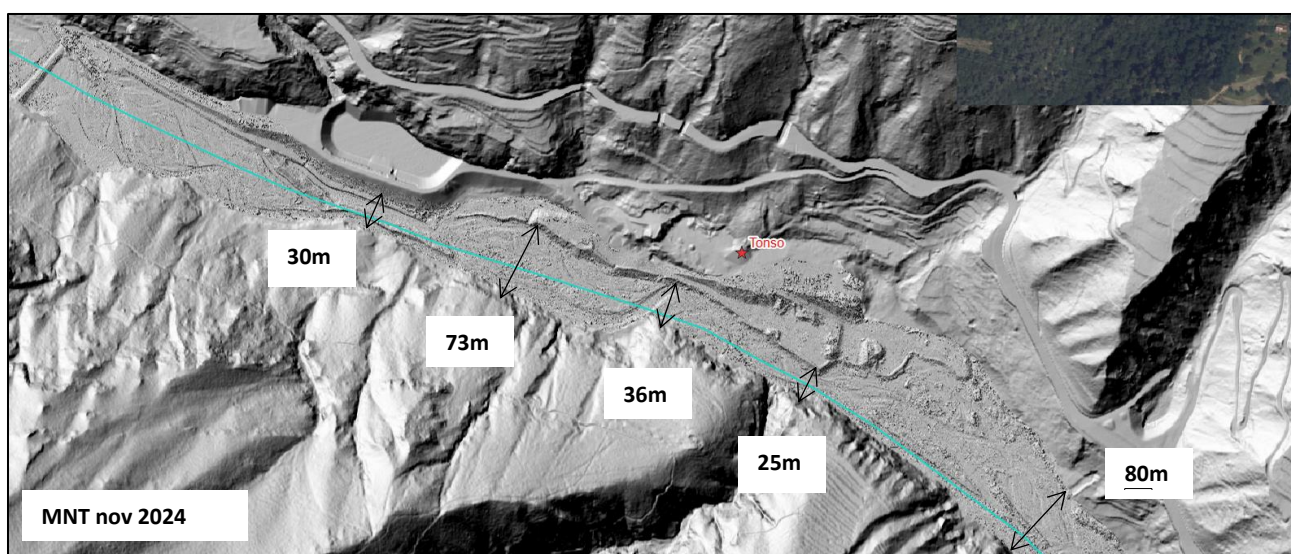
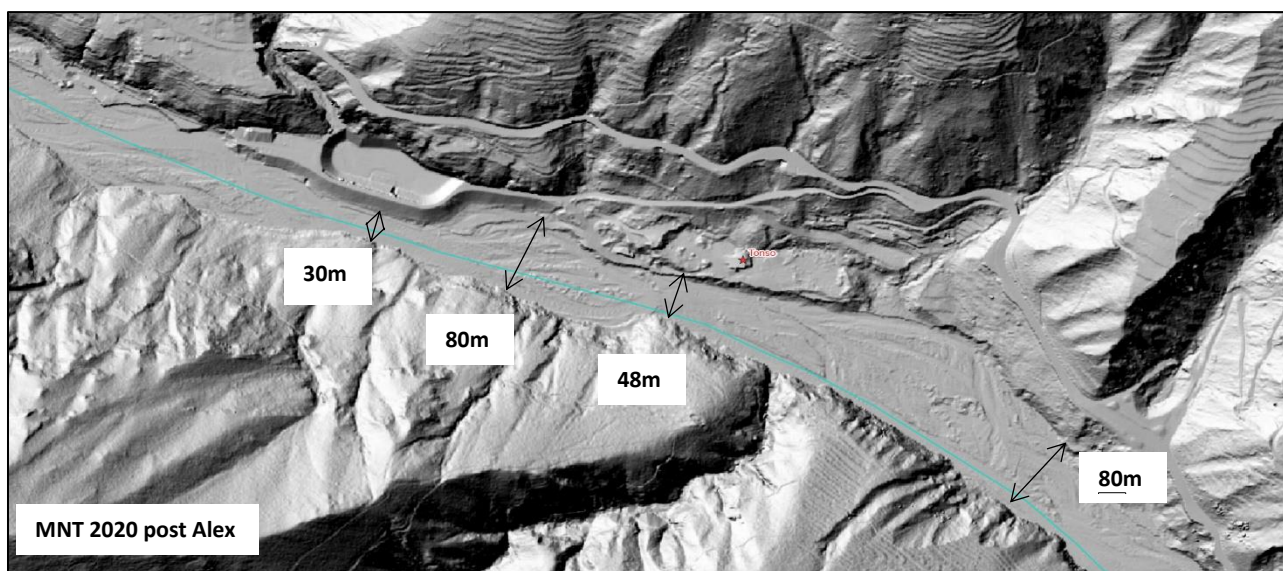
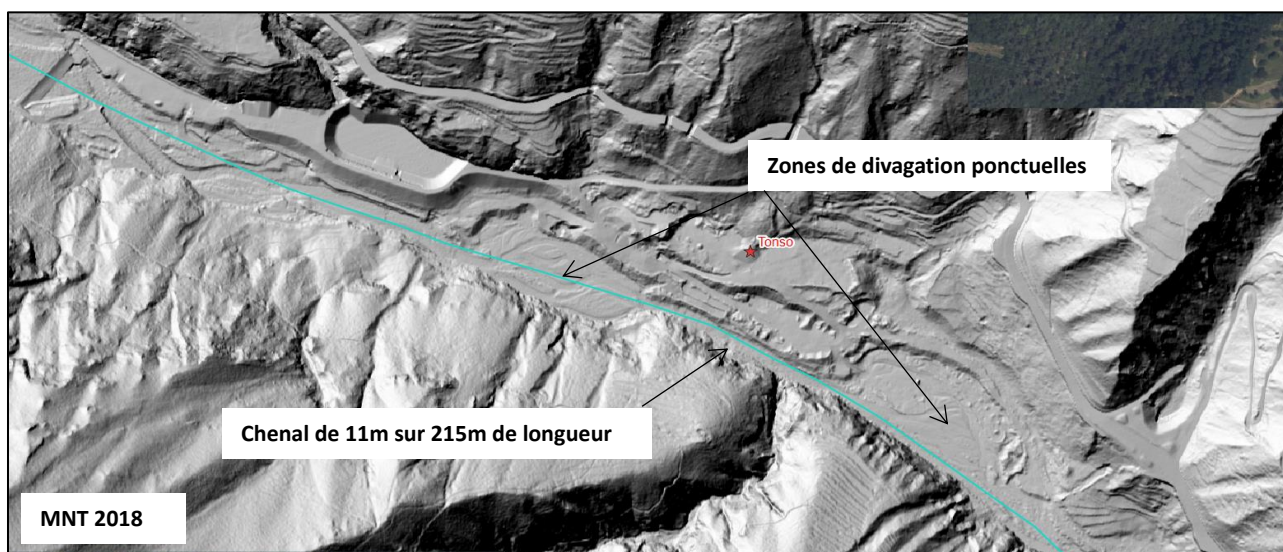
+4.5m à +5m le long de la retenue EDF

+4.5m en amont de l'ICPE Tonso, +3m en face du concasseur, +2.5m en aval de l'ICPE Tonso

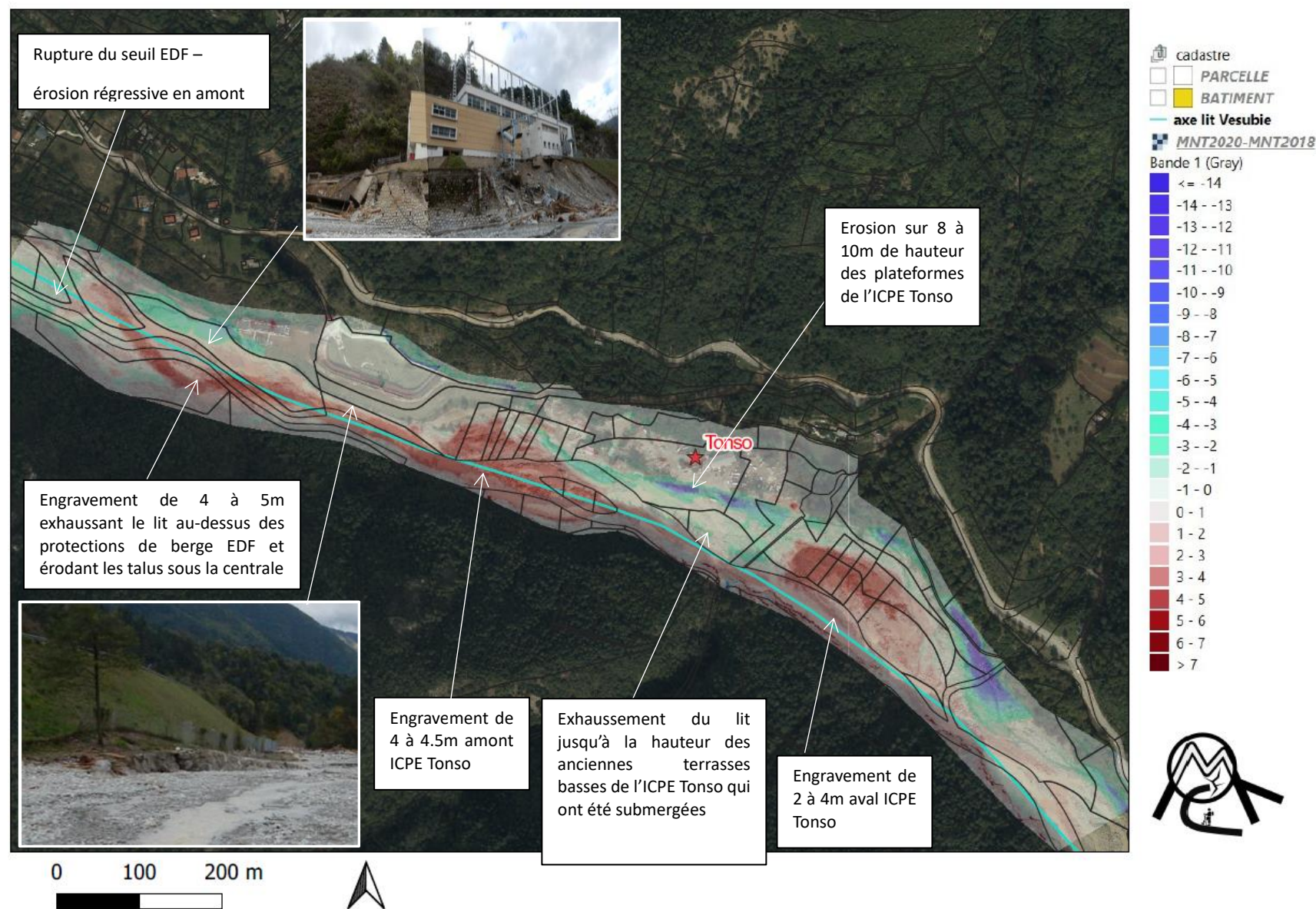
La largeur du lit est importante et la bande active occupe quasiment tout l'espace du fond de vallée entre les versants sur une largeur moyenne de 80m.

- L'analyse des derniers relevés topographiques disponibles montre que depuis cette crise sédimentaire, le transport solide reste important sur la zone d'étude. Malgré les multiples chenalisation du lit pour réaliser les nombreuses phases de travaux de confortement des installations EDF, et malgré la reconstruction du seuil EDF, le niveau du fond reste bien plus haut que celui de 2018. Le levé photogrammétrique montre que le niveau actuel est environ 1m sous le lit après la crue Alex, mais il s'agit sur quasiment l'ensemble du tronçon de chenaux creusés pour isoler l'écoulement des zones de travaux les plus récentes et le niveau moyen du lit majeur reste très proche de celui post Alex. La tempête Aline en octobre 2023 avait balayé les dispositifs d'isolement des zones de travaux et rétabli une topographie très proche de celle post Alex sur la zone.

Comparaison des géométries du lit de 2018 à 2024 sur ombrage topographique

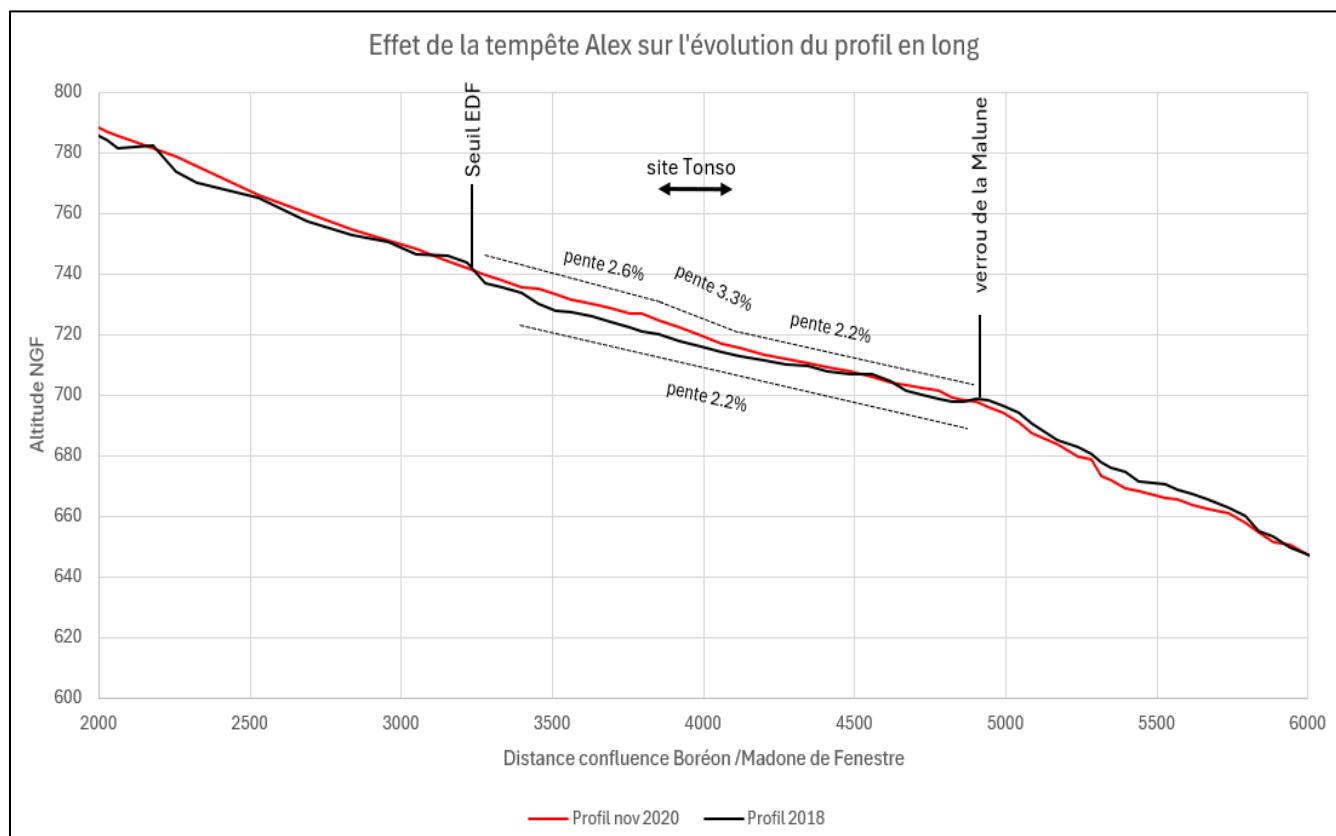


Variations topographiques pendant la tempête Alex - différence de topographie entre novembre 2020 et 2018 - variations d'altitude en m



L'analyse des variations de hauteur et de largeur du lit de la Vésubie pendant la tempête Alex permettent d'évaluer les ordres de grandeurs des modifications du lit lors des crues majeures.

La respiration du lit peut atteindre 4.5m au droit du site, par un raidissement de la pente de 2.2% à 3.3% localement. Ce raidissement de pente est dû à l'effet de l'éperon rocheux en face du concasseur et à l'écoulement en rive droite le long de falaises rocheuses relativement lisses et moins rugueuses que les berges moyennes de la Vésubie.

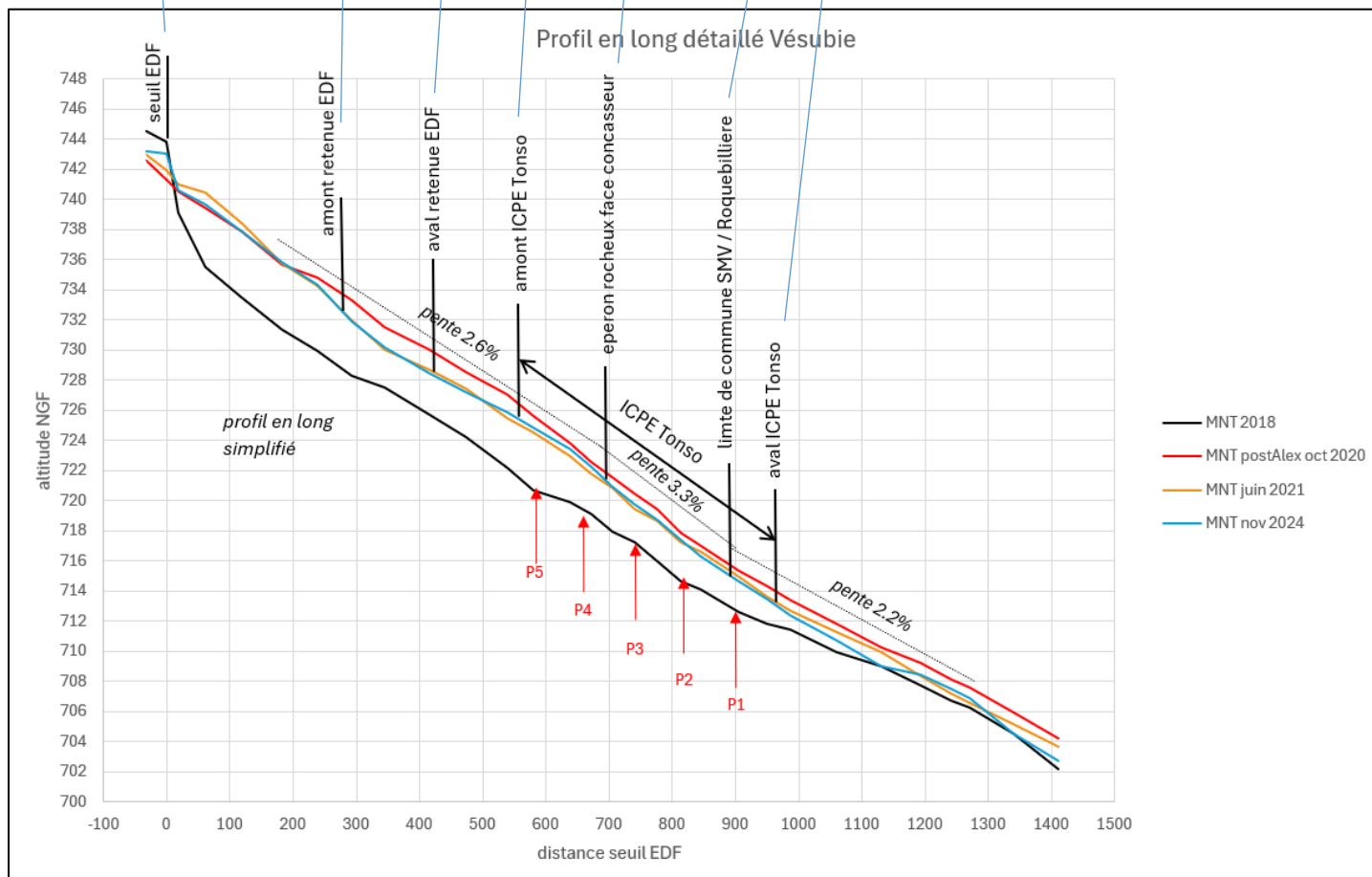
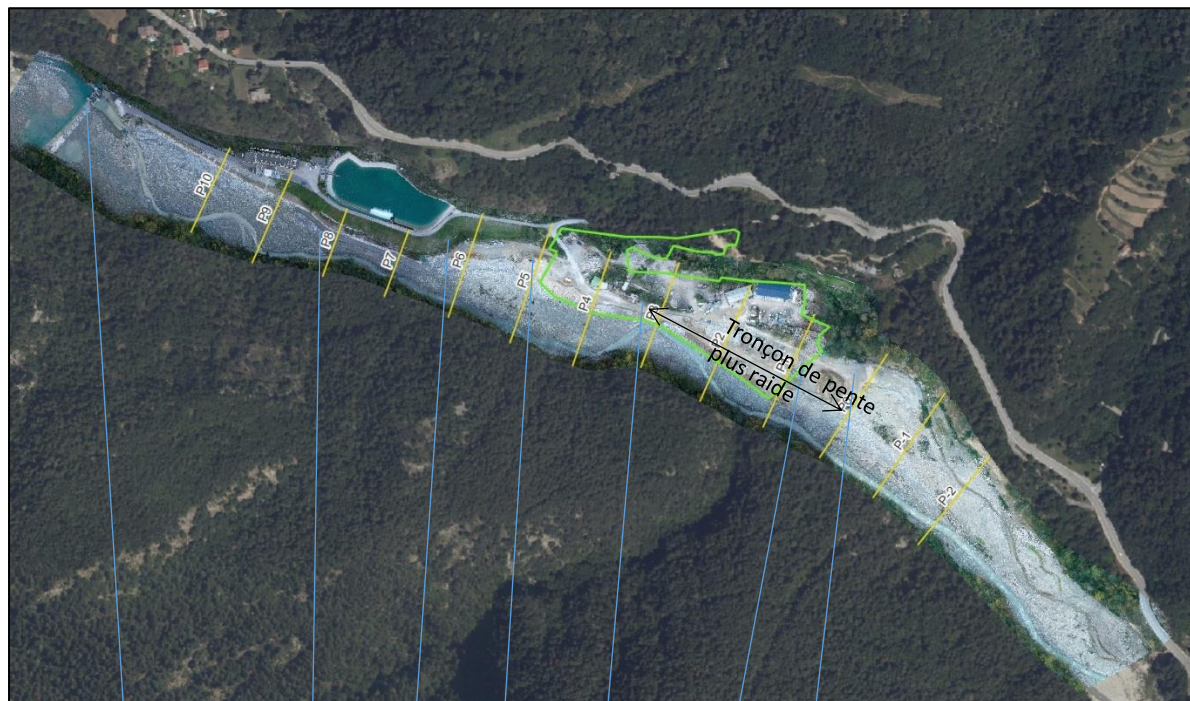


Les estimations de volume de matériaux transportés par la crue Alex au droit du site, par le document du retour d'expérience technique torrentielle de février 2022, donnent des valeurs de l'ordre de 600 000m³.

L'augmentation de la pente d'une zone de divagation alluviale comme celle-ci correspond à l'adaptation morphologique normale du torrent pour lui donner l'énergie nécessaire au transport des sédiments.

La tendance d'évolution du fond du lit devrait être à un maintien de ce haut niveau sédimentaire à moyen terme du fait de la forte disponibilité en matériaux en amont alimentant le charriage. Le retour au profil en long de 2018 nécessiterait une absence de crue morphogène pendant de nombreuses années, permettant la revégétalisation d'une partie du lit et la fixation des sédiments engendrant un déficit sédimentaire comme précédemment à la tempête Alex. L'horizon d'un retour à ce profil est plutôt de l'ordre de 30 à 50 ans, avec une hypothèse d'absence de crue morphogène aléatoire.

Analyse détaillée de l'évolution du profil en long de la Vésubie au cours des 6 dernières années :



Aussi bien avant la tempête Alex, qu'après, le profil en long ne marque pas d'effet du rétrécissement de section en face de la retenue EDF, qui provoque pourtant une perte de charge importante avec une largeur de 32m. La perte de charge provoquée par cette étroiture du lit devrait provoquer un accroissement local de pente, mais ce phénomène a été supplanté par la remontée des niveaux depuis l'aval. Cette constatation confirme le contrôle aval du niveau sédimentaire sur toute la zone d'étude, depuis le verrou de la Malune.

L'analyse des pentes des profils en long récents montre une tendance d'accélération de la pente durable depuis la tempête Alex en face de l'ICPE Tonso. Cette augmentation locale de la pente jusqu'à 3.3% est provoqué par l'effet de l'éperon rocheux en face du concasseur qui accélère les vitesses ponctuellement par l'écoulement le long de berges rocheuses.

5. Projet d'aménagement des berges

5.1 Principe d'aménagement

L'aménagement répond à 4 objectifs :

- La pérennité des installations de l'ICPE Tonso vis-à-vis de la crue de référence centennale et la limitation des désordres pour une crue exceptionnelle de type Alex
- La conservation d'une surface exploitable minimum pour les activités de l'ICPE et notamment la conservation des accès aux différentes plateformes de l'ICPE
- La non-aggravation des risques sur le site et pour les avoisinants
- L'absence de perturbation du transit sédimentaire

L'aménagement envisagé dépasse l'emprise de l'ICPE en amont et en aval pour lui assurer une cohérence hydraulique. En effet les parcelles exploitées par la SEE Tonso sont impactées par des phénomènes torrentielles en amont et en aval nécessitant des aménagements pour assurer leur sécurité. Un retour d'enrochement, sous la forme d'un entonnement est nécessaire en amont pour éviter le développement d'érosion à l'arrière de la protection et assurer une continuité avec les ouvrages EDF. En aval, l'ouverture progressive de la section d'écoulement permet d'éviter une augmentation de l'engravement subite qui serait provoqué par un élargissement brutal. L'expansion progressive des écoulements envisagée permet d'éviter l'aggravation des risques sur l'ICPE et en aval.

Il est nécessaire de protéger la berge sur tout son linéaire par un enrochement bétonné résistant à l'érosion et à l'affouillement. En effet l'augmentation durable du transit sédimentaire et de la pente du lit, telle que précisé au chapitre précédent, induit une capacité accrue de divagation du lit au droit du site vis-à-vis de la situation anté-Alex. De plus le site est exposé à 2 phénomènes augmentant les phénomènes érosifs localement :

- Le rétrécissement le long de la retenue EDF qui engendre une accélération des écoulements et une dissipation d'énergie par forts remous directement en aval
- L'éperon rocheux en face du concasseur qui provoque un renvoi de la direction des écoulements contre la berge de l'ICPE avec un angle de 45° environ au centre de la zone étudiée.

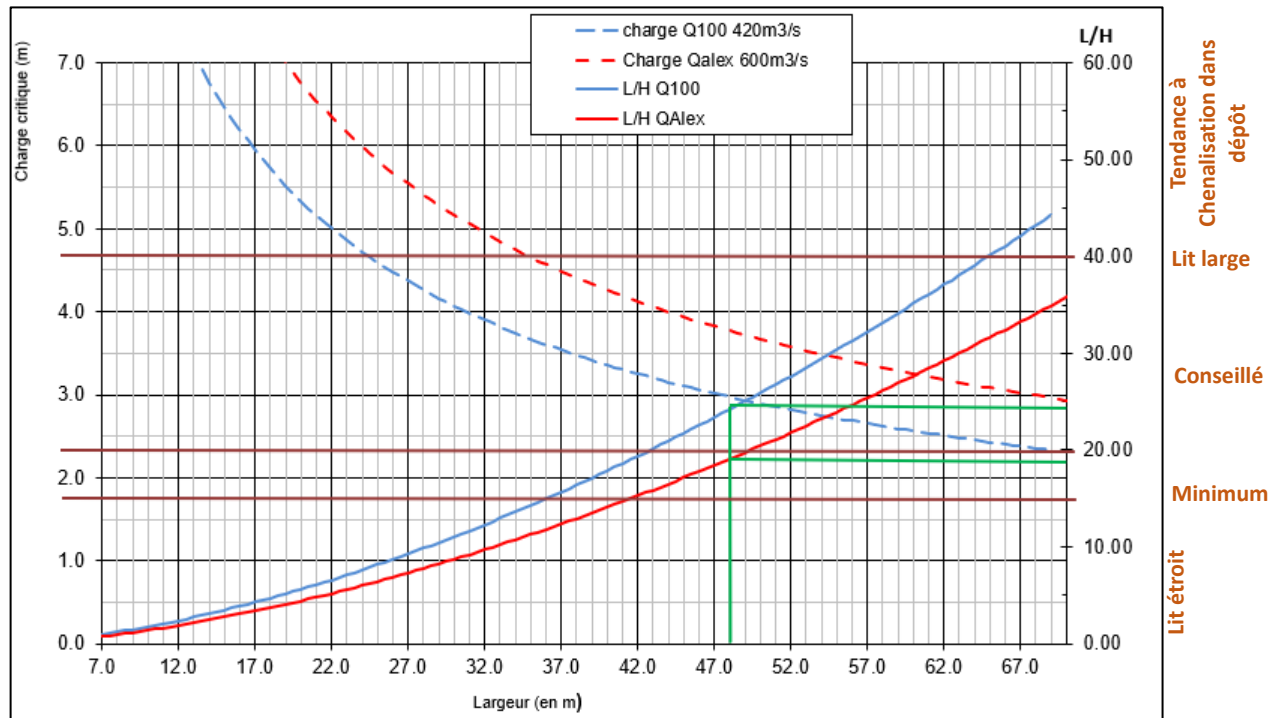
Le site est adapté à une protection par enrochement du fait de la présence du socle rocheux sur toute la rive opposée. La nature rocheuse de la berge droite n'est pas sensible à l'accélération des vitesses qui sera provoquée localement par les enrochements.

Les remblais sont remaniés pour élargir le lit à 48m en base, depuis le concasseur (profil 3bis) jusqu'à l'aval des installations Tonso. La largeur de 48m correspond à la largeur maximum disponible pour conserver une piste de circulation devant le concasseur au droit de l'éperon rocheux pinçant le lit en face des installations Tonso.

Une augmentation de largeur au-delà de 48m n'apporterait pas de véritable gain de protection hydraulique, l'ensemble du tronçon ayant une morphologie similaire le long d'une falaise rectiligne en rive droite. Un élargissement au-delà de 48m augmenterait les dépôts, sans permettre de diminuer significativement les hauteurs d'écoulement.

En amont du site, du profil 5 au profil 3bis, le lit est élargi à 73m pour conserver d'une géométrie de berge dans l'alignement de celle en aval, permettant d'élargir le lit et de dissiper l'énergie acquise par le torrent dans sa traversée de la section étroite le long de la retenue EDF.

La largeur de 48m permet d'obtenir un ratio Largeur / charge hydraulique (L/H) de 24 pour une crue de référence centennale, se situant dans la moyenne basse des ratios conseillés pour les sections chena-lisées. Le ratio L/H diminue à 19 pour une crue exceptionnelle. Ce ratio est au niveau du minimum conseillé de 15 à 20, par le groupe d'expert des services de l'Etat RTM / INRAE dans le rapport « retour d'expérience technique de la crue du 2 octobre 2020 dans la vallée de la Vésubie – volet torrentiel »



Variations de la charge et du ratio L/H en fonction de largeur du lit en régime critique

Au niveau du transport sédimentaire, la largeur de 48m ne provoque pas de perte de charge susceptible de perturber le transport sédimentaire. De plus l'accélération locale de la pente correspondant au chenal à 48m permet d'assurer un bon transit du transport solide.

A l'échelle du site des gorges de la Malune, la morphologie de la Vésubie reste une zone de régulation sédimentaire importante de la Vésubie, sur 600m en aval de la zone d'étude avec une largeur moyenne de 80m permettant une large divagation et régulation des matériaux charriés.

En amont de l'éperon rocheux, la surlargeur jusqu'à la retenue EDF joue un rôle de régulation du transport sédimentaire. Cette surlargeur sur une longueur d'un peu plus de 200m, permet une dissipation d'énergie directement en aval du rétrécissement le long de la retenue EDF et permet d'éviter une trop grande influence de ce rétrécissement sur les ouvrages à construire.

5.2 Terrassement – remblais en lit majeur

Les terrains sont remaniés en déblais/remblais pour établir la géométrie projet.

Les déblais sont effectués sur une bande le long du lit en amont et aval du profil 3. Ponctuellement au droit du profil 3, le talus projet correspond exactement à son emplacement actuel. Les remblais à retirer en pied de talus sont décaissés à une cote de +1m, vis-à-vis du fond du lit actuel. La zone de lit ainsi dégagée est nivelée avec une légère pente en direction du centre du lit de 1%.

Les calculs de cubature de déblais tiennent compte d'une épaisseur d'enrochement bétonné de 2.5m nécessitant de déblayer 2.5m en arrière du profil projet. Les talus sont établis avec un fruit de 1/1 = 100% ou 45° qui correspond au fruit des enrochements bétonnés à construire.

Les terres sont remaniées en totalité sur site pour rehausser les terrains des parcelles : 455, 454, 453, 437, 435, 431, 434, sur la commune de St Martin Vésubie et 364 et 365 sur la commune de Roquebillière.

Les terrains sont réhaussés à une cote suivant la pente du lit qui est callée à 0.8 m au-dessus de la cote de charge de la crue exceptionnelle donnée par la modélisation dans la nouvelle configuration du lit. Cette disposition permet de limiter les désordres pour une nouvelle crue importante avec une marge en cas d'embâcle ou d'écoulement fortement dissymétrique en face de l'éperon rocheux. Une pente transversale de 1% vers le centre du lit est donné aux remblais pour évacuer les eaux pluviales.

Dans le détail, les remblais sont répartis de la manière suivante :

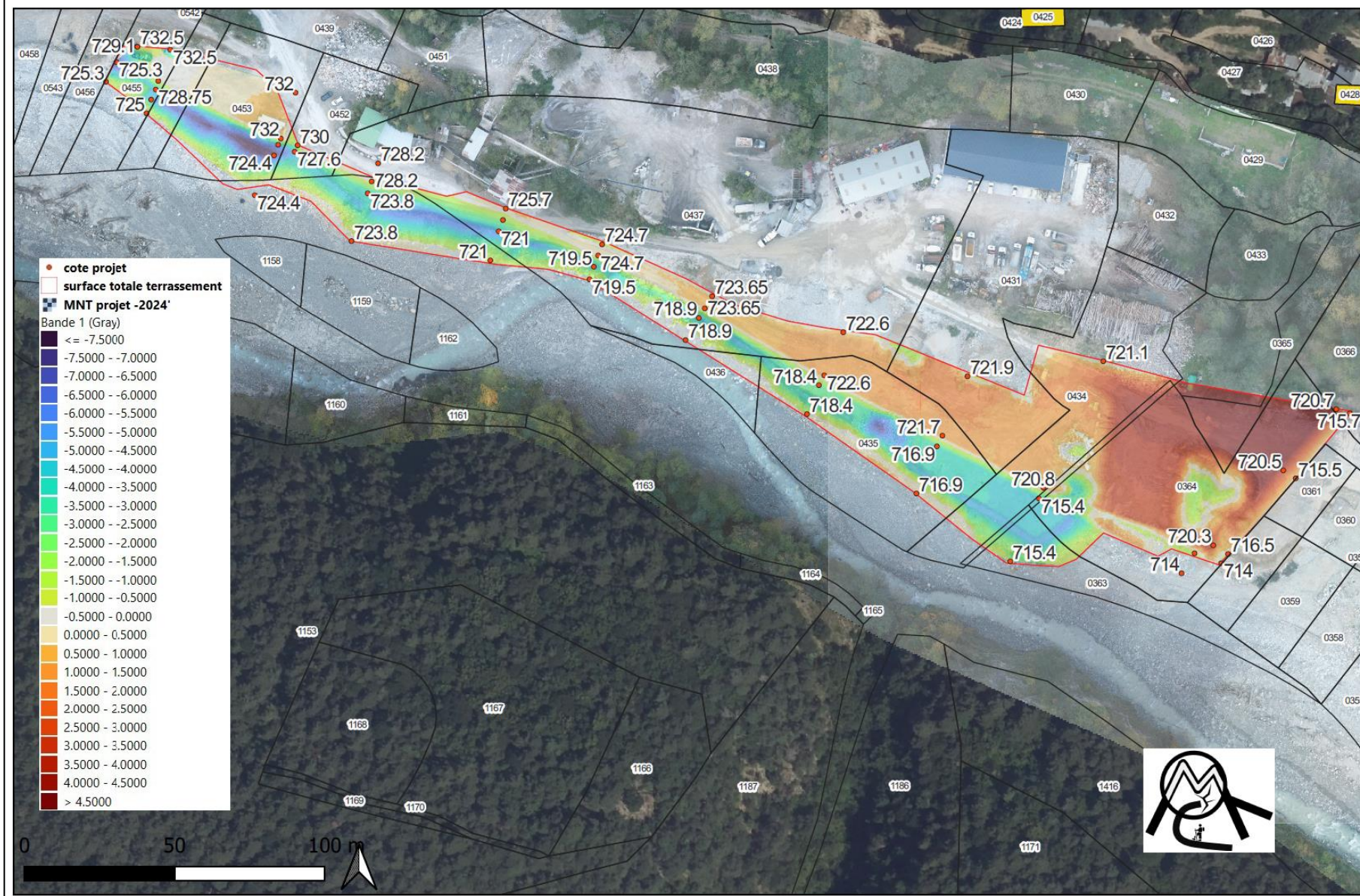
- Une faible quantité, inférieure à 1000 m³, est utilisée en amont du site pour égaliser le niveau de la plate forme des parcelles 455, 454, 453. Les hauteurs mises en œuvre sont inférieures à 1m.
- Sur la zone intermédiaire, la piste n'est pas modifiée devant les bureaux et au passage sur le pont à bascule. Au profil 3bis, le point bas de la piste devant le concasseur est réhaussé ponctuellement de 1m à 725.70.
- Au profil 3, l'altitude de la piste est conservée, mais elle doit être décalée de 2m en retrait en reculant le talus amont. La géométrie projet permet de conserver tout juste 5.0m de largeur de piste. Cette faible largeur, au regard du gabarit des engins roulants sur le site, nécessitera de mettre des protections en crête de talus adaptées à la circulation sur le site.
- La majeure partie des remblais est mise en œuvre sur la zone aval sur les parcelles 435, 431, 434, sur la commune de St Martin Vésubie et 364 et 365 sur la commune de Roquebillière. Les remblais y atteignent 1 à 1.5m sur les parcelles sur St Martin Vésubie et 4m au plus haut sur les parcelles de la commune de Roquebillière en aval. Ces terrassements permettent de construire une plateforme technique de niveau, adaptée aux activités de la SEE Tonso.

Les terrassements à réaliser ont été classés et colorisés par tranches de 0.5m sur la page suivante pour plus de compréhension. Les cotes projets et actuelles sont notées et géoréférencées en RGF93 Lambert 93 sur les plans de détails et les coupes.

**Cubature des déblais / remblais vis-à-vis
de la situation actuelle :**

	surface	volume
Déblais	6 220 m ²	16 600 m ³
Remblais	8 344 m ²	16 600 m ³

Terrassements projet - hauteur de remblais / déblais



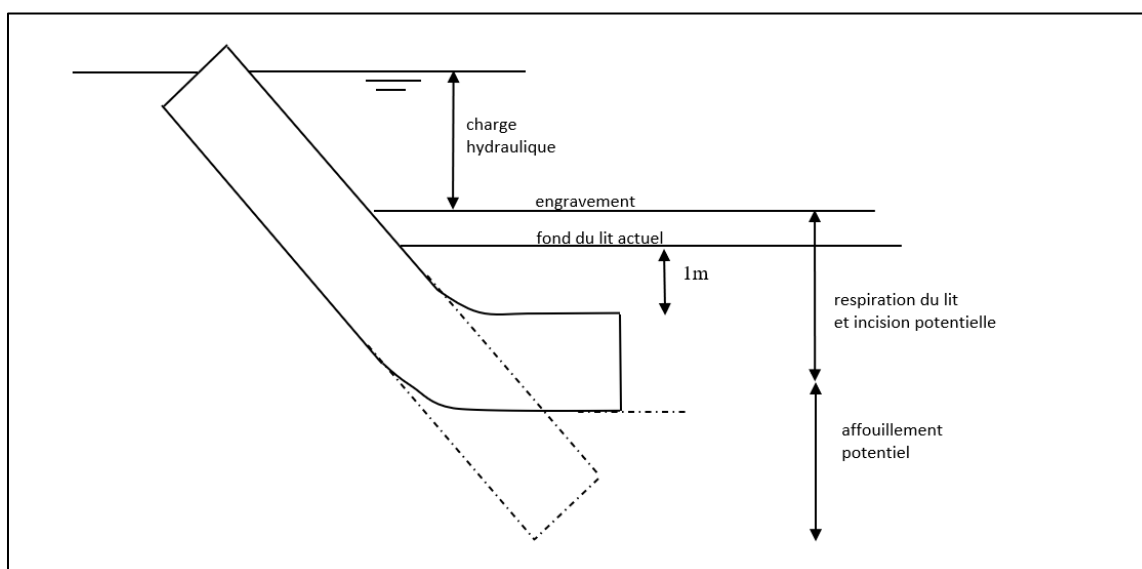
5.3 Protections de berges par enrochement

La protection minérale de la berge mesure 420m de longueur. Elle est construite en enrochements bétonnés pour le rampant et en enrochement libre pour les parafeuilles. Elle protège les plateformes de l'ICPE de l'érosion et de l'affouillement.

Elle est dimensionnée pour une crue de type de centennale en termes de vitesse des écoulements et de capacité d'affouillement.

Du fait de l'effet de l'éperon rocheux en face du site, le parement d'enrochement bétonné est monté jusqu'à la hauteur de la crue exceptionnelle modélisée pour permettre d'absorber une dissymétrie des écoulements. **Le parafeuille et la géométrie de la souille d'enrochement libre sont surdimensionnés en face de l'éperon rocheux sur 120m de longueur, entre les profils 3bis et 2 pour tenir compte d'une sollicitation accrue de la protection à ce niveau.**

La souille est dimensionnée pour pouvoir absorber par déformation l'affouillement potentiel suivant le schéma ci-dessous.



Les modélisations réalisées pour ce projet ne montrent pas une forte respiration du lit à la baisse en cours de crue. Une respiration de 1m à la baisse sous le fond actuel est considérée.

A moyen terme, une incision de 2.5 m du fond du lit est considérée pour tenir compte d'un rééquilibrage modéré du lit à la baisse, suite à la crise sédimentaire d'une crue exceptionnelle. L'hypothèse de poursuite d'une alimentation sédimentaire importante est considérée pour le dimensionnement des souilles, en cohérence avec l'analyse morphologique du site et le retour d'expérience de la tempête Aline, ayant remobilisée de grande quantité de matériaux.

A long terme, en cas d'absence de crue morphogène sur plusieurs décennies, provoquant la fixation des sédiments par le développement d'une végétation dense dans le lit, la tendance du lit à l'incision devra être surveillée pour adapter les ouvrages si l'incision dépassait 2.5 m.

L'affouillement potentiel est calculé avec la formule des fonds perturbés du laboratoire National d'hydraulique de Chatou qui est adaptée aux torrents et rivières torrentielles.

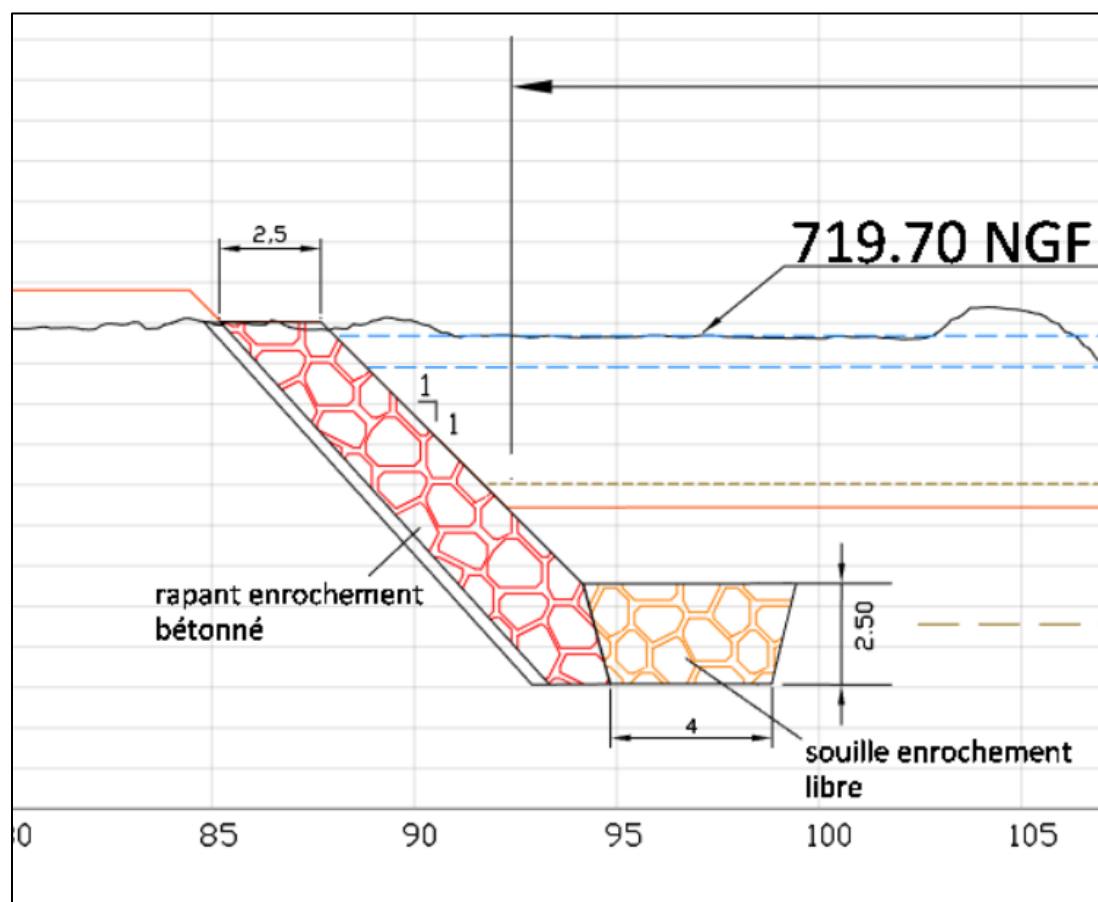
Détail géométrique des souilles d'enrochement libre

Profil	4 et 5	3bis et 3	2 et 1	unité
Charge critique	2.25	3.77	2.98	m
Hauteur critique	1.5	2.52	1.98	m
Débit	420	600	420	m ³ /s
Largeur mouillée	73	48	48	m
Diamètre médian sédiment	9.9	9.9	9.9	cm
profondeur maximum des fonds perturbés	3.45	5.78	4.56	m
affouillement potentiel	1.95	3.26	2.58	m
profondeur de respiration considérée	1	1	1	m
incision de moyen terme	2.5	2.5	2.5	m
Total respiration, incision, affouillement	5.45	6.76	6.08	m
hauteur souille	2.5	3	2.5	m
l mini de souille calculée	2.92	4.14	3.87	m
longueur souille choisie	3	4.2	4	m

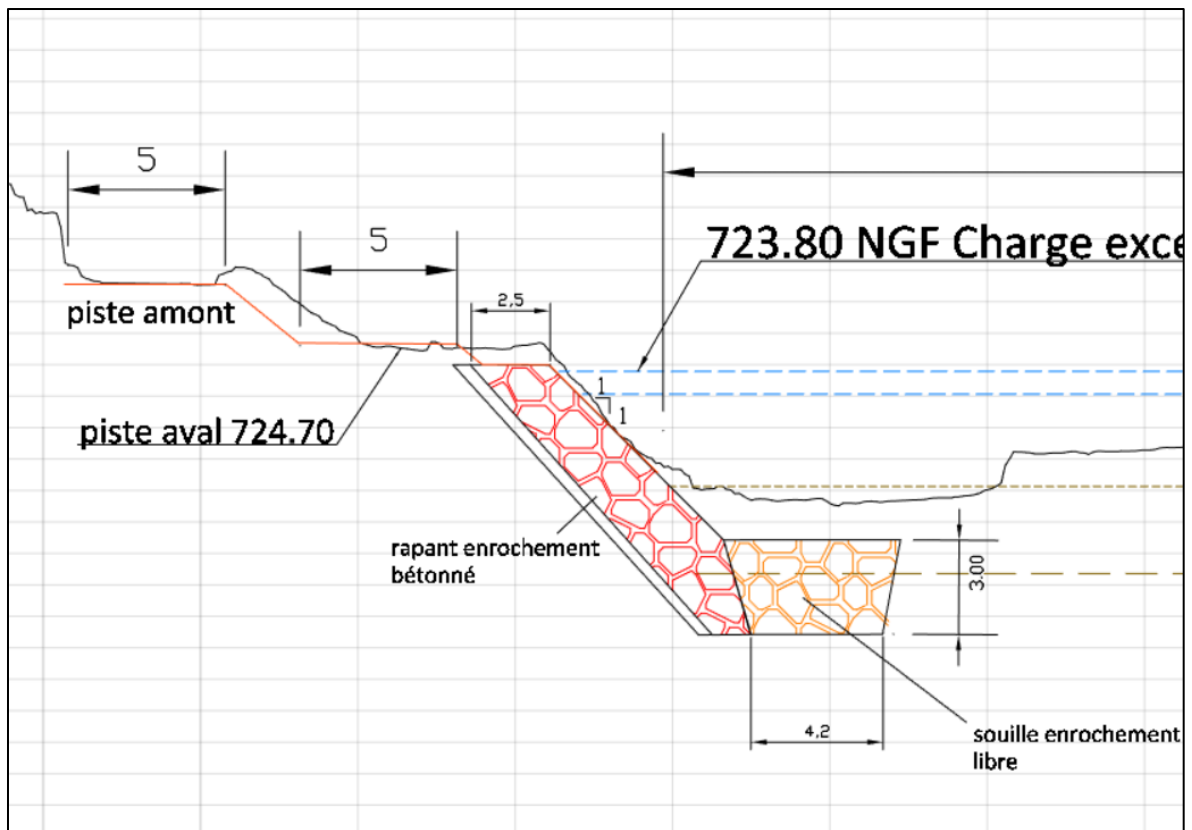
Les blocs à utiliser ont un diamètre moyen de 1.47 m pour un tonnage de 4.6T. La zone plus sollicitée en face de l'éperon rocheux sera renforcée avec un tonnage moyen se situant à 6.6T pour tenir compte de la direction quasiment frontale des écoulements sur ce point singulier.

Dimensionnement de la taille des Blocs - tronçon courant				
	Débit	420	m ³ /s	
	Hauteur d'eau	1.98	m	
	Largeur mouillée	48	m	
	Vitesse moyenne	4.42	m/s	
	L'enrochement est-il situé dans un coude?	oui		
	Angle / axe écoulement	30	°	
	Vitesse contre la berge	5.37	m/s	
	Pente de la berge par rapport à l'horizontal	45	°	
	Angle d'équilibre des enrochements	45	°	
	Densité des blocs	2.4		
	Diamètre de référence enrochements	1.47	m	
	Ecoulement turbulent	4.57	T	
	poids moyen			
Granulométrie limite				
Répartition granulométrique souille profil courant				
		D10	D50	D90
	diamètre en m	1.35	1.47	1.61
	poids en T	3.5	4.6	6.0

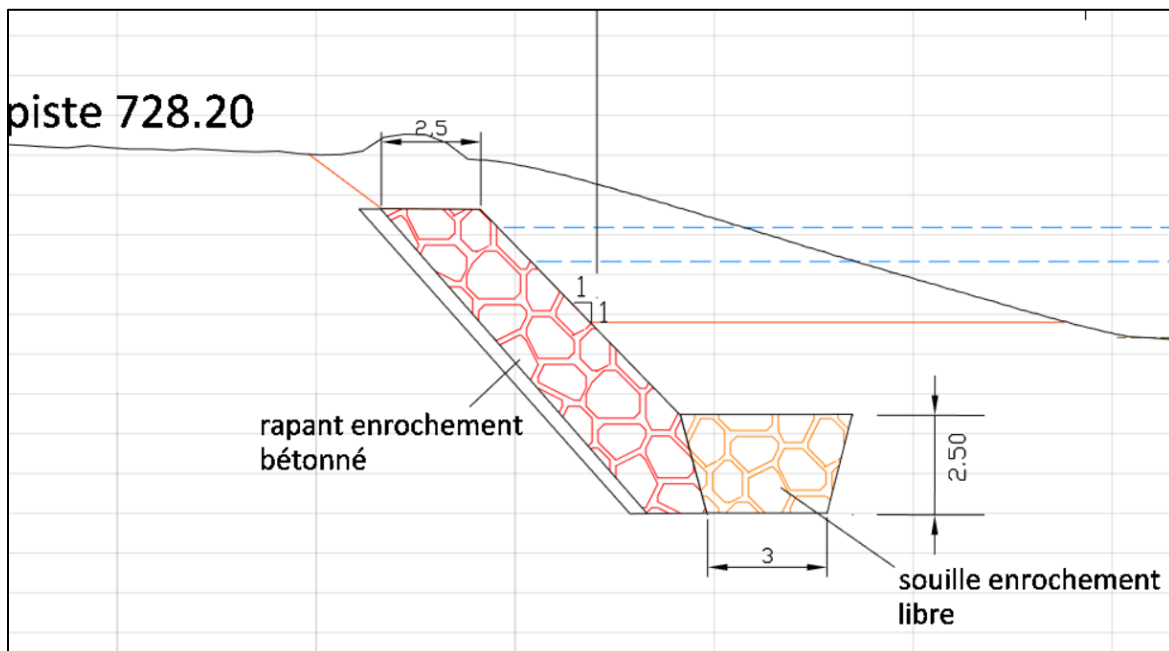
Dimensionnement de la taille des Blocs - profil renforcé				
	Débit	420	m ³ /s	
	Hauteur d'eau	1.98	m	
	Largeur mouillée	48	m	
	Vitesse moyenne	4.42	m/s	
	L'enrochement est-il situé dans un coude?	oui		
	Angle / axe écoulement	80°		
	Vitesse contre la berge	5.71	m/s	
	Pente de la berge par rapport à l'horizontal	45°		
	Angle d'équilibre des enrochements	45°		
	Densité des blocs	2.4		
	Diamètre de référence enrochements			
	Ecoulement turbulent	1.66	m	
	poids moyen	6.64	T	
Granulométrie limite				
Répartition granulométrique souille profil renforcé				
		D10	D50	D90
	diamètre en m	1.51	1.66	1.84
	poids en T	5.0	6.6	9.0



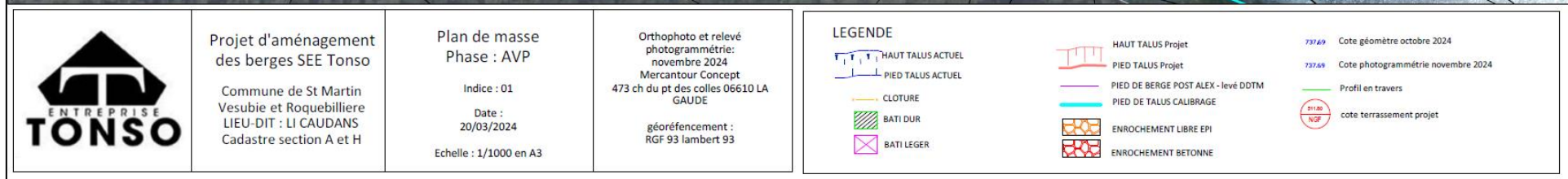
Coupe type des enrochements zone aval, profils 1 à 2



Coupe type des enrochements sur zone médiane, profils 3, 3 bis



Coupe type des enrochements sur zone amont, profils 4 et 5



Sur les 420m de longueur de l'enrochement envisagé, les cubatures d'enrochements bétonnés et d'enrochements libres sont les suivants :

	surface/section	longueur	Total
	m2	ml	m3
Terrassement			16600
Enrochement libre zone aval	11.4	145	1653
Enrochement libre zone médiane	14.7	120	1764
Enrochement libre zone amont	9	155	1395
Enrochement bétonné	20.8	420	8736

6. Incidence sur les écoulements

6.1 Hydrogrammes

Les débits de pointe sont issus du chapitre étude hydrologique.

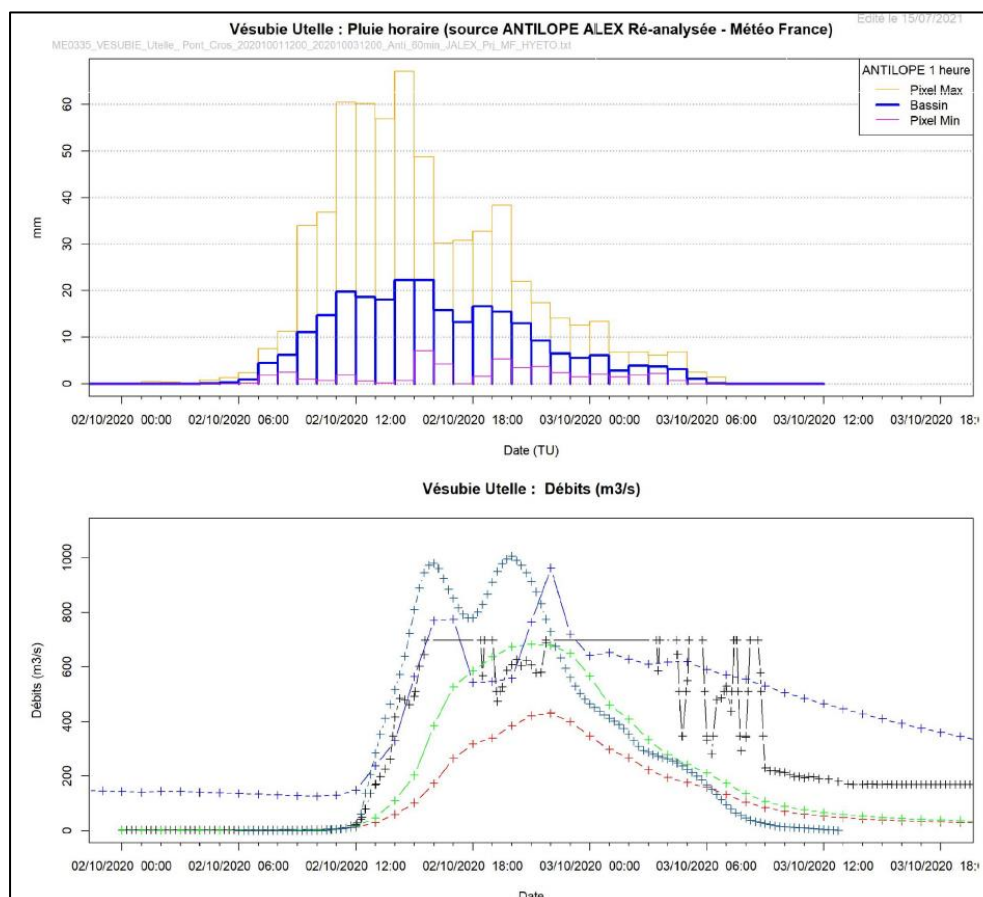
Débits retenus :

Cours d'eau	BV	Altitude BV moyen	Q50	Q100 retenu	Q spécifique 100	Qalex retenu Q500 ans	QAlex spécifique
	km ²	m NGF	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s/km ^{1.5}	m ³ /s	m ³ /s/km ^{1.5}
Vésubie Zone d'étude TONSO	127	1882	311	420	11.10	600	15.86

Les hydrogrammes ont été établis sur la base d'hydrogramme classique CT GREF calé sur la position de la zone d'étude sur le cours de la Vésubie. Le coefficient de forme est de 3, correspondant à la géométrie du bassin versant et représentatif des pluies intenses de 24h sur la Vésubie.

Le temps de montée de la crue a été calculé avec la méthode SOCOSE (formulation nationale). 10h pour Q100 et 12h pour Q Alex.

Pour la crue exceptionnelle, les cohérences de temps de montée et de temps de ressuyage du bassin versant ont été comparés aux hydrogrammes de la tempête Alex reconstitués par différents modèles hydrologiques et synthétisés dans le document « RETEX technique Alex – consensus Hydrologique – CEREMA 2021 ». Pour cette crue, le début de pluie vers 4h et le pic vers 19h donne une montée en 15h.



Hydrogramme de la tempête Alex reconstitué sur la Vésubie à Utelle

6.2 Sédigraphe – détermination des apports solides

Pour établir les variations horaires d'entrée de sédiment, nous avons utilisé la formule de Lefort 2015 qui est une équation représentant le transport solide par charriage et suspension dans un large domaine. Cette formule comporte deux régimes de transport :

- Un charriage partiel au-dessus du débit de mise en mouvement qui correspond au charriage des sables et graviers sur lit pavé
- Un charriage généralisé au-delà d'un débit de transition plus important q_0

Au regard des volumes transportés par la crue Alex (relevé dans le RETEX volet torrentielle de la crue) cette formule semble la plus adaptée pour obtenir des volumes transportés importants tout en ayant une large plage de validité.

Les paramètres utilisés dans la formule sont les granulométries moyennes mesurées in-stitut, la pente du tronçon amont concernés, la largeur du lit actif le long des bassins EDF.

	Vésubie
Pente	0.026 m/m
Largeur de lit	32m
D16	0.04
D50	0.099
D84	0.20
Dm	0.134
D90/D30	4.16

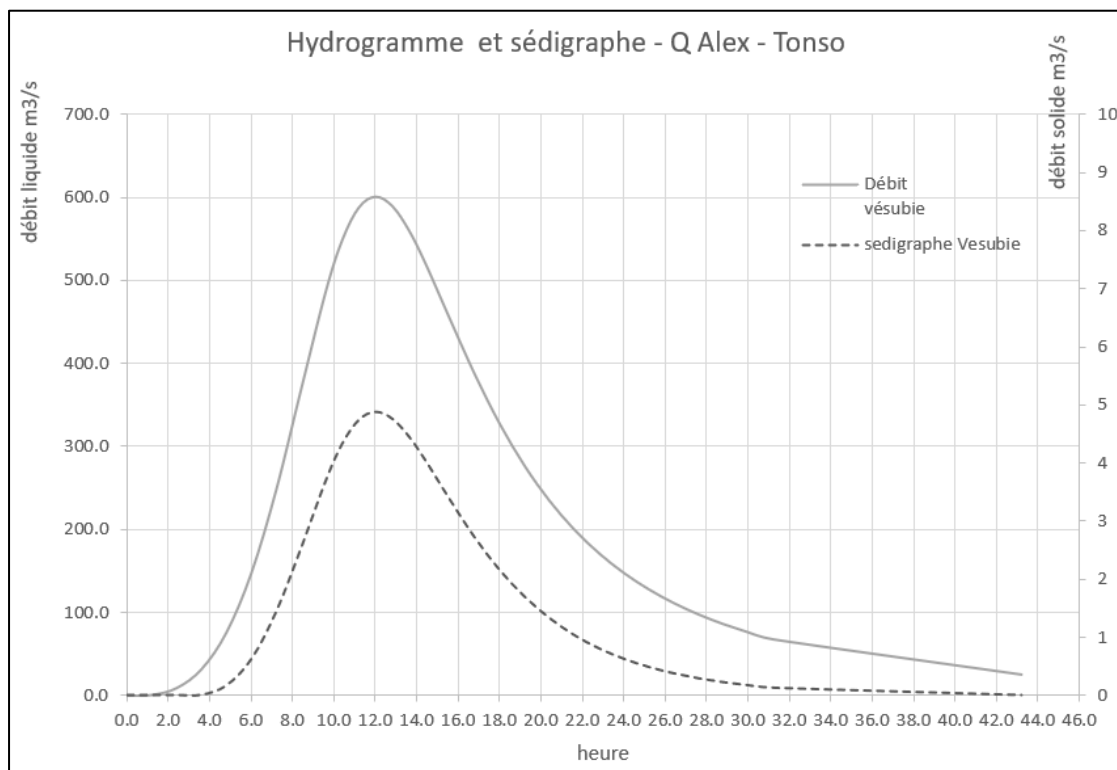
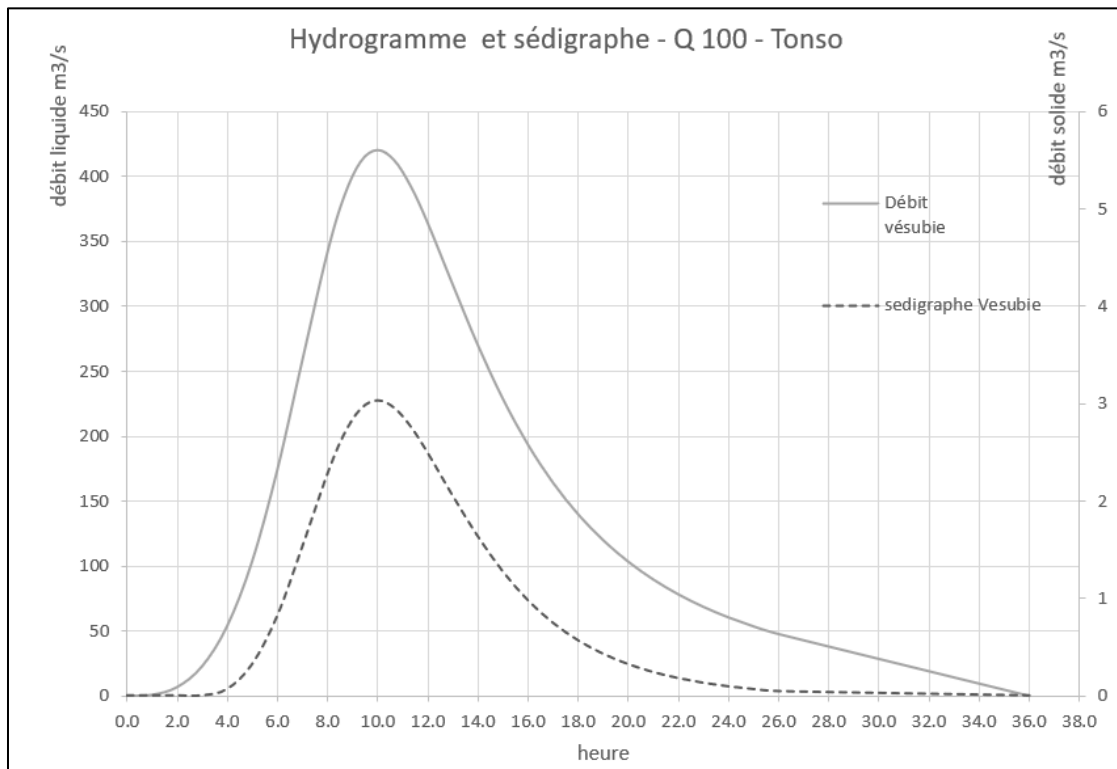
Paramètre de définition des sédigraphes

La charge solide est injectée au droit du profil 10 et le modèle utilise également les matériaux du fond du lit comme source de matériaux en cas de tendance à l'incision.

Les sédigraphes des crues de référence ont été modulés sur les hydrogrammes de référence en tenant compte à chaque fois de la capacité maximale de transport des débits écoulés.

Somme des apports solides au modèle	Total transport sédimentaire injecté -Site Tonso
Qs 100	91 800 m ³
Qs Alex	186 000 m ³

Chronologie des apports solides – crues de références considérées



6.3 Modélisation du transport solide

Les variations horaires du fond du lit ont été calculées avec le logiciel sedflow, avec les équations de Rickenman basées sur la largeur du lit :

$$q_b = 3.1 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{-1.5} \cdot \left(\frac{D_{90}}{D_{30}} \right)^{0.2} \cdot (q - q_c) \cdot S^{1.5};$$

$$q_c = 0.065 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{1.67} \cdot \sqrt{g} \cdot D_{50}^{1.5} \cdot S^{-1.12};$$

Dans ces équations, Fr est le nombre de Froude ; q est le débit par unité de largeur de largeur ; qc est le seuil de débit par unité de largeur pour l'initiation du mouvement du lit.

S est la pente et D50 est le diamètre médian de la distribution granulométrique.

L'équation de perte de charge est calculée avec une ligne d'énergie variable qui met en œuvre l'équation suivante de Ferguson avec les paramètres de Rickenmann et Recking.

$$\sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{6.5 \cdot 2.5 \cdot \frac{r_h}{D_{84}}}{\sqrt{6.5^2 + 2.5^2 \cdot \left(\frac{r_h}{D_{84}} \right)^{\frac{5}{3}}}}$$

Avec f qui est le facteur de friction de Darcy-Weisbach, rh est le rayon hydraulique.

Les hauteurs de sédiments mobilisable en fond de lit étant importante sur toute la zone d'étude, aucune limitation d'incision n'a été considérée.

La largeur rentrée dans le modèle par profil en travers correspond à une largeur à mi-hauteur de berge, de 48m sur la zone aménagée en aval du concasseur et de 73m en amont du concasseur.

6.4 Situations modélisées

Les comparaisons réalisées ont été faites vis-à-vis de la situation initiale considérée dans la mise en demeure de la DDTM, soit l'état du lit juste après la tempête Alex. Pour pouvoir analyser les effets des aménagements projetés vis-à-vis de cet état initial, 4 modélisations ont été réalisées :

	Géométrie du lit	Hydrogramme et sédigraphe
Modèle 1	Géométrie du lit post tempête Alex	Q100
Modèle 2	Géométrie projetée	Q 100
Modèle 3	Géométrie du lit post tempête Alex	Q Alex
Modèle 4	Géométrie projetée	Q Alex

La cote initiale du fond du lit est celle mesurée juste après la tempête Alex. En effet le fond du lit est descendu d'environ 1m aujourd'hui, mais il faut utiliser une référence de départ commune pour pouvoir comparer les effets du changement de géométrie des berges uniquement.

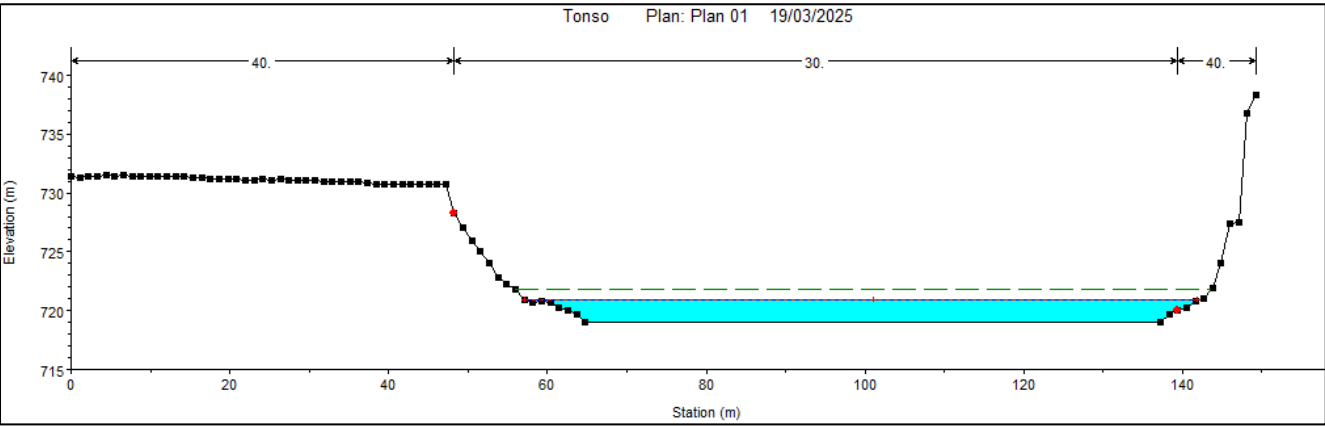
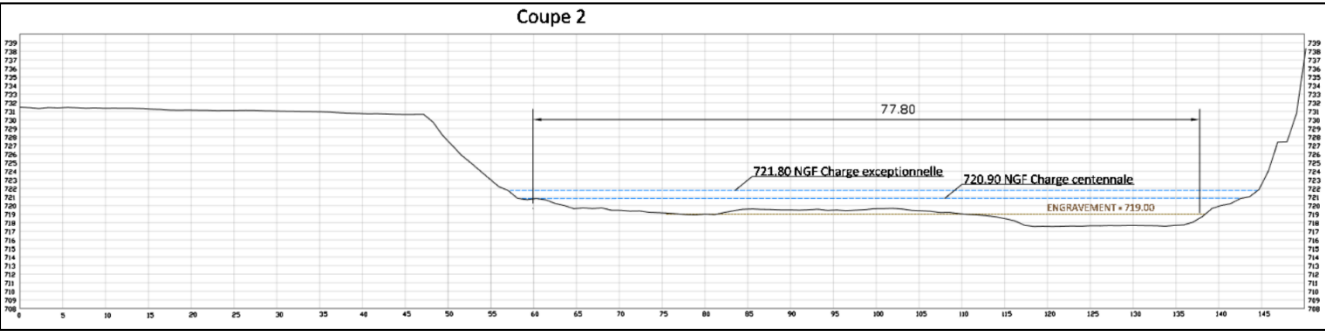
Pour chaque modèle, une fois l'évolution du fond du lit au cours de la crue analysé sur Sed Flow, l'écoulement liquide a été modélisé sur le logiciel Hec Ras, en régime permanent uniforme au pic de crue. Les profils en travers de chaque modélisation ont été adaptés en fonction de la topographie des aménagements projetés et avec l'engravement du pic de crue pour chaque situation.

Les coefficients de Manning $K = 1/n$ sont pris égal à

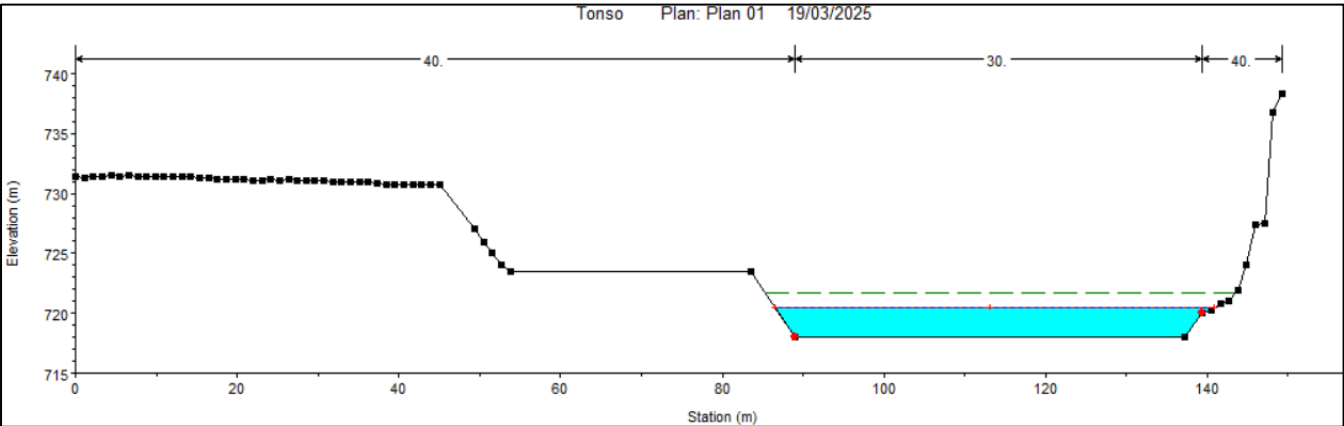
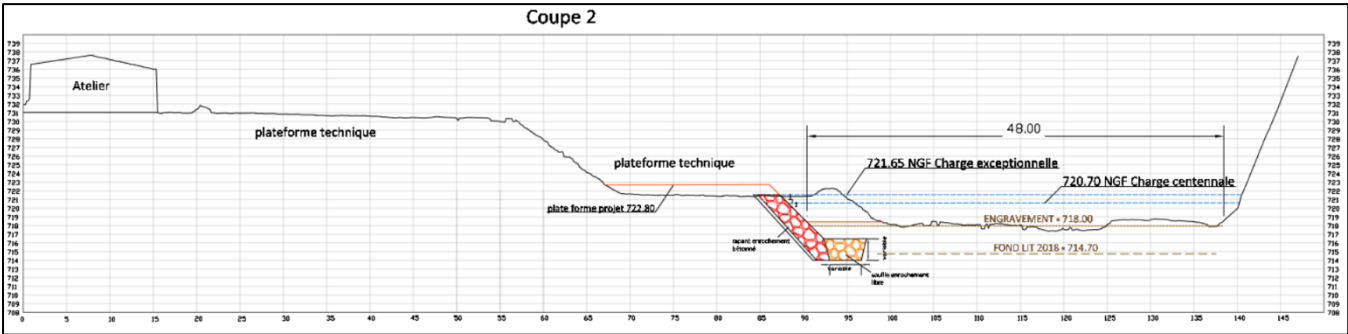
- 40 pour les enrochements bétonnés appareillés (enrochements à construire et enrochements existants le long de la retenue EDF)
- 40 pour les berges rocheuses en rive droite
- 30 pour les berges naturelles et le fond du lit alluvial

13 profils en travers ont été injecté dans le modèle hydraulique pour couvrir les 1150 m de la zone d'étude et pouvoir apprécier les incidences sur l'amont ou l'aval de l'aménagement à réaliser.

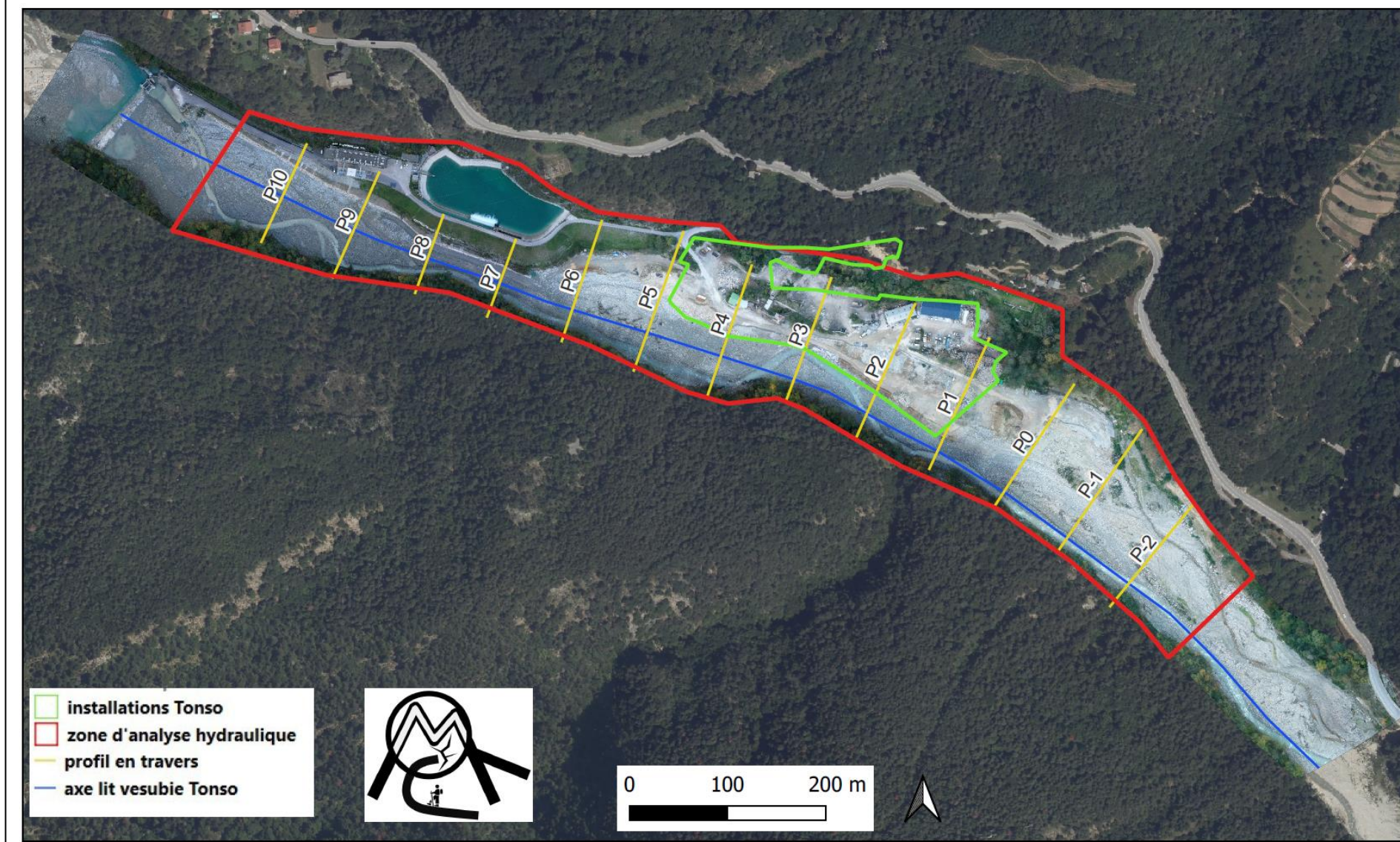
Exemple profil 2 – géométrie initiale : modèle topo et modèle hydraulique



Exemple profil 2 – géométrie projet : modèle topo et modèle hydraulique



Zone d'étude Tonso - Implantation des profils en travers de modélisation



6.5 Résultats des modélisations

Les modélisations permettent d'approcher l'effet du rétrécissement de largeur du lit sur le transport solide et sur les hauteurs d'eau. En effet l'engravement et les dépôts sont fortement liés aux vitesses d'écoulement et ils diminuent lorsque les vitesses augmentent, engendrant des effets combinés difficile à anticiper sans modélisation.

Pour les 2 types de crues modélisées, la réduction de largeur à 48m au niveau des profils 1, 2, 3 a pour effet de limiter les dépôts, à la fois au pic de crue et en fin de crue. Il s'agit d'une diminution des dépôts et non d'une incision. Les dépôts restent quasiment nuls sur ce tronçon chenalisé, pendant la première partie de la crue, jusqu'au pic de crue. Pendant la décrue, les dépôts se reforment, mais dans une proportion bien moindre qu'avec la géométrie initiale. La réduction de dépôt au pic de crue atteint environ 0.9m en crue centennale et 1.10m en crue exceptionnelle.

Au contraire, en amont, le long du bassin EDF, la très forte réduction de largeur à 32m environ, provoque un enfoncement localisé et temporaire du lit de l'ordre de 1m au pic de crue.

La zone intermédiaire calibrée à 73m (profil 4 à 6) permet de dissiper efficacement l'accélération des vitesses le long du bassin EDF. Pour une crue exceptionnelle, la longueur de cette zone de transition de 200m est juste suffisante pour dissiper l'énergie des bassins EDF avant de rentrer dans la zone calibrée à 48m.

Au niveau des hauteurs d'écoulement (charge et hauteur d'eau), l'effet d'abaissement du fond du lit est compensé par une augmentation de la charge hydraulique, le rayon hydraulique diminuant dans la situation projet. La charge hydraulique est donc très proche avant et après aménagement.

La charge hydraulique augmente légèrement de 5cm au maximum pour une crue centennale et de 15cm au maximum pour une crue exceptionnelle, au droit du profil 5 situé en amont des installations Tonso. Vis-à-vis des phénomènes étudiés et des incertitudes de ce type de modèle de crue torrentielle, cet effet n'est pas significatif. En amont du site, le long des bassins EDF les effets sont nuls.

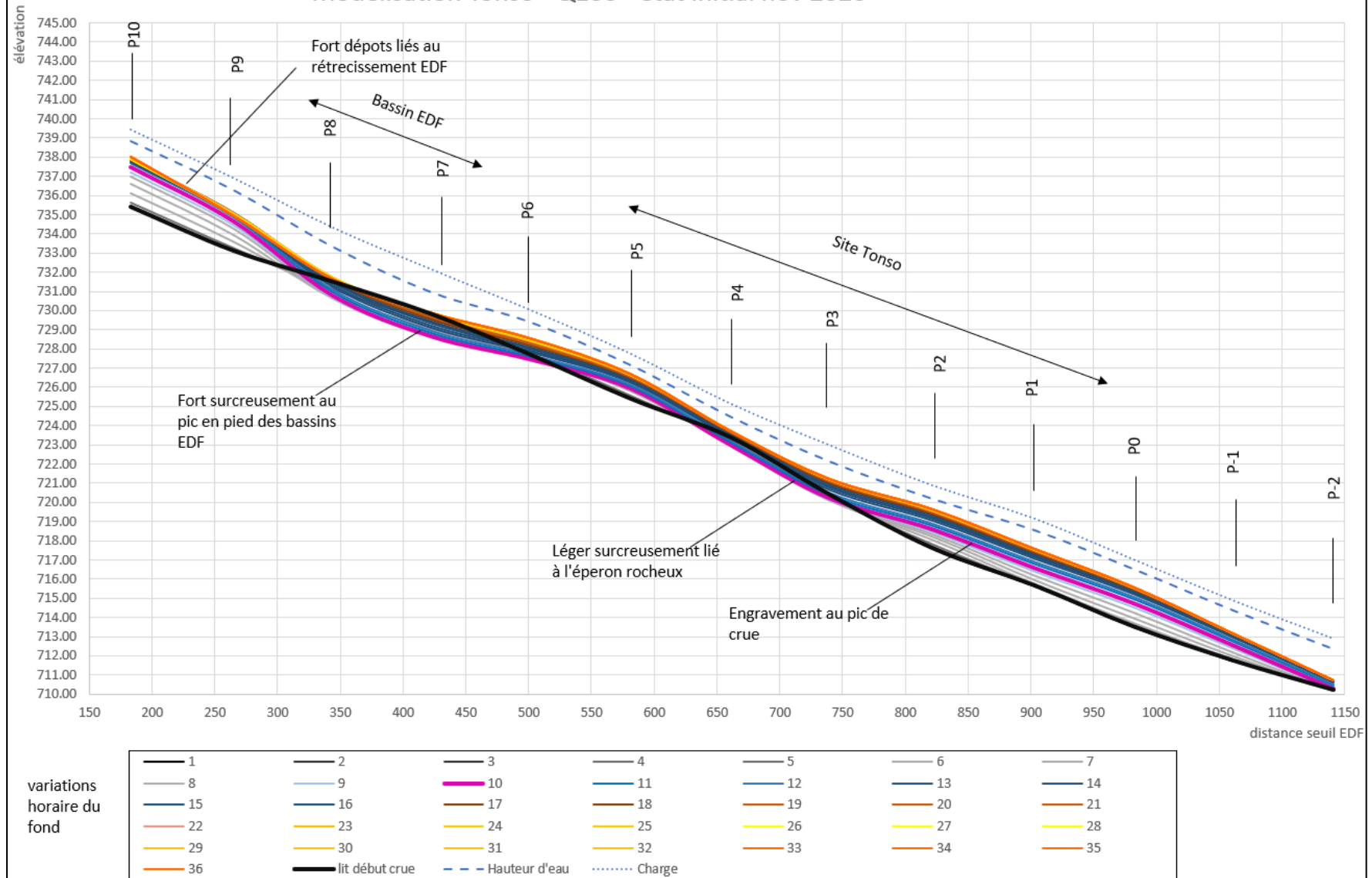
Le seul effet notoire des aménagements projetés consiste en un abaissement des lignes d'eau et de charge qui se propagent sur environ 100m en aval de la zone recalibrée. Il s'agit d'un effet de chasse du fait de l'accélération des vitesses sur le tronçon recalibré. La combinaison du rétrécissement et de la diminution de rugosité le long des enrochements augmente les vitesses de 0.85m/s au profil 1. Du fait de l'absence d'enjeu en aval de la SARL Tonso et du fait de la nature rocheuse de la berge droite, cette accélération des écoulements ne provoque pas de désordre sur le site. La vaste zone de régulation sédimentaire en aval de la SARL Tonso permet de dissiper l'énergie acquise dans le tronçon calibré.

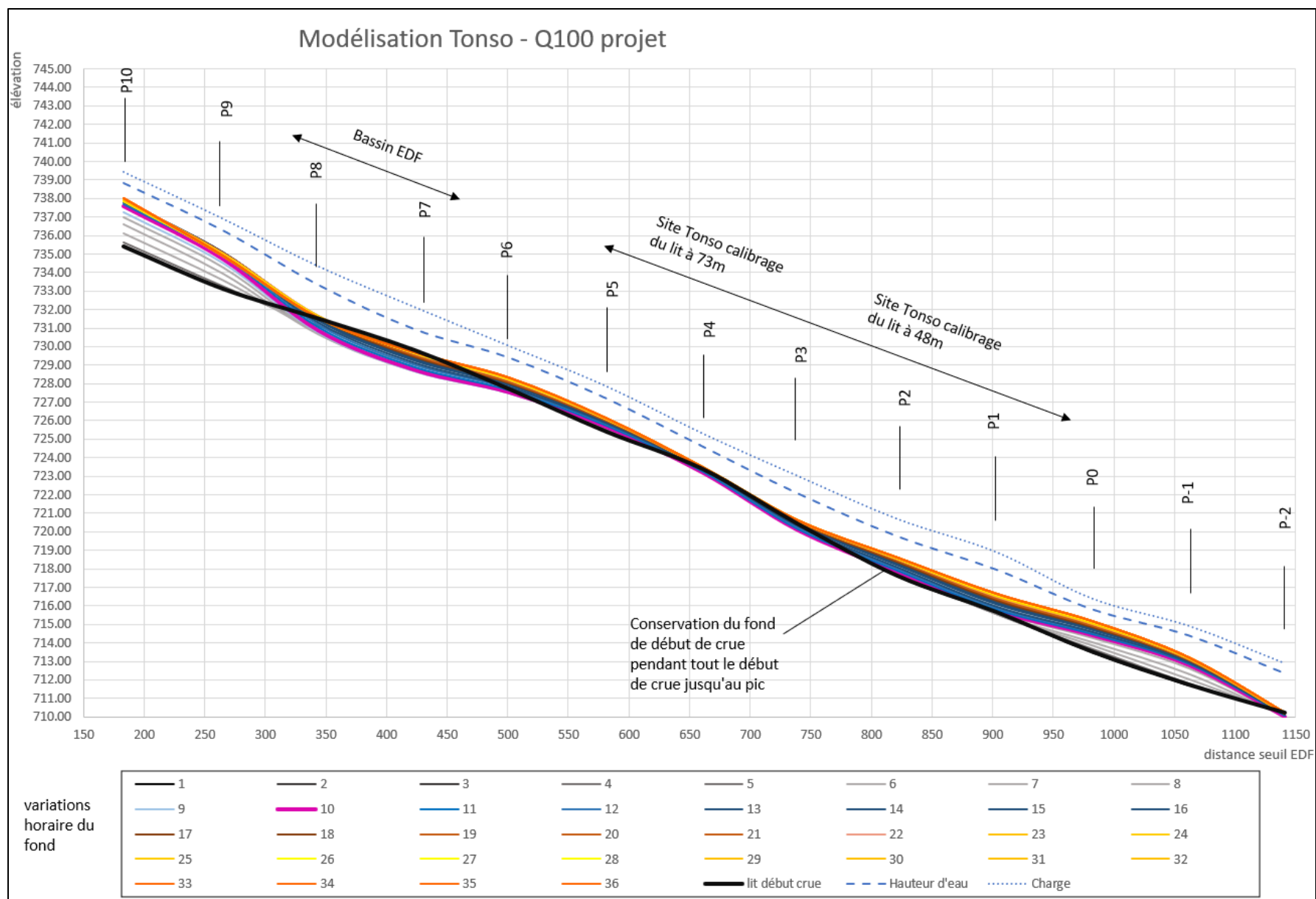
Cette analyse permet de conclure sur une absence d'incidence des travaux sur le transit sédimentaire et sur une incidence hydraulique limitée aux 100m en aval du projet, compatible avec la morphologie de la Vésubie sur le site.
--

La modélisation de la crue exceptionnelle en situation projet montre également une insuffisance de hauteur de la berge rive gauche sur la partie aval du site, au droit des plateformes techniques (profil 1 à 3)

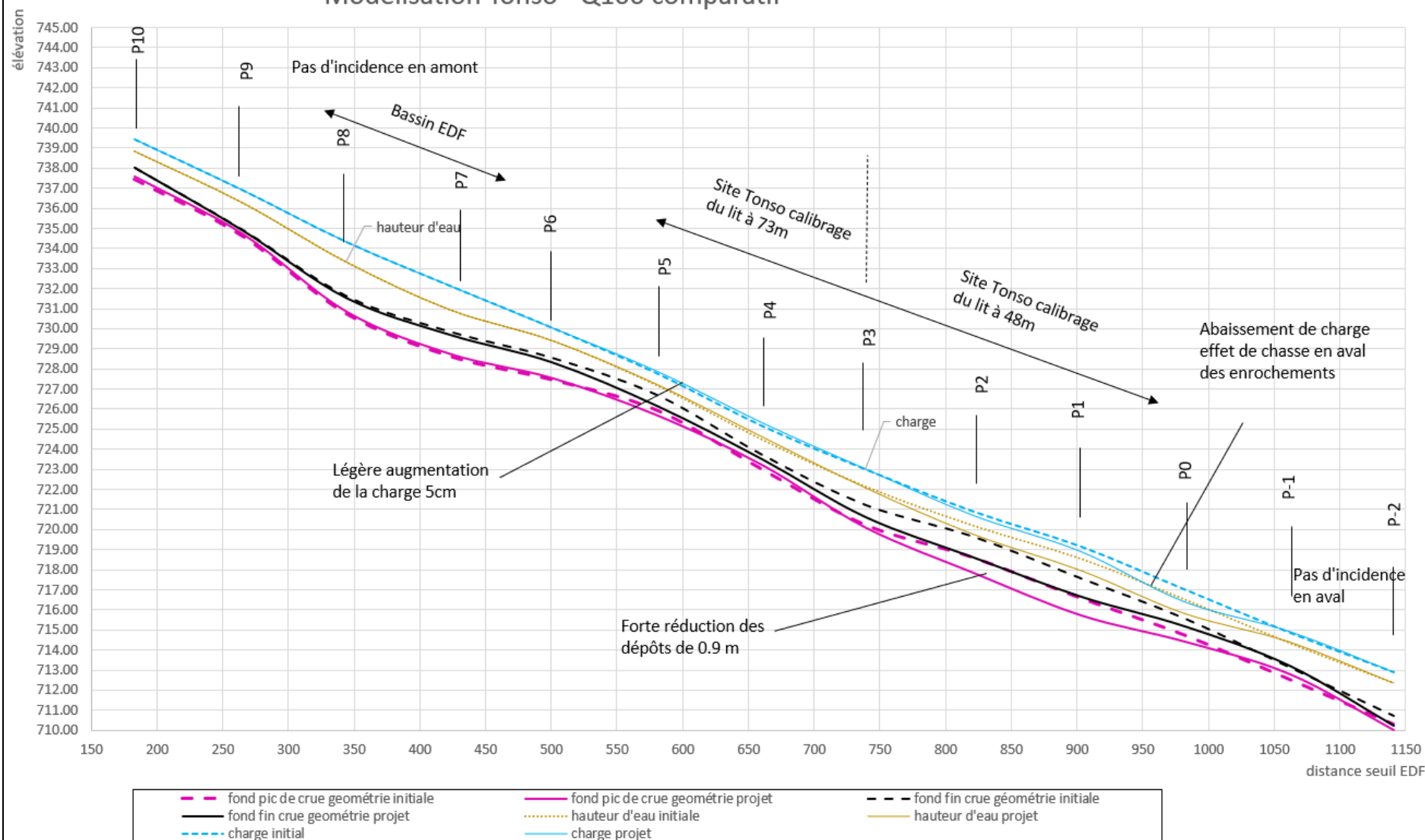
Pour éviter les débordements et protéger le site d'une submersion, les plates forme et la piste en bordure de Vésubie seront rehaussées environ 80cm au-dessus de la cote de la charge hydraulique qui correspond à des phénomènes transitoires de vague ou d'écoulement dissymétrique dans une même section, phénomène assez courant en régime torrentiel.

Modélisation Tonso - Q100 - état initial nov 2020

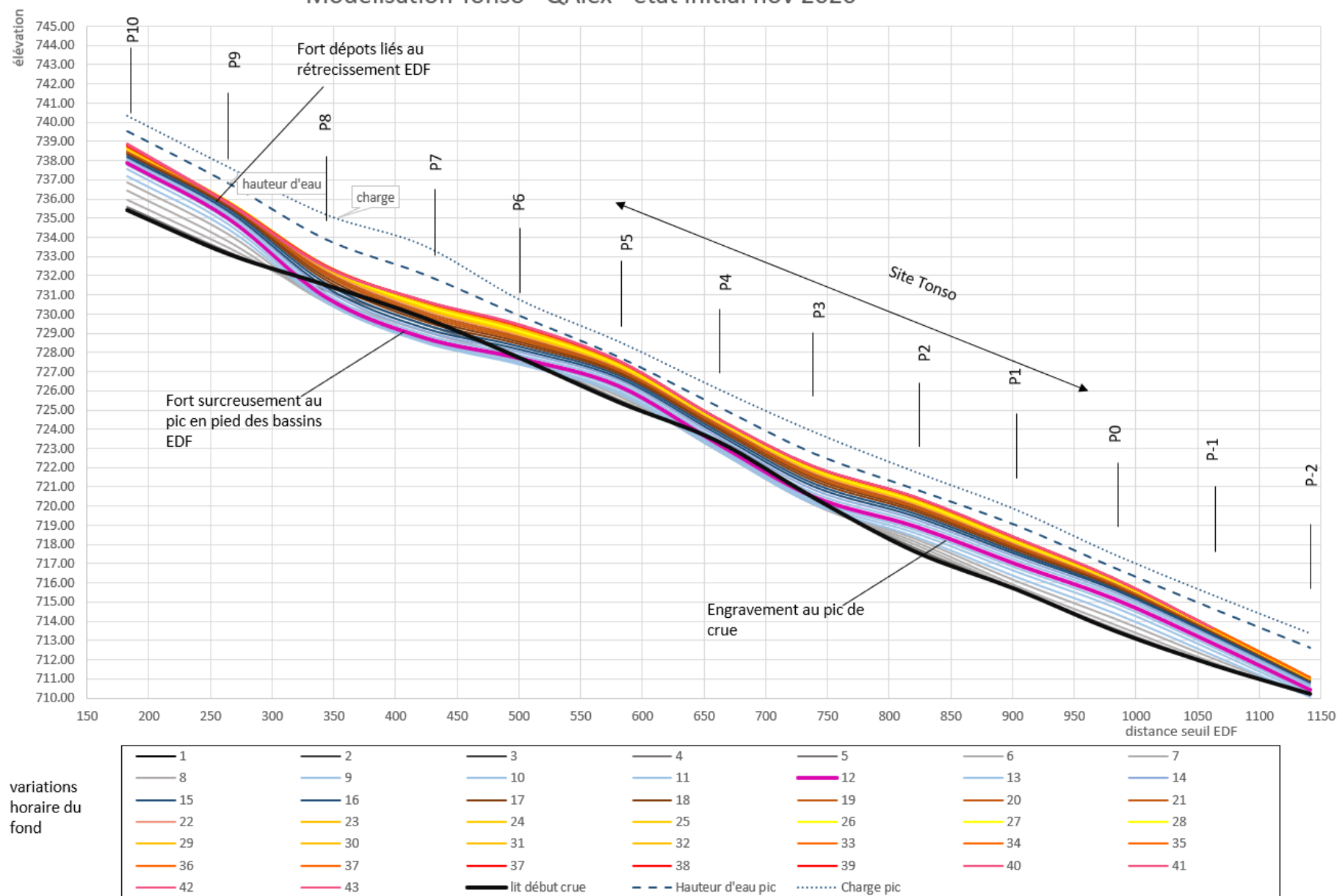




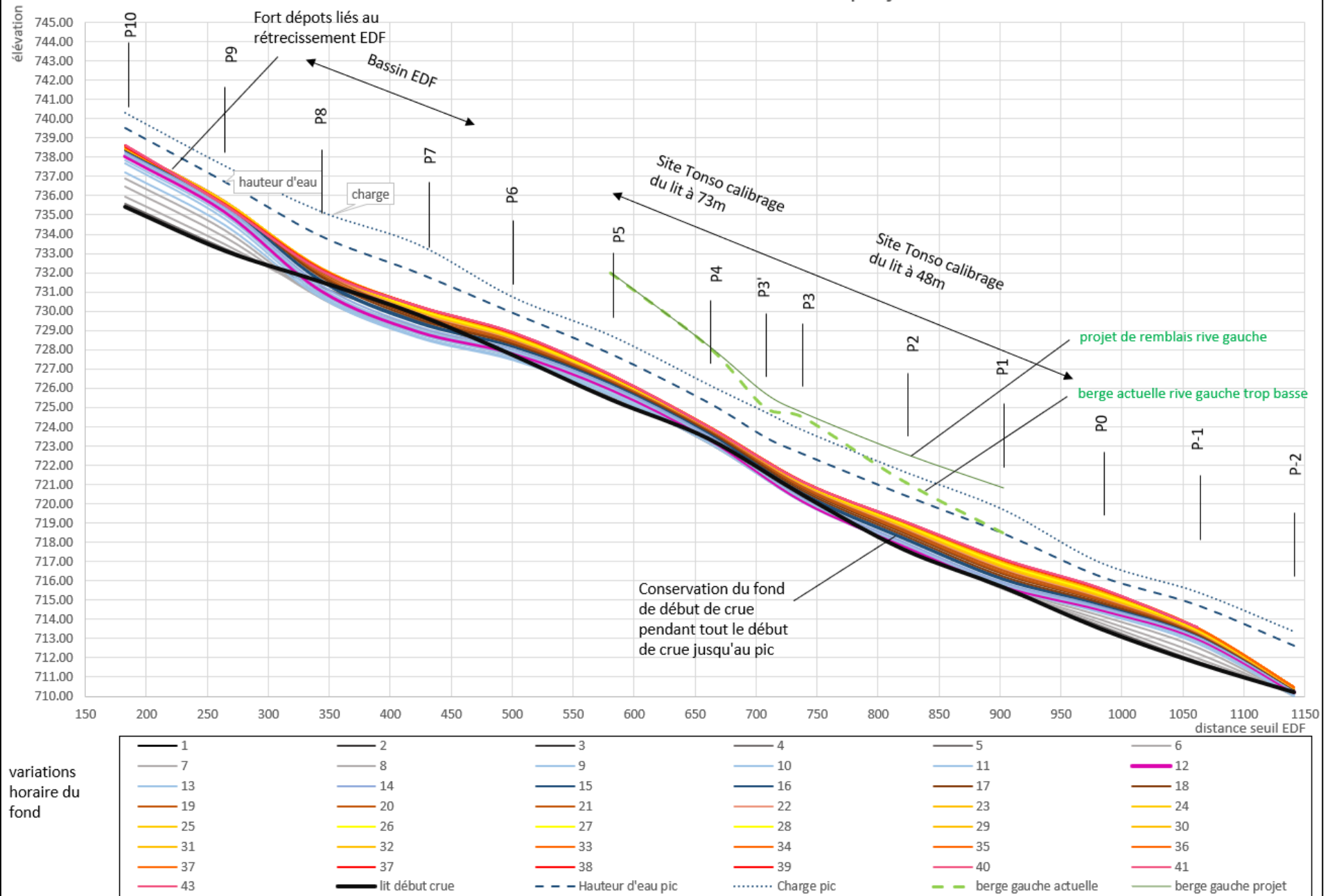
Modélisation Tonso - Q100 comparatif



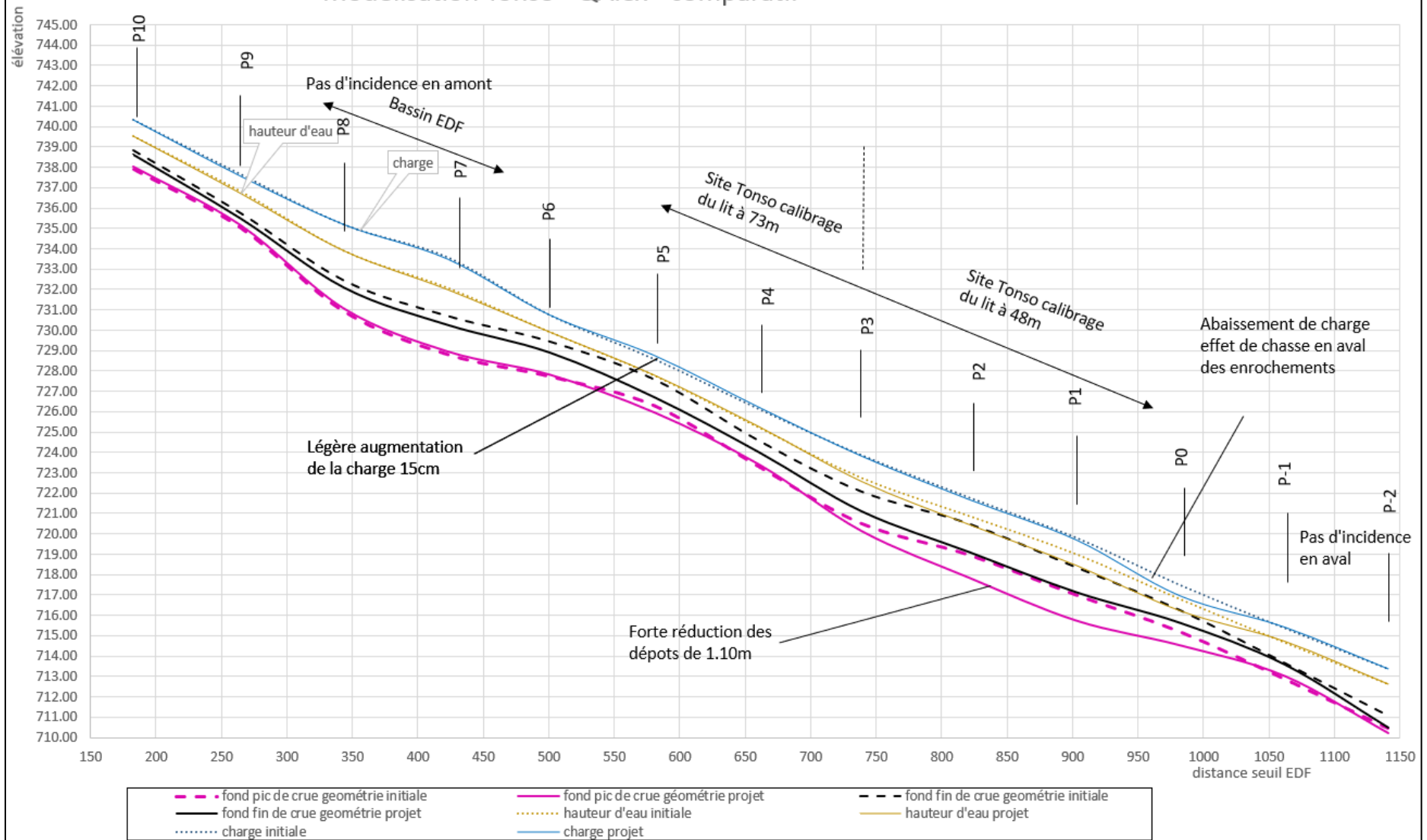
Modélisation Tonso - QAlex - état initial nov 2020



Modélisation Tonso - QAlex - projet



Modélisation Tonso - QAlex - comparatif



HEC-RAS Plan: Q100 initial River: Vesubie Reach: Tonso Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
Tonso	10	PF 1	420.00	737.50	738.81	738.81	739.45	49.603000	3.54	118.81	94.24	1.00
Tonso	9	PF 1	420.00	734.90	736.25	736.25	736.92	35.149000	3.64	116.50	88.49	1.00
Tonso	8	PF 1	420.00	731.00	733.30	733.30	734.34	26.759000	4.60	96.76	48.12	0.97
Tonso	7	PF 1	420.00	728.40	730.92	730.92	732.15	52.892000	4.95	87.58	37.14	1.00
Tonso	6	PF 1	420.00	727.50	729.38	729.38	730.05	59.933000	3.61	116.81	88.42	1.00
Tonso	5	PF 1	420.00	725.90	727.14	727.14	727.77	50.230000	3.49	120.49	97.86	1.00
Tonso	4	PF 1	420.00	723.00	724.44	724.44	725.15	59.513000	3.72	112.76	80.55	1.01
Tonso	3	PF 1	420.00	720.30	722.13	722.13	723.01	41.364000	4.17	100.70	57.33	1.00
Tonso	2	PF 1	420.00	718.70	720.18	720.18	720.91	22.626000	3.77	111.50	78.23	1.00
Tonso	1	PF 1	420.00	716.73	718.53	718.53	719.16	38.311000	3.51	119.60	95.28	1.00
Tonso	0	PF 1	420.00	714.70	716.50	716.50	717.02	31.861000	3.22	130.64	123.96	1.00
Tonso	-1	PF 1	420.00	712.80	714.33	714.33	714.87	26.101000	3.28	128.18	118.72	1.01
Tonso	-2	PF 1	420.00	710.50	712.34	712.34	712.90	38.135000	3.33	126.61	115.39	1.01

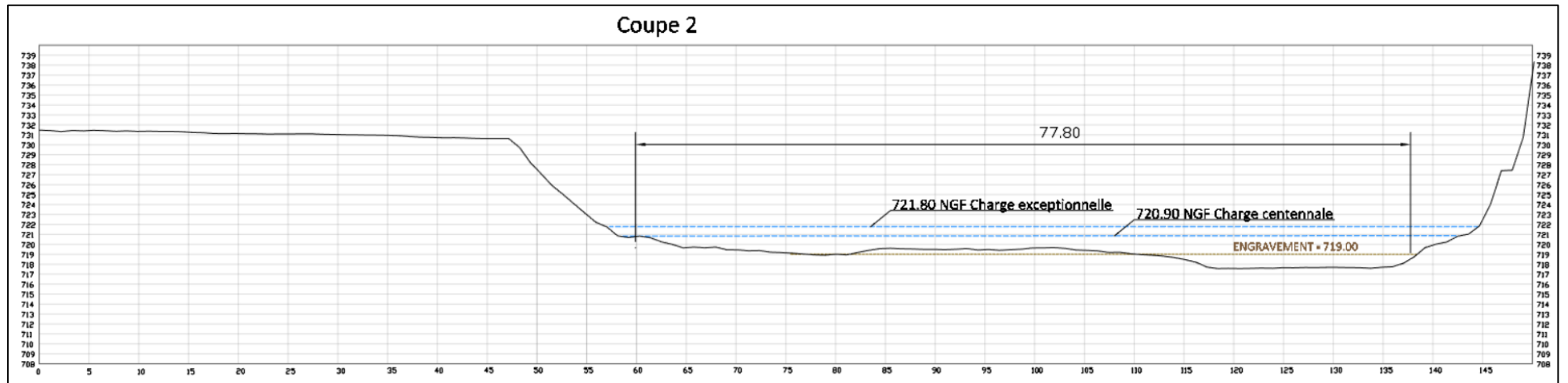
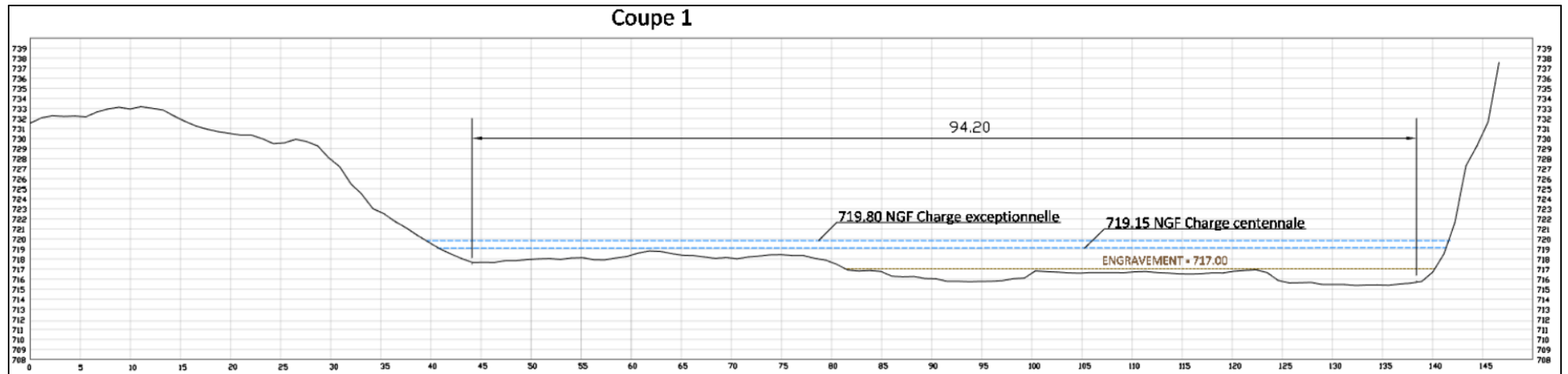
HEC-RAS Plan: Q100 projet River: Vesubie Reach: Tonso Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
Tonso	10	PF 1	420.00	737.50	738.81	738.81	739.45	49.603000	3.54	118.81	94.24	1.00
Tonso	9	PF 1	420.00	734.90	736.25	736.25	736.92	35.149000	3.64	116.50	88.49	1.00
Tonso	8	PF 1	420.00	731.00	733.30	733.30	734.34	26.759000	4.60	96.76	48.12	0.97
Tonso	7	PF 1	420.00	728.40	730.92	730.92	732.15	52.892000	4.95	87.58	37.14	1.00
Tonso	6	PF 1	420.00	727.50	729.38	729.38	730.05	59.933000	3.61	116.81	88.42	1.00
Tonso	5	PF 1	420.00	725.70	727.19	727.19	727.94	78.792000	3.84	110.53	75.24	1.00
Tonso	4	PF 1	420.00	723.10	724.58	724.58	725.31	21.137000	3.79	111.38	77.36	1.00
Tonso	3	PF 1	420.00	720.10	722.06	722.06	723.03	33.772000	4.37	97.21	51.11	1.00
Tonso	2	PF 1	420.00	717.80	719.75	719.75	720.71	36.384000	4.35	97.56	51.66	1.00
Tonso	1	PF 1	420.00	716.00	717.94	717.94	718.91	35.371000	4.36	97.26	51.26	1.00
Tonso	0	PF 1	420.00	714.50	715.80	715.80	716.40	35.690000	3.43	122.54	103.72	1.01
Tonso	-1	PF 1	420.00	712.90	714.38	714.38	714.92	23.700000	3.27	128.57	119.69	1.01
Tonso	-2	PF 1	420.00	710.50	712.34	712.34	712.90	38.135000	3.33	126.61	115.39	1.01

HEC-RAS Plan: QAlex initial River: Vesubie Reach: Tonso Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
Tonso	10	PF 1	600.00	737.90	739.52	739.52	740.32	51.217000	3.98	151.90	95.77	1.00
Tonso	9	PF 1	600.00	735.10	736.81	736.81	737.65	59.661000	4.07	150.27	91.23	0.99
Tonso	8	PF 1	600.00	731.00	733.89	733.89	735.17	31.365000	5.13	126.05	51.00	0.97
Tonso	7	PF 1	600.00	728.90	732.08	732.08	733.57	36.118000	5.49	115.62	40.08	0.98
Tonso	6	PF 1	600.00	727.80	729.91	729.91	730.73	23.678000	4.02	150.42	92.89	1.00
Tonso	5	PF 1	600.00	726.20	727.77	727.77	728.56	57.604000	3.93	153.42	99.25	1.01
Tonso	4	PF 1	600.00	722.99	725.21	725.21	726.10	40.330000	4.18	143.75	81.44	1.00
Tonso	3	PF 1	600.00	720.40	722.75	722.75	723.85	32.493000	4.66	129.05	58.77	1.00
Tonso	2	PF 1	600.00	719.00	720.89	720.89	721.77	41.572000	4.15	145.27	84.78	1.00
Tonso	1	PF 1	600.00	717.00	719.01	719.01	719.79	75.848000	3.91	153.44	99.97	1.01
Tonso	0	PF 1	600.00	714.70	716.81	716.81	717.47	29.981000	3.59	167.53	130.07	1.01
Tonso	-1	PF 1	600.00	712.90	714.68	714.68	715.35	57.799000	3.62	165.85	124.99	1.00
Tonso	-2	PF 1	600.00	710.50	712.64	712.64	713.35	35.710000	3.72	161.99	116.20	1.00

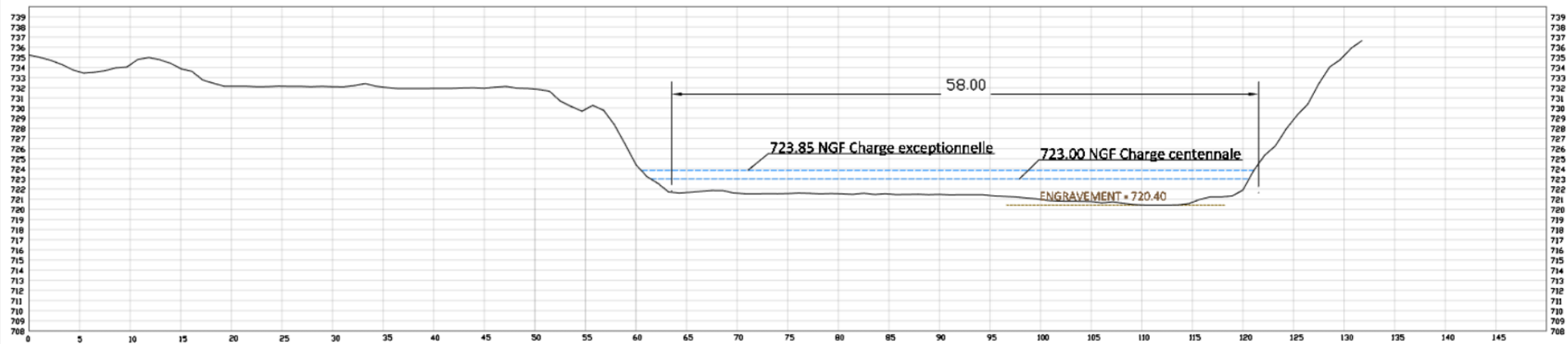
HEC-RAS Plan: QAlex projet River: Vesubie Reach: Tonso Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
Tonso	10	PF 1	600.00	737.90	739.52	739.52	740.32	51.217000	3.98	151.90	95.77	1.00
Tonso	9	PF 1	600.00	735.00	736.71	736.71	737.55	17.177000	4.08	149.64	90.93	1.00
Tonso	8	PF 1	600.00	731.00	733.89	733.89	735.17	31.365000	5.13	126.05	51.00	0.97
Tonso	7	PF 1	600.00	728.80	731.99	731.99	733.48	75.351000	5.49	115.40	39.93	0.98
Tonso	6	PF 1	600.00	727.80	729.91	729.91	730.73	23.678000	4.02	150.42	92.89	1.00
Tonso	5	PF 1	600.00	725.90	727.79	727.79	728.74	54.583000	4.32	140.95	76.15	1.00
Tonso	4	PF 1	600.00	723.40	725.26	725.26	726.19	59.675000	4.26	141.95	78.13	1.00
Tonso	3	PF 1	600.00	720.10	722.58	722.58	723.80	35.510000	4.92	123.93	51.87	1.00
Tonso	2	PF 1	600.00	718.00	720.47	720.47	721.67	33.619000	4.87	125.17	53.92	1.00
Tonso	1	PF 1	600.00	716.00	718.46	718.46	719.68	35.554000	4.90	124.02	51.88	1.00
Tonso	0	PF 1	600.00	714.50	716.24	716.24	716.94	14.576000	3.69	162.59	117.62	1.00
Tonso	-1	PF 1	600.00	713.00	714.74	714.74	715.40	37.668000	3.61	166.43	125.80	1.00
Tonso	-2	PF 1	600.00	710.50	712.64	712.64	713.35	35.710000	3.72	161.99	116.20	1.00

7. Plans et profils en travers avec résultat des modélisations

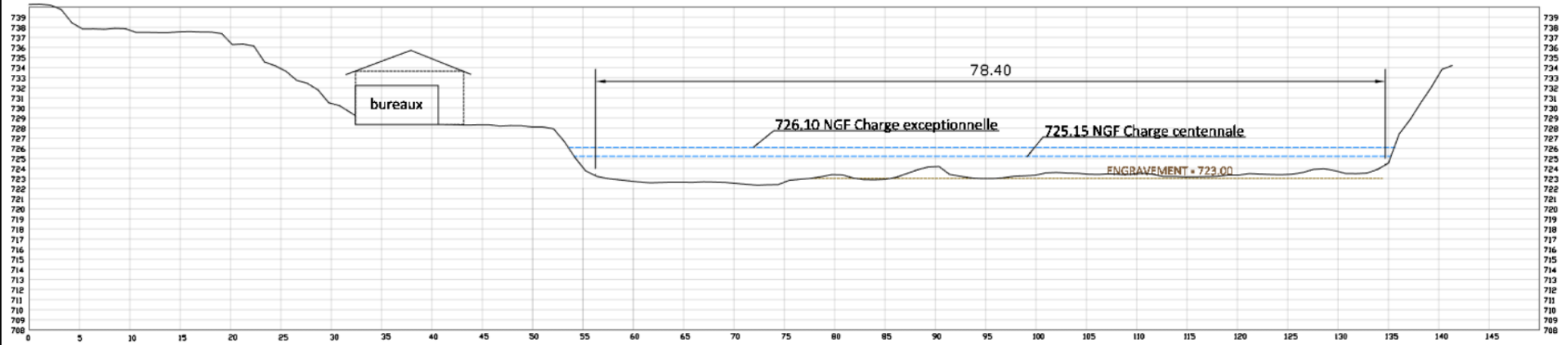
Etat initial octobre 2020



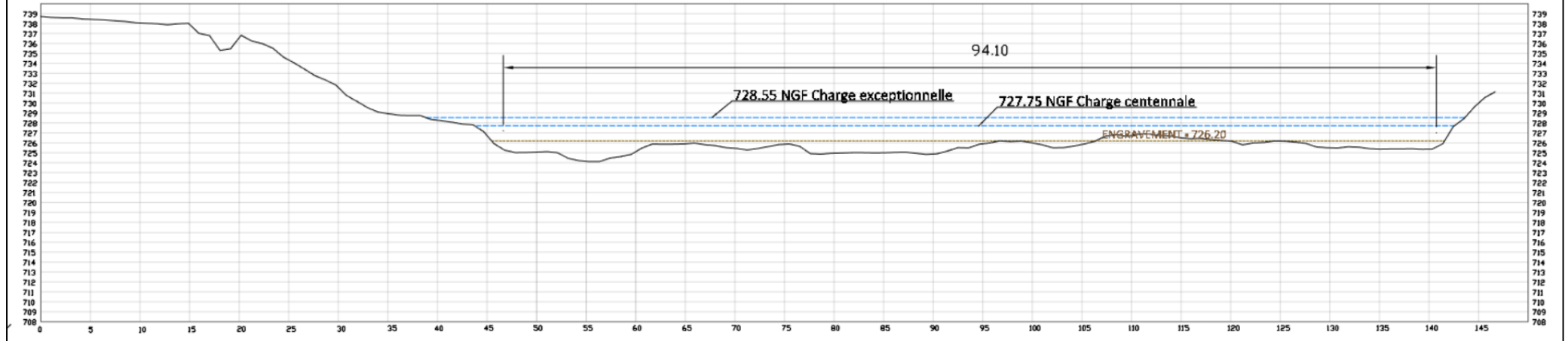
Coupe 3



Coupe 4

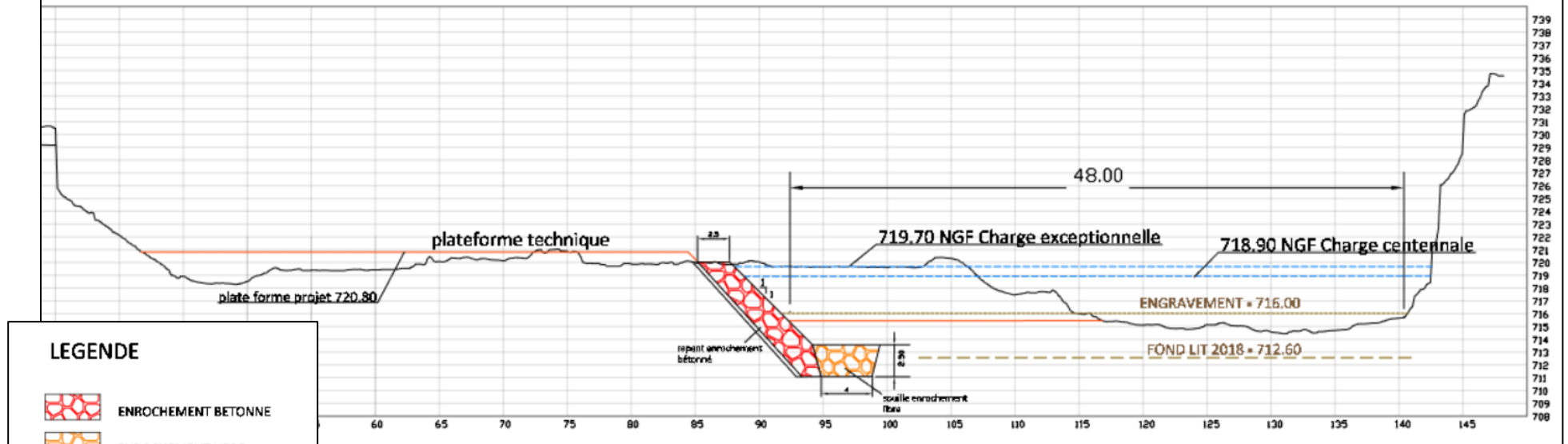


Coupe 5

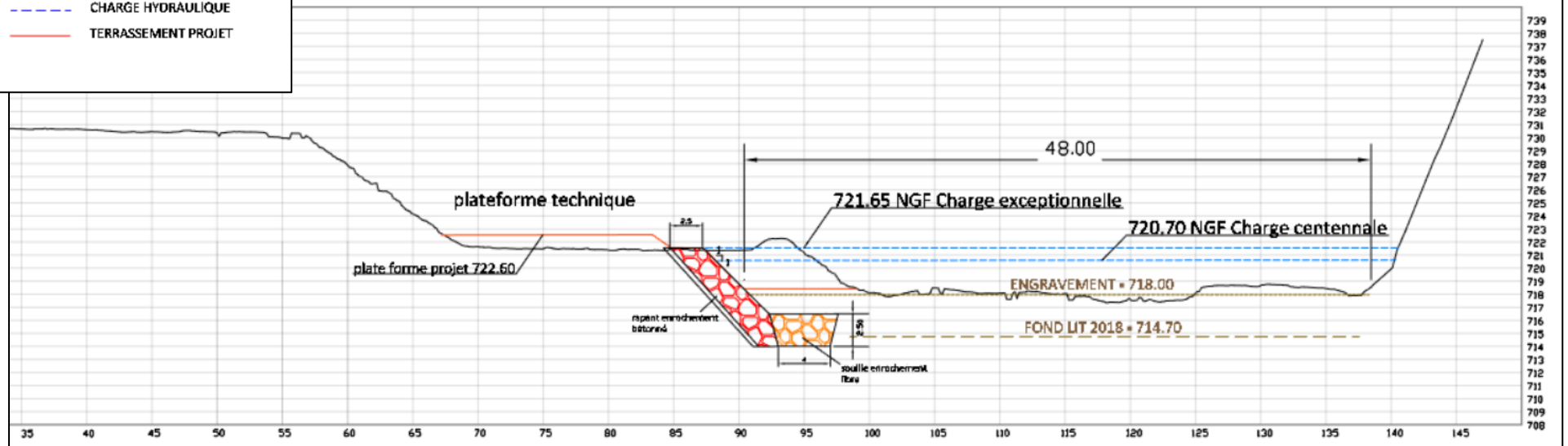


Géométrie projet

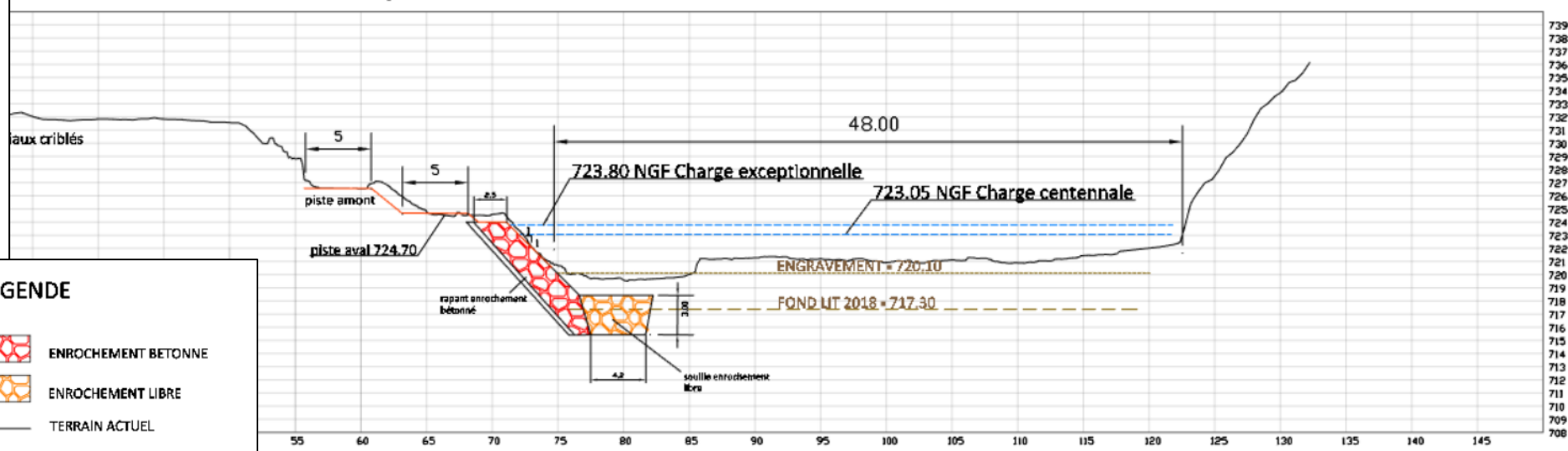
Coupe 1



Coupe 2



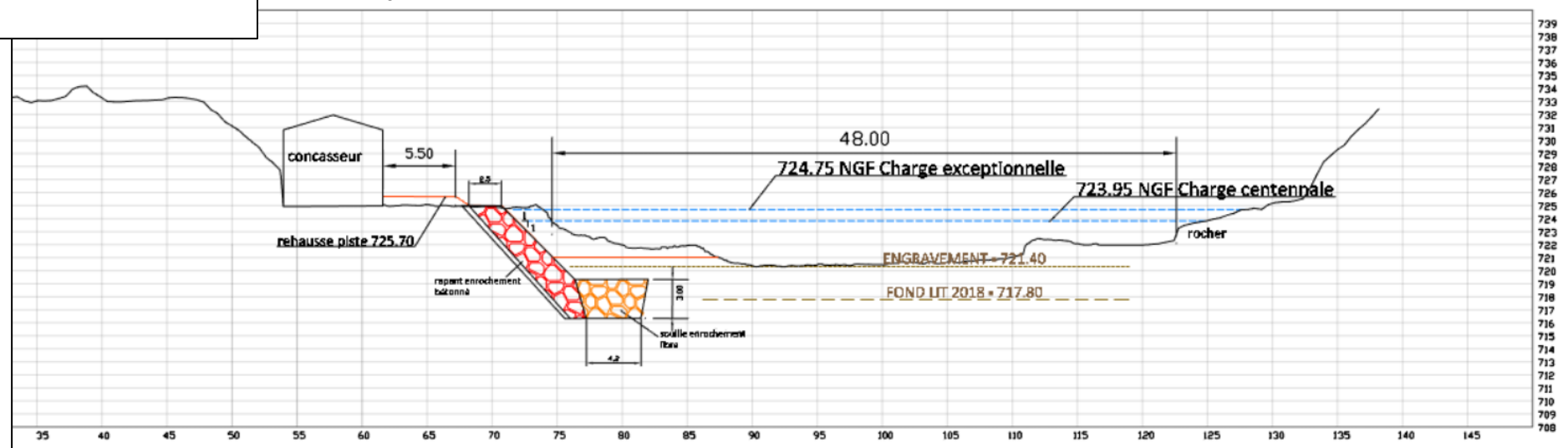
Coupe 3



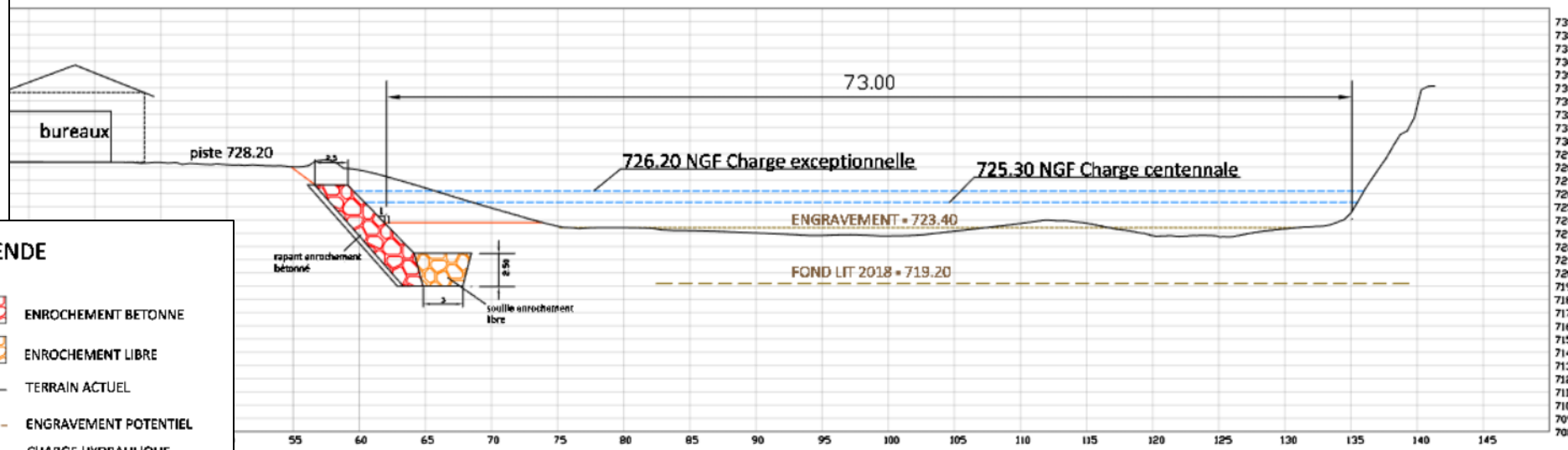
LEGENDE

-  ENROCHEMENT BETONNE
-  ENROCHEMENT LIBRE
-  TERRAIN ACTUEL
-  ENGRAVEMENT POTENTIEL
-  CHARGE HYDRAULIQUE
-  TERRASSEMENT PROJET

Coupe 3 bis



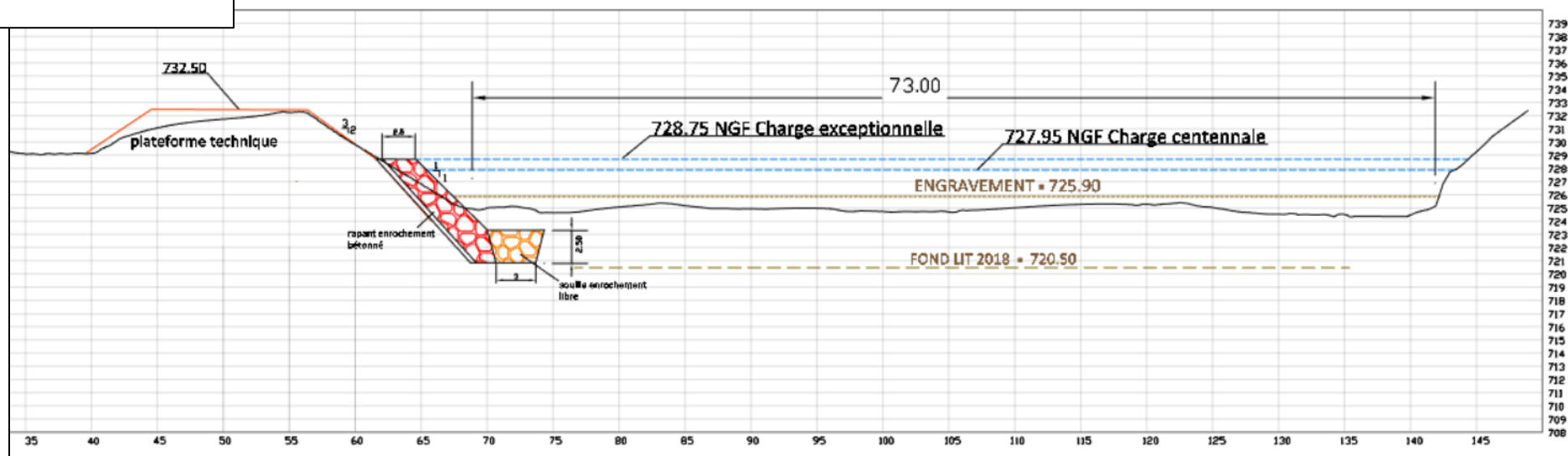
Coupe 4

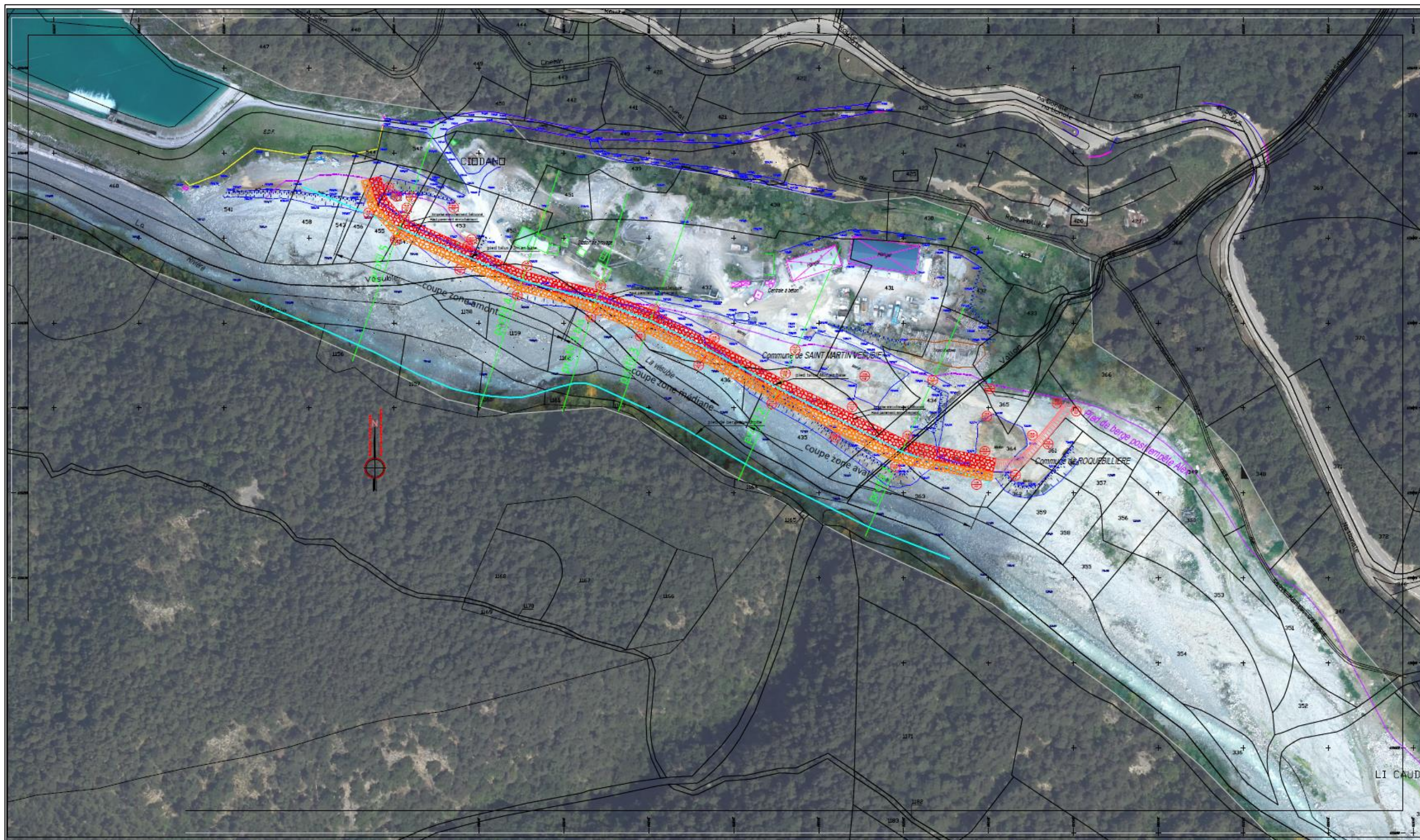


LEGENDE

-  ENROCHEMENT BETONNE
-  ENROCHEMENT LIBRE
-  TERRAIN ACTUEL
-  ENGRAVEMENT POTENTIEL
-  CHARGE HYDRAULIQUE
-  TERRASSEMENT PROJET

Coupe 5





Projet d'aménagement des berges SEE Tonso

Commune de St Martin
Vesubie et Roquebilliere
LIEU-DIT : LI CAUDANS
Cadastre section A et H

Plan de masse Phase : AVP

Indice : 01
Date :
20/03/2024
Echelle : 1/2000 en A3

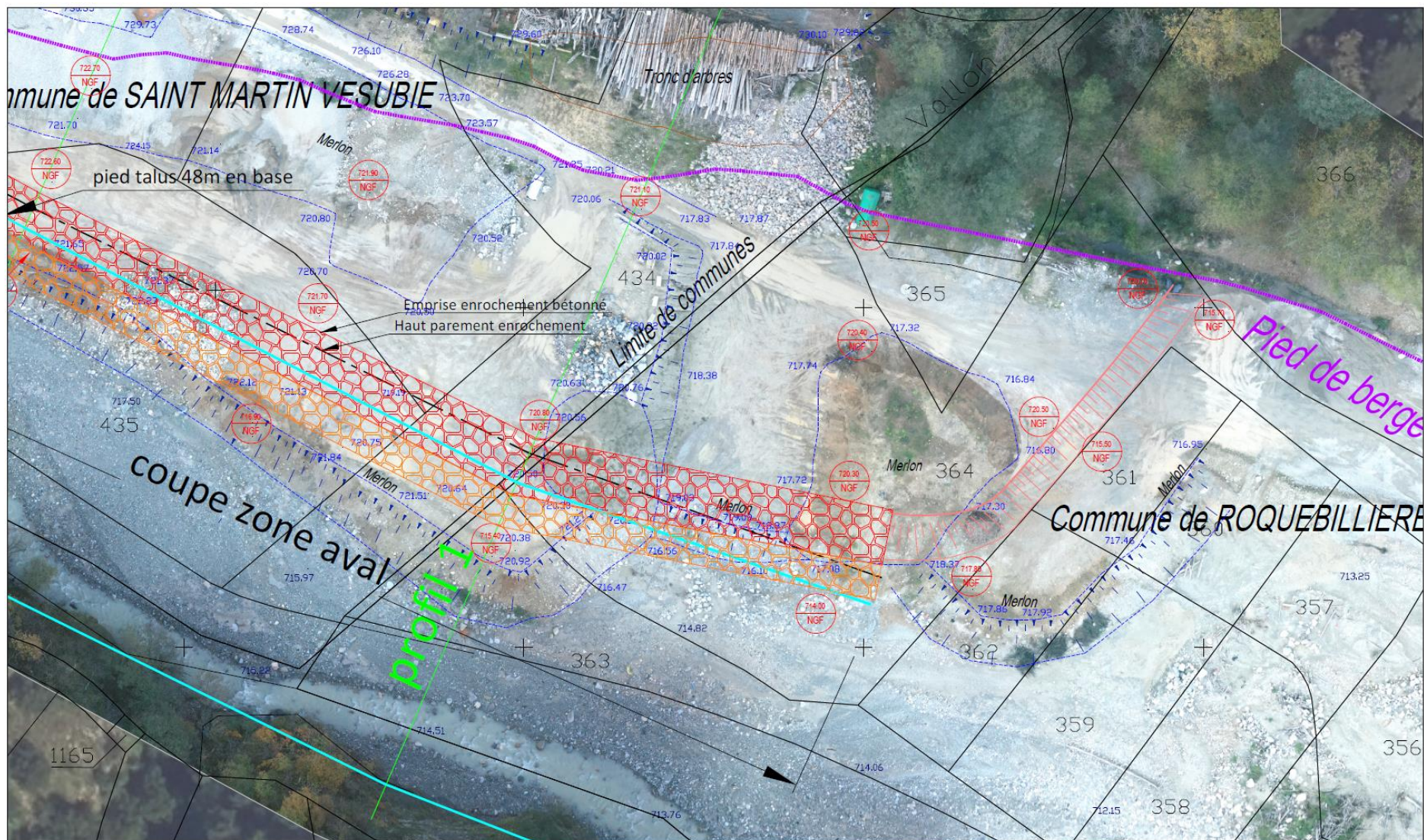
Orthophoto et relevé
photogrammétrique :
novembre 2024
Mercantour Concept
473 ch du pt des colles 06610 LA
GAUDE
géoréférencement :
RGF 93 lambert 93

LEGENDE

HAUT TALUS ACTUEL
PIED TALUS ACTUEL
CLOTURE
BATI DUR
BATI LEGER

HAUT TALUS Projet
PIED TALUS Projet
PIED DE BERGE POST ALEX - levé DDTM
PIED DE TALUS CALIBRAGE
ENROCHEMENT LIBRE EPI
ENROCHEMENT BETONNE

737.69 Cote géomètre octobre 2024
737.69 Cote photogrammètrie novembre 2024
Profil en travers
cote terrassement projet



Projet d'aménagement
des berges SEE Tonso

Commune de St Martin
Vesubie et Roquebilliere
LIEU-DIT : LI CAUDANS
Cadastre section A et H

Plan de masse
Phase : AVP

Indice : 01

Date :
20/03/2024

Echelle : 1/500 en A3

Orthophoto et relevé
photogrammétrique:
novembre 2024
Mercantour Concept
473 ch du pt des colles 06610 LA
GAUDE

géoréférencement :
RGF 93 lambert 93

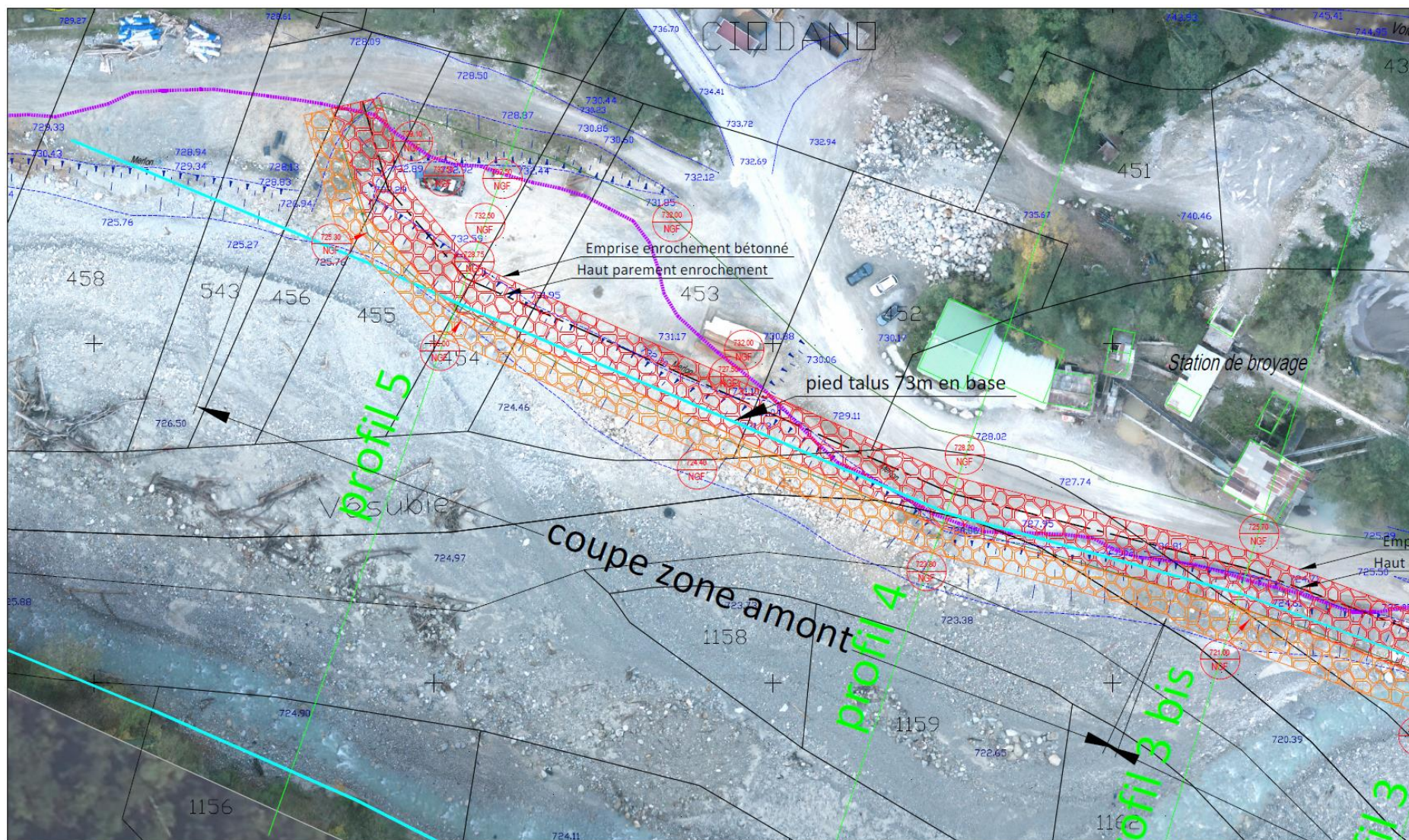
LEGENDE

HAUT TALUS ACTUEL
PIED TALUS ACTUEL

CLOTURE
BATI DUR
BATI LEGER

HAUT TALUS Projet
PIED TALUS Projet
PIED DE BERGE POST ALEX - levé DDTM
PIED DE TALUS CALIBRAGE
ENROCHEMENT LIBRE EPI
ENROCHEMENT BETONNE

737.69 Cote géomètre octobre 2024
737.69 Cote photogrammétrique novembre 2024
Profil en travers
cote terrassement projet



Projet d'aménagement des berges SEE Tonso

Commune de St Martin
Vesubie et Roquebilliere
LIEU-DIT : LI CAUDANS
Cadastre section A et H

Plan de masse Phase : AVP

Indice : 01

Date :
20/03/2024

Echelle : 1/500 en A3

Orthophoto et relevé
photogrammétrie:
novembre 2024
Mercantour Concept
473 ch du pt des colles 06610 LA
GAUDE

géoréférencement :
RGF 93 lambert 93

LEGENDE



737.69 Cote géomètre octobre 2024
737.69 Cote photogrammétrie novembre 2024
Profil en travers
cote terrassement projet

8. Phasage

Les travaux seront réalisés en 3 phases :

Phase 1 :

Phase de reprofilage des remblais. Cette phase est réalisée totalement hors d'eau. Les déblais sont décaissés conformément aux plans des travaux, jusqu'à une cote de +1m du fond du lit de la Vésubie de manière à ne pas avoir de remontée de nappe dans les zones de travail.

Phase 2 :

Phase de construction de la protection de berge. Cette phase nécessite une déviation des écoulements de la Vésubie sur une longueur d'environ 200m. A ce jour, seul un tronçon de 100m serait à dévier entre les profils 3bis et 2, la Vésubie coulant déjà en rive droite sur le reste du linéaire. Le plan exact des déviations de la Vésubie sera à préciser au démarrage des travaux. Le plan de la phase 2 présente le linéaire le plus probable des aménagements qui permettront d'isoler la zone de chantier.

Une pêche de sauvetage piscicole est réalisée préalablement sur le tronçon à court circuiter.

La déviation des eaux commence par le creusement d'un chenal de 1m de profondeur en rive droite, le long de la zone à dévier. Avec les matériaux du creusement du chenal, un merlon est érigé de 1.5 m de hauteur environ pour éviter un retour des écoulements en pied de berge le temps des travaux. Ce merlon est érigé à sec. Une fois le nouveau chenal terrassé, l'écoulement est basculé dans celui-ci, par une prolongation du merlon en amont permettant de créer un batardeau déviant provisoirement les écoulements.

Les fouilles de fondations des enrochements se font ensuite totalement en dehors du chenal d'écoulement dans une zone isolée du lit vif. En fonction des niveaux de nappe, des pompages d'eau pourraient être nécessaire pour assécher temporairement les fouilles. Les eaux d'exhaures seront dirigées dans des bassins de décantation en série, suffisamment dimensionnés pour atteindre les objectifs de décantation souhaité. Les bassins sont implantés sur des zones d'atterrissements rive gauche en dehors de tout écoulement.



Exemple de bassin de décantation en série sur la Vésubie

L'ensemble des terrassements dans le lit, pour la réalisation du merlon et des bassins de décantation sera effectué avec les matériaux des atterrissements, sans aucun prélèvement ni apport exogène de matériaux.

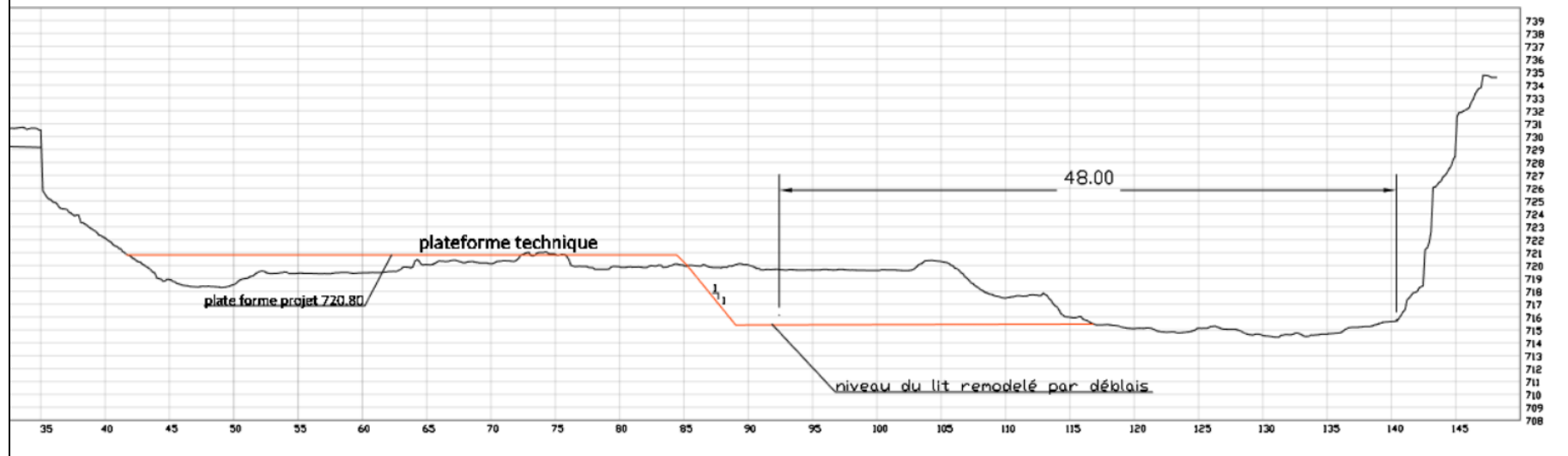
Phase 3 :

Phase de remise en état du lit.

En fin de chantier, le merlon est arrasé en régaland les matériaux sur une fine épaisseur sur les atterrissements à sec en bordure du lit. Le chenal en eau n'est pas modifié.

La zone de terrassement en pied des enrochements est reprofilée avec une légère pente vers le lit de 1%.

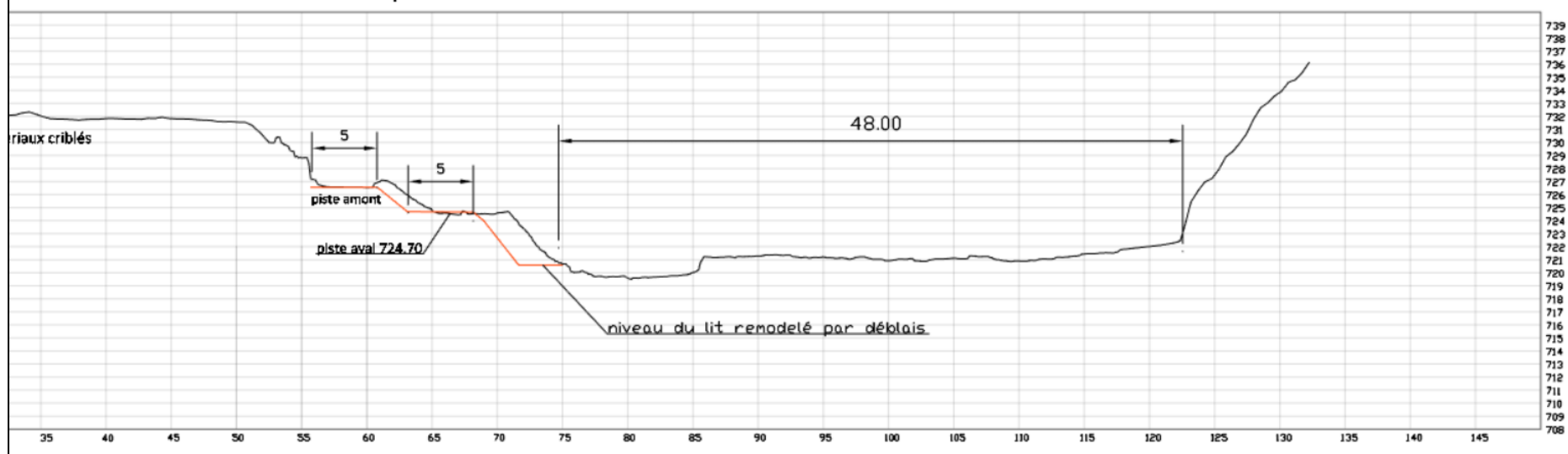
Coupe 1- Phase 1



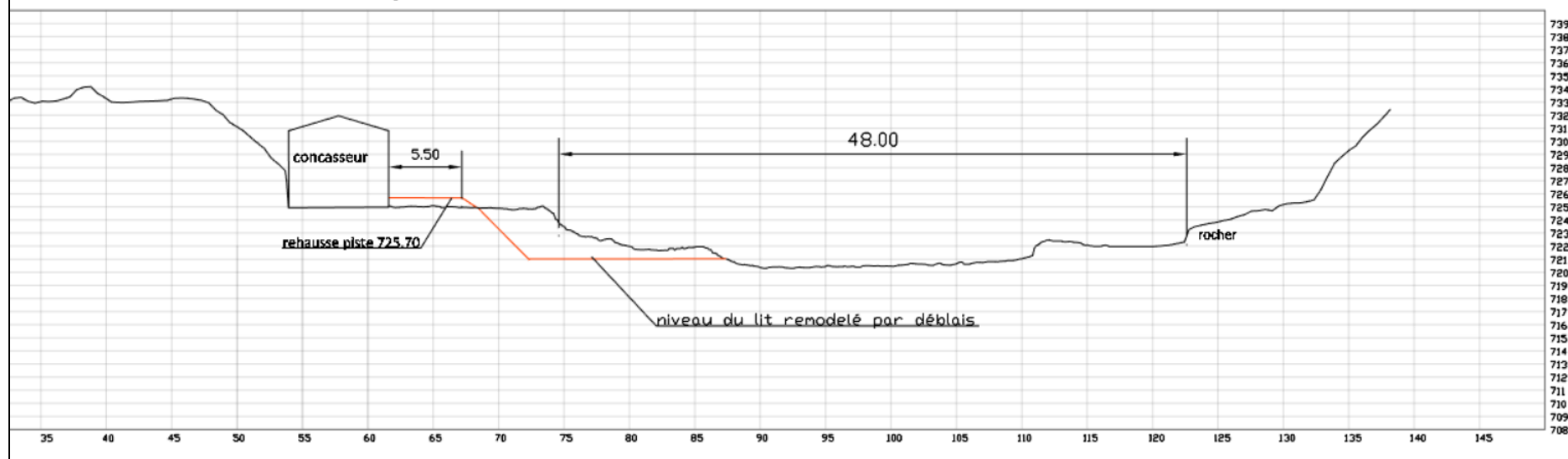
Coupe 2- Phase 1



Coupe 3- Phase 1



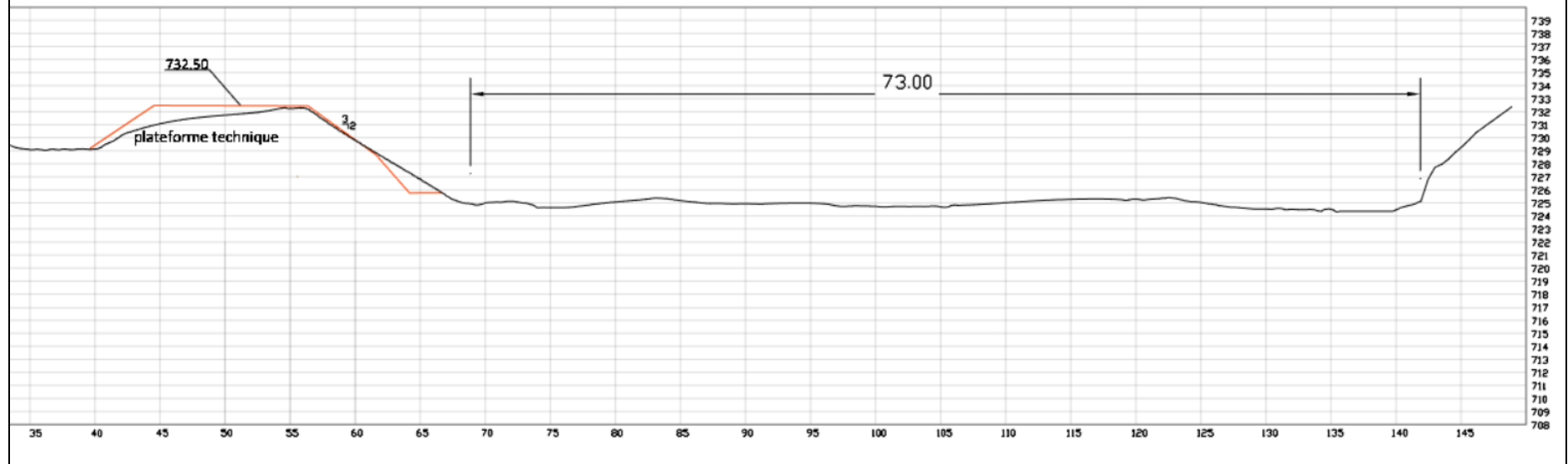
Coupe 3 bis- Phase 1



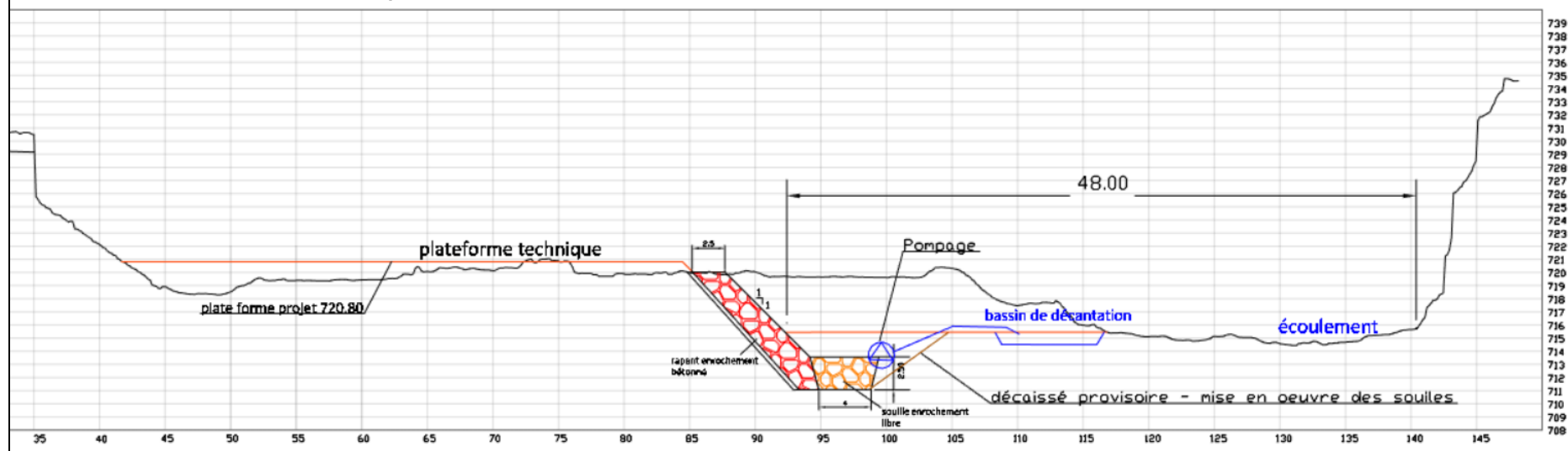
Coupe 4- Phase 1



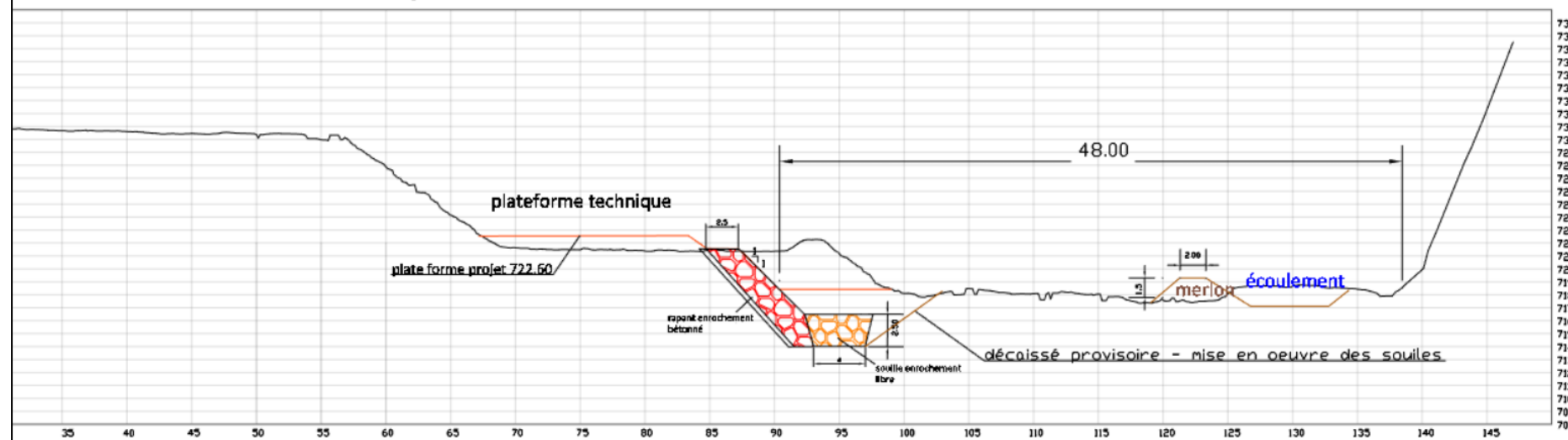
Coupe 5- Phase 1



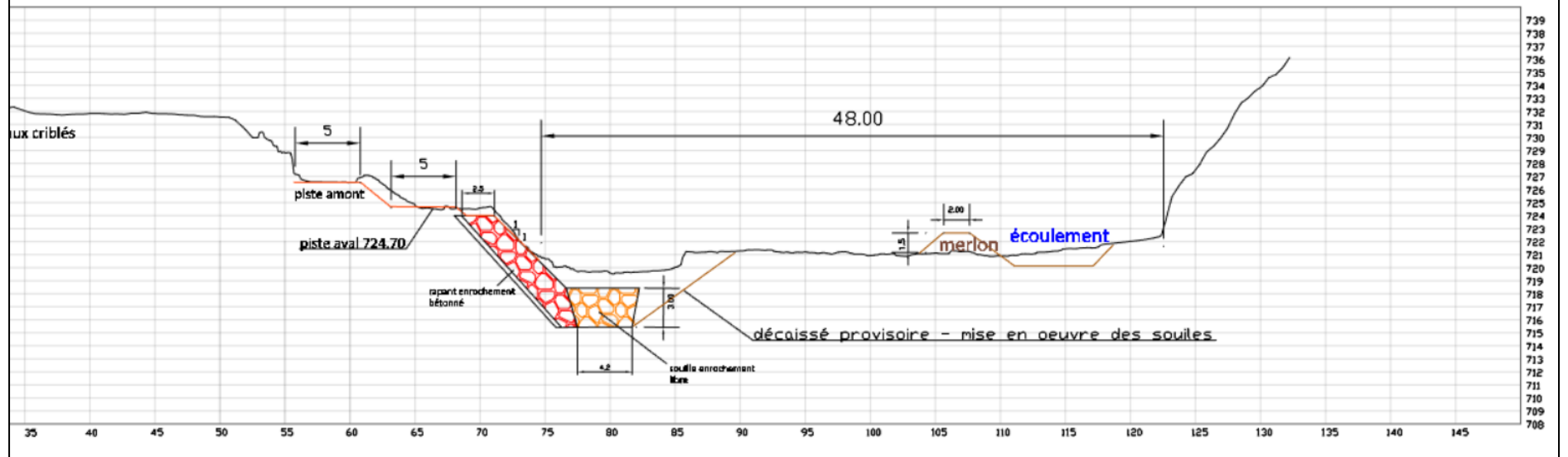
Coupe 1 - Phase2



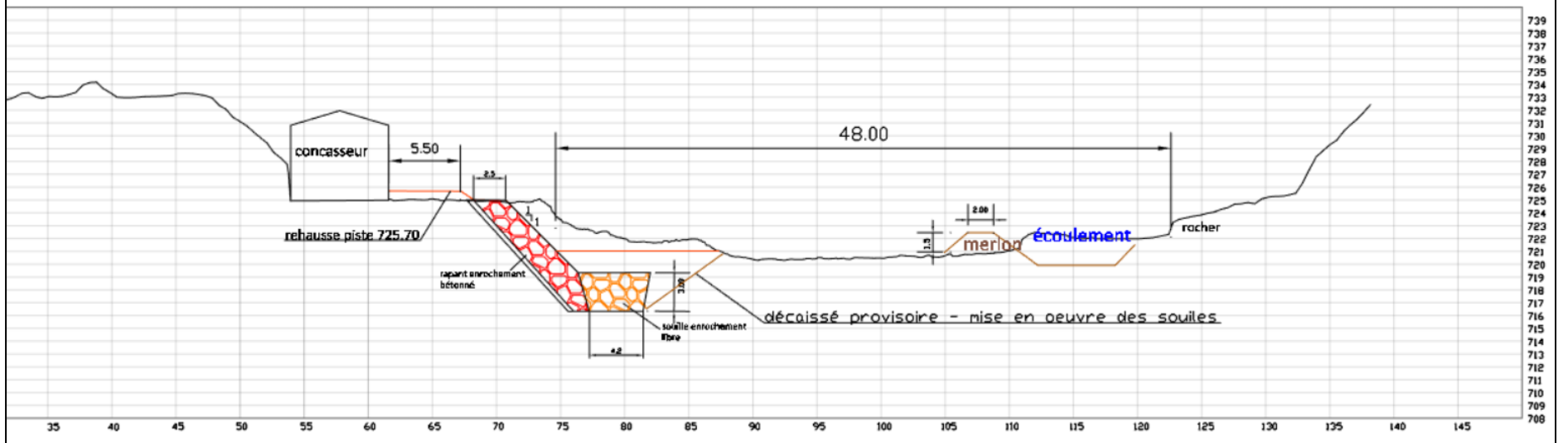
Coupe 2 - Phase2



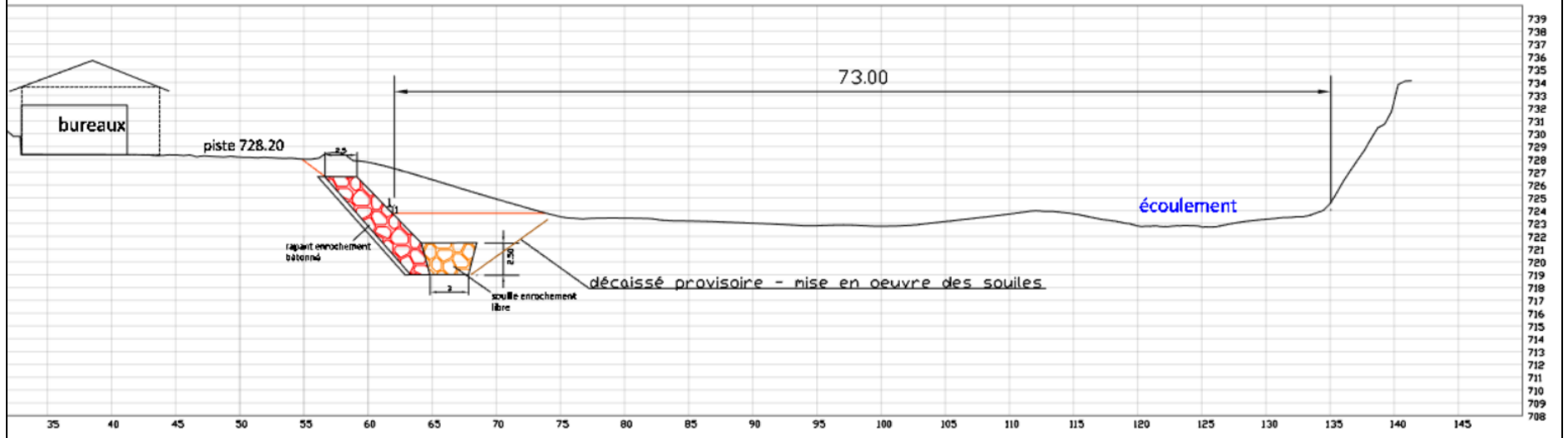
Coupe 3 - Phase2



Coupe 3 bis - Phase2



Coupe 4 - Phase2



Coupe 5 - Phase2

