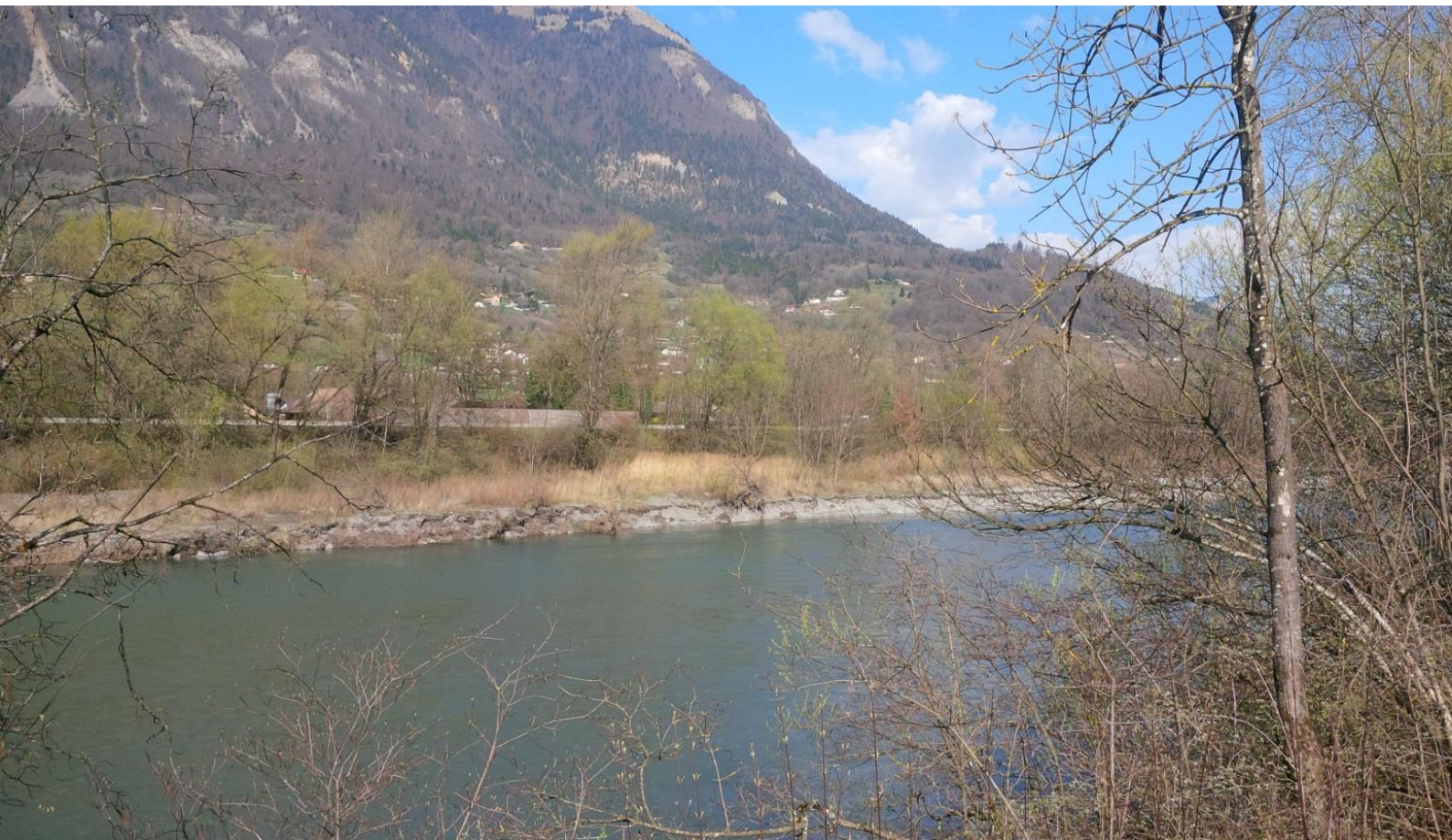




Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

Visite technique approfondie - Notice générale
Etat des lieux - Hiérarchisation et plan de gestion



Août 2020


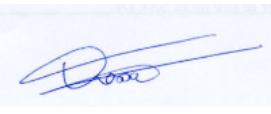



Confortement et reconstruction des digues du Borne sur la commune de Bonneville

Visite technique approfondie – Notice générale Etat des lieux - Hiérarchisation et plan de gestion

DIGP 2020-633-00 Octobre 2020

INTERLOCUTEUR DI	Valentin DEVERNOIS - 06 70 40 60 11		
	CNR Ingénierie Entité MOE : DIGP-AH 2 rue André Bonin, 69316 Lyon cedex 04		
MAITRE D'OUVRAGE	S.M.3.A - Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents		
ADRESSE	300 Chemin des Prés Moulins - 74800 Saint pierre en Faucigny		
INTERLOCUTEUR	M RENOUE Emmanuel		
RÉFÉRENCE DU CONTRAT	Commande n°2019-PI-14		
NIVEAU DE CONFIDENTIALITÉ	<input type="checkbox"/> CONFIDENTIEL	<input type="checkbox"/> INTERNE	<input checked="" type="checkbox"/> PUBLIC

CONTRÔLE QUALITÉ	NOM	DATE	SIGNATURE
RÉALISÉ PAR	DEVERNOIS Valentin	07/10/2020	
VÉRIFIÉ PAR	TROSSAT Sophie	07/10/2020	
APPROUVÉ PAR	TROSSAT Sophie	07/10/2020	

HISTORIQUE DU DOCUMENT

INDICE	DATE	DÉSIGNATION DE LA RÉVISION
-00	07/10/2020	Version initiale

SOMMAIRE

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	6
1.1	Présentation de l'étude.....	6
1.2	Rappel sur les critères de classement des digues intéressant la sécurité publique.....	6
1.3	Les systèmes d'endiguement étudiés	7
1.3.1	ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne	7
1.3.2	ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne.....	7
1.4	Objectifs du présent document.....	9
1.5	Documents supports	9
2	SYNTHESE DES DONNEES EXISTANTES	11
2.1	Cadre géologique régional	11
2.2	Fonctionnement hydraulique général du Borne à sa confluence avec l'Arve.....	11
3	HISTORIQUE DE L'AMENAGEMENT DE LA CONFLUENCE ARVE BORNE	12
3.1	L'origine.....	12
3.2	L'évolution historique du lit du Borne.....	12
4	ETAT DES LIEUX – DIAGNOSTIC VISUEL ET METHODOLOGIE.....	13
4.1	Conditions d'observation sur site.....	13
4.2	Diagnostic visuel.....	13
4.2.1	Objectif.....	13
4.2.2	Méthodologie	14
4.2.3	Quelques mots sur SIRSDIGUE	14
5	GRANDES TYPOLOGIES DE DESORDRES.....	14
5.1	Instabilités côté rivière (talus amont)	14
5.2	Présence d'ouvrages traversants	15
5.3	Modification de la géométrie originelle des ouvrages – talus aval.....	16
5.4	Une continuité de protection discutable	16
5.5	Développement de la végétation arborée et désordres associés	16
5.6	Actions anthropiques et animales.....	17
6	DIAGNOSTIC – PLAN D'ACTION	17
6.1	Une incision prononcée – conséquences	18
6.2	Digues ou pas digues ?	18
7	CLASSIFICATION – HIERARCHISATION DES DESORDRES	18
7.1	Définition du niveau de vulnérabilité des tronçons	18
7.2	Hiérarchisation des désordres.....	19
8	PLAN D'ACTION	21
8.1	Suppression des points de débordements.....	21
8.2	Travaux de restauration globaux.....	21
8.3	Entretien courant des ouvrages	22

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des endiguements concernés par l'étude.....	8
Figure 2 : Géologie de la zone d'étude (source BRGM).....	11
Figure 3 : Fonctionnement du lit du Borne avant et après l'apparition du phénomène d'incision.	15

Liste des tableaux

Tableau 1 : Hiérarchisation de l'état de fragilité des endiguements.	20
---	----

Annexes graphiques

A – Plan de localisation des systèmes d'endiguement

B – Typologie interprétative et schématique des profils originels des ouvrages de protections hydrauliques rencontrées le long du Borne

C – Cartes de définition des structures de digues

D – Cartes de localisation des désordres et observations ponctuelles réalisées lors la VTA 2020

Annexes techniques par système

ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne

Fiches de synthèse des désordres :

Fiche de synthèse des désordres – tronçon TOISINGES

Fiche de synthèse des désordres – tronçon STEP

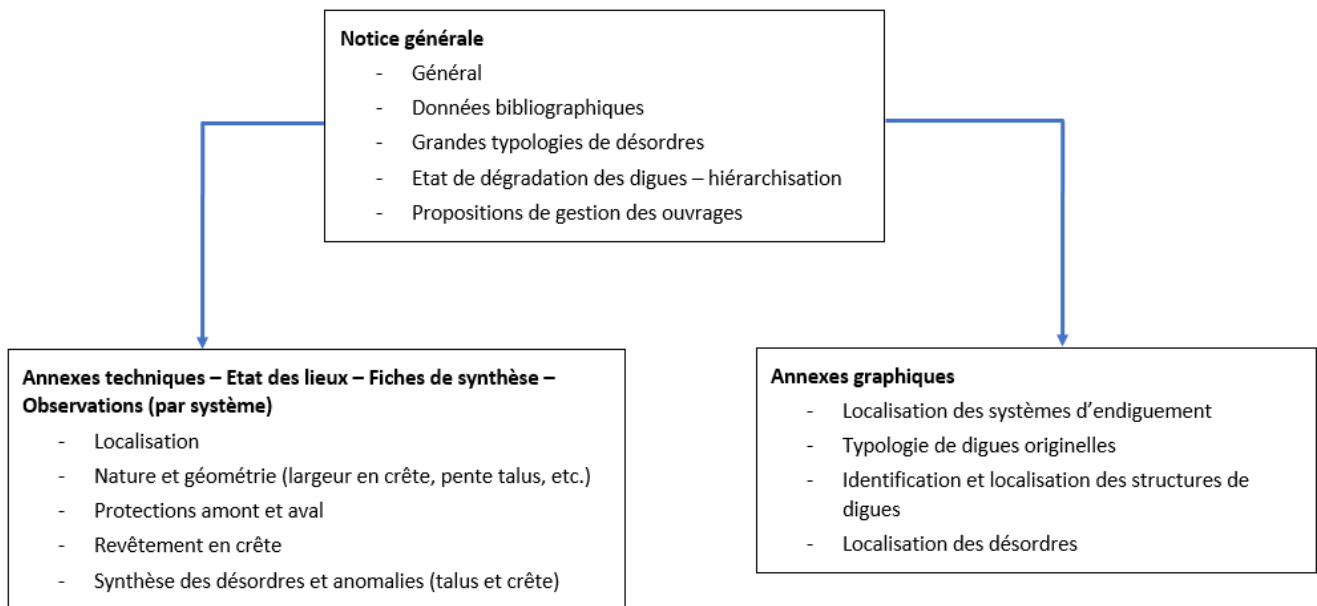
ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne

Fiches de synthèse des désordres :

Fiche de synthèse des désordres – tronçon BOIS JOLIVET B

Fiche de synthèse des désordres – tronçon QUEUE DU BORNE

Organisation du dossier



1 INTRODUCTION

1.1 Présentation de l'étude

La présente Visite Technique Approfondie (VTA) s'inscrit dans le cadre de l'inventaire des systèmes d'endiguement du Borne depuis le pont de la RD1203 (pont Royal) jusqu'à sa confluence avec l'Arve, à la demande et pour le compte de S.M.3.A – Syndicat Mixte d'Aménagement de l'Arve et de ses Affluents.

Cette étude s'inscrit plus largement dans le cadre des études réglementaires obligatoires concernant :

- La surveillance des digues,
- La mise en œuvre de la directive inondation sur le bassin Rhône Méditerranée.

Ce document est une première étape dans l'élaboration des solutions techniques de confortement qui seront proposées en AVP détaillé et qui visent à garantir la sûreté hydraulique de l'ouvrage. Il s'agit d'un diagnostic visuel présentant principalement des observations qualitatives, les aspects techniques et précisions quantitatives étant abordés dans les prochaines phases de la mission confiée au groupement (notamment AVP détaillé).

A noter qu'une visite technique approfondie a déjà été réalisée par la CNR en 2017 en vue de la production des études de dangers (EDD) dont le dépôt auprès des services de l'Etat a eu lieu en 2019.

Néanmoins, contrairement à 2017, cette Visite Technique Approfondie (VTA) n'est pas exhaustive à l'ensemble du linéaire de digues des systèmes 24.17, 26.24 et 25.79 mais limitée à un linéaire présenté dans le paragraphe § 1.3.1 et 1.3.2 et localisé graphiquement dans la Figure 1.

1.2 Rappel sur les critères de classement des digues intéressant la sécurité publique

La réglementation a fortement évolué ces dernières années. Elle s'appuie désormais sur les textes de référence suivants :

- 1 Décret du 11 Décembre 2007 : fixe les définitions de classes de digues.
- 2 Arrêté du 12 Juin 2008 : définit le plan de l'étude de dangers des barrages et des digues.
- 3 Arrêté du 29 Février 2008 : fixe des prescriptions relatives à la sécurité et sûreté des ouvrages, en particulier énonce le but des diagnostics de terrain.
- 4 Circulaire du 8 Juillet 2008
- 5 Circulaire du 16 Avril 2010
- 6 Décret du 12 Mai 2015

D'après le décret du 11 Décembre 2007 les classes de digues se définissent de la manière suivante :

- **A** : $H > 1$ m et $P > 50\ 000$ Hab
- **B** : $H > 1$ m et $1\ 000 < P < 50\ 000$ Hab
- **C** : $H > 1$ m et $10 < P < 1\ 000$ Hab
- **D** : $H > 1$ m et $P < 10$ Hab.

Il est à noter que le décret du 12 Mai 2015, applicable à partir du 1^{er} Janvier 2016, vise notamment à modifier ce classement de la manière suivante :

1. **A** : $H > 1.5$ m et $P > 30\ 000$ Hab
2. **B** : $H > 1.5$ m et $3\ 000 < P < 30\ 000$ Hab
3. **C** : $H > 1.5$ m et $30 < P < 3\ 000$ Hab

Dans ces deux cas de figure H représente la hauteur de digue entre la crête de celle-ci et le terrain côté aval tandis que P représente la population protégée par la digue en question. A noter que même si la hauteur H est inférieure à 1,5 m, la digue peut être classée sur demande spécifique du gestionnaire.

1.3 Les systèmes d'endiguement étudiés

On distingue trois systèmes d'endiguement répartis le long de la confluence de l'Arve et du Borne.

- ARVE-RD-BONNE-25.79 : Bonneville Ayze Rive Droite de l'Arve (hors périmètre de la présente étude)
- ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne
- ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne

Ces trois endiguements sont situés dans les agglomérations de Bonneville, Ayze et Saint Pierre en Faucigny. Ces systèmes se divisent eux même en digues, dont seules celles concernées par l'étude sont décrites dans les paragraphes suivants.

1.3.1 ARVE-RG-BONNE-26.24 : Bonneville Entre Arve et Borne

Le système de Bonneville entre Arve et Borne représente un linéaire d'environ 7.3 km. Il s'étend entre les digues de l'Arve en rive gauche et les digues du Borne en rive droite et l'A40 au sud-est.

Les digues de ce système d'endiguement concernées par l'étude sont citées ci-après et localisées sur la Figure 1.

Il peut être scindé de la manière suivante (de l'amont vers l'aval) :

- **Bois Jolivet B** (BORNE-RD-BONNE-0.61) : Borne rive droite sur 800 m depuis le pont de Toisinges jusqu'au pont de la RD1203 (pont Royal) ;
- **Queue du Borne** (BORNE-RD-BONNE-0.23) : Borne rive droite sur 400 m depuis la confluence avec l'Arve jusqu'au pont de Toisinges.

1.3.2 ARVE-RG-STPIE-24.17 : Saint Pierre en Faucigny entre Arve et Borne

Ce système couvre un linéaire total d'environ 5km et est réparti en six digues.

Les digues de ce système d'endiguement concernées par l'étude sont citées ci-après et localisées sur la Figure 1.

Il peut être scindé de la manière suivante (de l'amont vers l'aval) :

- **Toisinges** (BORNE-RG-BONNE-0.05) : Borne rive gauche du pont de la D1203 jusqu'au pont de Toisinges – 800m ;
- **STEP** (BORNE-RG-BONNE-0.61) : Borne rive gauche du pont de Toisinges à la confluence avec l'Arve – 600m.

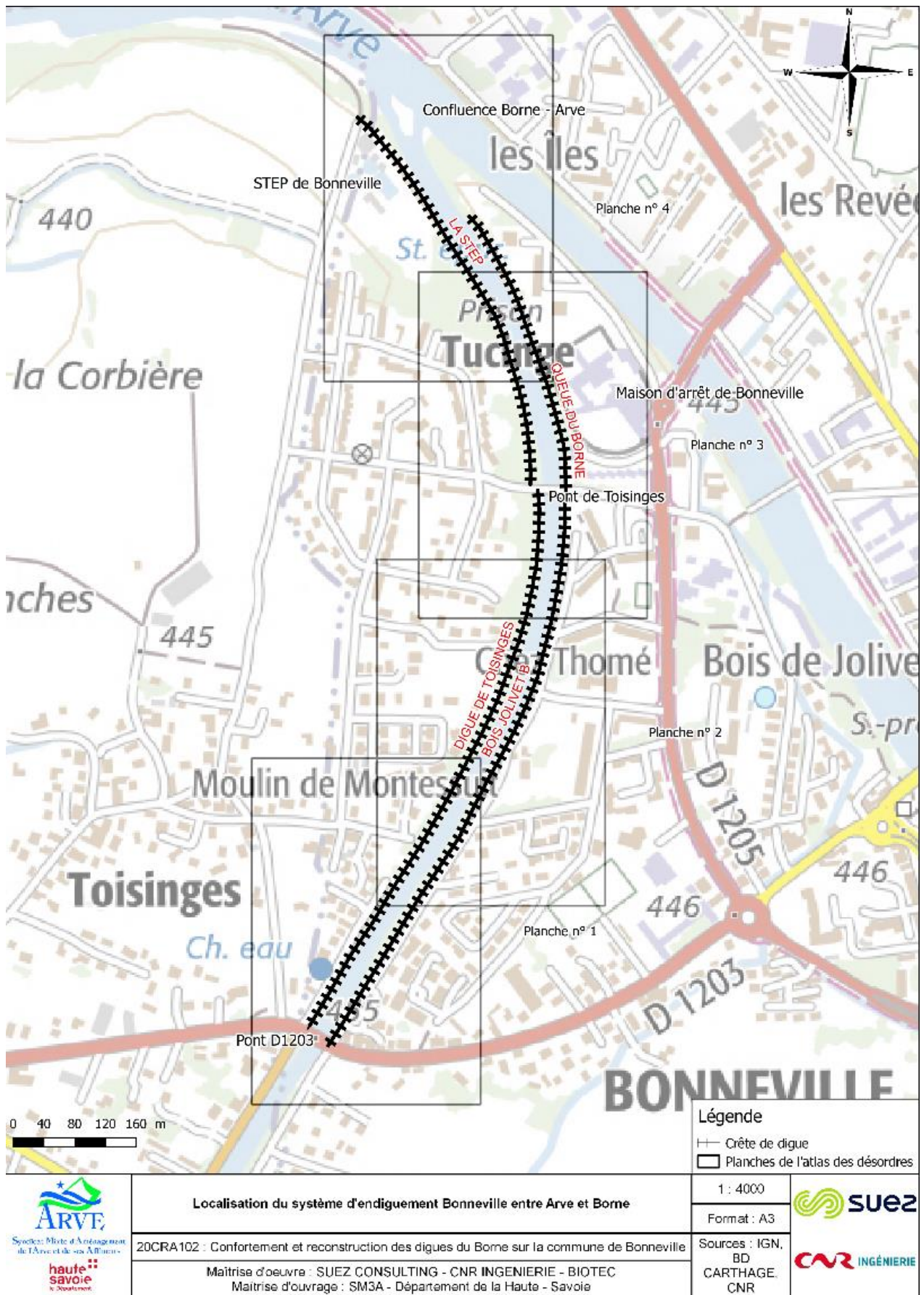


Figure 1 : Localisation des endiguements concernés par l'étude.

1.4 Objectifs du présent document

La Visite Technique Approfondie (VTA) prévue par l'article 16 du décret du 11 décembre 2007 et précisée dans celui du 12 mai 2015, dit diagnostic initial, comporte :

- L'examen visuel de la digue et des ouvrages englobés ;
- L'identification des irrégularités visibles de la crête de la digue ;
- La liste des examens complémentaires à effectuer rapidement pour s'assurer de la sécurité de l'ouvrage;
- La description des actions à entreprendre pour remédier aux insuffisances constatées.

1.5 Documents supports

Les données transmises par le maître d'ouvrage S.M.3.A sont les suivantes :

Bois Jolivet Contre seuil du pont de l'Europe Bonneville 2004

Bois Jolivet Contre seuil du pont de l'europe Bonneville 2004

Bois Jolivet Contre seuil du pont de l'europe Bonneville 2004

SE-ARVE-RG-BONNE-26.24-Bonneville entre Arves et Borne 2/2

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 2/3

SE-ARVE-RG-BONNE-26.24-Bonneville entre Arves et Borne 1/2

SE-ARVE-RG-BONNE-26.24-Bonneville entre Arves et Borne 1/2

SE-ARVE-RG-BONNE-26.24-Bonneville entre Arves et Borne 1/2

ZAC Bordet I et II Etude Sogreah 2003 digue duag géotechnique SED2001

ZAC Bordet I et II Etude Sogreah 2003 digue duag géotechnique SED2001

ZAC Bordet I et II Etude Sogreah 2003 digue duag géotechnique SED2001

Bonneville contre seuil pont de l'europe 1

Bonneville contre seuil pont de l'europe 2

Bonneville seuil pont de l'europe MOe2

Bonneville seuil pont de l'europe MOe2

Travaux d'aménagements hydrauliques - Marché de travaux

Bonneville contre seuil lot 1

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 1/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 1/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 1/3

SE-ARVE-RD-BONNE-25.79-BONNEVILLE AYZE 1/3

Seuil aval du Giffre 1

Seuil aval du Giffre travaux 2002/2003

Seuil aval du Giffre travaux 2002/2003

Seuil aval du Giffre travaux 2002/2003

Seuil de Vougy Marignier TVX-Tranche2

Bonneville Tvx 99/2000

Bonneville Tvx 99/2000

VTA Notice générale et Fiches synthèses de Mai 2017, CNR / Arbeausolutions

Etude historique et Fiche d'information Historique Décembre 2017, Acthys Diffusion

Diagnostic de stabilité et Avant-Projet de Confortement Décembre 2018, CNR

Reconnaitances Géophysiques et géotechnique type G5, 2017, HYDROGEOTECHNIQUE/ IMG

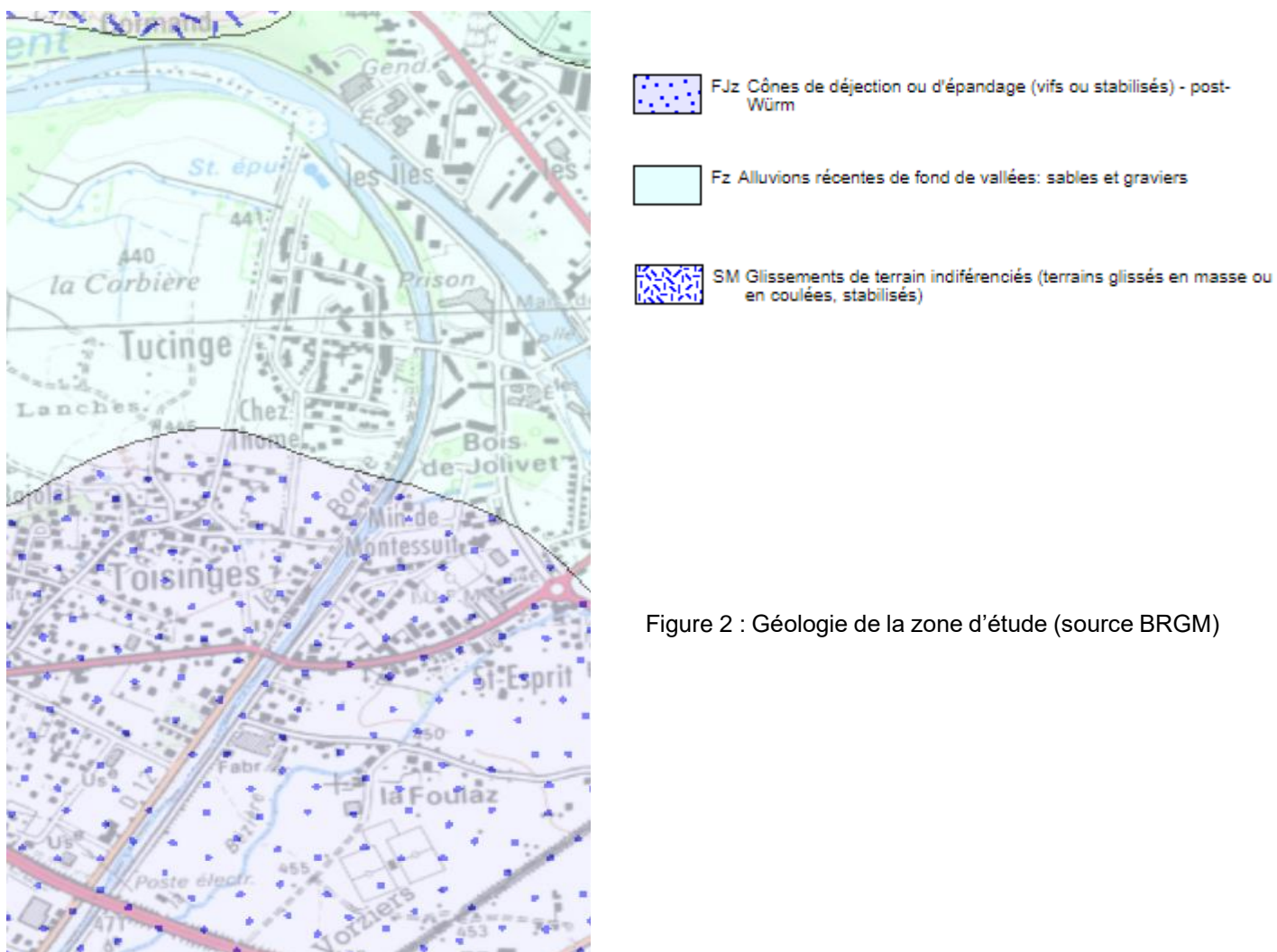
2 SYNTHÈSE DES DONNÉES EXISTANTES

2.1 Cadre géologique régional

La zone d'étude est inscrite d'une manière générale dans une zone d'épandage torrentielle post glaciaire (Würm) à la confluence des rivières de l'Arve et du Borne, dans la basse vallée Bonnevilloise.

D'après les éléments en notre possession (banque de données du sous-sol BRGM), la zone de confluence s'inscrit, sous d'éventuels limons de recouvrements et/ou remblais d'aménagement, au sein des alluvions Quaternaires récentes, sablo graveleuses en tête puis franchement graveleuses plus en profondeur, au sein desquels viennent s'intercaler de manière aléatoire des lentilles sablo limoneuses, voir argileuses.

Le substratum, taillé à l'emporte-pièce, se trouve plus en profondeur, et n'intéresse pas la zone d'étude.



2.2 Fonctionnement hydraulique général du Borne à sa confluence avec l'Arve

La rivière du Borne présente un régime d'écoulements torrentiels (idem pour l'Arve). La particularité de cette rivière est la vitesse des écoulements en crue et le transport de sédiments.

La charge de fond est très conséquente pour le Borne même si elle l'est davantage pour l'Arve qui reçoit juste en amont de la confluence les écoulements et la charge solide du Giffre.

Les matériaux transportés sont du type galets ou gros graviers avec apports de matériaux sableux sur les bancs, sur l'Arve notamment.

Du fait de ce transport solide intense, des fortes variations du lit peuvent survenir en crue.

Le Borne semble présenter une charge solide plus modérée que sur l'Arve. Les plages de dépôt préférentielles semblent être localisées au sortir des gorges du Borne et à la confluence avec l'Arve. Le barrage de Beffay, géré par EDF, joue probablement dans l'évaluation modérée de la charge solide.

3 HISTORIQUE DE L'AMENAGEMENT DE LA CONFLUENCE ARVE BORNE

3.1 L'origine

Les digues du Borne constituent des digues dites « sèches » (ou de crues) dans la mesure où elles ne maintiennent pas une charge hydraulique permanente entre la rivière et le côté terre (val). Elles assurent ce rôle de manière temporaire en période de crue lors des plus hautes eaux.

Le début de l'endiguement le long du Borne est probablement très ancien, durant les années 1820 et la période Sarde. Pour information, les premiers programmes importants de travaux le long du Borne datent du tout début du XVIII^{ème} siècle (digues de Dessy) avec une expansion progressive vers l'aval. Les éléments plus précis de l'étude historique sont présentés dans l'étude ACTHYS Diffusion de décembre 2017.

Jusqu'à cette période, les riverains de la rivière étaient très souvent affectés par les conséquences des crues, où ponts, maisons et berges étaient très souvent emportés par les crues, le lit du Borne divaguant largement dans la vallée. C'est pourquoi d'importants travaux de rectification de berge furent entrepris pour fixer une fois pour tout le pied du lit du Borne.

D'une manière générale, les observations sur le site rendent compte de la protection en maçonnerie des parements amont, avec de nombreux murs/murets et perrés le long des cours d'eau. On pourra se reporter utilement à l'annexe B qui rend compte des typologies schématiques des ouvrages de protection hydraulique rencontrés sur le site objet de l'étude.

Cet endiguement progressif correspondait de plus à une nécessité de canaliser les eaux en période de crue, dont les lits s'exhaussaient largement et continuellement, compte tenu des importants apports de matériaux issus du bassin versant.

3.2 L'évolution historique du lit du Borne

Historiquement, la dynamique sédimentaire du Borne a été perturbée par la mise en place des premiers endiguements sur le Borne (secteur amont de Dessy), entraînant une tendance à l'incision du lit sur son secteur amont et à l'exhaussement de celui-ci sur le secteur aval situé en aval du pont RD1203 (**objet de cette étude**).

Cette tendance a évolué et c'est à partir des années 1950 qu'on commence à assister à un phénomène inattendu d'enfoncement progressif du lit de l'Arve, puis du Borne, en lien avec une rupture du transit sédimentaire. Plusieurs facteurs semblent expliquer le phénomène :

- Pour partie, faible, la fin du Petit Âge Glaciaire depuis 1850, ayant pour conséquence l'extinction naturelle de nombreux torrents sur les bassins versants, et donc une baisse de l'apport sédimentaire dans la vallée,
- Pour une majeure partie un ensemble de facteurs en lien avec l'activité anthropique :
 - L'endiguement, lui-même, qui restreignant l'espace de divagation des deux rivières conduit par « effet rebond » à un enfoncement du lit,
 - La construction d'importants barrages hydroélectriques, en particulier sur l'Arve (Eמושon, Les Houches...), sur le Giffre (Taninges Pressy) et sur le Borne (Beffay), coupant de facto l'alimentation en matériaux sédimentaire plus en aval.
 - L'extraction massive de matériaux dans le lit de l'Arve. L'extraction massive de matériaux dans le cours de l'Arve servait à la construction et les infrastructures routières. Environ 15 millions de m³ ont été extraits. Ces opérations de « curage » du lit ont eu un impact important sur les fonds de la rivière, avec des incisions pouvant atteindre 5 à 10 m dans certains secteurs (en particulier

à proximité des anciennes gravières). Ce facteur est probablement le plus important et a pu impacter les affluents (dont le Borne).

Il en résulte au final que le lit de l'Arve s'est enfoncé largement de plusieurs mètres, et par effet domino certains affluents, donc le Borne, réglant au passage pour partie les problématiques d'inondation, mais générant en contrepartie des problèmes d'instabilités des abords des rivières et même d'effondrement de la capacité de la ressource en eau souterraine (effondrement du toit de la nappe phréatique).

Il est apparu la nécessité de stabiliser l'évolution du profil en long de l'Arve et du Borne, par la multiplication de seuils le long de la confluence.

A ce jour et d'après les informations recueillies, le phénomène d'incision est plus ou moins stabilisé.

4 ETAT DES LIEUX – DIAGNOSTIC VISUEL ET METHODOLOGIE

4.1 Conditions d'observation sur site

La visite s'est déroulée sur deux jours (06 – 07/07/2020) par Valentin Devernois et Julien Rancillon de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Farid Boussaa et Aymeric Le Cavil de Safege.

Les conditions météorologiques étaient ensoleillées sur la période d'observation. Les hauteurs d'eau dans le Borne étaient généralement inférieures à 1m (source observateur) permettant de progresser dans le lit. La période de juillet correspond à une période de basses eaux.

Les relevés ont été réalisés hors période de crue. La VTA rend compte des :

- Caractéristiques des protections :
 - De berges,
 - Des talus de digues (côté rivière et côté val),
- De leur état général.

Les conditions d'observation étaient globalement très difficiles, les talus et la crête n'ayant pas été débroussaillés (arbres, arbustes, broussailles, hautes herbes, etc.), et ce sur la totalité du linéaire objet de la VTA, et en particulier au niveau du talus amont.

Le côté val, bien que parfois fortement végétalisé, restait généralement observable quoique encombré par de hautes herbes, à l'exception de certains tronçons situés dans des parcelles privées non accessibles (présence de haies, murs ...).

4.2 Diagnostic visuel

4.2.1 Objectif

Le diagnostic visuel ou VTA permet d'identifier sur les linéaires de digue auscultés les éventuelles anomalies relevant :

- De défaut de protection du talus amont de l'ouvrage,
- De la présence de dégradation des protections du talus amont,
- De modification à priori du profil de digue originel,
- De la présence d'une géométrie de digue « non conventionnelle » (digue très étroite, talus amont ou aval très raides ...),
- De l'existence d'indices d'instabilité (glissement/effondrement, affouillement en pied de l'ouvrage, tassement, fontis, fissuration ...).

Le diagnostic visuel doit permettre d'orienter à la lumière de l'importance et de la récurrence des désordres observés :

- Soit vers des opérations de maintenance courantes et à des travaux ponctuels sur les ouvrages pour remédier aux défauts constatés, lorsque ces derniers sont isolés et/ou de faible ou moyenne importance,
- Soit vers des opérations globales de réfection des digues affectant de manière significative (ou en totalité) la géométrie de l'ouvrage lorsque l'intensité, l'importance et la récurrence des désordres sont très importantes.

Ces VTA ont également pour but de mettre à jour les relevés effectués en 2017 et d'identifier une potentielle cinétique de dégradation des ouvrages d'endiguements.

Pour rappel, les VTA de 2017 avaient débouché sur la proposition et production en 2018 d'un AVP de confortement structurel concernant les digues objet de cette VTA 2020.

4.2.2 Méthodologie

Les relevés visuels ont été effectués à pied en rive droite et en rive gauche depuis les crêtes de digues (piste cyclable, chemin de halage, trottoirs) et depuis le fond de la rivière pour observer le pied de berge invisible depuis le haut de la berge (végétation, surplomb).

Nous avons utilisé pour la localisation des désordres un GPS Trimble TDC100 et une Tablette de terrain équipée d'un système de repérage géoréférencé (RGF 93).

Chacun des 4 tronçons de digue a fait l'objet de fiches de synthèse, données en Annexes techniques, récapitulant :

- Les caractéristiques géométriques moyennes de l'ouvrage (pente talus amont/aval, largeur en crête),
- La présence d'une protection éventuelle sur les talus amont/aval de digue,
- La présence éventuelle d'un revêtement en crête,
- Les différents désordres affectant l'ouvrage, avec une illustration photographique représentative.

Les désordres ont été compilés au sein de la base de données SIRS DIGUE. Les tables de données des différents désordres sont fournies de manière exhaustive en annexes des fiches de synthèse d'observation des désordres (Annexes techniques). Leur localisation est effectuée sur des planches graphiques au 1/1000^{ème} (Annexes graphiques).

4.2.3 Quelques mots sur SIRSDIGUE

SIRS Digue est une base de données conceptuelle permettant la représentation de différentes configurations type d'endiguement le long d'un fleuve/d'une rivière à une échelle de l'ordre du 1/5000^{ème} au 1/10000^{ème}, avec la possibilité de gestion documentaire à une plus grande échelle.

La base permet de saisir de manière évolutive les particularités physiques (géométrie, pente, désordres ...) de différents tronçons d'endiguement qui chemisent un cours d'eau. On pourra se reporter pour plus d'information à la littérature existante sur le sujet.

5 GRANDES TYPOLOGIES DE DESORDRES

5.1 Instabilités côté rivière (talus amont)

On distingue :

A) Les affouillements en pied de berge

Ce type d'instabilité est largement représenté sur la zone d'étude. Elle résulte de la combinaison de plusieurs facteurs :

- D'une part de l'évolution naturelle historique du lit du Borne, qui, en s'incisant, a créé des marches d'érosion importantes, réactivées de manière plus ou moins continues le long du cours d'eau en période

de crues. Elles sont parfois partiellement cicatrisées (reprise de la végétation), mais elles constituent tout autant de point de faiblesses « historiques » dans le pied de l'ouvrage,

- D'autre part, de la dynamique propre du cours d'eau, qui conduit à l'intérieur même du chenal d'écoulement à la création de modifications substantielles du profil en travers d'écoulement, en particulier dans les extrados des rivières et la faveur de perturbations locales (exemple : ruines de l'ancien moulin). Aussi, la présence de bancs de graviers peut largement jouer un rôle de déflecteur, contribuant à des concentrations localisées des écoulements sur certains tronçons et à la formation de fosses d'érosion en pied de berge. Ce dernier est moins fréquent sur le Borne.

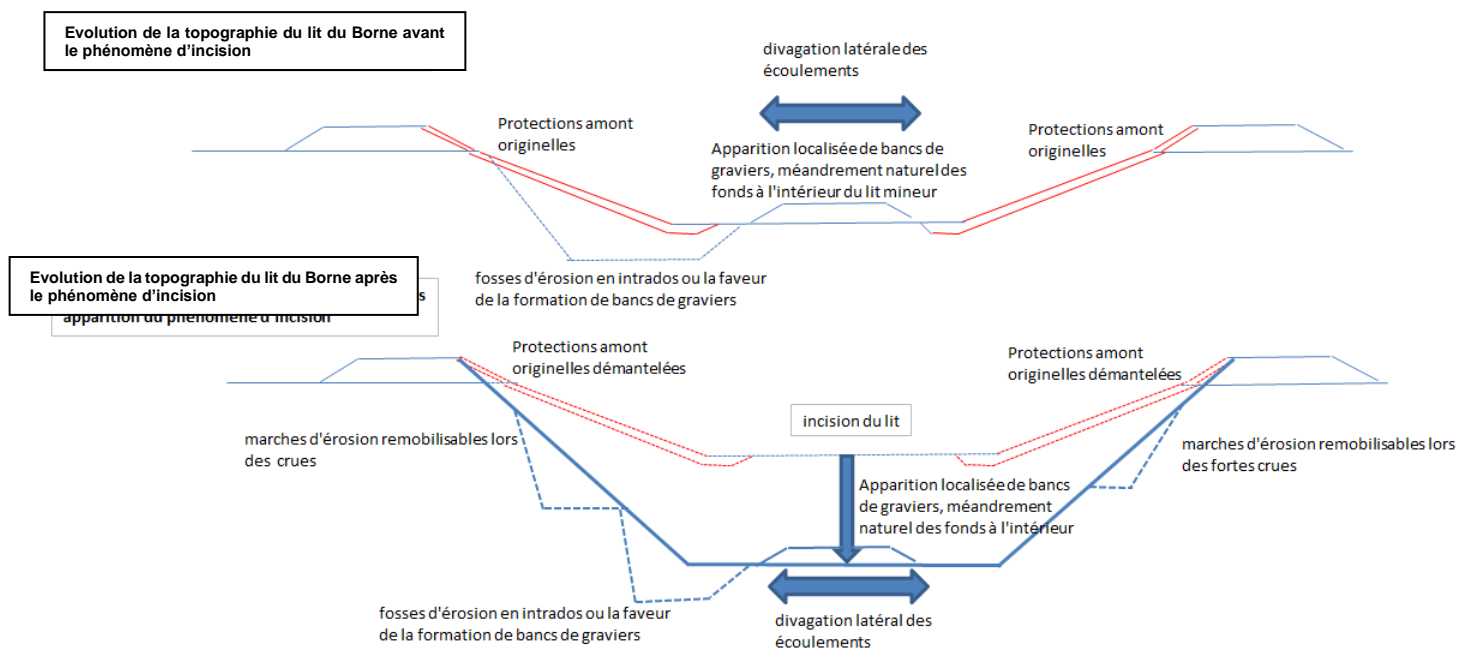


Figure 3 : Fonctionnement du lit du Borne avant et après l'apparition du phénomène d'incision.

Le grignotage et le recul progressif du pied de berge et la proximité des ouvrages de protection contre les crues (absence de ségonnal suffisamment important) ont conduit d'une manière générale, par effet domino, à une érosion notable du talus amont de la plupart des digues rencontrées le long du linéaire d'étude, avec pour conséquence une diminution plus ou moins importante du profil en travers originel.

Une réduction de la section type de la digue induit fatalement une baisse très importante du niveau de sûreté de l'ouvrage, en diminuant les temps de circulation et de percolation de l'ouvrage et en entraînant un risque élevé de mise en charge du talus aval.

B) Les instabilités de masse (effondrement de la berge)

Du fait des évolutions précédemment détaillées suite à l'évolution du lit, les berges/digues sus jacentes (largement perchées) sont particulièrement vulnérables au phénomène d'effondrement de masse au niveau du talus amont, et ce, d'autant plus que la configuration actuelle tend à favoriser les phénomènes de marches d'érosion avec des sous cavages importants (parfois de l'ordre de 1,5 à 2 m). Il a pu être observé notablement sur différents secteurs (Bois Jolivet B et Queue du Borne) l'apparition de sous cavages importants pouvant à terme se traduire par des effondrements localisés englobant berge et digue.

5.2 Présence d'ouvrages traversants

Lors des VTA 2020 il a été repéré la présence des ouvrages traversants suivants :

- Une conduite longeant le tablier du pont de Toisinges et qui traverse la digue RD en partie haute de la digue ;
- Un réseau souterrain débutant à la STEP et débouchant en RD (présente d'un regard correspondant au relevé de la STEP).

La constitution de ces réseaux sera développée dans un rapport spécifique dans le cadre de l'AVP.

Les ouvrages traversants introduisent des discontinuités dans l'ouvrage qui peuvent l'affaiblir ponctuellement vis-à-vis du risque d'érosion interne. En effet, une interface ouvrages / sol imparfaite peut constituer un espace préférentiel pour le développement d'une érosion de conduit le long de la conduite.

Ceci est d'autant plus le cas qu'il ne semble pas que ces ouvrages aient fait l'objet de prescriptions spécifiques vis-à-vis d'éventuels phénomènes d'érosion interne (écran anti-Renard en particulier).

5.3 Modification de la géométrie originelle des ouvrages – talus aval

La perte de section du gabarit initial (raidissement du talus aval par terrassement ou mise en place de petits murets de soutènement) de la digue induit de manière analogue au point 5.1 à une augmentation du risque de glissement du talus aval, par augmentation potentielle des gradients d'écoulement dans le talus aval et une diminution des temps de percolation à travers l'ouvrage lors des crues.

Sur les tronçons étudiés, les digues restent cependant suffisamment larges pour que l'incidence de ces aménagements du talus aval puisse être considérée comme minime.

5.4 Une continuité de protection discutable

Il a pu être constaté ponctuellement que le niveau de protection le long du linéaire objet de l'étude sur le Borne n'était pas toujours continu, et ce en particulier dans le secteur de la STEP, en particulier à la jonction entre la digue du même nom et la digue des Corbières.

5.5 Développement de la végétation arborée et désordres associés

Le diagnostic visuel des digues nous a permis de distinguer cinq types de risques générés par la végétation présente sur ces dernières, correspondant aux modalités de rupture suivantes :

- Le risque d'érosion interne, lié :
 - Au décompactage des matériaux des remblais lors de la croissance des racines ;
 - Au fait que les racines des arbres implantés côté terre, sont susceptibles de traverser les ouvrages en direction de la rivière, à la recherche d'eau ;
 - Aux arbres malades et morts qui accentuent ce risque par la présence de racines en cours de décomposition créant des galeries : après pourrissement de souches ou de racines de diamètre important (> à 3 cm de diamètre dans matériaux cohésifs) avec risque de création de conduits francs ou à perméabilité élevée,
 - A la survenue d'un chablis en crue : l'arrachement d'un arbre situé sur la digue par le vent ou le courant réduit la largeur du remblai et peut induire une réduction du chemin hydraulique dans le remblai, augmentant le gradient hydraulique et donc le risque d'érosion interne.
- Le risque d'érosion externe, lié :
 - A la présence d'arbres ou souches sur le parement côté cours d'eau entraînant une augmentation du risque d'érosion externe par formation de courants tourbillonnaires avec phénomènes d'affouillements ;
 - A la présence d'arbres penchés entraînant un risque d'arrachement par le vent ou le courant, d'une partie du parement côté rivière de la digue non revêtue ou enrochée ;
 - A la déstructuration des revêtements maçonnés (perré et muret en pierre) ou des enrochements par le développement des racines ;
 - Aux dégradations par fissuration ou soulèvement du revêtement bitumineux (ou parfois bétonné) en crête, constituant la piste cyclable. Actuellement les digues ne présentent pas cette problématique car elles ne sont pas revêtues. Toutefois, ce point est conservé en vue des futurs aménagements envisagés sur les digues du linéaire d'étude.
- Le risque d'instabilité en crue, lié :

- A l'arrachement d'un arbre (chablis) situé sur la digue par le vent ou le courant, réduisant la largeur du remblai et pouvant induire :
 - Un glissement de talus du fait de la rupture de pente,
 - Une instabilité d'ensemble du fait de la largeur de digue réduite ;
- A la chute d'un arbre dans le cours d'eau pouvant entraîner la formation d'embâcle et/ou la déviation des courants vers la rive opposée. La perturbation des écoulements en crue peut avoir des conséquences graves allant de l'érosion externe jusqu'à la surverse.
- Le risque d'instabilité à la décrue, lié :
 - Aux racines s'étant développées dans les joints des perrés en pierre, et favorisent les infiltrations en arrière de ces protections rigides, ce qui augmente le poids des matériaux exerçant ainsi une poussée plus importante à la décrue ;
 - Au poids des arbres implantés sur les matériaux gorgés d'eau qui induit une contrainte supplémentaire (surcharge) et peut générer le glissement du talus côté eau, ce phénomène étant aggravé en cas de vent et /ou d'arbres penchés.
- Le risque de surverse est lié :
 - Au renversement d'un arbre mature situé en crête de digue, par le vent ou le courant, susceptible d'emmener un volume de matériaux suffisant pouvant diminuer la largeur de la crête ou induire un point bas ;
 - Au renversement d'un arbre sur un muret de revanche, venant générer un point bas au niveau de la crête de l'ouvrage ;
 - A la formation d'un embâcle suffisamment important (chute simultanée de 2 arbres sur parements de digue opposés) pour perturber les écoulements et induire une surélévation significative du niveau du cours d'eau.

5.6 Actions anthropiques et animales

Les digues objet de la présente étude se situent dans une zone urbaine présentant une densité de population non négligeable ainsi qu'une fréquentation certaine, notamment en période estivale.

Lors des VTA 2020, il a été remarqué la présence de nombreux signes de ravinements et piétinements s'établissant sur l'ensemble de la digue (du côté val jusqu'au lit du Borne) traduisant en partie le passage répété d'animaux et tiers. Ceux-ci se traduisent par une altération de la géométrie des digues (cf. § 5.3).

Aussi, il a été remarqué historiquement sur les rivières fréquentées par des pêcheurs que les enrochements et maçonneries constituant les protections du talus amont des digues pouvaient être utilisées par ces derniers pour constituer des seuils artisanaux favorisant la pêche. Dans notre cas d'étude, des enrochements ont pu être observés dans le lit du Borne mais sont plus vraisemblablement la conséquence d'une déstructuration « naturelle » (érosion longitudinale et végétation).

Enfin, comme décrit précédemment, la structure de digue a pu être altérée côté val pour favoriser la mise en place d'installations anthropiques (maison, candélabres et installations électriques, route, etc.).

En conclusion, le risque de d'altération de la fonctionnalité de l'ouvrage par les tiers reste fort bien que ces ouvrages soient nécessaires pour garantir le maintien des activités anthropiques (STEP, habitations, etc.).

6 DIAGNOSTIC – PLAN D'ACTION

Le système d'endiguement le long du Borne apparaît comme un dispositif de protection ayant mal vieilli du fait :

- Du manque d'entretien d'une manière générale dans le temps,
- De l'évolution rapide du lit du Borne, en particulier son incision,
- De la forte pression anthropique qui a dénaturé le système de protection originel (pied aval rogné, ravinements, etc.).

Le développement de la végétation contribue par ailleurs à largement déstructurer les maçonneries sèches existantes (murs, perrés, gabions) qui bordent le cours d'eau, qui plus est lorsque cette dernière tend à mourir/pourrir, créant de nombreux points de faiblesses dans le talus amont des ouvrages.

6.1 Une incision prononcée – conséquences

Le développement de l'incision est caractérisé de manière récurrente le long du Borne par la présence d'une marche d'érosion plus ou moins continue le long des berges du Borne.

Elle contribue à saper largement l'assise des berges/digues sur le Borne aval sur l'ensemble du linéaire de digues objet de la présente étude.

Lors des crues, les talus amont, dont les protections amont sont vieillissantes et déstructurées, sont mis à nu suite à l'arrachage de la végétation arborée, affaiblie du fait de l'âge ou d'une croissance dans un milieu peu favorable (forte pente...). Les matériaux de berge ainsi mis à nu n'autorisent pas de tels profils d'équilibre compte tenu de leur nature (matériaux pulvérulents sans cohésion : sables, limons, graviers, ...). Il en résulte alors :

- Une érosion externe régressive par ravinement accentuant la pente du talus,
- Dans les cas extrêmes l'apparition de zones d'effondrement / glissement.

La propagation de proche en proche de l'érosion peut conduire au démantèlement quasi systématique des digues sus-jacentes, du fait qu'il n'existe pas de « zone tampon » suffisante (Franc-Bord ou ségonnal) entre la crête de berge et le pied de talus de digue.

Compte tenu des géométries des digues, des aménagements qu'elles ont subies au cours de leur histoire, les fonctions de protection hydrauliques de ces ouvrages ne sont plus totalement assurées sur le linéaire d'étude en période de crue exceptionnelle, et ce principalement en aval du pont de la RD1203 sur la quasi-totalité du linéaire de digues objet de la présente étude, du fait de la relative étroitesse des ouvrages :

- Tronçon Bois Jolivet B,
- Tronçon Toisinges,
- Tronçon STEP sur une grande partie de son linéaire amont,
- Queue du Borne.

6.2 Digues ou pas digues ?

Certaines portions du lit du Borne apparaissent tellement incisées que l'on peut légitimement se poser la question du fonctionnement réel d'une partie des ouvrages en tant que digue.

Seule une modélisation hydraulique associée à une analyse du transport solide permettra de rendre compte de manière objective des conditions de mise en charge actuelle de ces ouvrages. Celle-ci a été réalisée pour des crues différentes et des hypothèses permettant d'intégrer l'influence de l'Arve sur le Borne au niveau de la confluence. L'ensemble de ces éléments ne sont pas rappelés ici mais seront détaillés dans l'AVP de confortement.

Certaines géométries d'ouvrages appellent par ailleurs à questionnement, du fait que leur géométrie s'apparente plus à un cavalier/revanche, de par leur faible dimension et leur nature (merlon étroit, cages de gabions), et non pas à une digue pouvant contenir de manière pérenne une onde de crue.

On pense plus particulièrement au secteur aval de la Queue du Borne au droit de la prison.

7 CLASSIFICATION – HIERARCHISATION DES DESORDRES

7.1 Définition du niveau de vulnérabilité des tronçons

On distinguera la gestion courante et la gestion plus structurelle, et ce, en tenant compte des 2 catégories suivantes de digue, selon le niveau de risque induit par les différents désordres et la végétation observée, et ce sans prise en compte des conditions de mise en charge réelle des ouvrages (en fonction des

modélisations hydrauliques et critères de revanches, les priorisations du plan d'action pourront être réactualisées) :

1. Les digues en remblai de dimensions moyennes en léger retrait du cours d'eau, présentant généralement une largeur de crête de quelques mètres (2 m à 5 m), d'une hauteur supérieure à 1.5 m, sont un peu moins vulnérables. Cependant :
 - o Leur état de boisement important et notamment la fréquence des implantations symétriques des arbres coté terre et côté rivière, rendent la probabilité de traversée des racines - de part de part de l'ouvrage – critique,
 - o Elles présentent généralement d'importants phénomènes d'érosion en pied, et le développement de la végétation contribue à fragiliser le dispositif de protection amont,

Sont considérés dans ce cas :

- o Bois Jolivet B,
 - o Toisinges,
 - o STEP,
 - o Amont Queue du Borne (jusqu'au niveau de la prison).
2. Les digues larges (largeur supérieure à 10 m) et/ou de faibles hauteurs sont bien moins vulnérables d'un point de vue de la sécurité hydraulique mais pas forcément des usagers l'empruntant en crête (risque d'effondrement).

Est concerné dans ce cas : Aval Queue du Borne (prison et en aval).

Les niveaux de vulnérabilités sont résumés dans le tableau du paragraphe 7.2.

7.2 Hiérarchisation des désordres

Le tableau ci-après récapitule l'importance des différentes typologies de désordres par tronçon et une appréciation globale de l'état de vulnérabilité des ouvrages à l'échelle d'un tronçon tandis que chaque désordre fait l'objet d'une cotation d'urgence spécifique suivant la classification de France Digue dans le SIRS Digue.

Cette cotation de vulnérabilité est uniquement basée sur une approche visuelle. Le croisement des constats visuels avec les autres données d'entrée (charges hydrauliques réelles des ouvrages, revanches retenues, contraintes foncières, etc.) devrait permettre d'affiner le diagnostic en détaillant les actions à mener sur des sous-tronçons.

On distingue :

- +++ : désordre très important
- ++ : désordre moyen
- + : désordre faible
- : absence de désordres significatifs

La note de l'état de Vulnérabilité est basée sur une note de 5 :

- 1 : aléa de rupture très faible
- 2 : aléa de rupture faible
- 3 : aléa de rupture moyen
- 4 : aléa de rupture élevé
- 5 : aléa de rupture très élevé

Les résultats de cette analyse sont récapitulés dans le tableau d'analyse ci-après :

		Typologie de désordre					Niveau de vulnérabilité
		Instabilités talus amont	Ouvrages traversants	Végétation	Défaut de continuité de protection hydraulique	Modification géométrie du talus aval	
Borne aval RD	Bois Jolivet B	++	++ (ruine moulin et maison encastrée)	+++	-	++ (mur soutènement, rétrécissements pour ligne électrique)	4
	Queue du Borne (amont)	++	+	+++	-	-	3
	Queue du Borne (aval)	++	+	+++	++ (difficulté à savoir où se finit la digue au niveau de la confluence ; discontinuité entre la protection par des gabions déstructurés et le perré)	-	4
Borne aval RG	Toisinges	++	+	+++	-	+	4
	STEP (amont)	++	+	+++	-	-	4
	STEP (aval)	++	+	+++	++ (altimétrie chahutée, points bas)	-	4

Tableau 1 : Hiérarchisation de l'état de fragilité des endiguements.

8 PLAN D'ACTION

8.1 Suppression des points de débordements

Il convient rapidement d'homogénéiser les altitudes des crêtes de digue, et ce en particulier dans le secteur STEP et à sa jonction avec la digue de Corbières ainsi qu'à l'extrémité du tronçon de la Queue du Borne en lien avec les résultats du modèle hydraulique.

8.2 Travaux de restauration globaux

L'importance, l'extension et la forte récurrence des désordres le long des tronçons de digue étudiés conduisent d'une manière générale à envisager des travaux de réfection lourde, impliquant un démantèlement partiel ou total des ouvrages existant, puis leur reconstruction.

L'objectif des confortements est de :

- Limiter le développement des instabilités des berges/talus amont existantes si la charge sur l'endiguement est significative,
- Assurer la sûreté hydraulique vis-à-vis des risques de surverse et d'érosion interne,
- Rectifier de manière draconienne le développement anarchique de la végétation arborée sur les ouvrages.

Sur les tronçons suivants (soit la quasi-totalité du linéaire d'étude) :

- Bois Jolivet B,
- Toisinges,
- STEP,
- Amont queue du Borne,

De manière générale, la méthodologie de confortement sera adaptée aux contraintes de site (désordres, végétation, emprise foncière, etc.), aux structures (géotechniques, charge hydraulique, etc.) et aux critères de protection imposées. A ce stade, il est envisagé de réaliser un confortement suivant les solutions suivantes :

- Un travail préférentiel par rectification du profil en travers du Borne, tout en conservant une largeur en fond de rivière à minima équivalente à la configuration actuelle et en conservant si possible le cordon rivulaire existant. Les talus côté rivière pourront être adoucis et protégés par des protections en enrochements libres et/ou des matelas gabions et des techniques mixtes selon les vitesses des écoulements et les zones de talus à traiter.
- Un recul des digues existantes pourra être proposé sur certains tronçons, ce qui demandera dans ce cas de présenter une emprise foncière suffisante à l'arrière des ouvrages actuels.
- Un confortement interne dans les ouvrages existants (type écran mince, ou palplanches, paroi, muret, etc.). Cette solution reste hypothétique et soumise à étude approfondie (phase AVP) du fait de la nature interne des ouvrages (blocs, végétation, ...) ou des conditions de mise en œuvre difficilement adaptées aux ouvrages de cette géométrie (étroitesse, accès restreints, etc.).

L'AVP aura pour objectif de présenter, sur la base d'hypothèses à définir (cote de protection et cote de danger notamment) des solutions de confortement adaptées aux problématiques rencontrées et d'en définir les aspects techniques ainsi qu'en estimer les coûts associés.

Ce projet pourrait nécessiter un volume conséquent de matériaux de remblai, selon les possibilités de réemploi des déblais générés lors des terrassements. Il conviendra d'étudier finement le mouvement des terres, et si nécessaire définir d'éventuelles zones d'emprunts.

8.3 Entretien courant des ouvrages

Les digues objet de cette étude présentent un état de dégradation avancé, notamment au niveau des protections de berge existantes le long des cours d'eau, expliqué en grande partie par l'hydraulicité du cours d'eau et la présence d'une végétation actuelle abondante.

De manière à ralentir la cinétique de dégradation des ouvrages vis-à-vis du phénomène d'érosion externe du talus amont, il est nécessaire de conserver et maintenir la fonctionnalité de protection et/ou de soutènement de la protection de berge. Dans ce sens, il est nécessaire d'engager des travaux de restauration des anciens parements de maçonnerie (murs, perrés) le long de la confluence Arve – Borne sur les tronçons non visés par une démolition/reconstruction de digue partielle et/ou totale. Dans l'autre cas, la restauration de la protection de berge sera intégrée au design de la nouvelle digue.

Aussi, afin de ne pas aggraver la dégradation de la digue et augmenter les risques associés (érosion externe, érosion interne, etc.), il est nécessaire de mettre en place un entretien courant et régulier des ouvrages.

Il conviendra notamment de :

- Surveiller/réparer les traces/impacts éventuels liés au passage d'animaux sauvages et de tiers,
- Reprendre si nécessaire les portions de talus ravinées ou affouillées (enherbement ...),
- Contenir dans la mesure du possible le développement d'essences arborées en pied et sur les talus de digue, côté amont et aval,
- Maintenir régulièrement la végétation à un niveau compatible avec la surveillance des ouvrages via la production d'un plan de gestion raisonnée de la végétation.

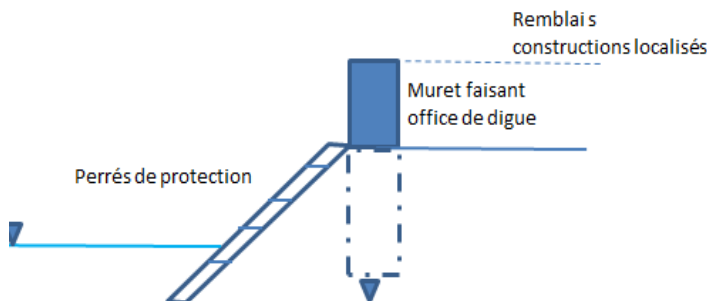
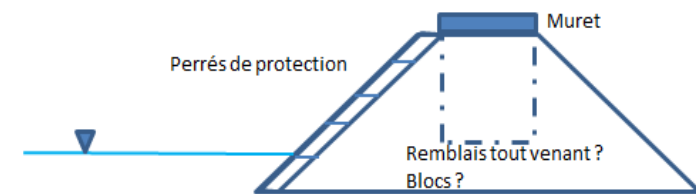
Ces points seront également développés dans l'AVP.

A – Plan de localisation des systèmes d'endiguement

Voir dossier associé

B – Typologie interprétative et schématique des profils originels des ouvrages de protections hydrauliques rencontrés le long du Borne

TYPOLOGIE INTERPRETATIVE ET SCHEMATIQUE DES PROFILS ORIGINELS DES OUVRAGES DE PROTECTION HYDRAULIQUES RENCONTRES LE LONG DU BORNE



C – Cartes de définition des structures de digues

Voir dossier associé

D – Cartes de localisation des désordres et observations ponctuelles réalisées lors de la VTA 2020

Voir dossier associé

L'énergie au cœur des territoires

2 rue André Bonin
69316 LYON CEDEX 04 - FRANCE
Tél. : +33 (0) 472 00 69 69

cnr.tm.fr

L'énergie est notre avenir, économisons-la !

