

Digues longitudinales le long des cours d'eau

Un guide pour la pratique



hydrosuisse

Commission pour la protection contre les crues
(CIPC)

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Mentions légales

Mandant	Confédération suisse Office fédéral de l'environnement OFEV Département de la prévention des risques 3003 Berne		
Mandataire	hydrosuisse Rütistrasse 3a 5400 Baden		
Groupe de travail Dignes longi- tudinales :	CIPC	Dieter Müller (direction de projet) Jürg Speerli	
	OFEV	Christian Holzgang	
	Planificateur	Peter Billeter (IUB Engineering AG)	
Comité d'évaluation Dignes lon- gitudinales :	Adrian Schertenleib (OFEV) Rocco Panduri (STK/AXPO) Amin Askarinejad (BFE) David Vetsch (VAW-ETHZ) Daniel Dietsche (directeur des travaux du Rhin) /Thomas Gasser (entreprise rhénane) Tim Wepf (canton TG) Ralph Jud, Markus Jud (ingénieurs Linth) Silvio Moser (canton d'AG) Hansjörg Vogt (tragweite AG vogt ingenieure) Falk Korten Hof (LTV Saxe, Allemagne) Fredy Elber (AquaPlus) Rudi Pesch, Philipp Teyssere (VS)		
Remarque	Cette étude a été réalisée à la demande de l'OFEV. Le mandataire est seul responsable du contenu.		

Liste des modifications

Ver- sion	Date	Modifications	Créé	Vérifié	Libéré
1.00	24.04.2025		D. Müller		D. Müller
1.10	02.07.2025	Ajustement Impressum	S. Lanz		D. Müller
1.11	27.06.2025	Traduction	KI J.P. Jordan		D. Müller
1.20	26.11.2025	Correction de textes	S. Lanz		D. Müller

Photo de couverture : Dignes longitudinales sur le Rhin alpin (Jürg Speerli)

Préface

Les quelque 65'500 km de cours d'eau que compte la Suisse se caractérisent sur plusieurs secteurs par des digues longitudinales le long des rives. Beaucoup de ces ouvrages techniques remontent au 18e siècle et servent en premier lieu à la protection contre les crues, contribuant ainsi au développement économique de la Suisse.

Un nombre non négligeable de ces ouvrages de protection ont donc atteint un âge considérable et présentent des déficits dépendants de leur entretien. Lors de la recherche de mesures futures, la question se pose de savoir si les digues longitudinales remplissent encore leur fonction initiale et comment les exigences actuelles relatives notamment à la sécurité, à l'écologie et à la socio-économie peuvent être mises en œuvre. Certaines inondations survenues au cours des dernières décennies ont montré qu'une défaillance des digues longitudinales pouvait entraîner des dommages considérables. Avec l'approche de la gestion intégrale des risques, l'accent n'est plus mis aujourd'hui sur les mesures purement de construction, mais sur une combinaison optimale de mesures d'aménagement du territoire, d'organisation, de technique et de génie biologique. Aujourd'hui, les digues longitudinales doivent non seulement répondre à des exigences plus élevées en matière de sécurité et d'utilisation, mais aussi résister à la surcharge pendant toute leur durée de vie et permettre des adaptations au changement climatique.

Les digues longitudinales, qui servent à la protection contre les inondations, ne sont guère réglementées, malgré leur grande importance socio-économique, et il manque ici des recommandations pour une mise en œuvre uniforme. Le présent guide, élaboré par la Commission pour la protection contre les crues (CIPC) de l'hydrosuisse par le biais d'un groupe de travail et de répondants et financé par l'Office fédéral de l'environnement, permet de traiter les questions récurrentes liées à l'exécution, à la gestion intégrale des risques et au cycle de vie complet de ces ouvrages de protection.

Signalons toutefois qu'une nouvelle aide à l'exécution "Planification de projets d'aménagement de cours d'eau", qui remplacera le guide "Protection contre les crues des cours d'eau" de 2001, est en cours d'élaboration. Il est donc fort probable que des modifications soient apportées à ce guide après sa publication.

Nous espérons que ce guide sur les digues longitudinales le long des cours d'eau constituera un outil important pour les planificateurs, les collaborateurs de l'administration, les propriétaires d'ouvrages compétents et les entreprises exécutantes.

Dieter Müller

Président de la CIPC de l'hydrosuisse

Résumé

Les digues longitudinales doivent être entretenues et surveillées au même titre que les autres ouvrages. En Suisse, certaines de ces digues longitudinales sont arrivées en fin de vie et doivent être assainies, voire remises en état. Dans le cadre de projets de protection contre les crues et de revitalisation, il peut s'avérer nécessaire et/ou judicieux de remplacer certaines digues, ce qui implique la planification et la réalisation de nouvelles digues. Dans ce contexte, les spécialistes des bureaux d'ingénieurs et de l'administration doivent faire face à de multiples tâches et questions. C'est là qu'intervient le présent guide, qui contient un condensé des connaissances actuelles en rapport avec les digues longitudinales et met à la disposition du lecteur intéressé les informations nécessaires pour résoudre ces tâches et ces questions.

Le guide adopte une approche globale de la représentation de la problématique des digues longitudinales. Sur la base de la gestion du cycle de vie et par rapport à la gestion intégrale des risques, le thème des digues longitudinales est mis en lumière dans les chapitres consacrés aux différentes phases de construction. Les thèmes abordés ne sont pas seulement techniques, mais aussi écologiques et économiques. Les chapitres permettent de tirer les conclusions suivantes sur les différentes phases:

Lors de "l'analyse et de la formulation des besoins", il faut tenir compte du fait que les digues longitudinales ne servent pas uniquement à la protection contre les crues, mais présentent de nombreuses autres interfaces. Les besoins influencent et sont influencés par des domaines tels que leur utilisation, l'écologie, le paysage et l'aménagement du territoire. Ces multiples interactions doivent être prises en compte afin de garantir une planification globale et durable.

Le chapitre "Concept et faisabilité" souligne l'importance de définir les objectifs du projet à un stade précoce qui va constituer la base de la planification ultérieure. Les premières réflexions sur le concept de protection et la sécurité du système doivent être menées afin de réduire les risques. De plus, la faisabilité est assurée par l'examen de différentes variantes afin de trouver la solution optimale.

La phase "planification et autorisation" permet de préciser les bases de dimensionnement afin de créer une base solide pour la réalisation. Une étude approfondie du sol de fondation ainsi que des scénarios de défaillance possibles de l'ouvrage est nécessaire pour identifier rapidement les risques de l'ouvrage. De plus, l'utilisation autorisée de la digue doit être définie afin de garantir la fonctionnalité et la sécurité de l'exploitation.

Enfin, des dispositions claires doivent être établies pour la "gestion et l'entretien" de la digue longitudinale. Une gestion consciente de la végétation et du peuplement forestier est décisive pour assurer la stabilité. En outre, il convient d'élaborer des bases d'intervention en cas d'événement. Tous ces aspects doivent être pris en compte et coordonnés dès la phase de planification afin de garantir la sécurité et la fonctionnalité à long terme.

Le guide se base sur l'expérience des auteurs dans la planification et la construction des digues longitudinales, le long de cours d'eau en Suisse, qui se sont avérés particulièrement pertinents. Ces recommandations ont fait l'objet de discussions intensives avec des experts des administrations cantonales et fédérales, des chercheurs, des exploitants de centrales électriques ainsi que des bureaux d'études. Les échanges avec ces professionnels ont permis de développer des recommandations pratiques. Ces recommandations sont complétées par des exemples concrets qui reprennent différents éléments des phases mentionnées (planification, réalisation, exploitation et maintenance). Ceux-ci illustrent l'application des principes et montrent comment les défis de la planification ont été surmontés avec succès. En outre, le guide se réfère à des ouvrages nationaux et internationaux adéquats qui fournissent des informations complémentaires sur des thèmes spécifiques.

Contenu

1	Introduction	7
2	Définition et délimitation	9
3	Les digues longitudinales, partie intégrante de la gestion intégrale des risques	11
4	Gestion du cycle de vie	13
5	Constatation de la nécessité d'agir et options d'action	15
6	Phase (I) : analyse et formulation des besoins	16
6.1	Introduction	16
6.2	Objectifs et produits	16
6.3	Points essentiels	16
6.3.1	Principes de base	16
6.3.2	Compétences	17
6.3.3	Définition du projet, délimitation du système, interfaces	17
6.3.4	Objectifs du projet	18
6.3.5	Enquête de base	20
6.3.6	Choix de la solution	21
6.4	Exemples	21
7	Phase (II) : Concept et faisabilité	22
7.1	Introduction	22
7.2	Objectifs et produits	22
7.3	Points essentiels	22
7.3.1	Accord sur les objectifs du projet	22
7.3.2	Concept de protection	23
7.3.3	Sécurité du système	24
7.3.4	Étude de faisabilité	26
7.3.5	Étude de variantes	26
7.3.6	Choix de la variante	27
7.4	Exemples	27
8	Phase (III) : Planification et autorisation	28
8.1	Introduction	28
8.2	Objectifs et produits	28
8.3	Points essentiels	29
8.3.1	Bases de calcul	29
8.3.2	Crue de dimensionnement, cas de surcharge et revanche	29
8.3.3	Terrain et matériaux de construction	30

8.3.4	Mécanismes de défaillance	30
8.3.5	Dimensionnement des digues / cas de charge	32
8.3.6	Construction géotechnique de la digue	36
8.3.7	Utilisation et gestion	39
8.3.8	Végétation, peuplement forestier et animaux fouisseurs	40
8.4	Exemples	41
9	Phase (IV) : acquisition et réalisation	43
9.1	Introduction	43
9.2	Objectifs et produits	43
9.3	Points essentiels	43
9.3.1	Soumission	43
9.3.2	Contrôle de la qualité de l'exécution	44
9.4	Exemple	45
10	Phase (V) : Exploitation et entretien	46
10.1	Introduction	46
10.2	Objectifs et produits	46
10.3	Points essentiels	46
10.3.1	Utilisation et gestion	46
10.3.2	Entretien	47
10.3.3	Végétation, peuplement forestier et animaux fouisseurs	48
10.3.4	Surveillance	49
10.3.5	Planification d'urgence et intervention en cas d'événement	49
10.4	Exemples	52
11	Bibliographie	53
12	Annexe A : Exemples de projets	55
13	Annexe B : Bibliographie complémentaire	96

1 Introduction

Les quelque 65'500 km de cours d'eau que compte la Suisse se caractérisent sur plusieurs secteurs par des digues longitudinales le long des rives. Les grands cours d'eau suisses (Figure 1-1-1) sont aménagés sur environ 49 % avec des digues (VAW. 2018). Ces digues ont des fonctions différentes. Certains servent à la protection contre les crues, d'autres permettent l'exploitation de l'énergie hydraulique et servent à retenir les eaux des centrales hydroélectriques. Les digues de protection contre les crues et les barrages de retenue ont donc, à leur manière, une pertinence socio-économique. Comme le montrent les événements passés, une défaillance des digues longitudinales peut entraîner des dommages considérables.

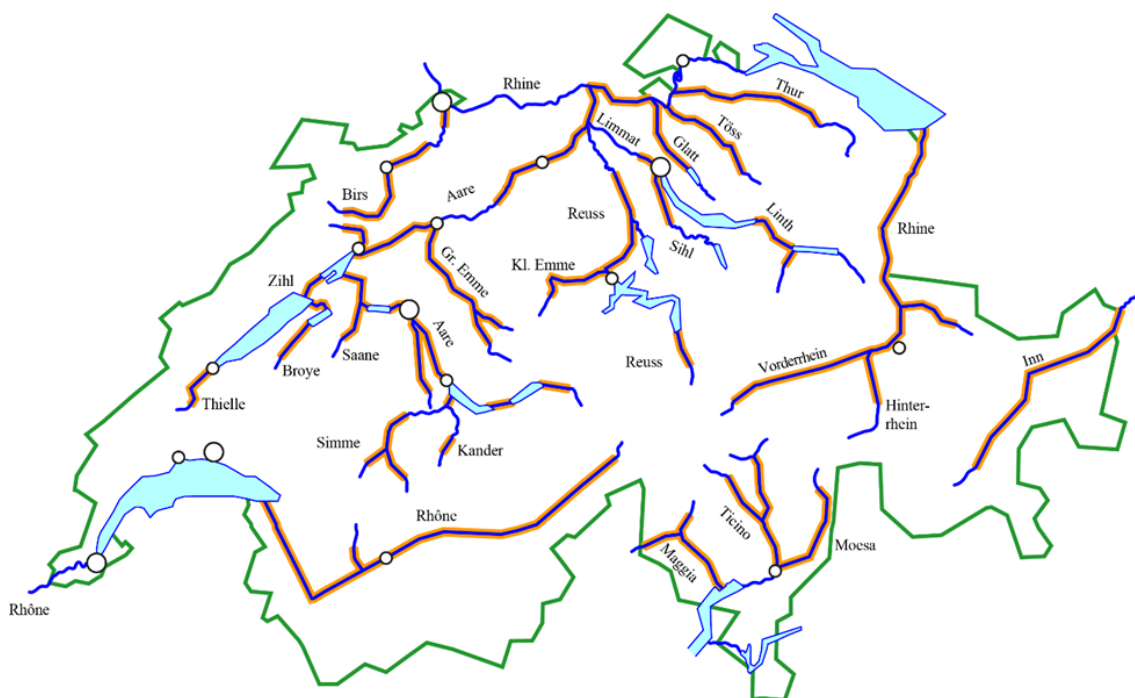


Figure 1-1 Corrections fluviales en Suisse aux 18e et 19e siècles, corrections fluviales d'ampleur marquées en orange (tiré de VAW. 2018). Environ 49 % de ces rivières présentent des digues longitudinales.

Les barrages qui servent à l'exploitation et à la retenue des centrales hydroélectriques sont réglementées par les directives de sécurité de la législation sur les barrages. Il en va autrement des digues longitudinales destinées à protéger contre les crues. Malgré leur grande importance socio-économique, il manque ici de recommandations pour une mise en œuvre uniforme. L'OFEV s'efforce d'élaborer des outils d'aide à la gestion des digues longitudinales, à l'instar des directives déjà existantes sur la gestion des barrages de retenue (OFEN).

Des bases ont été élaborées à ce sujet dans une phase précédente par une contribution de la Suisse dans le rapport d'un groupe de travail de l'ICOLD (VAW, 2018). On y trouve une vue d'ensemble des mesures de protection contre les crues avec des digues longitudinales et on y montre la pertinence des digues longitudinales pour la protection de la population et des infrastructures.

Dans une phase ultérieure, le consortium IUB Engineering AG et Niederer + Pozzi Umwelt AG a rédigé, avec le soutien d'un groupe de travail composé de représentants de l'OFEV, de la CIPC, des cantons, de l'OFEN, des exploitants de centrales électriques, des hautes écoles et de Swiss-dams, un rapport intitulé "Digues longitudinales - Bases de délimitation et interfaces, 21.12.2021"

(non publié). Il a été rédigé en vue d'évaluer et de concevoir un outil de travail sur la gestion des digues longitudinales.

Dans une phase ultérieure, l'OFEV a chargé l'hydrosuisse, représentée par la Commission pour la protection contre les crues, l'aménagement des cours d'eau et leur entretien (CIPC), d'élaborer une base pour les digues longitudinales de protection contre les crues et de combler ainsi une lacune dans la prévention des dangers liés aux cours d'eau.

Le présent guide permet de traiter les questions récurrentes liées à l'exécution, à la gestion intégrale des risques et à l'ensemble du cycle de vie de ces ouvrages de protection. Les défis du cycle de vie sont ainsi présentés dans les différentes phases. Aujourd'hui, les digues longitudinales ont souvent des fonctions multiples à remplir. Cela signifie qu'en plus de leur fonction primaire de protection, ils constituent aussi des éléments du paysage ainsi que des espaces de vie pour la flore, la faune et l'homme. Le présent document fixe des priorités techniques tant pour les digues longitudinales existantes que pour les nouvelles digues, mais il ne doit pas être considéré comme exhaustif. Les thèmes généraux de la protection contre les crues ne sont présentés que lorsque des aspects spécifiques relatifs aux digues longitudinales doivent être décrits.

Des recommandations sur la manière de traiter les digues des petits barrages ont en outre été élaborées dans la publication spécialisée "Petits barrages" (STK. 2025).

2 Définition et délimitation

Sont considérées comme digues longitudinales au sens de digues de protection contre les crues, les constructions de protection le long de cours d'eau naturels ou artificiels. Il s'agit également des digues en cas d'élargissement. A la différence des barrages de retenue (digues sur les ouvrages de retenue), ces digues ne sont fonctionnelles qu'en cas de crue et donc pas en permanence ; la charge hydraulique maximale se produit rarement, selon la conception et la sécurité recherchée.

Dans le cas des digues fluviales, il convient de faire la distinction entre les retenues longitudinales destinées à la protection contre les crues (appelés digues longitudinales dans le présent document) et les barrages destinés à la rétention d'eau pour l'exploitation hydroélectrique, car ces types d'installations sont souvent associées. Une telle délimitation doit être conforme à la pratique de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

Dans la directive sur la sécurité des ouvrages d'accumulation, partie A (OFEN, 2015), l'OFEN procède à une délimitation telle qu'elle est présentée dans la Figure 2-1-1 ci-dessous. La délimitation entre les digues de protection contre les crues et les digues de retenue est définie par l'intersection géométrique du niveau d'étiage (de l'affluent Q_{347}) et de l'horizontale située 1 m au-dessus du niveau de retenue de la retenue. S'il existe des digues longitudinales au niveau des barrages et des bassins de rétention des crues qui ne sont pas soumis à l'OPAM, cette délimitation s'applique également.

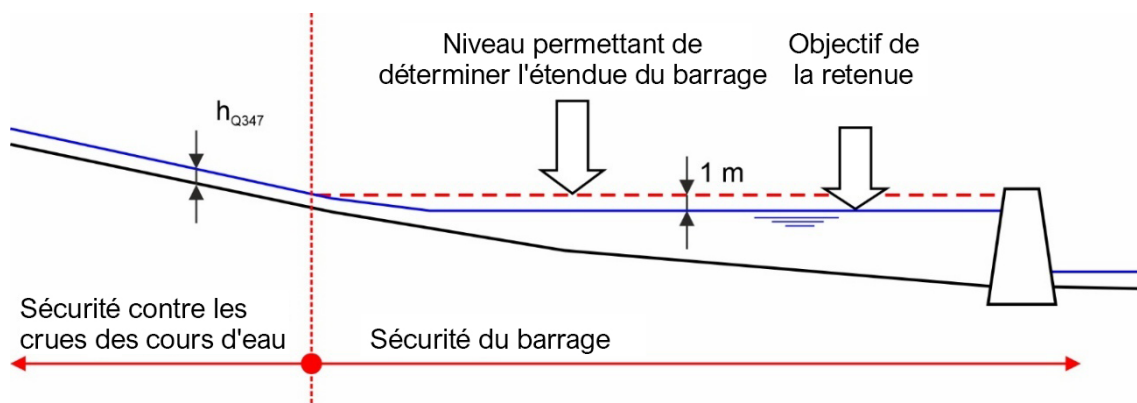


Figure 2-1 Délimitation des barrages selon l'OFEN (OFEN, 2015, Directive sur la sécurité des ouvrages d'accumulation. Partie A, Généralités, Fig. A13, modifié).

Les digues longitudinales pour la protection contre les crues des cours d'eau sont décrites par des profils en long et des profils en travers. Les termes et désignations importants sont définis dans le profil en travers de la Figure 2-2. Celle-ci présente des variantes d'exécution possibles réunies en une seule image. Selon les conditions locales (grandes/moyennes/petites digues), il n'est éventuellement pas nécessaire de prévoir un lit majeur et des bermes côté eau ou côté plaine. La piste d'intervention peut se situer aussi bien sur une berme, dans la plaine ou en sommet de digue.

Ce guide concerne les digues longitudinales existantes et nouvelles sur les cours d'eau qui, en cas de défaillance, entraînent un danger important. Ce risque doit donc être évalué au cas par cas (voir chapitre 8). La hauteur effective de la digue au-dessus du terrain et la pente côté plaine ne doivent donc pas constituer un critère absolu. Pour les ruisseaux et rivières de montagne présentant des pentes importantes, d'autres aspects doivent être pris en compte le cas échéant (sécurité des talus, profondeur des affouillements, vitesses d'écoulement, etc.).

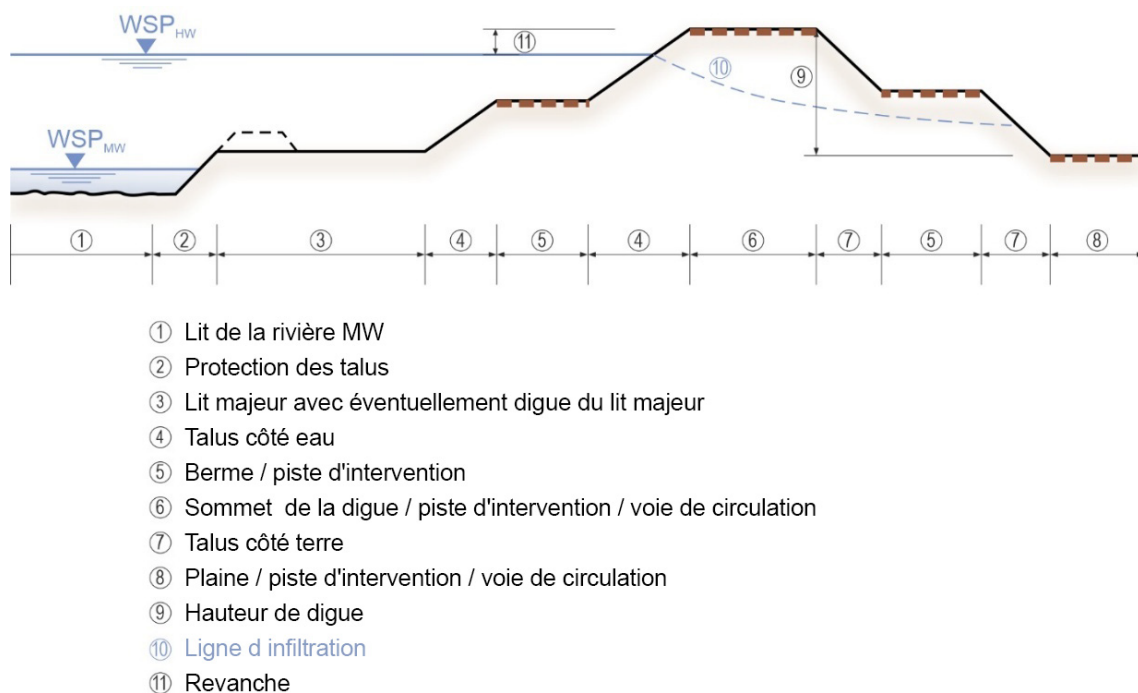


Figure 2-2 Désignations à l'exemple d'une grande digue longitudinale.

Il convient en outre de noter que, selon la situation topographique, des digues de protection disposées transversalement peuvent également avoir la fonction d'une digue longitudinale.

Figure 2-3 montre une telle situation, où la digue transversale au cours d'eau assure la protection de la zone d'habitation.

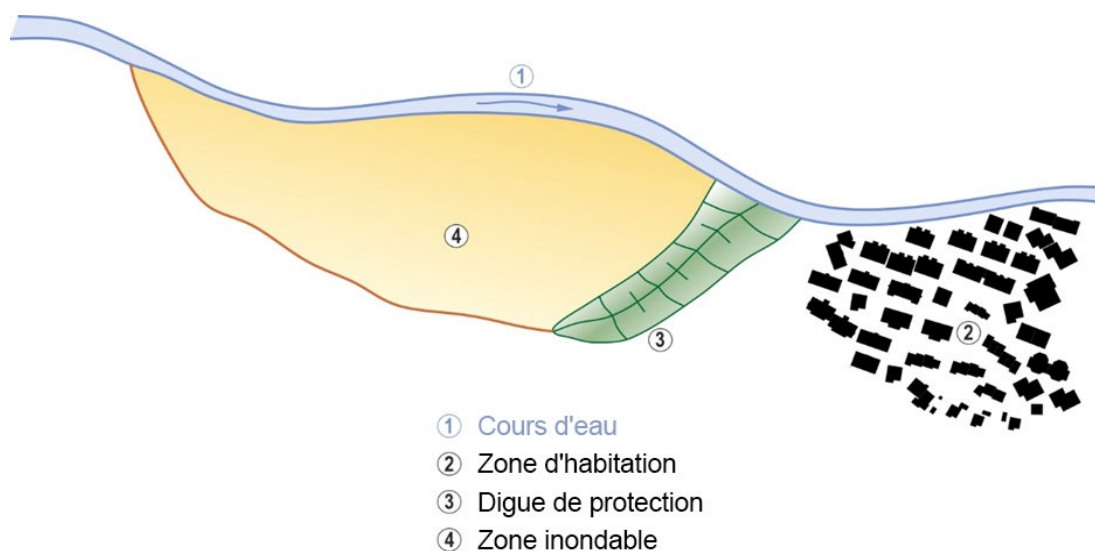


Figure 2-3 Digue de protection ayant la fonction d'une digue longitudinale.

3 Les digues longitudinales, partie intégrante de la gestion intégrale des risques

La gestion intégrale des risques (GIR) est l'ensemble des mesures et des méthodes permettant de créer et de maintenir à long terme le niveau de sécurité visé. Il comprend le recensement et l'évaluation périodiques des risques par rapport à leur acceptabilité. Le recensement et l'évaluation des risques permettent de déterminer les actions nécessaires et les priorités. L'évolution des risques est gérée par des mesures appropriées, de manière à ce que les risques futurs restent dans des limites acceptables, que les risques existants soient réduits à un niveau supportable et que les risques restants soient assumés solidairement.

La gestion intégrale des risques (Figure 3-1) exige des mesures qui sont écologiquement acceptables, socialement compatibles et économiquement proportionnées et qui permettent donc d'atteindre et de maintenir une sécurité appropriée.



Figure 3-1 Gestion intégrale des risques (source : PLANAT.2013).

Les mesures de gestion des risques sont multiples et doivent être combinées de manière optimale. De nombreux cours d'eau en Suisse ont été corrigés dans le passé, aménagés au moyen de mesures de protection des berges et souvent limités par des digues longitudinales. Les digues longitudinales le long des cours d'eau constituent une approche possible pour atteindre la sécurité voulue et pour limiter les risques à un niveau supportable. Dans l'optique d'une gestion intégrale des risques, les questions "Que peut-il se passer ?", "Que doit-il se passer ?" et "Que faut-il faire ?" doivent être posées non seulement pour les nouvelles constructions, mais aussi et surtout pour les constructions existantes.

Que peut-il se passer ?

Les risques doivent être répertoriés. Cela exige de considérer tous les processus qui interviennent, y compris tous les manifestations possibles. Le comportement de l'ouvrage en fait également partie. L'essentiel est d'évaluer les différents scénarios en termes de sécurité structurale et d'aptitude au service de la digue longitudinale. De cette manière, on détermine à partir de quand et comment la fonction de la digue n'est plus remplie ou la sécurité structurale n'est plus garantie et des dommages peuvent apparaître côté plaine. Ces derniers doivent être systématiquement estimés pour différents biens à protéger afin de déterminer les risques qui en résultent. Comme tant la fonction que la sécurité structurale peuvent être modifiées par l'âge de l'ouvrage, les bases doivent être régulièrement actualisées et les risques redéfinis en conséquence. D'autres explications sont données notamment au chapitre 5.

Que doit-il se passer ?

Sur la base des risques recensés, il convient de décider avec les responsables et les porteurs de risques dans quelle mesure la situation de risque est supportable ou non. Par exemple, il peut être pertinent de se demander si les conditions géotechniques/la défaillance de la digue longitudinale sont acceptables par rapport aux risques prévisibles, côté terre, ou si d'éventuelles mesures de renforcement sont nécessaires. D'autres explications sont notamment décrites aux chapitres 5 et 6.

Que faut-il faire ?

L'effet protecteur des digues longitudinales est en principe limité. D'autres mesures sont donc toujours nécessaires. Et ce, de différentes manières, que ce soit dans le bassin versant, dans la gestion lors des événements, le rétablissement ou la prévention, après ou avant ceux-ci. Par exemple, l'intervention pendant un événement (p. ex. sur la digue elle-même ou dans la plaine) ou l'entretien, la remise en état et le renforcement des ouvrages ont également leur importance dans la gestion intégrale des risques. D'autres explications sont notamment décrites aux chapitres 6 à 10.

Un examen plus approfondi des aspects de la gestion intégrale des risques est présenté dans les chapitres suivants.

4 Gestion du cycle de vie

Les digues longitudinales le long des cours d'eau sont des ouvrages de protection qui ont été, ou seront construites, pour une durée de vie correspondant à plusieurs générations. Elles font partie d'un système de protection. Leur capacité fonctionnelle doit être maintenue à long terme, même si l'on sait que l'état des digues longitudinales peut évoluer avec l'âge. Que ce soit parce qu'il y a par exemple des tassements ou des érosions de berges. Il est donc impératif de considérer l'ensemble de la durée de vie (Figure 4-1). L'axe des y de la Figure 4-1 indique la fonctionnalité en termes de sécurité contre les inondations et l'axe des x le temps. Lorsque l'état critique est atteint (point rouge à gauche), des mesures doivent impérativement être prises sur l'ouvrage de protection existant. Après des inondations, il peut s'agir de mesures immédiates (SOMA). La durée de vie effective visée doit cependant être de quelques décennies et elle peut être prolongée grâce à un renforcement ou à une reconstruction des digues ainsi qu'un entretien régulier. Si l'on atteint l'état critique (point rouge à droite), le cycle recommence. Une solution durable implique donc une approche transdisciplinaire, si possible sur l'ensemble du cycle de vie.

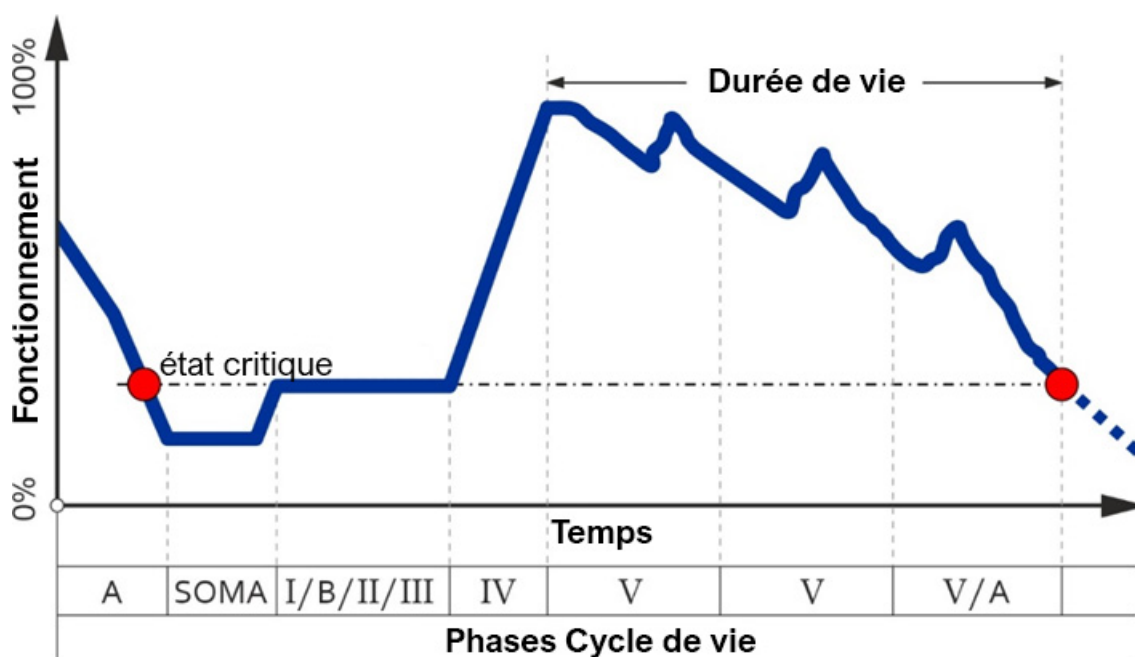


Figure 4-1 modèle de cycle de vie des digues longitudinales (pas à l'échelle) : des mesures immédiates (SOMA) permettent de stabiliser à court terme des états critiques. Mais pour augmenter la capacité fonctionnelle des digues longitudinales, il faut ensuite lancer les phases I à III et mettre en œuvre la phase IV (explication des phases, voir fig. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.), qui comprend des mesures telles que le renforcement ou la construction d'un nouvel ouvrage de protection. (modifié par OFEV. 2022a, fig. 7)

En s'appuyant sur le principe de l'ingénierie des systèmes dans la "Gestion des systèmes de protection vieillissants dans les torrents" (OFEV. 2022a) ainsi que sur les modèles de prestations de la SIA, un concept adapté a été élaboré pour les digues longitudinales (Fig. 4-2). Les phases (I) à (V) représentent le cycle de vie des digues longitudinales, de la conception à la fin de la vie de l'ouvrage, en passant par la planification, l'autorisation, l'acquisition, la réalisation et l'entretien. Les phases (I) à (IV) permettent d'élaborer les mesures nécessaires au développement du système. La phase (V) comprend les mesures de maintien du système. Une amélioration de la qualité peut en outre être obtenue par un processus d'amélioration continue selon le principe PDCA (Plan-Do-Check-Act) à chaque étape.

Les adaptations/améliorations éventuelles du système ont lieu au cours de la phase (A) avec la détermination de la nécessité d'agir par des mesures ou la confrontation avec des changements et d'éventuelles nouvelles approches de solutions (B).

La norme SIA 112 Modèle de planification des constructions comprend également un modèle de phases qui s'étend sur toute la durée de vie des ouvrages de protection tels que les digues longitudinales. Les phases SIA correspondantes sont par ailleurs attribuées aux phases du cycle de vie dans la spécification dans les chapitres suivants.

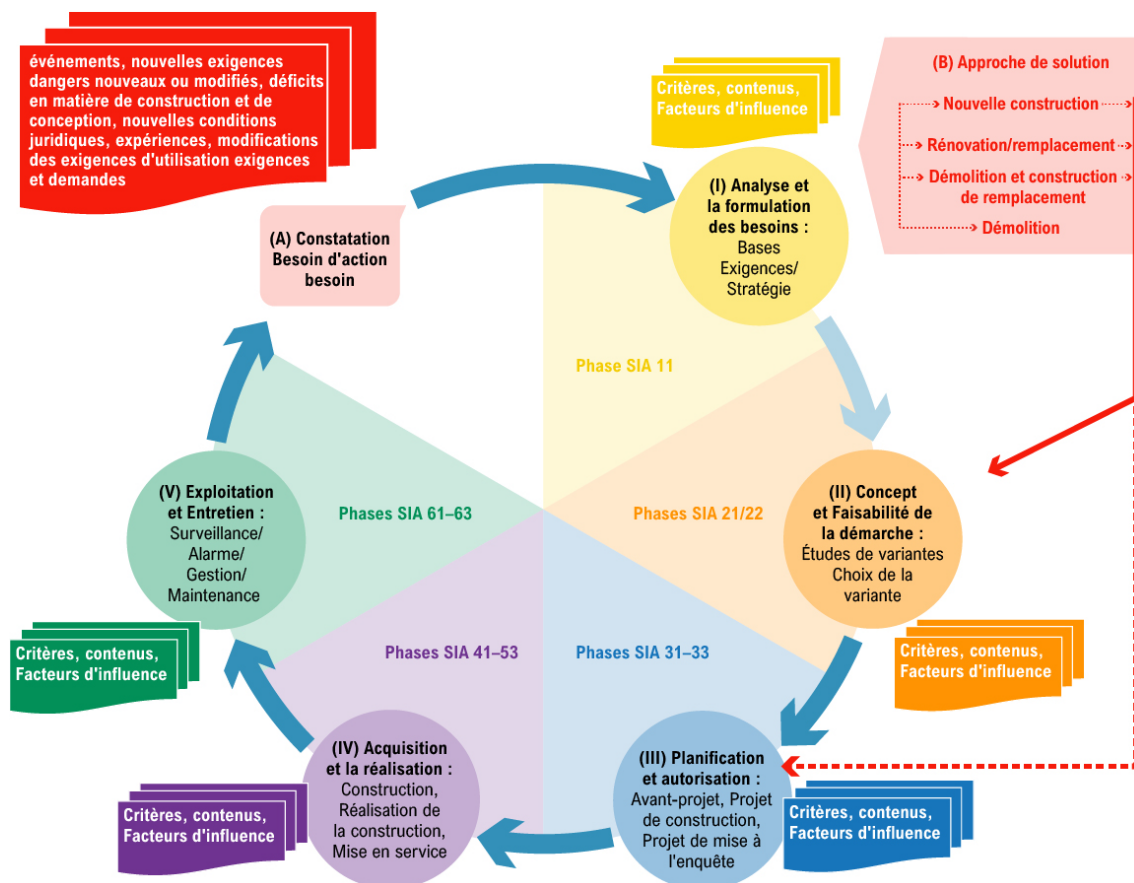


Fig. 4-2 : Gestion du cycle de vie des digues longitudinales (représentation propre).

5 Constatation de la nécessité d'agir et options d'action

Il est nécessaire d'agir aussi bien avant la construction d'une nouvelle digue longitudinale, pendant le cycle de vie de l'ouvrage qu'à la fin de sa durée de vie, lorsqu'il faut décider s'il doit/peut être rénové, renforcé, remplacé par un nouvel ouvrage similaire ou un autre, ou démoli sans être remplacé (voir phases A et B dans la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

L'élément déclencheur d'un besoin d'action (A) peut être (liste non exhaustive) :

- Réduction locale de la sécurité des digues longitudinales en raison soit de déficits de construction et de dommages concrets, soit constatés lors de la surveillance, soit survenus lors d'événements (de crue). Il s'agit par exemple de
 - Reptation ou glissement du talus côté eau ou côté plaine
 - Suintement d'eau d'infiltration côté plaine et engorgement au pied de la digue
 - Remontée de la nappe phréatique côté plaine au pied de la digue, avec ou sans érosion de matériaux
 - Brèches et débordements non admis
 - Tassement du sommet de la digue et/ou des bermes
 - Endommagement de l'aménagement des berges et/ou de la protection contre l'érosion
 - Modifications du lit non tolérables avec affouillements et /ou atterrissements
 - Chablis
 - Affaiblissement par les animaux fouisseurs, la végétation, les racines
- Déficiences de protection conceptuelles dues à une sécurité insuffisante contre les crues, constatées sur la base de la surveillance (par ex. par des relevés de profils en travers, des mesures de niveau d'eau et/ou de position du lit) ou sur la base d'événements de crue (traces de crue, événements critiques et/ou débordements)
- Sécurité réduite de la stabilité de la digue/de l'ouvrage (p. ex. en cas de nouveau calcul/vérification, de végétation, de racines, d'animaux fouisseurs)
- modification des conditions hydrologiques (par exemple, pics de crue plus importants dus au changement climatique (OFEV. 2023)).
- Augmentation de la sécurité requise en raison de l'augmentation des dommages potentiels et des dangers côté plaine
- Augmentation des dépenses pour l'entretien
- Aspects écologiques liés aux projets de revitalisation (p. ex. déplacements en retrait de digues)
- Modification des dispositions légales (lois, ordonnances, aides à l'exécution) ou modification de la pratique des tribunaux
- Modification des exigences en matière d'aménagement du territoire et d'utilisation des sols
- Modification des prescriptions et recommandations techniques (normes, fiches techniques, adaptation au changement climatique, etc.)

Une conséquence immédiate de la constatation d'un besoin d'agir est la question de savoir comment agir. Cette question est traitée dans la phase I, qui doit être comprise comme la planification stratégique du nouveau cycle de vie d'un ouvrage de protection. Ce faisant, on étudie toutes les solutions possibles (B) qui, dans l'esprit de la GIR, conduisent à une combinaison optimale de mesures et à un risque supportable à long terme. Les mesures techniques comprennent notamment les approches suivantes (voir chapitre 7) :

- Nouvelle construction des digues longitudinales
- Assainissement des digues longitudinales
- Rehaussement des digues longitudinales
- Démolition et construction de remplacement (p. ex. déplacement en retrait des digues longitudinales)
- Démolition sans remplacement des digues longitudinales
- Combinaison de ces mesures

6 Phase (I) : analyse et formulation des besoins

6.1 Introduction

Conformément au modèle des phases de la norme SIA 112, chaque projet de construction débute par une planification stratégique. Il s'agit de formuler les besoins et de développer les stratégies de résolution. Pour les ouvrages qui impactent un grand territoire et concernent de nombreux utilisateurs et groupes d'intérêts, comme c'est le cas des ouvrages de protection le long des cours d'eau, il faut en général clarifier les tâches et les responsabilités des différents acteurs au début du projet.

En outre, la définition des principaux objectifs est prioritaire, ce qui a, à son tour, une influence directe sur le périmètre du projet et sur l'approche à adopter pour faire face à un besoin d'action constaté.

Dans la planification stratégique, l'étendue du projet, les périmètres et les interfaces doivent être définis de manière que les objectifs de protection et d'utilisation visés puissent être atteints.

Une planification stratégique facilite et simplifie la planification et la réalisation proprement dites en matière de construction. Elle s'assure que les thèmes déterminants sont abordés et que les principales parties prenantes et personnes concernées sont impliquées dès le début du projet. Cela permet un déroulement ciblé du projet et évite les retours en arrière ou les tours supplémentaires.

6.2 Objectifs et produits

En ce qui concerne les digues longitudinales le long des cours d'eau, la phase I poursuit les objectifs suivants :

- Définition des objectifs du projet en tenant compte de la protection contre les crues, de l'utilisation des sols, de l'aménagement du territoire, de l'écologie, etc.
- Clarification des compétences et des responsabilités
- Choix de la solution
- Définition du projet avec détermination du périmètre du projet, clarification des interfaces et présentation du déroulement du projet
- Clarification des conditions de propriété concernant l'acquisition de terrains
- Clarification des éventuels sites contaminés et des conduites ou infrastructures
- Complétion des bases pertinentes pour les décisions à prendre dans cette phase et dans la phase suivante II et identification des données qui devront encore être collectées dans les phases ultérieures.

Idéalement, à la fin de la phase I, les documents suivants sont disponibles :

- Définition du projet avec les responsabilités, les objectifs du projet, la base du projet ou les objectifs du projet Plan d'utilisation, concept de procédure (planification ou déroulement du projet), étendue et périmètre du projet ainsi qu'une définition des interfaces.
- Compilation des bases avec identification des éventuelles lacunes d'information

6.3 Points essentiels

6.3.1 Principes de base

Très tôt, en tant que base de la planification stratégique et des phases conceptuelles (chapitre 7), les principes stratégiques suivants doivent déterminer l'approche de la solution et la définition du projet :

- On peut affirmer que "la meilleure et la plus sûre des digues de protection contre les inondations (digue longitudinale) est celle dont on n'a pas besoin". Inversement, cela signifie aussi que si une digue est nécessaire, la sécurité hydraulique et géotechnique doit être assurée en permanence.
- Dans une Suisse densément construite, un ouvrage qui impacte tout l'espace, comme une digue longitudinale, est toujours confronté à des exigences d'utilisation concurrentes. L'objectif d'une bonne planification doit être de les déterminer, de les évaluer et de les soupeser en fonction de la situation. Pour ce faire, il convient d'élaborer des variantes qui répondent autant que possible aux exigences d'utilisation et sur lesquelles il est possible de procéder à une pesée des intérêts.
- En plus des exigences de sécurité, d'autres fonctions et utilisations sont également admises et compatibles. Mais cela peut aussi conduire à des conflits en lien à la situation juridique, comme l'inventaire d'importance régionale ou nationale, les zones de protection des eaux souterraines, les forêts.

6.3.2 Compétences

La Confédération dispose d'une compétence constitutionnelle et législative étendue dans le domaine de la protection contre les inondations. Mais ce sont les cantons qui sont responsables de la mise en œuvre des projets correspondants. Cette tâche est vaste et comprend aussi bien la rétention naturelle, l'entretien des cours d'eau que des mesures d'aménagement du territoire et de construction. Les cantons sont en outre responsables des mesures temporaires telles que la planification et l'organisation des urgences. En conséquence, les cantons exécutent la législation fédérale sur l'aménagement des cours d'eau et édictent les dispositions d'exécution nécessaires. Ils règlent en particulier les compétences intracantoniales (répartition des tâches entre le canton, les districts et les communes) et les procédures applicables pour la planification et la mise en œuvre des mesures nécessaires.

Selon le canton, d'autres réglementations s'appliquent en ce qui concerne les compétences en matière d'entretien, de protection contre les crues et de revitalisation, qu'il s'agisse du canton, de la commune, des corporations d'aménagement des cours d'eau ou des seuils, ou de particuliers.

Pour les cours d'eau intercantonaux, une concertation entre les cantons est nécessaire ; pour les cours d'eau interétatiques, la Confédération doit être impliquée. Dans les eaux frontalières, il faut se demander s'il faut créer des bases contractuelles qui décrivent la stratégie ou le futur projet définis.

Les infrastructures de tiers, telles que les remblais ferroviaires ou autoroutiers le long des cours d'eau, peuvent avoir un effet protecteur. Il convient d'en tenir compte dans l'organisation du projet et dans les responsabilités. En conséquence, la loi sur les chemins de fer et la loi sur les routes nationales doivent également être respectées. Cela peut conduire à des conflits et, dans ce cas, une pesée des intérêts doit être effectuée.

Dans l'optique d'un cycle de vie complet, il convient de prendre en compte dans l'organisation du projet tous les acteurs qui contribuent au maintien de ses fonctions à long terme.

6.3.3 Définition du projet, délimitation du système, interfaces

Définition du projet

Dans la définition du projet, le maître d'ouvrage détermine les objectifs du projet et son périmètre. Il définit la délimitation du système et les interfaces.

En ce qui concerne les digues longitudinales, il convient de tenir compte, entre autres, des nombreux aspects suivants : les bases hydrologiques et hydrauliques, morphologiques et

géotechniques, l'état et les déficits des ouvrages existants, le recensement des mesures à prendre, le périmètre de référence et de projet, la géométrie des digues, les conditions spatiales en dehors des ouvrages de digue, les titres de protection et les droits d'utilisation ainsi que d'autres conditions générales et interfaces.

Délimitation du système

Les digues longitudinales sur les cours d'eau sont des ouvrages utilisés dans le cadre d'un projet de protection contre les crues. Lors de la délimitation du système, il s'agit de définir le périmètre du projet (délimitation spatiale).

Interfaces

Pour les projets sur les cours d'eau, il faut généralement tenir compte des conditions générales en amont et en aval du périmètre du projet et vérifier les effets du projet sur l'amont et l'aval pour l'état pendant et après la construction. Cela vaut également pour les digues longitudinales. D'autres interfaces sont la délimitation et la coordination avec des projets tiers qui n'ont pas de lien direct avec le projet de protection contre les crues correspondant, par exemple des projets de transport situés le long ou en travers du cours d'eau.

6.3.4 Objectifs du projet

Avec les objectifs du projet, il faut également définir la sécurité visée contre les dangers naturels et les objectifs d'utilisation.

La définition des objectifs d'un projet se fait souvent dans le cadre d'un processus participatif (dialogue sur les risques). Parmi les objectifs du projet, on distingue les objectifs généraux supérieurs sur toute la longueur du cours d'eau (p. ex. objectifs de développement), qui s'appliquent au développement de l'ensemble du cours d'eau. Des objectifs concrets et individuels sont définis pour le projet de protection contre les crues proprement dit, qui n'est élaboré que pour un tronçon donné du cours d'eau. On peut distinguer les objectifs de réalisation absolus, qui doivent impérativement être atteints par le projet, comme la protection contre les crues, et les objectifs de développement, qui doivent être atteints au mieux par le projet, comme l'utilisation à des fins récréatives.

Les objectifs d'un projet de protection contre les inondations en ce qui concerne les digues longitudinales peuvent par exemple être subdivisés en :

- Objectifs du projet Protection contre les crues
- Objectifs du projet Utilisations (énergie hydraulique, gestion des digues longitudinales côté plaine, voies de communication, infrastructures d'approvisionnement et d'évacuation, loisirs de proximité)
- Objectifs du projet Aménagement du territoire
- Objectifs du projet Écologie (mise en réseau, habitat)
- Objectifs du projet Eaux souterraines (influence sur les nappes phréatiques)
- Objectifs du projet Paysage (tracé, aménagement)
- Objectifs du projet Economie (moyens financiers, risques acceptés)

Objectifs du projet Protection contre les crues

Crues

Les objectifs de protection servent de critères de vérification quant à un éventuel besoin d'action ou de valeurs indicatives pour aborder la question de la sécurité visée. Sur la base d'une analyse spécifique et basée sur les risques, on détermine ensuite une crue de dimensionnement correspondant à la sécurité visée contre les défaillances (par ex. débordement ou rupture de digue). Pour la crue de dimensionnement, on calcule le débit, la cote du lit correspondante par suite du charriage et la cote du niveau d'eau ou la cote de la hauteur d'énergie ainsi que la vitesse du courant et les contraintes de cisaillement. Outre la crue de dimensionnement, on définit

également des événements extrêmes qui surchargent nettement les mesures ou les systèmes de protection existants et prévus. Il s'agit donc d'événements pour lesquels la charge hydraulique est supérieure au débit de dimensionnement. Dans le cadre de l'examen de la surcharge des ouvrages, les cas de charge sont étudiés, comme les entraves à l'écoulement dues à des obstructions et les charges qui dépassent nettement la limite de capacité du concept de protection.

En ce qui concerne les digues longitudinales, une distinction est faite entre les digues existantes et les nouvelles digues. Pour les digues existantes, soit l'entretien permet de maintenir les digues au niveau de l'ouvrage initial, soit, si nécessaire, les ouvrages existants seront rénovés et/ou rehaussés. Les normes et standards actuels doivent être pris en compte aussi bien lors de la rénovation d'une digue existante que lors de la construction d'une nouvelle.

Dépendance du processus

La sécurité recherchée ne dépend pas seulement de la manière dont une surface donnée, adjacente, est utilisée, par exemple par l'agriculture ou comme zone d'habitation, mais aussi de la fréquence et des caractéristiques des crues qui se produisent dans cette zone. Outre le débit de pointe, il faut donc toujours prendre en compte d'autres processus importants liés au chenal et aux dangers. Par exemple, en cas d'érosion potentielle des berges ou de laves torrentielles, la sécurité doit être renforcée en fonction de la dangerosité de ces processus. Les **scénarios** correspondants permettent de définir les paramètres déterminants liés aux différents processus :

- Dans le cas d'inondations dues à des cours d'eau en crue (**débordements**), les grandeurs déterminantes sont le volume d'eau sortant, la durée de l'inondation ainsi que la profondeur maximale d'inondation et la vitesse et l'intensité du courant.
- Dans le cas **des érosions et des atterrissements**, ce n'est pas seulement le débit de pointe qui est déterminant, mais aussi sa durée. Le niveau du fond du lit doit être pris en compte aussi bien pendant un événement de crue qu'à long terme.
- En cas de **charriage**, outre l'hydrogramme de crue, la répartition granulométrique du charriage ainsi que le débit solide (provenant de l'amont, des glissements et du chenal) sont des paramètres importants qui exercent une influence sur le niveau du fond du lit.
- La plupart du temps, le niveau du lit doit être maintenu à un certain niveau à long terme, ce qui peut nécessiter une **gestion du charriage**.

Risques

Il existe deux types de risques (produit de la probabilité d'un danger et de l'ampleur d'un dommage possible) : les risques dans le périmètre du projet et les risques sur l'ouvrage lui-même. Les risques dans le périmètre du projet, éventuellement au-delà, doivent être mis en évidence. Les risques pertinents pour les digues longitudinales doivent être identifiés et les risques acceptables doivent être déterminés dans le cadre d'un processus participatif. Les risques sur l'ouvrage (probabilité de défaillance de l'ouvrage) doivent être étudiés et réduits au maximum par des mesures de construction.

Objectifs du projet Utilisations

Les différents besoins d'un projet peuvent être représentés dans les objectifs d'utilisation. Les objectifs d'utilisation secondaires dans un projet de protection contre les crues peuvent être très divers. Les paragraphes suivants présentent surtout des objectifs d'utilisation secondaires qui jouent un rôle dans le contexte des digues longitudinales: interventions en cas d'événement, trafic (ferroviaire, routier), mobilité douce (piétons, cyclistes, cavaliers), eaux souterraines, nature et écologie (réserves naturelles), loisirs de proximité, exploitation, agriculture, couvert végétal, végétation, infrastructures (lignes électriques), forêt.

Ces multiples objectifs d'utilisation possibles peuvent donner lieu à des conflits et à des exigences contradictoires. Il est possible d'y remédier en partie en dissociant les usages. Par exemple, les zones prioritaires pour la nature et les zones prioritaires pour les loisirs de proximité permettent de séparer l'homme de la nature. Une possibilité de faire face à d'éventuels conflits à un stade

précoce est d'impliquer les personnes intéressées et concernées dans la participation (et le dialogue sur les risques), par exemple en créant un groupe d'accompagnement qui, par le dialogue, cherchera un compromis entre les différentes exigences d'utilisation. Une information précoce et adaptée aux besoins permet d'obtenir une large acceptation.

Objectifs du projet Aménagement du territoire

En matière d'aménagement du territoire, il convient d'assurer très tôt l'espace nécessaire aux projets de protection contre les crues (ouvrages et corridors d'évacuation des crues). Cette mesure vise à limiter les risques dans la plaine. Dans le cas des digues longitudinales, il est important d'envisager également des solutions prévoyant la réduction des digues (déplacement des digues existantes).

Objectifs du projet Écologie

Les déficits écologiques doivent être identifiés et supprimés grâce à un objectif écologique approprié. Les aspects écologiques comprennent notamment les aspects liés aux eaux souterraines, aux habitats terrestres et aquatiques et à leur connectivité, à la protection des paysages et aux aspects environnementaux en général. Il convient d'en tenir compte lors de la conception des digues longitudinales, par exemple lors de la définition de la pente des talus. Il faut en outre tenir compte du fait qu'une compensation écologique ou la prise en compte d'objectifs écologiques nécessitent souvent des terrains supplémentaires.

6.3.5 Enquête de base

Pour les projets de protection contre les crues, il convient d'aborder l'acquisition et l'élaboration des documents de projet nécessaires dès les premières phases de planification. Les bases suivantes (non exhaustives) en font partie en ce qui concerne les digues longitudinales :

- Lois pertinentes (fédérales et cantonales)
- Historique des constructions (causes, justification)
- Inventaire des ouvrages (de protection) existants (cadastre des ouvrages de protection)
- État des ouvrages (de protection) existants (technique de construction, y compris géotechnique, fonction)
- Détails sur la fondation et la construction de la digue (voir 8.3.3)
- Déduction de la largeur naturelle du lit
- Anciens dossiers de projet, dossiers finaux, justificatifs géotechniques et statiques, plans de renforcement (subordonnés)
- Rapports de contrôle, documents sur l'état de l'ouvrage
- Rapports d'inspection, observations documentées, notamment lors d'inondations
- Infrastructures et connaissances des utilisateurs ou des propriétaires d'ouvrages
- Concessions, autorisations
- Inventaires
- Propriété foncière
- Habitats et zones protégés et à protéger
- Protection du paysage comme les zones IFP
- Clarification des mesures de compensation
- Géologie
- Eaux souterraines
- Ouvrages de traversée (p. ex. conduites de gaz, de chauffage urbain, d'eaux usées)
- Cartographie écologique de l'état actuel (saison/plusieurs années)

Les grandeurs de dimensionnement relatives à l'aménagement fluvial doivent également être déterminées ou définies à temps, car elles sont centrales pour la conception des digues longitudinales. Il s'agit notamment de :

- Débits déterminants (débits de crue, débits d'étiage et débits moyens, hydrogrammes de crue pour la détermination du volume et de la durée d'écoulement)
- Bases de l'aménagement fluvial (transport de matériaux solides, morphologie du lit, pente du lit, distribution granulométrique, matériau du lit (d_m charriage courant, d_m couche d'échange, d_{90} couche d'échange, profondeurs d'affouillement et hauteurs de bancs, charriage passé et futur, évolution à long terme du lit)

6.3.6 Choix de la solution

Par rapport à l'ancienne stratégie de pure défense contre les dommages, il faut aujourd'hui prendre en compte toutes les mesures possibles qui permettent de réduire les risques. Il s'agit notamment

- Entretien des cours d'eau
- Mesures d'aménagement du territoire
- Mesures de génie biologique
- Mesures de construction
- Mesures organisationnelles (prévision, alerte, alarme, intervention (intervention en cas de crue), sauvetage ainsi que mesures immédiates)

Le contenu du présent chapitre se limite aux mesures de construction en rapport avec les digues longitudinales.

Mesures de construction (étude de variantes conceptuelles)

Pour les mesures de construction, des solutions possibles ont déjà été mentionnées au chapitre 5 :

- Nouvelle construction des digues longitudinales
- Assainissement (et rehaussement) des digues longitudinales
- Démolition et construction de remplacement (p. ex. déplacement en retrait des digues longitudinales)
- Démolition sans remplacement des digues longitudinales
- Élargissement du chenal ou de la rivière avec des digues moins hautes ou sans digues
- Combinaisons de ces mesures

Ces mesures peuvent avoir des effets sur l'espace, soit nécessiter un espace supplémentaire qui doit être garanties par des mesures d'aménagement du territoire (p. ex. délimitation de l'espace réservé aux cours d'eau).

Il n'est pas encore possible, à ce stade du projet, de prendre une décision définitive quant au choix d'une ou de plusieurs mesures de construction énumérées ci-dessus. Les préférences en matière de mesures de construction doivent en revanche être définies. Dans le cadre d'une étude de variantes (chapitre 7), les mesures de construction (meilleure variante) doivent être déterminées en accord avec les possibilités dans le bassin versant susmentionné et les autres mesures non constructives énumérées ci-dessus. Les combinaisons de mesures optimales possibles avec les risques acceptables qui en résultent doivent être élaborées et documentées dans cette phase du projet conformément au chapitre 7.

6.4 Exemples

Voir annexe A :

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P1	Protection contre les crues du Rhin alpin, tronçon intern. PK 65 - 91	x	x	x		

7 Phase (II) : Concept et faisabilité

7.1 Introduction

Cette phase permet d'élaborer le concept du projet de protection contre les crues (mesures de construction) et de définir son ampleur. Une étude de faisabilité montre la viabilité, voire la faisabilité du projet de protection contre les crues. Une étude de variantes permet de déterminer la meilleure variante, celle qui répond le mieux aux exigences et aux besoins.

7.2 Objectifs et produits

En ce qui concerne les digues le long des cours d'eau, la phase II poursuit les objectifs suivants :

- Concrétisation des objectifs du projet sur la base des besoins et des conditions générales du donneur d'ordre
- Analyse du mandat
- Clarification des conditions cadres liées au site
- Mise en évidence de la sécurité du système
- Démonstration de la faisabilité, mise en évidence des situations conflictuelles possibles et des alternatives d'action
- Présentation de solutions de planification et de conception
- Étude de variantes avec détermination de la meilleure variante (critères et pondération définis) en tenant compte des diverses exigences d'utilisation
- Détermination de la nécessité et de la procédure d'une éventuelle EIE
- Estimation des coûts et vérification de la rentabilité (rapport coûts/bénéfices)

Idéalement, les documents suivants sont disponibles à la fin de la phase II :

- Récapitulation des bases et des conditions-cadres
- Rapport de faisabilité
- Décision sur la nécessité et la procédure d'une EIE
- Rapport sur l'étude des variantes, y compris la documentation par des plans
- Accord sur les objectifs du projet
- Éventuellement, pesée des intérêts

7.3 Points essentiels

7.3.1 Accord sur les objectifs du projet

Pour les projets de protection contre les crues, l'accord sur les objectifs du projet présente des similitudes conceptuelles avec une convention d'utilisation selon la norme SIA-260. Dans cette dernière, les exigences relatives au système de protection et aux différents ouvrages de protection sont définies. Ils constituent la base de la construction d'un ouvrage. Les objectifs fixés lors de la phase I à l'occasion de l'analyse et de la formulation des besoins (cf. section 6.3.4) sont repris et concrétisés ici. Dans le cas d'installations concernant un large territoire, comme c'est le cas des installations de protection contre les crues, une réflexion sur les exigences d'utilisation ne peut pas se concentrer de manière isolée sur les objectifs purement techniques et les exigences d'utilisation. Il faut également tenir compte de l'intégration de l'installation dans l'espace et l'environnement. Ainsi, les utilisations multiples et l'aspect espace de vie de l'installation revêtent une importance capitale.

L'accord sur les objectifs du projet comprend tous les objectifs d'utilisation prescrits, les conditions, les exigences et les prescriptions fondamentales de la part du maître d'ouvrage pour l'élaboration du projet, la construction et l'utilisation d'un ouvrage. Les points suivants doivent au moins être mentionnés :

- Objectif
- Site
- Conditions d'implantation
- Bases de dimensionnement
- Bases légales
- Exigences techniques et bases
- Grandeurs de référence
- Durée d'utilisation et exigences en matière d'utilisation

La partie de la convention d'objectifs du projet qui se rapporte aux digues longitudinales doit fournir, en plus des données hydrauliques et géotechniques, d'autres directives concernant la prise en compte des aspects spatiaux et environnementaux ainsi que des utilisations secondaires:

- Eaux souterraines
- Nature et environnement
- Utilisations par des tiers
- Exploitation et entretien
- Surveillance
- Plan d'urgence

Durée d'utilisation

La durée d'utilisation est définie par le maître d'ouvrage pour chaque ouvrage. Pour les digues longitudinales, il s'agit en général des éléments suivants et des durées d'utilisation correspondantes :

- Dignes : 100 ans
- Couronnement de digue avec chemins de digue : 20 ans
- Aménagement des berges et protection contre l'affouillement : 50 ans
- Éventuelles sections de décharge : 50 ans

Pour cela, une surveillance systématique et un entretien permanent sont nécessaires. L'entretien doit être réglé dans un concept d'entretien (chapitre 10). Un entretien approprié des digues longitudinales en tant qu'élément d'une mesure de protection contre les crues est essentiel. En effet, seul un entretien garanti et régulier permet de maintenir les digues longitudinales et d'assurer l'effet protecteur, le profil d'écoulement et les valeurs écologiques.

7.3.2 Concept de protection

Le concept de protection de la digue longitudinale doit être développé de telle sorte qu'il n'entraîne pas la défaillance d'une mesure de protection en cas de surcharge de celle-ci. Pour ce faire, on peut prévoir des concepts de protection à plusieurs niveaux avec un comportement aussi robuste que possible des digues longitudinales. La Figure 7-1 montre en principe l'effet des concepts de protection à un ou plusieurs niveaux sur l'évolution des dommages en termes de sommes résultantes. Les concepts de protection à plusieurs niveaux présentent un comportement beaucoup plus favorable que les concepts à un seul niveau en ce qui concerne l'évolution des dommages en fonction de la charge. Les ouvrages de protection robustes n'entraînent pas de défaillance incontrôlée avec des dommages qui augmentent brusquement et l'effet prévu est maintenu même en cas de surcharge. Cela signifie que, lors de l'élaboration de projets de protection contre les crues, la robustesse des concepts de protection et des ouvrages de protection correspondants doit être démontrée de manière compréhensible et adaptée à chaque étape en cas de surcharge de ces derniers. Par exemple, une protection de berge sous forme d'un enrochement réglé peut défaillir soudainement par effet domino si seuls un ou quelques blocs individuels se détachent. En revanche, pour une enrochement irrégulier, la disparition d'un seul bloc

est compensée par le réajustement des blocs supérieurs et une défaillance totale de la protection des berges est considérablement retardée.

En ce qui concerne les digues longitudinales, des concepts robustes peuvent par exemple inclure des digues submersibles dont le talus côté plaine est également protégé contre l'érosion et/ou des déversoirs d'urgence latéraux dans un tronçon défini d'une digue longitudinale pour évacuer l'eau du cours d'eau de manière ciblée.

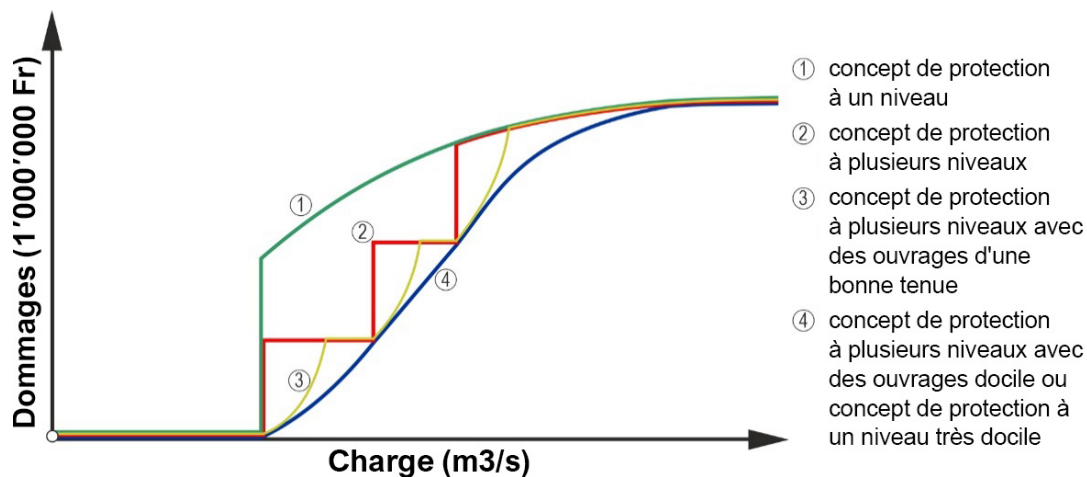


Figure 7-1 *Domages en fonction du concept de protection technique choisi.*

Ainsi, des tronçons de digue conçus pour être submersibles ou des dispositifs de décharge latéraux permettent d'écrêter et de décharger de manière ciblée les pics de crue qui dépassent la capacité d'écoulement du cours d'eau endigué. Ces décharges agissent comme des "soupapes de sécurité" et protègent les tronçons de digue non conçus pour être submersibles. De telles digues s'éroderaient avec le temps si elles étaient soumises à l'action d'un débordement et entraîneraient une sortie d'eau incontrôlée.

7.3.3 Sécurité du système

L'objectif principal des mesures de protection doit toujours être ce que l'on appelle la sécurité du système. C'est-à-dire qu'il ne s'agit pas exclusivement de la sécurité technique du seul ouvrage de protection, comme une digue longitudinale, mais toujours d'une considération globale dans un cadre spatial et temporel plus large et donc aussi de la combinaison optimale de mesures. Pour les mesures de protection contre les crues, le cadre spatial est donné par les tronçons de rivière (p. ex. entre des lacs ou entre des ruptures de pentes) et le compartimentage topographique. Le cadre temporel s'étend sur la durée d'utilisation ou de vie de l'ouvrage de protection en tenant compte de l'évolution dans le temps des conditions marginales et des exigences d'utilisation. Un concept possible pour garantir la sécurité du système est présenté dans Figure 7-2.

Le concept repose sur trois piliers et s'inspire délibérément, sur le plan conceptuel, des directives de l'OFEN :

- Établir un niveau de sécurité : sécurité constructive
- Maintenir un niveau de sécurité tout au long de la vie : sécurité opérationnelle
- Vérification d'un niveau de sécurité : sécurité globale, planification d'urgence

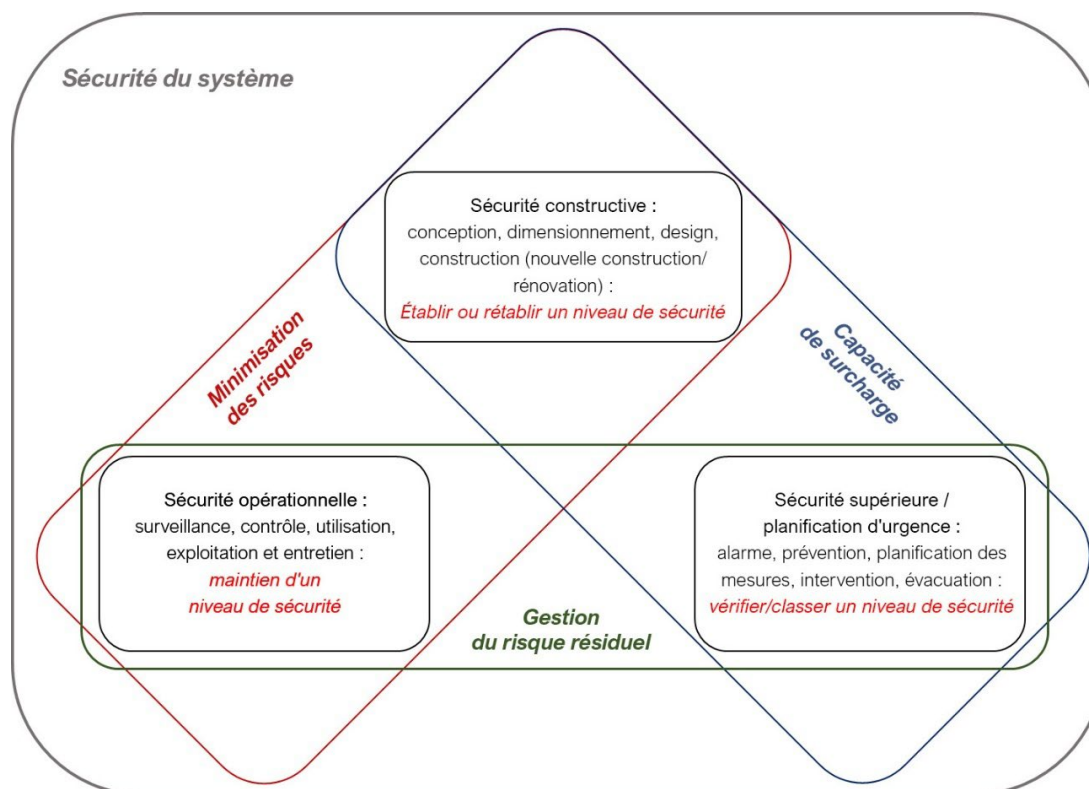


Figure 7-2 Conception de base pour établir une sécurité du système. Celle-ci doit toujours être considérée dans un contexte spatial et temporel (représentation propre).

Le concept vise à garantir la sécurité du système en utilisant les digues longitudinales comme ouvrages de protection :

- [I] le risque de dommage est réduit au minimum jusqu'à ou au-delà du niveau de sécurité visé
- [II] une acceptabilité du risque résiduel (ou la gestion de celui-ci) est atteinte, ce qui permet que :
- [III] l'ensemble du système de protection devient capable de supporter une surcharge.

La capacité de surcharge implique de vérifier le bon fonctionnement et la sécurité constructive des ouvrages de protection en cas d'événements extrêmes supérieurs à la crue de référence. Le comportement des mesures en cas de surcharge doit donc être étudié pour des événements extrêmes. Idéalement, la capacité de surcharge intègre également un comportement robuste. Un système de protection est considéré comme robuste lorsqu'une surcharge d'une mesure de protection n'entraîne pas la défaillance incontrôlée de l'ouvrage de protection avec une augmentation soudaine des dommages et que l'effet prévu est maintenu même dans ce cas-là. Si une digue longitudinale protège une zone à fort potentiel de dommages pour les personnes, les infrastructures et les biens, cela signifie généralement qu'elle ne doit pas rompre, même en cas de surcharge, et qu'elle doit continuer à apporter sa contribution à l'écoulement contrôlé des crues.

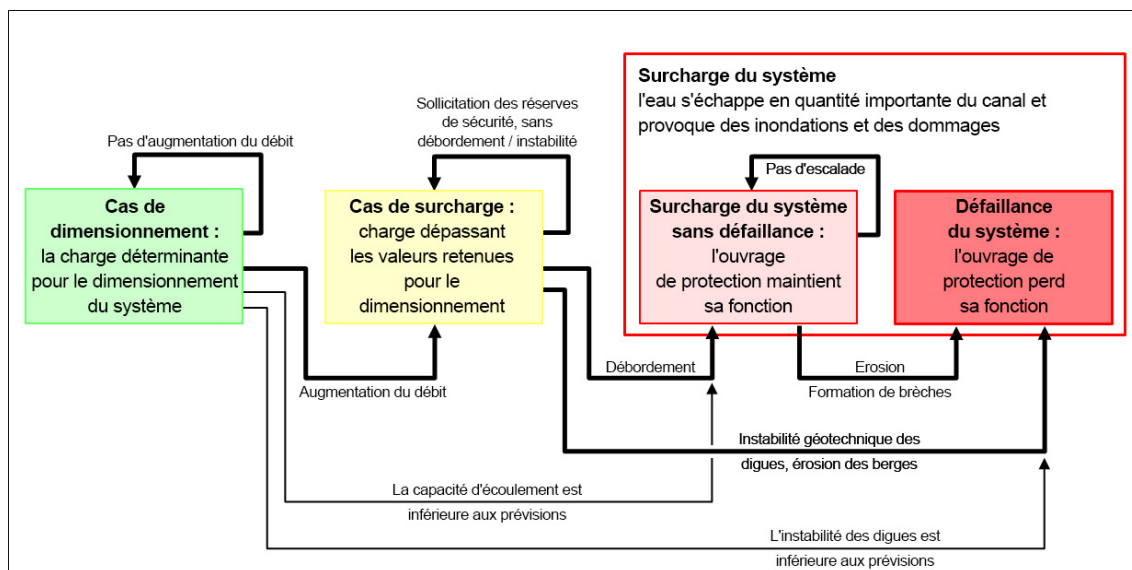


Figure 7-3 Considérations conceptuelles pour la conception et le dimensionnement des digues longitudinales (voir également le chapitre 8). Escalade possible dans un système de protection contre les crues en cas d'augmentation de la charge (Niederer + Pozzi Umwelt AG. 2019).

7.3.4 Étude de faisabilité

Sur la base des objectifs du projet et des prescriptions de la sécurité du système, une étude de faisabilité doit évaluer et démontrer l'adéquation du projet de protection contre les crues en termes de construction, d'exploitation et de droit.

Compte tenu des conditions générales liées au site, il convient de présenter des variantes de solutions possibles, notamment en ce qui concerne les digues longitudinales. Les critères d'évaluation et leur pondération doivent être définis en collaboration avec le mandant et, le cas échéant, discutés et fixés définitivement dans le cadre d'un processus participatif.

La nécessité d'une évaluation des incidences sur l'environnement et, le cas échéant, la procédure à suivre doivent être précisées.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, les étapes de travail suivantes doivent être réalisées en ce qui concerne les digues longitudinales :

- Développer et présenter des solutions possibles
- Clarifier les valeurs à préserver
- Clarifier les mesures de construction (voir aussi le paragraphe 6.3.6)
- Vérifier la faisabilité par rapport aux objectifs du projet.
- Évaluer les solutions proposées
- Mettre en évidence de situations conflictuelles possibles et des alternatives d'action
- Coûts et calendrier

L'étude de faisabilité est documentée par un rapport et des plans présentant les solutions envisagées. Le rapport fait référence aux points en suspens.

7.3.5 Étude de variantes

Dans la phase I (selon le paragraphe 6.3.6), des solutions possibles et favorisées pour des mesures de construction ont été prises. Dans le cadre d'une étude de variantes, il convient de déterminer la meilleure variante des mesures de construction.

Les solutions possibles en matière de construction ont déjà été mentionnées dans le chapitre 5 et le paragraphe 6.3.6 :

- Nouvelle construction des digues longitudinales
- Assainissement des digues longitudinales
- Rehaussement des digues longitudinales
- Démolition et construction de remplacement (p. ex. déplacement en retrait des digues longitudinales)
- Démolition sans remplacement des digues longitudinales
- Élargissement du lit ou de la rivière avec des digues moins hautes ou sans digues.
- Combinaisons de ces mesures

Dans l'étude de variantes, il est également possible d'examiner, par tronçon, des combinaisons des solutions de construction ci-dessus. En ce qui concerne les digues longitudinales, les mesures et points alternatifs et/ou complémentaires suivants doivent être pris en compte : enrochement longitudinal versus protection transversale (épis, déflecteurs, Engineered Log Jams (EJL) (structure de bois mort stable dans l'espace fluvial)), mesures dans le cours d'eau (Instream) en combinaison avec des digues longitudinales, sections de décharge, sections transversales des digues, géométrie des digues, structure des digues, type de digue ainsi que besoin en terrain. Selon les mesures étudiées, des mesures d'aménagement du territoire doivent également être développées, par exemple dans le cas de sections de délestage avec des corridors d'inondation.

7.3.6 Choix de la variante

La détermination de la meilleure variante passe par une évaluation des différentes variantes en tenant compte de différents critères et d'une pondération correspondante, comme la capacité de surcharge, les aspects environnementaux, y compris les aspects liés aux eaux souterraines, à la multifonctionnalité, aux aspects sociaux, à la gestion, aux loisirs, etc. Une pesée des intérêts (législation sur l'aménagement du territoire) doit être effectuée à cet effet.

7.4 Exemples

Voir annexe A :

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P1	Protection contre les crues du Rhin alpin, tronçon international PK65-91	x	x	x		
P2	Protection contre les crues de la Haute Vallée de la Reuss		x			
P3	Protection contre les inondations à Pfaffern		x			
P4	3ème correction du Rhône - Mesure prioritaire de Viège		x	x		
P5	Protection contre les crues et renaturation de l'embouchure de l'Aar et de la Gurbe		x	x		
P6	Elbe, Z 8.6 Recul de digues à Köllitzsch		x	x		
P7	Protection contre les crues du Krummbach		x			x
P8	Canal de Hagneck		x			x
P9	Protection contre les crues de la Vieille Aar		x	x		x
P10	HWS Linth 2000		x	x	x	x

8 Phase (III) : Planification et autorisation

8.1 Introduction

La phase III comprend l'élaboration du projet dans le périmètre clairement délimité d'un projet de protection contre les crues. Les travaux correspondent en grande partie aux phases partielles 31 à 33 selon la norme SIA 112 Modèle de planification de la construction.

En ce qui concerne les digues longitudinales destinées à la protection contre les crues, l'accent est mis dans cette phase sur le dimensionnement et la construction de l'ouvrage proprement dit. Il s'agit d'une part des impacts, notamment des principaux effets lors des crues et lors des surcharges, mais aussi, lorsque c'est nécessaire, des charges sismiques ainsi que des processus qui pourraient nuire à la durabilité de l'ouvrage, comme la percolation d'eau avec entraînement de matériaux ("érosion interne") ou la croissance de la végétation. Par ailleurs, la conception de la digue est significativement influencée par les utilisations secondaires autorisées (transport, forêt, agriculture, utilisation récréative, infrastructures de réseau) ainsi que par les aspects environnementaux ou d'espace de vie spécifiques aux digues.

Des recommandations complémentaires pour le dimensionnement et la construction peuvent être consultées dans la publication spécialisée "Petits barrages" (STK. 2025).

8.2 Objectifs et produits

L'objectif de la phase III est d'obtenir un projet juridiquement valable et approuvé pour les ouvrages d'endiguement dans le cadre d'un projet de protection contre les crues. Les exigences minimales d'un projet pour l'obtention d'une autorisation de construire potentielle sont les suivantes :

- Définition au niveau parcellaire (aspects liés au droit de propriété)
- Aptitude à obtenir une autorisation (conformité à la loi, notamment en ce qui concerne l'impact sur l'environnement)
- Précision des coûts (niveau d'élaboration d'un projet)

Pour les projets de grande envergure, l'acceptation politique et sociale des ouvrages est également importante. En ce qui concerne les nouvelles constructions et les améliorations/assainissements de digues longitudinales, le niveau d'élaboration du projet sur le plan de la technique et des procédures de réalisation est une conséquence de l'exigence de précision des coûts, typiquement de +/-10 % pour les ouvrages de génie civil en Suisse dans la phase du projet de construction et de mise à l'enquête. Il existe également des conceptions alternatives dans lesquels les coûts de réalisation et les coûts des risques évalués plus précisément sont estimés séparément. Mais cela nécessite également un niveau de traitement technique correspondant.

Le produit de cette phase est un dossier complet du projet de construction et de mise à l'enquête, avec tous les rapports et plans nécessaires, qui répond aux exigences légales (lois sur l'aménagement des cours d'eau de la Confédération et des cantons, loi sur la protection de l'environnement (LPE) (RS 814.01), loi sur la protection des eaux (LEaux) (RS 814.20) ainsi que les ordonnances et aides à l'exécution y afférentes) et répond aux exigences normatives.

Il convient de mentionner que les grands projets de protection contre les crues sont soumis à une EIE à partir d'un montant de construction de 10 millions de francs (ordonnance relative à l'étude de l'impact sur l'environnement (OEIE), RS 814.011). Même pour les petits projets, un rapport sur

l'impact environnemental est souvent demandé dans le domaine de l'aménagement des cours d'eau.

8.3 Points essentiels

8.3.1 Bases de calcul

L'effet et la sollicitation des digues longitudinales le long des tronçons de rivière libres et des retenues sont comparables tant que l'aspect temporel de l'action déterminante "eau" est négligé. En conséquence, la conception des digues, leur dimensionnement et leur aménagement doivent être cohérents et comparables entre les deux types de digues (digues longitudinales et digues de bassins de rétention), indépendamment de la délimitation réglementaire.

Dans les réflexions sur la délimitation entre les digues de protection contre les crues et les digues de retenue, la durée mentionnée de la sollicitation des digues est également pertinente. Alors que pour les digues de retenue, c'est-à-dire les digues qui sont endiguées en permanence en amont d'un barrage, une ligne d'infiltration plus ou moins stationnaire s'établit à travers la digue, les digues de protection contre les crues pures sont sollicitées comparativement pendant une courte période, c'est-à-dire uniquement pendant un débit de crue. Par conséquent, selon la durée de la crue, une ligne d'infiltration stationnaire ne peut pas toujours s'établir dans le corps de la digue.

Ces aspects temporels doivent être pris en compte de manière appropriée lors de la conception et du dimensionnement des digues longitudinales. Ils montrent en outre clairement que, selon la situation, les digues longitudinales et les digues de retenue peuvent se combiner, ce qui exige justement un mode de construction et d'exploitation comparable et cohérent.

Il convient de mentionner qu'il existe un grand volume de littérature spécialisée sur la conception, la construction et le dimensionnement des digues longitudinales, de sorte que le présent guide ne traite, sous une forme résumée, que de certains points sélectionnés qui, selon l'expérience des auteurs, sont typiques des exigences posées aux digues longitudinales en Suisse. Pour de plus amples informations sur les aspects techniques des digues longitudinales, nous renvoyons notamment à la norme SIA 267 (SIA 267. 2013], aux fiches techniques de la DWA (DWA. 2011) et de la BAW (BAW. 2011), à l'International Levee Handbook (CIRIA. 2013) ainsi qu'aux normes de l'USACE (p. ex. USACE. 2000, 2004) et de l'USBR (USBR. 1987). Au cours des travaux préparatoires du guide, une vaste recherche bibliographique a été effectuée et est documentée en annexe.

8.3.2 Crue de dimensionnement, cas de surcharge et revanche

En Suisse, le dimensionnement hydraulique et la conception des ouvrages de protection contre les crues des cours d'eau sont souvent basés sur le concept suivant (voir également le paragraphe 7.2) :

Un débit de référence HQ_B (ou HQ_{dim}) est fixé, pour lequel une protection complète doit être assurée. Le débit de dimensionnement peut être déduit sur la base de probabilités d'occurrence. Pour assurer une protection complète, une revanche est ajoutée à la hauteur du niveau d'eau du débit de dimensionnement. La CIPC de l'hydrosuisse a développé des approches pour calculer la revanche en fonction de la situation (KOHS, 2013).

- (1) Pour les débits supérieurs au débit de dimensionnement, une protection réduite peut être autorisée (revanche réduite ou écoulement à pleins bords).
- (2) En outre, les cas de surcharge qui pourraient survenir en raison de situations extraordinaires (scénarios extrêmes) sont pris en considération. De telles situations doivent toujours être

prises en compte pour la conception d'une digue et peuvent nécessiter des sections de décharge (sections submersibles ou déversoirs régulés). La gestion des situations de surcharge, influencées entre autres par les changements climatiques, doit également être assurée en dehors des digues longitudinales proprement dites (corridors d'inondation, arrières digues / digues secondaires, planification et interventions d'urgence).

Pour la construction de digues longitudinales et leur dimensionnement, il est important de savoir quel niveau d'eau, dit de charge, correspondant à une certaine situation de dimensionnement est pris en compte pour le dimensionnement géotechnique compte tenu de facteurs de sécurité pertinents. Des approches possibles sont présentées dans la section 8.3.5.

8.3.3 Terrain et matériaux de construction

Les éléments suivants sont d'une importance capitale pour l'élaboration d'un projet de digue longitudinale :

- Données fondées et solides sur le sol de fondation
- Spécifications obligatoires des matériaux à utiliser pour la construction et la protection des digues.

Les clarifications concernant le sol de fondation et la détermination des valeurs caractéristiques du sol nécessaires sont des éléments centraux de la documentation de base (voir section 6.3.5). Des spécifications de matériaux précises sont définies lors de l'élaboration du projet de construction, au cours du dimensionnement et de la construction, et sont intégrées de manière contraignante dans l'appel d'offres des travaux de construction (voir section 9.3.1).

Dans la publication spécialisée "Petits barrages" du Comité suisse des barrages (STK. 2025), on trouve des indications adaptées aux conditions suisses sur la procédure et les exigences en matière d'études du sol de fondation ainsi que sur les spécifications des matériaux, raison pour laquelle nous renonçons ici à de plus amples explications. Des informations complémentaires sont également disponibles dans l'International Levee Handbook (CIRIA. 2013).

8.3.4 Mécanismes de défaillance

En ce qui concerne les scénarios de dommages possibles, la situation du sol de fondation mérite tout d'abord une attention particulière. En Suisse, les cours d'eau à fort potentiel de dommages se situent généralement dans des vallées au lit graveleux ou graveleux-sableux, qui présentent une perméabilité comparativement élevée et s'enfoncent dans des alluvions. En dehors du cours d'eau proprement dit, les alluvions sont souvent recouvertes de sédiments alluviaux à faible granulométrie, issus d'anciens débordements postglaciaires et présentant en général une perméabilité plutôt faible. Selon la situation, ces dépôts peuvent être inexistantes ou très peu épais. Cependant, elles ont souvent une épaisseur de quelques mètres. Un profil transversal de digues de protection contre les crues typique pour la Suisse est représenté à la figure 8-1.

En raison de cette situation, l'action des crues a deux effets déterminants :

- L'infiltration au travers du corps de la digue avec des effets sur la stabilité des talus du côté plaine (primaire) et plus tard, lors de la décrue, du côté eau également.
- Une surpression de l'eau interstitielle (remontée) dans la couche superficielle recouverte d'alluvions (sédiments alluviaux), induite par cette couche de couverture relativement imperméable. Si l'épaisseur de la couche de recouvrement est trop faible ou si l'épaulement est insuffisant, cette situation peut entraîner un renard hydraulique à la base, qui peut déclencher une instabilité de la digue ou du pied de celle-ci côté plaine. Comme on peut facilement le voir dans la Figure 8-1, cette rupture du fond se produit au niveau du pied de la digue, où il y a généralement un faible recouvrement de la couche de couverture.

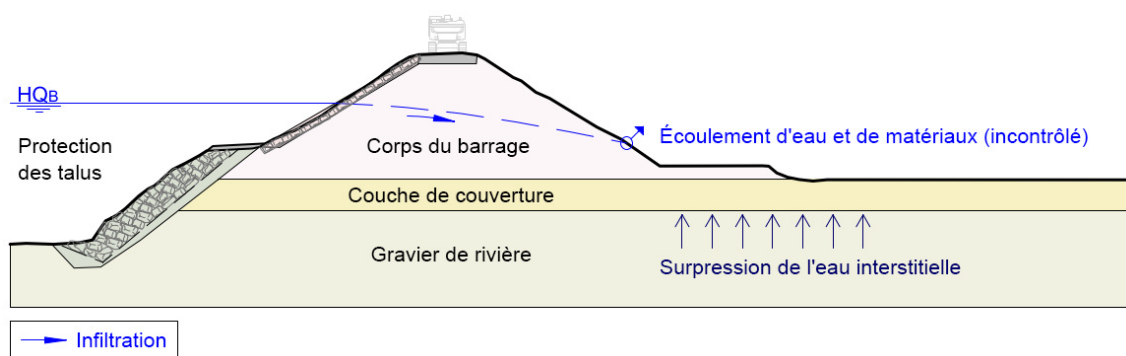


Figure 8-1 Profil transversal d'une digue de protection contre les crues sur un sol de fondation typique des rivières de vallée du Plateau suisse (exemple du Rhin alpin).

Pour les digues longitudinales le long des rivières charriant du gravier, telles qu'esquissées ci-dessus, les scénarios de dommages suivants sont possibles et doivent être pris en compte lors de leur construction et de leur dimensionnement. Cela s'applique aussi bien à la construction d'une nouvelle digue qu'à l'assainissement/reconstruction d'une digue existante.

- 1) Atteinte à la surface de la digue avec atteinte de l'intégrité de la digue par une action extérieure avec ou sans formation de brèches :
 - a) Débordement et érosion externe côté plaine, suivis de la formation de brèches
 - b) Formation d'affouillements, avec ou sans défaillance de la stabilité et formation de brèches (déclenchement de la défaillance de la stabilité par suite de l'érosion des berges)
 - c) Chablis et impacts
- 2) Défaillance de la stabilité avec formation de brèches par dépassement de la résistance ultime interne :
 - a) Défaillance du talus côté plaine (localement ou à grande échelle), par suite d'une surcharge, infiltration, tremblement de terre ou érosion, ou déclenchée par une rupture hydraulique du fond au pied de la digue
 - b) Défaillance de talus du côté eau (localement ou à grande échelle) par suite d'une surcharge, un tremblement de terre, une érosion ou une percolation des eaux en cas de décrue rapide
 - c) Poussée d'Archimède et renard hydraulique (surtout au pied de la digue)
 - d) Processus de rupture provoqué par la migration de matériaux et l'érosion interne, avec ou sans formation de brèches
- 3) affaiblissement de la résistance structurelle interne (sans défaillance de la stabilité ou formation de brèches) :
 - a) Sortie d'eau d'infiltration sur le talus côté plaine et au pied de la digue
 - b) Migration de matériaux et érosion interne
 - c) Tremblement de terre
 - d) Tassements (surtout pour les nouvelles constructions sur un sol non préparé) en référence aux normes SIA 260, 261 et 267. Les mécanismes de défaillance ci-dessus sont à attribuer aux états limites 1 et 3 tant qu'ils concernent des aspects de capacité portante tels que les problèmes de stabilité et de renard hydraulique (pour les murs de soutènement, le type 2 s'y ajoute également). Ou alors, ils doivent être traités dans le cadre du contrôle de l'aptitude à l'emploi (p. ex., érosion externe et interne). Les mécanismes de défaillance exposés ci-dessus sont schématisés par la suite

- e) La Figure 8-2 illustre ce point. La structure du sol et des digues correspond à chaque fois à la situation sur le Rhin alpin. Elle peut être considérée comme représentative des autres grands fleuves de vallées suisses. On retrouve également des conditions similaires sur l'Aar, la Reuss, la Limmat, la Singine, l'Emme, la Petite Emme, le Rhône ou la Thur. Dans le cas des sols cohésifs, une défaillance de la stabilité peut également se produire en raison de la liquéfaction du sol due à des charges transitoires, notamment en cas de séisme (voir section 8.3.5).

8.3.5 Dimensionnement des digues / cas de charge

Il existe deux approches et méthodes courantes pour le dimensionnement des digues en relation à une défaillance de la stabilité et pour les vérifications géotechniques correspondantes :

- (1) En Suisse, la norme SIA 267 "Géotechnique" et les deux normes de base SIA 260 et SIA 261 sont pertinentes pour le dimensionnement. Ils donnent un concept de vérification au niveau dit de dimensionnement, avec la réduction du facteur de résistance et des marges de sécurité du point de vue de la charge ou de l'impact (appelés facteurs partiels). Un tel concept au niveau du dimensionnement convient aux approches de calcul selon la méthode générale des lamelles (surface de glissement) ou selon Janbu et Bishop (cercles de glissement), qui sont implémentées dans différents programmes géotechniques.
- (2) Plus élaborée, et désormais largement utilisée pour des situations un peu plus complexes, on dispose de la conception au moyen de calculs par éléments finis (EF) à partir d'une loi des matériaux appropriée (par ex. Mohr-Coulomb) et de l'écoulement d'infiltration comme champ de potentiel. Un facteur de sécurité global (FS) est déterminé à partir des propriétés caractéristiques du sol, par exemple par le biais d'une réduction j/c .

Des pressions interstitielles défavorables, soit dans les sols à granulométrie fine et en état saturé, doivent être prises en compte pour les vérifications de stabilité. Selon la situation, d'autres approches et méthodes de calcul sont également indiquées, mais pour lesquelles il convient de se référer à la littérature spécialisée spécifique. Les conditions temporelles sont également importantes et nécessitent une prise en compte différenciée en fonction de la situation des crues et des digues :

- Lors des calculs et des vérifications géotechniques, on part généralement du principe d'une longue sollicitation par les crues et, par conséquent, d'un courant d'infiltration stationnaire. Souvent, cette approche conduit à un dimensionnement conservateur des digues. Dans le cas des rivières des Préalpes en particulier, les pics de crue peuvent ne durer que quelques heures, ce qui ne permet pas toujours d'établir un courant d'infiltration stationnaire.
- Cependant, lorsque les crues s'atténuent, l'approche stationnaire peut également sous-estimer un éventuel risque de stabilité : en cas de baisse rapide du niveau d'eau, le gradient du courant d'infiltration s'inverse du côté terrestre vers le fleuve, ce qui peut compromettre la stabilité du talus côté eau.

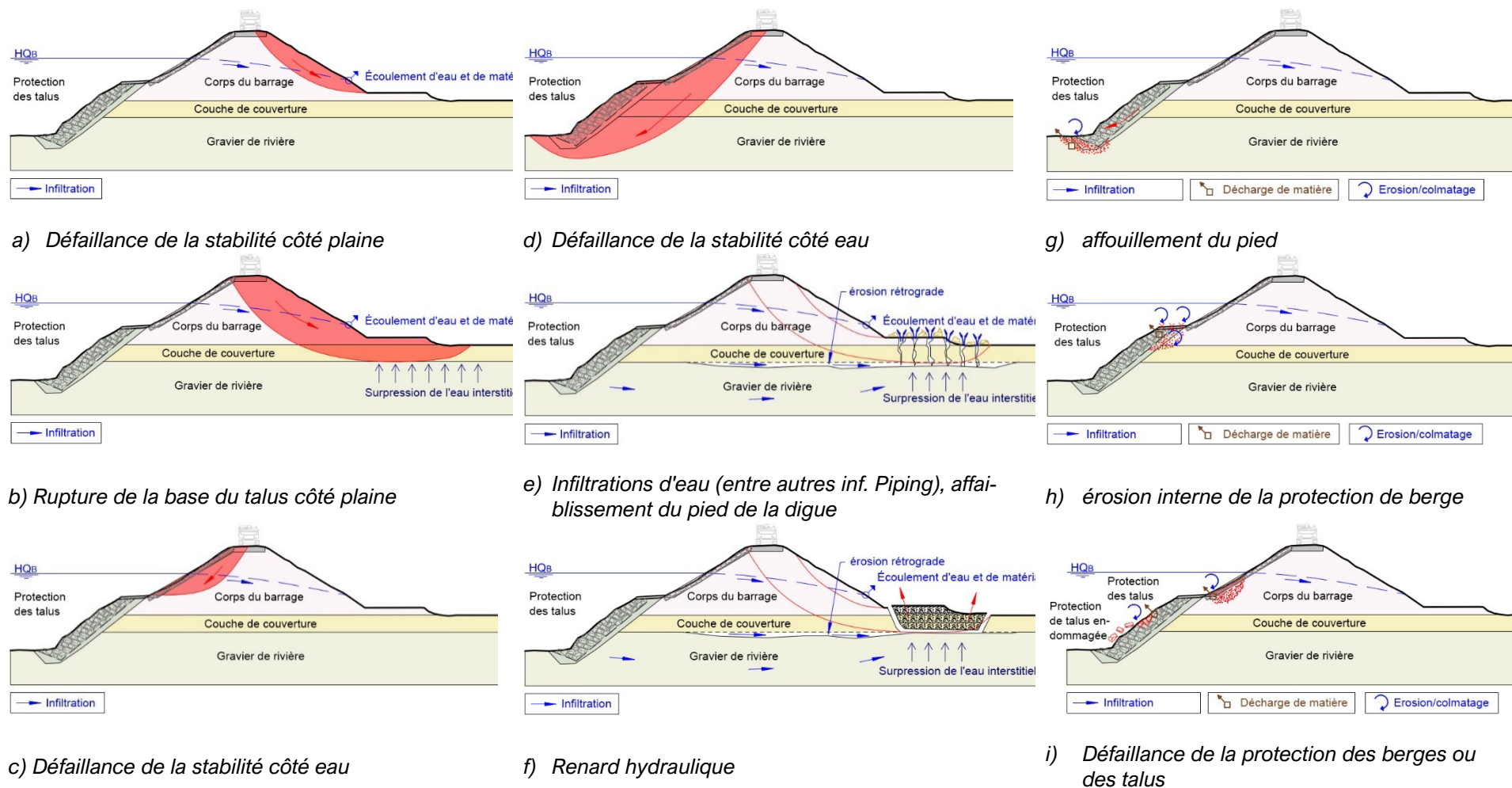


Figure 8-2 Images de dommages et mécanismes de défaillance des digues longitudinales (exemple des digues du Rhin alpin).

Les étapes suivantes sont essentielles pour le dimensionnement des digues de protection contre les crues :

- I. La définition d'un niveau d'eau de mise en charge qui tient compte de l'exposition des digues longitudinales aux écoulements de crue, en tenant compte d'une revanche hydraulique. Le niveau d'eau de mise en charge est le niveau d'eau côté eau de la digue qui est utilisé pour le dimensionnement de la stabilité géotechnique (corps de la digue) et de la stabilité des talus (protection des berges). En outre, la revanche doit couvrir les incertitudes et les imprécisions liées à la détermination du niveau d'eau de référence. Le niveau d'eau de charge peut s'orienter sur le niveau d'eau hydraulique de référence ou sur la cote de protection (niveau d'eau de référence avec revanche) ou encore sur les niveaux d'eau des débits extrêmes. Le choix de ce niveau doit être déterminée en fonction de la situation (voir également III.).
- II. Définition des autres impacts, surtout des surcharges (trafic, constructions, neige, etc.) mais aussi de l'impact sismique.
- III. La définition de facteurs de sécurité basés sur les risques. Un débit de dimensionnement doit présenter un facteur de sécurité plus élevé que pour un événement extrême rare. Le choix des facteurs de sécurité ou des coefficients de charge selon la SIA doit être adapté aux niveaux d'eau de charge respectifs. Il convient de mentionner ce qui suit : le facteur de sécurité ou de charge et la revanche appliquée servent tous deux à appréhender l'incertitude du niveau d'eau de charge ; la manière dont ces deux "marges de sécurité" doivent être ajustées l'une par rapport à l'autre exige en principe une évaluation situationnelle des probabilités d'occurrence et des risques.
- IV. Choix des matériaux de construction ou définition des propriétés des matériaux de construction de manière à garantir durablement l'intégrité extérieure et intérieure de l'ouvrage qu'est la digue longitudinale (valeurs caractéristiques des matériaux de construction de la digue en tenant compte des critères de filtre, de la protection des berges et des talus et des autres surfaces de la digue).

Ces principes s'appliquent aussi bien aux nouvelles digues qu'aux réfections. Un exemple de concept de dimensionnement pour les digues de protection contre les crues est esquissé ci-dessous. La détermination de la revanche nécessaire f_e pour une protection complète au débit de dimensionnement (HQ_B) se base sur la recommandation de la CIPC "Revanche dans les projets de protection contre les crues" (KOHS. 2013). Une protection réduite et donc une revanche $f_{e,red}$ réduite dans des situations de débit extrême (HQ_E) ou de surcharge doivent être définis en fonction du projet. Dans les situations de surcharge, la digue peut également être submergée si l'intégrité de l'ouvrage et/ou la sécurité de l'ensemble du système de crue sont préservées. Ce concept fait partie de l'accord sur les objectifs du projet, c'est-à-dire de l'accord sur l'utilisation des constructions de digues.

- Événement de référence HQ_B : $WSP_{Bel} = WSP_{HQB} + f_e$
- Événement extrême HQ_E : $WSP_{Bel} = WSP_{HQE} + f_{e,red}$ ou crête de digue ou hauteur de débordement

Sur la base des niveaux d'eau de charge et des autres impacts (charges de trafic, autres surcharges, séismes, etc.), les situations et des niveaux de dimensionnement peuvent alors être déduites et les facteurs de sécurité correspondants définis. Un exemple est donné ci-dessous.

I) Niveau de dimensionnement des digues

- $WSP_{Bel} = WSP_{HQB} + f_e$ (revanche complète)
- Charge de trafic = souvent p. ex. 40 t réparties sur une surface d'impact
- Protection totale et garanties correspondantes
 - Calcul caractéristique (FEM) : $FS_{global} \geq 1.5$ par ex. déterminé par une réduction j'/c

- Niveau de dimensionnement selon la norme SIA $\gamma_{R,Bem} \geq 1.2$ facteurs partiels, $\gamma_Q = 1.30$ pour la charge de trafic

II) Niveau Événement extrême (débits de crue extrêmes) ou autre charge maximale

- $WSP_{Bel} = WSP_{HQE} + f_{e,red}$ ou niveau d'eau au niveau de la crête de digue ou hauteur de submersion
- Charge de trafic = 5 t (charge réduite, à titre d'exemple) ou pas de charge de circulation
- Une protection réduite et donc des garanties réduites :
 - Calcul caractéristique (FEM) : $FS_{global} \geq 1.3$ par ex. déterminé par une réduction j'/c
 - Niveau de dimensionnement selon la norme SIA $\gamma_{R,Bem} \geq 1.1$ Facteurs partiels $\gamma_Q = 1.00$ pour la charge de trafic
 - Si des sécurités plus faibles sont appliquées, le risque de défaillance et les conséquences de la défaillance doivent être évalués plus précisément et une pesée des risques doit être effectuée.

Les situations de dimensionnement suivantes, qui ne sont pas abordées dans l'exemple ci-dessus, doivent encore faire l'objet d'une attention particulière :

Renard hydraulique : dans ce cas, les vérifications sont généralement effectuées selon la norme SIA 267 avec un gradient hydraulique déterminé par l'événement de dimensionnement ou l'événement extrême. Une éventuelle réduction des facteurs de sécurité pour l'événement extrême (conformément au concept ci-dessus) n'est recommandée que sur la base d'une analyse minutieuse des risques, car un renard hydraulique peut en outre déclencher des défaillances de stabilité.

Protection des berges et des talus : les mesures de protection à la limite du courant le long des digues longitudinales et notamment dans la zone du pied de la digue côté eau doivent être définies et dimensionnées en fonction de la situation déterminante en matière de courant (enrochements réglés ou irréguliers, épis, aménagements biologiques, etc.) Il faut également tenir compte des structures spatiales de l'écoulement (courants transversaux, tourbillons, affouillements).

Tremblement de terre : Le dimensionnement parasismique des digues longitudinales est effectué sur la base des normes SIA 261 et 267 actuelles. C'est-à-dire qu'on aura recours à la méthode de la force équivalente ou aux méthodes basées sur la déformation (par ex. selon Makdisi & Seed ou Newmark). Là où les digues reposent sur des couches de couverture à granulométrie fine, partiellement cohésives, constituées de sédiments alluvionnaires, il faut prouver qu'il ne peut y avoir de liquéfaction du sol, ce qui nuirait à la stabilité de la digue. Il convient en outre de noter que, dans le cas de charge d'un séisme, ce ne sont pas toujours les niveaux d'eau élevés qui sont déterminants, mais ceux pour lesquels les parties stabilisatrices (de retenue) de la digue sont soumises à la poussée d'Archimède.

La migration de matériaux par les percolations (érosion interne, piping, etc.) : Lors de l'examen des digues existantes, il convient également de vérifier la sécurité contre le transport interne de matériaux en cas d'infiltration et d'écoulement sous le corps de la digue. Pour les nouvelles digues, la construction doit être choisie de manière à empêcher durablement ces processus, par exemple par des drainages appropriés et le respect des critères de filtre (voir à ce sujet le paragraphe 8.3.6). Les voies d'infiltration le long des conduites traversant les digues sont particulièrement dangereuses et doivent donc être prises en compte.

Digues longitudinales existantes : Le contrôle de la sécurité des ouvrages existants peut être effectué selon la norme SIA 269 "Conservation des ouvrages" et notamment les parties 269/1 (impacts), 269/7 (géotechnique) et 269/8 (séismes).

8.3.6 Construction géotechnique de la digue

Comme la plupart des digues de protection contre les crues le long des cours d'eau suisses datent de la seconde moitié du 19^e siècle et de la première moitié du 20^e siècle, les rénovations de digues sont plus fréquentes que les nouvelles constructions. De telles mesures sont surtout nécessaires lorsqu'une digue de protection contre les crues est reconstruite en retrait dans le cadre de la revitalisation d'un cours d'eau. La présente section donne quelques exemples de méthodes de construction de nouvelles digues ainsi que des mesures largement utilisées pour l'assainissement des digues. Lors de l'assainissement de digues existantes, il convient de tenir compte de l'hétérogénéité historique parfois très grande des matériaux de construction des digues pour la définition des caractéristiques des matériaux des ouvrages et des matériaux utilisés pour l'assainissement (voir par ex. STK. 2025).

Construction d'une nouvelle digue

Tant que l'espace disponible est suffisant, les digues à faibles pentes seront plutôt privilégiés pour des raisons morphologiques, écologiques, techniques, de logique de construction et de facilité de gestion. De telles digues présentent en général une plus grande stabilité ainsi qu'une meilleure résistance à l'érosion en cas de débordement. En Suisse, on recommande une pente de talus de 1 : 3 des deux côtés. Une telle inclinaison permet d'utiliser des matériaux de remblai appropriés et non traités, offre de l'espace pour la connectivité longitudinale terrestre et permet un entretien mécanique. De plus, l'attaque du courant sur les talus à faibles pentes est comparativement plus faible, ce qui permet de choisir une protection de rive plus légère. Les types de construction suivants sont souvent utilisés :

- Digues en terre homogènes avec filtre en pied (Figure 8-3)
- Digues zonées avec corps d'étanchéité et de soutien et filtre en pied de digue (Figure 8-4)

C'est précisément lorsque les digues reposent partiellement ou entièrement sur des matériaux de couverture à faible granulométrie (alluvions) qu'il faut s'assurer qu'aucun renard hydraulique ne peut se produire au pied de la digue. C'est-à-dire que soit la couche de couverture doit être suffisamment épaisse et/ou suffisamment recouverte, soit le filtre de pied de digue assure un allègement de la pression interstitielle sous la couche de couverture par un raccordement direct aux alluvions sous-jacents. Dans le cas d'un chemin prévu, celui-ci doit également être protégé contre l'érosion.

La **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** montre l'exemple de la normale géotechnique d'une digue en remblai homogène sur matériau de couverture avec filtre en pied de digue et raccordement aux alluvions sous-jacentes.

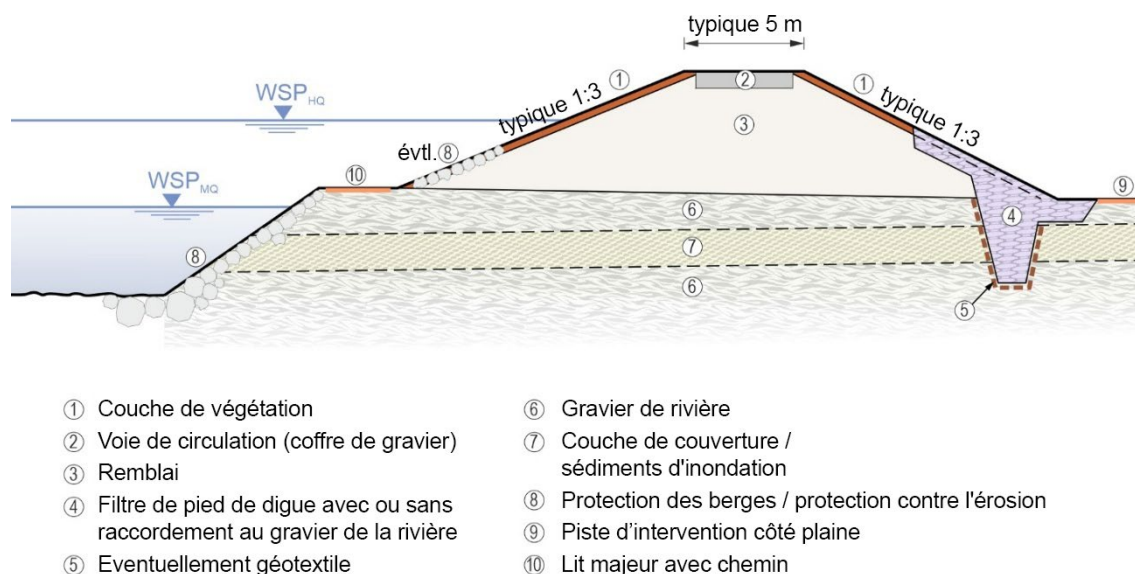


Figure 8-3 Profil normal schématique d'une digue en terre homogène avec filtre en pied de digue

La Figure 8 4 présente une situation géotechnique normale possible d'une digue zonée avec corps d'étanchéité, couche de séparation et corps de soutènement, dans le cas d'un sous-sol stratifié identique et également avec raccordement aux graviers de rivière

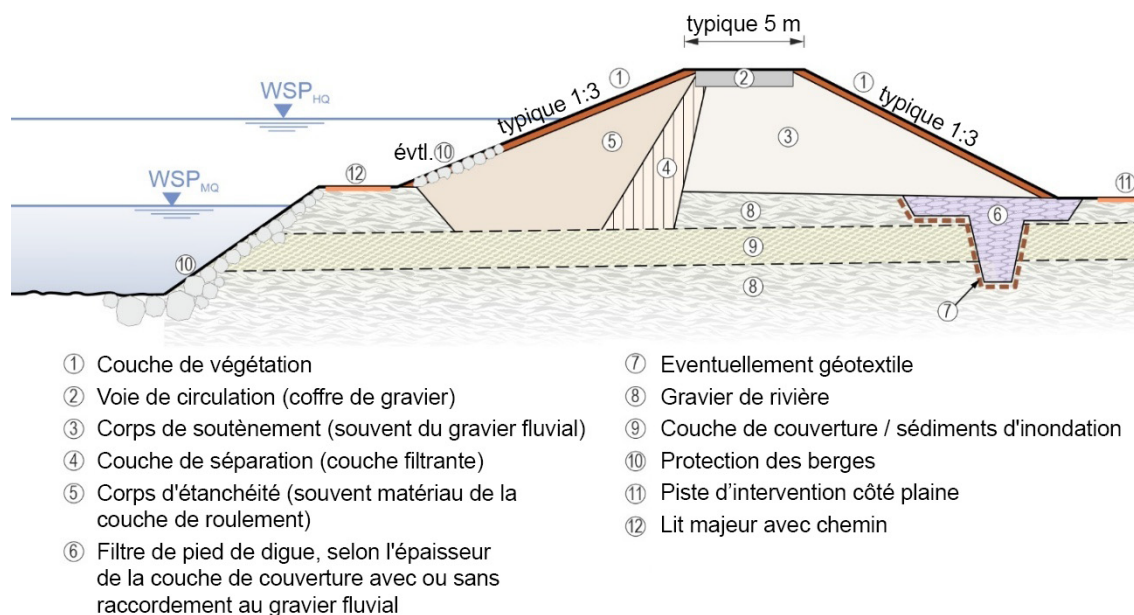


Figure 8-4 Profil normal schématique d'une digue longitudinale zoné

Dans ce contexte, il faut également se référer aux explications relatives à la migration interne de matériaux et à l'érosion interne à la fin du paragraphe 8.3.5. Les corps de digue doivent être construits de manière à être stables au niveau du filtre, afin d'empêcher durablement la migration de matériaux ou l'érosion interne. Si de nouvelles digues reposent sur un sol sensible au tassement (p. ex. des sédiments alluviaux argileux), il convient d'examiner de plus près l'ampleur et l'évolution temporelle du tassement. En outre, la digue doit être recouverte de manière adéquate.

Assainissement des digues

Par suite des crues de 1987, 1999, 2000, 2005 et 2007, des déficits sont apparus sur différents digues, souvent plus que centenaires, le long des rivières de plaine suisses. Il est donc important de prendre en compte les risques liés non seulement en ce qui concerne leurs hauteurs, mais aussi et surtout en ce qui concerne l'intégrité de l'ouvrage (glissements, brèches locales, infiltrations avec migration de matériaux). Ce constat a déclenché différents projets d'assainissement (notamment les canaux d'Escher et de la Linth, l'Aar, le Rhin alpin, le Rhône, la Reuss, l'Emme et la Thur), qui ont été successivement réalisés ces dernières années ou sont encore en cours. Les mesures d'assainissement suivantes ont été identifiées pour des caractéristiques du sol correspondantes à des rivières à charriage :

- Réduction des pentes des digues et filtre de charge (si l'espace est suffisant)
- Remplacement du matériel ou construction d'un épaulement côté plaine (en cas d'espace restreint)
- Assainissement avec paroi étanche (en cas d'espace restreint et érosion des matériaux)

Les différentes méthodes d'assainissement sont présentées dans le profil géotechnique transversal des Figure 8-5 à Figure 8-7. Si l'espace disponible le permet, l'abaissement des pentes de la digue avec un filtre de charge s'avère souvent être la meilleure méthode. Elle offre les avantages suivants :

- Solution simple, robuste et en général peu coûteuse (processus de construction simples, matériaux de construction bon marché)
- Amélioration et augmentation de la capacité de charge des accès sur la crête et au pied de la digue
- Simplification de l'entretien et de la gestion et amélioration des possibilités d'intervention
- Création d'habitats terrestres, y compris possibilité d'un boisement partiel

Les solutions techniques de remplacement de matériaux et ou de mur de soutènement ainsi que la solution d'une paroi étanche sont en général plus coûteuses et posent des exigences plus élevées à l'exécution des travaux. Elles devraient être utilisées surtout lorsque la situation spécifique l'exige. Cela peut être dû à un espace restreint ou parce que l'état de la digue existante nécessite une telle solution.

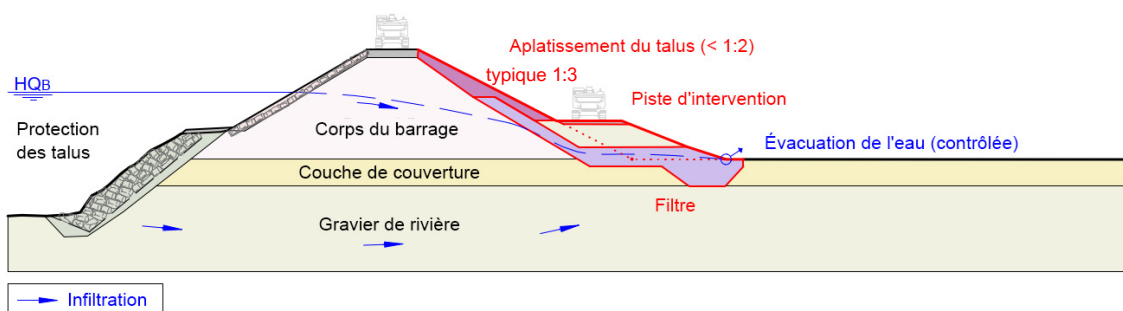


Figure 8-5 Coupe transversale typique d'une digue pour la mesure d'assainissement par un filtre de charge (couche filtrante en violet).

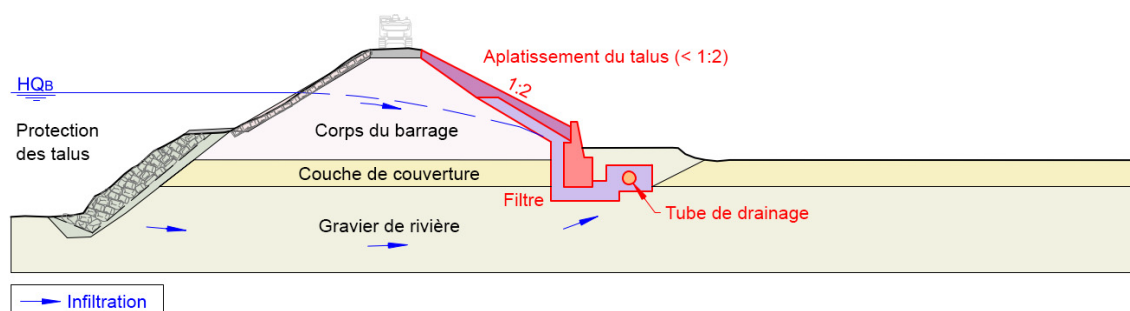


Figure 8-6 Coupe transversale typique d'une digue pour la mesure d'assainissement par un mur de soutènement (couche filtrante en violet).

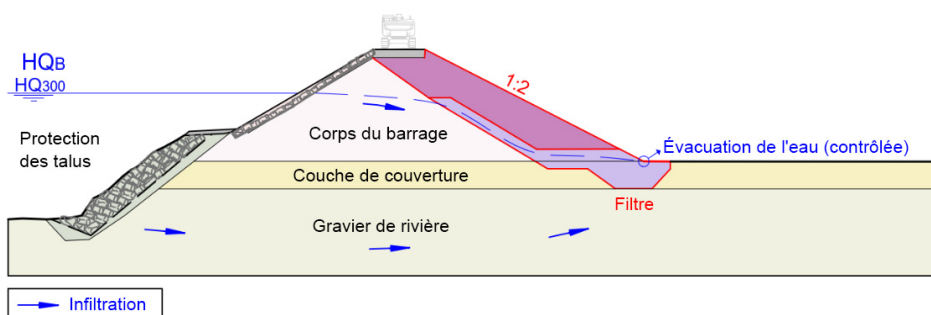


Figure 8-8 Coupe transversale typique d'une digue pour la mesure d'assainissement par le remplacement des matériaux (couche filtrante en violet).

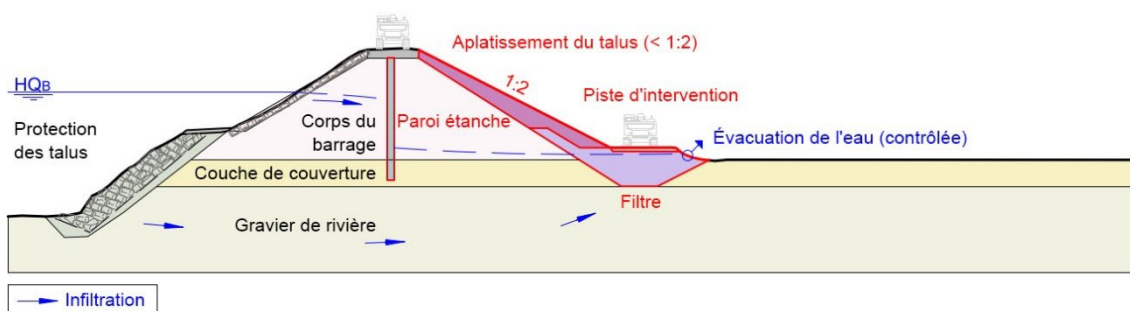


Figure 8-7 Coupe transversale de la digue pour la mesure d'assainissement par une paroi étanche (couche filtrante en violet).

8.3.7 Utilisation et gestion

En Suisse, les espaces fluviaux des rivières de plaine sont souvent étroitement limités par les zones d'habitation, les installations d'infrastructure, l'exploitation agricole et sylvicole ainsi que la production d'énergie. Il en résulte des exigences parfois contradictoires en matière d'utilisation des digues et de protection de la flore et de la faune sur les digues. L'équilibre entre l'objectif primaire de "protection contre les crues" (sécurité) et les objectifs secondaires d'exploitation énergétique, agricole et sylvicole, de protection de l'environnement et d'écologie ainsi que d'utilisation pour les loisirs de proximité et comme mode de transport est l'un des grands défis à relever lors

de la planification des digues longitudinales. Les exigences posées aux digues longitudinales dans le cadre de tels projets sont par conséquent très variées.

Les points essentiels à prendre en compte lors de l'étude de projets de digues longitudinales sont indiqués ci-dessous sous forme de mots-clés. Cette liste n'est pas exhaustive.

- Quel type de végétation et/ou de peuplement forestier est autorisé ?
- Comment s'effectuent la gestion et l'entretien et qui en est responsable ?
- Une utilisation agricole et/ou forestière est-elle admise ? Comment est-elle organisée ?
- Quel trafic, quelles charges de trafic, quelles autres surcharges sont admises et où ?
- Comment fonctionne la gestion du trafic ou l'orientation des visiteurs ?
- Quelles sont les infrastructures autorisées ou acceptées dans la zone de la digue (longitudinalement et transversalement à l'axe de la digue) ?
- De telles utilisations sont-elles autorisées par rapport à la Leaux (notamment en ce qui concerne l'utilisation de l'eau) (LEaux Art. 37) ?
- Où et quelles zones de protection sont délimitées, où donner la priorité aux valeurs naturelles ?
- Comment l'accès aux digues est-il assuré et conçu (pour l'exploitation, l'entretien et surtout l'intervention en cas d'événement), quels accès doivent être aménagés et comment ?

8.3.8 Végétation, peuplement forestier et animaux fouisseurs

Le thème du peuplement forestier, qui est tout à fait central pour la durabilité des constructions de digues, est traité plus en détail ci-après. En effet, la pratique suisse diffère de celle d'autres pays, qui n'autorisent souvent pas le reboisement des digues. Nous reproduisons ci-dessous, à titre d'exemple, le traitement développé pour les digues du Rhin alpin.

Une section minimale est définie, qui correspond techniquement/statiquement au moins à la section de la digue requise et qui ne doit en aucun cas être envahie par la végétation ou les racines. En dehors de cette section minimale, des zones sont définies avec la végétation admise. Les désignations suivantes sont utilisées à cet effet :

- Végétation : Bois et couche herbeuse
- Bois : Arbres (jusqu'à une hauteur max. de 5 m) et arbustes (= peuplement)
- Couche herbeuse : Graminées et plantes
- Sans bois : Graminées et plantes admises

La section minimale est définie par une crête de digue d'environ 5 m de large, par une hauteur incluant une revanche de 1 m au-dessus du niveau d'eau de dimensionnement HQ_B, mais au moins au niveau du niveau d'eau pour l'événement extrême (EHQ), et se raccordant au talus de la digue côté plaine avec une pente correspondant à la moitié de l'angle de frottement du remblai de la digue. Cette section minimale est considérée comme une zone qui ne doit pas être traversée par les racines.

Les zones avec végétation ou un peuplement sont définies selon la Figure 8-9 comme suit :

- B1 : Côté eau ; section minimale en principe non boisée
- B2 : Zone de drainage ; sans bois, végétation herbacée maintenue basse
- B3, B4 : 2/3 supérieurs des hauteurs de talus côté plaine ; arbres et arbustes sur max. 50 % de la surface, hauteur max. 5 m et éventuellement diamètre limité
- B5 : Talus côté plaine au-dessus de la ligne d'eau déterminante, arbres et arbustes jusqu'à 5 m de hauteur
- DSS : Bande de protection des digues (en général plus large que 5 m) avec éventuellement une piste d'intervention

D'une manière générale, la plantation de peupliers n'est pas admise. En outre, il convient de garantir une bande de protection des digues exempte de bois au pied de la digue (côté plaine et côté eau pour le lit majeur) (prolongement de la zone B4 au pied de la digue dans la plaine). D'une manière générale, aucun bois n'est autorisé dans les zones où des couches filtrantes et drainantes sont intégrées. En dehors de la bande de protection des digues, il convient, pour des raisons écologiques et paysagères, d'aménager une bande boisée côté plaine. Celle-ci dissimule justement l'ouvrage de digue avec de grands arbres et dessine le cours de la rivière. Côté eau, l'apparition d'une forêt alluviale de bois tendre en dehors de la bande de protection des digues est souhaitable.

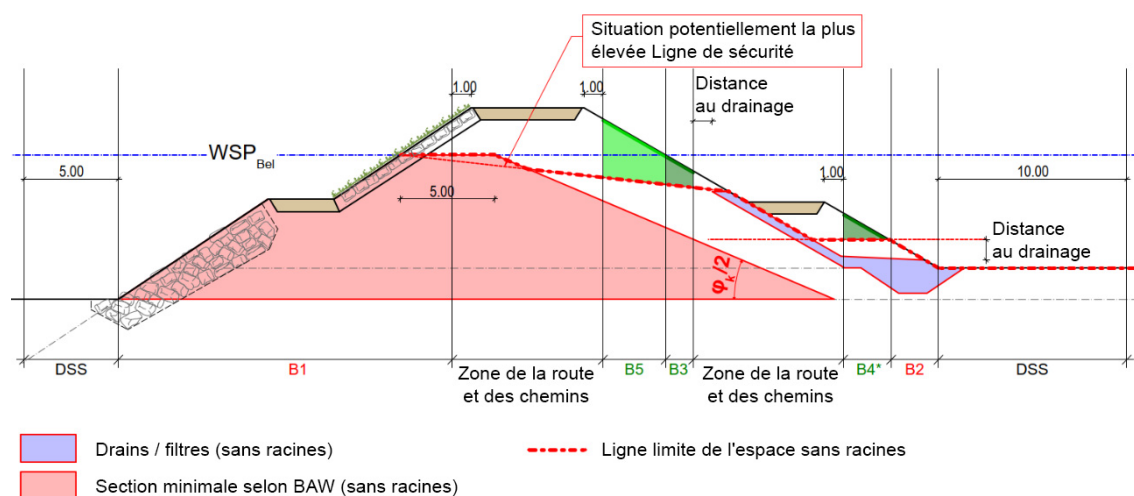


Figure 8-9 Concept de végétation ou de peuplement à l'exemple du Rhin alpin. (assainissement). Les zones hachurées en vert sont les zones de racines de la végétation et du peuplement admis.

La protection des digues contre les animaux fouisseurs est de plus en plus importante pour la durabilité des digues longitudinales. D'une part, ces derniers peuvent être tenus à l'écart dans le cadre de l'entretien régulier (cf. chapitre 10), mais cela peut s'avérer coûteux et pas toujours couronné de succès, voire entrer en conflit avec la protection des animaux. D'autre part, il est possible d'envisager - notamment dans le cas de nouvelles constructions ou d'assainissements - des mesures de construction sous forme de barrières (p. ex. grilles dans le corps de la digue). Les mesures concrètes doivent être planifiées et mises en œuvre en fonction de la situation spécifique.

8.4 Exemples

Voir annexe A :

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P1	Protection contre les crues du Rhin alpin, tronçon international PK65-91	x	x	x		
P4	3ème correction du Rhône - Mesure prioritaire de Viège		x	x		
P5	Protection contre les crues et renaturation de l'embouchure de l'Aar et de la Gürbe		x	x		

P6	Elbe, Z 8.6 Recul de digues à Köllitzsch		x	x		
P9	Protection contre les crues de la Vieille Aar		x	x		x
P10	HWS Linth 2000		x	x	x	x
P11	Parco fluviale Boschetti-Saleggi, Bellinzone			x		
P12	Protection contre les crues du Buoholzbach (torrent, dépotoir à alluvions)			x		
P13	Elbe, Z 8.5 Réfection totale des digues			x	x	
P14	Zone de rétention contrôlée du polder de Löbnitz			x	x	x

9 Phase (IV) : acquisition et réalisation

9.1 Introduction

La phase (IV) comprend les phases SIA 41 à 53 (appel d'offres et réalisation). Le respect des coûts et des délais des ouvrages à réaliser est déterminé dans une large mesure par un appel d'offres minutieux et bien pensé (phase 41), des plans d'exécution sans erreur et livrés dans les délais (phase 51) et une direction des travaux rigoureuse avec une attention particulière portée à la qualité d'exécution (phase 52).

9.2 Objectifs et produits

Les objectifs comprennent

- la clarification du modèle d'acquisition à appliquer (ET/EC/alliance/entreprise de construction planificatrice)
- l'établissement des documents de soumission, y compris le projet de contrat d'entreprise, la soumission et le choix de l'entreprise de construction/du groupement d'entreprises pour la réalisation → documents de soumission
- la finalisation et la signature des contrats d'entreprise pour la réalisation des constructions entre le maître d'ouvrage et l'entrepreneur/planificateur
- l'établissement du plan d'exécution détaillé → le plan d'exécution, le projet d'exécution ou au moins des parties de celui-ci, peuvent également être établis avant la soumission, afin de disposer d'un projet suffisamment précis pour la soumission de l'entrepreneur
- l'exécution conformément aux plans, aux dispositions particulières et aux prescriptions de qualité du plan de contrôle et d'essai dans le cadre du programme de construction défini
- la mise en service des ouvrages, y compris l'élimination des défauts, la documentation de l'ouvrage exécuté et le décompte ainsi que la remise au maître d'ouvrage

9.3 Points essentiels

9.3.1 Soumission

L'objectif est de déterminer l'offre la plus appropriée d'un point de vue économique global (à ne pas confondre avec "l'offre la plus avantageuse"), qui garantit les conditions marginales requises et donc un projet adapté et compréhensible d'un point de vue qualitatif. Le prix n'est donc qu'un des nombreux critères d'attribution et n'est pas toujours le plus important.

L'aptitude du soumissionnaire (critères d'aptitude tels que l'organisation/la structure, la capacité, les références de l'entreprise, la formation et l'expérience des personnes clés, l'assurance qualité, la capacité financière) pour le marché prévu doit être vérifiée par la procédure de soumission, indépendamment de la valeur du marché. En ce qui concerne l'appel d'offres pour les digues longitudinales, il convient de mentionner spécialement les points suivants :

- Expérience technique dans la construction/réhabilitation de digues (longitudinales) ou de barrages
- Expérience en matière de logistique pour les chantiers d'infrastructures linéaires, de construction au bord de l'eau/dans l'eau, de déroulement de la construction
- Expérience en matière de suivi écologique des travaux
- Expériences avec le guidage des visiteurs
- Compétences pour les utilisations secondaires (écologie, loisirs de proximité, etc.)

- Analyse de la commande et variantes d'entrepreneur (surtout logistique, déroulement des travaux, flux de matériaux)

Pour les digues longitudinales, l'étendue des prestations de l'entrepreneur doit être spécifiée de manière détaillée, notamment en ce qui concerne les points suivants :

- Exigences relatives à la surface d'appui de la digue (sol porteur)
- Exigences relatives aux matériaux de remblai : valorisation des matériaux sur place (bande de répartition granulométrique, perméabilité, teneur en eau)
- Approvisionnement en matériel, y compris l'échantillonnage au point de prélèvement
- Éventuellement, exigences relatives à la préparation et au transport des matériaux de remblai
- Mise en place et compactage du matériau de remblai, y compris les contrôles de mise en place pour l'assurance qualité
- Hauteurs et géométrie des remblais, y compris les hauteurs de remblai pour la compensation du tassement
- Exigences relatives à la crête de la digue (largeur, charges de trafic)
- Déroulement de la construction
- Concept de gestion des matériaux, y compris le recyclage des matériaux (d'excavation)
- Concept de décharge (la loi sur l'aménagement des eaux ne contient pas d'article sur les décharges, par conséquent, l'entrepreneur doit utiliser les décharges existantes).
- Cahier des charges complet avec les métrés et les réserves de métré appropriées
- Contrôle de la qualité de la construction des digues, y compris le remblayage d'essai avec les essais géotechniques nécessaires
- Accès (entrées et sorties, ...) et places d'installation
- Guidage des visiteurs (sécurité : p. ex. dissocier les activités de construction de l'utilisation récréative, guider les visiteurs dans l'entreprise)
- Définition des crues à risque (délimitation de la responsabilité entre le maître d'ouvrage et l'entreprise en cas de crue du chantier)
- Concept d'urgence/d'alarme
- Exigences concrètes pour les dossiers de construction et la documentation de l'ouvrage réalisé
- Gestion des changements de conditions cadres et des modifications de commande

Les exigences du droit des soumissions exigent que les critères d'adjudication transparents et entièrement élaborés, ainsi que leur pondération, soient publiés et justifiés dans les documents d'appel d'offres. La pondération dépend essentiellement de la complexité et de la qualité attendue du projet. Afin de garantir une évaluation appropriée, les critères d'attribution (prix, qualification du soumissionnaire, qualification du personnel clé, aspects techniques, délais, valeur technique, options, etc.) doivent être définis pour chaque projet spécifique, avec une pondération. En particulier, la qualification du personnel clé engagé dans le projet (références de digues (longitudinales) réalisées de manière similaire le long de cours d'eau) doit être pondérée, évaluée et imposée en conséquence.

9.3.2 Contrôle de la qualité de l'exécution

Le dossier de soumission contient un plan de vérification et de contrôle qui doit éventuellement être adapté et mis en œuvre pendant la réalisation des digues longitudinales. La mise en place du matériel de remblayage nécessite des spécialistes expérimentés qui accompagnent continuellement le processus de construction.

La documentation doit comprendre au moins les points suivants :

- État/construction de la surface d'appui de la digue
- Spécification du matériau de remblai avec attestations correspondantes
- Procès-verbaux des contrôles d'installation pendant la construction de la digue avec tous les résultats des contrôles
- Contrôles de niveau (profils transversaux et longitudinaux de l'ouvrage réalisé)
- Autre matériel de documentation de la direction des travaux (p. ex. photos, etc.)

Il est recommandé que pour chaque digue longitudinale, l'exploitant concerné établisse une documentation finale de l'ouvrage réalisé, contenant toutes les informations de base de la digue longitudinale correspondante. Cela signifie que la documentation comprend les informations pertinentes de l'étude de projet, de la construction et de l'exploitation, ainsi que d'éventuelles adaptations depuis la mise en service.

9.4 Exemple

Voir annexe A :

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P10	HWS Linth 2000		x	x	x	x
P13	Elbe, Z 8.5 Réfection fondamentale des digues			x	x	
P14	Zone de rétention contrôlée du polder de Löbnitz			x	x	x
P15	Élargissement de la Reuss Hinterleitschach, Erstfeld UR				x	

10 Phase (V) : Exploitation et entretien

10.1 Introduction

Les digues longitudinales sont des ouvrages techniques et nécessitent, comme les autres ouvrages, un entretien régulier ainsi qu'une surveillance avant et pendant un événement. Selon l'aménagement des digues longitudinales et la présence éventuelle de lits majeurs, une gestion est au moins partiellement possible. Comme le potentiel de dommages peut être important en cas de rupture de digue, la planification d'urgence, y compris l'intervention en cas d'événement, est un instrument important, en plus de l'entretien et de la surveillance, pour prévenir et empêcher une défaillance.

10.2 Objectifs et produits

En ce qui concerne les digues longitudinales le long des rivières, les objectifs de la phase V sont les suivants :

- Clarification des compétences et des responsabilités dans le cadre de la gestion
- Clarification des compétences et des responsabilités dans le cadre de l'entretien
- Clarification des compétences et des responsabilités dans le cadre de la surveillance en temps normal (avant un événement)
- Clarification des compétences et des responsabilités pendant et après un événement (planification d'urgence)

A la fin de la phase V, les documents suivants devraient être disponibles :

- Concept de gestion
- Concept d'entretien, y compris plan d'entretien ou concept de maintenance (en concertation avec les services responsables)
- Concept de surveillance
- Plan d'urgence (intervention pendant un événement)

10.3 Points essentiels

10.3.1 Utilisation et gestion

L'utilisation et l'exploitation des digues longitudinales (côté terre et côté plaine) ainsi que des éventuels lits majeurs et zones de transition côté plaine des digues longitudinales doivent être réglées dans un concept d'exploitation. Dans le cadastre des ouvrages de protection, ou gestion des ouvrages de protection des cantons, les compétences doivent également être recueillies.

Lors de l'aménagement de l'espace réservé aux eaux, l'article 37 LEaux ou l'article 4 LACE doivent s'appliquer dans la mesure du possible, c'est-à-dire que l'aménagement proche de la nature doit primer sur l'exploitation agricole (art. 41c OEaux). Si l'exploitation des digues longitudinales, y compris les éventuels lits majeurs (espace réservé aux eaux), fait partie de l'entretien, l'art. 41c, al. 4 de l'OEaux est à respecter.

Si le canton, la commune ou une corporation de digues n'assume pas lui-même l'utilisation et l'exploitation, le terrain peut être loué. Pour ce faire, il convient de conclure un contrat de location de terrains agricoles. Le contrat de bail doit régler l'exploitation au moment de l'entrée en vigueur du bail (semis sur pied, labouré/non labouré, prairie artificielle, prairie naturelle, pâturage) ainsi que les conditions cadre et les directives. Il s'agit entre autres de :

- Objet du bail (parcelle, surface)
- Loyer
- Durée du bail
- Directives pour la gestion (p. ex. ensemencement, dates de fauche, entretien des bosquets)
- Directives relatives au pâturage
- Indemnisation éventuelle en cas d'inondation
- Le cas échéant, d'autres dispositions

Du point de vue de l'intervention en cas d'événement, le contrat de bail devrait stipuler que la moitié ou le tiers inférieur du talus peut être coupé avant la saison des crues et que la date de coupe ne peut constituer un empêchement.

En ce qui concerne la durée du bail, le délai de résiliation et le fermage, il est renvoyé au droit sur le bail à ferme (loi fédérale sur le bail à ferme agricole, LBFA).

10.3.2 Entretien

Les cours d'eau, les berges et les ouvrages de protection contre les crues doivent être entretenus de manière à préserver la protection existante contre les crues, en particulier les capacités d'écoulement existantes. Ainsi, les digues longitudinales nécessitent elles aussi un entretien régulier afin de conserver leur fonctionnalité pendant toute leur durée d'utilisation. Un concept d'entretien doit décrire l'entretien nécessaire et définir les compétences en matière d'entretien.

Concept d'entretien

Le concept d'entretien doit aider le service responsable de l'entretien à procéder systématiquement à l'entretien du cours d'eau et à favoriser ainsi ses multiples fonctions. Il facilite la planification et la budgétisation des ressources humaines, matérielles et financières nécessaires. Le concept d'entretien garantit une vue d'ensemble et la continuité dans la réalisation des objectifs et priorise les différentes mesures.

Le concept d'entretien doit, si nécessaire, définir les points suivants (liste non exhaustive) :

- les objectifs à atteindre
- les compétences pour les travaux de contrôle et d'entretien
- la planification spatiale et temporelle des travaux d'entretien
- l'ampleur des travaux
- les surfaces de végétation ainsi que les plantations adaptées au site

Entretien des digues

Dans le cadre de l'entretien des digues, les travaux suivants (non exhaustifs) doivent être réalisés, ou seulement une partie d'entre eux selon la situation :

- Remise en état et entretien des rives et, le cas échéant, du lit majeur
- Entretien de la végétation des rives
- Lutte contre les néophytes
- Fauche régulière des talus pour supprimer la végétation ligneuse et favoriser un tapis herbacé dense, si aucune végétation ligneuse n'est autorisée sur les talus des digues (maintien de l'espace libre)
- Si la végétation est autorisée, mis en œuvre du concept de végétation. Un entretien approprié des bosquets doit être planifié et mis en œuvre.
- Enlèvement des déchets et des grandes accumulations de bois flottant
- Enlèvement des atterrissements locaux (non tolérables), en particulier sur les lits majeurs
- Gestion des animaux fouisseurs

- Rétablissement de la protection des berges, si celle-ci a été endommagée lors d'une crue
- Remise en état et réparation de seuils, de systèmes de drainage et de rampes après des événements
- Entretien d'éventuels ouvrages, respectivement sur la digue et sur les voies d'intervention (chemins, etc.)
- Rétablissement du profil des digues en cas de tassements, de glissements, de points faibles locaux
- Signalement de dysfonctionnements

L'entretien est consigné dans un plan d'entretien et doit être actualisé en permanence. En outre, des travaux d'arpentage périodiques sont éventuellement effectués. Le plan d'entretien se fait de préférence sous forme numérique, le cas échéant dans un géoportail de l'administration compétente.

10.3.3 Végétation, peuplement forestier et animaux fouisseurs

Végétation et peuplement forestier

Si, lors de la phase III, une digue longitudinale avec un profil augmenté (digue surlargeur ou surélévation de digue) est prévue et qu'une végétation ou un peuplement forestier est ainsi sciemment autorisé, un concept de végétation ou de peuplement doit être établi. Le concept de végétation ou de peuplement doit définir les plantations autorisées et les arbres non autorisés. La fiche technique BAW Stabilité des digues sur les voies navigables fédérales (BAW. 2011) dresse la liste des arbres et arbustes autorisés en fonction du site de plantation ainsi que des arbres non autorisés. Un entretien approprié des bosquets doit être planifié et mis en œuvre.

Animaux fouisseurs

Les digues longitudinales offrent des habitats appropriés aux animaux. En creusant, les animaux fouisseurs peuvent menacer localement la sécurité d'une digue longitudinale. Les espèces terrestres telles que le blaireau, le renard, le rat musqué, la taupe, le campagnol terrestre peuvent créer des systèmes de galeries très ramifiés. Les entrées côté eau sont situées au-dessus de la cote du niveau d'eau qui prédomine souvent, ce qui les rend plus faciles à repérer. Côté plaine, ils sont plus difficiles à localiser. Les espèces semi-aquatiques, comme le castor, ont leurs accès en dessous des niveaux d'eau fréquents et sont donc difficiles à repérer. La végétation et le peuplement des digues longitudinales favorisent l'installation d'animaux fouisseurs.

Dans le cas d'une digue longitudinale avec une section minimale, les animaux fouisseurs ne sont pas admis dans la section de la digue et peuvent être tenus à l'écart de la digue longitudinale, par exemple, par l'installation de barrières anti-fouisseurs telles que des grilles de protection. Si des terriers de fouisseurs sont malgré tout présents, ils doivent être enlevés dans la mesure du possible et la digue longitudinale doit être remise en état.

Si la digue longitudinale est constituée d'une surépaisseur (surlargeur) et que l'on s'assure que les animaux fouisseurs ne se propagent pas jusqu'à la section minimale, on peut tolérer des aménagements d'animaux proches de la surface. Il est en outre possible que la section minimale soit protégée par une barrière anti-obstacle. Si des terriers de fouisseurs sont présents, ils doivent être documentés dans le cadre de l'entretien des digues et, si nécessaire, les barrières anti-fouisseurs doivent être remises en état.

Pour la gestion des animaux fouisseurs, la fiche technique DWA-M 608-1 (2017) donne de plus amples informations.

10.3.4 Surveillance

En matière de surveillance, on distingue la surveillance avant un événement, c'est-à-dire la surveillance régulière, et la surveillance pendant un événement dans le cadre de la planification d'urgence.

Surveillance avant l'événement

Un ouvrage de protection sur un cours d'eau doit être contrôlé ou surveillé régulièrement et systématiquement. Cela est aussi valable pour les digues longitudinales. La forme des contrôles, les personnes concernées, la fréquence et le type de documentation doivent être consignés dans un concept de surveillance et être convenus avec le ou les services compétents. La fréquence et la régularité des contrôles dépendent de la hauteur, de l'âge, de l'état des digues longitudinales, ainsi que de l'activité des animaux dans la zone des digues. De plus, un contrôle doit être effectué après chaque événement de crue.

Les contrôles doivent être consignés dans un procès-verbal. Les points endommagés sont documentés dans un formulaire et doivent être signalés au service responsable concerné. Il est judicieux de prévoir des formulaires prédéfinis sous forme de liste de contrôle, afin de favoriser un contrôle uniforme et de permettre une documentation simple et complète. L'utilisation d'outils numériques pour le contrôle et la réparation des digues longitudinales est recommandée.

Dans le cas de digues longitudinales hautes et/ou de digues longitudinales présentant un potentiel de dommages important, il est recommandé de rédiger chaque année un rapport de sécurité et d'effectuer une inspection visuelle avec un spécialiste expérimenté, où seront notamment traitées les observations de l'équipe d'entretien. Le résultat est un rapport annuel de sécurité sur l'état des digues longitudinales et la consignation des mesures à prendre.

Comme une bonne surveillance ne permet pas de détecter tous les points endommagés, il faut impérativement un plan d'urgence et la possibilité d'intervenir en cas de crue (voir paragraphe 10.3.5). En particulier, les processus invisibles (phénomènes de rupture de la base, érosion interne) ne peuvent guère être détectés dans le cadre d'une surveillance normale avant un événement.

Dans le cadre de la surveillance, les travaux suivants doivent être effectués (liste non exhaustive):

- Suivi de la situation du lit du cours d'eau, de l'état des talus et de la protection des berges
- Surveillance de la crête des digues (si des tassements sont constatés, ils doivent être compensés en fonction de leur ampleur)
- Saisie des infiltrations et des percolations
- Recensement des aménagements d'animaux
- Si des instruments de mesure sont utilisés, les résultats de mesure doivent être transcrits, documentés et interprétés.

Surveillance pendant l'événement

La surveillance pendant un événement doit être inscrite dans le plan d'urgence (voir point 10.3.5).

10.3.5 Planification d'urgence et intervention en cas d'événement

L'intervention en cas d'événement se base sur un plan d'urgence communal (OFEV/OFPP. 2010). Dans le cas de grandes installations, comme pour le Rhin alpin, la Linth ou le canal de Hagneck, un plan d'urgence séparé pour les digues longitudinales peut être approprié. Pour les petits et

moyens cours d'eau, les digues longitudinales sont intégrées dans les plans d'urgence communaux. Les points suivants doivent au moins être réglés dans le plan d'urgence :

- Structure organisationnelle
- Documentation d'intervention
- Alerte
- Surveillance des digues, outils de prévision
- Équipement
- Interventions de construction
- Planification d'urgence (évacuation)
- Formation et exercices

Structure organisationnelle

Une structure organisationnelle est nécessaire pour pouvoir réagir à temps et de manière appropriée en cas de menace de crue majeure. La mise en place et la préparation de la structure organisationnelle et des forces d'intervention nécessaires, l'activation de ces forces d'intervention, leur conduite et leur formation, y compris les exercices, sont des conditions essentielles pour un travail réussi dans des conditions souvent extrêmes pendant une crue majeure.

La structure organisationnelle se compose d'une unité d'organisation qui s'occupe de la protection de l'ouvrage proprement dit, dont font également partie les digues longitudinales. L'objectif premier est de garantir la fonctionnalité de l'ouvrage en cas de crue et de le protéger ainsi d'une inondation à l'extérieur de l'ouvrage. Une autre unité organisationnelle s'occupe de la protection de la population en cas d'inondation. Les offices cantonaux compétents et les autorités fédérales ainsi que les décideurs politiques sont également impliqués dans la structure organisationnelle. Une structure organisationnelle possible à l'exemple de la Linthwerk est présentée à l'annexe A comme exemple de projet 17.

Alerte

Le plan d'alerte contre les crues définit les mesures qui doivent être prises par les forces d'intervention concernées à partir de certains niveaux. Le début des mesures de protection est fixé comme valeur seuil dans le plan d'alerte contre les crues. Lorsque les niveaux d'eau augmentent, les mesures de protection prévues se succèdent de manière coordonnée.

Les mesures selon le plan d'alerte contre les crues commencent à un seuil inférieur (niveau limite) du niveau d'eau et s'étendent à tout le domaine planifiable. La limite supérieure, c'est-à-dire la fin de la protection planifiable contre les crues, est donné par le niveau de la crue de référence augmenté de la revanche (écoulement à plein bord).

Lors d'une intervention en cas de crue, l'alerte des forces d'intervention joue un rôle important. Elle se base sur la prévision des crues (ainsi que sur les conseillers locaux en matière de risques naturels (LNGB)) et doit garantir que toutes les forces nécessaires soient disponibles sur place à temps pour mettre en œuvre les mesures de protection prévues dans le plan d'alerte aux crues avant l'arrivée des niveaux d'eau prévus. Des plans d'alarme appropriés doivent être établis pour l'alerte des forces d'intervention. Les plans d'alerte doivent être actualisés et mis à jour en permanence. Le flux de *messages d'alerte et d'alarme* ainsi qu'un schéma de phases sont présentés à l'exemple de la Linth dans l'annexe A en tant qu'exemple de projet 17.

Surveillance des digues pendant l'événement

Une digue longitudinale doit être divisée en secteurs appropriés, contrôlés par au moins deux surveillants à pied. Un ou deux surveillants de digue patrouillant en sommet de digue contrôlent la zone de la crête et le talus côté eau afin de détecter les dommages causés par l'érosion ou les glissements de berges. Le surveillant qui se déplace le long du pied du talus côté plaine contrôle ce talus ainsi que le terrain proche de la digue pour détecter les percolations et les glissements du talus, la formation de crevasses ou de fissures dans le talus ainsi que les fuites d'eau. Par exemple, sur le Rhin alpin, la surveillance des digues (patrouille) se compose de 3 personnes équipées de gilets de sauvetage : 1x crête de la digue avec sac à dos et radio, 1x piste d'intervention/chemin de berme côté plaine avec sac de sauvetage, 1x pied de la digue et jusqu'à 10 m côté plaine.

Forces d'intervention

Le nombre de personnes nécessaires doit être consigné dans le plan d'urgence en fonction du niveau d'alerte. Un service de piquet ou de permanence correspondant doit être prévu à cet effet. Il convient notamment de réglementer également la présence de compétences spécialisées en matière d'aménagement de cours d'eau et de géotechnique.

Équipement

Un équipement approprié des forces d'intervention est une condition nécessaire pour pouvoir faire face efficacement aux effets d'une crue. L'équipement comprend un équipement personnel ainsi que du matériel de secours et des consommables. Les appareils et le matériel nécessaire doivent être disponibles à une distance raisonnable.

Un équipement minimal comprend : Matériel de balisage, matériel de documentation, moyens de communication, éclairage, équipement de protection individuelle (EPI), y compris gilet de sauvetage/sac de sauvetage.

Formation et exercices

La préparation et la coordination de toutes les mesures jouent un rôle central. Pour ce faire, des formations et des exercices appropriés doivent être organisés dans des conditions aussi proches que possible de la réalité. Les forces d'intervention acquièrent ainsi une routine et les points faibles peuvent être repérés.

Les exercices servent à vérifier et à optimiser les procédures nécessaires à la gestion des crues. La collaboration optimale des forces d'intervention de différentes institutions avec un flux d'informations rapide et de bonne qualité contribue de manière décisive à ce que tous les dispositifs de protection contre les crues soient disponibles en temps voulu et dans leur intégralité en cas de besoin.

Les différentes mesures de la planification d'urgence doivent toujours être évaluées et améliorées au moyen d'exercices. Les interventions en cas de crue effectuées jusqu'à présent ainsi que les expériences acquises lors des exercices doivent être considérées comme un processus d'apprentissage permanent.

Interventions structurelles (mesures d'urgence)

Les mesures d'urgence sont des interventions structurelles réalisées pendant un événement de crue et destinées à stabiliser la digue jusqu'à sa remise en état définitive après l'événement.

L'objectif est de prévenir la défaillance de la digue. Pour ce faire, l'accessibilité (pistes d'intervention) et les appareils, outils et matériaux nécessaires doivent être disponibles.

Mesures possibles pour la protection des digues (intervention structurelle) :

- Soutien de la digue depuis la terre ferme
 - Filtre de charge avec pré-remplissage perméable
 - Filtre de charge avec sacs de sable
 - Soutien par du gravier en cas de glissement
 - Soutien avec des sacs de sable en cas de glissement de terrain
- Stabilisation des fissures
- Colmatage et sécurisation des points de percolation et des glissements de talus
 - Étanchéité locale avec un film
 - Remplissage des glissements de terrain côté eau
- Protection contre l'érosion
- Rehaussement de digue
- Sécurisation en arrière de la digue
- Rupture de digue, fermeture de la brèche au moyen de remblais, sacs de sable, pieux, fascines, big bags

10.4 Exemples

Voir annexe A :

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P7	Protection contre les crues du Krummbach		x			x
P8	Canal de Hagneck		x			x
P9	Protection contre les crues de la Vieille Aar		x	x		x
P10	HWS Linth 2000		x	x	x	x
P14	Zone de rétention contrôlée du polder de Löbnitz			x	x	x
P16	Entretien des digues de protection contre les inondations basé sur les risques					x
P17	Planification d'urgence et intervention en cas d'événement					x

11 Bibliographie

BAFU. 2010. *Erfolgreiche Intervention bei aussergewöhnlichen Naturereignissen Zusammenarbeit von Bund und Kantonen*, 31. März 2010 BAFU (Bundesamt für Umwelt).

BAFU. 2020. *Einsatzplanung gravitative Naturgefahren - Leitfaden für Gemeinden*, Version 1.0 - Oktober 2020. BAFU (Bundesamt für Umwelt).

BAFU. 2022a. *Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen - Erfahrungen und Empfehlungen*. Schweiz: BAFU (Bundesamt für Umwelt). Leitfaden.

BAFU. 2022b. *Anhang Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen*. Schweiz: BAFU (Bundesamt für Umwelt). Fallbeispiele.

BAFU. 2023. *Umgang mit dem Klimawandel im Bereich gravitative Naturgefahren in der Schweiz*. BAFU (Abteilung Gefahrenprävention).

BAW. 2011. *Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)*. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe

BFE. 2015. *Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen*. Schweiz: Bundesamt für Energie BFE. Richtlinie.

Bielitz, E. 2005. *Deiche und Deichunterhaltung im Freistaat Sachsen*. Deutschland, Freistaat Sachsen: Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. Präsentationsfolien.

CIRIA. 2013. *The International Levee Handbook*. Grossbritannien, Frankreich, USA. Handbuch. www.ciria.org.

Conrad, Margit. 2005. *Hochwasservorsorge Hinweise für die Wasserwehren*. Deutschland, Rheinland-Pfalz: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz. Richtlinie.

DWA. 2011. *Deiche an Fließgewässern*, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb. Merkblatt DWA-M 507-1, DGGT, DTK und DWA, Hrsg. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef

DWA. 2017. *Bisam, Biber, Nutria Teil 1: Erkennungsmerkmale und Lebensweisen*. Merkblatt DWA-M 608-1.

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). 2020a. *Abschlussbericht Studie zu Einlassbauwerken von Flutpoldern und Seitenentlastungen an Fließgewässern Empfehlungen für Bauwerkstypen und Bauweisen*. Schweiz und Deutschland: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Studie.

Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich, und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). 2020b. *Kurzfassung Studie zu Einlassbauwerken von Flutpoldern und Seitenentlastungen an Fließgewässern Empfehlungen für Bauwerkstypen und Bauweisen*. Schweiz und Deutschland: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Studie.

Freistaat Thüringen. 2003. *Anleitung für die Verteidigung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und kleinen Staudämmen*. Deutschland, Freistaat Thüringen: Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. Leitfaden.

Göttle, A. 2003. *Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung*. Deutschland, Landesamt Bayern: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Leitfaden.

Grauduschus, Saskia, und Katja Last. 2019. *Handlungskonzept für den Umgang mit bestehendem Gehölz auf Stauhaltungsdämmen*. Wasserwirtschaft 5: 34–37.

Kanton Thurgau. 2018. *Merkblatt für die Planung und den Unterhalt von kleinen Stauanlagen, die nicht der Stauanlagengesetzgebung unterstehen*. Schweiz, Thurgau: Amt für Umwelt - Thurgau. Merkblatt.

Lfu. 2005. *Flussdeiche Überwachung und Verteidigung*. Deutschland, Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Leitfaden. www.lfu.baden-wuerttemberg.de.

LUBW. 2006. *Flussdeiche - Deichverteidigung im Hochwasserfall*. Deutschland, Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Publikation. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.

KOHS. 2013. *Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen*, Empfehlungen der Kommission Hochwasserschutz (KOHS). «Wasser Energie Luft» —105. Jahrgang, 2013, Heft 1, CH-5401 Baden.

Makdisis FI, Seed HB. 1978. *Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations*. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol 104, No. GT7, pp 849-867.

Niederer + Pozzi Umwelt AG. 2019. *Projektstudie zur Systemsicherheit am Hochwasserschutz des Alpenrheins*, Synthesebericht zu Handen IRKA.

Oplatka, Matthias et al. 2023. *Reise zum akzeptierten Risiko - Gemeinsame Risikobetrachtung von Naturgefahren*. Trägerschaft ab 2023: WSL Institut für Schnee und Lawinenforschung SL.

PLANAT. 2013. *Sicherheitsniveau für Naturgefahren*. Nationale Plattform für Naturgefahren, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

SIA-Norm 260. 2003. *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*.

SIA-Norm 261. 2020. *Einwirkungen auf Tragwerke*.

SIA-Norm 267. 2013. *Geotechnik*. SN 505267:2013 de

SIA-Norm 269. 2017. *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken*.

STK. 2025. *Sicherheit von kleinen Stauanlagen - Empfehlungen zu Planung, Bau und Betrieb*.

VAW. 2018. *Levees and Flood Defences in Switzerland*. Schweiz: EUROPEAN LEVEES AND FLOOD DEFENCES Inventory of characteristics, risks and governance. Studie.

USACE. 2000. *Design and Construction of Levees*. US Army Corps of Engineers. Manual No. 1110-2-1913

USACE. 2004. *General Design and Construction Considerations for Earth and Rock-Fill Dams*. US Army Corps of Engineers. EM 1110-2-2300

USBR. 1987. *Design of Small Dams*. A water resources technical publication. 3rd. Ed. United States Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation

12 Annexe A : Exemples de projets

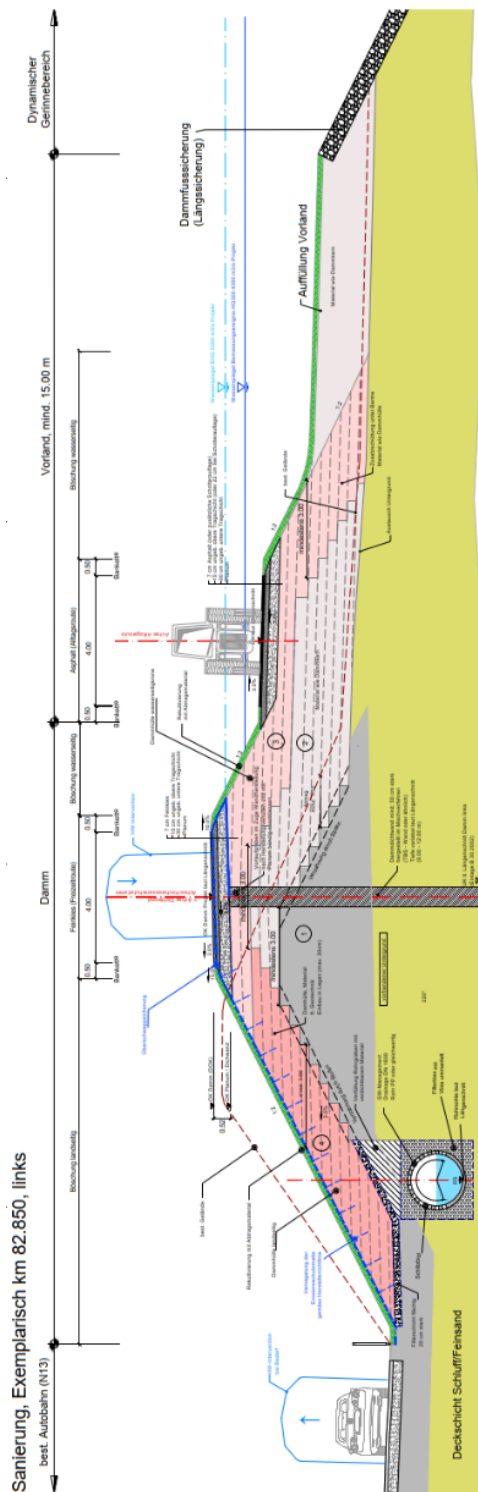
Tableau récapitulatif des exemples de projets

No.	Exemple de projet	Exemple de phase				
		I	II	III	IV	V
P1	Protection contre les crues du Rhin alpin, tronçon international PK 65-91	x	x	x		
P2	Protection contre les crues de la Haute Vallée de la Reuss		x			
P3	Protection contre les inondations à Pfaffnern		x			
P4	3ème correction du Rhône - Mesure prioritaire de Viège		x	x		
P5	Protection contre les crues et renaturation de l'embouchure de l'Aar et de la Gürbe		x	x		
P6	Elbe, Z 8.6 Recul de digues à Köllitsch		x	x		
P7	Protection contre les crues du Krummbach		x			x
P8	Canal de Hagneck		x			x
P9	Protection contre les crues de la Vieille Aar		x	x		x
P10	HWS Linth 2000		x	x	x	x
P11	Parco fluviale Boschetti-Saleggi, Bellinzone			x		
P12	Protection contre les crues du Buoholzbach (torrent, collecteur de sédiments)			x		
P13	Elbe, Z 8.5 Réfection fondamentale des digues			x	x	
P14	Zone de rétention contrôlée du polder de Löbnitz			x	x	x
P15	Élargissement de la Reuss Hinterleitschach, Erstfeld UR				x	
P16	Entretien des digues de protection contre les crues basé sur les risques					x
P17	Planification d'urgence et intervention en cas d'événement					x

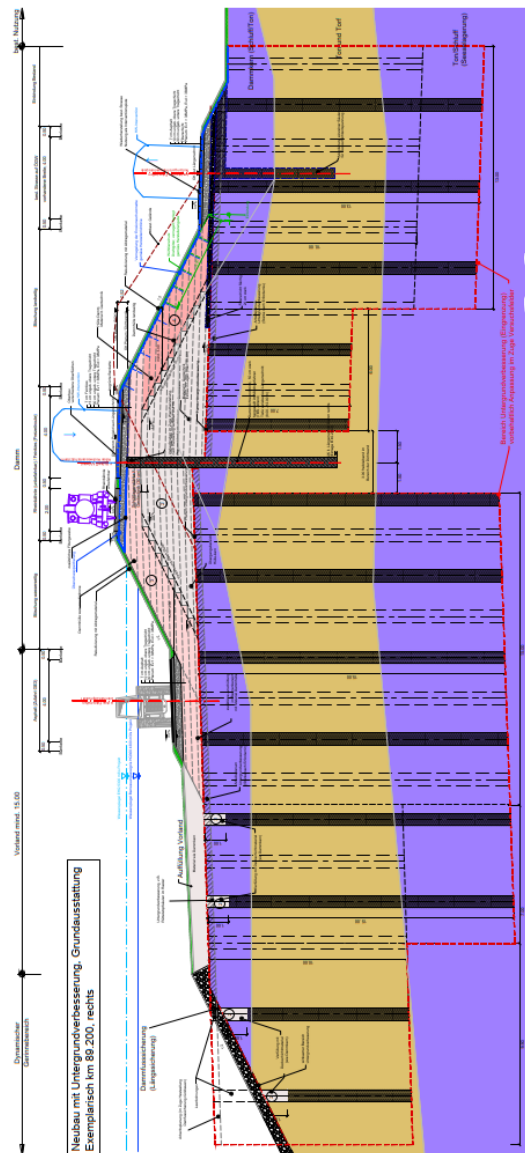
Projet 1 : Protection contre les crues du Rhin alpin, tronçon international PK 65 - 91		Eaux : Rhin alpin
Phase du projet : <input checked="" type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Année : Planification : 2011 - 2025 Procédure d'autorisation à partir de 2026 Réalisation à partir de 2030 environ
		Canton : St-Gall
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: de 2 à 10 m Type de digue: digue en terre homogène avec enveloppe résistante au cisaillement et paroi étanche Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:2 à 1:3		
Lien pour plus d'informations sur le projet : www.rhesi.org		
Points essentiels : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Enquête de base ▪ Végétation et peuplement forestier 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionnement de digue ▪ Aspects géotechniques ▪ Sécurité du système
Description : Dimensionnement hydraulique des digues en fonction de l'événement de référence de 4'300 m ³ /s (HQ ₃₀₀) -> revanche totale selon CIPC au niveau du sommet de la paroi étanche, prise en compte du cas de surcharge par la revanche totale au niveau du sommet de la digue en cas de EHQ ou de HQ ₃₀₀ . Ou, en cas de EHQ, revanche réduite au niveau de la crête de la digue avec protection simultanée contre la surverse des digues. Vérification complexe de la stabilité en cas de séisme en raison d'un sol de fondation de mauvaise qualité sur certains tronçons -> mesures d'amélioration du sol de fondation sous les digues. Exigences restrictives de la part de la géotechnique en matière de peuplement forestier: pas de peuplement à l'intérieur de la section minimale géotechnique, le peuplement n'est autorisé que sur les surprofils des digues en respectant des restrictions en matière de hauteur et de diamètre des troncs.		

Illustrations :

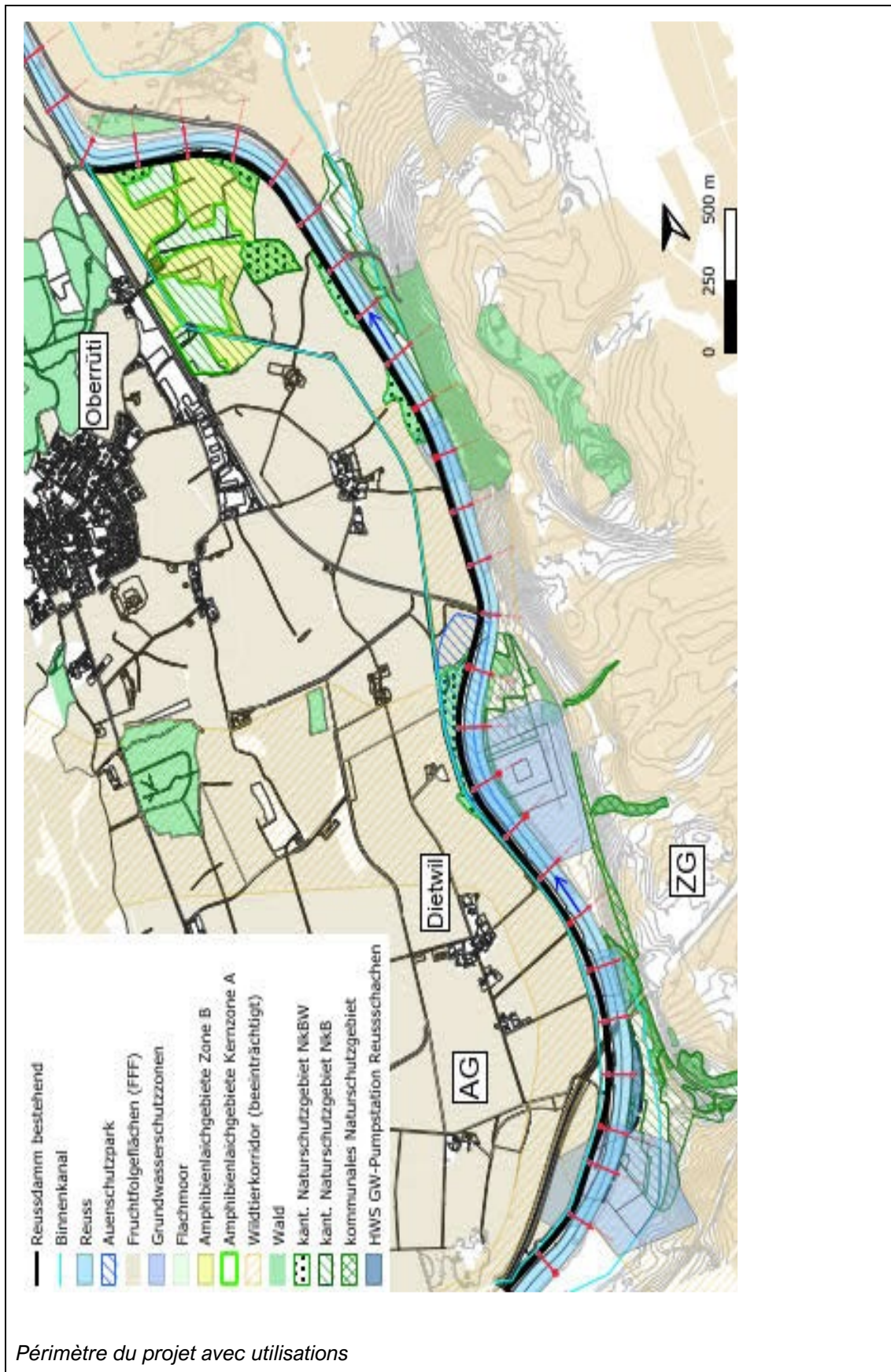
Type de construction Assainissement de la digue

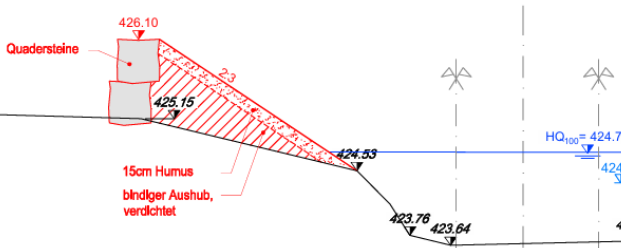



Type de construction Nouvelle digue (avec
amélioration du sous-sol)



Projet P2 : Protection contre les crues de la vallée supérieure de la Reuss		Cours d'eau : Reuss																		
Exemple de phase de projet :		Année : 2018-2023																		
<input checked="" type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention		Canton : Argovie																		
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales :																				
Digue: 5.4 km (tronçon Dietwil-Oberrüti) Hauteurs de digue: de 2 m à 3 m Type de digue: homogène Pente du talus (côté eau/côté plaine): env. 1:2 Âge de la digue: 80-100 ans																				
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet :																				
Points essentiels:																				
<ul style="list-style-type: none">Solutions/études de variantesIntérêts d'utilisation																				
Description :																				
<p>Dans le cadre du concept de protection contre les crues pour la vallée supérieure de la Reuss dans le canton d'Argovie, une étude de variantes a été réalisée pour le tronçon le plus au sud, Dietwil-Oberrüti, sur la question du nouveau tracé de la digue pour la digue de la Reuss nécessitant un assainissement. Les intérêts d'utilisation les plus divers se sont affrontés : protection contre les crues, y compris revitalisation, protection des surfaces d'assolement, réserves naturelles, forêts, captages d'eau potable, infrastructures publiques, utilisation à des fins récréatives.</p> <p>Les variantes ont été évaluées à l'aide d'une matrice d'évaluation avec des critères pondérés, en tenant compte des intérêts d'utilisation existants. La meilleure variante a finalement été déterminée sur la base d'une pesée des intérêts selon la procédure fixée dans l'ordonnance sur l'aménagement du territoire. L'étude des variantes a été accompagnée d'un processus participatif intensif.</p>																				
Illustrations :																				
<i>Catégories d'évaluation avec pondération :</i>																				
<table><tr><th>Kategorie</th><th>Gewichtung</th></tr><tr><td>1. Hochwassersicherheit</td><td>20 %</td></tr><tr><td>2. Bau- und Unterhalt</td><td>10 %</td></tr><tr><td>3. Landbeanspruchung</td><td>25 %</td></tr><tr><td>4. Natur und Wasser</td><td>25 %</td></tr><tr><td>5. Grundwasser, Raumplanung</td><td>10 %</td></tr><tr><td>6. Akzeptanz</td><td>5 %</td></tr><tr><td>7. Erholung</td><td>5 %</td></tr><tr><td></td><td>100 %</td></tr></table>	Kategorie	Gewichtung	1. Hochwassersicherheit	20 %	2. Bau- und Unterhalt	10 %	3. Landbeanspruchung	25 %	4. Natur und Wasser	25 %	5. Grundwasser, Raumplanung	10 %	6. Akzeptanz	5 %	7. Erholung	5 %		100 %		
Kategorie	Gewichtung																			
1. Hochwassersicherheit	20 %																			
2. Bau- und Unterhalt	10 %																			
3. Landbeanspruchung	25 %																			
4. Natur und Wasser	25 %																			
5. Grundwasser, Raumplanung	10 %																			
6. Akzeptanz	5 %																			
7. Erholung	5 %																			
	100 %																			



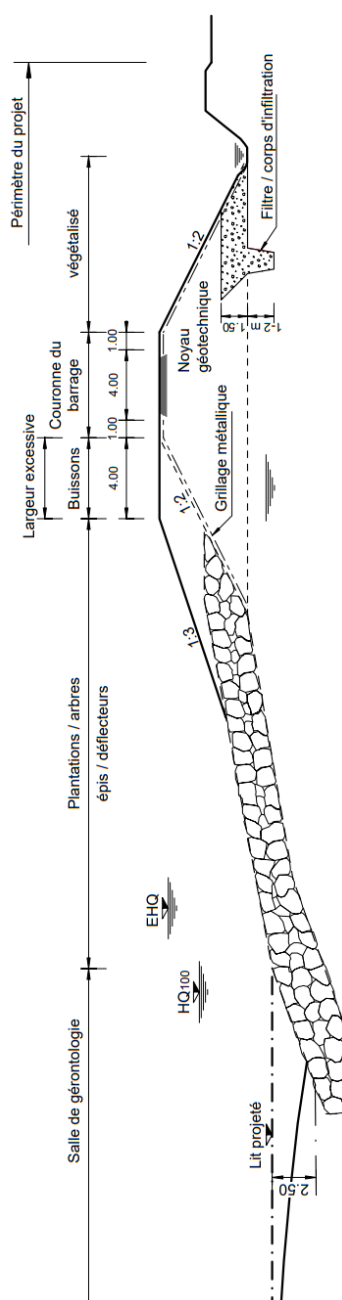
Projet P3 : Protection contre les crues du Pfaffnern	Cours d'eau : Pfaffnern
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention	Année : 2020
	Canton : Argovie
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: de 0,5 m à 1,5 m Type de digue: Demi-digue avec noyau en blocs Pente du talus (côté eau/côté terre): 2:3 / presque verticale	
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet :	
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Végétation et peuplement forestier 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Solutions/études de variantes
Description : Pour la protection contre les crues de la Pfaffnern, les propriétés ont été protégées par des digues sur certains tronçons. Afin de réduire les besoins d'espace dans les jardins privés, une demi-digue a été construite, avec un talus uniquement côté eau et stabilisé par des blocs côté plaine. Avantages de ce modèle de digue : <ul style="list-style-type: none"> - la réduction de l'espace nécessaire - Digue à très faible perméabilité en raison de la construction avec des déblais cohésifs du côté du talus - la digue peut être densément plantée - si on le souhaite, les pierres peuvent être disposées de manière à servir de bancs. L'aménagement des digues dans les jardins privés a constitué un véritable défi. En raison des différents aménagements existants des berges, l'angle d'inclinaison prévu du talus côté eau a dû être partiellement adapté.	Illustrations :  <i>Esquisse du concept de la construction d'une digue</i>  <i>Vue de l'ouvrage réalisé</i>

Projet P4 : 3ème correction du Rhône - Mesure prioritaire de Viège	Cours d'eau : Rhône
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention	Année : 2009 - 2019
	Canton : Valais
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteur des digues: env. 5 m à partir du niveau du terrain Type de digue: digue avec noyau géotechnique et surlargeur Pente du talus (côté eau/côté plaine): max. 1:2 Largeur de la crête: min. 4 m Chemin de digue: couche de roulement 5-10 cm, liée à la chaux ou stabilisée avec faible perméabilité Filtre de drainage et fentes de décharge côté plaine	
Lien pour plus d'informations sur le projet : www.vs.ch/rhone	
Points essentiels : <ul style="list-style-type: none"> Aspects environnementaux Végétation et peuplement Sécurité du système 	<ul style="list-style-type: none"> Dimensionnement de la digue Aspects géotechniques Exécution Surveillance/documentation
Description : <i>Courbe granulométrique :</i> alluvions et graviers du Rhône <i>Caractéristiques de résistance :</i> $j' = 35^\circ$ (proportion de gravier < 30 %), $c' = 0$, $\Psi = 0^\circ$. <i>Poids spécifique :</i> $g = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$ <i>Perméabilités :</i> $k_{\text{Gravier}} : 1.10^{-3} \text{ m/s}$, $k_{\text{Silt}} : 1.10^{-6} \text{ m/s}$, $k_{\text{Digue}} : < 1.10^{-5} \text{ m/s}$ <i>Charges :</i> Charges sur la crête de la digue min. 10 kN/m^2 <i>Module ME :</i> M_{E1} (charge initiale) min. $50'000 \text{ kN/m}^2$, M_{E2} (charge de retour)/ M_{E1} si $M_{E2} < 150'000 \text{ kN/m}^2 < 3.3$ <i>Sismique :</i> selon BWK II avec facteur d'importance $g_f = 1.2$. Microzonage selon CREALP ; déplacements admissibles $s_{zul} > 50 \text{ mm}$; $q = 2.0$; pour un débit d'été moyen <i>Concept de végétation :</i> côté eau, un remblai supplémentaire (en dehors du noyau géotechnique comme surlargeur). Les arbres à enracinement profond qui touchent de manière déterminante le noyau géotechnique ne sont pas admis. Les illustrations montrent les effets dans le temps de la végétation choisie. Côté plaine, les arbustes ne sont admis que dans la moitié supérieure, au-dessus d'une éventuelle ligne d'infiltration La zone située en contrebas doit rester accessible et visible. <i>Faune :</i> treillis métallique sur noyau géotechnique <i>Conditions de mise en place :</i> Le matériau d'installation doit être posé de manière aussi homogène que possible (gravier / silt). En présence de différents matériaux, il convient de garantir un bon mélange lors de la mise en place. Documentation du matériel mis en place : 3 courbes	

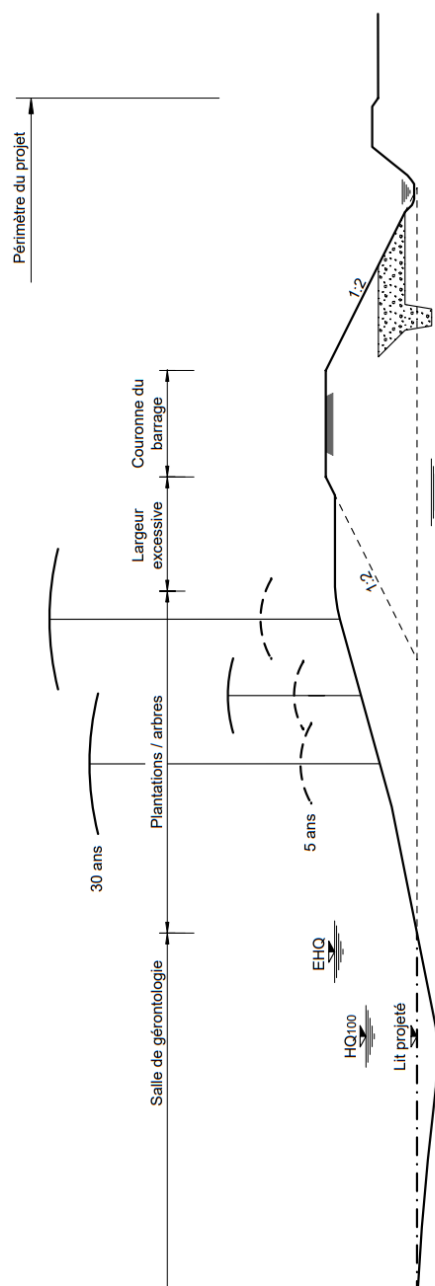
granulométriques par km (plan de contrôle).

Lors de la construction de la digue, il faut effectuer au moins 2 mesures M_E par 1m de construction de digue, environ tous les 100 m selon le plan de contrôle et la saisie sur l'appareil de compactage. L'épaisseur de la couche est d'environ 0,3 m. La pose se fait à l'état humide (w_{opt}) et est surveillée en permanence (danger du vent !). Les perméabilités (valeurs k) ne sont pas contrôlées de manière spécifique.

Illustrations :



Géométrie de la digue



Concept de végétation



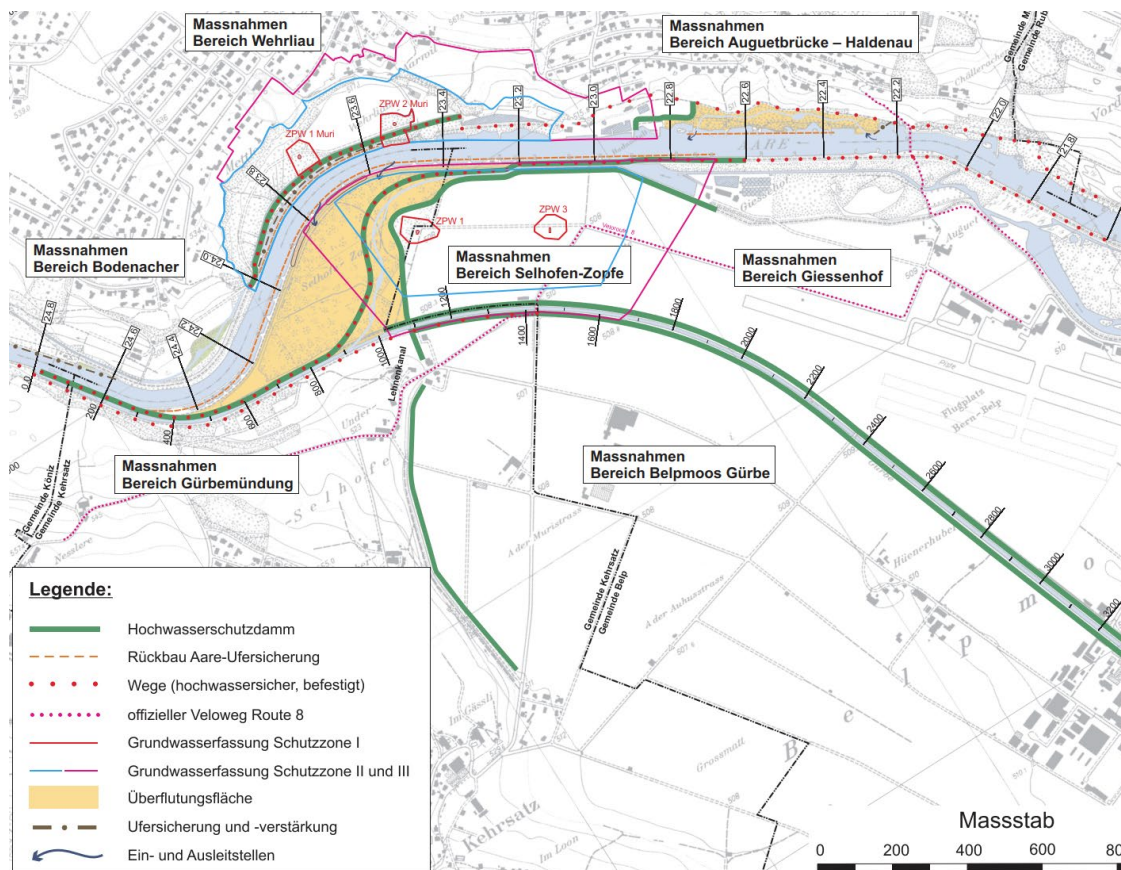
Protection des berges



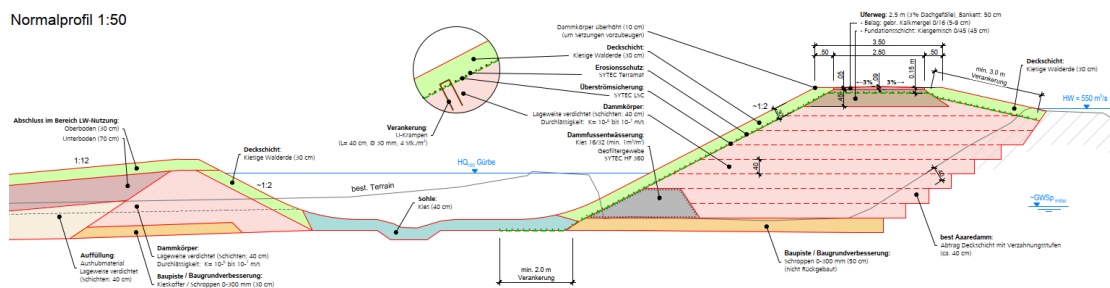
Construction d'une digue

Projet P5 : Protection contre les crues et renaturation de l'embouchure de la Gürbe sur l'Aar		Cours d'eau : Aar (km 22.2 à 24.8) et Gürbe (km 3.7 à 0.0)
Exemple de phase de projet :		Année : 2002 - 2017
<input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Canton : Berne
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteur des digues : souvent environ 3 m (de 1 m à 3,5 m) Type de digue : en général, digues en remblai homogènes avec filtre en pied de digue et sections de décharge locales Pente du talus (côté eau/côté plaine) : 1:2 à 1:10 (digue plates exploitables)		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : Muller. M. et al (2016), "Modern flood protection and rehabilitation concepts at pre-alpine alluvial rivers", <i>Proc. Interpraevent 2016</i> , Lucerne, pp. 797-805 Aar - embouchure de la Gürbe (Direction des travaux publics et des transports du canton de Berne)		
Points essentiels : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Solutions/études de variantes ▪ Aspects environnementaux 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scénarios de dommages/mécanismes de défaillances ▪ Dimensionnement de la digue ▪ Aspects géotechniques ▪ Pesée des intérêts
Description : <ul style="list-style-type: none"> • Projet global de protection contre les crues et de renaturation de l'Aar et de la Gürbe dans le secteur de Belpmoos, y compris mesures immédiates 2005 • Reconnexion de la zone alluviale "Selhofen Zopfen" à l'Aar par le recul de la digue HWS • Pesée des intérêts entre la protection des zones alluviales et l'utilisation de l'eau potable • Assainissement de digues et construction de nouvelles digues sur l'Aar et la Gürbe (voir illustrations). • Élargissement du fleuve et réduction des pentes des berges de l'Aar, nouvelle protection des berges (épis et aménagement non linéaire des protection de berges) • Décharge de la rive concave et renforcement de l'écoulement sur les rives convexes et la zone alluviale au moyen d'épis de direction (égalisation documentée du profil de vitesse) • Revalorisation de la Gürbe par élargissement et structuration du chenal • Décharge EHQ par des digues submersibles, vidange de la rétention par un organe de décharge et un drainage au sol • Déplacement et renaturation de la Giesse et du Lehnenkanal 		

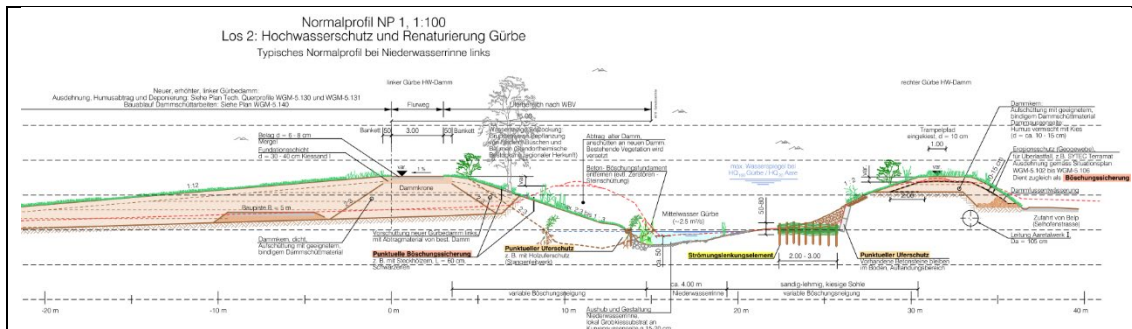
Illustrations :



Situation du projet global de protection contre les crues et de revitalisation de l'embouchure de l'Aar et de la Gürbe.



Profil géotechnique normal de la digue principale de l'Aar en rive gauche avec l'exutoire (Giesse).



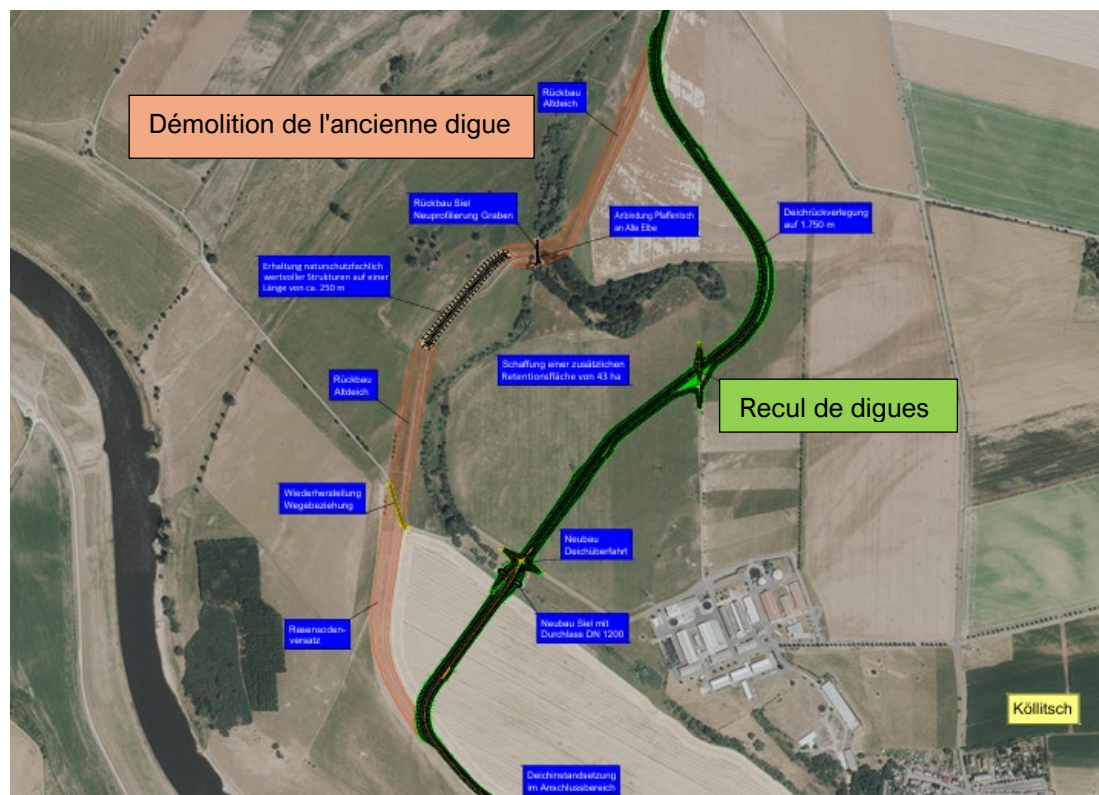
Profil géotechnique normal de la Gürbe avec digue plate en rive droite et structuration du chenal.



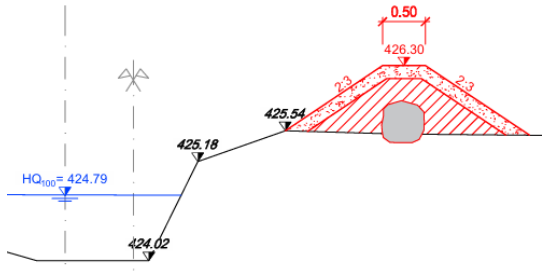

Construction d'une digue entre l'Aar (à gauche) et la Giesse (à droite), vue vers l'amont.

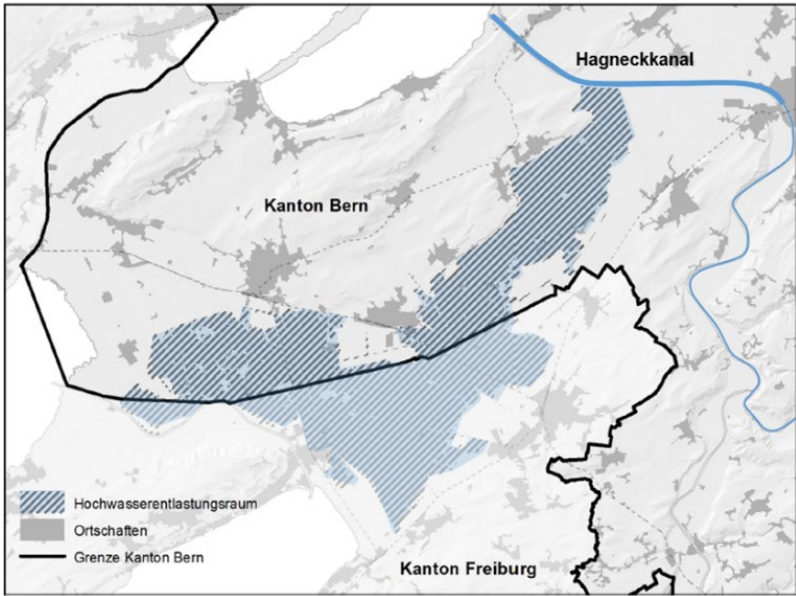
Projet P6 : Elbe, Z 8.6 Recul de digues à Köllitsch		Eaux : Elbe (D)
Exemple de phase de projet :		Année : 2018
<input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention		État libre de Saxe, D
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: de 4 m à 5 m Type de digue: Nouvelle construction de digues à 3 zones avec berme filtrante Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:3 avec une largeur de crête de 3 m		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet :		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Solutions/études de variantes ▪ Aspects environnementaux 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspects géotechniques ▪ Sécurité du système
Description : Les digues longitudinales protègent l'infrastructure située à l'arrière et la population résidente contre une crue HQ ₁₀₀ . La digue est considérée comme un ouvrage de gestion des eaux et n'est pas utilisée à des fins touristiques. Selon les résultats de la modélisation hydraulique, le tracé a été choisi en retrait afin d'éviter des conditions d'écoulement défavorables tout en conservant la plus grande surface de rétention possible. Les digues longitudinales se trouvaient dans une réserve naturelle reconnue, ce qui impose à la mesure de construction des exigences particulières en matière de protection de la nature. Le recul de la digue entraîne une augmentation de la surface de rétention et une réactivation de la plaine alluviale de l'Elbe. Pendant la planification, différentes fiches de mesures ont été établies dans le cadre du plan d'accompagnement paysager afin de réduire au maximum ou d'éviter l'impact du chantier sur l'environnement. La sécurité du système de la digue longitudinale a été démontrée dans le cadre du dimensionnement statique relatif à la conception d'une digue à trois zones. Les aspects géotechniques ont joué un rôle en ce qui concerne la définition des propriétés mécaniques des sols du matériau de construction des différentes couches.		

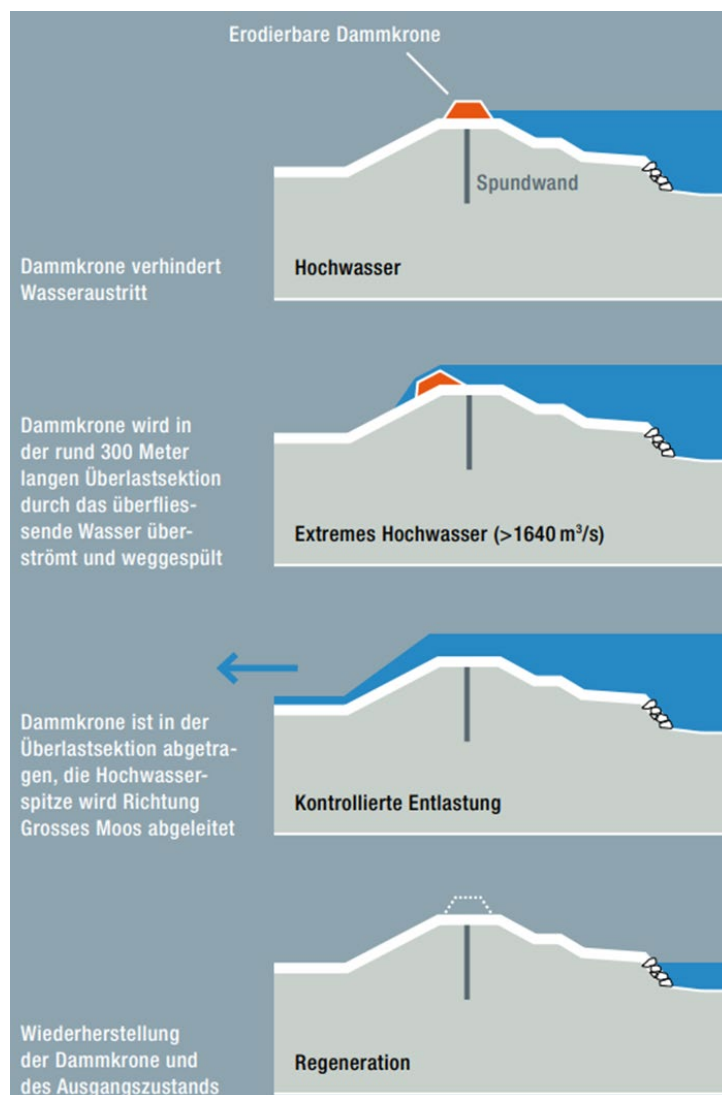
Illustrations :



Recul de digue (1750 m) avec extension de l'espace de rétention (+43 ha)

Projet P7 : Protection contre les crues du Krummbach	Cours d'eau : Krummbach
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention	Année : 2023
	Canton : Argovie
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: de 0,5 m à 1 m Type de digue: zoné avec noyau en blocs Pente du talus (côté eau/côté plaine): 2:3	
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet :	
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> Solutions/études de variantes Végétation et peuplement 	
Description : <p>Par le passé, les petites digues de terre homogènes dans les zones d'habitation ont parfois fait l'objet de mauvaises expériences en termes de durabilité. On a cherché un moyen de les rendre plus stables, resp. d'empêcher des brèches dans les digues d'origine humaine (par exemple pour faciliter l'accès à l'eau). En conséquence, une digue avec un noyau de blocs a été réalisée pour la protection contre les crues du Krummbach.</p> <p>A l'origine, il était prévu de construire le noyau de la digue en blocs jusqu'au sommet de la digue, mais cette solution a été abandonnée pour diverses raisons (coûts, écologie, entretien).</p> <p>Cette décision entraîne également des répercussions sur le peuplement forestier. Sans noyau de la digue en blocs atteignant la crête de la digue, aucun arbre ou arbuste ne doit être planté sur la digue.</p>	Illustrations :  <p><i>Esquisse du concept de la construction d'une digue</i></p>  <p><i>Vue de l'ouvrage réalisé</i></p>

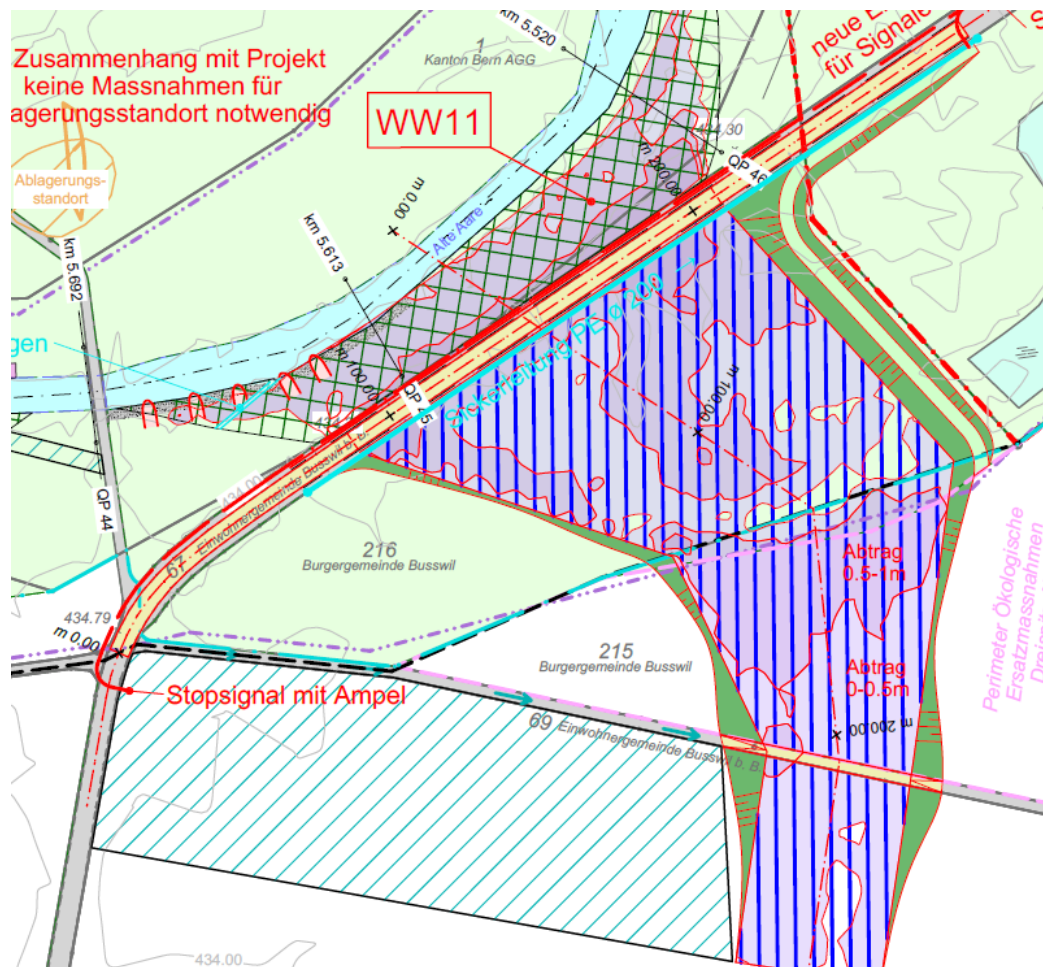
Projet P8 : Canal de Hagneck	Cours d'eau : Aare
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention	Année : 2004-2015
	Canton : Berne
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteur des digues: jusqu'à plusieurs mètres Type de digue: digues existantes non homogènes qui ont été élargies côté plaine Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:3	
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : Maître d'ouvrage : Canton de Berne, Office des eaux et des déchets AWA Assainissement du canal de Hagneck Plateforme renaturation (plateforme-renaturation.ch)	
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cas de charge ▪ Protection par l'aménagement du territoire 	
Description : Les surfaces inondables du délestage ciblé ont été déterminées et transférées dans les instruments d'aménagement du territoire (notamment les cartes de dangers naturels). En outre, les plans directeurs des cantons de Berne et de Fribourg reprennent l'espace d'évacuation des crues du canal Aar-Hagneck (à Berne, mesure R_11). De cette manière, la sauvegarde à long terme et la pertinence dans la coordination spatiale sont assurées.	
Illustrations : Massnahme R_11: Rückseite Hochwasserentlastungsraum Aare-Hagneckkanal 	



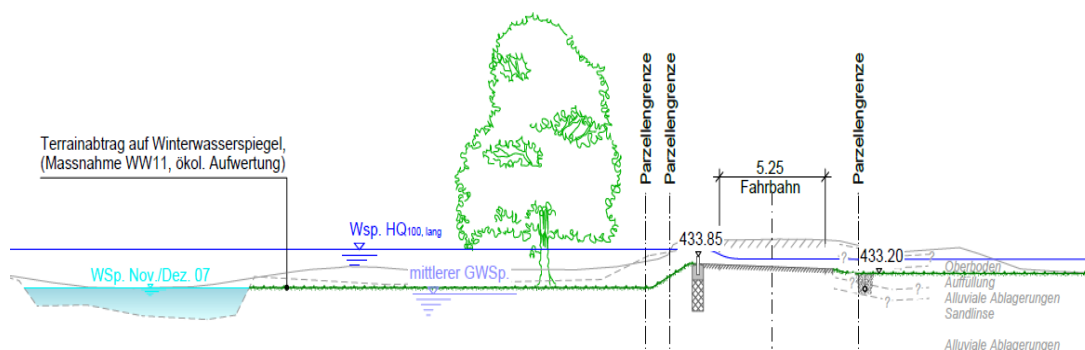
Surcharge : voir [brochure](#) p.14. Couronne de digue érodable et activation de l'espace d'évacuation des crues.

Projet P9 : Protection contre les crues de la Vieille Aar	Eaux : Vieille Aar
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention	Année : 2010 - 2021
	Canton : Berne
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue : de 0,4m à environ 3m Type de digue : homogène Pente du talus (côté eau/côté terre) : variable	
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : Maître d'ouvrage : Wasserbauverband Alte Aare, Lyss	
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Végétation et peuplement forestier ▪ Dimensionnement de la digue ▪ Intervention 	
Description : <p>La Vieille Aar a été aménagée pour résister aux inondations entre Lyss et Büren an der Aare. Le système de protection comprend entre autres des digues.</p> <p>Construction de digues : les digues existantes issues d'un précédent projet de protection contre les inondations datant des années 70, qui ont été jugée comme appropriées, ont été examinées quant à leur fonctionnalité (y compris Q_{dim}) et complétées si nécessaire (renforcées, surélevées). Les digues ont également été partiellement reconstruites.</p> <p>Peuplement : quelques digues se trouvent dans l'aire forestière. Le tracé exact de la lisière de la forêt a dû être négocié.</p> <p>Intervention : en cas d'événements supérieurs à Q_{dim}, il est prévu que la pointe de crue soit évacuée à un endroit défini. A cet effet, une digue avec une route a été abaissée et un corridor d'évacuation de crue a été délimité. Celui-ci a été limité par des digues de guidage. En cas d'événement, la route doit être fermée.</p>	

Illustrations :



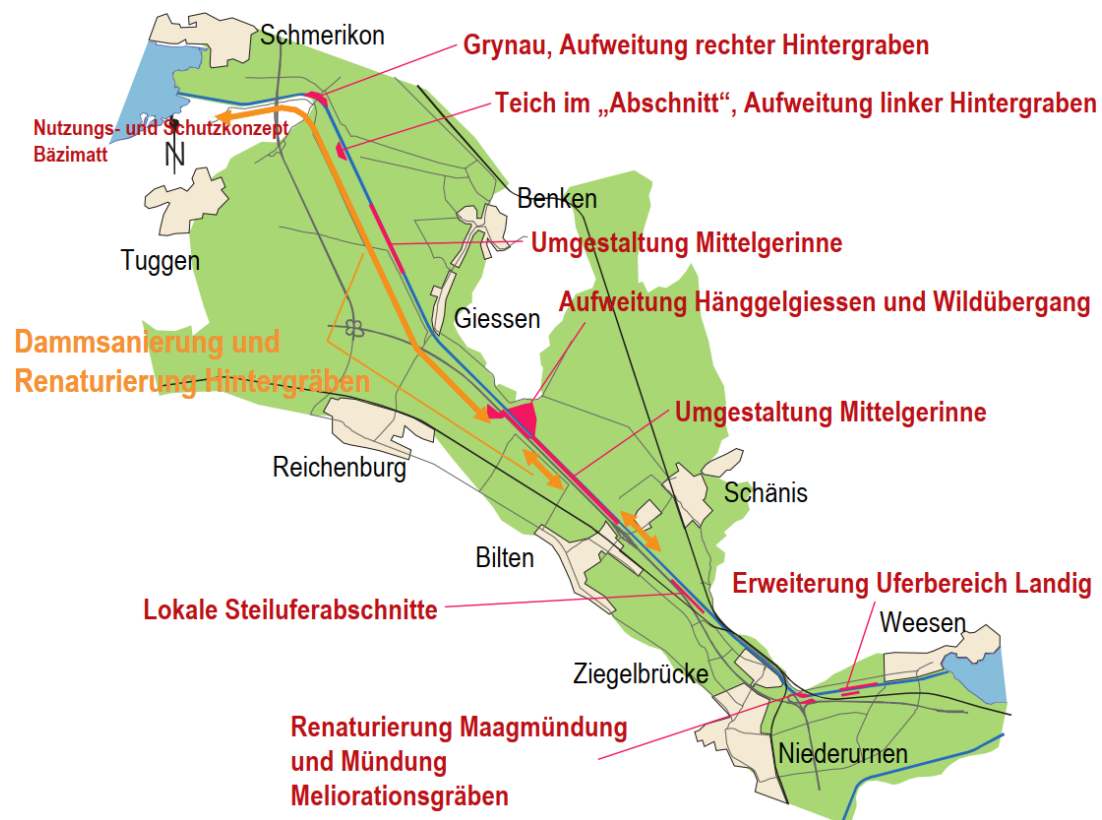
Représentation de la zone de délestage (situation) dans une courbe extérieure de l'ancienne Aar.



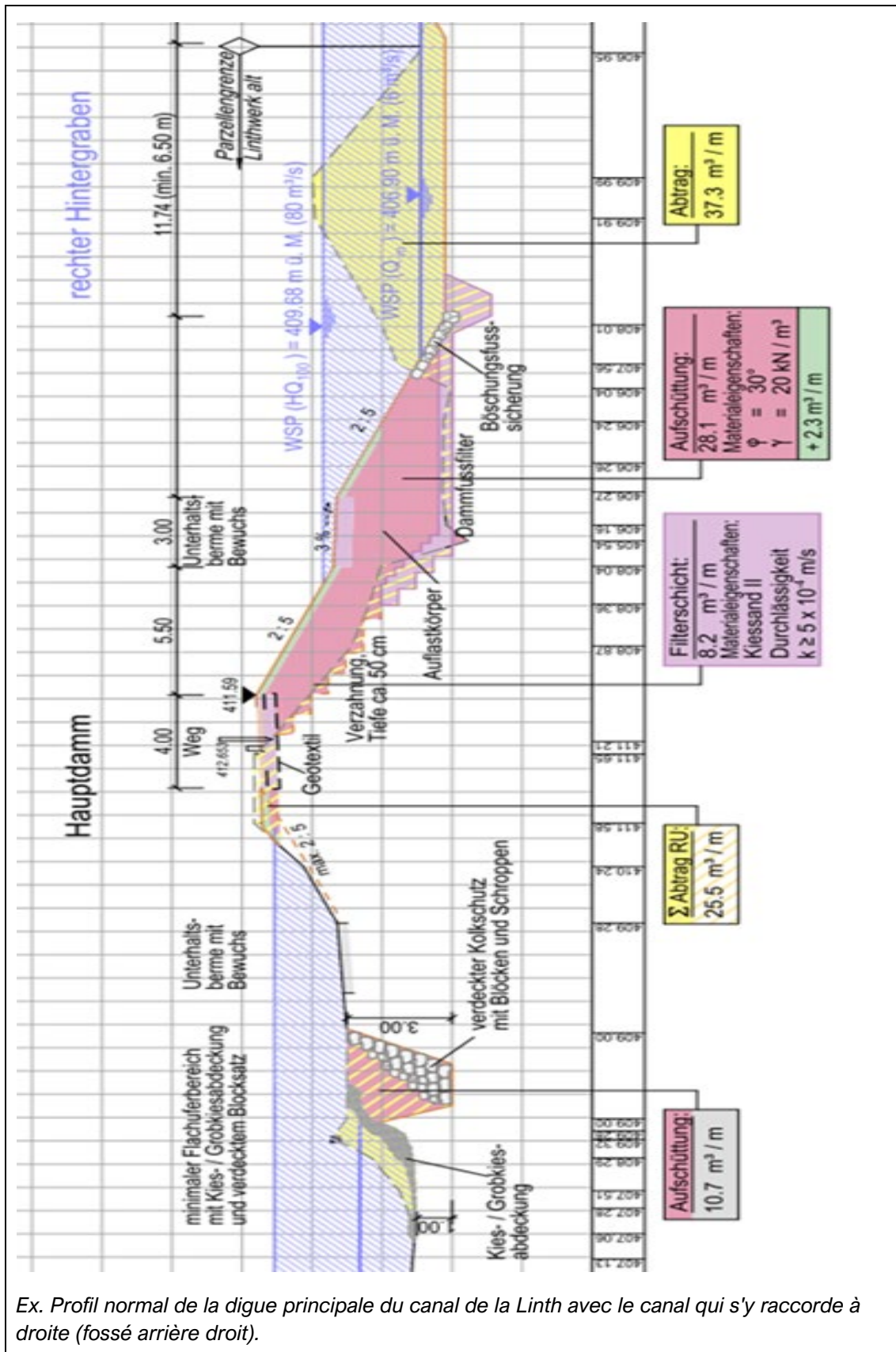
Coupe transversale de la digue (avec route), où l'eau peut sortir de manière ciblée.

Projet P10 : HWS Linth 2000		Eaux : Linth (Escherkanal et Linthkanal)
Exemple de phase de projet :		Année : 2003 - 2014
<input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input checked="" type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input checked="" type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Cantons : Saint-Gall, Glaris, Schwyz, Zurich
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: de 2 m à 5 m Type de digue: en général zonée, assainissement de la digue avec filtre de charge ou remplacement du matériau Pente du talus (côté eau/côté plaine): Nouveau : en général, filtre de charge avec pente 2:5 et berme centrale, dans les tronçons étroits, remplacement du matériau par une pente 2:3 et, localement, mur de soutènement.		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : www.linthwerk.ch / Linthwerk - 1ère rénovation complète La Linthwerk (2013). <i>Projet de protection contre les crues Linth 2000</i> . Proc. Symp. HSR, 6 et 7 juin 2013		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Enquête de base ▪ Solutions/études de variantes ▪ Aspects environnementaux ▪ Convention d'utilisation ▪ Végétation et peuplement ▪ Cas de charge ▪ Sécurité du système 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scénarios de dommages/mécanismes de défaillance ▪ Dimensionnement de la digue ▪ Aspects géotechniques ▪ Soumission ▪ Version ▪ Entretien ▪ Surveillance/documentation ▪ Intervention
Description : <ul style="list-style-type: none"> • Assainissement global et revalorisation écologique de l'ouvrage de la Linth, composé du canal d'Esch (de Mollis au lac de Walen) et du canal de la Linth (du lac de Walen au lac de Zurich), ainsi que des fossés arrières pour le drainage des bassins versants intermédiaires. Longueur du cours d'eau principal : 23,5km • Assainissement de digues et construction de nouvelles digues sur une longueur d'environ 14 km (voir méthode ci-dessus) • Création d'élargissements fluviaux à grande échelle sur les chenaux principaux et secondaires • Réaménagement des berges et protection des berges (berges plates, épis). 		


Illustrations :

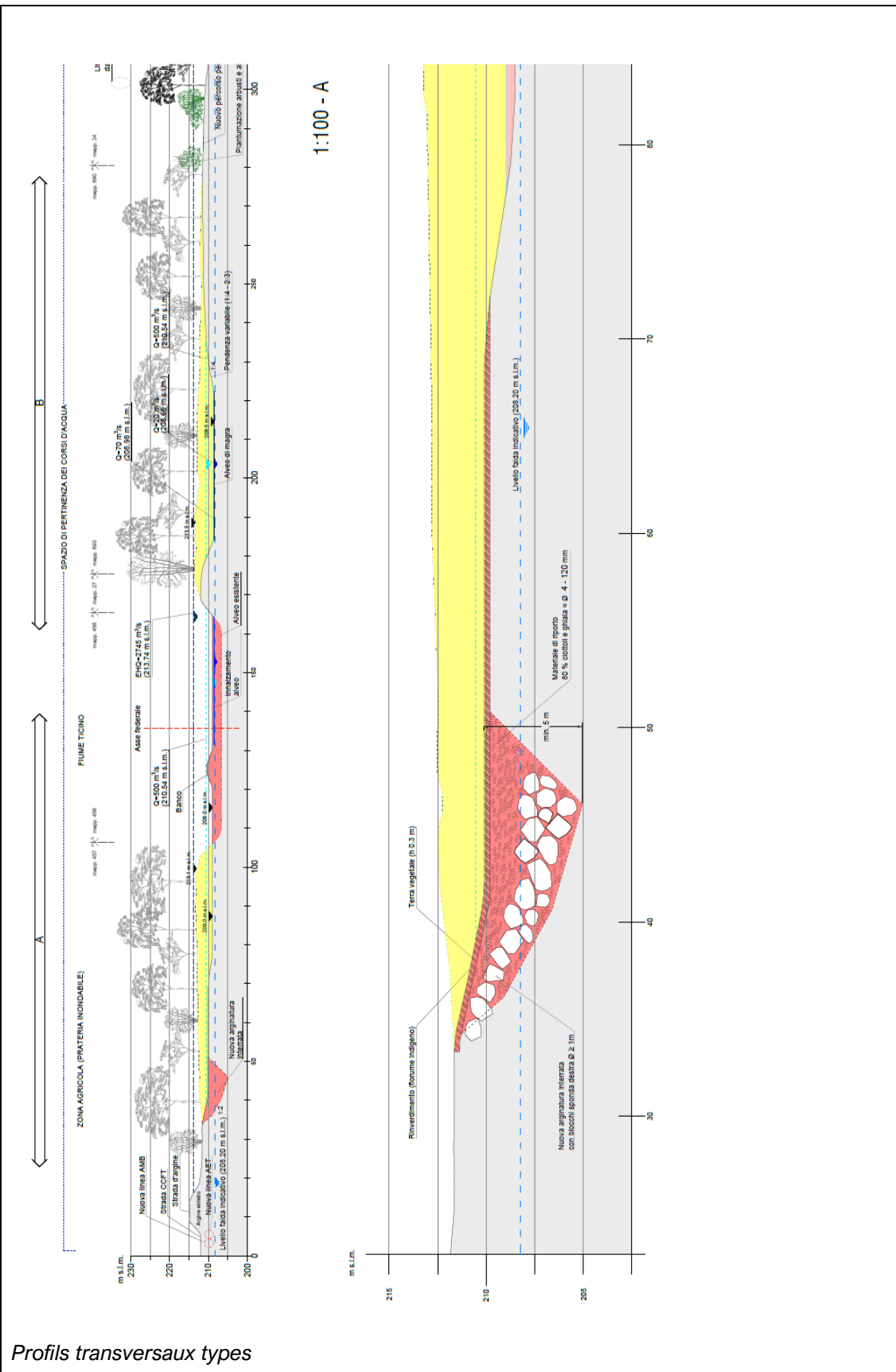


Vue aérienne de l'assainissement du canal de la Linth



Ex. Profil normal de la digue principale du canal de la Linth avec le canal qui s'y raccorde à droite (fossé arrière droit).

Projet P11 : Parco fluviale Boschetti-Saleggi, Bellinzona	Eaux : Ticino
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention	Année : 2014-2030
	Canton : Tessin
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteur des digues: 5 m à 7 m Type de digue : homogène/zonée, berges endormies Pente du talus : <ul style="list-style-type: none"> - Digue extérieure, rive gauche, existante, côté eau et côté plaine : 2:3 à 1:1 - Digues intérieures, talus intérieur, rive droite et rive gauche, avec nouveaux élargissements : 1:10 à 2:3 	
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : www.ilmiofiume.ch ; tronçon pilote de Torretta déjà réalisé !	
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspects environnementaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Végétation et peuplement forestier
Description : La dynamique propre est encouragée par : <ul style="list-style-type: none"> • Digue extérieure côté droit existante • Grand élargissement avec nouveau bras côté droit (50 m à 250 m) • Nouvelle ligne de rive intérieure avec élargissement côté gauche • Berges endormies en cas d'élargissement (côté droit et gauche) 	
Illustrations :  <p><i>Plan d'ensemble des mesures</i></p>	

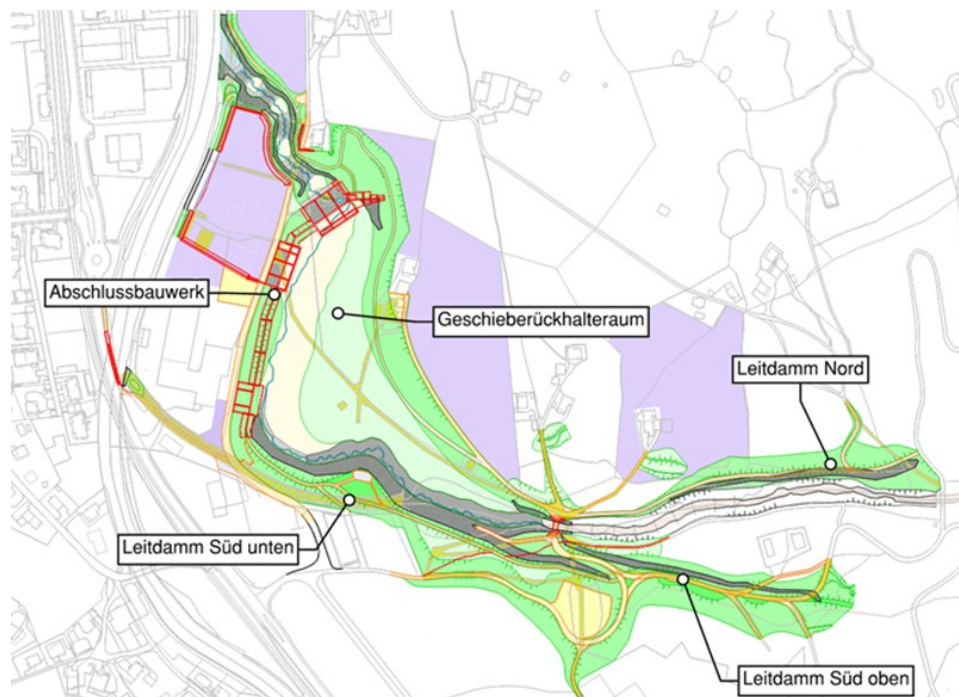


Projet P12 : Protection contre les crues du Buholzbach (torrent, collecteur d'alluvions)		Cours d'eau : Buholzbach
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Année : 2023
		Canton : Nidwald
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : <i>Digue de guidage sud en bas :</i> Hauteurs de digue h: jusqu'à 13 m Type de digue: matériau de remblai graveleux (provenant de l'excavation) avec une capacité portante accrue et peu de fines, retrait des gros blocs lors de l'excavation, renforcement du terrain Sytec LS 80 PET, distance entre les couches 1.20 m, côté plaine : application de sol forestier, côté eau: étanchéité avec nattes de bentonite (à la hauteur du WSP SHQ). Protection contre l'érosion: enrochement réglé recouvert env. 2 - 3 to / pièce, recouvrement avec les matériaux d'excavation en place, remblayage par étapes, pose par couches, compactage propre, imbrication avec le sous-sol existant Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:2 - 2:3 / 1:2 - 2:3 <i>Digue de déviation sud en haut :</i> Type de digue: matériau de remblai graveleux (issu de l'excavation) avec une capacité portante accrue et peu de fines, gros blocs retirés lors de l'excavation, côté eau et côté plaine : Vocation forestière conservée Protection contre l'érosion: enrochement réglé recouverts env. 1-3 to / pièce, recouvrement par des matériaux d'excavation en place Pente du talus (côté eau/côté terre): 1:3 / 1:4		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : www.buholzbach.ch		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Végétation et peuplement forestier ▪ Cas de charge 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionnement de la digue ▪ Aspects géotechniques
Description : En raison d'un apport important en charriage du Buholzbach dans l'Engelbergeraas, il existe un grand risque de déversement de l'Engelbergeraas en direction de Stans. La capacité de transport de charriage de l'Engelbergeraas est trop faible, même en cas de crue, pour transporter les apports du Buholzbach. Un nouvel espace de rétention des sédiments avant l'embouchure dans l'Engelbergeraas devrait permettre de réduire fortement l'apport de charriage. Le volume de rétention nécessaire est créé par des abaissements de terrain de grande ampleur, de nouvelles constructions en béton armé, généralement recouvertes, ainsi que des digues latérales en amont de la zone industrielle de Hofwald. Les digues latérales ne présentent pas seulement des fonctions de rétention mais aussi de déviation.		

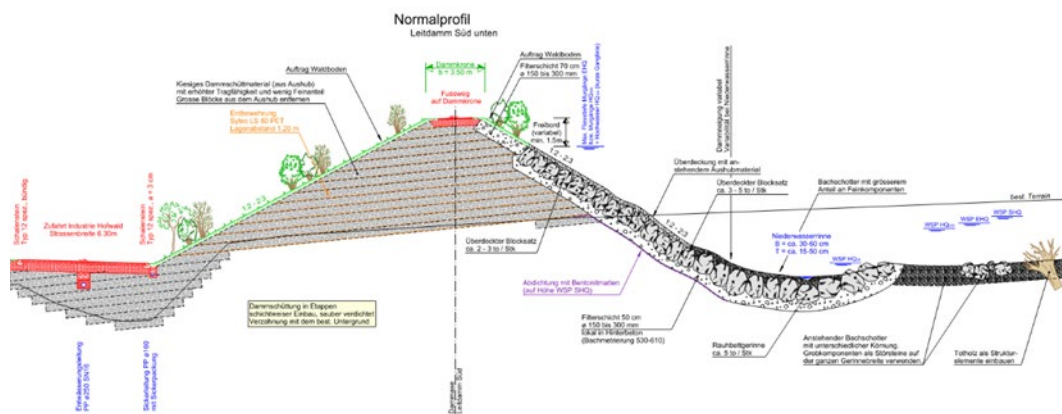
Nouvelle digue de guidage sud :

- Nouvelle digue d'environ 600 m de long avec des matériaux de remblai appropriés provenant de l'excavation de la zone de rétention du charriage.
- Rehaussement du terrain existant de 4 à 8 m (jusqu'à 13 m à l'intérieur de l'actuel dépotoir à alluvions).
- La crête de la digue présente une largeur minimale de 3,5 mètres. En aval du pont Buoholz, un chemin piétonnier passe sur la crête de la digue et est accessible aux véhicules d'entretien. L'accès à la digue est prévu au moyen d'un escalier.
- En amont du pont Buoholz, la nouvelle Wandfluhstrasse passe généralement en sommet de digue, ce qui explique pourquoi la crête de digue est en principe plus large dans cette zone.
- Les pentes des talus sont variables et vont de 1:8 à 2:3
- Côté eau, la digue est protégée de l'érosion par un enrochement réglé en couche filtrante. Les blocs sont recouverts. Ils tiennent compte des hauteurs des laves torrentielles attendues (EHQ) ou des profondeurs d'écoulement maximales d'une lave torrentielle de retour 300 ans simultanée à une crue HQ₁₀₀ en aval.
- Localement, un renforcement de terrain à des intervalles de 1,20 m est nécessaire pour garantir la stabilité de la digue (dans la zone de rétention). Le renforcement est prévu sur toute la largeur de la digue.
- Les flux d'infiltration sont bloqués par des nattes de bentonite dans la zone de formation possible de lacs (100 m les plus bas).
- Les talus des digues sont légèrement boisées de manière groupée au-dessus de l'enrochement. Côté plaine, les surfaces sont reboisées uniformément.

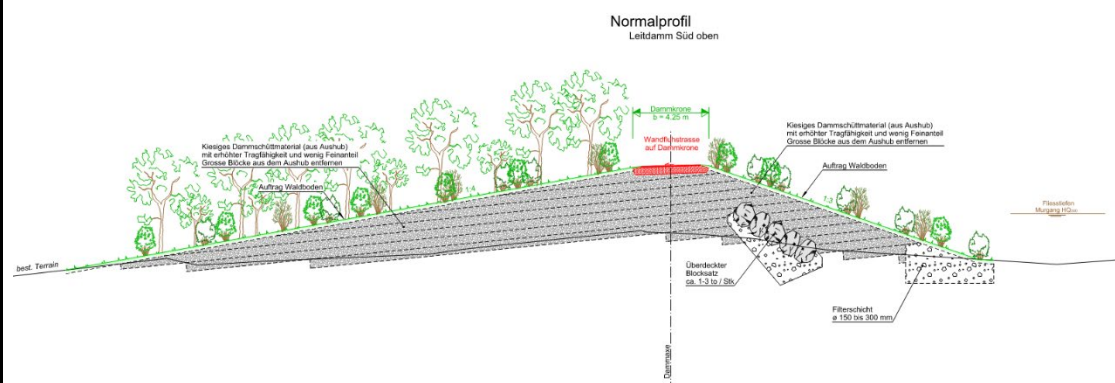
Illustrations :



Situation de la zone de rétention du charriage avec digue de guidage sud en bas et en haut.



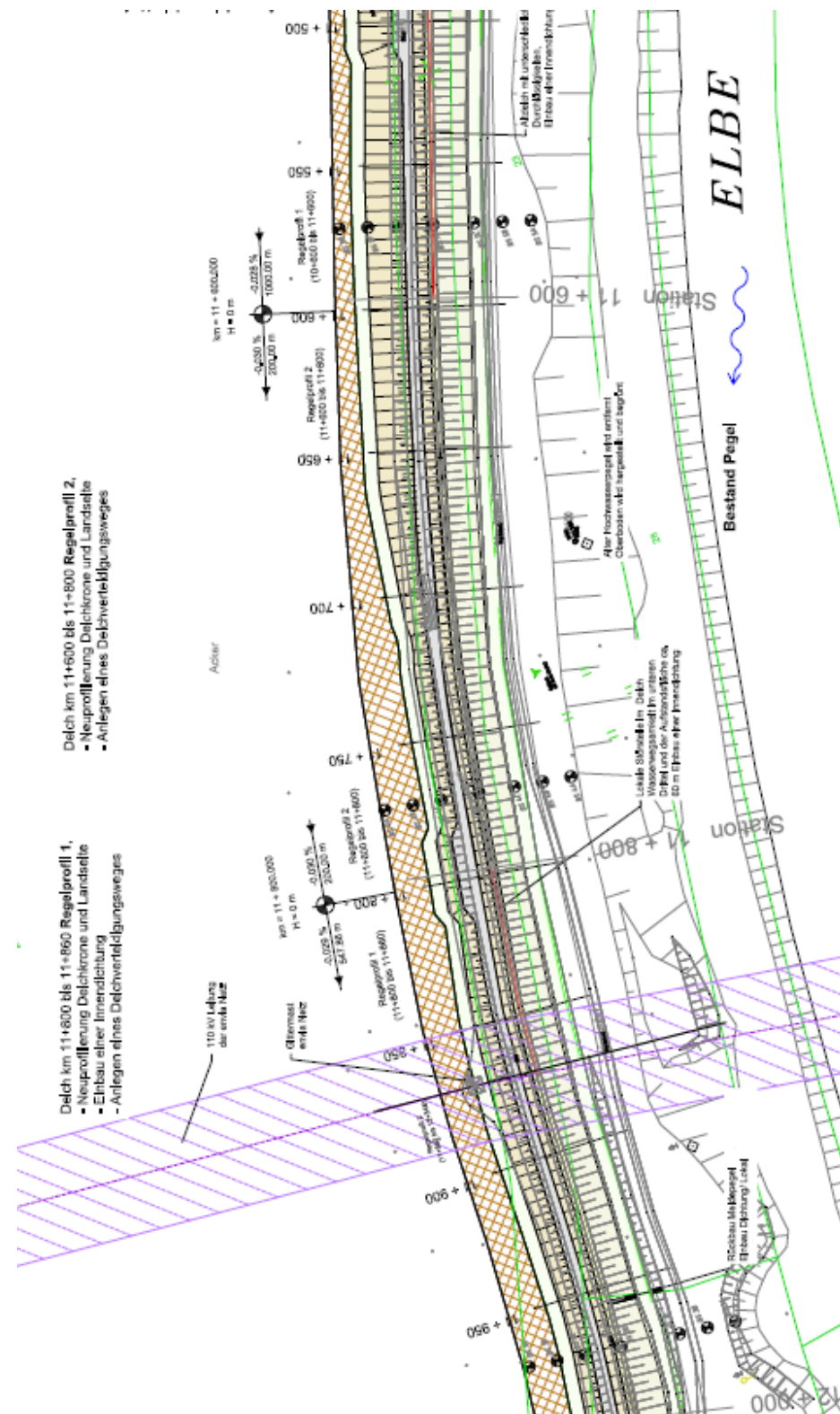
Profil normal de la digue de déviation sud en bas



Profil normal de la digue de déviation sud en haut

Projet P13 : Elbe, Z 8.5 Réparation des digues (digues longitudinales)		Eaux : Elbe
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input checked="" type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention		Année: 2018
		Pays : État libre de Saxe, D
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteur des digues: 4 m à 5 m Type de digue : Réfection avec mise en place de palplanches à effet statique Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:3 avec une largeur de couronnement de 3 m		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet :		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Solutions/études de variantes ▪ Sécurité du système 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspects géotechniques ▪ Réalisation ▪ Aspects environnementaux
Description: <p>La mesure de construction de digue protège l'infrastructure située à l'arrière et la population locale contre une crue HQ₁₀₀. La digue est un ouvrage de gestion des eaux et n'est pas utilisée à des fins touristiques.</p> <p>En accord avec les autorités de protection de la nature, des palplanches ont été mises en place pour assurer l'étanchéité intérieure afin de minimiser l'impact sur les précieuses structures de gazon.</p> <p>La construction de la digue se situe dans une réserve naturelle reconnue, ce qui impose des exigences particulières en matière de protection de la nature. Pendant la planification, différentes fiches de mesures ont été établies dans le cadre du plan d'accompagnement paysager, afin de minimiser ou d'éviter les effets de la mesure de construction sur l'environnement.</p> <p>Dans le cadre du dimensionnement statique relatif au joint intérieur de la palplanche, la sécurité du système de la digue a été démontrée. Les aspects géotechniques ont joué un rôle en relation à la compactabilité du sol.</p> <p>Mise en place d'une étanchéité intérieure avec des palplanches pouvant atteindre 15 m de long sur 1,5 km de tracé, ajout d'un chemin de protection de digue côté plaine.</p>		

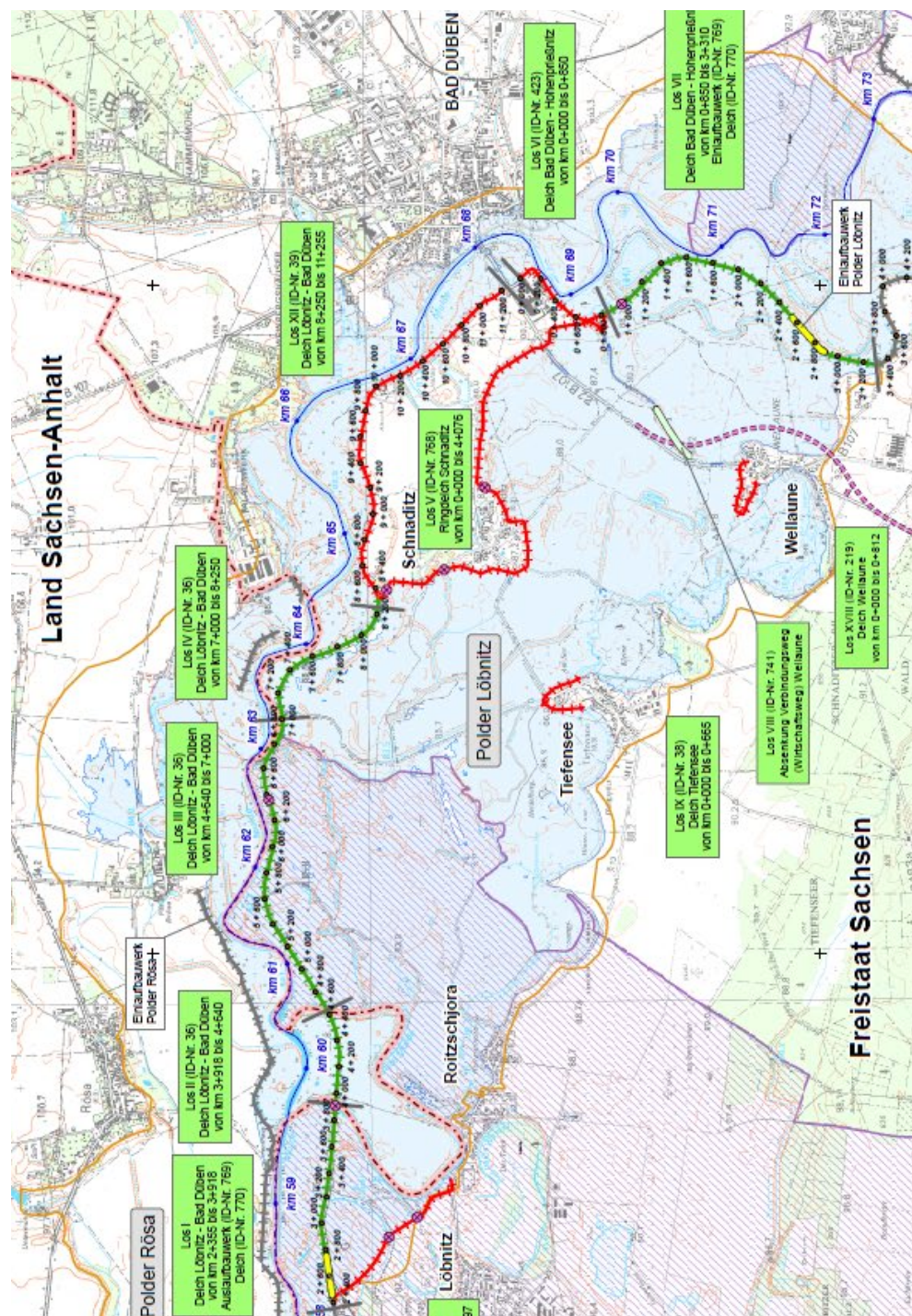
Illustrations :





Profil transversal

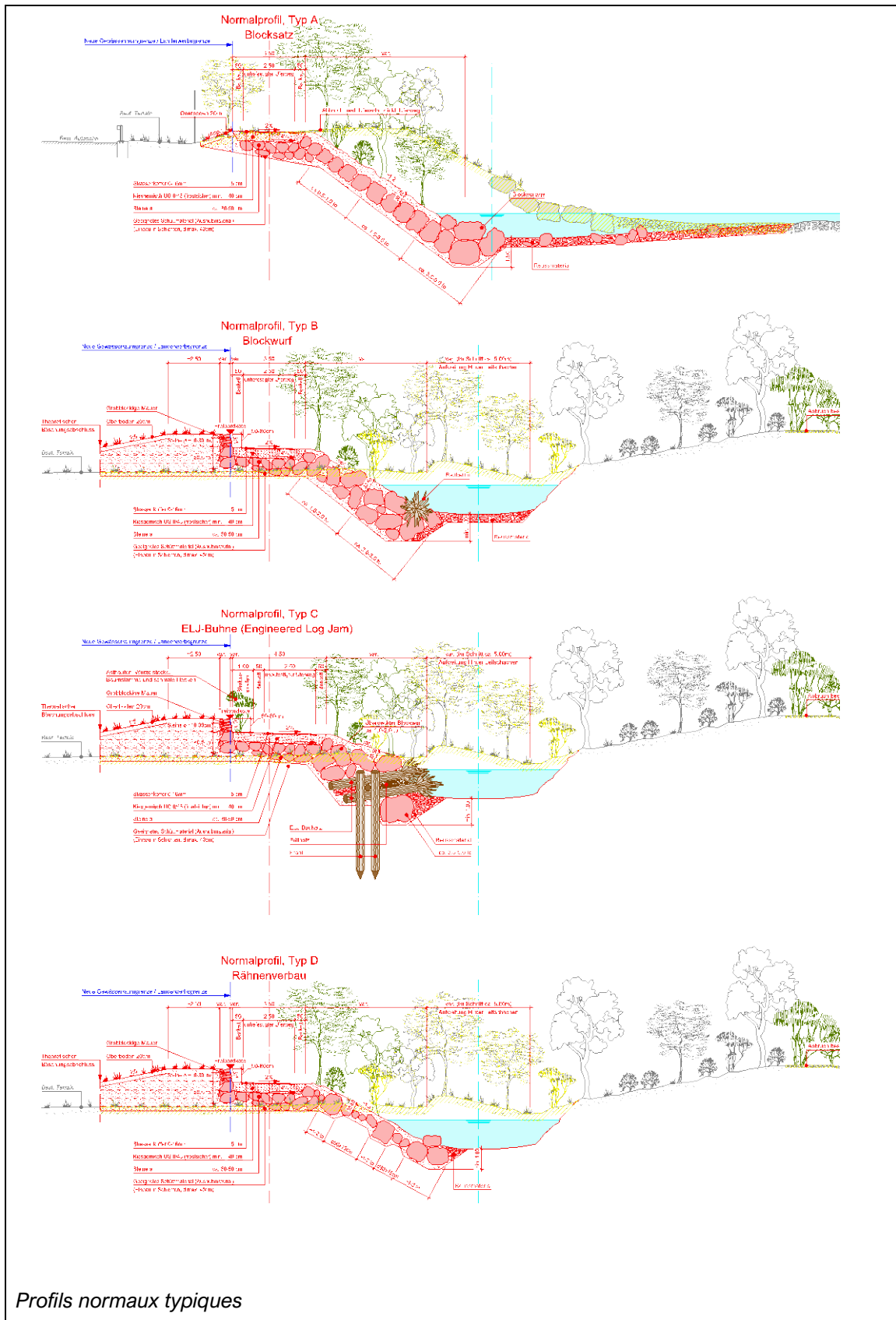
Projet P14 : Mise en place du polder contrôlé de Löbnitz		Cours d'eau : Vereinigte Mulde
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input checked="" type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input checked="" type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance et intervention		Année : en construction depuis 2011 Pays : État libre de Saxe (D)
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue : d'environ 1 m à environ 4 m Longueur des digues : env. 11,5 km (digues locales) env. 9,2 km (digues extérieures de polders) Type de digue : différentes constructions, en partie avec des palplanches comme renforcement interne (en partie statiquement efficace) Pente du talus (côté eau/côté plaine) : - 1:3/ 1:3. Largeur de couronnement de 3 m - dans la zone des sections de débordement 1:3 / 1:8, largeur de couronnement de 3 m		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet : www.polder-loebnitz.de		
Point(s) fort(s) : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Aspects environnementaux ▪ Convention d'utilisation 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sécurité du système ▪ Entretien
Description : <p>Le projet se situe dans un environnement sensible et de grande qualité du point de vue de la protection de la nature/du droit La région est en outre caractérisée par des terres arables très fertiles. De plus, la protection de l'homme est prioritaire sur 4 sites à protéger soit pour leurs intérêts touristiques (piste cyclable Mulder) ou à cause d'effets de protection suprarégionaux jusqu'à Bitterfeld-Wolfen.</p> <p>Ce n'est pas seulement la sécurité de fonctionnement des différents composants, comme les digues locales et les deux ouvrages contrôlés (ouvrage d'entrée et ouvrage de sortie), qui sont de grande importance, mais aussi l'interaction technique ainsi que les préparatifs nécessaires pour le cas d'exploitation (crue de la Mulde supérieure à HQ₂₅ simultanément à la crue HWSK Mulden [2004], correspondant à 1'100 m³/s). Il s'agit notamment de l'évacuation de la zone du polder et de la fermeture des routes et des chemins. Pour ce faire, une coopération entre plusieurs communes, le Landkreis Nordsachsen et l'association touristique du Land de Saxe est nécessaire.</p>		

Illustration :



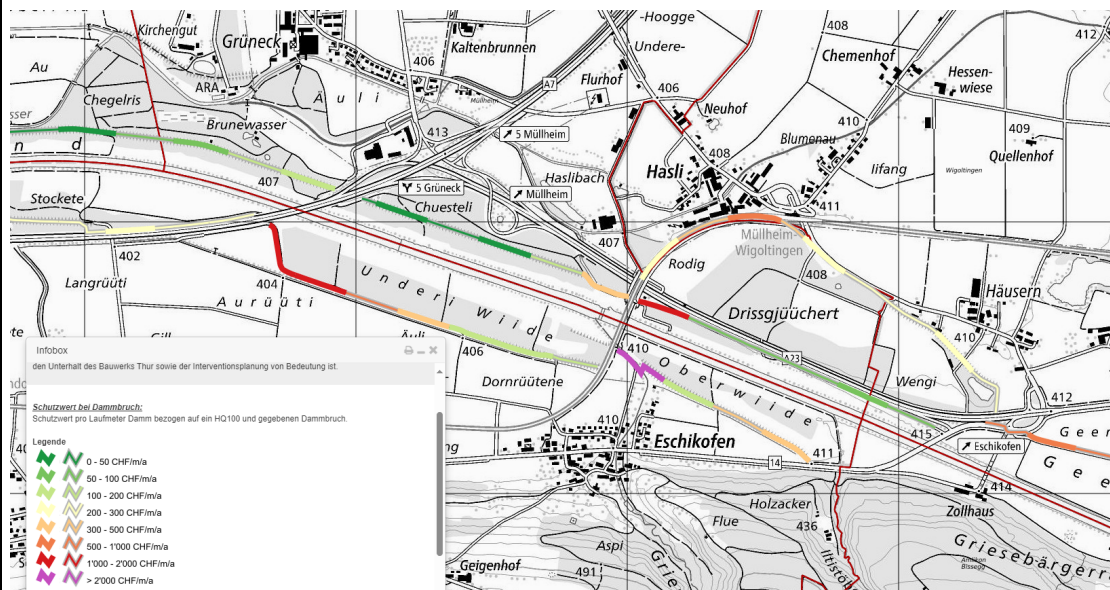
Plan d'ensemble : ligne verte - digue de sortie du polder (HQ₂₅, Vereinigte Mulde) ; ligne rouge - digue locale (HQ₁₀₀, Vereinigte Mulde).

Projet P15 : Élargissement de la Reuss Hinterleitschach, Erstfeld UR		Cours d'eau : Reuss
Exemple de phase de projet:		Année : 2023 / 2024
<input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input checked="" type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Canton : Uri
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales: Hauteur des digues: environ 7 m Type de digue: homogène Pente du talus (côté eau/côté plaine): 1:2 / 1:5		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet: Maître d'ouvrage : Office des travaux publics, Uri https://www.ur.ch/dienstleistungen/8458		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> Aspects environnementaux Végétation et peuplement forestier 		<ul style="list-style-type: none"> Exécution Structuration
Description: Différents aménagements de la protection de la digue (enrochement réglé et irrégulier, construction de râhne, ELJ), celle-ci est recouverte de galets et de gravier et il est prévu de la boiser et de créer des éléments structurels (tas de pierres ou de bois, souches).		
Illustrations : <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p><i>Enrochement régulier et éléments de structure</i></p>		



Projet P16 : Entretien des digues de protection contre les crues basé sur les risques		Cours d'eau : Thur (Tronçon Thurgovie)
Exemple de phase de projet : <input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses et formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III) Planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Année : 2023 Canton : Thurgovie
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales : Hauteurs de digue: 1,0 m à 5,8 m Type de digue : matériau inconnu ; sableux limoneux en partie avec gravier >matériau majoritairement inapproprié ! Pente du talus (côté eau/côté plaine): 39%-57% / 46%-61%		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet: Plan d'urgence contre les dangers naturels gravitationnels Guide pour les communes et les bureaux spécialisés, 16.08.2019 Plan d'urgence pour les dangers naturels gravitationnels Mise en œuvre du plan d'urgence, 16.02.2022		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Objectifs de protection et d'utilisation ▪ Végétation et peuplement forestier 		
Description: Établissement des priorités des travaux d'entretien en fonction des risques, tronçon par tronçon : <i>Entretien de construction :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Entretien de la route en sommet de digue • Suppression des abris d'animaux dans le corps de la digue • Remise en état de la géométrie sommet de digue <i>Entretien opérationnel :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Entretien des bosquets en accord avec la forêt et la protection de la nature et des zones alluviales : <ul style="list-style-type: none"> ○ Raisonnable ○ Préférence pour les racines pivotantes ○ Chablis : à l'exception des chênes, aucun arbre de plus de 30 cm de diamètre n'est autorisé. • Maintien d'un tapis herbacé délimité, (si possible malgré l'absence de stat. sur la limite de la forêt) <i>Planification de l'intervention :</i> <ul style="list-style-type: none"> • Surveillance par tronçon en cas de crue • Planification de l'intervention avec les CP communaux 		

Illustrations :



Plan d'entretien



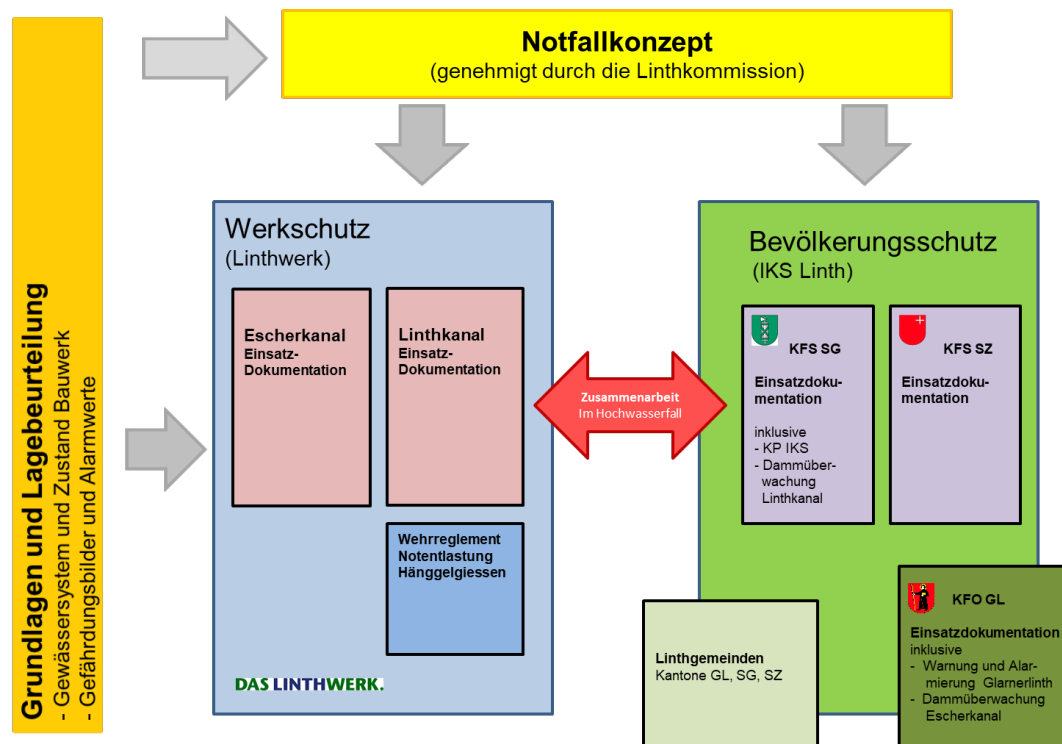
Végétation et peuplement forestier



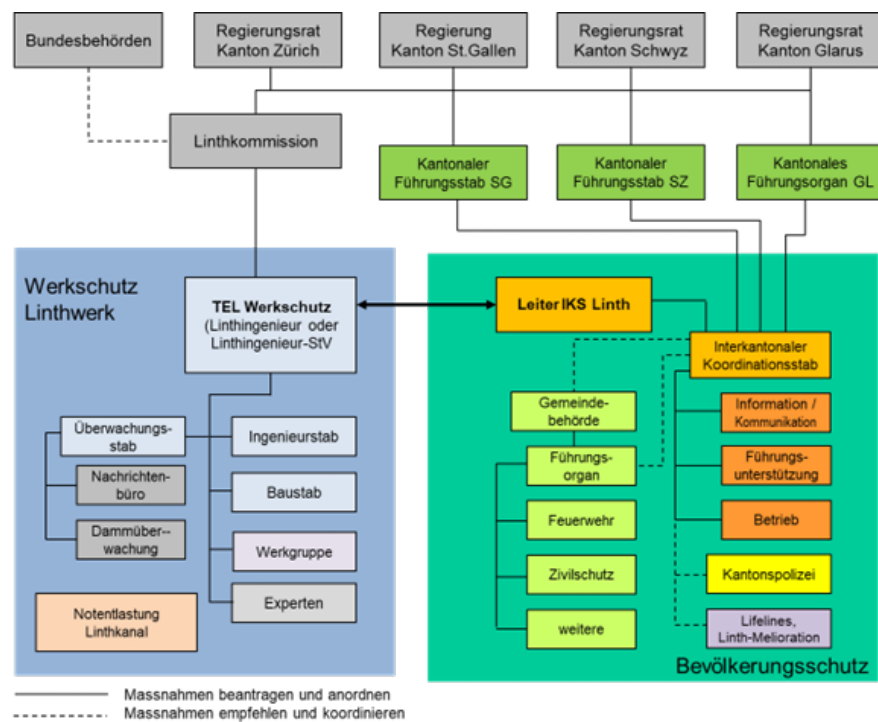
Entretien

Projet P17 : Planification d'urgence et intervention en cas d'événement		Eaux : Linth (Escher- kanal et Linthkanal)
Phase du projet :		Année : 2023
<input type="checkbox"/> Phase (I), bases, analyses, formulation des besoins <input type="checkbox"/> Phase (II), concept et faisabilité <input type="checkbox"/> Phase (III), planification et autorisation <input type="checkbox"/> Phase (IV), acquisition et réalisation, IBS <input checked="" type="checkbox"/> Phase (V), exploitation, entretien, surveillance, intervention		Cantons : Saint-Gall, Glaris, Schwyz, Zurich
Dimensions caractéristiques des digues longitudinales: Hauteur des digues : 2 m à 5 m		
Lien vers des informations supplémentaires sur le projet: www.linthwerk.ch Plan d'urgence Linthwerk - Concept d'urgence 2024, 07.12.2023 Documentation d'intervention sur le canal de la Linth, avril 2020		
Points essentiels: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Surveillance/documentation ▪ Intervention 		
Description <i>Aspects architecturaux de la Linthwerk</i> La sécurité contre les crues sur l'ouvrage de la Linth est assurée avant tout par les digues longitudinales, sur les tronçons : <ul style="list-style-type: none"> • Escherkanal > sur toute la longueur (env. 6 km) • Canal de la Linth > entre Roterbrücke et le lac de Zurich (env. 11 km) <i>Mise en place du plan d'urgence Linthwerk</i> Le plan d'urgence Linthwerk se compose des quatre volets suivants : <ul style="list-style-type: none"> • Concept d'urgence (comme document de niveau supérieur) • Protection d'ouvrage (avec documentation d'intervention Escher- et Linthkanal) • Protection de la population (avec documentation d'intervention par EMCC (état-major cantonal de conduite)) • Principes de base et évaluation de la situation L'ouvrage de la Linth assure la protection contre les crues dans la plaine de la Linth. La commission Linth est l'organe suprême de l'ouvrage et correspond au conseil d'administration. En cas de danger imminent, la commission de la Linth a pour mission de tout mettre en œuvre pour limiter au maximum les dommages. En cas d'événement, la commission de la Linth peut donner directement des ordres aussi bien à l'organe de protection de l'ouvrage qu'à l'état-major de coordination intercantonal, pour autant que ceux-ci soient en rapport avec un danger lié à l'ouvrage de la Linth.		

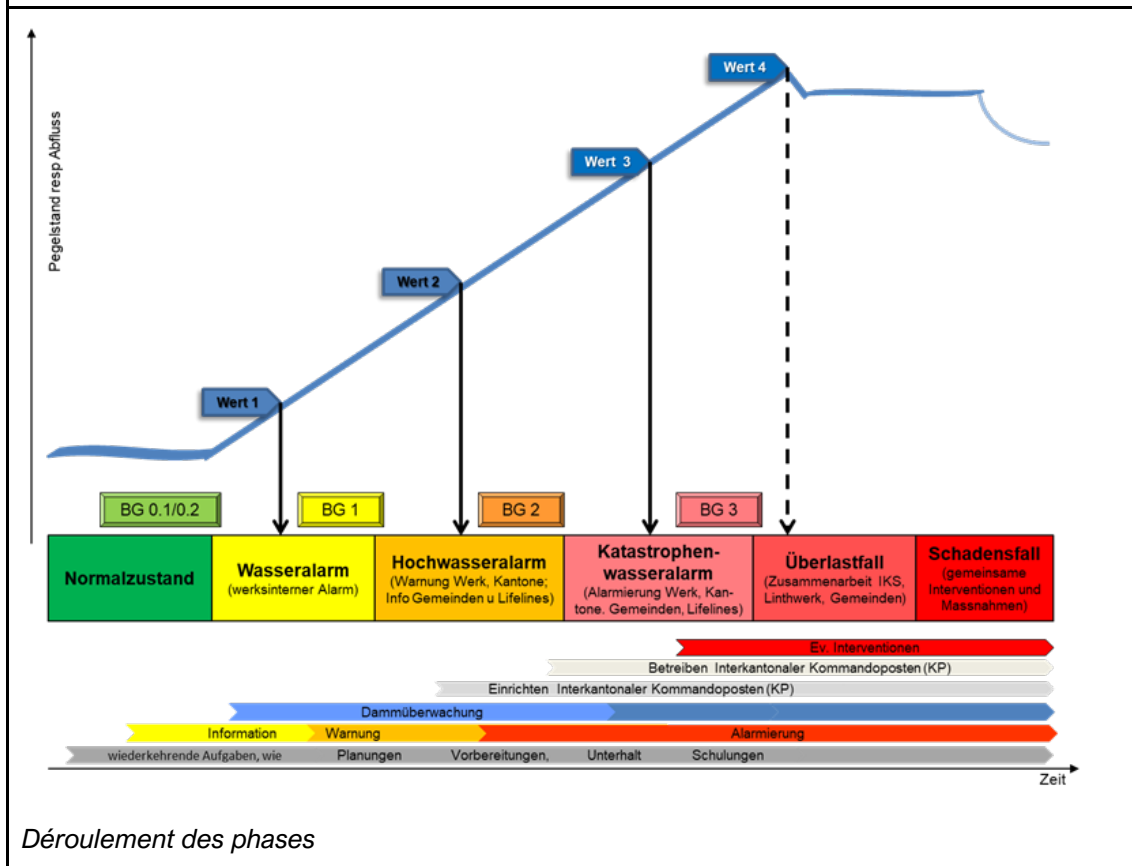
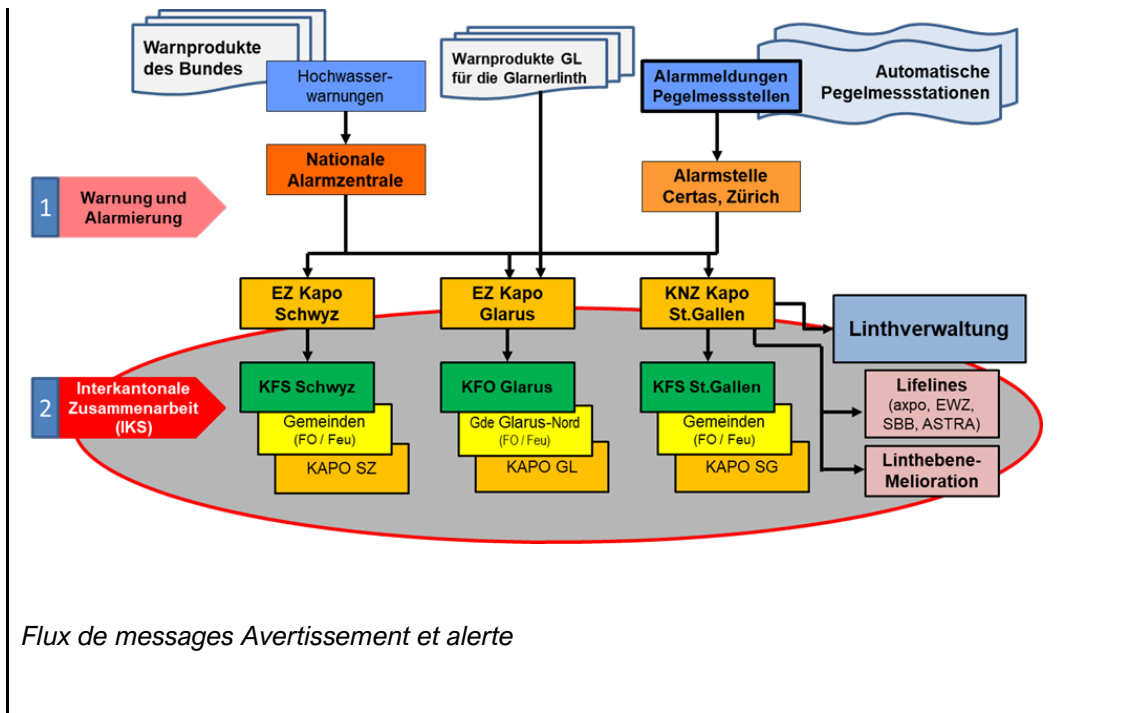
Illustrations :

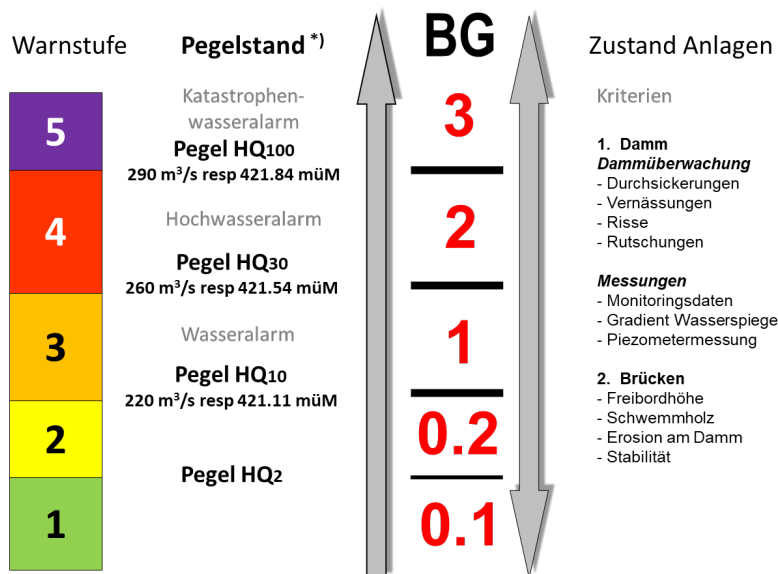


Plan d'urgence Linthwerk



Organigramme (collaboration dans le cadre du plan d'urgence Linthwerk)





^{*)} Linthkanal: Pegel Biäsche (Weesen), BAFU

Degrés de préparation (DP)

13 Annexe B : Bibliographie complémentaire

Internationale Literaturrecherche
Alphabetische Liste der Fichen und Zuordnung zu den Kriterien

X: Thema wird angesprochen
XX: Themenschwerpunkt

Nr.	Kurzbezeichnung	Land	Art des Dokuments	Inhalt des Dokuments	Grundfor- derungen Bauwerk	Randbedingungen von Natur und Landschaft	Design der Schutzbauwerke	Bautechnisc- he Randbed.	Kosten und Wirtschaftlichkeit	Zustand- in- digität	Betrieb, Überwachung, Erhaltung	Bewirtschaftung und Unterhalt
ABIO	Aanleg en beheer van grasland op riveroeffen	NL	Richtlinie	Grasvegetation auf Dämmen								
ARI	Inondations – Analyse de risque des systèmes de protection	F	Leitfaden, Buch	Umfassender Leitfaden für Risikoanalysen an HWS-Systemen	X		XX				XX	
BFE	Publikationen zu Stauanlagen, namentlich der Klasse 3	CH	Richtlinie	Richtlinien, Wegleitungen, Hilfsmittel rund um Stauanlagensicherheit (Stauhaltungsdamme)	X		X				X	X
CDP	Colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations	F	Tagungspublikation	Viele Erfahrungsbereiche an französischen Dämmen, Themenbereich weit abgedeckt.	X		X	X	X	X	X	X
CSA	Channel Stability Assessment for Flood Control Projects	USA	Leitfaden	Allgemein über HWS an Flüssen	XX		X					
DAF	Merkbild DWAM 507-1; Deiche an Fließgewässern	D	Leitfaden	Umfassendes Regelwerk ausschliesslich für Flusseiche	X	X	X	XX			X	X
DDP	Überströmte Dämme, Dammschichten und Flusseiche	D	Tagungspublikation	Empfehlungen/Bemessungsgrundlagen für überströmte Dämme (v.a. bei HRB)	X		XX	X				
DEC	Décret n° 2015-626, règles de sûreté des ouvrages hydrauliques	F	Gesetzeswerk	Gesetzliche Basis in Frankreich für Wasserbauwerke	X					X	X	X
DEF	Digues de protection et systèmes d'endiguement	F	Tagungspublikation	Allgemeine Klassifikation von HWS-Dämmen. Ein Damm ist kein natürliches Element.		X	X	X				X
DET	Detection of animal burrows by remote sensing and geophysical techniques	I	Forschungs- publikation	Fernerkundung von Makroporen und Wildtiergängen		X	X				XX	X
DEV	Les déversoirs sur digues fluviales	F	Lehrbuch	Hochwasserentlastungen als Sicherheitsventile oder zum HW-Rückhalt	X		X				X	
DGL	Design Guidance on Levees	USA	Richtlinie	Vorgabe von Werten für die Sicherheitsfaktoren gegen Unterstromung von Längsdämmen.			XX					
DQH	Deichquerschnitte Hochwasserschutzdämme	A	Leitfaden	Allgemeiner Überblick über alle technischen Themen. Kurzvergleich mit Staudämmen	X		X	X			X	X
DSD	Design of Small Dams	USA	Richtlinie	US-Regelwerk zu Stauhaltungs-dämmen	X	X	X	X			X	X
EDF	Massnahmen zur Entloftung von Flusseichen	D	Tagungspublikation	Umfassender Überblick über Deichsanierungen		X	X	X	X		X	
EDH	Endorheischer Damm Hagneckkanal	CH	Studie Modellversuch	Endorheischer Dammaufbau zur Kontrolle des Überstalts, Modellversuche	XX		X	XX				
ELB	Entwicklung landschaftsverträglicher Bauweisen für überströmte Dämme	D	Dissertation	Bauweisen Überströmung, Mastischotter vertieft.	X	X	XX	X	X			
EUC	Levees and Flood Defences Characteristics, Risks and Governance (EUCCOLD)	Europa USA	Dokumentation int. Arbeitsgruppe	Erfahrungssammlung aus elf Ländern	X	X	X	X		XX	X	X
FBD	Soilbed Hydro-Mechanical Analysis of the Failure and Failure Behaviour of a Dike on Soft Soils	Europa, NL	Tagungspublikation	1:1-Feldversuch eines Dammbrochs auf Tonuntergrund	X		XX	X			X	X
FCC	Hydraulic Design of Flood Control Channels	USA	Leitfaden	Hydraulische Bemessungsgrundlagen und Bemessungswerte	X		XX					
FEM	Nachweise zur Standsicherheit von Dammböschungen	D	Forschungs- publikation	Standortsicherheitsnachweise nach Eurocode 7 mittels Berechnung FEM.			XX					

Nr.	Kurzbezeichnung	Land	Art des Dokuments	Inhalt des Dokuments	Grundanforderungen Bauwerk				Randbedingungen von Natur und Landschaft			Design der Schutzbauwerke		Bautechnische Randbed.		Kosten und Wirtschaftlichkeit		Zustandigkeit	Betrieb, Überwachung, Erhaltung		
					Hydrologie	Schutzziele / Systemverhalten	Nutzungen / Anforderungen	Umwelt und Ökologie inkl. GW	Land- und Forstwirtschaft	Beanspruchung	Land + Eigentum	Naherholung und Freizeinutzung	Hydraulische Dimensionierung	Geotechnische Dimensionierung	Technische Konzeption, inkl. Entw.	Erschließung, Zugänglichkeit	Baugewerk			Kosten	Schadenspotenzial
MDI	BAW Merkblatt - Damminspektion	D	Merkblatt	Versagen von Dammbauten verhindern			X	X					X					XX	X		
MHD	Modellversuch zur Unterströmung von Hochwasserschutzdämmen	A	Masterarbeit	Naturwissenschaftlicher Modellversuch zur Unterströmung									XX								
MMB	BAW Merkblatt – Materialtransport im Boden	D	Merkblatt	Suffosion, Kontaktion und Fugenerosion in nicht kohäsiven und kohäsiven Böden									XX								
MSD	BAW Merkblatt – Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstrassen	D	Merkblatt	Standardsicherheitsnachweise und zugelassener Bewuchs			X						X	XX	X					X	
NLD	National Levees Database: monitoring, vulnerability assessment and management	I	Fachartikel	Entwicklung einer italienischen Levee Datenbank (INLED)														XX	X		
NWW	Waterwet (Wassergesetz)	NL	Gesetzeswerk	Regelt den HWS, insbesondere die Schutzbauwerke 1. Ordnung	X	X										X	X		XX		
ODI	Cadre réglementaire, Ouvrages de protection, Décret « digues »	F	Tagungspublikation	Erläuterungen zum décret "digue" (Dokument DEC), Organisation HWS in Frankreich														XX	X	X	
OGT	Oesterreichische Geotechniktagung	A	Tagungspublikation	Geokunststoffe, Filterkriterien, Versagensmechanismen, etc.									XX	X							
OIT	Handreiking ontwerp met overstromingskans	NL	Leitfaden	Anleitung für den Entwurf der Schutzbauwerke 1. Ordnung	X								X	X	XX						
PFD	Probabilistic flood defence assessment tools	NL	Tagungspublikation	Zusammenfassung von Dokument RFD	X	X							X	X	X			X	X	X	
PRH	Plan Rhône, bassin Rhône Méditerranée (Projekt, Fluss)	F	Projektbeschreibung	Übergeordnetes Projekt ab Genfersee bis Meer, inkl. Sabie, Zahlreiche Teilprojekte.			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	
PWS	PLANAT – Wirkung von Schutzmassnahmen, Teil F: Flüsse	CH	Vollzugshilfe	Wirkung, Gefährdungsbilder usw. einer Uferabsicherung (inkl. Damm)			X						X	X							
RAL	The risk analysis of levee systems	Europa	Tagungspublikation	Risikoanalyse an eingedämmten Flüssen	X	X							X	X							
REM	Réalisation des remblais et des couches de forme	F	Handbuch	Material und Einbau von Schüttungen und Tragschichten										XX							
RFD	Implementing risk based flood defence standards	NL	Statusbericht	Beschrieb des seit 2014 neu organisierten HWS in NL	X	X							X	X	X			X	X	X	
RFW	Retaining and Flood Walls	USA	Leitfaden	HWS-Mauern aus Beton etc.		X							X	X							
RID	Risk-informed Decision-Making for the Safety of Dams and Levees	Welt	Handbuch	ICOLD-Bulletin 189: current state-of-practice. Noch nicht verfügbarer preprint.	(X)	(X)	(X)	(X)					(X)	(X)				(X)	(X)	(X)	
RSS	Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques	F	Vollzugshilfe	Sicherheit von Dämmen bezüglich Erdbeben. Schwerpunkt barrages.									XX	X							
RTD	Référentiel technique digues maritimes et fluviales	F	Handbuch	Umfassendes Handbuch zu HWS-Dämmen	X								X	X	X	X		X	X	X	
RTS	Cause del collasso dell'argine del fiume Secchia	I	Ereignisanalyse	Detaillierte Analyse eines Dammbrechereignisses	X								XX					X			
SED	Earth Dikes under Influence of Precipitation and Vegetation	D	Dissertation	Einfluss Regen und Vegetation, Kohäsion durch Wurzeln			X						XX								
SIA	Tragwerksnormen 200, 201 und 207	CH	Normenwerk	Projektlösung von Tragwerken allgemein und geotechnischen Bauwerken im Speziellen	X								X	XX	XX						
SLS	Slope Stability	USA	Leitfaden	Allgemein Böschungssicherheit und Erdstaudämme																	
SMD	Surveillance, Maintenance and Diagnosis of Flood Protection Dykes	F	Handbuch	Praxishandbuch für Besitzer und Betreiber von Längsdämmen			X	X					X	X			X		XX	XX	X

Nr.	Kurzbezeichnung	Land	Art des Dokuments	Inhalt des Dokuments	Grundanforderungen Bauwerk		Randbedingungen von Natur und Landschaft				Design der Schutzbauwerke			Bautechnische Randbed.		Kosten und Wirtschaftlichkeit		Zuständigkeit	Betrieb, Überwachung, Erhaltung				
					Hydrologie	Schutzziel inkl. Systemverhalten	Nutzungen / Anforderungen	Umwelt und Ökologie inkl. GW	Land- und Forstwirtschaft	Beanspruchung Land + Eigentum	Naherholung und Freizeinutzung	Hydraulische Dimensionierung	Geotechnische Dimensionierung	Technische Konzepte, inkl. Entl.	Erstbeurteilung, Zugänglichkeit	Baugewerk	Kosten	Schadenspotential	Wirtschaftlichkeit		Aufsicht und Überwachung	Betrieb und Unterhalt	Bewirtschaftung und Unterhalt
SRA	US best practices in dam and levee safety risk analysis	USA	Tagungspublikation	Umfangreiche Dokumentation v.a. zur Stauanlagensicherheit	X	X						X	X	X					X		X	X	X
TLW	Tech-Levee-Watch: geophysical system for stability assessment of levees	I	Forschungspublikation	Beispiel einer permanenten geoelektrischen Dammbewachung									X							XX			
TRK	Technisch rapport kiel voor dijken	NL	Leitfaden	Gebrauch von lehmigem Material in HWS-Dämmen									X		X	X							
UHO	Unterströmung von Hochwasserschutzdämmen	A	Masterarbeit	Kleinmassstäblicher Modellversuch zur Unterströmung								X	XX	X									
ULD	Urban Levee Design Criteria	USA	Leitfaden	Bau und Unterhalt von HWS-Dämmen im urbanen Raum		X	X	X				X	X	X	X	X				X	X	X	X
VAW	VAW-Mitteilungen 218,238 und 241, betreffend Dammbrüche	CH	Forschungspublikation	Untersuchung Deichbruch und Breschenbildung an phys. und num. Modellen		X						X	X	X									
VSH	Verdichtungstechnologie zur Sanierung von Hochwasserschutzdämmen	A	Forschungspublikation	Verdichtungsmethoden mit spezieller Tiefenwirkung									X		X	X							
WBI	Publikatie regeling veiligheids primaire waterkeringen	NL	Leitfaden, Berechnungstools	Detaillierte Vorgabe, wie die HWS-Bauwerke 1. Ordnung überwacht / überprüft werden.	X	X						X	X	X					X	XX	X	X	X
WHG	Wasserhaushaltsgesetz des Bundes	D	Gesetzeswerk	Abschnitt 6 ab Art. 72: HWS. V.a. im Überschwemmungsgebiet			X																
WIK	WikiBarDig, unité de recherche Ouvrages Hydrauliques	F	Internetseite (Wissensplattform)	Wissensvermittlung in Bezug auf hydraulische Bauwerke	X	X	X		X		X	X	X	X					X	X	X	X	X
WRP	Water Resources Reform and Development Act public Law 113-121	USA	Gesetzeswerk	Regelt den HWS in den USA		X								X						X			
ZDB	Zustandsmonitoring von Dammbauwerken	A	Leitfaden	Anleitung für Prüfung Funktionsfähigkeit und für Monitoringssysteme										X			X			X	XX	X	X

- ABG. Unie van Waterschappen. 1992. *Aanleg en beheer van grasland op rivierdijken*. Pays-Bas : Unie van Waterschappen et Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. directive.
- ARI, Bruno Beullac Irstea, Ur Recover, Aix-En-Provence, et Rémy Tourment. 2019. *Inondations - Analyse de risque des systèmes de protection, Application aux études de danger*. France : Éditions Lavoisier (désormais JLE). Livre. <https://www.lavoisier.fr/livre/sciences-du-risque/inondations-analyse-de-risque-dessystemes-de-protection/tourment/description-9782743023652>.
- OFEN. 2014. *publications OFEN / OFEG sur les barrages, notamment les petits ouvrages*. Suisse : BfE - Office fédéral de l'énergie. Aides à l'exécution. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/aufsicht-und-sicherheit/talsperren/richtlinien-und-hilfsmittel.html>.
- CDF. 2019. *Colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations*. France : Irstea - 3ème Colloque sur les digues maritimes et fluviales de protection contre les inondations. Diapositives de présentation.
- CSA. 1994 - *Channel Stability Assessment for Flood Control Projects* (Évaluation de la stabilité des canaux pour les projets de lutte contre les inondations). ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- DAF. 2011. *fiche technique DWA-M 507-1 ; digues sur les cours d'eau*. Allemagne : DWA - Association allemande pour la gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets. Fiche d'information. <https://de.dwa.de/de/>.
- DDF, Rüdiger Siebel. 2003. *digues submersibles, embrasures de digues et digues fluviales*. Allemagne : Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Institut de protection de l'environnement du Bade-Wurtemberg). Recueil d'articles spécialisés.
- DEC. 2015. *décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques*. France : Légifrance - Le service public de la diffusion du droit. La loi. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000030591079&categorieLien=id>.
- DEF, Rémy Tourment, Irstea, et Bruno Beullac. 2018. *Digues de protection et systèmes d'endiguement : Définitions, objectifs et fonctions*. France : DREAL - Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du Plan Rhône. Diapositives de présentation.
- DET, E. Forte, A. Mocnik, R. Zambrini, F. Cervi, D. Martinucci, F. Pellegrini, e. a. 2017. *Détection et caractérisation de crues d'animaux dans des embranchements de rivières à l'aide de techniques de télédétection et de géophysique couplées : leçons tirées de la rivière Panaro (nord de l'Italie)*. Italie : Géologie de l'ingénierie. Rapport de recherche. http://esplorasrl.it/wp-content/uploads/2018/02/ENGEO_Borgatti-et-al.pdf.
- DEV, Gérard Degoutte. 2012. *les déversoirs sur digues fluviales*. France : Éditions Quæ. Manuel. https://www.quae.com/produit/1150/9782759219490/les-deversoirs-sur-digues-fluviales?_ga=2.55214063.591791365.1574840829-346490218.1574840829.
- DGL. 1997. *guide de conception sur les vannes*. ÉTATS-UNIS : USACE. Directive. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.

- DQH, Werner Hinterleitner. 2007. *sections transversales des digues de protection contre les inondations*. Autriche : BMLFUW - Ministère fédéral de l'agriculture et des forêts, de l'environnement et de la gestion de l'eau Section Eau, A-1012 Vienne, Stubenring 1. Guide.
- DSD, C.W. Huntley, J.C. Hokenstrom, A.G. Cudworth Jr., T.N. McDaniel, H.K. Blair, et W.C. Dunkin. 1987. *conception de petits barrages*. ÉTATS-UNIS : USBR. Directive. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/mands-pdfs/SmallDams.pdf>.
- EDE, Ronald Haselsteiner. 2013. *mesures de renforcement des digues fluviales*. Allemagne : DWA - Association allemande pour la gestion de l'eau, des eaux usées et des déchets. Séminaire Contribution.
- EDH, L. Schmocker, V. Weitbrecht, P.A. Mayor, R. Herzog, et E. Rühli. 2010. *digue érodable du canal de Hagneck rapport VAW n° 4285 / rapport IGT n° 4752*. Suisse : VAW - Versuchsanstalt für Wasserbau der ETHZ, IGT Institut für Geotechnik der ETHZ, sur mandat de l'Office des eaux et des déchets du canton de Berne (AWA). étude.
- ELB, Jan Queisser. 2006. *développement de méthodes de construction compatibles avec le paysage pour les barrages submersibles*. Allemagne : Prof. Dr. mult. Franz Nestmann Mitteilungen des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung - Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik - der Universität Karlsruhe (TH) ; Heft 233. Dissertation.
- EUC. 2018. *Levees and Flood Defences European and US Report Characteristics, Risks and Governance*. États-Unis/Europe : EUCOLD Working Group on Levees and Flood Defences. Rapport de travail. https://www.barragescfbr.eu/IMG/pdf/lfd_inventory_of_characteristics_risks_and_governance_full_report_final_20190308.pdf.
- FBD, D. Sterpi, T. de Gast, S. Muraro, E. Ponzoni, H. van Hemert, et C. Jommi. 2019. *analyse hydro-mécanique couplée du comportement de pré-faillite et de défaillance d'un dyke sur un substratum mou*. Pays-Bas : ICOLD - 15th International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams, Theme C. Rapport d'événement. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-51085-5_36.
- FCC. 1994. *conception hydraulique des canaux de contrôle des inondations*. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- FEM, Ulrich Schneider, et Eugen Perau. 2009. *vérification de la stabilité des talus de digues - une comparaison entre les méthodes classiques et la méthode des éléments finis*. Allemagne : Université de Duisburg Essen. Travail scientifique/recommandation. <https://www.uni-due.de/geotechnik/>.
- FRD. 2013. *Association nationale des gestionnaires de digues France Dignes*. France : France digues - Association nationale des gestionnaires de digues. Diapositives de présentation. <http://www.france-dignes.fr/>.
- GBB. 2011. *bases pour le dimensionnement des protections de talus et de lit sur les voies navigables intérieures*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information.
- GDC. 2004. *Considérations générales sur la conception et la construction des barrages de remplissage en terre et en roche*. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.

- GEV, P. Mériaux, C. Zanetti, et M. Vennetier. 2015. *gestion de la végétation des ouvrages hydrauliques en remblai*. France : Cardère éditeur, Irstea Aix-en-Pce. Fiche d'information.
- GHB, Melanie, et Melanie Schultz van Haegen. 2017. *Grondslagen voor hoogwaterbescherming / Fondements de la protection contre les inondations*. Pays-Bas : ENW - Expertisenetwerk waterveiligheid (appartenant au Rijkswaterstaat). Directive.
- GHD, Josef Schönleitner. 2013. *structures arborées sur les digues de protection contre les inondations*. Autriche : BOKU - Institut de génie biologique et d'aménagement du paysage Département de génie civil et de risques naturels Université de la culture du sol de Vienne. Mémoire de master. https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?dataset_id=11285&property_id=107.
- GHW. *Géotechnique dans la protection contre les inondations*. Allemagne : Institut de mécanique des sols et de construction de fondations, Université de l'armée fédérale de Munich. Script de cours.
- BPL. 2014 *Guidelines for Landscape Planting and Vegetation Management at Levees, Floodwalls, Embankment Dams and Appurtenant Structures*. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- GPS, Uwe Hoffmann, Ronald Lewis, Tina Martin, Marcus Möller, Kai Musfeldt, Ernst Niederleithinger, e. a. 2008. *Procédés géophysiques pour la reconnaissance structurelle et l'analyse des points faibles des digues fluviales - un manuel*. Allemagne : BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Institut fédéral de recherche et d'essais sur les matériaux). Rapport de recherche.
- HDC. 2000. *Design and Construction of Levees*. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- HFW. 2001 : *Protection contre les crues des cours d'eau - Directives de l'OFEG*. Suisse : OFEG (actuel OFEV). Aide à l'exécution.
- HWD, Ronald Haselsteiner. 2007. *les digues de protection contre les inondations le long des cours d'eau et leur infiltration*. Allemagne : Chaire et centre d'essais pour l'aménagement et la gestion des eaux, Université technique de Munich. Travail scientifique.
- HWH, Walter Binder, Wolfgang Breit, Jansjörg Brombach, Markus Disse, Klaus-D. Fröhlich, Robert Jüpner, et autres. 2013. *Manuel des inondations*. Allemagne : Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz Patt, Professeur Dr. rer. Nat. Robert Jüpner. Manuel. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-28191-4>.
- IED. 2017. *ICOLD-Bulletin 164 : Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and Their Foundations / L'érosion Interne Dans Les Digues, Barrages Existants et Leurs Fondations* ; Monde : ICOLD, comité des barrages en remblai, Jean-Pierre Tournier 7. Bulletin. <https://www.icold-cigb.org/GB/publications/bulletins.asp?IDA=248> Résumé succinct.
- IEE. 2019. *Internal Erosion in Earthdams, Dikes and Levees*. Europe : Groupe de travail européen sur l'érosion interne (EWG-IE). Collection de travaux scientifiques. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-99423-9#toc>.
- IMP. 2005. *IMPACT-Investigation of Extreme Flood Processes and Uncertainty, Final Technical Report - January 2005*. Europe. Rapport de travail.
- JTD. 2018. *Journée technique Digues et systèmes d'endiguement Pays : France*. France : DREAL - Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du Plan Rhône. Diapositives de

- présentation. <https://www.plan-rhone.fr/objectifs/agir-sur-l-alea/journee-technique-digues-etsystemes-d-endiguements-459.html>.
- LHB. 2013. *The International Levee Handbook*. Grande-Bretagne, France, États-Unis. Manuel. www.ciria.org.
- LKB. 1988. *Leidraad keuzemethodiek dijk en oeverbekleding deel 1 en 2*. Pays-Bas : TAW - Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW). Guide.
- LOR. 1985. *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 - bovenrivierengebied*. Pays-Bas : TAW - Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW). Guide.
- MAD, Bruno Beullac, Gérard Degoutte, et Rémy Tourment. 2015. *Études de dangers des systèmes de protection contre les inondations : une méthode d'analyse de la défaillance*. France : La Houille Blanche, n° 1. Publication.
- MAG. 2013. fiche technique BAW - *Utilisation de filtres géotextiles sur les voies navigables*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information.
- MAK. 2013. fiche technique BAW - *Utilisation de filtres à grains sur les voies navigables fédérales*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information. <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102458>.
- MAR. 2008. *application de méthodes de construction normalisées pour la stabilisation des talus et du lit des voies navigables intérieures*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information.
- MAV, Markus Weissmann, et Jürgen Stein. 2017. *application de matériaux à liant hydraulique pour le scellement de pierres de construction hydraulique sur les voies navigables*. Allemagne : BAW. Fiche d'information.
- MDI. 2017. fiche technique BAW - *Inspection des barrages*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information. <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102482>.
- DLC, et Dominik Johannes Dorner. 2012. *essai de modélisation à l'échelle naturelle pour l'étude de l'affouillement des digues de protection contre les inondations*. Autriche : Université Technique de Vienne - Faculté de Génie Civil Institut de Géotechnique - Domaine de recherche pour la construction de fondations, la mécanique des sols et des roches. Mémoire de master.
- MMB. 2013. fiche technique BAW - *Transport de matériaux dans le sol*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information. <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102471>.
- TMS. 2011. fiche technique BAW - *Stabilité des digues sur les voies navigables fédérales*. Allemagne : BAW - Bundesanstalt für Wasserbau. Fiche d'information. <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/102478>.
- NLD, S. Camici, P. Maccioni, T. Moramarco, et S. Barbetta. 2015. *National Levee Database : Monitoring, Vulnerability Assessment and Management in Italy*. Italie : Geophysical Research Abstracts, Vol. 17e rapport de recherche. <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-10170.pdf>.
- NWW. 2018. *Waterwet (loi sur l'eau)*. Pays-Bas : Gouvernement néerlandais. La loi.
- ODI. Jean-Luc Barrier. 2018. *Cadre réglementaire, Ouvrages de protection, Décret " digues " du 12/05/2015*. France : DREAL - Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du Plan Rhône.

Diapositives de présentation. <https://www.plan-rhone.fr/objectifs/agir-sur-l-alea/journee-technique-digues-etsystemes-d-endiguements-459.html>.

- OGT, F. Saathoff, et G. Heerten. 2005. congrès *autrichien de géotechnique - avec conférence Vienna-Terzaghi et remise du prix autrichien de la construction de base RAPPORTS DU CONGRÈS*. Autriche : OIAV - Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein A-1010 Wien, Eschenbachgasse 9. Publication du congrès.
- OIT. 2017. *OI2014v4 Handreiking ontwerpen met overstromingskans*. Pays-Bas : Gouvernement néerlandais. Guide.
- PFD, Han Knoeff, Alessandra Bizzarri, Marcel Bottema, Wout de Vries, et Robert Slomp. 2016 *FLOODrisk 2016 Conference - Probabilistic Flood Defence Assessment Tools*. Pays-Bas : Rijkswaterstaat, Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement. Publication du colloque.
- PRH. 2015. *plan Rhône, bassin Rhône Méditerranée (projet, fleuve)*. France : DREAL - Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre du Plan Rhône. Rapport de projet.
- PWS. 2008. *évaluation de l'impact des mesures de protection contre les risques naturels comme base pour leur prise en compte dans l'aménagement du territoire, partie F : rivières*. Suisse : PLANAT (actuel OFEV). Aide à l'exécution.
- RAL, M. Wallis, B. Beullac, A. Kortenhaus, D.M. Schaaf, H. Schelfhout, et R. Tourment. 2014. *l'analyse de risque des systèmes de leviers*. Porto : 3rd IAHR Europe Congress, Union européenne. Publication du colloque.
- REM, SETRA/LCPC. 1992. *Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) - Fascicule 1 - principes généraux*. France : Cerema (anciennement Setra). Manuel.
- RFD, Robert Slomp. 2014. *Implementing risk based flood defence standards*. Pays-Bas : Rijkswaterstaat, Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement. Rapport d'état.
- RFW. 1989. *Retaining and Flood Walls*. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- RID. 2021. *état actuel de la pratique en matière de prise de décision informée des risques pour la sécurité des barrages et des levées*. Monde : ICOLD. Bulletin.
- RSS. 2014. *risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques*. France : CTPBOH - Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE). <https://www.barrages-cfbr.eu/IMG/pdf/gtbarragesseismes2014.pdf>.
- RTD, Irstea Bordeaux, et Daniel Poulain. 2015. *Référentiel technique digues maritimes et fluviales*. France : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE). https://www.barragescfbr.eu/IMG/pdf/referentiel_technique_digues_maritimes_et_fluviales.pdf.
- RTS, A. Brath, A. Mater, V. Fioravante, G. Gottardi, P. Mignosa, S. Orlandini, et L. D'Alpaos. 2014. *Relazione tecnico-scientifica sulle cause del collasso dell'argine del fiume Secchia avvenuto il giorno 19 gennaio 2014 presso la frazione San Matteo*. Italie : Università degli Studi di Padova. Rapport d'événement.
- SED, Jinxing Guo. 2015. *analyse de la stabilité des barrages et des digues sous l'influence de la précipitation et de la végétation*. Allemagne : Université technique de Dresde. Travail scientifique.

- SIA. 2013. *normes sur les structures porteuses ; 260 bases, 261 actions, 267 géotechnique*. Suisse : SIA. Norme.
- SLS. 2003. stabilité de la pente. ÉTATS-UNIS : USACE. Guide. <https://www.publications.usace.army.mil/USACE-Publications/Engineer-Manuals/>.
- CMS, Paul Royet, et Patrice Mériaux. 2007. *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations*. France : Éditions Quæ. Manuel. <https://www.quae.com>.
- SRA. 2019. *US Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis*. États-Unis : U.S. Army Corps of Engineers et U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. Diapositives de présentation. <https://www.usbr.gov/ssle/damsafety/risk/methodology.html>.
- TLW, D. Arosio, A. Hojat, L. Longoni, M. Papini, L. Zanz, et G. Tresoldi. 2017. *Tech-Levee-Watch : Experimenting an Integrated Geophysical System for Stability Assessment of Levees*. Italie : Rendiconti della Società Geologica Italiana, Vol. 46e rapport de recherche.
- TRK. 1996. *rapport technique klei voor dijken (matériau en argile pour les digues HWS)*. Pays-Bas : TAW - Technische adviescommissie voor de waterkeringen (TAW). Guide.
- UHD, Sasa Zivkovic. 2011. *études de l'écoulement en aval des digues de protection contre les inondations sur des modèles de digues à petite échelle*. Autriche : Université Technique de Vienne - Faculté de Génie Civil Institut de Géotechnique - Domaine de recherche pour la construction de fondations, la mécanique des sols et des roches. Mémoire de master.
- ULD. 2012. *Urban Levee Design Criteria*. États-Unis, Californie : État de Californie ; The Natural Resources Agency - Department of Water Resources. Guide..
- VAW, P.-J. Frank, S. Peter, et L. Schmocker. 2011. *VAW-Mitteilungen ; 218 Hydraulique de rupture de digue, 236 Hydraulique de rupture de digue Et 241 Analyse de rupture de digue Avec incertitudes*. Suisse : VAW - Station d'essais pour l'aménagement des eaux, l'hydrologie et la glaciologie de l'EPFZ. Étude.
- VSH, Marek Szabo, Ivan Paulmichl, et Dietmar Adam. 2010. *utilisation de technologies de compactage innovantes pour la réhabilitation des digues de protection contre les inondations dans "Les idées deviennent réalité - 50 ans de prestations d'ingénierie"*. Autriche : FCP - Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, Vienne ; édition personnelle. Publication.
- WBI. 2016. *Publicatie regeling veiligheid primaire waterkeringen*. Pays-Bas : Gouvernement néerlandais. outil.
- WHG. 2009. *loi fédérale sur l'eau*. Allemagne : BMJ - Ministère fédéral de la justice et de la protection des consommateurs, Office fédéral de la justice. La loi. http://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/.
- VIK. 2015. *WikiBarDig, unité de recherche Ouvrages Hydrauliques*. France : Unité de recherche Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie d'Irstea basée à Aix-en-Provence, en collaboration avec l'unité de recherche Technologies et Systèmes d'informations pour les agrosystèmes d'Irstea Clermont-Ferrand. Site internet. <http://wikibardig.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Portail:Wikibardig>.
- WRR. 2014. *Water Resources Reform and Development Act Public Law 113-121*. USA : GPO ; US-Congress. La loi.

- ZDB. 2011. *Zustandsmonitoring von Dammbauwerke Guide pour la définition des exigences en matière de surveillance, de contrôle et de vérification, version juin 2011*. Autriche : BMLFUW - Ministère fédéral de l'agriculture et des forêts, de l'environnement et de la gestion de l'eau. Guide.