



Montpellier Méditerranée Métropole

50, place Zeus

CS 39556

34961 MONTPELLIER Cedex 2

Tél. : 04 67 13 60 00

Fax : 04 67 13 61 01

Maîtrise d'œuvre des aménagements de protection contre les inondations du Rieumassel à Grabels (34)

Avant-Projet



Antea Group

Direction Régionale Sud

Pôle EAU

Parc Napollon - Bt C

400 Av du Passe-Temps

13676 AUBAGNE Cedex

Tél. : 04 42 08 70 70

Fax : 04 42 08 70 71

***Rapport n°102425 version E
Octobre 2021***

Sommaire

	Pages
1. SITUATION ET OBJET DU PROJET	9
1.1. CONTEXTE GENERAL.....	9
1.2. LOCALISATION	10
1.3. DONNEES DISPONIBLES	11
2. CONTEXTE DU PROJET	13
2.1. CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....	13
2.2. HYDROLOGIE	14
2.3. CONTEXTE HYDRAULIQUE.....	15
2.4. BARRAGE EXISTANT.....	16
2.5. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....	19
2.5.1. Contexte général.....	19
2.5.2. Investigations géotechniques réalisées sur le pont des écoles	21
2.5.3. Investigations réalisées sur le barrage	21
2.5.4. Coupe lithologique.....	24
2.5.5. Essais d'identification	32
2.5.6. Etat hydrique et compactage	36
2.5.7. Caractéristiques de compressibilité et de gonflement.....	37
2.5.8. Paramètres de cisaillement	38
2.5.9. Caractéristiques pressiométriques et pénétrométriques.....	39
2.5.10. Hydrogéologie.....	43
2.5.11. Synthèse du contexte géologique et hydrogéologique	47
2.6. CONTEXTE SISMIQUE	50
2.6.1. Cadre général	50
2.6.2. Prise en compte du risque sismique.....	51
2.7. CONTEXTE FONCIER	51
2.8. RESEAUX ENTERRES.....	51
2.9. SYNTHESE DES ENJEUX SUR LE MILIEU NATUREL.....	55
2.9.1. Connexion au réseau écologique	55
2.9.2. Habitats	56
2.9.3. Faune	56
2.9.4. Flore.....	57
2.9.5. Synthèses des enjeux écologiques	57
2.9.6. Contraintes pour la réalisation du projet.....	58
2.10. CONTEXTE PAYSAGER	60
2.10.1. Le bassin G.....	60
2.10.2. Le Rieumassel	61
2.10.3. Le Franquet.....	61
2.11. AUTRES CONTRAINTES	61
2.11.1. Régime hydrologique du Rieumassel.....	61
2.11.2. Risques naturels.....	61
3. DESCRIPTION DU PROJET	62
3.1. OBJECTIFS DU PROGRAMME ET PRESENTATION DU PROJET	62
3.2. BARRAGE.....	64
3.2.1. Niveaux caractéristiques.....	64
3.2.2. Implantation	66
3.2.3. Problématiques liées au contexte hydro-géotechnique.....	67

3.2.4.	Principes constructifs	73
3.2.5.	Première mise en eau du barrage.....	81
3.2.6.	Dispositif d'auscultation du barrage.....	83
3.3.	SUPPRESSION DES GOULETS D'ÉTRANGLEMENT SUR LE RIEUMASSEL.....	85
3.3.1.	Dimensionnement hydraulique.....	85
3.3.2.	Principes généraux.....	91
3.3.3.	Zone 1	98
3.3.4.	Zone 2	103
3.3.5.	Zone 3	105
3.3.6.	Zone 4	108
3.3.7.	Zone intermédiaire 4-5	111
3.3.8.	Zone 5	112
3.3.9.	Voie douce	115
3.3.10.	Synthèse des emprises foncières.....	117
3.4.	REPRISE DU PONT DES ECOLES	119
3.4.1.	Hypothèses retenues pour l'élaboration des études.....	120
3.4.2.	Structure	120
3.4.3.	Équipement.....	127
3.4.4.	Analyse multicritère	129
3.5.	PHASE CHANTIER	130
3.5.1.	Barrage	130
3.5.2.	Aménagement du Rieumassel	132
3.5.3.	Pont des écoles	133
3.6.	INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES À PREVOIR POUR LA PHASE PRO	134
3.7.	MOUVEMENTS DE TERRE	134
3.8.	PLANNING PRÉVISIONNEL	135
3.9.	ESTIMATION FINANCIÈRE.....	138
3.9.1.	Barrage	140
3.9.2.	Recalibrage du Rieumassel	141
3.9.3.	Pont des écoles	142
3.9.4.	Récapitulatif des coûts.....	145
3.9.5.	Montant des travaux selon les solutions retenues par 3M.....	145

Annexes

Annexe 1 : Bassin écrêteur de crue Lieu dit de l'Arbre Blanc / Diagnostic géotechnique des désordres affectant la digue du Rieumassel / Rapport d'étude géotechnique G5 - Hydrogéotechnique Sud-Ouest, Juin 2015

Annexe 2 : Protection du Rieumassel / rapport factuel investigations in situ - Ginger CEBTP, Octobre 2019

Annexe 3 : Rapport d'investigations complémentaires et Géoréférencement des réseaux – Pont des écoles Grabels – GENIMAP, 08/08/2019

Annexe 4 : Justifications ATB 2018

Annexe 5 : Vue en plan aménagement Rieumassel

Annexe 6 : Plans du barrage de l'Arbre Blanc

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation générale du projet.....	10
Figure 2 : Localisation détaillée du site du projet.....	10
Figure 3 : Contexte topographique du secteur d’étude	13
Figure 4 : Ruissellement pluvial le long de la route de Montpellier – source : EGIS 2015.....	15
Figure 5 : Localisation des capacités limitantes du Rieumassel – source : EGIS 2015	16
Figure 6 : Vue du barrage actuel - source : Antea Group 2019.....	16
Figure 7 : Coupe de l’ouvrage tel que présenté dans le DCE d’Ingerop (source : Hydrogéotechnique, 2015).....	17
Figure 8 : Coupe type des travaux de mise en conformité du barrage réalisés en 2016 (source : plan d’EXE Razel-Bec, 2016)	19
Figure 9 : Extrait de la carte géologique - source : Géoportail	19
Figure 10 : Carte des zones sensibles aux remontées de nappe (Source : Géorisque).....	20
Figure 11 : Carte d’exposition au retrait-gonflement des argiles (Source : Géorisque)	20
Figure 12 : Plan d’implantation des sondages effectués en 2019 au niveau de la digue actuelle et du bassin G	24
Figure 13 : Enrochement calcaires reconnus en tête de SC2-2019	25
Figure 14 : Corps de digue argilo-limoneux mis en évidence au droit de SC2-2019.....	25
Figure 15 : Argiles limoneuses à graveleuses identifiées au droit de F6-2019	26
Figure 16 : Argiles à concrétions calcaires identifiées au droit de SC2-2019.....	26
Figure 17 : Argiles à passées rougeâtres, graves calcaires et calcaire identifiés au droit de SC1-2019 entre 3,15 et 4,0 m/TN	27
Figure 18 : Calcaire très fracturé à passées marneuses reconnu en SC1-2019	27
Figure 19 : Argiles limoneuses à graveleuses identifiées au droit de F13-2019.....	29
Figure 20 : Argiles sableuses plus ou moins indurées, bariolées rougeâtre à mauves, en F11-2019	29
Figure 21 : Graves argileuses à blocs calcaires reconnues en F9-2019.....	30
Figure 22 : Terrains argileux identifiés au droit de F1-2019	31
Figure 23 : Graves et blocs calcaires à matrice argileuse reconnues en F4-2019.....	31
Figure 24 : Diagramme de plasticité de Casagrande pour les échantillons ayant fait l’objet de mesures des limites d’Atterberg (Issu du rapport G5, complété avec les données actuelles)	36
Figure 25 : Représentation des essais triaxiaux dans le diagramme de Lambe.....	39
Figure 26 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 1.....	40
Figure 27 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 1	41
Figure 28 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 2.....	42
Figure 29 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 2	42
Figure 30 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 3.....	43
Figure 31 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 3	43
Figure 32 : Synthèse des relevés piézométriques effectués sur le site	45
Figure 33 : Coupe géologique de synthèse dans l’axe longitudinal de la digue existante	48
Figure 34 : Carte sismique de la France	50
Figure 35 : Parcelles concernées par l’actuelle retenue et le barrage.....	51
Figure 36 : Tracé des réseaux sur les zones 1 et 2	53
Figure 37 : Tracé des réseaux sur les zones 3, 4 et intermédiaire 4-5	54
Figure 38 : Tracé des réseaux sur la zone 5 et plus en aval	55
Figure 39 : synthèse des enjeux écologiques.....	58
Figure 40 : Périodes de sensibilité des espèces au niveau du barrage et de la retenue.....	59
Figure 41 : Périodes de sensibilité des chiroptères	60
Figure 42 : Visualisation du barrage et de la retenue en état projet (NPHE)	62
Figure 43 : Vue en plan globale des aménagements prévus sur le Rieumassel.....	63
Figure 44 : Cheminements aux abords du barrage (source : NEMIS)	66
Figure 45 : Vue en plan du barrage (sans échelle)	67

Figure 46 : Profil type de l'ouvrage envisagé hors déversoir	76
Figure 47 : Ponceau existant en amont du barrage dans la retenue (rétablissement agricole)	79
Figure 48 : Coupe du dalot de fuite (sans échelle)	80
Figure 49 : A gauche, débouché de la buse de fuite actuelle et enrochements liaisonnés / A droite : enrochements libres dans le lit du cours d'eau en aval	81
Figure 50 : Coupe du déversoir de sécurité (sans échelle)	81
Figure 51 : Localisation du poste d'observation pour la surveillance du barrage	82
Figure 52 : Visualisation des bornes de nivellement prévues sur le barrage.....	83
Figure 53 : Localisation des secteurs aménagés	85
Figure 54 : Calage - crue de décembre 2003	87
Figure 55 : Calage – crue d'octobre 2014	87
Figure 56 : Lignes d'eau en état projet	89
Figure 57 : Carte d'inondation pour la crue 100 ans en état aménagé – Variante 1 (Pont de la route de Montpellier actuel)	90
Figure 58 : Carte d'inondation pour la crue 100 ans en état aménagé – Variante 1 (Pont de la route de Montpellier non limitant)	91
Figure 59 : Profil en long actuel du cours d'eau.....	92
Figure 60 : Coupe type d'aménagement des seuils de fond	92
Figure 61 : Coupe type du lit du Rieumassel après réalisation du projet	93
Figure 62 : Profil de base – P1.....	96
Figure 63 : Berge - mur en gabions – P2	97
Figure 64 : Berge - Matelas Reno -P3.a.....	97
Figure 65 : Berge – Enrochements liaisonnés -P3.b.....	98
Figure 66 : Aménagements prévus sur la zone 1	99
Figure 67 : Schéma du merlon	101
Figure 68 : Raccordement aval du merlon sur le mur de la parcelle AW207	101
Figure 69 : Hauteurs d'eau maximales pour la crue centennale avec et sans merlon	102
Figure 70 : Aménagements prévus sur la zone 2	104
Figure 71 : Vue de l'exutoire pluvial au niveau de la zone 2.....	105
Figure 72 : Aménagements prévus sur la zone 3	106
Figure 73 : Cotes réseaux HT - Extrait retour DT - Gestionnaire CESML	107
Figure 74 : Aménagements prévus sur la zone 4	109
Figure 75 : Variante berge en mur sur la parcelle BA 236 – Aménagements sur la zone 4	110
Figure 76 : Aménagements prévus sur la zone intermédiaire aux zones 4 et 5	111
Figure 77 : Aménagements de la zone 5, ainsi que de la partie en aval du pont des écoles – Variante 1	113
Figure 78 : Aménagements de la zone 5, ainsi que de la partie en aval du pont des écoles – Variante 2	115
Figure 79 : Vue en plan du cheminement doux et des possibilités d'accès.....	116
Figure 80 : Pont des écoles en 2008 à gauche et en 2019 à droite (<i>source : google</i>).....	119
Figure 81 : Visualisation de la section du pont selon les scénarios d'aménagement	120
Figure 82 : Croquis, vue aval, de la variant 1a (en haut) et de la variante 1b (en bas)	122
Figure 83 : Pont des écoles	124
Figure 84 : Chantier en cours, exemple d'ouvrage cadre à CROTH (27)	124
Figure 85 : Croquis, vue aval, de la solution n°2	125
Figure 86 : Garde-corps sur l'existant	127
Figure 87 : Réseaux présents au niveau du pont des écoles	128
Figure 88 : Exemple d'encorbellement en aval d'un pont	128
Figure 89 : Dispositifs de gestion de la phase chantier	131
Figure 90 : Profil altimétrique de la parcelle 60 – Source : Géoportail	131
Figure 91 : Modalités de réalisation des travaux d'aménagement du Rieumassel	132
Figure 92 : Accès chantier – Zones recalibrées	133
Figure 93 : Planning prévisionnel (stade AVP)	137

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données topographiques existantes.....	12
Tableau 2 : Estimation des débits en état actuel - source EGIS 2015	14
Tableau 3 : Caractéristiques du barrage existant et de sa retenue (source : AP du 4/09/2009)....	17
Tableau 4 et Tableau 5 : Cotes de base des différentes formations identifiées au droit de la digue et en pied à l’amont.....	28
Tableau 6 : Sondages effectués depuis la rive droite et la rive gauche	30
Tableau 7 : Cotes de base des différentes formations identifiées en rive droite	32
Tableau 8 : Cotes de base des différentes formations identifiées en rive gauche	32
Tableau 9 : Résultats des essais d’identification sur sols prélevés au niveau du pied de digue amont en 2015 (Echantillons remaniés prélevés à la pelle mécanique).....	33
Tableau 10 : Résultats des essais d’identification sur sols prélevés au droit de.....	33
Tableau 11 : Résultats des essais d’identification sur sols prélevés en 2019 au droit de la retenue et en amont de la digue.....	34
Tableau 12 : Résultats des essais d’identification sur sols prélevés au niveau des rives en 2019..	35
Tableau 13 : Résultats des essais Proctor et IPI effectués au sein de la formation 1	37
Tableau 14 : Résultats des essais œdométriques effectués au sein de la formation 1	37
Tableau 15 : Résultats des essais triaxiaux effectués au sein de la formation 1	38
Tableau 16 : Résultats des essais pressiométriques dans la formation 1	40
Tableau 17 : Résultats des essais pressiométriques dans la formation 2.....	41
Tableau 18 : Résultats des essais pressiométriques dans les alluvions sablo-graveleuse de résistance élevée	42
Tableau 19 : Arrivées d’eaux constatées dans les sondages effectués en crête de digue.....	44
Tableau 20 : Arrivées d’eaux constatées dans les sondages effectués depuis le pied	44
Tableau 21 et Tableau 22 : Arrivées d’eaux constatées dans les sondages effectués depuis la retenue	44
Tableau 23 : Arrivées d’eaux constatées dans les sondages effectués depuis les rives	44
Tableau 24 : Résultats des essais Matsuo effectués dans les fouilles à la pelle	46
Tableau 25 : Résultats des essais Lefranc effectués en forage	47
Tableau 26 : Modèle hydro-géotechnique pouvant être retenu au stade AVP.....	49
Tableau 27 : Etat des réponses des concessionnaires de réseau présents à proximité du site du projet	52
Tableau 28 : Caractéristiques du barrage actuel et projeté	65
Tableau 29 : Détermination des niveaux caractéristiques du barrage	66
Tableau 30 : Vérifications pour le dimensionnement de l’ouvrage	69
Tableau 31 : Estimation de l’amplitude des tassements induits par le futur ouvrage	71
Tableau 32 : Estimation de la durée des tassements	71
Tableau 33 : Facteurs de portance retenus pour le calcul de la contrainte nette du terrain	72
Tableau 34 : Comparaison de différentes solutions pour la gestion des sols compressibles.....	73
Tableau 35 : Estimation des volumes à excaver	74
Tableau 36 : Vitesses et forces tractrices sur les secteurs aménagés	94
Tableau 37 : Contraintes tractrices calculées pour des crues données pour diverses techniques de génie végétal	95
Tableau 38 : Linéaire de berges aménagées par type de profils	98
Tableau 39 : Zone 1 - caractéristiques des aménagements de berge prévus.....	100
Tableau 41 : Zone 2 - caractéristiques des aménagements de berge prévus.....	105
Tableau 42 : Zone 3 - caractéristiques des aménagements de berge prévus.....	107
Tableau 44 : Zone 4 - caractéristiques des aménagements de berge prévus.....	109
Tableau 43 : Impact foncier du projet d’aménagement sur la zone 4 – variante berge mur sur la parcelle BA 236	110
Tableau 44 : Zone Inter 4-5 - caractéristiques des aménagements de berge prévus	112
Tableau 45 : Zone 5 v1- caractéristiques des aménagements de berge prévus	113

Tableau 46 : Zone 5 v2- caractéristiques des aménagements de berge prévus	114
Tableau 47 : Synthèse des emprises foncières du projet	118
Tableau 48 : Epaisseur du tablier et des piédroits	123
Tableau 49 : Descentes de charge	123
Tableau 50 : Epaisseur du radier, des piédroits et de la traverse du cadre	125
Tableau 51 : Comparaison des différentes solutions.....	129
Tableau 52 : Bilan déblais	135
Tableau 59 : Récapitulatif des coûts estimatifs du projet.....	145
Tableau 60 : Estimation des travaux selon les solutions retenues par 3M.....	145

1. Situation et objet du projet

1.1. Contexte général

La commune de Grabels (34) est exposée au risque d'inondation par débordement du Rieumassel et du Redonnel, ainsi que par les ruissellements pluviaux de la commune.

Suite aux importantes inondations connues en octobre 2014 sur ce territoire (dont l'occurrence est estimée supérieure à 100 ans), Montpellier Méditerranée Métropole a lancé un programme d'aménagement visant à atteindre un niveau de protection correspondant à une crue de période de retour 30 à 100 ans selon les secteurs.

Antea Group a été mandaté par Montpellier Méditerranée Métropole pour assurer la maîtrise d'œuvre de l'opération depuis les études préliminaires jusqu'à la réception des travaux. Le projet concerne l'agrandissement du bassin G (ou bassin de l'Arbre Blanc) situé à l'amont de Grabels et le recalibrage du Rieumassel dans la traversée urbaine (cf. figures de localisation ci-dessous).

Au cours de l'étude d'Avant-Projet, la reprise du pont des écoles, situé en aval de la zone d'étude, a été ajouté au programme d'aménagement.

Le présent rapport constitue le rapport d'Avant-Projet (AVP).
--

1.2. Localisation

La localisation générale du projet est présentée sur la Figure 1 ci-dessous. La Figure 2 présente le site d'étude.

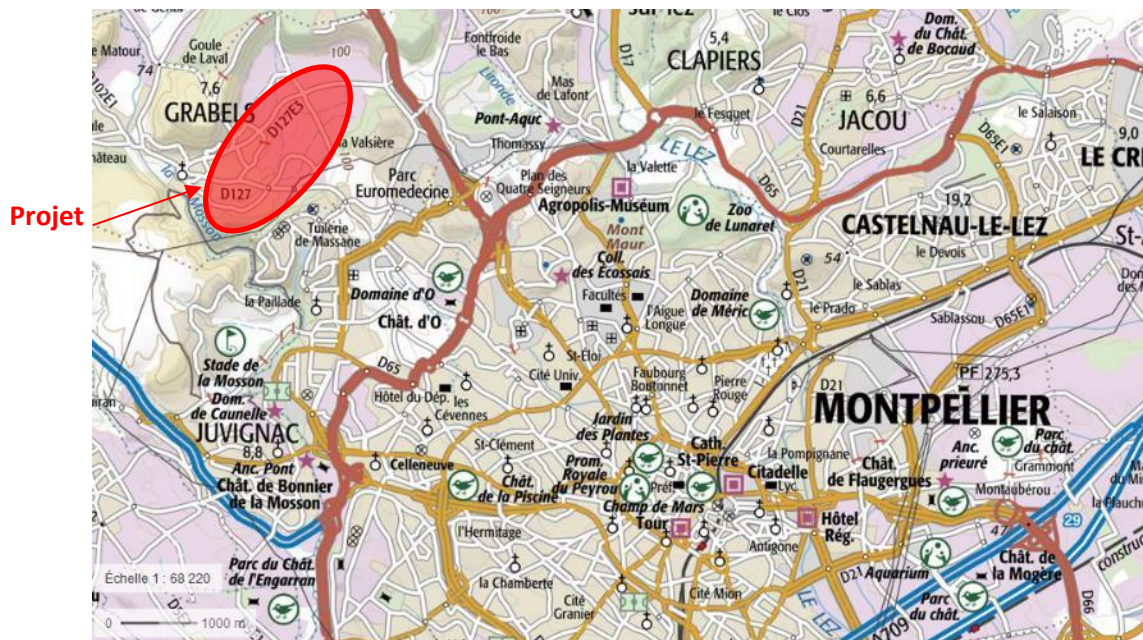


Figure 1 : Localisation générale du projet

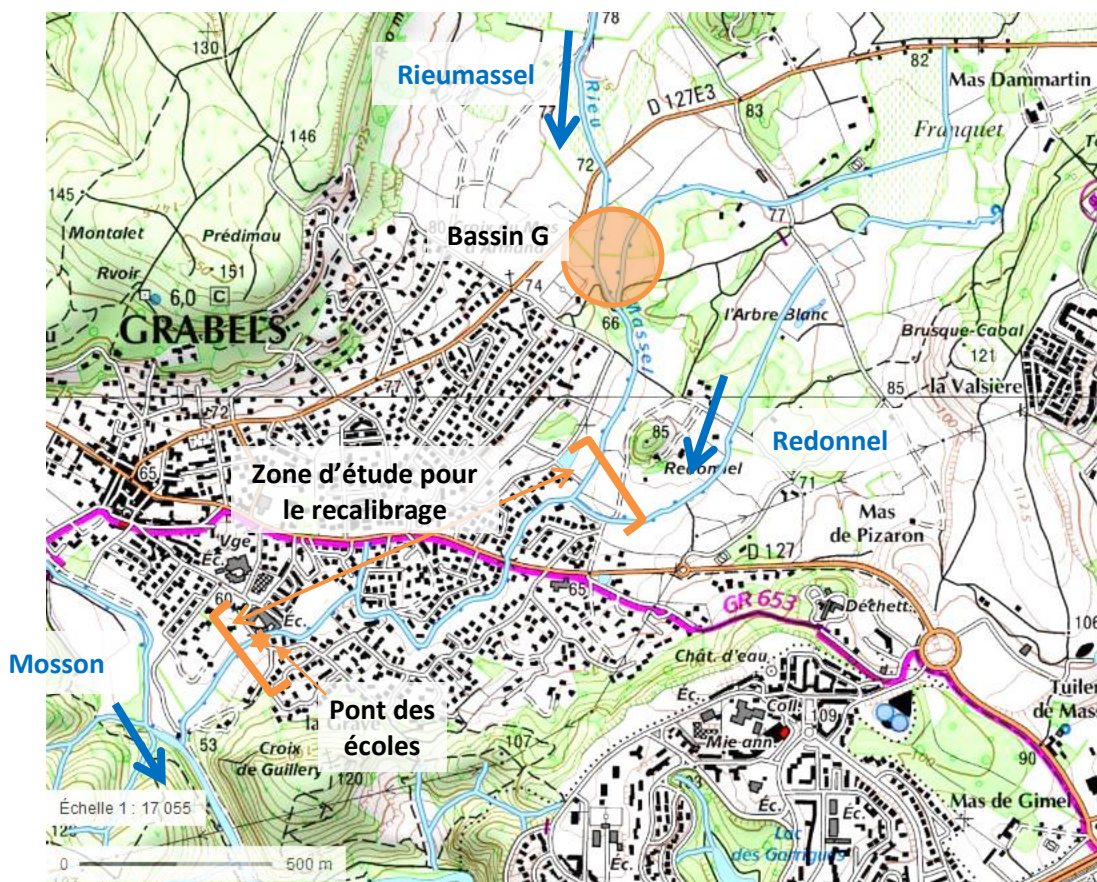


Figure 2 : Localisation détaillée du site du projet

1.3. Données disponibles

Les documents consultés dans le cadre de la présente étude sont les suivants :

- Retour d'Expérience des intempéries sur les départements de l'Hérault et du Gard de septembre à décembre 2014, rapport d'expertise sur la commune de Grabels – CEREMA – Mai 2015
- Etudes des risques inondation du Rieumassel sur la commune de Grabels – EGIS Eau – septembre 2015
- Aménagement du Rieumassel – Etat initial – ECO-MED - 2018
- Niveaux des plus hautes eaux mesurés lors de la crue du 6 et 7 octobre 2014 et emprise inondée – SYBLE
- Arrêtés préfectoraux relatifs au bassin G :
 - AP du 13/01/2005 : Autorisation de travaux d'aménagement du Rieumassel contre les inondations sur le territoire de Grabels
 - AP du 4/09/2009 : autorisation des modifications des caractéristiques du bassin de rétention G dit de l'Arbre blanc à Grabels
 - AP du 20/06/2011 : classement du barrage au titre du décret du 11 décembre 2007
 - AP du 21/09/2015 : Mise en demeure de Montpellier Méditerranée Métropole de réaliser les travaux de confortement permettant de rendre conforme le barrage au dossier d'autorisation.
- Etudes et documents relatifs au bassin G :
 - Ouvrage de retenue du bassin de rétention du Rieumassel à Grabels – Rapport de Visite Technique Approfondie (VTA), février 2015
 - Diagnostic géotechnique des désordres affectant la digue du Rieumassel à Grabels – lieu-dit de l'Arbre Blanc – Rapport de mission G5 – Hydrogéotechnique Sud-Ouest, juin 2015
 - Etude des risques inondation du Rieumassel sur la commune de Grabels : rupture du bassin G - Egis Eau juillet 2015
 - Analyse hydrologique du Rieumassel sur la commune de Grabels et rôle du bassin G – Egis Eau Juillet 2015
 - Bassin de « l'arbre blanc » à Grabels – Avis rapide sur la sûreté du barrage – IRSTEA août 2015
 - Ouvrage de retenue du bassin de rétention du Rieumassel à Grabels - Spécifications techniques et désignation des prix unitaires pour les travaux de confortement d'urgence – Egis Eau novembre 2015
 - Bilan de l'épisode pluvieux du 4 novembre 2015, remplissage Bassin G Grabels – Montpellier Méditerranée Métropole
 - Consignes écrites de sécurité et de surveillance du bassin écrêteur de crues (Bassin G, Grabels) - Montpellier Méditerranée Métropole
 - Rapports d'auscultation du barrage – OSMO (7 janvier 2015 / 11 juin 2015 / 15 octobre 2015 / 9 novembre 2015 / 8 février 2016 / 10 mai 2016)
 - Dossier partiel relatif à la construction du barrage 2009- 2010 (EXE, Cr réunion, DOE partiel),
 - Dossier partiel relatif aux travaux de réparation réalisés en 2015,

- DOE des travaux de mise en conformité réalisés en 2016,
- Rapport factuel – Investigation in situ – Dossier CMO2.J.865-0001 – Octobre 2019 – GINGER CEBTP

Les données topographiques disponibles sont listées dans le tableau ci-dessous.

Nom du fichier	Date	Auteur	Contenu
15135Profil_2D.dwg 15135Profil_3D_profils linéarisés.dwg	15/05/2015	Cabinet BILICKI DHOMBRES OSMO	Profils en travers du Rieumassel, du Redonnel et de la Mosson en amont et en aval de la confluence avec le Rieumassel et ouvrages de franchissement Levé du bassin G et de son ouvrage aval
15264_BE_seuils habitations.dwg	06/10/2015	Cabinet PAGES	Seuils des habitations
17390comp RGF93-CC43.dwg	02/01/2018	Cabinet BILICKI DHOMBRES OSMO FUZERE PELORCE	Zone Nord au-dessus du bassin G (retenue élargie)
17390top_details.dwg	14/11/2017	Cabinet BILICKI DHOMBRES OSMO FUZERE PELORCE	Levés topographiques complémentaires au niveau des zones identifiées pour les projets d'aménagement
17390comp02.dwg	18/02/2019	Cabinet BILICKI DHOMBRES OSMO FUZERE PELORCE	Complément au niveau de la retenue du barrage
17390top_compléments 2019esther.dwg	11/04/2019	Cabinet BILICKI DHOMBRES OSMO FUZERE PELORCE	Complément sur les zones recalibrées
RGE Alti	-	IGN	Modèle numérique de terrain Origine de la donnée : laser topo et laser topo / bathy – Résolution à 1 m – précision Emq < 30 cm ¹

Tableau 1 : Données topographiques existantes

¹ Informations fournies par l'IGN

2. Contexte du projet

2.1. Contexte topographique

La pente moyenne du Rieumassel est de 0,8 % sur le linéaire étudié. Le lit majeur est très urbanisé sur la partie aval et faiblement pentu.

Deux ponts présents sur le Rieumassel constituent des secteurs d'étranglement.

La figure ci-dessous présente le contexte topographique du secteur d'étude.

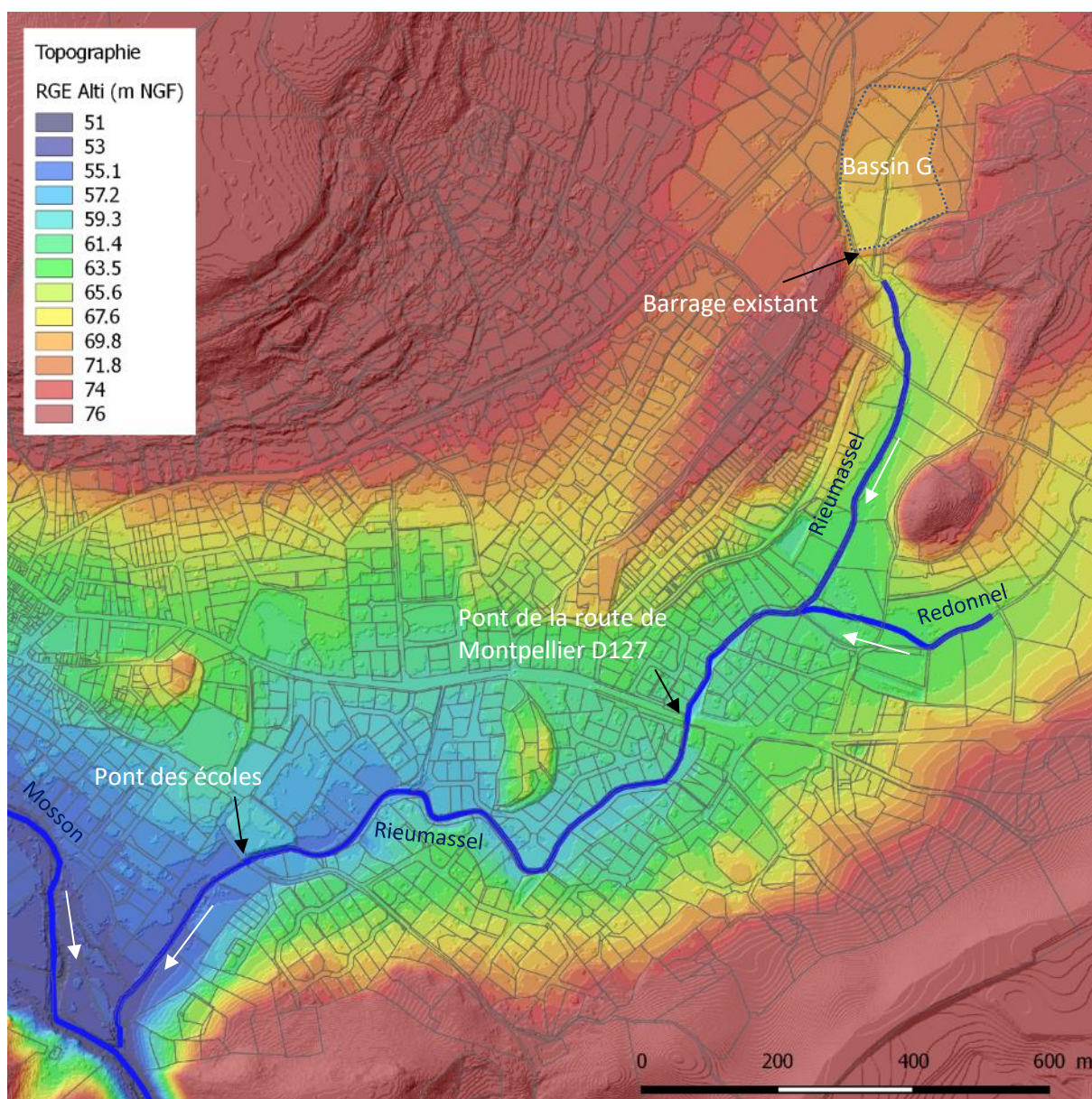


Figure 3 : Contexte topographique du secteur d'étude

2.2. Hydrologie

Les éléments suivants sont issus du rapport d'« *Etude des risques inondation du Rieumassel sur la commune de Grabels* - EGIS Eau, septembre 2015 ». Ils visent à présenter une synthèse du contexte hydrologique au droit du site du projet.

Le Rieumassel est un affluent rive gauche de la Mosson. Il présente un bassin versant d'une superficie totale de 5,3 km² (au droit de la confluence avec la Mosson). Son affluent le Redonnel draine un bassin versant de 0,8 km² et rejoint le Rieumassel en amont du pont de la route de Montpellier. Le Rieumassel est un cours d'eau non pérenne soumis au régime méditerranéen. Le bassin versant est essentiellement marno-argileux donc peu perméable.

Egis Eau a réalisé en 2015 une modélisation hydrologique en vue d'estimer les débits et hydrogrammes du Rieumassel pour les crues de projet. Le modèle a été calé sur les évènements de septembre, octobre et novembre 2014.

Une hypothèse de saturation variable du sous-sol est retenue selon les épisodes. Le CEREMA estime à 100 mm la capacité d'infiltration maximale du sol lors de l'évènement d'octobre 2014, soit une capacité faible d'infiltration due aux évènements antérieurs qui ont saturé le sol en eau.

Les débits de référence retenus par Egis pour l'état actuel suite à la mise en œuvre du modèle hydrologique sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Débits de pointe (m ³ /s)		
	Aval du bassin G	Route de Montpellier	Pont des Ecoles
Evènements historiques			
Octobre 2014	47	65	82
Décembre 2003	19	26	32
Pluies de projet			
100 ans	42	59	75
50 ans	34	47	60
20 ans	20	28	39
10 ans	12	16	32

Tableau 2 : Estimation des débits en état actuel - source EGIS 2015

L'évènement d'octobre 2014 peut donc être associé à une période de retour supérieure à 100 ans.

Egis Eau a étudié le rôle du bassin G en l'état actuel (caractéristiques du bassin présentées dans le paragraphe 2.4) pour les évènements historiques et les pluies de projet de période de retour 10, 20, 50 et 100 ans. Cet ouvrage draine un bassin versant de 2,8 km², soit environ 50 % du bassin versant global du Rieumassel.

Pour un évènement type octobre 2014, le bassin actuel n'a quasiment aucun impact sur les débits de pointe. Pour des évènements de période de retour plus faibles, l'impact est plus important, avec par exemple un abattement des débits de pointe estimé à 28 % pour une pluie de période de retour 10 ans.

2.3. Contexte hydraulique

Le contexte hydraulique a été appréhendé d'après l'étude hydraulique réalisée par Egis Eau en 2015 « *Etude des risques inondation du Rieumassel sur la commune de Grabels* - EGIS Eau, septembre 2015 ». Un modèle hydraulique 1D – 2D a été mis en œuvre sur la zone d'étude, permettant de simuler le ruissellement pluvial et les débordements du Rieumassel.

Ce modèle, qui s'appuie sur des données topographiques récentes (2015) en lit mineur (profils en travers et ouvrages de franchissement) et sur le RGE Alti de l'IGN en lit majeur, a été calé sur la crue du 6 et 7 octobre 2014, pour laquelle un certain nombre de laisses de crue sont disponibles.

D'après cette étude, lors de l'évènement de 2014, les premières inondations ont été engendrées par le ruissellement pluvial (et non par débordement du Rieumassel).



Figure 4 : Ruissellement pluvial le long de la route de Montpellier – source : EGIS 2015

Les débordements du Rieumassel s'ajoutent ensuite aux ruissellements pluviaux de la manière suivante :

- Les débordements débutent en amont de la confluence avec le Redonnel.
- Le pont de la route de Montpellier constitue un goulet d'étranglement important sur le Rieumassel. Sa capacité d'écoulement avant débordement est de $35 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondant à une période de retour comprise entre 20 et 50 ans. Il génère des débordements en rive gauche et rive droite en amont de la route.
- A l'aval du pont, les débordements débutent en rive gauche dans le jardin d'une propriété privée en aval immédiat du pont, à partir d'un débit de $12 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Le coude plus en aval est également un goulet d'étranglement dans Grabels. Pour un débit de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ des inondations en rive droite apparaissent.
- Le pont des Ecoles en amont de la confluence avec la Mosson engendre également des zones de submersion. Sa capacité d'écoulement avant débordement est estimée à $30 \text{ m}^3/\text{s}$. C'est le troisième goulet d'étranglement mis en avant dans cette étude.

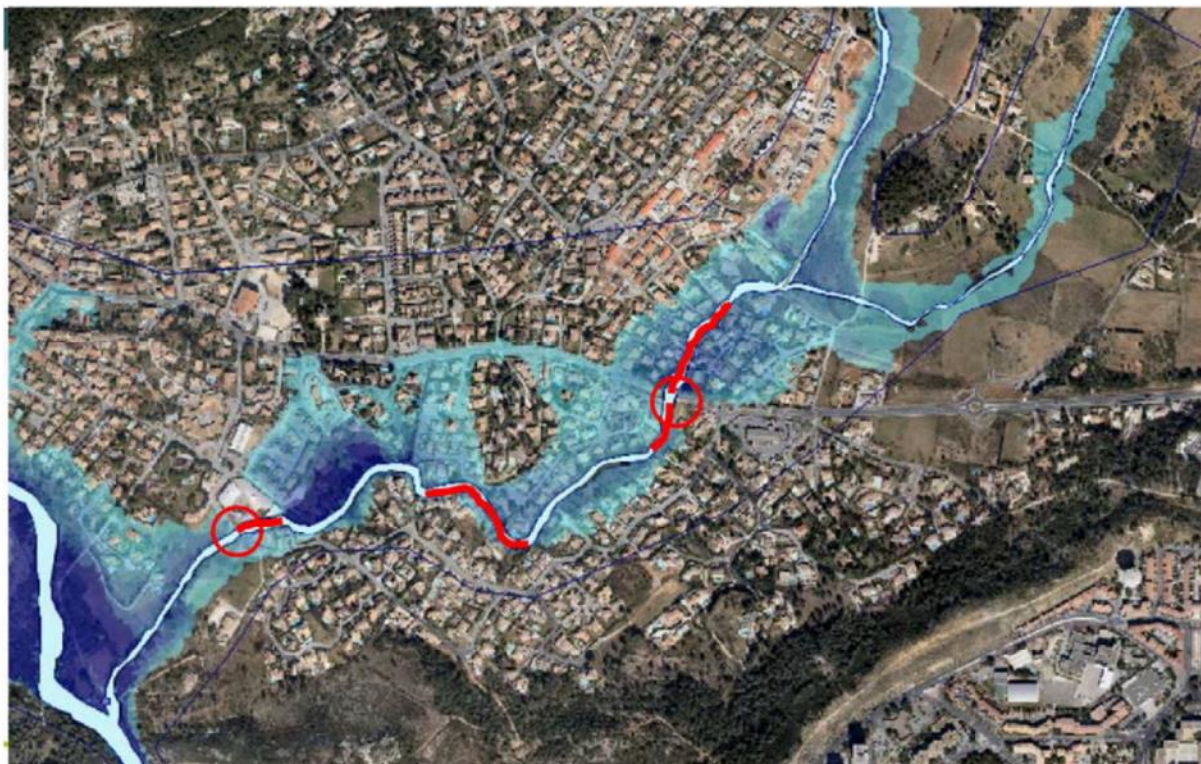


Figure 5 : Localisation des capacités limitantes du Rieumassel – source : EGIS 2015

2.4. Barrage existant



Figure 6 : Vue du barrage actuel - source : Antea Group 2019

Le barrage a été construit en 2009. Il était initialement autorisé par l'arrêté préfectoral n°2005-I-075 du 13 janvier 2005 puis a fait l'objet de modifications régularisées par l'arrêté préfectoral du 4 septembre 2009.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Cote du fond du bassin en pied de digue	67,5 m NGF
Cote du déversoir (Zdéver)	70,0 m NGF
Cote de la digue (crête) Zdigue	71,0 m NGF
Z100	70,25 m NGF
Z1000	70,88 m NGF
Volume stocké pour Zdéversoir	27 500 m ³
Volume stocké pour Z100	33 100 m ³
Volume stocké pour Zdigue	61 700 m ³
Surface maximale de la retenue (Zdigue)	4,8 ha
Hauteur digue (crête) / fond du bassin	3,5 m
Hauteur digue (crête) / TN aval	3,5 m

Tableau 3 : Caractéristiques du barrage existant et de sa retenue (source : AP du 4/09/2009)

Le bassin était initialement conçu pour participer à l'écroulement des crues jusqu'à un événement centennal (source : Réalisation d'un bassin écrêteur de crue au lieu-dit L'Arbre Blanc (bassin G) - Dossier de modification d'autorisation au titre du code de l'environnement, Ingerop, Mai 2009). A noter que les débits de référence ont été notablement revus à la hausse par l'étude Egis de 2015 en comparaison aux débits retenus lors de la construction du barrage.

Il présentait initialement une largeur en crête de 4 mètres, un parement aval revêtu d'enrochements liaisonnés avec ouvrage de dissipation d'énergie en pied et un parement amont non protégé.

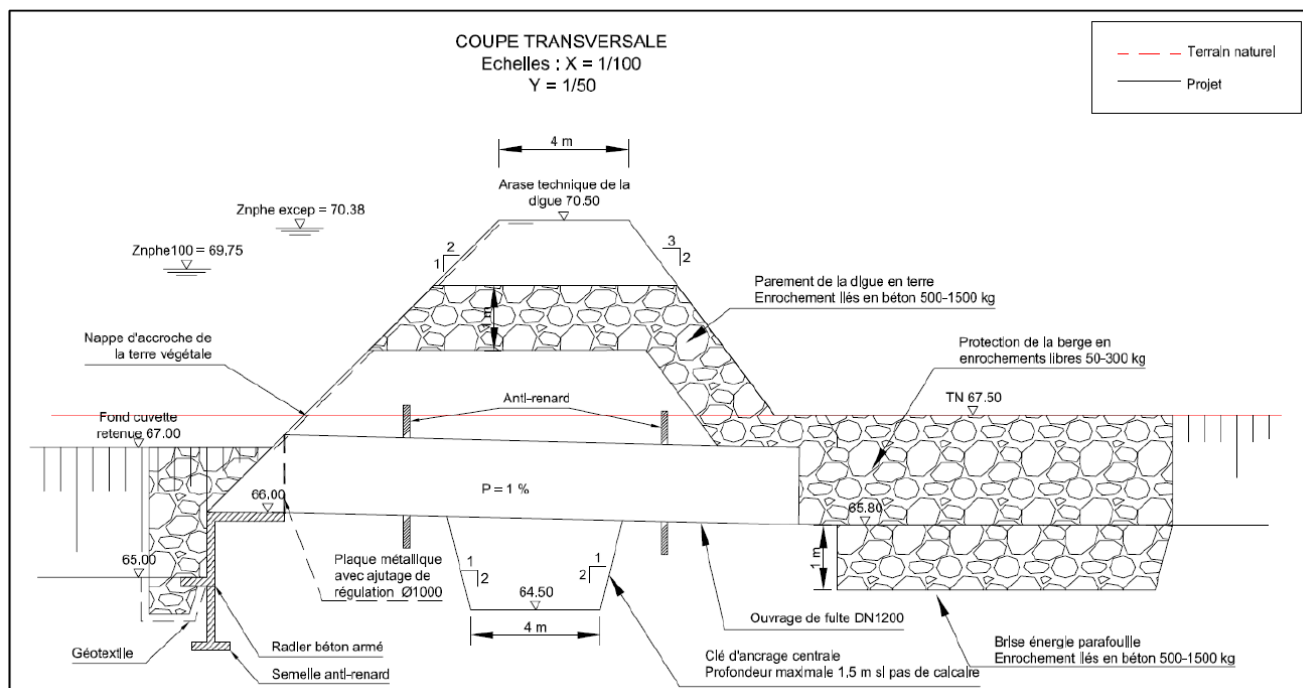


Figure 7 : Coupe de l'ouvrage tel que présenté dans le DCE d'Ingerop (source : Hydrogéotechnique, 2015)

L'arrêté n°2011-06-00816 du 20/06/2011 classe le barrage en catégorie D au titre de la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Le barrage a été largement sollicité lors de l'épisode d'octobre 2014 (théoriquement supérieur à une crue centennale), avec fonctionnement du déversoir. Suite à cet évènement, plusieurs actions ont été engagées :

- Une visite de surveillance a été réalisée par Egis Eau en février 2015. Elle a mis en évidence la présence de fissures notables en crête du barrage.
- Une étude géotechnique a été réalisée par Hydrogéotechnique en juin 2015. Elle met en évidence plusieurs écarts sur la géométrie et la structure du barrage réalisé par rapport aux éléments du DCE, notamment :
 - Des talus à 1H / 1V contre 1H/2V sur le talus amont et 3H/2V sur le talus aval,
 - Une carapace en enrochements en apparence moins épaisse que prévue (60 cm contre 1 m préconisé),
 - Des passages de faible compacité des matériaux du corps de digue ne répondant pas aux objectifs de compactage q4 indiqués au DCE,
 - Des matériaux de corps de digue hétérogènes en nature (avec notamment la présence de matériaux à potentiel de gonflement moyen à élevé et très plastiques).
 - L'absence d'ouvrage para fouille en pied de digue amont.Des travaux de confortement sont préconisés.
- IRSTEA a fourni en août 2015 un « avis rapide sur la sûreté du barrage ». Plusieurs hypothèses sont envisagées pour expliquer l'apparition des fissures :
 - Hypothèse 1 : instabilité à la décrue du parement amont, très raide et non renforcé,
 - Hypothèse 2 : défaut généralisé de compactage du remblai du corps de digue,
 - Hypothèse 3 : amorce d'érosion interne dans le remblai, créant des vides sous la carapace en enrochements.Le rapport conclut sur la nécessité de réaliser des travaux d'urgence (comblement des fissures par un coulis de ciment) et de travaux définitifs de confortement.
- L'arrêté préfectoral du 21/09/2015 confirme cette conclusion et met en demeure le gestionnaire du barrage (MMM) de réaliser des travaux permettant « de rendre conforme l'ouvrage aux éléments du dossier d'autorisation et dans un état tel qu'il ne s'y manifeste aucun danger pour les enjeux situés en aval ».
- MMM missionne Egis Eau qui formule en novembre 2015 les spécifications techniques de travaux d'urgence et solutions de confortement à long terme du barrage.
- En novembre 2015, réalisation de travaux d'urgence par injection de coulis de ciment dans le corps du barrage et traitement des fissures,
- Entre avril et juillet 2016 : réalisation d'une longrine en crête de digue, reprise du talus amont pour mise en place d'une carapace en enrochements liaisonnés. La coupe type des travaux réalisés est présentée sur la figure ci-dessous.

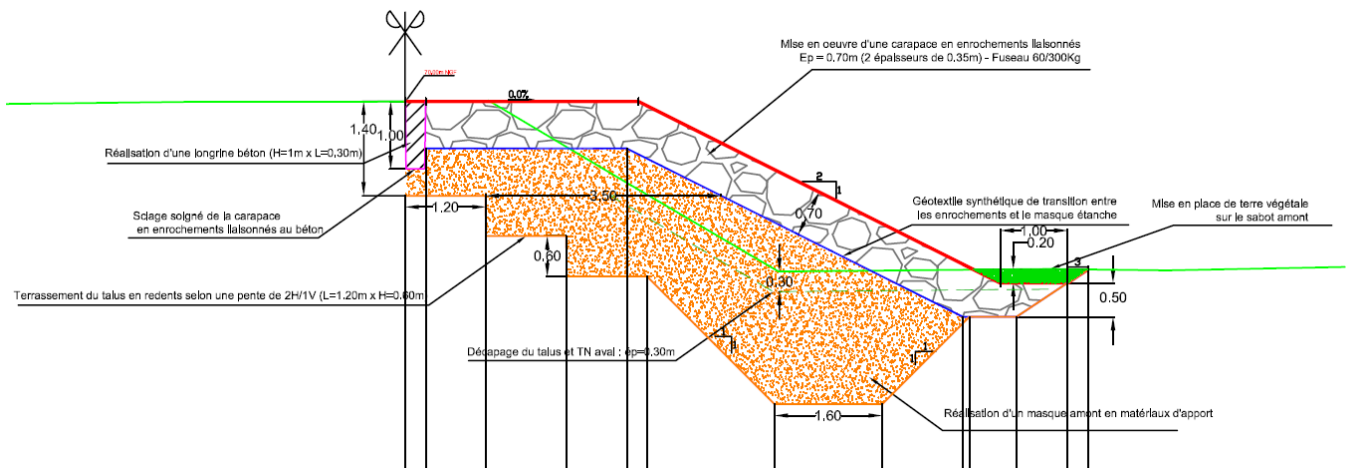


Figure 8 : Coupe type des travaux de mise en conformité du barrage réalisés en 2016
(source : plan d'EXE Razel-Bec, 2016)

2.5. Contexte géologique et hydrogéologique

2.5.1. Contexte général

D'après la carte géologique de Montpellier, les formations suivantes sont présentes dans la zone d'étude :

- En surface, des alluvions et colluvions de limons argileux à graveleux (Fz) ;
- Ces terrains recouvrent des molasses de l'Eocène, notées e1C (Vitrollien), constituées d'argiles rutilantes et de calcaires lacustres.

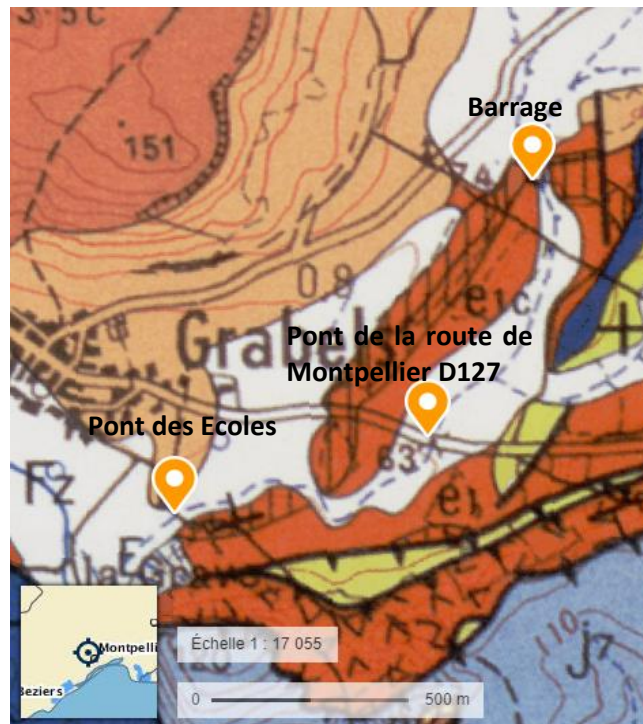


Figure 9 : Extrait de la carte géologique - source : Géoportail

D'après l'étude de diagnostic G5 au niveau du barrage, la nappe est située à faible profondeur (vers 1,2 m/TN). Le site est d'ailleurs répertorié comme zone potentiellement sujette aux inondations de nappe.

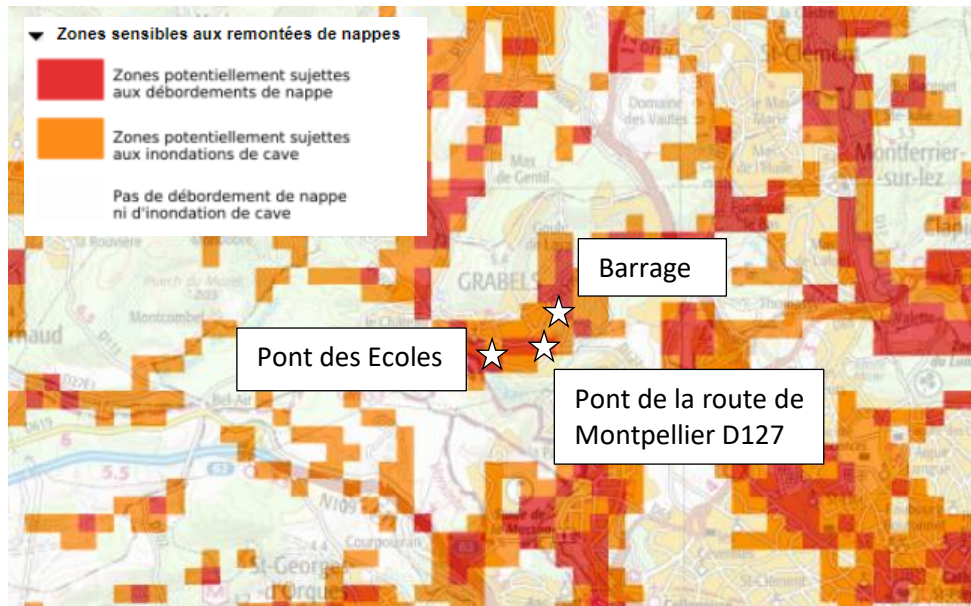


Figure 10 : Carte des zones sensibles aux remontées de nappe (Source : Géorisque)

Le site est également classé en zone d'aléa fort vis-à-vis de l'exposition au retrait-gonflement des argiles.

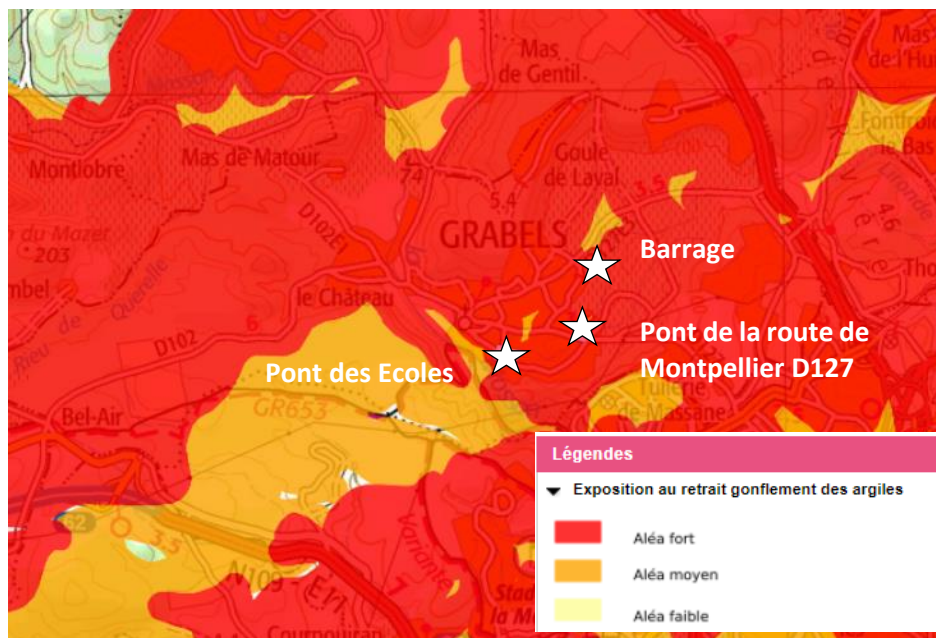


Figure 11 : Carte d'exposition au retrait-gonflement des argiles (Source : Géorisque)

2.5.2. Investigations géotechniques réalisées sur le pont des écoles

L'élargissement du pont des écoles a été ajouté au programme d'aménagement récemment (cf. chapitre 3.1). Antea Group a alors établi un programme d'investigations géotechniques. Celles-ci se sont déroulées fin juillet 2020. Les résultats des investigations ne sont pas connus à ce jour. **Aussi le présent rapport est établi sans connaissance sur la nature géotechnique des sols au droit du pont.**

Par ailleurs, aucune donnée concernant l'ouvrage n'est disponible (DOE, inspections, travaux d'aménagements...). L'analyse des données d'archive donne des informations importantes sur la géométrie exacte de l'ouvrage existant en particulier sur les fondations et éventuels débords. Les archives géotechniques pourraient être utilisées pour limiter les investigations en phase G2-PRO si elles sont retrouvées.

2.5.3. Investigations réalisées sur le barrage

Sur le site du barrage, différentes campagnes de reconnaissances ont été effectuées :

- Campagne d'investigations effectuée en 2008 par Ginger CEBTP, dans le cadre des études d'avant-projet de l'actuelle digue du Rieumassel ;
- Campagne d'investigations effectuée en 2015 par Hydrogéotechnique, dans le cadre du diagnostic géotechnique (G5) des désordres affectant la digue ;
- Campagne d'investigations effectuée en 2019 par Ginger CEBTP, dans le cadre des études AVP pour la maîtrise d'œuvre des aménagements de protection contre les inondations du Rieumassel.

Au niveau du Rieumassel en aval du barrage, aucune donnée géotechnique n'est existante. A ce stade, aucune investigation n'a été demandée compte tenu des difficultés d'accès, des incertitudes sur le positionnement des travaux et sur la nature des ouvrages. Le cas échéant, elles seront définies ultérieurement, après ré-examen des zones à traiter en phase AVP.

Les investigations effectuées sur le site du barrage sont présentées ci-dessous :

2.5.3.1. Investigations de 2008

D'après le rapport de diagnostic, un sondage pressiométrique et 2 sondages au pénétromètre dynamique ont été effectués par Ginger en 2008. Les coupes des sondages ne sont pas disponibles.

2.5.3.2. Investigations de 2015

Les sondages et essais in-situ effectués en 2015 par Hydrogéotechnique sont les suivants :

- **3 fouilles de reconnaissances de fondation**, notées RF1 à RF3, effectuées en pied de digue côté amont. Elles ont été descendues entre 1,2 et 1,8 m/TN et ont dûes être stoppées en raison de l'éboulement des parois et d'arrivées d'eau. Elles ont permis d'identifier la lithologie des terrains de fondation.

- **3 sondages carottés**, notés SC1-2015 à SC3-2015, effectués au niveau de la crête de la digue. Ils ont été réalisés au carottier rotation diamètre 100 mm sur l'épaisseur de la carapace en enrochements (80 cm) et ont permis le passage d'une caméra pour visualiser l'enrochement.
- **3 essais au pénétromètre dynamique lourd**, notés PD1-2015 à PD3-2015, effectués au sein des sondages SC1-2015 à SC3-2015. Ils ont été descendus au refus entre 2,4 et 5,4 m/TN, et ont permis de préciser l'épaisseur et la compacité des différentes couches de terrains traversées.
- **3 sondages destructifs**, notés TH1-2015 à TH3-2015, réalisés à la tarière en diamètre 63 mm, à la suite des pénétromètres PD1-2015 à PD3-2015. Ils ont été descendus au refus entre 2,4 et 3,8 m/TN et ont permis de visualiser les terrains sous les enrochements.

Les essais effectués en laboratoire sont les suivants :

- **3 identifications GTR** sur des échantillons prélevés en RF1, RF2, et RF3, et comprenant :
 - **3 limites d'Atterberg** selon la NF P 94-051 ;
 - **3 essais au bleu de méthylène** selon la NF P 94-068 ;
 - **3 analyses granulométriques** selon la NF P94-056 ;
- **3 mesures de teneur en eau** selon la NF P 94-050.

Les coupes et PV des sondages sont données en annexe 1.

2.5.3.3. Investigations de 2019

La campagne menée en 2019 a permis de réaliser des sondages et essais mécaniques in situ, des essais de perméabilité in situ, et des essais en laboratoire.

Les sondages et essais mécaniques effectués in-situ sont les suivants :

- **20 fouilles de reconnaissances à la pelle**, notées F1-2019 à F20-2019. Elles ont permis la reconnaissance des terrains superficiels, la réalisation d'essais d'infiltrations, et le prélèvement d'échantillons pour essais en laboratoire. Elles ont été réparties de la façon suivante :
 - **En rive droite** : 1 fouille, notée F1-2019, descendue à 3,0 m/TN ;
 - **En rive gauche** : 4 fouilles, notées F2-2019 à F5-2019, descendues au refus entre 0,6 et 2,6 m/TN ;
 - **En pied de digue, côté amont** : 1 fouille, notée F6-2019, descendue à 3,0 m/TN ;
 - **Au niveau de la retenue** : 14 fouilles, notées F7-2019 à F20-2019, descendues à 3,0 m/TN ou au refus entre 0,6 et 2,6 m/TN ;
- **3 sondages carottés**, notés SC1-2019 à SC3-2019, effectués en diamètre 100 à 116 mm, et descendus entre 7,1 et 9,1 m/TN. Ils ont permis la réalisation d'essais Lefranc, l'installation de piézomètres, et le prélèvement d'échantillons intacts sous gaine pour essais en laboratoire. Ils ont été répartis de la façon suivante :
 - **En rive gauche** : SC3-2019 ;
 - **En pied de digue, côté amont** : SC1-2019 ;
 - **En crête de digue** : SC2-2019.

- **10 sondages destructifs**, notés SP1-2019 à SP9-2019 et SP109-2018, effectués au tricône en rotation en diamètre 66 mm avec enregistrement des paramètres de forage, et descendus entre 7 et 14 m/TN. Ils ont permis la réalisation de 3 à 9 essais pressiométriques par sondage afin d'établir la résistance mécanique des terrains, soit 62 essais au total répartis tous les mètres. Deux piézomètres ont également installés au sein de SP2-2019 et SP3-2019.
- **4 piézomètres en tubes PVC de diamètre 45/50 mm**, installés au sein des sondages SP2-2019, SP3-2019, SC1-2019 et SC3-2019, et descendus entre 7 et 8 m/TN. Ces 4 piézomètres ont fait l'objet d'un suivi piézométrique annuel, entre le 28/06/2019 et le 03/06/2020, avec des relevés manuels tous les mois.

Les essais de perméabilité effectués par Ginger en 2019 sont les suivants :

- **8 essais d'infiltration de type Matsuo**, effectués au sein des fouilles F1-2019, F6-2019, F9-2019, F10-2019, F13-2019, F14-2019, F18-2019 et F19-2018 2019, entre 2 et 3 m de profondeur, sauf pour F9-2019 où l'essai a été mené entre 0,4 et 1,4 m/TN. Ces essais ont permis d'estimer la perméabilité locale des sols superficiels, en rive droite (F1-2019), et au niveau de la retenue du barrage (autres essais).
- **5 essais de perméabilité de type Lefranc**, effectués au sein des sondages SC1-2019, SC2-2019 et SP9bis-2019.

Les essais effectués en laboratoire par Ginger en 2019 sont les suivants :

- **22 identifications GTR** selon la norme NF P11-300, sur 16 échantillons remaniés prélevés dans les fouilles à la pelle mécanique sur l'ensemble de la zone d'étude, et 6 échantillons intacts prélevés dans les sondages carottés en pied de digue amont et en crête de digue. Ces identifications ont compris la réalisation de :
 - **22 analyses granulométriques par tamisage** selon la NF P94-056 ;
 - **21 essais au bleu de méthylène** selon la NF P 94-068 ;
 - **1 détermination des limites d'Atterberg** à la coupelle et au rouleau, selon la norme NF P94-051
- **22 mesures de teneur en eau pondérale** selon la NF P 94-050 ;
- **9 essais de compactage à l'essai Proctor normal**, selon la NF P94-093 ;
- **9 Indice Portant Immédiat (IPI)**, selon la NF P94-078.
- **5 essais triaxiaux de type consolidé drainé (CD)**, selon la norme NF P94-071, sur des échantillons prélevés dans les sondages carottés SC1 et SC2, afin de mesurer les caractéristiques de cisaillement drainées des terrains prélevés ;
- **5 essais triaxiaux de type consolidé non drainé, avec mesure de la pression interstitielle (CU+u)**, selon la norme NF P94-074 ; sur des échantillons prélevés au carottier ou à l'échantillonneur Shelby dans les fouilles F14, F15, F17, F19 et le sondage SC1, afin de mesurer les caractéristiques de cisaillement drainées des terrains prélevés ;
- **4 essais de chargement par palier à l'œdomètre**, selon la norme XP P94-090-1, effectués sur des échantillons prélevés dans les sondages carottés SC1 et SC2, afin d'établir leurs caractéristiques de compressibilité et de gonflement.

Les coupes et PV des sondages sont données en annexe 2. Le plan d'implantation est visible ci-dessous.

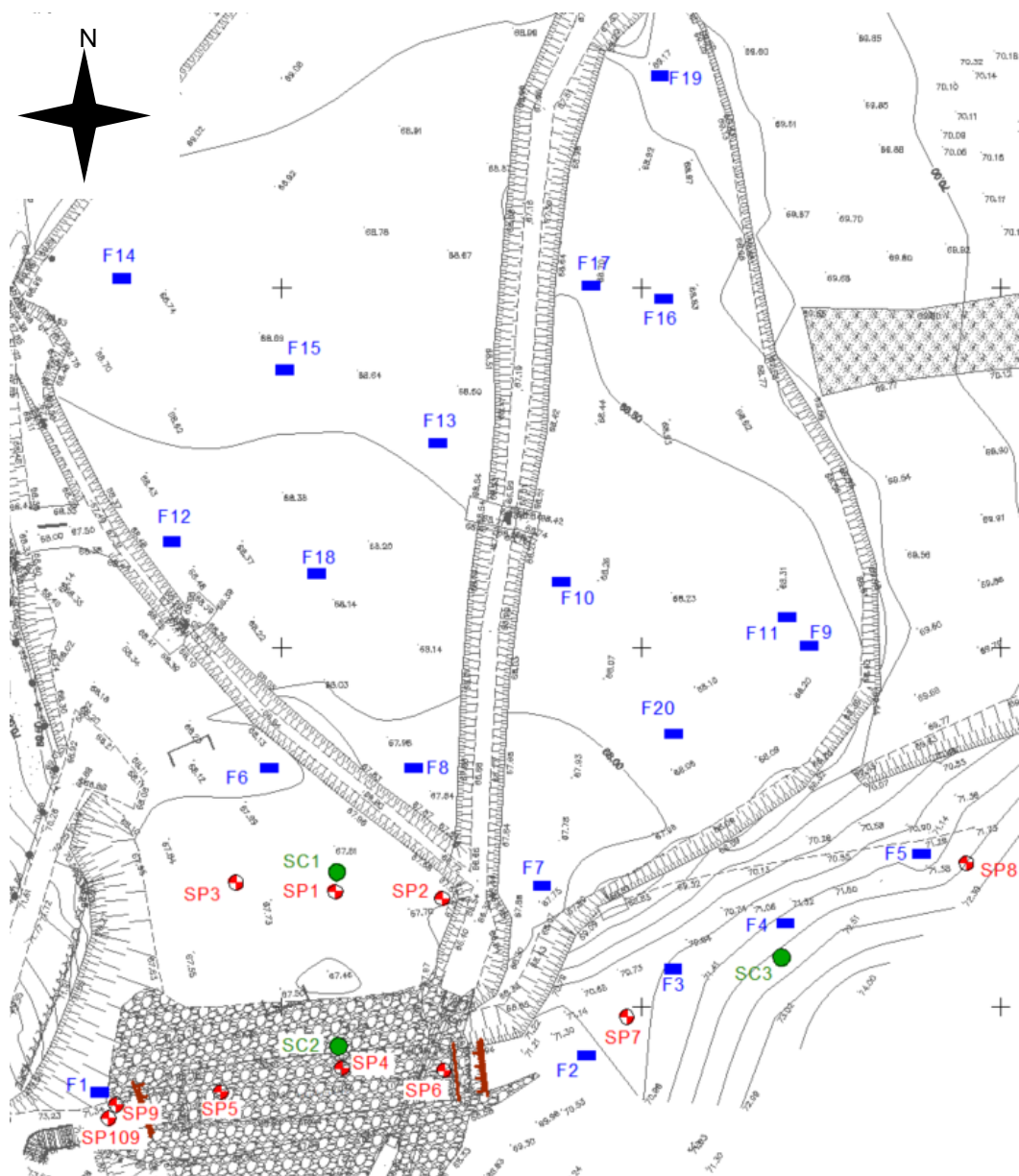


Figure 12 : Plan d'implantation des sondages effectués en 2019 au niveau de la digue actuelle et du bassin G

2.5.4. Coupe lithologique

Les différents sondages effectués ont permis de reconnaître les terrains au niveau du corps de la digue existante, du pied amont, et de la fondation, ainsi qu'au niveau de la retenue du bassin G, de la rive droite et de la rive gauche. La lithologie reconnue est décrite dans les paragraphes ci-dessous.

2.5.4.1. Composition de la digue existante

Les terrains rencontrés sont les suivants, décrits du haut vers le bas :

- **Carapace en enrochements calcaires liaisonnés**, reconnue sur 40 à 60 cm d'épaisseur au droit des sondages SC1-2015 à SC3-2015, SC2-2019 et SP4-2019. Ces enrochements sont recouverts par 15 cm de béton au droit de SC2-2019. A noter que les sondages SP5-2019 et SP6-2019 pourtant effectués en crête de digue n'ont pas recoupés d'enrochements calcaires en tête de sondage. La formation argileuse sous-jacente a été reconnue dès la surface en SP5-2019, et sous une dalle béton de 30 cm d'épaisseur en SP6-2019.



Figure 13 : Enrochement calcaires reconnus en tête de SC2-2019

- **Couche fine de graviers et cailloux à matrice argilo-sableuse gris beige**, identifiée au droit de SC1-2015 à SC3-2015, et SC2-2019 jusqu'à 0,7 à 0,8 m/TN. Ces matériaux reconnus sur 10 à 40 cm d'épaisseur constituent probablement une couche de réglage des enrochements.
- **Corps de digue argilo-limoneux**, constituée d'argiles sablo-limoneuses à limono-graveleuses à cailloutis, avec des passées à concrétions calcaires au droit de SC2-2019 de couleur marron vert à beige. Le corps de digue, identifié au droit des sondages TH1-2015 à TH3-2015, SC2-2019, et SP4-2019 à SP6-2019, ainsi que RF1-2015 à RF3-2015 présente une épaisseur d'environ 2,5 m (TN situé vers 67,5 m NGF). La lithologie du corps de digue est similaire avec celle du terrain naturel sous-jacent, la distinction dans les sondages entre le corps de digue et les terrains de fondation n'est donc pas nette. A noter que le corps de digue a été injecté avec du coulis de ciment lors des travaux d'urgence de novembre 2015.

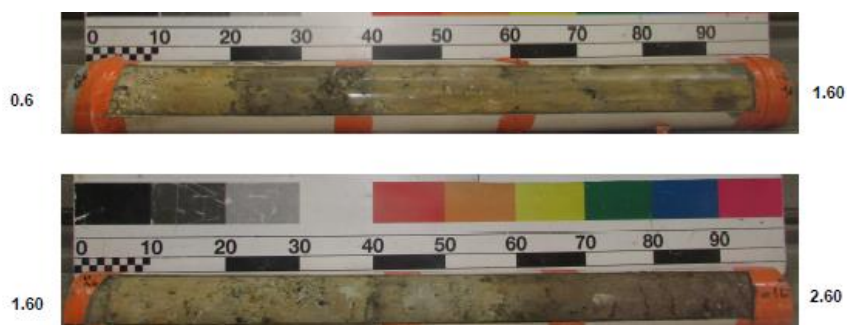


Figure 14 : Corps de digue argilo-limoneux mis en évidence au droit de SC2-2019

- **Talus amont** : Le pied de digue amont a été reconnu en 2015 par des fouilles à la pelle mécanique, qui avaient mises en évidence une couverture de terre végétale de 30 cm d'épaisseur sur un géotextile, puis les argiles limoneuses à quelques cailloutis du corps de digue jusqu'à 1,0 m/TN. Un horizon de graviers et cailloux dans une matrice limoneuse semblant plus perméable avait été identifié sous le corps de digue. Ces terrains ont été repris lors des travaux effectués en avril et juillet 2016 : une longrine béton a été effectuée en crête de digue, le talus amont a été excavé et remblayé avec des matériaux d'apports, puis a été recouvert par une carapace en enrochements liaisonnés. En 2019, aucun sondage n'a traversé le talus amont.

2.5.4.2. Fondation de la digue existante

Les terrains rencontrés sont les suivants, décrits du haut vers le bas :

- **Formation 1 : Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité**, reconnus au sein de l'ensemble des sondages, aussi bien au droit de la digue qu'au niveau du pied en amont. Il s'agit d'un mélange d'argiles limoneuses à sablo-graveleuses et de graves argilo-sableuses, bariolées gris/beige à marron rougeâtre (Figure 15). Ces terrains, qui sont parfois légèrement indurés, présentent localement des passées à concrétions calcaires, notamment au droit de SC2-2019 (Figure 16). De la matière organique a été ponctuellement mise en évidence dans les sondages carottés. Un vide a été mis en évidence au sein de cette formation, au droit de SC2-2019, entre 3,6 et 3,8 m/crête de digue.

La formation a été identifiée sur une épaisseur variable, maximale au droit du thalweg, et diminuant vers l'Est :

- Dans l'axe du thalweg ainsi qu'à l'Ouest, vers la rive droite : sur une épaisseur de 3,3 à 4,2 m/TN, soit jusqu'à 63,5 à 64,6 m NGF. Localement, l'épaisseur reconnue est inférieure, notamment au droit de SP5-2019 (1,6 m d'épaisseur soit jusqu'à 65,9 m NGF)
- A l'est du thalweg, vers la rive gauche : sur une épaisseur de 0,7 à 1,5 m, soit jusqu'à 66,2 à 66,8 m NGF.



Figure 15 : Argiles limoneuses à graveleuses identifiées au droit de F6-2019



Figure 16 : Argiles à concrétions calcaires identifiées au droit de SC2-2019

- **Formation 2 : Alternance de calcaire blanc et d'argiles rouges**, faisant penser à des terrains karstiques, reconnue ponctuellement sur la zone d'étude, vers la rive droite. Au droit de la digue, ces terrains ont été identifiés en SP5-2019 sur 3,9 m d'épaisseur, entre 61,97 et 65,87 m NGF. Cette alternance a également été mise en évidence en rive droite au droit de SP9-2019 jusqu'à la base du sondage soit 63,06 m NGF, et au droit de SP109-2019 jusqu'à 62,12 m NGF. Un mélange d'argiles, de calcaire et de graves argileuses faisant penser à cette formation a également été reconnu au niveau de la retenue en SC1-2019, sur 50 cm d'épaisseur entre 63,53 à 64,02 m NGF.

En SP5-2019, SP9-2019 et SP109-2019 (c'est-à-dire en rive droite du barrage), la formation est composée d'une alternance entre :

- Des horizons métriques de calcaire blanc plus ou moins argileux, pouvant présenter des passées argileuses rouges ;
- Des niveaux d'argiles plus ou moins sableuses, rouge à marron clair, rencontrées sur des épaisseurs métriques à pluri-métriques (atteignant jusqu'à 4 m d'épaisseur dans les terrains traversés).

En SC1-2019, situé plus au centre du talweg, il n'a pas été identifié cette alternance entre des horizons métriques. Toutefois, le sondage a mis en évidence une succession de passées de 20 à 60 cm d'épaisseur, comportant des argiles limoneuses à passées rougeâtres, des graves calcaires, du calcaire, et des graves argileuses (voir photo ci-dessous).



Figure 17 : Argiles à passées rougeâtres, graves calcaires et calcaire identifiés au droit de SC1-2019 entre 3,15 et 4,0 m/TN

- **Formation 3 : Substratum calcaire**, identifié jusqu'à la base des sondages carottés et pressiométriques de 2019 situés au droit de la digue et en amont (voir tableau). Au droit de ces sondages, le substratum a été reconnu directement sous les argiles limoneuses à sablo-graveleuses de faible compacité, ou sous l'alternance de calcaire et d'argiles rouges en SP5-2019. Il s'agit de calcaires fracturés blanc à beige, plus ou moins altérés, à passées argileuses et marneuses (voir photo ci-dessous).



Figure 18 : Calcaire très fracturé à passées marneuses reconnu en SC1-2019

Les tableaux ci-dessous répertorient les profondeurs mises en évidence pour le toit des différentes formations au droit des différents sondages.

Tableau 4 et Tableau 5 : Cotes de base des différentes formations identifiées au droit de la digue et en pied à l'amont

Sondage		Axe du thalweg				
		SC2-TH2-2015	SC1-2019	SC2-2019	SP1-2019	SP4-2019
Cote tête du sondage (m NGF)		70 ⁽¹⁾	67,77	69,89 ⁽¹⁾	67,72	69,99
Profondeur de la base (m NGF)	Digue existante					
	Carapace en enrochements	69,4	- ⁽⁴⁾	69,29	- ⁽⁵⁾	69,39
	Couche de réglage	69,2	- ⁽⁴⁾	69,19	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁵⁾
	Corps de digue	67,5 ⁽²⁾	- ⁽⁴⁾	67,5 ⁽²⁾	- ⁽⁵⁾	67,5 ⁽²⁾
Profondeur de la base (m NGF)	Terrain naturel					
	1 Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité	< 67	64,62	64,14	64,42	63,99
	2 Alternance argiles/calcaire	- ⁽³⁾	63,53	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁵⁾
	3 Substratum calcaire		<60,67	< 60,79	< 59,42	< 58,95

(1) Sondage non nivelé, cote déduite du plan topographique

(2) Cote du TN initial. D'un point de vue lithologique, la base du corps de digue n'est pas différenciable des terrains sous-jacents.

(3) Arrêt du sondage dans la formation sus-jacente, ne permettant pas de reconnaître la présence éventuelle de cette formation

(4) Digue non reconnue, car le sondage a été effectué depuis le pied de digue côté amont

(5) Formation non reconnue dans le sondage

Sondage			Vers la rive Ouest				Vers la rive Est		
			SC1-TH1 2015	SP3- 2019	SP5- 2019	F6- 2019	SC3- TH3 2015	SP6- 2019	SP2- 2019
Cote tête du sondage (m NGF)			69,9 ⁽¹⁾	67,70	69,97	67,58	69,9 ⁽¹⁾	69,95	67,72 ⁽¹⁾)
Profondeur de la base (m NGF)	Digue existante								
	Carapace en enrochements		69,3	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁴⁾	69,47	69,65	- ⁽⁴⁾
	Couche de réglage		69,1	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁴⁾	69,10	- ⁽⁵⁾	- ⁽⁴⁾
	Corps de digue		67,5 ⁽²⁾	- ⁽⁴⁾	67,5 ⁽²⁾	- ⁽⁴⁾	67,5	67,5 ⁽²⁾	- ⁽⁴⁾
Profondeur de la base (m NGF)	Terrain naturel								
	1	Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité	< 66,1	63,50	65,87	< 64,58	- ⁽³⁾	66,85	66,22
	2	Alternance argiles/calcaire	- ⁽³⁾	- ⁽⁵⁾	61,97	- ⁽³⁾		- ⁽⁵⁾	- ⁽⁵⁾
	3	Substratum calcaire		< 58,14	< 58,95			<62,21	< 60,42

(6) Sondage non nivelé, cote déduite du plan topographique

(7) Cote du TN initial. D'un point de vue lithologique, la base du corps de digue n'est pas différenciable des terrains sous-jacents.

(8) Arrêt du sondage dans la formation sus-jacente, ne permettant pas de reconnaître la présence éventuelle de cette formation

(9) Digue non reconnue, car le sondage a été effectué depuis le pied de digue côté amont

(10) Formation non reconnue dans le sondage

2.5.4.3. Terrains reconnus au droit de la retenue

La plupart des fouilles effectuées au niveau de la retenue ont permis de reconnaître la **formation 1** (argiles limoneuses à sablo-graveleuses de faible compacité) jusqu'à la base des sondages entre 1,2 et 3,0 m/TN, soit au moins jusque 64,62 à 67,54 m NGF. Il s'agit d'argiles limoneuses, à passages graveleux gris vert (voir photo ci-dessous).



Figure 19 : Argiles limoneuses à graveleuses identifiée au droit de F13-2019

Des argiles sableuses à graveleuses et des sables argileux d'aspect bariolé gris/rougeâtre à ocre/mauve, parfois indurés, ont été reconnues en fond de fouille, au droit de F10-2019, F11-2019, F16-2019 et F20-2019, à partir de 0,2 à 2,1 m/TN (voir photos ci-dessous). Ces terrains font penser aux argiles rouges plus ou moins sableuses de la **formation 2** rencontrées dans certains sondages pressiométriques. Les fouilles F11, F16 et F20 ont été descendues jusqu'au refus entre 1,2 et 2,6 m/TN, potentiellement atteint sur les horizons calcaires (formation 2 ou 3). La fouille F10 a été arrêtée à 3 m/TN.



Figure 20 : Argiles sableuses plus ou moins indurées, bariolées rougeâtre à mauves, en F11-2019

Au droit de F7-2019 et F9-2019, un horizon de graves calcaires à matrice argilo-sableuse a été reconnu sous la formation 1 à partir de 30 cm/TN, et jusqu'au refus de la pelle mécanique entre 1,2 et 1,4 m/TN (voir photos ci-dessous). Il est probable que le refus ait été atteint sur les terrains calcaire (formation 2 ou formation 3). Cette hypothèse est

appuyée par le fait que ces fouilles sont situées vers la rive gauche, là où le substratum calcaire est affleurant.



Figure 21 : Graves argileuses à blocs calcaires reconnues en F9-2019

2.5.4.4. Rive droite et rive gauche

Les investigations effectuées depuis la rive droite sont rappelées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Sondages effectués depuis la rive droite et la rive gauche

Type de sondage	Rive droite	Rive gauche
Fouille à la pelle	F1-2019	F2-2019 F3-2019 F4-2019 F5-2019
Sondage carotté	-	SC3-2019
Sondage pressiométrique	SP9-2019 SP109-2019	SP7-2019 SP8-2019

Ces sondages ont permis de reconnaître les terrains suivants :

❖ En rive droite

- **Formation 1 : Argiles et limons sablo-graveleuses de faible compacité**, reconnues en F1-2019 jusqu'à 1,6 m/TN (voir photos ci-dessous), et jusqu'à 2,9 à 3,0 m/TN au droit de SP9-2019 et SP109-2019, soit 68,06 à 68,22 m NGF. Il s'agit de la formation 1 identifiée au droit de l'ensemble des sondages effectués depuis la crête de digue et en pied côté amont.
- **Formation 2 : Alternance de calcaire blanc et d'argiles rouges**, mise en évidence jusqu'à la base de SP9-2019, soit 8,0 m/TN (63,06 m NGF), et jusqu'à 9,0 m/TN en SP109-2019, soit 62,12 m NGF. Il s'agit de la formation 2 identifiée depuis SP5-2019.

La formation est composée d'une alternance entre :

- Des horizons métriques de calcaire blanc plus ou moins argileux, pouvant présenter des passées argileuses rouges
- Des niveaux d'argiles plus ou moins sableuses, rouge à marron clair, rencontrées sur des épaisseurs métriques à pluri-métriques (atteignant jusqu'à 4 m d'épaisseur dans les terrains traversés). Des argiles sableuses

à graveleuses rougeâtre ont été mises en évidence au droit de F1-2019 entre 1,6 et 3,0 m/TN (voir photos ci-dessous).



Figure 22 : Terrains argileux identifiés au droit de F1-2019
 0 à 1,6 m/TN : argiles limono-graveleuses marron – 1,6 à 3,0 m/TN : argiles sablo-graveleuses rougeâtres

- **Formation 3 : Substratum calcaire**, identifié jusqu'à la base de SP109-2019 à 14 m/TN, soit 57,12 m NGF. Il s'agit du substratum calcaire reconnu sur l'ensemble de la zone d'étude.

❖ **En rive gauche**

Le **substratum calcaire (formation 3)** a directement été identifié depuis la surface, ponctuellement sous une couche d'argiles limoneuses de 30 cm d'épaisseur (F5-2019). En tête de formation, le substratum altéré est constitué de graves et blocs calcaires à matrice argileuse, identifiés au droit de tous les sondages effectués en rive gauche jusqu'au refus à 60 cm sous la surface.



Figure 23 : Graves et blocs calcaires à matrice argileuse reconnues en F4-2019

Les tableaux ci-dessous répertorient les profondeurs mises en évidence pour le toit des différentes formations au droit des différents sondages.

Tableau 7 : Cotes de base des différentes formations identifiées en rive droite

Sondage			Rive droite		
			F1-2019	SP9-2019	SP109-2019
Cote tête du sondage (m NGF)			71,22	71,06	71,12
Profondeur de la base (m NGF)	Terrain naturel				
	1	Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité	< 68,22 ⁽¹⁾	68,06	68,22
	2	Alternance argiles/calcaire	- ⁽²⁾	< 63,06 ⁽¹⁾	62,12
	3	Substratum calcaire		- ⁽²⁾	< 57,12 ⁽¹⁾

(1) Arrêt du sondage

(2) Arrêt du sondage dans la formation sus-jacente, ne permettant pas de reconnaître la présence éventuelle de cette formation

Tableau 8 : Cotes de base des différentes formations identifiées en rive gauche

Sondage			Rive gauche						
			F2-2019	F3-2019	F4-2019	F5-2019	SC3-2019	SP7-2019	SP8-2019
Cote tête du sondage (m NGF)			71,75	71,20	71,70	71,30	72,28	71,06	71,12
Profondeur de la base (m NGF)	Terrain naturel								
	1	Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité	..(1)						
	2	Alternance argiles/calcaire							
	3	Substratum calcaire	< 71,15 ⁽²⁾	< 70,60 ⁽²⁾	< 71,10 ⁽²⁾	< 70,50 ⁽²⁾	< 65,08 ⁽²⁾	< 64,27 ⁽²⁾	< 64,87 ⁽²⁾

(1) Formation absente

(2) Refus obtenu à la pelle mécanique

2.5.5. Essais d'identification

2.5.5.1. Résultats des essais réalisés

Au total, 26 échantillons (dont 4 en 2015) ont été prélevés au sein des fouilles réalisées à la pelle mécanique (20 échantillons remaniés) et des sondages carottés (6 échantillons intacts), ce qui a permis de caractériser la nature et l'état des sols, par la réalisation des essais suivants :

- 26 mesures de teneur en eau ;
- 26 identifications GTR, comprenant 26 analyses granulométriques, 22 essais au bleu de méthylène, et 4 mesures des limites d'Atterberg.

La plupart des échantillons ont été prélevés au niveau du pied amont de la digue et de la retenue (21 échantillons), et pour le reste : 1 échantillon dans le corps de digue existant, 2 échantillons sous la digue au niveau de la fondation de l'ouvrage actuel, 2 échantillons en rive droite, et 1 échantillon en rive gauche.

En 2015, les échantillons ont été prélevés sous le corps de digue, au niveau de l'ancien pied amont du barrage, qui a été repris lors des travaux de 2016. Les résultats sont tout de même présentés car ils donnent des informations sur les terrains situés sous le corps de digue.

Les échantillons étudiés sont de nature argilo-limoneuse à argilo-graveleuse et la plupart ont été prélevés au sein de la formation 1 (argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité). Des argiles et limons à passées rougeâtres ont également été prélevés au sein de la fouille F11-2019 et du sondage SC1-2019. Ces sols font penser aux argiles rouges de la formation 2 reconnues dans les sondages pressiométriques. De plus, des échantillons ont été prélevés en F7-2019 et F9-2019 dans un horizon qui pourrait correspondre au toit altéré des terrains calcaires (graves calcaires et des graves argileuses).

Les résultats de ces essais sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 9 : Résultats des essais d'identification sur sols prélevés au niveau du pied de digue amont en 2015 (Echantillons remaniés prélevés à la pelle mécanique)

ESSAIS D'IDENTIFICATION			Classification	Teneur en eau	Teneur en eau	Valeur au bleu	Granulométrie par tamisage										Limites d'Atterberg		
			11-300	94-050	94-050	94-068	94-056										94-051		
Sondages	Prof (m)	Nature	GTR	W% (0/10)	W% (0/20)	VBS	% de passant										WL%	IP	IC
							Dmax (mm)	50 mm	20 mm	5 mm	2 mm	400 µm	80 µm						
RF1 (PM1)	1.20	Argile légèrement limoneuse marron-ocre à quelques cailloux, cailloutis	A2h	23.1%	23.2%		30	100	100	96	93	87	73.9	48	25	0.99			
RF2 (PM2)	1.20	Argile légèrement sableuse ocre-beige à traces rouge, à cailloux, cailloutis, blocs	C1A2	16.3%	18.7%		64	90	87	84	82	68	45.7	34	16				
RF3 (PM3)	1.20	Argile légèrement sableuse marron-gris à cailloutis et rares cailloux	A3h	24.4%	24.4%		15	100	100	99	99	92	73.5	46	27	0.83			
RF3 (PM3)	1.40	Sable argileux brun, marron-ocre à cailloux, cailloutis	B6	13.2%	13.8%	1.97	36	100	95	68	45	26	17.6						

Tableau 10 : Résultats des essais d'identification sur sols prélevés au droit de la digue existante en 2019

Sondage	Profondeur (m/TN)	Type d' échantillon	Description	Teneur en eau	Analyse granulométrique				Essai au bleu	Limites d'Atterberg		Masse volumique humide	Classe GTR
				wn (%)	Dmax (mm)	< 50 mm (%)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)	VBS (g/100g)	wl (%)	wp (%)	ρ (kg/m3)	
Corps de la digue existante													
SC2-2019	1,0 – 2,1	Intact (sous gaine)	Argile gris beige à cailloutis	16,6	32	100	89,2	72,1	6,73	-	-	-	A3
Sous la digue existante : fondation													
SC2-2019	4,0 – 4,6	Intact (sous gaine)	Argile limoneuse à cailloutis brun verdâtre	19,5	20	100	94	69,7	5,17	-	-	-	A2
SC2-2019	5,0 – 5,6		Argile limoneuse à graves éparses, brun verdâtre	24,1	50	100	81,6	60,2	3,98		-	-	A2

Tableau 11 : Résultats des essais d'identification sur sols prélevés en 2019 au droit de la retenue et en amont de la digue

Sondage	Profondeur (m/TN)	Type d' échantillon	Description	Teneur en eau	Analyse granulométrique				Essai au bleu	Limites d'Atterberg		Masse volumique humide	Classe GTR
				wn (%)	Dmax (mm)	< 50 mm (%)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)	VBS (g/100 g)	wl (%)	wp (%)	ρ (kg/m3)	
Formation 1 : Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité													
F6-2019	0,5 – 1,1	Remanié (prélevé à la pelle)	Limon argileux brun à cailloutis	16,2	10	100	72,7	49,2	2,47	-	-	-	A1
F6-2019	1,1 – 2,1		Argile grise	22,8	20	100	96,5	84	6,06	-	-	-	A3
F8-2019	1,3 – 3,0		Argile limono- sableuse gris foncé	29,8	20	100	94,6	71,9	2,93	-	-	-	A2
F14-2019	0 – 2,3		Limon argilo- sableux verdâtre	20,7	10	100	98	74,5	2,58	-	-	-	A2
F15-2019	0,6 – 2,4		Argile brune verdâtre	26,6	10	100	99	91	4,66	-	-	-	A2
F16-2019	0,7 – 1,2		Sable limoneux gris	13	20	100	99,2	52,6	2,92	-	-	-	A2
F17-2019	0,4 – 1,2		Argile sableuse marron	19,5	20	100	97,6	62,6	5,41	-	-	-	A2
F18-2019	0 – 0,8		Argile limoneuse marron verdâtre	22,2	10	100	99,8	90,4	3,41	-	-	-	A2
F19-2019	0,5 – 2,3		Argile brune à quelques coquilles	22,5	5	100	99,8	88,7	4,18	-	-	-	A2
SC1-2019	2,4 – 2,7	Intact (sondage carotté,	Grave argileuse grisâtre	14,7	80	84,9	59,3	40,1	3,54	-	-	2180	C1A2
SC1-2019	2,7 – 3,0	échantillon stocké sous gaine)	Grave argilo sableuse bariolée et carbonatée	13,1	50	100	59,4	35,5	-	76	44	2230	A3
Argiles et limons à passées rougeâtres → Formation 2 ?													
F11-2019	0,6 – 1,2	Remanié (prélevé à la pelle)	Argile limoneuse rose beige carbonatée	35	10	100	98,8	96,4	5,6	-	-	-	A2
F11-2019	1,6 – 3,0		Argile rosâtre à graves éparses, carbonatée	17,2	80	96,1	90,2	80,7	5,7	-	-	-	C1A2
SC1-2019	2,4 – 2,7	Intact (sondage carotté, échantillon stocké sous gaine)	Grave argileuse grisâtre	14,7	80	84,9	59,3	40,1	3,54	-	-	-	C1A2

Graves argileuses carbonatées → Toit altéré des horizons calcaires ?													
F7-2019	0,3 – 1,2	Remanié (prélevé à la pelle)	Grave argileuse beige, carbonatée	4,7	100	83,6	32	19,4	1,08	-	-	-	C1B5
F9-2019	0,3 – 1,4		Grave argileuse beige	10,5	80	82,8	52,7	33,5	2,23	-	-	-	C1B6

Tableau 12 : Résultats des essais d'identification sur sols prélevés au niveau des rives en 2019

Sondage	Profondeur (m/TN)	Type d' échantillon	Description	Teneur en eau	Analyse granulométrique				Essai au bleu	Limites d'Atterberg		Masse volumique humide	Classe GTR
				wn (%)	Dmax (mm)	< 50 mm (%)	< 2 mm (%)	< 80 µm (%)	VBS (g/100g)	wl (%)	wp (%)	ρ (kg/m3)	
Formation 1 : Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité													
F1-2019	0 – 1	Remanié (prélevé à la pelle)	Argile sableuse brune, carbonatée	14,9	50	100	92,9	71	3,2	-	-	-	A2
F1-2019	1,6 – 3,0		Argile rosâtre à graves éparses, carbonatée	17,2	80	96,1	90,2	80,7	5,7	-	-	-	C1A2
F2-2019	0 – 0,6		Grave argileuse marron	7,1	80	90	37	21,6	1,79	-	-	-	C1B6

2.5.5.2. Analyses des résultats

Les échantillons prélevés au sein des fouilles à la pelle mécanique sont principalement des sols fins de nature argilo-limoneuse plus ou moins sableuse selon la classification GTR (Guide des Terrassements Routiers) :

- Plus de la moitié des échantillons prélevés (14 échantillons) sont de classe GTR A2. Il s'agit de sols fins ($D_{max} < 50$ mm), dont la proportion de fines ($< 80\mu m$) est supérieure à 35 %. Ces sols sont de nature argilo-limoneuse ($2,5 < VBS < 6$).
- Quelques échantillons de classe GTR A1 (2 échantillons) et A3 (3 échantillons) ont également été identifiés. Leurs caractéristiques granulométriques sont identiques aux sols de classe A2, mais leur teneur en argile est respectivement plus faible (A1 : sols sablo-limoneux) et plus élevée (A3 : sols argileux). Les matériaux de classe A1 sont sensibles à l'eau.
- Un échantillon est de classe GTR B6 : il s'agit de sables et graves argileuses sensibles à l'eau, dont la proportion de fines ($< 80\mu m$) est inférieure à 35 %, et pour lesquels l'influence des fines est prépondérante.

Des sols comportant des fines (proportion de particules $< 80\mu m$ supérieure à 12%) ainsi que des gros éléments ont également été identifiés :

- Quelques échantillons sont de classe C1A2 (3 échantillons) : Sols dont le D_{max} est supérieur à 50 mm, et dont le comportement peut être apprécié par celui de leur fraction 0/50 mm qui est de classe A2.

- Quelques échantillons sont de classe C1B6 (2 échantillons), et C1B5 (1 échantillon). De même que pour les sols de classe C1A2, le comportement de ces sols peut être apprécié par celui de leur fraction 0/50 mm.

Les sols fins prélevés peuvent présenter des variations de consistance lors de variations de leur teneur en eau. Quelques échantillons ont fait l'objet de mesures des limites d'Atterberg ; selon le diagramme de plasticité de Casagrande (voir figure ci-dessous), ces sols sont caractérisés comme des argiles et limons peu plastiques à très plastiques. Les sols dans un état plastique se déforment sous l'effet de charges faibles lorsque la teneur en eau est comprise entre leurs limites de plasticité et de liquidité.

Ce diagramme indique également une sensibilité des sols au retrait-gonflement, c'est-à-dire que des variations de volume peuvent avoir lieu suite à des variations de contraintes hydriques. Sur 4 échantillons, 3 présentent un potentiel de gonflement moyen à très élevé. De plus, les valeurs de bleu mesurées sur les autres échantillons indiquent en général une sensibilité moyenne au retrait-gonflement ($2,5 < VBS < 6$).

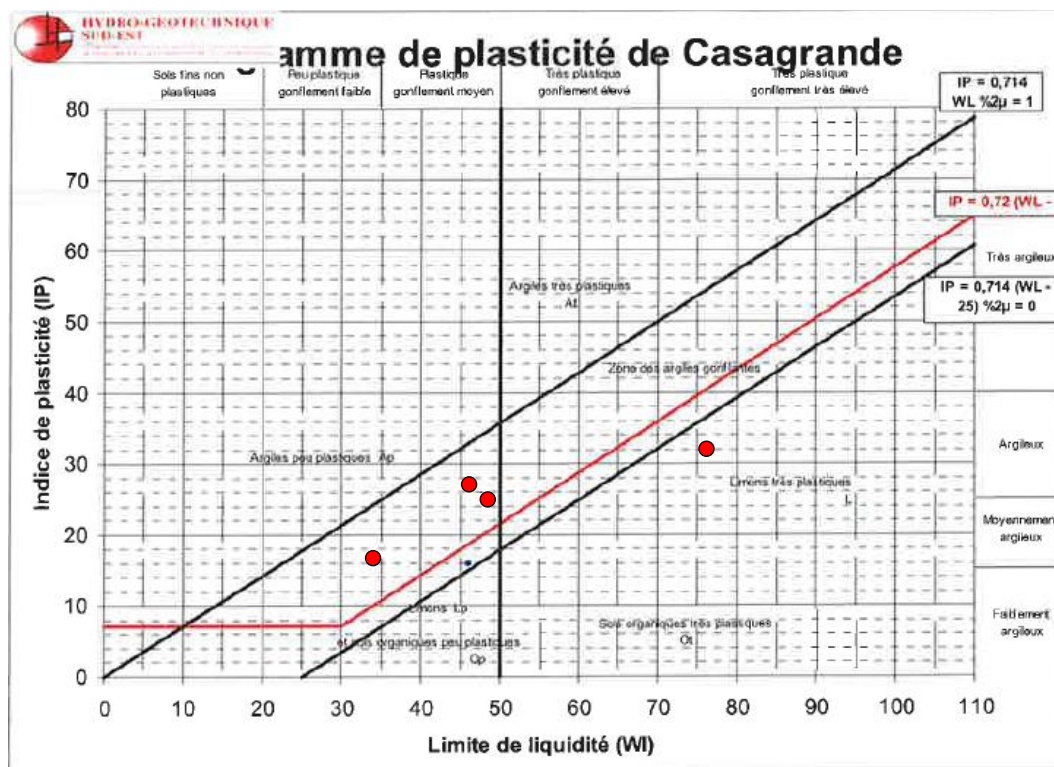


Figure 24 : Diagramme de plasticité de Casagrande pour les échantillons ayant fait l'objet de mesures des limites d'Atterberg (Issu du rapport G5, complété avec les données actuelles)

2.5.6. Etat hydrique et compactage

Au total, 8 essais de compactage Proctor et 8 essais d'Indice Portant Immédiat (IPI) ont été effectués sur des échantillons argilo-limoneux prélevés dans les fouilles à la pelle. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Résultats des essais Proctor et IPI effectués au sein de la formation 1

Sondage	Profondeur (m/TN)	Teneur en eau naturelle	Essai Proctor		Indice Portant Immédiat	Classe GTR	Etat hydrique
		w _n (%)	w _{OPN} (%)	pd _{OPN} (kg/m ³)	IPI (-)		
F1	1,6 – 3,0	17,3	17,2	1,76	14	A2	Moyen
F6	1,1 – 2,1	22,8	18,2	1,72	4	A3	Moyen
F8	1,3 – 3,0	29,8	17,5	1,74	1	A2	Très humide
F14	0-2,3	20,7	15,4	1,78	3	A2	Humide
F15	0,6 – 2,4	26,6	19,9	1,67	3	A2	Humide
F18	0 – 0,8	22,2	15,5	1,77	2	A2	Très humide
F19	0,5 – 2,3	22,5	21,5	1,58	3	A2	Moyen

Les échantillons prélevés sont dans un état hydrique moyen à très humide. Les sols qui se trouvent dans un état hydrique très humide sont inutilisables en l'état. Selon la situation météorologique, les sols de classe A2 dans un état hydrique moyen à humide peuvent être utilisés en remblai, soit en l'état après compactage, soit après traitement et compactage. Les conditions d'utilisation sont précisées dans le guide GTR².

2.5.7. Caractéristiques de compressibilité et de gonflement

Au total, 4 essais œdométriques ont été effectués sur les sols prélevés, dont 2 essais sur les sols prélevés dans et sous la digue (SC2-2019), et 2 essais sur les sols prélevés hors de l'emprise de la digue (SC1-2019). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : Résultats des essais œdométriques effectués au sein de la formation 1

Sondage	Profondeur (m)	Indices de compression et de gonflement				Gonflement		Contrainte de préconsolidation	Coefficients de consolidation					
									Selon méthode de Taylor			Selon méthode de Casagrande		
		Cc (-)	$\frac{Cc}{1 + e_0}$	Cs (-)	$\frac{Cs}{1 + e_0}$	σ'g (kPa)	Cg (-)		σ'p (kPa)	Cv1 (m²/s)	Cv2 (m²/s)	Cv3 (m²/s)	Cv1 (m²/s)	Cv2 (m²/s)
Sols situés hors de l'emprise de la digue actuelle														
SC1-2019	0 – 1,5	0,222	0,133	0,018	0,011	21	0,057	112	1,7.10 ⁻⁷	6,1.10 ⁻⁸	1,9.10 ⁻⁸	1,5.10 ⁻⁸	1,0.10 ⁻⁸	9,4.10 ⁻⁹
SC1-2019	1,5 – 2,3	0,312	0,167	0,035	0,019	-	0,082	39	2,2.10 ⁻⁸	2,7.10 ⁻⁸	2,7.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁸	1,7.10 ⁻⁸	1,7.10 ⁻⁸
Moyenne		0,267	0,150	0,027	0,015	-	0,070	76	9,4.10 ⁻⁸	4,4.10 ⁻⁸	2,3.10 ⁻⁸	1,5.10 ⁻⁸	1,4.10 ⁻⁸	1,3.10 ⁻⁸
Moyenne globale Cv									5,4.10 ⁻⁸			1,4.10 ⁻⁸		
Sols situés au sein de la digue actuelle et au niveau de la fondation														
SC2-2019	1,0 – 1,6	0,131	0,088	0,013	0,009	34	0,031	176	5,26.10 ⁻⁷	6,15.10 ⁻⁷	6,42.10 ⁻⁷	1,38.10 ⁻⁷	1,41.10 ⁻⁷	1,14.10 ⁻⁷
SC2-2019	4,0 – 4,6	0,193	0,122	0,030	0,019	-	0,046	128	5,39.10 ⁻⁷	6,11.10 ⁻⁷	1,23.10 ⁻⁶	6,63.10 ⁻⁸	7,86.10 ⁻⁸	5,62.10 ⁻⁸
Moyenne		0,162	0,105	0,022	0,014	-	0,039	152	5,3.10 ⁻⁷	6,1.10 ⁻⁷	9,4.10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁷	1,1.10 ⁻⁷	8,5.10 ⁻⁸
Moyenne globale									6.9.10 ⁻⁷			9.9.10 ⁻⁸		

² Guide technique : Réalisation des remblais et des couches de forme – Fascicules 1 et 2, SETRA-LCPC, 2000

Les sols testés sont moyennement compressibles. Les valeurs mesurées mettent en évidence une différence de compressibilité entre les sols situés hors de l'emprise de la digue existante, et ceux situés au niveau du corps de digue et au niveau de sa fondation : ces derniers semblent moins compressibles. Cette observation doit être prise avec prudence au vu du faible nombre d'essais, mais peut être expliquée par le fait que les sols situés sous la digue ont déjà subi des tassements sous l'effet du chargement par la digue existante.

Pour l'ensemble des échantillons, la contrainte de pré-consolidation est supérieure ou égale à la contrainte effective verticale : les sols en place sont normalement consolidés à sur-consolidés.

Deux essais mettent également en évidence une sensibilité des échantillons au gonflement.

2.5.8. Paramètres de cisaillement

Au total, 10 essais triaxiaux ont été effectués sur les sols prélevés sur site, dont :

- 5 essais de type consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle (CU+u), effectués sur les argiles de la formation 1 (4 essais) et de la formation 2 (1 essai) ;
- 5 essais de type consolidé drainé (CD), effectués sur les argiles de la formation 1 (4 essais) et du corps de digue (1 essai).

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il n'est pas observé de différence notable entre les échantillons provenant du corps de digue, des argiles de la formation 1, et des marnes argileuses rattachées à la formation 2.

Tableau 15 : Résultats des essais triaxiaux effectués au sein de la formation 1

Sondage	Profondeur (m)	Mode de prélèvement/conservation	Essai triaxial CU+u				Essai triaxial CD	
			Analyse selon critère 1 ⁽¹⁾		Analyse selon critère 2 ⁽²⁾		Analyse selon critère 1 ⁽¹⁾	
			Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)
Corps de digue argilo-limoneux								
SC2-2019	1,0 – 1,6	Sondage carotté – Gaine	-	-	-	-	24	24
Argiles limoneuses de la formation 1								
F14-2019	0 – 1	Carottier – Tube PVC	18	38	18	41	-	-
F15-2019	0 – 1	Echantillonneur shelby - Sac	29	94	27	17	-	-
F17-2019	0 – 1	Carottier – Tube PVC	22	39	23	32	-	-
F19-2019	0 – 1	Carottier – Tube PVC	26	24	26	26	-	-
SC1-2019	0 – 1,5	Sondage carotté - Gaine	-	-	-	-	26	38
SC1-2019	1,5 – 2,3	Sondage carotté - Gaine	-	-	-	-	19	35
SC2-2019	4,0 – 4,6	Sondage carotté - Gaine	-	-	-	-	27	11
SC2-2019	5,0 – 5,6	Sondage carotté - Gaine	-	-	-	-	22	23
Marne argileuse rougeâtre de la formation 2								
SC1-2019	3,15 – 3,75	Carottier – Tube PVC	15	20	16	21	-	-

(1) Critère 1 : $q_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$

(2) Critère 2 : $q_{\max} = (\sigma_1/\sigma_3)_{\max}$

Afin d'avoir une interprétation globale de l'ensemble des essais, l'ensemble des essais triaxiaux ont été reportés dans le diagramme de Lambe $p' = f(q')$, avec :

- $p' = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ correspondant à la contrainte moyenne,
- $q' = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ correspondant au demi-déviateur.

Dans ce diagramme, la droite de régression linéaire permet d'obtenir un couple de valeurs $C' - \Phi'$: la pente est égale à $\sin(\Phi')$, et l'ordonnée à l'origine à $C' / \cos(\Phi')$. Le graphique obtenu est présenté ci-dessous. Le coefficient de corrélation égal à 0,94 démontre la bonne répétabilité des essais et la bonne homogénéité des échantillons testés.

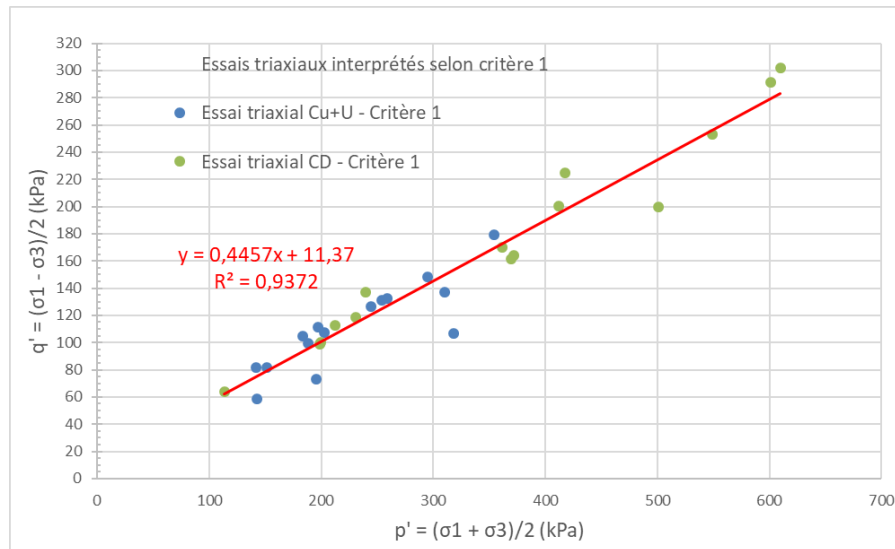


Figure 25 : Représentation des essais triaxiaux dans le diagramme de Lambe

On obtient pour les sols argilo-limoneux :

- $C' = 10 \text{ kPa}$
- $\Phi' = 26^\circ$

En ce qui concerne la cohésion non drainée des sols Cu, elle a été estimée par corrélation à partir de l'essai pressiométrique selon la formule proposée par Cassan $Cu = pl^* / 5,5$. En retenant une valeur de $pl^* = 250 \text{ kPa}$ au sein des sols argilo-limoneux, on obtient $Cu = 45 \text{ kPa}$.

2.5.9. Caractéristiques pressiométriques et pénétrométriques

2.5.9.1. Corps de digue

Les seuls essais pressiométriques réalisés dans le corps de digue ont été effectués en SP1-2008. En effet, en SP4-2019 et SP5-2019, les essais pressiométriques ont été effectués à partir de 2,5 m/TN pour caractériser les terrains de fondations.

La coupe du sondage SP1-2008 n'est pas disponible, mais des informations sont données par l'extrait de l'étude géotechnique de 2008. Les terrains rencontrés au droit du corps de digue sont des limons bruns et argiles brunes présentent des caractéristiques pressiométriques faibles, avec :

- $0,4 \leq pl^* \leq 0,5 \text{ Mpa}$
- $Em = 6 \text{ MPa}$

Le corps de digue a également été traversé par des sondages au pénétromètre dynamique, qui mettent en évidence des sols de compacité faible à très faibles :

- D'après l'extrait du rapport de 2008, le sondage PD1-2008 a mis en évidence des sols de compacité faible jusqu'à 0,8 m/TN, avec : $2 \leq Rd \leq 5 \text{ MPa}$. Le refus a été atteint à 1,4 m/TN, sans certitude sur l'horizon atteint (présence de blocs au sein des remblais / substratum calcaire ?).
- Sous la carapace en enrochements, les caractéristiques pressiométriques identifiées en PD1-2015, PD2-2015 et PD3-2015 jusqu'à 2,5 m/TN (soit 67,5 m NGF, correspondant à la cote supposée du TN initial) sont les suivantes : $0,5 \leq Rd \leq 5 \text{ MPa}$.

2.5.9.2. Formation n°1 : Argiles et limons sablo-graveleux de faible compacité

La formation a été traversée par les sondages effectués depuis la digue, en pied côté amont, et en rive droite, soit : SP1-2019 à SP6-2019, SP9-2019 et SP109-2019. Au total, 16 essais pressiométriques ont été effectués dans cette formation. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 16 : Résultats des essais pressiométriques dans la formation 1

Donnée	pl* (MPa)	Em (MPa)	Em/pl* (-)
Valeur minimale	0,1	1	5
Valeur maximale	0,8	16	33
Moyenne arithmétique	0,4	5	11
Moyenne harmonique	0,3	3	9
Moyenne géométrique	0,4	4	10
Fractile à 5%	0,2	2	6

Les caractéristiques pressiométriques de cette formation sont faibles à très faibles : comme indiqué par les histogrammes de répartition ci-dessous, environ 90% des valeurs de pression limite sont inférieures à 0,6 MPa (pressions limite), et environ 75 % des valeurs de modules pressiométriques sont inférieurs à 6 MPa. Les valeurs pressiométriques sont caractérisées par un rapport Em/pl* moyen situé de l'ordre de 10 à 11, soit des argiles et limons normalement consolidés.

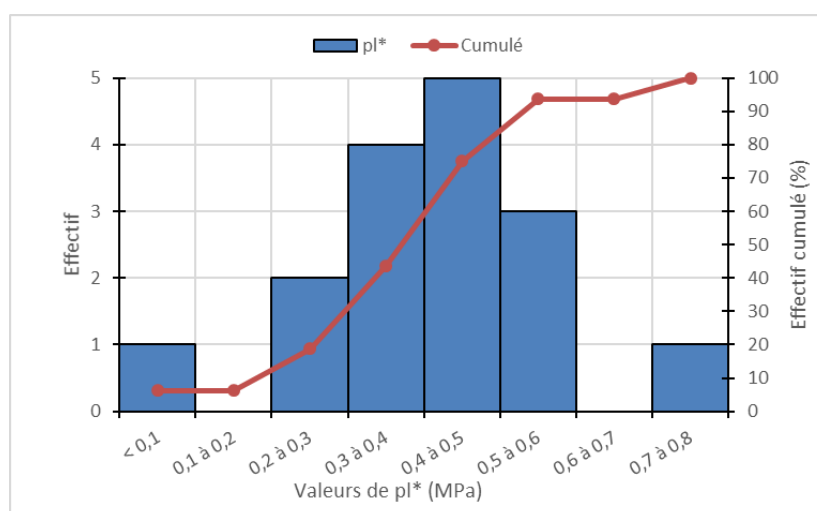


Figure 26 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 1

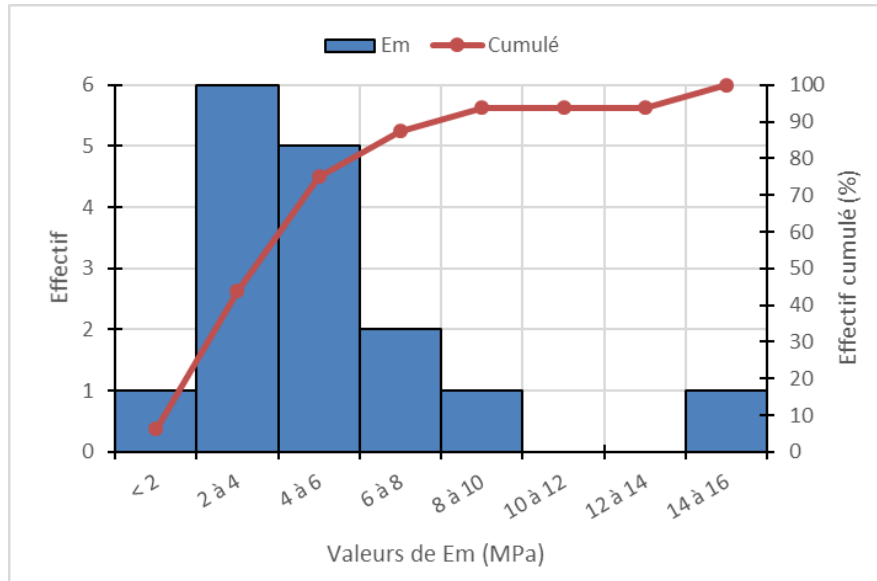


Figure 27 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 1

La formation a également été traversée par les sondages au pénétromètre dynamique PD1-2015 à PD3-2015, qui mettent en évidence des résistances de pointe q_d globalement faibles ($2 < q_d < 5$ MPa), voire très faibles ($q_d < 2$ MPa). Le refus a été atteint entre 3,2 et 5,4 m/TN, probablement au droit des horizons calcaires sous-jacents.

2.5.9.3. Formation n°2 : Alternance argiles rouges et calcaire blanc

Au total, 9 essais pressiométriques ont été effectués au sein de cette formation, dans les horizons argileux et dans les passages calcaires.

Les résultats des essais pressiométriques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Résultats des essais pressiométriques dans la formation 2

Donnée	pl* (MPa)	Em (MPa)	Em/pl* (-)
Valeur minimale	0,4	3	8
Valeur maximale	2,0	27	14
Moyenne arithmétique	1,2	13	11
Moyenne harmonique	0,9	9	10
Moyenne géométrique	1,1	11	10
Fractile à 5%	0,5	5	8

Les caractéristiques pressiométriques de cette formation sont moyennes. La répartition des valeurs pressiométriques est figurée sur les histogrammes ci-dessous et permet de dégager 2 tendances :

- Environ 30% des valeurs pressiométriques sont telles que : $0,5 \leq pl^* \leq 1,0$ MPa, et $10 \leq Em \leq 15$ MPa : principalement mesurées dans les horizons argileux ;
- Environ 30% des pressions limites et 20 % des modules pressiométriques sont tels que : $1,5 \leq pl^* \leq 2,0$ MPa, et $15 \leq Em \leq 20$ MPa, principalement mesurées dans les passages calcaires.

Le rapport Em/pl mesuré dans les horizons argileux est de l'ordre de 10 à 11.

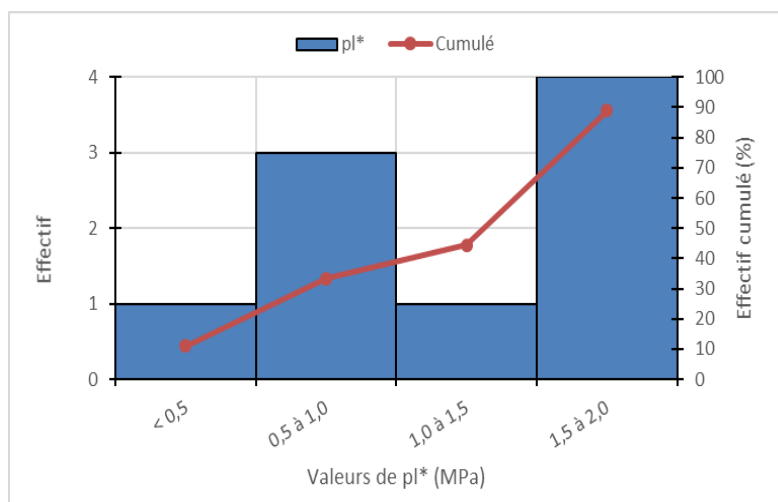


Figure 28 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 2

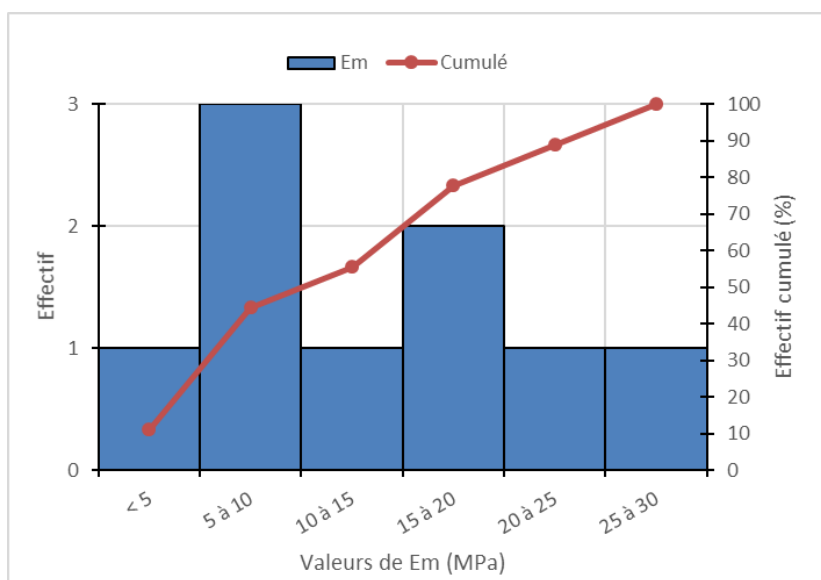


Figure 29 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 2

2.5.9.4. Formation n°3 : Substratum calcaire

Au total, 37 essais pressiométriques ont été effectués au sein de cette formation. Les résultats des essais pressiométriques sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Résultats des essais pressiométriques dans les alluvions sablo-graveleuse de résistance élevée

Donnée	pl^* (MPa)	Em (MPa)
Valeur minimale	3,1	29
Valeur maximale	5,0	1700
Moyenne arithmétique	4,7	403
Moyenne harmonique	4,6	200
Moyenne géométrique	4,6	289
Fractile à 5%	3,3	87

Les caractéristiques pressiométriques de cette formation sont élevées à très élevées. La répartition des valeurs pressiométriques est figurée sur les histogrammes ci-dessous. Les pressions limites sont réparties de façon homogène avec environ 87 % des valeurs mesurées comprises entre 4,5 et 5,0 MPa. La répartition des modules pressiométriques sont répartis de façon hétérogène dans une gamme de valeur très large, entre 30 et 1700 MPa.

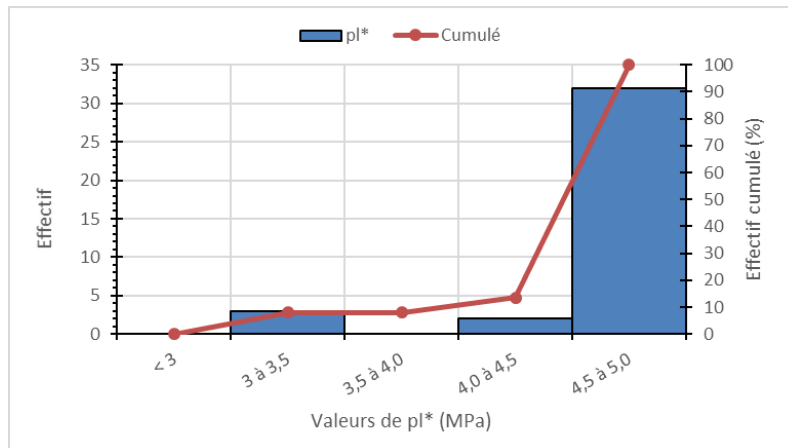


Figure 30 : Histogramme de répartition des pressions limites dans la formation 3

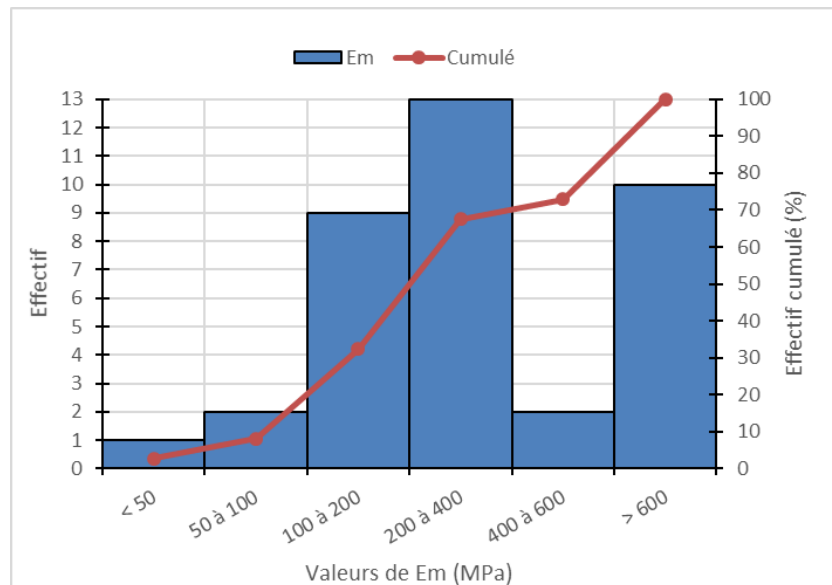


Figure 31 : Histogramme de répartition des modules pressiométriques dans la formation 3

2.5.10. Hydrogéologie

2.5.10.1. Niveau d'eau relevés lors des sondages

Lors de la réalisation des investigations en avril 2019, des niveaux d'eau sub-affleurants (entre 0,6 et 2,6 m/TN) ont été relevés dans la majorité des sondages effectués depuis la crête de la digue existante, au niveau du pied amont et depuis la retenue, soit des niveaux d'eaux compris entre 65,4 et 68,0 m NGF. En rive droite, des niveaux d'eaux ont été relevés entre 69,2 et 69,6 m NGF. En rive gauche, un niveau d'eau a été identifié à 67,7 m NGF.

Les niveaux d'eau relevés dans les différents sondages sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 19 : Arrivées d'eaux constatées dans les sondages effectués en crête de digue

Sondage	SP4-2019	SP5-2019	SP6-2019
Date	08/04/2019	10/04/2019	09/04/2019
Niveau d'eau (m/TN)	2,2	2,3	2,5
Niveau d'eau (m NGF)	67,8	67,7	67,5

Tableau 20 : Arrivées d'eaux constatées dans les sondages effectués depuis le pied amont de la digue

Sondage	RF1-2015	RF2-2015	RF3-2015	F6-2019	SP1-2019	SP2-2019	SP3-2019
Date	25/02/2015	25/02/2015	25/02/2015	15/04/2019	08/04/2019	09/04/2019	09/04/2019
Niveau d'eau (m/TN)	1,2	1,2	1,2	1,3	0,9	0,6	0,7
Niveau d'eau (m NGF)	-	-	-	66,3	66,9	67,1	67,0

Tableau 21 et Tableau 22 : Arrivées d'eaux constatées dans les sondages effectués depuis la retenue

Sondage	F7-2019	F8-2019	F9-2019	F10-2019	F11-2019	F12-2019	F13-2019
Date	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019
Niveau d'eau (m/TN)	-	2,0	1,4	1,5	-	1,4	1,9
Niveau d'eau (m NGF)	-	65,6	66,8	66,6	-	67,1	66,4

Sondage	F14-2019	F15-2019	F16-2019	F17-2019	F18-2019	F19-2019	F20-2019
Date	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019
Niveau d'eau (m/TN)	1,5	0,6	-	1,8	1,5	1,3	2,6
Niveau d'eau (m NGF)	67,2	68,0	-	66,8	66,7	67,8	65,4

Tableau 23 : Arrivées d'eaux constatées dans les sondages effectués depuis les rives

Sondage	Rive droite			Rive gauche				
	F1-2019	SP9-2019	SP109-2019	F2-2019	F3-2019	F4-2019	F5-2019	SP8-2019
Date	17/04/2019	12/04/2019	03/10/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	17/04/2019	16/04/2019
Niveau d'eau (m/TN)	-	1,9	1,5	-	-	-	-	4,2
Niveau d'eau (m NGF)	-	69,2	69,6	-	-	-	-	67,7

2.5.10.2. Suivi piézométrique

Un suivi piézométrique annuel a été effectué par Ginger au droit des piézomètres installés au sein des sondages SP2-2019, SP3-2019, SC1-2019 et SC3-2019. Le suivi a été réalisé entre le 28/06/2019 et le 03/06/2020, avec des relevés manuels tous les mois.

Le suivi piézométrique est synthétisé sur le graphique ci-dessous :

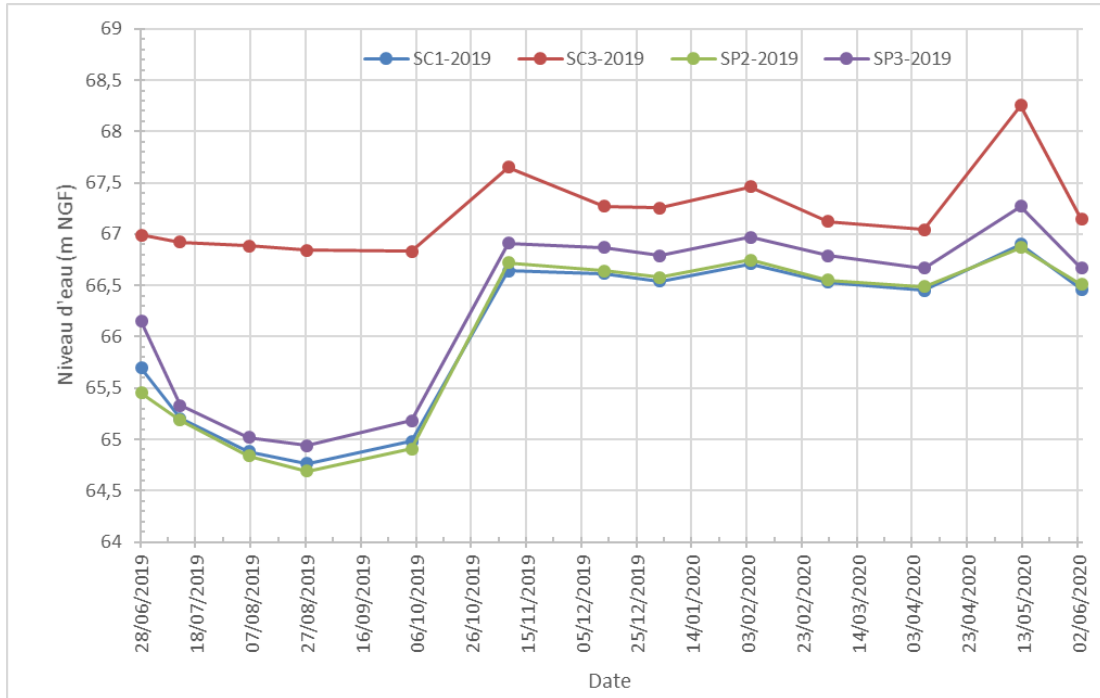


Figure 32 : Synthèse des relevés piézométriques effectués sur le site

Ces relevés mettent en évidence les éléments suivants :

- Un niveau d'eau situé à faible profondeur, voir sub-affleurant au droit du bassin G dans l'axe du thalweg, entre 0,4 et 3,0 m/TN, et situé entre 4,0 et 5,5 m/TN en rive gauche. La nappe baigne les argiles limoneuses et les horizons calcaires. Le battement maximal du niveau piézométrique sur la période de mesure est de 1,5 à 2,3 m.
- L'écoulement de la nappe depuis les rives (amont hydraulique) vers le lit de la rivière (aval hydraulique) : la nappe est drainée par le Rieumassel. En effet, des variations du niveau d'eau sont observées entre les différents piézomètres :
 - Au droit de SC1-2019 et SP2-2019, sondages situés au centre du thalweg : les niveaux sont identiques, à ± 20 cm
 - En SP3-2019, sondage situé dans la retenue vers la rive droite : le niveau d'eau est supérieur de 10 à 25 cm par rapport au centre du thalweg ;
 - En SC3-2019, sondage situé en rive gauche : en moyenne, le niveau d'eau est supérieur de 70 cm par rapport au centre du thalweg en période de hautes eaux, et de 1,9 m en période de basses eaux.
- Sur l'année 2019-2020, une période de basses eaux de juin 2019 à octobre 2019, et une période de hautes eaux de fin octobre 2019 à juin 2020 :

- En période de basses eaux, la nappe est située entre 64,7 et 65,7 m NGF au niveau de la retenue dans l'axe du thalweg (battement maximal de 75 cm à 95 cm), entre 64,9 et 65,3 m NGF vers la rive droite (battement maximal de 1,2 m), et vers 66,8 à 66,9 m NGF en rive gauche (battement maximal de 16 cm) ;
- En période de hautes eaux, la nappe est située entre 66,4 et 67,2 m NGF au niveau de la retenue (battement maximal de 40 cm à 60 cm), et entre 67,0 et 68,2 m NGF au niveau de la rive gauche (battement moyen de 60 cm).
- Le battement moyen entre période de hautes eaux et période de basses eaux est de l'ordre de 50 cm au droit de la rive gauche, et de 1,5 m au niveau de la rivière.

2.5.10.3. Perméabilité des terrains

Huit essais d'infiltration de type Matsuo ont été effectués au sein des fouilles à la pelle mécanique pour estimer la perméabilité locale des terrains superficiels. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 24 : Résultats des essais Matsuo effectués dans les fouilles à la pelle

Sondage	Profondeur testée (m/TN)	Cote testée (m NGF)	Lithologie	Formation	K (m/s)
F1-2019	2 – 3	68,2 – 69,2	Argiles sableuses à graveleuses	Argiles de la formation 2	$2,9.10^{-7}$
F6-2019	2 – 3	64,6 – 65,6	Argiles +- graveleuses	Argiles de la formation 1	$1,5.10^{-7}$
F9-2019	0,4 – 1,4	66,8 – 67,8	Graves argileuses	Argiles de la formation 2	$4,4.10^{-8}$
F10-2019	2 – 3	65,1 – 66,1	Argiles à argiles graveleuses	Argiles de la formation 2	$7,9.10^{-7}$
F13-2019	2 – 3	65,3 – 66,3	Argiles à argiles graveleuses	Argiles de la formation 1	Inexploitable
F14-2019	2 – 3	65,7 – 66,7	Argiles +- limoneuses	Argiles de la formation 1	
F18-2019	2 – 3	65,2 – 66,2	Argiles à passées graveleuses	Argiles de la formation 1	
F19-2019	2 – 3	66,1 – 67,1	Argiles +- limoneuses	Argiles de la formation 1	
Min (sur les valeurs de F1, F6, F9, et F10)					$4,4.10^{-8}$
Max (sur les valeurs de F1, F6, F9, et F10)					$7,9.10^{-7}$

Les perméabilités mesurées sont faibles à très faibles. Ces valeurs sont néanmoins à considérer avec prudence, car la durée de mesure limitée à 30 minutes n'a pas permis d'observer une descente du niveau d'eau dans la fouille, ou une descente très faible (de l'ordre de 1 à 3 cm).

Cinq essais de perméabilité de type Lefranc ont été effectués en forage, pour estimer la perméabilité horizontale des terrains superficiels. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs de perméabilité mesurées sont faibles à très faibles.

Tableau 25 : Résultats des essais Lefranc effectués en forage

Sondage	Profondeur testée (m/TN)	Cote testée (m NGF)	Lithologie	Formation	K (m/s)
SC1-2019	0,6 – 1,2	66,6 à 67,2	Argiles limoneuses à graves éparses	Argiles limoneuses de la formation 1	$2,0 \cdot 10^{-7}$
SC1-2019	2,0 – 3,0	64,8 à 65,8	Argiles ± graveleuses	Argiles graveleuses de la formation 1	$3,4 \cdot 10^{-6}$
SC2-2019	3,0 à 4,0	65,9 à 66,9	Argiles graveleuses		$8,2 \cdot 10^{-7}$
SC2-2019	4,6 à 5,6	64,3 à 65,3	Argiles gravelo-sableuses		$2,1 \cdot 10^{-8}$
SP109-2019	13 à 14	70,6	Calcaire altéré	Substratum calcaire	$5,1 \cdot 10^{-8}$
Min (sur les valeurs de F1, F6, F9, et F10)					$2,1 \cdot 10^{-8}$
Max (sur les valeurs de F1, F6, F9, et F10)					$3,4 \cdot 10^{-6}$

2.5.11. Synthèse du contexte géologique et hydrogéologique

Les observations géologiques, géotechniques, et hydrogéologiques sont résumées sur la coupe géologique de synthèse présentée en page suivante.

Les principaux points à retenir sont les suivants :

❖ D'un point de vue lithologique et géotechnique

- Une digue existante de 2,5 m d'épaisseur, dont la crête est située vers 70 m NGF et la base vers 67,5 m NGF, recouverte par une **carapace en enrochements calcaires liaisonnés** de 40 à 60 cm d'épaisseur, ponctuellement absente.
- Un **corps de digue** de nature argilo-limoneuse à argilo-graveleuse, difficilement différenciable des **terrains de fondation sous-jacents (formation 1)** de même nature. Ces sols sont plus ou moins compressibles et peuvent présenter une sensibilité à l'eau et au retrait-gonflement.
- Vers la rive gauche et localement au droit de la retenue, la présence sous les terrains argilo-limoneux, d'une **alternance entre des terrains argilo-sableux de couleur rougeâtre et de bancs calcaires (formation 2)**, faisant penser à une formation karstique.
- La présence d'un **substratum calcaire fracturé (formation 3)**, sous les formations 1 et 2, sub-affleurant en rive gauche.

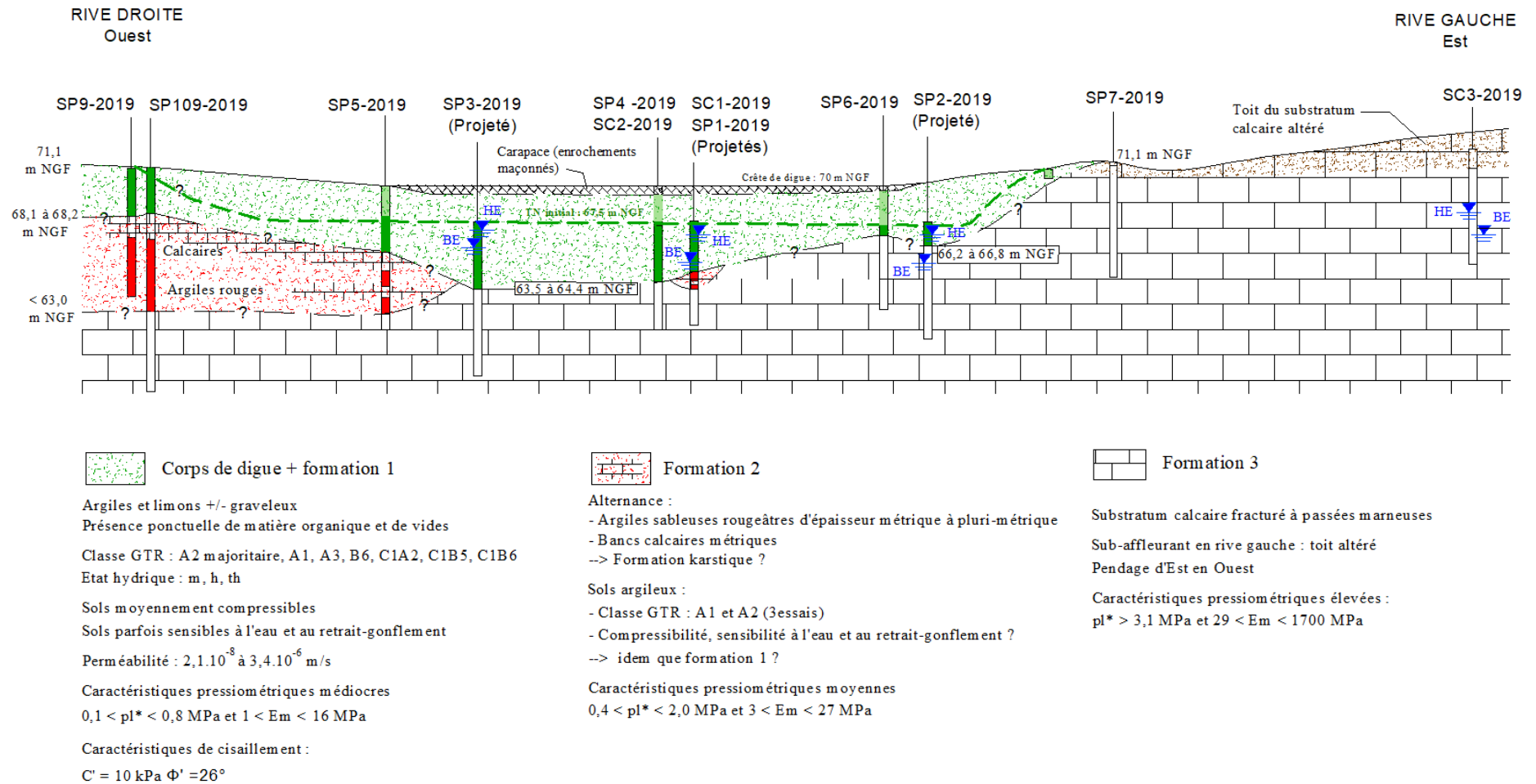


Figure 33 : Coupe géologique de synthèse dans l'axe longitudinal de la digue existante

❖ **D'un point de vue géométrique**

- Une **épaisseur variable** des sols compressibles. Par sols compressibles, il est considéré le corps de digue, la formation 1 et la formation 2. Les variations d'épaisseur sont illustrées sur la coupe de synthèse : de l'ordre de 5 m au droit de la digue et dans l'axe du thalweg (soit 3,5 m sans considérer le corps de digue), l'épaisseur augmente vers la rive droite (7,9 à au moins 8 m), et diminue vers la rive gauche.
- Le substratum calcaire est sub-affleurant en rive gauche, et présente un pendage d'Est en Ouest.

❖ **D'un point de vue hydrogéologique :**

- Des **perméabilités faibles à très faibles** dans les sols de la retenue.
- La **présence d'une nappe** s'écoulant des rives vers le thalweg, baignant les horizons calcaires et les sols argilo-limoneux, et soumises aux variations saisonnières :
 - Nappe à **faible profondeur au droit de la retenue, voir sub-affleurante** en période de hautes eaux (06/2019 à 06/2020 : HE : 0,4 à 1,4 m /TN – BE : 1,6 et 3,0 m) ;
 - Nappe vers 4 à 6 m/TN en rive gauche (06/2019 à 06/2020 : HE : 4,6 à 5,2 m /TN – BE : 5,3 à 5,5 m)
 - Soit des variations entre BE/HE de l'ordre 50 cm en rive gauche et 1,5 m au droit de la retenue.

Le modèle hydro-géotechnique pouvant être retenu à ce stade de l'étude est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 26 : Modèle hydro-géotechnique pouvant être retenu au stade AVP

Formation	Poids volumique	Caractéristiques pressiométriques			Paramètres de cisaillement		Caractéristiques œdométriques				Perméabilité
	γ (kN/m ³)	p_l^* (MPa)	E_m (MPa)	α (-)	C' (kPa)	Φ' (°)	σ'_p (kPa)	$C_c/(1+e_0)$ (-)	$C_s/(1+e_0)$ (-)	C_v (m ² /s)	
Carapace : enrochements	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corps de digue	20	-	-	-	10 ⁽⁴⁾	26 ⁽⁴⁾	76 ⁽⁵⁾ 152 ⁽⁶⁾	0,105 ⁽⁵⁾ 0,150 ⁽⁶⁾	0,014 ⁽⁵⁾ 0,015 ⁽⁶⁾	9,9.10 ⁻⁸ ⁽⁵⁾ 1,4.10 ⁻⁸ ⁽⁶⁾	2.10 ⁻⁸ à 3.10 ⁻⁶
1 : Argiles et limons de faible compacité	20	0,2 ⁽¹⁾ 0,4 ⁽²⁾	3 ⁽³⁾	2/3							
2 : Alternance argiles / calcaire	20	0,5 ⁽¹⁾ 1,1 ⁽²⁾	9 ⁽³⁾	2/3	-	-	-	-	-	-	-
3 : Substratum calcaire	20	3,3 ⁽¹⁾ 4,6 ⁽²⁾	200 ⁽³⁾	1/3	-	-	-	-	-	-	-

(1) Fractile à 5 %

(2) Moyenne géométrique

(3) Moyenne harmonique

(4) Valeurs obtenues avec report des essais triaxiaux dans le diagramme de Lambe

(5) Valeur moyenne sur les 2 essais œdométriques effectués au sein du corps de digue actuel et sous le corps de digue

(6) Valeur moyenne sur les 2 essais œdométriques effectués hors emprise de la digue actuelle

2.6. Contexte sismique

2.6.1. Cadre général

D'après le décret d'octobre 2010 n°1254, le projet est situé en zone de sismicité faible (zone 2). L'accélération maximale de référence au rocher agr est égale à 0,7 en zone de sismicité 2.

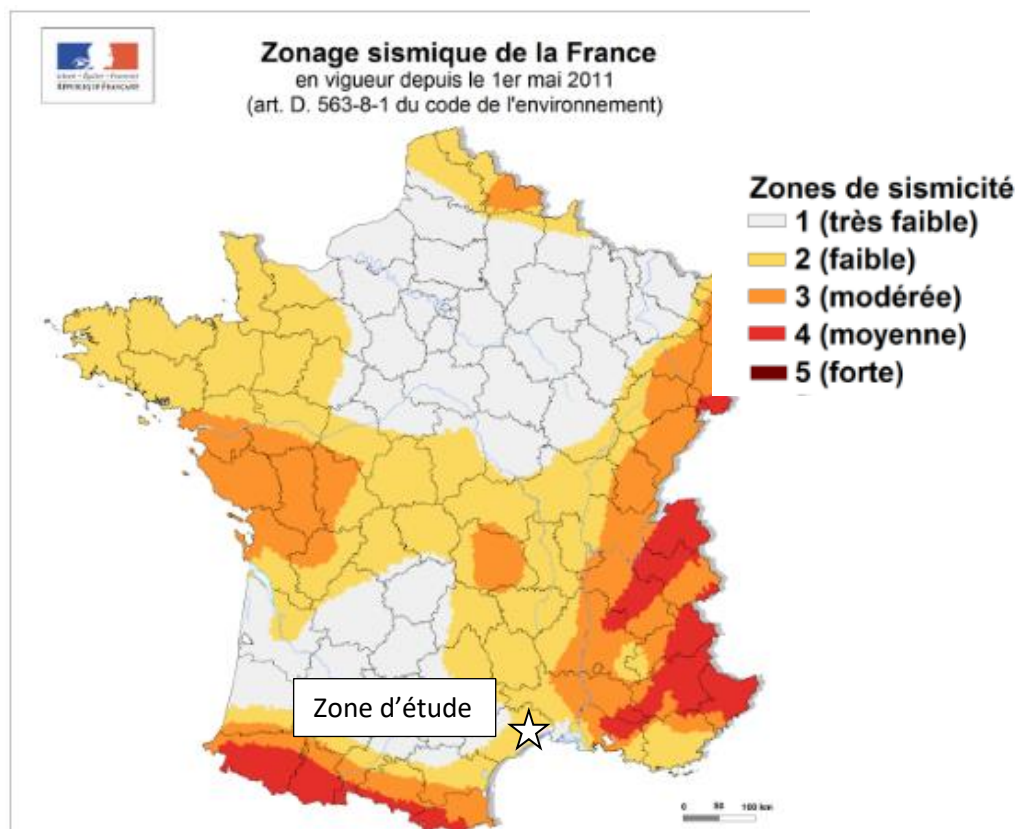


Figure 34 : Carte sismique de la France

D'après la norme NF EN 1998-1, la classe de sol pouvant être retenue au titre de l'Eurocode 8 est de type A (Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant).

D'après la norme NF EN 1998-5 (Eurocode 8), le phénomène de liquéfaction est décrit comme étant « une diminution de résistance au cisaillement et/ou rigidité due à l'augmentation, durant le mouvement sismique, de la pression de l'eau interstitielle dans les matériaux saturés sans cohésion, susceptible de produire des déformations permanentes significatives, voire une quasi-annulation de la contrainte effective dans le sol. »

Bien qu'une nappe soit présente au droit du site à faible profondeur, les sols fins cohésifs ne sont pas sujets à la liquéfaction.

2.6.2. Prise en compte du risque sismique

Selon l'Arrêté du 6 août 2018 dit « Arrêté technique barrages », la justification du comportement du barrage en situation de séisme n'est pas requise pour un barrage localisé dans une zone de sismicité 2.

2.7. Contexte foncier

L'emprise actuelle du barrage (y compris bassin de dissipation en aval) et de la retenue se situe sur plusieurs parcelles appartenant toutes à la commune de Grabels (cf. Figure 35 ci-dessous). L'emprise de la retenue étendue (cf. présentation du barrage rehaussé au paragraphe 0 ci-après) couvre par contre des parcelles privées.

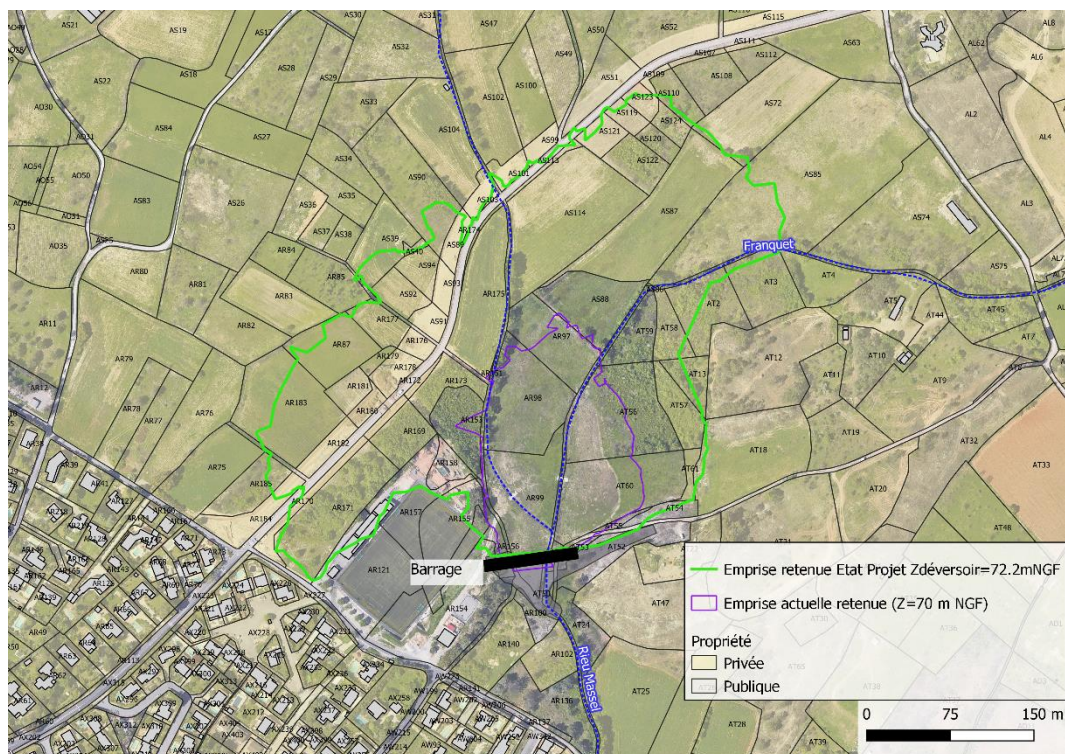


Figure 35 : Parcelles concernées par l'actuelle retenue et le barrage

Concernant le projet de réaménagement du Rieumassel, le cours d'eau traverse actuellement Grabels sur des parcelles publiques. Cependant certaines zones d'élargissement concernent également des parcelles privées. Celles-ci sont précisées dans le paragraphe 0 ci-après décrivant le projet.

2.8. Réseaux enterrés

Une déclaration de travaux a été faite pour connaître l'emplacement des réseaux dans la zone de projet. Le tableau ci-dessous synthétise les demandes faites et reçues.

Secteur	Concessionnaire	Type de réseau	Position / projet	Classe ³
Barrage	CESML	éclairage public	Présence dans la future retenue ou en limite de la retenue - pas de réseau au droit du barrage	C
Barrage	CESML	Réseaux HT / BT		C
Barrage	Orange	TL	présence dans la future retenue Pas de réseau au droit du barrage	B, C
Barrage	MMM Pole Piémont et Garrigues	EU	non concerné	
Rieumassel	Hérault Telecom	TL	Pont de la Route de Montpellier uniquement	C
Rieumassel	MMM - Régie des eaux	EA	Sur les chaussées publiques - non directement concerné + traverse le cours d'eau mais entre les zones de recalibrage identifiées	NR
Rieumassel	MMM - Fibre Telecom	TL	Pont de la Route de Montpellier uniquement	NR
Rieumassel	CESML	éclairage public	Ponts de la Route de Montpellier et des écoles uniquement	C
Rieumassel	CESML	Réseaux HT / BT	Traversée du cours d'eau sur deux secteurs, au niveau des élargissements 1 et 3 en plus des ponts	C
Rieumassel	Orange	TL	Ponts de la Route de Montpellier et des écoles uniquement	B
Rieumassel	MMM Pole Piémont et Garrigues	EU	non concernés	
Rieumassel	GRDF	GA	Pont de la Route de Montpellier uniquement	A, B
Rieumassel	ILIAD	TL	non concerné	
Rieumassel	Altice - SFR	TL	Pont de la Route de Montpellier uniquement	A
Rieumassel	Altice - SFR - FTTH	TL	Pont de la Route de Montpellier uniquement	C
Rieumassel	Altice - COMPETEL	TL	non concerné	C
Rieumassel	Veolia	EU	Réseaux bordent le cours d'eau + traversé sur plusieurs secteurs	C
Rieumassel	Ville de Grabels	Non répondu à date		

Tableau 27 : Etat des réponses des concessionnaires de réseau présents à proximité du site du projet

Aucun réseau n'est présent au droit du barrage ou dans son emprise proche.

Les cartographiques suivantes précisent approximativement le positionnement des réseaux concernés par le projet sur le Rieumassel (dans la limite des retours obtenus à

³ La classe permet de caractériser le niveau de qualité de la connaissance de l'emplacement des réseaux, selon l'article 1^{er} de l'arrêté « DT-DICT » du 15 février 2012. Il existe trois classes de précision, la classe A correspondant à une connaissance précise du positionnement du réseau, la classe C a une connaissance incertaine (supérieure à 1,5 m).

date). Les tracés ne représentent pas les réseaux dans leur intégralité, mais seulement au droit du projet.

A ce jour, un déplacement de réseau EU sur le pont des écoles est éventuellement à prévoir. L'utilité du maintien de ce réseau est à vérifier au préalable. Il est possible qu'il soit raccordé uniquement à la parcelle 209, parcelle acquise par la Métropole dans la cadre du projet et sur laquelle l'habitation a été détruite.

Les réseaux situés dans le fond du lit du cours d'eau seront protégés.

Des levés topographiques sur les réseaux manquants sont en cours. Ils pourront conduire à adapter le programme de travaux en fonction de la profondeur de ces derniers.

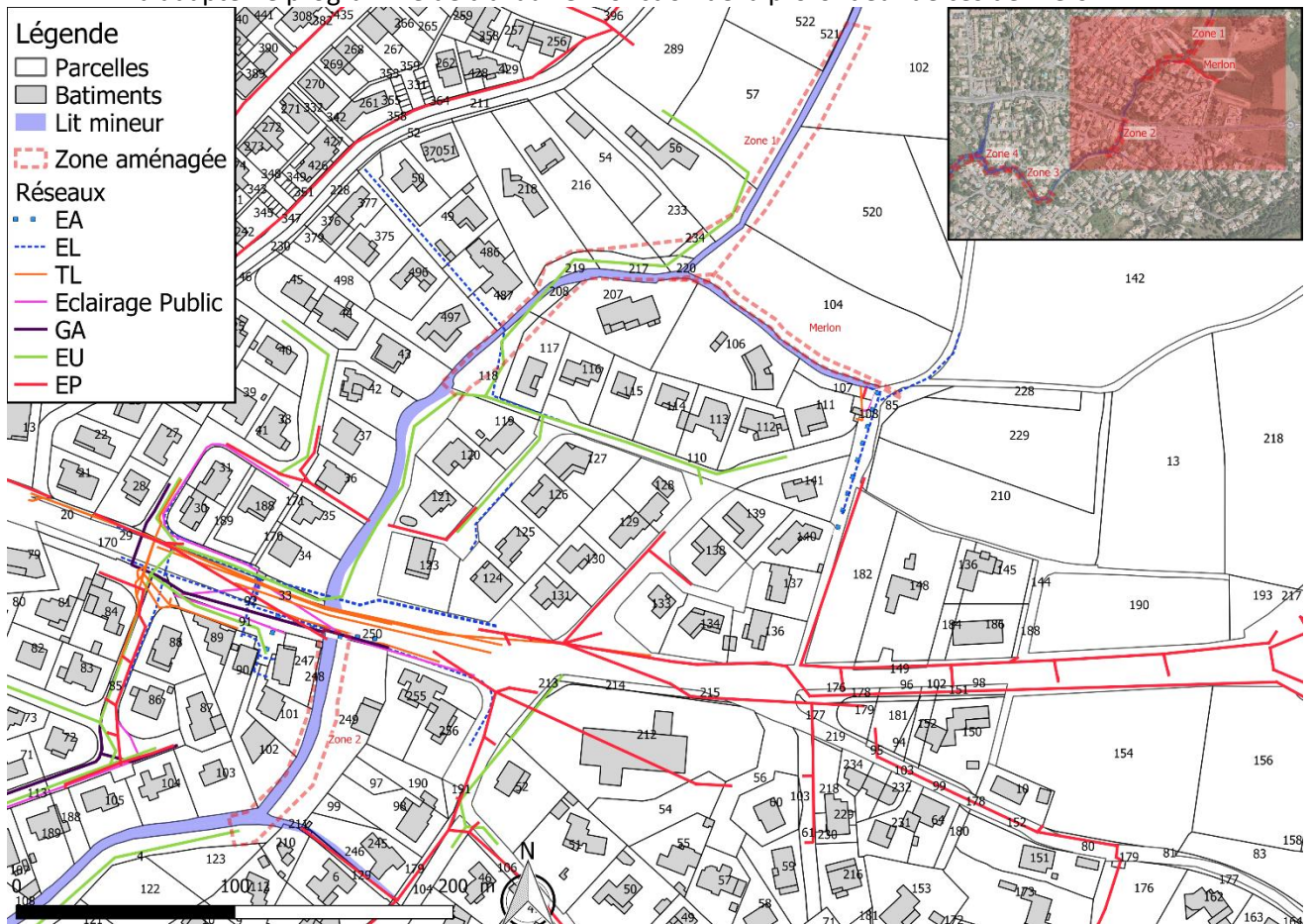


Figure 36 : Tracé des réseaux sur les zones 1 et 2

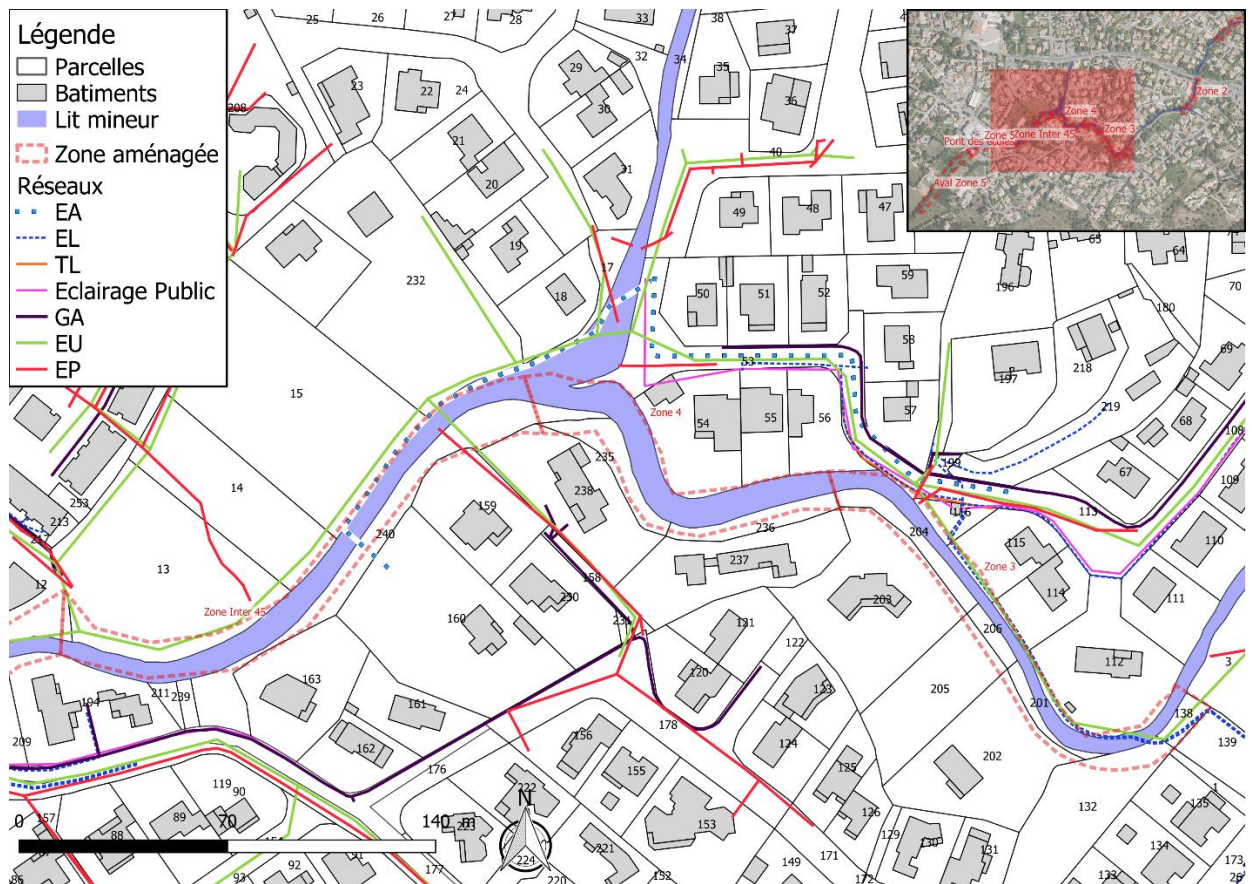


Figure 37 : Tracé des réseaux sur les zones 3, 4 et intermédiaire 4-5

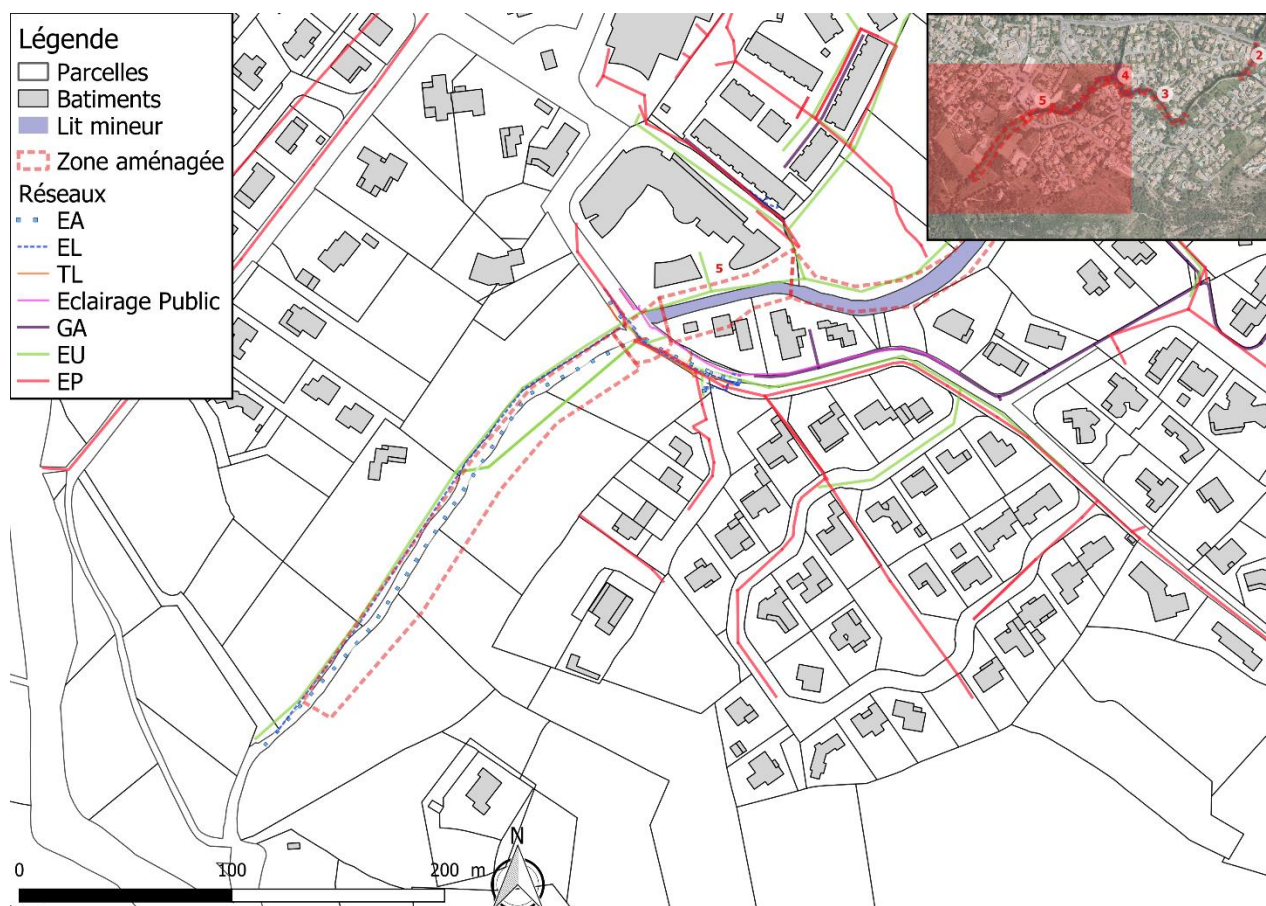


Figure 38 : Tracé des réseaux sur la zone 5 et plus en aval

Des levés topographiques des réseaux présents au niveau du pont des écoles ont été réalisés. Ils sont présentés en Annexe 3.

2.9. Synthèse des enjeux sur le milieu naturel

Ce paragraphe présente une synthèse des principaux enjeux écologiques pouvant être impactés par le projet (barrage et aménagement du Rieumassel).

Les informations suivantes sont issues du rapport Aménagement du Rieumassel Grabels Etat initial – ECO-MED – août 2018.

2.9.1. Connexion au réseau écologique

L'actuelle retenue du barrage est classée en zone humide, dite « Boisements de l'Arbre Blanc » (K12-01) dans le SAGE. Bien qu'inclue dans la zone d'investigations de l'étude ECOMED, ses caractéristiques fonctionnelles en tant que zone humide n'ont pas été étudiées à ce stade.

La Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I Vallée de la Mosson de Grabels à Saint Jean-de-Védas est attenante à la zone d'étude. Elle englobe la Mosson à sa confluence avec le Rieumassel. D'autres ZNIEFF et périmètres classés sont à proximité du projet mais la distance est au minimum de 4 km. Le projet n'aura donc pas d'incidence sur ces sites remarquables.

2.9.2. Habitats

Les habitats naturels sont dans leur ensemble plutôt dégradés et ont un historique très marqué par les activités anthropiques. Une partie d'entre eux a été remplacée par l'urbanisation et près de la moitié sont encore employés pour l'agriculture.

Deux habitats présentent un enjeu local de conservation modéré :

- Une partie de l'actuelle retenue du barrage a été incendiée en 2017. Cela va permettre le développement de nouvelles espèces floristiques par l'ouverture du milieu. Pour conserver son cycle, il est préconisé de mettre en place une signalétique pour le cheminement des engins de chantier afin qu'ils contournent la zone.
- La pelouse xérique, située en rive gauche à l'aval du barrage. Sa surface est faible, de l'ordre de 0,14 ha, son évitement ne constituera pas une contrainte très importante.

2.9.3. Faune

2.9.3.1. Les oiseaux

Les enjeux sur les oiseaux sont globalement faibles à modérés. Les observations majoritaires concernent des espèces liées aux boisements ou milieux périurbains avec des enjeux faibles. On note la présence d'arbres à cavités qui permettent l'accueil d'espèces à enjeu modéré.

2.9.3.2. Les mammifères

Les chiroptères constituent un enjeu marqué sur la zone d'étude. Une activité très forte à forte d'une espèce à enjeu local de conservation très fort a été mise en évidence au niveau de la ripisylve au nord de la zone d'étude (retenue du barrage). Le nord et le sud de la zone d'étude (en aval du pont des écoles) constituent potentiellement des territoires de chasses attractifs pour un cortège de chiroptères diversifiés.

Le Rieumassel joue potentiellement un rôle en tant que corridor de déplacement pour les chiroptères (d'autres corridors proches sont toutefois moins dégradés et doivent donc jouer un rôle plus important).

2.9.3.3. Les reptiles

5 espèces ont été identifiées dont une présente un enjeu de conservation modérée. Deux espèces à enjeu modéré sont suspectées à l'échelle de la zone d'étude. Les habitats hétérogènes de la zone d'étude sont propices à l'expression d'un cortège herpétologique diversifié.

2.9.3.4. Les amphibiens

Le secteur est très favorable au cycle de vie des amphibiens, par la présence du Rieumassel et d'affluents, ceinturés par des habitats attractifs. Parmi les huit espèces inventoriées, trois présentent un enjeu de conservation modéré (les autres étant des espèces à enjeu faibles).

2.9.3.5. Les poissons

La faune piscicole n'a pas fait l'objet d'un inventaire complet. Néanmoins, une espèce à fort enjeu de conservation a été détectée dans la partie sud du Rieumassel, l'anguille européenne. Les travaux seront préférentiellement planifiés pendant la période de dévalaison pour ne pas perturber son cycle.

2.9.3.6. Les invertébrés

La zone d'étude présente une mosaïque de milieux ouverts et arborés intéressants, favorables aux invertébrés. Cependant, ce sont souvent des patches d'habitats résiduels n'assurant plus une bonne fonctionnalité écologique (fragmentation liée à l'urbanisation). Une espèce à enjeu modéré avérée a été identifiée au sud de la zone d'étude et une est suspectée.

2.9.4. Flore

Bien que les milieux soient favorables, aucun taxon à enjeu n'a été avéré à l'heure actuelle sur la zone d'étude et aucune potentialité n'est à signaler.

2.9.5. Synthèses des enjeux écologiques

La carte ci-dessous synthétise les enjeux liés aux habitats, à la flore et à la faune présents sur la zone d'étude.

Les principaux enjeux semblent être liés aux arbres-gîtes présents au niveau de la retenue et sur l'aval de la zone d'étude, représentant des abris potentiels ou avérés pour l'avifaune et les chiroptères.

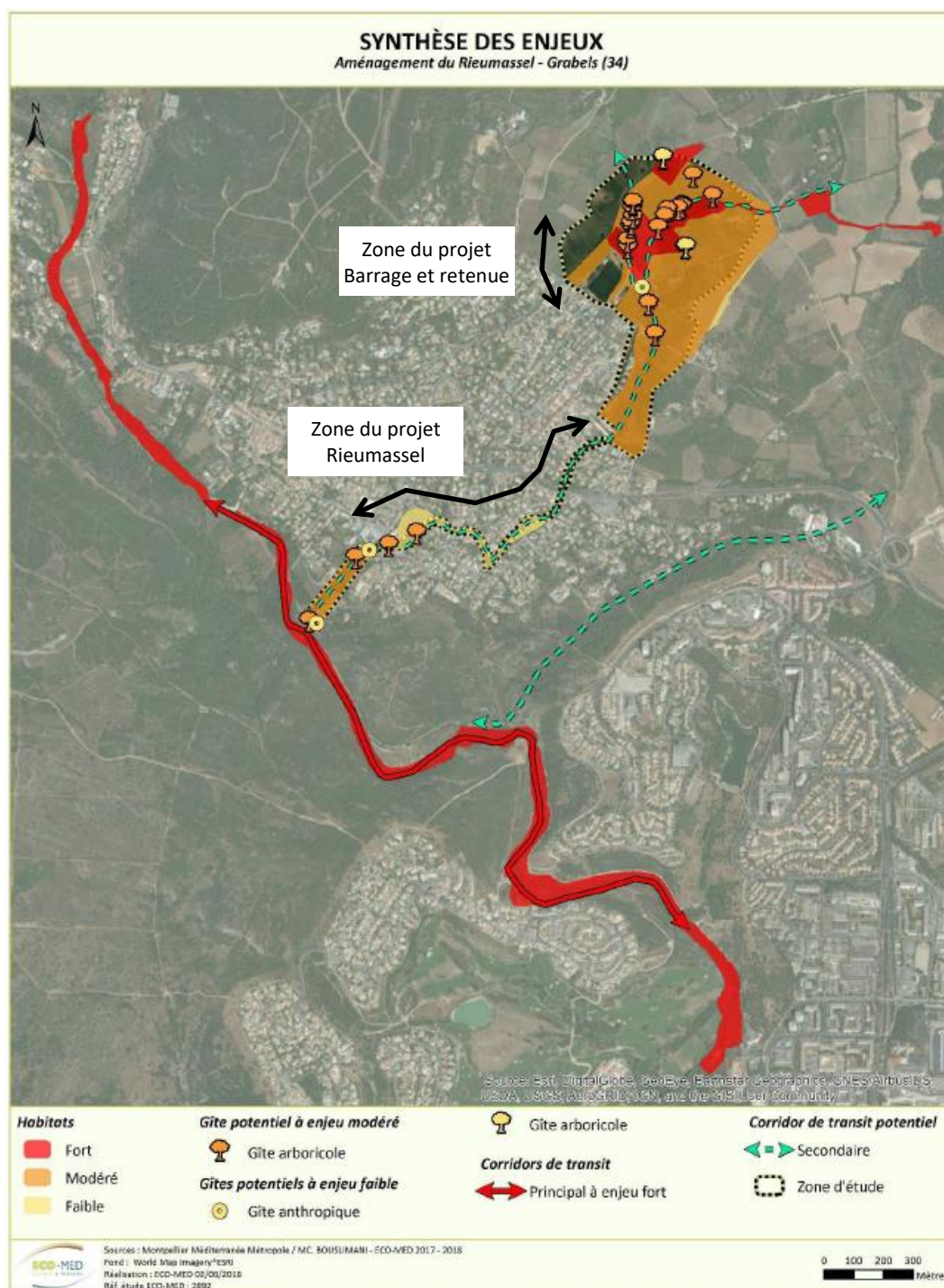


Figure 39 : synthèse des enjeux écologiques

2.9.6. Contraintes pour la réalisation du projet

2.9.6.1. Barrage et retenue

La zone humide située en amont du barrage constitue un secteur sensible. L'incidence des travaux sur ce milieu devra être abordée précisément (ECOMED). Il conviendra de vérifier que les informations concernant la fonctionnalité de la zone sont connues et peuvent être fournies par le SYBLE.

Les périodes de sensibilités des espèces à enjeu présentes sur cette zone sont précisées dans la figure ci-dessous⁴. La période Août à Février – Mars est la plus favorable pour la réalisation des travaux d'un point de vue écologique.

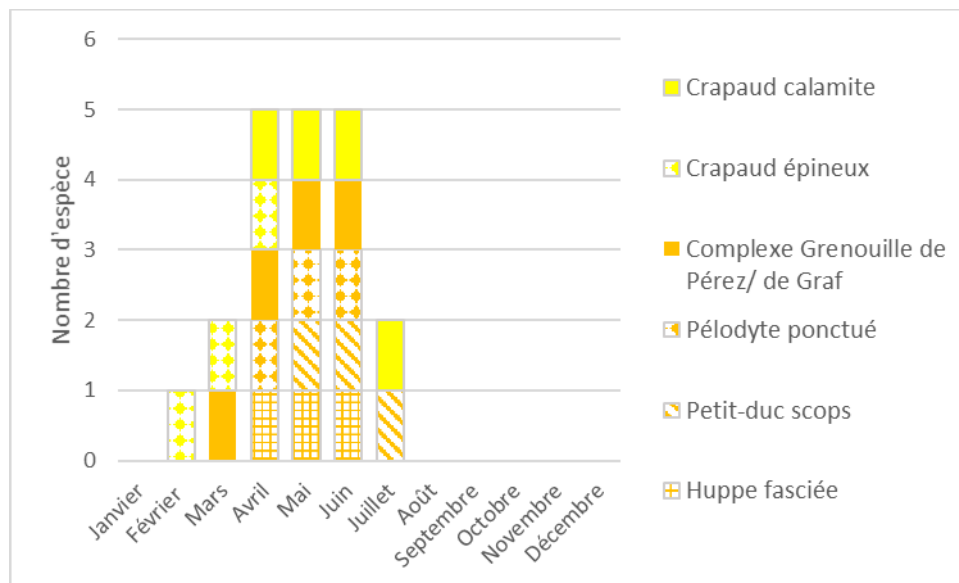


Figure 40 : Périodes de sensibilité des espèces au niveau du barrage et de la retenue

2.9.6.2. Rieumassel

Les principaux enjeux sur le Rieumassel proviennent des chauves-souris et de la présence de l'anguille. Les arbres le long de la ripisylve sont également importants pour d'autres espèces comme les oiseaux cavernicoles et les insectes. Les arbres avec des cavités et les arbres morts sont à conserver au maximum au vu de leurs fonctionnalités écologiques.

Les espèces de chauve-souris représentent un enjeu fort sur le projet. Les arbres-gîtes identifiés dans la retenue et dans les zones aval du Rieumassel sont des emplacements privilégiés pour ces espèces protégées. Le graphique suivant regroupe les informations connues sur les périodes de sensibilité des différentes espèces de chiroptères. Dans le graphique suivant, toutes les espèces sont présentes bien qu'elles n'utilisent pas la zone de projet de la même manière. Les enjeux étant forts quasiment toute l'année, il conviendra d'adapter les travaux, en proposant un phasage géographique par exemple, pour limiter les impacts.

⁴ A noter en termes de méthodologie pour l'établissement de ces graphes :

- Concernant les enjeux, faibles, seuls les amphibiens et reptiles ont été pris en considération car sur une richesse particulière de la zone d'étude sur ces taxons.
- Les périodes de sensibilité sont présentées en prenant en compte les espèces avérées et potentielles (supposées mais non observées).

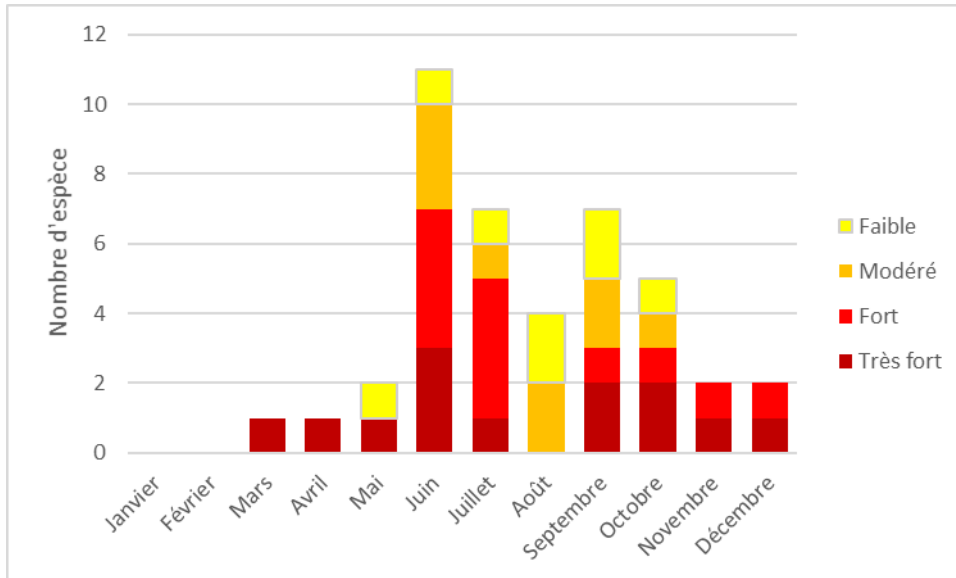


Figure 41 : Périodes de sensibilité des chiroptères

L'anguille européenne a un cycle de vie pluriannuel. Les travaux risquent donc d'impacter une partie de la population d'anguille locale même si les périodes de sensibilité sont respectées (mars à août). Une pêche de sauvegarde permettrait de limiter les impacts résiduels.

A ce stade, aucun inventaire exhaustif des espèces piscicoles n'a pas été réalisé. Suivant les résultats de l'étude d'incidence, un dossier de dérogation d'espèces protégées pourra être demandé par la DREAL.

2.10. Contexte paysager

Le Rieumassel apparaît dans sa traversée de Grabels comme une trame bleue identifiée dans le SCOT. Le PLU de Grabels précise également que « la Mosson et ses affluents sont des espaces majeurs à préserver et à valoriser pour leurs qualités tant écologiques que paysagères ». Un accent est mis dans ce document sur la volonté de renforcer les liens entre la ville et le cours d'eau (percées visuelles, cheminements piétons, aménagement des zones d'expansion des crues, ...).

2.10.1. Le bassin G

Le site du bassin G est situé sur le cours d'eau du Rieumassel, au resserrement d'un relief formant un verrou, à la confluence entre le Rieumassel et le ruisseau du Franquet. Le barrage actuel ferme ce verrou.

Il est implanté dans la continuité d'un ancien chemin de crête, reliant le territoire d'Est en Ouest.

Le bassin se situe également aux lisières de la ville, entre quartier résidentiels, terrain de foot et vallée agricole.

Les enjeux paysagers identifiés à ce stade sont les suivants :

- Articuler plaine agricole et ville,
- Mettre en scène la plaine depuis la lisière urbaine (belvédère),
- Fondre le bassin dans le paysage agricole.

2.10.2. Le Rieumassel

Le Rieumassel est le seul axe vert et bleu traversant le tissu urbain communal du Nord au Sud. Il peut constituer une potentialité de trame douce et un corridor écologique.

Les enjeux paysagers identifiés à ce stade sont les suivants :

- Augmenter la biodiversité,
- Lutter contre la pollution,
- Améliorer la qualité paysagère des berges du Rieumassel.

2.10.3. Le Franquet

Le franquet est en affluent rive gauche du Rieumassel. Leur confluence se situe en amont immédiat du barrage. Il draine un bassin versant de 1,4 km².

Le projet n'impacte pas ce cours d'eau. Des mesures compensatoires pourront cependant être réalisées sur ce dernier. Elles seront définies dans le dossier de demande d'autorisation environnementale.

2.11. Autres contraintes

2.11.1. Régime hydrologique du Rieumassel

Le Rieumassel est un cours d'eau non pérenne soumis au régime méditerranéen (précipitations brutales et intenses et de longues périodes de sécheresse durant l'été).

Ainsi, pour la réalisation des travaux, les périodes propices à la formation d'évènements orageux intense de type cévenols sera impérativement évitée (septembre à décembre inclus).

2.11.2. Risques naturels

Le site étudié est répertorié en **Zone de sismicité faible (zone 2)**, depuis le 1^{er} mai 2011, d'après le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010.

3. Description du projet

3.1. Objectifs du programme et présentation du projet

Plusieurs propositions d'aménagement ont été étudiées dans le cadre des études ayant abouti à l'élaboration du PAPI Lez et notamment l'*Etude des risques inondation du Rieumassel sur la commune de Grabels* réalisée par EGIS Eau en septembre 2015. Le scénario finalement retenu à l'issue de l'analyse coût-bénéfice est le suivant :

- Agrandissement du bassin G de façon à porter son volume à 160 000 m³ pour une cote maximale de retenue de 72,2 m NGF,
- Suppression de 5 goulets d'étranglement identifiés sur le Rieumassel en aval du bassin G, entre la confluence avec le Redonnal à l'amont et le pont des écoles à l'aval,
- Reprise du pont des écoles.

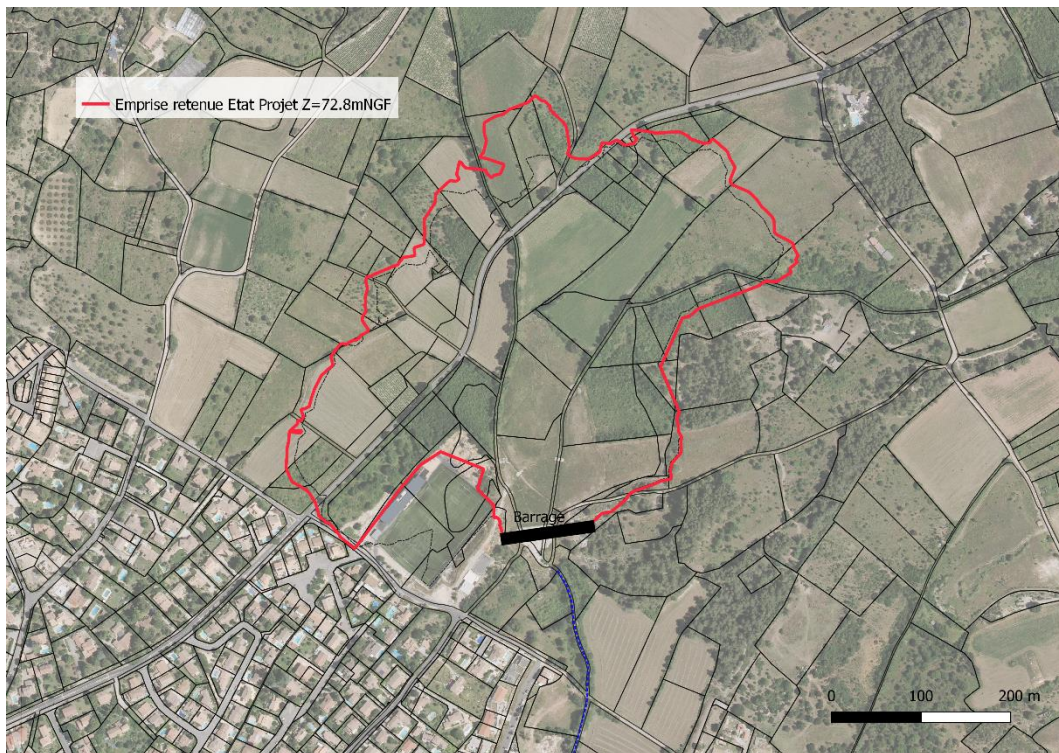


Figure 42 : Visualisation du barrage et de la retenue en état projet (NPHE)

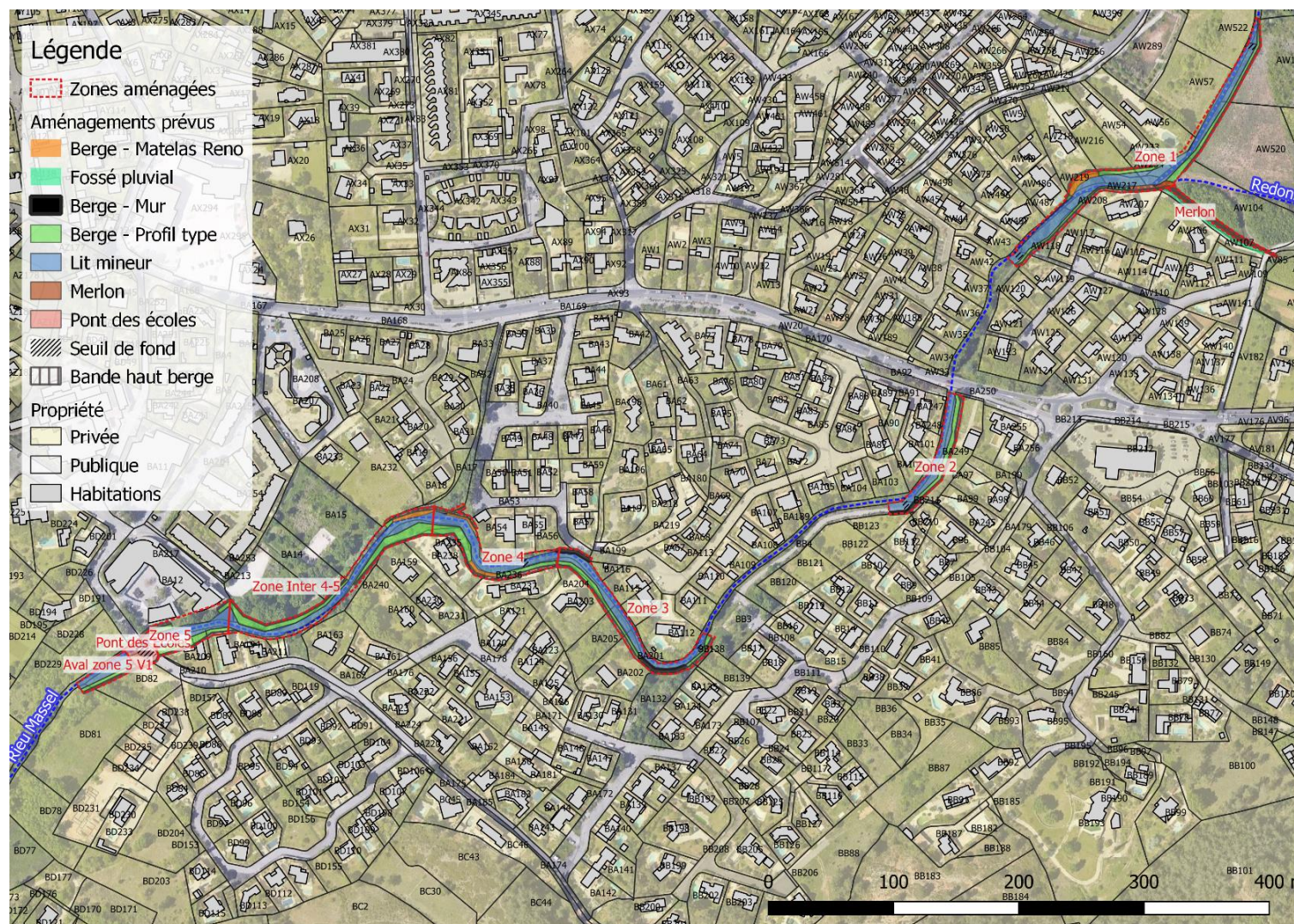


Figure 43 : Vue en plan globale des aménagements prévus sur le Rieumassel

A noter les points suivants :

- Le pont de la route de Montpellier est limitant. Ce pont devrait être redimensionné avec une capacité plus importante. Cet aménagement n'a pas été retenu dans le présent programme d'aménagement (hors compétence inondation) mais un projet de réfection du pont est prévu à moyen terme. Ainsi, dans la présente étude, il est considéré une situation à moyen terme où le pont n'aurait pas d'influence sur les écoulements (de façon à dimensionner un aménagement du Rieumassel en cohérence avec ce projet futur).
- Dans le programme d'aménagements de 2015, le recalibrage du pont des écoles n'était pas clairement mentionné. Aussi, il n'avait pas été intégré au marché initial et a été ajouté récemment au programme, à la suite d'échanges avec Montpellier Méditerranée Métropole et EGIS EAU. Cet aménagement est indispensable pour obtenir le niveau de protection visé.
- Le programme d'aménagement a été retenu à l'issue d'une analyse coût / bénéfice et inscrit dans le PAPI du Lez (Opération 7.4). Il constitue à ce titre un optimum entre volonté de protection des enjeux (biens et personnes) et coûts d'investissement et d'entretien. L'objectif général de protection est la crue centennale ; toutefois quelques habitations restent inondables pour cet événement dans le projet d'aménagement validé par le PAPI. Ainsi, les aménagements présentés dans le présent rapport ont été dimensionnés de manière à obtenir les mêmes résultats hydrauliques que ceux de l'étude PAPI (EGIS) et non établir une protection centennale généralisée sur la commune.

Pour répondre à cet objectif de dimensionnement, et en accord avec Montpellier Méditerranée Métropole, des élargissements supplémentaires aux 5 zones identifiées dans l'étude de 2015 sont prévues dans le projet (zone intermédiaire entre les zones 4 et 5, et zone en aval de la zone 5 selon le scénario).

Le présent chapitre est organisé en deux volets :

- Conception du barrage permettant l'agrandissement du bassin G,
- Conception de l'aménagement du Rieumassel permettant la suppression des goulets d'étranglement.

3.2. Barrage

Le lecteur est invité à se référer à l'annexe 4 qui présentent les justifications de conformité du barrage à l'Arrêté Technique Barrage du 6 août 2018.

3.2.1. Niveaux caractéristiques

Le barrage est dimensionné pour répondre aux objectifs d'écêtement fixés dans l'étude Egis de 2015 :

- Dimensionnement pour une crue de projet de période de retour 100 ans, avec un débit « de fuite » en aval du barrage de 20 m³/s en pointe. Le barrage permettra donc d'écêter le débit centennal de 45 à 20 m³/s.
- Volume de stockage de 160 000 m³ avant déversement.

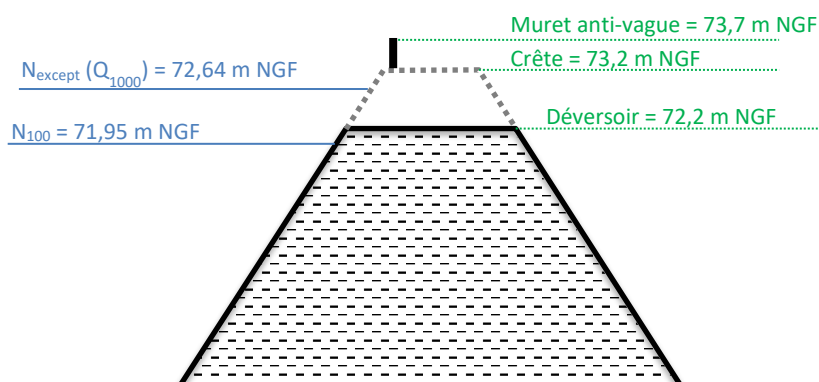
Une modélisation du fonctionnement du barrage et de la retenue a été réalisée pour dimensionner la géométrie du barrage ainsi que des ouvrages de fuite et de surverse.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques du barrage modifié en comparaison avec ses caractéristiques actuelles.

	Barrage actuel	Barrage futur
Cote du fond du bassin en pied de digue	67,5 m NGF	67,5 m NGF
Cote du déversoir (Zdéver)	70,0 m NGF	72,2 m NGF
Cote de la digue (crête) Zdigue	71,0 m NGF	73,20 m NGF
Cote du muret anti-vague	-	73,70 m NGF
Niveau de projet : Z100	70,25 m NGF	71,95 m NGF
Niveau PHE : Crue exceptionnelle (Q1000)	70,88 m NGF	72,64 m NGF
Revanche / NPHE	12 cm	~ 55 cm
Volume stocké pour Z100	33 100 m ³	128 300 m ³
Volume stocké pour Zdéversoir	27 500 m ³	160 000 m ³
Volume stocké pour PHE (crue exceptionnelle)	-	213 350 m ³
Volume stocké pour Zdigue	61 700 m ³	306 400 m ³
Surface maximale de la retenue (Zdigue)	4,8 ha	18,3 ha
Hauteur digue (crête) / fond du bassin	3,5 m	5,7 m
Hauteur digue (crête) / TN aval	3,5 m	7 m
Ouvrage de fuite	1 Ø1200 Fe : 66,40 m NGF	Cadre 1x1,8 m Fe : 66,40 m NGF
Largeur du déversoir	40 m	40 m
Débit centennal en aval du barrage (débit de fuite + surverse éventuelle)	42 m ³ /s	20 m ³ /s

Tableau 28 : Caractéristiques du barrage actuel et projeté

La figure et le tableau ci-dessous rappellent les niveaux caractéristiques du barrage.



	Définition ⁵	Cote	Occurrence
Niveau de projet	Niveau pour la crue de dimensionnement	71,95 m NGF	100 ans
Niveau des plus hautes eaux exceptionnelles (NPHE)	Cote pour laquelle le passage des crues s'effectue sans endommager l'ouvrage et les organes hydrauliques	72,64 m NGF	1000 ans
Niveau de danger	Cote au-delà de laquelle la stabilité de l'ouvrage n'est plus garantie	72,94 m NGF	10 000 ans

Tableau 29 : Détermination des niveaux caractéristiques du barrage

Au regard des caractéristiques de la retenue en considérant la topographie levée en 2019, il n'apparaît pas nécessaire de décaisser le fond de l'actuelle retenue pour obtenir le volume de stockage nécessaire.

Au regard des désordres apparus sur le barrage depuis sa création, il est indispensable de prévoir la déconstruction totale puis la reconstruction du barrage.

3.2.2. Implantation

Le futur barrage est globalement implanté en lieu et place du barrage actuel. Une légère courbe est donnée afin de se raccorder au mieux au terrain naturel, notamment côté ouest. Cela permet également une insertion dans les axes de cheminement piéton.

**Figure 44 : Cheminements aux abords du barrage (source : NEMIS)**

⁵ Définitions issues du document « Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages », CFBR, 2013

La vue en plan du barrage est présentée ci-dessous. Elle est également consultable en annexe.

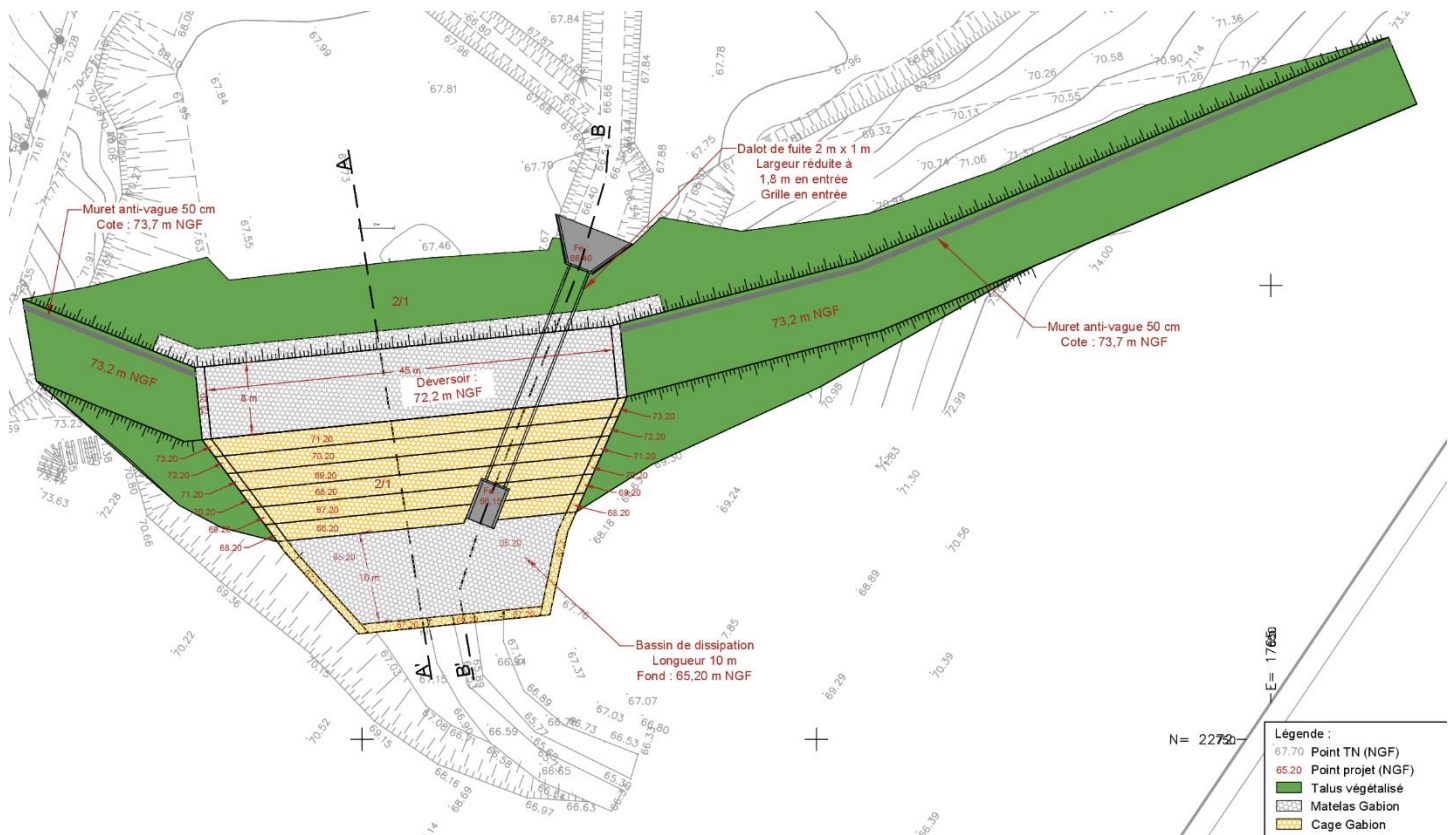


Figure 45 : Vue en plan du barrage (sans échelle)

3.2.3. Problématiques liées au contexte hydro-géotechnique

3.2.3.1. Phénomènes en jeu

La conception du nouveau barrage doit prendre en compte les contraintes géologiques, géotechniques et hydrogéologiques du site :

- **L'hétérogénéité des sols de fondation**, constitués par des argiles et limons plus ou moins graveleux, qui peuvent présenter des variations en termes de comportement (sensibilité à l'eau, compressibilité, retrait-gonflement ...) et en termes de perméabilité, bien que les perméabilités mesurées restent faibles ($2,1 \cdot 10^{-8}$ m/s à $3,4 \cdot 10^{-6}$ m/s) ; mais également en termes d'épaisseur. De l'ordre de 3,4 à 4,2 m dans l'axe du thalweg, cette épaisseur diminue vers l'Est pour devenir nulle en rive gauche ; à contrario elle augmente vers l'Ouest pour atteindre 7,9 à au moins 8,0 m en rive droite. Néanmoins, en rive droite, à partir de 3,0 m/TN, les sols argileux rougeâtres d'épaisseur métrique à pluri-métriques sont intercalés entre des bancs calcaires d'épaisseur métriques. Il s'agit donc d'une alternance de bancs calcaires et de passages argileux, faisant penser à un karst.
- **Le caractère plus ou moins compressible des sols de fondation**, susceptibles d'engendrer des phénomènes de tassement, et leur **sensibilité à l'eau et au**

retrait-gonflement qui peut être importante. Une estimation des tassements est effectuée au §3.2.3.2.

- **La présence de vides au sein des terrains de fondation**, pouvant induire des phénomènes d'effondrements et des problématiques hydrauliques ;
- **La présence d'une nappe** s'écoulant des rives vers le thalweg, baignant les sols argilo-limoneux au droit de la retenue, et située à faible profondeur au droit du bassin, notamment en période de hautes eaux (sur juin 2019 à juin 2020 : 0,4 à 1,4 m/TN en période de hautes eaux, et 1,6 à 3,0 m/TN en période de basses eaux).

Ce contexte hydro-géotechnique soulève différentes problématiques :

❖ **Concernant les terrains d'assise**

- **Capacité portante des sols de fondation**, qui doit être suffisante pour supporter l'ouvrage ;
- **Tassement des sols compressibles sous l'effet d'une surcharge** : au droit de la digue actuelle, le déversoir est prévu à 72,2 m NGF contre 70 m NGF pour la digue actuelle, soit une surcharge additionnelle de 44 kPa par rapport au barrage actuel (réhausse de 2,2 m d'épaisseur). Des tassements différentiels sont également attendus entre les zones situées au droit et en dehors de l'emprise actuelle de la digue, du fait d'états de contraintes différents. Le phénomène de tassement est progressif, ses effets sont à attendre sur quelques mois à plusieurs années, engendrant des désordres à long terme, tels que diminution de la hauteur de protection de l'ouvrage et fissuration de la digue.
- **Retrait et gonflement sous l'effet de variations de teneur en eau**, qui peuvent se produire d'une part, du fait des variations saisonnières de la nappe ; d'autre part, du fait d'épisodes pluvieux importants. L'alternance de retrait et de gonflement est susceptible de produire des désordres (fissuration de la digue), et peut conduire à un fluage progressif de l'ouvrage.
- **Affaissements et effondrements** : un vide a été mis en évidence ponctuellement dans les sols de fondation (en SC2-2020). L'existence de vides préexistants dans les sols de fondation peut conduire au développement de fontis, du fait du soutirage de matériaux constitutifs de l'ouvrage vers la cavité sous-jacente, à l'origine d'affaissements localisés et d'effondrements brutaux.
- **Problématiques hydrauliques** : La présence de cavités et de karsts potentiels peut également mener à des phénomènes de débouillage sous l'effet d'un gradient hydraulique (déséquilibre d'un volume de sol sous l'action de la poussée de l'eau), à l'origine de déplacements de matériaux.

❖ **Concernant l'hydrogéologie :**

- **Problématiques de gestion de la nappe** en cas de terrassements pour la mise en place du barrage.
- La **perméabilité des terrains de la retenue** doit être suffisante pour éviter l'infiltration des eaux en fond de bassin

❖ **Concernant la composition et la géométrie du barrage :**

- **Glissement des talus et érosion interne** en situation normale, en crue/décrue et lors d'une surverse, fonctions de la géométrie et de la composition du barrage (perméabilité et caractéristiques de cisaillement)
- **Erosion externe et affouillement en pied amont**, qui nécessiteront la mise en place de dispositifs de protection sur les talus et en crête

3.2.3.2. Vérifications à effectuer

A ce stade de l'étude, le rapport présente les principes constructifs de l'ouvrage (mode de fondation, type d'ouvrage à prévoir, terrassements, gestion de l'eau ...). Quelques calculs sont effectués pour orienter les dispositions nécessaires à la gestion des sols compressibles.

L'ensemble des vérifications nécessaires au dimensionnement du barrage seront effectués en phase projet, une fois la nature des sols employés connue. Celles-ci sont définies par les recommandations du CFBR pour les digues de protection contre les inondations⁶, et résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 30 : Vérifications pour le dimensionnement de l'ouvrage

Justification	Phase AVP	Phase PRO
Défaut de portance / tassements	Calcul de capacité portante à la fin de construction du remblai Calcul de tassement	Calculs à adapter suite aux préconisations de l'AVP
Stabilité du talus aval	Préconisations concernant les pentes des talus et les matériaux à mettre en œuvre	Calculs de stabilité mécanique en situation normale d'exploitation, en situation transitoire, en crue, en situation de surverse
Stabilité du talus amont		Calculs de stabilité en situation transitoire, en décrue
Soulèvement hydraulique au pied aval	Préconisations concernant la gestion des terrains de fondation	Vérification si nécessaire
Résistance à l'érosion externe Affouillement en pied amont	Préconisations concernant les systèmes de protection	
Boulance et érosion interne	Préconisations concernant les pentes des talus et les matériaux à mettre en œuvre	Modélisations hydrauliques avec calcul du gradient hydraulique

3.2.3.3. Estimation des tassements engendrés en l'état par le futur ouvrage

Ce paragraphe vise à estimer les tassements qui seraient induits par le futur ouvrage reposant sur les sols de fondation compressibles actuels.

Le barrage existant sera totalement détruit avant mise en place du futur ouvrage, dont la cote du déversoir est prévue à 72,2 m NGF. Il est considéré que les terrains sous-jacents seront purgés sur 1 m avant la mise en place du futur barrage, soit jusqu'à 66,5 m NGF.

Amplitudes

⁶ Recommandations pour la justification des barrages et digues en remblai, CFBR, Octobre 2015

Les sols de fondation sont dans un état normalement consolidé à sur-consolidé. L'amplitude des tassements peut être estimée par la relation suivante :

$$s = H_0 \frac{C_s}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'v_0} \right) + H_0 \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'v_0 + \Delta \sigma'v}{\sigma'_p} \right)$$

Avec :

- H_0 , l'épaisseur initiale de terrains compressibles ;
- e_0 , l'indice des vides initial des terrains compressibles ;
- C_s et C_c , les indices de gonflement et de compressibilité mesurés à l'œdomètre ;
- σ'_p , la contrainte de pré-consolidation des terrains ;
- $\sigma'v_0$, la contrainte effective du terrain à la base des horizons compressibles ;
- $\Delta \sigma'v$, la surcharge apportée.

Deux calculs sont effectués, en considérant respectivement que l'ouvrage est implanté au droit de la digue existante / hors de l'emprise de la digue existante. Cela implique :

- Une différence de chargement effectif entre les deux zones, avec :
 - Au droit de l'ouvrage actuel : cote finale prévue à 2,2 m au-dessus de la cote actuelle à 70 m NGF → Surcharge de $2,2 \times 20 = 44$ kPa
 - Hors emprise de l'ouvrage actuel : cote finale prévue à 4,5 m au-dessus de la cote actuelle à 67,7 m NGF → Surcharge de $4,5 \times 20 = 90$ kPa.
- Des différences de compressibilité entre les sols situés sous la digue existante et ceux situés hors de son emprise, au vu des résultats des essais œdométriques. Les indices C_c et C_s retenus sont les valeurs moyennes sur les essais œdométriques, en fonction de la position du futur ouvrage (dans ou hors emprise de la digue existante).

Le niveau d'eau considéré est un niveau d'eau moyen sur la période de basses eaux. L'épaisseur de terrains compressibles est variable selon la position (axe du thalweg, vers rive droite / rive gauche).

Les paramètres retenus pour le calcul et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

- Si le futur ouvrage était implanté au droit de la digue actuelle, les tassements ieraient de quelques millimètres vers la rive gauche, à une dizaine de centimètres vers la rive droite ;
- Si le futur ouvrage était implanté hors de l'emprise de la digue actuelle, les tassements ieraient de quelques centimètres vers la rive gauche, à une quinzaine de centimètres dans l'axe du thalweg et vers la rive droite.

Tableau 31 : Estimation de l'amplitude des tassements induits par le futur ouvrage

Au droit de la digue													
Position	Cote crête de digue	Cote après purge	Niveau d'eau (Basses eaux)	Terrains compressibles						Chargement			Tassement
	z _{crête} (m NGF)	z _i TN (m NGF)	zw (m NGF)	Base (m NGF)	Epaisseur après purge* : H0 (m)	Cc/(1+e0)	Cs/(1+e0)	σ'p (kPa)	σ'v0 (kPa)	Epaisseur (m)	Pds volumique (kN/m3)	Δσ' (kPa)	s (cm)
Côté rive gauche	70	66,5	65,2	66,2	0,3	0,105	0,014	128	86	2,2	20	44	0,1
Axe du thalweg	70	66,5	65,2	64	2,5	0,105	0,014	128	108	2,2	20	44	2
En rive droite	71	66,5	65,2	62	4,5	0,105	0,014	128	148	2,2	20	44	8
Au niveau de la retenue													
Position	Cote TN	Cote après purge	Niveau d'eau (Basses eaux)	Terrains compressibles						Chargement			Tassement
	zTN (m NGF)	z _i TN (m NGF)	zw (m NGF)	Base (m NGF)	Epaisseur après purge* : H0 (m)	Cc/(1+e0)	Cs/(1+e0)	σ'p (kPa)	σ'v0 (kPa)	Epaisseur (m)	Pds volumique (kN/m3)	Δσ' (kPa)	s (cm)
Côté rive gauche	67,7	66,5	65,2	66,20	0,30	0,150	0,015	75	40	4,5	20	90	1
Axe du thalweg / côté rive droite	67,7	66,5	65,2	63,5	3,00	0,150	0,015	75	67	4,5	20	90	15

Durées

La durée des tassements peut être estimée par la relation suivante : $t = \frac{T_v H^2}{C_v}$, avec :

- T_v , le facteur temps associé à un pourcentage de consolidation U . Pour $U = 90\%$, $T_v = 0,9$;
- H , la hauteur de drainage. On considère un drainage uniquement par le haut, H est donc égal à l'épaisseur de terrains compressibles ;
- C_v , le coefficient de consolidation verticale mesurée à l'œdomètre. De façon conservative, la valeur retenue est issue de la méthode de Casagrande (méthode la plus défavorable). Une valeur moyenne a été retenue sur l'ensemble des essais effectués, soit $1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ au droit de l'emprise de la digue existante, et $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ hors emprise de la digue existante.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous. La durée des tassements au droit du thalweg et vers la rive droite est estimée à quelques années (1 à 6 ans) au droit de la digue existante, et à une vingtaine d'années hors emprise de la digue existante. Ces valeurs sont à prendre avec prudence, il s'agit d'ordres de grandeurs et non de valeurs précises, du fait de la variabilité des paramètres de calcul (épaisseur des terrains compressibles, nature du drainage, coefficients de consolidation).

Tableau 32 : Estimation de la durée des tassements

Durée des tassements			
Au droit de la digue existante			
Position	Cv (m2/s)	H (m)	t (années)
Axe du thalweg	$9,9 \cdot 10^{-8}$	2,5	1,8
Vers rive droite	$9,9 \cdot 10^{-8}$	4,5	5,6
Hors emprise de la digue existante			
Position	Cv (m2/s)	H (m)	t (années)
Axe du thalweg/ Vers rive droite	$1,4 \cdot 10^{-8}$	3,0	18

Ces calculs confirment l'existence d'une problématique spécifique liés à la présence de sols compressibles sous le barrage, avec des tassements différentiels notables et des durées de consolidation importantes. Des dispositions constructives seront donc prises pour pallier cette problématique (cf. paragraphe 3.2.4.1 ci-après).

3.2.3.4. Portance de la fondation

En considérant comme précédemment la base du futur ouvrage à 66,5 m NGF (après déconstruction de la digue actuelle et purge sur 1 m des terrains de fondation), la contrainte verticale maximale au sol qui sera induite par le futur ouvrage (σ'_v) est égale à 114 kPa au droit du déversoir (5,7 m de matériaux de masse volumique égale à 20 kN/m³).

La contrainte actuelle subie par le sol de fondation (σ'_{v0}) à la cote de 66,5 m NGF est de 70 kPa au droit de la digue existante (digue de 2,5 m de hauteur + 1 m de matériaux de fondation excavés), et de 20 kPa hors emprise de la digue existante (1 m de matériaux de fondation excavés).

La contrainte nette du terrain q_{net} (kPa) est estimée à partir des caractéristiques de cisaillement des terrains, selon l'annexe F de la norme NF P94-261.

Pour une fondation de largeur B et de longueur L, on a en conditions non drainées :

$$q_{net} = (\pi + 2) C_u bc sc ic + q$$

Avec :

- C_u la cohésion non drainée du sol ;
- sc , le facteur de forme, fonction de la dimension de la fondation ;
- bc , le coefficient de base inclinée, pris égal à 1;
- ic , le facteurs d'inclinaison de la charge, pris égal à 1 ; ;
- q la pression de surcharge au niveau de la base de la fondation, nulle pour ce projet.

Les paramètres retenus pour le calcul sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 33 : Facteurs de portance retenus pour le calcul de la contrainte nette du terrain

Paramètre	C_u (kPa)	B (m)	L (m)	sc
Valeur	45 ⁽¹⁾	28	40	1,14

(1) Estimé à partir d'une corrélation au pressiomètre avec la formule de Cassan, en retenant $pl^* = 250$ kPa

On obtient en conditions non drainées :

- $q_{net, CT} = 266$ kPa
- $q_{ELU, CT} = q_{net, CT} / (1,2 \times 1,4) = 159$ kPa
- $q_{ELS, CT} = q_{net, CT} / (1,2 \times 2,3) = 97$ kPa

Soit une portance en fin de construction validée, en effet :

→ Digue implantée au droit de l'ouvrage actuel : $q_{ELS, CT} > 114 - 70 = 44$ kPa

→ Digue implantée hors emprise de l'ouvrage actuel : $q_{ELS, CT} > 114 - 20 = 94$ kPa

3.2.4. Principes constructifs

3.2.4.1. Gestion des sols compressibles

Sur la base des calculs menés précédemment, la présence de sols compressibles sous l'ouvrage actuel, au droit de la retenue, et en rive droite nécessite des dispositions particulières. Différentes solutions sont comparées dans le paragraphe ci-dessous.

Comparaison de diverses solutions

Différentes solutions peuvent être envisagées pour la gestion des sols compressibles. Elles sont comparées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 34 : Comparaison de différentes solutions pour la gestion des sols compressibles

Méthodologie	Avantages	Inconvénients
Purge totale des terrains compressibles et substitution par des matériaux d'apport	Facilité et rapidité d'exécution (moyens de terrassement et de compactage légers) Coût faible Maîtrise totale des risques de tassements et de retrait-gonflement causés par les sols de fondation	Nécessite un phasage particulier pour la gestion de la nappe en phase provisoire Nécessite la réalisation d'un blindage si les emprises ne sont pas suffisantes pour un talutage Réemploi limité des matériaux excavés → Nécessite une filière d'évacuation Nécessite l'amenée et la mobilisation d'un volume important de matériaux
Renforcement des sols de fondations (inclusions rigides par exemple)	Pas de terrassements importants Pas de gestion de la nappe en phase provisoire	Nécessite l'amenée et la mobilisation d'équipements lourds (foreuses), entraînant des surcoûts et des délais supplémentaires Méthode permettant de limiter les risques de tassements, mais sans maîtrise totale
Pré-chargement	Facilité d'exécution	Nécessite l'amenée et la mobilisation d'un volume important de matériaux Méthode permettant de limiter les risques de tassements, mais sans maîtrise totale. Risque de développement des pressions d'eaux lors du chargement Délai supplémentaire d'au moins quelques mois.

Solution préconisée

Après déconstruction de la digue existante (soit purge des terrains jusqu'à 67,5 m NGF), la solution qui apparaît la plus simple en termes d'exécution, et la plus sûre en termes de résultats est la substitution des matériaux compressibles par des matériaux d'apport :

- Au droit de la digue actuelle et de la retenue dans l'axe du thalweg, les terrains compressibles seront à purger jusqu'au toit du substratum calcaire, soit sur une

épaisseur de 3,5 à 4,2 m (épaisseur de 5 m en comptant la digue actuelle), épaisseur qui diminue vers la rive gauche.

- En rive gauche, seul le toit altéré du substratum calcaire rencontrée sur 0,6 à 1,2 m d'épaisseur sera purgé (argiles limoneuse et graves et blocs calcaires à matrice argileuse).
- Vers l'ouest et en rive droite, les terrains argileux sont intercalés entre des bancs calcaires à partir de 3,0 m de profondeur, et jusqu'à au moins 8 à 9 m de profondeur. A ce stade de l'étude, il est considéré que les terrains sont à purger jusqu'au substratum calcaire, soit sur une épaisseur de 8 à 9 m. Dans la pratique, les terrassements seront adaptés en fonction du niveau d'altération des bancs calcaires.
- Il pourra s'avérer nécessaire de traiter d'éventuelles zones karstiques au droit du substratum calcaire. Des investigations complémentaires (panneaux électriques par exemple) permettront d'identifier les éventuelles zones concernées.

Le volume théorique de matériaux compressible à excaver est estimé ci-dessous :

Tableau 35 : Estimation des volumes à excaver

Zone à excaver	Dimensions moyennes	Volume théorique
Digue existante	Epaisseur : 2,5 m	Environ 900 m ³
Matériaux compressibles sous le corps de digue et au niveau de la retenue	Cote du TN : 67,5 m NGF Cote de base des terrains compressibles : 63,5 m NGF Epaisseur : 4 m	6400 m ³
Rive droite	Cote du TN : 71 m NGF Cote de base des terrains compressibles : 62 m NGF Epaisseur : 9 m	2900 m ³
Rive gauche	Epaisseur : 1,2 m	1200 m ³
Volume total de matériaux à excaver		10 500 m³

Des préconisations concernant les terrassements sont données au §3.2.4.5.

La solution de purge totale des terrains compressibles est retenue par la Métropole.

3.2.4.2. Gestion de l'eau en phase provisoire

Dans le cas d'une purge et d'une substitution des matériaux compressibles, un phasage particulier doit être mis en œuvre pour gérer la nappe en phase provisoire, notamment au droit de la digue actuelle et la retenue, où la nappe est située entre 0,4 et 3,0 m de profondeur.

L'estimation du débit de pompage est réalisée avec la méthode de Schneebeli⁷. Au vu des relevés piézométriques effectués, il est retenu un niveau d'eau au droit de la retenue à 65,2 m NGF en période de basses eaux et à 67,0 m NGF en période de hautes eaux. En considérant la base des terrains compressibles au maximum à 62,0 m NGF (cote la plus basse observée) et un rabattement à 50 cm sous le fond de fouille, les hauteurs de

⁷ Hydraulique souterraine, Schneebeli, 1966

rabattement considérées sont respectivement de 3,7 et 5,5 m en période de basses eaux et hautes eaux.

Les valeurs de perméabilité retenues pour le calcul sont de $1,1 \cdot 10^{-6}$ m/s (valeur moyenne) et de $3,4 \cdot 10^{-6}$ m/s (valeur conservative, élevée au vu des valeurs mesurées). La surface de rabattement comprend la surface au sol du futur barrage dans l'emprise de la digue existante et en rive droite, soit environ 1360 m².

Les débits estimés sont de l'ordre de 1 à 2 m³/h avec la perméabilité moyenne, et de l'ordre de 4 à 6 m³/h en retenant la valeur haute. De manière conservative, la valeur retenue à ce stade de l'étude est de 10 m³/h. Les eaux de pompage devront être évacuées vers un exutoire situé à l'aval de l'ouvrage. Le dimensionnement du réseau de pompage devra être effectué en phase exécution.

Afin d'affiner les valeurs de perméabilité et les débits d'exhaure, des tests de pompages au sein de fouilles descendues jusqu'au substratum calcaire pourront être réalisés.

Il peut également être envisagé de créer un écran hydraulique en amont du futur ouvrage (paroi au coulis par exemple), puis de pomper à l'abri de cet écran hydraulique pour limiter les débits.

3.2.4.3. Profil type du barrage

A ce stade, il est proposé un barrage en remblai zoné, composé des éléments suivants :

- Noyau argileux étanche en zone centrale avec une clé d'étanchéité encastrée dans le substratum calcaire, pour assurer la fonction d'étanchéité de l'ouvrage ;
- Recharges à l'amont et à l'aval en matériaux plus grossiers ;
- Couches respectant les conditions de filtre entre le noyau argileux et les recharges, et entre le remblai d'apport et le terrain naturel ;
- Drain filtre mis en place à l'aval pour l'évacuation des eaux ;
- Protection du parement amont vis-à-vis de l'érosion externe (effet de vagues notamment), par un matelas Réno.

La figure ci-dessous montre un profil type transversal du barrage hors déversoir. L'épaisseur de terrains compressibles indiquée est indicative, pour rappel cette épaisseur est variable sur le profil longitudinal.

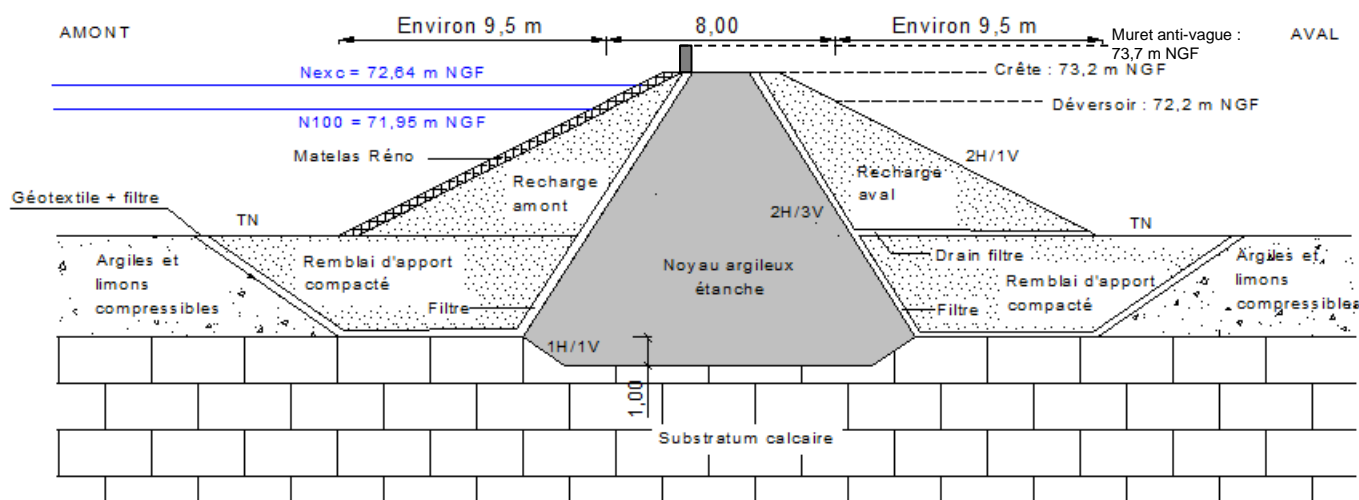


Figure 46 : Profil type de l'ouvrage envisagé hors déversoir

Le profil type du barrage sera affiné en phase projet, notamment au regard des caractéristiques mécaniques des matériaux prévus (cf. paragraphe suivant). A ce stade de l'étude, il est prévu des pentes amont et aval de 2H pour 1V. Ces pentes seront à ajuster en phase projet grâce à des calculs de stabilité. De même, les dimensions et les pentes du noyau argileux (2H/3V à ce stade) seront précisées en phase projet, par le biais de calculs hydrauliques (vérification de l'érosion interne induit par les écoulements d'eau et du soulèvement induit par la pression hydrostatique ascendante sous le noyau). La clé d'étanchéité devra présenter une largeur minimale de 3 m à la base, des pentes de l'ordre de 1H pour 1V, et une profondeur moyenne de 1 m par rapport au toit du substratum.

Du fait de la purge préalable des matériaux compressibles dans l'axe du thalweg et en rive droite, des matériaux d'apport seront mis en œuvre de part et d'autre du noyau argileux jusqu'au terrain naturel. En rive gauche, le barrage viendra s'appuyer sur la ligne de crête existante, située vers 70,2 à 74 m NGF. Les matériaux d'apport pourront être mis en place après purge du toit altéré du substratum calcaire (rencontré sur 1,2 m d'épaisseur au droit de SC3-2019). La crête du barrage est prévue à 73,2 m NGF, soit une épaisseur de remblai d'au maximum 3 m.

En fonction de la nature des matériaux disponibles pour la réalisation du barrage (absence de matériaux pour la réalisation d'un noyau argileux par exemple), il pourrait être envisagé d'assurer la fonction d'étanchéité par une géomembrane recouvrant l'ensemble de la digue.

3.2.4.4. Nature des matériaux à mettre en œuvre

Le noyau sera constitué de matériaux fins argileux imperméables. Il conviendra que ces matériaux aient une teneur en eau proche de celle de l'optimum Proctor Normal et qu'ils comportent suffisamment de fines < 80 µm pour assurer l'étanchéité. **Des matériaux de classe GTR A1, A2, ou A3 dans un état hydrique moyen peuvent convenir.**

Deux sources de matériaux peuvent donc être envisagées pour le noyau argileux :

- Soit la mise en œuvre de matériaux d'apports répondant aux critères listés ci-dessus,
- Soit la réutilisation des sols en place (terrains constituant le corps de la digue actuelle et terrains issus de la purge). En effet, il s'agit de sols majoritairement de classe A2, avec quelques échantillons A1, A3, mais également B6, C1A2, C1B5 et C1B6. Ces sols sont en l'état dans un état hydrique moyen à très humide et présentent une sensibilité à l'eau et au retrait-gonflement. Par ailleurs, la présence potentielle de matière organique a été mise en évidence (des traces de matière organique ont été identifiées ponctuellement au droit d'un sondage carotté).

Ces sols ne pourront pas être réemployés en l'état, mais pourraient faire l'objet de traitements mécaniques (criblage) et hydriques (traitement avec des réactifs adaptés tels que la chaux, la kaolinite ou la bentonite) dans la mesure où, d'après les échantillons prélevés, ceux-ci présentent souvent un état humide à très humide en l'état. Dans ce cas, des essais complémentaires seront à réaliser, notamment des mesures de teneur en matière organique et des essais d'évaluation de l'aptitude au traitement si ce dernier est envisagé. Dans tous les cas, leur éventuelle utilisation en remblai devra être conforme aux préconisations du guide GTR.

Par ailleurs, un éventuel réemploi des matériaux du site (issus de la purge) pour la constitution du noyau d'argile impliquerait a priori de les stocker temporairement et les régaler pour faire baisser leur teneur en eau. La temporalité des différentes étapes devra être appréhendée (temps de séchage le cas échéant) pour s'assurer de leurs cohérences avec la réalisation du barrage avant l'arrivée des périodes critiques vis-à-vis des risques de crue (automne).

Les remblais de substitution seront nécessairement des matériaux d'apport. Il s'agira de matériaux de granulométrie plus grossière que les sols fins du noyau (pas de rôle d'étanchéité recherché). Les matériaux utilisés pour la recharge amont et aval pourront être identiques aux matériaux de substitution.

Les matériaux assurant le rôle de filtre seront des matériaux granulaires qui devront respecter les conditions de filtre entre le noyau argileux et les recharges.

Montpellier Métropole disposant de stocks de matériaux de remblai, la problématique de la source des matériaux d'apport devra être approfondie pour étudier les possibilités d'approvisionnement depuis ces stocks (cf. paragraphe 3.7 Mouvements de terre).

3.2.4.5. Préconisations concernant les terrassements

Les précautions à prendre lors des terrassements sont les suivantes :

- Protection du fond de forme des intempéries ;
- Drainage des écoulements s'établissant dans le thalweg ;
- La mise en place des matériaux de remblai/couche de forme doit être effectuée sur un sol sain, non remanié et sec, à l'avancement des terrassements dans des conditions météorologiques favorables. Celle-ci sera conforme aux préconisations du GTR.

Les terrassements seront réalisés de manière à ne pas générer de modification de contrainte importante au niveau des terrains. Les surcharges en tête de talus sont à éviter.

En l'absence de soutènement, les talus pouvant être réalisés auront une pente 3H/2V en phase provisoire, et 2H/1V en phase définitive. Tout talus supérieur à 1 m de hauteur devra faire l'objet d'une étude de stabilité.

Si les emprises sont insuffisantes pour terrasser au large (cas de la rive droite notamment), les terrassements devront être réalisés à l'abri d'un blindage.

Les matériaux argilo-limoneux pourront être extraits à la pelle mécanique et devront être évacués vers une filière adaptée. L'emploi d'un BRH sera nécessaire au droit du substratum calcaire pour l'encastrement du noyau argileux et la purge d'éventuels karsts superficiels.

Avant la mise en œuvre des matériaux d'apports en remblais, une planche d'essai devra être effectuée afin de déterminer les caractéristiques de compactage de ces matériaux. Ceux-ci seront mis en place sur un sol sain, non remanié, dans des conditions météorologiques favorables. Toute poche de matériaux décomprimés (poche de matériaux argileux, calcaire altéré) sera purgée et remplacée par des matériaux mécaniquement et hydrauliquement adaptés.

La mise en œuvre des matériaux d'apport devra être conforme aux préconisations du guide GTR : les matériaux seront mis en place par passes et seront soigneusement compactés, à une teneur en eau proche de l'optimum Proctor. En cours de travaux, des contrôles réguliers devront être effectués sur les remblais mis en œuvre. Ces contrôles devront associer des mesures de teneur en eau, de poids volumique sec et de degré de saturation à des essais Proctor pour vérifier le taux de compactage du matériau. Des contrôles de compactage pourront également être effectués par essais au pénétromètre dynamique.

3.2.4.6. Préconisations vis-à-vis du risque karstique

Des investigations complémentaires tels que des panneaux électriques sont préconisées au stade PRO pour localiser d'éventuelles zones karstiques au niveau du substratum calcaire. Le cas échéant, un traitement de ces zones sera nécessaire afin d'éviter tout risque de fuite dans le sous-sol, pouvant générer des défauts de stabilité du barrage.

3.2.4.7. Ouvrage de fuite

Comme présenté dans le Tableau 28 ci-avant, l'ouvrage de fuite sera constitué d'un dalot unique afin de minimiser le risque d'embâcle.

Le dimensionnement hydraulique a conduit à fixer les dimensions de l'exutoire à L=1,8 m x H=1m. Toutefois, afin de permettre la mise en place d'un ouvrage préfabriqué, un dalot de 2 m x 1 m sera positionné auquel on viendra fixer une plaque métallique boulonnée à la tête de pont permettant de réduire la largeur utile à 1,8 m.

L'altimétrie du dalot sera la même que celle de l'ouvrage de fuite actuel.

A ce stade de l'étude, il est préconisé de positionner l'ouvrage de fuite en rive gauche au droit du substratum calcaire, comme actuellement.

Par ailleurs, afin de gérer le risque d'embâcle, il est préconisé :

- La mise en œuvre d'un ouvrage sur mesure en amont de la tête de dalot formant une grille positionnée en oblique (avec un angle de l'ordre de 30°) pour permettre l'évacuation des embâcles et déchets vers le haut du barrage. Le barreaudage sera suffisamment espacé (50 cm environ) pour éviter tout risque d'obstruction,
- La mise en œuvre de grilles sur les deux ponceaux existants en amont du barrage dans la retenue pour limiter l'arrivée directe de végétaux au niveau de l'organe de fuite.



Figure 47 : Ponceau existant en amont du barrage dans la retenue (rétablissement agricole)

Enfin, une vanne automatique pourra être mise en place sur l'ouvrage de fuite afin de permettre une gestion du remplissage de la retenue. Ce point devra être précisé avec le maître d'ouvrage en fonction de ses possibilités réelles de gestion en période de crue.

Une coupe de l'ouvrage de fuite est présentée ci-dessous et est également consultable en annexe.

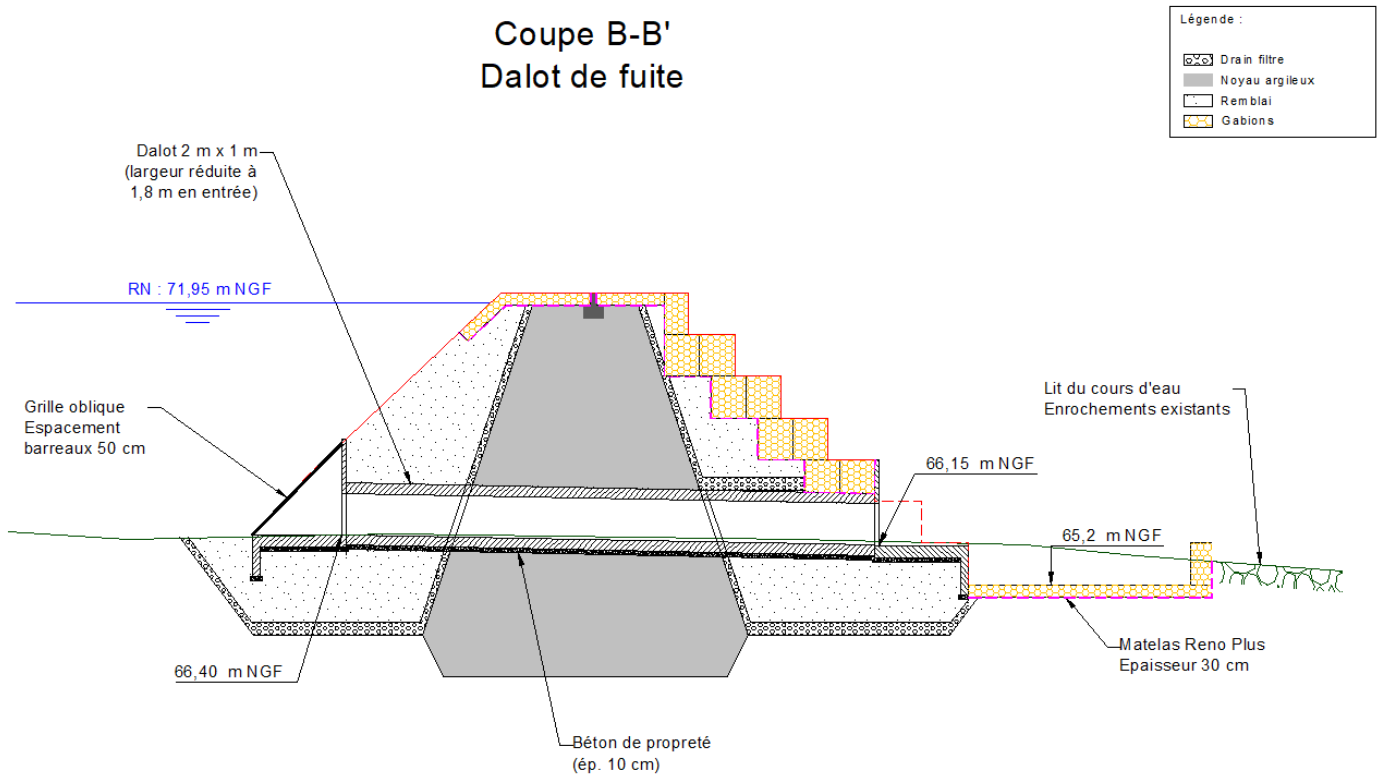


Figure 48 : Coupe du dalot de fuite (sans échelle)

3.2.4.8. Gestion de la surverse

Le barrage sera muni d'un déversoir de sécurité de 45 m de large, sur sa partie centrale.

Le niveau de surverse sera assuré par la mise en place d'une longrine béton en crête de digue. Le déversoir se prolongera par un coursier en gradins sur le talus aval, protégé par des cages gabions. Les bajoyers présenteront une hauteur minimale de 1 m en tout point.

Un bassin de dissipation d'environ 10 m de long sera positionné en pied de barrage et sera également conforté en matelas Réno et gabions sur les pourtours.

Les enrochements liaisonnés existants seront démolis lors de la déconstruction du barrage ; le marché de travaux laissera le choix à l'entreprise de les évacuer ou de les réutiliser. Dans le cas d'une réutilisation, une part modérée des enrochements existants pourra vraisemblablement être récupérée.

A l'issue du bassin de dissipation, les écoulements rejoindront le lit du cours d'eau, actuellement protégé par des enrochements libres qui seront maintenus et assureront une protection complémentaire avant écoulement dans le lit naturel.



Figure 49 : A gauche, débouché de la buse de fuite actuelle et enrochements liaisonnés / A droite : enrochements libres dans le lit du cours d'eau en aval

Une coupe de l'ouvrage de surverse est présentée ci-dessous et est également consultable en annexe.

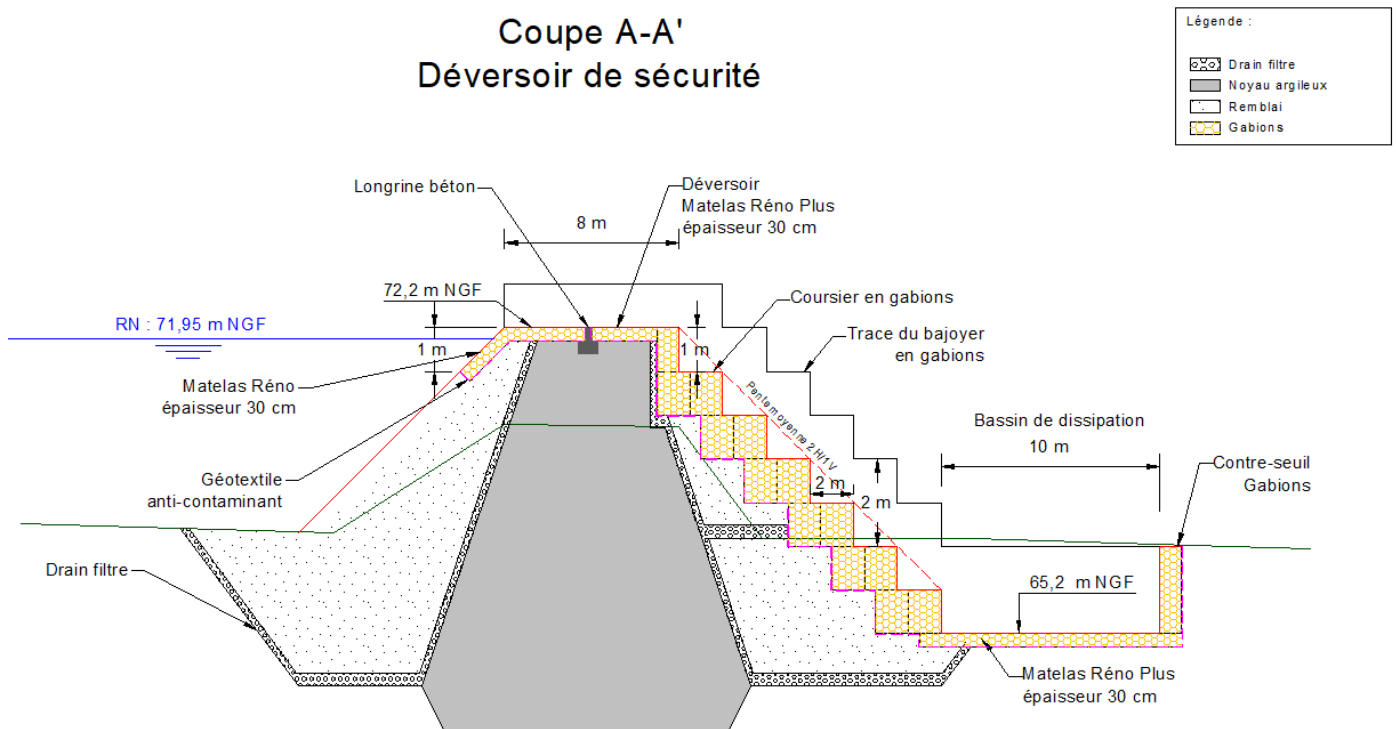


Figure 50 : Coupe du déversoir de sécurité (sans échelle)

3.2.5. Première mise en eau du barrage

Par définition, la retenue de l'Arbre Blanc n'est pas en eau hors période de crue. La première mise en eau ne pourra donc pas être programmée et se fera lors d'un évènement pluviométrique important. On définira la première mise en eau par l'atteinte du niveau 1 de surveillance définie dans le document d'organisation du gestionnaire, soit

un niveau d'eau dans la retenue de 67,5 m NGF (mise en charge de l'ouvrage de fuite). Les dispositions spécifiques à la surveillance en crue seront mises en œuvre. En sus,

- une surveillance permanente sera réalisée lors de ce premier évènement par un personnel compétent depuis le poste d'observation à l'ouest du barrage,

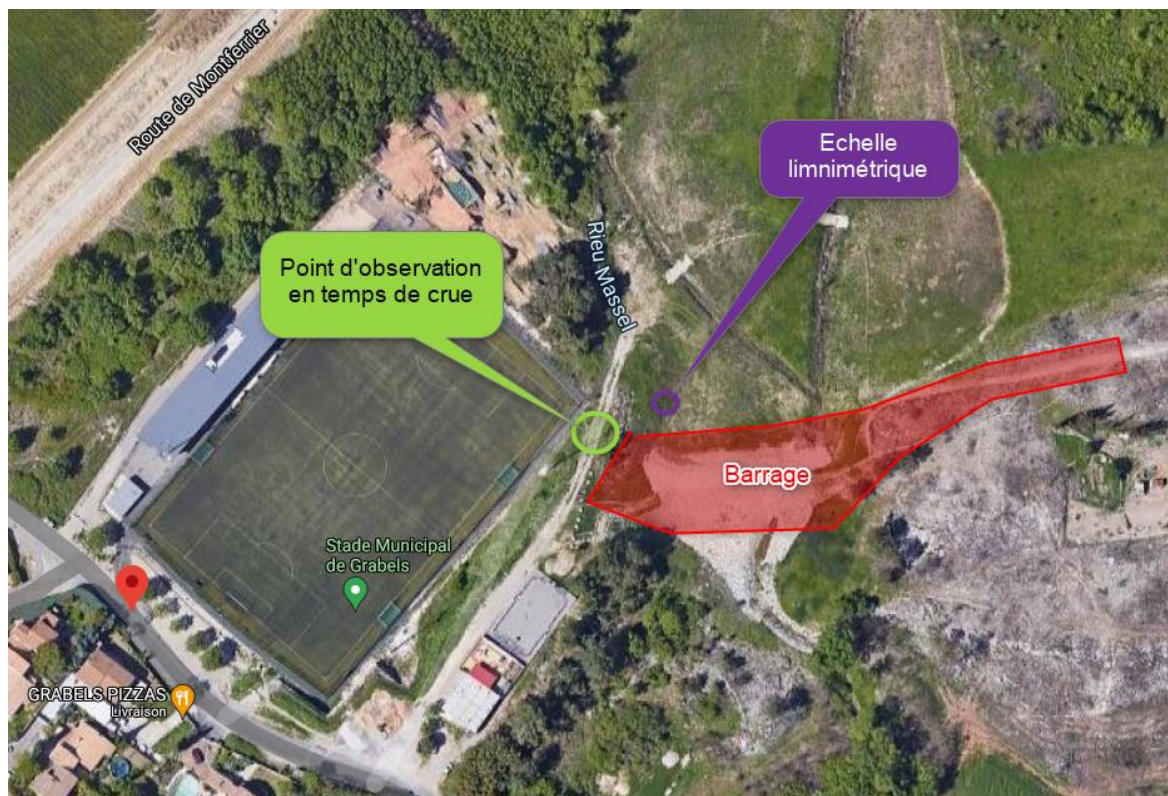


Figure 51 : Localisation du poste d'observation pour la surveillance du barrage

- Pendant la crue, ou immédiatement après l'évènement, des relevés des dispositifs d'auscultation seront réalisés : bornes de nivellement, mesures des niveaux piézométriques et des débits de drainage.
Un examen visuel de l'ouvrage et de ces abords sera également réalisé (notamment : crête, talus amont, talus aval, pertuis) afin d'analyser le comportement de l'ouvrage lors de sa mise en eau,
- des visites seront également réalisées quotidiennement dans les 5 jours suivants l'évènement pluvieux.

Un constat du comportement de l'ouvrage sera établi.

Cette procédure sera renouvelée lors de la première atteinte du niveau 2 de surveillance (soit un niveau d'eau dans la retenue de 68,5 m NGF) et du niveau 3 (niveau d'eau dans la retenue de 70 m NGF), qui correspondent à une mise en charge plus importante du barrage.

3.2.6. Dispositif d'auscultation du barrage

Conformément à l'article R214-124 modifié par décret n°2015-526 du 12 mai 2015 - art. 25 le barrage sera équipé d'un dispositif d'auscultation permettant d'en assurer une surveillance efficace.

Il s'agit d'une méthode quantitative qui est basée sur l'analyse des mesures fournies par une instrumentation spécifique à chaque ouvrage. On mesure essentiellement des déplacements, des déformations, des pressions, des débits. Une analyse fine est susceptible de mettre en évidence d'éventuelles anomalies dans le comportement d'un barrage avant même que celles-ci ne se manifestent par des signes extérieurs visibles.

Il est prévu pour cet ouvrage des mesures topographiques, de la piézométrie et de débits :

- Mesure topographique : Le barrage étant neuf et les tassements se produisant dans les premières années de vie de l'ouvrage, un dispositif topographique constitué de plots ou cibles topographiques sera installé en différents points du barrage (deux sur le déversoir et deux en crête de part et d'autre du déversoir),
- Mesure de la piézométrie : Il est prévu la mise en place de 5 piézomètres pour suivre et contrôler le bon fonctionnement de l'ouvrage. Ils sont positionnés selon un axe perpendiculaire à l'ouvrage (cf. figure suivante) et permettront de connaître la piézométrie en amont et en aval de l'ouvrage ainsi qu'au sein même du barrage (recharge amont, noyau et recharge aval).
- Mesure de débits : Les écoulements des drains en aval de l'ouvrage seront collectés en pied de talus et les débits mesurés avant rejet dans le bassin de dissipation (seuil ou débitmètre).

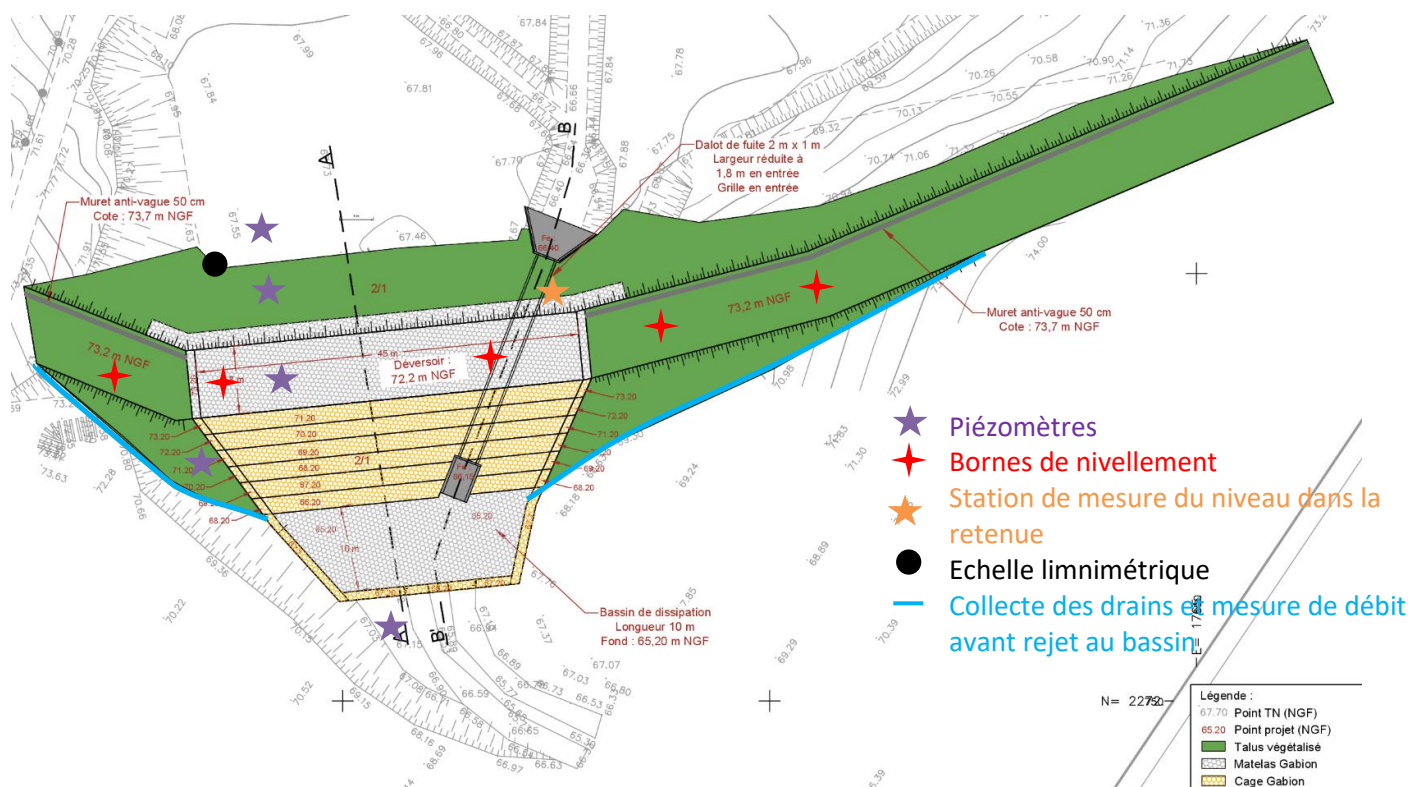


Figure 52 : Visualisation des bornes de nivellement prévues sur le barrage

Une auscultation de l'ouvrage sera réalisée trimestriellement par le gestionnaire au cours des visites de surveillance programmées. Elle consistera à :

- une analyse des levés topographiques de référence et actualisés de l'ouvrage permettant de diagnostiquer tout mouvement éventuel de l'ouvrage ou du terrain dans l'environnement immédiat de l'ouvrage,
- une analyse de la piézométrie. Les visites pendant la crue ou post crue permettront également de vérifier le bon fonctionnement de l'ouvrage et notamment du noyau,
- une analyse des débits des drains, notamment en crue ou après la crue.

Dans un premier temps, dans l'année suivant la construction de l'ouvrage, l'auscultation de l'ouvrage sera réalisée mensuellement ainsi que pour chaque mise en eau du barrage.

Le rapport d'auscultation sera réalisé tous les 5 ans conformément à la réglementation pour les barrages de classe C (article R214-126 du Code de l'Environnement). Il sera transmis au préfet du département le mois suivant leur réalisation.

L'état des différents dispositifs sera vérifié à chaque visite de l'ouvrage (VTA, Visite de surveillance programmée, ...).

3.3. Suppression des goulets d'étranglement sur le Rieumassel

L'objectif principal du projet d'aménagement du Rieumassel consiste à améliorer la capacité d'écoulement du lit de façon à limiter les inondations des quartiers riverains.

La carte ci-dessous localise les secteurs sur lesquels des aménagements sont prévus.

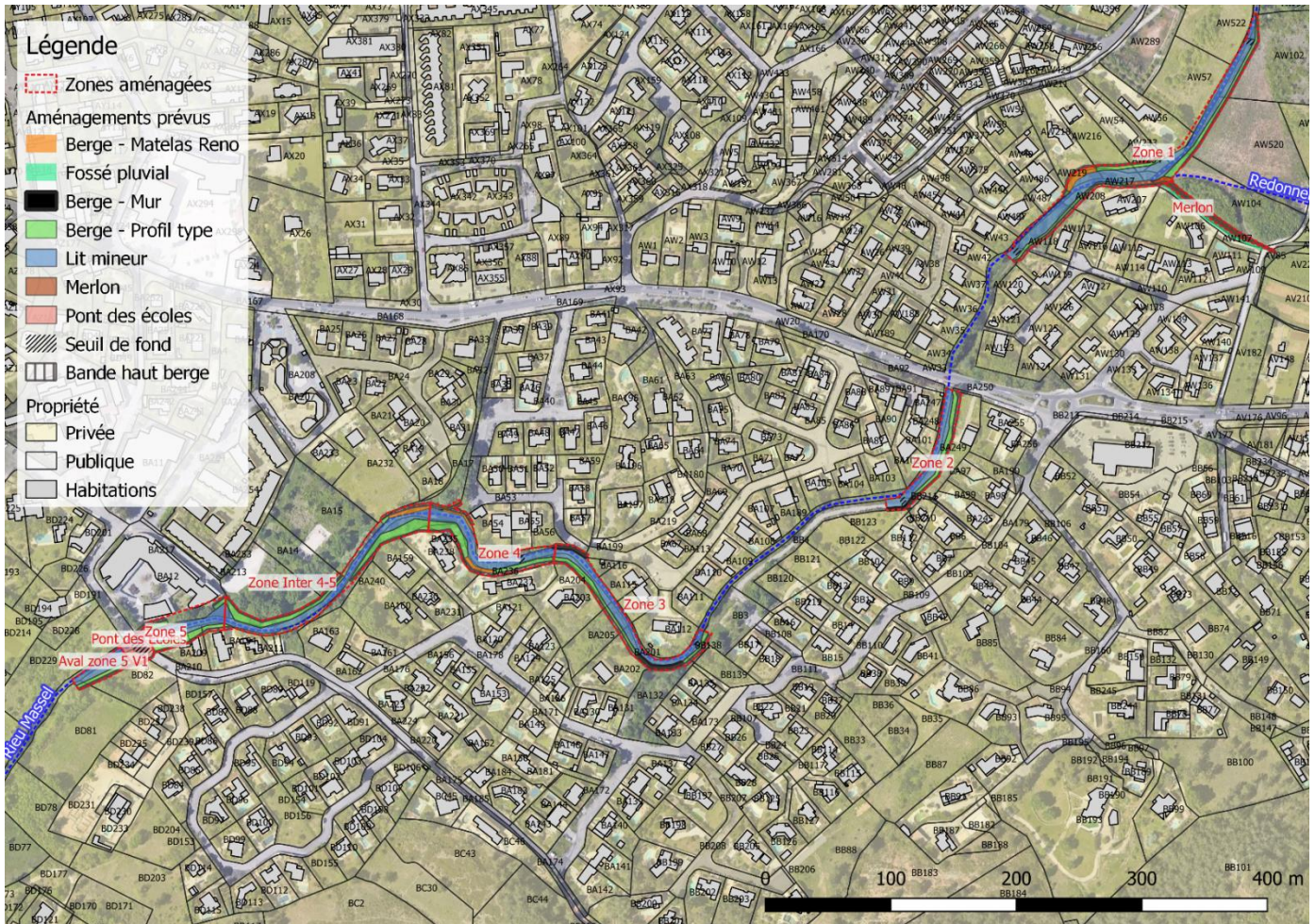


Figure 53 : Localisation des secteurs aménagés

Les zones 1, 2, 3, 4 et 5 sont celles qui étaient identifiées par le projet présenté dans le PAPI (Egis, 2015). Dans le cadre de la présente étude d'AVP, les secteurs « Inter 4-5 » et « Aval zone 5 » ont dû être ajoutés pour répondre aux objectifs hydrauliques (cf. paragraphes ci-après).

3.3.1. Dimensionnement hydraulique

Un modèle hydraulique a été construit sur le secteur d'étude pour identifier les dysfonctionnements hydrauliques existants, affiner le recalibrage du lit mineur envisagé dans l'étude PAPI (Egis, 2015) et évaluer les conséquences du projet sur les écoulements et débordements du Rieumassel.

Une modélisation 2D du lit majeur a été réalisée et couplée au modèle 1D du lit mineur.

Le modèle 1D/2D ainsi obtenu a permis une modélisation précise des écoulements en lit mineur et en lit majeur.

Le modèle hydraulique s'étend sur le Rieumassel depuis à l'aval du bassin G jusqu'à la confluence avec la Mosson. Le Redonnel est également en partie intégré à la modélisation (linéaire de 300 m en amont de la confluence avec le Rieumassel).

Le modèle a été construit avec le logiciel MIKE FLOOD sur la base de la topographie suivante :

- Profils en travers du lit mineur et ouvrages levés en 2015,
- Compléments topographiques réalisés en 2017 et 2019 au niveau des zones à élargir,
- MNT de l'IGN en lit majeur (précision métrique).

La modélisation est effectuée en régime transitoire.

Le modèle hydraulique a été calé sur les crues de 2003 (non débordante) et d'octobre 2014 (débordante).

Les coefficients de rugosité obtenus à l'issu du calage sont :

- en lit mineur de 8, 10, 12, 15 et 17 selon les secteurs ;
- en lit majeur de 5, 8 et 10 selon les secteurs.

La condition limite aval du modèle correspond au niveau de la Mosson à la confluence avec le Rieumassel. Ces données ont été reprises de l'étude EGIS de 2015.

Les figures suivantes comparent les lignes d'eau obtenues à l'issu du calage avec celle de l'étude EGIS pour les crues de décembre 2003 et octobre 2014 et avec les laisses de crue. Nota : Aucune laisse de crue n'est disponible pour la crue de décembre 2003.

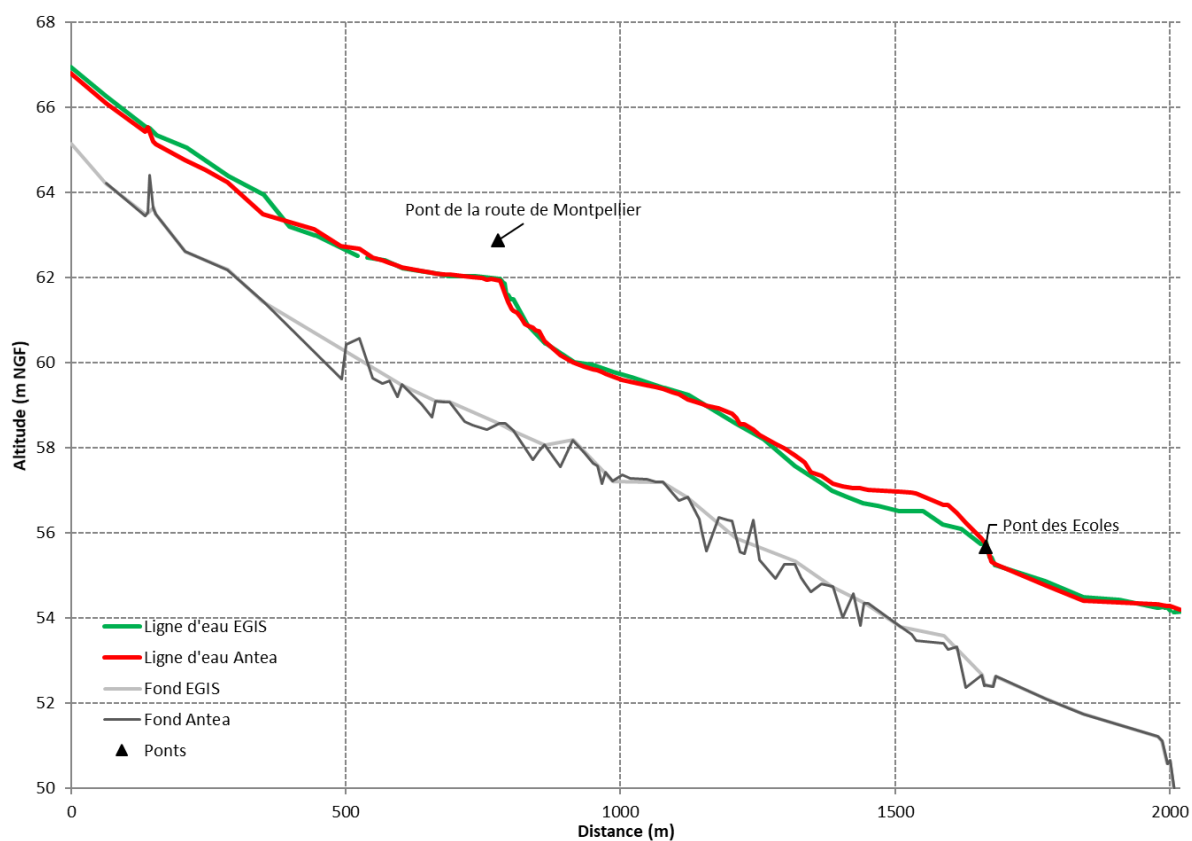


Figure 54 : Calage - crue de décembre 2003

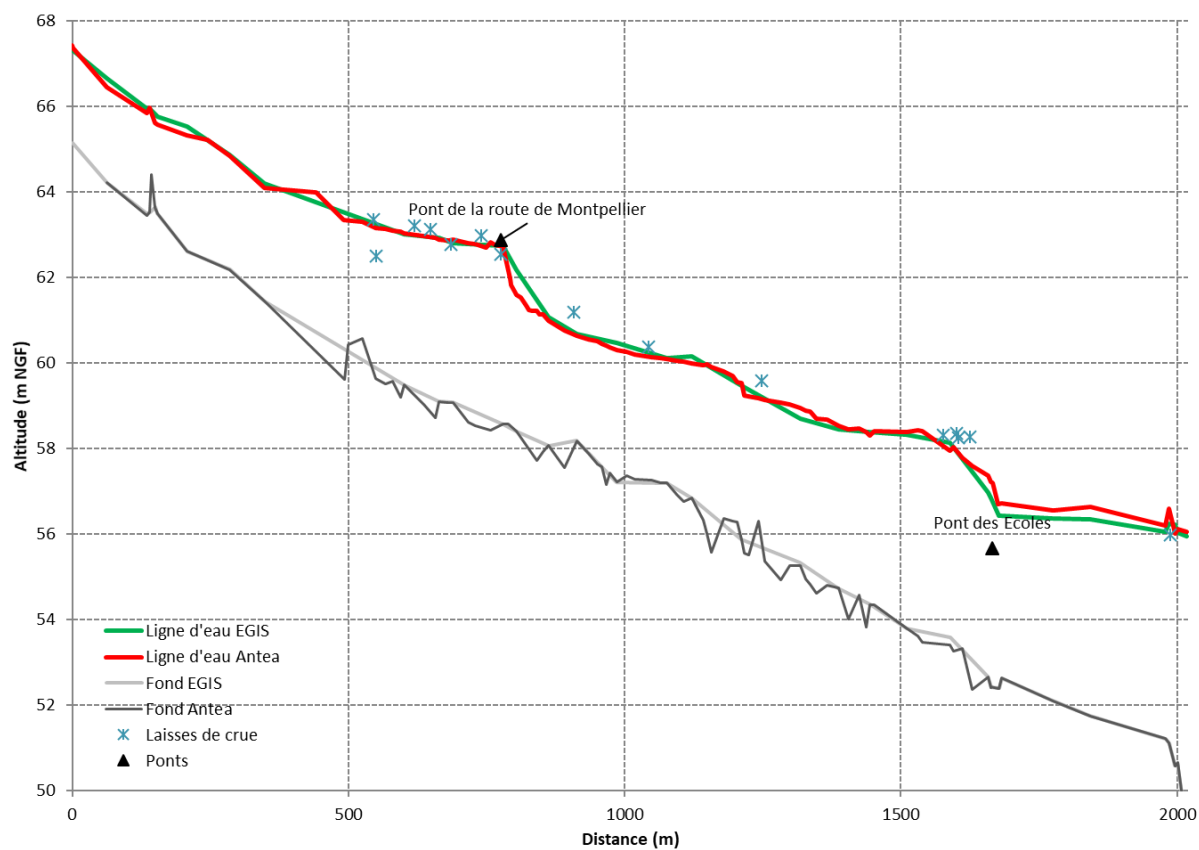


Figure 55 : Calage – crue d'octobre 2014

Le modèle a été calé sur les crues historiques de décembre 2003 et d'octobre 2014. Les lignes d'eau obtenues pour les deux crues sont cohérentes avec celles fournies par Egis. Les laisses de crue relevées par le SYBLE (SYndicat Bassin du LEz) ont servi de référence pour le calage du lit majeur. Les écarts obtenus à l'issue du calage sont en moyenne de 25 cm.

Le ruissellement urbain n'a pas été modélisé. Les apports ont été intégrés directement dans le Rieumassel. La non-représentation du ruissellement urbain en lit majeur est à l'origine d'une partie des écarts constatés avec les laisses de crues, ces dernières étant principalement en lit majeur.

Pour rappel, le programme d'aménagement ne permet pas une protection systématique centennale sur l'ensemble de la commune. Il a été retenu à l'issue d'une analyse coût / bénéfice et inscrit dans le PAPI du Lez (Opération 7.4). Ainsi, les aménagements présentés dans le présent rapport ont été dimensionnés de manière à obtenir les mêmes résultats hydrauliques que ceux de l'étude PAPI (EGIS) et non établir une protection centennale généralisée sur la commune.

Pour répondre à cet objectif de dimensionnement, et en accord avec Montpellier Méditerranée Métropole, des élargissements supplémentaires aux 5 zones identifiées dans l'étude de 2015 sont prévues dans le projet (zone intermédiaire entre les zones 4 et 5, et zone en aval à la zone 5 selon le scénario).

Deux variantes sont envisagées sur la Zone 5 et le Pont des écoles :

- Variante 1 : Un calage sur la ligne d'eau d'EGIS : le pont des écoles surverse pour la crue centennale,
- Variante 2 : Un recalibrage permettant au pont des écoles d'être non déversant pour la crue centennale. Cette variante implique un recalibrage du cours d'eau en aval du pont des écoles sur environ 230 m.

Nota : Dans la variante 1, le pont des écoles surverse à partir de 45 m³/s soit une période de retour d'environ 30 ans.

Par ailleurs, concernant le pont de la route de Montpellier, un projet d'élargissement de cet ouvrage est envisagé à moyen terme. Afin de concevoir le projet de recalibrage du Rieumassel en cohérence avec cette option, le pont de la route de Montpellier a été considéré dans le modèle hydraulique comme non limitant afin de dimensionner des aménagements d'une capacité suffisante sur les tronçons voisins.

Cependant, l'étude d'incidence des aménagements sur la zone inondable est analysée en tenant compte du pont de la route de Montpellier actuel.

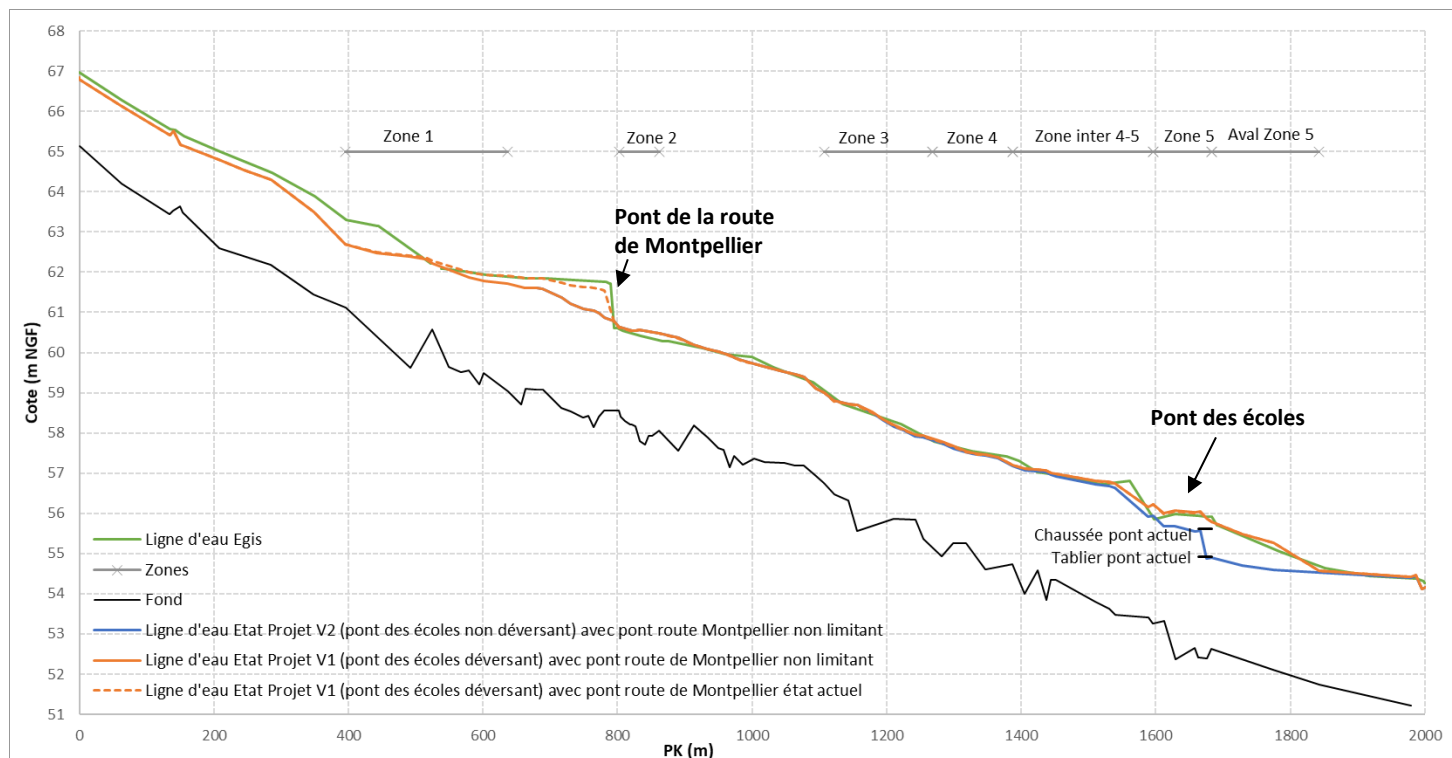


Figure 56 : Lignes d'eau en état projet

La carte Figure 57 montre l'emprise inondée après aménagement pour la crue centennale pour la variante 1. A noter que dans la variante 2 l'emprise est similaire et ne permet pas de mettre hors d'eau des habitations.

5 habitations restent inondables avec une hauteur d'eau supérieure à 10 cm et 5 habitations sont en limite d'inondation (c'est-à-dire pour laquelle le niveau d'eau est à +/- 10 cm du seuil des habitations).

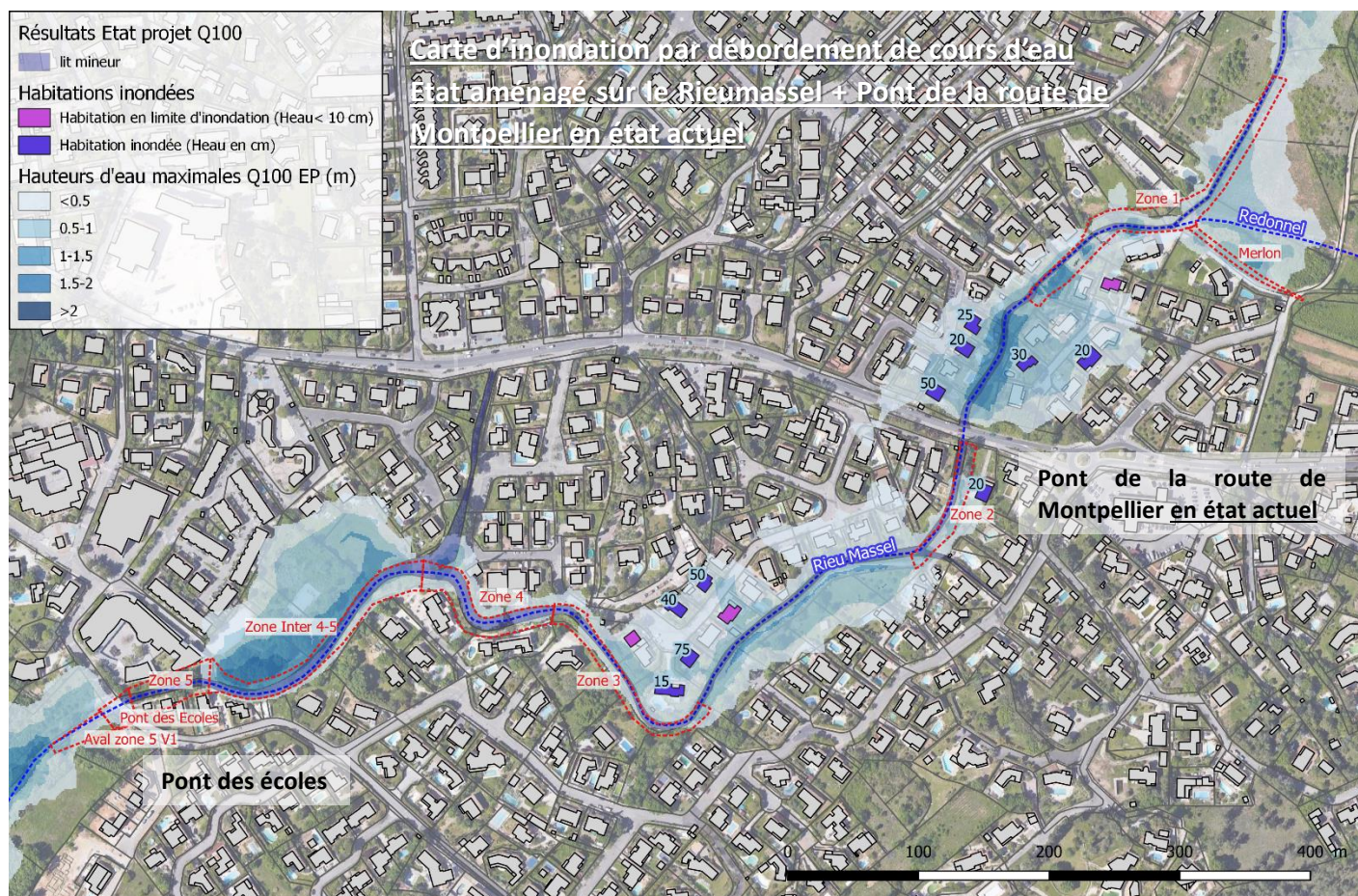


Figure 57 : Carte d'inondation pour la crue 100 ans en état aménagé – Variante 1 (Pont de la route de Montpellier actuel)

En synthèse, de l'amont vers l'aval :

- Sur la zone 1, 5 habitations sont inondées. La mise hors d'eau de ces habitations impliquerait en plus de la réfection du pont de la route de Montpellier de prolonger le recalibrage sur toute la zone entre la fin du tronçon 1 et le pont de la route de Montpellier. Ces habitations étaient également identifiées inondables dans les résultats de l'étude Egis.
- Sur la zone 2, en rive gauche, une maison est identifiée inondable mais seul le sous-sol (garage a priori) est inondé.
- Sur la zone 3 / Lotissement Le Rio : 4 maisons restent inondables par débordement du Rieumassel, 2 sont en limite. Le projet, à moins de l'élargir exagérément, ne permet pas de mettre hors d'eau ces habitations. Elles étaient déjà identifiées inondables par l'étude Egis.
- Sur les zones 4, inter4-5 et 5, les habitations avoisinantes sont toutes hors d'eau.

En conclusion, le projet tel que dimensionné par l'étude PAPI ne permet pas tout à fait une protection centennale vis-à-vis des débordements du Rieumassel sur l'ensemble du linéaire. Quelques habitations restent inondables. Une protection complémentaire individuelle par des batardeaux pourrait être envisageable.

Remarque : La reprise du pont de la route de Montpellier permettra de réduire les habitations inondées en amont de ce dernier. A titre informatif, la carte ci-dessous

présente l'emprise inondée pour la crue 100 ans en état aménagé avec le pont de la route de Montpellier non limitant.

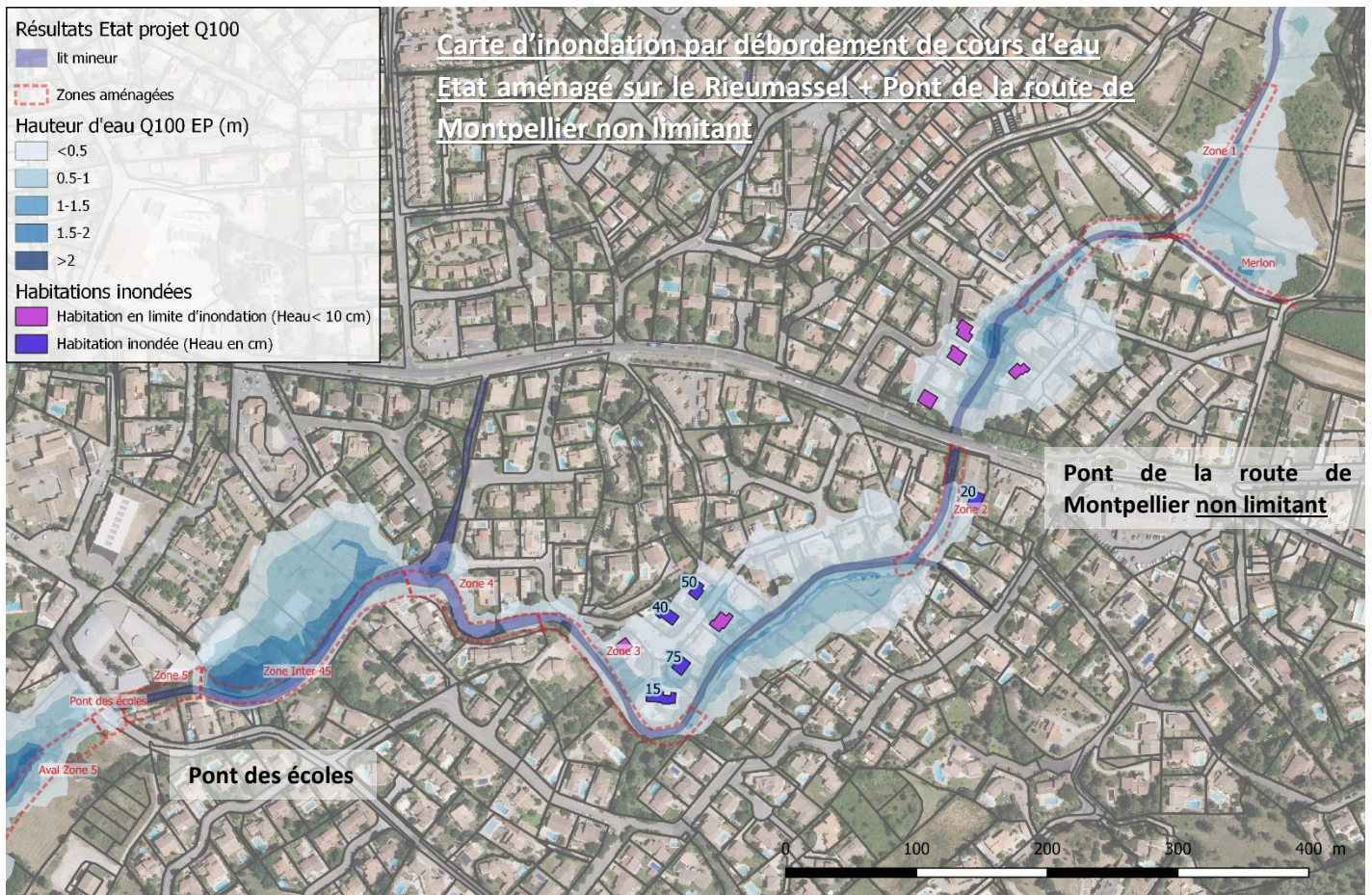


Figure 58 : Carte d'inondation pour la crue 100 ans en état aménagé – Variante 1 (Pont de la route de Montpellier non limitant)

3.3.2. Principes généraux

3.3.2.1. Profil en long

Le profil en long actuel du cours d'eau sera conservé pour préserver une diversification des écoulements (alternance de faciès de radiers et de mouilles). Le maintien des zones de surcreusement va favoriser des faciès d'écoulement de type plat lentique.

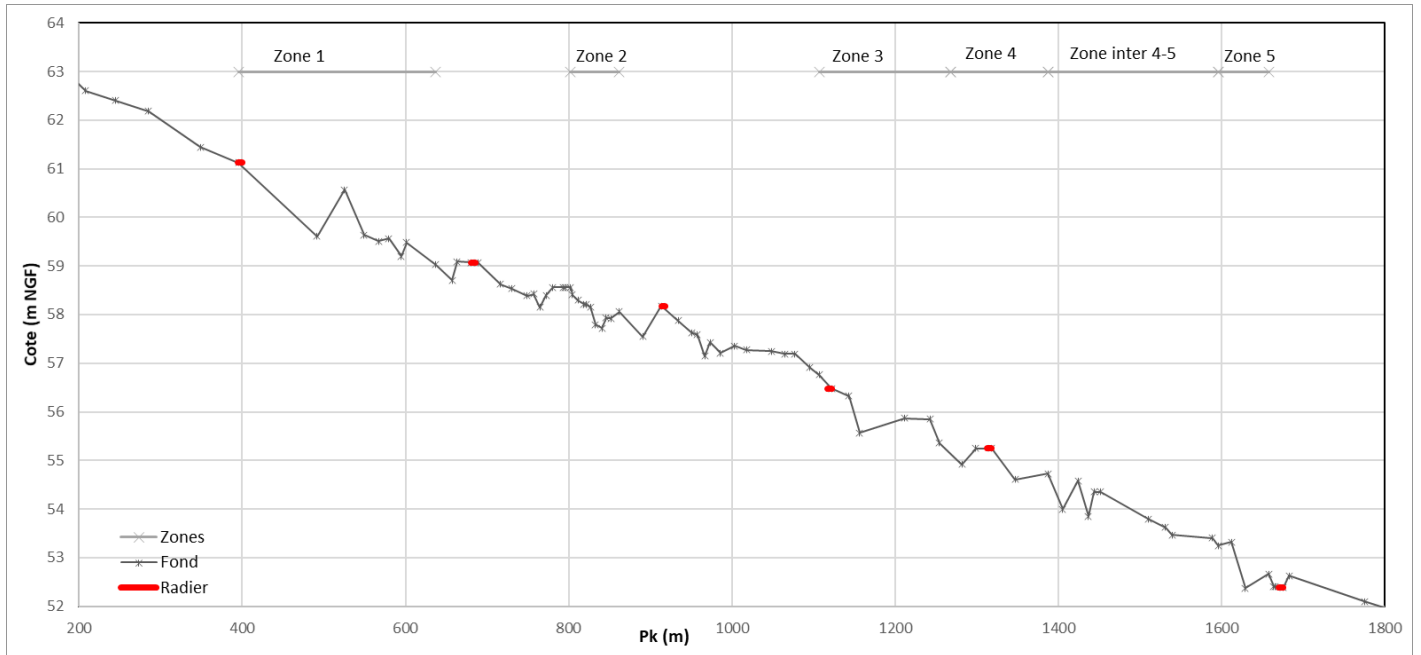


Figure 59 : Profil en long actuel du cours d'eau

Toutefois, afin de pérenniser ce profil et conserver la section hydraulique dimensionnée, des seuils de fond seront mis en place sur les zones recalibrées. Ils fonctionneront comme des points durs du profil en long du cours d'eau et limiteront l'évolution de ce dernier. On peut s'attendre à une érosion régressive et un enfoncement du lit sans ces dispositifs (les berges étant protégées – cf. paragraphe suivant, le cours d'eau dissipera son énergie dans le lit du cours d'eau). Ce dispositif sera mis en place sur un linéaire total de 30 ml au total soit 3,5 % du linéaire total de cours d'eau aménagé.

Pour une continuité des protections, ces seuils de fond (radiers) seront constitués en matelas Reno disposés sur toute la largeur du cours d'eau. Ils présenteront une longueur d'environ 5 m. Une recharge alluvionnaire sera mise en place sur une largeur d'environ 5 m pour laisser de la mobilité au lit d'étiage.

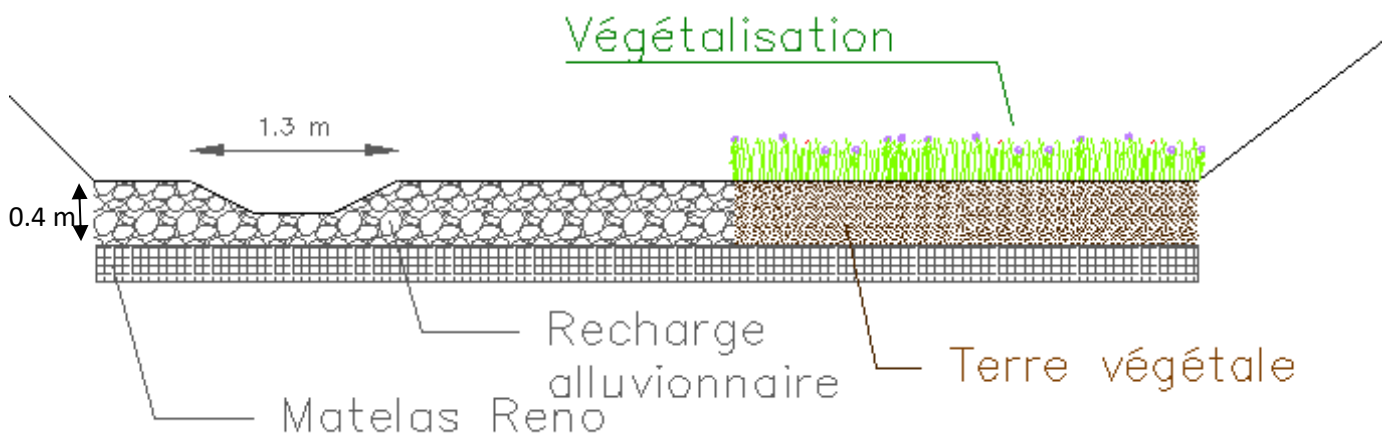


Figure 60 : Coupe type d'aménagement des seuils de fond

3.3.2.2. Profil en travers

❖ Forme générale du profil

Afin de répondre à l'objectif principal du projet d'amélioration de la capacité d'écoulement du lit, celui-ci prévoit l'élargissement du lit du Rieumassel et l'aménagement de l'une ou l'autre des deux berges, selon les contraintes en présence (cf. détails ci-après).

Par ailleurs, en cohérence avec les textes réglementaires en vigueur sur l'eau et les milieux aquatiques, il est proposé d'associer à ce projet un objectif secondaire de renaturation du cours d'eau.

Pour cela, le recalibrage du cours d'eau a été réalisé selon un profil type dit « à lits emboîtés », permettant de créer un lit spécifique pour les débits faibles à moyen. Cela conduira à la limitation des zones de stagnation et à garantir une lame d'eau minimale propice à la vie piscicole.

Le lit « courant » a été dimensionné pour une débitance correspondant au module du Rieumassel (0,061 m³/s d'après la cartographie nationale des débits d'étiage et module produite par l'IRSTEA en 2012). Il présente une largeur en fond de 50 cm, une hauteur de 20 cm et une largeur en tête de 1,3 m.

Localement, des recharges alluvionnaires pourront être mises en place. Elles seront définies au stade projet.



Figure 61 : Coupe type du lit du Rieumassel après réalisation du projet

La création de ce profil avec risberme confère de fait un sentier propice à la circulation piétonne (promenade). Toutefois, le projet ne prévoit aucun aménagement spécifique pour favoriser cette circulation.

❖ Contraintes érosives

La crue de dimensionnement de projet est la crue centennale. Elle conduit à des vitesses et des contraintes érosives importantes sur les berges du cours d'eau.

Le tableau ci-dessous présente par zone, les forces tractrices et les vitesses minimale, moyenne et maximale observées sur chaque tronçon pour la crue de dimensionnement. A noter que ces vitesses sont dans tous les cas moyennées sur la section hydraulique et ne prennent pas en compte des effets locaux pouvant conduire à des survitesses, notamment en berge (méandre par exemple).

		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone int. 4-5	Zone 5
Force tractrice (N/m ²)	Minimale	120	150	150	180	200	190
	Moyenne	180	170	190	200	220	230
	Maximale	250	180	240	230	250	260
Vitesse (m/s)	Minimale	1.3	1.3	1.5	1.6	1.4	1.4
	Moyenne	1.4	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8
	Maximale	1.7	2.2	2.3	2.0	2.6	2.8

Tableau 36 : Vitesses et forces tractrices sur les secteurs aménagés

En moyenne, la force tractrice varie entre 170 et 220 N/m² selon les zones et les vitesses entre 1,4 et 1,8 m/s, avec des vitesses maximales pouvant atteindre 2,8 m/s.

Aussi, face à ces contraintes et pour assurer la pérennité des aménagements et de la protection contre les inondations, le projet prévoit la mise en place de protections sur les berges et ponctuellement dans le lit du cours d'eau.

Le tableau suivant issu du rapport « *Génie Végétal en rivière de Montagne - Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales : végétalisation de berges et ouvrages bois, Génie Alp* » dresse un panel des valeurs de résistance des différentes techniques de protection de berge, selon différentes sources bibliographiques.

Technique	Contrainte tractrice [N/m ²]		
	À la réalisation	1 à 2 ans après	3 ou 4 ans après
Enherbement	4 ⁽³⁾ -20 ⁽³⁾	25-30 ⁽³⁾	30 ⁽³⁾ -100 ⁽²⁾
Boutures	10 ⁽³⁾	60 ⁽³⁾ -150 ⁽¹⁾	60 ⁽³⁾ -165 ⁽¹⁾
Boudin d'hélophytes	10 ⁽³⁾ -30 ⁽²⁾	20-30 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽¹⁾
Clayonnages	10 ^(2,3)	10-15 ⁽³⁾	10 ⁽³⁾ -120 ⁽¹⁾
Fascines	20 ⁽³⁾ -60 ⁽²⁾	50 ⁽³⁾ -60 ⁽³⁾	80 ⁽²⁾ -250 ⁽⁴⁾
Saules		50-70 ⁽⁴⁾	100-140 ⁽⁴⁾ 800 (20 ans) ⁽⁴⁾
Plantation d'arbre	20 ⁽²⁾		120 ⁽²⁾
Lit de plants et plançons	20 ^(2,3)	120 ⁽³⁾	140 ^(2,3)
Couche de branches à rejet	50 ^(2,3) -150 ⁽³⁾	150 ⁽³⁾ -300 ⁽³⁾	300 ^(2,3) -450 ⁽³⁾
Caissons végétalisés	500 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾	600 ⁽³⁾
Enrochements	Végétalisés	100 ⁽³⁾ -200 ⁽²⁾	100 ⁽³⁾ -300 ⁽³⁾
	Nus	250 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾

1 : Faber 2004 ; 2 : Schiechl et Stern 1996 ; 3 : Venti *et al.* 2003 ;
4 : Lachat 1994.

Tableau 37 : Contraintes tractrices calculées pour des crues données pour diverses techniques de génie végétal

Au vu des valeurs attendues en crue (170 à 220 N/m²), des protections de berge en techniques végétales uniquement ne sont pas adaptées aux contraintes et n'assureront pas la pérennité des berges, qui sont par ailleurs situées en zone fortement urbanisée et parfois en bordure immédiate d'habitations.

En conséquence, des dispositifs spécifiques ont été retenus mixant sur la grande majorité du linéaire une technique minérale en pied de berge et une végétalisation sur géogrille tridimensionnelle en haut de berge. Seuls les profils très contraints en terme d'emprise ou de contrainte hydraulique (extrados de méandre) sont protégés par des techniques minérales sur toute la hauteur de berge. Le choix de la technique minérale employée en berge (matelas Reno) s'est porté sur une solution permettant une couverture en terre végétale et une revégétalisation.

Le talus sera systématiquement végétalisé sur toute sa hauteur (ensemencé), hors tronçons en murs gabions. Le projet prévoit en sus la plantation d'espèces ligneuses déjà présentes sur le site sur les hauts de talus sur les profils type P1 et une densité inférieure sur les profils de type P3.a (perçage du matelas Réno).

Les arbres seront plantés en hauts de berge pour ne pas impacter les protections de pied de berge et pour ne pas augmenter la rugosité du lit du cours d'eau.

Le type de protection retenu est adapté en fonction des contraintes sur les berges et décrit dans le paragraphe suivant.

❖ Description des profils types

En fonction des emprises disponibles et des sollicitations hydrauliques, plusieurs types de profils de berges ont été envisagés sur le cours d'eau. La hauteur des berges est comprise entre 1,5 et 4 m.

Profil de base P1 – Protection mixte (Figure 62)

Sans contraintes hydrauliques et foncières particulières, le profil est constitué :

- d'une protection du pied de berge en matelas Reno sur 1 m de hauteur et sur environ 2 m en pied ;
- sur toute la hauteur supérieure de berge, d'une géogrille tridimensionnelle renforcée par un grillage double torsion. Ce type de géogrille a pour fonction de retenir la terre végétale et de favoriser le développement racinaire afin de lutter contre l'érosion superficielle ;
- d'une couche de terre végétale permettant la végétalisation complète de la berge et du matelas Réno en pied (ensemencement et plantations sur le talus).

La géogrille de renforcement du talus permet d'assurer une résistance à une vitesse d'écoulement jusqu'à 3 m/s après végétalisation.

Cette solution présente l'intérêt d'assurer une protection solide du pied de berge et du talus tout en permettant une bonne insertion paysagère et une valorisation écologique du cours d'eau.

Le profil de « base » présente un talus penté à 2H/1V autant que possible et est raidi à 1H / 1V en cas de trop fortes contraintes foncières.

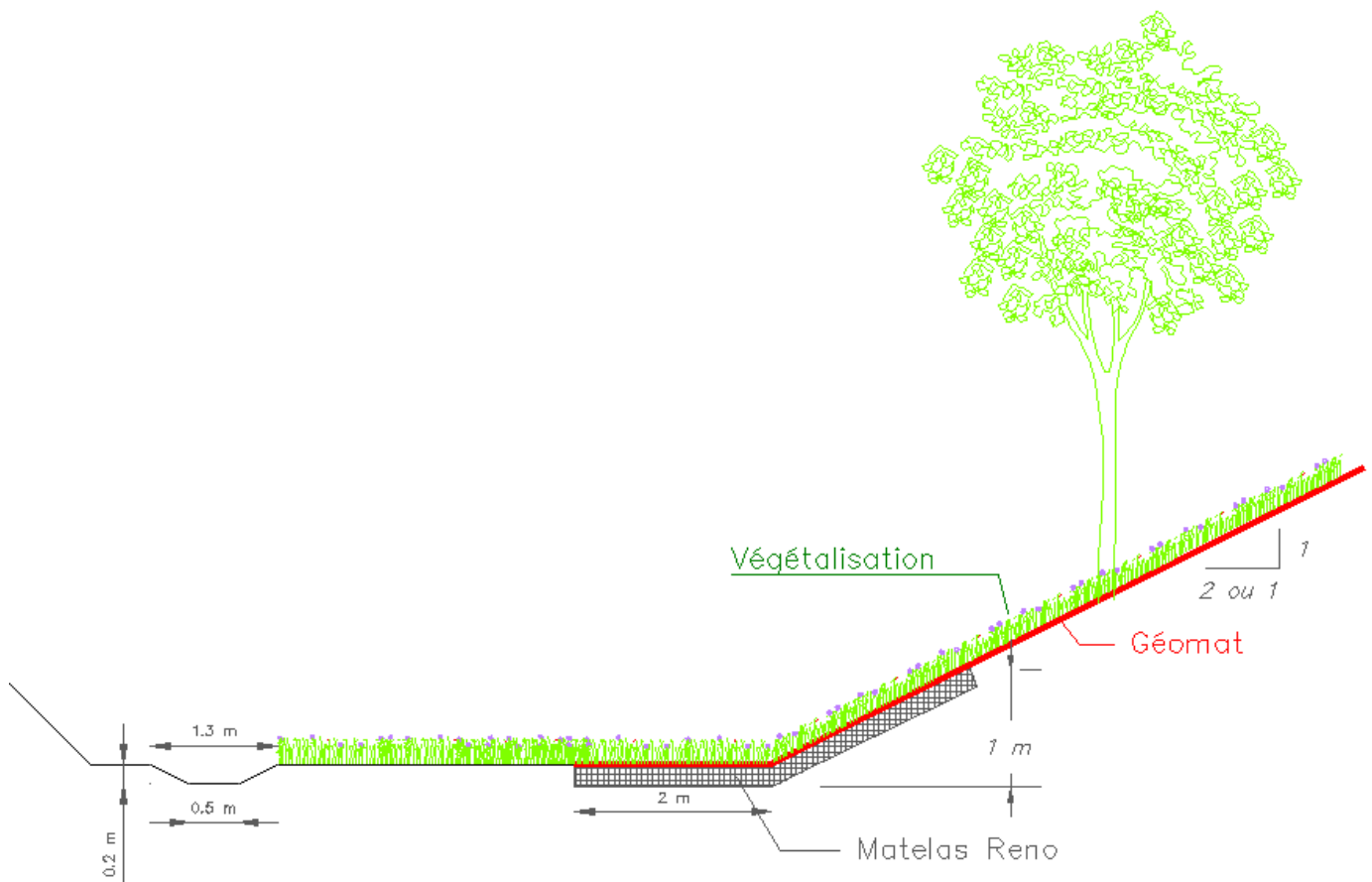


Figure 62 : Profil de base – P1

Profils spécifiques P2 et P3 :

Lorsque l'emprise disponible est réduite ou en extrados de méandres (lorsque les sollicitations hydrauliques sont importantes), la berge est soit constituée d'un mur en gabions, soit protégée sur toute sa hauteur par un matelas Reno ou des enrochements liaisonnés.

La solution P2 en mur gabion permet une optimisation de la section hydraulique en cas de contraintes foncières trop fortes. Il a été choisi de proposer la mise en œuvre de gabions plutôt qu'un mur en béton par exemple pour assurer une meilleure insertion paysagère.

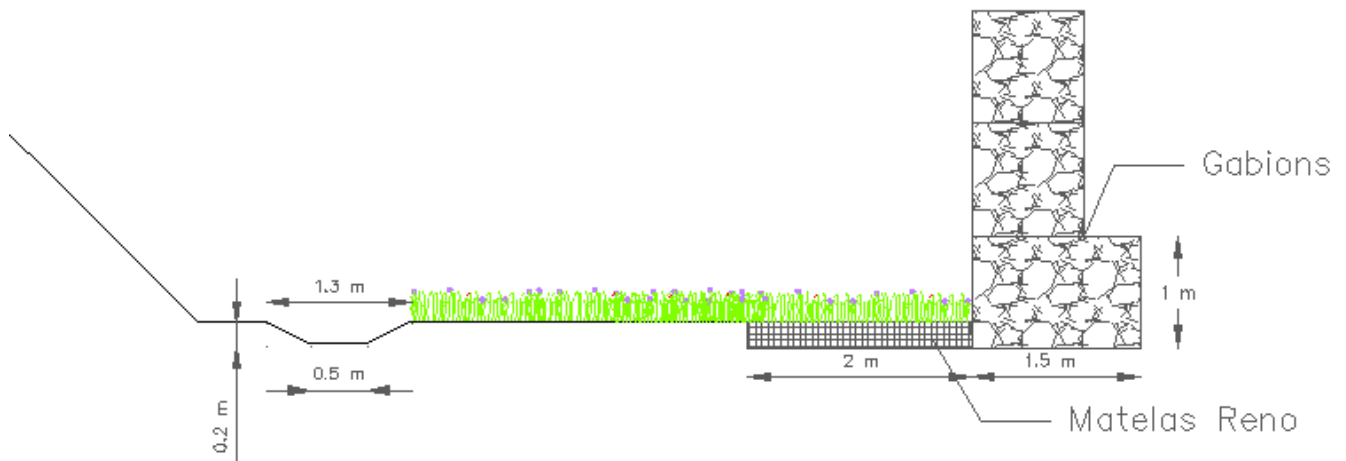


Figure 63 : Berge - mur en gabions – P2

Le profil P3a prévoit la protection de la berge par un matelas Réno (ou équivalent) de 23 cm d'épaisseur sur toute la hauteur du talus, permettant de faire face à des contraintes hydrauliques plus fortes (jusqu'à 5,5 m/s). Le matelas Réno pourra être refermé avec une géogrille tridimensionnelle renforcée du même type que celle prévue sur le profil de base P1. Elle permettra la végétalisation complète et rapide de la berge. A noter toutefois que la mise en œuvre de matelas Réno sur une berge à 1H/1V est a priori délicate et demande un savoir-faire spécifique de l'entreprise.

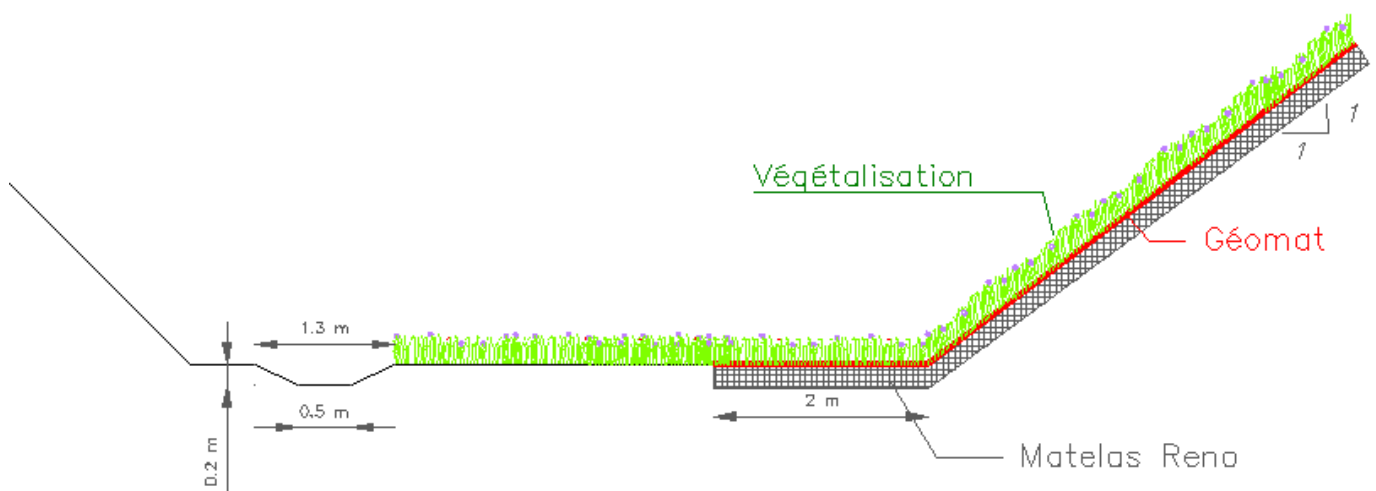


Figure 64 : Berge - Matelas Reno -P3.a

Une variante en enrochements liaisonnés (profil P3b) a également été envisagée en remplacement du profil P3a. Elle présente l'inconvénient d'une insertion paysagère moins bonne et de l'absence de possibilité de végétalisation. Par contre, sa mise en œuvre est a priori plus facile.

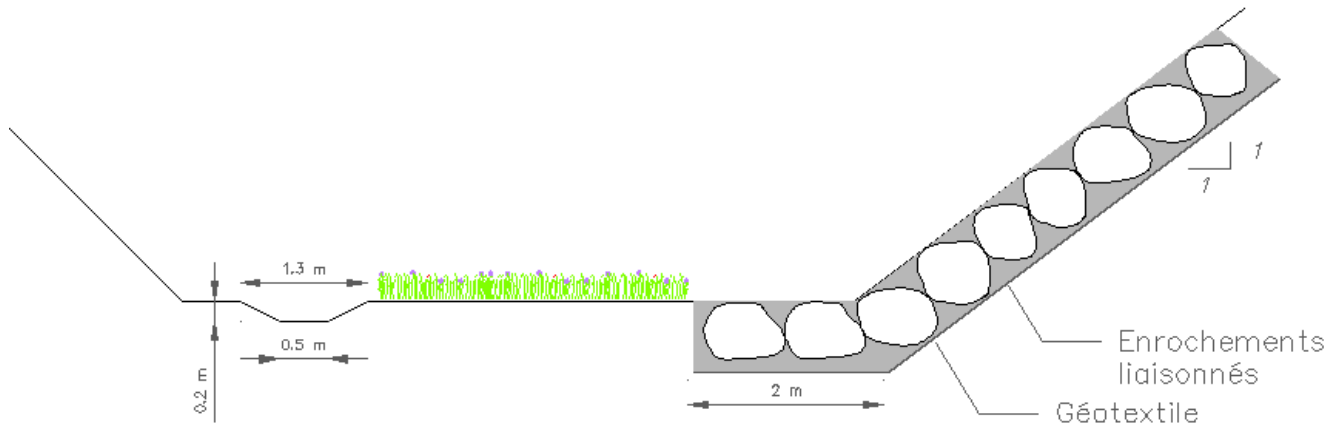


Figure 65 : Berge – Enrochements liaisonnés -P3.b

La métropole a retenu le profil P3.a.

Transition :

Le projet prévoit en amont et en aval des berges aménagées sur toute leur hauteur de prolonger la géogridle tridimensionnelle sur quelques mètres pour éviter les risques d'érosion régressives.

3.3.2.3. Bilan

La répartition des types de berges est présentée dans le tableau suivant :

Type de berges	Rive droite	Rive gauche	Total	% du linéaire réaménagé
Type P1 (Mixte)	205 m	780 m	985 m	76%
Type P2 (Murs gabions)	30 m	65 m	95 m	7%
Type P3.a (Réno toute hauteur)	110 m	60 m	170 m	14%
Enrochements (amont/aval pont des écoles)	20 m	20 m	40 m	3%
Total	365 m	925 m	1290 m	100%

Tableau 38 : Linéaire de berges aménagées par type de profils

Une vue en plan des aménagements est disponible en Annexe.

3.3.3. Zone 1

3.3.3.1. Aménagements

Elargissement du lit

La zone 1 présente un linéaire d'environ 270 m. La confluence du Rieumassel avec le Redonnel est située au milieu de ce tronçon.

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau rive droite et rive gauche ;
- Mise en place de deux radiers en amont et en aval de la zone ;
- Construction d'un merlon pour limiter les inondations sur le quartier du plein soleil.

Ils sont visibles sur la Figure 66.

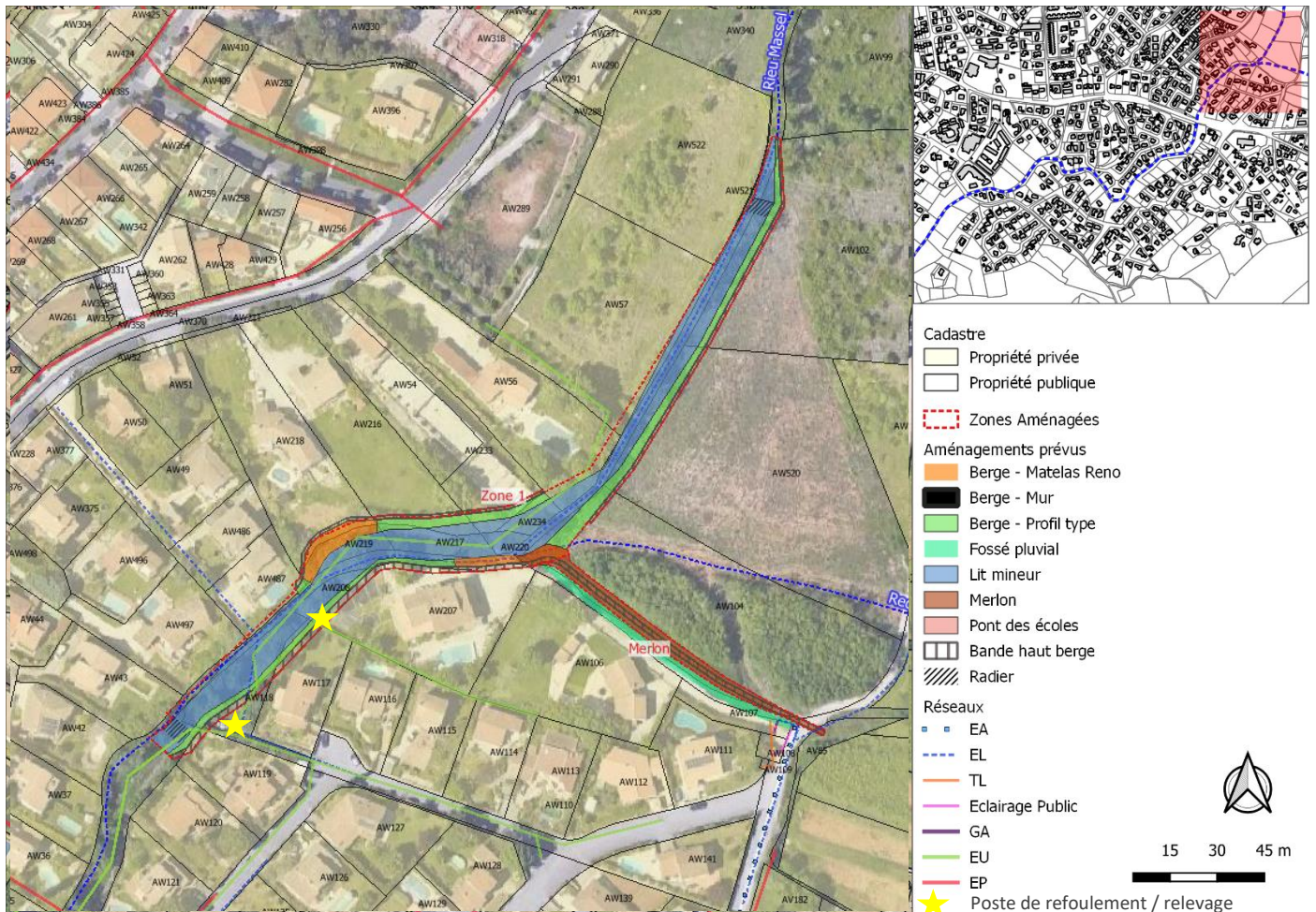


Figure 66 : Aménagements prévus sur la zone 1

Sur la majeure partie du tronçon, le profil de base (P1) sera réalisé.

Une partie du bâtiment présent sur la parcelle AW233 sera détruit. Ce bâtiment est actuellement inoccupé. Son permis de construire n'a par ailleurs pas été accordé par la commune.

Dans l'extrados du méandre, au niveau du raccordement du merlon, la berge rive gauche sera confortée sur toute la hauteur (matelas Reno – Profil P3.a ou enrochements liaisonnés - profil P3.b).

Actuellement l'extrados du méandre est protégé par des enrochements sur la partie basse de la berge. Le projet prévoit le confortement de la totalité de la berge (y/c du pied de berge). L'extrados du méandre en rive droite sera donc conforté sur toute la hauteur du

profil avec des matelas Reno (profil P3). Il sera laissé le choix à l'entreprise d'utiliser les enrochements présents sur site en extrados de méandre (pour le pied de berge par exemple). En sortie de méandre, la berge sera reprise sur une dizaine de mètres avec une géogrille tridimensionnelle pour assurer la continuité avec la berge existante et éviter une érosion de berge au niveau de la transition.

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Amont > Redonnel	150 ml	P1	1,5 m	2/1
RG	Extrados méandre	25 ml	P3	1,5 m	2/1
RG	Parcelles 207 – 117 -118	120 ml	P1	2 m	1/1
RD	Parcelles 234-233-216	60 ml	P1	1,5 m	2/1
RD	Parcelles 216-219	25 ml	P3	2 m	2/1
RD	Parcelles 487	10 ml	P1	2 m	1/1 (raccordement)

Tableau 39 : Zone 1 - caractéristiques des aménagements de berge prévus

Merlon

Pour limiter les inondations du quartier du Plein Soleil, un merlon est prévu le long du chemin d'accès aux parcelles 106 et 207 en plus du recalibrage du Rieumassel. Il présentera les caractéristiques suivantes :

- Longueur : 100 m ;
- Hauteur : environ 70 cm par rapport au TN (voirie d'accès aux parcelles 106, 207);
- Pente des talus : 2H/1V ;
- Largeur en pied : environ 4,5 m.

Le merlon sera implanté en bordure de la voie d'accès aux parcelles privées.

Pour éviter un contournement des eaux en amont, le merlon sera prolongé par un dos d'âne sur le chemin du Redonnel et par un merlon sur une vingtaine de centimètres sur la parcelle publique n°85 amont. En aval, il se raccordera sur le mur de clôture de la parcelle AW207.

Les eaux pluviales de la voirie du chemin d'accès aux parcelles privées seront drainées en pied de merlon puis rejoindront le Rieumassel juste en amont de la parcelle 207 via une canalisation positionnée sous le merlon, et munie d'un clapet anti-retour.

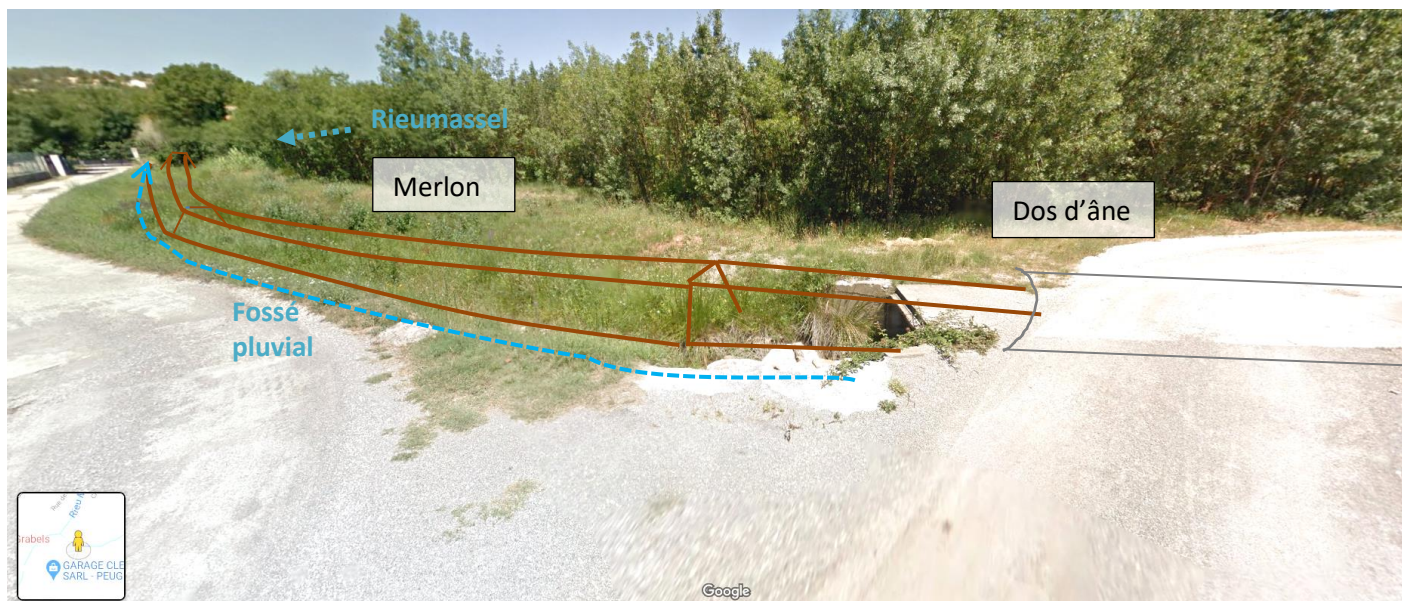


Figure 67 : Schéma du merlon



Figure 68 : Raccordement aval du merlon sur le mur de la parcelle AW207

Remarque : au droit de la parcelle AW207, l'ajout du merlon conduit à décaler le lit mineur du cours d'eau vers la rive droite (parcelle AW233).

Incidence du merlon

Les cartes ci-dessous présentent l'incidence du merlon sur l'emprise inondée pour la crue centennale.

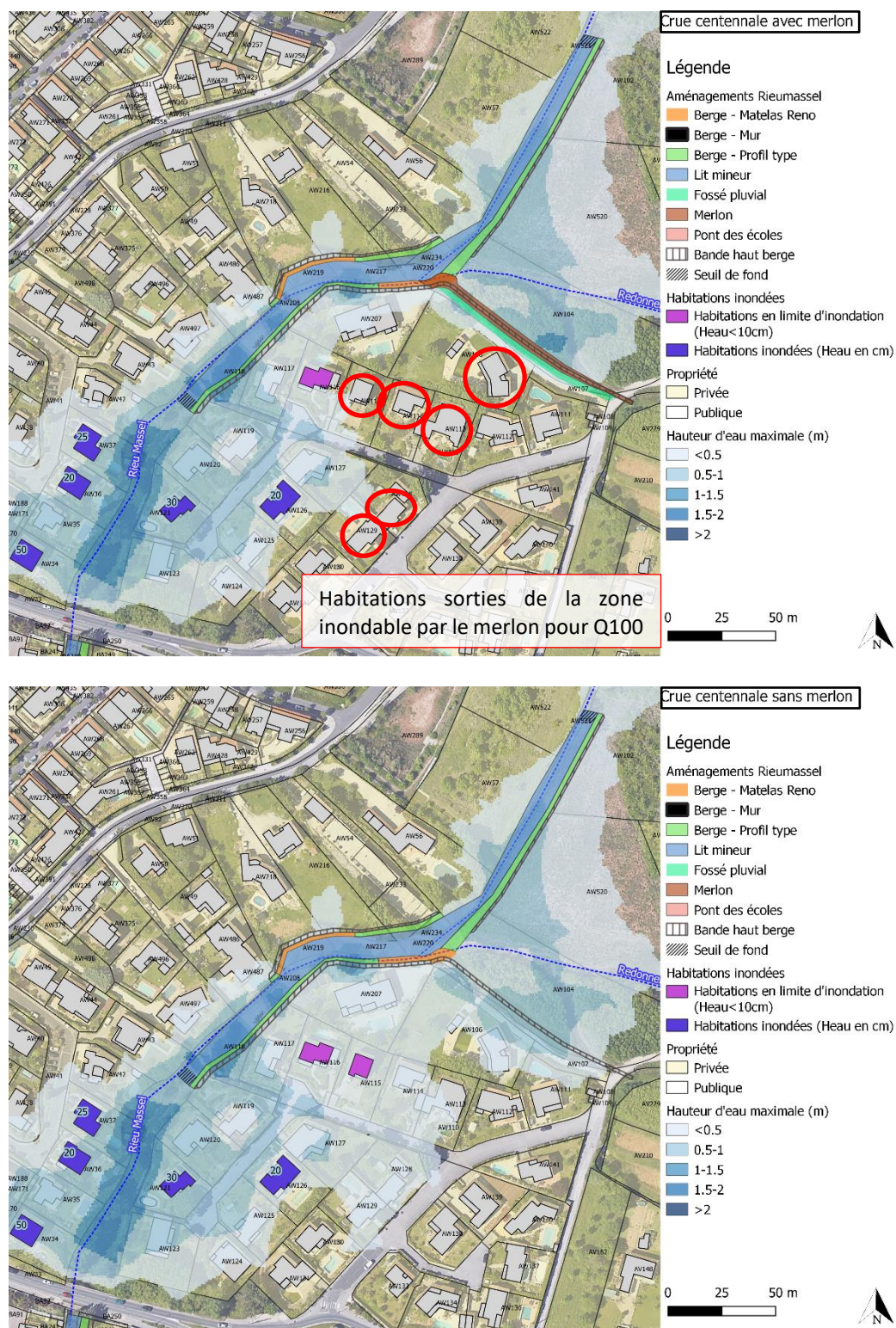


Figure 69 : Hauteurs d'eau maximales pour la crue centennale avec et sans merlon

Le merlon permet de sortir 6 habitations de l'emprise inondable pour la crue centennale, soit environ 13 personnes (ratio de 2,14 personnes / ménages selon l'INSEE en 2017).

3.3.3.2. Réseaux

Deux réseaux sont présents dans l'emprise des travaux (eaux usées et électrique). Ils traversent le cours d'eau, à plusieurs reprises pour le réseau d'eaux usées. Un levé topographique de ces réseaux est en cours.

Les réseaux traversant actuellement le cours d'eau sous le fond du lit ne seront a priori pas impactés puisque le projet ne prévoit pas d'évolution du profil en long. Les réseaux affleurant seront protégés en phase chantier avec la mise en place d'une dalle de répartition. Ce dispositif sera retiré à la fin des travaux et les réseaux seront laissés en l'état actuel, sans protection spécifique. Cela ne conduira donc pas à une artificialisation supplémentaire du fond du lit.

Un poste de refoulement est présent sur la parcelle 117. Il est situé en dehors de l'emprise des travaux.

3.3.4. Zone 2

3.3.4.1. Aménagements

La zone 2 est située en aval du pont de la route de Montpellier. Elle présente un linéaire d'environ 100 m.

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche uniquement ;
- Mise en place d'un radier en aval.

Ils sont visibles sur la Figure 70.

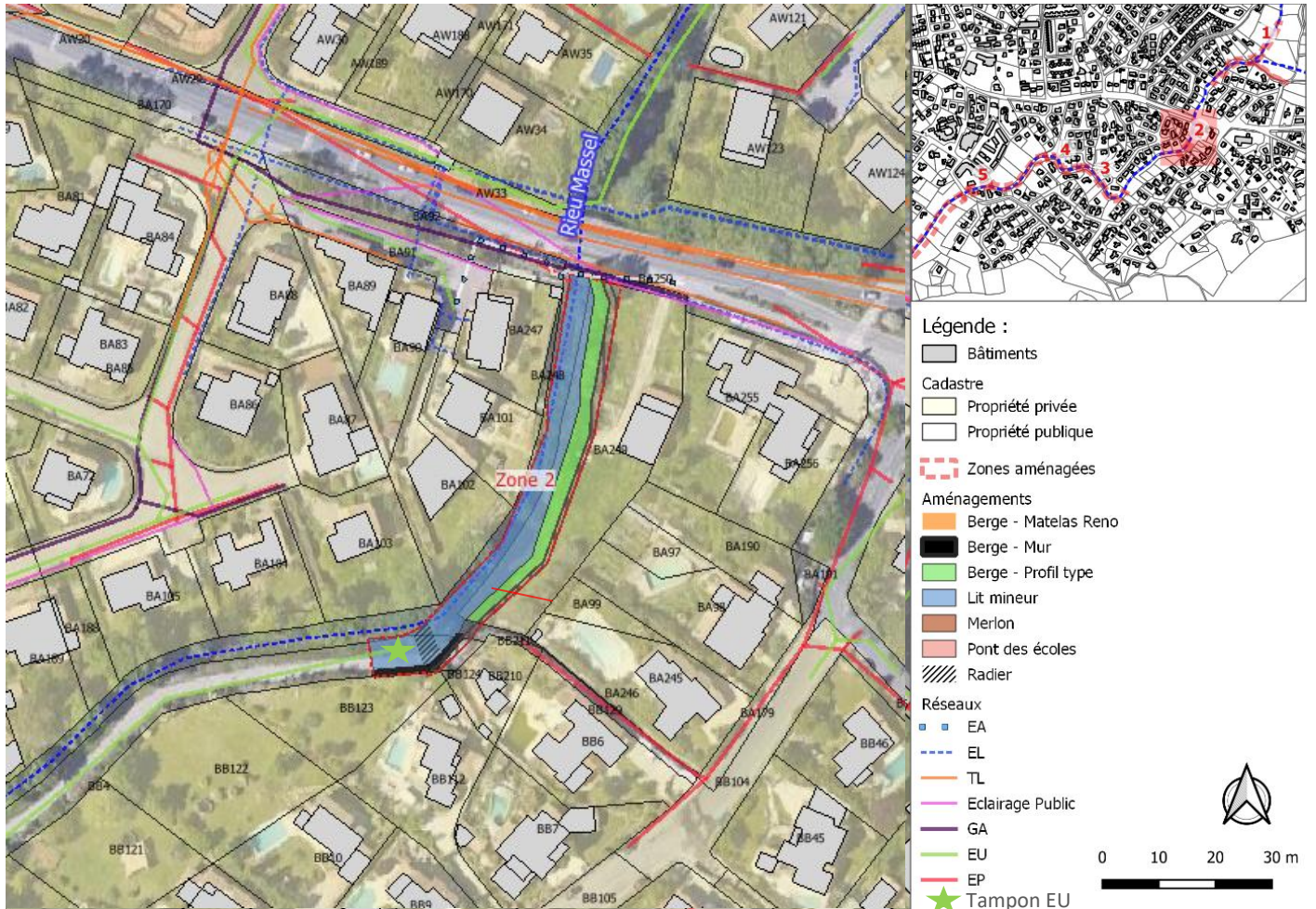


Figure 70 : Aménagements prévus sur la zone 2

Sur la majeure partie du tronçon, le profil de base (P1) sera réalisé.

Sur la partie aval, un exutoire pluvial rejoint le Rieumassel en rive gauche. En aval immédiat, la berge (de faible hauteur) sera verticale, constituée de gabions (Profil P2), en remplacement du petit merlon en enrochements liaisonnés existant.

Les berges de l'exutoire pluvial seront protégées sur quelques mètres pour assurer la transition avec les protections de berges du Rieumassel.

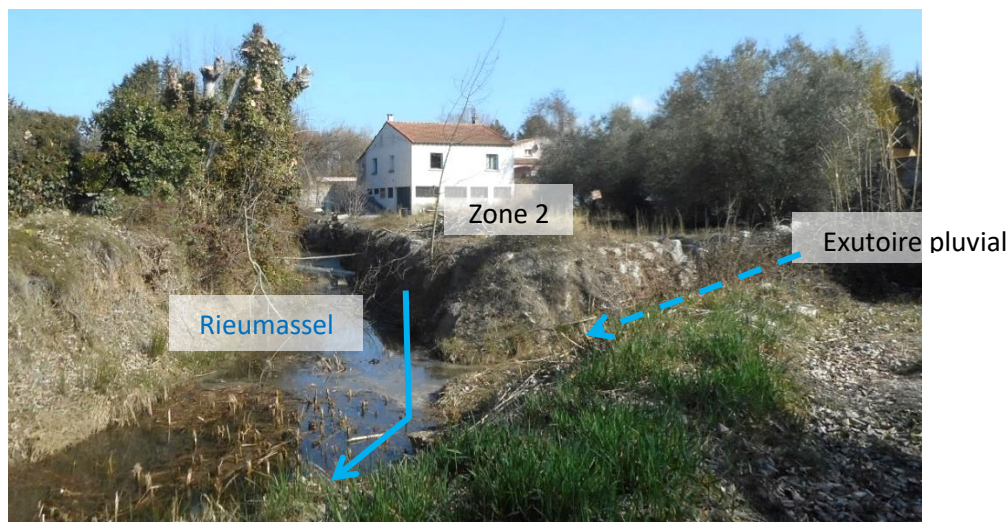


Figure 71 : Vue de l'exutoire pluvial au niveau de la zone 2

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle 249 – amont	30 ml	P1	4 m	2/1
RG	Parcelle 249 – aval	60 ml	P1	2 m	1/1
RG	Aval de l'exutoire pluvial	25 ml	P2	1,5 m	-

Tableau 40 : Zone 2 - caractéristiques des aménagements de berge prévus

3.3.4.2. Réseaux

Comme évoqué ci-avant, un fossé pluvial se jette dans le cours d'eau en aval de la zone. Il sera rétabli. Un passage pourra éventuellement être mis en place pour permettre une traversée piétonne de ce dernier.

Une petite portion du réseau d'assainissement sera potentiellement impactée par les travaux. Un levé de ce dernier est en cours.

En cas d'impact, le tampon ainsi que le réseau seront légèrement décalés. S'agissant d'une fin de branche, l'ampleur des travaux sera limitée.

3.3.5. Zone 3

La zone 3 présente un linéaire d'environ 170 m.

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche uniquement. Le projet prévoit la protection de l'extrados du méandre. D'après les visites de site, il semble que la berge rive gauche soit rocheuse au niveau du premier méandre. Des investigations géotechniques seront réalisées en phase PRO pour adapter, voire alléger les protections de berge et ajuster les dispositions à prévoir pour la réalisation des terrassements (emploi de BRH).
- Confortement de la berge rive droite située dans l'extrados du second méandre par un mur en gabions ;

- Mise en place d'un radier en amont de la zone.

Les aménagements envisagés à ce stade sont visibles sur la Figure 72.

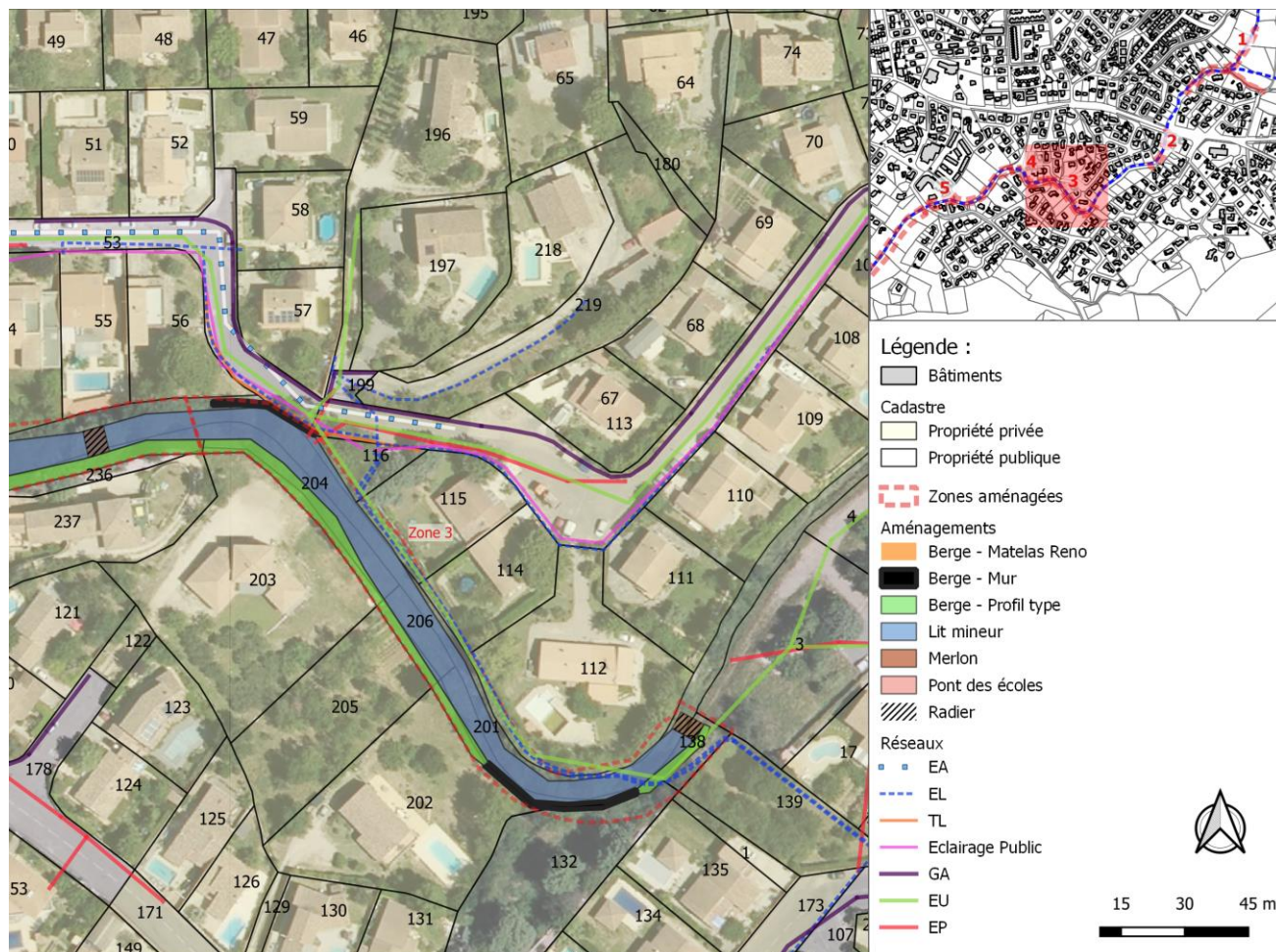


Figure 72 : Aménagements prévus sur la zone 3

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle 138	20 ml	P1	3,5 m	1/1
RG	Extrados méandre	40 ml	P2	2,5 m	-
RG	Parcelles 201 – 205	65 ml	P1	2,5 m	1/1
RG	Parcelle 204	45 ml	P1	2 m	2/1
RD	Extrados méandre	25 ml	P2	2,5 m	-

Tableau 41 : Zone 3 - caractéristiques des aménagements de berge prévus

3.3.5.1. Réseaux

Des réseaux sont présents dans l'emprise des travaux :

- Réseaux HT qui traversent le cours d'eau dans le premier méandre et dont un extrait du plan topographique fourni par le gestionnaire est visible sur la figure suivante :

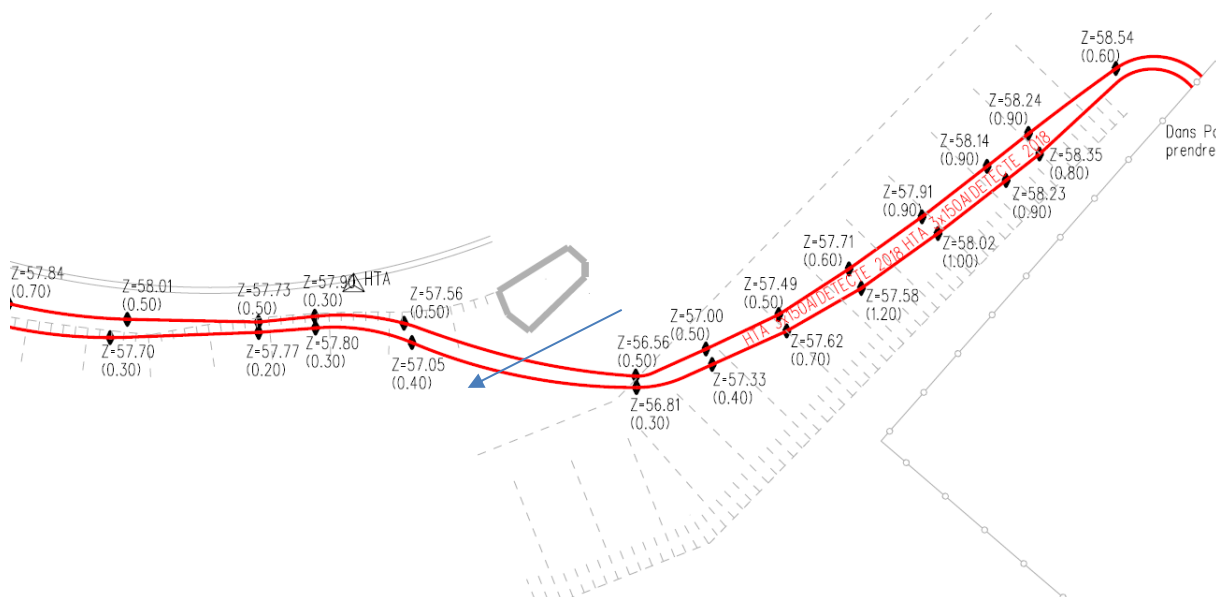


Figure 73 : Cotes réseaux HT - Extrait retour DT - Gestionnaire CESML

La cote du fond du lit à ce niveau est à 56,84 m NGF. Ces réseaux étant proches du fond du lit, ils seront protégés en phase chantier avec la mise en place d'une dalle de répartition. Ce dispositif sera retiré à la fin des travaux et les réseaux seront laissés en l'état actuel, sans protection spécifique. Cela ne conduira donc pas à une artificialisation supplémentaire du fond du lit.

- Réseau d'eaux usées en rive gauche sur la partie amont du tronçon. Il traverse ensuite le cours d'eau une quinzaine de mètres en aval. Un levé topographique de ce réseau est en cours.
- Rejet du bassin pluvial en rive gauche au niveau du premier méandre. Ce rejet sera rétabli.

- De nombreux réseaux sont présents en rive droite dans la rue du Rio. Hormis le réseau pluvial, ils ne sont pas impactés par le projet mais une attention particulière devra être portée sur ce point en phase travaux. L'exutoire pluvial sera rétabli.

Les réseaux affleurant seront protégés en phase chantier avec la mise en place d'une dalle de répartition. Ce dispositif sera retiré à la fin des travaux et les réseaux seront laissés en l'état actuel, sans protection spécifique. Cela ne conduira donc pas à une artificialisation supplémentaire du fond du lit.

3.3.6. Zone 4

La zone 4 présente un linéaire d'environ 125 m.

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche uniquement ;
- Protection de la berge rive droite située dans l'extrados du dernier méandre sur toute sa hauteur ;
- Mise en place d'un radier sur la zone.

Parcelle 237 :

Le propriétaire de la parcelle M. Albernhe a construit une voie d'accès à son garage sur la parcelle communale BA236. Le projet sollicite la totalité de la surface de la parcelle communale et impacte donc cette voie d'accès.

Les aménagements envisagés à ce stade sont visibles sur la Figure 74.

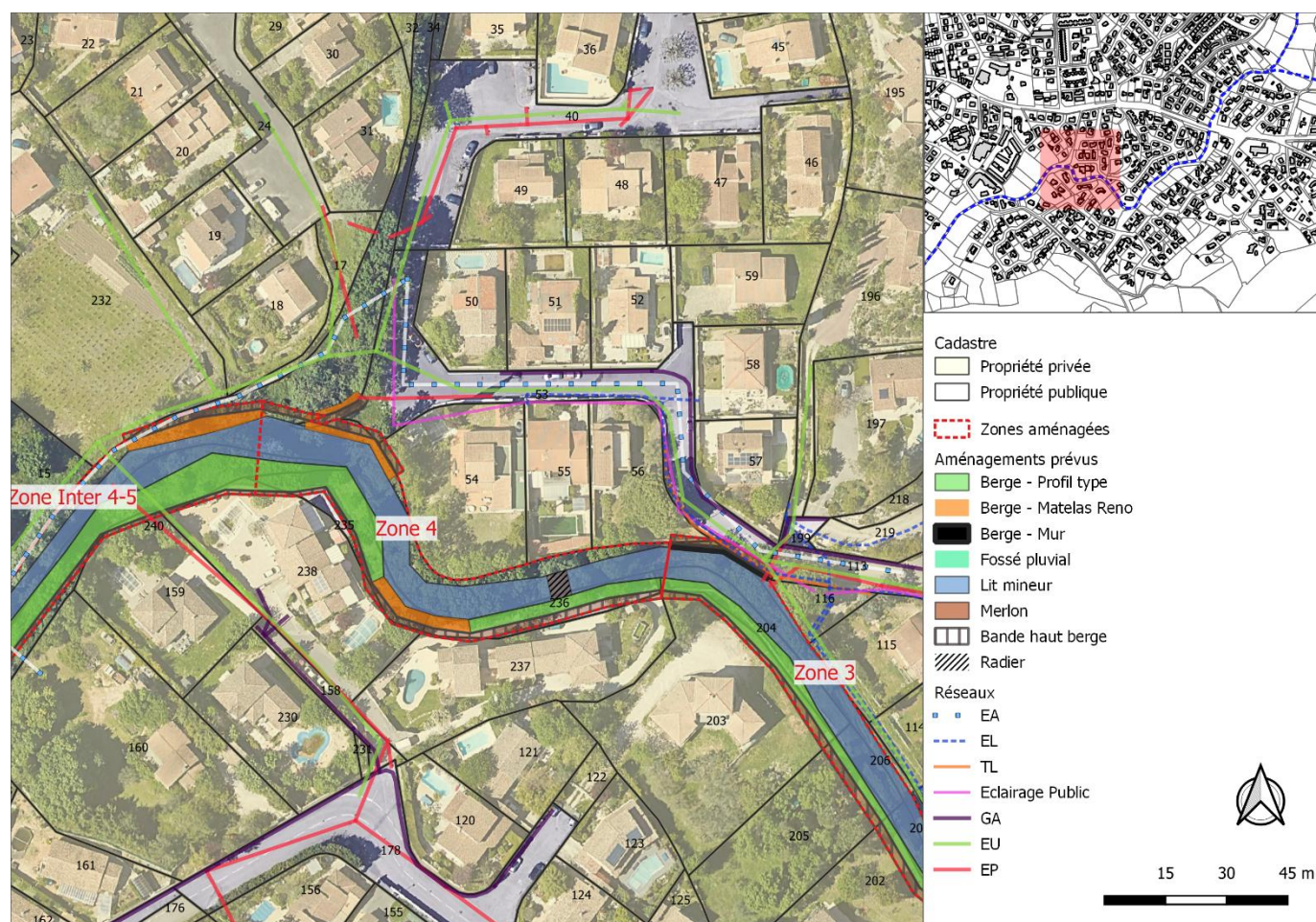


Figure 74 : Aménagements prévus sur la zone 4

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle BA 237	50 ml	P1	3,5 m	1/1
RG	Extrados	25 ml	P3	3,5 m	1/1
RG	Parcelle BA 238	50 ml	P1	4 m	2/1
RD	Extrados	50 ml	P3	2 m	1/1

Tableau 42 : Zone 4 - caractéristiques des aménagements de berge prévus

Remarque : Sur la parcelle 238, il n'y a pas de réduction notable de l'emprise. Le sommet des berges du cours d'eau atteignant déjà la parcelle privée en état actuel, les travaux vont consister à mettre en place une protection de berges (Géomat recouvert de terre végétale).

3.3.6.1. Variante – Berge en mur sur la parcelle BA 236

Pour limiter l'emprise du projet sur la parcelle BA 236 et ainsi ne pas impacter la voie d'accès aux garages une variante avec une berge en mur a été étudiée. Elle est présentée dans ce paragraphe.

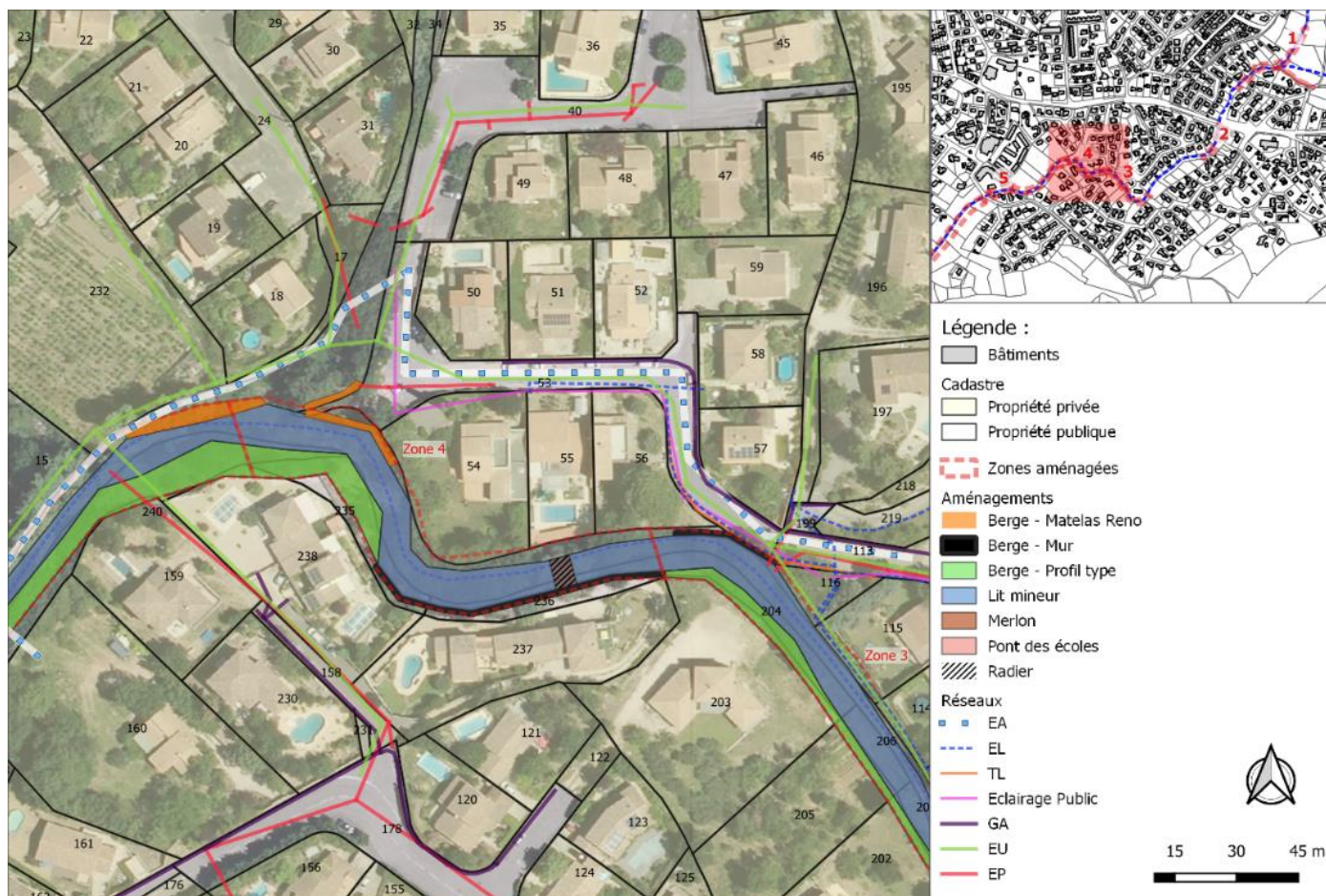


Figure 75 : Variante berge en mur sur la parcelle BA 236 – Aménagements sur la zone 4

Dans cette variante, l'impact du projet sur les parcelles est la suivante :

Rive gauche	
Parcelle	Emprise impactée par le projet (hors bande en sommet de berge) (m²)
Parcelles privées	
BA 238	10 m² (Zone 4) + 20 m² (Zone inter 4-5)
Parcelles publiques	
BA 236	220
BA 235	300
BA 240	90 m² (Zone 4) + 590 m² (Zone inter 4-5)

Tableau 43 : Impact foncier du projet d'aménagement sur la zone 4 – variante berge mur sur la parcelle BA 236

La métropole de Montpellier a retenu la solution de base (solicitation complète de la parcelle BA 236 pour le projet - pente de berge à 1H/1V de type P1).

3.3.6.2. Réseaux

Sur la partie aval, un exutoire pluvial rejoint le Rieumassel en rive droite. En aval immédiat, la berge sera protégée sur toute la hauteur (profil P3).

3.3.7. Zone intermédiaire 4-5

La zone intermédiaire aux zones 4 et 5 présente un linéaire d'environ 200 m. Le recalibrage de ce tronçon n'était pas prévu dans le programme d'aménagements initial. Il a dû être ajouté en cours d'étude pour permettre d'atteindre les objectifs (ligne d'eau EGIS dans le cours d'eau).

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche et en rive droite.

Ils sont visibles sur la Figure 76.

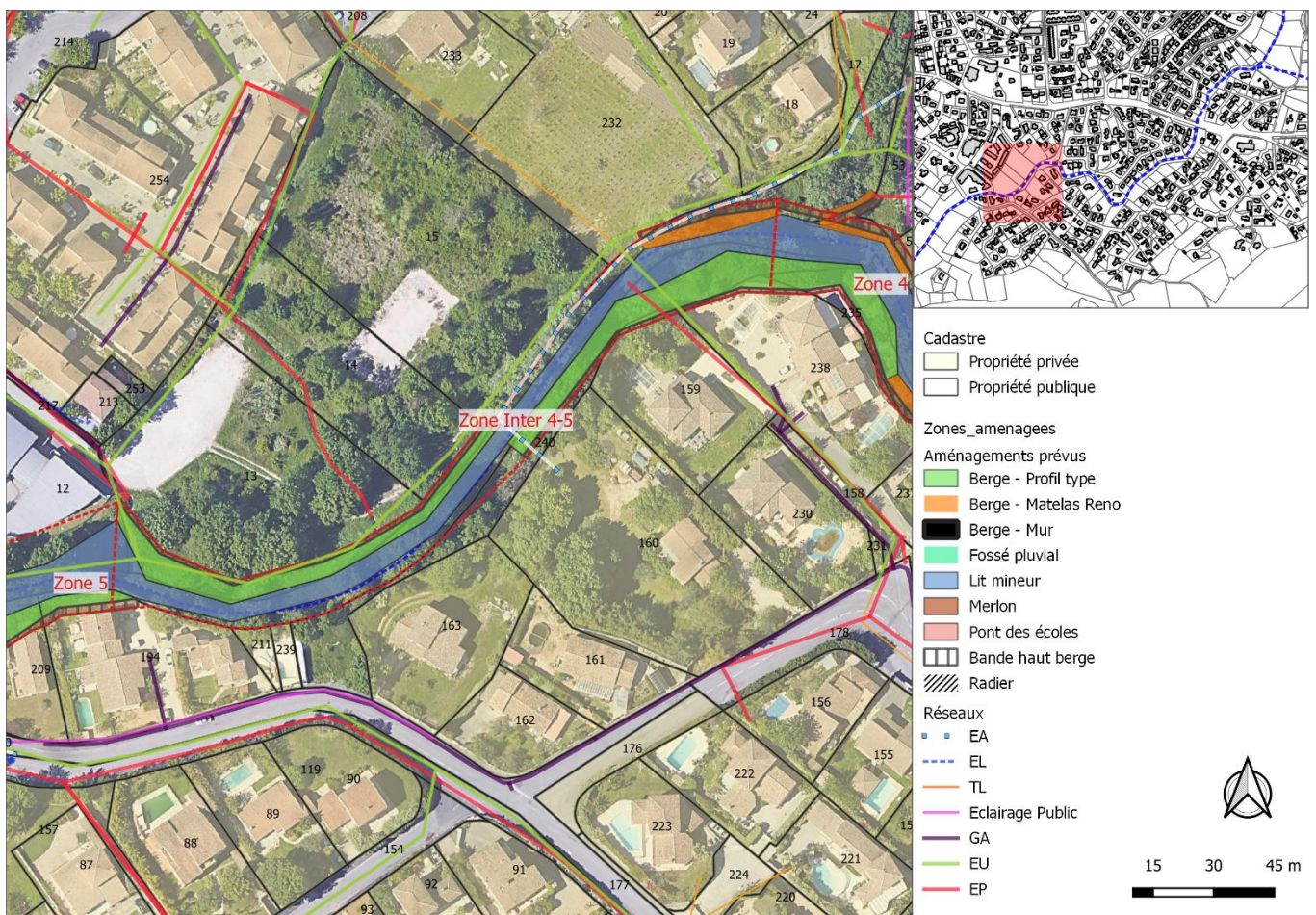


Figure 76 : Aménagements prévus sur la zone intermédiaire aux zones 4 et 5

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle 159 – 240	80 ml	P1	4 m	2/1
RD	Extrados	30 ml	P3	2 m	2/1
RD	Parcelles 14 -13	115 ml	P1	2 m	2/1

Tableau 44 : Zone Inter 4-5 - caractéristiques des aménagements de berge prévus

3.3.7.1. Réseaux

Des réseaux sont présents dans l'emprise du projet :

- Réseau d'eau potable : il longe le tiers supérieur du tronçon en rive droite et traverse le cours d'eau. Un levé topographique de ce dernier est en cours. Il sera protégé en phase chantier avec la mise en place d'une dalle de répartition. Ce dispositif sera retiré à la fin des travaux et les réseaux seront laissés en l'état actuel, sans protection spécifique. Cela ne conduira donc pas à une artificialisation supplémentaire du fond du lit.
- Réseau d'eaux usées : Il longe la berge rive droite. Les profils sur ce tronçon ont été établis de sorte que ce réseau ne soit pas impacté. Néanmoins, des précautions particulières devront être prises en phase travaux.

3.3.8. Zone 5

Deux variantes sont envisagées sur la zone 5 et le Pont des écoles :

- Variante 1 : Un calage sur la ligne d'eau d'EGIS : le pont des écoles surverse pour la crue centennale,
- Variante 2 : Un recalibrage permettant au pont des écoles d'être non déversant pour la crue centennale. Cette variante implique un recalibrage du cours d'eau en aval du pont des écoles sur environ 230 m.

3.3.8.1. Aménagements - Variante 1

La zone 5 présente un linéaire d'environ 60 m. Un recalibrage en aval du pont d'un linéaire d'environ 50 m est également nécessaire sur cette variante (raccordement du pont élargi au cours d'eau).

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche uniquement ;
- Reprise du pont des écoles (élargissement de 8 m) : Ce point est étudié dans un chapitre dédié (0).
- Mise en place d'un radier sous le pont des écoles.

Ils sont visibles sur la Figure 77.

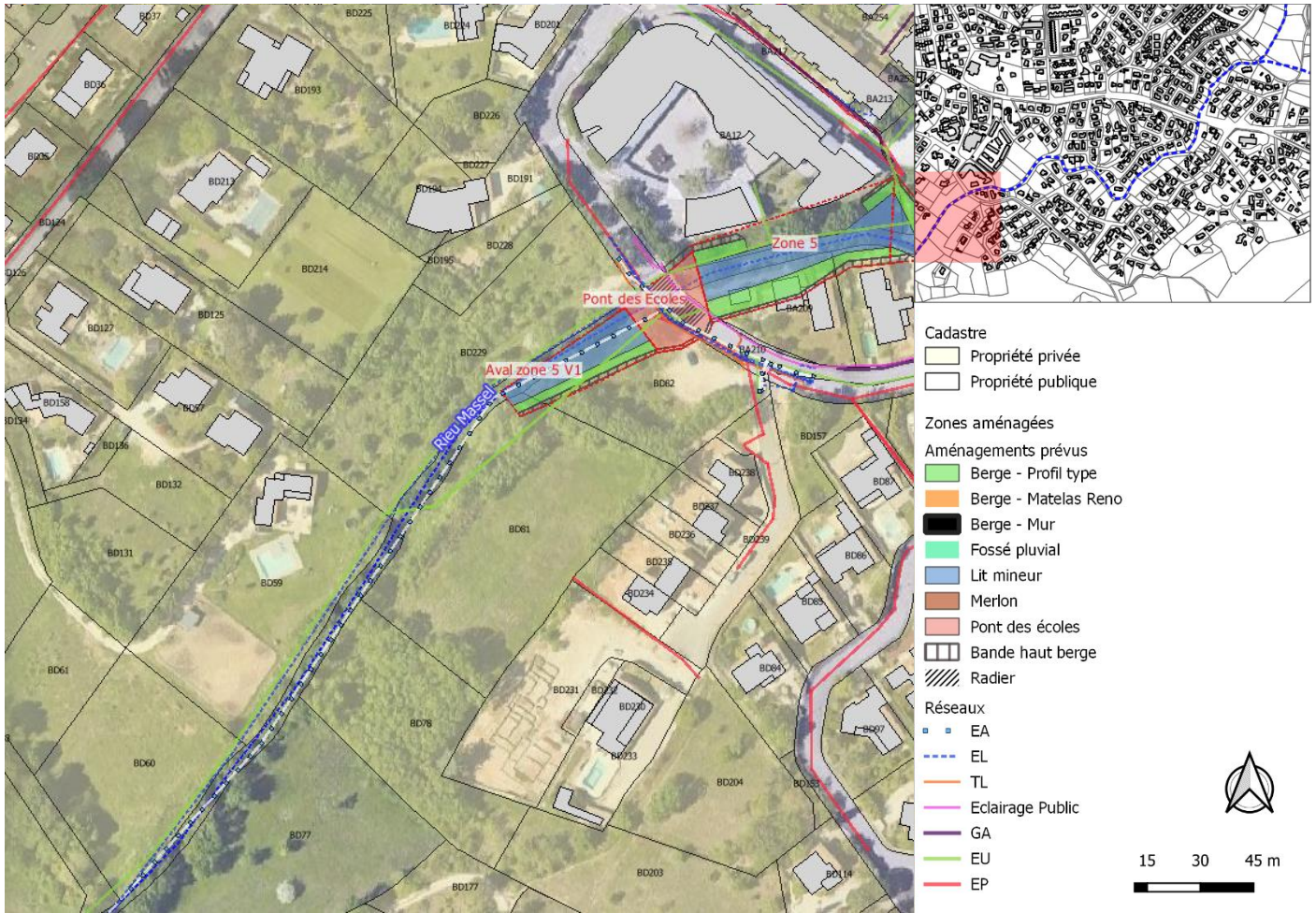


Figure 77 : Aménagements de la zone 5, ainsi que de la partie en aval du pont des écoles – Variante 1

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle BA 194	25 ml	P1	3 m	1/1
RG	Parcelle BA 209	40 ml	P1	3 m	2/1
RG	Aval pont	50 ml	P1	2,5 m	2/1

Tableau 45 : Zone 5 v1- caractéristiques des aménagements de berge prévus

3.3.8.2. Réseaux

En aval du pont des écoles, un réseau d'eau potable et un réseau d'eau usée sont présents. Les levés topographiques de ces réseaux sont en cours. Les aménagements devront peut-être être adaptés en phase PRO au regard des levés topographiques, entraînant de potentiels surcoûts.

3.3.8.3. Aménagements - Variante 2

La zone 5 présente un linéaire d'environ 60 m. Dans cette variante un recalibrage du cours d'eau en aval du pont sur un linéaire d'environ 50 m est également nécessaire. Il permet

de rendre le pont des écoles non déversant pour la crue de période de retour 100 ans, et également de réduire la largeur du pont (élargissement de 5 m).

Les aménagements prévus sur ce tronçon sont les suivants :

- Recalibrage du cours d'eau en rive gauche uniquement ;
- Reprise du pont des écoles (élargissement de 5 m) : Ce point est étudié dans un chapitre dédié (0).
- Mise en place d'un seuil de fond sous le pont des écoles.

Ils sont visibles sur la Figure 78 en page suivante.

Les caractéristiques des aménagements sont les suivantes :

Rive	Localisation approximative	Longueur tronçon	Profil type	Hauteur moyenne	Pente talus
RG	Parcelle 194	25 ml	P3	3 m	1/1
RG	Parcelle 209	40 ml	P1	3 m	2/1
RG	Aval pont	225 ml	P1	1,5 m	2/1

Tableau 46 : Zone 5 v2- caractéristiques des aménagements de berge prévus



Figure 78 : Aménagements de la zone 5, ainsi que de la partie en aval du pont des écoles – Variante 2

En aval du pont des écoles, un réseau d'eau potable et un réseau d'eau usée sont présents. Les levés topographiques de ces réseaux sont en cours. Les aménagements devront peut-être être adaptés en phase PRO au regard des levés topographiques, entraînant de potentiels surcoûts.

La métropole de Montpellier a retenu la variante 1 à l'issue de l'AVP, moins impactante d'un point de vue foncier et écologique.

3.3.9. Voie douce

L'élargissement consécutive du lit mineur du Rieumassel et la réalisation d'un profil « à lits emboîtés » confèrera de fait un sentier propice à la circulation piétonne (promenade). Toutefois le projet ne prévoit pas d'aménagement spécifique dans le lit mineur du cours d'eau afin de limiter son artificialisation et d'éviter tout risque d'embâcle en cas de crue.



Figure 79 : Vue en plan du cheminement doux et des possibilités d'accès

3.3.10. Synthèse des emprises foncières

Le tableau ci-dessous synthétise les emprises foncières des aménagements.

Commune d'implantation	Code postal	N° de section	N° de parcelle	Superficie de la parcelle (m²)	Emprise du projet sur la parcelle (m²)
Grabels	34790	AW	207	1792	180
Grabels	34790	AW	117	797	90
Grabels	34790	AW	56	2181	80
Grabels	34790	AW	234	129	129
Grabels	34790	AW	233	829	115
Grabels	34790	AW	216	1767	150
Grabels	34790	AW	107	210	20
Grabels	34790	AW	218	1850	100
Grabels	34790	AW	102	4752	445
Grabels	34790	AW	520	5437	340
Grabels	34790	AW	104	3973	670
Grabels	34790	AV	85	253	10
Grabels	34790	AW	208	114	114
Grabels	34790	AW	118	704	490
Grabels	34790	AW	119	774	25
Grabels	34790	AW	220	72	72
Grabels	34790	AW	217	251	251
Grabels	34790	AW	219	227	227
Grabels	34790	AW	487	574	10
Grabels	34790	BA	249	1891	700
Grabels	34790	BB	4	1818	190
Grabels	34790	BA	202	1760	140
Grabels	34790	BA	205	1201	110
Grabels	34790	BA	203	2219	160
Grabels	34790	BB	3	1553	50
Grabels	34790	BB	138	143	110
Grabels	34790	BA	132	1744	120
Grabels	34790	BA	201	131	131
Grabels	34790	BA	206	119	119
Grabels	34790	BA	204	315	315
Grabels	34790	BA	53	1570	80
Grabels	34790	BA	54	1213	20
Grabels	34790	BA	56	694	20
Grabels	34790	BA	113	2042	10
Grabels	34790	BA	116	218	30
Grabels	34790	BA	238	1532	80
Grabels	34790	BA	237	1549	20
Grabels	34790	BA	236	350	330
Grabels	34790	BA	235	399	360
Grabels	34790	BA	240	1365	720
Grabels	34790	BA	159	1139	40

Montpellier Méditerranée Métropole – Maîtrise d'œuvre des aménagements de protection contre les inondations du Rieumassel à Grabels (34) – Avant-Projet

Rapport n°102425/ E

Grabels	34790	BA	14	1771	20
Grabels	34790	BA	13	3213	450
Grabels	34790	BA	194	1465	140
Grabels	34790	BA	209	1096	500
Grabels	34790	BD	82	1972	550
Grabels	34790	BD	81	4524	50
Grabels	34790	BA	232	3466	10
Grabels	34790	BA	12	5900	370
Grabels	34790	AR	99	5895	710
Grabels	34790	AR	156	794	310
Grabels	34790	AR	154	7123	150
Grabels	34790	AR	100	756	70
Grabels	34790	AT	24	1619	60
Grabels	34790	AT	50	256	230
Grabels	34790	AT	51	209	160
Grabels	34790	AT	52	2750	1100
Grabels	34790	AT	53	312	190

Tableau 47 : Synthèse des emprises foncières du projet

3.4. Reprise du pont des écoles

L'objectif du projet est d'augmenter la section hydraulique de l'ouvrage.

La date de construction de l'ouvrage est inconnue. Il a subi quelques aménagements depuis sa construction comme le montrent les deux photographies ci-dessous. On note un remplacement des garde-corps et la création d'un trottoir en aval.



Figure 80 : Pont des écoles en 2008 à gauche et en 2019 à droite (source : google)

L'ouvrage existant présente les caractéristiques suivantes :

- Ouverture hydraulique (portée) : 5,00 m ;
- Longueur totale hors tout : 8,50 m ;
- Largeur chaussée : 5,0 m (valeur estimée) ;
- Largeur de trottoir variable ;
- Largeur (hors tout) : 9,0 m ;
- Section hydraulique : **11,5 m²** ;
- Biais : 100 grades.

Deux variantes sont étudiées dans ce rapport (cf. 3.3.8) :

- Variante 1 : Ouverture de 13 m du pont des écoles,
- Variante 2 : Ouverture de 10 m du pont des écoles.

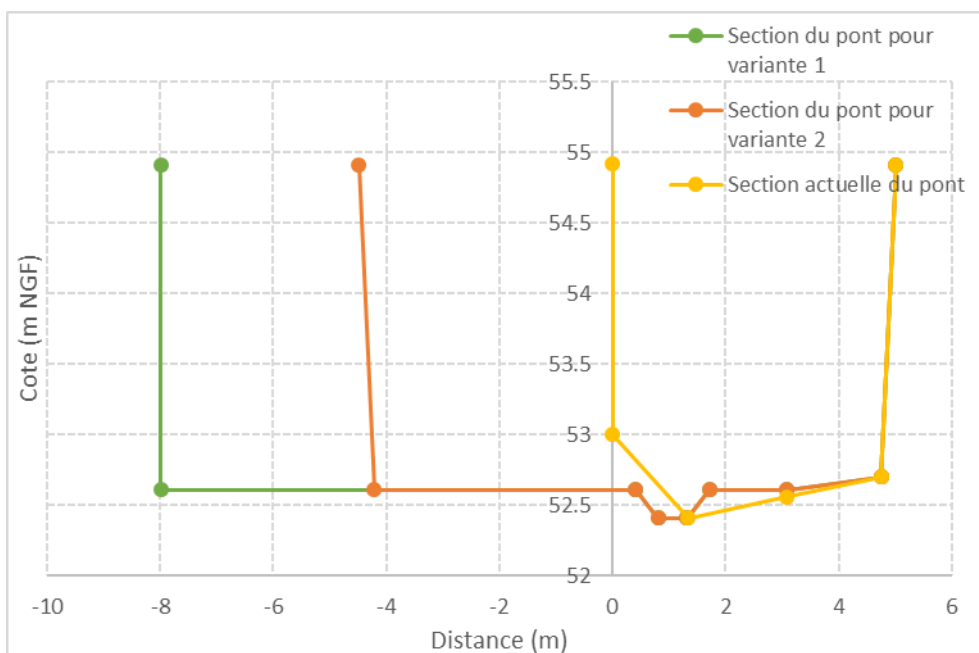


Figure 81 : Visualisation de la section du pont selon les scénarios d'aménagement

Les aménagements sont réalisés en tenant compte des objectifs et contraintes principaux suivants :

- Largeur utile : 2 chaussées de 2,5 m et un trottoir d'1,50 m minimum ;
- Aménagement des extrémités d'ouvrage pour s'intégrer dans un cheminement piéton ;
- Nécessité de concevoir des solutions et des méthodologies adaptées au contexte environnemental de l'ouvrage ;
- Concernant le choix architectural de l'ouvrage, celui-ci devra être réduit au minimum, épuré et simple dans un souci d'économie. Il sera équivalent à l'ouvrage existant.

3.4.1. Hypothèses retenues pour l'élaboration des études

Les durées de vie, de service et d'utilisation de projet de l'ouvrage sont fixées à 100 ans. La durée de vie des dispositifs de retenue sera de 25 ans.

Les principales hypothèses suivantes sont prises en compte dans notre étude :

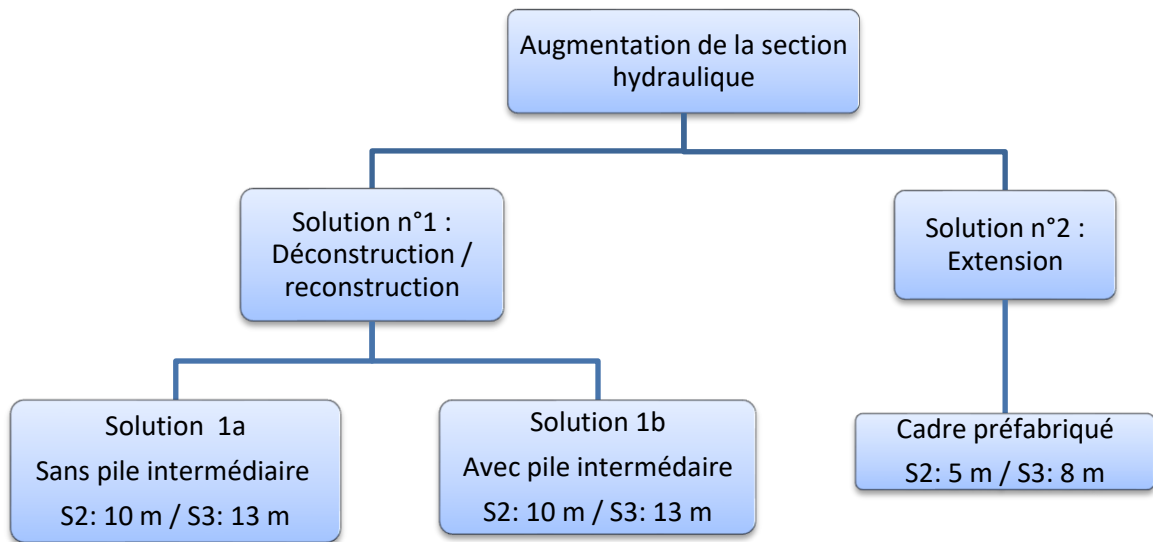
- Garde-corps identique à l'existant (S8 en acier galvanisé) ;
- Trafic sur l'ouvrage :
 - Classe de trafic : 2^{ème} classe ;
 - Limitation de vitesse à 20 km/h ;
 - Ouvrage non conçu pour des charges militaires ou des convois exceptionnels.

3.4.2. Structure

Dans l'objectif d'augmenter la section hydraulique de l'ouvrage, deux principales solutions sont envisagées dans le cadre de la présente étude :

- La déconstruction et reconstruction d'un nouvel ouvrage,

- La construction d'un ouvrage accolé à l'existant.



Nous présentons ci-dessous les caractéristiques des deux solutions. Pour rappel, ces solutions ont été établies sans données géotechniques sur l'ouvrage. Les caractéristiques de l'ouvrage devront être revues au stade PRO au regard des résultats des investigations géotechniques en cours.

3.4.2.1. Solution 1 : Déconstruction / reconstruction

Les travaux de déconstruction et reconstruction nécessiteront la coupure totale de la rue durant la durée des travaux.

Dans le but de s'affranchir des inconnues sur l'ouvrage existant, nous envisageons une solution de remplacement de l'ouvrage par un pont plus important. Deux variantes sont retenues à ce stade :

- 1a : Pont sans pile intermédiaire ;
- 1b : Pont avec pile intermédiaire.

En première approche, nous envisageons de réaliser un ouvrage de type PIPO (Passage Inférieur à Portique Ouvert).

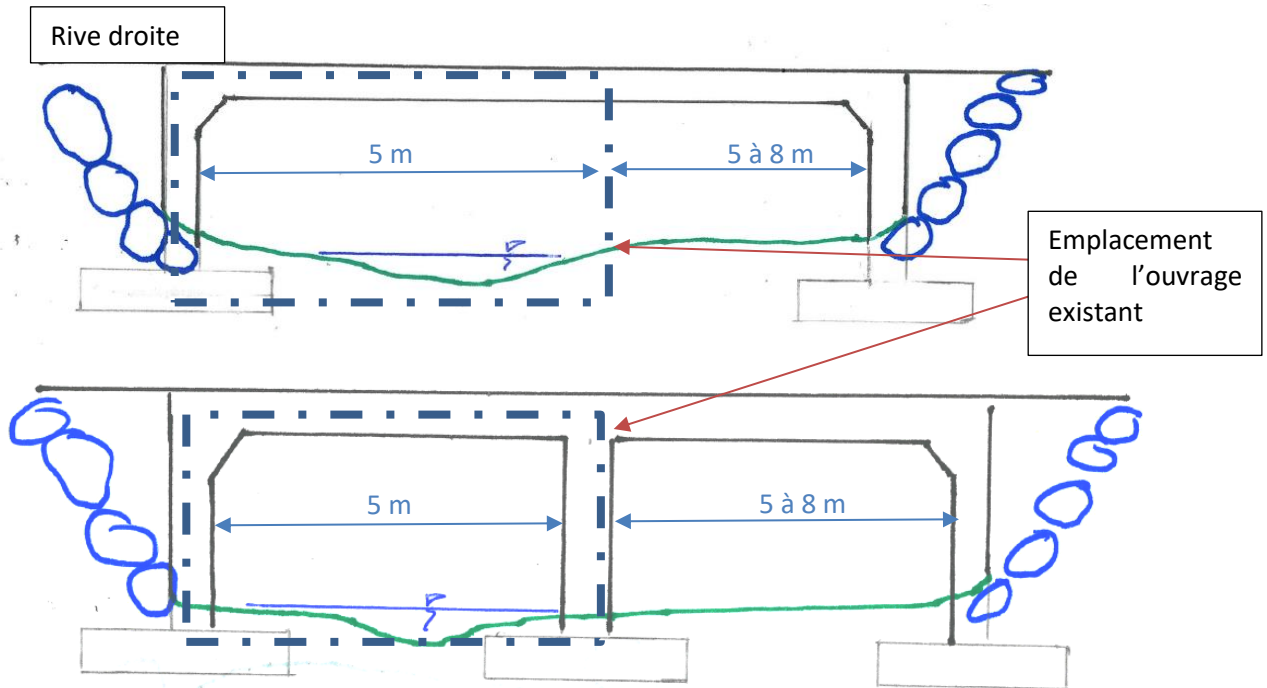


Figure 82 : Croquis, vue aval, de la variante 1a (en haut) et de la variante 1b (en bas)

Dans les deux variantes, des batardeaux seront mis en place à l'amont et à l'aval de l'ouvrage pour isoler la déconstruction et reconstruction du milieu aquatique.

La variante 1a offre un franchissement sans obstacle. Les embâcles pourront circuler plus facilement. Cette solution aura probablement les faveurs de la police de l'eau. De plus, les batardeaux pourront être retirés ou limités au droit des culées dès la fin de la déconstruction. Néanmoins l'épaisseur du tablier sera plus importante (conséquence sur la section hydraulique et le coût).

Les différentes sections peuvent être estimées par les guides CHAMOA.
Nous rappelons les hypothèses ci-après :

Type d'ouvrage	Élément à dimensionner	$q'_u = 0.6$ à 1.0 MPa	Profil Autoroutier	Profil urbain
PIPO	Traverse et Piedroits	$D=1.50m$ $k_p=0$ $D=2.50m$ $k_p=1$	$e = \frac{l}{33} + 0.17 \geq 0.30m$	$e = \frac{l}{33} + 0.13 \geq 0.30m$

Le tableau ci-dessous synthétise les épaisseurs pour les 2 profils étudiés avec et sans pile intermédiaire.

	Traverse et piédroits	
	Pont sans pile intermédiaire (S1a)	Pont avec pile intermédiaire (S1b)
V2 (L = 10 m)	$e = \frac{l}{33} + 0,13 = \frac{10}{33} + 0,13 = 0,43 \text{ m}$	$e = \frac{l}{33} + 0,13 = \frac{5}{33} + 0,13 = 0,30 \text{ m}$
V1 (L = 13 m)	$e = \frac{l}{33} + 0,13 = \frac{13}{33} + 0,13 = 0,52 \text{ m}$	$e = \frac{l}{33} + 0,13 = \frac{6,5}{33} + 0,13 = 0,30 \text{ m}$

Tableau 48 : Epaisseur du tablier et des piédroits

A ce stade nous retenons les descentes de charges en tête de fondation (au niveau du lit du ruisseau) suivantes :

kN	Solution de déconstruction/reconstruction			
	Pont sans pile intermédiaire		Pont sur pile intermédiaire	
	ELS	ELU	ELS	ELU
V2	485	655	455 sur culée 800 sur pile	615 sur culée 1100 sur pile
V1	1120	1515	475 sur culée 850 sur pile	645 sur culée 1150 sur pile

Tableau 49 : Descentes de charge

A défaut de donnée géotechnique, nous considérons une contrainte admissible de 0,08 MPa environ.

3.4.2.2. Solution 2 : extension de l'ouvrage existant

Le pont des écoles semble relativement récent et en bon état général. Cette solution d'extension consiste à garder l'ouvrage existant et à construire un ouvrage neuf dans la rive gauche accolé à ce dernier ouvrage.

Cette solution réduit l'impact des travaux avec une emprise plus faible et isolé du cours d'eau. De plus, aucune phase de démolition ne sera nécessaire.

Nous concentrons l'étude sur la construction d'un ouvrage neuf **indépendant** de l'ouvrage existant. Aucune donnée ne nous a été transmise sur le pont existant. Toutefois, nous prendrons comme hypothèse que l'ouvrage existant est un cadre fermé.

Il est ainsi projeté d'agrandir l'ouvrage par un cadre préfabriqué en béton armé similaire à l'ouvrage en place (PIPO : Passage Inférieur à Cadre Fermé). Nous présentons ci-après un ouvrage préfabriqué étudié récemment par ANTEA GROUP.



Figure 83 : Pont des écoles



Figure 84 : Chantier en cours, exemple d'ouvrage cadre à CROTH (27)

Le futur ouvrage aura une ouverture de :

- Variante n°1 : 8,00 m,
- Variante n°2 : 5,00 m.

Un pont de type cadre fermé est adapté à ces dimensions.

Les différentes sections peuvent être estimées par les guides CHAMOA. Nous rappelons les hypothèses ci-après :

Taux de ferrailage cibles retenus.

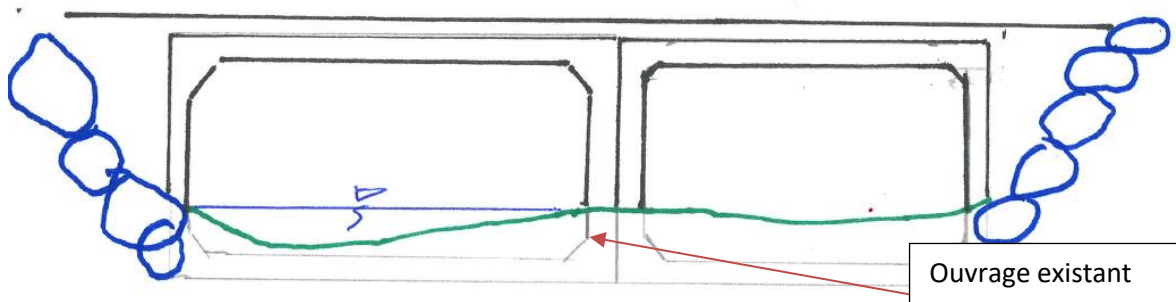
Partie d'ouvrage	PICF
Encastrement piédroit-traverse (nappe sup traverse, nappe ext piédroit)	50 kg/m ³
Mi-traverse, nappe inf	60 kg/m ³
Encastrement piédroit-radier (nappe inf radier, nappe ext piédroit)	75 kg/m ³
Mi-radier, nappe sup	70 kg/m ³

Type d'ouvrage	Élément à dimensionner	Esol	Profil urbain		
			V2	V1	
PICF	Traverse		$e = \frac{l}{26} + 0.08 \geq 0.30m$	e = 0,30 m	e = 0,39 m
	Piédroit		$e = \frac{l}{45.5} + 0.18 \geq 0.30m$	e = 0,30 m	e = 0,36 m
	Radier	2 MPa (Cas défavorable)	$e = \frac{l}{25} + 0.10 \geq 0.30m$	e = 0,30 m	e = 0,42 m

Tableau 50 : Epaisseur du radier, des piédroits et de la traverse du cadre

Les deux ouvrages seront accolés et un joint permettra l'étanchéité et la continuité entre

Rive droite

**Figure 85 : Croquis, vue aval, de la solution n°2**

Dans le cas où les fondations de l'ouvrage existant auraient un débord, il sera possible de caler l'ouvrage neuf, dans les mesures où le vide entre les piédroits soient convenablement remplis (gros béton par exemple) et inférieur à 50 cm ou par la réalisation d'un ouvrage coulé en place (sous réserve de vérification de la stabilité géotechnique et structurelle).

En phase travaux, les remblais rive gauche seront déblayés. L'ouvrage devra retenir la poussée des terres de la rive droite. Nous vérifions à ce stade le glissement du cadre :

Hypothèse (sans données géotechnique) :

Sol :

$$K_a = 0,33$$

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Résistance au glissement : } R_h = 0,4 * V_{ed}$$

Ouvrage

Poids propre : $25 \text{ kN/m}^3 * 0,3 \text{ (épaisseur du cadre)} * 16 \text{ m (périmètre)}$

Nous vérifions aux ELU :

$$H_{ed} = 1,35 * k_a * \gamma * \frac{h^2}{2} = 40,5 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 120 \text{ kN}$$

$$R_h = 0,4 * V_{ed} = 48 \text{ kN}$$

$$\frac{H_{ed}}{R_h} = 0,84 \quad \text{OK}$$

Le trottoir existant sera prolongé sur le futur ouvrage.

A ce stade nous retenons les descentes de charges suivantes appliquées au sol et qui devront être comparée à la contrainte limite calculée suite aux investigations géotechniques :

	Descente de charge (kPa)	
	ELS	ELU
S2	45	61
S3	35	48

Les efforts horizontaux exercés sur la chaussée seront repris par le remblais contigus qui devra être correctement compactés.

3.4.2.3. Soutènement en retour

De part et d'autre de l'ouvrage, les berges, fragilisées par les travaux, seront soutenues par des soutènements en enrochement. Les enrochements déposés pourront être réutilisés.

3.4.2.4. Revêtement

L'ouvrage sera étanché par un produit bitumineux pour garantir la pérennité du béton. Une pente sera préalablement réalisée à l'aide d'un renformi en mortier.

Le système d'étanchéité sera recouvert d'une couche de roulement en béton bitumineux de type EB 0/10 roul 35/40 selon la norme NF EN 13108-1. Des drains de chaussée seront incorporés à cette couche.

Le trottoir sera similaire au trottoir existant. Il sera en béton balayé. Les réseaux seront intégrés à ce trottoir préalablement enrobé de sable.

La signalisation horizontale comme verticale sera reconstituée.

3.4.3. Equipement

3.4.3.1. Longrines et garde-corps

Deux longrines seront coulées en place de part et d'autre de l'ouvrage. Cette longrine aura pour but de fixer les garde-corps, de maintenir la couche de roulement et une fonction de chasse-roue (dispositif antichute).

Les garde-corps devront être mis en œuvre en rive des voies de circulation douce. Ces garde-corps devront être conformes à la norme XP98-405 ainsi qu'au guide de recommandations « garde-corps » du SETRA) et devront respecter une hauteur minimale de 1,00 m (1,20 si des cycles sont autorisé à circuler sur le trottoir).

Dans un souci d'économie et de continuité avec l'existant, nous préconisons la pose de garde-corps standard tel que des garde-corps S8.



Figure 86 : Garde-corps sur l'existant

Les garde-corps en bon état pourront être démontés puis réutilisés.

3.4.3.2. Réseaux

De nombreux réseaux sont présents au niveau du pont. Un levé détaillé de ces réseaux a été réalisé. Il est disponible en Annexe 3.

Un réseau d'eau usée est présent en rive gauche. Dans la variante 1 du pont ce réseau devra être dévié.

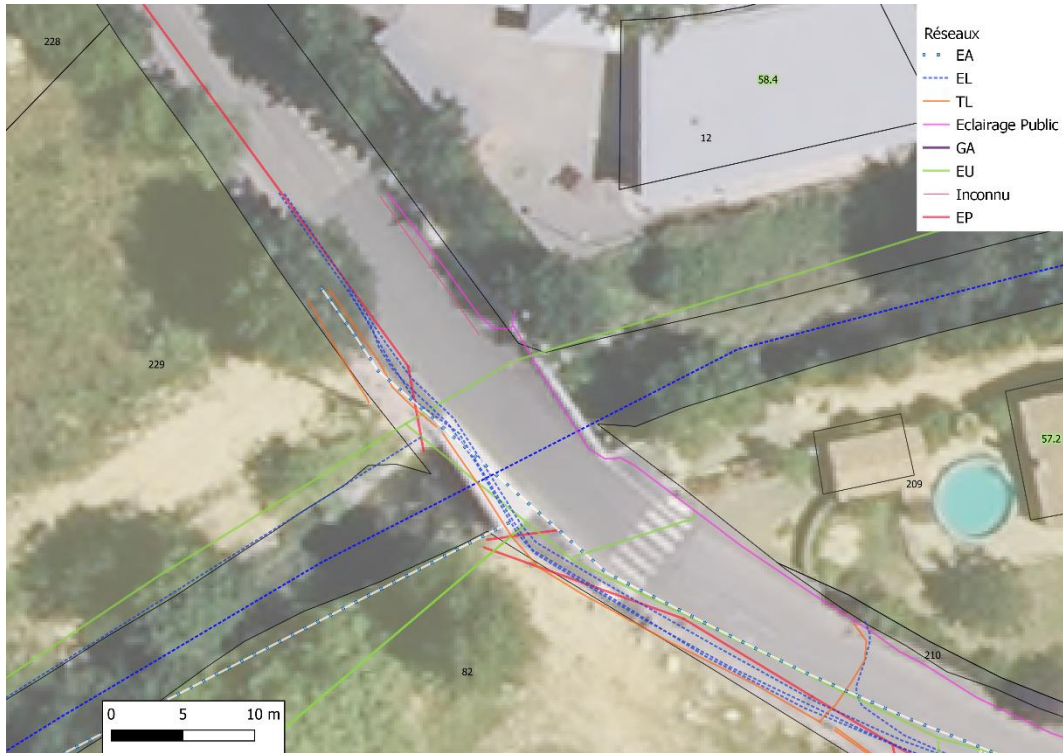


Figure 87 : Réseaux présents au niveau du pont des écoles

Dans le nouvel ouvrage, l'ensemble des réseaux secs seront positionnés sous le trottoir et recouverts de sable.

Nous préconisons de positionner les réseaux humides en encorbellement à l'aval de l'ouvrage. En effet, en cas de dégradation des conduites, l'ouvrage ne sera pas impacté (corrosion suite à des fuites d'eau par exemple).



Figure 88 : Exemple d'encorbellement en aval d'un pont

3.4.3.3. Terrassement du lit du Rieumassel

Le lit du ruisseau sera reconstitué en fin d'intervention. Il sera comme pour l'ensemble des profils recalibrés en lit emboîté ; dans la continuité du tronçon 5.

Le lit de cours d'eau sera reconstitué avec des matériaux extraits du site ou matériaux d'apport semblable aux matériaux présents. Une épaisseur de 10 cm minimum de sédiment recouvrira les fondations.

3.4.4. Analyse multicritère

Nous présentons ci-dessous une analyse multicritère d'aide au choix du Maître d'Ouvrage. Les coûts sont détaillés dans un chapitre dédié (3.9).

	Solution de déconstruction/reconstruction		Solution d'extension
	Pont sans pile intermédiaire	Pont avec pile intermédiaire	Cadre préfabriqué
Obstacle à l'écoulement	Aucun	Présence d'une pile (ep. 50 cm environ)	Présence d'une pile (ep. 70 cm environ)
Phase travaux	Mise en place de batardeaux Amont/Aval Culées coulées en place (fondation à définir selon l'étude géotechnique)	Culées et pile coulées en place (fondation à définir selon l'étude géotechnique)	Mise en place d'un batardeau uniquement en rive gauche (plus simple) Emprise et quantité plus faible Eléments préfabriqués
Phase d'exploitation	Peu d'entretien		Risque de tassement différentiel entre les ouvrages
Divers et aléas	Durabilité de l'ouvrage neuf (100 ans)	Sous validation de la police de l'eau Durabilité de l'ouvrage neuf (100 ans)	Stabilité au glissement à vérifier (géotechnique) Vérification d'éventuel débord de semelles
Durée des travaux	3 mois	3,5 mois	2 mois
Coût (V2/V1)	183k€/247 k€	198 k€/247 k€	116 k€/175 k€

Tableau 51 : Comparaison des différentes solutions

D'un point de vue hydraulique, la solution de déconstruction reconstruction du pont est la plus adaptée.

La métropole de Montpellier a retenu la solution : Déconstruction / reconstruction sans pile de pont intermédiaire.

3.5. Phase chantier

3.5.1. Barrage

3.5.1.1. Accès et installations de chantier

L'accès à la zone de chantier se fera par la rue du Mas Armand, puis par une piste existante longeant le stade et descendant dans la retenue actuelle.

La parcelle publique 60 en rive gauche en amont de l'ouvrage servira de zone de stockage de matériaux et d'installations de chantier (zone hachurée sur la figure ci-dessous). Les engins de chantier seront situés à l'est de la parcelle, dans la zone la plus élevée.

3.5.1.2. Protection du chantier contre les risques de crue

Afin de protéger le chantier du barrage contre les risques de venue d'eau en cas d'épisode pluvieux important, les dispositions suivantes seront mises en œuvre :

- Construction d'un batardeau en terre en amont du barrage, d'environ 1,5 m de haut (forme trapézoïdale – 3 m en crête, talus à 2H / 1V). Il présentera une longueur d'environ 105 ml.
- Mise en place de 3 buses PVC Ø1000 entre l'amont du batardeau et l'aval de la zone de chantier pour capter les débits amont (pente 1,2 %).

Ce dispositif permet théoriquement d'assurer une mise hors d'eau du chantier jusqu'à un épisode de période de retour 10 ans environ.

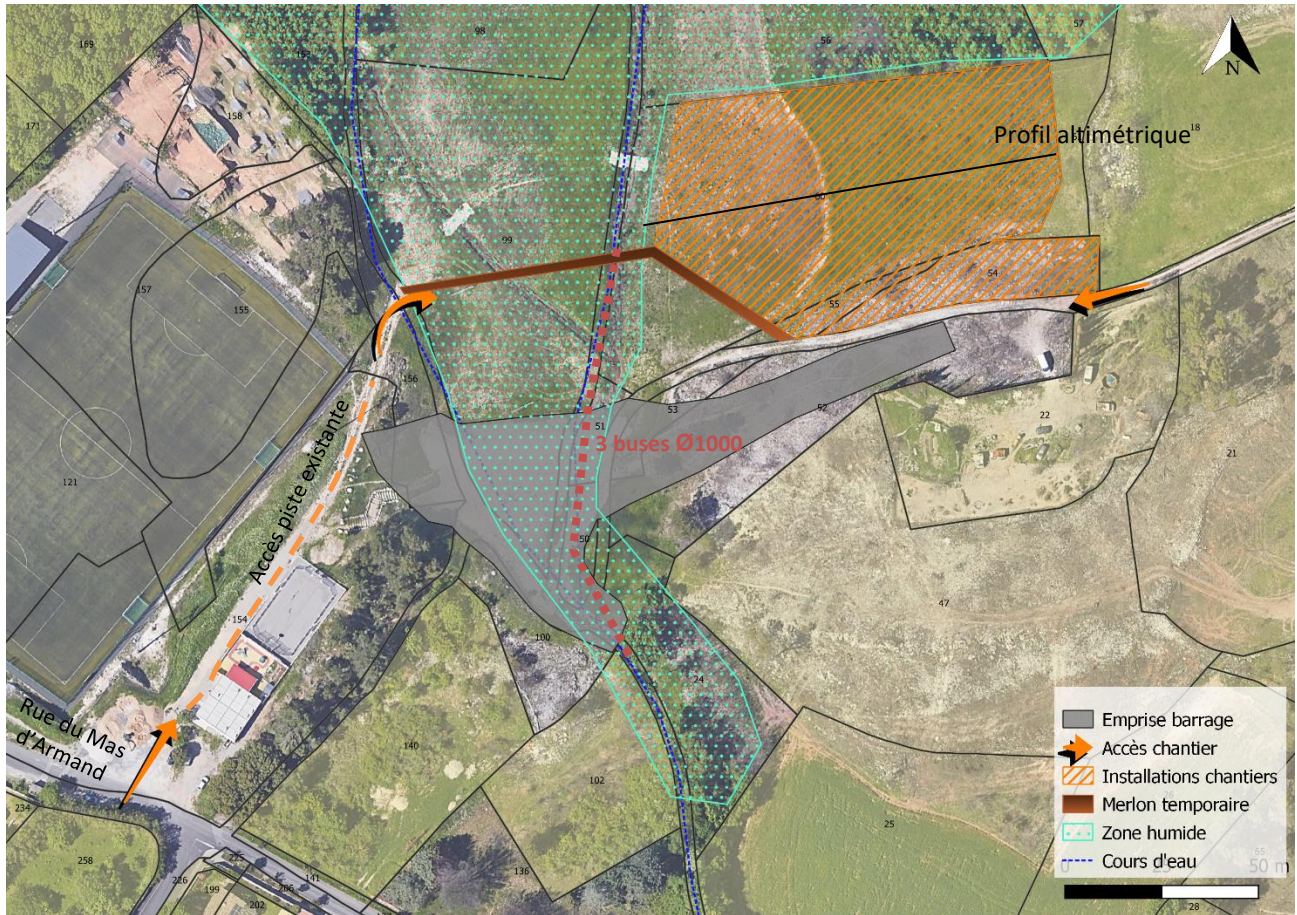


Figure 89 : Dispositifs de gestion de la phase chantier

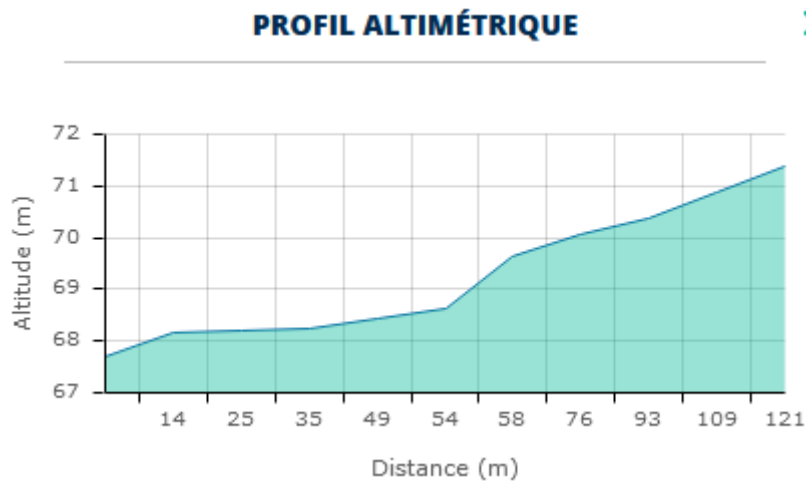


Figure 90 : Profil altimétrique de la parcelle 60 – Source : Géoportail

3.5.1.3. Risque inondation pendant le chantier

Le phasage du projet prévoit la réalisation du recalibrage du Rieumassel avant la réalisation du barrage. Les élargissements prévus permettront d'augmenter notablement la capacité du Rieumassel avant débordement (cf. description détaillée au paragraphe 3.3 ci-après). Ce phasage permettra de compenser la perte de capacité de stockage pendant la réalisation des travaux sur le barrage.

Les engins de l'entreprise titulaire du marché seront ravitaillés en « bord à bord » ou sur une aire étanche. Tout stockage d'hydrocarbures et autres produits potentiellement polluants sera situé à distance suffisante du cours d'eau et entouré d'un merlon de 30 cm.

3.5.2. Aménagement du Rieumassel

Pour limiter l'impact des travaux dans le lit du cours d'eau, les terrassements du Rieumassel se feront « en rétro » depuis la berge. En effet, la largeur disponible en haut de berge est suffisante pour assurer la circulation d'engins de chantier dans la mesure où elle comprend la largeur de décaissement et une bande d'entretien en haut de berge. Aussi, le dépôt des clôtures et les défrichements seront réalisés au démarrage du chantier.

Les protections seront réalisées depuis le cours d'eau sur la zone terrassée de sorte d'impacter le moins possible le lit mineur du Rieumassel. Le lit d'étéage sera maintenu et aménagé sur la rive opposée aux travaux.

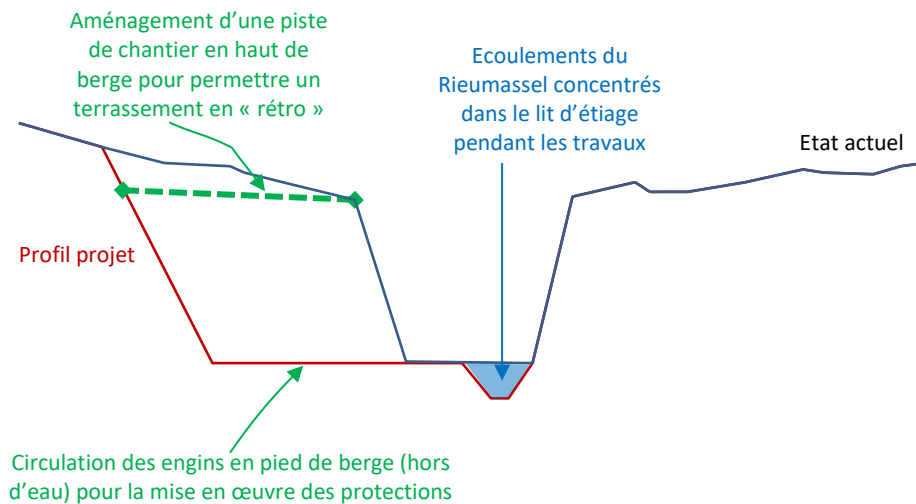


Figure 91 : Modalités de réalisation des travaux d'aménagement du Rieumassel

Les différents accès envisagés à ce stade sont visibles sur la figure suivante. Le cours d'eau étant bordé par des parcelles privées, les accès au cours d'eau sont restreints.

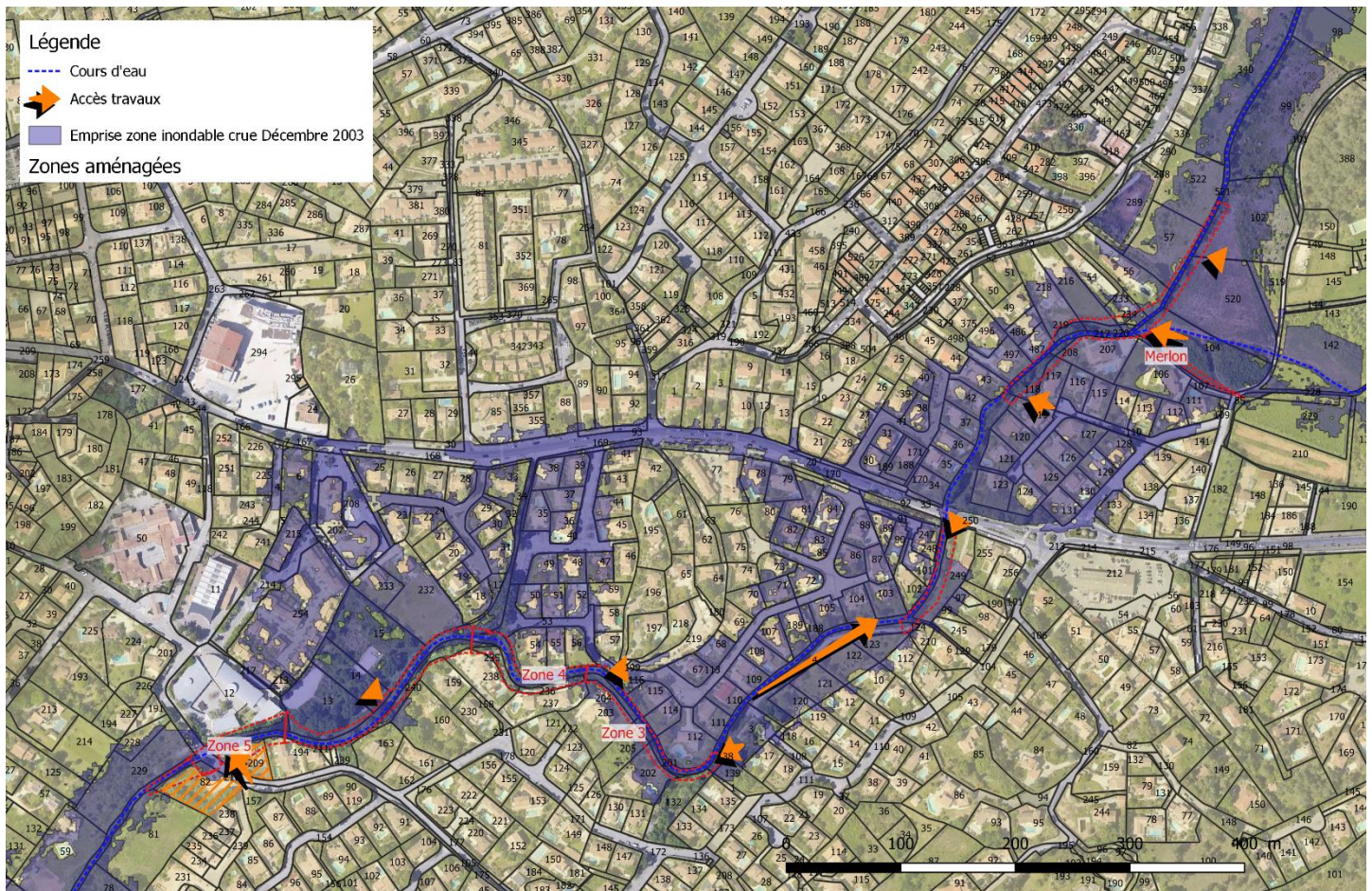


Figure 92 : Accès chantier – Zones recalibrées

Les installations de chantier sont prévues sur les parcelles 209 et 82 (cf. Figure ci-dessus). La parcelle cadastrale n°209 a été acquise par Montpellier Méditerranée Métropole. Elle est cependant en cours de vente. La parcelle 82 (en aval du pont des écoles) est un terrain vierge privé. Une convention temporaire d'utilisation devra être établie avec le propriétaire de cette parcelle. Ces parcelles sont situées en dehors de l'emprise inondée de la crue de décembre 2003 (dont la période de retour est d'environ 20 ans).

Les stockages de matériaux et les engins de chantier seront placés en dehors du cours d'eau. Tout stockage d'hydrocarbures et autres produits potentiellement polluants sera situé à distance suffisante du cours d'eau et entouré d'un merlon de 30 cm.

Les engins de l'entreprise titulaire du marché seront ravitaillés en « bord à bord » ou sur une aire étanche.

3.5.3. Pont des écoles

Sur le pont des écoles, les principales phases des travaux sont listées ci-dessous :

- Période de préparation
- Travaux
 - Installation de chantier,
 - Mise en place d'un batardeau et terrassement,
 - Déconstruction de l'ouvrage existant,
 - Fourniture et mise en œuvre du pont,
 - Réalisation des culées,

- Réalisation de la pile,
- Réalisation du tablier BA,
- Remblaiement, y compris repose des enrochements,
- Etanchéité, voirie et réseaux divers,
- Replis de chantier.

Lors de la réalisation des travaux, le cours d'eau sera busé en amont et en aval du pont sur une cinquantaine de mètres pour éviter tout risque de pollution des eaux du Rieumassel par des laitances. Il sera dimensionné pour une période de retour annuelle.

Les installations de chantiers sont prévues sur les mêmes parcelles que pour les travaux du Rieumassel (209 et 82). Elles sont attenantes au pont des écoles.

Les stockages de matériaux et les engins de chantier seront placés en dehors du cours d'eau. Tout stockage d'hydrocarbures et autres produits potentiellement polluants sera situé à distance suffisante du cours d'eau et entouré d'un merlon de 30 cm.

Les engins de l'entreprise titulaire du marché seront ravitaillés en « bord à bord » ou sur une aire étanche.

3.6. Investigations complémentaires à prévoir pour la phase PRO

Les investigations géotechniques suivantes sont nécessaires pour la réalisation de la phase PRO :

- Au niveau du barrage :
 - Réalisation de tests de pompage au sein de fouilles descendues au substratum calcaire afin de préciser les débits d'exhaure attendus,
 - Réalisation de panneaux électriques sur l'emprise du nouveau barrage jusqu'au niveau du substratum afin d'identifier d'éventuels karts,
- Pour le recalibrage du Rieumassel :
 - Caractérisations des déblais via des fouilles. Toutefois, la plupart des zones à terrasser se situent actuellement sur des parcelles privées aménagées, rendant difficile l'accès à des engins de forage / sondage sans endommager les terrains. Quelques prélèvements sont prévus en phase PRO. Ils ne permettront cependant pas de caractériser la nature des sols sur l'ensemble du linéaire du Rieumassel recalibré.

3.7. Mouvements de terre

Les mouvements de terre sur les aménagements envisagés sont résumés dans le tableau ci-dessous.

	Déblais	Remblais
Barrage	Digue : 900 m ³ Purge matériaux compressibles : 10 400 m ³ Clé d'ancrage dans substratum calcaire : 1000 m ³ TOTAL : 12 300 m³	Noyau argileux : 7400 m ³ Recharge : 8000 m ³ Filtres / drain : 1000 m ³

Rieumassel	Zone 1 : 2250 m ³ Zone 2 : 1200 m ³ Zone 3 : 1340 m ³ Zone 4 : 1590 m ³ Zone int 4-5 : 1010 m ³ Zone 5 : 2450 m ³ (V1) // 6790 m ³ (V2) TOTAL : 9810 m³ (V1) // 14 150 m³ (V2)	Zone 1 - Merlon : 210 m ³
Pont des Ecoles	300 m ³	50 m ³

Tableau 52 : Bilan déblais

La mise en place du merlon (remblai) est donc largement compensée par l'élargissement du cours d'eau sur la zone 1 (210 m³ de remblais << 2250 m³ de déblais).

La problématique de la gestion des terres est un sujet important pour le projet. Les points suivants sont à noter :

- Concernant le barrage, les matériaux purgés ne pourront pas être réutilisés en l'état, en raison de leur état hydrique impropre au compactage. Si une réutilisation est envisagée, elle impliquera un séchage et / ou une aération, qui pourrait ne pas être compatible avec le phasage envisagé pour la construction de l'ouvrage,
- La nature des déblais produits dans le cadre du recalibrage du Rieumassel n'est pas connue à ce stade et semble difficile à préciser avant le démarrage des travaux en raison des accès complexes aux zones de terrassement pour des engins de sondage / forage.

Les coûts d'évacuation (en décharge) ou d'achat de matériaux d'apport pourrait s'avérer très pénalisants pour le projet si aucune solution d'optimisation des terres n'était trouvée.

En conséquence, en accord avec la Métropole de Montpellier, les déblais du projet seront évacués sur le site de Saporta. Celui-ci devra être en mesure de les accueillir.

3.8. Planning prévisionnel

Le planning prévisionnel est présenté en page suivante. Le planning des travaux sera affiné au stade PRO.

La durée des travaux de recalibrage est estimée à 7 mois. Il pourra être imposé à l'entreprise de travaux (dans le cahier des charges) d'optimiser la durée de réalisation des travaux (par exemple en réalisant en parallèle deux tronçons).

Nous préconisons de réaliser les travaux sur le barrage une fois les terrassements du Rieumassel achevés, de sorte que la capacité du Rieumassel lors des travaux soit supérieure à celle actuelle et compense la perte de capacité de stockage lors des travaux du barrage.

La durée des travaux du barrage est estimée à 8 mois :

- Travaux préparatoires (installations de chantier, merlon amont, busages du cours d'eau, ...) : 1 mois,
- Déconstruction du barrage : 2 semaines,
- Purge des matériaux sous l'ouvrage : 2 mois,
- Construction du barrage (y compris l'ouvrage de surverse) : 4 mois,
- Repli de chantier : 2 semaines.

Sur le pont des écoles, les principales phases des travaux sont listées ci-dessous :

- Période de préparation : 2 semaines,
- Travaux : 2 à 4 mois en fonction de la solution retenue :
 - Installation de chantier : 1 semaine,
 - Mise en place d'un batardeau et terrassement : 2 semaines,
 - Déconstruction de l'ouvrage existant : 2 semaines,
 - Fourniture et mise en œuvre du pont : 2 semaines (pont cadre),
 - Réalisation des culées : 2 semaines,
 - Réalisation de la pile : 1 semaine,
 - Réalisation du tablier BA : 2 semaines,
 - Remblaiement, y compris repose des enrochements : 1 semaine,
 - Etanchéité, voirie et réseaux divers : 1 semaine,
 - Replis de chantier : 1 semaine.

L'intervention sur site devra avoir lieu en période favorable, de préférence entre mai et Août.

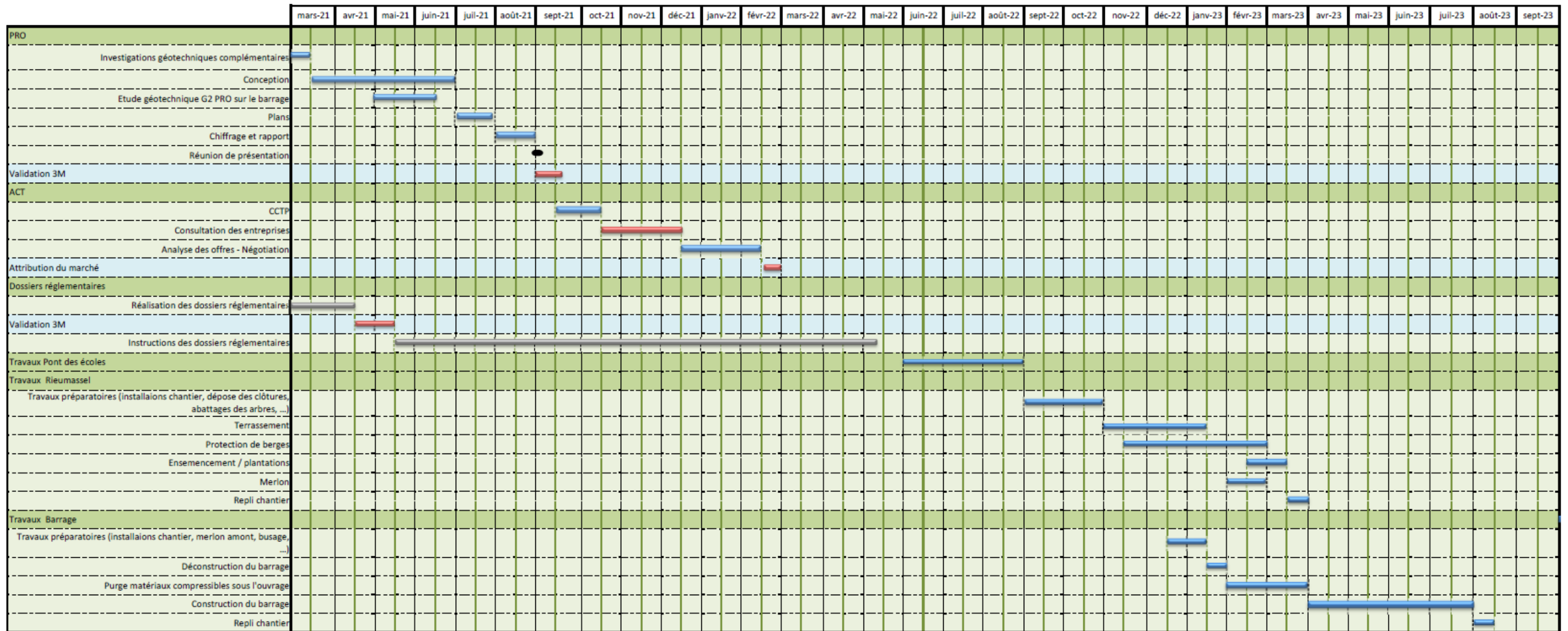


Figure 93 : Planning prévisionnel (stade AVP)

3.9. Estimation financière

Une estimation financière des travaux est réalisée à ce stade, sur la base des principes énoncés ci-avant et du planning prévisionnel.

Le montant inclut à ce stade une provision pour aléas et éléments non chiffrés (entre 15 et 20%). Il n'inclut pas le coût des acquisitions foncières nécessaires.

Le chiffrage détaillé fait l'objet du tableau ci-dessous. Le montant des postes généraux et des installations de chantier est estimé sur la base du phasage prévisionnel présenté précédemment.

Les différentes variantes ont été chiffrées. Elles sont rappelées ci-dessous :

Recalibrage du Rieumassel :

- Variante 1 : Un calage sur la ligne d'eau d'EGIS : le pont des écoles surverse pour la crue centennale,
- Variante 2 : Un recalibrage permettant au pont des écoles d'être non déversant pour la crue centennale. Cette variante implique un recalibrage du cours d'eau en aval du pont des écoles sur environ 230 m.

Elargissement du pont des écoles :

- Solution 1 : déconstruction / reconstruction
 - Solution 1a : Pont sans pile intermédiaire ;
 - Solution 1b : Pont avec pile intermédiaire.
- Solution 2 : extension

Les trois solutions proposées pour le pont des écoles ont été chiffrées pour les variantes 1 et 2 citées ci-avant (soit un élargissement à 5 m pour la variante 1 et à 8 m pour la variante 2).

Les hypothèses retenues pour le chiffrage sont les suivantes :

- l'élargissement du pont des écoles a été chiffré avec une connaissance partielle du sous-sol. Il est donc établi en considérant la réalisation de fondations de moyenne ampleur (pas de fondations spéciales notamment).
- Les coûts de déblais sont établis à ce stade en considérant que la majeure partie de ceux-ci sont évacués vers le site de Saporta (appartenant à la métropole), situé à environ 15 km de Grabels. Ces hypothèses ont une incidence significative sur le chiffrage.
- Une provision a été intégrée au chiffrage pour une mise en décharge de 20 % des déblais du Rieumassel (Classe 3+). A ce stade, nous n'avons aucune information sur la quantité et la nature des matériaux à mettre en décharge. Ce poste n'a pu être évalué avec plus de précision. Il sera réévalué en cours d'étude et pourra entraîner un surcoût significatif en cas de pollution avérée de matériaux.

- Les visites de site des berges du Rieumassel ont montrés que sur certains secteurs, les berges du cours d'eau pouvaient être rocheuses. Aussi, un surcoût lié au terrassement dans la roche a été intégré au chiffrage. Il a été appliqué à 10 % de déblais du Rieumassel.
- Concernant la végétalisation des berges, il a été retenu pour le chiffrage, la mise en place d'un arbre tous les 10 m et de 3 arbustes entre chaque arbre.

Le coût du projet dépasse à ce stade celui estimé dans le cadre des études PAPI. Il est important de noter les points suivants engendrant des surcoûts :

- Au niveau du barrage, la présence de sols compressibles de mauvaise qualité qu'il convient de purger avant réalisation de l'ouvrage,
- Au niveau du Rieumassel, l'ajout au programme de la zone intermédiaire 4-5, qui s'avère indispensable pour répondre aux objectifs de protection. On peut noter également la nécessité de protéger les extrados de méandre même s'ils ne sont pas directement impactés par le projet,
- La reprise du Pont des Ecoles (intégration de cet ouvrage dans le chiffrage de base d'Egis incertain).

3.9.1. Barrage

Le chiffrage du barrage a été établi en considérant :

- la constitution du noyau argileux à partir de remblais d'apport,
- la réutilisation de matériaux du site pour le reste du barrage, après séchage.

Postes	Unité	PU retenu	Quantités	Prix € HT
Installations de chantier et travaux généraux				
Installations de chantier		79803	1	79 803
Travaux préparatoire : gestion des eaux en phase chantier, ouvrage provisoire, blindage, etc.		130000	1	130 000
Terrassements				
Démolition carapace enrochements liaisonnés	m ²	5	1500	7 500
Terrassement en déblais (démolition digue actuelle et purge des sols compressibles) - Stockage sur place pour réemploi	m ³	6	8000	48 000
Terrassement en déblais (démolition digue actuelle et purge des sols compressibles) - Evacuation vers site de stockage 3M (<15km)	m ³	13	3300	42 900
Terrassement au BRH dans le substratum calcaire pour clé d'ancrage et évacuation	m ³	25	1000	25 000
Fourniture et mise en œuvre de matériaux d'apport	m ³	15	7400	111 000
Fourniture et mise en œuvre de matériaux de réemploi issus du site	m ³	8	8000	64 000
Fourniture et mise en œuvre de matériaux de réemploi issus d'un stock de la Métropole situé à environ 15 km	m ³	15	0	0
Traitement à 2% chaux pour atteindre la perméabilité souhaitée sur noyau argileux	m ³	8	0	0
Fourniture et mise en œuvre de géotextile de transition	m ²	2	5950	11 900
Fourniture et mise en œuvre de matériaux de filtre	m ³	50	650	32 500
Fourniture et mise en œuvre d'un tapis en matériaux drainant	m ³	50	330	16 500
Gestion de la surverse et protection anti-érosion				
Longrine béton	m	165	45	7 425
Muret anti-vague	m	165	110	18 150
Gabions de protection : matelas 30 cm épaisseur sur talus amont	m ²	45	330	14 850
Gabions de protection : matelas 30 cm épaisseur avec tirants intermédiaires	m ²	50	530	26 500
Gabions de protection : gabion boîte pour coursier en gradin et bajoyers	m ³	220	850	187 000
Ouvrage de fuite				
Dalot L=2 m x H = 1m	m	1800	26	46 800
Grille anti-embâcle	u	2000	1	2 000
Tête de pont	u	3000	2	6 000
Vanne murale automatisable	u	10000	1	10 000
Sous TOTAL (€ HT)				887 828
Aléa 15%				133 174
TOTAL (€ HT)				1 021 000

3.9.2. Recalibrage du Rieumassel

			Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone intermédiaire 4-5		Zone 5 V1		Zone 5 V2	
Postes	Unité	PU	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)	Quantité	Prix (€ HT)
Terrassements																
Déblais (y/c transport < 15 km)	m³	13	2 480	32 240	1 310	17 030	1 470	19 110	1 750	22 750	1 110	14 430	2 690	34 970	7 460	96 980
Surcoût lié au terrassement dans la roche	m³	15	248	3 720	131	1 965	570	8 550	175	2 625	111	1 665	269	4 035	746	11 190
Surcoût de mise en décharge	T	30	893	26 784	472	14 148	529	15 876	630	18 900	400	11 988	968	29 052	2 686	80 568
Nappage / Ensemencement berge	m³	10	840	8 400	260	2 600	380	3 800	410	4 100	530	5 300	480	4 800	1 210	12 100
Surcoût lié à la proximité de réseaux	FT	5 000	1	5 000	0	0	1	5 000	0	0	1	5 000	2	10 000	3	15 000
Recharge alluvionnaire	m³	50	178	8 910	66	3 300	112	5 610	83	4 125	132	6 600	76	3 795	191	9 570
Merlon	FT	38 115	1	38 115												
Protection de berges																
Géotextile de transition	m²	2	0	0	20	40	180	360	0	0	0	0	2	4	2	4
Matelas Reno épaisseur 23 cm	m²	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matelas Reno épaisseur 23 cm / Couverture supérieure Géomat	m²	55	1 060	58 300	350	19 250	565	31 075	385	21 175	780	42 900	195	10 725	1 091	60 005
Matelas Reno épaisseur 23 cm / Couverture supérieure Géomat / ancrage en tête sur gabions + entretoise	ml	400	65	26 000	0	0	0	0	75	30 000	30	12 000	0	0	25	10 000
Gabions	m³	250	0	0	20	5 000	220	55 000	0	0	0	0	21	5 250	21	5 250
Géomat	m²	20	410	8 200	300	6 000	340	6 800	550	11 000	880	17 600	460	9 200	480	9 600
Enrochements liaisonnés	m³	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Radier	FT		1	2 050	1	1 600	1	1 600	1	2 050	0	0	0	0	0	0
Plantation	ml	30	365	10 950	90	2 700	195	5 850	175	5 250	225	6 750	121	3 630	290	8 700
Réseaux																
Réseaux traversant le CE	FT	2 000	4	8 000	0	0	3	6 000	0	0	2	4 000	0	0	1	2 000
Rétablissement des exutoires pluviaux	FT	2 000	0	0	1	2 000	2	4 000	1	2 000	4	8 000	0	0	0	0
Reprise du bassin pluvial	FT	10 000	0	0	0	0	1	10 000	0	0	0	0	0	0	0	0
Dévolement réseau EU Zone 2	FT	5 000			1	5 000										
Sous TOTAL (€ HT)			236 669		80 633		178 631		123 975		136 233		115 461		320 967	
Installations de chantier et travaux préparatoires 15 %			35 500		12 095		26 795		18 596		20 435		17 319		48 145	
Aléa 20%			47 334		16 127		35 726		24 795		27 247		23 092		64 193	
TOTAL (€ HT)			319 503		108 855		241 152		167 366		183 915		155 873		433 306	

TOTAL AMENAGEMENT VARIANTE 1 (€ HT)	1 176 663 €
TOTAL AMENAGEMENT VARIANTE 2 (€ HT)	1 454 096 €

A noter que la réalisation du profil P3b en enrochements liaisonnés à la place du profil P3a conduit à un coût similaire du projet.

3.9.3. Pont des écoles

Solution 1a - Remplacement sans pile intermédiaire

Désignation	Unité	PU (HT)	Variante 2 (5m)		Variante 1 (8m)	
			Quantité	Total (HT)	Quantité	Total (HT)
Installations de chantier et travaux préparatoires				26 500.00 €		30 800.00 €
Déconstruction et terrassement						
Terrassement des fouilles, y compris blindage et étalement	m3	30.00 €	300	9 000.00 €	435	13 050.00 €
Dépose et repose des enrochements	T	50.00 €	60	3 000.00 €	60	3 000.00 €
Déconstruction de l'ouvrage existant	Ft	6 000.00 €	1	6 000.00 €	1	6 000.00 €
Déblais, stockage et remise en place des sédiments	m3	25.00 €	6	150.00 €	10	250.00 €
Remblais	m3	30.00 €	85	2 550.00 €	90	2 700.00 €
Structure						
Réalisation des piédroits	m3	950.00 €	25	23 750.00 €	30	28 500.00 €
Réalisation des fondations (ép. 70 cm)	m²	665.00 €	29	19 285.00 €	36	23 940.00 €
Réalisation du tablier	m3	950.00 €	40	38 000.00 €	65	61 750.00 €
Renformi	m²	40.00 €	90	3 600.00 €	117	4 680.00 €
Longrines B.A	ml	130.00 €	23	2 990.00 €	33	4 290.00 €
Travaux divers						
Étanchéité principale	m²	30.00 €	90	2 700.00 €	117	3 510.00 €
Fourniture et mise en œuvre d'enrobé EB10 roul 35/50	T	150.00 €	17	2 550.00 €	22	3 300.00 €
Drain de chaussée	ml	30.00 €	20	600.00 €	26	780.00 €
Garde-corps, y compris réutilisation des garde-corps existant	ml	230.00 €	23	5 290.00 €	33	7 590.00 €
Signalisations définitives (horizontales et verticales)	Ft	1 500.00 €	1	1 500.00 €	1	1 500.00 €
Mise en encorbellement des réseaux humides (hors coûts des réseaux)	ml	225.00 €	10	2 250.00 €	13	2 925.00 €
Dévoisement réseau EU (D=200 mm)	ml	350.00 €			10	3 500.00 €
Radier sous le pont	FT		1	2 500.00 €	1	3 400.00 €
Divers et aléas (20%)				30 443 €		41 093 €
TOTAL HT				182 658 €		246 558 €

Solution 1b - Remplacement avec pile intermédiaire

Désignation	Unité	PU (HT)	Variante 2 (5m)		Variante 1 (8m)	
			Quantité	Total (HT)	Quantité	Total (HT)
Installations de chantier et travaux préparatoires				28 750.00 €		33 000.00 €
Déconstruction et terrassement						
Terrassement des fouilles, y compris blindage et étaieement	m3	30.00 €	315	9 450.00 €	450	13 500.00 €
Dépose et repose des enrochements	T	50.00 €	60	3 000.00 €	60	3 000.00 €
Déconstruction de l'ouvrage existant	Ft	6 000.00 €	1	6 000.00 €	1	6 000.00 €
Déblais, stockage et remise en place des sédiments	m3	25.00 €	6	150.00 €	10	250.00 €
Remblais	m3	30.00 €	85	2 550.00 €	95	2 850.00 €
Structure						
Réalisation des culées	m3	950.00 €	25	23 750.00 €	30	28 500.00 €
Réalisation de la pile centrale	m3	950.00 €	14	13 300.00 €	17	16 150.00 €
Réalisation des fondations (ép. 70 cm)	m²	665.00 €	41	27 265.00 €	46	30 590.00 €
Réalisation du tablier	m3	950.00 €	28	26 600.00 €	38	36 100.00 €
Renformi	m²	40.00 €	90	3 600.00 €	117	4 680.00 €
Longrines B.A	ml	130.00 €	23	2 990.00 €	33	4 290.00 €
Travaux divers						
Étanchéité principale	m²	30.00 €	90	2 700.00 €	117	3 510.00 €
Fourniture et mise en œuvre d'enrobé EB10 roul 35/50	T	150.00 €	17	2 550.00 €	26	3 900.00 €
Drain de chaussée	ml	30.00 €	20	600.00 €	26	780.00 €
Garde-corps, y compris réutilisation des garde-corps existant	ml	230.00 €	23	5 290.00 €	33	7 590.00 €
Signalisations définitives (horizontales et verticales)	Ft	1 500.00 €	1	1 500.00 €	1	1 500.00 €
Mise en encorbellement des réseaux humides (hors coûts des réseaux)	ml	225.00 €	10	2 250.00 €	13	2 925.00 €
Dévoisement réseau EU (D=200 mm)	ml	350.00 €			10	3 500.00 €
Radier sous le pont	FT		1	2 500.00 €	1	3 400.00 €
Divers et aléas (20%)				32 959 €		41 203 €
TOTAL HT				197 754 €		247 218 €

Solution 2- Extension

Désignation	Unité	PU (HT)	Variante 2 (5m)		Variante 1 (8m)	
			Quantité	Total (HT)	Quantité	Total (HT)
Installations de chantier et travaux préparatoires				17 700.00 €		20 600.00 €
Terrassement						
Terrassement des fouilles, y compris blindage et étalement	m3	30.00 €	200	6 000.00 €	335	10 050.00 €
Dépose et repose des enrochements	T	50.00 €	60	3 000.00 €	60	3 000.00 €
Réalisation d'une plateforme, y compris béton de propreté (ép. 5 cm min)	m²	50.00 €	55	2 750.00 €	90	4 500.00 €
Déblais, stockage et remise en place des sédiments	m3	25.00 €	6	150.00 €	10	250.00 €
Remblais	m3	30.00 €	45	1 350.00 €	50	1 500.00 €
Soin particulier lié à la proximité de l'ouvrage existant	Ft	1 500.00 €	1	1 500.00 €	1	1 500.00 €
Structure						
Cadre préfabriqué	m²	800.00 €	45	36 000.00 €	81	64 800.00 €
Connection avec l'ouvrage existant	ml	1 500.00 €	9	13 500.00 €	9	13 500.00 €
Renformi	m²	40.00 €	45	1 800.00 €	81	3 240.00 €
Longrines B.A	ml	130.00 €	16	2 080.00 €	25	3 250.00 €
Travaux divers						
Étanchéité principale	m²	30.00 €	45	1 350.00 €	81	2 430.00 €
Fourniture et mise en œuvre d'enrobé EB10 roul 35/50	T	150.00 €	8	1 200.00 €	15	2 250.00 €
Drain de chaussée	ml	30.00 €	10	300.00 €	18	540.00 €
Garde-corps	ml	275.00 €	16	4 400.00 €	25	6 875.00 €
Signalisations définitives (horizontales et verticales)	Ft	1 500.00 €	1	1 500.00 €	1	1 500.00 €
Mise en encorbellement des réseaux humides (hors coûts des réseaux)	ml	225.00 €	10	2 250.00 €	13	2 925.00 €
Dévoisement réseau EU (D=200 mm)	ml	350.00 €			10	3 500.00 €
Divers et aléas (20%)				19 366 €		28 542 €
TOTAL HT				116 196 €		174 752 €

3.9.4. Récapitulatif des coûts

	Variante 1	Variante 2
Barrage	973 k€ HT	973 k€ HT
Rieumassel	1 177 k€ HT	1 454 k€ HT
Pont des écoles (solution	Entre 175 et 247 k€ HT	Entre 116 et 198 k€ HT
TOTAL (selon solution retenue pour le pont des écoles)	Entre 2 393 k€ HT et 2 465 k€ HT	Entre 2 261 et 2 334 k€ HT

Tableau 53 : Récapitulatif des coûts estimatifs du projet

3.9.5. Montant des travaux selon les solutions retenues par 3M

	Montant
Barrage	1 021 k€ HT
Rieumassel – Variante 1 (Pont des écoles déversant pour Q100)	1 177 k€ HT
Pont des écoles – Variante 1 – Solution 1.a (Pont des écoles déversant pour Q100 – Reconstruction du pont sans pile intermédiaire)	247 k€ HT
TOTAL	2 445 k€ HT

Tableau 54 : Estimation des travaux selon les solutions retenues par 3M

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

**Annexe 1 : Bassin écrêteur de crue Lieu dit de l'Arbre
Blanc / Diagnostic géotechnique des désordres
affectant la digue du Rieumassel / Rapport d'étude
géotechnique G5 - Hydrogéotechnique Sud-Ouest, Juin 2015**

**Annexe 2 : Protection du Rieumassel / rapport
factuel investigations in situ - Ginger CEBTP, Octobre 2019**

**Annexe 3 : Rapport d'investigations
complémentaires et Géoréférencement des réseaux
– Pont des écoles Grabels – GENIMAP, 08/08/2019**

Annexe 4 : Justifications ATB 2018

Annexe 5 : Vue en plan aménagement Rieumassel

(format A0)

Annexe 6 : Plans du barrage de l'Arbre Blanc

(3 pages format A3)



Fiche signalétique

Rapport

Titre : Montpellier Méditerranée Métropole – Maîtrise d'œuvre des aménagements de protection contre les inondations du Rieumassel à Grabels (34) – Avant-Projet

Numéro et indice de version : n°102425/E

Date d'envoi : Octobre 2021

Nombre de pages : 144

Diffusion (nombre et destinataires) :

Nombre d'annexes dans le texte : 6

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

numérique

Client

Coordonnées complètes : **Montpellier Méditerranée Métropole**

50, place Zeus

CS 39556

34961 MONTPELLIER Cedex 2

Nom et fonction des interlocuteurs :

Vivien NGUYEN VAN

Tél. : 04.67.13.97.11 / 06.12.75.37.79

E-mail : v.nguyenvan@montpellier3m.fr

Antea Group

Unité réalisatrice : Pôle Eau – région Sud

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial : Lise MOUCHE / Nicolas DU BOISBERRANGER

Responsable de projet : Lise MOUCHE

Auteurs : Claire ARRIGHI, Lise MOUCHE, Suzanne LEFEBVRE

Expert technique : Du BOISBERRANGER / Daniel CHASSAGNEUX / Pierre CAZES / Eric ANTOINET

Secrétariat : Marie-Laure ANTONUCCI

Qualité

Contrôlé par : Nicolas DU BOISBERRANGER

Date : Octobre 2021

N° du projet : LROP180077

Références et date de la commande :

Mots clés : AVP, barrage, inondation, renaturation