



# Rapport

PLVG

## CLASSEMENT ET ETUDES FAISABILITE AVP SYSTEME D'ENDIGUEMENT GAVE DE CAUTERETS A PIERREFITTE-NESTALAS ET SOULOM

N° : 18F-143-RS-2

Révision n° : D

Date : 24/11/2023

Votre contact :  
Jérémy SAVTIER  
savatier@isl.fr



// Etude de dangers

ISL Ingénierie SAS – SUD-OUEST  
15 rue du Maréchal Harispe  
64500 – Saint-Jean de Luz  
France  
Tel : +33.5.59.85.14.55  
Fax : +33.1.40.34.63.36

[www.isl.fr](http://www.isl.fr)





# Visa

| Révision | Date       | Auteur | Chef de<br>Projet | Superviseur | Commentaire  |
|----------|------------|--------|-------------------|-------------|--|
| A        | 21/07/2020 | NGO    | JSA               | JSA         |  |
| B        | 22/10/2021 | NGO    | JSA               | JSA         | Prise en compte des remarques du<br>PLVG du 21/10/2021   |
| C        | 28/04/2022 | NGO    | JSA               | JSA         |  |
| D        | 24/11/2023 | NGO    | JSA               | JSA         | Prise en compte des remarques de la<br>DREAL dans le cadre l'instruction du<br>dossier réglementaire |

JSA : SAVATIER Jérémy

NGO : GODET Nicolas

|

---

## SOMMAIRE

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>0</b>     | <b>RESUME NON TECHNIQUE.....</b>   | <b>1</b>  |
|              | <b>DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYTEME<br/>D'ENDIGUEMENT.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1</b>     | <b>RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1.1</b>   | <b>IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>1.2</b>   | <b>IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1.3</b>   | <b>REFERENCES ADMINISTRATIVES.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>1.4</b>   | <b>AUTRES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES (ARTICLE R 562-18) .....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2</b>     | <b>OBJET DE L'ETUDE .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>CADRE DANS LEQUEL L'ETUDE DE DANGERS EST REALISEE .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE ET SES<br/>EVENTUELLES SOUS-PARTIES .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES<br/>EVENTUELLES SOUS-PARTIES .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES<br/>CONCERNES .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>3</b>     | <b>DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE, DU<br/>SYSTEME D'ENDIGUEMENT, DE SON ENVIRONNEMENT ET DE<br/>SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES<br/>INONDATIONS.....</b> | <b>20</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>ZONE PROTEGEE.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>3.1.1</b> | <b>Carte de la zone protégée et du territoire du PLVG .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>3.1.2</b> | <b>Liste récapitulative des communes .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>3.1.3</b> | <b>Liste des communes du PLVG .....</b>  | <b>24</b> |

---

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>3.2</b> | <b>DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES ET DES CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLlicitATIONS S'EXERÇANT SUR CES FONDATIONS.....</b>                   | <b>25</b> |
| <b>3.3</b> | <b>DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES.....</b>  | <b>27</b> |
| 3.3.1      | Identification du cours d'eau.....   | 27        |
| 3.3.2      | Localisation et caractéristiques des différents éléments constituant le système d'endiguement.....   | 27        |
| 3.3.3      | Profil en long de l'ouvrage.....   | 29        |
| 3.3.4      | Caractéristiques des tronçons constitutifs du système d'endiguement et profils en travers de l'ouvrage .....   | 31        |
| 3.3.5      | le cas échéant, la localisation de l'aménagement hydraulique autorisé conjointement avec le système d'endiguement.....   | 32        |
| 3.3.6      | Données topographiques disponibles et précision.....   | 32        |
| <b>3.4</b> | <b>ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE .....</b> | <b>33</b> |
| 3.4.1      | Données historiques connues sur le comportement structurel .....   | 33        |
| 3.4.2      | Description et indication de la fonction structurelle de chaque composant des éléments du système d'endiguement et présentation du fonctionnement d'ensemble du système d'endiguement .....      | 36        |
| 3.4.3      | Le cas échéant, l'impact de l'aménagement hydraulique autorisé conjointement avec le système d'endiguement.....  | 36        |
| 3.4.4      | Présentation du niveau de protection du système d'endiguement.....   | 36        |
| 3.4.5      | Présentation des situations pouvant survenir en cas de dépassement des performances du système d'endiguement.....  | 36        |
| 3.4.6      | Description et évaluation de l'organisation du gestionnaire .....  | 36        |
|            | <b>DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>4</b>   | <b>CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS .....</b>  | <b>38</b> |
| 4.1        | <b>HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE.....</b>  | <b>38</b> |
| 4.2        | <b>MORPHODYNAMIQUE ET TRANSPORT SEDIMENTAIRE .....</b>   | <b>40</b> |
| 4.3        | <b>RISQUE EMBACLES.....</b>  | <b>45</b> |

---

---

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 4.3.1      | Aléa embâcles .....                                   | 45        |
| 4.3.2      | Impact d'un empaquetage sur le pont de Soulom .....   | 46        |
| <b>4.4</b> | <b>SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES .....</b> | <b>48</b> |
| 4.4.1      | Risque sismique .....                                 | 48        |
| 4.4.2      | Autres risques géologiques .....                      | 49        |
| <b>5</b>   | <b>DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT .....</b>     | <b>51</b> |
| <b>5.1</b> | <b>DESCRIPTION DES OUVRAGES EXISTANTS .....</b>       | <b>51</b> |
| 5.1.1      | Historique des ouvrages.....                          | 51        |
| 5.1.2      | Présentation des ouvrages en rive gauche .....        | 52        |
| 5.1.2.1    | Tronçon GC 29.1.....                                  | 52        |
| 5.1.2.2    | Tronçon GC 29.2.....                                  | 53        |
| 5.1.2.3    | Tronçon GC 30.....                                    | 56        |
| 5.1.2.4    | Tronçon GC 31.1.....                                  | 58        |
| 5.1.2.5    | Tronçon GC 36.1.....                                  | 59        |
| 5.1.2.6    | Tronçon GC 36.2.....                                  | 60        |
| 5.1.2.7    | Tronçon GC 36.3.....                                  | 61        |
| 5.1.2.8    | Tronçon GC 40.1.....                                  | 64        |
| 5.1.2.9    | Tronçon GC 40.2.....                                  | 66        |
| 5.1.2.10   | Tronçon GC 40.3.....                                  | 68        |
| 5.1.2.11   | Tronçon GC 40.4.....                                  | 69        |
| 5.1.2.12   | Tronçon GC 46.....                                    | 71        |
| 5.1.2.13   | Tronçon GC 45bis .....                                | 73        |
| 5.1.2.14   | Tronçon GC 45.....                                    | 74        |
| 5.1.2.15   | Tronçon GC 47.1.....                                  | 77        |
| 5.1.2.16   | Tronçon GC 47.2.....                                  | 79        |
| 5.1.2.17   | Tronçon GC 48.1.....                                  | 80        |
| 5.1.2.18   | Tronçon GC 48.2.....                                  | 82        |
| 5.1.2.19   | Tronçon GC 48.3.....                                  | 84        |
| 5.1.3      | Présentation des ouvrages en rive droite.....         | 86        |
| 5.1.3.1    | Tronçon GC 28.....                                    | 86        |
| 5.1.3.2    | Tronçon GC 32.....                                    | 88        |
| 5.1.3.3    | Tronçon GC 34.....                                    | 90        |
| 5.1.3.4    | Tronçon GC 35.1.....                                  | 91        |

---

---

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.1.3.5    | Tronçon GC 35.2.....   | 91         |
| 5.1.3.6    | Tronçon GC 35.3.....   | 93         |
| 5.1.3.7    | Tronçon GC 38.1.....   | 94         |
| 5.1.3.8    | Tronçon GC 38.2.....   | 96         |
| 5.1.3.9    | Tronçon GC 38.3.....   | 98         |
| 5.1.3.10   | Tronçon GC 39.....   | 100        |
| 5.1.3.11   | Tronçon GC 42bis.1 .....   | 101        |
| 5.1.3.12   | Tronçon GC 42bis.2 .....   | 103        |
| 5.1.4      | Ouvrages singuliers .....  | 105        |
| 5.1.4.1    | Prise d'eau du canal des moulins en rive gauche du seuil Berty.....                          | 105        |
| 5.1.5      | Ouvrages traversants .....   | 107        |
| 5.1.6      | Voies d'accès aux ouvrages.....  | 119        |
| <b>5.2</b> | <b>DESCRIPTION DES OUVRAGES A MODIFIER.....</b>  | <b>119</b> |
| 5.2.1      | Confortement de la protection de berge GC29.1 .....  | 119        |
| 5.2.1.1    | Etat initial .....   | 119        |
| 5.2.1.2    | Confortement prévu.....  | 120        |
| 5.2.2      | Equipements de vannes d'ouvrages traversants sur les tronçons GC40.4<br>et GC36.3 .....      | 122        |
| 5.2.2.1    | Tronçon GC40.4.....  | 122        |
| 5.2.2.2    | Tronçon GC36.3.....  | 124        |
| 5.2.3      | Mesures prises pendant les travaux .....   | 125        |
| <b>5.3</b> | <b>DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT .....</b>                              | <b>125</b> |
| <b>6</b>   | <b>RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE<br/>PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT .....</b> | <b>127</b> |
| <b>6.1</b> | <b>ACCIDENTOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE DES OUVRAGES ETUDIES</b>                            | <b>127</b> |
| 6.1.1      | Crue de juin 2018 .....  | 127        |
| 6.1.2      | La crue de juin 2013.....  | 129        |
| 6.1.3      | Crue d'octobre 2012.....   | 139        |
| 6.1.4      | Principales crues connues du gave de Cauterets avant 2012 .....                              | 142        |
| 6.1.5      | Eléments d'accidentologie connus sur les ouvrages étudiés.....                               | 143        |
| <b>6.2</b> | <b>ACCIDENTOLOGIE GENERALE DES DIGUES MUR POIDS BETON.....</b>                               | <b>145</b> |
| 6.2.1      | Probabilité annuelle de destruction de digues torrentielles.....                             | 146        |
| 6.2.2      | érosion externe.....   | 146        |

---



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.2.3 | Incision du lit – affouillement des ouvrages ..... | 147 |
| 6.2.4 | Surverse .....                                     | 148 |
| 6.2.5 | Actions ou impacts dynamiques.....                 | 149 |
| 6.2.6 | Instabilité .....                                  | 150 |
| 6.2.7 | Érosion interne .....                              | 150 |
| 6.2.8 | Facteur aggravant : les flottants .....            | 150 |
| 6.2.9 | Synthèse sur les modes de rupture .....            | 150 |

## **7 DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES ..... 151**

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>7.1</b> | <b>SOLLICITATIONS EN CRUE .....</b>   | <b>151</b> |
| <b>7.2</b> | <b>SOLLICIATION HYDRAULIQUE POUR LA CRUE VICENNALE (137 m<sup>3</sup>/s) ....</b>   | <b>151</b> |
| <b>7.3</b> | <b>SOLLICIATION HYDRAULIQUE POUR LA CRUE DE DEBIT 100 m<sup>3</sup>/s (Q10)</b>   | <b>159</b> |
| <b>7.4</b> | <b>ETUDES DES ALEAS DE RUPTURE .....</b>  | <b>161</b> |
| 7.4.1      | Aléas de rupture possibles dans la zone d'étude.....  | 161        |
| 7.4.2      | Méthodologie et grille d'appréciation des probabilités .....  | 163        |
| 7.4.3      | Scénario 1 : Erosion externe par affouillement du pied entraînant une<br>rupture de l'ouvrage (basculement ou renard) et des venues d'eau lors de la même<br>crue | 165        |
| 7.4.3.1    | Description du phénomène.....   | 165        |
| 7.4.3.2    | Moyen de détection et observations possibles en crue.....   | 165        |
| 7.4.3.3    | Arbre de défaillance .....  | 165        |
| 7.4.3.4    | Événement initiateur : définition de la sollicitation.....  | 165        |
| 7.4.3.5    | Initiation de l'affouillement du lit : évaluation de la probabilité conditionnelle P1 .....   | 165        |
| 7.4.3.6    | Progression de l'affouillement jusqu'à la rupture : évaluation de la probabilité<br>conditionnelle P2.....  | 167        |
| 7.4.3.7    | Synthèse des résultats du scénario 1 et recherche du niveau de sûreté .....   | 176        |
| 7.4.3.8    | Niveau de sûreté pour le scénario 1 .....   | 176        |
| 7.4.4      | Scénario 2 : Rupture de la digue par choc d'embâcle ou érosion externe du<br>parement   | 178        |
| 7.4.4.1    | Description du phénomène.....   | 178        |
| 7.4.4.2    | Moyen de détection et observations possibles en crue.....   | 178        |
| 7.4.4.3    | Choc d'embâcle .....  | 178        |
| 7.4.4.4    | Erosion externe du parement .....   | 179        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 7.4.4.5    | Synthèse des résultats du scénario 2 et recherche du niveau de sûreté .....   | 183        |
| 7.4.5      | <b>Scénario 3 : Surverse au-dessus de la digue .....</b>  | <b>186</b> |
| 7.4.5.1    | Description du phénomène.....   | 186        |
| 7.4.5.2    | Moyen de détection et observations possibles en crue.....   | 186        |
| 7.4.5.3    | Arbre de défaillance .....  | 186        |
| 7.4.5.4    | Probabilité de venues d'eau dangereuses par surverse pour Q20.....  | 188        |
| 7.4.5.5    | Synthèse de la probabilité de venues d'eau dangereuses par surverse pour la crue vicennale et recherche du niveau de sûreté.....                        | 190        |
| 7.4.6      | <b>Scénario 4 : Effondrement de la digue du fait de l'érosion interne de la fondation du mur.....</b>   | <b>191</b> |
| 7.4.6.1    | Description du phénomène.....   | 191        |
| 7.4.6.2    | Moyen de détection et observations possibles en crue.....   | 192        |
| 7.4.6.3    | Suffusion .....   | 192        |
| 7.4.6.4    | Erosion de contact.....   | 194        |
| 7.4.6.5    | Erosion de conduit.....   | 194        |
| 7.4.6.6    | Erosion régressive.....   | 195        |
| 7.4.6.7    | Synthèse des probabilités de rupture par érosion interne .....  | 198        |
| 7.4.7      | <b>Scénario 5 : Basculement du mur côté Gave lors d'une décrue importante puis érosion et inondation lors d'une seconde crue avant réparation .....</b> | <b>198</b> |
| 7.4.8      | <b>Scénario 6 : Entrée d'eau par les ouvrages traversants .....</b>   | <b>200</b> |
| 7.4.8.1    | Description du phénomène.....   | 200        |
| 7.4.8.2    | Moyens de détection et observations possibles en crues .....  | 201        |
| 7.4.8.3    | Arbre de défaillance .....  | 201        |
| 7.4.8.4    | Entrée d'eau dans le conduit des ouvrages à travers la digue .....  | 201        |
| 7.4.8.5    | Libération d'un volume dangereux.....   | 201        |
| 7.4.8.6    | Synthèse des probabilités de défaillances pour le scénario 6 : entrée d'eau par les ouvrages traversants .....  | 201        |
| 7.4.9      | <b>Scénario 7 : Rupture par défaut de résistance interne d'un mur digue..</b>   | <b>206</b> |
| <b>7.5</b> | <b>SYNTHESE DES RESULTATS ET DEFINITION DU NIVEAU DE SURETE .....</b>   | <b>207</b> |
| 7.5.1      | Synthèses de probabilités de rupture des ouvrages pour la crue Q20 ..   | 207        |
| 7.5.2      | Niveau de sûreté .....  | 208        |
| <b>8</b>   | <b>ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU .....</b>  | <b>211</b> |
| <b>8.1</b> | <b>DEFINITION DES CLASSES DE VENUES D'EAU DANGEREUSES .....</b>   | <b>211</b> |

---

|              |  |            |
|--------------|--|------------|
| <b>8.2</b>   | <b>SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b>                |            |
|              | <b>211</b>   |            |
| <b>8.3</b>   | <b>SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b>             |            |
|              | <b>211</b>   |            |
| <b>8.4</b>   | <b>SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT</b>              |            |
|              | <b>213</b>   |            |
| <b>8.5</b>   | <b>SCENARIO 4 : COMPORTEMENT POUR L'ALEA DU PPR .....</b>                          | <b>215</b> |
| <b>8.6</b>   | <b>SCENARIOS COMPLEMENTAIRES AVEC MOBILITE DU LIT.....</b>                         | <b>217</b> |
| <b>9</b>     | <b>PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION</b>                                   |            |
|              | <b>MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE</b>                           |            |
|              | <b>DE SES MISSIONS .....</b>   | <b>219</b> |
| <b>9.1</b>   | <b>ORGANISATION DU GESTIONNAIRE POUR CE QUI CONCERNE LES ASPECTS</b>               |            |
|              | <b>LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE.....</b>                      | <b>219</b> |
| <b>9.2</b>   | <b>LA DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT</b>                      |            |
|              | <b>L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE</b> |            |
|              | <b>L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET</b>   |            |
|              | <b>LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE .....</b>                                     | <b>219</b> |
| <b>9.3</b>   | <b>LES MOYENS D'INFORMATION SUR LES CRUES .....</b>                                | <b>220</b> |
| <b>9.4</b>   | <b>LES PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES</b>                   |            |
|              | <b>AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE</b>   |            |
|              | <b>DE CRUE OU DE TEMPETE, ADAPTEES AUX DIFFERENTS CAS ET A LEURS CINETIQUES</b>    |            |
|              | <b>220</b>   |            |
| <b>9.5</b>   | <b>LES DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN</b>                |            |
|              | <b>PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON</b>                |            |
|              | <b>ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DANS LE CADRE DE SON</b>       |            |
|              | <b>AMELIORATION CONTINUE .....</b>   | <b>220</b> |
| <b>9.6</b>   | <b>LE(S) ROLE(S) DE BARRIERE DE SECURITE POUVANT ETRE ASSURE(S) PAR</b>            |            |
|              | <b>CERTAINS ELEMENTS DE SON ORGANISATION ET DE SA DEMARCHE DE PREVENTION</b>       |            |
|              | <b>DES ACCIDENTS.....</b>  | <b>220</b> |
| <b>9.7</b>   | <b>ANALYSE DE L'ADEQUATION DES MOYENS HUMAINS ET DE L'ORGANISATION</b>             |            |
|              | <b>221</b>   |            |
| <b>9.7.1</b> | <b>manœuvres d'exploitation .....</b>  | <b>221</b> |
| <b>9.7.2</b> | <b>l'entretien des ouvrages, la détection précoce des désordres éventuels qui</b>  |            |
|              | <b>peuvent les affecter et leurs réparations courantes .....</b>                   | <b>221</b> |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 9.7.3      | les réparations et renforcements plus conséquents effectués à titre provisoire dans le respect des règles de l'art. .... | 221        |
| 9.7.4      | S'informer auprès des services compétents en matière de prévision et d'annonce de crues .....                            | 221        |
| 9.7.5      | Alerter sans délai les autorités qui sont compétentes pour la mise en sécurité préventive des personnes.....             | 221        |
| <b>9.8</b> | <b>RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER A MOYEN TERME LE NIVEAU DE PROTECTION.....</b>   | <b>221</b> |
| <b>10</b>  | <b>CARTOGRAPHIE .....</b>  | <b>222</b> |

## TABLE DES ANNEXES

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>ANNEXE 1</b> | <b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>ANNEXE 2</b> | <b>HISTORIQUE DES SEISMES DANS LE SECTEUR DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT .....</b>      | <b>2</b>  |
| <b>ANNEXE 3</b> | <b>DESCRIPTION GEOTECHNIQUE DE LA ZONE D'ETUDE</b>                                | <b>5</b>  |
| <b>ANNEXE 4</b> | <b>SENSIBILITE DES OUVRAGES AU MODE DE RUPTURE</b>                                | <b>13</b> |
| <b>ANNEXE 5</b> | <b>NOTE DE CALCULS DE LA RESISTANCE AU CHOC D'EMBACLE DES MADRIERS BOIS .....</b> | <b>38</b> |
| <b>ANNEXE 6</b> | <b>AVANT PROJET DE CONFORTEMENT POUR LA CRUE 100 M<sup>3</sup>/S (Q10).....</b>   | <b>47</b> |
| <b>ANNEXE 7</b> | <b>ETUDE HYDROLOGIQUE (HYDRETUDES 2020) ...</b>                                   | <b>48</b> |

**ANNEXE 8 NOTE TECHNIQUE HYDROMORPHOLOGIE  
(HYDRETUDES 2020).....49**

**ANNEXE 9 RAPPORT DE MODELISATION HYDRAULIQUE  
(2020) 50**

**ANNEXE 10 CARTE DES OUVRAGES COMPOSANT LE  
SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET DE LA ZONE PROTEGEE .....52**

**ANNEXE 11 PROFILS EN LONG .....53**

**TABLE DES FIGURES**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Vue en plan des ouvrages constitutifs du système d'endiguement.....   | 2  |
| Figure 2 : Délimitation de la zone protégée (en bleu) et limites communales (en blanc).....  | 16 |
| Figure 3 : Vue en plan des ouvrages constitutifs du système d'endiguement.....   | 17 |
| Figure 4 : Zone protégée du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas.....   | 20 |
| Figure 5 : Implantation du système d'endiguement de Pierrefitte Nestalas dans le périmètre de gestion du PLVG.....                                 | 21 |
| Figure 6 : Echelle de mesure des niveaux d'eau pour le système d'endiguement.....  | 23 |
| Figure 7 : Plan d'ensemble du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas .....  | 28 |
| Figure 8 : Profil en long rive gauche.....   | 29 |
| Figure 9 : Profil en long rive droite .....  | 30 |
| Figure 10 : Occupation des sols du bassin versant du gave de Cauterets (Hydrétudes, 2020) .....  | 38 |
| Figure 11 : Zones inondables pour la crue de période de retour 20 ans (avec le système d'endiguement et les fonds actuels).....                    | 40 |
| Figure 12 : cône de déjection historique.....  | 41 |
| Figure 13 : cône de déjection résiduel (limité par le système d'endiguement) .....   | 41 |
| Figure 14 : sectorisation pour l'analyse des profils en long .....   | 42 |
| Figure 15 : exemple de secteur d'engraissement (zone A) en amont du pont de Soulom .....   | 43 |
| Figure 16 : Situation des atterrissements .....  | 43 |
| Figure 17 : réactivation du cône actif lors de la crue de 2013.....  | 44 |
| Figure 18 : zone l'aléa fort d'embâcle (Hydrétudes 2020) .....   | 45 |
| Figure 19 : embâcles en extradoss du tronçon 38.3 observés en 2013.....  | 46 |
| Figure 20 : Profil en long des lignes d'eau et d'énergie pour un débit de 100 m <sup>3</sup> /s (Q <sub>10</sub> ) – avec et sans obstruction..... | 47 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure 21 : Zonage sismique de la France (système d'endiguement identifié par le point vert) .....   | 48  |
| Figure 22 : Accélérations horizontales pour le SES (en m/s <sup>2</sup> ) pour les digues de protection contre les submersions .....   | 49  |
| Figure 23 : Retrait et gonflement des argiles .....  | 49  |
| Figure 24 : Remontées de nappes .....  | 50  |
| Figure 25 : Cavités souterraines .....   | 50  |
| Figure 26 : Historique des ouvrages (source RTM) .....   | 51  |
| Figure 27 : plan des ouvrages de prise d'eau (SHEM) .....  | 105 |
| Figure 28 : Vanne amont (à gauche) et module à masque (à droite) .....   | 105 |
| Figure 29 : Vue aérienne post-crue de 2013 de l'ouvrage de prise d'eau en rive gauche du seuil Berty .....   | 106 |
| Figure 30 : servitudes prévues (en bleu : servitudes pédestres, en vert : servitudes engins, en rose : accès au lit mineur) .....  | 119 |
| Figure 31 : Vue du tronçon GC 29.1 depuis la rive droite (assemblage de photos) .....  | 120 |
| Figure 32 : Type d'ouvrage en fonction de la sollicitation pour les protections de berges – Table ronde enrochements CEREMA – RTM, 2014 .....  | 120 |
| Figure 33 : coupe type du confortement avec les niveaux de la crue de période 20 ans .....   | 121 |
| Figure 34 : extrait de la vue en plan .....  | 121 |
| Figure 35 : Ouvrage traversant de diamètre 1000 mm du tronçon GC 40.4 et niveaux approximatifs des crues Q10 et Q20 .....  | 122 |
| Figure 36 : Localisation de l'ouvrage traversant (D=1000 mm) du tronçon GC 40.3 .....  | 123 |
| Figure 37 : Ouvrage traversant vanné sur le tronçon GC 47.2 .....  | 123 |
| Figure 38 : Ouvrage traversant de diamètre 500 mm du tronçon GC 36.3 .....   | 124 |
| Figure 39 : Localisation de l'ouvrage traversant (D=500 mm) du tronçon GC 36.3 .....   | 125 |
| Figure 40 : carte des venues d'eau pour le niveau de protection 100 m <sup>3</sup> /s .....  | 126 |
| Figure 41 : Crue de juin 2018 sur le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas (PLVG) .....  | 128 |
| Figure 42 : Embâcle sur le pont interzone lors de la crue de juin 2018 (PLVG) .....  | 128 |
| Figure 43 : Désordres observés par suite de la crue de juin 2018 sur les tronçons GC 31.1 et GC 28 (PLVG) .....  | 129 |
| Figure 44 : Cartographie de la zone inondée lors de la crue de 2013 sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom (source : DREAL Aquitaine) .....                                      | 130 |
| Figure 45 : Photo de la rue Boileau lors de la crue de juin 2013 (Source : Berde, 2013) .....  | 131 |
| Figure 46 : La rue Boileau après la crue de juin 2013 .....  | 132 |
| Figure 47 : Photo lors de la crue de juin 2013 illustrant la violence du gave de Cauterets au droit de la rue de Lalanne .....   | 132 |
| Figure 48 : Impact de la crue de 2013 sur le lit mineur du gave de Cauterets au droit de la plaine de Lalanne (Sources Géoportail : Photographies aérienne 2006-2010 et PLEIADES 2013) ..... | 133 |
| Figure 49 : Rupture du tronçon GC 47.2 en 2012 .....   | 133 |
| Figure 50 : Rupture du tronçon GC 45bis en novembre 2013 .....   | 134 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Figure 51 : Synthèse des principaux effets de la crue de 2013 sur le système d'endiguement (PLVG)   | 138 |
| Figure 52 : zone inondée et repères de crues disponibles (source rapport Geosphair, 2012)   | 140 |
| Figure 53 : Hauteur d'eau pour un débit de pointe de 120 m <sup>3</sup> /s  | 141 |
| Figure 54 : Renard hydraulique sous la digue en rive gauche à Pierrefitte-Nestalas en 2012  | 142 |
| Figure 55 : Photo prise depuis le pont interzone pendant la crue d'octobre 2005 (source : PLVG)   | 143 |
| Figure 56 : mobilité fluviale du Var ayant "emporté" un linéaire de la digue de Guillaumes (source : ONF Alpes Maritimes)                                 | 147 |
| Figure 57 : Affouillement en pied de digue - La Valloirette - Valloire (73) - Mai 2008 (ONF-RTM)  | 147 |
| Figure 58 : Rupture et réparation d'urgence d'une digue - Gave de Cauterets - Pierrefitte Nestalas (65) - 2013 (ONF-RTM)                                  | 148 |
| Figure 59 : Surverse sans rupture suite à l'engrèvement du lit - Chagnon - Vars (05) – 1957   | 148 |
| Figure 60 : Surverse sur la digue - Gave de Cauterets - Pierrefitte Nestalas - Juin 2013 (source SMDRA)   | 149 |
| Figure 61 : schéma et notations pour la suite du rapport  | 152 |
| Figure 62 : Profil en long RG   | 153 |
| Figure 63 : Profil en long RD   | 154 |
| Figure 64 : Comparaisons des résultats des modélisations hydrauliques (crue Q20) et la topographie des ouvrages de protection                             | 157 |
| Figure 65 Zone des vitesses maximales pour la Q20   | 158 |
| Figure 66 : Synthèse des événements pouvant conduire à la rupture des ouvrages  | 162 |
| Figure 67 : Arbre-type de probabilité   | 163 |
| Figure 68 : Arbre de défaillance par rupture de la digue par affouillement du mur   | 165 |
| Figure 69 : Courbe granulométrique en amont du pont de Soulom, D50=125mm - Rapport morphologique HYDRETTUES, avril 2020                                   | 166 |
| Figure 70 : Vitesses critiques pour les matériaux granulaires lâches – Guide enrochements CETMEF  | 166 |
| Figure 71 : Carte des zones équivalentes en termes d'évolution verticale, HYDRETTUES, avril 2020  | 167 |
| Figure 72 : Recensement des digues en fonctions des zones équivalentes d'évolution verticale du lit   | 169 |
| Figure 73 : Arbre de défaillance de rupture de la digue à la suite d'un choc d'embâcle (Scénario 2)   | 178 |
| Figure 74 : Arbre de défaillance par rupture de la digue à la suite de l'érosion du parement côté Gave (Scénario 2)                                       | 180 |
| Figure 75 : Vitesses limites pour le dimensionnement de la résistance à l'érosion, Guide international sur les digues - CEREMA                            | 181 |
| Figure 76 : Vue de la violence des surverses pour une faible hauteur déversante sur l'ouvrage (présence accrue de vagues et fortes vitesses sur la route) | 186 |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| Figure 77 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par surverse .....   | 187 |
| Figure 78: Probabilités conditionnelles en fonction des résultats de revanche sur les lignes de charge et surface libre issues de la modélisation hydraulique.....   | 188 |
| Figure 79 : Probabilités de venues d'eaux dangereuses par surverse dans le cas de la crue Q20 (137 m <sup>3</sup> /s) .....  | 190 |
| Figure 80 : Probabilités de venues d'eau dangereuses par surverse pour la Q20 (137 m <sup>3</sup> /s).....   | 191 |
| Figure 81 : Illustration de la suffusion.....  | 192 |
| Figure 82 Synthèse des courbes granulométriques disponibles.....   | 193 |
| Figure 83 Analyse multicritères du phénomène de suffusion .....  | 193 |
| Figure 84 : Illustration de l'érosion de contact .....   | 194 |
| Figure 85 : Illustration de l'érosion de conduit .....   | 195 |
| Figure 86 : Illustration de l'érosion régressive .....   | 195 |
| Figure 87 Définition du gradient hydraulique pour un mur de soutènement.....   | 196 |
| Figure 88 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par Basculement du mur côté Gave lors d'une décrue importante puis érosion et inondation lors d'une seconde crue avant réparation..... | 199 |
| Figure 89 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par les ouvrages traversant .....  | 201 |
| Figure 90 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de fréquence de retour 100 ans avec système d'endiguement (débit de pointe 296 m <sup>3</sup> /s) .....  | 216 |
| Figure 91 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de période de retour 100 ans sans ouvrages en surélévation (débit de pointe 296 m <sup>3</sup> /s) .....   | 216 |
| Figure 92 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de fréquence de retour 20 ans (débit de pointe 137 m <sup>3</sup> /s) scénario de transport solide excédentaire – dépôts similaires à ceux de la crue de 2013 ..           | 217 |
| Figure 93 : Zone inondable pour la crue vicennale dans l'hypothèse d'un comblement du lit mineur sur 100m en amont du pont de Soulom .....   | 218 |
| Figure 94 : Famille 1.2 : cas particulier du tronçon GC 35.3.....  | 19  |
| Figure 95 : Reconstruction du tronçon GC 35.3 (compte rendu chantier RTM du 04/12/2013).....   | 20  |
| Figure 96 : Tronçon GC 29.1.....   | 24  |
| Figure 97 Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection – tronçon GC 29.1 .....   | 34  |
| Figure 98 : Modèle d'impact pour un choc frontale d'après l'Eurocode 1 – norme NF EN 1991-1-7 .....  | 40  |
| Figure 99 : Calcul de la vitesse d'impact $V_r$ en fonction de la vitesse longitudinale $V_x$ .....  | 40  |
| Figure 100 : Vitesses ( $V_x$ ) pour la Q20 au droit des tronçons avec une rehausse bois .....   | 41  |
| Figure 101 : Propriétés de l'embâcle.....  | 41  |
| Figure 102 Modèle mécanique pour l'évaluation de la résistance des bastaings.....  | 41  |
| Figure 103 Caractéristiques mécaniques et géométriques des bastaings .....   | 42  |
| Figure 104 Extrait de la norme NF B52001 « Règles d'utilisation du bois dans les constructions : qualités des bois et contraintes admissibles ».....   | 42  |

---



|  |    |
|--|----|
| Figure 105 Modèle mécanique pour l'évaluation de la résistance des poutres HEA.....    | 43 |
| Figure 106 Vue de dessus et élévation de l'essai de traction n°1, GEOTEC 2020 .....    | 44 |
| Figure 107 : Résultats des essais de traction sur les tiges scellées, GEOTEC 2020..... | 45 |
| Figure 108 : Situation de calcul pour la résistance des ancrages .....                 | 45 |

## TABLE DES TABLEAUX

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 1 : Communes concernées par le système d'endiguement.....  | 15  |
| Tableau 2 : Ouvrages du système d'endiguement en rive gauche .....   | 19  |
| Tableau 3 : Ouvrages du système d'endiguement en rive droite .....   | 19  |
| Tableau 4 : Liste des communes faisant partie du PLVG .....  | 25  |
| Tableau 5 : synthèse de l'hydrologie du gave de Cauterets .....  | 26  |
| Tableau 6 : Aperçu géologique du secteur d'étude .....   | 26  |
| Tableau 7 : Ouvrages du système d'endiguement en rive gauche .....   | 32  |
| Tableau 8 : Ouvrages du système d'endiguement en rive droite .....   | 32  |
| Tableau 9 : Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets .....   | 34  |
| Tableau 10 : Accidentologie des ouvrages en rive droite du gave de Cauterets.....  | 35  |
| Tableau 11 : synthèse de l'hydrologie du gave de Cauterets .....   | 39  |
| Tableau 12 : synthèse de l'évolution des profils en long selon les secteurs .....  | 42  |
| Tableau 13 : Lame d'eau de débordement en amont de Soulom – Etat avec obstruction .....  | 46  |
| Tableau 14 : Exemples de vannes à guillotines (à gauche ORBINOX et à droite PAM SAINT-<br>GOBAIN) .....                                    | 124 |
| Tableau 15 : Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets .....  | 144 |
| Tableau 16 : Accidentologie des ouvrages en rive droite du gave de Cauterets.....  | 145 |
| Tableau 17 : Probabilité conditionnelle proposée par Vick 2002 .....   | 164 |
| Tableau 18 Calcul du diamètre des enrochements libres pour la crue Q20.....  | 172 |
| Tableau 19 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 de progression de l'affouillement jusqu'à<br>la rupture pour la crue Q20 ..... | 175 |
| Tableau 20 : synthèse des résultats du scénario 1 pour la crue vicennale (137 m <sup>3</sup> /s).....                                      | 176 |
| Tableau 21 : Variation des vitesses entre la Q20 et Q10 pour les tronçons critiques du scénario 1<br>.....                                 | 177 |
| Tableau 22 : synthèse des résultats du scénario 1 pour la crue décennale (tronçons critiques<br>seulement).....                            | 177 |
| Tableau 23 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 d'initiation de l'érosion du parement du<br>mur .....                          | 182 |
| Tableau 24 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 de progression de l'érosion jusqu'à la<br>rupture du mur .....                 | 183 |
| Tableau 25 : synthèse des résultats du scénario 2 : choc d'embâcles pour la crue vicennale.....  | 183 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Tableau 26 : synthèse des résultats du scénario 2 : choc d'embâcles pour la crue Q10 .....   | 184 |
| Tableau 27 : synthèse des résultats du scénario 2 : érosion externe du parement pour la crue vicennale .....   | 184 |
| Tableau 28 : Probabilités de venues d'eaux dangereuses par surverse dans le cas de la crue Q10 pour les tronçons critiques ( $P > 5\%$ pour la Q20) .....        | 191 |
| Tableau 29 : calcul des gradients hydrauliques pour les murs de soutènement pour la crue 137 m <sup>3</sup> /s (Q20) .....                                       | 197 |
| Tableau 30 : Synthèse des probabilités de rupture par érosion interne pour la crue Q20 (137 m <sup>3</sup> /s) .....   | 198 |
| Tableau 31 : Probabilité conditionnelle P1 - scénario 5 .....  | 199 |
| Tableau 32 : Probabilité conditionnelle P2 - scénario 5 .....  | 200 |
| Tableau 33: Probabilités conditionnelles correspondant au scénario 5 pour une crue de 100 m <sup>3</sup> /s (Q10) .....  | 200 |
| Tableau 34: Facteurs influençant l'évaluation de la probabilité de venue d'eau par les ouvrages traversants (P1) .....   | 201 |
| Tableau 35 : Probabilités conditionnelles correspondant au scénario 6 .....  | 205 |
| Tableau 36 : synthèse des résultats pour chaque scénario pour la Q20 (137 m <sup>3</sup> /s) .....   | 208 |
| Tableau 37 : Synthèse des niveaux de sûreté pour chaque tronçon du système d'endiguement   | 209 |
| Tableau 38 : Aperçu géologique du secteur d'étude .....  | 8   |
| Tableau 39 : Fuseaux granulométriques rencontrés sur la zone d'étude.....  | 8   |
| Tableau 40 : Classifications GTR des matériaux.....  | 9   |
| Tableau 41 : Résultats des essais pressiométriques au niveau des fondations des ouvrages sondés .....  | 10  |
| Tableau 42 : Diagramme pressiométrique .....   | 11  |
| Tableau 43 : Famille 1.1 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés avec désordres importants.....  | 16  |
| Tableau 44 : Famille 1.2 : mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés sans désordre important.....   | 19  |
| Tableau 45 : Famille 1.3 : Mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres avec désordres importants.....     | 21  |
| Tableau 46 : Famille 1.4 : Mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres sans aucun désordre important..... | 23  |
| Tableau 47 : Famille 1.5 : ouvrage avec une simple semelle béton .....   | 24  |
| Tableau 48 : Famille 2.1 : Mur en béton armé avec madriers bois .....  | 25  |
| Tableau 49 : Famille 2.2 : Mur en béton armé.....  | 30  |
| Tableau 50 : Famille 2.3 : Mur en maçonnerie .....   | 31  |
| Tableau 51 : Famille 2.4 : Mur en enrochements bétonnés.....   | 33  |
| Tableau 52 Famille 2.5 : protection en enrochements libres .....   | 34  |
| Tableau 53 : Groupement des tronçons en "familles" au regard du scénario 5 .....   | 37  |
| Tableau 54 Caractéristiques des madriers bois .....  | 38  |

---

---

|   |    |
|---|----|
| Tableau 55 Résultats du calcul pour la résistance des bastaings.....            | 43 |
| Tableau 56 Caractéristiques géométriques des profilés HEA 140.....              | 43 |
| Tableau 57 : Caractéristiques mécaniques de l'acier .....                       | 44 |
| Tableau 58 : Résultats des calculs pour la résistance des profilés HEA 140..... | 44 |
| Tableau 59 : Résultats des efforts de traction dans les tiges scellées .....    | 46 |



## 0 RESUME NON TECHNIQUE

Le Système d'endiguement de Pierrefitte Nestalas et Soulom protège ces communes contre les crues torrentielles du gave de Cauterets. Il est composé de digues et de protections de berges en enrochements, enrochements maçonnés, murs béton sur 1,4 km en rive gauche et 1 km en rive droite. Il a fait l'objet de travaux importants de réfection suite aux crues de 2012 et de 2013.

### **Description des ouvrages**

La localisation de l'ensemble des ouvrages constitutifs du système d'endiguement est donnée sur la vue en plan ci-dessous :

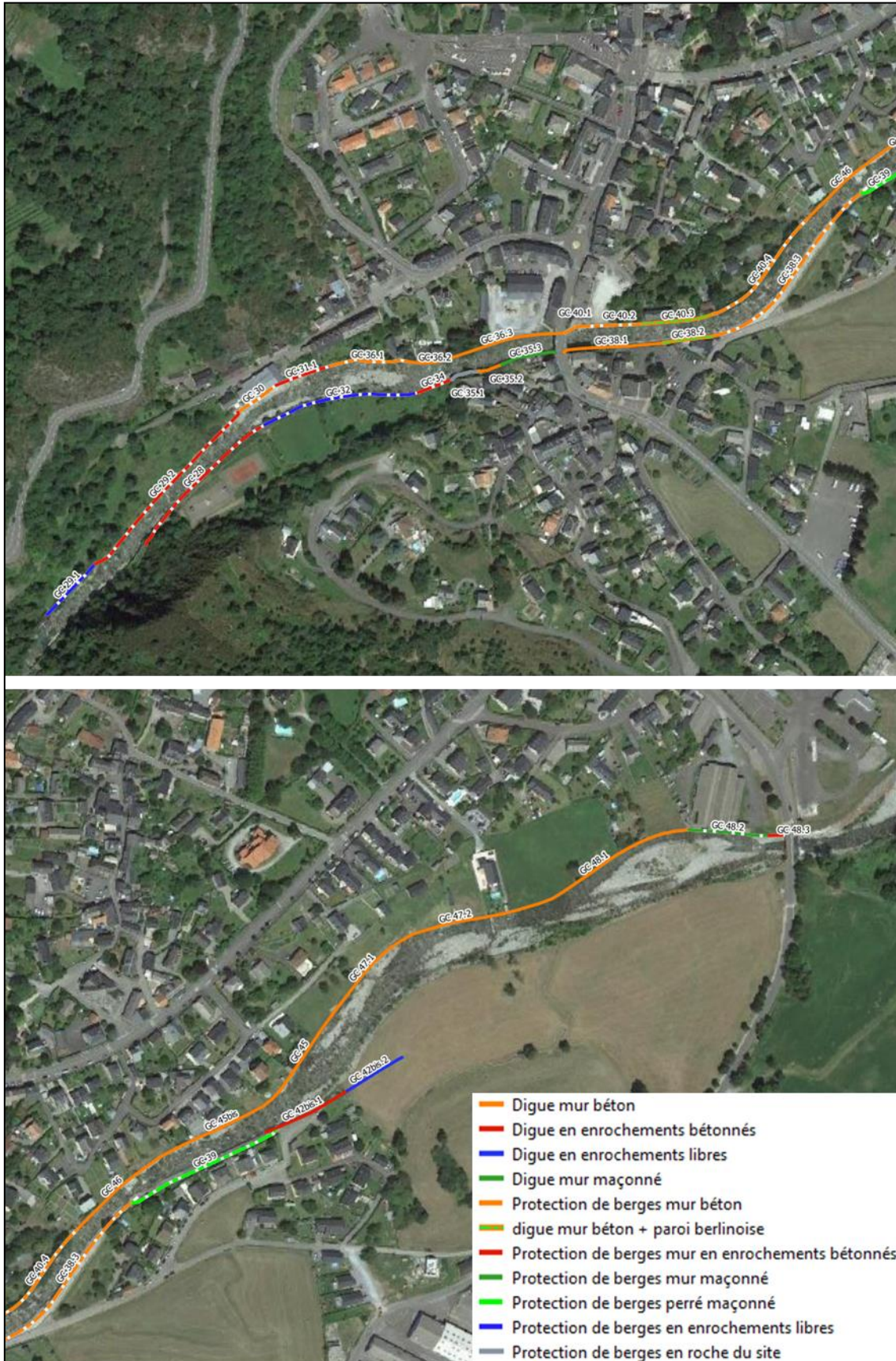


Figure 1 : Vue en plan des ouvrages constitutifs du système d'endiguement

Les tableaux suivants présentent la description sommaire des ouvrages constituant le système d'endiguement en rive gauche et en rive droite. Les noms des tronçons issus des études et dossiers précédents ont été conservés afin de faciliter le suivi.

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC29.1   | Protection de berge en enrochements libres<br>Y compris ouvrage de prise d'eau en rive gauche du seuil Berty | Non  | 21 m     |
| GC29.2   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 166 m    |
| GC30     | Mur de soutènement en béton banché   | Non  | 37 m     |
| GC31.1   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 46 m     |
| GC36.1   | Mur de soutènement en béton  | Non  | 62 m     |
| GC36.2   | Mur poids béton  | Oui, 1.3 m   | 17 m     |
| GC63.3   | Mur poids béton  | Oui, 1 m   | 111 m    |
| GC40.1   | Mur de soutènement béton   | Non  | 10 m     |
| GC40.2   | Mur de soutènement béton   | Non  | 52 m     |
| GC40.3   | Mur de soutènement béton + réhausse en madriers bois   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 57 m     |
| GC40.4   | Mur de soutènement béton   | Non  | 105 m    |
| GC46     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.3 à 0.6 m                                       | 88 m     |
| GC45 bis | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1.65 m                                      | 110 m    |
| GC45     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.4 m   | 72 m     |
| GC47.1   | Mur poids béton  | Oui, 1 à 1,6 m   | 93 m     |
| GC47.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1 m   | 74 m     |
| GC48.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 165 m    |
| GC48.2   | Mur de soutènement maçonné   | Non  | 64 m     |
| GC48.3   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 11 m     |

### Rive gauche

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC28     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés surmontés d'enrochements libres (limite amont sur le rocher) | Non  | 135 m    |
| GC32     | Mur de soutènement en enrochements libres, avec liaisonnement béton en crête                             | Non  | 126 m    |
| GC34     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 28 m     |
| GC35.1   | Mur de soutènement béton sur rocher  | Non  | 23 m     |
| GC35.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.3 m   | 19 m     |
| GC35.3   | Mur de soutènement maçonné   | Oui, 0.6 m   | 43 m     |
| GC38.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 80 m     |
| GC38.2   | Mur de soutènement béton   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 40 m     |
| GC38.3   | Mur de soutènement béton   | Non  | 172 m    |
| GC39     | Perré maçonné sur mur de soutènement béton   | Non  | 130 m    |
| GC42bis1 | Mur en enrochements bétonnés   | Oui, 0.1 à 0.3 m                                       | 70 m     |
| GC42bis2 | Mur de guidage en enrochements libres  | Non  | 53 m     |

### Rive droite

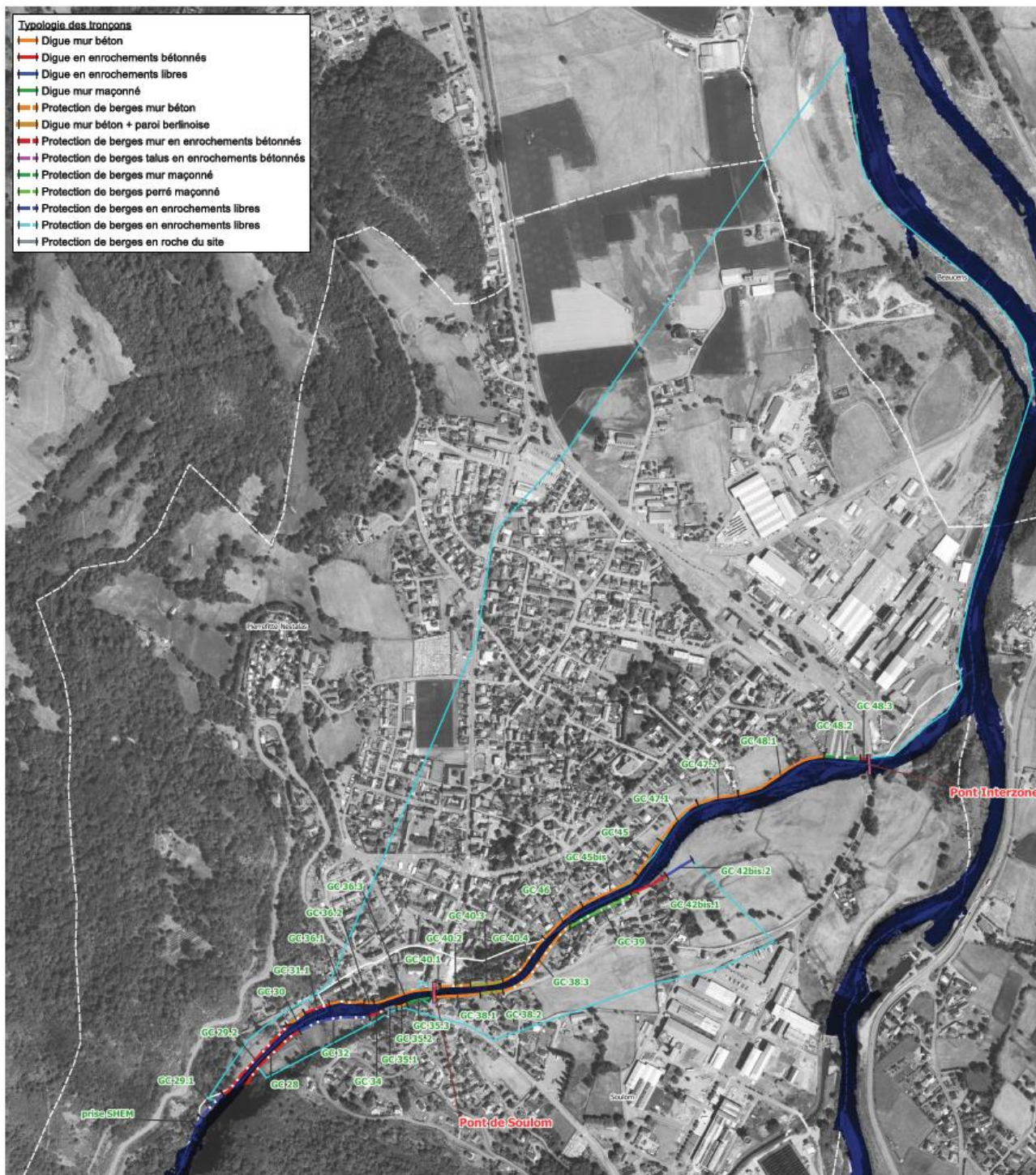
En rive gauche, le système d'endiguement s'arrête au niveau du pont Interzone. Plus en aval, les ouvrages de type protection de berge sont intégrés à l'autorisation ICPE de Ferropem.

Les tronçons GC42bis1 et GC42bis2 sont les tronçons retenus dans le système d'endiguement, les protections de berge GC 42.1, GC 42.2, GC 42.3 et GC 43 étant par conception « fusibles », en principe au-delà d'un évènement type 2012 (120 m<sup>3</sup>/s)

#### **La zone protégée**

La zone protégée (en bleu ci-dessous) est définie à la fois par rapport au risque de débordement de cours d'eau et au risque d'érosion et de défluviation dans le cône de déjection qui pourrait avoir lieu dans cette zone en absence de système d'endiguement.





Les enjeux et la population en zone protégée sont les suivants :

- 960 habitants : 858 à Pierrefitte, 102 à Soulom
- 541 employés : 511 à Pierrefitte, 30 à Soulom
- Enjeux utiles à la gestion de crise :
  - Mairies Pierrefitte et Soulom
  - Ateliers municipaux Pierrefitte et Soulom
  - Accueil PCS Pierrefitte à la salle des fêtes
- Enjeux sensibles :
  - Ecoles (maternelle, Victor Hugo, alternative Kicau) et collège Pierrefitte

- Crèche

### **L'organisation mise en place**

Le PLVG a mis en place des consignes de gestion du système d'endiguement qui représentent un outil pour définir l'organisation afin :

- de surveiller, entretenir et maintenir les ouvrages de protection ;
- de prévenir les populations en cas de risque de rupture des ouvrages de protection et procéder aux évacuations préventives le cas échéant.

Les manœuvres des vannes en situation de crue sont déléguées à la mairie de Pierrefitte Nestalas.

### **Le retour d'expérience des évènements passés**

Nous disposons de très peu d'éléments précis concernant l'accidentologie des ouvrages sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom, mis à part descriptions génériques dans la section ci-dessus et les accidents survenus pendant les crues de 2012 et 2013 qui sont mieux documentés.

Le tableau suivant récapitule les éléments connus sur les ouvrages constitutifs du système d'endiguement.

### **Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets :**

| Ouvrages rive gauche | Accidentologie connue   |
|----------------------|---|
| GC 29.1              | Erosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |
| GC 29.2              | Enrochements rénovés suite à la crue de 2005<br>En partie ruinés par les crues de 2012 et 2013 et reconstruit à neuf en 2015                                      |
| GC 30                | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 31.1              | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 36.1              | Néant   |
| GC 36.2              | Néant   |
| GC 36.3              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 40.1              | Ruiné suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruit à neuf en 2014   |
| GC 40.2              | Sous-cavement suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton  |
| GC 46                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillement des fondations lors de la crue de 2013   |
| GC 45bis             | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en novembre 2013<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014 |
| GC 45                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillements suite aux crues 2012 et 2013  |
| GC 47.1              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 47.2              | Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en 2012<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014   |
| GC 48.1              | Néant   |
| GC 48.2              | Néant   |
| GC 48.3              | Néant   |

Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets :

| Ouvrages rive droite | Accidentologie connue  |
|----------------------|--|
| GC 28                | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                  |
| GC 32                | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements libres en 2014 + optimisation section hydraulique<br>VTA2018 : Affouillements |
| GC 34                | Erosion externe importante<br>Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                |
| GC 35.1              | Néant  |
| GC 35.2              | Affouillements suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton en 2014  |
| GC 35.3              | Ruine partielle suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruction + Réalisation d'une plinthe béton en 2014                          |
| GC 38.1              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 38.2              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 38.3              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 39                | Affouillements importants suite aux crues de 2012 et 2013 + destruction partielle sur quelques mètres à l'aval par érosion externe   |
| GC 42bis.1           | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |
| GC 42bis.2           | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |

### **Analyse de risque, le niveau de protection et avant-projet de confortement**

L'analyse de risque réalisée dans l'étude de dangers a conduit définir **le niveau de protection du système d'endiguement à une crue de 100 m<sup>3</sup>/s (2,59 m à l'échelle locale en amont du pont de Soulom), environ décennale, sous réserve de réalisation de l'avant-projet de confortement, comprenant :**

- Le confortement du tronçon GC 29.1 avec une protection en enrochements bétonnés ;
- L'équipement d'un système anti-retour sur les ouvrages traversants.

La limitation actuelle pour la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s) est notamment due à des débordements en amont du pont Interzone et aux madriers bois dont la tenue n'est garantie. Toutefois, le PLVG envisage à terme des travaux pour solutionner ces problématiques et assurer le niveau de protection de période de retour 20 ans.

### **Ouvrages à modifier**

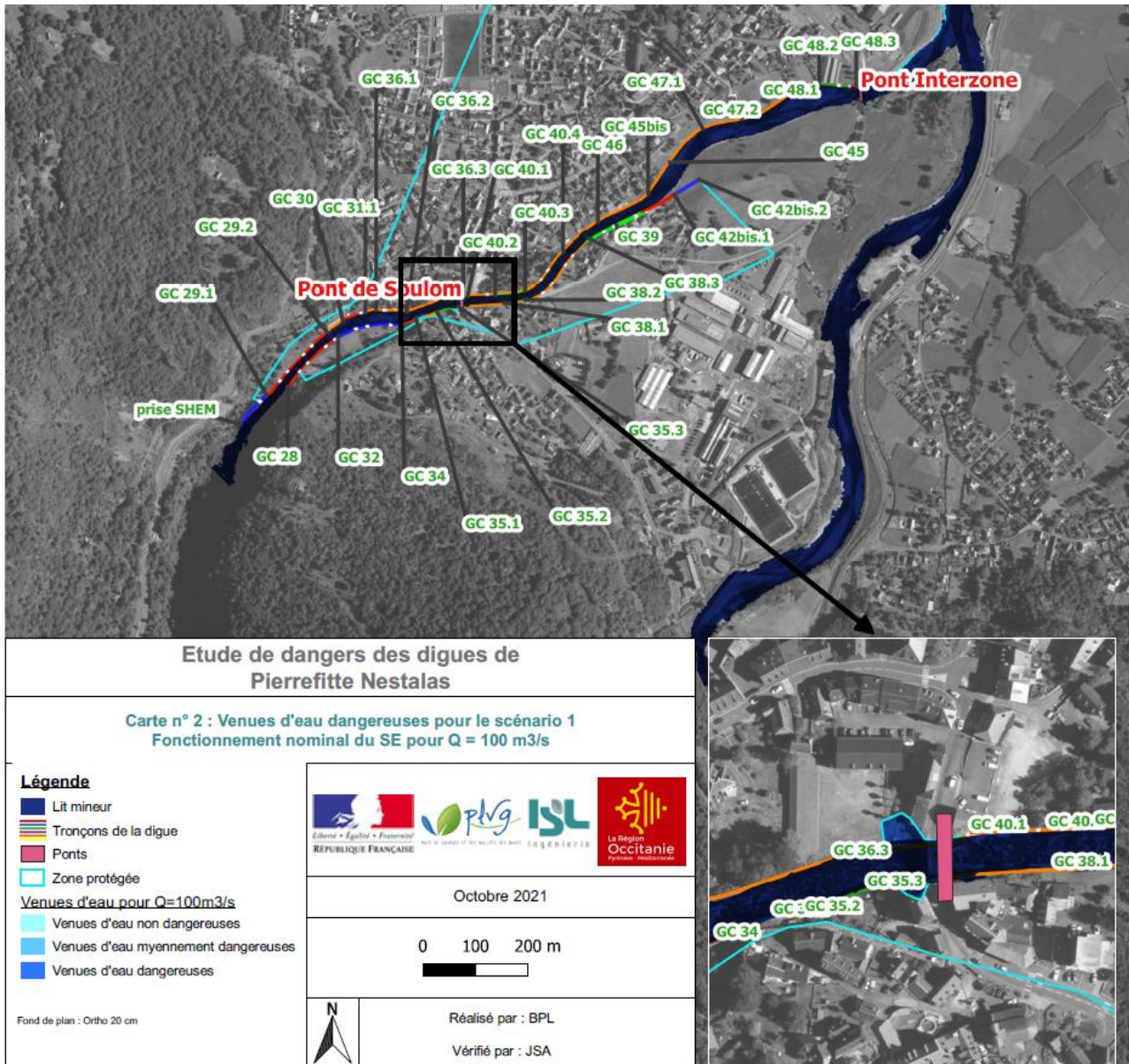
D'après les conclusions du diagnostic approfondi réalisé sur les ouvrages en l'état actuel et dans l'objectif d'atteindre un niveau de sûreté égal à la crue de 100 m<sup>3</sup>/s (2,59 m à l'échelle locale en amont du pont de Soulom), environ décennale, une étude d'avant-projet de confortement a été réalisée par ISL Ingénierie.

- Le confortement du tronçon GC 29.1 avec une protection en enrochements bétonnés ;
- L'équipement d'un système anti-retour sur les ouvrages traversants.

### **Risque de venues d'eau en cas de défaillance**

#### **Scénario 1 : scénario de fonctionnement normal du système d'endiguement :**

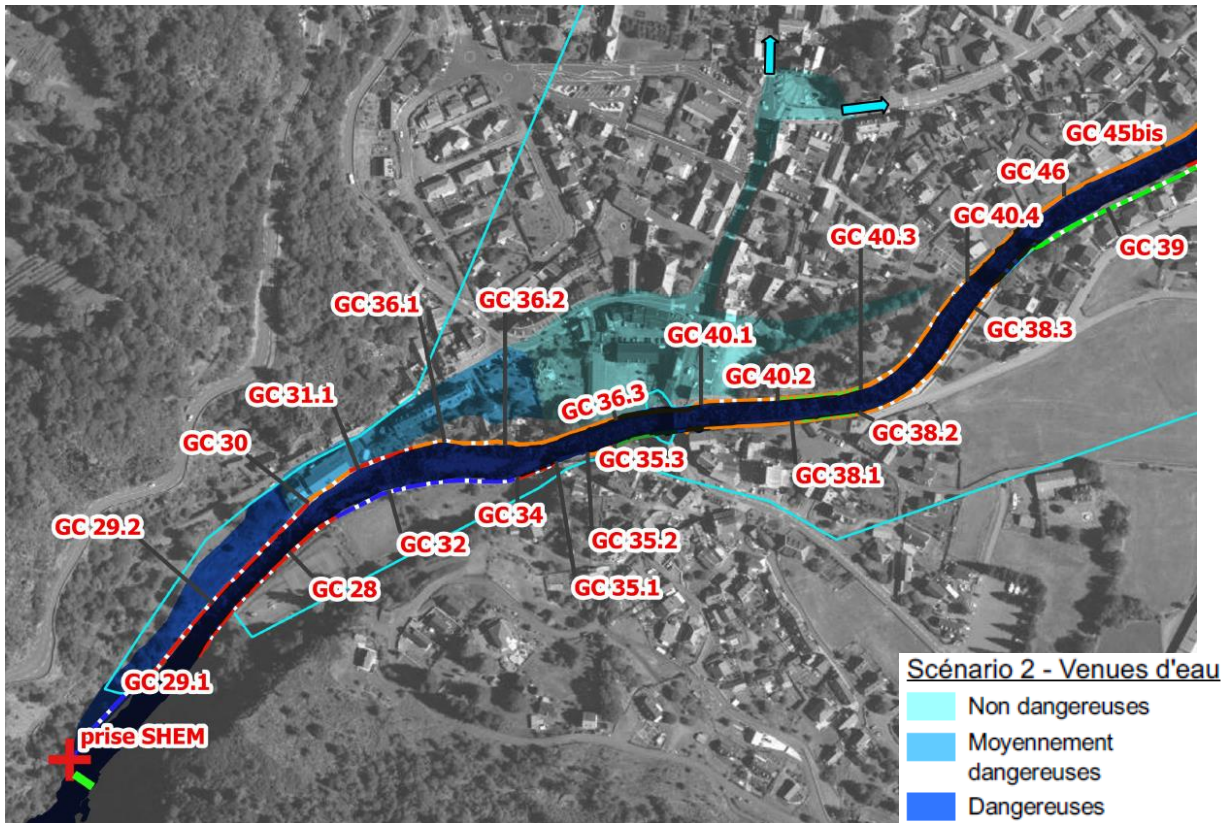
Pour un fonctionnement nominal du système d'endiguement au niveau de protection, les écoulements autour du système d'endiguement et de la zone protégée sont présentés sur la figure suivante.



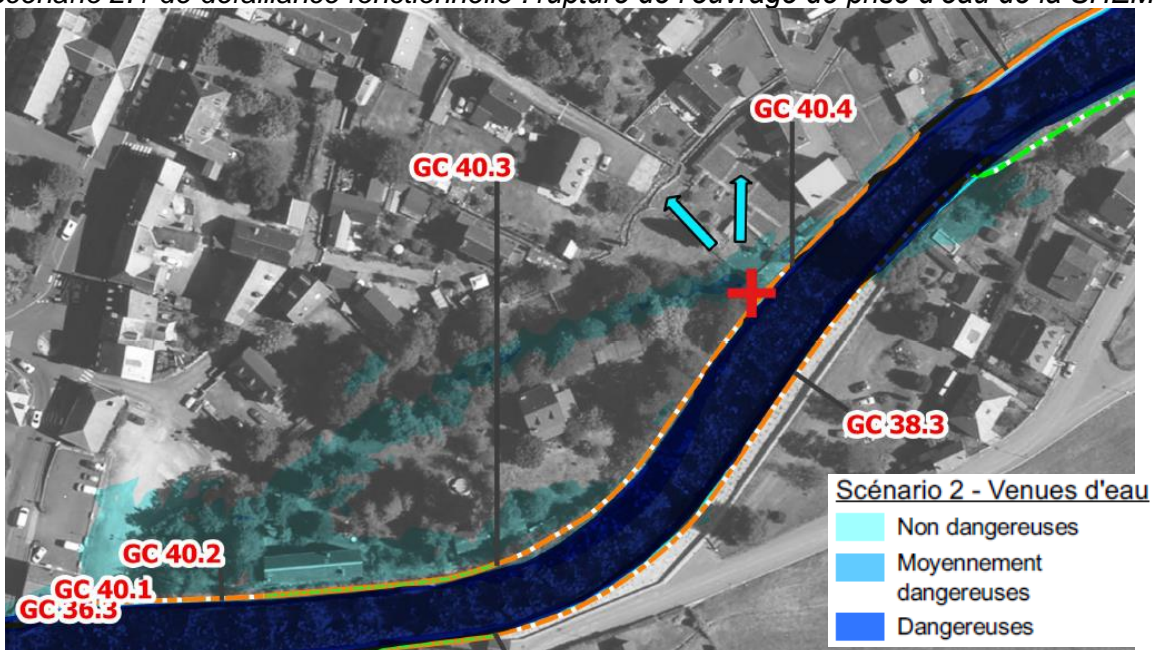
**Scénario 2 : scénario de défaillance fonctionnelle du système d'endiguement :**

Le scénario 2 considère une situation dans laquelle le système d'endiguement subit un aléa égal au niveau de protection, avec deux sous scénarios :

- Scénario 2.1 : une rupture de l'ouvrage de prise de la SHEM ;
- Scénario 2.2 : une non-fermeture de la vanne sur le tronçon GC 40.4.



Scénario 2.1 de défaillance fonctionnelle : rupture de l'ouvrage de prise d'eau de la SHEM



Scénario 2.2 de défaillance fonctionnelle : non fermeture de la vanne sur le tronçon GC40.4

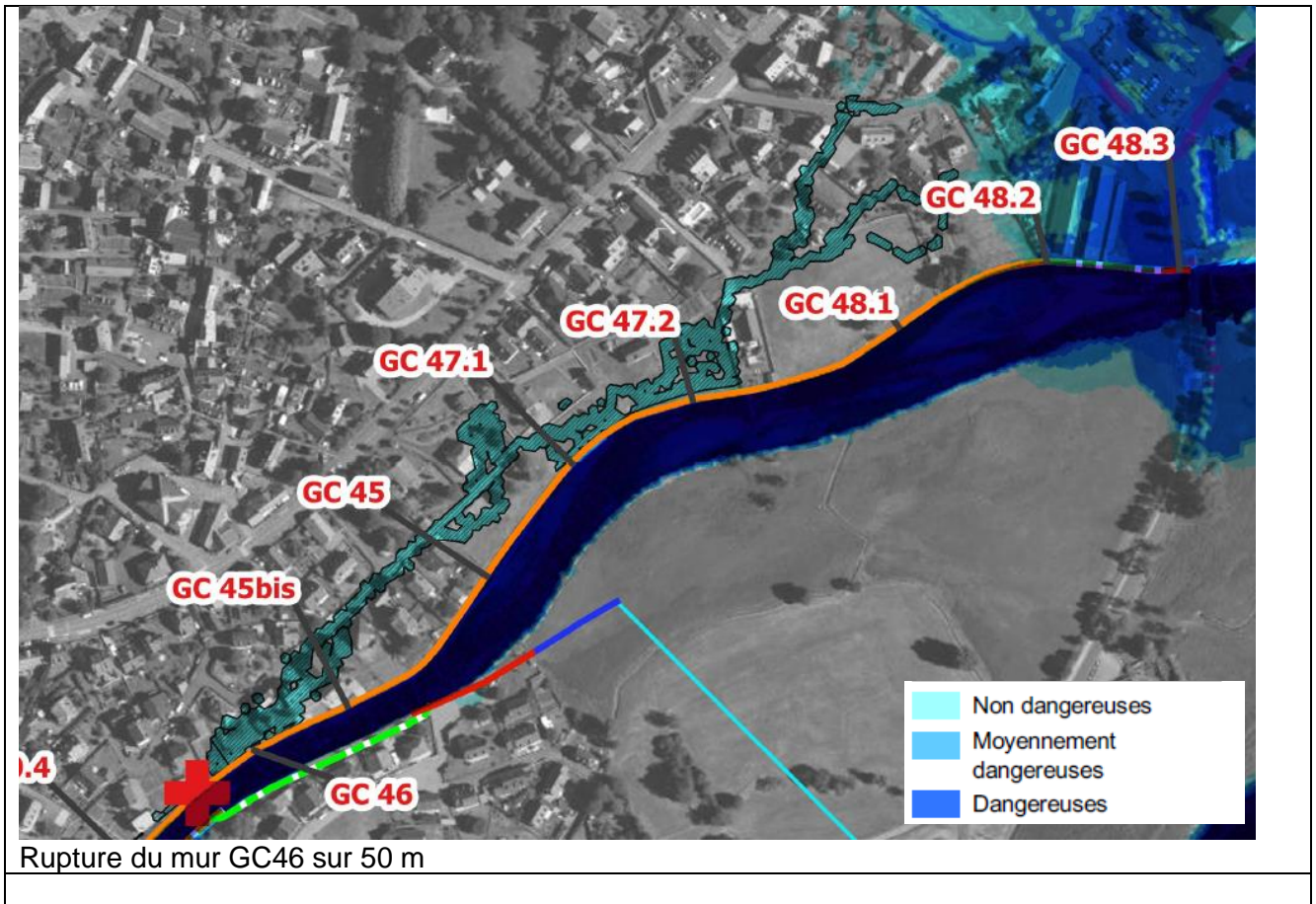
Scénario 3 : scénario de défaillance structurelle du système d'endiguement :

Le scénario 3 considère la rupture d'un ouvrage du système d'endiguement sous un aléa égal au niveau de danger (probabilité de rupture proche de 50 %). L'aléa considéré est la crue de débit de pointe 220 m<sup>3</sup>/s (période de retour estimée à 50 ans).

Les scénarios suivants sont modélisés :

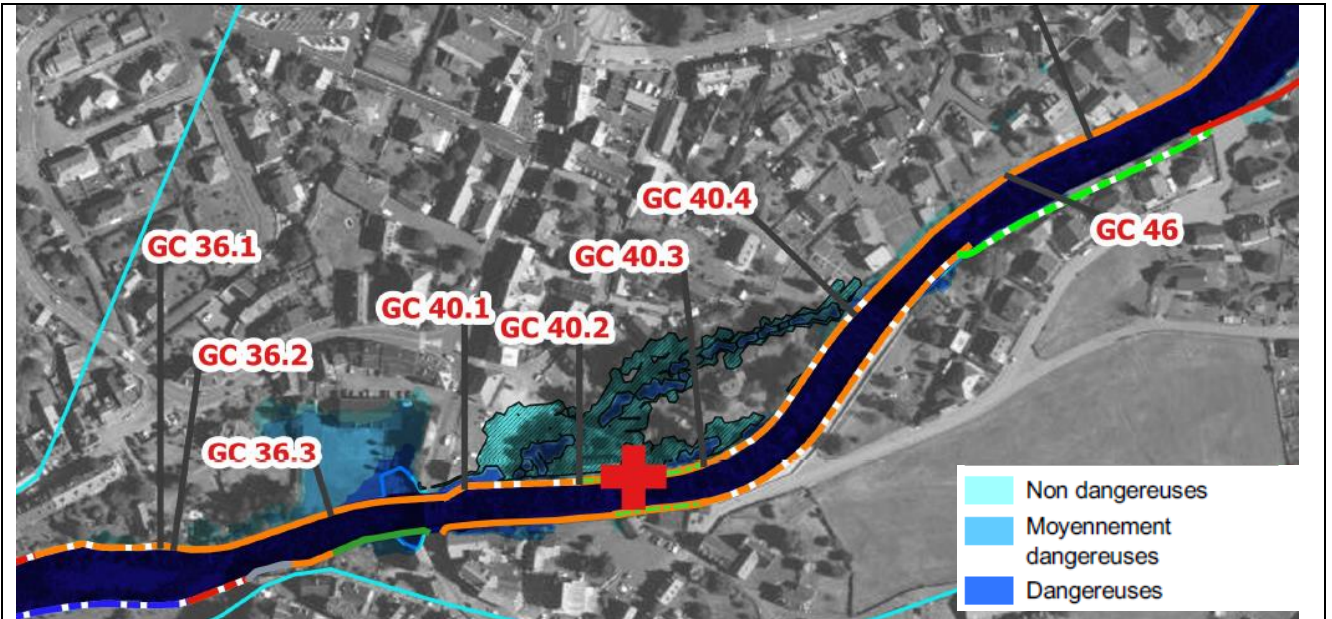
- Scénario 3.1 : rupture du mur GC46 sur 50 m ;
- Scénario 3.2 : rupture des rehausses bois en rive gauche sur 6 m ;
- Scénario 3.3 : rupture des rehausses bois en rive droite sur 6 m ;

Les figures suivantes présentent les venues d'eau possibles pour les différents scénarios.

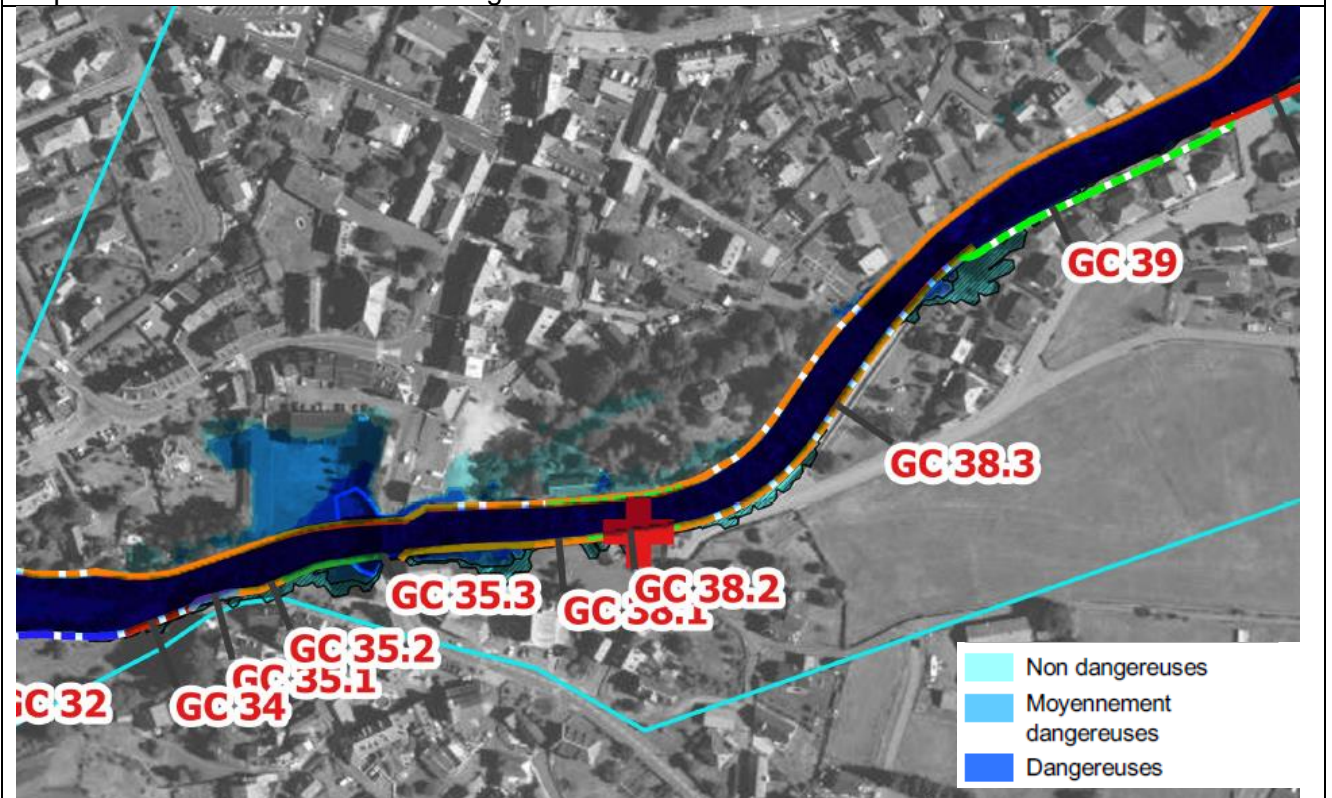


Rupture du mur GC46 sur 50 m





Rupture des rehausses bois en rive gauche sur 6 m



Rupture des rehausses bois en rive droite sur 6 m

# DOCUMENT A : PRESENTATION GENERALE DU SYTEME D'ENDIGUEMENT

## 1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

### 1.1 IDENTIFICATION DU GESTIONNAIRE



Le Pôle d'Equilibre Territorial Rural du Pays de Lourdes et Vallée des Gaves,  
4, Rue Edmond Michelet,  
65100 Lourdes  
Tél : 05 62 42 64 98 - Fax : 05 62 42 63 59

### 1.2 IDENTIFICATION DE L'ORGANISME AGREE

La présente étude de dangers a été réalisée par :



ISL Ingénierie,  
Etablissement Sud-Ouest,  
15, Rue du Maréchal Harispe,  
64500, Saint Jean de Luz  
Tél : 05 59 85 14 55 – Fax : 05 59 85 33 16

### 1.3 REFERENCES ADMINISTRATIVES

Les références administratives des ouvrages composant le système d'endiguement sont :

- Arrêté du 14 avril 2014 autorisant le SYMIHL à réaliser les travaux d'urgence suite à la crue de juin 2013
- Arrêté du 8 juin 2015 prolongeant l'arrêté précédent

### 1.4 AUTRES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES (ARTICLE R 562-18)

Néant.

## 2 OBJET DE L'ETUDE

### 2.1 CADRE DANS LEQUEL L'ETUDE DE DANGERS EST REALISEE

L'étude est réalisée dans le cadre de l'autorisation initiale du système d'endiguement, avec travaux (cas 2 de l'arrêté du 7 avril 2017).

### 2.2 LISTE DES COMMUNES CONCERNEES PAR LA ZONE PROTEGEE ET SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES

**Tableau 1 : Communes concernées par le système d'endiguement**

| Communes             | Code INSEE | Populations         |
|----------------------|------------|---------------------|
| Beaucens             | 65077      | 437 (INSEE, 2018)   |
| Pierrefitte-Nestalas | 65362      | 1 171 (INSEE, 2015) |
| Soulom               | 65435      | 260 (INSEE, 2015)   |

### 2.3 LOCALISATION EN PLAN DES LIMITES DE LA ZONE PROTEGEE ET DE SES EVENTUELLES SOUS-PARTIES

La figure suivante présente les limites de la zone protégée, qui comporte en rive gauche une partie des communes de Pierrefitte-Nestalas et de Beaucens, et une partie en rive droite sur Soulom.

La zone protégée est définie à la fois par rapport au risque de débordement de cours d'eau et au risque d'érosion et de défluviation dans le cône de déjection qui pourrait avoir lieu dans cette zone en absence de système d'endiguement.



**Figure 2 : Délimitation de la zone protégée (en bleu) et limites communales (en blanc)**

Les enjeux et la population en zone protégée sont les suivants :

- 960 habitants : 858 à Pierrefitte, 102 à Soulom
- 541 employés : 511 à Pierrefitte, 30 à Soulom
- Enjeux utiles à la gestion de crise :
  - Mairies Pierrefitte et Soulom
  - Ateliers municipaux Pierrefitte et Soulom
  - Accueil PCS Pierrefitte à la salle des fêtes
- Enjeux sensibles :
  - Ecoles (maternelle, Victor Hugo, alternative Kicau) et collège Pierrefitte
  - Crèche

## 2.4 LOCALISATION EN PLAN ET LA DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES CONCERNES

La localisation de l'ensemble des ouvrages constitutifs du système d'endiguement est donnée sur la vue en plan ci-dessous :

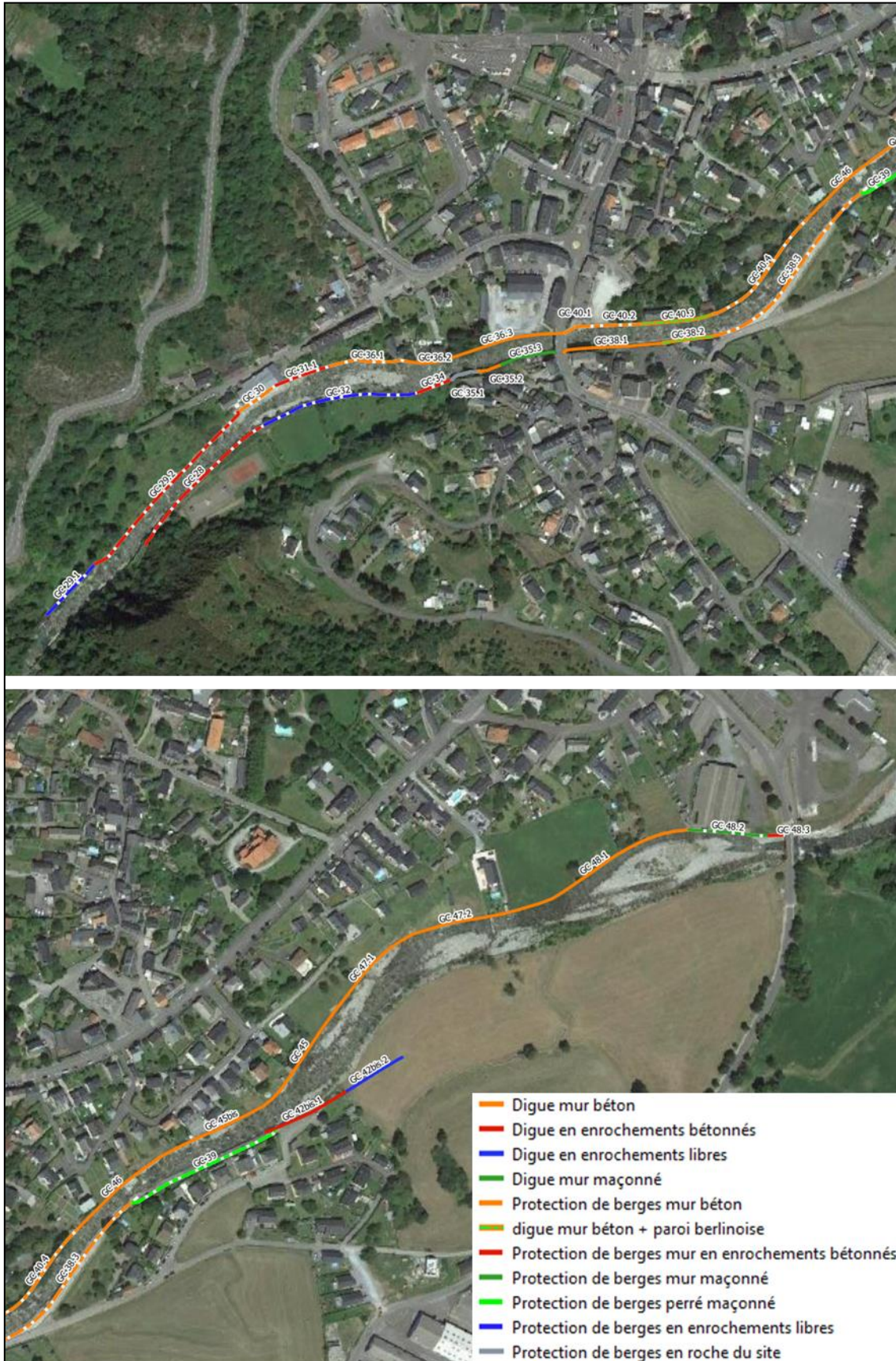


Figure 3 : Vue en plan des ouvrages constitutifs du système d'endiguement

Les tableaux suivants présentent la description sommaire des ouvrages constituant le système d'endiguement en rive gauche et en rive droite. Les noms des tronçons issus des études et dossiers précédents (notamment RTM) ont été conservés afin de faciliter le suivi.

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC29.1   | Protection de berge en enrochements libres<br>Y compris ouvrage de prise d'eau en rive gauche du seuil Berty | Non  | 21 m     |
| GC29.2   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 166 m    |
| GC30     | Mur de soutènement en béton banché   | Non  | 37 m     |
| GC31.1   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 46 m     |
| GC36.1   | Mur de soutènement en béton  | Non  | 62 m     |
| GC36.2   | Mur poids béton  | Oui, 1.3 m   | 17 m     |
| GC63.3   | Mur poids béton  | Oui, 1 m   | 111 m    |
| GC40.1   | Mur de soutènement béton   | Non  | 10 m     |
| GC40.2   | Mur de soutènement béton   | Non  | 52 m     |
| GC40.3   | Mur de soutènement béton + réhausse en madriers bois   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 57 m     |
| GC40.4   | Mur de soutènement béton   | Non  | 105 m    |
| GC46     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.3 à 0.6 m                                       | 88 m     |
| GC45 bis | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1.65 m                                      | 110 m    |
| GC45     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.4 m   | 72 m     |
| GC47.1   | Mur poids béton  | Oui, 1 à 1,6 m   | 93 m     |
| GC47.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1 m   | 74 m     |
| GC48.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 165 m    |
| GC48.2   | Mur de soutènement maçonné   | Non  | 64 m     |
| GC48.3   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 11 m     |

**Tableau 2 : Ouvrages du système d'endiguement en rive gauche**

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC28     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés surmontés d'enrochements libres  | Non  | 135 m    |
| GC32     | Mur de soutènement en enrochements libres, avec liaisonnement béton en crête | Non  | 126 m    |
| GC34     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés                                  | Non  | 28 m     |
| GC35.1   | Mur de soutènement béton sur rocher  | Non  | 23 m     |
| GC35.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.3 m   | 19 m     |
| GC35.3   | Mur de soutènement maçonné   | Oui, 0.6 m   | 43 m     |
| GC38.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 80 m     |
| GC38.2   | Mur de soutènement béton   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 40 m     |
| GC38.3   | Mur de soutènement béton   | Non  | 172 m    |
| GC39     | Perré maçonné sur mur de soutènement béton                                   | Non  | 130 m    |
| GC42bis1 | Mur en enrochements bétonnés   | Oui, 0.1 à 0.3 m                                       | 70 m     |
| GC42bis2 | Mur de guidage en enrochements libres  | Non  | 53 m     |

**Tableau 3 : Ouvrages du système d'endiguement en rive droite**

En rive gauche, le système d'endiguement s'arrête au niveau du pont Interzone. Plus en aval, les ouvrages de type protection de berge sont intégrés à l'autorisation ICPE de Ferropem.

Les tronçons GC42bis1 et GC42bis2 sont les tronçons retenus dans le système d'endiguement, les protections de berge GC 42.1, GC 42.2, GC 42.3 et GC 43 étant par conception « fusibles », en principe au-delà d'un événement type 2012 (120 m<sup>3</sup>/s) d'après le maître d'œuvre des travaux (RTM).

### 3 DESCRIPTION PRECISE DE LA ZONE PROTEGEE, DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, DE SON ENVIRONNEMENT ET DE SES FONCTIONS DE PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS

#### 3.1 ZONE PROTEGEE

##### 3.1.1 CARTE DE LA ZONE PROTEGEE ET DU TERRITOIRE DU PLVG



**Figure 4 : Zone protégée du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas**

Les enjeux et la population en zone protégée sont les suivants :

- 960 habitants : 858 à Pierrefitte, 102 à Soulom
- 541 employés : 511 à Pierrefitte, 30 à Soulom
- Enjeux utiles à la gestion de crise:
  - Mairies Pierrefitte et Soulom
  - Ateliers municipaux Pierrefitte et Soulom
  - Accueil PCS Pierrefitte à la salle des fêtes
- Enjeux sensibles :
  - Ecoles (maternelle, Victor Hugo, alternative Kicau) et collège Pierrefitte
  - Crèche



Les limites administratives du territoire relevant du PLVG pour le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas sont présentées sur la carte n°1 du dossier cartographique, joint à l'étude de dangers, dont un extrait est reproduit ci-dessous. Cette carte présente également le périmètre du système d'endiguement et de la zone protégée. Ils sont intégralement inclus dans les limites administratives relevant du PLVG.

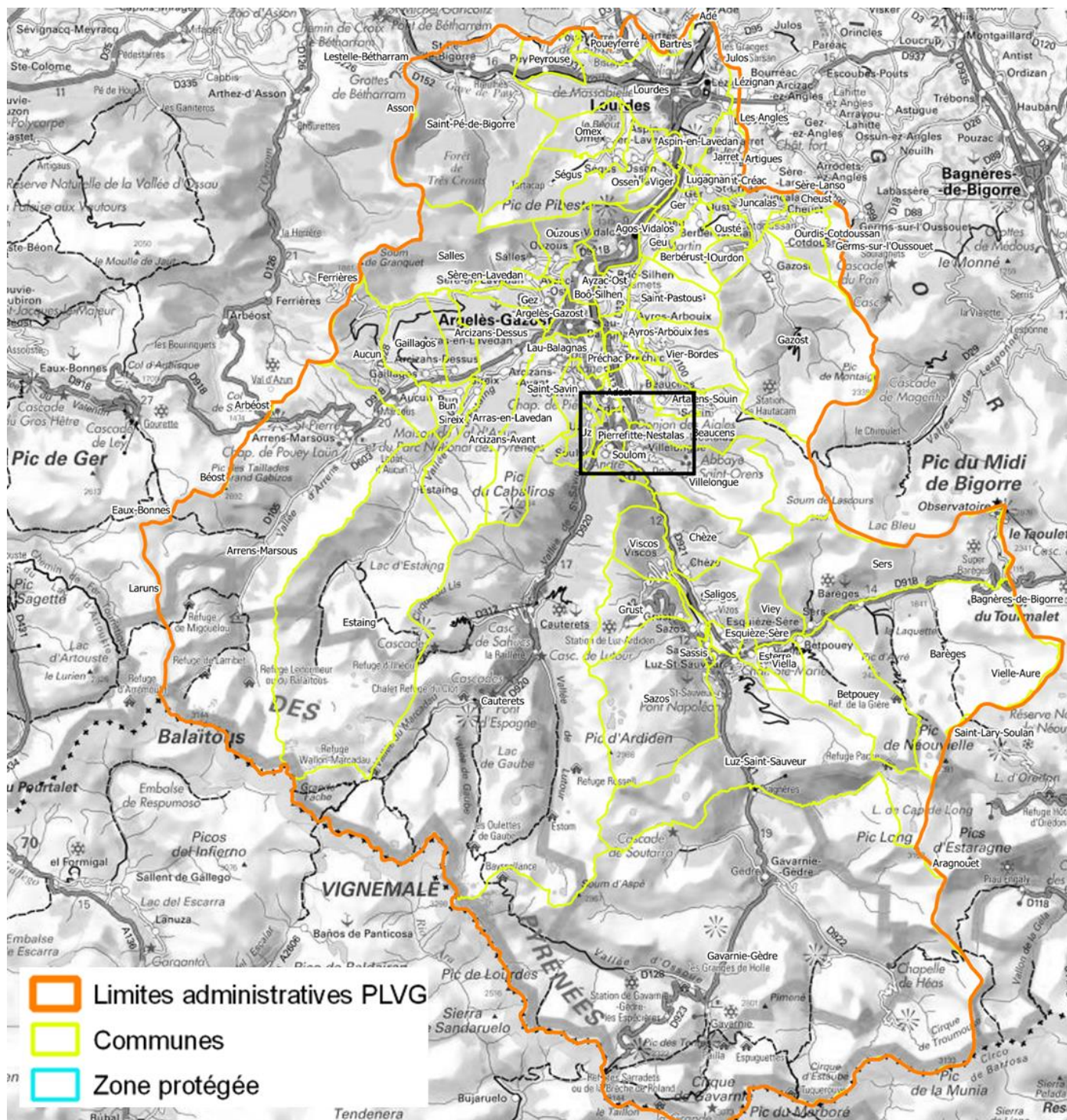


Figure 5 : Implantation du système d'endiguement de Pierrefitte Nestalas dans le périmètre de gestion du PLVG

La lecture du niveau d'eau est réalisée sur l'échelle limnimétrique située juste en amont du pont de Soulom.



**Figure 6 : Echelle de mesure des niveaux d'eau pour le système d'endiguement**

Le zéro de l'échelle est à 485,66 m NGF.

**Le niveau de protection du système d'endiguement est égal à une hauteur d'eau de 2,59 m à l'échelle du pont de Soulom soit une crue de débit de pointe 100 m<sup>3</sup>/s sur le Gave de Cauterets pour une période de retour d'environ 10 ans (110 m<sup>3</sup>/s).**

Le niveau de protection est 13 cm au-dessus de la berge et donc de l'échelle, le niveau sera reporté sur la pile du pont de Soulom.

### 3.1.2 LISTE RECAPITULATIVE DES COMMUNES

Les zones protégées sont situées sur les communes de :

- Pierrefitte Nestalas
- Soulom
- Beaucens

### 3.1.3 LISTE DES COMMUNES DU PLVG

La liste des communes faisant partie du PLVG est présentée dans le tableau suivant :

|                     |                |                      |                      |                 |
|---------------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------|
| Adast               | Barèges        | Gazost               | Ossen                | Ségus           |
| Adé                 | Bartrès        | Ger                  | Ourdis-Cotdoussan    | Sère-en-Lavedan |
| Agos-Vidalos        | Beaucens       | Germs-sur-l'Oussouet | Ourdon               | Sère-Lanso      |
| Aragnouet           | Béost          | Geu                  | Ousté                | Sers            |
| Arbéost             | Berbérust-Lias | Gez                  | Ouzous               | Sireix          |
| Arcizans-Avant      | Betpouey       | Grust                | Peyrouse             | Soulom          |
| Arcizans-Dessus     | Boô-Silhen     | Jarret               | Pierrefitte-Nestalas | Uz              |
| Argelès-Gazost      | Bun            | Julos                | Poueyferré           | Viella          |
| Arras-en-Lavedan    | Cauterets      | Juncalas             | Préchac              | Vielle-Aure     |
| Arrens-Marsous      | Cheust         | Laruns               | Saint-Créac          | Vier-Bordes     |
| Artalens-Souin      | Chèze          | Lau-Balagnas         | Saint-Lary-Soulan    | Viey            |
| Artigues            | Eaux-Bonnes    | Les Angles           | Saint-Pastous        | Viger           |
| Aspin-en-Lavedan    | Esquièze-Sère  | Lestelle-Bétharram   | Saint-Pé-de-Bigorre  | Villelongue     |
| Asson               | Estaing        | Lézignan             | Saint-Savin          | Viscos          |
| Aucun               | Esterre        | Lourdes              | Saligos              |                 |
| Ayros-Arbouix       | Ferrières      | Lugagnan             | Salles               |                 |
| Ayzac-Ost           | Gaillagos      | Luz-Saint-Sauveur    | Sassis               |                 |
| Bagnères-de-Bigorre | Gavarnie-Gèdre | Omex                 | Sazos                |                 |

**Tableau 4 : Liste des communes faisant partie du PLVG**

### 3.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS NATURELLES POUVANT CONDUIRE A DES CRUES ET DES CONDITIONS DE FONDATION DES OUVRAGES ET DES SOLlicitATIONS S'EXERÇANT SUR CES FONDATIONS

La zone d'étude est située sur le cône de déjection du gave de Cauterets, rivière torrentielle, dans la vallée du gave de Pau. Le gave de Cauterets est l'un des affluents principaux du gave de Pau dans le département des Hautes Pyrénées.

Une étude hydrologique a été réalisée dans le cadre de la présente étude par Hydrétudes, jointe en annexe. Elle fait la synthèse de la connaissance hydrologique sur le secteur et la complète avec une modélisation pluie débit permettant d'obtenir les hydrogrammes de crue utilisés pour la modélisation hydraulique. Le rapport complet de modélisation hydraulique est également présenté en annexe. La modélisation hydraulique a permis d'estimer les débits des crues de 2012 et 2013, qui sont les plus fortes crues connues sur le secteur étudié depuis 1937.

La synthèse hydrologique est présentée dans le tableau ci-dessous :

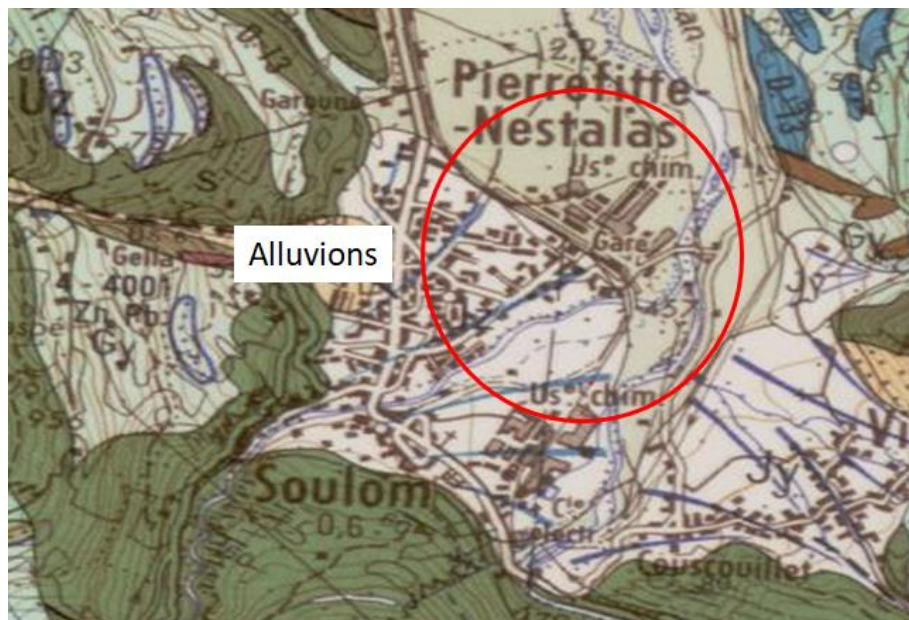
| Crue                     | Estimation du débit de pointe |
|--------------------------|-------------------------------|
| Période de retour 5 ans  | 88 m <sup>3</sup> /s          |
| Période de retour 10 ans | 110 m <sup>3</sup> /s         |

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 2012                      | 120 m <sup>3</sup> /s |
| Période de retour 20 ans  | 137 m <sup>3</sup> /s |
| 2013                      | 190 m <sup>3</sup> /s |
| Période de retour 50 ans  | 220 m <sup>3</sup> /s |
| Période de retour 100 ans | 296 m <sup>3</sup> /s |

**Tableau 5 : synthèse de l'hydrologie du gave de Cauterets**

L'hydrologie du gave de Pau a également été étudiée, et son influence étudiée par le modèle hydraulique. Son influence est limitée à l'aval du système d'endiguement (en aval du pont Interzone).

L'annexe 3 détaille les conditions de fondation des ouvrages. L'ensemble des ouvrages sont inclus sur les alluvions fluviales de vallée (formation Fz) dont les granulométries et la résistance peuvent être très variables.



**Tableau 6 : Aperçu géologique du secteur d'étude**

Globalement, les matériaux sur lesquels sont fondés les ouvrages sont sablo / graveleux avec parfois de gros blocs relativement compacts, avec une faible proportion de fines, conférant au sol un comportement non cohésif, quasiment exclusivement frottant et une perméabilité élevée.

L'étude morphologique et de transport solide réalisée par Hydrétudes (voir en annexe) met en évidence un fonctionnement contrasté, avec majoritairement une tendance à l'incision, en dehors de deux secteurs situés en amont des ponts de Soulom et Interzones qui sont en exhaussement. Les atterrissements présents sur le secteur ont un volume cumulé d'environ 6 000 m<sup>3</sup> de sédiments. Les crues morphogènes comme celles de 2013 sont susceptibles d'engendrer des dépôts de sédiments importants, jusqu'à 100 000 m<sup>3</sup> (estimation RTM et Hydrétudes des dépôts pour la crue de 2013). Des modélisations hydrauliques ont été réalisées avec des apports de sédiments afin d'analyser la sensibilité du système d'endiguement à l'évolution du lit en termes d'impact sur les lignes d'eau, d'énergie et les débordements.

La notice de suivi du lit (voir en annexe) vise à pérenniser le profil en long actuel à +/-20 cm afin d'éviter le risque d'affouillement des ouvrages d'une part et d'autre part à traiter les dépôts importants de sédiments qui auraient un impact négatif sur les lignes d'eau et le risque de débordement.

Le chapitre 4 détaille l'analyse hydrologique et morphologique /transport solide et le chapitre 6 le retour d'expérience des crues passées.

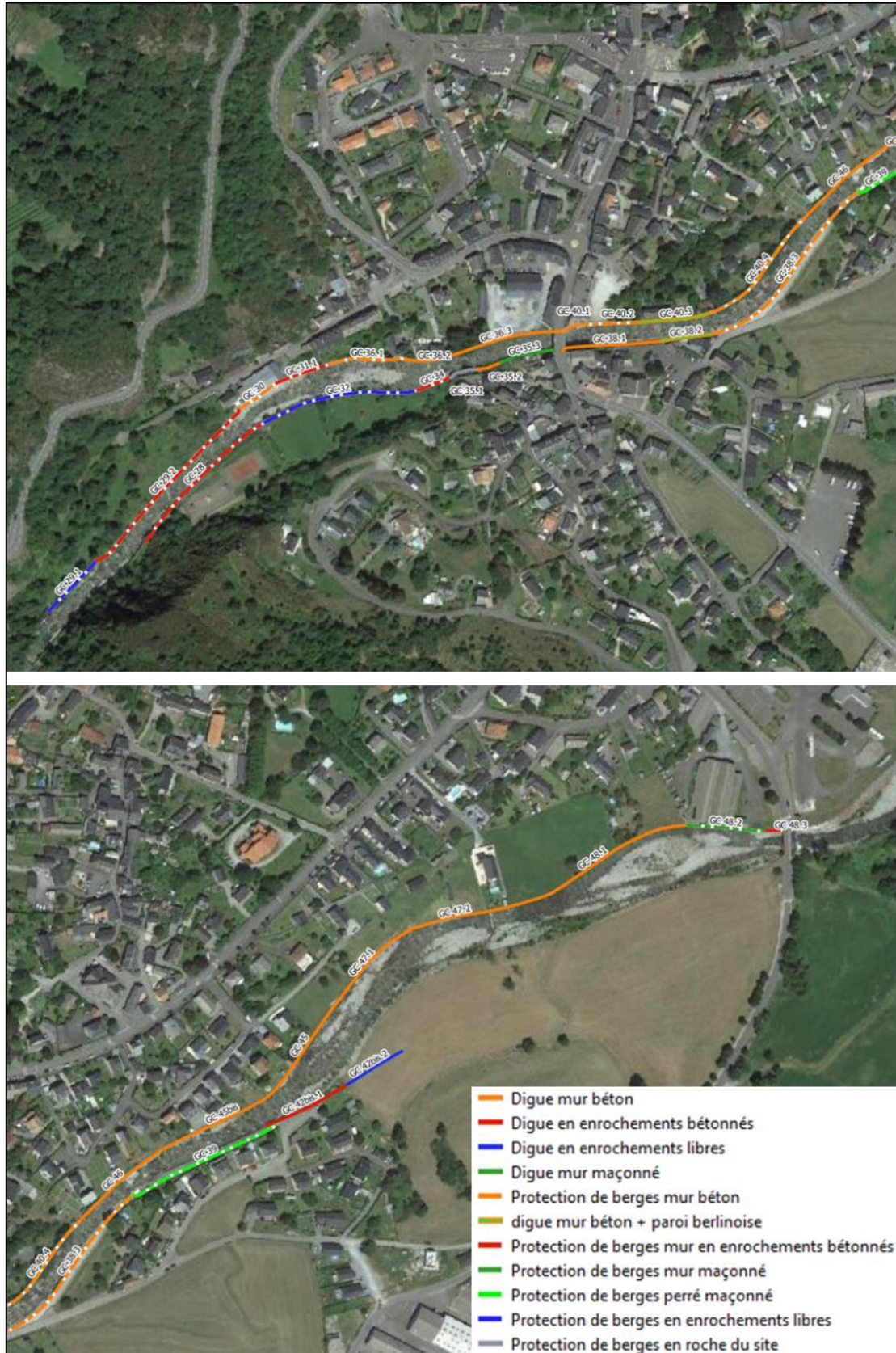
### 3.3 DESCRIPTION DES ELEMENTS COMPOSANT LE SYSTEME DE PROTECTION ET LEURS FONCTIONS HYDRAULIQUES

#### 3.3.1 IDENTIFICATION DU COURS D'EAU

Le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas en rive droit et gauche du gave de Cauterets protège contre un seul aléa : l'aléa inondation par débordement du gave de Cauterets.

#### 3.3.2 LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

La vue en plan ci-après préciser la localisation et la nature des ouvrages constitutifs du système d'endiguement :





### 3.3.3 PROFIL EN LONG DE L'OUVRAGE<sup>1</sup>

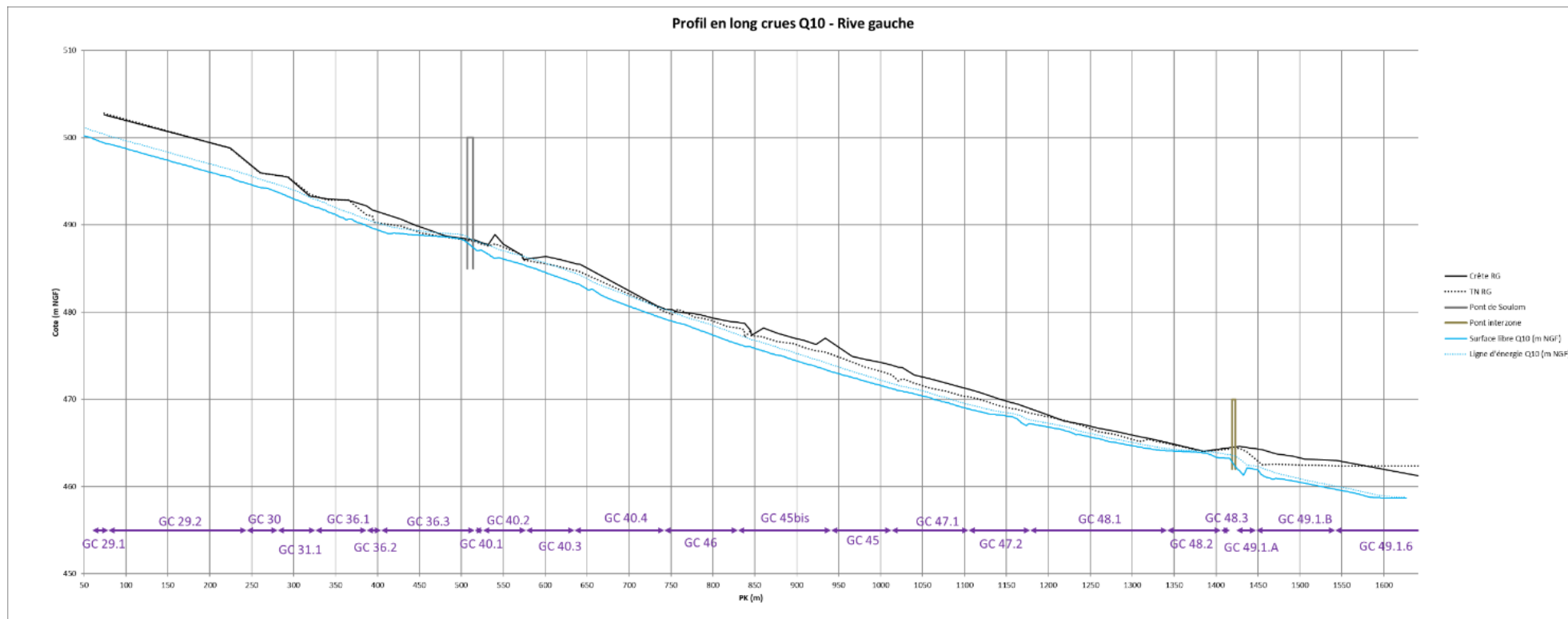


Figure 8 : Profil en long rive gauche

<sup>1</sup> Les données topographiques utilisées sont issues des relevés complémentaires réalisés dans le cadre de cette étude en 2018 et 2019 par GEOFIT.

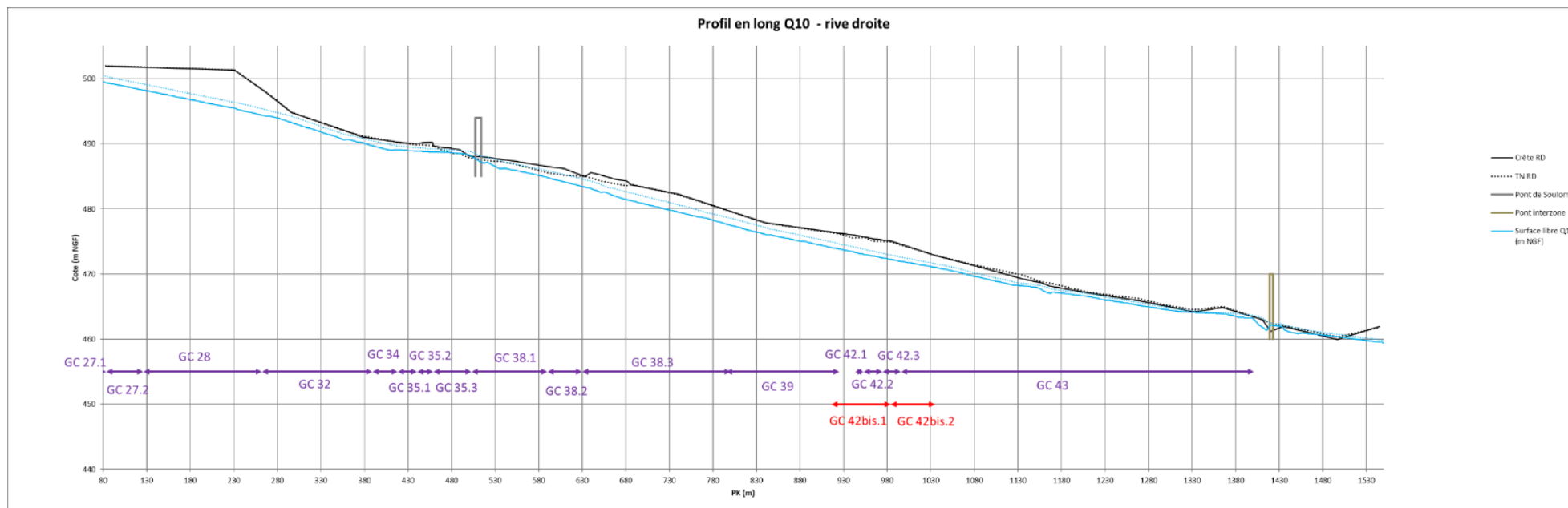


Figure 9 : Profil en long rive droite

Se reporter à l'annexe 10 pour les profils en long plus détaillés.

### 3.3.4 CARACTERISTIQUES DES TRONÇONS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET PROFILS EN TRAVERS DE L'OUVRAGE

Les tableaux suivants présentent la description sommaire des ouvrages constituant le système d'endiguement en rive gauche et en rive droite :

Les noms des tronçons issus des études et dossiers précédents ont été conservés afin de faciliter le suivi.

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC29.1   | Protection de berge en enrochements libres<br>Y compris ouvrage de prise d'eau en rive gauche du seuil Berty | Non  | 21 m     |
| GC29.2   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 166 m    |
| GC30     | Mur de soutènement en béton banché   | Non  | 37 m     |
| GC31.1   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 46 m     |
| GC36.1   | Mur de soutènement en béton  | Non  | 62 m     |
| GC36.2   | Mur poids béton  | Oui, 1.3 m   | 17 m     |
| GC63.3   | Mur poids béton  | Oui, 1 m   | 111 m    |
| GC40.1   | Mur de soutènement béton   | Non  | 10 m     |
| GC40.2   | Mur de soutènement béton   | Non  | 52 m     |
| GC40.3   | Mur de soutènement béton + réhausse en madriers bois   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 57 m     |
| GC40.4   | Mur de soutènement béton   | Non  | 105 m    |
| GC46     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.3 à 0.6 m                                       | 88 m     |
| GC45 bis | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1.65 m                                      | 110 m    |
| GC45     | Mur poids béton avec surélévation béton  | Oui, 0.4 m   | 72 m     |
| GC47.1   | Mur poids béton  | Oui, 1 à 1,6 m   | 93 m     |
| GC47.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.6 à 1 m   | 74 m     |
| GC48.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 165 m    |
| GC48.2   | Mur de soutènement maçonné   | Non  | 64 m     |
| GC48.3   | Mur de soutènement en enrochements bétonnés  | Non  | 11 m     |

**Tableau 7 : Ouvrages du système d'endiguement en rive gauche**

| Nom      | Type   | Surélévation par rapport au terrain côté zone protégée | Linéaire |
|----------|--|--|----------|
| GC28     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés surmontés d'enrochements libres  | Non  | 135 m    |
| GC32     | Mur de soutènement en enrochements libres, avec liaisonnement béton en crête | Non  | 126 m    |
| GC34     | Mur de soutènement en enrochements bétonnés                                  | Non  | 28 m     |
| GC35.1   | Mur de soutènement béton sur rocher  | Non  | 23 m     |
| GC35.2   | Mur poids béton  | Oui, 0.3 m   | 19 m     |
| GC35.3   | Mur de soutènement maçonné   | Oui, 0.6 m   | 43 m     |
| GC38.1   | Mur poids béton  | Oui, 0 à 0.7 m   | 80 m     |
| GC38.2   | Mur de soutènement béton   | Oui (madriers bois) 0,75 à 1,0 m                       | 40 m     |
| GC38.3   | Mur de soutènement béton   | Non  | 172 m    |
| GC39     | Perré maçonné sur mur de soutènement béton                                   | Non  | 130 m    |
| GC42bis1 | Mur en enrochements bétonnés   | Oui, 0.1 à 0.3 m                                       | 70 m     |
| GC42bis2 | Mur de guidage en enrochements libres  | Non  | 53 m     |

**Tableau 8 : Ouvrages du système d'endiguement en rive droite**

Les tronçons GC42bis1 et GC42bis2 sont les tronçons retenus dans le système d'endiguement, les protections de berge GC 42.1, GC 42.2, GC 42.3 et GC 43 étant par conception « fusibles », en principe au-delà d'un évènement type 2012 (120 m<sup>3</sup>/s).

Pour plus de détails sur les tronçons (profils en travers, fondation, historique, état, etc), se référer au chapitre 5.1 du document B.

### 3.3.5 LE CAS ECHANT, LA LOCALISATION DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Non concerné.

### 3.3.6 DONNEES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES ET PRECISION

Plusieurs relevés topographiques et bathymétriques ont été réalisés et sont listés ci-dessous :

### Campagne 2014 (levé post-travaux)

- Relevé topographique post-travaux du seuil du Berty ;
- 18 profils en travers (lit mineur et ouvrages RG/RD) ;
- Le profil en long du fond du lit mineur du gave de Cauterets

### Campagne 2018

- 19 profils en travers (lit mineur et ouvrages RG/RD) ;

### Campagne 2019

- 18 profils en travers du gave de Cauterets ;
- 2 relevés d'ouvrages d'art sur le gave de Cauterets (pont de Soulom et pont interzone) ;
- Les profils en long des ouvrages en surélévation ;
- Le profil en long du fond du lit mineur du gave de Cauterets.

### Précision des données

La précision des données topographiques terrestres est centimétrique, celle des données bathymétriques est de l'ordre de quelques centimètres.

## 3.4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT, ANALYSE DES RISQUES DE RUPTURE, NIVEAU DE PROTECTION, ANALYSE DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE ET GESTION EN SITUATION DE CRUE

### 3.4.1 DONNEES HISTORIQUES CONNUES SUR LE COMPORTEMENT STRUCTUREL

Le tableau suivant récapitule l'accidentologie connue sur les ouvrages constitutifs du système d'endiguements.

| Ouvrages rive gauche | Accidentologie connue   |
|----------------------|---|
| GC 29.1              | Erosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |
| GC 29.2              | Enrochements rénovés suite à la crue de 2005<br>En partie ruinés par les crues de 2012 et 2013 et reconstruit à neuf en 2015                                      |
| GC 30                | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 31.1              | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 36.1              | Néant   |
| GC 36.2              | Néant   |
| GC 36.3              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 40.1              | Ruiné suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruit à neuf en 2014   |
| GC 40.2              | Sous-cavement suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton  |
| GC 46                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillement des fondations lors de la crue de 2013   |
| GC 45bis             | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en novembre 2013<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014 |
| GC 45                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillements suite aux crues 2012 et 2013  |
| GC 47.1              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 47.2              | Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en 2012<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014   |
| GC 48.1              | Néant   |
| GC 48.2              | Néant   |
| GC 48.3              | Néant   |

**Tableau 9 : Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets**

| Ouvrages<br>rive droite | Accidentologie connue   |
|-------------------------|---|
| GC 28                   | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                     |
| GC 32                   | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements libres en 2014 +<br>optimisation section hydraulique<br>VTA2018 : Affouillements |
| GC 34                   | Erosion externe importante<br>Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                   |
| GC 35.1                 | Néant   |
| GC 35.2                 | Affouillements suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton en 2014   |
| GC 35.3                 | Ruine partielle suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruction + Réalisation d'une plinthe béton en 2014                             |
| GC 38.1                 | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements  |
| GC 38.2                 | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements  |
| GC 38.3                 | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements  |
| GC 39                   | Affouillements importants suite aux crues de 2012 et 2013 + destruction partielle<br>sur quelques mètres à l'aval par érosion externe   |
| GC 42bis.1              | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013   |
| GC 42bis.2              | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013   |

**Tableau 10 : Accidentologie des ouvrages en rive droite du gave de Cauterets**

Le détail de l'accidentologie connue sur le système d'endiguement est présenté au chapitre 6.1.

### 3.4.2 DESCRIPTION ET INDICATION DE LA FONCTION STRUCTURELLE DE CHAQUE COMPOSANT DES ELEMENTS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET PRESENTATION DU FONCTIONNEMENT D'ENSEMBLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Une digue de protection contre les inondations doit assurer différentes fonctions. Les ouvrages du système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas comprennent :

- un corps de digue en enrochements (libres ou bétonnés) ou en béton, qui assure les fonctions « **étanchéité** » et « **stabilité** » du corps de digue. Pour la fondation : la fonction étanchéité est l'aptitude à retenir l'eau et à éviter les infiltrations et fuites par la fondation.
- « **résistance à l'érosion externe** », il s'agit principalement ici de la capacité de la fondation à résister aux écoulements par exemple : les vitesses du courant côté gave ou les lames d'eau éventuelles de surverse côté zone protégée.
- « **résistance à l'érosion interne** » pour la digue (cas des enrochements libres) et sa fondation (cas des ouvrages bétons) : l'aptitude des particules de sols en cas d'infiltrations ou de fuites à ne pas être emportées par l'écoulement.
- « **surveillance et entretien** » pour la digue : l'aptitude à détecter un désordre et à mettre en œuvre des moyens d'urgence pour le traiter par tout temps.
- « **drainage** » pour la digue et sa fondation : la fonction drainage est l'aptitude à canaliser/évacuer (drains, barbacanes) les fuites accidentelles et limiter les pressions hydrauliques (sous pressions et poussée hydraulique) sur l'ouvrage et sa fondation (source d'instabilité) ;

### 3.4.3 LE CAS ECHEANT, L'IMPACT DE L'AMENAGEMENT HYDRAULIQUE AUTORISE CONJOINTEMENT AVEC LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Non concerné.

### 3.4.4 PRESENTATION DU NIVEAU DE PROTECTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

**Le niveau de protection du système d'endiguement est égal à une hauteur d'eau de 2,59 m à l'échelle du pont de Soulom soit une crue de débit de pointe 100 m<sup>3</sup>/s sur le Gave de Cauterets pour une période de retour d'environ 10 ans (110 m<sup>3</sup>/s).**

### 3.4.5 PRESENTATION DES SITUATIONS POUVANT SURVENIR EN CAS DE DEPASSEMENT DES PERFORMANCES DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Pour les crues dépassant le niveau protection du système d'endiguement, le risque résiduel de rupture d'un ouvrage constitutif du système d'endiguement est supérieur à 5%.

Le niveau de danger (risque de rupture supérieur à 50%) est estimé à la crue cinquantennale sur le gave de Cauterets avec un débit de pointe estimée à 220 m<sup>3</sup>/s.

Le scénario de défaillance le plus probable est une rupture par surverse et/ou affouillement d'un ou plusieurs ouvrages.

### 3.4.6 DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ORGANISATION DU GESTIONNAIRE

Le PLVG s'est organisé pour assurer l'entretien et le suivi en toutes circonstances du système d'endiguement, avec l'appui des mairies.

Le PLVG réalise une veille de vigilance hydrométéorologique multisources (vigicrues, stations hydrométriques amont, stations pluviométriques, échelle locale).



Le PLVG est organisé en astreinte et assure le suivi de l'ouvrage en situation de crue. Les manœuvres de vannes sont réalisées par la commune de Pierrefitte Nestalas, organisé en astreinte, par délégation du PLVG actée dans une convention.

Les consignes décrivant l'organisation sont jointes au dossier, et l'organisation est présentée de manière synthétique au chapitre 9. L'organisation est jugée satisfaisante par rapport au système d'endiguement et son niveau de protection.

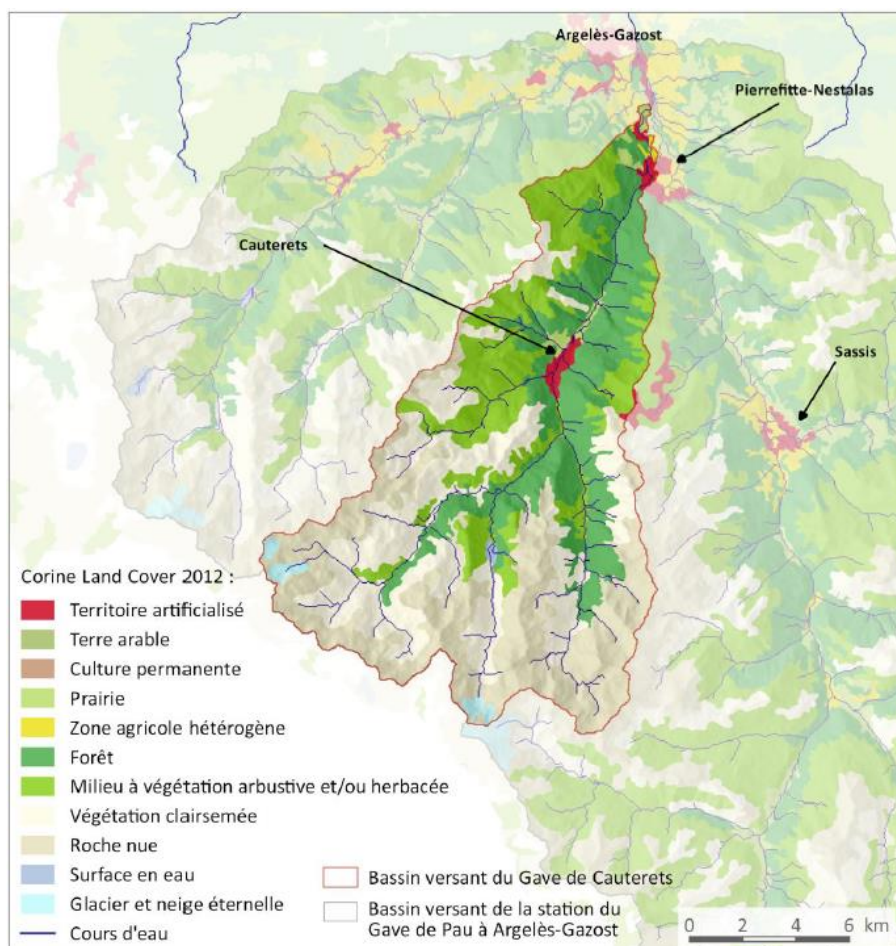
## DOCUMENT B : ANALYSE DES RISQUES ET JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

### 4 CARACTERISATION DES ALEAS NATURELS

#### 4.1 HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE

La zone d'étude est située sur le cône de déjection du gave de Cauterets, rivière torrentielle, dans la vallée du gave de Pau. Le gave de Cauterets est l'un des affluents principaux du gave de Pau dans le département des Hautes Pyrénées.

Le gave de Cauterets draine un bassin versant d'une superficie de 180 km<sup>2</sup> environ. Son cheminement hydraulique est de 26,3 km et sa pente moyenne sur le bassin versant est de 10%. Le gave de Cauterets se jette dans le gave de Gavarnie pour former le gave de Pau. La confluence se situe sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom.



**Figure 10 : Occupation des sols du bassin versant du gave de Cauterets (Hydrétudes, 2020)**

Une étude hydrologique a été réalisée dans le cadre de la présente étude par Hydrétudes, jointe en annexe. Elle fait la synthèse de la connaissance hydrologique sur le secteur et la complète avec une modélisation pluie débit permettant d'obtenir les hydrogrammes de crue utilisés pour la modélisation hydraulique.

Cette étude met en évidence la sensibilité des résultats au débit de base des cours d'eau au début des crues, qui est en particulier lié au phénomène de fonte nivale.

La synthèse hydrologique est présentée dans le tableau ci-dessous :

| Crue                      | Estimation du débit de pointe |
|---------------------------|-------------------------------|
| Période de retour 5 ans   | 88 m <sup>3</sup> /s          |
| Période de retour 10 ans  | 110 m <sup>3</sup> /s         |
| Octobre 2012              | 120 m <sup>3</sup> /s         |
| Période de retour 20 ans  | 137 m <sup>3</sup> /s         |
| 2013                      | 190 m <sup>3</sup> /s         |
| Période de retour 50 ans  | 220 m <sup>3</sup> /s         |
| Période de retour 100 ans | 296 m <sup>3</sup> /s         |

**Tableau 11 : synthèse de l'hydrologie du gave de Cauterets**

En octobre 2012, l'épisode pluvieux est de plus en plus intense en s'approchant des cimes des Pyrénées dont le maximum de pluie atteint 372 mm à Gavarnie en 3 jours. Le bassin versant du Gave de Pau à Argelès Gazost reçoit entre 200 et 400mm en 72 heures. La pluviométrie au pas de temps horaire montre une pluie orageuse étalée sur environ 30 heures.

En juin 2013, l'épisode pluvieux est modéré le 17 juin et s'intensifie le 18 juin 2013. Le maximum de pluie atteint 183 mm à la station de Gavarnie. L'ensemble du bassin versant du Gave de Pau à Argelès-Gazost reçoit entre 100 et 200mm en 48 heures. Pour cet événement, il y a eu de forts apports de fonte nivale.

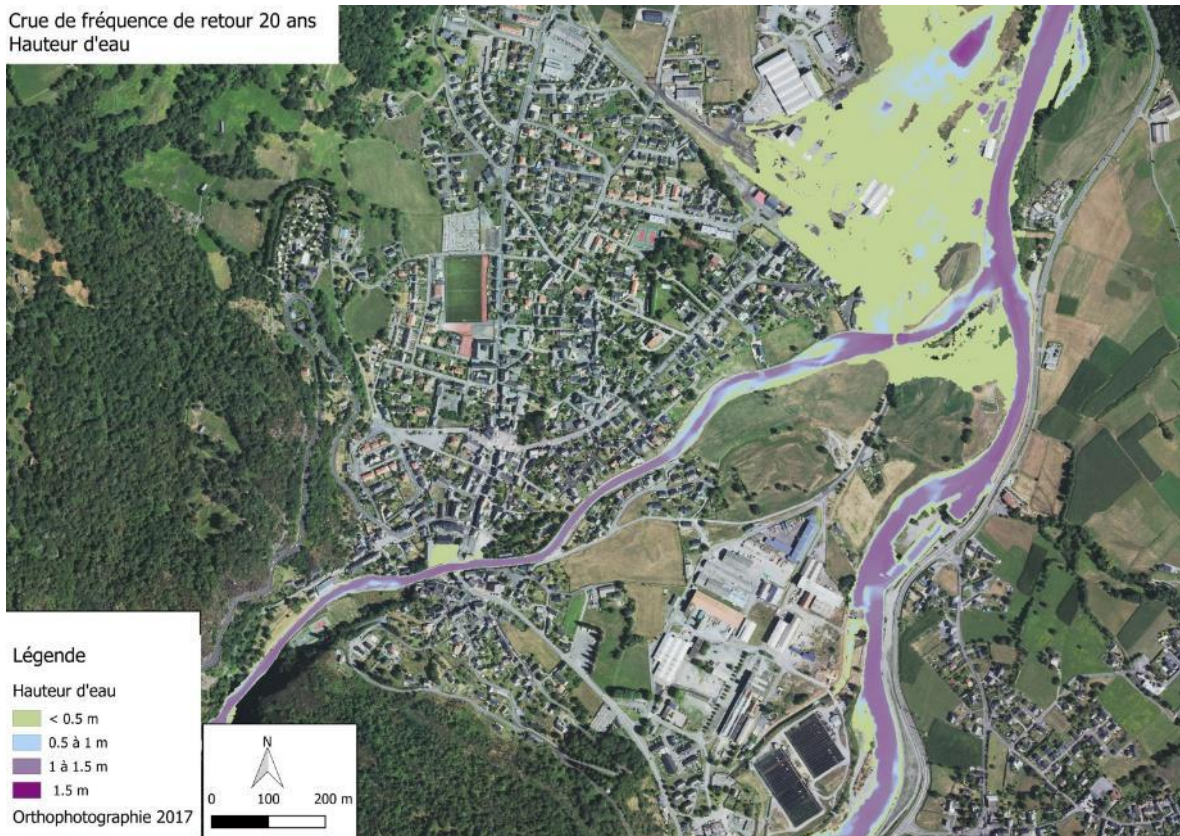
L'hydrologie du gave de Pau a également été étudiée, et son influence étudiée par le modèle hydraulique. Son influence est limitée à l'aval du système d'endiguement (en aval du pont Interzone).

Le rapport complet de modélisation hydraulique est également présenté en annexe. La modélisation hydraulique, réalisée en 1D en lit mineur (avec le logiciel HEC-RAS) pour les crues non débordantes et en 2D (avec le logiciel Telemac2D), a permis d'estimer les débits des crues de 2012 et 2013, qui sont les plus fortes crues connues sur le secteur étudié depuis 1937.

Pour le niveau de protection décennal (débit de 110 m<sup>3</sup>/s), la crue est non débordante, en dehors très localement en amont du pont de Soulom, et les ouvrages en surélévation par rapport au terrain naturel ne sont pas ou peu mis en charge (par rapport à la ligne d'eau).

Pour la crue de période de retour 20 ans (débit de 137 m<sup>3</sup>/s), on observe un débordement en amont du pont Interzone en rive gauche et en rive droite, ainsi qu'en amont du pont de Soulom.

Crue de fréquence de retour 20 ans  
Hauteur d'eau



**Figure 11 : Zones inondables pour la crue de période de retour 20 ans (avec le système d'endiguement et les fonds actuels)**

La modélisation hydraulique met en évidence des vitesses d'écoulement très élevées en crue, comprises entre 2 et 7 m/s, pour les crues de période 10 ans et 20 ans.

## 4.2 MORPHODYNAMIQUE ET TRANSPORT SEDIMENTAIRE

L'étude morphologique et de transport solide réalisée par Hydrétudes est présentée en annexe.

Le secteur d'étude est une rivière torrentielle sur son cône de déjection. L'aléa est constitué par des crues torrentielles, à l'exclusion du risque de lave torrentielle.

Le cône de déjection historique est fortement contraint par les ouvrages de protection de berges et des inondations :

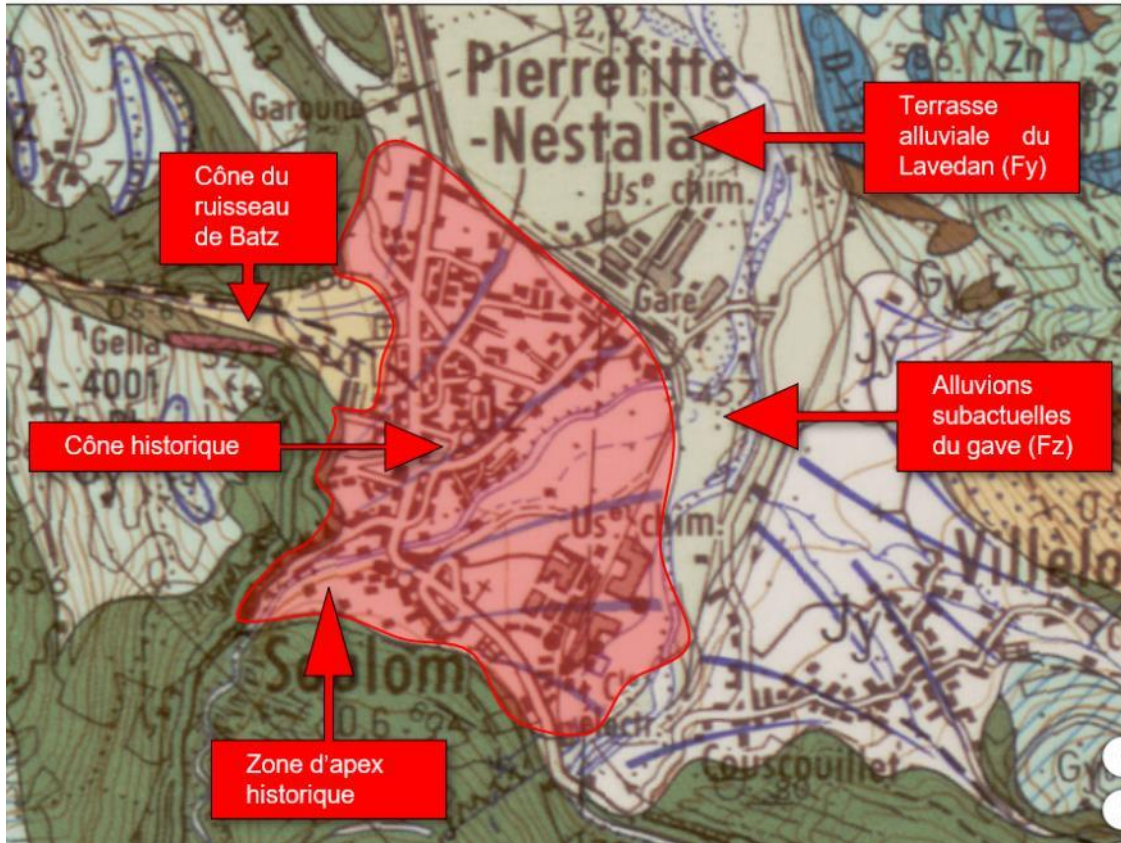


Figure 12 : cône de déjection historique

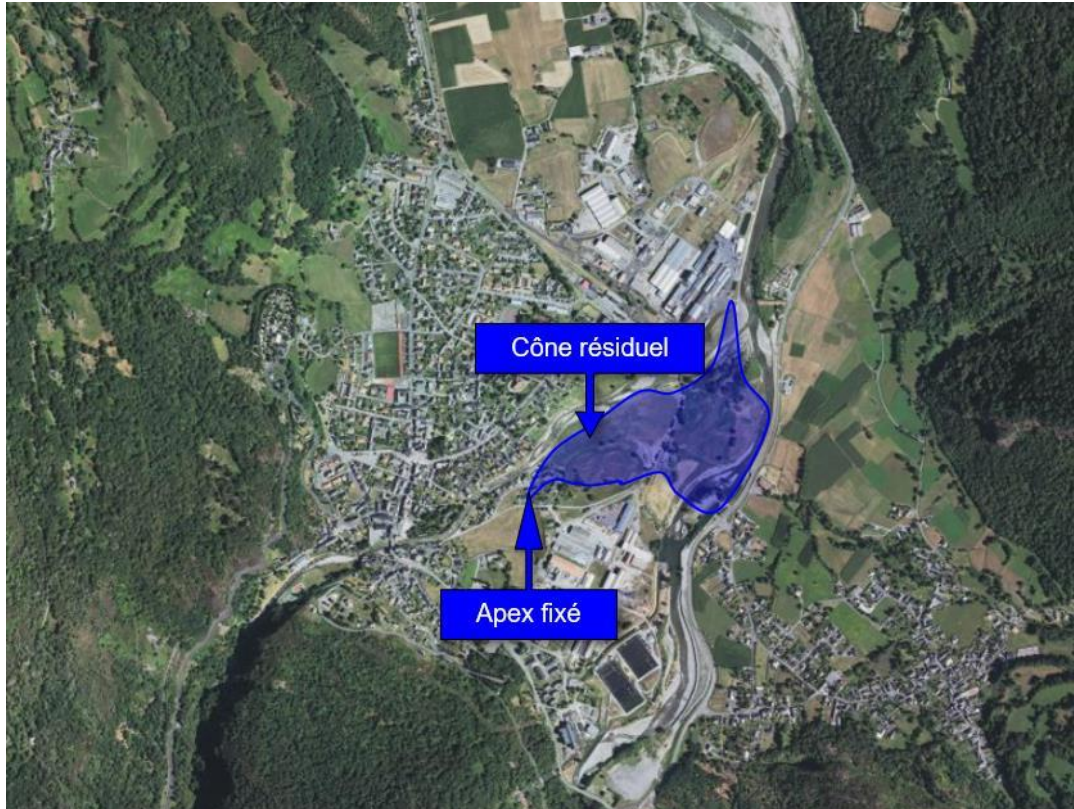


Figure 13 : cône de déjection résiduel (limité par le système d'endiguement)

L'analyse diachronique des profils en long met en évidence un fonctionnement contrasté, avec majoritairement une tendance à l'incision, en dehors de deux secteurs situés en amont des ponts de Soulom et Interzone qui sont en exhaussement.

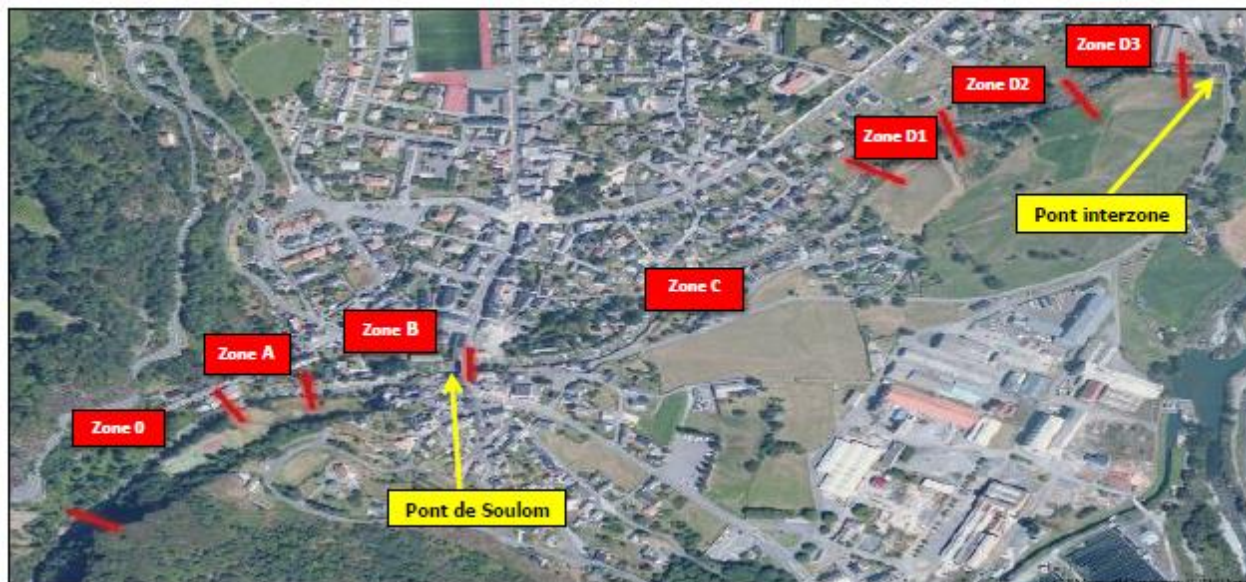


Figure 14 : sectorisation pour l'analyse des profils en long

| Incision ou exhaussement maximaux par zone - Profils fond de lit |                         |             |             |             |   |
|--|-------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
| Zones  | Distance au point amont | 2015 - 2018 | 2018 - 2019 | 2015 - 2019 | Commentaire   |
| Zone 0   | 300 - 515               | +0.60       | -0.82       | -1.42       | Zone principalement en exhaussement entre 2015 et 2018, puis en incision forte entre 2018 et 2019 |
| Zone A   | 515 - 600               | +0.91       | -0.50/+0.50 | +0.72       | Zone en exhaussement de 2015 à 2018, entre 2018 et 2019 zone mixte                                |
| Zone B   | 600 - 765               | +0.34       | -0.70       | -0.50       | Zone stable avec léger exhaussement entre 2015 et 2018 puis incision entre 2018 et 2019           |
| Zone C   | 765 - 1270              | -0.57/+1.10 | -0.93       | -0.95       | Incision marquée depuis 2018  |
| Zone D1  | 1270 - 1375             | -0.30/+0.70 | -0.53       | -0.42       | Zone en incision principalement depuis 2018   |
| Zone D2  | 1375 - 1505             | +1.33       | +1.05       | +1.20       | Zone en exhaussement, seuil a disparu sous les matériaux  |
| Zone D3  | 1505 - 1620             | -0.70       | -0.30       | -0.60       | Incision marquée entre 2015 et 2018-2019, fond du lit relativement stable entre 2018 et 2019.     |

Tableau 12 : synthèse de l'évolution des profils en long selon les secteurs



Figure 15 : exemple de secteur d'engrassement (zone A) en amont du pont de Soulom

Les atterrissements présents sur le secteur ont un volume cumulé d'environ 6 000 m<sup>3</sup> de sédiments. Ils sont majoritairement présents sur la partie aval du système d'endiguement.

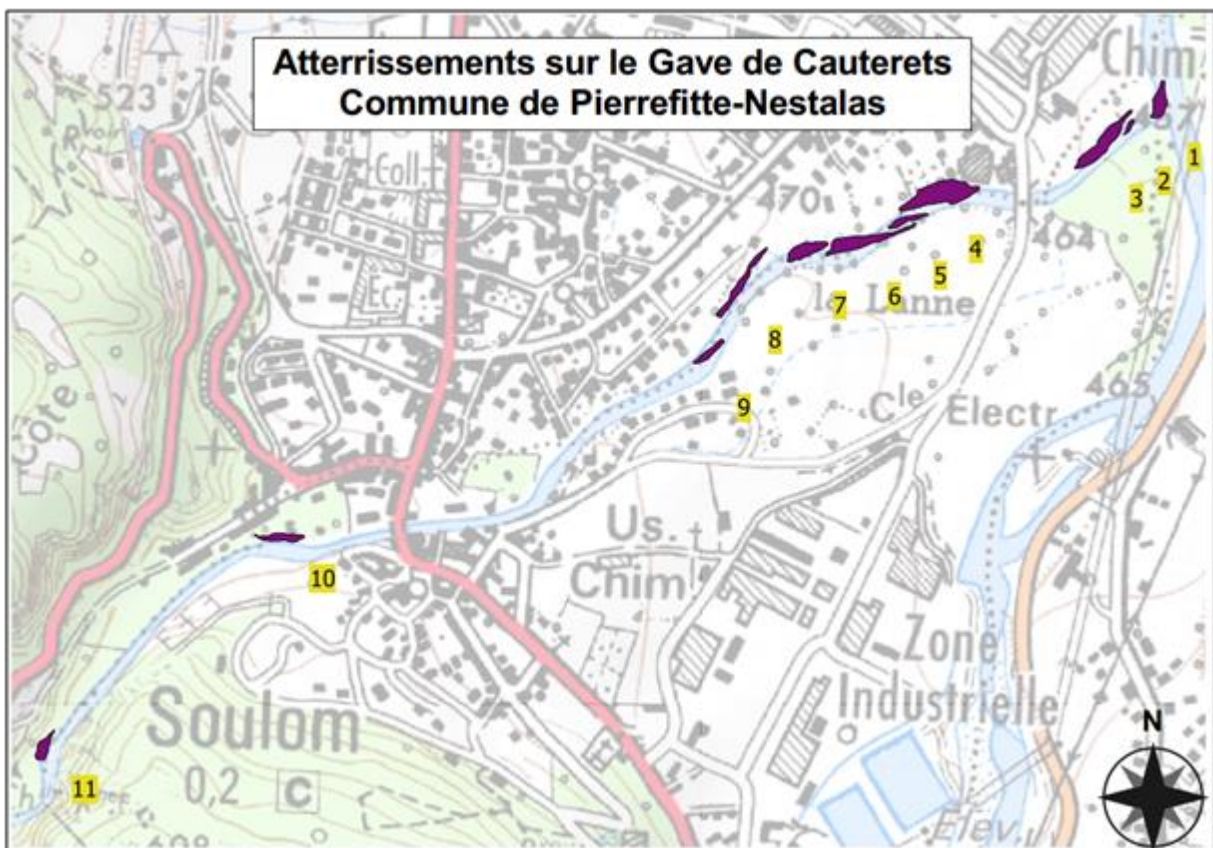
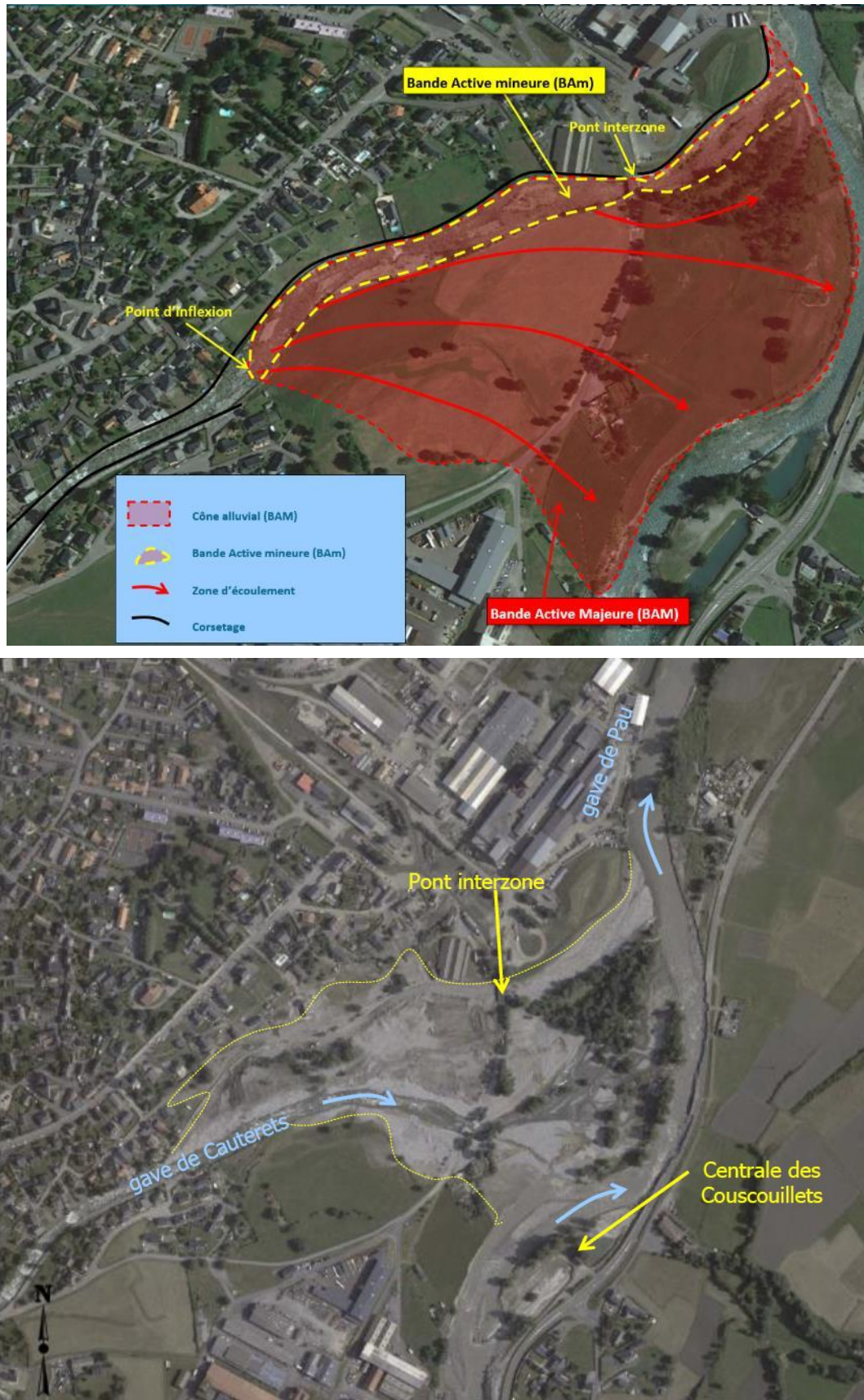


Figure 16 : Situation des atterrissements

Les crues morphogènes comme celles de 2013 sont susceptibles de réactiver le cône résiduel et d'engendrer des dépôts de sédiments importants, jusqu'à 100 000 m<sup>3</sup> (estimation minimale des dépôts pour la crue de 2013 d'après le RTM et Hydrétudes).





La notice de suivi du lit (voir en annexe) vise à pérenniser le profil en long actuel à +/-20 cm afin d'éviter le risque d'affouillement des ouvrages d'une part et d'autre part à traiter les dépôts importants de sédiments qui auraient un impact négatif sur les lignes d'eau et le risque de débordement.

L'aléa morphologique et transport solide a été étudié sur la base d'une expertise, puis des scénarios d'évolution des fonds ont été pris en compte dans les modèles hydrauliques utilisés à fond fixe.

## 4.3 RISQUE EMBACLES

### 4.3.1 ALEA EMBACLES

La notice de suivi morphologique du lit rédigée par Hydrétudes (voir annexe) définit les secteurs à risque d'embâcle en croisant les zones à faible revanche (rive droite et/ou rive gauche) par rapport à la ligne d'énergie (pour la crue de période de retour 20 ans) et la morphologie du lit (désaxement, rétrécissement...) propice à la formation d'embâcles.

Le rapport d'Hydrétudes qualifie ainsi l'aléa fort d'embâcles entre le tennis de Soulom et l'apex résiduel (voir figure suivante).

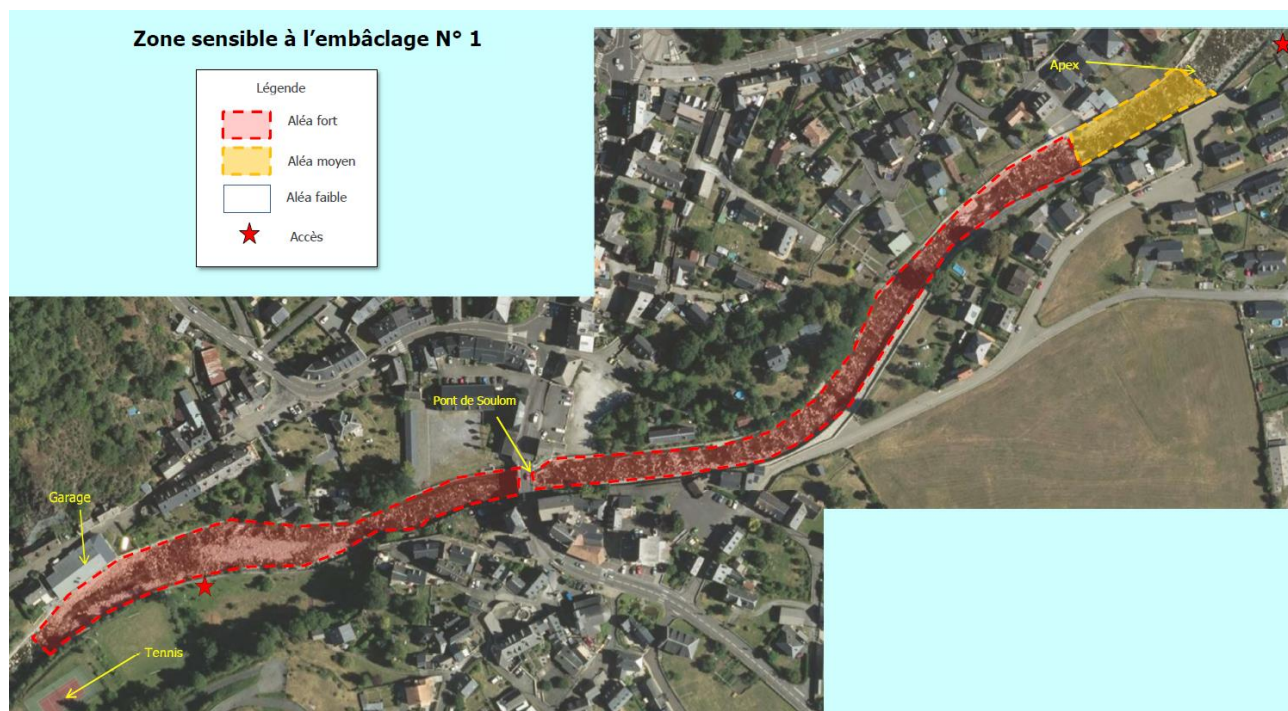


Figure 18 : zone l'aléa fort d'embâcle (Hydrétudes 2020)

Le risque d'embâclage le plus préoccupant est situé en amont immédiat et sous le pont de Soulom, zone de rétrécissement du lit, même si aucun embâcle ne semble avoir été constaté au niveau du pont lors des crues de 2012 et 2013.

Une seconde zone d'aléa fort d'embâcle est identifiée au droit du pont Interzone, mais moins probable car les embâcles s'arrêteraient probablement sur la première zone.

Des embâcles ont été observés lors de la crue de 2013 dans les extrados, comme visible sur la figure suivante.



Crue juin 2013 (Source : M Alfaro)

**Figure 19 : embâcles en extrados du tronçon 38.3 observés en 2013**

#### 4.3.2 IMPACT D'UN EMBACLAGE SUR LE PONT DE SOULOM

L'évaluation hydraulique de l'impact de l'obstruction d'une partie du pont de Soulom sur les débordements en amont est réalisée pour le débit de 100 m<sup>3</sup>/s correspondant au niveau de protection.

Une obstruction de 30% de la section hydraulique du pont est prise en compte.

La figure ci-dessous (Figure 20) présente le profil en long des lignes d'eau et d'énergie avec/sans obstruction pour la crue de période de retour de 10 ans, correspondant à 100 m<sup>3</sup>/s.

- Etat actuel

En état actuel, des débordements ont lieu en amont rive gauche, sur une dizaine de mètres avec une lame d'eau moyenne de 13 cm. En amont immédiat rive droite, la lame d'eau de débordement est de 15 cm.

- Obstruction de 30%

L'obstruction amène des débordements en amont rive gauche sur un linéaire de 30 m, et en amont rive droite sur 20 m. Les lames d'eau moyenne et maximale de débordement figurent dans le tableau ci-dessous (Tableau 13). La moyenne des écarts absolus de la surface libre entre l'état avec obstruction et l'état actuel est de **67 cm**. De même, la ligne d'énergie est augmentée de **56 cm** en moyenne à l'amont. L'inondation reste circonscrite aux zones aux abords du gave, sans donner lieu à des venues d'eau en zone protégée.

|   | Amont rive gauche | Amont rive droite |
|---|-------------------|-------------------|
| Lame d'eau maximale de débordement (cm) | 113               | 93                |
| Lame d'eau moyenne de débordement (cm)  | 58 (+45 cm)       | 54 (+39 cm)       |

**Tableau 13 : Lame d'eau de débordement en amont de Soulom – Etat avec obstruction**

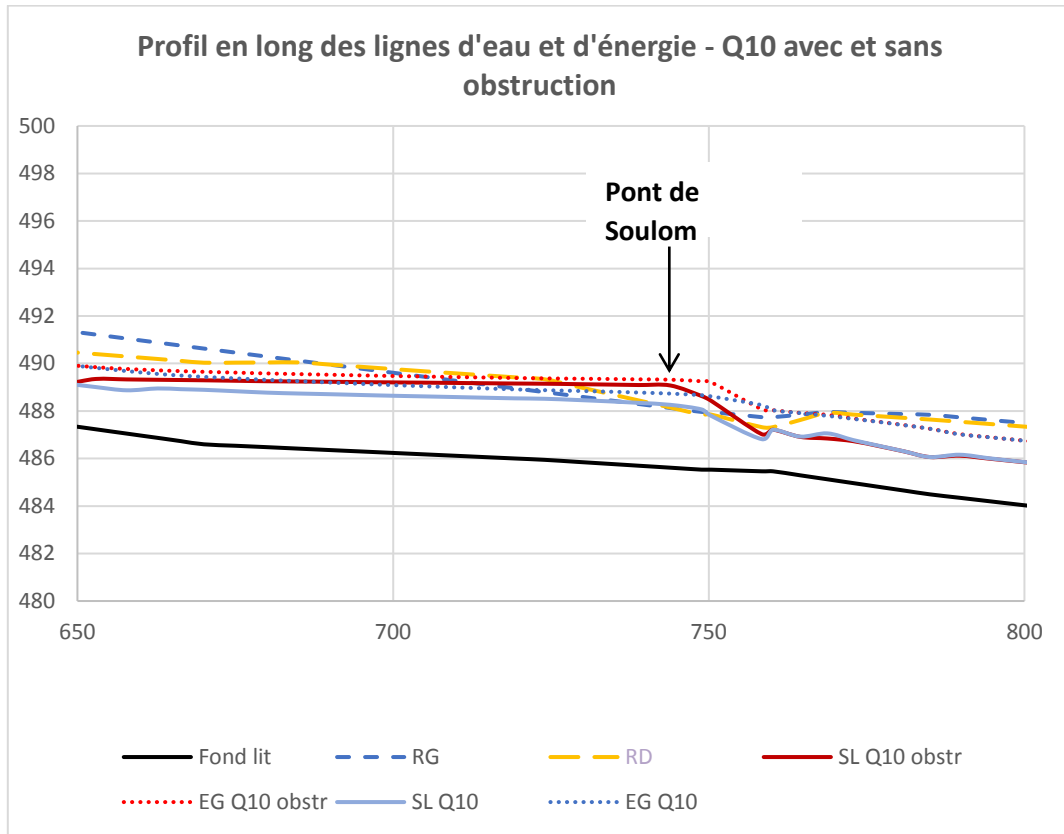
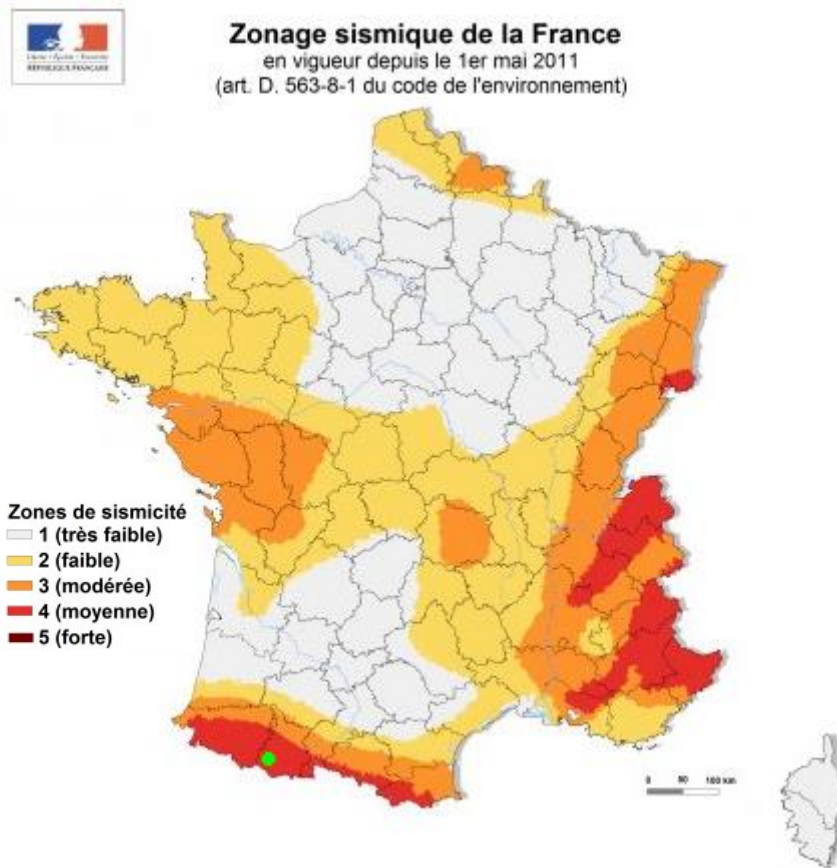


Figure 20 : Profil en long des lignes d'eau et d'énergie pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/s (Q10) – avec et sans obstruction

## 4.4 SEISMES ET AUTRES PHENOMENES GEOLOGIQUES

### 4.4.1 RISQUE SISMIQUE



**Figure 21 : Zonage sismique de la France (système d'endiguement identifié par le point vert)**

D'après le zonage sismique de la France en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> mai 2011, le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas et Soulom est situé en zone de sismicité moyenne (zone 4).

Les digues de protection contre les submersions, en situation quasi-permanente, sont soumises à un niveau faible, voire nul, de charge hydraulique. La concomitance entre séisme et crue présente donc une probabilité très faible. Le MEDDE<sup>2</sup> et le DGPR<sup>3</sup> dans le rapport *Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques* (2014) proposent de prendre en compte cet effet par la réduction de la sollicitation sismique de calcul.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs d'accélération maximales proposées pour les composantes horizontales de l'action sismique associée au Séisme d'Évaluation de la Sécurité (SES) en fonction de la zone d'aléa sismique et de la classe des ouvrages.

<sup>2</sup> Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

<sup>3</sup> Direction Générale de la Prévention des Risques

| Zone de sismicité | Classe D   | Classe C | Classe B | Classe A |
|-------------------|------------|----------|----------|----------|
| 1                 | sans objet | 0,2      | 0,3      | 0,4      |
| 2                 | sans objet | 0,4      | 0,5      | 0,7      |
| 3                 | sans objet | 0,7      | 0,8      | 1,1      |
| 4                 | sans objet | 0,9      | 1,2      | 1,6      |
| 5                 | sans objet | 1,8      | 2,2      | 3,0      |

**Figure 22 : Accélérations horizontales pour le SES (en m/s<sup>2</sup>) pour les digues de protection contre les submersions**

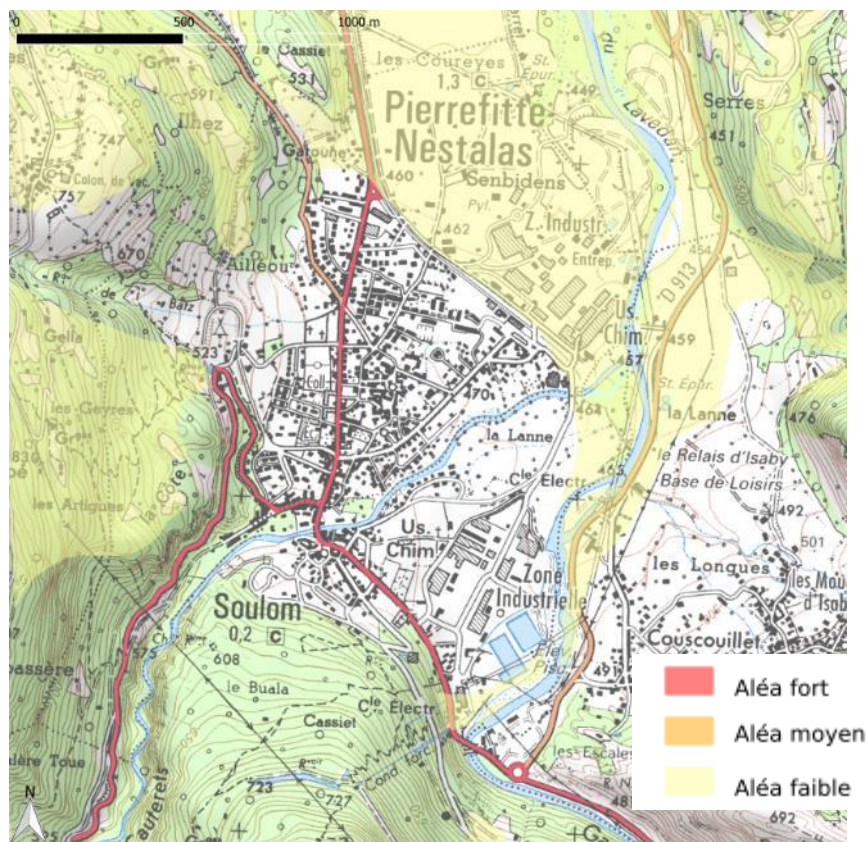
Des inspections post-sismiques pour toutes les digues situées en zone de sismicité 3,4 et 5 sont nécessaires quelle que soit leur classe.

L'historique des séismes, extrait du rapport PPR sur la commune de Pierrefitte-Nestalas, fait apparaître plusieurs événements marquants dans la région du système d'endiguement (Tableau disponible en annexe).

#### 4.4.2 AUTRES RISQUES GEOLOGIQUES

La zone d'étude n'est pas connue pour être exposée à des aléas géologiques particuliers (absence de karsts, de cavités, ou de problématiques particulières de fondation).

Le secteur d'étude des communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom est situé en zone d'aléa à priori inexistant ou faible concernant le retrait et gonflement de l'argile.



**Figure 23 : Retrait et gonflement des argiles**

Le secteur d'étude des communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom est situé en zone potentiellement sujette aux débordements de nappe et inondations de cave.

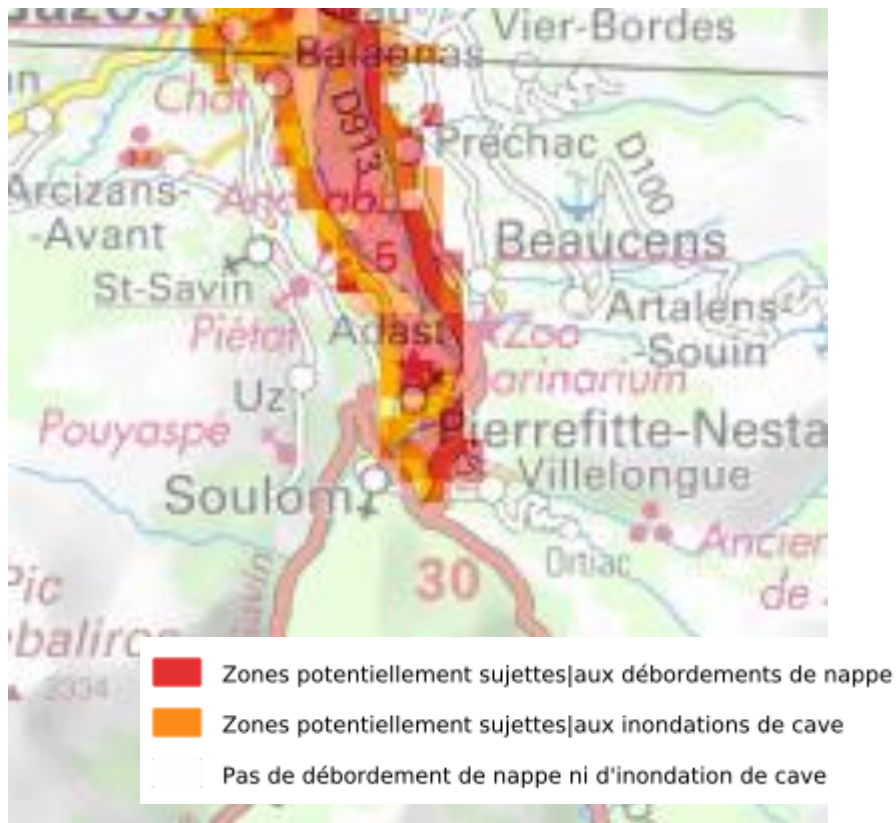


Figure 24 : Remontées de nappes

On note cependant l'absence sur les communes étudiées de cavités souterraines.

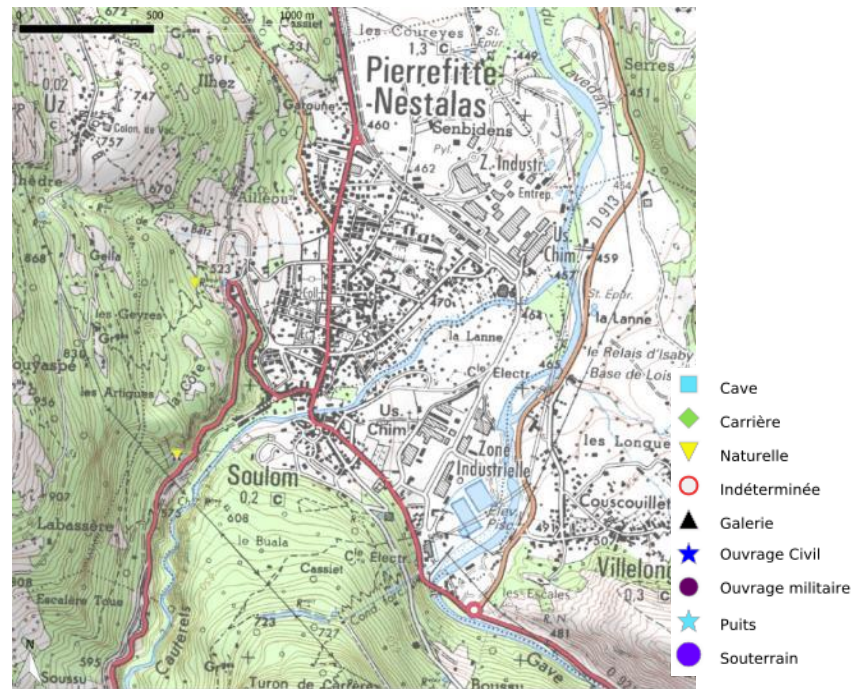


Figure 25 : Cavités souterraines

## 5 DESCRIPTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

### 5.1 DESCRIPTION DES OUVRAGES EXISTANTS

La description des ouvrages est réalisée à partir de la documentation disponible (voir liste en annexe, ainsi que le dossier de l'ouvrage) et de visites sur le site, notamment la visite technique approfondie initiale réalisée par ISL en 2018 (ISL, 2018).

#### 5.1.1 HISTORIQUE DES OUVRAGES

D'après les archives communales de Pierrefitte-Nestalas et Soulom, les premières défenses ont été construites à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Ces défenses étaient principalement constituées d'enrochements permettant de limiter l'érosion des berges. C'est au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle que les premières digues ont été construites afin de contrer le risque inondation. Les dates de construction des différents ouvrages sont récapitulées sur la figure ci-dessous.

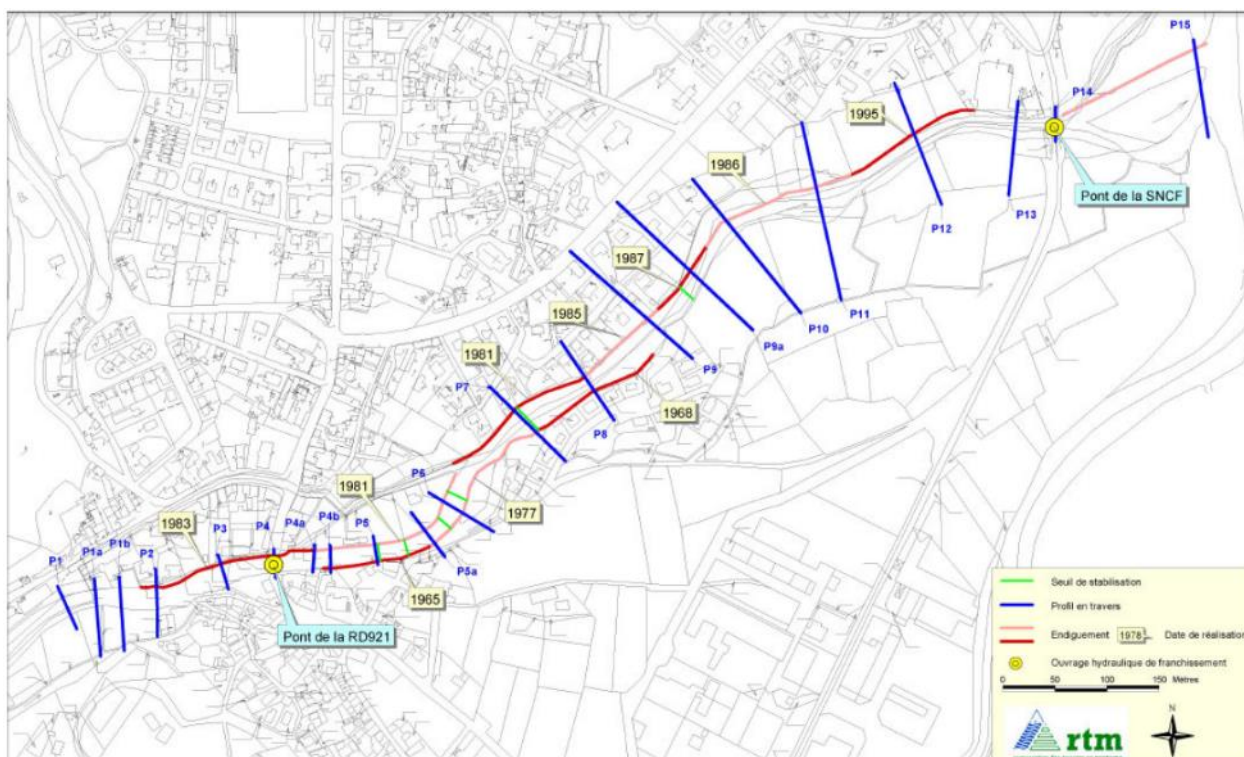


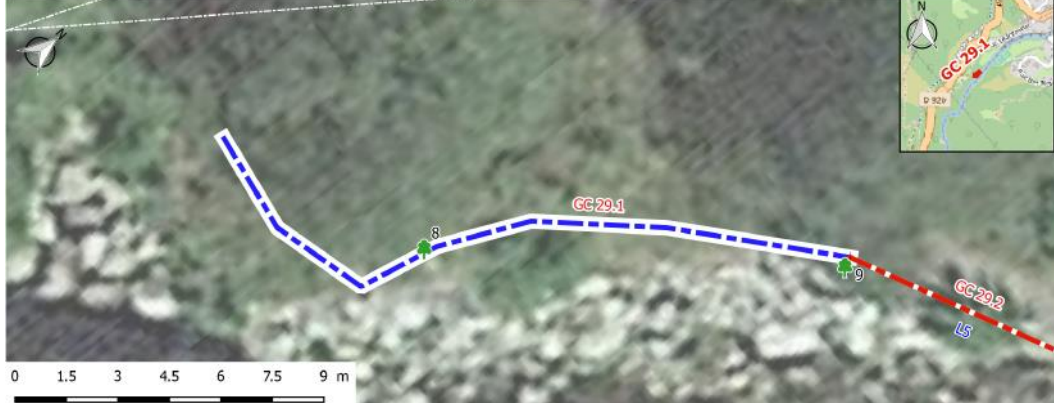

Figure 26 : Historique des ouvrages (source RTM)

Les archives montrent que les ouvrages ont souvent été soumis à l'affouillement lors de crues importantes (document 4.1.16 du dossier d'ouvrage) mettant parfois à nu les fondations des ouvrages.

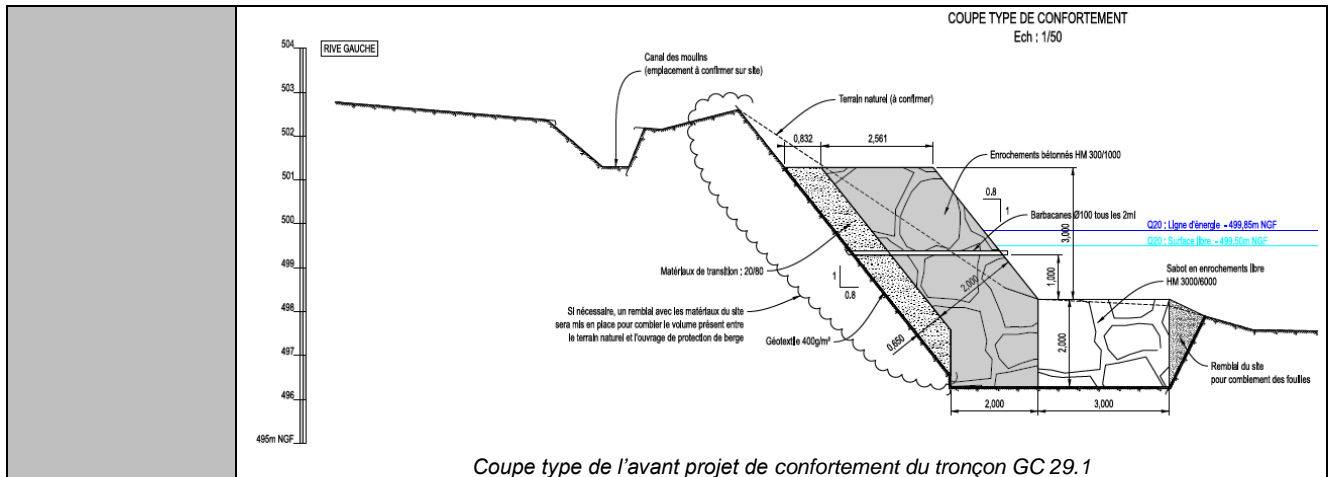
Suite aux crues de 2012 et 2013, des travaux de confortement des ouvrages ont été réalisés et sont décrits dans la section suivante. Les désordres lors de ces crues sont décrits en chapitre 6.

## 5.1.2 PRESENTATION DES OUVRAGES EN RIVE GAUCHE

### 5.1.2.1 Tronçon GC 29.1

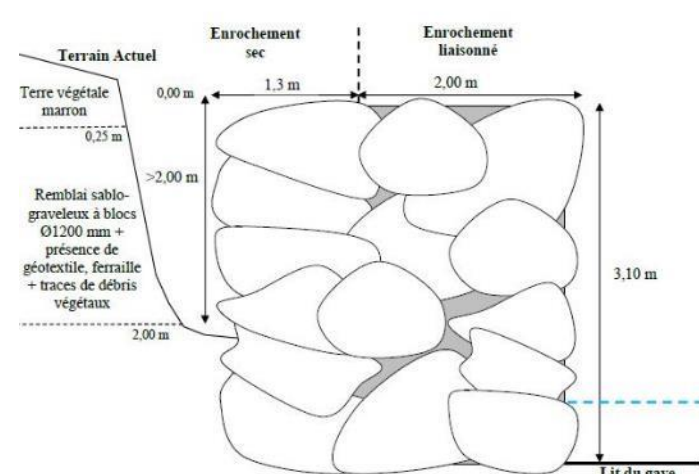
|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | Longueur : 21 m<br>Limite amont : Seuil Berty<br>Limite aval : GC 29.2  |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |  <p>(Source : GEOFIT 2018)</p>   |  |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale  | Ce tronçon est une protection de berge constituée de matériaux grossiers pris dans le lit du gave. |
| <b>Historique</b>                            | Avant les travaux d'urgence, la berge n'avait pas été travaillée. Lors des crues de 2012 et 2013, la berge a subi une forte érosion externe. Suite aux crues, des matériaux grossiers du lit du gave ont été utilisés en protection de berge. |  |
| <b>Etat et remarques</b>                     | <b>Ce tronçon va faire l'objet de travaux dans le cadre de l'avant projet de confortement pour atteindre un niveau de sûreté égal à la crue décennale sur un linéaire de 54 m. La coupe type est donnée ci-dessous :</b>                      |  |





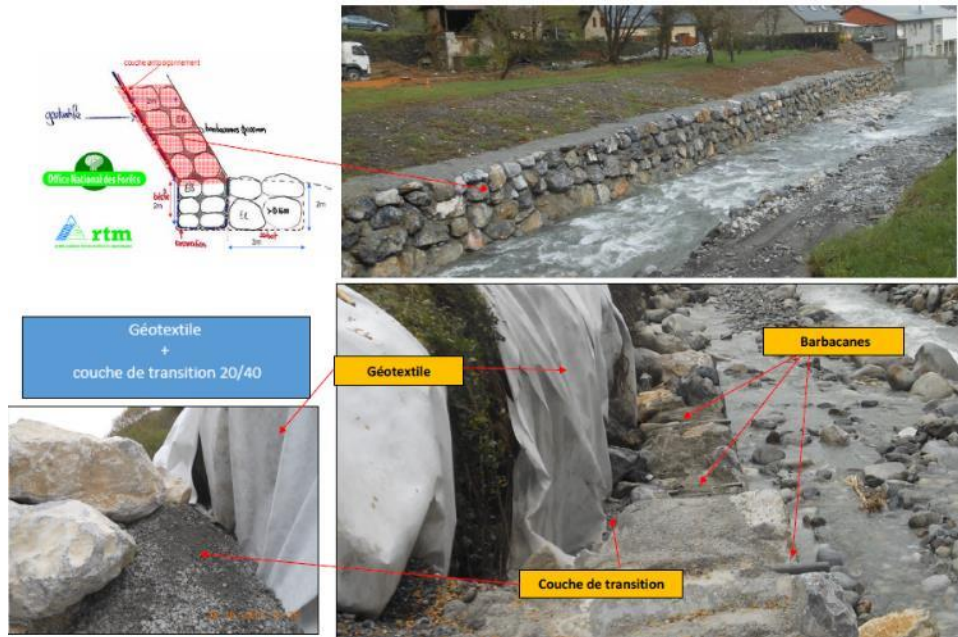
5.1.2.2 Tronçon GC 29.2

|  |  |
|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><b>Longueur :</b> 166 m</p> <p><b>Limite amont :</b> GC 29.1</p> <p><b>Limite aval :</b> GC30</p> |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       | <p style="text-align: right;">(Source : DOE Travaux d'urgence, RTM, 2015)</p>                        |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
|                                      | <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Coupe Rf8</div>  <p style="text-align: center;">(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)</p>  |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p> | <p>Description générale</p>  | <p>Ce tronçon est un mur de soutènement en enrochements bétonnés sur couche de transition et géotextile équipé de barbacanes. En amont du tronçon, les enrochements forment un retour côté val et viennent se refermer derrière la protection de berge GC 29.1.</p>  |
|                                      | <p>Talus côté gave</p>   | <p>Le talus côté gave est constitué d'enrochements de carrière bétonnés. La pente du talus est de 0,2H/1V. La hauteur du talus varie entre 3,50 m et 4,80 m. Une couche de transition d'une épaisseur de 30 à 40 cm est présente entre les enrochements et le géotextile.</p>  |
|                                      | <p>Crête</p>   | <p>La crête des enrochements est bétonnée sur une largeur d'1 m permettant la circulation à pied en crête d'ouvrage.</p>   |
|                                      | <p>Fondation</p>   | <p>Les enrochements composant le talus côté gave reposent sur une bèche en enrochements bétonnés également d'une hauteur de 2 m. La largeur de la bèche est d'environ 2 m. Pour les ouvrages GC 28 et GC 29.2, le lit étant déjà pavé avec de gros blocs (D &gt; 2000 mm), il a été choisi de ne pas effectuer de sabot parafouille afin de ne pas déstabiliser le pavage du lit existant lors de l'excavation du sabot.</p> |
| <p><b>Historique</b></p>             | <p>La berge sur ce tronçon a été protégée à partir de 1981 par des enrochements libres qui ont été rénovés en 2005 car ils étaient sous-cavés. Ces enrochements libres étaient similaires à ceux qui existent aujourd'hui. Lors des crues de 2012 et 2013, le lit mineur du gave de Cauterets s'est incisé dans cette zone, entraînant une déstabilisation des enrochements.</p> |  |



Lors des travaux d'urgence post-crués, ce tronçon a été entièrement reconstruit.





Confortement du tronçon GC 29.2 – DOE RTM 2015

**Etat et  
remarques**

Ce mur en enrochements est en état satisfaisant. Aucun signe de mouvement ou de déstabilisation n'a été observé néanmoins des signes d'érosion ont été observés ponctuellement.

### 5.1.2.3 Tronçon GC 30

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 37 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 29.2<br/> <u>Limite aval</u> : GC 31.1</p>   |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |   |  |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Le tronçon GC 30 est positionné en extrados de courbe du gave de Cauterets. Il s'agit d'un mur de soutènement en béton banché. Ce mur soutient les murs de la maison et du garage situés au-dessus.                    |
|  | Talus côté gave  | Le talus est un mur de soutènement vertical en béton d'une hauteur variant entre 3,2 et 4,0 m.   |
|  | Fondation  | La géométrie de la fondation est inconnue.<br>Une bèche en enrochements bétonnés (largeur 2 m) protège le pied de l'ouvrage contre l'affouillement (travaux RTM).<br>L'épaisseur de cette semelle est d'environ 1,5 m. |
| <b>Historique</b>                            | Avant les crues de 2012 et 2013, ce tronçon était protégé par des enrochements libres et par le mur de soutènement de la maison (visible en noir sur la photo ci-dessus) mais le garage ne possédait pas de mur de soutènement. Lors des crues, ces enrochements ont été endommagés et en partie emportés. |  |



*Photo post crues 2012 et 2013*



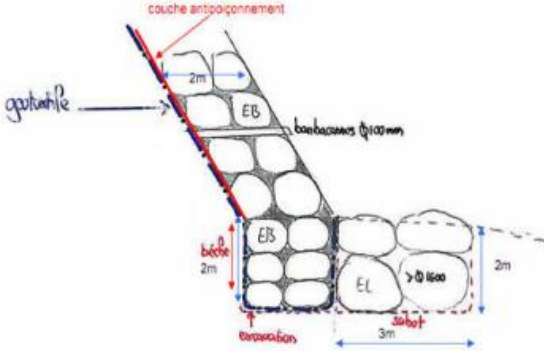
Lors des travaux d'urgence post-crués, un mur de soutènement a été construit sous la partie garage et une semelle béton a été coulée en pied d'ouvrage afin de protéger le mur contre l'affouillement.

La crue de juin 2018 a incisé le lit au droit de cet ouvrage. Le PLVG a effectué des travaux de repavage du lit mineur de gave de Cauterets pour combler les zones d'incision.

**Etat et  
remarques**

Suite aux travaux de repavage du lit mineur, cet ouvrage est dans un état correct. Cependant le béton n'est pas homogène, des poches de gravier ont été observées dans le béton le plus ancien. Cette partie du gave de Cauterets a tendance à s'inciser. Ce tronçon est à surveiller.

### 5.1.2.4 Tronçon GC 31.1

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 46 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 30<br/> <u>Limite aval</u> : GC 36.1</p>   |   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |   |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |    |  <p>(Source : DOE Travaux d'urgence, RTM, 2015)</p>  |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est une protection de berge en enrochements bétonnés. La hauteur de ce tronçon varie entre 2,5 m et 3,7 m côté gave.   |
|  | Talus côté gave  | Le talus côté gave est composé d'enrochements de carrière bétonnés. La pente du talus est de 0,2H/1V.   |
|  | Crête  | La crête de l'ouvrage est bétonnée sur une largeur de 1 m permettant la circulation à pied.   |
|  | Fondation  | <p>La fondation de l'ouvrage est constituée d'enrochements bétonnés sur une hauteur de 2 m. Cette fondation est protégée sur les 20 m mètres à l'amont du tronçon par une semelle parafouille d'une largeur de 2,5 m à l'extrémité amont et qui décroît pour atteindre une largeur de quelques dizaines de centimètres.</p> <p>Sur les 25 mètres aval du tronçon, un sabot parafouille (environ 3 m en largeur et 2 m en hauteur) en enrochements libres a été réalisé. Il est ponctuellement surmonté d'une semelle béton.</p> |
| <b>Historique</b>                            | <p>Avant les crues de 2012 et 2013, ce linéaire n'était que partiellement protégé. Principalement, la protection était assurée par des gros blocs extraits du lit du gave. Seul un linéaire de 20 mètres était protégé par des petits enrochements bétonnés.</p> <p>Suite aux crues, ce tronçon a été totalement refait en enrochements bétonnés.</p> <p>En octobre 2018, des travaux ont visé à rénover le pavage du lit mineur au droit de la semelle parafouille. Une incision du lit mineur avait mis à nu cette semelle et un sous cavement s'était initié.</p> |   |
| <b>Etat et remarques</b>                     | Suite aux travaux d'octobre 2018, ce tronçon est en bon état.  |   |


|  |   |
|--|---|
|  | <p>Il faut cependant noter que cette partie du gave de Cauterets a tendance à s'inciser. Il faudra donc surveiller ce tronçon.</p> <p>Un canal d'irrigation passe côté zone protégée. Ce canal d'irrigation possède un petit canal de décharge qui traverse la crête de l'ouvrage formant un point bas.</p> |
|--|---|

5.1.2.5 Tronçon GC 36.1

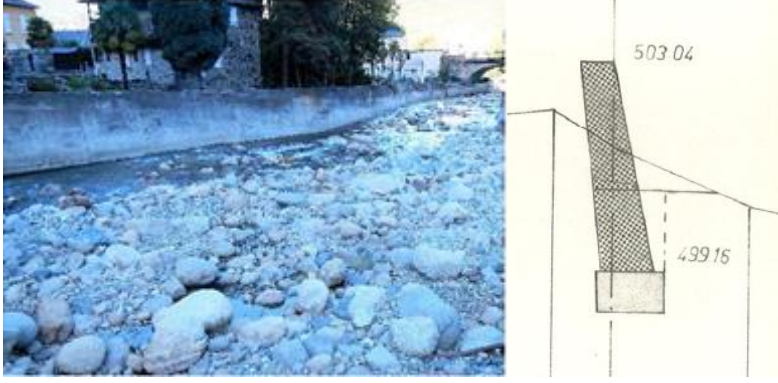
|  |  |
|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 62 m</p> <p><u>Limite amont</u> : GC 31.1</p> <p><u>Limite aval</u> : GC 36.2</p>   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>(Source : archives Soulom 1977)</p> </div> |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale  | Ce tronçon est un mur poids en béton formant une protection de berge.                     |
|                               | Talus côté gave   | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 3,6 m. la pente est de 0,2H/1V.      |
|                               | Crête   | La largeur de la crête du mur est de 0,8 m sur ce tronçon.                                |
|                               | Fondation   | La fondation de l'ouvrage est en béton. La hauteur est de 0,75 m et la largeur de 1,25 m. |
| <b>Historique</b>             | Cet ouvrage a été construit en 1983.<br>Aucune modification n'a été apportée à cet ouvrage durant les travaux d'urgence post-crise 2013.  |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | <p>Son état est correct :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun signe d'affouillement n'a été observé.</li> <li>- Des fissures ont pu être observées sur le mur de soutènement béton ;</li> <li>- L'ouvrage béton est altéré en plusieurs points : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Plusieurs strates de béton sont apparentes sur l'ouvrage (rehaussement ?) et leur mise en œuvre est assez mauvaise : création d'aspérités et de relief ;</li> <li>o Les gravillons du béton sont apparents et le béton ne semble pas homogène ;</li> <li>o En pied de mur, le ferrailage est ponctuellement apparent ;</li> <li>o Des traces d'impacts de blocs sont apparentes sur le mur.</li> </ul> </li> </ul> |   |


#### 5.1.2.6 Tronçon GC 36.2

|  |  |
|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p>Longueur : 17 m<br/> Limite amont : GC 36.1<br/> Limite aval : GC 36.3</p>        |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |  |

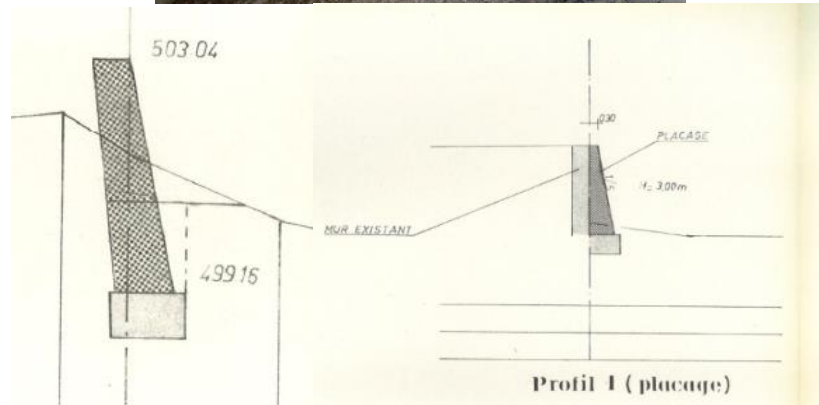


|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p> |  <p>(Source : archives Soulom 1977)</p>  |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>          | <p>Description générale</p>  | <p>Ce tronçon est un mur poids en béton formant une digue.</p>   |
|   | <p>Talus côté gave</p>   | <p>Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 3,6 m. La pente est de 0,2H/1V.</p>  |
|   | <p>Crête</p>   | <p>La largeur de la crête du mur est de 0,4 m sur ce tronçon.</p>  |
|   | <p>Talus côté val</p>  | <p>La pente du talus côté val est de 0,1H/1V. La surélévation de l'ouvrage par rapport au terrain naturel est d'environ 1,3 m.</p> |
|   | <p>Fondation</p>   | <p>La fondation de l'ouvrage est en béton. La hauteur est de 0,75 m et la largeur de 1,25 m.</p>                                   |
| <p><b>Historique</b></p>                      | <p>Cet ouvrage a été construit en 1983.<br/>Un débordement a eu lieu sur ce tronçon lors de la crue de 2013. Secteur à surveiller en cas de crue importante du gave.<br/>Il n'y a pas eu d'intervention sur ce tronçon lors les travaux d'urgence post-crues 2013.</p>   |  |
| <p><b>Etat et remarques</b></p>               | <p>L'ouvrage est dans un état moyen, avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un début d'affouillement sous la fondation béton ;</li> <li>- Un état de surface du béton de mauvaise qualité (bullage, gravillons apparents, délimitation de la surélévation), un ferrailage ponctuellement apparent et des barbacanes.</li> </ul> |  |

### 5.1.2.7 Tronçon GC 36.3

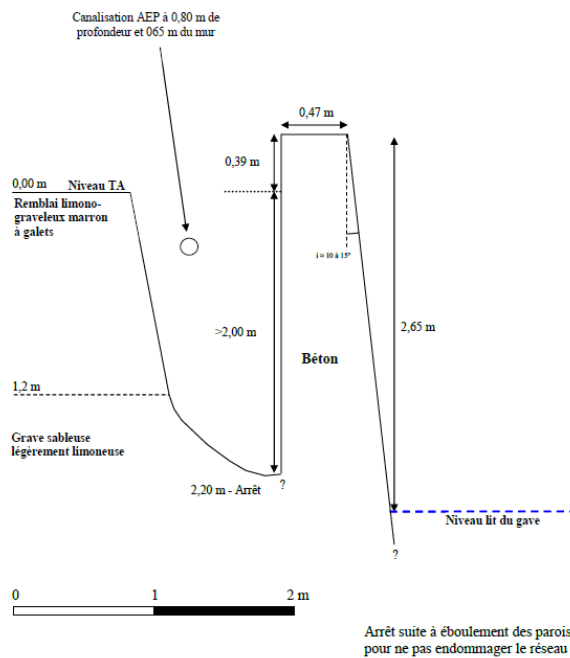
|   |  |
|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 111 m<br/>Limite amont : GC 36.2<br/>Limite aval : GC 40.1</p>         |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |  |

Coupe -type du tronçon et photo

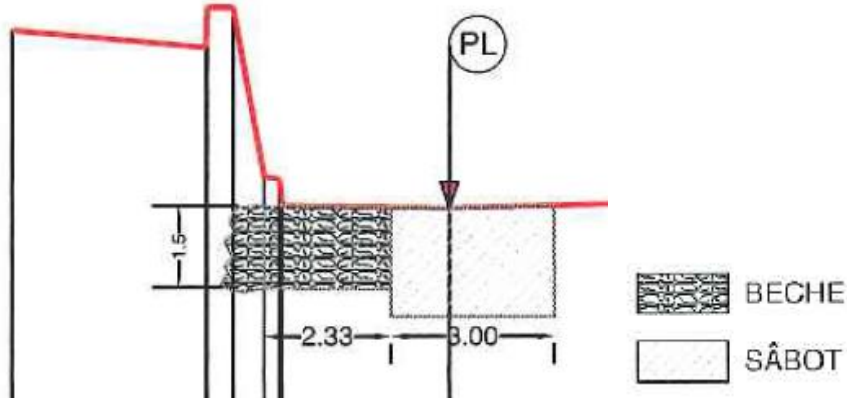


(Source : archives Soulom 1977)



Coupe Rf7




(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)

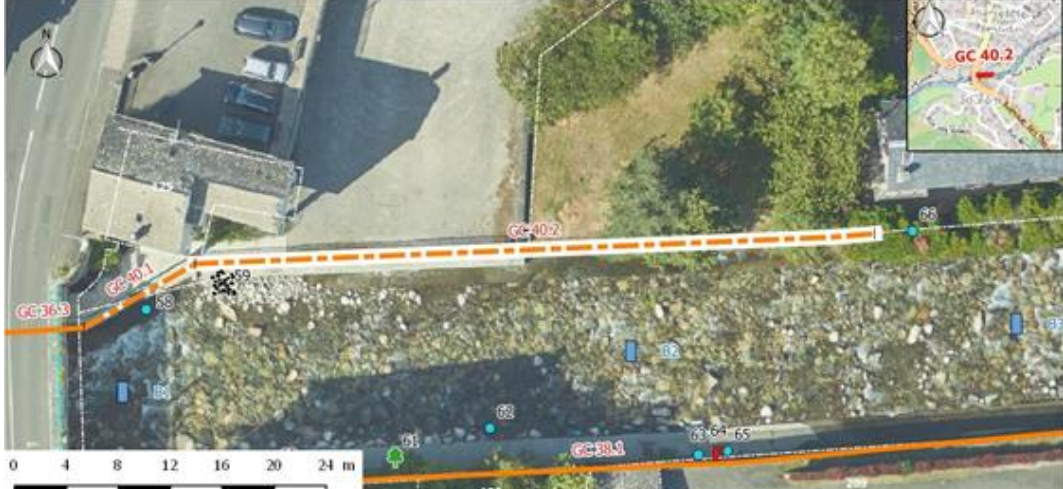

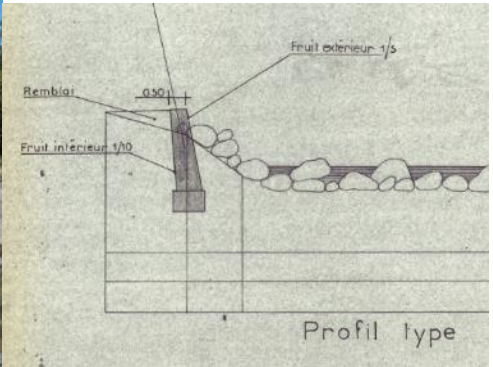
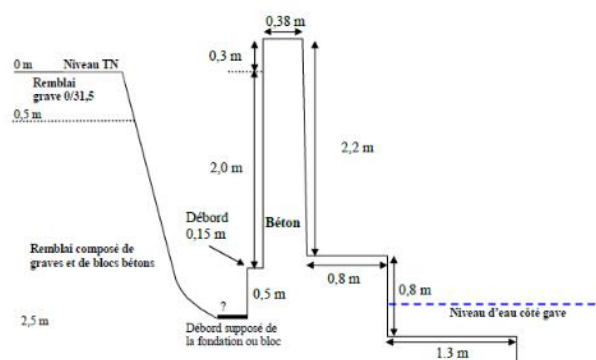
|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
|                               |  <p>(Source : coupe type – DOE CAZAL 2016)</p>  |   |
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale  | Ce tronçon est un mur poids en béton formant une digue.   |
|                               | Talus côté gavage   | Le talus côté gavage est un mur béton d'une hauteur de 2,6 m. La pente est de 0,2H/1V.  |
|                               | Crête   | La largeur de la crête du mur est de 0,4 m sur ce tronçon. Au droit de la place, une clôture est ancrée dans la crête du mur.   |
|                               | Talus côté val  | La pente du talus côté val est de 0,1H/1V. La surélévation de l'ouvrage par rapport au terrain naturel est d'environ 1 m. Au droit de la place, il n'y a pas de surélévation par rapport au terrain naturel.  |
|                               | Fondation   | La fondation de l'ouvrage est en béton. La hauteur est de 0,75 m et la largeur de 1,25 m. Lors des travaux d'urgence post-crués, une bêche en enrochements bétonnés (2 m largeur x 1,5 m profondeur) ainsi qu'un sabot en enrochements libres ont été réalisés. |
| <b>Ouvrages traversants</b>   | Le mur possède plusieurs ouvertures rectangulaires au niveau du terrain naturel ainsi que 2 rejets traversants sans clapet anti-retour.   |   |
| <b>Historique</b>             | <p>En 1966, le mur de soutènement du canal (en amont du pont de Soulom) a été construit. En 1983, le mur poids, tel qu'il existe aujourd'hui, a été construit. Il s'appuie en partie en aval sur le mur de soutènement du canal.</p> <p>Lors des travaux d'urgence post-crués, une semelle béton a été réalisée afin de limiter l'affouillement des fondations de l'ouvrage.</p>  |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | <p>L'état général de l'ouvrage est moyen, avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un début d'affouillement sous la semelle béton ;</li> <li>- Quelques fissures sur le mur béton ;</li> <li>- Le béton du mur ponctuellement altéré (traces d'impacts, délimitation des différentes levées de béton, dégradation ponctuelle du béton) ;</li> <li>- Un joint entre la plinthe de l'ouvrage et le mur est ponctuellement érodé / large en aval de tronçon. Cet interstice est un passage préférentiel et risque de provoquer une infiltration ou une érosion des armatures du mur.</li> </ul> |   |

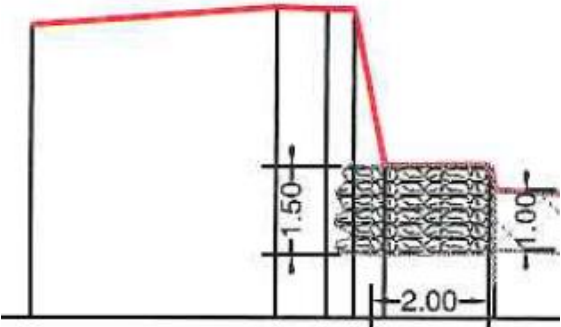
5.1.2.8 Tronçon GC 40.1

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p><u>Longueur</u> : 10 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 36.3<br/> <u>Limite aval</u> : GC 40.2</p>  |  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |    |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p>   | <p>Ce tronçon constitue un mur de soutènement pour le canal d'irrigation.</p>  |
| <p>Talus côté gave</p>                              |   | <p>Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,7 m. La pente est de 0,15H/1V. Une plinthe béton est disposée en pied de talus.</p>            |
| <p>Crête</p>  |   | <p>La crête de l'ouvrage est en béton et fait environ 2 m de large. Un garde-corps métallique est fixé en crête.</p>                                     |
| <p>Fondation</p>                                    |   | <p>Inconnue<br/>         Une bèche en enrochements bétonnés (largeur 2 m) est présente pour limiter l'affouillement sous l'ouvrage (coupe type RTM).</p> |
| <p><b>Historique</b></p>                            | <p>Cet ouvrage a été construit en 1961. Lors des crues de 2012 et 2013, le pied de l'ouvrage a été affouillé et l'ouvrage s'est effondré (voir photo ci-dessous).</p> |  |

|                           |  |
|---------------------------|--|
|                           |  <p>(Source : RTM)</p> <p>Lors des travaux d'urgences post-crués, ce mur de soutènement du canal d'irrigation a été reconstruit.</p> |
| <b>Ouvrage traversant</b> | Une ouverture dans le mur permet de décharger le canal d'irrigation. Cette ouverture est vannée.   |
| <b>Etat et remarques</b>  | Le GC 40.1 est en bon état.  |

5.1.2.9 Tronçon GC 40.2

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 52 m<br/>                 Limite amont : GC 40.1<br/>                 Limite aval : GC 40.3</p>  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |    |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(Source archives Soulom 1981)</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Coupe Rf6</b></p> </div>  <p style="text-align: center;">(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)</p> |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
|                               |  <p>(Source : coupe type – DOE CAZAL 2016)</p>  |   |
| <b>Description du tronçon</b> | <b>Description générale</b>   | Ce tronçon est un mur béton de soutènement forment une protection de berges.  |
|                               | <b>Talus côté gave</b>  | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,20 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.<br>Une plinthe béton est présente en partie amont du tronçon.  |
|                               | <b>Crête</b>  | La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur. Un garde-corps métallique est fixé en crête au droit du parking.   |
|                               | <b>Fondation</b>  | D'après le profil type extrait des archives communales de Soulom, la fondation du mur ferait 0,70 m de hauteur et 1 m de largeur.<br>Une bèche (2 m de largeur x 1,5 m profondeur) de protection contre l'affouillement a été coulée lors des travaux d'urgence post-crues. |
| <b>Ouvrage traversant</b>     | En amont de linéaire, une buse de rejet, sans clapet anti-retour, traverse le mur béton en pied d'ouvrage.  |   |
| <b>Historique</b>             | Cet ouvrage dans sa configuration actuelle a été construit en 1981.<br>Lors des travaux post-crue 2013, la semelle de protection a été ajoutée car les fondations de l'ouvrage avaient été affouillées. |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | Le tronçon GC 40.2 est en bon état apparent. Quelques traces d'impacts de blocs charriés ont été observées.   |   |

5.1.2.10 Tronçon GC 40.3

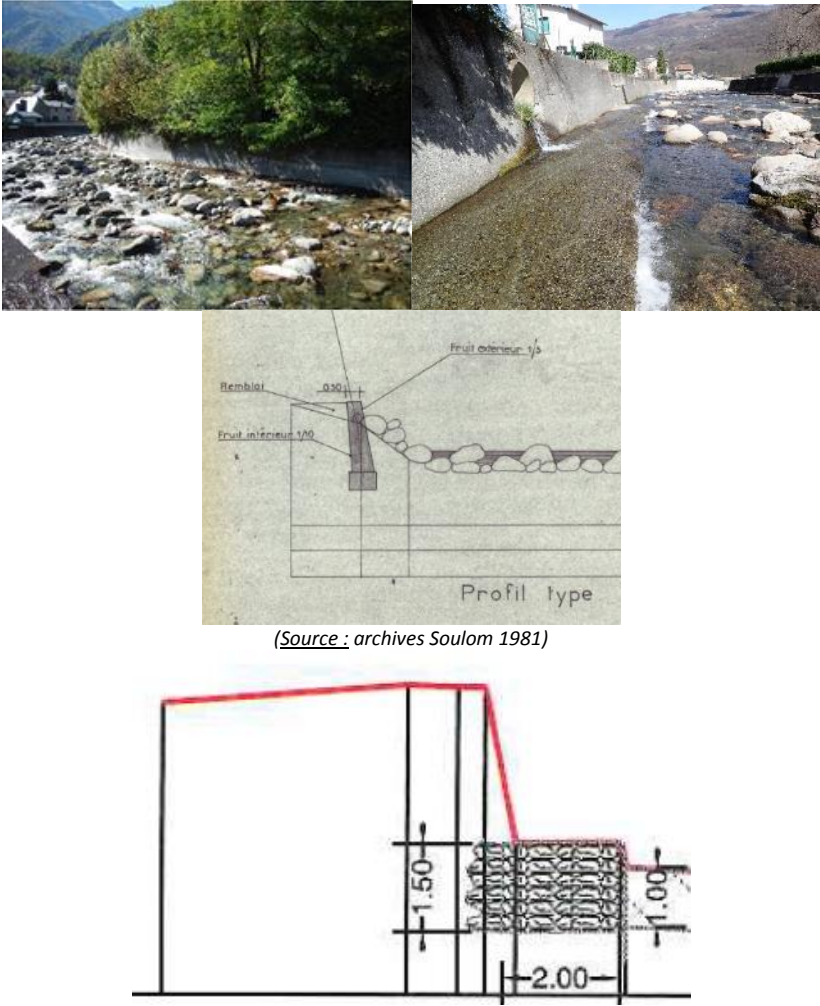
|   |   |
|---|---|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 57 m<br/>                 Limite amont : GC 40.2<br/>                 Limite aval : GC 40.4</p> |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       | <p>(Source : archives Souлом 1981)</p>  |




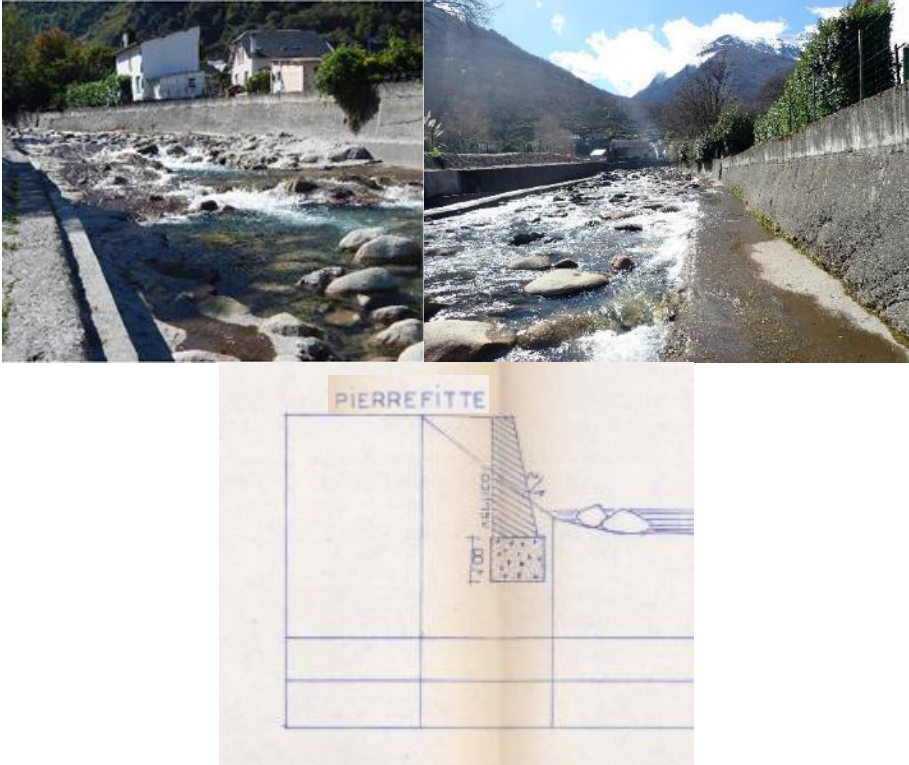
|                               |  | (Source : coupe type – DOE CAZAL 2016)  |
|-------------------------------|--|---|
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale   | Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une protection de berges.   |
|                               | Talus côté gave  | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,20 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.  |
|                               | Crête  | La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur. Des madriers bois ont été fixés en crête d'ouvrage.  |
|                               | Talus côté val   | L'ouvrage en béton ne présente pas de surélévation par rapport au terrain naturel. Seuls les madriers bois sont en surélévation de 0,75 à 1,0 m.  |
|                               | Fondation  | D'après le profil type extrait des archives communales de Soulom, la fondation du mur ferait 0,70 m de hauteur et 1 m de largeur.<br>Une bèche (2 m de largeur x 1,5 m profondeur) de protection contre l'affouillement a été coulée lors des travaux d'urgence post-crués.<br>Les madriers bois sont ancrés par des poteaux au mur (23,5 cm de profondeur) avec des tiges filetées en acier zinguée ( Ø 16mm) avec un scellement chimique. |
| <b>Ouvrage traversant</b>     | En amont de linéaire, une buse de rejet d'eaux pluviales sans clapet anti-retour traverse le mur béton   |   |
| <b>Historique</b>             | Cet ouvrage dans sa configuration actuelle a été construit en 1981.<br>Lors des travaux post-crue 2013, la semelle de protection a été ajoutée car les fondations de l'ouvrage avaient été affouillées.<br>En 2016-2017, une rehausse en bois d'une hauteur d'environ 0,75 m a été ajoutée. Elle a un rôle de pare-vagues pour les crues fréquentes. |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | L'état général de la protection est correct avec toutefois des désordres à surveiller : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une fissure verticale dans le mur béton,</li> <li>- 2 affouillements sous le sabot en enrochements bétonnés sur la partie aval de l'ouvrage.</li> </ul>   |   |

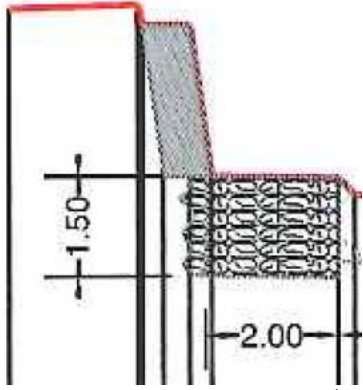
#### 5.1.2.11 Tronçon GC 40.4

|  |   |
|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 105 m</p> <p><u>Limite amont</u> : GC 40.3</p> <p><u>Limite aval</u> : GC 46</p> |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |


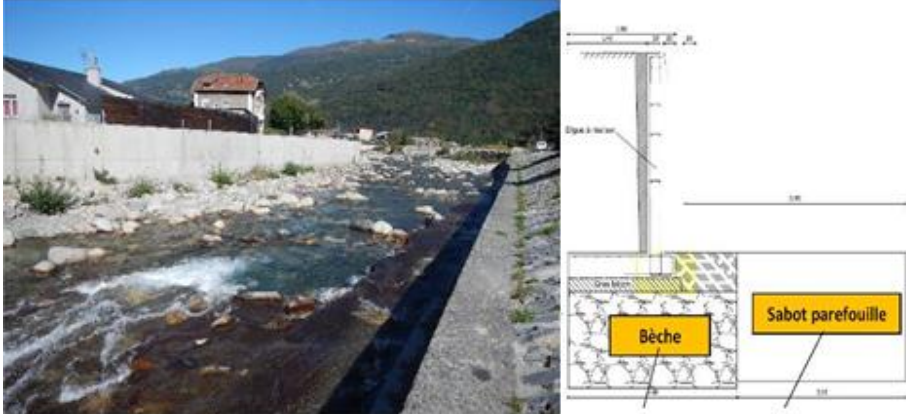
|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p> |  <p>(Source : archives Soulom 1981)</p> <p>(Source : coupe type – DOE CAZAL 2016)</p>                                    |   |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>          | <p>Description générale</p>   | <p>Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une protection de berges.</p>  |
| <p>Talus côté gave</p>                        |   | <p>Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,20 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.</p>   |
| <p>Crête</p>                                  |   | <p>La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur.</p>   |
| <p>Fondation</p>                              |   | <p>D'après le profil type extrait des archives communales de Soulom, la fondation du mur ferait 0,70 m de hauteur et 1 m de largeur. Une bèche (2 m de largeur x 1,5 m profondeur) de protection contre l'affouillement a été coulée lors des travaux d'urgence post-crue 2013.</p> |
| <p><b>Ouvrage traversant</b></p>              | <p>Un ouvrage hydraulique traversant de diamètre 1000 mm est présent à l'aval du linéaire. Aucun dispositif d'obturation n'a été repéré. Il s'agit d'un des rejets du canal d'irrigation.</p>               |   |
| <p><b>Historique</b></p>                      | <p>Cet ouvrage dans sa configuration actuelle a été construit en 1981. Lors des travaux post-crue 2013, la semelle de protection a été ajoutée car les fondations de l'ouvrage avaient été affouillées.</p> |   |
| <p><b>Etat et remarques</b></p>               | <p>Le tronçon GC 40.4 est en bon état apparent. Toutefois, dans l'intrados de la courbe, au droit d'un ancien seuil, nous avons observé la semelle béton en limite d'affouillement.</p>                     |   |

5.1.2.12 Tronçon GC 46

|  |  |
|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p>Longueur : 88 m<br/>Limite amont : GC 40.4<br/>Limite aval : GC 45bis</p>   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |  <p>(Source archives Pierrefitte-Nestalas 1977)</p> |


|                                      |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
|                                      |  <p>(Source : coupe type – DOE CAZAL 2016)</p>   |   |
| <p><b>Description du tronçon</b></p> | <p>Description générale</p>  | <p>Cet ouvrage est un mur de soutènement en béton formant une digue.</p>  |
|                                      | <p>Talus côté gave</p>   | <p>Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,20 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.</p>   |
|                                      | <p>Crête</p>   | <p>La crête de l'ouvrage fait 0,3 m de largeur (largeur d'ouvrage de 0,5 au niveau du terrain naturel).</p>   |
|                                      | <p>Talus côté val</p>  | <p>Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1,70 mètre.</p>   |
|                                      | <p>Fondation</p>   | <p>D'après le profil type extrait des archives communales, la fondation du mur ferait 1 m de hauteur et 0,70 m de largeur.<br/>Une bèche (2 m de largeur x 1,5 m profondeur) de protection contre l'affouillement a été coulée lors des travaux d'urgence post-crue 2013.</p> |
| <p><b>Ouvrages traversants</b></p>   | <p>Plusieurs ouvrages hydrauliques traversant sont présents sur le tronçon :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un exutoire rectangulaire non équipé de dispositif d'obturation,</li> <li>- 3 buses de rejet non équipées de clapets anti-retour.</li> </ul>   |   |
| <p><b>Historique</b></p>             | <p>D'après les plans extraits des archives, l'amont du linéaire (à droite du rejet du canal d'irrigation) a été construit en 1965.<br/>L'aval de l'ouvrage a été construit en 1977 et rehaussé de 0,50 m en 1981.<br/>Lors des travaux post-crue 2013, la semelle de protection a été ajoutée car les fondations de l'ouvrage avaient été affouillées.<br/>Lors de la première phase de travaux post-crue, les seuils sur ce tronçon ont été calés trop haut. Ils ont été abaissés dans un second temps.</p>   |   |
| <p><b>Etat et remarques</b></p>      | <p>L'état général de l'ouvrage est moyen :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plusieurs signes d'érosion ont été repérés : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Erosion de la semelle,</li> <li>o 2 affouillements / sous-cavements sous le sabot en enrochements bétonnés ;</li> </ul> </li> <li>- L'ouvrage béton est altéré en plusieurs points : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Plusieurs strates de béton sont apparentes sur l'ouvrage (rehaussements successifs) et leur mise en œuvre est imparfaite (aspérités et relief) ;</li> <li>o Les gravillons du béton sont apparents et le béton ne semble pas homogène ;</li> <li>o Ponctuellement, le béton du mur est dégradé.</li> </ul> </li> <li>- Une fissure verticale sur le mur béton se prolonge dans le sabot en enrochements bétonnés.</li> </ul> |   |

5.1.2.13 Tronçon GC 45bis

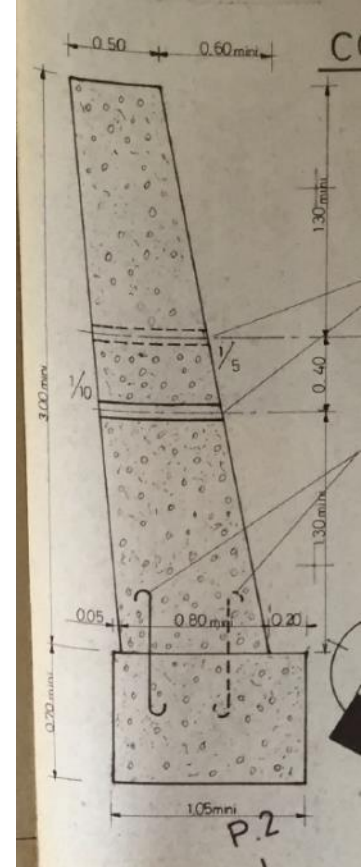
|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 110 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 46<br/> <u>Limite aval</u> : GC 45</p>   |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |  <p style="text-align: center;"><i>(Source : DOE Travaux urgents, RTM, 2015)</i></p>   |  |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale  | Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une digue.   |
|  | Talus côté gave   | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 3,10 m. La pente du talus est verticale.  |
|  | Crête   | La crête de l'ouvrage fait 0,3 m de largeur.   |
|  | Talus côté val  | Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1,70 mètre. |
| Fondation                                    | D'après le dossier des ouvrages exécutés remis par le RTM après la réalisation des travaux d'urgence post-crue 2013, le mur béton est sur une bèche en enrochements bétonnés d'une hauteur de 1,50 m et d'une largeur de 3 m. Cette bèche est protégée par un sabot parafouille en enrochements libres. |  |
| <b>Ouvrages traversants</b>                  | 4 buses de rejet sans clapets anti-retour traversent le mur béton.  |  |
| <b>Historique</b>                            | Ce tronçon et le tronçon suivant (GC 45) ont été construits en 1985. Lors des crues de 2012 et 2013, les fondations des ouvrages ont été affouillées et la digue a cédé le 8 novembre 2013.   |  |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
|                                 |  <p style="text-align: center;"><b>Digue existantes GC45 endommagée suite aux crues<br/>2012 et 2013 qui a fini par céder le 8 novembre 2013</b></p> <p>Des travaux d'urgence ont été exécutés afin de réparer la brèche créée par la rupture de la digue.<br/>Lors des travaux post-crue 2013, la digue a été refaite à neuf plus en retrait afin d'augmenter la section hydraulique du gave de Cauterets.</p> |
| <p><b>Etat et remarques</b></p> | <p>Le tronçon GC 45bis est globalement en bon état apparent, malgré un début de déstructuration de la semelle en enrochements bétonnés sur la partie amont (en extrados).</p>   |

5.1.2.14 Tronçon GC 45

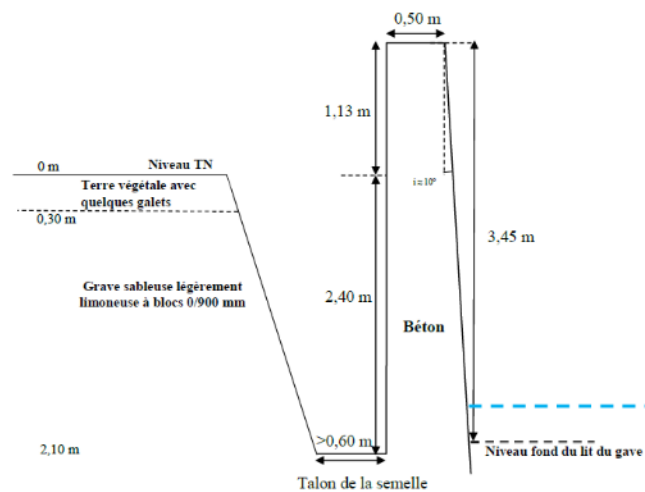
|   |   |
|---|---|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p><u>Longueur</u> : 72 m<br/><u>Limite amont</u> : GC 45bis<br/><u>Limite aval</u> : GC 47.1</p> |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |               |

Coupe -type du tronçon et photo



(Source : archives Pierrefitte-Nestalas 1987)

Coupe Rf4



(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)

Description du tronçon


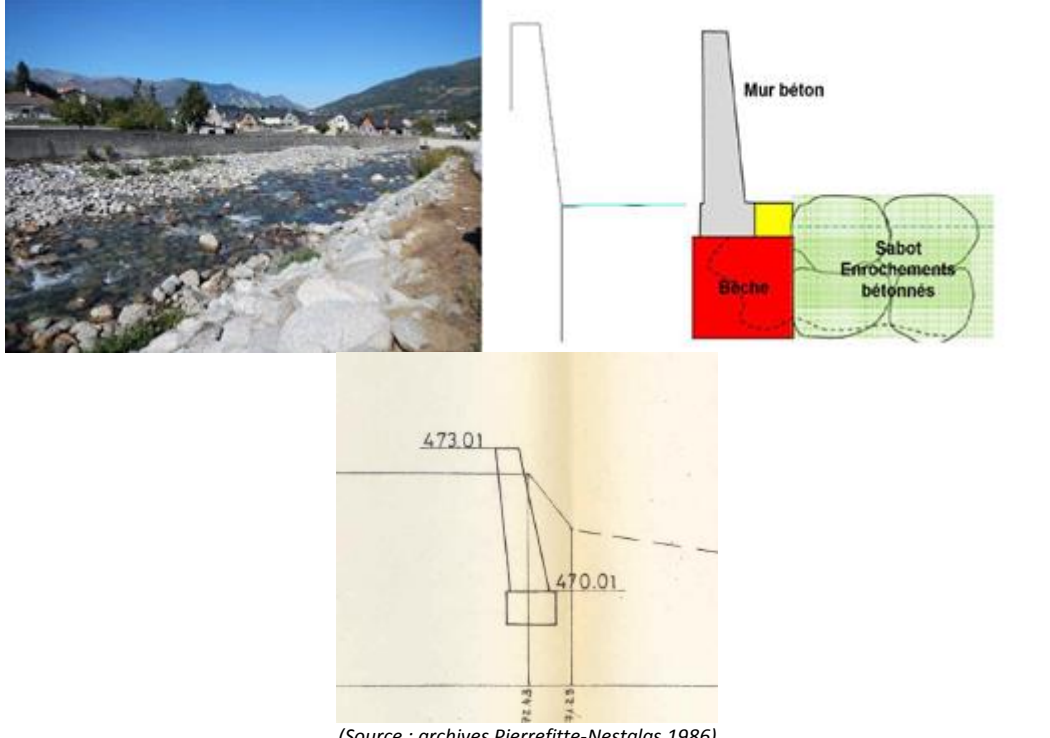
Description générale

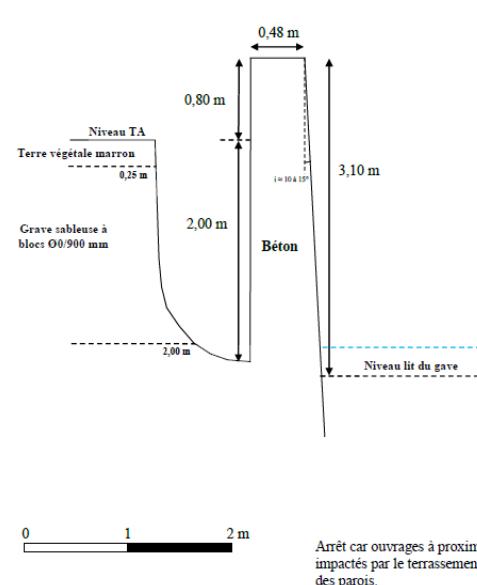
Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une digue.

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
|                             | Talus côté gave   | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 3 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.  |
|                             | Crête   | La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur.   |
|                             | Talus côté val  | Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1 mètre.  |
|                             | Fondation   | D'après les plans extraits des archives communales de Pierrefitte-Nestalas, la fondation du mur est un bloc en béton d'une hauteur de 0,70 m minimum et d'une largeur de 1 m minimum.<br>Lors des travaux d'urgences post-crue 2013, un sabot para fouille en enrochements bétonnés a été réalisé. |
| <b>Ouvrages traversants</b> | 3 buses de rejet sans clapets anti-retour traversent le mur béton.  |  |
| <b>Historique</b>           | Ce tronçon a été construit en 1987.<br>Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, un sabot para fouille en enrochements bétonnés a été réalisé.   |  |
| <b>Etat et remarques</b>    | L'état général de l'ouvrage est moyen : <ul style="list-style-type: none"> <li>- La végétation s'installe dans de nombreuses anfractuosités : fissures, trous et barbacanes,</li> <li>- Une fissure verticale est repérée en milieu de linéaire.</li> </ul> |  |



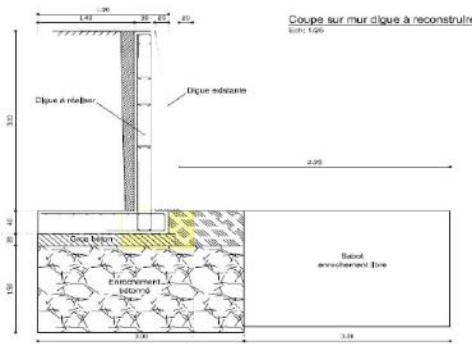


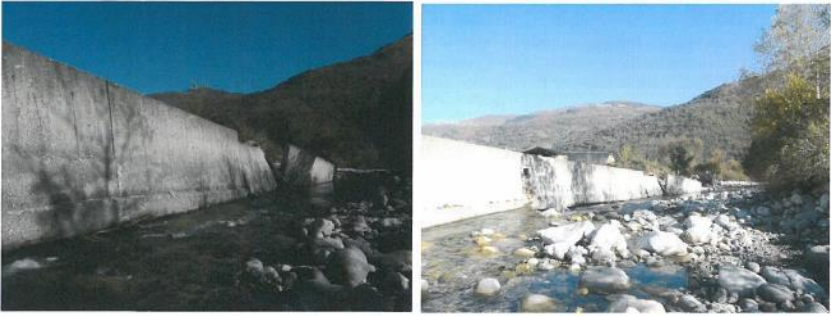

5.1.2.15 Tronçon GC 47.1

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 93 m<br/>                 Limite amont : GC 45<br/>                 Limite aval : GC 47.2</p>                              |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |    |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |  <p>(Source : archives Pierrefitte-Nestalas 1986)</p> |


|                               |  |   |
|-------------------------------|--|---|
|                               | <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Coupe Rf3</div>  <p style="text-align: center;">(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)</p> |   |
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale   | Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une digue.  |
|                               | Talus côté gave  | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 3 m. La pente du talus est de 0,2H/1V.   |
|                               | Crête  | La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur.  |
|                               | Talus côté val   | Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1 mètre. |
| Fondation                     | D'après les plans extraits des archives communales de Pierrefitte-Nestalas, la fondation du mur est un bloc en béton d'une hauteur de 0,70 m minimum et d'une largeur de 1,10 m.<br>Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, un sabot parafouille en enrochements bétonnés a été réalisé.              |   |
| <b>Historique</b>             | Ce tronçon a été construit en 1986. Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, un sabot parafouille en enrochements bétonnés a été réalisé.  |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | L'état général apparent du tronçon GC 47.1 est satisfaisant malgré l'état de surface du béton qui n'est pas optimal (gravillons apparents, béton non homogène, irrégularité de l'état de surface).   |   |

5.1.2.16 Tronçon GC 47.2

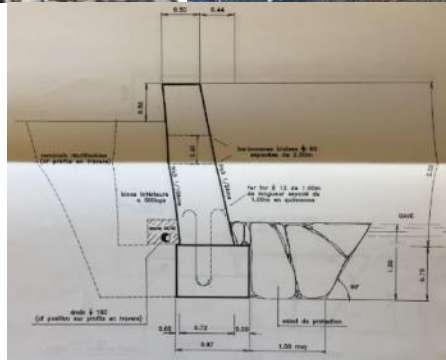
|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 74 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 47.1<br/> <u>Limite aval</u> : GC 48.1</p>   |   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |   |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |    |  <p>(Source : DOE travaux urgents, RTM, 2015)</p>  |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une digue.  |
|  | Talus côté gave  | Le talus côté gave est un mur béton vertical d'une hauteur de 3,10 m.   |
|  | Crête  | La crête de l'ouvrage fait 0,3 m de largeur.  |
|  | Talus côté val   | Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1 mètre. |
| Fondation                                    | D'après le dossier des ouvrages exécutés remis par le RTM après la réalisation des travaux d'urgence post-crue 2013, le mur béton est sur une bèche en enrochements bétonnés d'une hauteur de 1,50 m et d'une largeur de 3 m. Cette bèche est protégée par un sabot para fouille en enrochements libres. |   |
| <b>Ouvrages traversant</b>                   | Un ouvrage hydraulique muni d'une vanne murale traverse le mur béton en amont de linéaire.   |   |
| <b>Historique</b>                            | Ce tronçon et le tronçon amont (GC 47.1) ont été construits en 1986. Lors de la crue de 2012, le lit du gave s'est fortement incisé dans cette zone et les fondations des ouvrages n'étaient plus soutenues ce qui a entraîné leur rupture.  |   |

|                          |   |
|--------------------------|---|
|                          |  <p style="text-align: center;"><i>Tronçon post-crue 2013 (rapport d'inspection DREAL post crue 2012 et 2013)</i></p> <p>Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, la digue a été reconstruite.</p>  <p style="text-align: center;"><i>Travaux de reconstruction du tronçon (DOE travaux urgents, RTM, 2015)</i></p> |
| <b>Etat et remarques</b> | L'ouvrage est en bon état apparent malgré une fissure à l'aval du linéaire à la transition avec le tronçon GC 48.1.   |

5.1.2.17 Tronçon GC 48.1

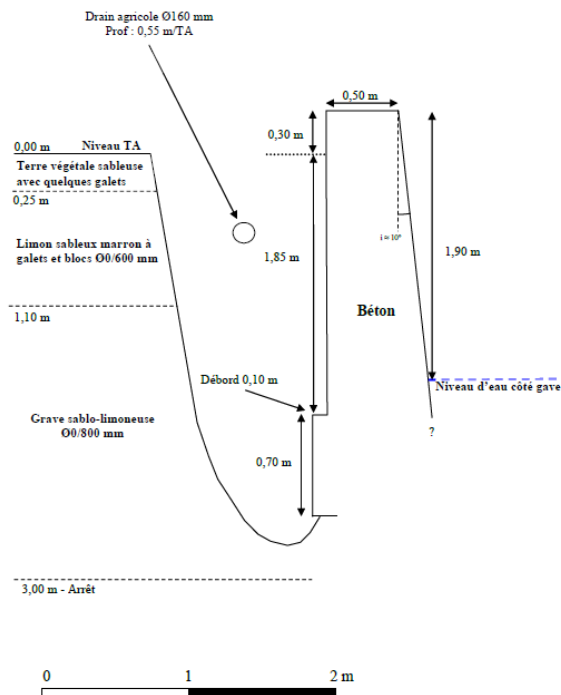
|  |   |
|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 165 m</p> <p><u>Limite amont</u> : GC 47.2</p> <p><u>Limite aval</u> : GC 48.2</p> |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |                     |

Coupe -type du tronçon et photo



(Source : Archives Pierrefitte-Nestalas 1995)

**Coupe Rf2**





(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)

|                               |                      |  |
|-------------------------------|----------------------|--|
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale | Ce tronçon est un mur de soutènement en béton formant une digue.                               |
|                               | Talus côté gave      | Le talus côté gave est un mur béton d'une hauteur de 2,20 m. La pente du talus est de 0,2H/1V. |
|                               | Crête                | La crête de l'ouvrage fait 0,5 m de largeur.   |

|                          |   |   |
|--------------------------|---|---|
|                          | Talus côté val  | Le talus côté val de l'ouvrage béton est vertical. La surélévation par rapport au terrain naturel est variable entre 0,30 et 1 mètre.   |
|                          | Fondation   | D'après les plans extraits des archives communales de Pierrefitte-Nestalas, la fondation du mur est un bloc en béton d'une hauteur de 0,70 m minimum et d'une largeur de 1 m.<br>Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, une bêche et un sabot parafouille en enrochements ont été réalisés. |
| <b>Historique</b>        | Ce tronçon a été construit en 1995.<br>Lors des travaux d'urgence post-crue 2013, un sabot parafouille a été réalisé. |   |
| <b>Etat et remarques</b> | Le tronçon GC 48.1 est en bon état apparent malgré de la végétation présente dans les barbacanes.                     |   |



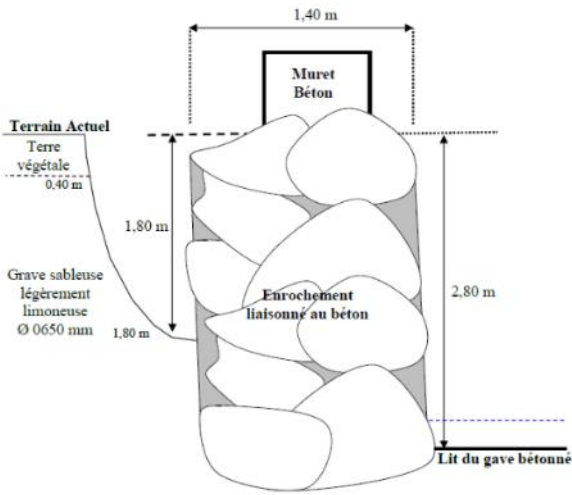
### 5.1.2.18 Tronçon GC 48.2

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p>Longueur : 64 m</p> <p>Limite amont : GC 48.1</p> <p>Limite aval : GC 48.3</p>    |   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |   |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |  |   |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est un mur maçonné de soutènement formant une protection de berge.   |
|  | Talus côté gave  | Le talus côté gave est un mur maçonné d'une hauteur d'environ 2,40 m. Il est surmonté, sur une partie du linéaire, par les murs de l'usine. La pente est de 0,15H/1V. |
|  | Fondation  | Sabot parafouille en enrochements bétonnés, largeur 2 m (coupe type RTM).   |

---

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Historique</b>        | Un sabot parafouille en enrochements bétonnés (largeur 2 m) a été réalisé pendant les travaux d'urgence 2013. |
| <b>Etat et remarques</b> | Ce tronçon est dans un état correct (malgré de la végétation éparses sur l'ouvrage).                          |

5.1.2.19 Tronçon GC 48.3

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p><u>Longueur</u> : 11 m<br/><u>Limite amont</u> : GC 48.2<br/><u>Limite aval</u> : GC 49.1.a</p>  |  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |   <p>(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)</p> |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p>   | <p>Ce tronçon est un mur de soutènement en enrochements bétonnés formant une protection de berges.</p>                                 |
| <p>Talus côté gave</p>                              |   | <p>Le talus côté gave est constitué d'enrochements bétonnés. La hauteur du talus est d'environ 2,10 m et la pente est de 0,15H/1V.</p> |
| <p>Fondation</p>                                    |   | <p>Sabot parafouille en enrochements bétonnés, largeur 2 m (coupe type RTM).</p>   |


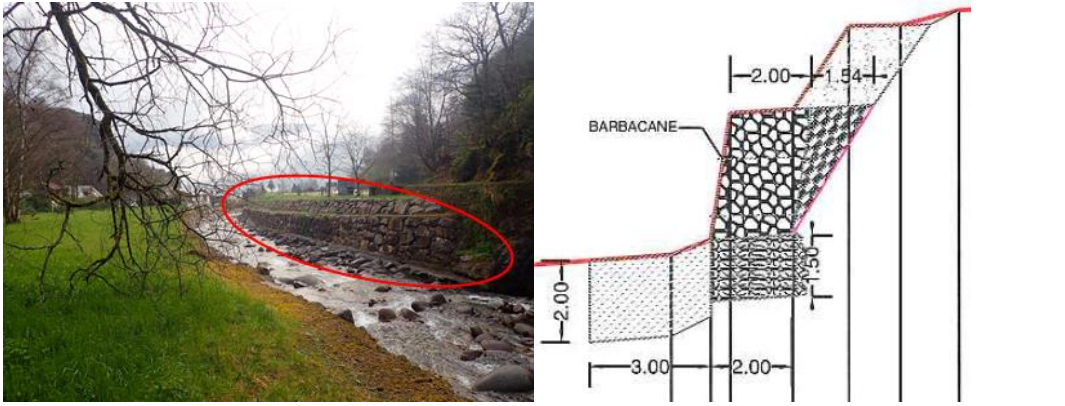



---

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Historique</b>        | Un sabot parafouille a été réalisé pendant les travaux d'urgence.                             |
| <b>Etat et remarques</b> | Ce tronçon est dans un état correct (malgré la présence de végétation éparses sur l'ouvrage). |



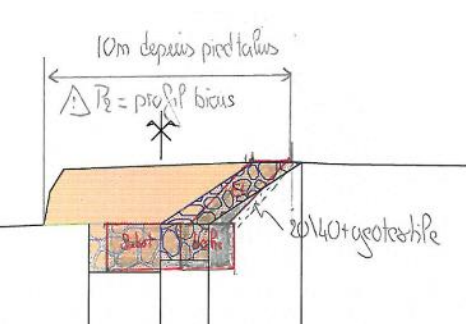
## 5.1.3 PRESENTATION DES OUVRAGES EN RIVE DROITE

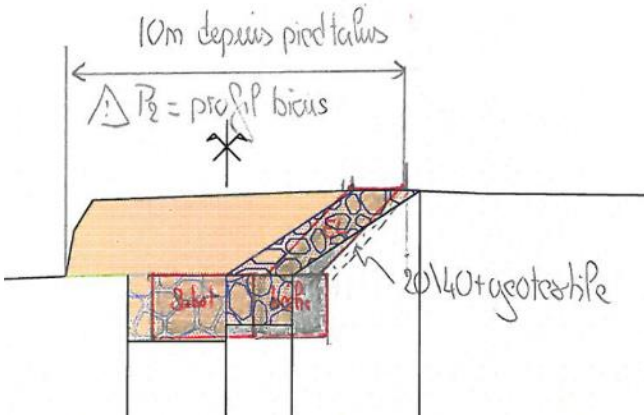
### 5.1.3.1 Tronçon GC 28

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 135 m<br/><u>Limite amont</u> : GC 27.2<br/><u>Limite aval</u> : GC 32</p>   |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |  <p style="text-align: right;"><i>Coupe type du tronçon GC 27.2 – DOE CAZAL 2016</i></p> |  |
| <b>Description du tronçon</b>                | <b>Description générale</b>   | <p>Ce tronçon est un mur de soutènement constituant une protection de berges formée par des enrochements bétonnés en partie inférieure surmontés par des enrochements libres légèrement en retrait.</p>  |
|  | <b>Talus côté gave</b>  | <p>Le talus est en 2 niveaux. En partie inférieure, le talus est constitué d'enrochements bétonnés d'une hauteur de 2,50 m. La pente du talus en partie inférieure est de 0,3H/1V. Le second niveau est légèrement en retrait formant ainsi une risberme bétonnée d'environ 1,30 m. La partie supérieure du talus est protégée par des enrochements libres sur une hauteur de 2 m. La pente de la partie supérieure est de 0,7H/1V. En partie aval, ces enrochements libres sont surmontés par le talus naturel d'une hauteur maximale d'environ 2 m et d'une pente proche du 1H/1V.</p> |
|  | <b>Crête</b>  | <p>La crête de l'ouvrage est le terrain naturel.</p>   |
|  | <b>Fondation</b>  | <p>Les enrochements sont posés sur une bèche en enrochements bétonnés de 2 m de hauteur et de 2 m de large. Pour les ouvrages GC 28 et GC 29.2, le lit étant déjà pavé avec de gros blocs (D&gt;2m), il a été choisi lors des travaux de ne pas effectuer de sabot parafouille afin de ne pas risquer de déstabiliser le pavage du lit existant.</p>   |



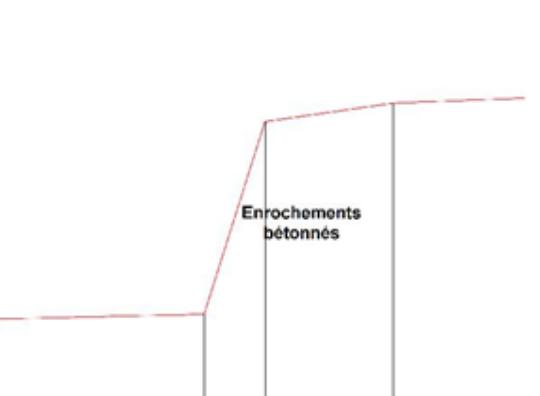
|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Ouvrages<br/>traversants</b> | A l'amont, 2 buses traversantes $\varnothing$ 400 mm de trop plein du canal d'amenée ont été repérées en partie supérieure de la protection.  |
| <b>Historique</b>               | <p>Lors des crues entre 2012 et 2014, la berge en enrochements libres a été entièrement détruite.</p>  <p><i>Photo post crue 2013 (source RTM)</i></p> <p>La section hydraulique dans cette zone était faible, elle a été élargie pendant les travaux d'urgence. La berge a été protégée par les enrochements bétonnés en partie inférieure et libres en partie supérieure.</p> |
| <b>Etat et<br/>remarques</b>    | <p>L'ouvrage GC 28 est en état moyen, particulièrement en partie inférieure :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- De nombreuses traces d'érosion ont été observées sur l'ensemble du linéaire : affouillements et sous-cavement sous la semelle béton ;</li><li>- Quelques signes d'altérations et de déstructuration du béton de la semelle en enrochements bétonnés ainsi que des fissurations.</li></ul>   |

### 5.1.3.2 Tronçon GC 32



|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 126 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 28<br/> <u>Limite aval</u> : GC34</p>   |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |    |   |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est un mur de soutènement en enrochements libres, formant une protection de berge, mis en œuvre sur un matériau drainant en 20/40 et un géotextile  |
|  | Talus côté gave  | La hauteur de la protection est de 2,5 m avec un fruit de 1H/1V. Sur la partie à l'aval, le parement est raidi pour se raccorder au tronçon GC 34 en enrochements bétonnés.  |
|  | Crête  | En amont du linéaire, la crête est le terrain naturel qui a été remblayé pendant les travaux d'urgence.<br>En aval, la crête est dans la continuité de la risberme bétonnée. Une clôture grillagée est fixée en crête. |
|  | Fondation  | Les enrochements sont posés sur une bèche en enrochements bétonnés de 2 m de hauteur et de 2 m de large. Cette bèche est protégée par un sabot parafouille en enrochement libre qui semble avoir disparu.              |
| <b>Historique</b>                            | <p>Avant 2012, ce tronçon était protégé par un mur en schiste. Les pierres n'étaient pas liaisonnées.<br/>Ce mur a été détruit lors des crues de 2012 et 2013 et remplacé par des enrochements libres.</p> |  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
|                          |  <p>Extrait du projet des travaux d'urgences du tronçon GC32 -RTM 2013</p> |
| <b>Etat et remarques</b> | Le tronçon est dans un état moyen avec quelques signes d'érosion de la semelle à surveiller.   |

### 5.1.3.3 Tronçon GC 34




|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 28 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 32<br/> <u>Limite aval</u> : GC 35.1 - Terrain naturel (Massif rocheux)</p>  |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |    |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |    |   |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est un mur de soutènement en enrochements bétonnés formant une protection de berges.  |
|  | Talus côté gave  | Le talus fait 2 m de hauteur. La pente du talus est de 0,3H/1V.  |
|  | Crête  | La crête est bétonnée et est dans la continuité de la crête du tronçon précédent. Une clôture grillagée est fixée en crête.  |
|  | Fondation  | Les enrochements sont posés sur une bèche en enrochements bétonnés de 2 m de hauteur et de 2 m de large. Cette bèche était protégée par un sabot parafouille en enrochements libres qui a disparu. |
| <b>Historique</b>                            | <p>Avant 2012, ce tronçon était protégé par un mur en schiste. Les pierres n'étaient pas liaisonnées.<br/>         Ce mur a été détruit lors des crues entre 2012 et 2014 et remplacé par des enrochements bétonnés.</p> |  |
| <b>Etat et remarques</b>                     | L'ouvrage GC 34 est dans un état satisfaisant.   |  |

#### 5.1.3.4 Tronçon GC 35.1

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p><u>Longueur</u> : 23 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 34<br/> <u>Limite aval</u> : GC 35.2</p> |   |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |                |   |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |               |   |
| <b>Description du tronçon</b>                | Description générale   | Ce tronçon est un massif rocheux depuis lequel une partie des eaux du canal DFCI se rejette dans le gave. |
| <b>Historique</b>                            | RAS  |   |
| <b>Etat et remarques</b>                     | Protection naturelle   |   |

#### 5.1.3.5 Tronçon GC 35.2



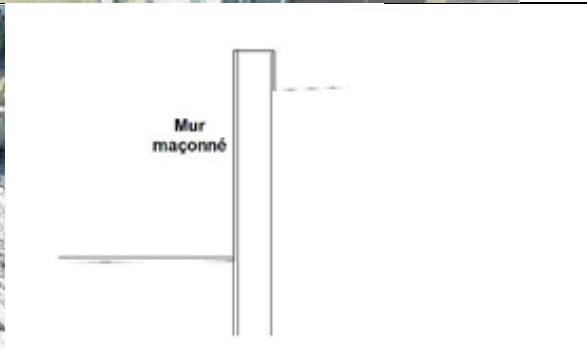
|                                |  |  |
|--------------------------------|--|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b> | <p><u>Longueur</u> : 19 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 35.1<br/> <u>Limite aval</u> : GC 35.3</p> |  |
|--------------------------------|--|--|

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |   |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |                                        |   |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p> <p>Talus côté gave</p> <p>Crête</p> <p>Talus côté val</p>                                     | <p>Ce tronçon est un mur poids en béton formant une digue.</p> <p>Le talus est vertical, d'une hauteur d'environ 3 m.</p> <p>La crête du mur fait 0,5 m de large.</p> <p>Non inspecté</p>   |
|   | <p>Fondation</p>  | <p>Lors des travaux d'urgence post-crués, une plinthe en béton banché a été coulée.</p>  <p><i>Reprises-en sous-œuvre (béton banché) du tronçon GC 35.2 – DOE RTM 2015</i></p> <p>Les photos et les comptes rendu de chantier montrent la réalisation d'une semelle en enrochements bétonnés mais la géométrie n'est pas précisée explicitement, vraisemblablement 2*3 m de manière analogue aux autres ouvrages.</p> |
| <p><b>Ouvrage traversant</b></p>                    | <p>Un rejet traversant est présent sur l'aval en partie supérieure du mur. Il n'est pas muni d'un clapet anti-retour.</p> |   |
| <p><b>Historique</b></p>                            | <p>Historique non connue</p>  |   |





|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Etat et remarques</b> | L'ouvrage est dans un bon état général apparent malgré une fissure dans le béton du mur.<br>Les strates des différents bétonnages sont apparentes et la végétation commence à recouvrir la crête de digue. |
|--------------------------|--|

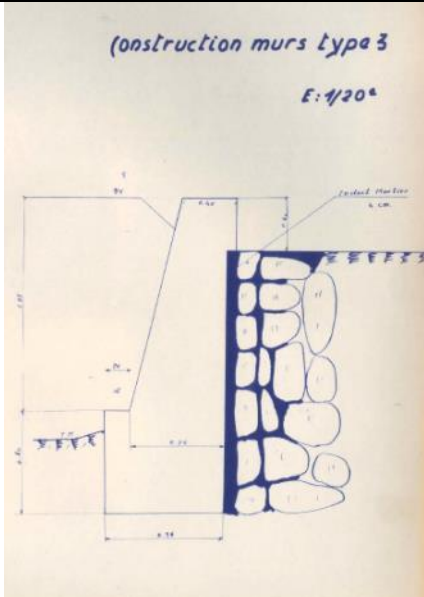
### 5.1.3.6 Tronçon GC 35.3

|  |  |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
|--|--|--|--|-----------------|--|-------|--|----------------|--------------|-----------|-------------------------------------|--|
| <b>Délimitation du tronçon</b>               | <p>Longueur : 43 m<br/>                 Limite amont : GC 35.2<br/>                 Limite aval : Pont de Soulom</p>   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| <b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b> |   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| <b>Coupe -type du tronçon et photo</b>       |   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| <b>Description du tronçon</b>                | <table border="1"> <tr> <td>Description générale</td> <td>Ce tronçon est un mur maçonné formant une digue.</td> </tr> <tr> <td>Talus côté gave</td> <td>Le talus est vertical, d'une hauteur de 3 m. Une plinthe en béton banché est présente en aval de linéaire.</td> </tr> <tr> <td>Crête</td> <td>La crête du mur fait 0,5 m de large. Une clôture grillagée est fixée en crête d'ouvrage.</td> </tr> <tr> <td>Talus côté val</td> <td>Non inspecté</td> </tr> <tr> <td>Fondation</td> <td>La fondation est une semelle béton.</td> </tr> </table> | Description générale   | Ce tronçon est un mur maçonné formant une digue. | Talus côté gave | Le talus est vertical, d'une hauteur de 3 m. Une plinthe en béton banché est présente en aval de linéaire. | Crête | La crête du mur fait 0,5 m de large. Une clôture grillagée est fixée en crête d'ouvrage. | Talus côté val | Non inspecté | Fondation | La fondation est une semelle béton. |  |
| Description générale                         | Ce tronçon est un mur maçonné formant une digue.   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| Talus côté gave                              | Le talus est vertical, d'une hauteur de 3 m. Une plinthe en béton banché est présente en aval de linéaire.   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| Crête  | La crête du mur fait 0,5 m de large. Une clôture grillagée est fixée en crête d'ouvrage.   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| Talus côté val                               | Non inspecté   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| Fondation                                    | La fondation est une semelle béton.  |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| <b>Ouvrages traversants</b>                  | A l'aval du linéaire, 4 buses traversantes non équipées de clapets anti-retour ont été repérées.   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |
| <b>Historique</b>                            | Ce tronçon a été endommagé lors des crues de 2012, 2013 et 2014 et a été reconstruit à l'identique lors des travaux d'urgences sur un linéaire d'environ 20 m.   |  |  |                 |  |       |  |                |              |           |                                     |  |


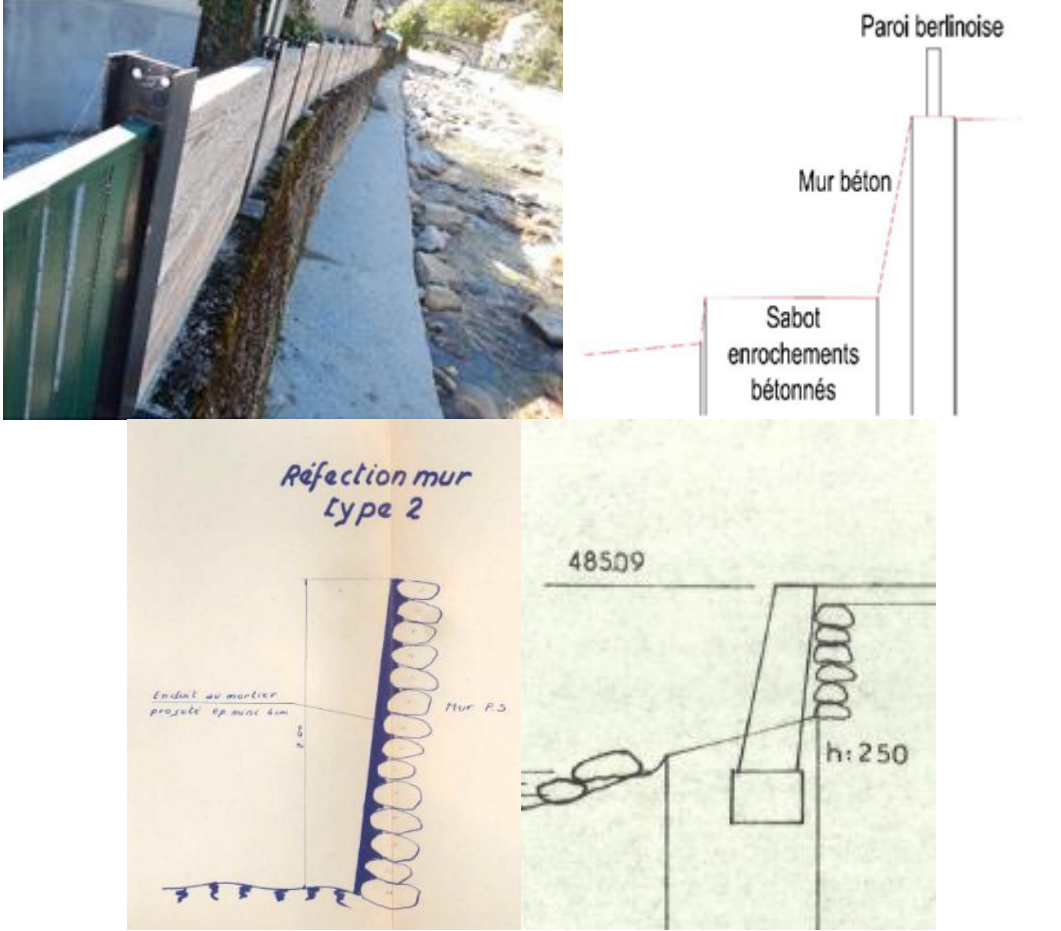
|                                 |   |
|---------------------------------|---|
|                                 |  <p>Reconstruction) du tronçon GC 35.3 – CR chantier RTM du 04/12/2013</p> <p>Les photos et les comptes rendu de chantier montrent la réalisation d'une semelle en enrochements bétonnés mais la géométrie n'est pas précisée explicitement, vraisemblablement 2*3 m de manière analogue aux autres ouvrages.</p> |
| <p><b>Etat et remarques</b></p> | <p>L'ouvrage est en bon état apparent malgré la végétation sur le parement maçonné.</p>   |

5.1.3.7 Tronçon GC 38.1

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 80 m<br/>         Limite amont : Pont de Soulom<br/>         Limite aval : GC 38.2</p> |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |                   |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |                  |



|                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
|                               |  <p>(Source : archive Pierrefitte-Nestalas &amp; Soulom 1965)</p> |  |
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale  | Ce tronçon est un mur poids béton formant une digue.   |
|                               | Talus côté gave   | Le talus est d'une hauteur d'environ 2,5 m et d'une pente de 0,2H/1V.  |
|                               | Crête   | La crête du mur fait 0,40 m de large.  |
|                               | Talus côté val  | Non inspecté   |
|                               | Fondation   | En partie aval du linéaire, la fondation est un bloc béton de 0,80 m de hauteur et de 1 m de large environ.<br>Depuis les travaux d'urgence post-crue 2013, une bèche en enrochements bétonnés (largeur 2 m) protège le pied de l'ouvrage contre l'affouillement (travaux RTM).<br>L'épaisseur de cette semelle est d'environ 1,5 m. |
| <b>Ouvrages traversants</b>   | 4 rejets traversants ont été repérés et ils ne sont pas munis de clapets anti-retours.  |  |
| <b>Historique</b>             | Construction en 1964.   |  |
| <b>Etat et remarques</b>      | L'ouvrage est dans un bon état apparent malgré la mousse qui recouvre tout le mur béton et une légère fissure de la semelle béton.                  |  |

5.1.3.8 Tronçon GC 38.2

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 40 m<br/>                 Limite amont : GC 38.1<br/>                 Limite aval : GC 38.3</p>   |  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |  <p>(Source : archive Pierrefitte-Nestalas &amp; Souлом 1965 - 1977)</p> |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p>   | <p>Ce tronçon est un mur poids en béton formant une protection de berge. Ce mur est surmonté de madriers bois.</p> |
| <p>Talus côté gave</p>                              | <p>Le talus est de hauteur d'environ 2,5 m et de pente de 0,2H/1V.</p>  |  |



|                           |                |   |
|---------------------------|----------------|---|
|                           | Crête          | La crête du mur fait 0,40 m de large. Le mur est surmonté de madriers bois d'une hauteur de 1 m et d'une largeur de crête de 0,1 m.   |
|                           | Talus côté val | La crête du mur béton étant au niveau du terrain naturel. Seuls les madriers bois sont en surélévation de 0,75 à 1,0 m.   |
|                           | Fondation      | La fondation de cet ouvrage est en béton d'une hauteur variant entre 0,9 et 1,15 m et d'une largeur de 0,7 m. Suite aux crues de 2012 et 2013, une bèche en enrochements bétonnés (largeur 2 m, profondeur 1.5 m environ) a été réalisée pour protéger le pied de l'ouvrage contre l'affouillement (travaux d'urgences RTM).                    |
| <b>Ouvrage traversant</b> |                | Une buse traversant le mur béton a été localisée. Elle n'est pas équipée d'un clapet anti-retour.   |
| <b>Historique</b>         |                | Avant 1965, un mur en pierre sèche protégeait ce tronçon dans sa partie amont. Il a été recouvert de mortier béton en 1965.<br>En 1977, un mur poids béton a été construit afin de protéger l'ensemble du tronçon.<br>Lors des travaux post crue 2013, une semelle para fouille a été coulée.<br>En 2016-2017, les madriers bois ont été posés. |
| <b>Etat et remarques</b>  |                | L'état général apparent est bon.  |

5.1.3.9 Tronçon GC 38.3

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 172 m<br/>                 Limite amont : GC 38.2<br/>                 Limite aval : GC 39</p>   |  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |    |  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |  <p style="text-align: center;"><i>Vue crête vers l'amont (à gauche) et vers l'aval (à droite)</i></p>  |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p>  | <p>Ce tronçon est un mur de soutènement en béton avec un parapet en retrait.</p> |
| <p>Talus côté gave</p>                              | <p>Le talus est un mur en béton d'une hauteur de 1,7 à 2,4 m. La pente est de 0,2H/1V.</p>   |  |
| <p>Crête</p>  | <p>Sur le haut de berge constitué d'enrochements bétonnés sur une largeur de 4 à 5 m, un parapet routier maçonné est présent en retrait (2 à 4 m) et fait environ 1,10 m de hauteur.<br/>                 Des garde corps sont présents en haut de berge sur la partie amont du tronçon.</p> |  |
| <p>Fondation</p>                                    | <p>La fondation de cet ouvrage est en béton d'une hauteur variant entre 0,9 et 1,15 m et d'une largeur de 0,7 m.</p>   |  |

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
|                           |  | Suite aux crues de 2012 et 2013, une bèche en enrochements bétonnés (largeur 2 m, profondeur 1.5 m environ) a été réalisée pour protéger le pied de l'ouvrage contre l'affouillement (travaux d'urgences RTM). |
| <b>Ouvrage traversant</b> | Une buse, sans clapet anti-retour, traverse le mur béton en amont de linéaire.   |  |
| <b>Historique</b>         | <p>En 1977, un mur poids béton avait été construit sur ce tronçon.<br/>Lors des crues de 2012 et 2013, la crête et le talus de l'ouvrage avaient été fortement endommagés (cf photos ci-dessous), et des embâcles s'y sont formé en extradados du lit mineur.</p>  <p>Photos du GC 38.3 le 19/06/2013 (Source M Alfaro)</p> <p>Lors des travaux post crue, une semelle parafouille a été coulée.<br/>En 2016-2017, le parapet routier a été construit.</p> |  |
| <b>Etat et remarques</b>  | <p>Situé en extradados puis en intrados, le tronçon GC 38.3 est soumis à de fortes sollicitations. L'état de la fondation du mur en témoigne :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plusieurs signes d'érosions sont présents sur le linéaire : affouillement, sous-cavement, incision du lit, dégradation de la semelle béton ;</li> <li>- Une fissure dans la semelle béton.</li> </ul>  |  |


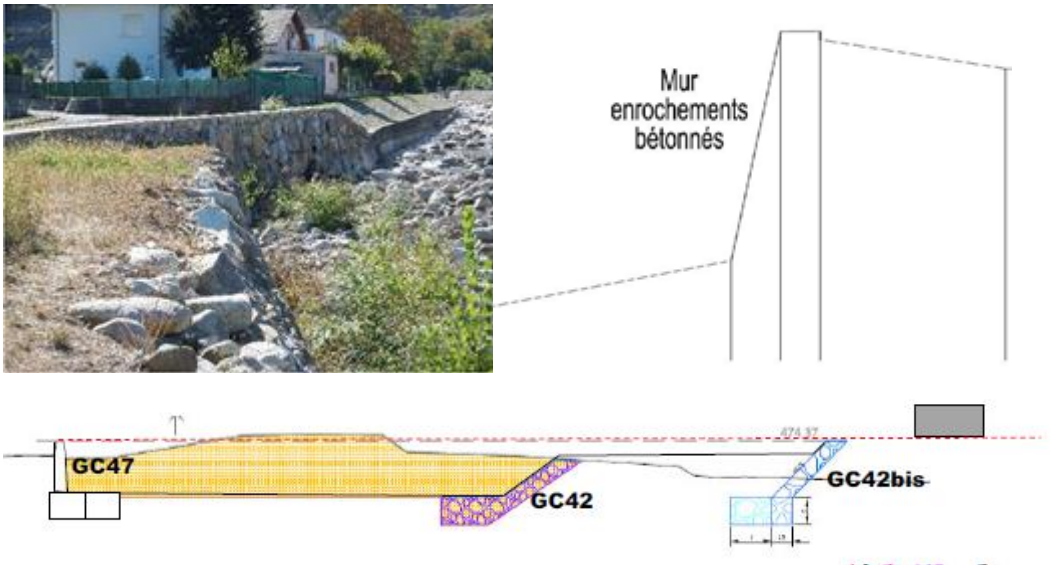
5.1.3.10 Tronçon GC 39

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p><u>Longueur</u> : 130 m<br/> <u>Limite amont</u> : GC 38.3<br/> <u>Limite aval</u> : GC 42bis.1</p>   |  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |    |  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |  <p style="text-align: right;"><i>(Source : Archives Départementales 65)</i></p>  |  |
| <p><b>Description du tronçon</b></p>                | <p>Description générale</p>  | <p>Ce tronçon est une protection de berge constituée un perré maçonné sur un mur de soutènement béton.</p>   |
| <p>Talus côté gave</p>                              |  | <p>Le talus est un mur de soutènement vertical en partie basse et un perré maçonné en partie supérieure. La hauteur totale de l'ouvrage varie entre 2,8 m et 3,5 m</p>   |
| <p>Crête</p>  |  | <p>La crête de l'ouvrage est une bande enherbée</p>  |
| <p>Fondation</p>                                    |  | <p>La fondation est un bloc béton de 0,60 m de profondeur et 0,80 m de hauteur.<br/>         Une semelle parafouille et une plinthe en béton banché (enrochements bétonnés 2 m largeurs x 1,5 m profondeur) ont été réalisés lors des travaux d'urgence post-crue 2013</p> |
| <p><b>Historique</b></p>                            | <p>Ce linéaire a été construit en 1968.<br/>         L'aval du linéaire a été partiellement détruit lors des crues de 2012 et 2013. Il a été reconstruit de façon à réaliser une transition progressive avec le tronçon suivant.</p> |  |





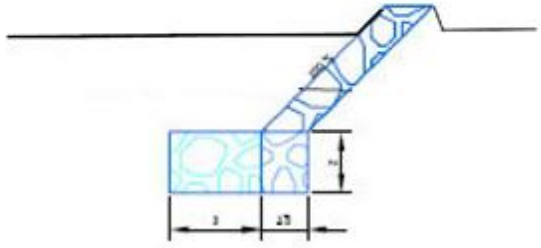
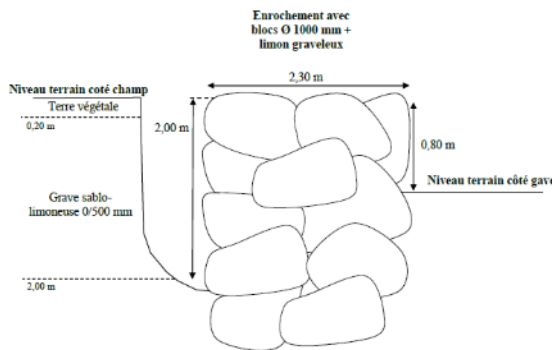
|                                 |  |
|---------------------------------|--|
|                                 |  <p style="text-align: center;"><i>Travaux de confortement du GC 39 (2014)</i></p>   |
| <p><b>Etat et remarques</b></p> | <p>L'état général du tronçon GC 39 est satisfaisant, malgré :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une érosion marquée de la semelle béton en plusieurs endroits ;</li> <li>- Une fissure sur le mur de soutènement béton, en milieu de linéaire.</li> </ul> |

5.1.3.11 Tronçon GC 42bis.1

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 70 m<br/>                 Limite amont : GC 39<br/>                 Limite aval : GC 42bis.2</p>      |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |                                  |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       |  <p>(Source : DOE RTM 2015)</p> |

|                               |   |  |
|-------------------------------|---|--|
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale  | Ce tronçon est un mur de soutènement en enrochement bétonnés formant une digue.  |
|                               | Talus côté gave   | Le talus est de 2,90 m de hauteur et de pente 0,2H/1V. En amont, le parement est totalement visible mais il est majoritairement enterré en aval, avec seulement 0,45 m de hauteur visible.                             |
|                               | Crête   | La crête de l'ouvrage est une dalle béton de propreté d'une largeur de 0,50 m.   |
|                               | Talus côté val  | Revanche faible côté zone protégée, ce tronçon s'apparente à une protection de berge.  |
|                               | Fondation   | Le mur de soutènement est posé sur une bèche en enrochements cyclopéens de 2 m de largeur par 1,5 m de hauteur. Cette bèche est protégée par des enrochements bétonnés d'une largeur de 3 m et d'une hauteur de 1,5 m. |
| <b>Ouvrages traversants</b>   | 2 ouvrages traversant sont présents en amont de linéaire. Ils ne semblent pas équipés de clapets anti-retours.  |  |
| <b>Historique</b>             | Avant la crue de 2013, ce tronçon n'était pas protégé. Lors de la crue de juin 2013, la berge a été érodée sur plusieurs mètres. La protection actuelle a été construite contre cette berge érodée.   |  |
| <b>Etat et remarques</b>      | Ce tronçon est majoritairement enterré. Il constitue le mur de protection des habitations contre la mobilité du gave en cas de rupture de la protection de berge fusible en enrochement (tronçon GC 42.1 et 42.2).<br>La partie visible de l'ouvrage est en bon état. |  |

5.1.3.12 Tronçon GC 42bis.2

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Délimitation du tronçon</b></p>               | <p>Longueur : 53 m<br/>                 Limite amont : GC 42bis.1<br/>                 Limite aval : Terrain naturel</p>  |
| <p><b>Localisation du tronçon (vue en plan)</b></p> |   |
| <p><b>Coupe -type du tronçon et photo</b></p>       | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">(Source : DOE RTM 2015)</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>Coupe Rf11</b></p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>Enrochement avec blocs Ø 1000 mm + limon graveleux</p>  <p style="font-size: small;">Niveau terrain coté champ<br/>                 Terre végétale 0,20 m<br/>                 Grave sablo-limoneuse 0/500 mm 2,00 m<br/>                 1,00 m<br/>                 Niveau terrain coté gavi</p> <p style="font-size: small;">0 1 2 m</p> <p style="font-size: x-small;">Arrêt du sondage à 1,8 m sur de très gros blocs – Nécessité d’ouvrir sur une emprise trop importante.</p> <p>(Source : Investigations géotechniques, GEOTEC, 2020)</p> </div> |

|                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|
| <b>Description du tronçon</b> | Description générale  | Mur de soutènement en enrochement bétonnés formant une protection de berges.  |
|                               | Talus côté gave   | Le talus est de 2,90 m de hauteur et de pente 0,2H/1V. L'ouvrage est majoritairement enterré et seulement 0,7 m du mur est visible.   |
|                               | Crête   | La crête de l'ouvrage est constituée des enrochements composants le talus.  |
|                               | Talus côté val  | Revanche faible côté zone protégée, ce tronçon s'apparente à une protection de berge.   |
|                               | Fondation   | Le mur de soutènement est posé sur une bèche en enrochements cyclopéens de 2 m par 1,5 m de hauteur. Cette bèche est protégée par des enrochements bétonnés d'une largeur de 3 m et d'une hauteur de 1,5 m. |
| <b>Historique</b>             | Avant la crue de 2013, ce tronçon n'était pas protégé. Lors de la crue de juin 2013, la berge a été érodée sur plusieurs mètres. La protection actuelle a été construite contre cette berge érodée.   |   |
| <b>Etat et remarques</b>      | Ce tronçon est majoritairement enterré. Il constitue le mur de protection des habitations contre la mobilité du gave en cas de rupture de la protection de berge fusible en enrochement (tronçon GC 42.1 et 42.2).<br>Le tronçon est protégé par des tronçons fusibles à minima jusqu'à un événement type 2012 (120 m <sup>3</sup> /s), pour des crues inférieures cet ouvrage n'est donc pas sollicité.<br>La partie visible de l'ouvrage est en bon état. |   |

## 5.1.4 OUVRAGES SINGULIERS

### 5.1.4.1 Prise d'eau du canal des moulins en rive gauche du seuil Berty

Une prise d'eau pour le canal des moulins sont présentes en rive gauche du seuil Berty. Cet ouvrage est constitué de :

- Une prise d'eau vannée pour l'alimentation du canal des moulins ;
- ;
- Un déversoir latéral de réglage, de retour à la rivière du trop plein éventuel ;
- Un module à masque.

La SHEM a mis à disposition les plans historiques de l'ouvrage et des plans plus récents de la partie amont.

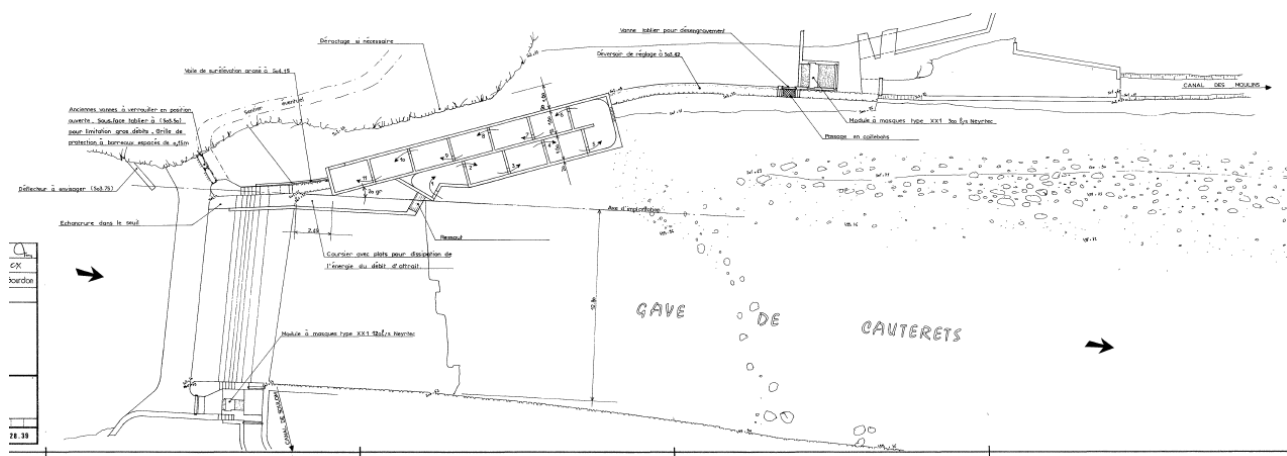


Figure 27 : plan des ouvrages de prise d'eau (SHEM)

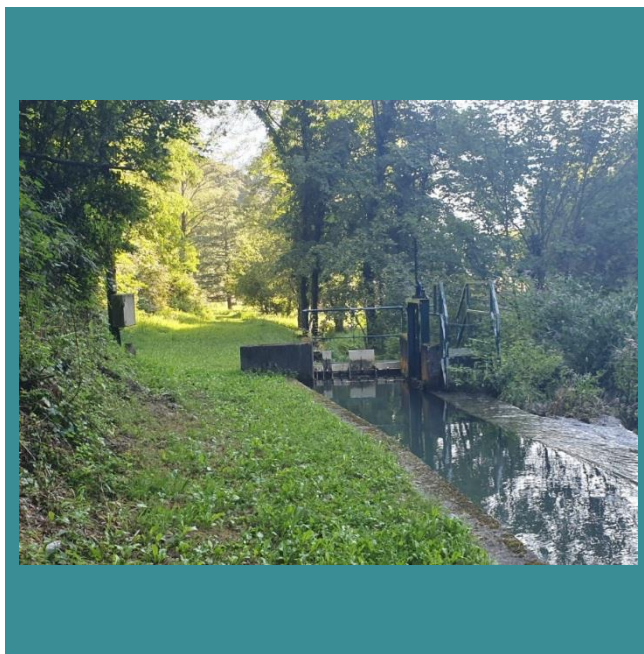


Figure 28 : Vanne amont (à gauche) et module à masque (à droite)

Les vannes ne sont pas manœuvrées en crue.

D'après l'exploitant, l'ouvrage de prise n'a pas été spécialement endommagé lors de la crue de 2013. Néanmoins, une recharge en enrochements et une réfection des maçonneries ont été réalisés en post crue.

Aucun désordre n'a été signalé sur l'ouvrage à la suite de la crue de 2018.







**Figure 29 : Vue aérienne post-crue de 2013 de l'ouvrage de prise d'eau en rive gauche du seuil Berty**

La prise d'eau fait partie du système d'endiguement car elle joue un rôle de limitation du débit d'eau dans le canal. En cas de rupture de la prise d'eau en crue, un risque de venue d'eau est à considérer en zone protégée, voire un risque de défluviation si la venue d'eau est importante.



### 5.1.5 OUVRAGES TRAVERSANTS

#### En rive gauche

| Nom            | Ouvrage              | Description des ouvrages traversant   |
|----------------|----------------------|---|
| <b>GC 29.1</b> | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 29.2</b> | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 30</b>   | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 31.1</b> | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 36.1</b> | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 36.2</b> | <b>Digue</b>         | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 36.3</b> | <b>Digue</b>         | <p>- Un rejet traversant diamètre 500 mm dont l'équipement en clapet anti-retour est inconnu (PK437 RG)</p> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; gap: 20px;">   </div> <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |

|                |                      |   |
|----------------|----------------------|---|
|                |                      | <p>- Système de trop plein du canalet qui longe l'ouvrage sur la partie aval au niveau du pont de Soulom. Vanne de fermeture transversale à vis (position fermée lors de la VTA). Cet ouvrage s'oppose aux venues d'eau dans la zone protégée. (PK 506 RG)</p>  |
| <b>GC 40.1</b> | Protection de berges | <p>- Sortie du « trop plein » du canalet. La sortie n'est pas munie de clapet anti-retour mais la vanne présentée ci-dessus permet la fermeture de cet exutoire par rapport au niveau de crête de l'ouvrage. (PK 519 RG)</p>                                  |
| <b>GC 40.2</b> | Protection de berges | <p>- Buse de sortie non munie de système anti-retour (faible diamètre) (PK527 RG)</p>   |



|                |                      |   |
|----------------|----------------------|---|
|                |                      |    |
| <b>GC 40.3</b> | <b>Digue</b>         | <p>- Buse traversant le mur non muni de clapet anti-retour (faible diamètre) (PK 581 RG)</p>  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
| <b>GC 40.4</b> | Protection de berges | <p>- Ouvrage hydraulique traversant de diamètre 1000 mm (PK 735 RG) sans système anti-retour.</p>   |



|                     |                     |  |
|---------------------|---------------------|--|
|                     |                     | <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>Cet ouvrage traversant n'a pas généré de dégât en arrière lors de la crue de 2013 d'après le propriétaire, l'eau a rejoint son ancien bras du gave en arrière de l'ouvrage sans dégât notable</p> <div style="text-align: center;">  </div> |
| <p><b>GC 46</b></p> | <p><b>Digue</b></p> | <p>- Un exutoire rectangulaire (300x200 mm) non équipé de dispositif d'obturation (PK752 RG)</p>   |







- 3 buses de rejet non équipées de clapets anti-retour (PK 787 RG) – (PK 796 RG) – (PK 797 RG) (faible diamètre)





|                 |              |   |
|-----------------|--------------|---|
|                 |              |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p>   |
| <b>GC 45bis</b> | <b>Digue</b> | <p>- 4 buses de rejet non équipées de clapets anti-retour (PK 838 RG) – (PK 876 RG) (diamètre 200 mm)</p>  <p>(PK 888 RG) – (PK923 RG)</p> |



|                |              |   |
|----------------|--------------|---|
|                |              |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p>  |
| <b>GC 45</b>   | <b>Digue</b> | <p>- 3 buses de rejet non équipées (PK 923 RG) - (PK 1009 RG)</p>  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
| <b>GC 47.1</b> | <b>Digue</b> | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 47.2</b> | <b>Digue</b> | - Ouvrage traversant avec une vanne murale (PK 1109 RG)   |


|                              |                      |   |
|------------------------------|----------------------|---|
|                              |                      |   |
|                              |                      | (Source : VTA 2018, ISL)  |
| <b>GC 48.1</b>               | <b>Digue</b>         | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 48.2</b>               | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b><u>En rive droite</u></b> |                      |   |
| <b>GC 28</b>                 | Protection de berges | <p>- Ouvrages traversant <math>\Phi 400</math>. (PK 154 RD) – (PK 162 RD)</p>  |

|                |                      |   |
|----------------|----------------------|---|
| <b>GC 32</b>   | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 34</b>   | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon   |
| <b>GC 35.1</b> | Protection de berges | - Rejet traversant en partie supérieure sans clapet anti-retour (PK428 RD)<br>                                     |
| <b>GC 35.2</b> | Digue                | - Rejet traversant en partie supérieure du mur sans clapet anti-retour (PK462 RD)<br><br>(Source : VTA 2018, ISL) |
| <b>GC 35.3</b> | Digue                | - 1 buse traversante non équipée de clapets anti-retour (PK 508 RD) (barbacane, faible diamètre)  |

|                |              |   |
|----------------|--------------|---|
|                |              |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p>   |
| <b>GC 38.1</b> | <b>Digue</b> | <p>- 4 rejets traversants (PK 527 RD) – (PK 543 RD) – (PK 560 RD) – (PK 562 RD)</p>  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
| <b>GC 38.2</b> | <b>Digue</b> | <p>- 1 buse traversant (diamètre 240 mm) le mur sans clapet anti-retour (PK 629 RD)</p>   |



|                   |                      |  |
|-------------------|----------------------|--|
|                   |                      |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p>  |
| <b>GC 38.3</b>    | <b>Digue</b>         | <p>- 1 buse traversant diamètre 500 mm le mur sans clapet anti-retour (PK 631 RD)</p>  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
| <b>GC 39</b>      | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon  |
| <b>GC 42bis.1</b> | <b>Digue</b>         | - 2 ouvrages traversants en amont du liénaire, sans clapet anti-retour (PK 923 RD) - (PK 928 RD)   |

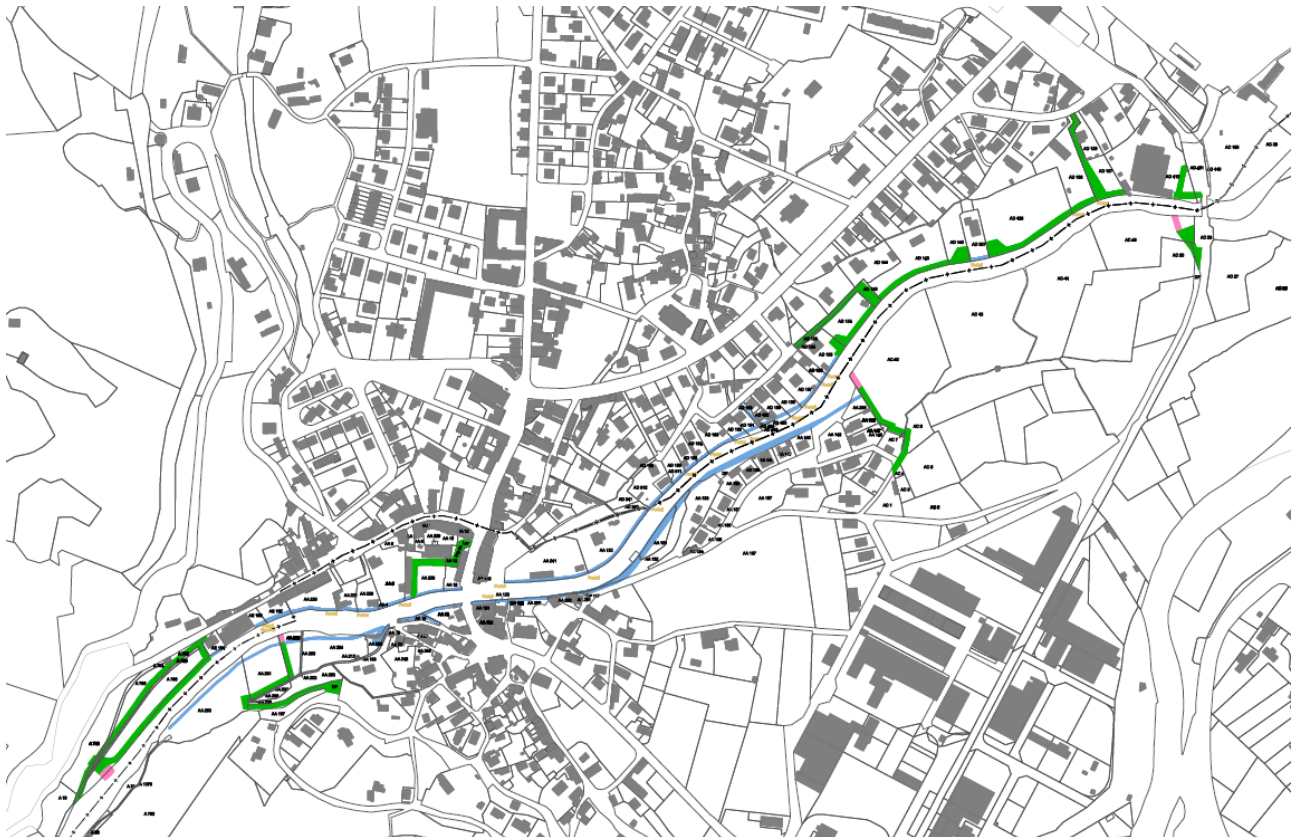
|                   |                      |  |
|-------------------|----------------------|--|
|                   |                      |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
| <b>GC 42bis.2</b> | Protection de berges | Absence d'ouvrage traversant sur ce tronçon  |

### 5.1.6 VOIES D'ACCES AUX OUVRAGES

Dans le cadre du projet de régularisation en système d'endiguement, le PLVG réalise les démarches pour avoir des servitudes sur les parcelles privées afin de pérenniser les ouvrages et d'assurer les accès à minima piétons en zone urbaine, et si besoin engins en zone moins dense, ainsi que des accès au lit mineur pour la gestion sédimentaire et si besoin des travaux de confortement depuis le gave.

Les projets de servitudes sont fournis dans le dossier de demande d'autorisation.

La synthèse de ces servitudes est présentée sur la figure ci-après :



**Figure 30 : servitudes prévues (en bleu : servitudes pédestres, en vert : servitudes engins, en rose : accès au lit mineur)**

Ces servitudes complètent les accès possibles par la voirie et le domaine public.

## 5.2 DESCRIPTION DES OUVRAGES A MODIFIER

Se reporter au rapport d'Avant-Projet dans le dossier de demande d'autorisation pour plus de détail.

### 5.2.1 CONFORTEMENT DE LA PROTECTION DE BERGE GC29.1

#### 5.2.1.1 Etat initial

Le tronçon GC 29.1 est une berge naturelle sur laquelle des blocs et graves roulés ont été déposés sans organisation particulière.



Figure 31 : Vue du tronçon GC 29.1 depuis la rive droite (assemblage de photos)

En l'état actuel le tronçon GC 29.1 ne présente aucune garantie structurelle vis-à-vis de la crue décennale (110 m<sup>3</sup>/s) et le scénario d'inondation de la zone protégée par défluviation ne peut être justifié avec une probabilité < 5 %.

Le linéaire à conforter est de 54 m.

### 5.2.1.2 Confortement prévu

Vu :

- Les vitesses importantes (au maximum 7 m/s) ;
- Le contexte torrentiel et sédimentaire sur le Gave de Cauterets ;
- Le retour d'expérience sur les ouvrages à proximités (notamment concernant le GC 29.2)
- Le retour d'expérience concernant la conception des ouvrages de protection de berges en contexte torrentiel du RTM (cf. Figure 32 ci-dessous) :

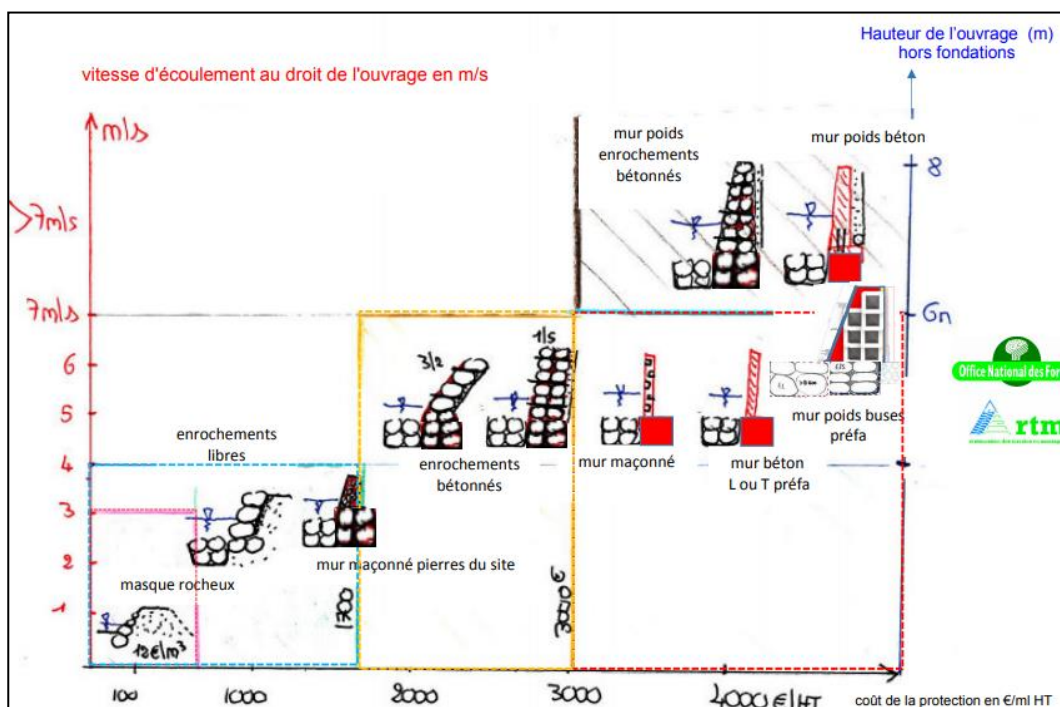


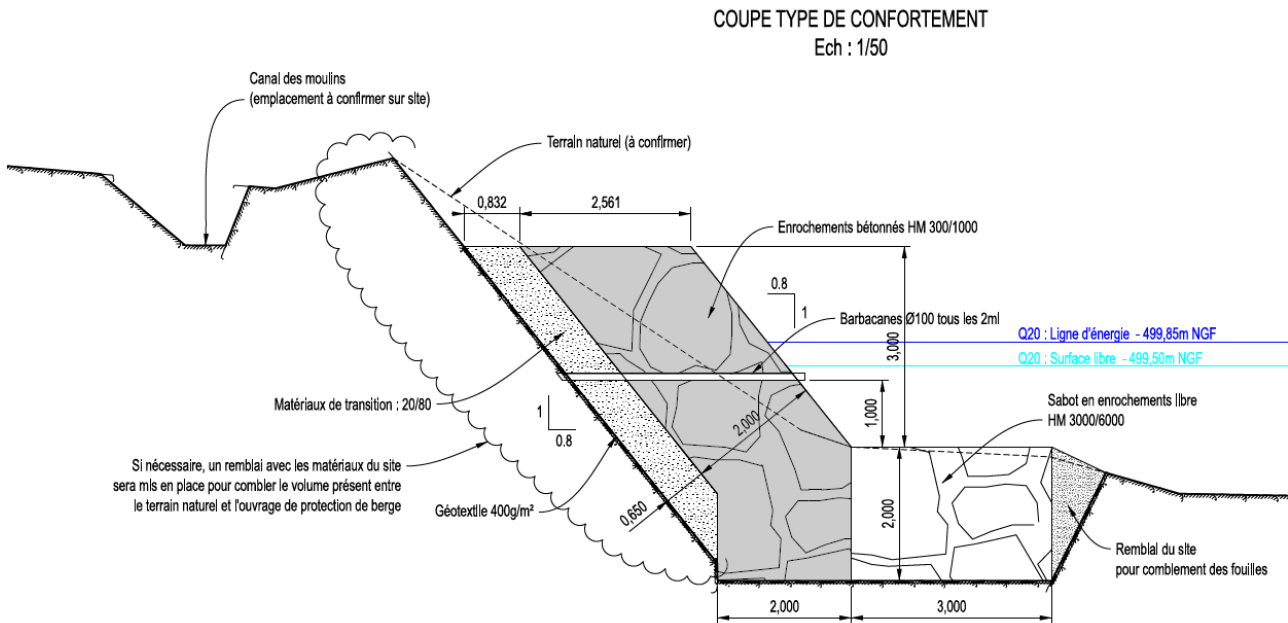
Figure 32 : Type d'ouvrage en fonction de la sollicitation pour les protections de berges – Table ronde enrochements CEREMA – RTM, 2014

L'ouvrage est prévu en enrochements bétonnés avec une bèche en fondation également en enrochements bétonnés. Les enrochements seront de classe HM 300 – 1000 avec un D50 égal à 750 mm. Les enrochements sont disposés sur un matériau de transition et un géotextile.

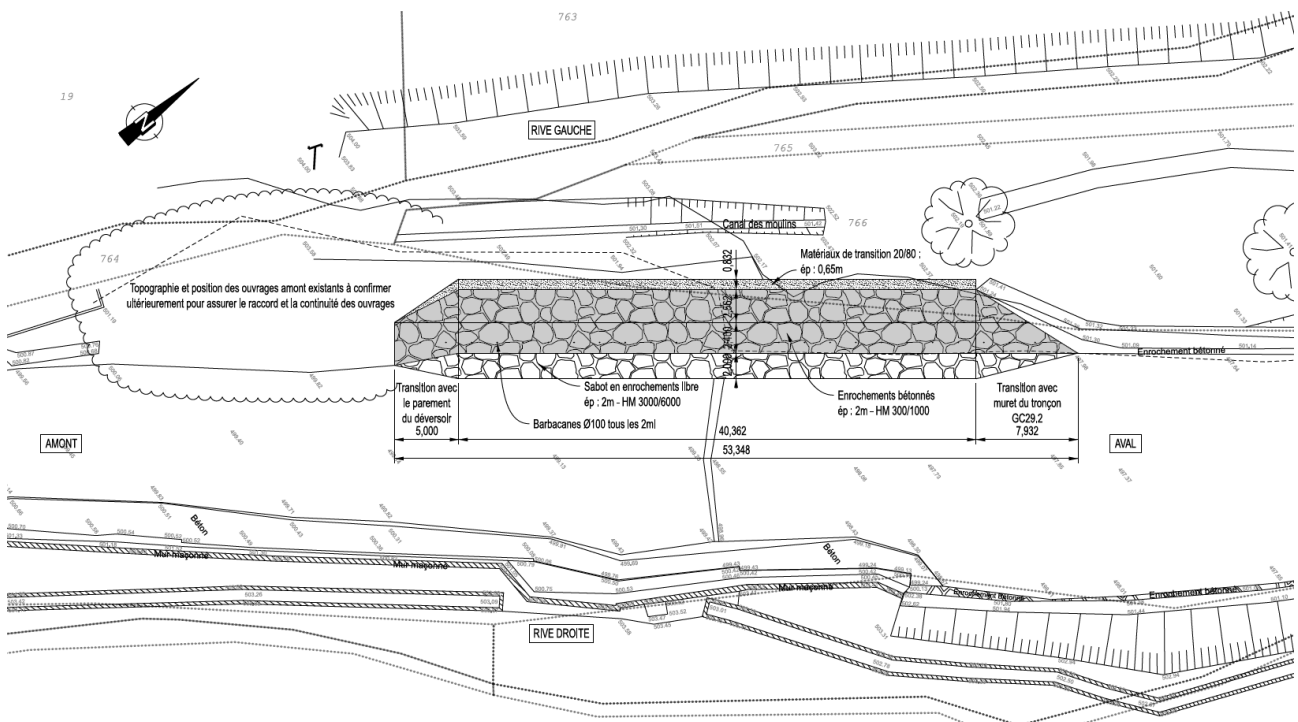
L'ouvrage est doté d'un tapis en enrochements libres (sabot) d'une largeur de 3 m pour 2m de profondeur avec des blocs de granulométrie comprise entre 1000 et 2000 m soit des enrochements de classe HM 3000 - 6000. Les blocs seront agencés soigneusement couche par couche.

La coupe type et la vue en plan sont présentées ci-après.

L'ouvrage est implanté dans le prolongement des ouvrages aval et amont, soit davantage dans le lit mineur qu'actuellement (berge naturelle plus douce).



**Figure 33 : coupe type du confortement avec les niveaux de la crue de période 20 ans**



**Figure 34 : extrait de la vue en plan**

## 5.2.2 EQUIPEMENTS DE VANNES D'OUVRAGES TRAVERSANTS SUR LES TRONÇONS GC40.4 ET GC36.3

Deux ouvrages traversants sont à équiper d'un système anti-retour pour éviter une venue d'eau en zone protégée pour une crue vicennale.

Les autres ouvrages hydrauliques traversants ne sont pas susceptibles d'occasionner des venues d'eau en zone protégée suite à une analyse :

- de la ligne d'eau de la crue de la crue vicennale,
- de la topographique de leur exutoire et des zones en arrière et des points de résurgence possibles

et de visites de terrain de vérification.

Par ailleurs, le PLVG a confirmé ne pas avoir connu par le passé de problématiques de venue d'eau par les ouvrages traversants, et continuera à surveiller en situation de crue pour enrichir le retour d'expérience.

### 5.2.2.1 Tronçon GC40.4

Le tronçon GC 40.4 comporte un ouvrage traversant de diamètre 1000 mm en béton non équipé d'un système anti-retour.

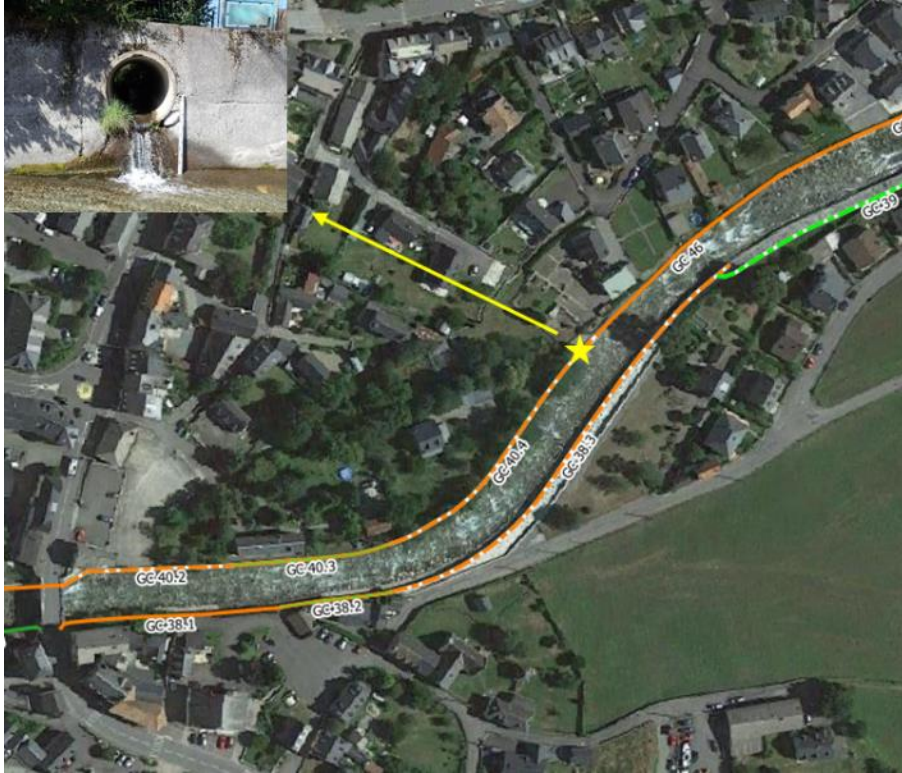
L'exutoire est inondé par les niveaux d'eau du gave dès la crue décennale, sans toutefois inonder des enjeux en zone protégée d'après le retour d'expérience de la crue de 2013. Pour la crue cinquantennale, la modélisation du scénario 2 en cas d'absence de clapet montre la possibilité de venues d'eau non dangereuses en zone protégée.

La mise en place d'un clapet antiretour semble donc facultative sur cet exutoire.



Figure 35 : Ouvrage traversant de diamètre 1000 mm du tronçon GC 40.4 et niveaux approximatifs des crues Q10 et Q20

L'ouvrage traversant est localisé sur la vue en plan ci-dessous :

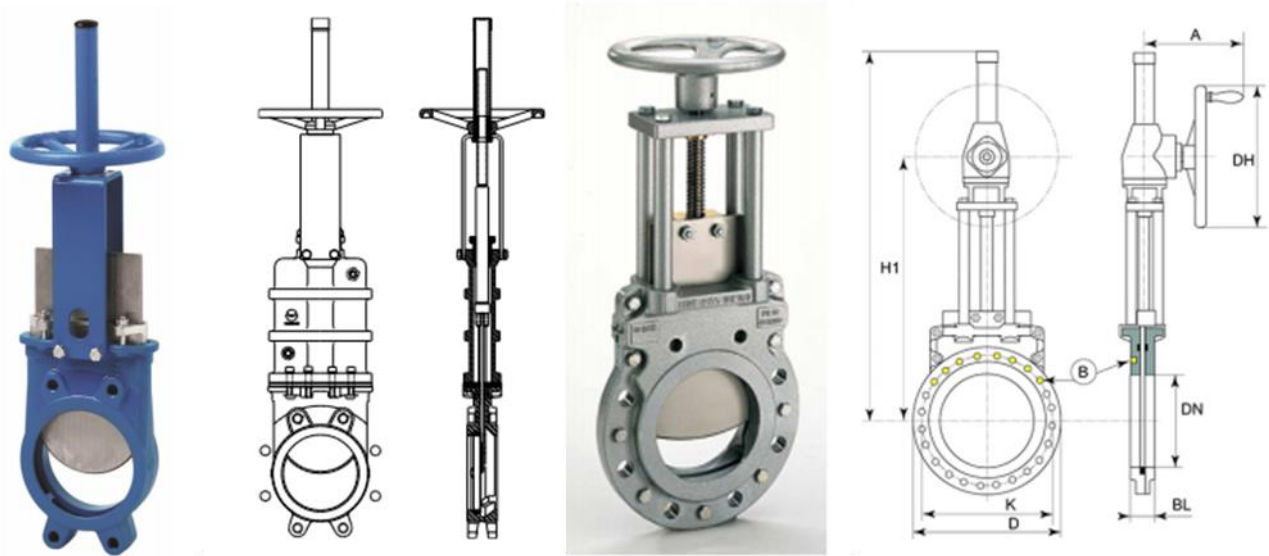


**Figure 36 : Localisation de l'ouvrage traversant (D=1000 mm) du tronçon GC 40.3**

Au vu des dimensions de l'ouvrage, une vanne guillotine est proposée de manière facultative en arrière du mur. Un dispositif similaire est déjà présent sur le tronçon GC 47.2 :



**Figure 37 : Ouvrage traversant vanné sur le tronçon GC 47.2**



**Tableau 14 : Exemples de vannes à guillottes (à gauche ORBINOX et à droite PAM SAINT-GOBAIN)**

La vanne devra être fermée manuellement avant un épisode de crue important.

#### 5.2.2.2 Tronçon GC36.3

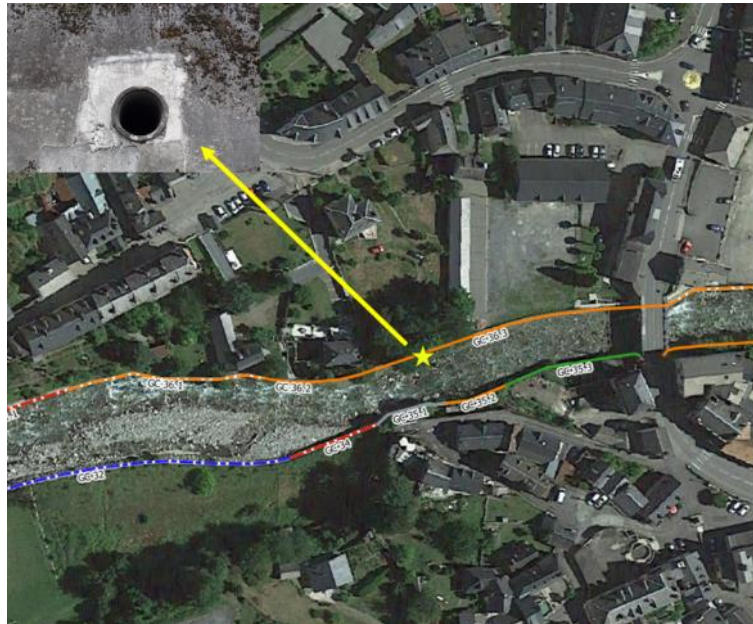
Le tronçon GC 36.3 comporte un ouvrage traversant de diamètre 500 mm (extérieur) en béton non équipé d'un système anti-retour. Il est nécessaire de prévoir un système anti-retour pour la crue vicennale :



**Figure 38 : Ouvrage traversant de diamètre 500 mm du tronçon GC 36.3**

L'ouvrage traversant est localisé sur la vue en plan ci-dessous :





**Figure 39 : Localisation de l'ouvrage traversant (D=500 mm) du tronçon GC 36.3**

De manière analogue à l'ouvrage du tronçon GC 40.3, au vu des dimensions de l'ouvrage, une vanne guillotine est prévue en arrière du mur.

### 5.2.3 MESURES PRISES PENDANT LES TRAVAUX

L'équipement des ouvrages traversants n'affecte pas le niveau de protection actuel lors des travaux.

Concernant le confortement du tronçon GC29.1, la protection de berge sera temporairement affaiblie dans la phase préparatoire lors du dépôt des enrochements, rochers et galets, et de la mise en place du géotextile et de la couche de transition jusqu'à ce que nouveaux enrochements soient mis en place.

Le risque de survenue de crue est cependant limité lors de cette phase de chantier compte tenu de

- la période prévue pour les travaux : mois de septembre, en dehors des mois où les crues sont plus fréquentes : période de fonte nivale (mai-juillet) et période à risque de crues pluviales automnales (octobre-novembre),
- la faible durée de cette phase estimée à 1 mois au maximum,

La vigilance crue sera cependant renforcée durant cette phase de chantier, et le maître d'œuvre et l'entreprise devront prévoir la possibilité de poser des protections de berge provisoires en urgence en cas de prévision de crue.

## 5.3 DESCRIPTION FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

L'étude hydraulique complète est présentée en annexe.

Pour le niveau de protection, la crue de 100 m<sup>3</sup>/s, le gave de Cauterets n'est pas débordant sur le secteur d'étude, hormis des débordements ponctuels en amont du pont de Soulom. La carte des venues d'eau est présentée sur la figure suivante.

Les profils en long de la crue correspondant au niveau de protection sont présentés en section 7.4 et 7.5.

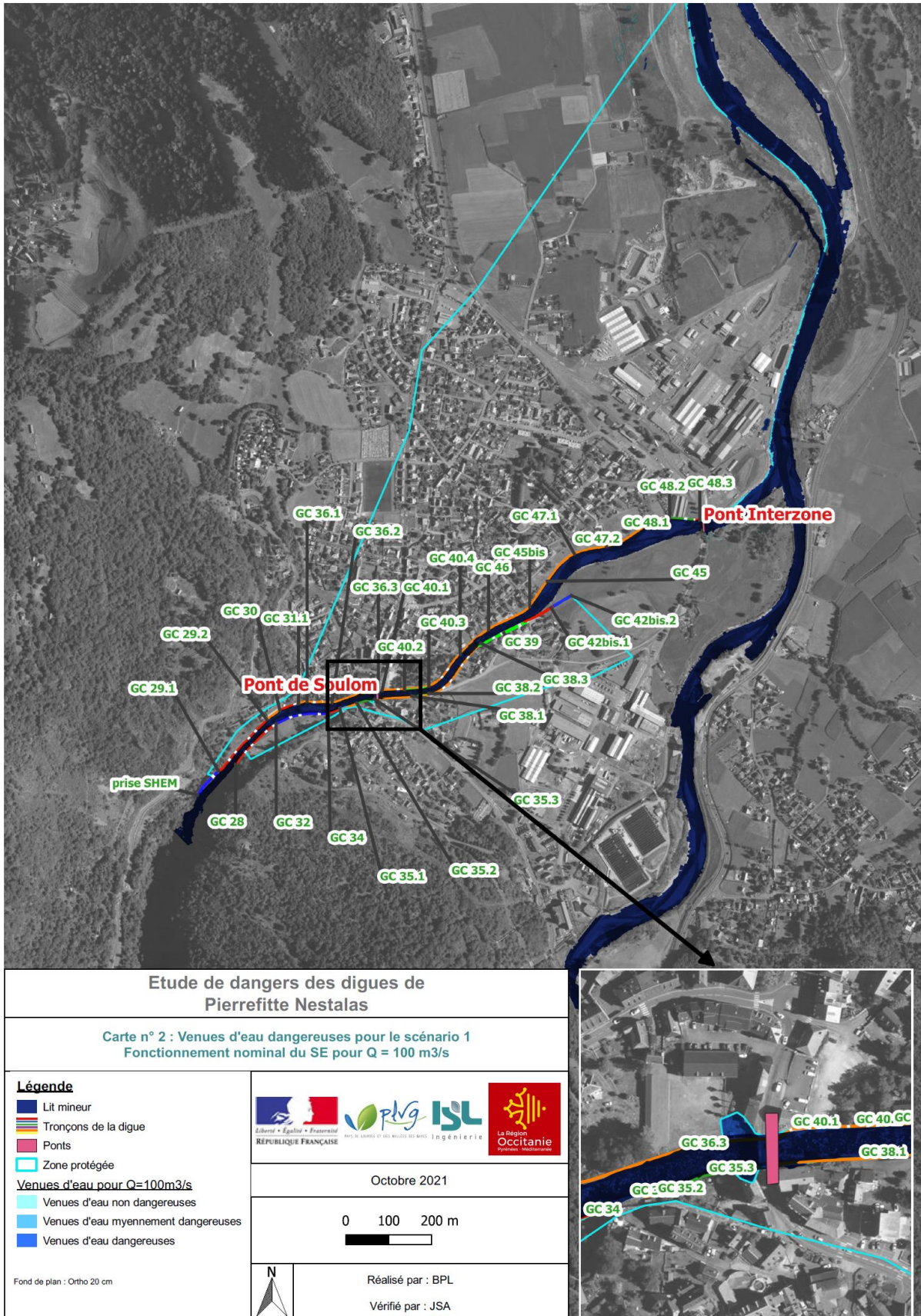


Figure 40 : carte des venues d'eau pour le niveau de protection 100 m<sup>3</sup>/s

## 6 RETOUR D'EXPERIENCE CONCERNANT LA ZONE PROTEGEE ET LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT

### 6.1 ACCIDENTOLOGIE ET RETOUR D'EXPERIENCE DES OUVRAGES ETUDIES

Les différents éléments cités ci-dessous sont extraits des documents suivants :

- Crues des Pyrénées des 18 et 19 juin 2013 - Retour d'expérience global (DREAL Midi-Pyrénées, 2013) ;
- Evaluation des dommages directs et indirects causés par les crues consécutives d'octobre 2012 et de juin 2013 dans les Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves (L'Association « Aménagement de l'Espace, Développement, Environnement » et le master Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (GCRN), 2016) ;
- Crues de la Garonne et du Gave de Pau, 17 et 18 juin 2013 (RTM, 2013) ;
- Crue du 18 juin 2013 sur les bassins du Gave de Pau et de la Neste (CATNAT, 2013) ;
- Archives photos du RTM, de la DDT et du PLVG.

#### 6.1.1 CRUE DE JUIN 2018

D'après la Banque Hydro, le débit maximal du 13 juin 2018 sur le gave de Pau à Lourdes est proche d'une crue décennale (400 m<sup>3</sup>/s).

Le débit de pointe sur le gave de Cauterets à Pierrefitte Nestaldas Soulom est estimé, d'après Hydrétudes, à :

- 67 m<sup>3</sup>/s à partir de la modélisation pluie débit, sans le débit de base liée à la fonte nivale,
- 90 à 94 m<sup>3</sup>/s au total (incluant le débit de base de fonte nivale), d'après une relation de Myer avec un coefficient 0.8 avec les stations d'Argeles et Lourdes.



**Figure 41 : Crue de juin 2018 sur le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestales (PLVG)**

Au moins un embâcle a été observé sur le pont interzone :



**Figure 42 : Embâcle sur le pont interzone lors de la crue de juin 2018 (PLVG)**

A la suite de cet évènement des affouillements ont été observés sur l'amont du système d'endiguement sur les tronçons GC 31.1 et GC 28 :



**Figure 43 : Désordres observés par suite de la crue de juin 2018 sur les tronçons GC 31.1 et GC 28 (PLVG)**

Des travaux post-crue ont été réalisés et ont consisté en :

- Restauration du pied d'ouvrage en blocs du site du 60 ml et environ 4 m de large (GC 28) ;
- Réalisation d'un sabot en enrochements libres (3\*2) sur 27 ml (GC 31.1) ;
- Reprise du pavage du lit en blocs du site et de carrière sur deux zones, respectivement 50\*10 m et 5\*15 m).

### 6.1.2 LA CRUE DE JUIN 2013

L'événement des 18 et 19 juin 2013 fut très important, avoisinant la crue de 1937 qui est la crue de référence sur le secteur. Les fortes précipitations sur les Pyrénées combinées à une brusque fonte nivale ont causé des crues impressionnantes sur toute la vallée du gave de Pau.

La modélisation hydraulique présentée en annexe a permis d'estimer le débit de la crue à 190 m<sup>3</sup>/s, soit un événement de période de retour compris entre 20 ans (137 m<sup>3</sup>/s) et 50 ans (220 m<sup>3</sup>/s).

Le rapport du CATNAT conclut ainsi :

*« L'évènement hydrologique du 18 juin 2013, qui a affecté les bassins des gaves et des Nestes, peut être qualifié d'évènement pluvionival historique [...] n'ayant comme point de référence que les crues historiques de 1875, 1937 sur le Gave de Pau et 1897 sur le Bastan.*

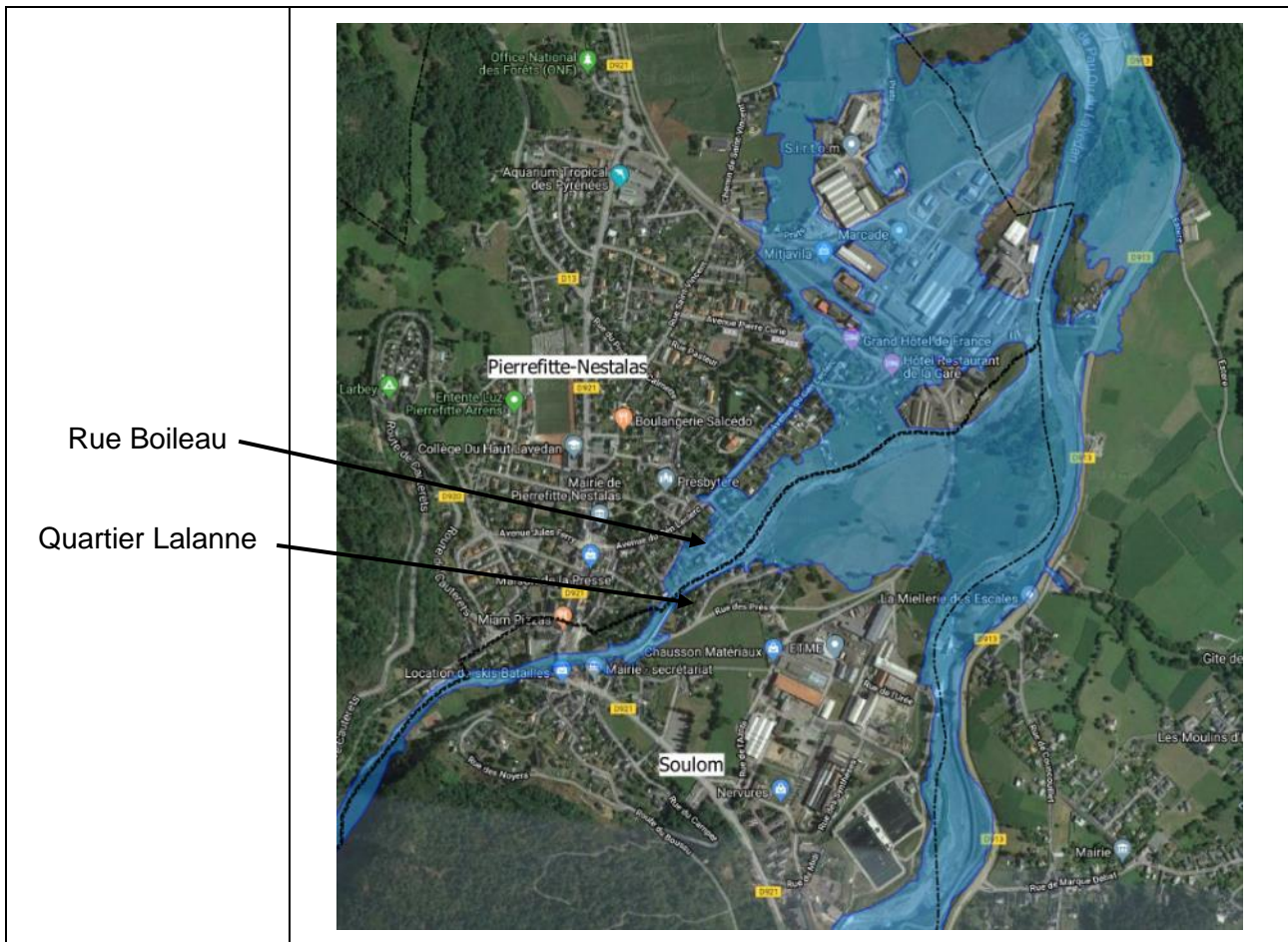
*Du fait du rapprochement avec l'évènement cinquantennal du 20 octobre 2012, cet évènement se caractérise par un transport solide d'une exceptionnelle intensité qui conduit, pour la caractérisation de cet événement et la mesure des dégâts occasionnés, à ne pas se fonder sur les seules valeurs estimées des périodes d'occurrences présentées.*

[...]

*De par les dégâts constatés dans les communes riveraines des Gaves et des Nestes, cet événement a été durement ressenti sur ce secteur, compte tenu de la dernière crue importante en octobre 2012. L'ampleur des phénomènes observés, dont la perte en vies humaines, et leur caractère tout à fait exceptionnel, justifie la demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur les communes identifiées sur les secteurs des Gaves et des Nestes. »*

*« A Pierrefitte-Nestalas, une « vague » est décrite par les habitants de la rue Boileau, proche du centre-ville. » (L'Association « Aménagement de l'Espace, Développement, Environnement » et le master Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (GCRN), 2016)*

La figure suivante présente la cartographie de la zone inondée par la crue de juin 2013 sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Souлом.



**Figure 44 : Cartographie de la zone inondée lors de la crue de 2013 sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom (source : DREAL Aquitaine)**

Sur la commune de Pierrefitte-Nestalas, le gave a débordé en rive gauche en amont du quartier Boileau provoquant l'inondation de toutes les habitations présentes dans cette rue ainsi que la zone industrielle en aval. Sur la commune de Soulom, les habitations du quartier de Lalanne ont été épargnées. La plaine agricole a cependant été fortement touchée.



**Figure 45 : Photo de la rue Boileau lors de la crue de juin 2013 (Source : Berde, 2013)**

*« La rue Boileau sur la commune de Pierrefitte-Nestalas fut la zone la plus touchée par la crue de juin 2013 en partie à cause de la rupture d'un ouvrage survenue lors de la crue d'octobre 2012. La commune déplore un décès malgré l'évacuation de près de 60 habitations. Malheureusement une septuagénaire a ensuite profité d'une baisse de surveillance pour sortir. Elle a été emportée par la vitesse du courant. Il y avait alors dans la rue 80 cm d'eau. D'autres hauteurs d'eau très importantes ont été relevées par les riverains : les habitants dont les biens ont fortement été inondés ont évoqué, lors de l'enquête, avoir eu par endroit plus d'un mètre d'eau chez eux, pendant 24 heures voire quelques jours, alors que d'autres parlaient d'une trentaine de centimètres qui sont restées à peine six heures tout au plus » (Source : Master 2 GCRN, 2016).*



**Figure 46 : La rue Boileau après la crue de juin 2013**

La commune de Soulom a également été touchée par les crues d'octobre 2012 et juin 2013, avec des dégâts matériels.



**Figure 47 : Photo lors de la crue de juin 2013 illustrant la violence du gave de Cauterets au droit de la rue de Lalanne**

Suite aux débordements en rive gauche au niveau de la rue Boileau, le lit du gave s'engrave en amont du pont interzone et le gave se crée un nouveau lit dans la plaine agricole située en rive droite en aval du quartier de Lalanne à Soulom.





**Figure 48 : Impact de la crue de 2013 sur le lit mineur du gave de Cauterets au droit de la plaine de Lalanne (Sources Géoportail : Photographies aérienne 2006-2010 et PLEIADES 2013)**

Lors des crues d'octobre 2012 et juin 2013, les ouvrages ont été fortement sollicités, avec une rupture sur 2 tronçons en rive gauche.



**Figure 49 : Rupture du tronçon GC 47.2 en 2012**



**Figure 50 : Rupture du tronçon GC 45bis en novembre 2013**

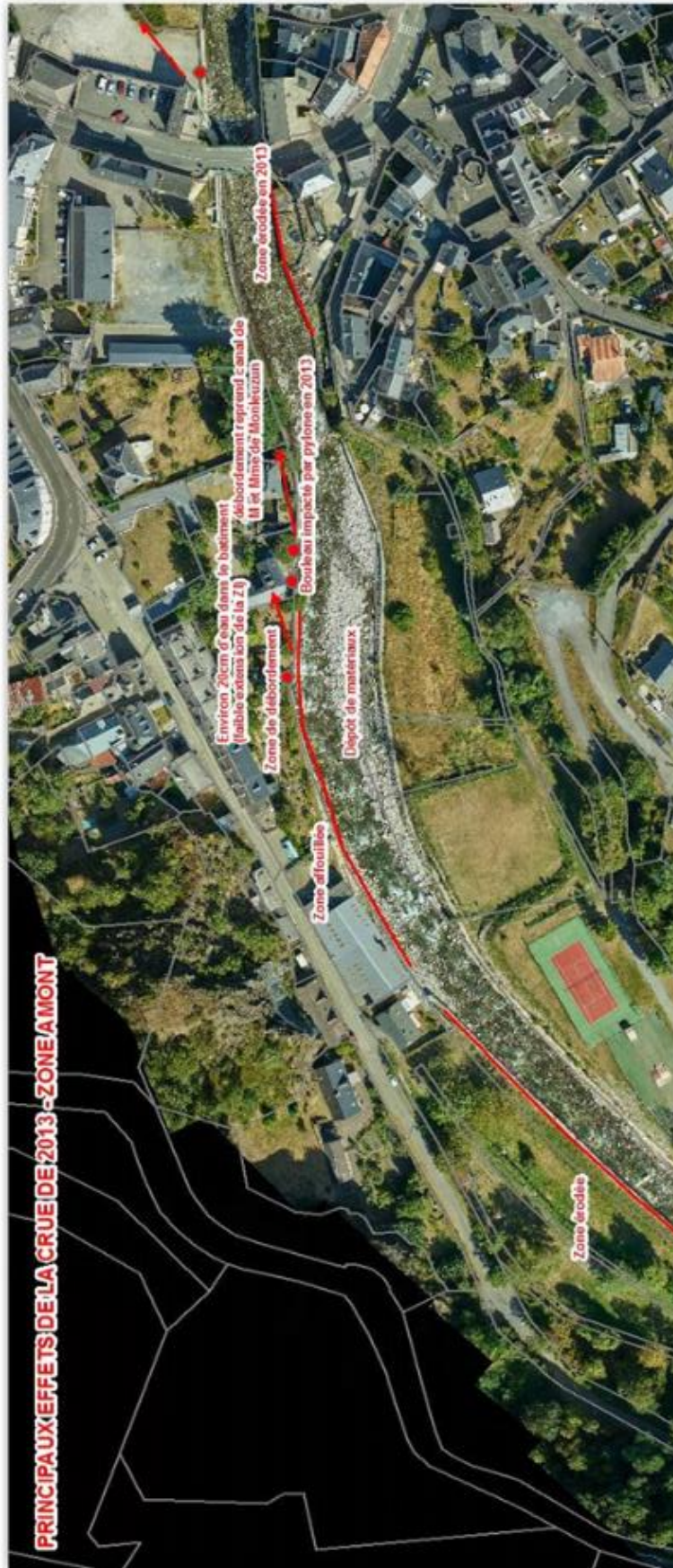
Les causes présumées de la rupture de ces 2 ouvrages sont les mêmes : affouillement et sous-cavement des fondations par érosion externe, conduisant à une rupture de l'ouvrage sous l'effet de son propre poids.

Lors des crues, les vitesses d'écoulements sont très importantes, susceptibles de provoquer une incision du lit mineur du gave et de mettre à nu les fondations des ouvrages si elles ne sont pas bien protégées par un sabot.

D'après les plans récupérés aux archives communales de Pierrefitte-Nestalas et Soulom, ces murs n'étaient pas ferrailés et ont donc cédé sous leur propre poids une fois leur fondation mise à nu. Ce mécanisme de rupture s'est également produit sur des protections de berge en amont du pont de Soulom causant leur ruine.

Les cartographies ci-dessous réalisées par le PLVG synthétisent les principaux effets de la crue de 2013.





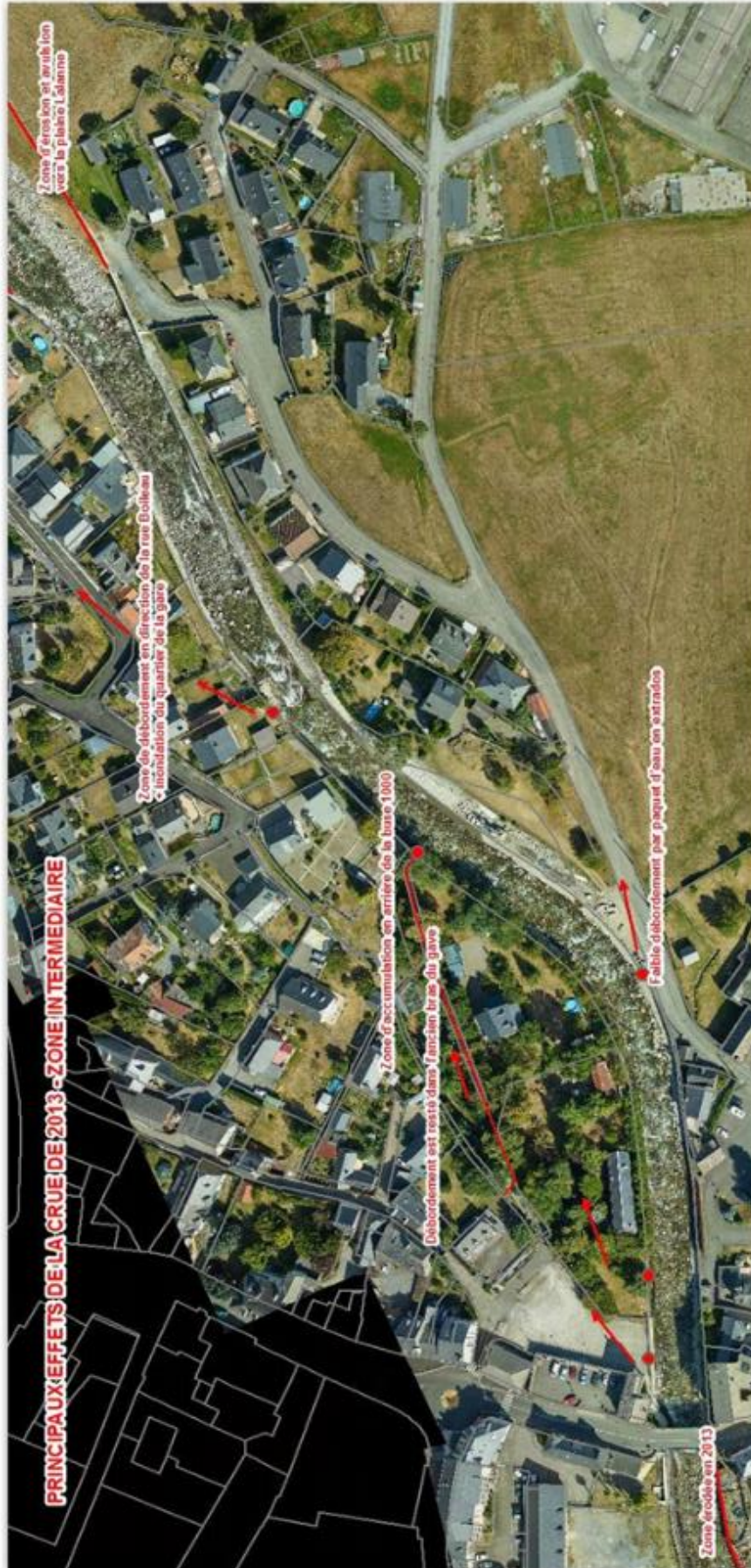




Figure 51 : Synthèse des principaux effets de la crue de 2013 sur le système d'endiguement (PLVG)

### 6.1.3 CRUE D'OCTOBRE 2012

La modélisation hydraulique a permis d'estimer le débit de la crue d'octobre 2012 à 120 m<sup>3</sup>/s, soit une période de retour comprise entre 10 ans (110 m<sup>3</sup>/s) et 20 ans (137 m<sup>3</sup>/s).

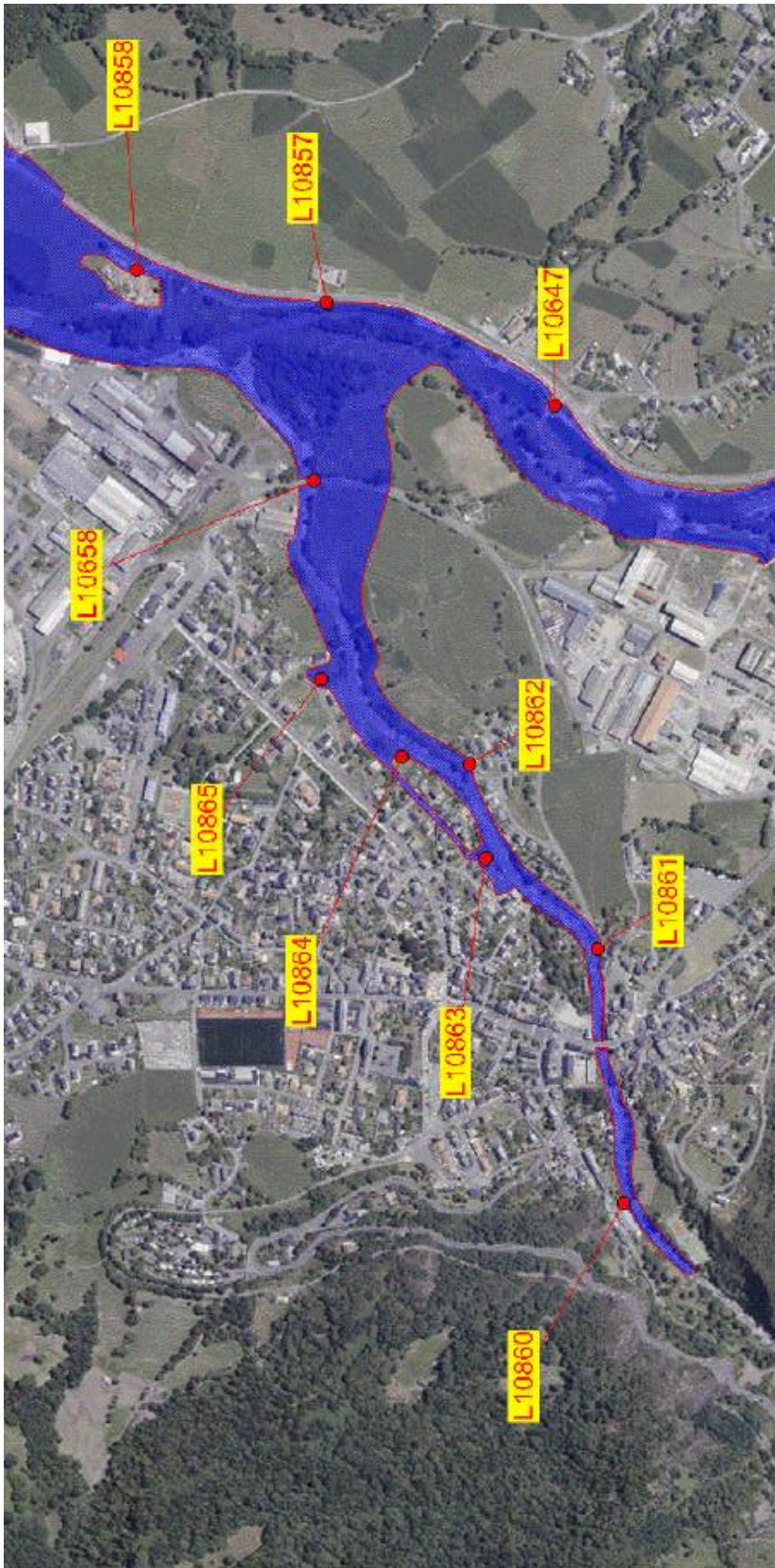


Figure 52 : zone inondée et repères de crues disponibles (source rapport Geosphair, 2012)



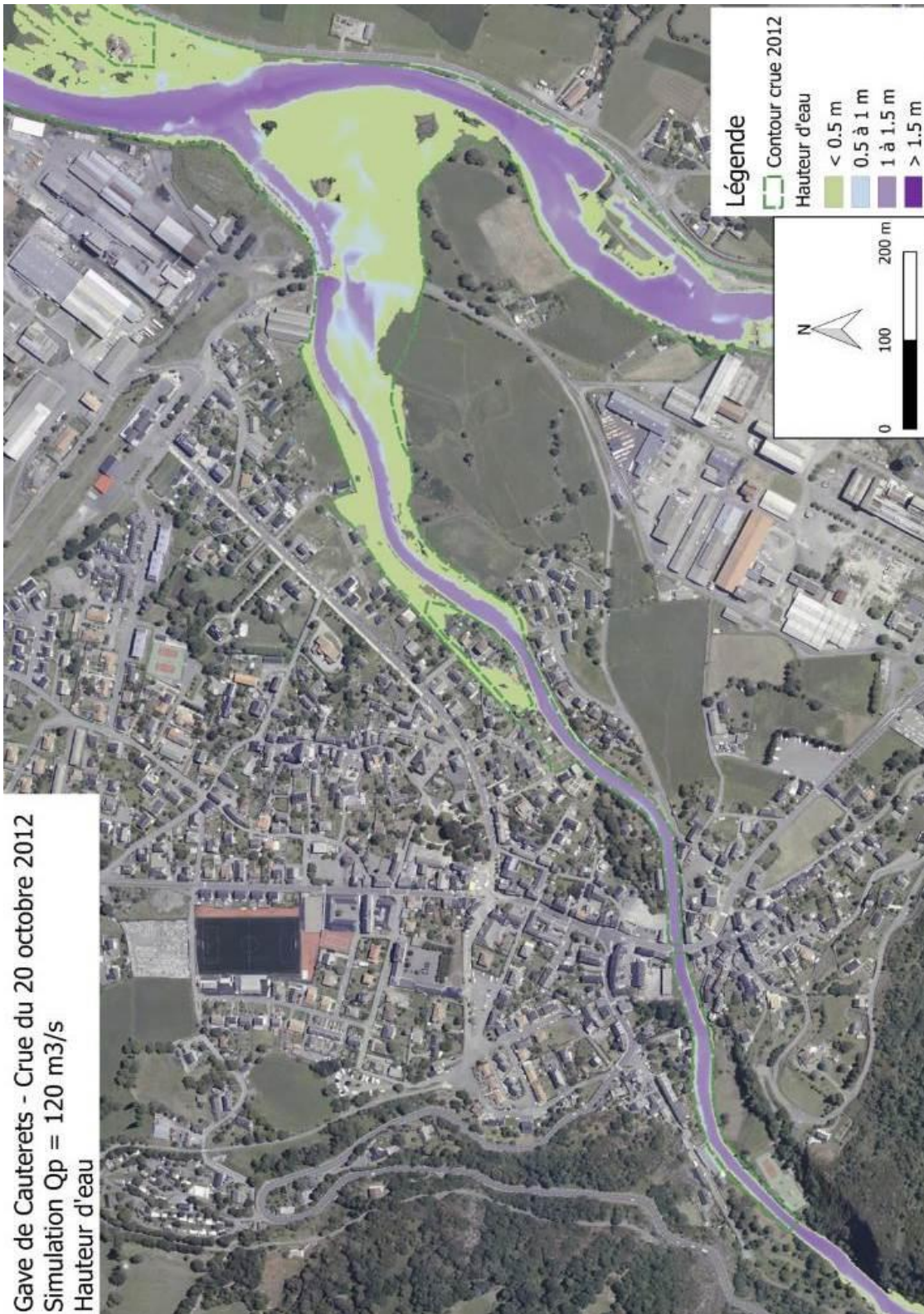


Figure 53 : Hauteur d'eau pour un débit de pointe de 120 m<sup>3</sup>/s



**Figure 54 : Renard hydraulique sous la digue en rive gauche à Pierrefitte-Nestalas en 2012**

En 2012, en aval du seuil des eaux usées, le gave a affouillé le pied de la digue à tel point qu'un renard hydraulique s'est formé sous les fondations de la digue. La digue a été fragilisée sur 100 mètres environ et détruite sur une vingtaine de mètres.

#### 6.1.4 PRINCIPALES CRUES CONNUES DU GAVE DE CAUTERETS AVANT 2012

Sources : RTM : Péteuil (2004) ; master Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (GCRN), 2016, études hydromorphologique Hydretudes 2020 (voir en annexe).

- **Crue d'août 1651** : plusieurs maisons emportées à Pierrefitte Nestalas
- **Crue de juin 1875** : dégâts importants
- **Crue de juin 1885** : inondation de la gare
- **Crue hivernale océanique de décembre 1906** : De fortes pluies se sont abattues sur l'ensemble du département des Hautes-Pyrénées durant trois à quatre jours, entre le 13 et le 17 décembre 1906. Avec les données de l'époque, des dégâts furent recensés à Pierrefitte alors qu'aucune victime n'a été déclarée sur la zone (BDHI, 2015).
- **Crues de mai et juin 1908** : érosion en rive gauche et destruction d'un mur de défense. Le quartier en amont de la gare est touché.
- **Crue historique des 26 et 27 octobre 1937** : Le gave de Cauterets a inondé les propriétés riveraines sur plus de 1 km, y occasionnant des apports de blocs considérables. Des bâtiments et des murs ont été emportés (propriété Santam et scierie Pourtet). Sous la poussée des eaux, une vieille digue, dite de « Lalaque », construite depuis plus de cinquante ans et protégeant la cité « Lacoste », s'est rompue vers 3 heures. Sept maisons ont été inondées par plus de 1,50 mètres d'eau. Evacuation des personnes de tout le quartier de l'avenue de la Gare que le gave de Cauterets a envahi. La pile du pont de chemin de fer a été emportée et les terrains en amont de l'embâcle ont été inondés. Au pont de la RD921, le niveau du gave est si haut qu'un arbre accroche momentanément la clef de voûte de l'ouvrage. Débit estimé à 250 à 430 m<sup>3</sup>/s à la confluence.
- **Crue de 1965** : 100 m<sup>3</sup>/s à la station du pont de Fanlou

- **Crue de mai/juin 1979** : « Lors des journées des 29, 30, 31 mai et 1<sup>er</sup> juin 1979, les gaves de Gavarnie, de Cauterets et d'Azun ont accusé une rapide montée des eaux, due à une forte fonte des neiges et d'orage localisés, au point que le 1<sup>er</sup> juin, nous avons relevé à la station d'annonce des crues du pont de Tilhos, une cote inférieure de quelques centimètres seulement à celle enregistrée au cours de la crue très importante de 1937 » (Archive Soulom ; DO 4.1.16). Inondation du quartier Lacoste.
- **Inondations majeures sur le grand Sud du 6 au 8 novembre 1982**. Débit de 131 m<sup>3</sup>/s à la station de Fanlou. A Pierrefitte-Nestalas, le mur-digue de la propriété Baze cède. La rue Boileau est inondée (hauteur d'eau : 1,5 m). Une dizaine de maisons évacuées.
- **Crue de 1997** : crue de période de retour 20 ans environ, débordements en rive droite en amont du lotissement communal de Soulom, en rive gauche : légers débordements en aval du lotissement de Lacoste, au droit du seuil de la canalisation. Pont Interzone mis en charge et terrains en rive droite inondés.
- **Crue de 2003** : crue estimée à 80 m<sup>3</sup>/s à la confluence, inférieure à la crue quinquennale (88 m<sup>3</sup>/s). Absence de débordement.
- **Crue notoire du gave de Cauterets en 2005**



Figure 55 : Photo prise depuis le pont interzone pendant la crue d'octobre 2005 (source : PLVG)

### 6.1.5 ELEMENTS D'ACCIDENTOLOGIE CONNUS SUR LES OUVRAGES ETUDIES

Nous disposons de très peu d'éléments précis concernant l'accidentologie des ouvrages sur les communes de Pierrefitte-Nestalas et Soulom, mis à part descriptions génériques dans la section ci-dessus et les accidents survenus pendant les crues de 2012 et 2013 qui sont mieux documentés.

Le tableau suivant récapitule les éléments connus sur les ouvrages constitutifs du système d'endiguement.

| Ouvrages rive gauche | Accidentologie connue   |
|----------------------|---|
| GC 29.1              | Erosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |
| GC 29.2              | Enrochements rénovés suite à la crue de 2005<br>En partie ruinés par les crues de 2012 et 2013 et reconstruit à neuf en 2015                                      |
| GC 30                | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 31.1              | Affouillements suite à la crue de juin 2018   |
| GC 36.1              | Néant   |
| GC 36.2              | Néant   |
| GC 36.3              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 40.1              | Ruiné suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruit à neuf en 2014   |
| GC 40.2              | Sous-cavement suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton  |
| GC 46                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillement des fondations lors de la crue de 2013   |
| GC 45bis             | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en novembre 2013<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014 |
| GC 45                | Rupture lors de la crue de 1937 (RTM, 2004)<br>Affouillements suite aux crues 2012 et 2013  |
| GC 47.1              | Affouillements suite aux crues 2012 et 2013   |
| GC 47.2              | Rupture de la digue par sous-cavement des fondations en 2012<br>Construction d'une nouvelle digue en 2014   |
| GC 48.1              | Néant   |
| GC 48.2              | Néant   |
| GC 48.3              | Néant   |

**Tableau 15 : Accidentologie connue des ouvrages en rive gauche du gave de Cauterets**

| Ouvrages rive droite | Accidentologie connue  |
|----------------------|--|
| GC 28                | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                  |
| GC 32                | Erosion externe importante. Réalisation d'enrochements libres en 2014 + optimisation section hydraulique<br>VTA2018 : Affouillements |
| GC 34                | Erosion externe importante<br>Réalisation d'enrochements bétonnés en 2014<br>VTA2018 : Affouillements                                |
| GC 35.1              | Néant  |
| GC 35.2              | Affouillements suite aux crues de 2012 et 2013<br>Réalisation d'une plinthe béton en 2014  |
| GC 35.3              | Ruine partielle suite aux crues de 2012 et 2013<br>Reconstruction + Réalisation d'une plinthe béton en 2014                          |
| GC 38.1              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 38.2              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 38.3              | Affouillement partiel suite aux crues de 2012 et 2013<br>VT2018 : Affouillements   |
| GC 39                | Affouillements importants suite aux crues de 2012 et 2013 + destruction partielle sur quelques mètres à l'aval par érosion externe   |
| GC 42bis.1           | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |
| GC 42bis.2           | Destruction totale par érosion externe lors des crues de 2012 et 2013  |

**Tableau 16 : Accidentologie des ouvrages en rive droite du gave de Cauterets**

## 6.2 ACCIDENTOLOGIE GENERALE DES DIGUES MUR POIDS BETON

« Les mécanismes de dégradation et de rupture des ouvrages rigides sont :

- *Le glissement d'ensemble de l'ouvrage sur sa fondation ;*
- *Le basculement de l'ouvrage ;*
- *Le basculement ou le glissement d'une partie supérieure de l'ouvrage, induit par une fissuration ;*
- *L'abrasion externe de la structure sous l'effet des courants et/ou des vagues et de transport solide ;*

- *Les phénomènes chimiques affectant les bétons (alcali-réaction, etc.) ou les armatures (oxydation).*
- *Le sous-cavage de la structure (érosion de la fondation) peut également être à l'origine de sa ruine (glissement, basculement, effondrement partiel, rupture). » (Tourment & Beullac, 2019)*

En 2019, le RTM, en collaboration avec l'IRSTEA, a réalisé une communication au colloque national digues sur les spécificités des systèmes d'endiguement et de l'analyse de risque en contexte torrentiel (Quefféléan, et al., 2019).

Les éléments suivants sont issus de cette communication.

### 6.2.1 PROBABILITE ANNUELLE DE DESTRUCTION DE DIGUES TORRENTIELLES

Une analyse accidentologique<sup>4</sup> a été réalisée dans le cadre de l'étude de danger du torrent de La Salle<sup>5</sup>. À partir de la base de données des services de Restauration des Terrains en Montagne (ONF-RTM) établie sur 11 départements alpins et pyrénéens, cette étude recense 1481 événements ayant provoqué des désordres aux digues sur une période de 300 ans. Le nombre de surverses référencées reste faible (49) tout comme le nombre d'événements par affouillements de digues (70). Le nombre d'événements avec des digues partiellement (543) ou "totalement" détruites (819) est important. L'exercice de l'estimation de la "probabilité de rupture" a été réalisé sur le seul département des Hautes-Alpes à partir du nombre total de tronçons de digues recensés dans la base de données "BarDignes"<sup>6</sup>. Il en ressort que la probabilité annuelle de "destruction" (rupture partielle, brèche, etc.) de digues torrentielles est estimée statistiquement entre  $1,6 \cdot 10^{-3}$  et  $1,8 \cdot 10^{-3}$ . Au vu des incertitudes sur les données d'entrée, on retient un ordre de grandeur qui serait de  $10^{-3}$ . Cette probabilité ne prend pas en compte l'état général de la digue avant rupture.

### 6.2.2 EROSION EXTERNE

Les dégradations observées sur les digues torrentielles résultent majoritairement d'érosions externes du parement côté cours d'eau.

Les érosions externes sont principalement dues à :

- des divagations, notamment dans les zones de dépôt ;
- la présence d'obstacle(s) dans le lit (arrêt intempestif de flottants, basculement d'arbres dans le lit, débris, etc.) ;
- la déviation des écoulements depuis la rive opposée où existe un "point dur" (versant, affleurement rocheux, végétation, etc.) ;
- un rétrécissement excessif du chenal endigué.

En divaguant, l'orientation des écoulements peut être modifiée et venir solliciter d'avantage le parement de digue.

<sup>4</sup> I. Boncompain et al. (2011) – Accidentologie des ouvrages hydrauliques RTM & Retours d'expériences – ONF-Direction technique RTM

<sup>5</sup> P. Mériaux, D. Richard, H. Félix, D. Laigle, M. Bon, G. Astier, I. Boncompain, Y. Quefféléan. (2013), Etude de dangers des digues de protection contre les crues torrentielles : présentation du cas de l'EDD des digues du torrent de La Salle, recommandations et perspectives. 2nd colloque national – Dignes2013, MEDDTL / CFBR / Irstea, Dignes Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions, Aix-en-Provence, 2013, 164-175

<sup>6</sup> P. Mériaux, R. Tourment, M. Wolff – Le patrimoine de digues de protection contre les inondations en France d'après la base de données nationale des ouvrages – Ingénierie N° spécial 2005- p. 15 à 21



**Figure 56 : mobilité fluviale du Var ayant "emporté" un linéaire de la digue de Guillaumes (source : ONF Alpes Maritimes)**

### 6.2.3 INCISION DU LIT – AFFOUILLEMENT DES OUVRAGES

L'affouillement des ouvrages est une des causes principales de rupture d'ouvrages rigides (bien plus que les chocs et impacts dynamiques) et de déstabilisation des carapaces de protection en enrochements. Le risque d'affouillement est accentué :

- à l'extrados des coudes ;
- à la chute d'un seuil transversal ("fosse" d'affouillement) ;
- suite à une incision généralisée du lit (érosion régressive) ;
- dans des zones de survitesses (rétrécissements marqués ou le long d'ouvrages au parement lisse).



**Figure 57 : Affouillement en pied de digue - La Valloirette - Valloire (73) - Mai 2008 (ONF-RTM)**

Quelques cas de ruptures brutales de digues en maçonnerie, gabions, voire en béton, ont été recensés, résultant souvent de l'affouillement, voire du sous-cavage de leur fondation.

L'effondrement du mur-digue en béton en rive gauche du gave de Cauterets à Pierrefitte (figure suivante) est survenu hors crue, suite au fort sous-cavage de ses fondations lors de la crue de 2013.



**Figure 58 : Rupture et réparation d'urgence d'une digue - Gave de Cauterets - Pierrefitte Nestalas (65)  
- 2013 (ONF-RTM)**

#### 6.2.4 SURVERSE

Les débordements par surverse se produisent plutôt sur les zones propices au dépôt (cône, zone de confluence, etc.) suite à l'engravement partiel ou total du lit. La surverse ne provoque pas forcément l'ouverture d'une brèche en cas d'apport massif de matériaux (Figure 59).

Dès qu'une fraction significative du débit liquide déborde en dehors du lit endigué, la capacité de transport solide est fortement réduite, ce qui amplifie le dépôt de matériaux et augmente d'autant le débit débordant. Le phénomène peut s'emballer rapidement conduisant à un engravement total du chenal et à un changement de lit. Tout le débit peut alors déborder en dehors du chenal endigué.



**Figure 59 : Surverse sans rupture suite à l'engravement du lit - Chagnon - Vars (05) – 1957**

Ce phénomène peut se produire également dans des parties chenalisées (sans digue) en amont ou en aval d'un système d'endiguement, avec pour conséquences, un contournement amont du système ou une aggravation du dépôt régressif.



Dans les zones favorables à l'engravement, les surverses se produisent plutôt (mais pas toujours) à la décrue, quand le chenal endigué est partiellement ou totalement engravé et que les hauteurs d'eau sont relativement modérées. La brèche ne s'ouvre alors, pas forcément jusqu'au fond du lit initial, d'autant plus qu'il n'est pas rare qu'un dépôt de matériaux se produise immédiatement à l'aval de la brèche limitant ainsi son ouverture. Ce dépôt peut être potentiellement dommageable pour les enjeux à proximité. Une partie des matériaux contenus à l'arrière de la brèche est remobilisée, mais le débit en baisse ne peut en général pas reprendre tous les matériaux préalablement déposés.

Les extrémités aval des digues, notamment en présence d'un élargissement brusque du lit à l'aval, sont également plus propices à la surverse puisque les phénomènes d'engravement y sont plus marqués par dépôt régressif.

Lors des crues des Pyrénées de 2013, deux secteurs équipés de digues de faible hauteur ont également été submergés : en bordure du Bastan à Luz-Saint-Sauveur (65) et en bordure rive gauche du Gave de Cauterets à Pierrefitte. Dans les deux cas, il s'agissait de la zone d'élargissement du lit à l'extrémité aval d'une chenalisation ou d'un endiguement étroit.

Le débordement par surverse de la digue de Pierrefitte est intéressant car elle souligne le caractère non univoque des crues. La crue d'octobre 2012 "plutôt liquide" a affouillé les fondations de la digue et l'eau a inondé la zone protégée en passant par dessous ce mur. Par la suite, en juin 2013, les apports solides ont été massifs. Ils se sont déposés dans cette zone où le lit s'élargit après un passage très contraint en amont, provoquant un engravement total du lit et une surverse par-dessus la digue (Figure 60).



**Figure 60 : Surverse sur la digue - Gave de Cauterets - Pierrefitte Nestalas - Juin 2013 (source SMDRA)**

### 6.2.5 ACTIONS OU IMPACTS DYNAMIQUES

Les cas de destruction de digues suite à un impact dynamique restent marginaux, puisque ces ouvrages sont longitudinaux à la direction des écoulements. Une digue en remblai, protégée ou non par des enrochements, qui est le type d'ouvrage majoritaire en bordure de torrent à laves, résiste bien mieux à ces impacts dynamiques qu'un ouvrage rigide en béton. Les impacts concernent surtout les ouvrages transversaux susceptibles de subir un choc frontal, à savoir les ouvrages associés au système d'endiguement (seuils de stabilisation du lit, radiers parafouilles, épis transversaux, etc.) et les ouvrages de franchissement. Leur destruction est bien plus fréquente.

## 6.2.6 INSTABILITE

La déstabilisation d'un parement de digue torrentielle par glissement, notamment du talus côté zone protégée en crue, voire du talus côté torrent à la décrue, résulte en général d'une érosion externe préalable ou d'un affouillement des fondations, susceptibles de générer des talus érodés subverticaux fortement instables.

La forte perméabilité des matériaux constitutifs en général des digues torrentielles limite le risque de glissement de talus.

## 6.2.7 ÉROSION INTERNE

Aucune rupture de digues par érosion interne n'a été recensée en bordure de torrents. Cela peut s'expliquer par les durées de crues et de mise en charge des remblais qui sont relativement courtes qui limitent le temps de saturation des sols.

Pour les digues en bordure de rivières torrentielles, il convient d'être plus prudent, notamment pour les digues dont le corps et/ou la fondation sont constitués de matériaux sablo-limoneux. On peut alors se rapprocher d'un contexte de digues fluviales tant du point de vue géotechnique qu'en termes de durée des crues.

## 6.2.8 FACTEUR AGGRAVANT : LES FLOTTANTS

Lors de fortes crues, il est fréquent que de grandes quantités de bois soient arrachées et transportées par flottaison. Au passage de sections étroites ou de ponts, ces flottants peuvent former des embâcles, provoquant ou aggravant parfois très fortement les débordements et les évolutions morphologiques du cours d'eau.

Les crues récentes des Pyrénées en juin 2013 ou celles des Alpes Maritimes en octobre 2015 ont, une nouvelle fois, mis en évidence l'impact important de ces flottants sur l'aléa inondation.

L'arrêt de flottants s'accompagne en général d'un amoncellement de matériaux à l'arrière (ce qui peut augmenter notablement l'aggradation du lit) et/ou de survitesses amplifiant les phénomènes d'affouillement.

De plus, les arbres sur les digues peuvent être arrachés et créer des amorces de brèche, parfois de tailles importantes. Le comportement des flottants est très aléatoire d'une crue à l'autre. Il est donc difficile à quantifier précisément et, de surcroît, à modéliser.

## 6.2.9 SYNTHÈSE SUR LES MODES DE RUPTURE

En conclusion, les modes de rupture de digue torrentielle par érosion externe et par affouillement paraissent prépondérants.

Des surverses peuvent également se produire, notamment sur les zones propices au dépôt après engrèvement partiel ou total du lit, mais la rupture de digue n'est pas systématique si les apports en matériaux sont massifs (tendance à l'engrèvement de toute la zone).

## 7 DIAGNOSTIC APPROFONDI DES ELEMENTS CONSTITUTIFS DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET TENUE DES OUVRAGES

### 7.1 SOLLICITATIONS EN CRUE

Comme le mentionne le rapport 18F-143-RS-8 de modélisation hydraulique, les crues historiques de 2012 et 2013 ont engendré des débordements (indépendants des ruptures d'ouvrages).

Le modèle 1D montrent que les premiers débordements apparaissent pour un débit de 90 m<sup>3</sup>/s en amont direct du pont de Soulom. Ce débit correspond environ à une crue de période de retour 5 ans (88 m<sup>3</sup>/s). Le retour d'expérience (photos en crue) et les rapports précédents confirment que les premiers débordements sur ce secteur apparaissent pour un débit d'environ 100 m<sup>3</sup>/s.

L'analyse de la tenue des ouvrages est réalisée pour :

- La crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s, période de retour entre 5 ans (88 m<sup>3</sup>/s) et 10 ans (110 m<sup>3</sup>/s), qui est le niveau de protection du système d'endiguement avec réalisation des travaux prévus (cf Avant-Projet en ANNEXE 6),
- La crue de période de retour 20 ans (137 m<sup>3</sup>/s), qui est le niveau de protection visé à moyen terme, avec mise en œuvre d'une seconde phase de travaux visant à élargir le pont Interzone (projet non pris en compte dans la présente étude de dangers).

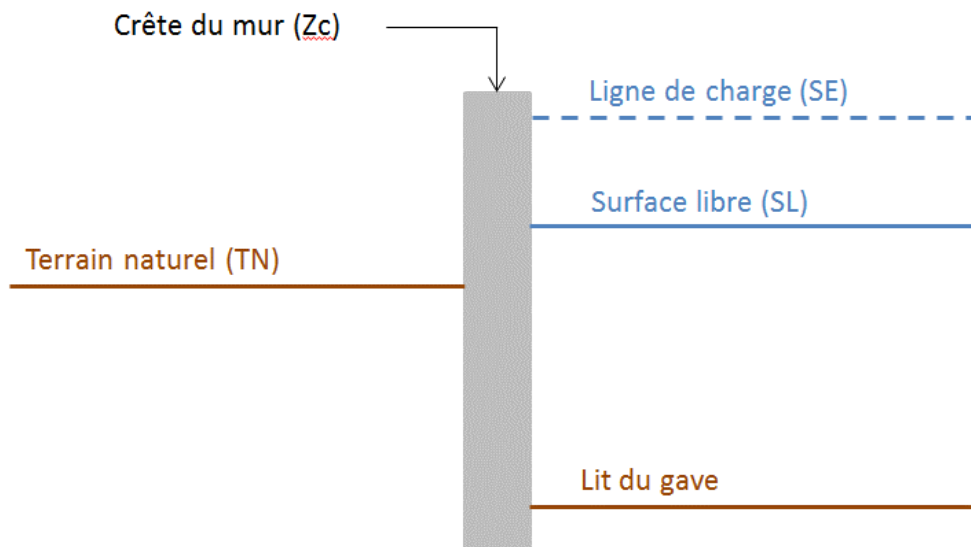
### 7.2 SOLLICITATION HYDRAULIQUE POUR LA CRUE VICENNALE (137 M<sup>3</sup>/S)

Le présent paragraphe donne l'analyse des résultats de la modélisation hydraulique en termes de revanche. Il permet d'obtenir le détail de la position de la surface libre par rapport à la crête des ouvrages et le terrain naturel en arrière.

Le présent paragraphe permet également de situer la ligne de charge par rapport à la crête des ouvrages.

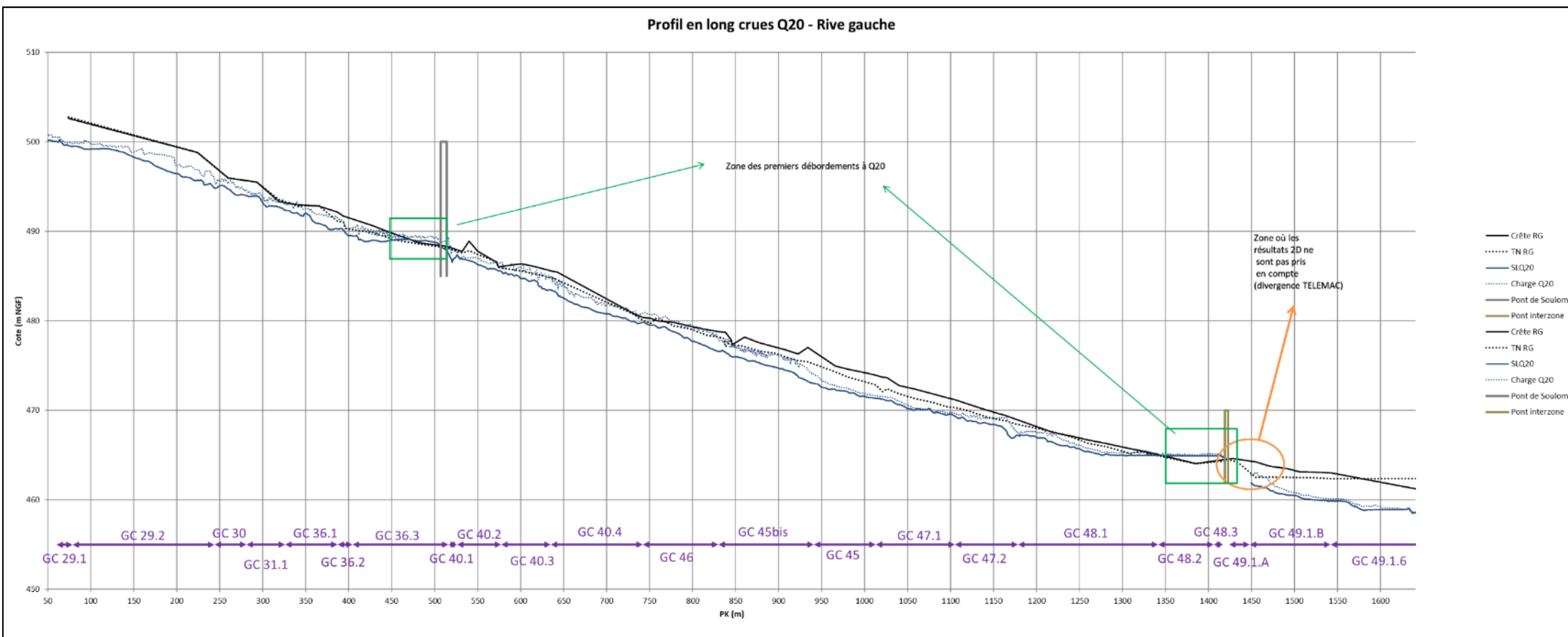
Pour les différents ouvrages (digues et protections de berge) les critères suivants pour la crue de période de retour Q20 sont regardés :

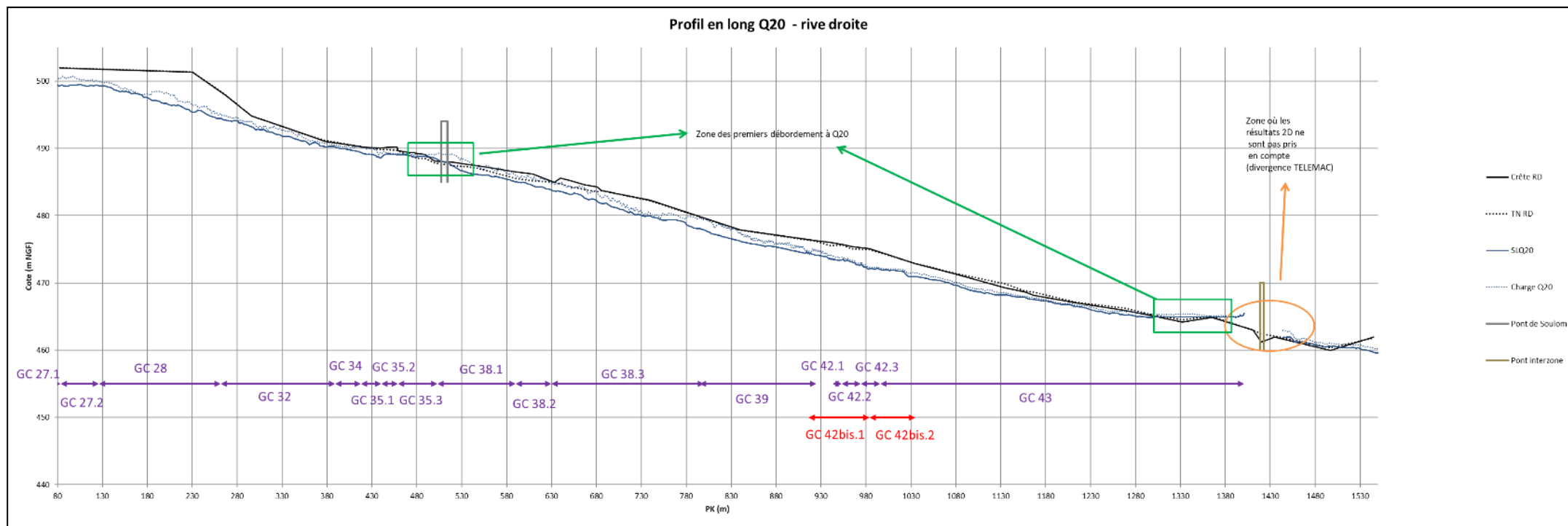
1. Ligne de surface libre et de charge sous la cote du terrain naturel ;
2. Ligne de surface libre sous le terrain naturel et ligne de charge comprise entre la cote du terrain naturel et la cote de crête ;
3. Ligne de surface libre sous le terrain naturel et ligne de charge supérieure à la cote de crête ;
4. Ligne de surface libre et ligne de charge comprises entre la cote de terrain naturel et la cote de crête ;
5. Ligne de surface libre comprise entre la cote de terrain naturel et la cote de crête et ligne de charge au-dessus de la cote de crête ;
6. Ligne de charge et de surface libre au-dessus la cote de crête.



**Figure 61 : schéma et notations pour la suite du rapport**

Les graphiques suivants détaillent les lignes d'eau Q20 pour chaque rive.





Les revanches négatives correspondent à un dépassement de la cote (TN ou crête) par la cote de la modélisation hydraulique (surface libre ou charge).

Les modèles hydrauliques ont été réalisés avec la prise en compte d'hypothèses susceptibles de subir d'importantes modifications en crue dans le contexte torrentiel (risque d'incision ou d'engravement du lit, rugosité du lit, topographie, transport de matériaux, fortes vitesses...), présentées dans les rapports hydraulique et morphodynamique/transport solide. Le tableau suivant a pour but d'apprécier les zones risquant de surverser et celles où la différence de charge gave / TN est importante pour la crue Q20.

| Tronçon            | Description  | Ouvrage              | Linéaire du tronçon (m) | Revanche TN / SL (m) | Revanche Crête / SL (m) | Revanche TN / Charge (m) | Revanche Crête / Charge (m) | Vitesse moyenne (m/s) | Vitesse maximale (m/s) |
|--------------------|--|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Rive gauche</b> |  |                      |                         |                      |                         |                          |                             |                       |                        |
| GC 29.1            | Talus en enrochements libre  | Protection de berges | 21                      | 3,19                 | 3,04                    | 2,80                     | 2,65                        | 1,85                  | 2,39                   |
| GC 29.2            | Mur de soutènement en enrochements bétonnés                        | Protection de berges | 166                     | 2,25                 | 2,16                    | 0,86                     | 0,87                        | 2,73                  | 4,67                   |
| GC 30              | Mur de soutènement en béton banché                                 | Protection de berges | 26                      | 1,23                 | 1,24                    | 0,24                     | 0,25                        | 2,73                  | 3,77                   |
| GC 31.1            | Mur de soutènement en enrochements bétonnés                        | Protection de berges | 54                      | 0,81                 | 0,60                    | -0,11                    | -0,28                       | 2,03                  | 3,46                   |
| GC 36.1            | Mur de soutènement béton   | Protection de berges | 62                      | 0,77                 | 0,81                    | -0,48                    | -0,35                       | 2,93                  | 5,23                   |
| <b>GC 36.2</b>     | <b>Mur de soutènement béton</b>                                    | <b>Digue</b>         | <b>17</b>               | <b>0,49</b>          | <b>1,52</b>             | <b>-0,39</b>             | <b>0,57</b>                 | <b>2,11</b>           | <b>4,70</b>            |
| <b>GC 36.3</b>     | <b>Mur de soutènement béton</b>                                    | <b>Digue</b>         | <b>111</b>              | <b>-0,48</b>         | <b>-0,35</b>            | <b>-1,22</b>             | <b>-1,05</b>                | <b>2,46</b>           | <b>4,52</b>            |
| GC 40.1            | Mur de soutènement béton   | Protection de berges | 10                      | 0,42                 | 0,59                    | -0,38                    | -0,21                       | 2,44                  | 4,03                   |
| GC 40.2            | Mur de soutènement béton   | Protection de berges | 52                      | 0,36                 | 0,47                    | -0,63                    | -0,48                       | 2,11                  | 3,45                   |
| <b>GC 40.3</b>     | <b>Mur de soutènement béton + rehausse bois</b>                    | <b>Digue</b>         | <b>57</b>               | <b>0,44</b>          | <b>0,61</b>             | <b>-0,67</b>             | <b>-0,45</b>                | <b>3,20</b>           | <b>4,70</b>            |
| GC 40.4            | Mur de soutènement béton   | Protection de berges | 105                     | 0,29                 | 0,58                    | -0,70                    | -0,42                       | 3,81                  | 5,01                   |
| <b>GC 46</b>       | <b>Mur de soutènement béton avec surélévation béton ultérieure</b> | <b>Digue</b>         | <b>88</b>               | <b>0,19</b>          | <b>0,53</b>             | <b>-0,97</b>             | <b>-0,70</b>                | <b>3,52</b>           | <b>5,80</b>            |
| <b>GC 45bis</b>    | <b>Mur de soutènement bon</b>                                      | <b>Digue</b>         | <b>110</b>              | <b>0,72</b>          | <b>1,37</b>             | <b>-0,79</b>             | <b>0,11</b>                 | <b>3,64</b>           | <b>5,42</b>            |
| <b>GC 45</b>       | <b>Mur de soutènement béton avec surélévation béton ultérieure</b> | <b>Digue</b>         | <b>72</b>               | <b>1,48</b>          | <b>2,51</b>             | <b>1,17</b>              | <b>2,11</b>                 | <b>2,51</b>           | <b>3,64</b>            |
| <b>GC 47.1</b>     | <b>Mur de soutènement béton</b>                                    | <b>Digue</b>         | <b>93</b>               | <b>0,77</b>          | <b>1,74</b>             | <b>0,56</b>              | <b>1,50</b>                 | <b>1,71</b>           | <b>2,91</b>            |
| <b>GC 47.2</b>     | <b>Mur de soutènement béton</b>                                    | <b>Digue</b>         | <b>74</b>               | <b>0,65</b>          | <b>1,33</b>             | <b>-0,39</b>             | <b>0,19</b>                 | <b>3,16</b>           | <b>5,51</b>            |
| <b>GC 48.1</b>     | <b>Mur de soutènement béton</b>                                    | <b>Digue</b>         | <b>165</b>              | <b>-0,04</b>         | <b>0,11</b>             | <b>-0,23</b>             | <b>-0,07</b>                | <b>2,34</b>           | <b>4,26</b>            |
| GC 48.2            | Mur de soutènement maçonné   | Protection de berges | 64                      | -0,88                | -0,86                   | -1,02                    | -1,00                       | 1,51                  | 2,04                   |
| GC 48.3            | Mur de soutènement avec enrochements bétonnés                      | Protection de berges | 11                      | -0,69                | -0,58                   | -0,90                    | -0,77                       | ,182                  | 2,21                   |



| Rive droite       |   |                      |            |              |              |              |              |                   |             |
|-------------------|---|----------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|
| GC 27.1           | Mur de soutènement maçonné  | Protection de berges | 82         | 2,69         | 2,69         | 1,62         | 1,62         | 5,80              | 7,24        |
| GC 27.2           | Mur de soutènement en enrochements bétonnés   | Protection de berges | 43         | 2,37         | 2,37         | 1,12         | 1,12         | 4,70              | 5,62        |
| GC 28             | Mur de soutènement à doubles niveaux : enrochements bétonnés en partie inférieure et enrochements libres en partie supérieure | Protection de berges | 179        | 2,44         | 2,44         | 1,81         | 1,81         | 4,58              | 5,92        |
| GC 32             | Mur de soutènement en enrochements libres   | Protection de berges | 77         | 0,66         | 0,56         | 0,19         | 0,21         | 3,56              | 4,76        |
| GC 34             | Mur de soutènement en enrochements bétonnés   | Protection de berges | 33         | 0,67         | 0,58         | -0,01        | -0,03        | 3,30              | 4,15        |
| GC 35.1           | Massif rocheux  | Protection de berges | 23         | 0,87         | 0,87         | -0,11        | 0,00         | 4,40              | 4,91        |
| <b>GC 35.2</b>    | <b>Mur de soutènement béton</b>   | <b>Digue</b>         | <b>19</b>  | <b>0,57</b>  | <b>0,66</b>  | <b>0,27</b>  | <b>0,55</b>  | <b>2,39</b>       | <b>4,11</b> |
| <b>GC 35.3</b>    | <b>Mur de soutènement maçonné</b>   | <b>Digue</b>         | <b>43</b>  | <b>-0,68</b> | <b>-0,41</b> | <b>-1,38</b> | <b>-1,08</b> | <b>2,70</b>       | <b>4,34</b> |
| <b>GC 38.1</b>    | <b>Mur de soutènement béton</b>   | <b>Digue</b>         | <b>80</b>  | <b>-0,55</b> | <b>-0,24</b> | <b>-1,77</b> | <b>-1,26</b> | <b>5,48</b>       | <b>6,15</b> |
| <b>GC 38.2</b>    | <b>Mur de soutènement béton + rehausse bois</b>   | <b>Digue</b>         | <b>40</b>  | <b>0,40</b>  | <b>1,30</b>  | <b>-0,72</b> | <b>0,00</b>  | <b>5,18</b>       | <b>5,69</b> |
| <b>GC 38.3</b>    | <b>Mur de soutènement béton dont un mur routier de revanche en amont du linéaire</b>  | <b>Digue</b>         | <b>172</b> | <b>0,80</b>  | <b>1,32</b>  | <b>-0,40</b> | <b>-0,07</b> | <b>5,06</b>       | <b>5,89</b> |
| GC 39             | Perré maçonné sur un mur de soutènement béton   | Protection de berge  | 130        | 1,63         | 1,63         | 0,00         | 0,01         | 5,07              | 6,45        |
| <b>GC 42bis.1</b> | <b>Muret de divagation en enrochements bétonnés (majoritairement enterré)</b>   | <b>Digue</b>         | <b>70</b>  | <b>1,82</b>  | <b>1,87</b>  | <b>1,16</b>  | <b>1,22</b>  | <b>4,20</b>       | <b>4,78</b> |
| GC 42bis.2        | Muret de divagation en enrochements libres (majoritairement enterré)  | Protection de berges | 53         | 1,72         | 1,72         | 1,42         | 1,42         | 2,67 <sup>7</sup> | 3,72        |

Figure 64 : Comparaisons des résultats des modélisations hydrauliques (crue Q20) et la topographie des ouvrages de protection

<sup>7</sup> Ce tronçon est protégé par les tronçons GC 42.3 et GC 43, les vitesses indiquées sont celles calculées au droit des tronçons GC42.3 et GC 43.

Pour la crue Q20, les revanches sont négatives pour les deux rives en amont des deux ponts.

Le facteur aggravant prépondérant pour les principaux modes de défaillances en torrentiel (affouillement, érosion externe...) est la vitesse d'écoulement.

Pour la crue Q20, la vitesse moyenne est 2,6 m/s (RG) à 3,9 m/s (RD), on note notamment en rive droite une zone de survitesse (en jaune) ( $\approx 5$  m/s) où localement la vitesse maximale peut atteindre 6,5 m/s. Cette zone se situe à l'aval du pont de Soulom, du tronçon GC 38.1 à GC 39.

En rive gauche, les vitesses sont plus modérées en comparaison avec la rive droite, même si elles demeurent assez importantes. On note également deux zones avec des vitesses plus importantes : la première (en bleu) pouvant atteindre 5 m/s à l'aval direct du pont de Soulom (GC 40.3 et GC 40.4) et la deuxième (en orange) plus en aval, à l'extrados d'un coude au niveau des tronçons GC 46 et GC 45bis, pouvant atteindre les 5,8 m/s. Plusieurs ouvrages ont été sévèrement endommagés ou détruits en raison d'un affouillement de la fondation trop important dans les zones citées précédemment lors des crues de 2012 et 2013.

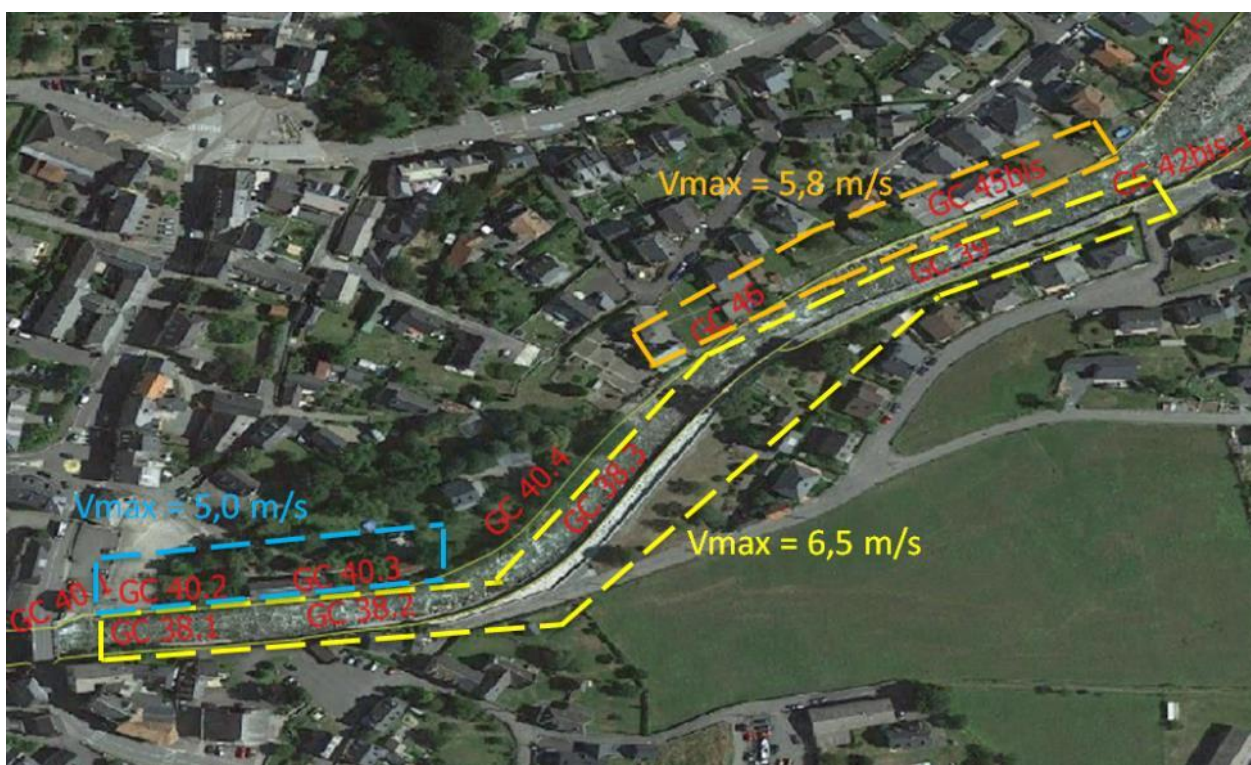
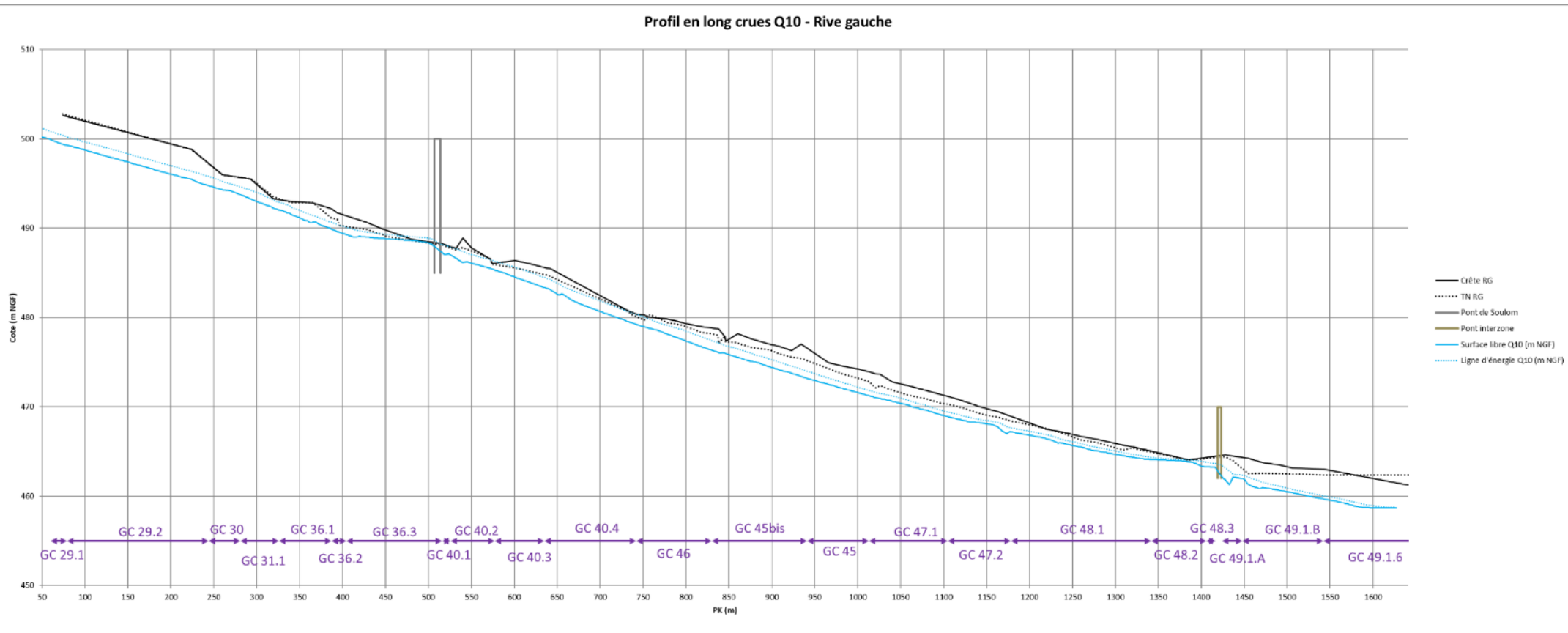


Figure 65 Zone des vitesses maximales pour la Q20

Le tronçon GC 27.1 (RD) est sujet à des fortes vitesses en raison du seuil Berty. La zone en aval de ce dernier est fortement incisée (cf. VTA 2018), il y a un risque d'accumulation de matériaux en amont.

### 7.3 SOLLICITATION HYDRAULIQUE POUR LA CRUE DE DEBIT 100 M<sup>3</sup>/S (Q10)

Les profils en long pour la crue décennale sont donnés ci-dessous :





## 7.4 ETUDES DES ALEAS DE RUPTURE

### 7.4.1 ALEAS DE RUPTURE POSSIBLES DANS LA ZONE D'ETUDE

Les différents événements pouvant conduire à la rupture de l'ouvrage et/ou des entrées d'eau importantes en crue sont :

- **Scénario SC1** : Incision du lit et affouillement du pied entraînant une rupture de l'ouvrage (basculement ou renard) et des venues d'eau lors de la même crue ;
- **Scénario SC2** : Rupture de la digue par choc d'embâcle ou érosion externe du parement ;
- **Scénario SC3** : Venues d'eau dangereuses sous l'effet de la surverse ;
- **Scénario SC4** : Effondrement de la digue du fait de l'érosion interne de la fondation du mur ;
- **Scénario SC5** : Basculement du mur côté Gave lors d'une décrue importante puis érosion et inondation lors d'une seconde crue avant réparation ;
- **Scénario SC6** : Entrée d'eau par les ouvrages traversants ;
- **Scénario SC7** : Rupture d'un mur digue par défaut de résistance interne

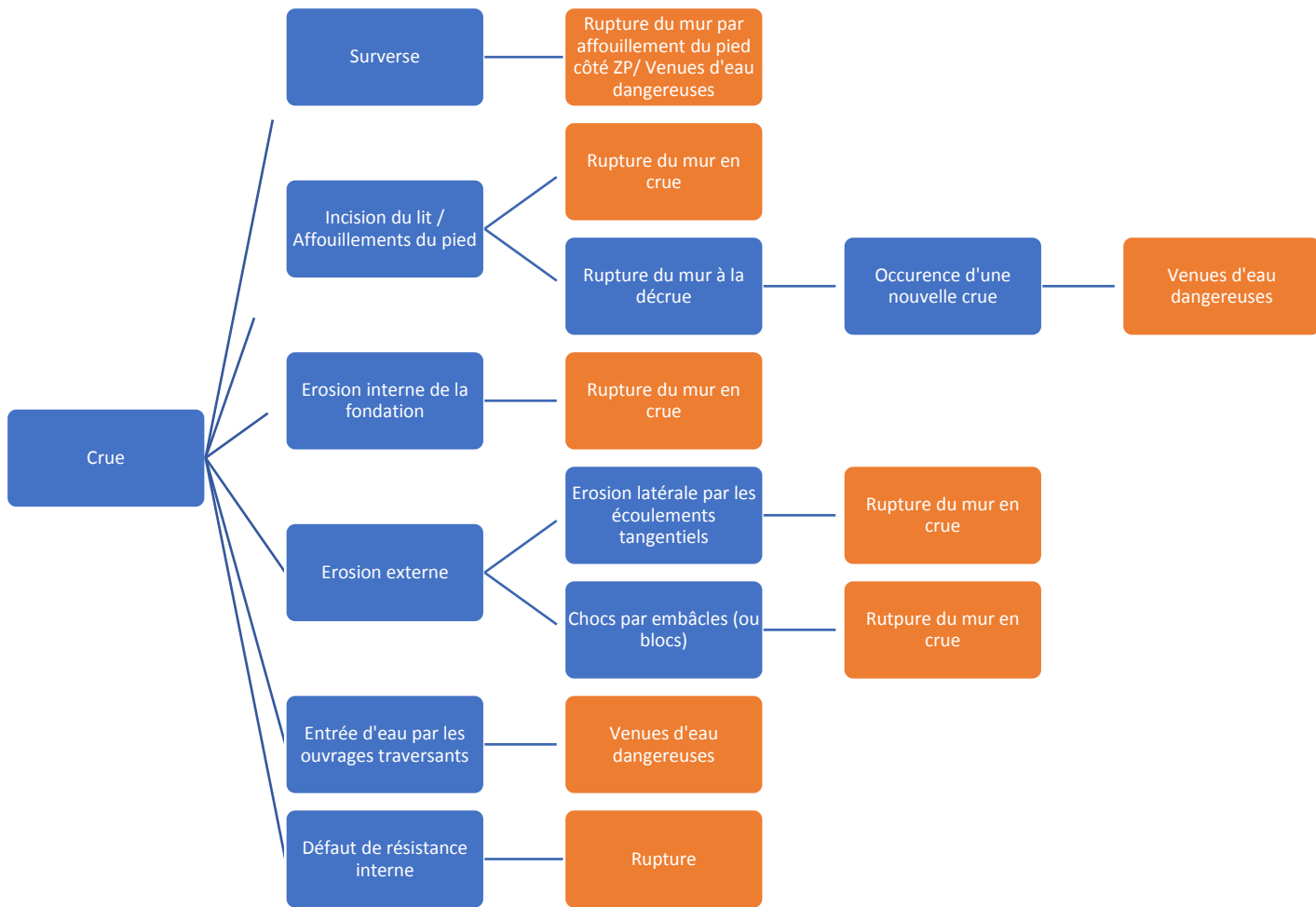


Figure 66 : Synthèse des événements pouvant conduire à la rupture des ouvrages

## 7.4.2 METHODOLOGIE ET GRILLE D'APPRECIATION DES PROBABILITES

Le diagnostic technique approfondi vise à déterminer le niveau de protection pour lequel la tenue des ouvrages est garantie avec une probabilité de rupture résiduelle maximale de 5%.

Cette probabilité est déterminée pour chaque scénario de rupture au moyen d'arbres de défaillance, chaque bifurcation correspondant à une étape sur le chemin de la rupture.

A chaque étape est associée une probabilité établie sur la base de l'analyse de l'ensemble des connaissances disponibles et en intégrant des approches calculatoires et le REX sur l'ouvrage concerné ou d'autres ouvrages similaires.

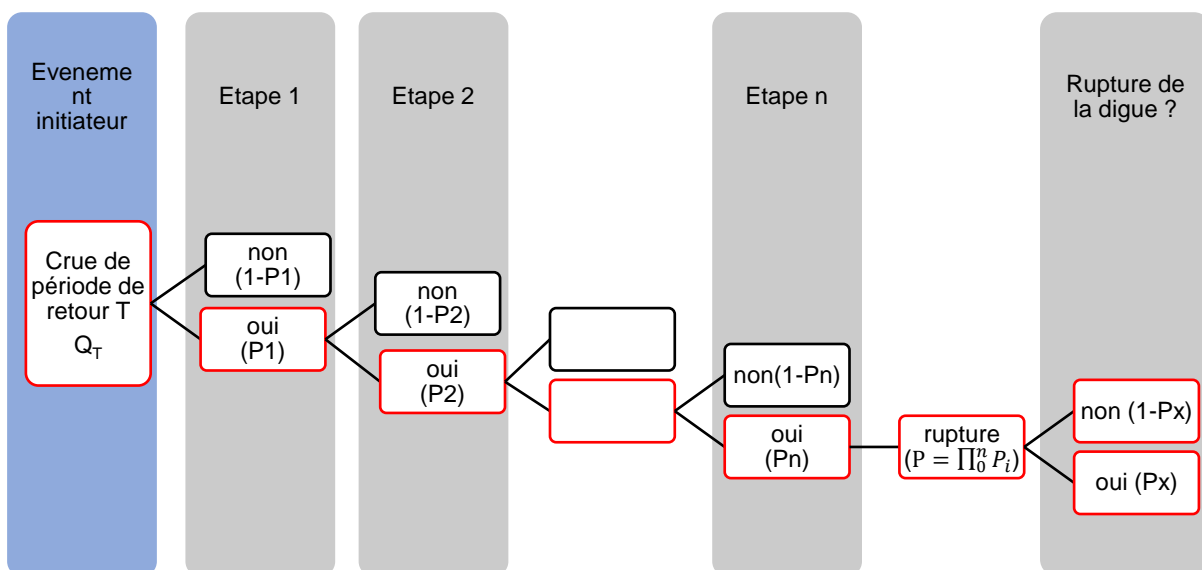


Figure 67 : Arbre-type de probabilité

Les probabilités des différents phénomènes sont rarement quantifiables de manière quantitative, en particulier dans un contexte torrentiel. Ainsi, conformément à l'**annexe 3** de « l'arrêté du 30 septembre 2019 modifiant l'arrêté du 7 avril 2017 précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions », pour chaque scénario, la méthodologie évalue de la capacité des ouvrages à résister aux sollicitations de la crue étudiée.

L'ANNEXE 4 définit pour différents scénarios du diagnostic approfondi des familles d'ouvrages ayant des caractéristiques et des comportements communs vis-à-vis du scénario considéré. Ces familles servent à l'évaluation de la capacité de résistance des ouvrages.

La probabilité conditionnelle d'occurrence des phénomènes de rupture est basée sur une grille d'appréciation à **dire d'expert sur la base des informations disponibles (observation, modélisations et données historiques)**.

Pour la détermination de probabilités d'occurrences, nous avons retenu dans le cadre du présent diagnostic les valeurs proposées par Vick 2002 et adaptées par l'United States Bureau of Reclamation (USBR).

L'USBR a adopté un système de qualification verbale pour la plupart des estimations de probabilité subjective. Ce système est basé principalement sur des expériences rapportées par Reagan et al (1989). Ces expériences montrent que, dans des limites raisonnables, les gens sont assez bien calibrés pour des probabilités connues, à condition :

- D'utiliser des mots que la plupart des gens adopteraient pour leur propre cas ;
- Que les probabilités soient plus probables que 1%.

Vick (2002) a résumé ces résultats et a proposé une convention verbale de transformation numérique, indiqué dans le tableau ci-dessous. Les résultats des expériences réalisées par Reagan et al. figurent à côté de ces valeurs.

Une des principales conclusions des expériences est que la capacité des gens à quantifier des probabilités ne se prolonge pas très loin à chaque extrémité de l'échelle de probabilité, même si des mots comme "presque impossible" ou "presque certain" sont utilisés. Cela est probablement dû au fait que l'expérience de la plupart des gens ne leur permet pas de conceptualiser des probabilités pour des valeurs extrêmes, et on ne dispose donc pas des termes qui décrivent adéquatement ces valeurs extrêmes.

La grille d'appréciation des probabilités est présentée dans le tableau suivant :

| Qualification verbale de l'événement   | Code couleur | Probabilité suggérée Vick (2002) | Gamme de probabilités (Reagan & Al (1989)) |
|--|--------------|----------------------------------|--|
| <b>Très improbable</b><br>en raison de conditions physiques connues ou des procédés qui peuvent être décrits et qualifiés avec une entière confiance |              | 0,01                             | 0-0,05                                     |
| <b>Improbable</b><br>Bien que la possibilité ne puisse être écartée  |              | 0,1                              | 0,02-0,15                                  |
| <b>Neutre</b><br>Avec aucune raison de croire qu'un résultat est plus ou moins probable que l'autre  |              | 0,5                              | 0,45-0,55                                  |
| <b>Probable</b><br>Mais sans être complètement certain   |              | 0,9                              | 0,75-0,90                                  |
| <b>Très probable</b><br>en raison de conditions physiques connues ou des procédés qui peuvent être décrits et qualifiés avec une entière confiance   |              | 0,99                             | 0,9-0,995                                  |

**Tableau 17 : Probabilité conditionnelle proposée par Vick 2002**

Ces probabilités conditionnelles seront affectées directement à chaque élément de chaque scénario de rupture identifié.

**La recherche du niveau de sûreté a été réalisé tronçon par tronçon, initialement pour la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s), dans le cas où le risque de rupture est supérieur à la Q20, il est recherché le niveau d'eau maximal pouvant garantir un risque de rupture inférieur à 5%.**



### 7.4.3 SCENARIO 1 : EROSION EXTERNE PAR AFFOUILLEMENT DU PIED ENTRAINANT UNE RUPTURE DE L'OUVRAGE (BASCULEMENT OU RENARD) ET DES VENUES D'EAU LORS DE LA MEME CRUE

#### 7.4.3.1 Description du phénomène

L'affouillement des ouvrages rigides lors d'une crue est la principale cause de rupture de ces derniers. Le sapement des matériaux en fondation résulte des fortes vitesses d'écoulement en pied de digue. Les effets peuvent être aggravés par les perturbations locales à l'écoulement (changement de section brusque, parties saillantes, arbres ...). On observe principalement l'incision du lit dans les zones de rétrécissements (survitesse), à l'aval d'un seuil (fosse d'affouillement) ou encore à l'extrados d'un coude.

#### 7.4.3.2 Moyen de détection et observations possibles en crue

L'érosion externe est un phénomène évolutif dont il est possible de déceler l'initiation lors des inspections visuelles programmées régulières (incision du lit, sous-cavement, érosion des protections...).

Les observations en crue sont rendues impossibles du fait du niveau d'eau présent en pied de digue.

#### 7.4.3.3 Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance est présenté ci-dessous :

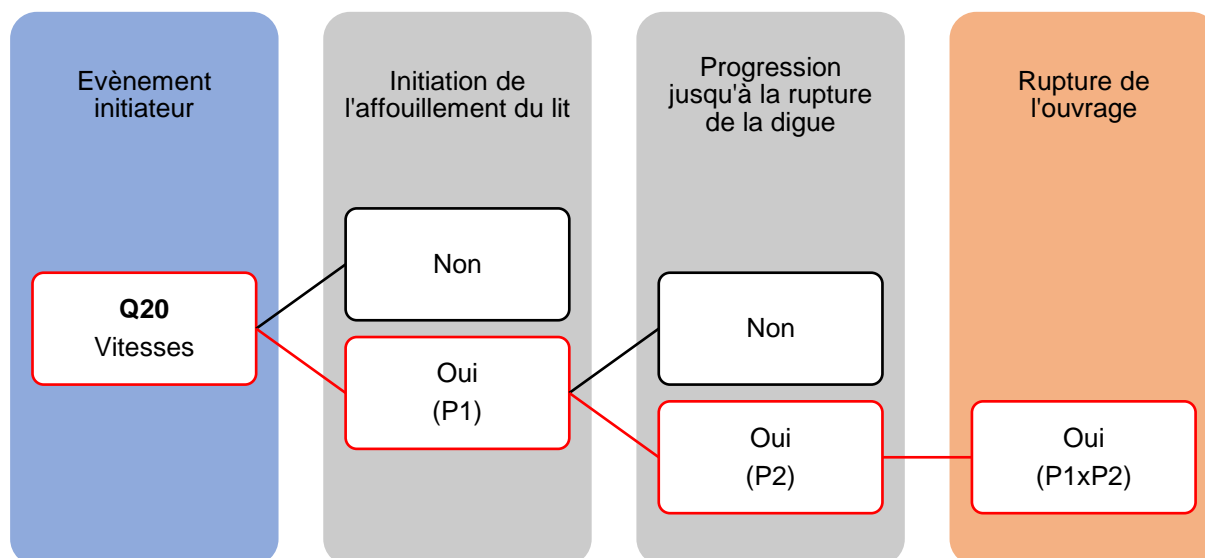


Figure 68 : Arbre de défaillance par rupture de la digue par affouillement du mur

#### 7.4.3.4 Evènement initiateur : définition de la sollicitation

La cause principale de l'affouillement d'un ouvrage est une vitesse importante au pied de celui-ci. Les vitesses maximales pour la crue Q20 varient entre 3 et 7 m/s.

#### 7.4.3.5 Initiation de l'affouillement du lit : évaluation de la probabilité conditionnelle P1

Au vu des crues passées, le charriage des matériaux du lit lors d'une crue du type « Q20 » est certain.

Il est rappelé ci-dessous la granulométrie des matériaux du lit et les vitesses critiques d'entraînement pour différents matériaux :

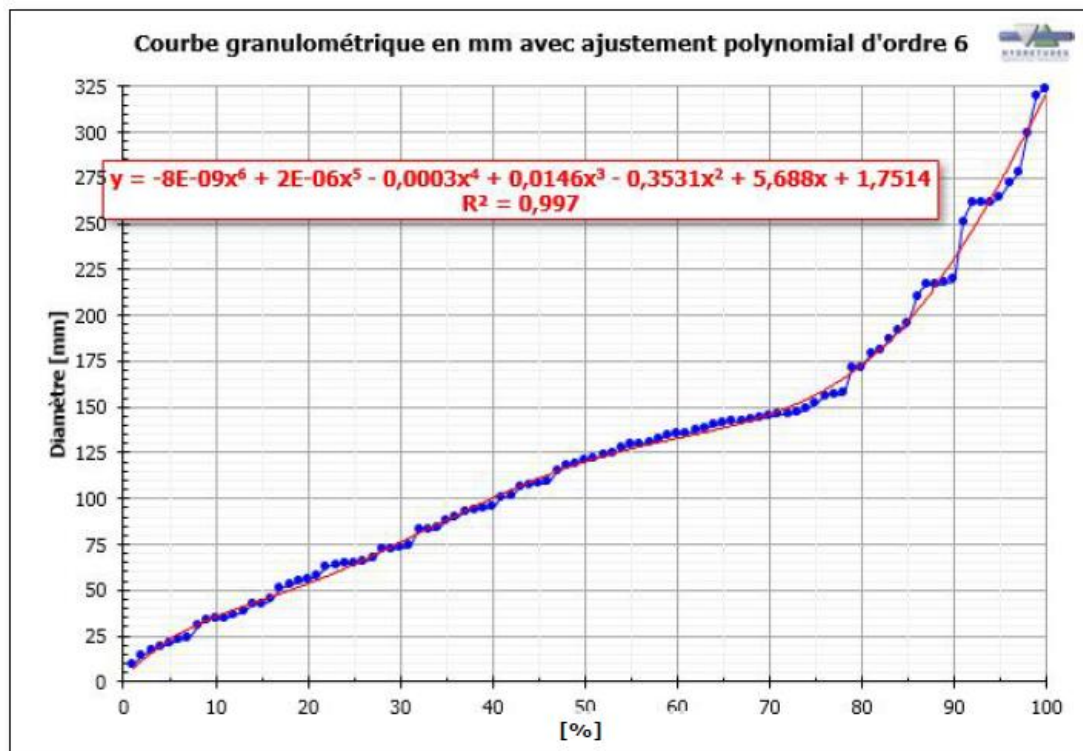


Figure 26 : Courbe granulométrique effectuée en amont du pont de la RD 921

Figure 69 : Courbe granulométrique en amont du pont de Soulom, D50=125mm - Rapport morphologique HYDRETUDES, avril 2020

Tableau 5.19 Vitesses critiques moyennées sur la profondeur,  $U_1$ , pour des matériaux granulaires lâches avec une hauteur d'eau de 1 m

| Matériau                | Dimension $D$ (mm) | Vitesse critique $U_1$ (m/s) pour $h = 1$ m |
|-------------------------|--------------------|---|
| Graviers très grossiers | 200 – 150          | 3.9 – 3.3                                   |
|                         | 150 – 100          | 3.3 – 2.7                                   |
| Graviers grossiers      | 100 – 75           | 2.7 – 2.4                                   |
|                         | 75 – 50            | 2.4 – 1.9                                   |
|                         | 50 – 25            | 1.9 – 1.4                                   |
|                         | 25 – 15            | 1.4 – 1.2                                   |
|                         | 15 – 10            | 1.2 – 1.0                                   |
|                         | 10 – 5             | 1.0 – 0.8                                   |
| Graviers                | 5 – 2              | 0.8 – 0.6                                   |
| Sable grossier          | 2 – 0.5            | 0.6 – 0.4                                   |
| Sable fin               | 0.5 – 0.1          | 0.4 – 0.25                                  |
| Sable très fin          | 0.1 – 0.02         | 0.25 – 0.20                                 |
| Limon                   | 0.02 – 0.002       | 0.20 – 0.15                                 |

Tableau 5.20 Coefficients de correction de la vitesse,  $K_1$ , pour des hauteurs d'eau ( $h \neq 1$  m) comprises entre  $h = 0.3$  m et  $h = 3$  m

| Hauteur $h$ (m) | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 1.5 | 2.0  | 2.5  | 3.0  |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| $K_1$ (-)       | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.15 | 1.20 | 1.25 |

Figure 70 : Vitesses critiques pour les matériaux granulaires lâches – Guide enrochements CETMEF

Les matériaux du lit ont un D50 égal à 125 mm et sont classés dans la catégorie « Gravier très grossiers », la vitesse d'entraînement varie entre 2,5 m/s et 3,75 m/s (suivant la hauteur d'eau), les vitesses calculées par le modèle hydraulique sont supérieures à très supérieures aux vitesses critiques des matériaux du lit.

**Au vu de ces résultats, la probabilité d'initiation de l'érosion du lit est considérée comme identique quel que soit le tronçon considéré et est jugée comme très probable pour la crue de type « Q20-137 m<sup>3</sup>/s », soit P1 =0,99.**

#### 7.4.3.6 Progression de l'affouillement jusqu'à la rupture : évaluation de la probabilité conditionnelle P2

L'incision du lit n'entraîne pas forcément la déstabilisation des ouvrages, la rupture de l'ouvrage dépend principalement des caractéristiques de sa fondation et des protections anti-affouillements. Ainsi afin d'évaluer le niveau de la résistance des ouvrages à l'affouillement, deux analyses sont réalisées :

- Analyse morphologique (HYDRETUDES) : identification des zones d'incision et d'exhaussement
- Analyse des protections anti-affouillement : historiques des ruptures, dimensionnement et état des protections.

Au vu de ces résultats, il sera estimé la probabilité de progression jusqu'à la rupture des murs (P2).

1. Analyse morphologique (HYDRETUDES) : identification des zones d'incision et d'exhaussement

L'étude hydromorphologique, réalisée par HYDRETUDES en avril 2020, a défini les possibilités d'évolution du lit.

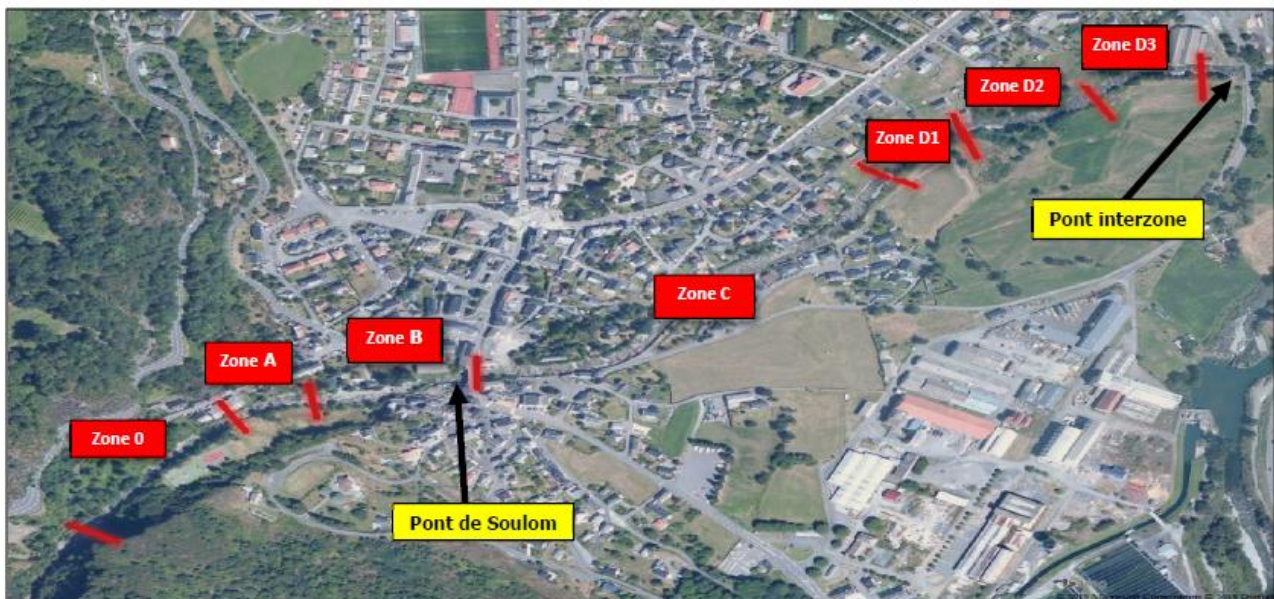


Figure 71 : Carte des zones équivalentes en termes d'évolution verticale, HYDRETUDES, avril 2020

| Incision ou exhaussement maximaux par zone - Profils fond de lit |                         |             |             |             |   |
|--|-------------------------|-------------|-------------|-------------|---|
| Zones  | Distance au point amont | 2015 - 2018 | 2018 - 2019 | 2015 - 2019 | Commentaire   |
| Zone 0   | 300 - 515               | +0.60       | -0.82       | -1.42       | Zone principalement en exhaussement entre 2015 et 2018, puis en incision forte entre 2018 et 2019 |
| Zone A   | 515 - 600               | +0.91       | -0.50/+0.50 | +0.72       | Zone en exhaussement de 2015 à 2018, entre 2018 et 2019 zone mixte                                |
| Zone B   | 600 - 765               | +0.34       | -0.70       | -0.50       | Zone stable avec léger exhaussement entre 2015 et 2018 puis incision entre 2018 et 2019           |
| Zone C   | 765 - 1270              | -0.57/+1.10 | -0.93       | -0.95       | Incision marquée depuis 2018  |
| Zone D1  | 1270 - 1375             | -0.30/+0.70 | -0.53       | -0.42       | Zone en incision principalement depuis 2018   |
| Zone D2  | 1375 - 1505             | +1.33       | +1.05       | +1.20       | Zone en exhaussement, seuil a disparu sous les matériaux  |
| Zone D3  | 1505 - 1620             | -0.70       | -0.30       | -0.60       | Incision marquée entre 2015 et 2018-2019, fond du lit relativement stable entre 2018 et 2019.     |

Tableau 4 : Evolution verticale du fond du lit en comparant la topographie du fond du lit

| Incision ou exhaussement maximaux par zone - Tendances générales |                         |  |
|--|-------------------------|--|
| Zones  | Distance au point amont | Commentaire  |
| Zone 0   | 300 - 515               | Zone en incision avec phase d'exhaussement entre 2015 et 2018                          |
| Zone A   | 515 - 600               | Zone en incision entre 1913 et 2013 puis en exhaussement entre 2015 et 2018 voire 2019 |
| Zone B   | 600 - 765               | Zone en incision   |
| Zone C   | 765 - 1270              | Zone mixte entre 1913 et 2015 puis phase d'incision marquée depuis 2015 à 2018         |
| Zone D1  | 1270 - 1375             | Zone en incision   |
| Zone D2  | 1375 - 1505             | Zone en incision jusqu'à 2013 puis à partir de 2015 exhaussement                       |
| Zone D3  | 1505 - 1620             | Zone en incision, fond de lit stable entre 2018 et 2019                                |

Tableau 6 : tendances d'évolution verticale du lit

Le tableau suivant présente l'analyse des zones d'incision ou d'exhaussement par famille. Le comportement le plus défavorable est retenu pour chaque famille.

|                | Ouvrages sur la zone en rive gauche                                    | Ouvrages sur la zone en rive droite                 |
|----------------|--|---|
| <b>Zone 0</b>  | GC 29.1 ; GC 29.2  | GC 28   |
| <b>Zone A</b>  | GC 30 ; GC 31.1 ; GC 36.1  | GC 32   |
| <b>Zone B</b>  | GC 36.2 ; GC 36.3  | GC 32 ; GC 34 ; GC 35.2 ; GC 35.3                   |
| <b>Zone C</b>  | GC 40.1 ; GC 40.2 ; GC 40.3 ; GC 40.4 ;<br>GC 46 ; GC 45 bis ; GC 45 ; | GC 38.1 ; GC 38.2 ; GC 38.3 ; GC 39 ; GC<br>42bis.1 |
| <b>Zone D1</b> | GC 47.1 ; GC 47.2  | -   |
| <b>Zone D2</b> | GC 48.1  | -   |
| <b>Zone D3</b> | GC 48.1 ; GC 48.2 ; GC 48.3  | -   |

**Figure 72 : Recensement des digues en fonctions des zones équivalentes d'évolution verticale du lit**

Les zones A et D2 sont en phase d'exhaussement depuis 2015 (incision auparavant). Toutes les autres zones (0, B, C, D1 et D3) sont en phase d'incision et tout particulièrement la zone C qui subit une incision marquée (-0.95 m entre 2015 et 2019).

Sur la zone 0, les observations sur site montrent une incision beaucoup plus forte en rive droite qu'en rive gauche.

## 2. Analyse des protections anti-affouillement :

Lors des crues de 2012 et 2013 plusieurs ouvrages ont été affouillés, allant jusqu'à la rupture pour certain (GC 47.2 & GC 45bis) (affouillement >2 m), plusieurs travaux de confortement ont eu lieu, le détail des protections réalisés est présenté dans §1.1 « Regroupement des ouvrages pour le scénario 1 » de l'ANNEXE 4, comprenant notamment la réalisation d'une bêche en enrochements bétonnés et suivant les tronçons d'un sabot para fouille en enrochements libres.

**La géométrie et l'état des différents tronçons sont décrits précisément dans le §1.1 de l'ANNEXE 4.** La quantification de la résistance des ouvrages découle directement de l'évaluation réalisée dans ces paragraphes. Les familles considérées sont rappelées ci-dessous :

- **Famille 1.1** : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés avec des désordres importants
- **Famille 1.2** : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés sans désordre important
- **Famille 1.3** : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés et sabot para fouille en enrochements libres avec désordres;
- **Famille 1.4** : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés et sabot para fouille en enrochements libres sans ;
- **Famille 1.5** : ouvrage avec une simple semelle béton.

Une vérification du dimensionnement des enrochements libres est réalisée pour la crue de type « Q20 » à l'aide de la formule d'Isbash :

$$D_{50} = k \frac{u_b^2}{2g\Delta}$$

Avec :

- $u_b$  : la vitesse du gave au droit de la zone enrochée ;

- $\Delta$  : le poids déjaugé des enrochements : 1,5 (poids volumique de 25 kN/m<sup>3</sup>) ;
- $k$  : le coefficient d'Isbash : 0,7 en zone peu turbulente et 1,4 en zone turbulente ;
- $D_{50}$  : le diamètre médian des enrochements en place.

Les résultats sont présentés ci-dessous pour la Q20 :

|             | Tronçon     | Vitesse maximale Q20 (m/s) | K=1,4   |         |
|-------------|-------------|----------------------------|---------|---------|
|             |             |                            | D50 (m) | M50 (t) |
| Famille 1.1 | GC 40.3     | 4,70                       | 1,05    | 1,74    |
|             | GC 38.3     | 5,89                       | 1,65    | 6,74    |
|             | GC 46       | 5,80                       | 1,60    | 6,17    |
| Famille 1.2 | GC 29.2     | 4,68                       | 1,04    | 1,70    |
|             | GC 30       | 3,77                       | 0,68    | 0,45    |
|             | GC 40.1     | 4,00                       | 0,77    | 0,69    |
|             | GC 40.2     | 3,45                       | 0,57    | 0,27    |
|             | GC 40.4     | 5,00                       | 1,05    | 1,74    |
|             | GC 48.2     | 1,50                       | 0,20    | 0,01    |
|             | GC 48.3     | 1,80                       | 0,23    | 0,02    |
|             | GC 28       | 5,90                       | 1,67    | 6,97    |
|             | GC 34       | 4,00                       | 0,82    | 0,82    |
|             | GC 38.1     | 6,15                       | 1,80    | 8,77    |
|             | GC 38.2     | 5,69                       | 1,54    | 5,50    |
|             | GC 39       | 6,4                        | 1,95    | 11,10   |
|             | GC 35.3     | 4,34                       | 0,90    | 1,08    |
|             | Famille 1.3 | GC 36.2                    | 4,70    | 1,05    |
| GC 36.3     |             | 4,52                       | 0,97    | 1,37    |
| Famille 1.4 | GC 31.1     | 3,46                       | 0,57    | 0,28    |
|             | GC 32       | 4,70                       | 1,08    | 1,88    |
|             | GC 35.2     | 4,11                       | 0,80    | 0,77    |
|             | GC 45       | 3,64                       | 0,63    | 0,38    |
|             | GC 47.1     | 2,91                       | 0,40    | 0,10    |
|             | GC 48.1     | 4,26                       | 0,86    | 0,96    |
|             | GC 42bis.1  | 4,78                       | 1,09    | 1,93    |
|             | GC 45bis    | 5,42                       | 1,39    | 4,07    |
|             | GC 47.2     | 5,51                       | 1,44    | 4,52    |

|             |         |     |      |      |
|-------------|---------|-----|------|------|
| Famille 1.5 | GC 36.1 | 3,5 | 0,58 | 0,30 |
|             |         |     |      |      |

**Tableau 18 Calcul du diamètre des enrochements libres pour la crue Q20**

Les diamètres et tonnages requis par de telles vitesses imposent le **choix d'enrochements bétonnés pour la réalisation des bèches anti-affouillement**. L'ajout du liant béton intervient comme une sécurité supplémentaire non négligeable. L'expérience des ouvrages en enrochements liés au sein d'ISL, montre qu'en pratique le diamètre calculé peut être divisé par 2 grâce au liant béton.

Pour le tronçon le plus critique (GC 38.1) avec une vitesse maximale de 6,15 m/s (Q20) et avec un facteur d'Isbash égal à 1,4, l'ouvrage en enrochements bétonnés doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Epaisseur du revêtement  $\approx 1,80$  m (égal au diamètre d'enrochements libres calculé avec la formule d'Isbash)
- $d_{50min} = 0,9$  m soit un  $M_{50min} = 1,1$  t pour un poids volumique de  $25\text{kN/m}^3$  ;

3. Evaluation de la probabilité de progression de l'affouillement jusqu'à la rupture de l'ouvrage :

Le tableau suivant regroupe les résultats précédents et évalue la probabilité conditionnelle P2 de progression de l'affouillement jusqu'à la rupture.



| Tronçon     | Sollicitation                 |   |  | Résistance  | Probabilité P2<br>(progression de<br>l'affouillement<br>jusqu'à la<br>rupture) |
|-------------|-------------------------------|---|--|---|--|
|             | Vitesse maximale Q20<br>(m/s) | Morphologie du lit  | Singularité                                    | Protection contre<br>l'affouillement              |  |
| Rive gauche |                               |   |  |   |  |
| GC 29.2     | 4,6                           | Zone en incision avec phase d'exhaussement entre 2015 et 2018. Pas d'incision observée en rive gauche (0) | Pavage naturel du lit<br>→ Favorable           | Famille 1.2<br>→ Forte                            | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 30       | 3,7                           | Zone en incision avec phase d'exhaussement entre 2015 et 2018. Pas d'incision observée en rive gauche (0) | Pavage du lit (travaux de 2018)<br>→ Favorable | Famille 1.2<br>→ Forte                            | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 31.1     | 3,4                           | Zone en incision jusqu'en 2013 puis exhaussement entre 2015 et 2018 voire 2019 (A)                        | -  | Famille 1.4<br>→ Forte                            | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 36.1     | 3,5                           | Zone en incision jusqu'en 2013 puis exhaussement entre 2015 et 2018 voire 2019 (A)                        | -  | Famille 1.5<br>→ Moyenne voir forte au vu du REX. | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 36.2     | 4,7                           | Zone en incision (B)  | -  | Famille 1.3<br>→ Moyenne                          | Peu probable<br>P2 = 0,1   |
| GC 36.3     | 4,5                           | Zone en incision (B)  | -  | Famille 1.3<br>→ Moyenne                          | Peu probable<br>P2 = 0,1   |
| GC 40.1     | 4,0                           | Zone en forte incision (C)  | -  | Famille 1.2<br>→ Forte                            | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 40.2     | 3,4                           | Zone en forte incision (C)  | -  | Famille 1.2<br>→ Forte                            | Très improbable<br>P2 = 0,01   |
| GC 40.3     | 4,7                           | Zone en forte incision (C)  | Pavage du lit<br>→ Favorable                   | Famille 1.1<br>→ Faible                           | Neutre<br>P2 = 0,5   |

|             |      |   |                                      |                             |                              |
|-------------|------|---|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| GC 40.4     | 5,0  | Zone en forte incision (C)  | -                                    | Famille 1.2<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 46       | 5,8  | Zone en forte incision (C)  | Pavage du lit<br>→ Favorable         | Famille 1.1<br>→ Faible     | Neutre<br>P2 = 0,5           |
| GC 45bis    | 5,4  | Zone en forte incision (C)  | -                                    | Famille 1.4<br>→ Très forte | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 45       | 3,6  | Zone en forte incision (C)  | -                                    | Famille 1.4<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 47.1     | 2,9  | Zone en incision (D1)   | -                                    | Famille 1.4<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 47.2     | 5,5  | Zone en incision (D1)   | -                                    | Famille 1.4<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 48.1     | 4,2  | Zone en exhaussement (D2) sur la partie amont<br>et en incision sur la partie aval (D3) | -                                    | Famille 1.4<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 48.2     | 1,50 | Zone en exhaussement (D2) sur la partie amont<br>et en incision sur la partie aval (D3) | -                                    | Famille 1.2<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 48.3     | 1,80 | Zone en exhaussement (D2) sur la partie amont<br>et en incision sur la partie aval (D3) | -                                    | Famille 1.2<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| Rive droite |      |   |                                      |                             |                              |
| GC 28       | 5,9  | Zone en incision avec phase d'exhaussement<br>entre 2015 et 2018.                       | Pavage naturel du lit<br>→ Favorable | Famille 1.2<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 32       | 4,7  | Zone en incision jusqu'en 2013 puis<br>exhaussement entre 2015 et 2018 voire 2019 (A)   | -                                    | Famille 1.4<br>→ Forte      | Très improbable<br>P2 = 0,01 |

|            |     |                            |                              |                         |                              |
|------------|-----|----------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| GC 34      | 4,0 | Zone en incision (B)       | -                            | Famille 1.2<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 35.2    | 4,1 | Zone en incision (B)       | -                            | Famille 1.4<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 35.3    | 4,3 | Zone en incision (B)       | -                            | Famille 1.2<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 38.1    | 6,1 | Zone en forte incision (C) | Pavage du lit<br>→ Favorable | Famille 1.2<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 38.2    | 5,7 | Zone en forte incision (C) | Pavage du lit<br>→ Favorable | Famille 1.2<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 38.3    | 5,8 | Zone en forte incision (C) | Pavage du lit<br>→ Favorable | Famille 1.1<br>→ Faible | Neutre<br>P2 = 0,5           |
| GC 39      | 6,4 | Zone en forte incision (C) | -                            | Famille 1.2<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |
| GC 42bis.1 | 4,7 | Zone en incision (D1)      | -                            | Famille 1.4<br>→ Forte  | Très improbable<br>P2 = 0,01 |

Tableau 19 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 de progression de l'affouillement jusqu'à la rupture pour la crue Q20

#### 7.4.3.7 Synthèse des résultats du scénario 1 et recherche du niveau de sûreté

| Tronçon     | P1   | P2   | Probabilité totale pour le scénario 1 : érosion externe par affouillement |
|-------------|------|------|---|
| Rive gauche |      |      |   |
| GC 29.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 30       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 31.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 36.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 36.2     | 0,99 | 0,1  | $9,9 \times 10^{-2}$  |
| GC 36.3     | 0,99 | 0,1  | $9,9 \times 10^{-2}$  |
| GC 40.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 40.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 40.3     | 0,99 | 0,5  | $5,0 \times 10^{-1}$  |
| GC 40.4     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 46       | 0,99 | 0,5  | $5,0 \times 10^{-1}$  |
| GC 45 bis   | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 45       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 47.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 47.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 48.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 48.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 48.3     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| Rive droite |      |      |   |
| GC 28       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 32       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 34       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 35.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 35.3     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 38.1     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 38.2     | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 38.3     | 0,99 | 0,5  | $5,0 \times 10^{-1}$  |
| GC 39       | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |
| GC 42 bis.1 | 0,99 | 0,01 | $9,9 \times 10^{-3}$  |

**Tableau 20 : synthèse des résultats du scénario 1 pour la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s)**

#### 7.4.3.8 Niveau de sûreté pour le scénario 1

L'analyse probabiliste est réalisée de ma manière analogue pour la crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s. Les probabilités P1 et P2 sont réduites. En effet :

- L'abaissement à la crue décennale permet de réduire significativement la sollicitation sur les ouvrages en comparaison à la crue Q20 (cf. tableau ci-dessous) ;
- Le phénomène d'initiation bien que toujours probable est réduit (P1=0,9) ;
- La résistance des ouvrages, bien qu'ayant des désordres, est jugée forts vis-à-vis d'une crue décennale (P2=0,01) ;
- Les ouvrages ont déjà connu une crue décennale en 2018 (cf. 6.1.1) sans rompre ni subir des dégâts importants, ce qui confirme les éléments évoqués ci-dessus.

|         | Vitesse maximale Q20 (m/s) | Vitesse maximale Q10 (m/s) | Variation |
|---------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| GC 36.2 | 4,7                        | 3,9                        | - 17 %    |
| GC 36.3 | 4,5                        | 3,5                        | - 22 %    |
| GC 46   | 5,8                        | 4,6                        | -21 %     |
| GC 38.3 | 5,8                        | 4,8                        | - 17 %    |

**Tableau 21 : Variation des vitesses entre la Q20 et Q10 pour les tronçons critiques du scénario 1**

L'analyse pour la crue décennale est donc la suivante pour les tronçons critiques

|         | P1  | P2   | Probabilité totale pour le scénario 1 pour la crue Q10 |
|---------|-----|------|--|
| GC 36.2 | 0,9 | 0,01 | $9 \times 10^{-3}$                                     |
| GC 36.3 | 0,9 | 0,01 | $9 \times 10^{-3}$                                     |
| GC 46   | 0,9 | 0,01 | $9 \times 10^{-3}$                                     |
| GC 38.3 | 0,9 | 0,01 | $9 \times 10^{-3}$                                     |

**Tableau 22 : synthèse des résultats du scénario 1 pour la crue décennale (tronçons critiques seulement)**

### Cas particulier de l'ouvrage de prise de la SDEM du seuil Berty

L'ouvrage de prise de la SDEM en rive gauche du seuil Berty (cf. 5.1.4.1) doit faire l'objet d'une justification particulière sur sa tenue en crue jusqu'au niveau de protection. Cependant, après consultation de la SDEM, aucune note de calcul justifiant l'ouvrage n'est disponible.

Le scénario de défaillance possible est soit une rupture par affouillement du mur-vanne, soit une rupture du module à masque qui pourrait entraîner un risque d'inondation partiel de la zone protégée via le canal. A noter la présence d'une sécurité supplémentaire en aval du module à masque, avec un busage sous un remblai, qui limiterait le débit arrivant en zone protégée.

D'après les retours de l'exploitant :

- L'ouvrage maçonné n'a pas subi de dégâts à la suite des crues de 2012 et 2013. Aucun signe d'amorce de rupture ou d'aggravation des désordres n'a été observé. L'exploitant a seulement réalisé une recharge en enrochements et des reprises de la maçonnerie.
- Aucun désordre n'a été détecté suite la crue de 2018 qui était presque comparable au niveau de protection.
- Au vu des éléments ci-dessus et notamment les ouvrages ayant résisté sur les crues passées, et à l'absence de désordre visuel flagrant, on peut affirmer à dire d'expert que la rupture simultanée des deux ouvrages sur une crue inférieure ou égale à la crue de projet présente un « risque limité » (au sens de l'annexe 3 de l'arrêté d'avril 2017 modifié) et avec une sécurité supplémentaire à l'aval (busage). Ce risque limité permet de justifier réglementairement la tenue de l'ouvrage pour le niveau de protection en absence de note de calcul et de possibilité de qualification quantitative de la probabilité de défaillance.

## Cas particulier du tronçon GC 42bis.2

Le tronçon GC 42bis.2 n'est pas sollicité pour la crue décennale car protégé par les tronçons fusibles (jusqu'à minima une crue décennale). La probabilité de rupture de ce tronçon pour le scénario 1 est donc jugée très improbable pour la Q10 ( $P < 0,01$ ).

### Conclusion sur le niveau de sûreté

**Le niveau de sûreté vis-à-vis du scénario 1 est égal à une crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s, soit à un niveau de 2,59 m à l'échelle de mesure du pont de Soulom.**

## 7.4.4 SCENARIO 2 : RUPTURE DE LA DIGUE PAR CHOC D'EMBACLE OU EROSION EXTERNE DU PAREMENT

### 7.4.4.1 Description du phénomène

Le scénario 2 concerne une venue d'eau dangereuse par choc d'embâcle ou érosion externe du parement côté Gave à cause de vitesses trop importantes.

### 7.4.4.2 Moyen de détection et observations possibles en crue

L'érosion externe est un phénomène évolutif dont il est possible de déceler l'initiation lors des inspections régulières par le maître d'ouvrage.

Les désordres révélateurs de ce phénomène sont, entre autres :

- Ferrailage visible (corrosion des armatures) ;
- Bullage du béton, aspect grenu, écaillages, épaufrures... ;
- Traces d'impact ;

Les observations en crue sont impossibles.

### 7.4.4.3 Choc d'embâcle

Les murs de soutènement en béton, maçonneries ou en enrochements présentent des résistances très élevées vis-vis du choc d'embâcle et ne sont pas concernés par ce scénario. Les tronçons touchés sont les murs de soutènement rehaussés avec des madriers bois, soit les tronçons GC 40.3 et GC 38.2. Ils sont décrits précisément dans le paragraphe **Famille 2.1 : Mur en béton armé avec rehausse bois (madriers)** de l'annexe n°4.

L'arbre de défaillance est présenté ci-dessous :

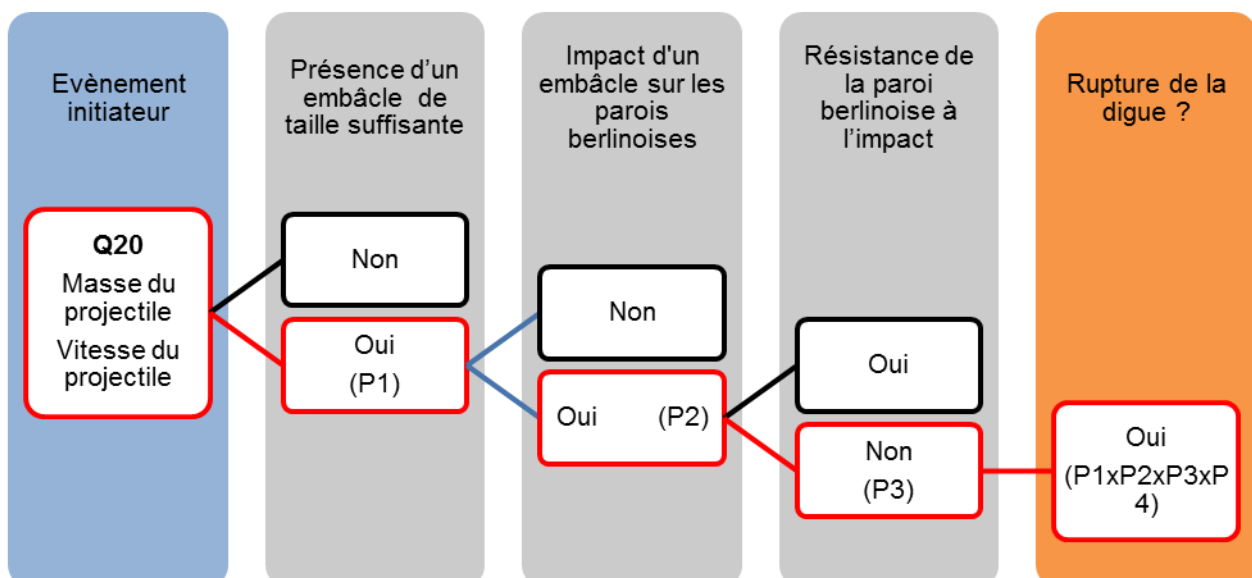


Figure 73 : Arbre de défaillance de rupture de la digue à la suite d'un choc d'embâcle (Scénario 2)

1. Présence d'un embâcle de taille suffisante (probabilité conditionnelle P1) :

Le retour d'expérience (cf. §6) met en évidence la présence d'embâcle flottante lors de fortes crues. Il est en effet, très probable, qu'au vu des fortes vitesses, que de grandes quantités de bois soient arrachées et transportées par flottaion.

**Ainsi la probabilité conditionnelle P1 est jugée très probable soit  $P1 = 0,99$  pour la crue vicennale.**

2. Impact d'un embâcle sur les madriers bois (probabilité conditionnelles P3) :

Le comportement des flottants est très aléatoire d'une crue à l'autre, il est donc très difficile de quantifier et modéliser précisément leurs trajectoires. Les digues sont des ouvrages longitudinaux au sens de l'écoulement, ainsi le cas de destruction de digues suite à un impact dynamique reste faible mais non nulle.

**Ainsi la probabilité conditionnelle P2 est jugée neutre soit  $P2 = 0,5$  pour la crue vicennale.**

3. Résistance des madriers bois à l'impact (probabilité conditionnelle P3) :

Le calcul de la résistance des madriers bois a été effectué dans l'ANNEXE 5 « Note de calcul de la résistance au choc d'embâcle des madriers bois ». Il est montré que pour un embâcle de taille modérée (1,0x0,3x0,3) et pour la crue Q20, les rehausses en bois ne résistent pas à un impact d'embâcle, notamment par défaut de résistance des bastaings.

**Ainsi la probabilité conditionnelle P3 est jugée très probable  $P3 = 0,99$  pour la crue vicennale.**

#### 7.4.4.4 Erosion externe du parement

Les murs en béton armé présentent une très grande résistance à l'érosion du parement côté Gave. Une attention plus particulière est à porter à l'état du parement des murs en enrochements ou maçonnerie. En effet des blocs disjoints (causes possibles : gel/dégel, végétation importantes, vieillissement...) sont plus susceptibles d'être mis en mouvement, pouvant remettre en cause la stabilité de la digue.

La géométrie et l'état des différents tronçons sont décrits précisément dans le §1.2 de l'annexe n°4. La quantification de la résistance des ouvrages découle directement de l'évaluation réalisée dans ces paragraphes. Les cinq familles considérées sont rappelées ci-dessous :

- Famille 2.2 : Mur en béton armé
- Famille 2.3 : Mur en maçonnerie
- Famille 2.4 : Mur en enrochements bétonnés
- Famille 2.5 : protection en enrochements libres
- Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection – tronçon GC 29.1

L'arbre de défaillance est présenté ci-dessous :

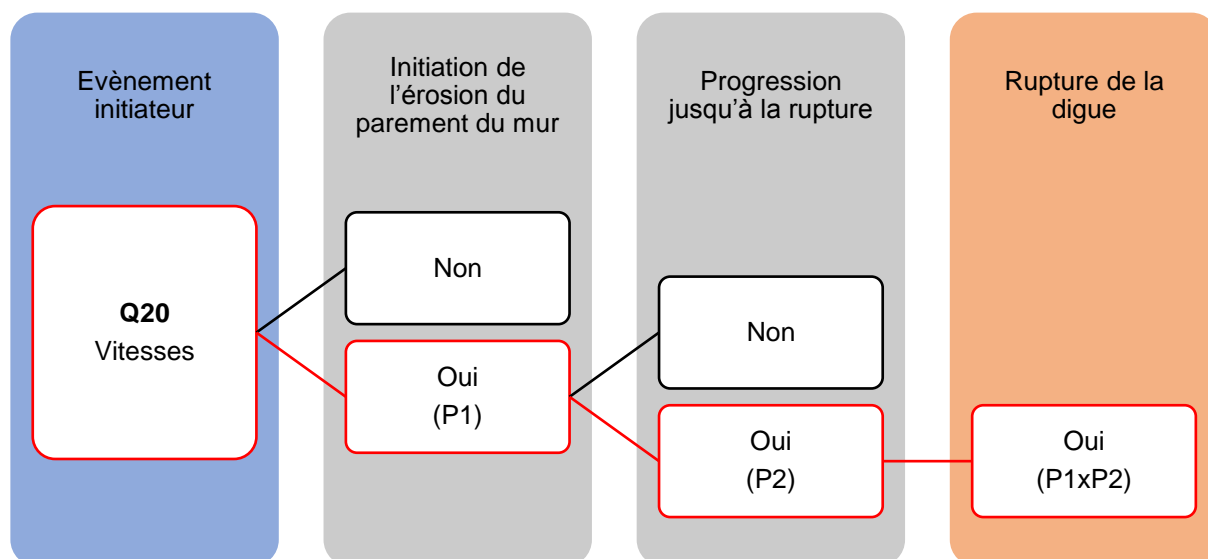


Figure 74 : Arbre de défaillance par rupture de la digue à la suite de l'érosion du parement côté Gave (Scénario 2)

1. Evènement initiateur et définition de la sollicitation :

La cause principale de l'érosion du parement d'un ouvrage est une vitesse trop importante. Il est ainsi essentiel de caractériser précisément cette sollicitation. Pour l'analyse des vitesses pour la crue de type « Q20 », se référer au §7.2. Les chocs liés au transport de blocs et de flottants, pouvant créer des points de faiblesse, est un facteur aggravant à prendre en compte, notamment si le revêtement du mur est dégradé.

2. Initiation de l'érosion du parement du mur :

La résistance des talus ou parement dépend de la nature du revêtement.

Les vitesses limites de dimensionnement de protection anti-érosion en fonction du revêtement du talus/parement et de la durée de sollicitation sont données ci-dessous à titre indicatif. Les ouvrages étudiés sont dans la catégorie de résistance la plus élevée, « Système en béton, bonne retenue interblocs » (cf. courbe en pointillé rouge sur le graphique ci-dessous) toutefois ces résultats ne sont pas forcément adaptés au contexte torrentiel (fortes turbulences).



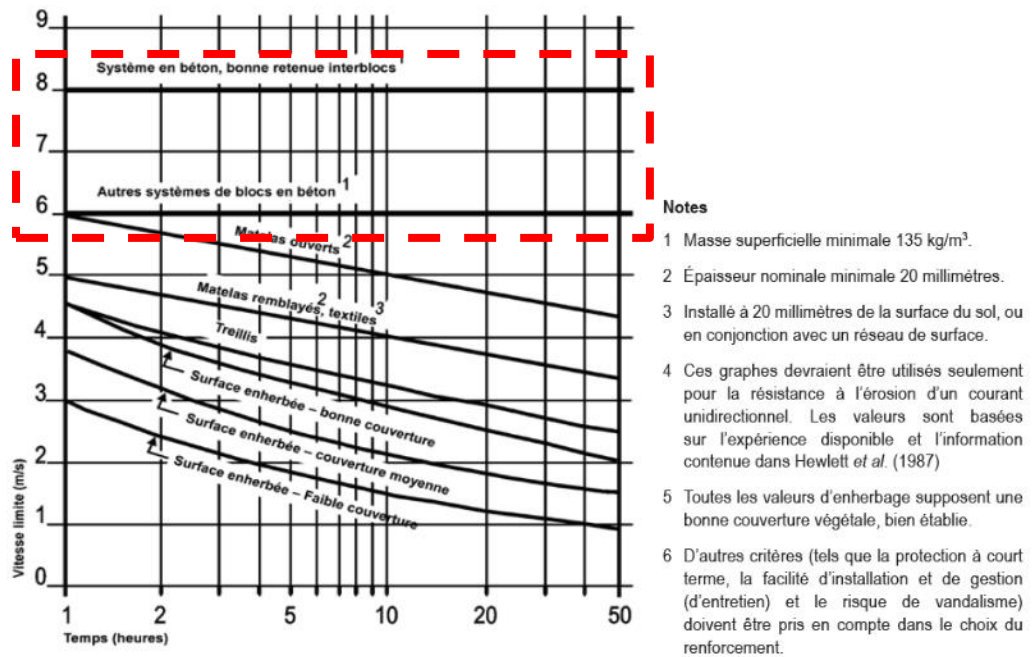


Figure 8.48 Valeurs limites de dimensionnement de la résistance à l'érosion pour des mesures anti érosion sélectionnées (Hewlett *et al.*, 1987)

**Figure 75 : Vitesses limites pour le dimensionnement de la résistance à l'érosion, Guide international sur les digues - CEREMA**

Il est proposé de retenir les probabilités suivantes :

|  | Vitesse maximale Q20 | Etat des parements  | Probabilité d'initiation de l'érosion du parement (P1) |
|--|----------------------|---|--|
| Famille 2.2 : mur en béton armé formant une revanche | 6,2 m/s              | L'état du revêtement béton est moyen à très bon   | <b>Très improbable</b><br>0,01                         |
| Famille 2.3 : mur en maçonnerie                      | 4,3 m/s              | Bon : l'ouvrage ne présente pas de signe de déjointoiement des blocs, le béton assure une très forte cohésion interblochs   | <b>Très improbable</b><br>0,01                         |
| Famille 2.4 : mur en enrochements bétonnés           | 4,8 m/s              | Bon, malgré une végétation importante juste à en amont du pont de Soulom. L'ouvrage ne présente pas de signe de déjointoiement des blocs, le béton assure une forte cohésion interblochs                  | <b>Très improbable</b><br>0,01                         |
| Famille 2.5 : protection en enrochements libres      | 4,0 m/s              | L'état du parement est bon. Les blocs sont correctement agencés et de taille suffisante (vérification du critère d'Isbash) vis-à-vis de la sollicitation.   | <b>Très improbable</b><br>0,01                         |
| Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection         | 4,0 m /s             | Protection très faible contre l'érosion externe (matériaux du gave déposés sur la berge). L'ouvrage a déjà subi des désordres par érosion externe lors des dernières crues. Aucune garantie structurelle. | <b>Probable</b><br>0,9                                 |

**Tableau 23 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 d'initiation de l'érosion du parement du mur**

### 3. Progression jusqu'à la rupture :

Une fois que l'érosion est initiée, elle peut progresser jusqu'à la déstabilisation du mur. :

- Pour les murs en béton armé (famille 2.2), ce mécanisme va altérer le béton sur quelques centimètres, ne pouvant conduire ainsi à la rupture immédiate du parement. C'est un mécanisme de dégradation sur le long terme et qui doit être surveillé régulièrement.
- Pour les murs en enrochements bétonnés (famille 2.3) en maçonnerie (famille 2.4) et en enrochements libres (famille 2.5), le départ d'un bloc augmente fortement la probabilité de départ des blocs voisins, créant ainsi une réaction en chaîne pouvant mener à la rupture du mur. La pente du parement et la taille des blocs constitutifs (estimation visuelle) sont des facteurs impactant la progression de l'érosion jusqu'à la rupture. L'impact des matériaux charriés est également à prendre compte, ces derniers peuvent accélérer la dégradation du parement.

Au vu de ces résultats, il est proposé de retenir les probabilités suivantes :

|  | Caractéristiques   | Probabilité de progression de l'érosion jusqu'à la rupture |
|--|--|--|
| Famille 2.2 : Mur en béton armé formant une revanche | Phénomène d'altération superficielle du béton. Phénomène progressif qui peut être détecté lors des visites d'inspection post-crués et réparé, le cas échéant.  | <b>Très improbable</b><br>0,01                             |
| Famille 2.3 : Mur en maçonnerie                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Pierres constitutives du mur</u> : Mise en mouvement probable en cas de déjoints (bloc de masse réduite)</li> <li>• <u>Parement</u> : vertical</li> </ul>  | <b>Probable</b><br>0,9                                     |
| Famille 2.4 : Mur en enrochements bétonnés           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Enrochements constitutifs de l'ouvrage</u> : Mise en mouvement incertaine en cas de déjoints.</li> <li>• <u>Parement</u> : 0,2H/V</li> </ul>   | <b>Neutre</b><br>0,5                                       |
| Famille 2.5 : protection en enrochements libres      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Enrochements constitutifs de l'ouvrage</u> : Mise en mouvement incertaine en cas de déjoints. Les blocs sont de tailles importantes.</li> <li>• <u>Parement</u> : 1 H/V mais peut être ponctuellement plus raide.</li> </ul> | <b>Neutre</b><br>0,5                                       |
| Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection         | Une fois l'érosion initiée, la progression est probable pendant toute la durée de la crue.   | <b>Probable</b><br>0,9                                     |

**Tableau 24 : Evaluation de la probabilité conditionnelle P2 de progression de l'érosion jusqu'à la rupture du mur**

#### 7.4.4.5 Synthèse des résultats du scénario 2 et recherche du niveau de sûreté

##### Rupture par choc d'embâcles

Les résultats du scénario 2 : rupture de la digue par choc d'embâcles sont donnés dans le tableau ci-dessous :

|         | P1   | P2  | P3   | Probabilité totale pour le scénario 2 : choc d'embâcle |
|---------|------|-----|------|--|
| GC 40.3 | 0,99 | 0,5 | 0,99 | $4,9 \cdot 10^{-1}$                                    |
| GC 38.2 | 0,99 | 0,5 | 0,99 | $4,9 \cdot 10^{-1}$                                    |

**Tableau 25 : synthèse des résultats du scénario 2 : choc d'embâcles pour la crue vicennale**

Pour satisfaire une probabilité de rupture inférieure à 5%, le niveau de sûreté doit être abaissé à la crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s. En effet pour cette crue, la ligne d'énergie reste inférieure au pied des rehausses en bois pour les deux tronçons concernés (cf. 7.3).

Le risque de rupture par choc d'embâcles est alors jugé improbable car les flottants ne pourront pas percuter les rehausses en bois. L'analyse probabiliste est réalisée de manière analogue pour la crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s. Les probabilités P1 et P2 sont réduites.

|         | P1  | P2   | P3   | Probabilité totale pour le scénario 2 : choc d'embâcle |
|---------|-----|------|------|--|
| GC 40.3 | 0,9 | 0,01 | 0,99 | $8,9 \cdot 10^{-3}$                                    |
| GC 38.2 | 0,9 | 0,01 | 0,99 | $8,9 \cdot 10^{-3}$                                    |

Tableau 26 : synthèse des résultats du scénario 2 : choc d'embâcles pour la crue Q10

### Rupture par érosion externe

Les résultats du scénario 2 : rupture de la digue par érosion externe du parement sont donnés dans le tableau ci-dessous :

| Tronçon     | P1   | P2   | Probabilité totale pour le scénario 2 : érosion externe du parement   |
|-------------|------|------|---|
| Rive gauche |      |      |   |
| GC 29.1     | 0,9  | 0,9  | $8 \cdot 10^{-1}$ avant travaux (état actuel)<br>La réalisation de l'AVP permet de rester $< 5 \cdot 10^{-2}$ |
| GC 29.2     | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 30       | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 31.1     | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 36.1     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 36.2     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 36.3     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 40.1     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 40.2     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 40.4     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 46       | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 45 bis   | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 45       | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 47.1     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 47.2     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 48.1     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 48.2     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 48.3     | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| Rive droite |      |      |   |
| GC 28       | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 32       | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 34       | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 35.2     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 35.3     | 0,01 | 0,9  | $9 \cdot 10^{-3}$   |
| GC 38.1     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 38.3     | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 39       | 0,01 | 0,01 | $1 \cdot 10^{-4}$   |
| GC 42 bis.1 | 0,01 | 0,5  | $5 \cdot 10^{-3}$   |

Tableau 27 : synthèse des résultats du scénario 2 : érosion externe du parement pour la crue vicennale

Compte tenu de l'analyse présentée ci-dessus, le risque de rupture par érosion externe est inférieur à 5% pour tous les tronçons pour la crue vicennale.

#### Cas particulier du tronçon GC 42bis.2

Le tronçon GC 42bis.2 n'est pas sollicité pour la crue décennale car protégé par les tronçons fusibles (jusqu'à minima une crue décennale). La probabilité de rupture de ce tronçon pour le scénario 2 est donc jugée très improbable pour la Q10 ( $P < 0,01$ ).

#### Synthèse des résultats

Le niveau de sûreté vis-à-vis du scénario 2 est limité par :

- Le tronçon GC 29.1 ne présente pas en état actuel les garanties structurelles suffisantes pour la Q10. Pour éviter une inondation de la zone protégée par défluviation, ce tronçon a fait l'objet d'un avant-projet de confortement, pour plus de détail, cf. ANNEXE 6. L'AVP permet de satisfaire à un niveau de sûreté sur ce tronçon à minima égal à la crue vicennale.
- Un défaut de résistances des rehausses en bois des tronçons GC 40.3 et GC 38.2 pour la crue vicennale. Le niveau de sûreté doit être abaissé ici à une crue de débit  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**En conclusion le niveau de sûreté vis-à-vis du scénario est égal à la crue de débit  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  sous réserve de réalisation de l'avant-projet de confortement du tronçon GC 29.1.**

## 7.4.5 SCENARIO 3 : SURVERSE AU-DESSUS DE LA DIGUE

### 7.4.5.1 Description du phénomène

Les débordements par surverse se produisent plutôt sur les zones propices au dépôt (cône, zone de confluence, etc.) suite à l'engravement partiel ou total du lit, et/ou en amont de ponts.

Lorsque la crue génère d'importants apports solides, le dépôt au niveau de zones d'élargissement peut engendrer un passage de surverse par-dessus la crête de la digue.

Le dépassement du niveau de protection peut se faire par une lame d'écoulement constante indiquant que le niveau de la surface libre dans le gave est supérieur à la cote de crête ou par franchissement par vagues, c'est-à-dire que les remous génèrent des dépassements, mais le niveau moyen de la surface libre ne dépasse la cote de crête de la digue.

Les modélisations montrent que les zones de surverses apparaissent en priorité à l'amont des deux ponts (pont de Soulom et pont interzone).

Le phénomène de surverse apparaît pour des crues supérieures à un débit de 100 m<sup>3</sup>/s, ce phénomène est donc observé pour des crues de périodes de retour 20 ans ou 50 ans.

La présence de turbulences est importante et génère un risque immédiat à l'arrière des ouvrages (bien que l'ouvrage illustrant la surverse ne présente pas de revanche avec le terrain naturel, facteur aggravant en cas de surverse) – cf figure ci-dessous.



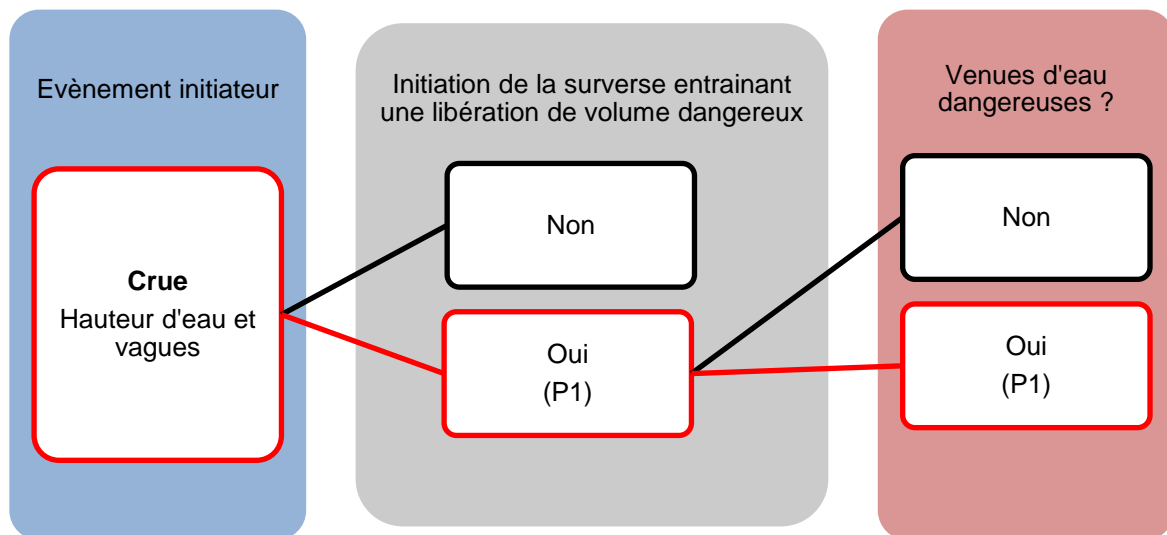
**Figure 76 : Vue de la violence des surverses pour une faible hauteur déversante sur l'ouvrage (présence accrue de vagues et fortes vitesses sur la route)**

### 7.4.5.2 Moyen de détection et observations possibles en crue

Les observations visuelles en crue permettent d'identifier les secteurs sensibles (faible revanche) ou en début de surverse.

### 7.4.5.3 Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance est présenté ci-dessous, comme mentionné auparavant, il dépend exclusivement du niveau de protection, seule la probabilité conditionnelle sera donc évaluée.



**Figure 77 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par surverse**

Pour évaluer la probabilité conditionnelle P1, le niveau topographique des ouvrages est comparé :

- Au niveau de surface libre issue du modèle hydraulique ;
- Au niveau de charge (ligne d'énergie) issu du modèle hydraulique ;
- A la capacité de résistance à la surverse de l'ouvrage et/ou du terrain adossé à ce dernier.

Le tableau suivant détaille les probabilités moyennes P1 en fonction des résultats des modèles hydrauliques.

Pour rappel, une valeur de revanche négative correspond à un dépassement de la crête.

|   | Qualification du risque de venues d'eaux dangereuses  | Probabilité correspondante |
|---|---|----------------------------|
| ➤ Revanche crête / charge > 20 cm   | Surverse et franchissements liés à la turbulence très improbable                                      | Très improbable<br>< 0,01  |
| ➤ Revanche crête / surface libre > 50 cm<br>➤ - 10 cm < Revanche crête / charge < 20 cm         | Surverse peu probable même si ponctuellement quelques franchissements sans gravité peuvent avoir lieu | Peu probable<br>0,05       |
| ➤ 10 cm < revanche crête / surface libre < 50 cm<br>➤ - 50 cm < revanche crête / charge < 10 cm | Franchissements possibles liés à la turbulence  | Neutre<br>0,5              |
| ➤ 0 < revanche crête / surface libre < 10 cm<br>➤ Revanche crête / charge < - 50 cm             | Surverse probable et les franchissements liés à la turbulence sont certains                           | Probable<br>0,9            |
| ➤ Revanche crête / surface libre < 0  | Surverse avérée   | Très probable<br>0,99      |

**Figure 78: Probabilités conditionnelles en fonction des résultats de revanche sur les lignes de charge et surface libre issues de la modélisation hydraulique**

Les probabilités du tableau ci-dessus peuvent être surclassées ou déclassées en fonction d'un élément favorable/défavorable vis-à-vis de la résistance à la surverse (qualité du terrain naturel, revêtement béton ou enrobé, etc).

#### 7.4.5.4 Probabilité de venues d'eau dangereuses par surverse pour Q20

Pour la crue de période de retour 20 ans (137 m<sup>3</sup>/s), le tableau suivant reprend les résultats de la modélisation hydrauliques. Les revanches indiquées sont les revanches minimales par tronçon.



| Tronçon            | Revanche Crête / Surface Libre (m) | Revanche Crête / Charge (m) | Probabilité correspondante       |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Rive gauche</b> |                                    |                             |                                  |
| GC 29.1            | 3,04                               | 2,65                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 29.2            | 2,16                               | 0,87                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 30              | 1,24                               | 0,25                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 31.1            | 0,60                               | -0,28                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 36.1            | 0,81                               | -0,35                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 36.2            | 1,52                               | 0,57                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 36.3            | -0,35                              | -1,05                       | <b>Très probable</b><br>0,99     |
| GC 40.1            | 0,59                               | -0,21                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 40.2            | 0,47                               | -0,48                       | <b>Neutre</b><br>0,5             |
| GC 40.3            | 0,61                               | -0,45                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 40.4            | 0,58                               | -0,42                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 46              | 0,53                               | -0,70                       | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 45bis           | 1,37                               | 0,11                        | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| GC 45              | 2,51                               | 2,11                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 47.1            | 1,74                               | 1,50                        | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| GC 47.2            | 1,33                               | 0,19                        | <b>Peu probable</b><br>0,05      |

|                    |       |       |                                  |
|--------------------|-------|-------|----------------------------------|
| <b>GC 48.1</b>     | 0,11  | -0,07 | <b>Neutre</b><br>0,5             |
| <b>GC 48.2</b>     | -0,86 | -1,00 | <b>Très probable</b><br>0,99     |
| <b>GC 48.3</b>     | -0,58 | -0,77 | <b>Très probable</b><br>0,99     |
| <b>Rive droite</b> |       |       |                                  |
| <b>GC 28</b>       | 2,44  | 1,81  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>GC 32</b>       | 0,56  | 0,21  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>GC 34</b>       | 0,58  | -0,03 | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 35.2</b>     | 0,66  | 0,55  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>GC 35.3</b>     | -0,41 | -1,08 | <b>Très probable</b><br>0,99     |
| <b>GC 38.1</b>     | -0,24 | -1,26 | <b>Très probable</b><br>0,99     |
| <b>GC 38.2</b>     | 1,30  | 0,00  | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 38.3</b>     | 1,32  | -0,07 | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 39</b>       | 1,63  | 0,01  | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 42bis.1</b>  | 1,87  | 1,22  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>GC 42bis.2</b>  | ≥ 2 m | ≥ 2 m | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |

**Figure 79 : Probabilités de venues d'eaux dangereuses par surverse dans le cas de la crue Q20 (137 m<sup>3</sup>/s)**

#### 7.4.5.5 Synthèse de la probabilité de venues d'eau dangereuses par surverse pour la crue vicennale et recherche du niveau de sûreté

Le tableau synthétise la probabilité de venues d'eaux dangereuses par surverses pour la crue de type Q20 (137 m<sup>3</sup>/s).

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
|                                  | <b>Probabilité conditionnelle correspondante pour l'ensemble du système d'endiguement</b> |
| <b>Q20 (137 m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Très probable</b><br>0,99  |

**Figure 80 : Probabilités de venues d'eau dangereuses par surverse pour la Q20 (137 m<sup>3</sup>/s)**

En l'état actuel le niveau de sûreté (P<5%) est inférieur à la crue vicennale. Le niveau de sûreté doit être abaissé à la crue de débit 100 m<sup>3</sup>/s. La vérification pour cette crue est réalisée ci-dessous pour les tronçons défaillants à la crue vicennale (P> 5%) :

| Tronçon            | Revanche Crête / Surface Libre (m) | Revanche Crête / Charge (m) | Singularité  | Probabilité correspondante       |
|--------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|
| <b>Rive gauche</b> |                                    |                             |  |                                  |
| <b>GC 36.3</b>     | 0,1                                | -0,3                        | Surverse très localisée au niveau de l'ouvrage GC en amont du pont de Soulom<br>→ Forte résistance vis-à-vis de la sollicitation | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 40.2</b>     | 0,6                                | -0,3                        | -  | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 48.1</b>     | 0,9                                | 0,6                         | -  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>GC 48.2</b>     | 0,3                                | 0,1                         | Dalle béton en arrière du mur.<br>→ Forte résistance vis-à-vis de la sollicitation   | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 48.3</b>     | 1,1                                | 0,5                         | -  | <b>Très improbable</b><br>< 0,01 |
| <b>Rive droite</b> |                                    |                             |  |                                  |
| <b>GC 35.3</b>     | 0,5                                | 0,0                         | -  | <b>Peu probable</b><br>0,05      |
| <b>GC 38.1</b>     | 0,8                                | -0,1                        | -  | <b>Peu probable</b><br>0,05      |

**Tableau 28 : Probabilités de venues d'eaux dangereuses par surverse dans le cas de la crue Q10 pour les tronçons critiques (P>5% pour la Q20)**

#### 7.4.6 SCENARIO 4 : EFFONDREMENT DE LA DIGUE DU FAIT DE L'EROSION INTERNE DE LA FONDATION DU MUR

Ce scénario concerne uniquement les ouvrages de type « digue ».

##### 7.4.6.1 Description du phénomène

L'érosion interne est un ensemble de phénomènes complexes ayant comme dénominateur commun le départ de particules entraînées par l'eau circulant dans le milieu. Elle se décompose en une succession de différentes phases pouvant s'interrompre à n'importe quel moment, ce qui aura pour effet de stopper le processus d'érosion. On distingue :

- L'initiation du mécanisme ;
- Sa continuation, s'il existe un exutoire non filtré ;

- Sa progression lorsque le phénomène s'auto-entretient ou s'auto-accélère sans trouver de configuration stabilisée ;
- La rupture de l'ouvrage par développement d'une brèche.

Les écoulements au travers de la fondation du mur ou des remblais du corps de digue pendant une crue constituent une force d'entraînement dont l'intensité est traduite par **le gradient hydraulique**.

L'érosion interne est souvent caractérisée par le phénomène se trouvant à l'origine de l'initiation. Il en existe quatre :

- **L'érosion de conduit** : écoulement concentré, au niveau d'une fissure ou d'une couche de matériaux plus perméables ;
- **L'érosion régressive** : départ de particules au niveau de l'exutoire d'écoulements et en l'absence de filtres ;
- **La suffusion** : le matériau est mal calibré et les particules fines migrent à travers le squelette formé des particules grossières ;
- **L'érosion de contact** : il s'agit d'un problème aux interfaces où les matériaux fins composant une couche sont entraînés au travers de la couche plus grossière. Elle se développe également en présence d'ouvrages traversants.

#### 7.4.6.2 Moyen de détection et observations possibles en crue

Les observations visuelles de la crête et du pied de parement côté protégé permettent d'identifier des secteurs sensibles (zones de tassements, fontis, tumulus de matériaux, venues d'eau...). La rupture est toutefois un phénomène rapide qui peut se produire sans signes précurseurs.

Les observations en crue côté Gave sont rendues impossibles du fait du niveau d'eau présent en pied de digue, elles restent à réaliser en crête de digue.

A la décrue, si le niveau d'eau le permet, une inspection du pied de digue côté Gave doit être effectuée.

#### 7.4.6.3 Suffusion

La suffusion est une instabilité interne d'un sol liée à l'entraînement des particules fines libres à travers les particules grossières d'un sol à granulométrie discontinue et/ou très étalée.



**Figure 81 : Illustration de la suffusion**

La suffusion n'est pas un mode de rupture : aucune digue n'a rompu par suffusion. Il s'agit d'un mécanisme lent d'instabilité interne d'un sol liée à l'entraînement des particules fines libres à travers les particules grossières d'un sol à granulométrie discontinue. Elle n'apparaît que dans les sols où les fines ne comblent pas les vides des particules granulaires. Toutefois, la suffusion est un phénomène aggravant de l'érosion de contact ou de l'érosion régressive.

D'après le bulletin n°164 du CIGB, sont considérés en pratique comme non suffusifs les sols possédants :

- Soit un indice de plasticité supérieure à 7 ;

- Soit un pourcentage d'argile (passant à 2µm) supérieur à 10% ;
- Soit un pourcentage de fines (passant à 80µm) supérieur à 40%.

Les sols ne remplissant pas ces critères granulométriques sont considérés comme **potentiellement suffusifs**.

Le risque d'initiation de la suffusion dans un sol peut être appréhendé plus spécifiquement à partir de critères granulométriques et différents critères :

- **Les critères de stabilité du sol** : critère d'auto-filtration de Terzaghi, critères de Kenney & Lau. Ces critères décrètent la stabilité d'un milieu, par conséquent, et compte tenu de leur caractère conservatif, il est assuré que la stabilité d'un sol vérifiant un de ces critères sera effective. Par contre, si ces critères ne sont pas vérifiés, l'instabilité n'est pas acquise.
- **Les critères d'instabilité** : il s'agit des critères de Burenkova et de Wan & Fell (qui donne une probabilité d'instabilité du sol).

La figure ci-dessous présente l'ensemble des granulométries réalisées sur les matériaux du linéaire de l'ouvrage de protection :

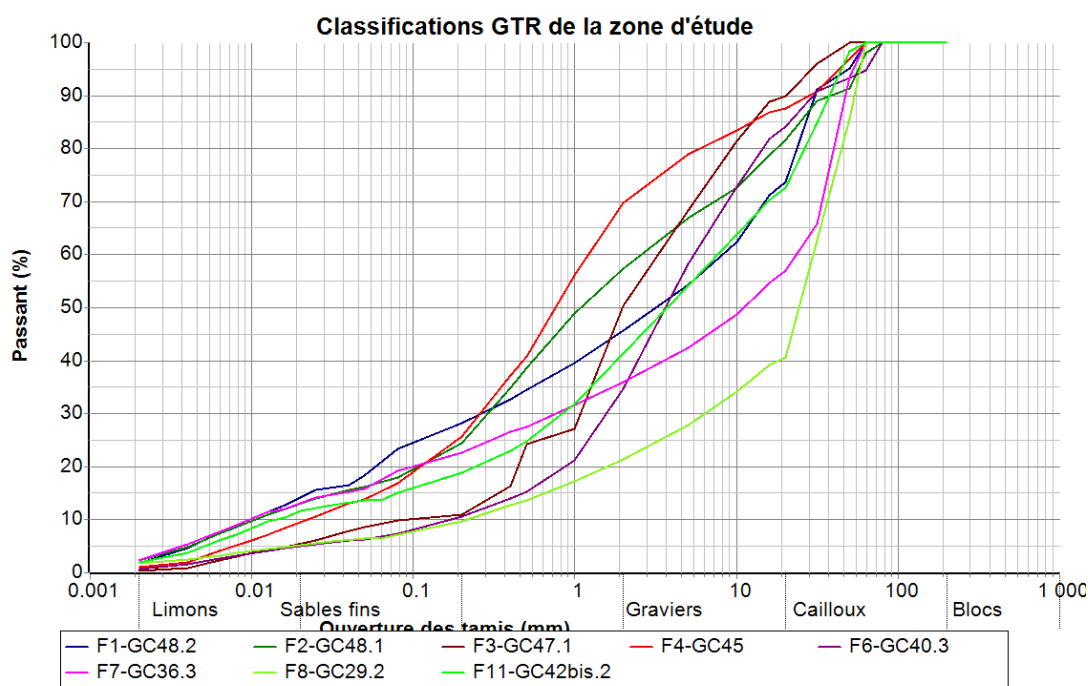


Figure 82 Synthèse des courbes granulométriques disponibles

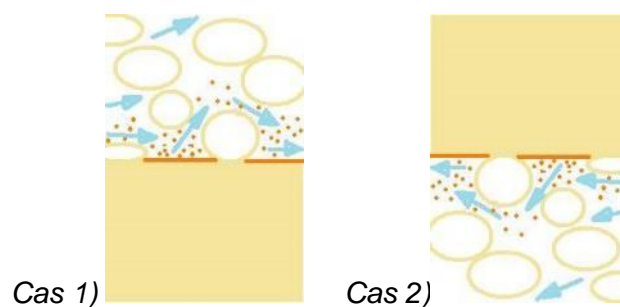
| Nom           | Nature et granulo                 | Terzaghi   | Kenney & Lau et Kézdi | Burenkova         | Wan & F |
|---------------|-----------------------------------|--|-----------------------|-------------------|---------|
| F1-GC48.2     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 15.79)  | Matériau instable     | Matériau stable   | 7E-02   |
| F2-GC48.1     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 28.91)  | Matériau instable     | Matériau suffusif | 2E-19   |
| F3-GC47.1     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 108.81) | Matériau instable     | Matériau suffusif | 3E-06   |
| F4-GC45       | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 24.21)  | Matériau instable     | Matériau suffusif | 5E-33   |
| F6-GC40.3     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 172.5)  | Matériau instable     | Matériau suffusif | 3E-05   |
| F7-GC36.3     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 32.07)  | Matériau instable     | Matériau suffusif | 1E+00   |
| F8-GC29.2     | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 344.7)  | Matériau instable     | Matériau suffusif | 1E+00   |
| F11-GC42bis.2 | Matériau potentiellement suffusif | Matériau non-autofiltrant (D15/d85 max = 54.56)  | Matériau instable     | Matériau stable   | 3E-04   |

Figure 83 Analyse multicritères du phénomène de suffusion

→ **Les sols dans la zone d'étude sont suffusifs. La suffusion constitue principalement un phénomène d'initiation de l'érosion interne pour l'érosion de conduit et n'est pas un mode de rupture en elle-même. Ce risque sera considéré comme facteur aggravant pour l'analyse de l'érosion de conduit.**

#### 7.4.6.4 Erosion de contact

L'érosion de contact est un phénomène induit par le détachement de particules à l'interface entre deux milieux poreux de granulométries très différentes. Ce mécanisme est fortement lié à la discontinuité entre les deux milieux, en termes de granulométrie mais aussi de perméabilité. Elle renvoie ainsi à un problème aux interfaces où les matériaux fins composant une couche sont entraînés au travers de la couche plus grossière. Elle se développe également en présence d'ouvrages traversant.



**Figure 84 : Illustration de l'érosion de contact**

Cette discontinuité va permettre de remplir les deux conditions nécessaires à l'érosion :

- la condition hydraulique : l'interface possède une perméabilité importante et va être le siège de vitesses d'écoulement élevées, suffisantes pour détacher et entraîner les particules,
- la condition géométrique : les tailles des pores et des constriction du matériau grossier sont assez grandes par rapport à la taille des particules du sol fin transportées pour permettre leur passage sans piégeage.

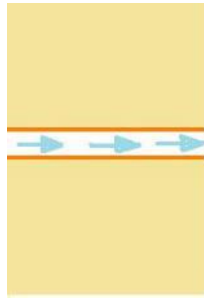
L'érosion de contact, observée sous les digues alluviales, peut durer des années ou des dizaines d'années sans que des désordres majeurs n'apparaissent.

Cela provient pour partie de la faible vitesse moyenne de migration des particules fines à travers les pores plus grossiers. Cela provient également des effets d'auto-cicatrisation par tassement et effondrement des cavités et colmatage amont par les crues.

→ **L'analyse géotechnique réalisée dans l'annexe géotechnique (cf. ANNEXE 3) ne montre aucune discontinuité d'interface entre deux matériaux avec des granulométries et des perméabilités différentes. La géotechnique est globalement homogène sur la totalité des tronçons étudiés. Ce phénomène peut se présenter à l'interface avec la fondation des murs de soutènement. L'érosion de contact, tout comme la suffusion, constitue principalement un phénomène d'initiation de l'érosion interne pouvant conduire à une érosion régressive et/ou une érosion de conduit, ce phénomène sera donc considéré comme un facteur aggravant.**

#### 7.4.6.5 Erosion de conduit

L'érosion de conduit correspond au détachement de particules de sol à partir d'un chemin préexistant dans le remblai ou la fondation (ouvrage traversant, fissures...);



**Figure 85 : Illustration de l'érosion de conduit**

Deux conditions sont nécessaires à une rupture par érosion de conduit :

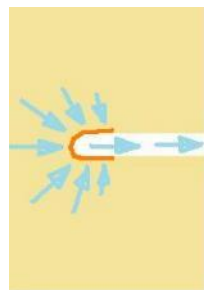
- L'érosion par écoulement concentré ne peut initier son propre conduit, un défaut pré-existant au sein de l'ouvrage est un préambule de base à ce phénomène. Il n'est pas forcément débouchant sur les talus amont et aval mais la mise en charge de l'ouvrage peut conduire à une rupture du bouchon ou un déboufrage mettant en eau le conduit. L'initiation requiert ainsi la présence d'un conduit qui peut être :
  - Une interface entre deux couches de matériaux moins bien compactés,
  - Une fissure liée à un tassement différentiel, à la dessiccation, ...
  - Une racine d'arbre,
  - Un terrier d'animal fouisseur.
- Le trou doit « tenir », c'est-à-dire que l'érosion par écoulements concentrés se développe au sein de matériaux cohésifs ou fins (cohésion par capillarité).

**Les matériaux du corps de digues et en fondation sont non cohésifs et grossiers (graveleux), ainsi même en cas d'initiation de l'érosion, le conduit ne pourra pas se développer (effondrement).**

**→ Pour les ouvrages étudiés : Non concerné par le risque d'érosion de conduit, l'ouverture d'une brèche par érosion de conduit est donc estimée très improbable ( $P < 0,01$ ).**

#### 7.4.6.6 Erosion régressive

L'érosion interne régressive est un mécanisme d'entraînement des particules du sol vers un débouché aval, formant un conduit qui progresse vers l'amont (départ de particules sous l'effet d'un gradient hydraulique).



**Figure 86 : Illustration de l'érosion régressive**

Il est à peu près certain que :

- L'érosion régressive ne peut pas affecter les sols cohésifs.

- Dans les sols non cohésifs, et si les écoulements débouchent en surface, le phénomène d'initiation s'amorce. Cependant, même dans les sols non cohésifs, même si l'initiation est certaine, la progression ne l'est pas : le sol mis en bouillasse n'est pas nécessairement évacué, ou le conduit peut se stabiliser, ou le gradient ne se maintient pas sur toute la longueur du conduit...

Ce mécanisme concerne donc principalement les sols pulvérulents à l'interface avec des parois cohérentes (couche sous-jacente cohérente, ouvrage traversant ou fondation).

Il s'agit d'évaluer le risque d'ouverture d'une brèche par érosion interne d'une couche de matériau érodable continue dans le sens amont / aval.

- **Caractérisation des matériaux potentiellement érodable**

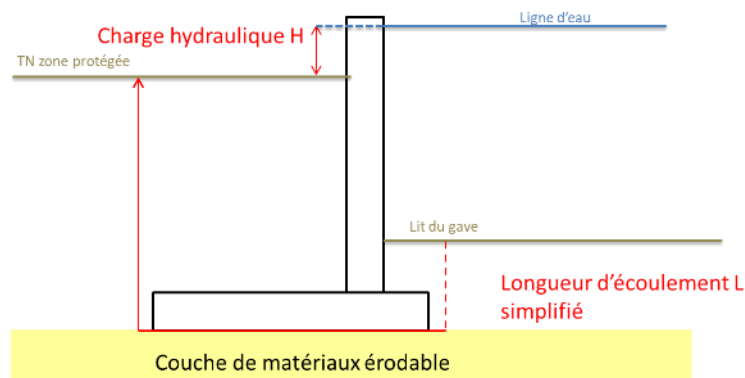
Si le sol est fin (même sans cohésion), alors la charge hydraulique est dissipée dans l'écoulement en milieu poreux, et il ne reste plus assez d'énergie dans le conduit pour transporter les particules. Si le sol est grossier, alors, même si l'écoulement en milieu poreux diminue peu la charge, les vitesses dans le conduit ne sont pas suffisantes pour entraîner les particules.

Ce sont les sols moyens (sables fins, sables) qui y sont exposés. Et en particulier les sols uniformes, car un sol à granulométrie étalée – sauf suffusion – offre la résistance apportée par ses particules fines (faible perméabilité) et grosses (résistance au transport).

Les sols en présence présentant des granulométries étalées ( $C_u > 30$ ), ils ne sont pas sensibles au risque d'érosion régressive. Les courbes granulométriques sont présentés lors de l'analyse de la suffusion (cf. Figure 82 Synthèse des courbes granulométriques disponibles)

- **Appréciation du gradient hydraulique moyen**

En présence d'une couche de matériaux érodable, l'érosion régressive est initiée si le gradient hydraulique moyen ( $i = \frac{H}{L}$ ) est supérieur au gradient critique du matériau.



**Figure 87 Définition du gradient hydraulique pour un mur de soutènement**

Le calcul des gradients a été réalisé en considérant que la pleine charge s'applique directement au pied de la semelle côté gave (on considère ainsi le cas où il y aurait un affouillement de la fondation). Dans le cas, où le tronçon est surversant, la charge hydraulique est prise au niveau de la crête de l'ouvrage (charge la plus haute), puisque lors d'une surverse l'érosion interne n'est pas le mécanisme de défaillance principal.

Les gradients hydrauliques calculés pour la Q20 (137m<sup>3</sup>/s) sont donnés dans le tableau ci-dessous :



| Tronçon                   | Mise en charge du mur ? | Charge hydraulique (m) | Longueur de l'écoulement (m) | Gradient hydraulique |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------|
| GC 36.2                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| <b>GC 36.3 (Surverse)</b> | <b>OUI</b>              | <b>0,41</b>            | <b>5,4</b>                   | <b>0,076</b>         |
| GC 40.3                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 46                     | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 45bis                  | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 45                     | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 47.1                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 47.2                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| <b>GC 48.1</b>            | <b>OUI</b>              | <b>0,04</b>            | <b>7,1</b>                   | <b>0,005</b>         |
| GC 35.2                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| <b>GC 35.3 (Surverse)</b> | <b>OUI</b>              | <b>0,69</b>            | <b>5,0</b>                   | <b>0,138</b>         |
| <b>GC 38.1 (Surverse)</b> | <b>OUI</b>              | <b>0,31</b>            | <b>5,3</b>                   | <b>0,058</b>         |
| GC 38.2                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 38.3                   | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 42bis.1                | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |
| GC 42bis.2                | NON                     | Gradient nul.          |                              |                      |

**Tableau 29 : calcul des gradients hydrauliques pour les murs de soutènement pour la crue 137 m<sup>3</sup>/s (Q20)**

Les gradients hydrauliques sont faibles pour la Q20 (137m<sup>3</sup>/s) et sont ainsi éloignés des gradients hydrauliques critiques pour ce type de matériaux.

A titre de comparaison :

- Un noyau en matériaux peu perméables (limons argileux) d'un barrage zoné supporte couramment des gradients moyens pouvant atteindre 2 ;
- **Les matériaux les plus érodables (sables fins homogènes et propres sans aucune cohésion) sont susceptibles d'être entraînés à partir d'un gradient d'environ 0,15.**

Pour les matériaux en présence, l'érosion régressive ne peut pas s'initier avec des gradients inférieurs à 0,15.

→ **Compte tenu de l'analyse présentée ci-dessus, le risque de rupture par érosion interne est considéré comme très improbable ( $P < 0,01$ ) pour la crue Q20**

#### 7.4.6.7 Synthèse des probabilités de rupture par érosion interne

Les probabilités de rupture par érosion interne pour la crue Q20 ( $137\text{m}^3/\text{s}$ ) sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

|                   | Erosion de conduit            | Erosion régressive            | Probabilité retenue           |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Digue de type mur | Très improbable<br>$P < 0,01$ | Très improbable<br>$P < 0,01$ | Très improbable<br>$P < 0,01$ |

**Tableau 30 : Synthèse des probabilités de rupture par érosion interne pour la crue Q20 ( $137\text{ m}^3/\text{s}$ )**

#### 7.4.7 SCENARIO 5 : BASCULEMENT DU MUR COTE GAVE LORS D'UNE DECRUE IMPORTANTE PUIS EROSION ET INONDATION LORS D'UNE SECONDE CRUE AVANT REPARATION

Ce scénario ne concerne pas les ouvrages en enrochements libres mais uniquement les digues en béton ou en enrochements bétonnés.

##### Description du phénomène

En période de crue, la poussée de l'eau joue de manière favorable vis-à-vis de la stabilité du mur côté gave. Néanmoins les défauts d'étanchéité (barbacanes non munies de système anti-retour, matériaux alluvionnaires en fondation, constituions des murs...) peuvent permettre des infiltrations d'eau dans les remblais et les alluvions de fondation et ainsi augmenter la piézométrie en arrière du mur, côté zone protégée. Les perméabilités pour les graves alluvionnaires sont relativement élevées, de l'ordre de  $10^{-4}\text{ m/s}$ , pouvant permettre une saturation rapide des remblais. La concomitance entre les pluies et les crues peut provoquer une saturation des remblais.

La plupart des digues du linéaire sont des murs de soutènement qui présente une revanche par rapport au terrain naturel côté zone protégée. A la décrue, on peut craindre une dégradation des conditions de stabilité liée à la saturation du remblai côté zone protégée (augmentation du poids des terres et réduction de la cohésion des remblais).

A l'échelle d'une coupe, on peut raisonnablement supposer que si les remblais ont pu se saturer pendant la crue du fait d'un défaut d'étanchéité du parement, ils pourront se dessaturer à la décrue. Cette hypothèse est plus incertaine à l'échelle de l'ensemble du linéaire.

Les venues d'eaux sont relatives à un second pic de crue successif avant réparation du basculement du mur côté gave.

##### Moyens de détection et observations possibles en crues

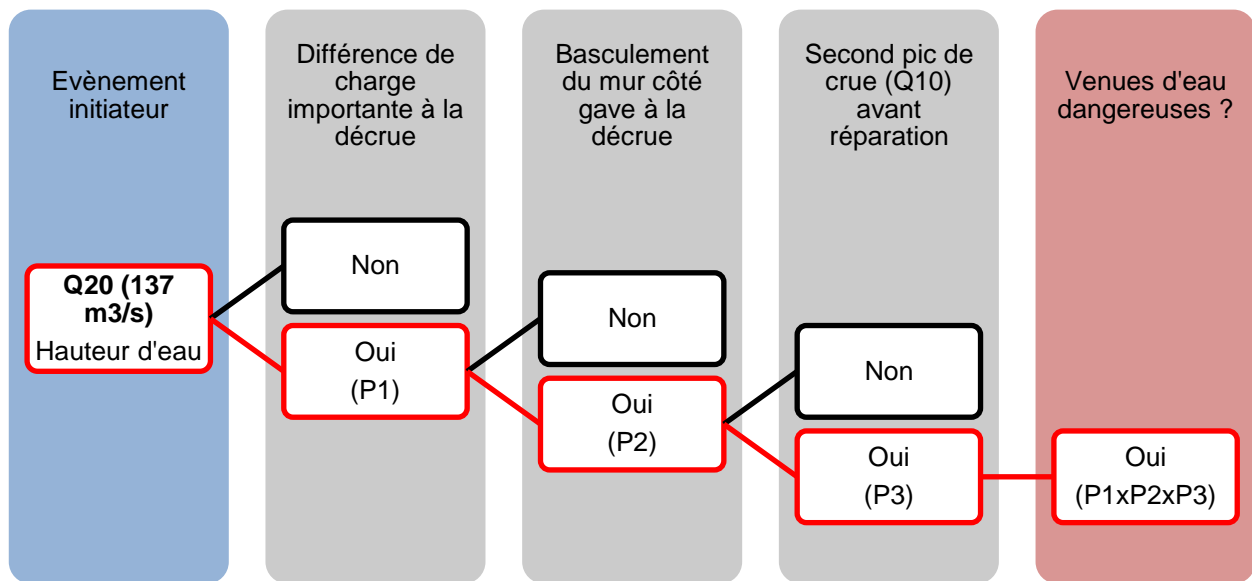
Les observations visuelles de la crête et du parement côté Gave permettent d'identifier des secteurs sensibles (zones de bombement, fissures, déformation éventuelle du parapet...). L'effondrement est toutefois un phénomène rapide qui peut se produire sans signes précurseurs.

Les observations en crue côté gave sont rendues impossibles du fait du niveau d'eau présent en pied de digue.

A la décrue entre les deux pics de crue, si le niveau d'eau le permet, une inspection du pied de digue côté Gave doit être effectuée.

##### Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance est présenté ci-dessous :



**Figure 88 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par Basculement du mur côté Gave lors d'une décrue importante puis érosion et inondation lors d'une seconde crue avant réparation**

#### Différence de charge importante à la décrue

La géotechnique est homogène sur l'ensemble des terrains en arrières des ouvrages, il s'agit de matériaux plutôt perméables et alluvionnaires. La saturation des remblais lors d'une crue est donc probable.

La probabilité P1 est la probabilité que le remblai reste saturé en arrière du mur alors que le niveau dans le gave diminue.

L'homogénéité des terres côté zone protégée mène à considérer la présence d'un système de drainage comme unique élément engendrant une éventuelle sécurité face au chargement des remblais.

Le tableau suivant présente les facteurs aggravants ou sécuritaires pour chaque famille considérée et la probabilité P1 correspondante (cf. 1.3 de l'ANNEXE 4).

|                    | Facteur sécuritaire                                       | Facteur aggravant  | Probabilité P1                |
|--------------------|---|--|-------------------------------|
| <b>Famille 5.1</b> | Présence de barbacanes<br>Matériaux perméables en arrière | Décrue rapide à modérée (jusqu'à 50h)                          | <b>Improbable</b><br>P1 = 0,1 |
| <b>Famille 5.2</b> | Matériaux perméables en arrière                           | Décrue rapide à modérée (jusqu'à 50h)<br>Absence de barbacanes | <b>Neutre</b><br>P1 = 0,5     |
| <b>Famille 5.3</b> | Présence de barbacanes<br>Matériaux perméables en arrière | Décrue rapide à modérée (jusqu'à 50h)                          | <b>Improbable</b><br>P1 = 0,1 |

**Tableau 31 : Probabilité conditionnelle P1 - scénario 5**

#### Basculement du mur côté gave à la décrue

Le tableau suivant présente les facteurs aggravants ou sécuritaires pour chaque famille considérée et la probabilité P2 correspondante.

|             | Facteur sécuritaire              | Facteur aggravant               | Probabilité P2         |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Famille 5.1 | Présence d'une semelle côté gave | -                               | Improbable<br>P1 = 0,1 |
| Famille 5.2 | Présence d'une semelle côté gave | -                               | Improbable<br>P1 = 0,1 |
| Famille 5.3 | -                                | Absence d'une semelle côté gave | Neutre<br>P1 = 0,5     |

Tableau 32 : Probabilité conditionnelle P2 - scénario 5

#### Cas particulier du tronçon GC 42bis.2

Le tronçon GC 42bis.2 n'est pas sollicité pour la crue décennale car protégé par les tronçons fusibles (jusqu'à minima une crue décennale). La probabilité de rupture de ce tronçon pour le scénario 5 est donc jugée très improbable pour la Q10 ( $P < 0,01$ ).

#### Synthèse de la probabilité conditionnelle d'inondation par instabilité du mur côté gave à la décrue suivi d'une seconde crue (scénario 5)

Le tableau suivant détaille la probabilité conditionnelle correspondant au scénario 5 :

|             | Différence de charge importante à la décrue (P1) | Basculement du mur côté gave à la décrue (P2) | Crue 137 m <sup>3</sup> /s – Q20 (P3) | Scénario 5          |
|-------------|--|---|---------------------------------------|---------------------|
| Famille 5.1 | 0,1  | 0,1   | 0,1                                   | 1. 10 <sup>-3</sup> |
| Famille 5.2 | 0,5  | 0,1   | 0,1                                   | 5.10 <sup>-3</sup>  |
| Famille 5.3 | 0,1  | 0,5   | 0,1                                   | 5.10 <sup>-3</sup>  |

Tableau 33: Probabilités conditionnelles correspondant au scénario 5 pour une crue de 100 m<sup>3</sup>/s (Q10)

**Le niveau de sûreté, vis-à-vis du scénario 5, (probabilité de rupture  $\leq 5\%$ ) est au moins égal à crue de dé débit de point 137 m<sup>3</sup>/s (Q20) pour tous les tronçons.**

#### 7.4.8 SCENARIO 6 : ENTREE D'EAU PAR LES OUVRAGES TRAVERSANTS

Si la plupart des murs sont munis de barbacanes, leur diamètre est faible et le débit peut être négligé (d'autant plus que les barbacanes sont sous le niveau du terrain naturel côté zone protégée).

##### 7.4.8.1 Description du phénomène

Ce scénario est un scénario de venue d'eau en zone protégée sans rupture.

Les différents réseaux pluviaux ou unitaires qui traversant la digue ne sont pas (pour la plupart) munis de clapets anti-retours ou de dispositif de fermeture.

Dès lors, si le niveau d'eau dans le gave est suffisant, des entrées d'eau en zone protégée sont certaines. Ce risque est évalué pour la crue Q20 (137 m<sup>3</sup>/s), qui entraîne sur certains tronçons une ligne de surface libre dans le gave supérieure à la cote du terrain naturel.

### 7.4.8.2 Moyens de détection et observations possibles en crues

Les entrées d'eau par les ouvrages traversant sont facilement détectables.

Lorsque le niveau du gave est supérieur au fil d'eau de l'ouvrage, l'ouvrage se remplit s'il n'est pas muni d'un dispositif de fermeture ou anti-retours. Si le niveau du gave dépasse la cote du terrain naturel (en ne considérant pas les pertes de charges), le niveau d'eau côté zone protégée s'équilibre avec le niveau de surface libre côté Gave.

### 7.4.8.3 Arbre de défaillance

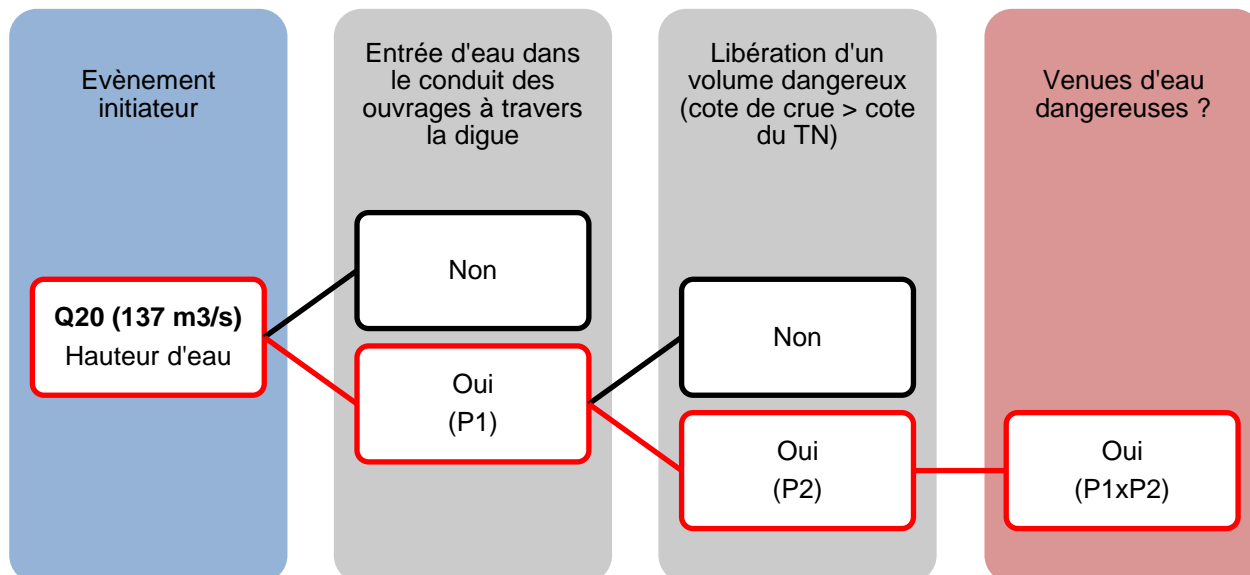


Figure 89 : Arbre de défaillance pour des venues d'eau dangereuses en zone protégée par les ouvrages traversant

### 7.4.8.4 Entrée d'eau dans le conduit des ouvrages à travers la digue

Les causes principales de venues d'eau liées à ce scénario sont les suivantes :

| Facteur sécuritaires   | Facteurs aggravants   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diamètre limité de l'ouvrage ;</li> <li>• Niveau de surface libre inférieur au fil d'eau ;</li> <li>• Présence de système anti-retour.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence de système anti-retour ;</li> <li>• Diamètre d'ouvrage « moyen » à « important » ;</li> <li>• Niveau de surface libre inférieur au fil d'eau ;</li> <li>• Absence de système anti-retour.</li> </ul> |

Tableau 34: Facteurs influençant l'évaluation de la probabilité de venue d'eau par les ouvrages traversants (P1)

### 7.4.8.5 Libération d'un volume dangereux

La libération d'un volume dangereux dans la zone protégée est considérée lorsque le niveau de surface libre côté gave dépasse le niveau du TN.

Les pertes de charge à travers les ouvrages traversants (dont la géométrie et l'implantation côté zone protégée ne sont pas connus pour la plupart).

### 7.4.8.6 Synthèse des probabilités de défaillances pour le scénario 6 : entrée d'eau par les ouvrages traversants

Le tableau suivant donne la synthèse de la probabilité de défaillance retenue pour le scénario 6 :

| Tronçon | Pk de l'OH | Position / digue                               | Diamètre de l'OH          | Présence d'un système anti-retour | P1                   | Revanche Q20 (SL) / TN                                      | P2                          | Probabilité retenue pour le scénario |
|---------|------------|--|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| GC 36.3 | 437        | Mi-Hauteur                                     | Moyen<br>→Défavorable     | Non<br>→Défavorable               | Probable<br>P2 = 0,9 | 0.72  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 9 %<br>(AVP)                         |
| GC 36.3 | 506        | L'ouvrage est équipé d'un système anti-retour. |                           |                                   |                      |   |                             | < 5%                                 |
| GC 40.1 | 519        | L'ouvrage est équipé d'un système anti-retour. |                           |                                   |                      |   |                             | < 5%                                 |
| GC 40.3 | 581        | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable       | Non<br>→Défavorable               | Neutre<br>P1 = 0,5   | 0.56  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %                                  |
| GC 40.4 | 735        | Mi-hauteur                                     | Gros<br>→Très défavorable | Non<br>→Défavorable               | Probable<br>P2 = 0,9 | TN au niveau du fil d'eau de la conduite et en charge au ¾. | Probable<br>P2 = 0,9        | 81 %<br>(AVP)                        |
| GC 46   | 752        | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→ Favorable      | Non<br>→Défavorable               | Neutre<br>P1 = 0,5   | 0.24  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %                                  |
| GC 46   | 787        | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable       | Non<br>→Défavorable               | Neutre<br>P1 = 0,5   | 0.89  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %                                  |
| GC 46   | 796        | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable       | Non<br>→Défavorable               | Neutre<br>P1 = 0,5   | 1.10  | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 %                                |

|          |      |  |                     |                     |                    |      |                             |       |
|----------|------|--|---------------------|---------------------|--------------------|------|-----------------------------|-------|
| GC 46    | 797  | Bas  | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.16 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45bis | 838  | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.19 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45bis | 876  | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.30 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45bis | 888  | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.50 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45bis | 923  | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.77 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45    | 923  | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.77 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 45    | 1009 | Mi-Hauteur                                     | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 1.54 | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,5 % |
| GC 47.2  | 1109 | L'ouvrage est équipé d'un système anti-retour. |                     |                     |                    |      |                             | < 5%  |
| GC 28    | 154  | Haut   | Petit<br>→Favorable | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5 | 0,50 | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |

|         |     |            |                               |                     |                              |       |                             |       |
|---------|-----|------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| GC 28   | 162 | Haut       | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0,50  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 35.2 | 462 | Haut       | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0.44  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 35.3 | 508 | Bas        | Très petit<br>→Très favorable | Non<br>→Défavorable | Très improbable<br>P1 = 0,01 | -0.33 | Probable<br>P2 = 0,9        | 0,9 % |
| GC 38.1 | 527 | Bas        | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0.46  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 38.1 | 543 | Mi-Hauteur | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0.93  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 38.1 | 560 | Mi-Hauteur | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0.62  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 38.1 | 562 | Mi-Hauteur | Petit<br>→Favorable           | Non<br>→Défavorable | Neutre<br>P1 = 0,5           | 0.64  | Improbable<br>P1 = 0,1      | 5 %   |
| GC 38.2 | 629 | Mi-Hauteur | Moyen<br>→Défavorable         | Non<br>→Défavorable | Probable<br>P2 = 0,9         | 1.16  | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,9 % |
| GC 38.3 | 631 | Bas        | Moyen<br>→Défavorable         | Non<br>→Défavorable | Probable<br>P2 = 0,9         | 1.28  | Très improbable<br>P = 0,01 | 0,9 % |



|            |     |            |                               |                             |                             |      |                                    |       |
|------------|-----|------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|------------------------------------|-------|
| GC 42bis.1 | 923 | Mi-Hauteur | Moyen<br>→ <b>Défavorable</b> | Non<br>→ <b>Défavorable</b> | <b>Probable</b><br>P2 = 0,9 | 2.07 | <b>Très improbable</b><br>P = 0,01 | 0,9 % |
| GC 42bis.1 | 928 | Mi-Hauteur | Moyen<br>→ <b>Défavorable</b> | Non<br>→ <b>Défavorable</b> | <b>Probable</b><br>P2 = 0,9 | 2.02 | <b>Très improbable</b><br>P = 0,01 | 0,9 % |

**Tableau 35 : Probabilités conditionnelles correspondant au scénario 6**

En l'état actuel, deux ouvrages traversants ne permettent pas d'atteindre la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s) comme niveau de protection :

- L'ouvrage ø 500 sur le tronçon GC 36.3 ;
- L'ouvrage ø 1000 sur le tronçon GC 40.4.

**Ces deux ouvrages sont traités dans le rapport d'AVP (cf. ANNEXE 6) accompagnant la présente étude de dangers avec l'équipement d'un système anti-retour (vanne). Pour plus de détail, se référer au rapport mentionné ci-dessus. Ainsi en l'état conforté, le risque d'entrée d'eau par les ouvrages traversants est inférieur à 5% pour tous les ouvrages pour la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s).**

#### 7.4.9 SCENARIO 7 : RUPTURE PAR DEFAUT DE RESISTANCE INTERNE D'UN MUR DIGUE

Ce scénario traite d'une rupture d'un mur digue par défaut de résistance interne qui traduirait un sous dimensionnement de l'ouvrage vis-à-vis de la sollicitation exercée.

Pour la crue vicennale, la probabilité de rupture d'un mur digue par défaut de résistance interne improbable, au vu de :

- La faible hauteur libre côté zone protégée des digues ( $\approx 1$  m au maximum) ;
- La faible sollicitation hydraulique qui ne met pas en charge les digues ou que faiblement (de l'ordre de 40 à 70 cm au maximum) ;
- Aucun ouvrage n'a rompu par défaut de résistance interne lors des crues de 2012, 2013 et de 2018.

**Au vu des éléments ci-dessus, le risque de rupture par défaut de résistance interne pour la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s) est jugé comme très improbable ( $P < 0,01$ ).**

## 7.5 SYNTHÈSE DES RESULTATS ET DEFINITION DU NIVEAU DE SURETE

### 7.5.1 SYNTHÈSES DE PROBABILITES DE RUPTURE DES OUVRAGES POUR LA CRUE Q20

Les probabilités de rupture des ouvrages pour la crue de période de retour 20 ans (137 m<sup>3</sup>/s) sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

| Tronçon                          | Scénario 1 :<br>Erosion externe<br>par affouillement | Scénario 2 : choc<br>d'embâcle ou érosion<br>externe du parement | Scénario 3 :<br>surverse<br>Q20 | Scénario 4 :<br>érosion<br>interne | Scénario 5 :<br>basculement<br>du mur à la<br>décrue | Scénario 6 : Entrée<br>d'eau par les<br>ouvrages<br>traversants | Scénario 7 :<br>Défaut de<br>résistance<br>interne |
|----------------------------------|--|--|---------------------------------|------------------------------------|--|---|--|
| Rive gauche                      |  |  |                                 |                                    |  |   |  |
| GC 29.1                          | < 5.10 <sup>-2</sup><br>(AVP)                        | < 5.10 <sup>-2</sup><br>(AVP)                                    | <1.10 <sup>-2</sup>             | -                                  | 1.10 <sup>-3</sup><br>(AVP)                          | -   | -  |
| GC 29.2                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | <1.10 <sup>-2</sup>             | -                                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 30                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | <1.10 <sup>-2</sup>             | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 31.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 36.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 36.2                          | 9,9.10 <sup>-2</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 36.3                          | 9,9.10 <sup>-2</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 9,9.10 <sup>-1</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | <5.10 <sup>-2</sup><br>(AVP)                                    | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 40.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 40.2                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-1</sup>              | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 40.3<br>(rehausse<br>en bois) | 5.10 <sup>-1</sup>                                   | 4,9.10 <sup>-1</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-2</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 40.4                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | <5.10 <sup>-2</sup><br>(AVP)                                    | -  |
| GC 46                            | 5.10 <sup>-1</sup>                                   | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-2</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 45 bis                        | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-3</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 45                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-3</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 47.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 47.2                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | 1.10 <sup>-4</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 48.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-1</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 48.2                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 9,9.10 <sup>-1</sup>            | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 48.3                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | 9,9.10 <sup>-1</sup>            | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| Rive droite                      |  |  |                                 |                                    |  |   |  |
| GC 28                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | -                                  | 1.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-2</sup>  | -  |
| GC 32                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | -                                  | -  | -   | -  |
| GC 34                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 5.10 <sup>-3</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |
| GC 35.2                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | < 1.10 <sup>-2</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-2</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 35.3                          | <5.10 <sup>-2</sup><br>(AVP)                         | 9.10 <sup>-3</sup>   | 9,9.10 <sup>-1</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 9,0.10 <sup>-3</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 38.1                          | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 9,9.10 <sup>-1</sup>            | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 5.10 <sup>-2</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 38.2<br>(rehausse<br>en bois) | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 4,9.10 <sup>-1</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 9.10 <sup>-3</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 38.3                          | 5.10 <sup>-1</sup>                                   | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | <10 <sup>-2</sup>                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | 9.10 <sup>-3</sup>  | < 1.10 <sup>-2</sup>                               |
| GC 39                            | 9,9.10 <sup>-3</sup>                                 | 1.10 <sup>-4</sup>   | 5.10 <sup>-2</sup>              | -                                  | 5.10 <sup>-3</sup>                                   | -   | -  |

|                |               |             |             |            |             |             |               |
|----------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|---------------|
| GC 42<br>bis.1 | $9,9.10^{-3}$ | $5.10^{-3}$ | $1.10^{-2}$ | $<10^{-2}$ | $5.10^{-3}$ | $9.10^{-3}$ | $< 1.10^{-2}$ |
|----------------|---------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|---------------|

**Tableau 36 : synthèse des résultats pour chaque scénario pour la Q20 (137 m<sup>3</sup>/s)**

**La probabilité de rupture des ouvrages constituant le système d'endiguement pour une crue Q20 (137 m<sup>3</sup>/s) est supérieure à 5%, ainsi le niveau de sûreté assuré par le système d'endiguement de Pierrefitte-Nestalas est inférieur à une crue de type « Q20 – 137m<sup>3</sup>/s».**

### 7.5.2 NIVEAU DE SURETE

L'arrêté du 7 avril 2017 « *précisant le plan de l'étude de dangers des digues organisées en systèmes d'endiguement et des autres ouvrages conçus ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions* », fixe pour les ouvrages constituant un système d'endiguement un objectif de 5% au plus en matière de risque résiduel de rupture.

Le tableau suivant donne le niveau de sûreté pour chaque tronçon et pour chaque scénario :

| Tronçon                    | Scénario 1 : Erosion externe par affouillement   | Scénario 2 : choc d'embâcle ou érosion externe du parement | Scénario 3 : surverse | Scénario 4 : érosion interne | Scénario 5 : basculement du mur à la décrue | Scénario 6 : Entrée d'eau par les ouvrages traversants | Scénario 7 : Défaut de résistance interne |
|----------------------------|--|--|-----------------------|------------------------------|---|--|---|
| Rive gauche                |  |  |                       |                              |   |  |   |
| GC 29.1                    | Q20 (AVP)  | Q20 (AVP)  | Q20                   | -                            | Q20 (AVP)                                   | -  | -   |
| GC 29.2                    | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 30                      | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 31.1                    | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 36.1                    | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 36.2                    | Q10  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | -  | Q20                                       |
| GC 36.3                    | Q10  | Q20  | Q10                   | Q20                          | Q20   | Q20 (AVP)  | Q20                                       |
| GC 40.1                    | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 40.2                    | Q20  | Q20  | Q10                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 40.3 (rehausse en bois) | Q10  | Q10  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 40.4                    | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 46                      | Q10  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 45 bis                  | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 45                      | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 47.1                    | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | -  | Q20                                       |
| GC 47.2                    | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 48.1                    | Q20  | Q20  | Q10                   | Q20                          | Q20   | -  | Q20                                       |
| GC 48.2                    | Q20  | Q20  | Q10                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 48.3                    | Q20  | Q20  | Q10                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| Rive droite                |  |  |                       |                              |   |  |   |
| GC 28                      | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | Q20  | -   |
| GC 32                      | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | -   | -  | -   |
| GC 34                      | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 35.2                    | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 35.3                    | Q10 (AVP)  | Q20  | Q10                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 38.1                    | Q20  | Q20  | Q10                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 38.2 (rehausse en bois) | Q20  | Q10  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 38.3                    | Q10  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 39                      | Q20  | Q20  | Q20                   | -                            | Q20   | -  | -   |
| GC 42 bis.1                | Q20  | Q20  | Q20                   | Q20                          | Q20   | Q20  | Q20                                       |
| GC 42 bis.2                | ≥Q10 (tronçon protégé par les tronçons fusibles) |  |                       |                              |   |  |   |

**Tableau 37 : Synthèse des niveaux de sûreté pour chaque tronçon du système d'endiguement**

**Le niveau de sûreté est au plus égal à une crue de 100 m<sup>3</sup>/s soit une crue de période de retour d'environ 10 ans (110 m<sup>3</sup>/s) (en considérant l'avant-projet de confortement) soit une hauteur d'eau de 2,59 m à l'échelle de mesure du pont de Soulom. Il s'agit du niveau de protection retenu.**

## 8 ETUDE DES RISQUES DE VENUES D'EAU

### 8.1 DEFINITION DES CLASSES DE VENUES D'EAU DANGEREUSES

#### **Légende**

##### Scénario 2 - Venues d'eau

-  Non dangereuses
-  Moyennement dangereuses
-  Dangereuses
-  Particulièrement dangereuses

- Non dangereuses : Hauteurs d'eau inférieures à 0,5 m ET vitesses inférieures à 0,5 m/s
- Moyennement dangereuses : Hauteurs d'eau comprises entre 0,5 et 1 m ET vitesses inférieures à 0,5 m/s
- Dangereuses : Hauteurs d'eau comprises entre 1 et 2 m OU vitesses comprises entre 0,5 et 2 m/s
- Particulièrement dangereuses : Hauteurs d'eau supérieures à 2 m OU vitesses supérieures à 2 m/s

### 8.2 SCENARIO 1 : FONCTIONNEMENT NOMINAL DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Pour le fonctionnement nominal du système d'endiguement pour le niveau de protection (débit de 100 m<sup>3</sup>/s), le gave de Cauterets ne déborde pas.

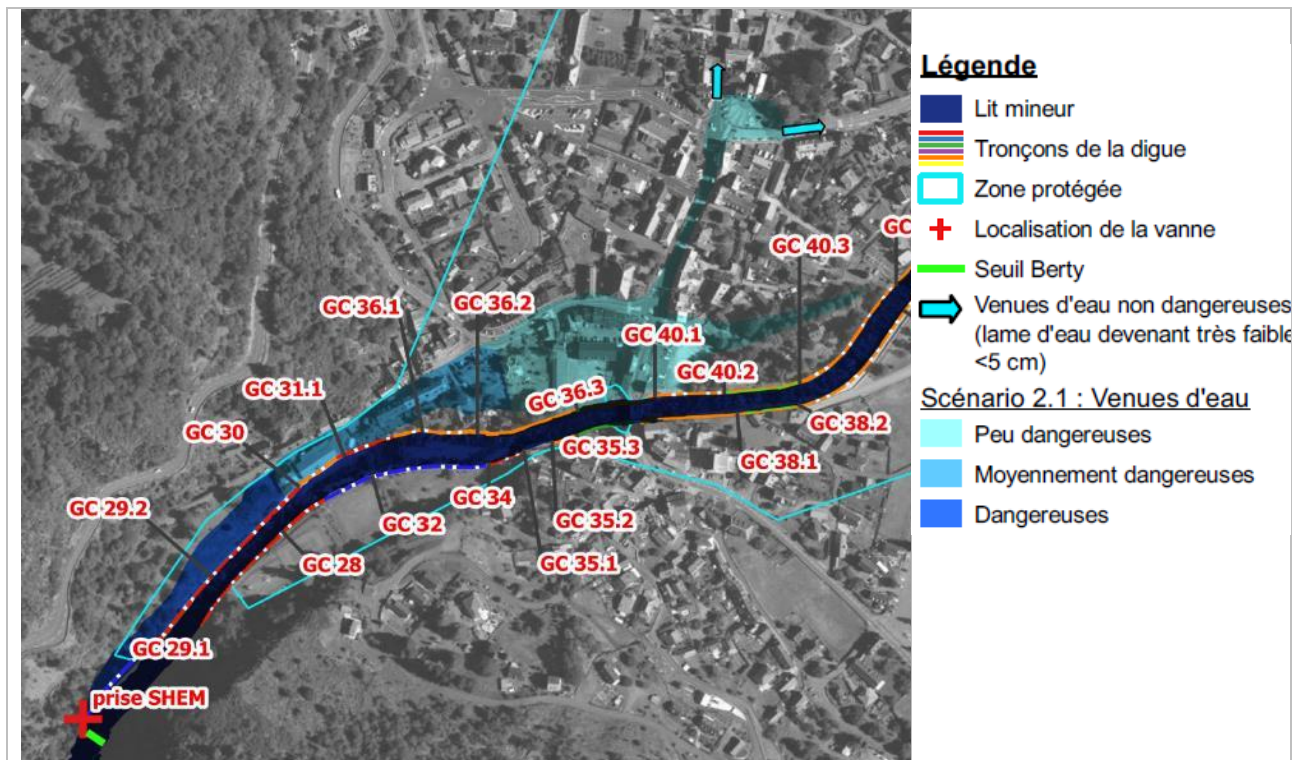
La cartographie est présentée en chapitre 10.

### 8.3 SCENARIO 2 : DEFAILLANCE FONCTIONNELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Deux scénarios de venue d'eau par défaillance fonctionnelle ont été cartographiés.

Par dérogation avec l'arrêté du 7 avril 2017 modifié, la crue retenue pour l'étude du scénario est la crue de période de retour 50 ans (220 m<sup>3</sup>/s) car pour la crue de projet (100 m<sup>3</sup>/s) et la crue vicennale (137 m<sup>3</sup>/s), la ligne d'eau n'est pas suffisamment haute pour produire des venues d'eau significatives par les ouvrages de régulation des eaux.

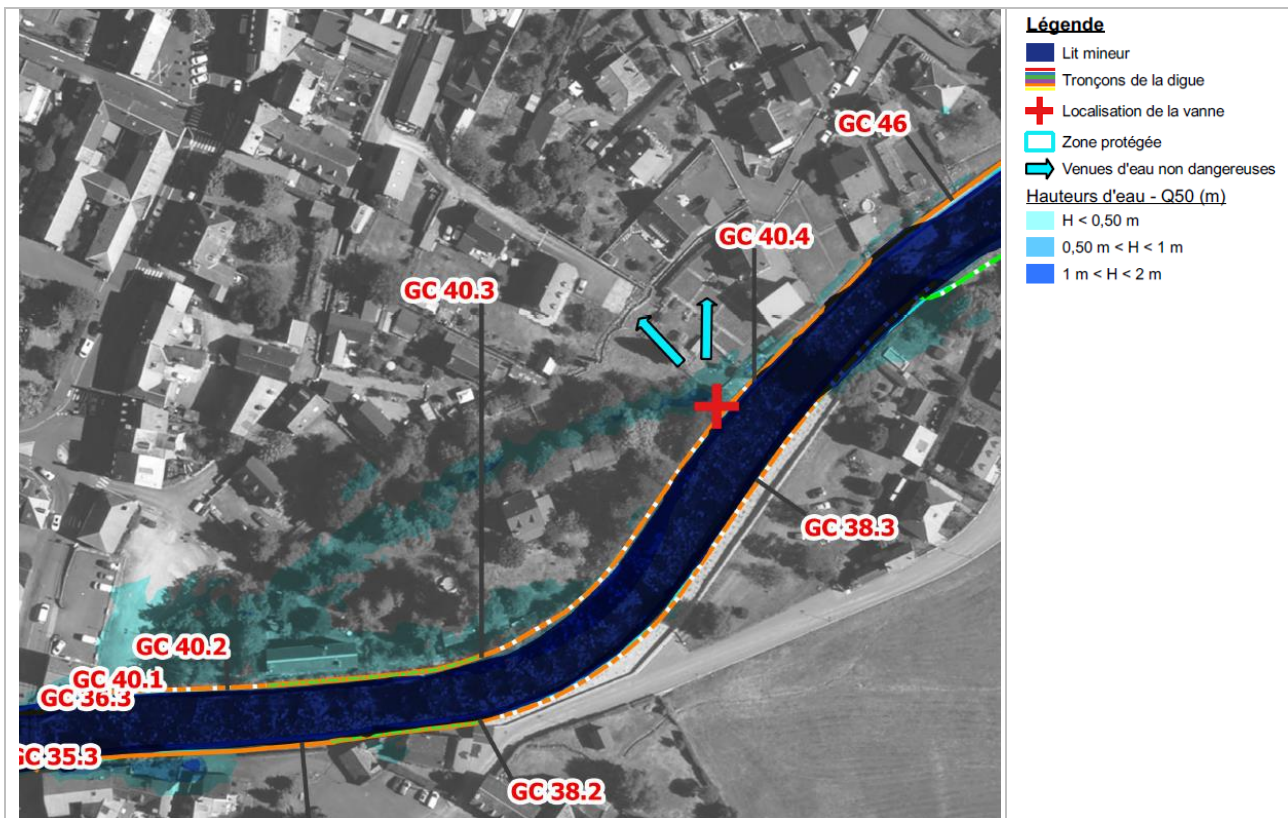
- Scénario 2.1 : non fermeture des vannes de l'ouvrage de prise d'eau de la SHEM au niveau du seuil Berty (modélisation avec une rupture instantanée de l'ouvrage de prise d'eau au plus fort de la crue) ;



Ce scénario conduit à des venues d'eau dangereuses sur la partie amont, avec des vitesses élevées.

- Scénario 2.2 : non fermeture de la vanne de l'ouvrage d'eaux pluviales  $\varnothing 1000$  mm sur le tronçon GC 40.4 (à équiper dans le cadre de l'AVP)



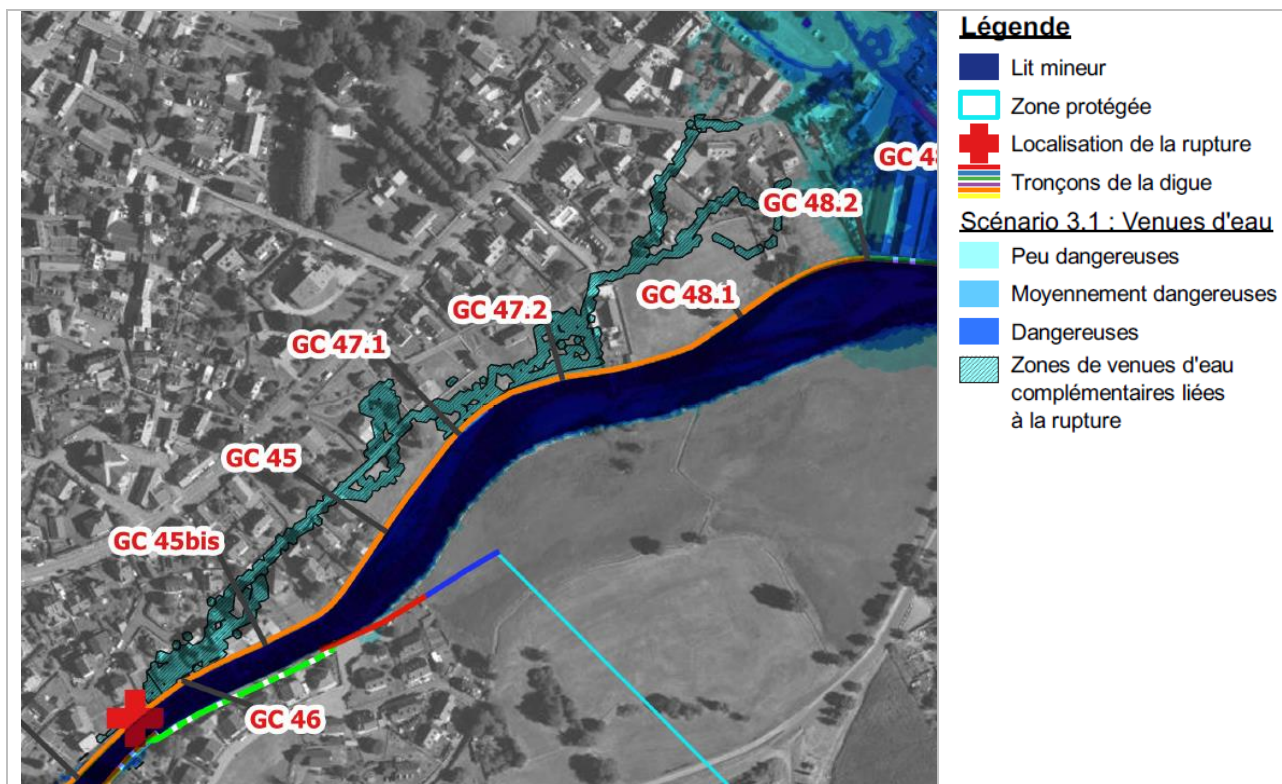


Ce scénario conduit à des venues d'eau non dangereuses très localisées, essentiellement sur un ancien bras du gave et en arrière des digues.

## 8.4 SCENARIO 3 : DEFAILLANCE STRUCTURELLE DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

Trois scénarios ont été modélisés et cartographiés pour la crue de période de retour 50 ans pour laquelle le risque de rupture devient fort (supérieur à 50%) :

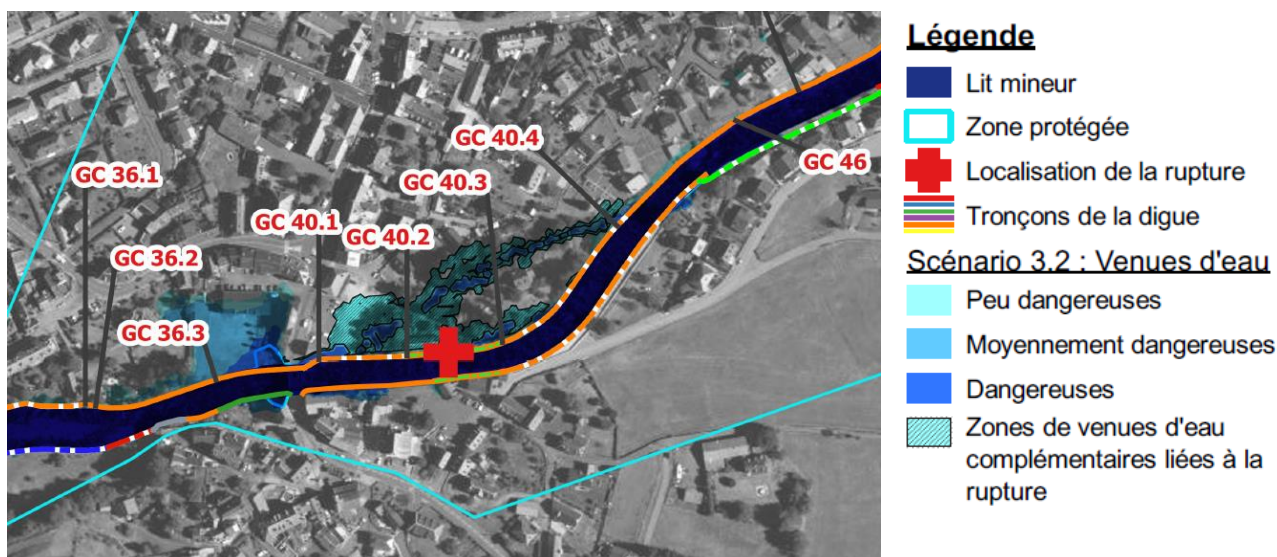
- Scénario 3.1 : rupture instantanée du mur digue GC 46 (rive gauche) sur 50 m au pic de la crue.



Ce scénario conduit à des venues d'eau peu dangereuses rejoignant les débordements en amont du pont Interzone.

Les vitesses de ces venues d'eau sont de l'ordre de 0,1 m/s avec un maximum de 0,3 m/s le long de la rue Boileau. Les hauteurs d'eau sont très faibles (quelques centimètres).

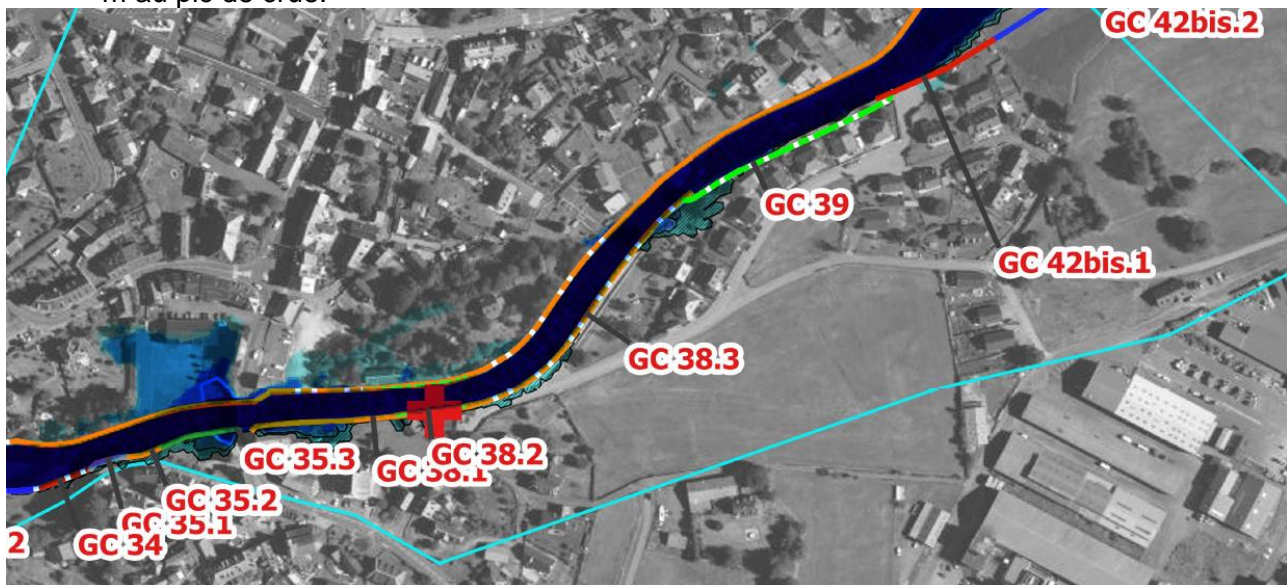
- Scénario 3.2 : rupture instantanée des madriers bois du tronçon GC 40.3 (rive gauche) sur 6 m au pic de crue.



Le scénario engendre des venues d'eau peu et moyennement dangereuses, relativement localisées sur un ancien bras sur gave et en arrière des ouvrages.

La hauteur d'eau moyenne est d'une dizaine de centimètres et la vitesse est comprise entre 0,1 et 0,3 m/s.

- Scénario 3.3 : rupture instantanée des madriers bois du tronçon GC 38.2 (rive droite) sur 6 m au pic de crue.



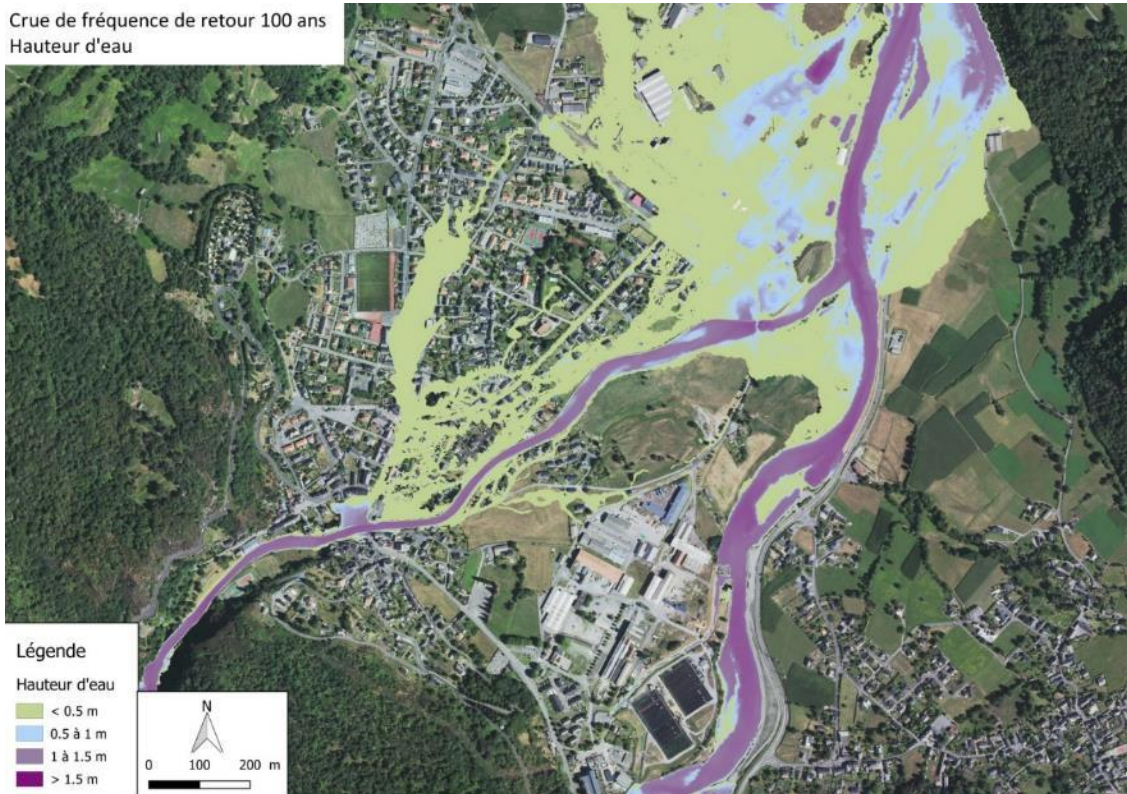
Ce scénario conduit à des venues d'eau peu dangereuses localisées le long des ouvrages.

La hauteur d'eau atteint 10 cm et la vitesse 0,3 m/s.

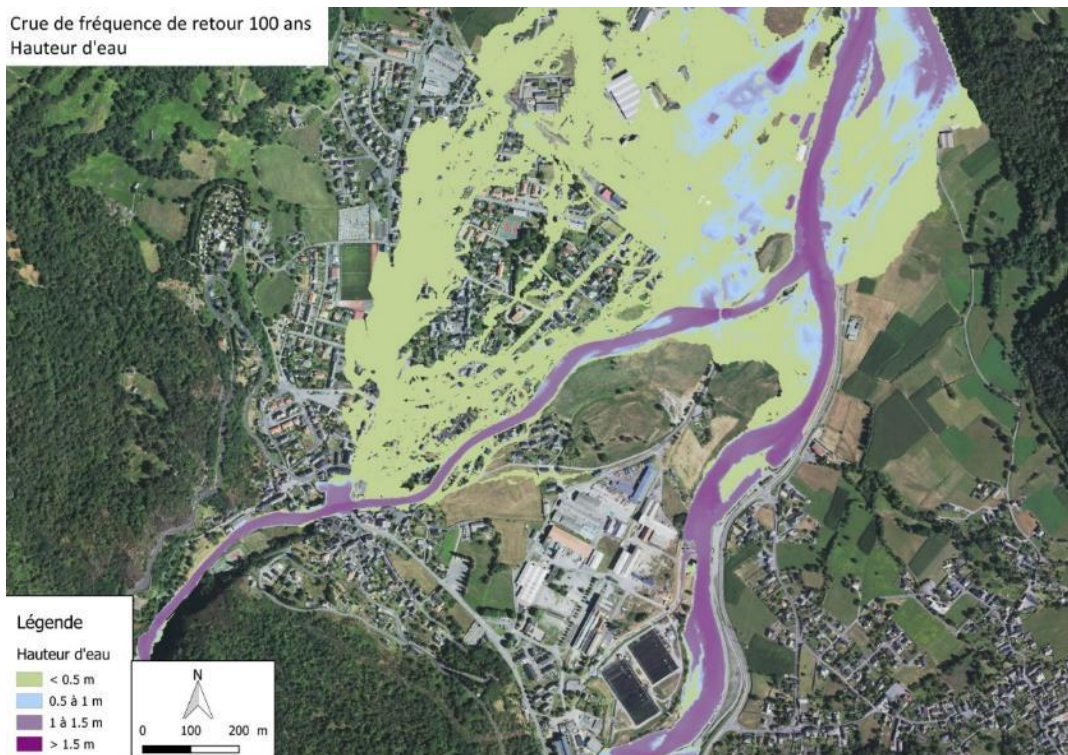
## 8.5 SCENARIO 4 : COMPORTEMENT POUR L'ALEA DU PPR

Les cartes suivantes présentent l'aléa centennal ( $296 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dans l'hypothèse sans les ouvrages en surélévation d'une part et d'autre part avec les ouvrages en surélévation, dans l'hypothèse où ils tiennent.

On observe que pour l'aléa centennal, le système d'endiguement est peu efficace en termes de protection contre l'inondation par débordement.



**Figure 90 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de fréquence de retour 100 ans avec système d'endiguement (débit de pointe 296 m<sup>3</sup>/s)**



**Figure 91 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de période de retour 100 ans sans ouvrages en surélévation (débit de pointe 296 m<sup>3</sup>/s)**

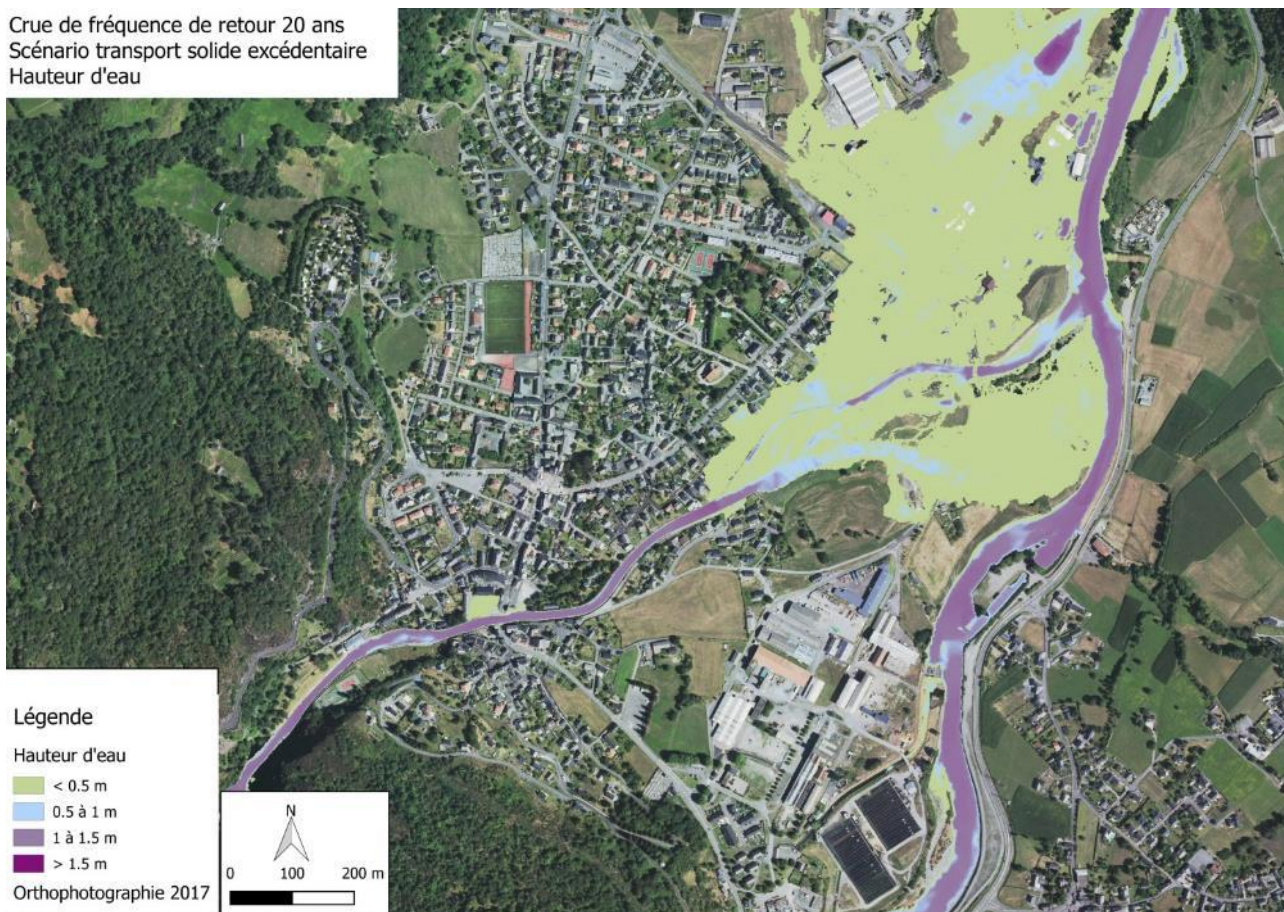
## 8.6 SCENARIOS COMPLEMENTAIRES AVEC MOBILITE DU LIT

Des modélisations hydrauliques ont été réalisées avec des apports de sédiments afin d'analyser la sensibilité du système d'endiguement à l'évolution du lit en termes d'impact sur les lignes d'eau, d'énergie et les débordements.

Les figures suivantes présentent les zones inondées pour la crue de période de retour 20 ans dans les hypothèses suivantes :

- Apports sédimentaires similaires à ceux de la crue de 2013 (topo bathy post crue 2013),
- Apports massifs de sédiments comblant le lit mineur sur 100 m en amont du Pont de Soulom.

Crue de fréquence de retour 20 ans  
Scénario transport solide excédentaire  
Hauteur d'eau



**Figure 92 : Carte des hauteurs d'eau de la crue de fréquence de retour 20 ans (débit de pointe 137 m<sup>3</sup>/s) scénario de transport solide excédentaire – dépôts similaires à ceux de la crue de 2013**

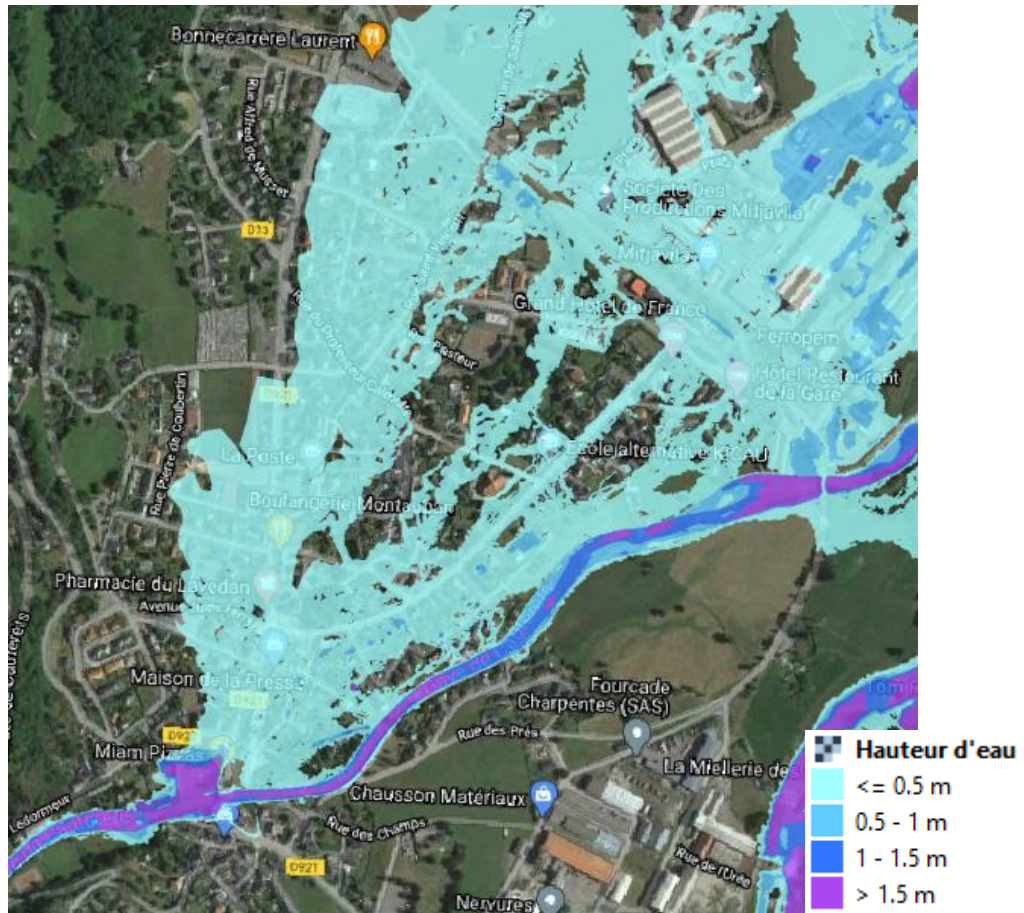


Figure 93 : Zone inondable pour la crue vicennale dans l'hypothèse d'un comblement du lit mineur sur 100m en amont du pont de Soulom

## 9 PRESENTATION ET ANALYSE DE L'ORGANISATION MISE EN PLACE PAR LE GESTIONNAIRE POUR L'EXERCICE DE SES MISSIONS

L'organisation relative au système d'endiguement Pierrefitte-Nestalas Soulom est coordonnée par le PLVG, organisme GEMAPlen, avec l'appui des communes.

L'organisation est décrite dans les consignes écrites, transmises dans le dossier de demande d'autorisation.

La notice d'entretien du lit mineur présentée en annexe complète la description des modalités d'entretien pour les aspects sédimentaires.

### 9.1 ORGANISATION DU GESTIONNAIRE POUR CE QUI CONCERNE LES ASPECTS LIES AUX PERFORMANCES DU SYSTEME ET A LA SECURITE

L'entretien et les opérations pour maintenir dans le temps la performance du système d'endiguement sont réalisées par le PLVG.

L'entretien courant est réalisé fréquemment :

- Entretien de la végétation (fauchage et débroussaillage) à minima une fois par an,
- entretien et manœuvre des vannes : au moins une fois par an.

### 9.2 LA DEFINITION DES PRINCIPALES PROCEDURES QUI ENCADRENT L'IDENTIFICATION ET L'EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES, LA SURVEILLANCE DE L'OUVRAGE EN TOUTES CIRCONSTANCES, LA GESTION DES SITUATIONS D'URGENCE ET LA GESTION DU RETOUR D'EXPERIENCE

L'évènement redouté central est la rupture de la digue en crue. Un autre risque est une venue d'eau dans la zone protégée en crue, sans rupture, par dysfonctionnement (non fermeture ou rupture d'une vanne par exemple).

L'organisation générale en crue est présentée dans les consignes écrites.

La prise d'eau de la SHEM ne nécessite pas de manœuvre de vannes en crue car la prise d'eau est calibrée afin d'entonner un débit limité à la capacité du canal.

Les vannes des ouvrages d'eaux pluviales GC40.4 et GC36.3 sont fermés par un agent communal lorsque le niveau atteint 1 m en dessous du niveau de protection (soit 1.59 m à l'échelle).

La prévention du risque de rupture de digue est assurée en premier lieu par l'entretien et la surveillance des ouvrages en situation normale. Celle-ci est organisée avec des visites programmées régulières (VTA, visites de surveillance annuelles).

La surveillance en crue est prévue par le PLVG et la commune pour les niveaux à partir de 1 m sous le niveau de protection, avec une organisation en astreinte.

Des visites post crues, et rapports post crue sont prévus pour le retour d'expérience.

Un veille séisme et des visites post-séismes sont également prévues.

### 9.3 LES MOYENS D'INFORMATION SUR LES CRUES

Le PLVG s'appuie sur :

- Les informations d'observation et de prévision de crue disponibles sur le site Vigicrues,
- La vigilance Météofrance et les stations météorologiques d'observations en temps réel Infoclimat.fr,
- La station hydrométrique de Cauterets en amont du pont Fanlou : mesure des niveaux d'eau en temps réel via le concentrateur du PLVG : <http://www.application.ogoxe.com/>
- L'observation à l'échelle limnimétrique locale en amont du pont de Soulom.

### 9.4 LES PROCEDURES D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION AVEC LES AUTORITES COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE DES POPULATIONS EN PERIODE DE CRUE OU DE TEMPETE, ADAPTEES AUX DIFFERENTS CAS ET A LEURS CINETIQUES

En cas de dépassement du niveau de protection ou en cas d'identification de dysfonctionnement sur le système d'endiguement, le PLVG alerte les services de contrôle de la DREAL, la préfecture, les mairies et usines à proximité et les tient informés de l'évolution de la situation.

### 9.5 LES DISPOSITIONS PRISES PAR LE RESPONSABLE POUR S'ASSURER EN PERMANENCE DU RESPECT DES PROCEDURES, AUDITER ET REVISER SON ORGANISATION DE GESTION DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT DANS LE CADRE DE SON AMELIORATION CONTINUE

Le PLVG :

- Demande une confirmation aux agents de terrain de la bonne mise en œuvre des actions demandées, notamment en situation de crue,
- Prévoit de réviser son organisation de gestion régulièrement, notamment à l'occasion des retours d'expérience post crue, des rapports post crue, ainsi que lors de la rédaction des rapports de surveillance.

### 9.6 LE(S) ROLE(S) DE BARRIERE DE SECURITE POUVANT ETRE ASSURE(S) PAR CERTAINS ELEMENTS DE SON ORGANISATION ET DE SA DEMARCHE DE PREVENTION DES ACCIDENTS.

Les interventions en crue (fermeture des vannes) et le suivi en crue sont des barrières de sécurité permettant d'éviter ou de déceler de manière précoce d'éventuels dysfonctionnements.



## 9.7 ANALYSE DE L'ADEQUATION DES MOYENS HUMAINS ET DE L'ORGANISATION

### 9.7.1 MANŒUVRES D'EXPLOITATION

Il est prévu qu'un agent municipal ferme les deux vannes sur les réseaux d'eau pluviales.

La disponibilité d'un agent en toutes circonstances doit être confirmée : y a-t-il une astreinte communale ?

### 9.7.2 L'ENTRETIEN DES OUVRAGES, LA DETECTION PRECOCE DES DESORDRES EVENTUELS QUI PEUVENT LES AFFECTER ET LEURS REPARATIONS COURANTES

Le PLVG réalise un entretien régulier des ouvrages et des essais sur les ouvrages mobiles. Des visites de surveillance programmées sont réalisées à fréquence minimale annuelle.

L'entretien et les réparations courantes sont bien prévus et les modalités décrites dans l'organisation et les consignes du PLVG.

L'entretien est adéquat.

### 9.7.3 LES REPARATIONS ET RENFORCEMENTS PLUS CONSEQUENTS EFFECTUES A TITRE PROVISOIRE DANS LE RESPECT DES REGLES DE L'ART.

En cas de besoin identifié lors de la visite post crue, des travaux urgents sont envisagés sous maîtrise d'œuvre d'un bureau d'étude agréé.

### 9.7.4 S'INFORMER AUPRES DES SERVICES COMPETENTS EN MATIERE DE PREVISION ET D'ANNONCE DE CRUES

L'organisation du PLVG est adéquate. Une astreinte est ainsi prévue pour suivre l'évolution de la situation dès l'état de vigilance.

### 9.7.5 ALERTER SANS DELAI LES AUTORITES QUI SONT COMPETENTES POUR LA MISE EN SECURITE PREVENTIVE DES PERSONNES.

Le PLVG est organisé en astreinte, réalise un suivi en crue et prévoit d'alerter sans délai les services de contrôle de la DREAL, la préfecture, les mairies et usines à proximité, en cas de dépassement du niveau de protection ou d'identification de dysfonctionnement.

L'organisation est adéquate.

## 9.8 RECOMMANDATIONS POUR AMELIORER A MOYEN TERME LE NIVEAU DE PROTECTION

- Mettre en place un report d'échelle en amont du pont de Soulom permettant de lire le niveau au-dessus du plein bord au moins jusqu'au niveau de dangers.
- Réaliser l'avant projet du scénario d'aménagement 2 comportant l'élargissement du Pont Interzone, la reprise des ouvrages affouillés (principalement 38.3, 40.3 et 46) et le remplacement des réhausses bois par des murets béton fixes pour le relèvement du niveau de protection à la crue vicinale.

## 10 CARTOGRAPHIE

Les cartes suivantes sont jointes :

- Carte n°1 : carte de situation du système d'endiguement, de la zone protégée, des limites du PLVG et du point de mesure du niveau de protection.
- Cartes de venue d'eau :
  - Carte n°2 : scénario 1 : fonctionnement nominal
  - Scénario 2 : défaillance fonctionnelle
    - Carte n°3 : scénario 2.1 : non fermeture des vannes de l'ouvrage de prise d'eau de la SDEM au niveau du seuil Berty (modélisation avec une rupture instantanée de l'ouvrage de prise d'eau au plus fort de la crue) ;
    - Carte n°4 : scénario 2.2 : non fermeture de la vanne du gros ouvrages EP Ø1000 sur le tronçon GC 40.4 (à équiper dans le cadre de l'AVP)
  - Scénario 3 : défaillance structurelle
    - Carte n°5 : scénario 3.1 : rupture instantanée du mur digue GC 46 (rive gauche) sur 50 m au pic de la crue.
    - Carte n°6 : scénario 3.2 : rupture instantanée des madriers bois du tronçon GC 40.3 (rive gauche) sur 6 m au pic de crue.
    - Carte n°7 : scénario 3.3 : rupture instantanée des madriers bois du tronçon GC 38.2 (rive droite) sur 6 m au pic de crue.

## ANNEXE 1 BIBLIOGRAPHIE

- BRGM. (2017-2018). Consulté le Mars 12, 2019, sur InfoTerre: <http://infoterre.brgm.fr/>
- CATNAT. (2013). *Crue du 18 juin 2013 sur les bassins du Gave de Pau et de la Neste.*
- DREAL Midi-Pyrénées. (2013). *Crues des Pyrénées des 18 et 19 Juin 2013 - Retour d'expérience global.*
- Etat Français. (2018, Août 30). *Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages.* Consulté le Mars 11, 2019, sur Legifrance: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000037345568>
- Hydrétudes. (2020). *Etude hydrologique à la confluence du gave de Cauterets et le gave de Pau.*
- ISL. (2018). *Visite technique approfondie.*
- L'Association « Aménagement de l'Espace, Développement, Environnement » et le master Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels (GCRN). (2016). *Evaluation des dommages directs et indirects causés par les crues consécutives d'octobre 2012 et de juin 2013 dans les Pays de Lourdes et des Vallées des Gaves.*
- Quefféléan, Y., Carlados, S., Piton, G., Kuss, D., Fouquet, M., & Tourment, R. (2019). Spécificités des systèmes d'endiguement et de l'analyse de risque. *Digues Maritimes et Fluviales de Protection contre les Inondations.*
- RTM. (2013). *Crues de la Garonne et du Gave de Pau, 17 et 18 juin 2013.*
- Tourment, R., & Beullac, B. (2019). *Inondations - Analyse de risque des systèmes de protection.* Lavoisier.
- PLVG – Archives photos
- RTM. (2004) Etude pour le PPR – Ch.PETEUIL
- MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie) DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques). Risque sismique et Sécurité des ouvrages hydrauliques. 316 pages. Octobre 2014- Groupe de travail « Barrages et Séismes ».

## ANNEXE 2 HISTORIQUE DES SEISMES DANS LE SECTEUR DU SYSTEME D'ENDIGUEMENT

| Date                | Lieux  | Intensité<br>(échelle<br>MSK <sup>8</sup> ) | Dégâts   | Sources            |
|---------------------|--|---|--|--------------------|
| 21 juin 1660        | Bagnères, Argelès-<br>Gazost (A-G), Lourdes,<br>Campan | IX  | 11 morts à Bagnères, 10 à<br>Campan  | Imbert et VIE      |
| 1675                | Vallée d'A-G   |   | Romp les barrages des lacs<br>de Gavarnie, Héas et St<br>Orens ; Inondations | Imbert et VIE      |
| 20 juillet 1854     | A-G  | VII – VIII                                  | Epicentre à A-G ;<br>Destructions et quelques<br>blessés autour d'A-G        | J Lambert,<br>1995 |
| 22 janvier 1855     | A-G  |   | Réplique du 20 juillet 1854  | Imbert et VIE      |
| 18 février 1855     | A-G  |   | Réplique du 20 juillet 1854  | Imbert et VIE      |
| 14 mars 1855        | A-G  |   | Réplique du 20 juillet 1854  | Imbert et VIE      |
| 23 mai 1903         | A-G, Lourdes   |   | 2 secousses  | Imbert et VIE      |
| 10 juillet 1907     | A-G  |   | Légère   | Imbert et VIE      |
| 16 août 1907        | A-G  |   | Légère   | Imbert et VIE      |
| 19 octobre<br>1908  | A-G, Arrens, Lourdes                                   |   | 5 secondes   | Imbert et VIE      |
| 30 juin 1910        | Pierrefitte-Nestalas                                   |   | Légère   | Imbert et VIE      |
| 29 avril 1911       | A-G, Bagnères  |   |  | Imbert et VIE      |
| 31 décembre<br>1911 | A-G, Cauterets,<br>Lourdes                             |   | Légère   | Imbert et VIE      |
| 31 janvier 1912     | A-G, Cauterets,<br>Lourdes                             |   |  | Imbert et VIE      |
| 2 novembre<br>1915  | A-G  |   | Réveil en sursaut  | Imbert et VIE      |
| 1 mars 1917         | A-G  |   |  | Imbert et VIE      |
| 25 juin 1918        | A-G  |   | A la suite d'un violent orage  | Imbert et VIE      |

<sup>8</sup> Echelle de Medvedev-Sponheuer-Karnik

| Date                 | Lieux  | Intensité<br>(échelle<br>MSK <sup>8</sup> ) | Dégâts                                | Sources            |
|----------------------|--|---|---------------------------------------|--------------------|
| 12 septembre<br>1918 |  |   | Légère                                | Imbert et VIE      |
| 5 mars 1919          |  |   | Légère                                | Imbert et VIE      |
| 2 avril 1920         |  |   | Très forte avec bruits<br>souterrains | Imbert et VIE      |
| 2 octobre 1923       |  |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 22 février 1924      |  | VII   | Cheminées renversées                  | Imbert et VIE      |
| 20 octobre<br>1925   |  | V   | Epicentre à A-G                       | J Lambert,<br>1995 |
| 15 avril 1926        |  | V   | Assez forte, 3 secondes               | Imbert et VIE      |
| 22 février 1930      | A-G, Luz, Aucun,<br>Bagnères                       |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 28 juin 1930         | A-G, Lourdes,<br>Bagnères                          | V   | Epicentre à A-G                       | Imbert et VIE      |
| 22 septembre<br>1930 | A-G, St Pé, Campan,<br>lourdes, Aucun,<br>Bagnères |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 26 septembre<br>1930 | A-G, St Pé, Campan,<br>lourdes, Aucun,<br>Bagnères |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 13 octobre<br>1930   | A-G  | VI  | Epicentre à A-G                       | Imbert et VIE      |
| 14 novembre<br>1930  |  |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 4 avril 1931         | A-G, Lahitte, Lourdes                              |   | Légère                                | Imbert et VIE      |
| 15 avril 1931        | A-G, Lahitte, Lourdes                              |   | Légère                                | Imbert et VIE      |
| 23 novembre<br>1931  | A-G, Aucun, Lourdes,<br>Luz                        |   |                                       | Imbert et VIE      |
| 29 novembre<br>1933  | A-G, St-Pé,<br>Lannemezan,<br>Bagnères, Aucun      |   | Très légère, ½ seconde                | Imbert et VIE      |
| 23 octobre<br>1934   | A-G  |   | Légère, précédée d'un<br>grondement   | Imbert et VIE      |
| 4 février 1936       | A-G, Aucun, Lourdes,                               |   |                                       | Imbert et VIE      |

| Date               | Lieux   | Intensité<br>(échelle<br>MSK <sup>8</sup> ) | Dégâts  | Sources   |
|--------------------|---|---|---|---|
|                    | St-Pé   |   |   |   |
| 26 août 1951       | A-G   |   | Faible  | Imbert et VIE   |
| 5 août 1960        | A-G, Arras, Cauterets,<br>Ferrières, St-Pé            | V   | Epicentre à A-G   | J Lambert,<br>1995  |
| 4 juin 1964        | A-G   | V   |   | Imbert et VIE   |
| 21 mars 1989       | A-G   |   | Epicentre près d'A-G  | Maire de<br>Bagnères  |
| 16 octobre<br>1990 | A-G, Barèges, Luz,<br>Cauterets, Lourdes,<br>Bagnères | Magnitude<br>3,8                            | Epicentre à A-G, Aucun dégât  | Presse : DM<br>10/1990,<br>Nouvelle<br>République des<br>P 17/10/1990 |
| 13 mars 1991       | A-G   |   |   | DDRPM   |
| 12 février 1995    | A-G   |   | Epicentre près d'A-G  | Mairie de<br>Bagnères   |
| 6 janvier 1996     | A-G, St-Pé  | Magnitude<br>4,3                            | Epicentre à l'ouest d'A-G   | Mairie de St-Pé   |
| 1 février 1996     | A-G, St-Pé  | Magnitude<br>3,1                            | Epicentre à l'ouest d'A-G,<br>réveil de qq personnes,<br>vibration des vitre et<br>craquement des meubles | Mairie de St-Pé   |
| 3 août 2001        | A-G   | Magnitude<br>3,5                            | Epicentre détecté au nord-est<br>d'A-G à une profondeur de 11<br>km.                                      | Presse :<br>Dépêche du<br>Midi du<br>04/08/2001                       |

---

## ANNEXE 3 DESCRIPTION GEOTECHNIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

### 1. Objet de l'annexe

La présente annexe constitue la synthèse des résultats des sondages et essais géotechniques disponibles suite à la campagne de mars 2020.

En listant les essais et les résultats des essais, les prochains paragraphes montrent que la géotechnique de l'ensemble de la zone d'étude est homogène, et que des hypothèses similaires peuvent être adoptées pour l'ensemble des ouvrages du système d'endiguement.

### 2. Campagnes antérieures

Aucune campagne de reconnaissance spécifique n'a été effectuée avant la présente étude sur l'ensemble des ouvrages.

### 3. Investigations géotechniques 2020

Dans le cadre de la présente EDD, une campagne de reconnaissances complémentaires a été menée au début de l'année 2020 par l'entreprise GEOTEC sur la base d'un programme défini par ISL dans le cadre de l'établissement du présent diagnostic approfondi des digues.

L'objectif de ces sondages était de reconnaître les fondations des ouvrages de protection et d'identifier d'éventuelles hétérogénéités sur la zone.

Suite à une demande du PLVG, des piézomètres ont été implantés sur la zone, et certains sondages ont été placés stratégiquement proche du pont interzone qui a pour vocation d'être refait.

Cette campagne de reconnaissance a donc pour objectif de mieux connaître la zone d'étude d'un point de vue géotechnique et de reconnaître les ouvrages dont la géométrie des fondations est mal connue.

Le détail des sondages et essais disponibles est donné aux paragraphes suivants. La reconnaissance des fondations des ouvrages est détaillée dans les parties descriptives des ouvrages et leur géométrie.

### 3.1 Description de l'étendue des investigations géotechniques

#### Sondages à la pelle et reconnaissances des fondations

| Sondage                        | Digue     | Position                             | Profondeur /<br>nature de l'arrêt | Remarques   |
|--------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| <b>Campagnes 2020 – GEOTEC</b> |           |                                      |                                   |   |
| RF1                            | GC48.2    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 1,80 m                            | Arrêt sur de très gros blocs  |
| RF2                            | GC48.1    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 3,00 m                            | Arrêt sous les fondations du mur  |
| RF3                            | GC47.1    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,00 m                            | Arrêt car ouvrages à proximité<br>(muret, canal) impactés par le<br>terrassement e affouillement des<br>parois. |
| RF4                            | GC45      | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,40 m                            | Arrêt car ouvrages à proximité<br>(caniveau béton) et affouillement<br>des parois.                              |
| RF6                            | GC40.3    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,50 m                            | Arrêt du sondage sur éboulement de<br>la fouille à 2,50 m   |
| RF7                            | GC36.3    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,20 m                            | Arrêt suite à éboulement des parois   |
| RF8                            | GC29.2    | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,00 m                            | Arrêt du sondage à 2 m sur des<br>blocs de taille très importante   |
| RF11                           | GC42bis.2 | Terrain naturel en<br>arrière du mur | 2,00 m                            | Arrêt du sondage à 1,8 m sur de<br>très gros blocs  |

#### Sondages pressiométriques

| Sondage                        | Tronçon   | Diamètre de forage | Longueur | Remarques  |
|--------------------------------|-----------|--------------------|----------|--|
| <b>Campagnes 2020 – GEOTEC</b> |           |                    |          |  |
| PR1                            | GC48.2    | 66 mm              | 6,50 m   | Sondage éboulé à 2,2 m   |
| PR2                            | GC48.1    | 66 mm              | 6,00 m   | Sondage éboulé à 2,5 m   |
| PR3                            | GC47.1    | 66 mm              | 7,00 m   | Sec, sondage ayant servi pour la<br>mis en place d'un piézomètre |
| PR4                            | GC45      | 66 mm              | 6,00 m   | Sec, sondage ayant servi pour la<br>mis en place d'un piézomètre |
| PR5                            | GC46      | 6,00 m             | 6,00 m   | Sondage éboulé à 1,60 m  |
| PR6                            | GC40.3    | 66 mm              | 7,00 m   | Sondage éboulé à 2,6 m   |
| PR7                            | GC36.3    | 64 mm              | 7,00 m   | -  |
| PR8                            | GC29.2    | 66 mm              | 7,00 m   | Sondage éboulé à 2,5 m   |
| PR9                            | GC38.1    | 66 mm              | 6,50 m   | Sondage éboulé à 1,6 m   |
| PR10                           | GC38.3    | 66 mm              | 6,00 m   | Sondage éboulé à 2,0 m   |
| PR11                           | GC42bis.2 | 66 mm              | 6,80 m   | Sondage éboulé à 1,7 m   |
| PR12                           | GC43      | 64 mm              | 6,00 m   | Sondage éboulé à 2,5 m   |



### Essais en laboratoire

| Sondages                       | Digue     | Teneur en eau (%) | Identification GTR | VBS (g/100g) | % de fines | Masse volumique (Mg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------|-----------|-------------------|--------------------|--------------|------------|--------------------------------------|
| <b>Campagnes 2020 – GEOTEC</b> |           |                   |                    |              |            |                                      |
| F1                             | GC48.2    | 13,3              | C1B5               | 0,44         | 23,3       | 2,651                                |
| F2                             | GC48.1    | 12,0              | C1B5               | 0,20         | 17,9       | 2,657                                |
| F3                             | GC47.1    | 9,60              | B3                 | 0,11         | 9,9        | 2,827                                |
| F4                             | GC45      | 15,0              | C1B5               | 0,14         | 16,9       | 2,783                                |
| F6                             | GC40.3    | 6,40              | D3                 | 0,09         | 7,4        | 2,684                                |
| F7                             | GC36.3    | 9,3               | C1B5               | 0,24         | 19,2       | 2,675                                |
| F8                             | GC29.2    | 8,1               | C1B4               | 0,25         | 7,2        | 2,653                                |
| F11                            | GC42bis.2 | 8,4               | C1B5               | 0,11         | 15,1       | 2,672                                |

### Essais de tractions sur les tiges filetées des parois en bois

| Essai                          | Digue   | Profondeur d'ancrage (cm) | Force de rupture (T) | Type de rupture                   |
|--------------------------------|---------|---------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| <b>Campagnes 2020 – GEOTEC</b> |         |                           |                      |                                   |
| 1                              | GC 38.2 | 13                        | 9.6                  | Rupture de la tige à 15 cm du sol |
| 2                              | GC 38.2 | 23                        | 10.4                 | Rupture de la tige à 5 cm du sol  |
| 3                              | GC 38.2 | 23                        | 10.4                 | Rupture de la tige à 4 cm du sol  |
| 4                              | GC 38.2 | 13                        | 9.6                  | Rupture de la tige à 19 cm du sol |
| 5                              | GC 38.2 | 23                        | 9.6                  | Rupture de la tige à 9 cm du sol  |
| 6                              | GC 40.3 | 23                        | 11.2                 | Rupture de la tige à 9 cm du sol  |
| 7                              | GC 40.3 | 23                        | 11.2                 | Rupture de la tige à 33 cm du sol |
| 8                              | GC 40.3 | 23                        | 11.2                 | Rupture de la tige à 44 cm du sol |
| 9                              | GC 40.3 | 23                        | 10.4                 | Rupture de la tige à 42 cm du sol |
| 10                             | GC 40.3 | 23                        | 10.4                 | Rupture de la tige à 33 cm du sol |

## **3.2 Analyse des données géotechniques**

### Géologie de la zone d'étude

L'ensemble des ouvrages sont inclus sur les alluvions fluviales de vallée (formation Fz) dont les granulométries et la résistance peuvent être très variables.



Tableau 38 : Aperçu géologique du secteur d'étude

### Sondage à la pelle

Les sondages à la pelle avaient pour but d'affiner la connaissance sur les fondations des différentes typologies de mur de protection et pour apprécier la qualité des matériaux en arrière de ceux-ci.

Au droit de chaque sondage à la pelle, un sondage pressiométrique a été réalisé et des prélèvements de matériaux ont été classifiés au GTR.

### Analyse granulométrique

Les matériaux rencontrés en arrière des ouvrages correspondent à un horizon alluvionnaire homogène avec des granulométries peu étendues.

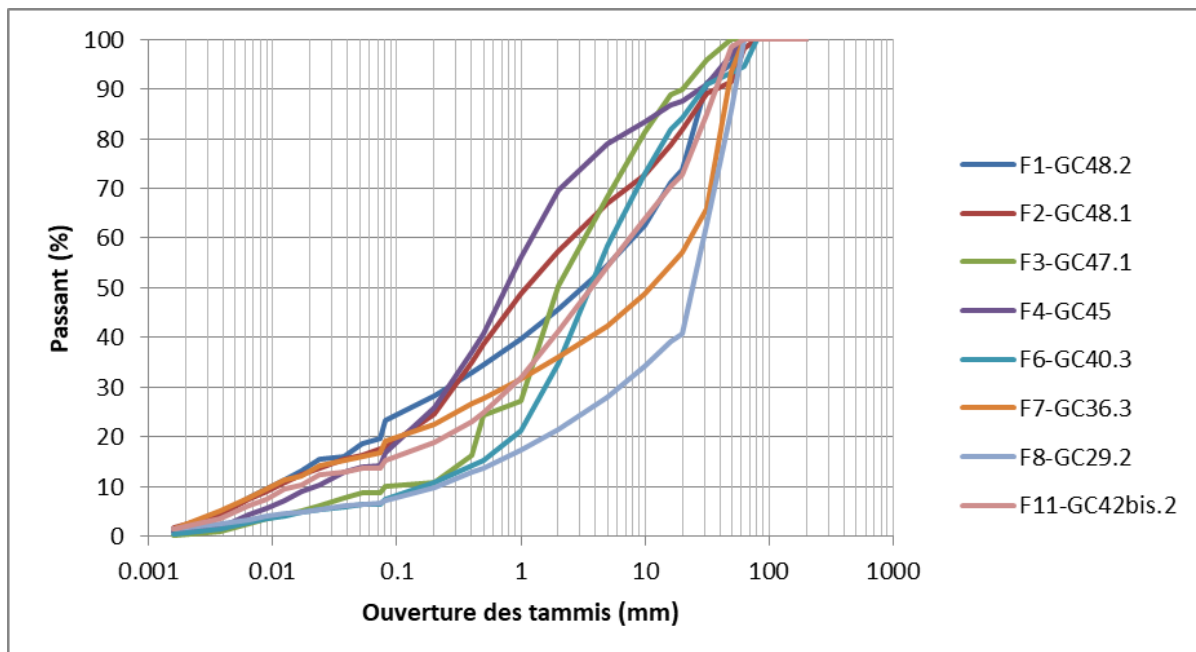
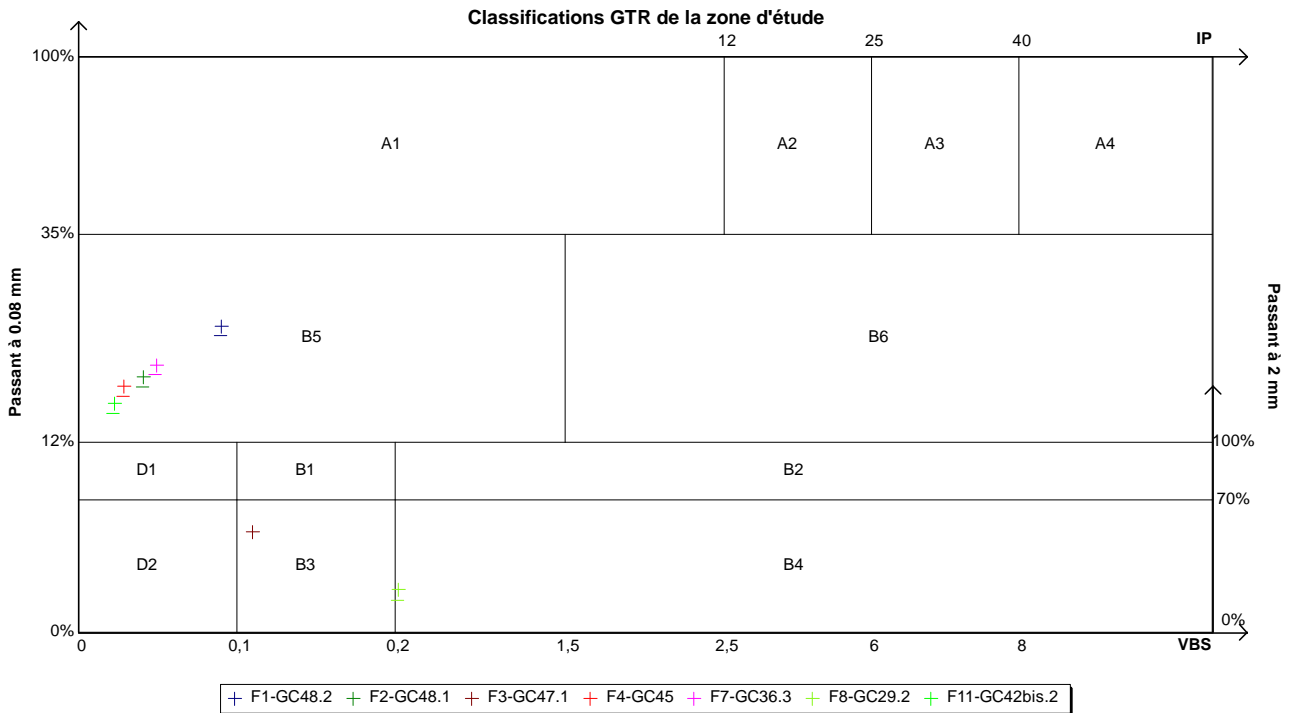


Tableau 39 : Fuseaux granulométriques rencontrés sur la zone d'étude

La classification GTR résultant des analyses laboratoires est disponible dans le graphique ci-après.



**Tableau 40 : Classifications GTR des matériaux**

Les matériaux rencontrés sont classifiés dans les sols comportant des fines et des gros éléments.

Les classifications rencontrées sont les suivantes :

- F1, F2, F4, F7, F8 et F11 : classification C1B5 ou C1B4 soit des sols comportant des fines et des gros éléments, des matériaux anguleux (alluvions grossiers) ;
- F3 : classification B3 soit des sols sableux ou graveleux, avec fines (graves silteuses généralement insensibles à l'eau) ;
- F6 : classification D3 soit des sols insensibles à l'eau, graves grossières propres dépôts glaciaires...

La classification donne une tendance générale de matériaux relativement grossiers avec une faible proportion de fines. Ces classifications confirment le caractère alluvionnaire de la zone d'étude et écartent d'éventuelles singularités en arrière des ouvrages.

Ces classifications donnent des sols au diamètre maximal important et aux faibles proportions de fines (argiles), cela confère au sol un comportement non cohésif, quasiment exclusivement frottant et une perméabilité élevée.

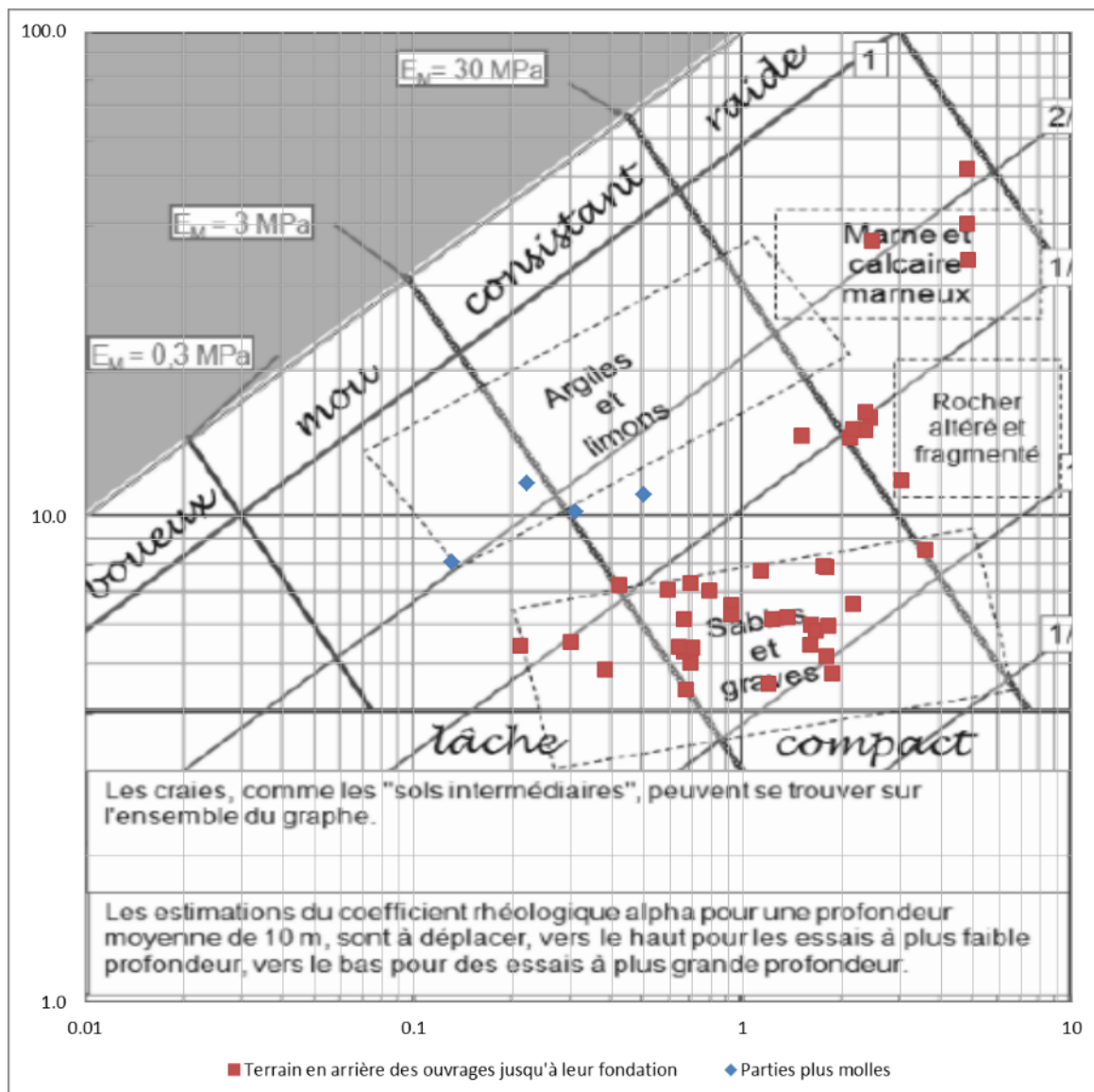
### Sondages pressiométriques

Au droit de chaque sondage à la pelle, un sondage pressiométrique a été réalisé. Ces sondages montrent que le rocher n'est pas atteint par les fondations des ouvrages qui sont tous fondés dans les matériaux alluvionnaires du gave.

Les valeurs des pressions limites relevées sont synthétisées dans le tableau suivant. Les valeurs sont données au niveau de la fondation des ouvrages.

| Sondage | Tronçon   | Pression limite au droit de la fondation de l'ouvrage sondé | Niveau de la nappe / TN | Catégorie conventionnelle des sols              |
|---------|-----------|---|-------------------------|---|
| PR1     | GC48.2    | 0,5 – 1,23 MPa  | -2,2 m                  | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR2     | GC48.1    | 3,03 MPa  | -2,5 m                  | Sables / graves compacts                        |
| PR3     | GC47.1    | 0,66 MPa  | Sec                     | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR4     | GC45      | > 4,80 MPa  | Sec                     | Sables / graves compacts                        |
| PR5     | GC46      | 2,28 – 4,81 MPa   | ? (éboulé à 1,60 m)     | Sables / graves compacts                        |
| PR6     | GC40.3    | 0,92 – 1,61 MPa   | -2,6 m                  | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR7     | GC36.3    | 0,67 MPa  | -                       | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR8     | GC29.2    | 1,79 – 2,35 MPa   | -2,5 m                  | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR9     | GC38.1    | 1,13 – 2,46 MPa   | -1,6                    | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR10    | GC38.3    | > 4,47 MPA  | ? (éboulé à 2,00 m)     | Sables / graves compacts                        |
| PR11    | GC42bis.2 | 0,42 – 1,19 MPa   | -1,7 m                  | Sables / graves moyennement compacts            |
| PR12    | GC43      | 0,77 – 2,57 MPa   | -2,5 m                  | Sables / graves moyennement compacts à compacts |

**Tableau 41 : Résultats des essais pressiométriques au niveau des fondations des ouvrages sondés**



**Tableau 42 : Diagramme pressiométrique**

L'homogénéité des résultats des essais pressiométriques confirme les hypothèses des paragraphes précédents : Les matériaux sont sablo / graveleux avec parfois de gros blocs relativement compacts. Certaines parties présentent légèrement plus de fines et moins compactes (partie haute des sondages, points en bleu dans le graphique précédent), mais la ponctualité de ces points d'essais mène à confirmer la globale homogénéité de la zone d'étude.

Utilisation des courbes de sédimentologie pour la détermination d'un coefficient de perméabilité

Pour estimer le coefficient de perméabilité, la formule de Hazen est utilisée :  $k = C_1 D_{10}^2$

Avec :

- $D_{10}$  (mm) le diamètre de grain pour lequel 10% des particules tamisées sont plus petites ;
- $C_1$  une constante (dont la moyenne d'utilisation est 0.16 d'après Lambe et Whitman (1979)).

Le tableau suivant détaille les résultats de l'application de cette formule pour les terrains en arrière des ouvrages :

| Sonda<br>ge | Description               | profond<br>eur | GTR  | D10<br>(mm) | D60<br>(mm) | Cu          | Granulom<br>étrie | k(m/s) d'après<br>Hazen |
|-------------|---------------------------|----------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------------|
| F1          | Grave<br>limoneuse        | 0.5/1          | C1B5 | 0.009       | 8           | 888.8<br>9  | étalée            | 1.30 x10 <sup>-05</sup> |
| F2          | Grave sablo-<br>limoneuse | 0.25/1         | C1B5 | 0.01        | 2.5         | 250.0<br>0  | étalée            | 1.50 x10 <sup>-06</sup> |
| F3          | Sable graveleux           | 0.5/2          | B3   | 0.088       | 3.2         | 36.36       | étalée            | 1.16 x10 <sup>-04</sup> |
| F4          | Grave sablo-<br>limoneuse | 0.9/2.5        | C1B5 | 0.023       | 1.3         | 56.52       | étalée            | 7.94 x10 <sup>-06</sup> |
| F6          | Grave sableuse            | 1.0/3          | D3   | 0.165       | 5.5         | 33.33       | étalée            | 4.08 x10 <sup>-04</sup> |
| F7          | Grave<br>limoneuse        | 0.5/1          | C1B5 | 0.01        | 12.3        | 1230.<br>00 | étalée            | 1.50 x10 <sup>-06</sup> |
| F8          | Grave limono-<br>sableuse | 0.5/1          | C1B4 | 0.214       | 13          | 60.75       | étalée            | 6.87 x10 <sup>-04</sup> |
| F11         | Grave<br>limoneuse        | 1.5/2          | C1B5 | 0.015       | 8           | 533.3<br>3  | étalée            | 3.38 x10 <sup>-06</sup> |
| Moyenne     |                           |                |      |             |             |             |                   | 1.55 x10 <sup>-04</sup> |

La moyenne donne un ordre de grandeur caractérisant des matériaux très perméable. Ce résultat est en accord avec le caractère alluvionnaire des terrains et la faible présence de fines.

L'ordre de grandeur de 10<sup>-4</sup> m/s sera conservé pour caractériser la perméabilité des terrains en arrière des ouvrages.

## ANNEXE 4 SENSIBILITE DES OUVRAGES AU MODE DE RUPTURE

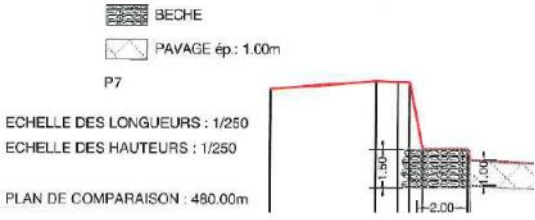

Le présent paragraphe propose une classification des ouvrages en fonction de leur sensibilité au mode de rupture considéré dans le diagnostic approfondi (§7) et qui dépend de plusieurs paramètres : typologie, géométrie, géotechnique, état de l'ouvrage, présence de facteurs aggravant. En effet, les scénarios de rupture en torrentiel étant divers et faisant appel à des caractéristiques géométriques variables, ainsi, de manière à mutualiser les vérifications de stabilité pour les secteurs homogènes, les ouvrages ont été regroupés par famille pour chaque scénario qui le nécessite.

### 1. Classification des tronçons de digue de type « mur » en fonction du mode de défaillance étudié dans le cadre du diagnostic approfondi

1.1. Regroupement des ouvrages pour le scénario 1 : Erosion externe par affouillement du pied entraînant une rupture de l'ouvrage (basculement ou renard) et des venues d'eau lors de la même crue

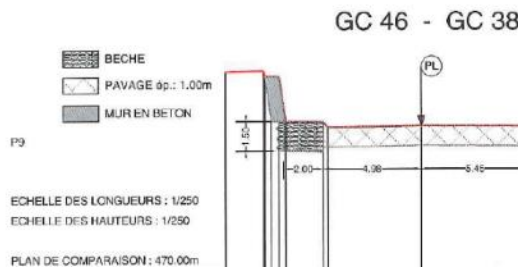
#### Famille 1.1 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés avec des désordres importants

Cette famille regroupe les ouvrages avec une bêche en enrochements bétonnés avec des désordres importants signalés sur cette dernière. Les bêches ont été réalisées dans le cadre des travaux post crue (2012 et 2013) où la plupart des tronçons ont subi un affouillement de la fondation. Elle permet de reprendre la fondation de l'ouvrage, si celle-ci est endommagée, et de lutter contre l'affouillement (cette bêche constitue donc un facteur sécurisant pour des zones où l'occurrence du scénario est probable d'après les connaissances historiques).

| Tronçon | Bêche en enrochements bétonnés  | Coupe type   | Etat de la protection anti-affouillement  |
|---------|---|--|---|
| GC 40.3 | <p><u>Taille</u> : environ 2,5 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p><u>Enrochements</u> : origine granitique, <b>masse volumique 2,63 Mg/m<sup>3</sup></b>, volume entre 0,4 m<sup>3</sup> et 0,6 m<sup>3</sup> pour 10% des blocs et entre 0,7 m<sup>3</sup> et 1,0 m<sup>3</sup> pour 90% des blocs</p> <p><u>Béton</u> : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> |  <p>(Source : Plan de récolement, CAZAL, 2015)</p> |  <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> <p>Plusieurs affouillements importants (jusqu'à 1,3 sur 2 m de largeur) des enrochements bétonnés</p> <p>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |



GC  
38.3

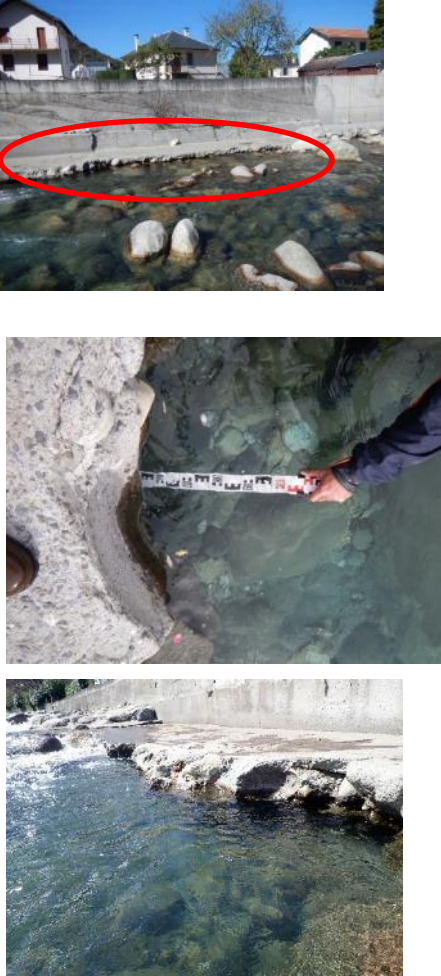


(Source : Plan de récolement, CAZAL, 2015)



Plusieurs signes d'érosion : affouillement et sous-cavement, incision du lit et dégradation du béton

(Source : VTA 2018, ISL)

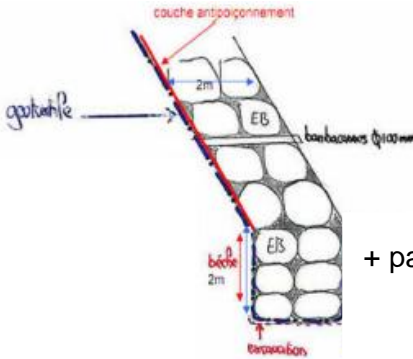
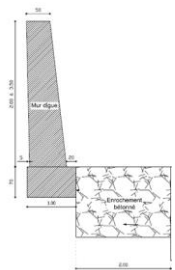

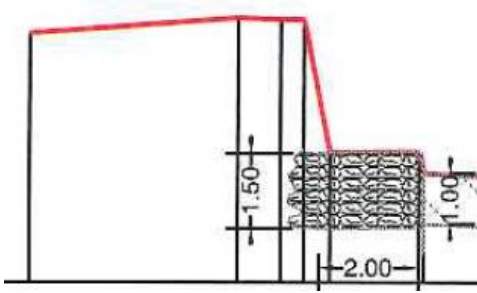
|                       |  |  |  |
|-----------------------|--|--|--|
| GC<br>46 <sup>9</sup> |  |  |  <p>Plusieurs affouillements/ sous-cavements importants.<br/>(Source : VTA 2018, ISL)</p> |
|-----------------------|--|--|--|

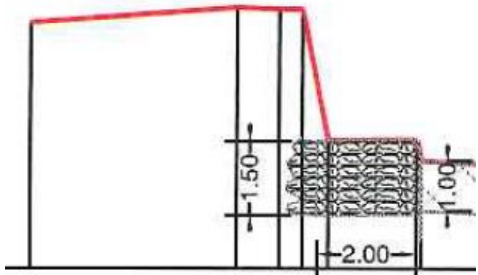
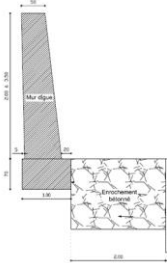
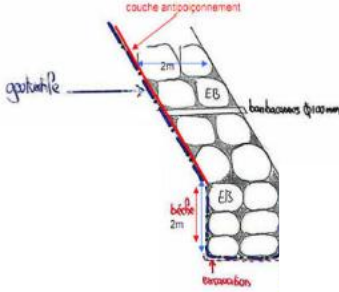
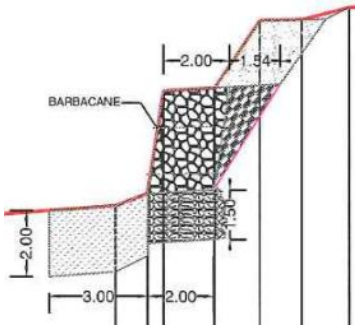
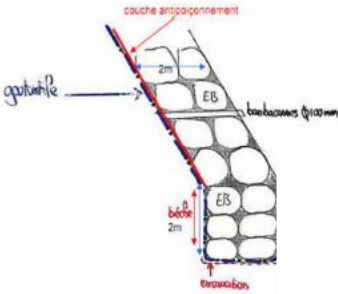
**Tableau 43 : Famille 1.1 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés avec désordres importants**

### Famille 1.2 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés sans désordre important

Cette famille regroupe les ouvrages avec une bêche en enrochements bétonnés sans aucun désordre important signalé sur cette dernière. Les bêches ont été réalisées dans le cadre des travaux post crue (2012 et 2013) où la plupart des tronçons ont subi un affouillement de la fondation. Elle permet de reprendre la fondation de l'ouvrage, si celle-ci est endommagée, et de lutter contre l'affouillement (cette bêche constitue donc un facteur sécurisant pour des zones où l'occurrence du scénario est probable d'après les connaissances historiques).

<sup>9</sup> Une partie du tronçon GC 46 dispose également d'un sabot para-fouille en enrochements libres, par sécurité ce tronçon est étudié avec seulement une bêche en enrochements bétonnés

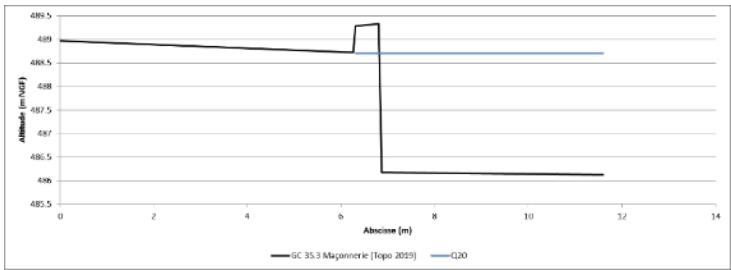
| Tronçon | Bêche en enrochements bétonnés  | Coupe type  | Etat de protection anti-affouillement |
|---------|---|---|---------------------------------------|
| GC 29.2 |   |  <p>+ pavage naturel du lit</p>                 | Rien à signaler                       |
| GC 30   | <p><u>Taille</u> : environ 2,5 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p><u>Enrochements</u> : origine granitique, <b>masse volumique 2,63 Mg/m<sup>3</sup></b>, volume entre 0,4 m<sup>3</sup> et 0,6 m<sup>3</sup> pour 10% des blocs et entre 0,7 m<sup>3</sup> et 1,0 m<sup>3</sup> pour 90% des blocs</p> |  <p>+ pavage à la suite des travaux de 2018</p> | Rien à signaler                       |
| GC 40.1 | <p><u>Béton</u> : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p>   |   | Rien à signaler                       |
| GC 40.2 |   |   | Rien à signaler                       |

|                |  |  |                        |
|----------------|--|--|------------------------|
| <p>GC 40.4</p> |  |    | <p>Rien à signaler</p> |
| <p>GC 48.2</p> |  |    | <p>Rien à signaler</p> |
| <p>GC 48.3</p> |  |   | <p>Rien à signaler</p> |
| <p>GC 28</p>   |  |  | <p>Rien à signaler</p> |
| <p>GC 34</p>   |  |  | <p>Rien à signaler</p> |

|         |  |   |                 |
|---------|--|---|-----------------|
| GC 38.1 |  |  <p>BECHÉ<br/>PAVAGE ép.: 1.00m<br/>P7<br/>ECHELLE DES LONGUEURS : 1/250<br/>ECHELLE DES HAUTEURS : 1/250<br/>PLAN DE COMPARAISON : 480.00m</p> | Rien à signaler |
| GC 38.2 |  | (Source : Plan de récolement, CAZAL, 2015)  |                 |
| GC 39   |  |  <p>COUPE TYPE<br/>Source : RTM 2015<br/>Mur béton<br/>Plinthe béton banché<br/>Sabot enrochements<br/>Bèche enrochements bétonnés</p>         | Rien à signaler |

**Tableau 44 : Famille 1.2 : mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés sans désordre important**

Cas particulier du tronçon GC 35.3 :

| Tronçon | Caractéristique de la fondation                                      | Coupe type   | Etat                                    |
|---------|--|--|---|
| GC 35.3 | Semelle béton<br>Dimensions supposées 2*3 m en enrochements bétonnés |  | Rien à signaler (non visible sur site). |

**Figure 94 : Famille 1.2 : cas particulier du tronçon GC 35.3**

Les photos et comptes rendus de chantier du RTM montrent la réalisation d'une semelle en enrochements bétonnés mais la géométrie n'est pas précisée explicitement, vraisemblablement 2\*3m de manière analogue aux autres ouvrages.

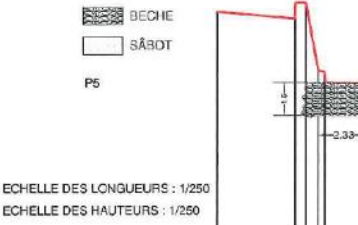

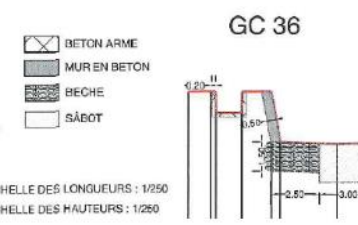
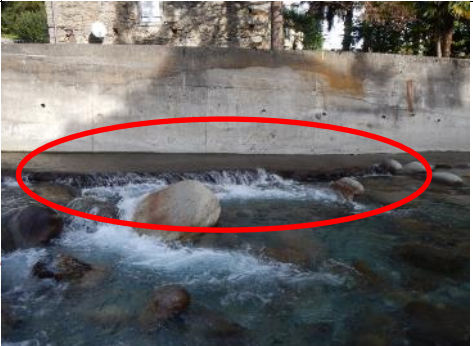


**Figure 95 : Reconstruction du tronçon GC 35.3 (compte rendu chantier RTM du 04/12/2013)**

### Famille 1.3 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres avec désordres importants

Cette famille regroupe les murs de soutènement avec une bêche en enrochements bétonnés et un sabot parafouille en enrochements libres avec des désordres importants signalés sur les protections anti-affouillement. Lors des travaux post crues de 2012 et 2013 il a été réalisé :

- Le confortement des ouvrages grâce à la réalisation d'une bêche en enrochements bétonnés et d'un sabot parafouille en enrochements libres ;
- La reconstruction des murs détruits, comprenant également une bêche en enrochements bétonnés et un sabot parafouille en enrochements libres.

| Tronçon | Bêche en enrochements bétonnés  | Sabot parafouille en enrochements libres   | Coupe type  | Etat de la protection   |
|---------|---|--|---|---|
| GC 36.2 | <p><u>Taille</u> : environ 2,5 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p><u>Enrochements</u> : origine granitique, <b>masse volumique 2,63 Mg/m<sup>3</sup></b>, volume entre 0,4 m<sup>3</sup> et 0,6 m<sup>3</sup> pour 10% des blocs et entre 0,7 m<sup>3</sup> et 1,0 m<sup>3</sup> pour 90% des blocs</p> <p><u>Béton</u> : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> | <p><u>Taille</u> : 3,0 m en largeur et 2,0 m en profondeur</p> <p><u>Enrochements</u> : origine granitique, <b>D<sub>m</sub> = 1500 mm</b> et <b>masse volumique 2,63 Mg/m<sup>3</sup></b></p> |  <p>(Source : Plan de récolement, CAZAL, 2015)</p>   |  <p>Début d'affouillement</p>  |
| GC 36.3 | <p><u>Béton</u> : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p>   |  |  <p>(Source : Plan de récolement, CAZAL, 2015)</p> |  <p>Début d'affouillement</p> |

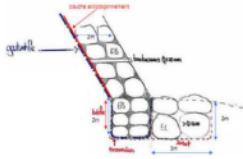
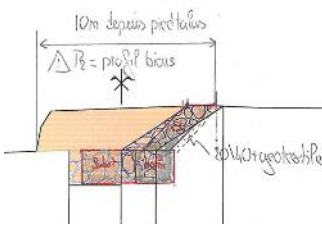
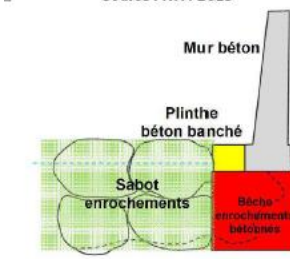
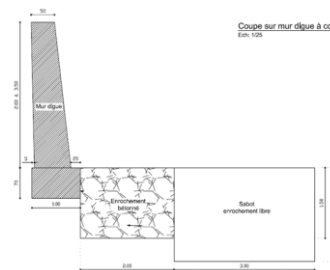
**Tableau 45 : Famille 1.3 : Mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres avec désordres importants**

**Famille 1.4 : ouvrage avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres sans désordre important**

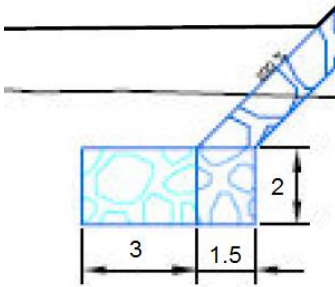
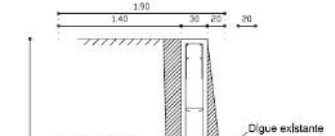
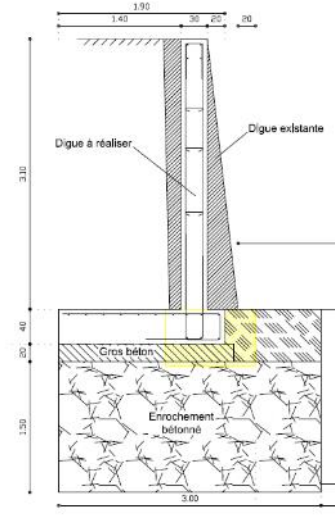
Cette famille regroupe les murs de soutènement avec une bêche en enrochements bétonnés et un sabot parafouille en enrochements libres sans désordre important signalé sur les protections anti-affouillement. Lors des travaux post crues de 2012 et 2013 il a été réalisé :

- Le confortement des ouvrages grâce à la réalisation d'une bêche en enrochements bétonnés et d'un sabot parafouille en enrochements libres ;

- La reconstruction des murs détruits, comprenant également une bêche en enrochements bétonnés et un sabot para fouille en enrochements libres.

| Tronçon | Bêche en enrochements bétonnés   | Sabot para fouille en enrochements libres  | Coupe type   | Etat de la protection                    |
|---------|--|--|--|--|
| GC 31.1 | <p>Taille : 2,0 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p>Béton : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> <p>Enrochements :</p>   |  |    | Rien à signaler                          |
| GC 32   | <p>Masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b> (origine granitique)</p> <p>Taille : 3,0 m en largeur et 2,0 m en profondeur</p> <p>Enrochements :</p> <p>2 rangs de blocs de grand diamètre D&gt;1500 mm (origine granitique) et de masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b></p>      |  |    | Moyen, des signes d'érosion à surveiller |
| GC 35.2 | <p>Taille : 2,0 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p>Béton : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> <p>Enrochements :</p> <p>Masse volumique <b>2,55 Mg/m<sup>3</sup></b> (origine calcaire)</p> <p>Une plinthe en béton banché à été réalisé</p> | <p>Taille : 3,0 m en largeur et 2,0 m en profondeur</p> <p>Enrochements : origine calcaire, D&gt;1500 mm et masse volumique <b>2,55 Mg/m<sup>3</sup></b></p> | <p>COUPE TYPE<br/>Source : RTM 2015</p>      | Rien à signaler                          |
| GC 45   |  | <p>Taille : 3,0 m en largeur et 2,0 m en profondeur</p> <p>Enrochements :</p>  | <p>Coupe sur mur dipé à cor 100 cm voir</p>  | Rien à signaler                          |
| GC 47.1 | <p>Taille : 2,0 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p>Béton : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> <p>Enrochements :</p>   | Rien à signaler  |  |  |
| GC 48.1 | <p>Masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b> (origine granitique)</p>   | <p>2 rangs de blocs de grand diamètre D&gt;1500 mm (origine granitique) et de masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b></p>                               | <p>(Source : DOE Confortement des berges dans la traversée des communes de Pierrefitte-Nestalas et de Soulom, RTM, 2015)</p>     | Rien à signaler                          |



|           |  |  |   |                 |
|-----------|--|--|---|-----------------|
| GC42bis.1 |  |  |   | Rien à signaler |
| GC 45.bis |  |  |   | Rien à signaler |
| GC 47.2   | <p><u>Taille</u> : 2,0 m en largeur et 1,5 m en profondeur</p> <p><u>Béton</u> : C30/37 XF3 pour le remplissage des vides et le remplissage des joints</p> <p><u>Enrochements</u> :</p> <p>Masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b> (origine granitique)</p> | <p><u>Taille</u> : 3,0 m en largeur et 2,0 m en profondeur</p> <p><u>Enrochements</u> :</p> <p>2 rangs de blocs de grand diamètre D&gt;1500 mm (origine granitique) et de masse volumique <b>2,59 Mg/m<sup>3</sup></b></p> |  | Rien à signaler |

**Tableau 46 : Famille 1.4 : Mur de soutènement avec bêche en enrochements bétonnés et sabot parafouille en enrochements libres sans aucun désordre important**

**Famille 1.5 : ouvrage avec une simple semelle béton**

Cette famille regroupe le tronçon GC 36.1 qui est un mur de soutènement béton avec une semelle béton en fondation.

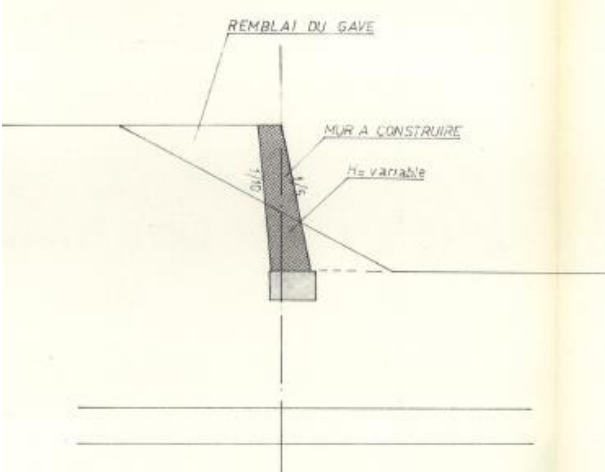
| Tronçon | Caractéristique de la fondation                              | Coupe type   | Etat   |
|---------|--|--|--|
| GC 36.1 | Fondation en béton de 0,75 m de hauteur et 1,25 m de largeur |  | Aucun signe d'incision observé. Pas de travaux sur ce tronçon suite aux crues de 2012, 2013 et 2018. |

Tableau 47 : Famille 1.5 : ouvrage avec une simple semelle béton

#### Famille 1.6 : ouvrage sans aucune protection

Cette famille regroupe uniquement le tronçon GC 29.1 qui est une protection de berge constituée de matériaux grossiers pris dans le lit du gave.



Figure 96 : Tronçon GC 29.1

### 1.2. Regroupement des ouvrages pour le scénario 2 : rupture par choc d'embâcle ou érosion externe du parement

#### Famille 2.1 : Mur en béton armé avec rehausse bois (madriers)





Cette famille regroupe les digues de type mur de soutènement en béton armé surplombés par une rehausse bois. Dans ce regroupement, le mur de soutènement est une protection de berge, la fonction de digue est assurée par la rehausse. Le risque de venue d'eau concerne donc la partie rehaussée (madriers bois). Une rupture de la digue par un choc d'embâcle est dans ce cas le scénario critique à étudier.





| Tronçon | Mur de soutènement  | Etat du parement béton côté rivière | Madriers bois  | Coupe type / Illustration   |
|---------|---|-------------------------------------|--|---|
| GC 40.3 | Mur de soutènement en béton armé en <u>protection de berges</u> | Correct                             | <p><u>Matériaux</u> : Douglas</p> <p><u>Hauteur</u> : 0,75 à 1,0 m : 3 ou 4 bastaings de 0,25 m</p> <p><u>Poteaux</u> : Profil métallique HEA140, espacement de 2 m</p> <p><u>Ancrages</u> : Tiges filetées Ø16 mm en acier zingué classe 4.8 avec scellage chimique, profondeur d'ancrage ≈ 23 cm</p> | <p>(Source : Essais de traction sur tiges filetées, GEOTEC, 2020)</p> |
| GC 38.2 |   | Bon                                 |  |   |





Tableau 48 : Famille 2.1 : Mur en béton armé avec madriers bois





### Famille 2.2 : Mur en béton armé



Cette famille regroupe les ouvrages de type mur de soutènement en béton armé. Le parement en béton armé confère à la digue une très bonne résistance à l'érosion latérale et au choc d'embâcle. Une dégradation importante du béton réduit la résistance de l'ouvrage vis-à-vis de ce scénario.

| Tronçon     | Caractéristique du mur   | Etat du parement côté rivière  | Coupe type / Illustration  |
|-------------|--|--|--|
| Rive gauche |  |  |  |
| GC 30       | <p><u>Hauteur</u> : 3,2 à 4,0 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : vertical</p>                                 | Etat moyen   |  <p>(ISL 2021)</p>         |
| GC 36.1     | <p><u>Hauteur</u> : 3,6 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,2H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,8 m</p> | Etat moyen (bullage, gravillons apparents et trace d'impacts)  |  <p>(ISL 2021)</p>        |
| GC 36.2     | <p><u>Hauteur</u> : 3,6 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,1H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,4 m</p> | Etat de surface du béton moyen (bullage, gravillons apparents et ferrailage ponctuellement apparent) |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |
| GC 36.3     | <p><u>Hauteur</u> : 3,6 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,2H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,4 m</p> | Correct avec ponctuellement un béton altéré (traces d'impacts, dégradation du béton)                 |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |

|                |   |  |  |
|----------------|---|--|--|
| <p>GC 40.1</p> | <p><u>Hauteur</u> : 2,7 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,15 H/1V<br/><u>Largeur en</u><br/><u>crête</u> : 2,0 m</p> | <p>Excellent état</p>  |  <p>( VTA 2018, ISL)</p>   |
| <p>GC 40.2</p> | <p><u>Hauteur</u> : 2,2 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,2 H/1V<br/><u>Largeur en</u><br/><u>crête</u> : 0,5 m</p>  | <p>Bon état</p>  |  <p>( ISL, 2021)</p>       |
| <p>GC 40.4</p> | <p><u>Hauteur</u> : 2,2 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,2 H/1V<br/><u>Largeur en</u><br/><u>crête</u> : 0,5 m</p>  | <p>Bon état</p>  |  <p>( ISL, 2021)</p>     |
| <p>GC 46</p>   | <p><u>Hauteur</u> : 2,2 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,2H/1V<br/><u>Largeur en</u><br/><u>crête</u> : 0,5 m</p>   | <p>Etat moyen,<br/>l'ouvrage béton<br/>est altéré en<br/>plusieurs<br/>points.</p> |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |

|                     |   |  |  |
|---------------------|---|--|--|
| <p>GC<br/>45bis</p> | <p><u>Hauteur</u> : 3,10<br/>m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>vertical<br/><u>Largeur</u> en<br/><u>crête</u> : 0,3 m</p> | <p>Bon état</p>  |  <p>( VTA 2018, ISL)</p>   |
| <p>GC 45</p>        | <p><u>Hauteur</u> : 3,0 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,2H/1V<br/><u>Largeur</u> en<br/><u>crête</u> : 0,5 m</p>       | <p>Etat moyen<br/>notamment<br/>avec<br/>l'installation de<br/>la végétation<br/>dans de<br/>nombreuses<br/>anfractuosités</p> |  <p>( VTA 2018, ISL)</p>   |
| <p>GC 47.1</p>      | <p><u>Hauteur</u> : 3,0 m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>0,2H/1V<br/><u>Largeur</u> en<br/><u>crête</u> : 0,5 m</p>       | <p>Etat correct<br/>avec des<br/>dégradations<br/>ponctuelles du<br/>béton</p>   |  <p>( VTA 2018, ISL)</p>  |
| <p>GC 47.2</p>      | <p><u>Hauteur</u> : 3,10<br/>m<br/><u>Fruit côté gave</u> :<br/>vertical<br/><u>Largeur</u> en<br/><u>crête</u> : 0,3 m</p> | <p>Bon état</p>  |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |

|             |  |  |  |
|-------------|--|--|--|
| GC 48.1     | <p><u>Hauteur</u> : 2,20 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,2H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,5 m</p>  | <p>Bon état malgré une végétation présente</p>   |  <p>( VTA 2018, ISL)</p>   |
| GC 48.2     | <p><u>Hauteur</u> : 2,40 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,15 H/1V</p>                                       | <p>Bon état</p>  |  <p>( ISL, 2021)</p>       |
| Rive droite |  |  |  |
| GC 35.2     | <p><u>Hauteur</u> : 3,00 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : vertical</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,5 m</p> | <p>Bon état malgré une fissure dans le béton du mur. Les strates des différents bétonnages sont apparentes et la végétation commence à recouvrir la digue.</p> |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |
| GC 38.1     | <p><u>Hauteur</u> : 2,50 m</p> <p><u>Fruit côté gave</u> : 0,2H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 0,4 m</p>  | <p>Bon état malgré la mousse qui recouvre une grande partie du béton</p>   |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |

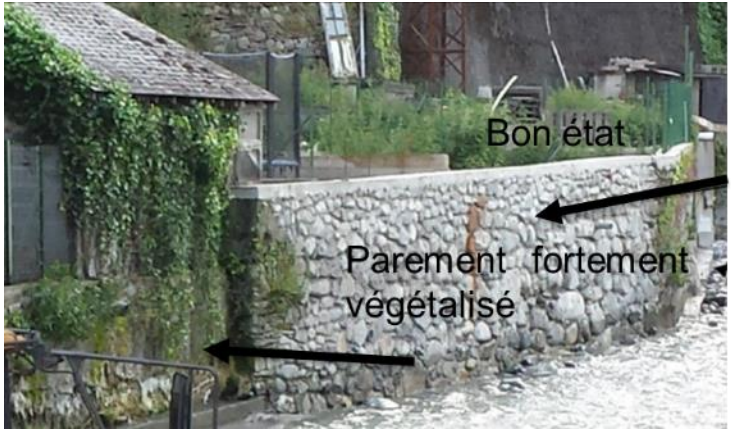
|                |  |                                 |  |
|----------------|--|---------------------------------|--|
| <p>GC 38.3</p> | <p><u>Hauteur</u> : 1,7 à 2,4 m<br/><u>Fruit côté gave</u> : 0,2H/1V<br/><u>Largeur en crête</u> : 4 à 5 m</p> | <p>Etat du parement correct</p> |  <p>( VTA 2018, ISL)</p> |
| <p>GC 39</p>   | <p><u>Hauteur</u> : 2,8 à 3,5 m<br/><u>Fruit côté gave</u> : vertical en partie basse</p>                      | <p>Bon état</p>                 |  <p>( ISL, 2021)</p>     |

**Tableau 49 : Famille 2.2 : Mur en béton armé**

### Famille 2.3 : Mur en maçonnerie

Cette famille regroupe la digue GC 35.3 qui est un mur de soutènement en maçonnerie. La résistance à l'érosion latérale ou au choc d'embâcle dépend principalement de l'état du liant des blocs de maçonnerie. Des blocs disjoints (causes possibles : gel/dégel, végétation importantes, vieillissement...) sont plus susceptibles d'être mis en mouvement, pouvant remettre en cause la stabilité de la digue.









| Tronçon | Caractéristiques  | Etat du mur | Coupe type / Illustration   |
|---------|---|-------------|---|
| GC 35.3 | Mur maçonné vertical.<br><u>Hauteur</u> : 3 m<br><u>Largeur</u> : 0,5 m | Bon état    |  <p>(Source : DOE travaux, RTM, 2015)</p> |

**Tableau 50 : Famille 2.3 : Mur en maçonnerie**

#### Famille 2.4 : Mur en enrochements bétonnés

Cette famille regroupe la digue GC 42bis.1 qui est un mur de soutènement en enrochements bétonnés. La résistance à l'érosion latérale ou au choc d'embâcle dépend principalement de l'état du liant des enrochements. Des blocs disjoints (causes possibles : gel/dégel, végétation importantes, vieillissement...) sont plus susceptibles d'être mis en mouvement, pouvant remettre en cause la stabilité de la digue.

| Tronçon            | Caractéristiques   | Etat du mur  | Coupe type / Illustration   |
|--------------------|--|--------------|---|
| <i>Rive gauche</i> |  |              |   |
| GC 29.2            | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés</p> <p><u>Talus côte gave</u> : 0,2 H/1V</p> <p><u>Largeur en crête</u> : 1,0 m</p> <p><u>Hauteur</u> : : 3,5 à 4,80 m</p> | Bon état     |  <p style="text-align: center;">(ISL, 2021)</p>   |
| GC 31.1            | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés</p> <p><u>Talus côte gave</u> : 0,2 H/1V</p> <p><u>Hauteur</u> : : 2,5 à 3,7 m</p>   | Bon état     |  <p style="text-align: center;">(ISL, 2021)</p>  |
| GC 48.3            | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés</p> <p><u>Talus côte gave</u> : 0,2 H/1V</p> <p><u>Hauteur</u> : : 2,1 m</p>   | Etat correct |  <p style="text-align: center;">(ISL, 2021)</p> |
| <i>Rive droite</i> |  |              |   |

|                   |  |                     |  |
|-------------------|--|---------------------|--|
| <p>GC 28</p>      | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés<br/><u>Talus côte gave</u> : 0,3 H/1V<br/><u>Hauteur</u> : : 2,5 m et 1,30 m pour la partie supérieure</p> | <p>Etat correct</p> | <br>(ISL, 2021)                |
| <p>GC 34</p>      | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés<br/><u>Talus côte gave</u> : 0,3 H/1V<br/><u>Hauteur</u> : : 2,0 m</p>                                     | <p>Etat correct</p> | <br>(ISL, 2021)                |
| <p>GC 42bis.1</p> | <p>Mur de soutènement en enrochement bétonnés (majoritairement enterré)<br/><u>Talus côte gave</u> : 0,20H/1V<br/><u>Largeur en crête</u> : 0,50 m</p>   | <p>Bon état</p>     | <br>(Source : VTA 2018, ISL) |

**Tableau 51 : Famille 2.4 : Mur en enrochements bétonnés**

### Famille 2.5 : protections en enrochements libres

Cette famille regroupe uniquement le tronçon GC 32 qui est une protection de berge en enrochements libres. La résistance à l'érosion latérale dépend principalement de la taille des blocs et de leurs agencements.

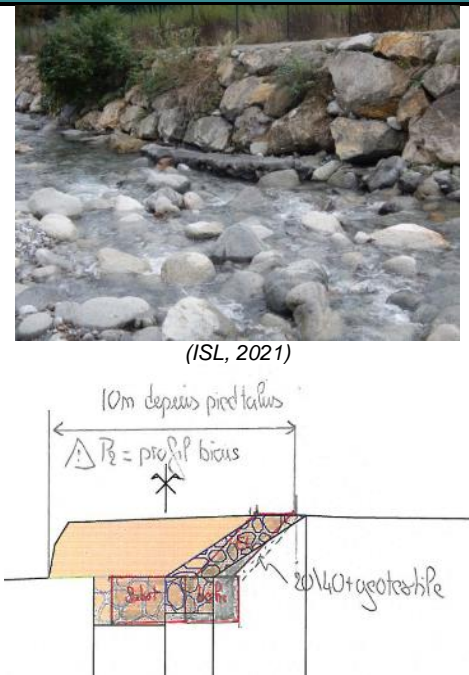
| Tronçon | Caractéristiques  | Etat de la protection  | Coupe type / Illustration  |
|---------|---|--|--|
| GC 32   | <p>Protection en enrochements libres</p> <p>Talus côte gave : 1 H/1V</p> <p>Hauteur : 2,0 m</p> | <p>Bon état. Les blocs sont agencés correctement. Pas de signe de mouvement.</p> |  <p>(ISL, 2021)</p> <p>10m d'épaisseur pierres</p> <p><math>\Delta B = \text{profil bicus}</math></p> <p>20x40+géotextile</p> <p>Extrait du projet des travaux d'urgences du tronçon GC32 - RTM 2013</p> |

Tableau 52 Famille 2.5 : protection en enrochements libres

### Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection

Cette famille regroupe uniquement le tronçon GC 29.1 qui est une protection de berge constituée de matériaux grossiers pris dans le lit du gave. Lors des crues de 2012 et 2013, la berge a subi une forte érosion externe et des matériaux grossiers du lit du gave ont été déposés contre la berge pour la conforter.



Figure 97 Famille 2.6 : ouvrage sans aucune protection – tronçon GC 29.1

### 1.3. Regroupement des ouvrages pour le scénario 5 : basculement du mur côté gave lors d'une décrue importante puis érosion et inondation lors d'une seconde crue avant réparation

Les facteurs sécuritaires concernant le scénario 5 correspondent à :

- La présence de barbicanes qui permettent de dé-saturer le remblai plus rapidement à la décrue et éviter une différence de charge trop importante entre le gave et les remblais saturés côté zone protégée, certains murs sont également munis de drains agricoles en arrière (cf. coupes des reconnaissances géométriques) ;
- La présence d'une semelle anti-affouillement côté gave en béton ou enrochements bétonnés liaisonnée avec le mur : si son but premier est de s'opposer aux vitesses du Gave, la présence de cette semelle s'oppose aussi au basculement du mur.

Le groupement en « familles » pour ce scénario correspond donc aux « familles » suivantes :

- Famille 5.1 : murs qui présentent des barbicanes et une semelle côté gave ;
- Famille 5.2 : murs ne présentent pas de barbicanes (ou des barbicanes obstruées par la végétation) et qui présentent une semelle côté gave ;
- Famille 5.3 : murs qui présentent des barbicanes mais pas de semelle côté gave.

Le classement des tronçons selon ces « familles » est présenté dans le tableau suivant :

| Tronçon                    | Barbacanes                                | Semelle côté gave | « Famille » correspondante |
|----------------------------|---|-------------------|----------------------------|
| <b>Rive gauche</b>         |   |                   |                            |
| GC 29.1<br>(Etat conforté) | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 29.2                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 30                      | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 31.1                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 36.1                    | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 36.2                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 36.3                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 40.1                    | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 40.2                    | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 40.3                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 40.4                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 46                      | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 45bis                   | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 45                      | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 47.1                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 47.2                    | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 48.1                    | Barbacanes mais<br>végétation indésirable | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 48.2                    | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| GC 48.3                    | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |
| <b>Rive droite</b>         |   |                   |                            |
| GC 28                      | Oui                                       | Oui               | Famille 5.1                |
| GC 34                      | Non                                       | Oui               | Famille 5.2                |

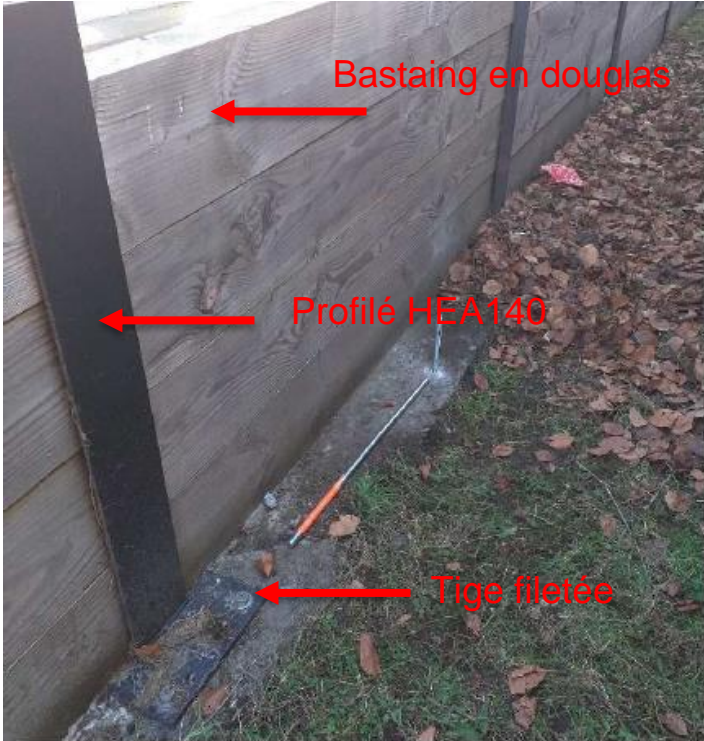
|            |   |     |             |
|------------|---|-----|-------------|
| GC 35.2    | Barbacanes mais<br>végétation indésirable | Oui | Famille 5.2 |
| GC 35.3    | Oui                                       | Non | Famille 5.3 |
| GC 38.1    | Non                                       | Oui | Famille 5.2 |
| GC 38.2    | Non                                       | Oui | Famille 5.2 |
| GC 38.3    | Non                                       | Oui | Famille 5.2 |
| GC 39      | Non                                       | Oui | Famille 5.2 |
| GC 42bis.1 | Non                                       | Oui | Famille 5.2 |

**Tableau 53 : Groupement des tronçons en "familles" au regard du scénario 5**

## ANNEXE 5 NOTE DE CALCULS DE LA RESISTANCE AU CHOC D'EMBACLE DES MADRIERS BOIS

### 1. Géométrie

Les caractéristiques des madriers bois sont rappelées ci-dessous :

| Tronçon | Madriers bois   | Coupe type / Illustration  |
|---------|---|--|
| GC 40.3 | <p><u>Matériaux</u> : Douglas</p> <p><u>Hauteur</u> : 0,75 à 1,0 m : 3 ou 4 bastaings de 0,25 m</p> <p><u>Poteaux</u> : Profil métallique HEA140, espacement de 2 m</p> |  <p>Bastaing en douglas</p> <p>Profilé HEA140</p> <p>Tige filetée</p> |
| GC 38.2 | <p><u>Ancrages</u> : Tiges filetées Ø16 mm en acier zingué classe 4.8 avec scellage chimique, profondeur d'ancrage ≈ 23 cm</p>  |  |

(Source : Essais de traction sur tiges filetées, GEOTEC, 2020)

**Tableau 54 Caractéristiques des madriers bois**

La hauteur des madriers bois varie entre 0,75 et 1,0m, la présente étude considère une hauteur libre de 1,0m soit 4 bastaings (cas plus défavorable). On notera que les bastaings ne sont pas solidaires les uns par rapport aux autres.

### 2. Hypothèses et calcul des efforts d'impact

Le présent paragraphe a pour but d'évaluer la force d'impact due à un choc avec un embâcle.

Les calculs se basent sur les recommandations de l'Eurocode 1 – norme NF EN 1991-1-7 (Actions accidentelles sur les structures).

En concordance avec cette norme, l'hypothèse d'un choc mou est retenue, plus précisément la structure est supposée élastique et l'objet impactant rigide.

Le principe est de réaliser les calculs avec une force statique équivalente à la force dynamique réelle.

L'énergie cinétique du choc est :



$$E = \frac{1}{2}mV_r^2 \quad (1)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} E : \text{énergie cinétique de l'embâcle au moment de l'impact (J);} \\ V_r : \text{la vitesse de l'objet au moment du choc (m.s}^{-1}\text{)} \\ m : \text{la masse de l'objet impactant (kg).} \end{array} \right.$$

L'énergie de déformation accumulée dans un élément de raideur k vaut :

$$E = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}\frac{F^2}{k} \quad (2)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} E : \text{énergie de déformation élastique (J)} \\ F : \text{force appliquée (N)} \\ x : \text{déflexion de la structure (m)} \\ k : \text{raideur élastique de la structure (N/m)} \end{array} \right.$$

L'hypothèse du choc mou, revient à considérer que toute l'énergie (cinétique) de l'objet impactant se transmet à la structure, se déformant de manière élastique, ainsi :

$$\frac{1}{2}mV_r^2 = \frac{1}{2}kx^2$$

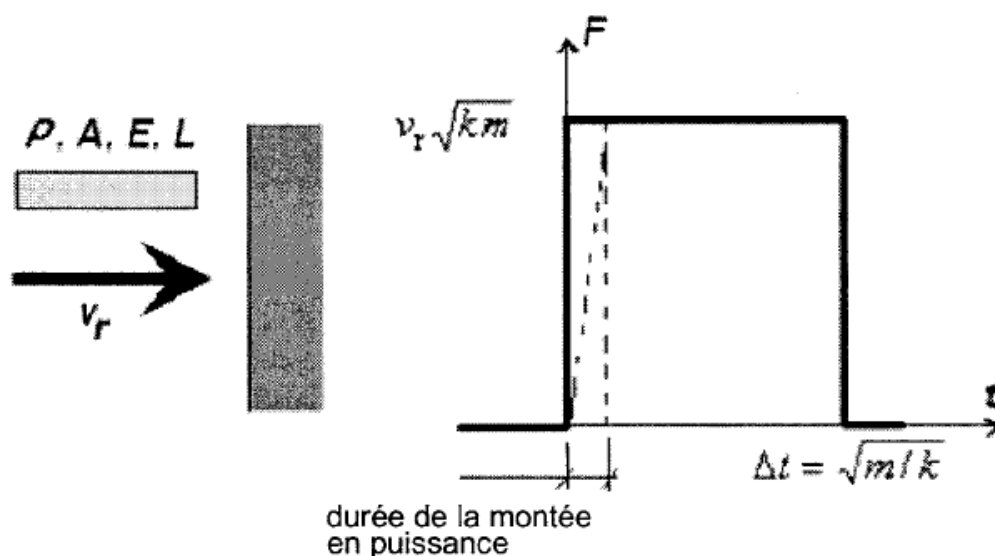
En introduisant la force F grâce à l'équation (2), on exprime de la valeur de la force d'interaction dynamique maximale résultante du choc (norme NF EN 1991-1-7) :

$$F = V_r\sqrt{km}$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} V_r : \text{la vitesse de l'objet au moment du choc (m.s}^{-1}\text{);} \\ k : \text{la rigidité élastique de la structure (N.m}^{-1}\text{);} \\ m : \text{la masse de l'objet impactant (kg).} \end{array} \right.$$

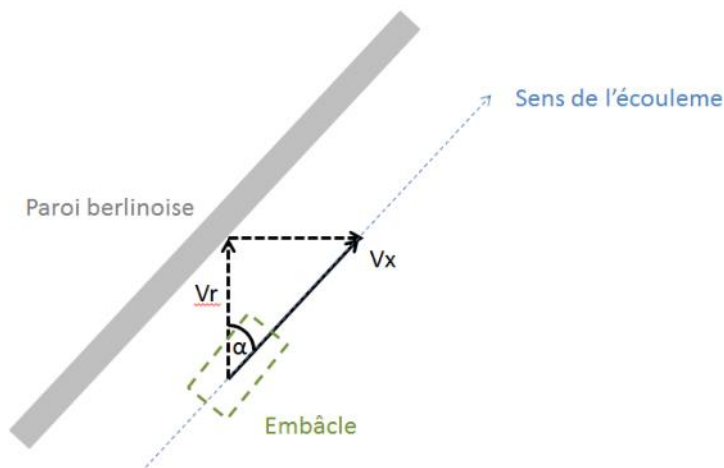
L'objet impactant est modélisé comme un objet équivalent de section transversale rectangulaire et la durée d'impact n'est pas considérée dans les calculs.



**Figure C.1 — Modèle d'impact,  $F$  = force d'interaction dynamique.**

**Figure 98 : Modèle d'impact pour un choc frontale d'après l'Eurocode 1 – norme NF EN 1991-1-7**

Les ouvrages étudiés sont longitudinaux, il n'est donc très improbable qu'un choc frontal se produise avec un embâcle, il est nécessaire de pondérer le résultat précédent en fonction de l'angle d'incidence de l'embâcle.



**Figure 99 : Calcul de la vitesse d'impact  $V_r$  en fonction de la vitesse longitudinale  $V_x$**

La vitesse de l'embâcle au moment du choc peut être définie comme :

$$V_r = \cos(\alpha) V_x$$

Avec :

$\left\{ \begin{array}{l} V_x : \text{vitesse selon le sens de l'écoulement, directement issue du modèle hydraulique (m/s)} \\ \alpha : \text{angle d'incidence de l'embâcle (}^\circ\text{)} \end{array} \right.$

|         | Vitesse moyenne (m/s) | Vitesse maximale (m/s) |
|---------|-----------------------|------------------------|
| GC 40.3 | 3,20                  | 4,70                   |
| GC 38.2 | 5,18                  | 5,69                   |

Figure 100 : Vitesses ( $V_x$ ) pour la Q20 au droit des tronçons avec une rehausse bois

Pour l'ensemble de l'analyse la sollicitation la plus défavorable est retenue soit  $V_x = 5,7 \text{ m/s}$ .

L'angle d'incidence retenu est de  $\alpha = 45^\circ$ .

Les caractéristiques suivantes sont choisies pour l'embâcle :

| L (m) | A (m <sup>2</sup> ) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------|---------------------|-----------------------------|
| 1,0   | 0,09<br>(0,3*0,3)   | 550                         |

Figure 101 : Propriétés de l'embâcle

### 3. Résistance des bastaings en douglas

Le présent paragraphe vise à évaluer la résistance mécanique des bastaings vis-à-vis du chargement calculé dans le paragraphe §2. Pour rappel, les bastaings ne sont pas solidaires les uns par rapport aux autres et ne peuvent être considérés comme encastrés à leurs extrémités. Ainsi, le modèle est celui d'une poutre bi-appuyé (appui simple) conformément au schéma suivant :

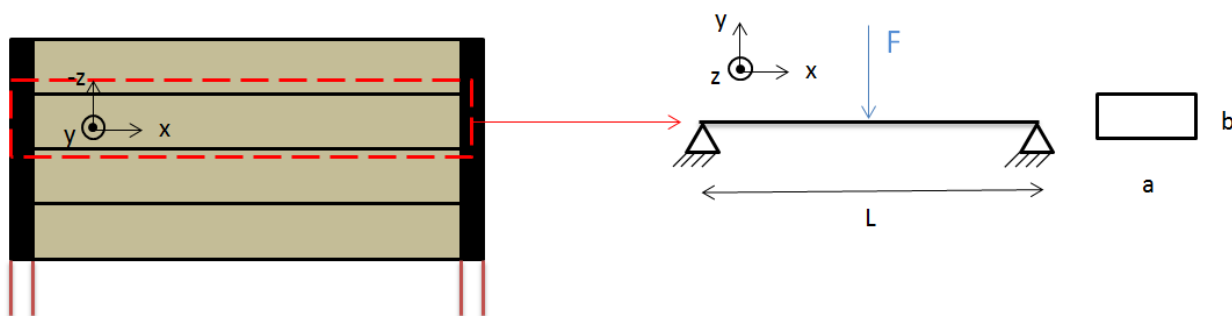


Figure 102 Modèle mécanique pour l'évaluation de la résistance des bastaings

Les caractéristiques géométriques et mécaniques des bastaings en douglas sont présentées dans le tableau ci-dessous :

| L (m) | a(m) | b(m) | E (GPa) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | Coefficient de poisson $\nu$ | Contrainte admissible en flexion parallèle (MPa) |
|-------|------|------|---------|-----------------------------|------------------------------|--|
| 2,0   | 0,25 | 0,10 | 10      | 550                         | 0,2                          | 7,0  |

Figure 103 Caractéristiques mécaniques et géométriques des bastaings

Le module d'élasticité ainsi que la contrainte admissible sont issus de la norme NF B52001 (résineux catégorie III) :

**Art. 13. — Modules d'élasticité.**

Les valeurs du module d'élasticité varient avec l'essence et la provenance, l'humidité, la nature des sollicitations et la durée d'application des charges.

Les modules d'élasticité correspondant à la déformation instantanée, au moment où les charges sont appliquées, peuvent être pris en moyenne égaux pour toutes les essences, en flexion, traction ou compression à :

- dans le sens longitudinal (parallèle aux fibres) 100 000 bars,
- dans le sens transversal (perpendiculaire aux fibres) 5 000 bars.

Après deux mois d'application des charges, ces modules tendent à se stabiliser à des valeurs pouvant atteindre la moitié environ de leur valeur primitive, toutes conditions d'humidité restant par ailleurs constantes.

**Art. 9. — Valeur des contraintes admissibles à défaut d'essais.**

1° Cas du bois naturel, sec à l'air, au degré d'humidité normal de 15 %, utilisé pour des charpentes courantes, permanentes et abritées.

Prendre les valeurs des contraintes admissibles devant servir de base aux calculs dans le tableau ci-après :

| Modes de sollicitation              | Contraintes admissibles en bars (*) |          |              |          |               |          |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|--------------|----------|---------------|----------|
|                                     | Catégorie I                         |          | Catégorie II |          | Catégorie III |          |
|                                     | Chêne                               | Résineux | Chêne        | Résineux | Chêne         | Résineux |
| Compression axiale .....            | 110                                 | 100      | 100          | 90       | 80            | 70       |
| Flexion .....                       | 120                                 | 110      | 110          | 100      | 85            | 75       |
| Traction parallèle aux fibres ..... | 130                                 | 120      | 120          | 110      | 90            | 80       |
| Cisaillement longitudinal .....     | 15                                  | 12       | 15           | 12       | 12            | 10       |
| Compression transversale (**)       | 30                                  | 15       | 30           | 15       | (***)         | (***)    |

(\*) 1 bar = 1,02 kg/cm<sup>2</sup>. Prendre les mêmes nombres pour base des calculs si ceux-ci sont effectués en kilogrammes-force par centimètre carré.

(\*\*) S'il s'agit d'efforts intéressant seulement une partie de la section de la pièce, on peut envisager des contraintes plus élevées (voir Ch. 3, art. 11 « Cas d'une compression localisée »).

(\*\*\*) En compression de flanc, n'utiliser que des bois appartenant aux catégories I et II, ou des pièces de bois sélectionnées de la catégorie III présentant dans la zone intéressée les caractéristiques des catégories I et II.

2° Cas du bois naturel, au degré d'humidité supérieur à 17 %, utilisé pour des charpentes courantes, permanentes et abritées.

Affecter les contraintes admissibles fixées dans le cas précédent des coefficients de réduction prévus (Ch. IV, Art. 12).

3° Autres cas. Affecter les valeurs précédentes d'un coefficient adapté à la destination de l'ouvrage et aux traitements que le bois a pu subir.

Dans un même lot de bois, les pièces peuvent appartenir à des catégories différentes. Affecter à chacune d'elles sa place dans la construction, suivant la valeur des contraintes qui lui sont applicables.

Figure 104 Extrait de la norme NF B52001 « Règles d'utilisation du bois dans les constructions : qualités des bois et contraintes admissibles ».

Les résultats des calculs sont donnés ci-dessous :

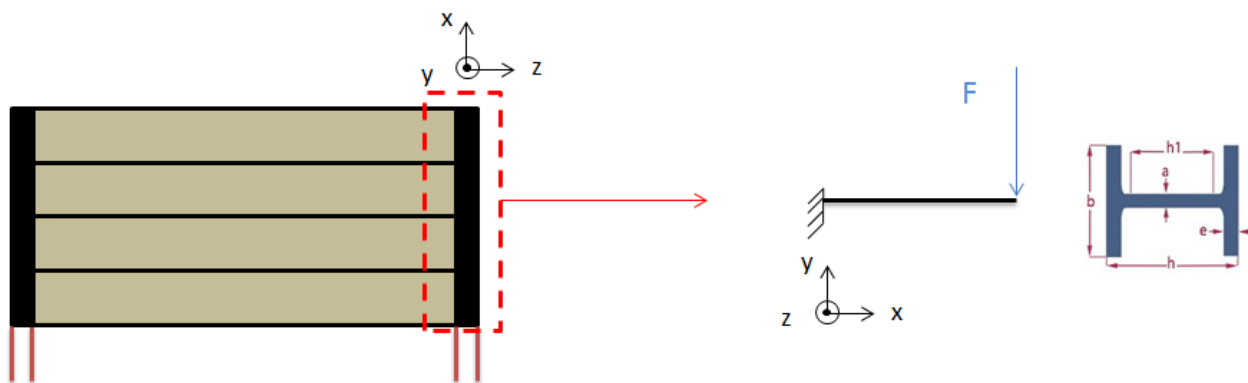
| $k$ (kN.m <sup>-1</sup> ) | F (kN) | Effort tranchant maximal (kN) | Moment fléchissant maximal (kN.m) | Contrainte normale maximale (MPa) |
|---------------------------|--------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 973,7                     | 28,0   | 14,0                          | 14,0                              | 39,7                              |

**Tableau 55 Résultats du calcul pour la résistance des bastaings**

Les contraintes résultantes sont très supérieures aux contraintes admissibles selon la norme NFB52001, la résistance structurelle des bastaings n'est pas assurée.

#### 4. Résistance des ancrages et des poutres HEA

Le présent paragraphe a pour but d'évaluer la résistance mécanique des poutres en acier, servant de liaison entre les bastaings, vis-à-vis du chargement calculé dans le paragraphe §3. On suppose que la force d'impact calculé au §3 sur les bastaings s'applique directement en tête du profilé, la poutre fonctionne alors en console.



**Figure 105 Modèle mécanique pour l'évaluation de la résistance des poutres HEA**

Les caractéristiques géométriques des profilés HEA 140 sont les suivantes :

|                | h (mm) | b (mm) | a (mm) | e (mm) | h1 (mm) | Iz(cm <sup>4</sup> ) | Avz (cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|--------|--------|--------|---------|----------------------|------------------------|
| <b>HEA 140</b> | 133    | 140    | 5,5    | 8,5    | 92      | 1033,13              | 10,1                   |

**Tableau 56 Caractéristiques géométriques des profilés HEA 140**

Les caractéristiques mécaniques retenues pour l'acier sont :

|         |    | Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) | E (GPa) | Coefficient de poisson $\nu$ | Limite élastique en traction/compression (MPa) | Limite élastique au cisaillement <sup>10</sup> (MPa) |
|---------|----|--------------------------------------|---------|------------------------------|--|--|
| S235 G2 | JR | 8000                                 | 210     | 0,3                          | 235  | 125  |

Tableau 57 : Caractéristiques mécaniques de l'acier

Les résultats des calculs sont donnés ci-dessous :

| Effort tranchant maximal (kN) | Moment fléchissant maximal (kN.m) | Contrainte normale maximale (MPa) | Contrainte de cisaillement maximale (MPa) |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 28,0                          | 28,0                              | 180,23                            | 27,72                                     |

Tableau 58 : Résultats des calculs pour la résistance des profilés HEA 140

Les contraintes calculées dans les profilés sont inférieures aux limites élastiques aussi bien pour les efforts normaux que ceux de cisaillement. Les poutres travaillent dans le domaine élastique, la résistance sous le chargement du §3 est assurée.

### 5. Résistances des ancrages

Le présent paragraphe vise à évaluer la résistance des tiges filetées servant d'ancrage pour les profilés vis-à-vis du chargement calculé dans le paragraphe §3.

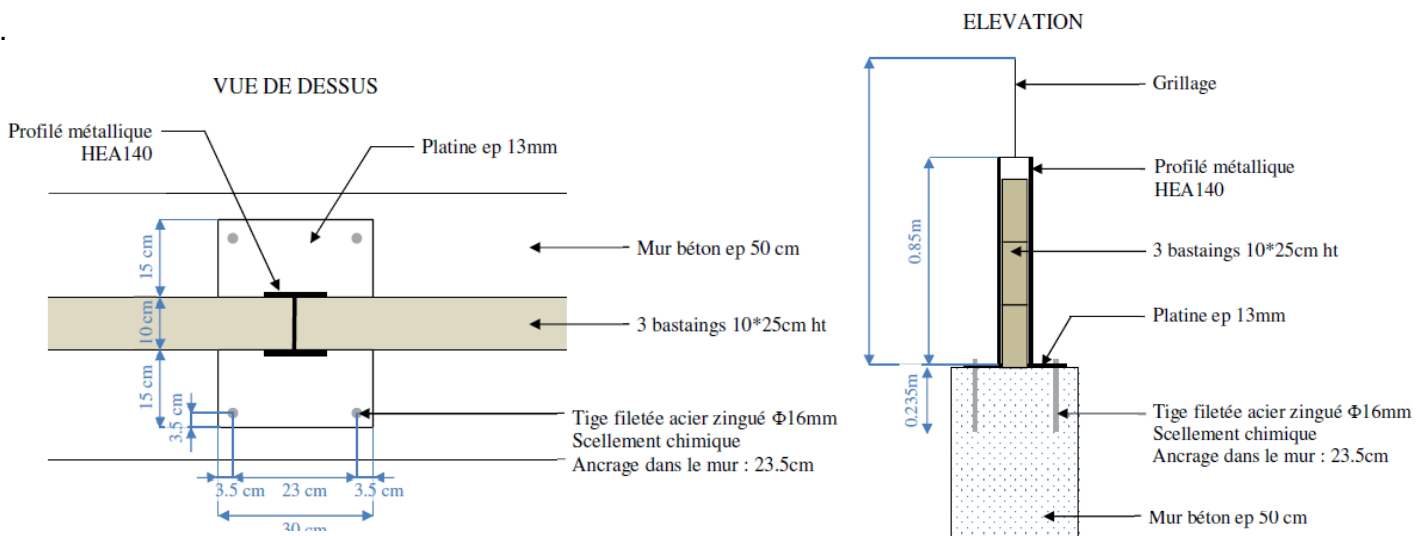


Figure 106 Vue de dessus et élévation de l'essai de traction n°1, GEOTEC 2020

<sup>10</sup> On considère pour un acier doux ( $\sigma_e < 270 \text{ MPa}$ ) que  $\tau_e = 0,5\sigma_e$

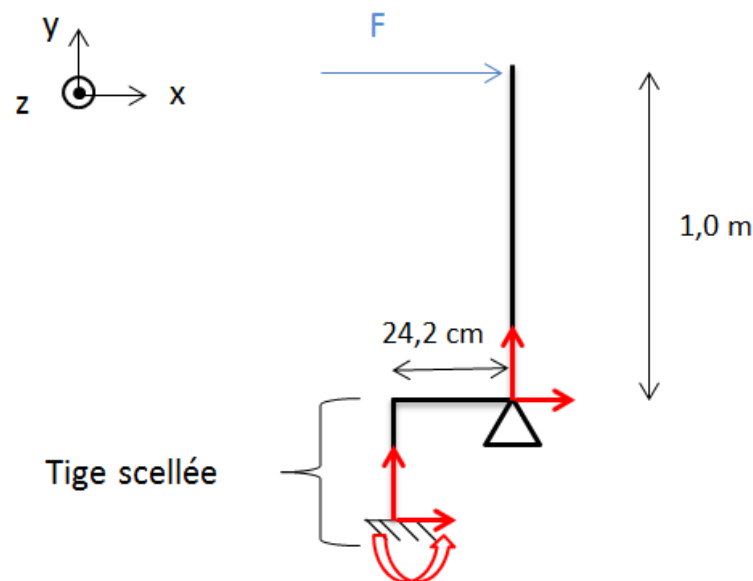
| ESSAI | Profondeur d'ancrage | Force de rupture (Tonnes)        | Type de rupture                  |
|-------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1     | 13cm                 | 120 bars soit <u>9.6 tonnes</u>  | Rupture de la tige à 15cm du sol |
| 2     | 23cm                 | 130 bars soit <u>10.4 tonnes</u> | Rupture de la tige à 5cm du sol  |
| 3     | 23cm                 | 130 bars soit <u>10.4 tonnes</u> | Rupture de la tige à 4cm du sol  |
| 4     | 13cm                 | 120 bars soit <u>9.6 tonnes</u>  | Rupture de la tige à 19cm du sol |
| 5     | 23cm                 | 120 bars soit <u>9.6 tonnes</u>  | Rupture de la tige à 9cm du sol  |
| 6     | 23cm                 | 140 bars soit <u>11.2 tonnes</u> | Rupture de la tige à 9cm du sol  |
| 7     | 23cm                 | 140 bars soit <u>11.2 tonnes</u> | Rupture de la tige à 33cm du sol |
| 8     | 23cm                 | 140 bars soit <u>11.2 tonnes</u> | Rupture de la tige à 44cm du sol |
| 9     | 23cm                 | 130 bars soit <u>10.4 tonnes</u> | Rupture de la tige à 42cm du sol |
| 10    | 23cm                 | 130 bars soit <u>10.4 tonnes</u> | Rupture de la tige à 33cm du sol |

Tige scellée : tige filetée  $\phi 16\text{mm}$  en acier zingué classe 4.8

**Figure 107 : Résultats des essais de traction sur les tiges scellées, GEOTEC 2020**

Au vu de ces résultats, la force de rupture des ancrages retenue est de 9,6 tonnes soit 96kN.

La force de traction exercée dans les ancrages induite par le chargement calculé dans le paragraphe §3 est calculée via le principe fondamental de la statique (cette force est reprise par 2 ancrages).



**Figure 108 : Situation de calcul pour la résistance des ancrages**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

| Force de traction totale             | Force de traction par tige scellée (kN) |
|--------------------------------------|---|
| 115,6 kN<br><i>soit 11,56 tonnes</i> | 57,8<br><i>soit 5,78 tonnes</i>         |

**Tableau 59 : Résultats des efforts de traction dans les tiges scellées**

Les efforts de calculés dans les ancrages sont inférieurs à l'effort de rupture mesurée par GEOTEC, la résistance des ancrages sous le chargement du §3 est assurée.

## 6. Conclusion

Pour un embâcle d'une taille modérée (1,0\*0,3\*0,3) et pour la crue de type « Q20 », **les madriers bois ne résistent pas à un impact d'embâcle** notamment pas défaut de résistance des bastaings. D'autant plus que, plusieurs paramètres défavorables n'ont pas été pris en compte dans les calculs, entre autres :

- L'humidité du bois, une augmentation de l'humidité traduit une diminution des caractéristiques mécaniques du bois. Les calculs ont été effectués avec une humidité normale (15%).
- Les sollicitations ont été considérés parallèles aux fibres, en réalité du fait des turbulences et de l'effet propre au choc, des sollicitations transversales aux fibres vont se produire ; Dans cette situation les caractéristiques du bois sont fortement diminuées.
- La dégradation du bois au fil du temps réduisant sa capacité de résistance aux sollicitations, d'autant plus qu'aucun traitement et protection du bois n'est connue.
- La résistance n'étant pas assurée à l'ELS, les calculs à l'ELU n'ont pas été réalisés.



## ANNEXE 6 AVANT PROJET DE CONFORTEMENT POUR LA CRUE 100 M<sup>3</sup>/S (Q10)

Cf. pièce E du dossier

## ANNEXE 7 ETUDE HYDROLOGIQUE (HYDRETUDES 2020)

## ANNEXE 8 NOTE TECHNIQUE HYDROMORPHOLOGIE (HYDRETUDES 2020)

## ANNEXE 9 RAPPORT DE MODELISATION HYDRAULIQUE (2020)



# ANNEXE 10 CARTE DES OUVRAGES COMPOSANT LE SYSTEME D'ENDIGUEMENT ET DE LA ZONE PROTEGEE

## ANNEXE 11 PROFILS EN LONG