



# Directive sur la sécurité des ouvrages d'accumulation

## Partie C2: Sécurité en cas de crue et abaissement de la retenue

La dernière version remplace les versions précédentes

<b>Version</b>	<b>Modification</b>	<b>Date</b>
2.0	Révision totale de la directive de l'OFEG 2002	15.01.2017
2.01	Actualisation des références bibliographiques	15.02.2017
2.02	Adaptation chapitre 2.7.1	28.09.2018



## Impressum

### Publication

Office fédéral de l'énergie, Section Surveillance des barrages, 3003 Berne

### Elaboration

Groupe de travail de la directive partie C2 "Sécurité en cas de crue et abaissement de la retenue":

- P. Dändliker, Office fédéral de l'environnement OFEV
- G. Darbre, Office fédéral de l'énergie OFEN
- H. Fuchs, EPF Zürich, Institut de recherche en hydraulique, hydrologie et glaciologie VAW
- B. Joos, Comité suisse des barrages CSB
- Y. Keller, IUB Engineering AG
- P. Lazaro, Lombardi SA
- T. Rüesch, Rüesch Engineering AG
- B. Schaepli, Université de Lausanne UNIL, Institut des dynamiques de la surface terrestre IDYST
- M. Schwager, Office fédéral de l'énergie OFEN
- F. Zeimetz, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH

### Contrôle

Groupe en charge de la révision de la directive:

- A. Baumer, Comité suisse des barrages CSB
- R. Boes, EPF Zürich, Institut de recherche en hydraulique, hydrologie et glaciologie VAW
- G. Darbre, Office fédéral de l'énergie OFEN
- S. Gerber, Office fédéral de l'énergie OFEN
- H. Meusburger, Conférence suisse des directeurs cantonaux des travaux publics, de l'aménagement du territoire et de l'environnement, DTAP
- T. Oswald, Office fédéral de l'énergie OFEN
- B. Otto, Association suisse pour l'aménagement des eaux ASAE
- R. Panduri, Office fédéral de l'énergie OFEN
- M. Perraudin, Association des entreprises électriques suisses AES
- A. Schleiss, EPF Lausanne, Laboratoire de constructions hydrauliques LCH
- A. Truffer, Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie EnDK

Document adopté par la direction de l'OFEN le 29 novembre 2016

### Date

Première parution (version 2.0): 15 janvier 2017



## Sommaire de la partie C2

1. Introduction .....	5
1.1. Buts de la partie de la directive "Sécurité en cas de crue et abaissement de la retenue" 5	5
1.2. Vérification de la sécurité en cas de crue .....	5
1.3. Abaissement de la retenue .....	5
1.4. Ouvrages d'accumulation existants .....	6
1.5. Ouvrages d'accumulation sur le Haut-Rhin et sur l'Aar soumis à la surveillance directe de la Confédération .....	6
1.6. Classes d'ouvrages d'accumulation .....	6
2. Sécurité en cas de crue .....	7
2.1. Vérification de la sécurité en cas de crue .....	7
2.2. Cote de retenue initiale .....	7
2.3. Cote maximale admissible du plan d'eau .....	7
2.3.1. Cote de danger .....	8
2.3.2. Revanche de sécurité .....	8
2.4. Événement de crue .....	10
2.4.1. Apport naturel dans l'ouvrage d'accumulation .....	11
2.4.2. Méthodologie pour l'estimation des apports naturels .....	12
2.5. Possibilités de décharge .....	15
2.6. Exigences constructives requises pour les organes de décharge .....	17
2.6.1. Principes pour empêcher une obstruction .....	17
2.6.2. Principes pour empêcher les affouillements .....	18
2.6.3. Principes pour empêcher les pannes des systèmes de commande .....	19
2.7. Situations particulières .....	19
2.7.1. Ouvrages d'accumulation de la classe III .....	19
2.7.2. Dignes latérales .....	19
2.7.3. Conditions lors de révisions et de travaux .....	20
2.7.4. Sécurité en cas de crue après un séisme .....	20
3. Critères de dimensionnement pour les organes de vidange .....	21
3.1. Exigences générales .....	21
3.2. Abaissement du plan d'eau lors d'un danger imminent d'un écoulement d'eau incontrôlé .....	21
3.3. Abaissement du plan d'eau lors d'une menace militaire .....	22
3.4. Abaissement du plan d'eau pour des travaux de contrôle et de maintenance .....	22
3.5. Maintien du plan d'eau après un abaissement du plan d'eau pour raison de sécurité .....	22
3.6. Régulation du plan d'eau lors de la première mise en eau .....	22
3.7. Vidanges des bassins de retenue .....	23
3.8. Evacuation des crues .....	23
3.9. Exigences constructives requises pour les organes de vidange .....	23
4. Contrôle de fonctionnement des organes de décharge et de vidange .....	24
4.1. Etendue du contrôle .....	24
4.2. Contrôle des vannes des organes de vidange .....	24
4.3. Contrôle des vannes des organes de décharge .....	25
4.4. Contrôle des vannes des barrages au fil de l'eau .....	25
4.5. Contrôle des vannes des bassins de rétention .....	25
4.6. Procès-verbal du contrôle .....	25
5. Règlement de manœuvre des vannes .....	26
5.1. Objectif et contenu du règlement de manœuvre des vannes .....	26
5.2. Elaboration du règlement de manœuvre des vannes .....	27



5.3. Contrôle et approbation du règlement de manœuvre des vannes par l'autorité de surveillance.....	27
6. Références bibliographiques .....	28
Annexe 1 - Méthode courante pour l'estimation des événements de crue.....	30
Annexe 2 - Déroulement courant du contrôle de fonctionnement des vannes d'un organe de vidange.....	31



## 1. Introduction

### 1.1. Buts de la partie de la directive "Sécurité en cas de crue et abaissement de la retenue"

La présente partie de la directive a pour buts de garantir aussi bien la sécurité d'un ouvrage d'accumulation en cas de crue que d'assurer les conditions nécessaires à l'abaissement d'une retenue en cas de besoin.

Elle définit également les exigences requises pour le contrôle de fonctionnement des organes de décharge et de vidange équipés de vannes ainsi que le contenu du règlement de manœuvre des vannes.

Cette partie de la directive traite uniquement de la sécurité de l'ouvrage d'accumulation avec pour objectif d'empêcher une défaillance de l'ouvrage provoquant un écoulement d'eau incontrôlé. Ne font notamment pas partie de cette directive, la maîtrise des débits dans les cours d'eau à l'aval et les aspects de la protection contre les crues qui en découlent.

### 1.2. Vérification de la sécurité en cas de crue

Pour vérifier la sécurité en cas de crue, il faut démontrer que les crues liées à des situations exceptionnelles et extrêmes puissent être retenues ou évacuées sans mettre en danger la sécurité de l'ouvrage d'accumulation. Sont considérés comme crues les débits entrant dans le bassin de retenue, indépendamment du fait qu'ils soient d'origine naturelle (p. ex. précipitations ou fonte des neiges) ou qu'ils proviennent de l'exploitation (p.ex. de galeries d'adduction, de turbinage ou de pompage).

Une vérification de la sécurité en cas de crue est nécessaire

- pour les nouvelles constructions et les transformations d'ouvrage,
- pour les ouvrages d'accumulation existants, si aucune vérification de la sécurité en cas de crue n'a encore été faite,
- pour prendre en considération la modification d'hypothèses d'une vérification antérieure (notamment modification des conditions hydrologiques),
- pour tenir compte de changements inhérents à la science et à la technique.

Il faut contrôler périodiquement à l'aide des critères ci-dessus, si une vérification de la sécurité en cas de crue s'avère nécessaire. Pour les ouvrages d'accumulation de la classe I (voir chapitre 1.6), ce contrôle est à effectuer dans le cadre des examens approfondis de la sécurité (tous les 5 ans), tous les 10 ans, en règle générale, pour les ouvrages de la classe II et sur directive de l'autorité de surveillance pour les ouvrages de la classe III.

### 1.3. Abaissement de la retenue

Le niveau de la retenue doit pouvoir être abaissé lors d'une menace d'écoulement d'eau incontrôlé et pour l'exécution de travaux de contrôle et de maintenance. C'est pourquoi cette directive fixe également les critères de dimensionnement pour les organes de vidange.



#### 1.4. Ouvrages d'accumulation existants

L'autorité de surveillance doit vouer une attention particulière au principe de proportionnalité lors de l'application des critères de dimensionnement pour un abaissement de la retenue aux ouvrages existants.

#### 1.5. Ouvrages d'accumulation sur le Haut-Rhin et sur l'Aar soumis à la surveillance directe de la Confédération

Les aides à l'exécution (actuellement: [OFEN & RPF (Regierungspräsidium Freiburg i.B.) 2013; OFEN 2015]) sont à consulter pour la vérification de la sécurité en cas de crue des ouvrages d'accumulation situés sur le Haut-Rhin et sur l'Aar soumis à la surveillance directe de la Confédération.

#### 1.6. Classes d'ouvrages d'accumulation

Les ouvrages d'accumulation soumis à la législation en matière d'ouvrages d'accumulation sont répartis en trois classes, auxquelles sont attribuées des exigences différentes. La répartition des classes se fait selon les critères suivants:

- les ouvrages d'accumulation de la classe I sont ceux qui remplissent les critères de l'art. 18, al. 1, let. a ou let. b OSOA,
- les ouvrages d'accumulation de la classe II sont ceux avec une hauteur de retenue supérieure ou égale à 5 m qui satisfont au critère de dimensions de l'art. 3, al. 2 LOA et qui ne sont pas attribués à la classe I,
- les ouvrages d'accumulation de la classe III sont ceux qui ne satisfont pas au critère de dimensions de l'art. 3, al. 2 LOA ou qui ont une hauteur inférieure à 5 m.

L'illustration 1 montre les classes d'ouvrages d'accumulation en fonction de la hauteur et du volume de retenue (voir les définitions des termes dans la partie A de la directive).

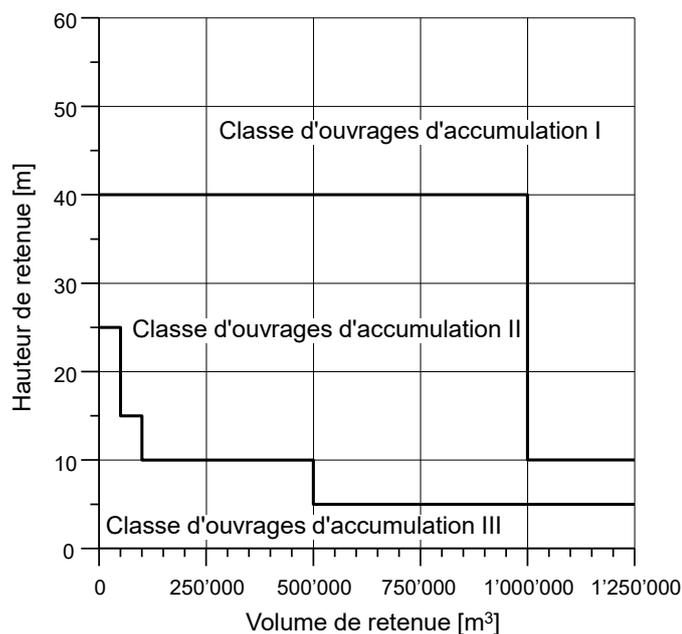


Illustration 1: Définition des trois classes d'ouvrages d'accumulation.



## 2. Sécurité en cas de crue

### 2.1. Vérification de la sécurité en cas de crue

La sécurité en cas de crue est vérifiée s'il est démontré que

- a) lors d'une situation exceptionnelle et lors d'une situation extrême, les cotes maximales admissibles du niveau du plan d'eau ne sont pas dépassées.

Les situations exceptionnelles et extrêmes sont définies par :

- la cote de retenue initiale (voir chapitre 2.2),
- la cote maximale admissible de la retenue (voir chapitre 2.3),
- l'événement de crue (voir chapitre 2.4),
- les possibilités de décharge (voir chapitre 2.5).

- b) les exigences constructives relevant de la sécurité technique requises pour les organes de décharge sont satisfaites (voir chapitre 2.6).

### 2.2. Cote de retenue initiale

La cote de retenue initiale à considérer pour la vérification de la sécurité en cas de crue correspond

- au niveau maximum d'exploitation pour les ouvrages d'accumulation avec gestion active du réservoir,
- au niveau admis pour la détermination de la hauteur de retenue (voir partie A de la directive) pour les ouvrages d'accumulation sans gestion active du réservoir.

Pour les **bassins de rétention de crues**, la cote de retenue initiale dans le cas d'une situation exceptionnelle est fixée au niveau déterminant pour le calcul de la hauteur de retenue. On peut par contre admettre que l'événement de crue, dans le cas d'une situation extrême, atteint le bassin vide.

### 2.3. Cote maximale admissible du plan d'eau

En situation exceptionnelle, la cote maximale admissible du plan d'eau correspond à la cote de danger (voir chapitre 2.3.1) diminuée de la revanche de sécurité minimale requise (voir chapitre 2.3.2).

En situation extrême, la cote maximale admissible du plan d'eau correspond à la cote de danger (voir chapitre 2.3.1).



### 2.3.1. Cote de danger

La cote de danger correspond à la cote à partir de laquelle la sécurité de l'ouvrage d'accumulation<sup>1</sup> est compromise.

Pour les barrages submersibles, la stabilité de l'ouvrage de retenue doit être démontrée en admettant un écoulement déversant stationnaire.

Si aucune étude spécifique à l'ouvrage n'existe, la cote de danger correspond en règle générale

- à la cote du couronnement pour les barrages en remblai homogène (illustration 2),
- à la cote du bord supérieur de l'élément d'étanchéité pour les autres barrages en remblai (illustration 3),
- à la cote du couronnement, resp. du parapet pour les barrages en béton (illustration 4).

### 2.3.2. Revanche de sécurité

La revanche de sécurité est définie par la distance entre la cote de danger et le plus haut niveau du plan d'eau qui est atteint en situation exceptionnelle (illustrations 2, 3 et 4).

La revanche sert à éviter des dégâts dus par exemple aux effets des vagues engendrées par le vent pendant les situations exceptionnelles. Des valeurs indicatives de revanche de sécurité sont reportées dans le tableau 1. L'utilisation d'une revanche inférieure aux valeurs indicatives nécessite une justification qui tient compte des caractéristiques du bassin de retenue.

Hauteur du barrage	$H \leq 10\text{ m}$	$10\text{ m} < H < 40\text{ m}$	$H \geq 40\text{ m}$
<b>Revanche de sécurité pour les barrages en béton</b>	0.5 m	Interpolation linéaire	1.0 m
<b>Revanche de sécurité pour les barrages en remblai</b>			
- sans enrochement du talus amont	1.0 m	Interpolation linéaire	3.0 m
- avec enrochement du talus amont	1.0 m	Interpolation linéaire	2.5 m

Tableau 1: Valeurs indicatives pour la revanche de sécurité minimale requise.

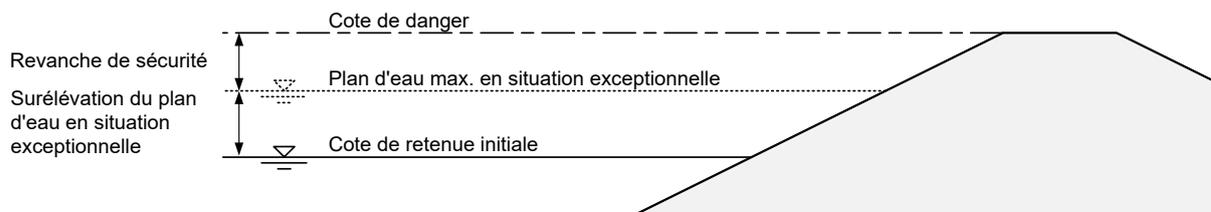
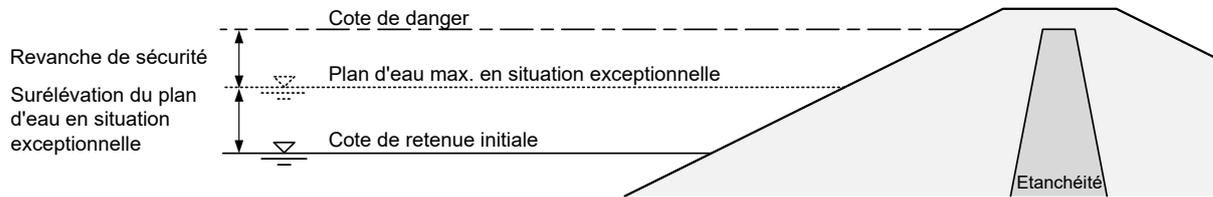
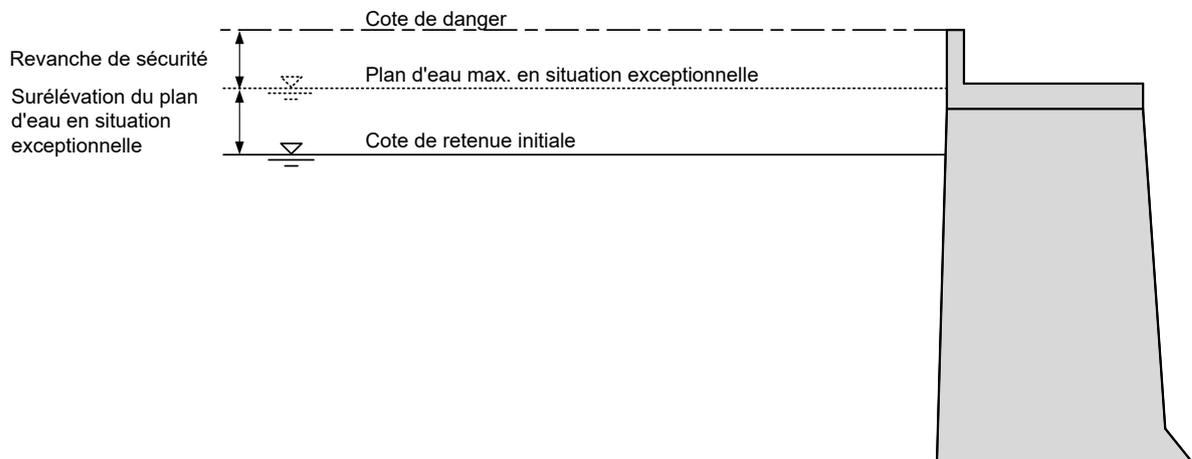


Illustration 2: Cote de danger et revanche de sécurité pour les barrages en remblai homogène.

<sup>1</sup> La détermination de la cote de danger se fait en considérant les mêmes actions individuelles que pour une combinaison d'actions de type statique extrême et facteurs de sécurité associés, selon la partie C1 de la directive.



*Illustration 3: Cote de danger et revanche de sécurité pour les barrages en remblai non homogène.*



*Illustration 4: Cote de danger et revanche de sécurité pour les barrages en béton.*

Aucune valeur indicative de la revanche de sécurité minimale n'est donnée pour **les barrages mobiles et les digues latérales de la zone proche** (voir chapitre 2.7.2), autre que la crue de projet (voir chapitre 2.4) doit pouvoir être évacuée sans causer de dommages et sans submerger l'ouvrage de retenue.

Pour **les digues latérales hors de la zone proche** (voir chapitre 2.7.2), la revanche de sécurité à respecter doit être d'au moins 50 cm, sous réserve d'exigences plus sévères de la part de l'autorité concédante.

Lorsque de grandes vagues dues au vent en des endroits exposés, des tassements provoqués par des séismes ou des vagues impulsives provenant de mouvements de masse dans le bassin de retenue peuvent survenir, une revanche totale (revanche à partir de la cote de retenue initiale) suffisante doit être prévue de manière à ce que la sécurité de l'ouvrage d'accumulation ne puisse pas être compromise.



## 2.4. Événement de crue

On entend par événement de crue les apports dans la retenue (hydrogramme), associés à une situation exceptionnelle ou extrême. Ces apports peuvent être naturels ou issus de l'exploitation et peuvent comprendre les éléments suivants:

$Q_D(t)$	débit des apports naturels du bassin versant direct (voir chapitres 2.4.1 & 2.4.2)
$Q_I(t)$	débit d'eau amené du bassin versant indirect (capacité de l'adduction)
$Q_T(t)$	débit d'eau turbiné par un aménagement hydroélectrique situé à l'amont (capacité de turbinage)
$Q_P(t)$	débit d'eau pompé d'un aménagement hydroélectrique situé à l'aval (capacité de pompage)
$Q_R(t)$	débit refoulé par une chambre d'équilibre d'un aménagement hydroélectrique situé à l'aval

Pour la vérification de la sécurité en cas de crue, il est nécessaire de déterminer la crue de projet  $Q_B(t)$  pour la situation exceptionnelle et la crue de sécurité  $Q_S(t)$  pour la situation extrême.

La crue de projet et la crue de sécurité correspondent aux hydrogrammes qui donnent la plus haute cote du plan d'eau, compte tenu des capacités de rétention et de décharge. En règle générale, les calculs de rétention sont à effectuer pour plusieurs scénarios et pour plusieurs hydrogrammes dans chaque scénario afin d'identifier la situation la plus défavorable.

### Situation exceptionnelle: crue de projet

La crue de projet  $Q_B(t)$  résulte des scénarios suivants:

Scénario 1	$Q_B(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$	débit des apports directs, débit des apports indirects, débit refoulé
Scénario 2	$Q_B(t) = Q_T(t)$	débit turbiné
Scénario 3	$Q_B(t) = Q_P(t)$	débit pompé

Si des systèmes de commande redondants<sup>2</sup> pour le turbinage et le pompage existent, la vérification n'est à effectuer que pour les apports directs et indirects et pour le débit refoulé:

$$Q_B(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$$

Si le débit  $Q_I(t)$  en provenance d'un bassin versant indirect peut être interrompu par des mesures d'exploitation, il peut, avec l'accord de l'autorité de surveillance, ne pas être pris en considération.

<sup>2</sup> Le système de commande doit être redondant en ce qui concerne la mesure des paramètres d'entrée (p. ex. le niveau du plan d'eau), la transmission des paramètres d'entrée et de sortie, l'unité de commande et l'alimentation électrique.



### Situation extrême: crue de sécurité

Le scénario pour la crue de sécurité  $Q_S(t)$  est défini par la somme des débits possibles:

$$Q_S(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_T(t) + Q_P(t) + Q_R(t)$$

Si des systèmes redondants<sup>3</sup> pour le pompage et le turbinage existent, la crue de sécurité résulte des scénarios suivants:

Scénario 1	$Q_S(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$	débit des apports directs, débit des apports indirects, débit refoulé
Scénario 2	$Q_S(t) = Q_T(t)$	débit turbiné
Scénario 3	$Q_S(t) = Q_P(t)$	débit pompé

Si la vérification de la sécurité en cas de crue (situation extrême) ne peut pas être réalisée pour les scénarios 2 et 3, une restriction d'exploitation permet également de garantir cette sécurité pour autant que les systèmes commande soient redondants<sup>3</sup>. Il faut alors s'assurer que le volume libre disponible en dessous de la cote initiale de retenue puisse accommoder à tout moment la totalité des débits turbinables du réservoir supérieur (resp. pompables du réservoir inférieur). Les organes de vidange doivent également satisfaire aux exigences requises pour le maintien du niveau de la cote de retenue selon le chapitre 3.5. Les modalités de la restriction doivent être ordonnées par l'autorité de surveillance.

#### 2.4.1. Apport naturel dans l'ouvrage d'accumulation

Les parts naturelles des débits  $Q_D(t)$  de l'événement de crue doivent correspondre aux temps de retour indiqués dans le tableau 2.

Situation	Situation exceptionnelle	Situation extrême
<b>Crue</b>	Crue de projet	Crue de sécurité
<b>Période de retour</b>	1'000 ans	>> 1'000 ans

*Tableau 2: Période de retour des parts naturelles de l'événement de crue.*

Une éventuelle limite de capacité des affluents peut être prise en considération pour l'élaboration de l'hydrogramme de crue, pour autant que la limitation de la capacité soit démontrée.

Pour les **digues latérales hors de la zone proche** (voir chapitre 2.7.2), la part naturelle de la crue de projet doit correspondre à une période de retour d'au moins 100 ans, resp. 300 ans pour la crue de sécurité, sous réserve d'exigences plus sévères de la part de l'autorité concédante.

Pour les **bassins de rétention de la classe III**, l'autorité de surveillance peut adapter les exigences requises (voir chapitre 2.7.1).

<sup>3</sup> Le système de commande doit être redondant en ce qui concerne la mesure des paramètres d'entrée (p. ex. le niveau du plan d'eau), la transmission des paramètres d'entrée et de sortie, l'unité de commande et l'alimentation électrique.



## 2.4.2. Méthodologie pour l'estimation des apports naturels

Les parts naturelles des débits d'un événement de crue sont à estimer sur la base d'études scientifiquement justifiées et spécifiques au site. Les incertitudes liées aux méthodes utilisées sont à examiner et à évaluer. Dans la mesure du possible, plusieurs méthodes indépendantes l'une de l'autre doivent être utilisées.

Les exigences minimales requises pour la méthodologie d'estimation des apports naturels dépendent de la classe d'ouvrages d'accumulation selon le tableau 3. Les limites d'application de chaque méthode sont reportées dans l'annexe 1.

Lorsque les méthodes indiquées ne sont pas aptes à tenir compte des données spécifiques à l'ouvrage, des études complémentaires se basant sur des méthodes plus avancées doivent être engagées.

Les méthodes empiriques et pseudo-empiriques (voir annexe 1) sont généralement inappropriées pour l'estimation des événements de crue dans des situations exceptionnelles et extrêmes.

Crue	Classe d'ouvrages I	Classe d'ouvrages II	Classe d'ouvrages III
Crue de projet	et M1 M2 + SG ou + NAM	et M1 M2 + SG ou + NAM	ou M1 M2 + SG ou + NAM
Crue de sécurité	et M3 M4 + NAM pour comparer	évtl M3 M4 + NAM pour comparer	évtl M3 M4 + NAM pour comparer

Tableau 3: Vue d'ensemble des exigences minimales concernant la méthodologie; M1-M4: méthodes 1-4 (voir chapitre 2.4.2), SG ("Synthetische Ganglinie"): hydrogramme synthétique (voir paragraphe 2.4.2.1), NAM ("Niederschlags-Abfluss-Modell"): modèle précipitations-débit (voir paragraphe 2.4.2.2).

### Aperçu des méthodes et procédés

#### **M1: Méthodes statistiques basées sur des séries de mesures des apports:**

Ces méthodes permettent d'estimer le débit de pointe. S'il n'y a aucune indication quant à l'hydrogramme, l'effet de rétention ne peut pas être pris en considération. Les méthodes statistiques basées sur des séries de mesures des apports présupposent une durée d'observation suffisamment longue et une résolution temporelle assez fine des séries de mesures. Si la durée d'observation n'est pas suffisante (voir annexe 1), des séries de mesures des précipitations peuvent être utilisées pour les bassins versants sans neige ni glaciers, par exemple à l'aide des procédés Gradex [Guillot & Duband 1967] ou Agregee [Margoum 1994].

#### **M2: Méthodes statistiques basées sur des séries de mesures des précipitations:**

Ces méthodes permettent d'estimer l'intensité des précipitations. Des hydrogrammes synthétiques (voir paragraphe 2.4.2.1) ou des modèles précipitations-débit (voir paragraphe 2.4.2.2) doivent ensuite être utilisés pour attribuer un hydrogramme de crue à ces précipitations.



Les méthodes statistiques basées sur des séries de mesures des précipitations pré-supposent une durée d'observation des précipitations suffisamment longue. Si ce n'est pas le cas (voir annexe 1), il est possible d'effectuer une extrapolation sur la base de "l'estimation" de [MétéoSuisse 2016, version 2016 ou plus actuelle]. Si les résultats sont qualifiés de "peu fiables" ou de "non fiables" par [MétéoSuisse 2016] ou si aucune station de mesure des précipitations représentative du bassin versant n'existe, il est préférable de se référer aux données de base de l'atlas hydrologique de la Suisse ([OFEV 2007], feuille 2.4).

Si la durée d'observation des précipitations n'est pas suffisante, on peut aussi inclure des séries de mesures des précipitations générées avec une procédure stochastique (p.ex. Neyman-Scott Schema, [Burton et al. 2004]).

En ce qui concerne la période de retour des précipitations à considérer, il convient de supposer qu'elle est identique à la part naturelle des événements de crue correspondants.

### M3: Procédé pour la détermination de la crue de sécurité basée sur la crue de projet:

Ce procédé permet d'estimer l'hydrogramme de la part naturelle de la crue de sécurité  $Q_{D,S}(t)$  à partir de celui de la part naturelle de la crue de projet  $Q_{D,B}(t)$ .

Pour les ouvrages existants: avec augmentation du débit de l'apport de 50% [Biedermann et al. 1988]:

$$Q_{D,S}(t) = 1.5 Q_{D,B}(t) \quad (\text{voir illustration 5})$$

Pour les nouveaux ouvrages ou les transformations d'ouvrage: en augmentant le débit de l'apport et la durée de l'événement, chacun de 50% [Biedermann et al. 1988, OFEN 2008]:

$$Q_{D,S}(t) = 1.5 Q_{D,B}\left(\frac{2}{3}t\right) \quad (\text{voir illustration 5})$$

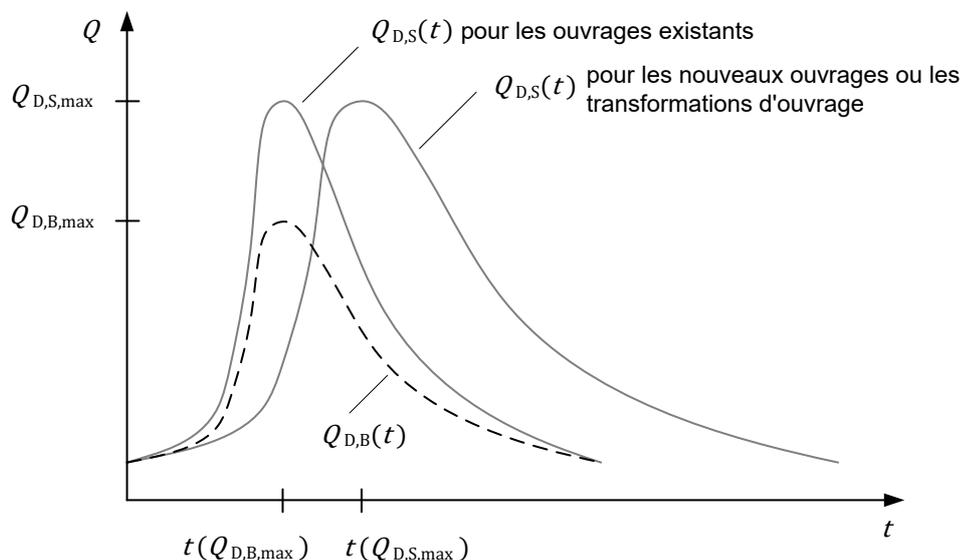


Illustration 5: Hydrogrammes schématiques de la part naturelle des crues de projet et de sécurité.



#### **M4: Méthodes basées sur le procédé PMP (Probable Maximum Precipitation):**

Ces méthodes permettent d'estimer les plus grandes précipitations probables en un endroit sous l'hypothèse des conditions météorologiques les plus défavorables (voir annexe 1). L'attribution d'un hydrogramme aux événements de crue se fait à l'aide d'un modèle précipitations-débit (voir paragraphe 2.4.2.2).

Des cartes PMP pour la Suisse sont présentées dans [Hertig et al. 2007]<sup>4</sup>. Si d'autres cartes PMP ou des études PMP spécifiques à l'endroit sont prises en considération, les divergences avec les cartes PMP pour la Suisse doivent être justifiées<sup>5</sup>.

#### **2.4.2.1. Hypothèses pour les hydrogrammes synthétiques**

Lorsque des hydrogrammes de crue synthétiques sont établis sur la base des précipitations, il convient de supposer que le volume des apports dans la retenue est égal au volume des précipitations<sup>6</sup>. Des phénomènes divergents, tels qu'ils peuvent apparaître pour de petites périodes de retour, ne peuvent pas être pris en considération pour les événements de crue considérés ici.

Si la neige et les glaciers peuvent contribuer de manière importante à l'événement de crue, cette part doit être prise en considération; le cas échéant, un modèle précipitations-débit est à privilégier.

En l'absence d'étude spécifique, un hydrogramme de crue selon Maxwell [Sinniger & Hager 1984] peut être admis en première approximation

$$Q(t) = \left( \frac{t}{t_{\max}} e^{\left(1 - \frac{t}{t_{\max}}\right)} \right)^n Q_{\max}$$

avec le volume de crue correspondant

$$V = Q_{\max} t_{\max} \frac{e^n n!}{n^{n+1}}$$

Le temps  $t_{\max}$  correspond à la durée jusqu'à la pointe de la crue; il peut être admis égal à la durée des précipitations.

L'exposant  $n$  doit avoir la valeur 6. Des valeurs divergentes entre 1 et 6 ne peuvent être utilisées que si elles ont été déterminées sur la base d'une étude qui tient compte des caractéristiques spécifiques du bassin versant.

<sup>4</sup> Jusqu'à présent il n'existe que peu d'expériences avec l'application de ces cartes PMP. Les précipitations (PMP) et les débits (PMF) calculés doivent par conséquent être comparés et évalués avec les résultats d'autres méthodes.

<sup>5</sup> Si des considérations de probabilité sont incluses dans la détermination des valeurs PMP, ces dernières devraient correspondre à une probabilité de dépassement d'env.  $10^{-4}$  par année.

<sup>6</sup> Coefficient d'écoulement volumique égal à 1.



#### 2.4.2.2. Hypothèses pour la modélisation précipitations-débit

Un modèle précipitations-débit permet d'attribuer un hydrogramme d'apports dans la retenue à un événement de précipitations (modélisation événementielle) ou à une série chronologique de précipitations (simulation pour une longue durée). Un tel modèle doit pouvoir reproduire le comportement hydrologique du bassin versant lors d'événements exceptionnels et extrêmes.

- La **modélisation événementielle** permet de calculer l'hydrogramme de crue à partir de l'événement de précipitations. Dans un premier temps, le volume des précipitations est réparti sur leur durée. Pour cela, la "Rainfall-Mass-Curve" [Zeimetz 2017] peut par exemple être utilisée. Dans un deuxième temps, le débit des apports entrant dans la retenue est calculé en partant de la répartition temporelle des précipitations. Les conditions initiales les plus défavorables (telles que saturation du terrain, épaisseur du couvert neigeux et sa saturation, etc) sont à considérer dans le cadre de la modélisation. Alternativement, les conditions initiales peuvent être dérivées de celles qui prévalent lors d'événements rares à extrêmes. En cas d'utilisation de cette approche, il est nécessaire d'effectuer une étude de sensibilité sur les apports. Le débit de fonte des neiges des différentes bandes altimétriques est à déterminer à l'aide d'un modèle hydrologique de neige. En l'absence d'un tel modèle ainsi que d'une étude sur la hauteur du couvert neigeux et le taux de fonte propre au site, un taux de fonte de 50 mm/jour (équivalent en eau) [Würzer et al. 2016] qui persiste pendant toute la durée des précipitations peut être admis.
- La **simulation pour une longue durée** permet de calculer de longues séries chronologiques d'écoulement à partir de longues séries de variables d'entrée (tels que précipitations, températures, rayonnement, etc), qui peuvent ensuite être traitées selon la statistique des extrêmes.

### 2.5. Possibilités de décharge

#### Situation exceptionnelle

Autant pour les **barrages en béton** qu'en **remblai**, la crue de projet  $Q_B(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu des hypothèses suivantes:

- a) l'organe le plus performant parmi les "n" organes de décharge et de vidange<sup>7</sup> équipés de vannes est hors service (règle "n - 1"),
- b) aucun débit ne peut être évacué par les voies d'eau de turbinage, sauf si la centrale ne peut pas être submergée et la restitution passive de l'eau (p.ex. à travers une turbine bulbe en position de drapeau) ou la poursuite du turbinage (p.ex. du fait de disposer de deux lignes à haute tension autonomes destinées à évacuer l'énergie) peut être justifiée pour la durée d'un événement de crue. Dans tous les cas, au maximum "n - 1" turbines peuvent être considérées dans le cadre de la vérification.

<sup>7</sup> On entend par organes de décharge et de vidange, les évacuateurs de crues, vidanges de fond, vidanges intermédiaires, galeries de déviation, passes vannées, écluses réglables.



Pour des **barrages au fil de l'eau (barrages mobiles)**, la crue de projet  $Q_B(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu des hypothèses suivantes:

- a) l'organe le plus performant parmi les "n" organes de décharge et de vidange<sup>8</sup> équipés de vannes est hors service (règle "n - 1"),
- b) toutes les turbines peuvent être mises en service pour autant que la restitution passive de l'eau ou la poursuite du turbinage puisse être justifiée.

Pour les **bassins de rétention**<sup>9</sup> la crue de projet  $Q_B(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu de l'hypothèse suivante:

- d'éventuelles ouvertures (vidange de fond ou chenal avec ou sans fermetures avec des grilles ou des madriers) sont hors service ou bouchées, à moins que des mesures constructives suffisantes aient été prises pour empêcher une obstruction.

### Situation extrême

Pour les **barrages en béton**, la crue de sécurité  $Q_S(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu des hypothèses suivantes:

- a) tous les organes de décharge et de vidange peuvent être mis en service,
- b) aucun débit d'eau ne peut transiter à travers les éventuelles voies d'eau de turbinage<sup>10</sup>.

Pour les **barrages en remblai**, la crue de sécurité  $Q_S(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu des hypothèses suivantes:

- a) l'organe le plus performant parmi les "n" organes de décharge et de vidange<sup>8</sup> équipés de vannes est hors service (règle "n - 1"),
- b) aucun débit d'eau ne peut transiter à travers les éventuelles voies d'eau de turbinage<sup>10</sup>.

Pour les **barrages au fil de l'eau (barrages mobiles)**, la crue de sécurité  $Q_S(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu des hypothèses suivantes:

- a) tous les organes de décharge et de vidange peuvent être mis en service,
- b) toutes les turbines peuvent être mises en service pour autant que la restitution passive de l'eau ou la poursuite du turbinage puisse être justifiée.

Pour les **bassins de rétention**<sup>9</sup>, la crue de sécurité  $Q_S(t)$  doit pouvoir être maîtrisée compte tenu de l'hypothèse suivante:

- d'éventuelles ouvertures (vidange de fond ou chenal avec ou sans fermetures avec des grilles ou des madriers) sont hors service ou bouchées, à moins que des mesures constructives suffisantes aient été prises pour empêcher une obstruction.

S'il faut s'attendre à ce que d'autres organes de décharge ou de vidange ne pourraient pas être opérationnels ou pas être mis en service lors d'une situation exceptionnelle ou extrême, la capacité de ceux-ci ne peut pas être considérée dans la vérification de la sécurité en cas de crue.

<sup>8</sup> On entend par organes de décharge et de vidange, les évacuateurs de crues, vidanges de fond, vidanges intermédiaires, galeries de déviation, passes vannées, écluses réglables.

<sup>9</sup> Pour les bassins de rétention de la classe III, l'autorité de surveillance peut prévoir des modalités différentes; voir chap. 2.7.1.

<sup>10</sup> Pour les ouvrages d'accumulation par pompage avec systèmes de commande indépendants et redondants, les débits de pompage et de turbinage peuvent être considérés dans l'évacuation des crues des scénarios 2 et 3, sous réserve de l'accord de l'autorité de surveillance.



## 2.6. Exigences constructives requises pour les organes de décharge

### 2.6.1. Principes pour empêcher une obstruction

Des mesures sont à prendre lorsqu'il existe un danger de montée du plan d'eau suite à une obstruction par des débris, notamment des bois flottants, par exemple [CSB 2017]:

- a) réduction des apports de débris, dans le bassin versant (voir paragraphe 2.6.1.1),
- b) transit et acheminement des débris flottants (voir paragraphe 2.6.1.2),
- c) rétention des débris flottants dans le bassin de retenue (voir paragraphe 2.6.1.3).

#### 2.6.1.1. Réduction des apports de débris dans le réservoir

L'apport de débris dans le réservoir peut être réduit par un entretien des forêts et des cours d'eau, et en sécurisant les talus. Il peut aussi être réduit à l'aide de grilles et de filets placés le long des cours d'eau.

#### 2.6.1.2. Transit et acheminement des débris

Les organes de décharge peuvent être conçus de manière à ce que les débris puissent transiter et être acheminés plus loin. Dans la mesure du possible, ils doivent être conçus comme déversoirs de surface sans superstructure (telle que pont de barrage mobile, pont routier ou passerelle pour piétons).

Les dimensions nécessaires des ouvertures des organes de décharge sont données par la longueur possible des troncs d'arbres, qui peut être estimée sur la base d'observations faites durant les crues ou des arbres situés aux abords des rives. La largeur des ouvertures de décharge doit être au moins de 80% de la longueur possible des troncs [Godtland & Tesaker 1994]. En l'absence d'indications à cet égard, les valeurs indicatives pour l'ouverture minimale du tableau 4 [CFBR 2013] peuvent être utilisées.

Cote de retenue	$z \leq 600$ m s.m.	$600$ m s.m. $< z < 1800$ m s.m.	$z \geq 1800$ m s.m.
Largeur minimale de l'ouverture de décharge	15 m	Interpolation linéaire	4 m

Tableau 4: Largeur minimale de l'ouverture de décharge en fonction de la cote du plan d'eau  $z$ .

La hauteur des ouvertures de décharge, qui est donnée par la distance entre le seuil et l'arête inférieure d'un éventuel pont d'un barrage mobile ou d'une autre superstructure, doit être d'au moins 15% de la longueur possible des troncs, pour autant que la largeur effective de l'ouverture soit supérieure à 110% de cette longueur. Si elle n'est que de 80% à 110%, la hauteur de l'ouverture doit être d'au moins 20% de la longueur des troncs [Godtland & Tesaker 1994].

Le risque d'obstruction par débris est accru lorsque la distance libre entre le pont du barrage mobile (ou autre superstructure) et le plan d'eau (voir illustration 6) est plus petite que



les valeurs indiquées dans le tableau 5 [CFBR 2013]. Une évaluation spécifique de ce risque doit être effectuée si cela se produit en situation exceptionnelle.

Hauteur de déversement (voir illustration 6) en situation exceptionnelle	$h_u \leq 2 \text{ m}$	$h_u > 2 \text{ m}$
Distance libre minimale (voir illustration 6) en situation exceptionnelle	2 m	1.5 m

Tableau 5: Distance libre minimale entre le pont du barrage mobile (ou autre superstructure) et le plan d'eau, en dessous de laquelle le risque d'obstruction est accru.

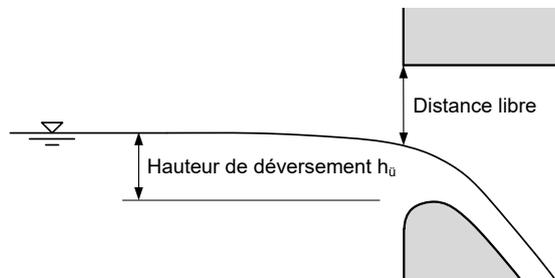


Illustration 6: Définition de la hauteur de déversement et de la distance libre pour les organes de décharge.

### 2.6.1.3. Rétention des débris dans le bassin de retenue

La rétention de débris ne se produit généralement que dans les bassins subissant de petites variations du plan d'eau et pour lesquels le rapport entre le volume de la retenue et le volume annuel des apports est d'au moins 0,2. Les débris peuvent être retenus dans le réservoir par des grilles posées en amont, des parois plongeantes ou des barrières flottantes. Ces installations sont à dimensionner selon l'état actuel de la technique. Ils doivent être placés en des endroits de faible vitesse d'écoulement, de ce fait à une distance suffisante de l'organe de décharge.

### 2.6.2. Principes pour empêcher les affouillements

Afin d'empêcher les affouillements qui peuvent mettre en danger la stabilité du barrage, le pied de ce dernier doit être exécuté de manière à ne pas pouvoir être érodé. Les principes suivants sont à considérer:

- le déversement d'eau sur l'ouvrage de décharge doit être tranquilisé dans un ouvrage de dissipation d'énergie (bassin amortisseur) ou, si les conditions topographiques et géologiques le permettent, rejeté dans le cours d'eau aval par-dessus un tremplin,
- si aucun bassin amortisseur n'est prévu, la géométrie de l'affouillement prévisible est à établir et, le cas échéant, la stabilité du barrage est à justifier dans cette zone,
- pour les barrages de rétention de sédiments, l'affouillement plus important dû aux sédiments est à prendre en considération.



### 2.6.3. Principes pour empêcher les pannes des systèmes de commande

Une panne de la commande des vannes des organes de décharge doit être évitée par la mise en place de systèmes robustes et redondants. En plus, des systèmes de repli sont à prévoir. Les principes suivants sont à respecter:

- les capteurs de mesures, la commande et les entraînements doivent être robustes. Il faut prévoir une redondance pour les capteurs et la commande. Une alimentation électrique de secours doit être disponible (en règle générale, installation USV pour la commande et groupe électrogène pour l'entraînement),
- si les vannes sont commandées à distance, il doit aussi être possible de les commander localement,
- les vannes doivent pouvoir être actionnées manuellement et les installations pour la commande manuelle, les entraînements et les commandes doivent rester accessibles, même durant une situation extrême. L'alimentation électrique, y compris les canaux de câbles, doit être protégée d'un endommagement en cas de crue.

## 2.7. Situations particulières

### 2.7.1. Ouvrages d'accumulation de la classe III

Pour les ouvrages d'accumulation de la classe III, l'autorité de surveillance peut

- adapter la situation exceptionnelle. Ainsi, les exigences concernant la crue de projet ou la revanche de sécurité peuvent, par exemple, être moins sévères,
- renoncer à une vérification de la situation extrême, si les exigences requises pour la protection de la population contre les dangers naturels pour le cas de surcharge selon [OFEG 2001] sont remplies.

### 2.7.2. Digués latérales

On désigne par digués latérales, les digués de maintien de la retenue qui se trouvent dans la zone d'influence d'un barrage au fil de l'eau. La zone d'influence s'étend au maximum le long du tronçon du cours d'eau au bénéfice de la concession, respectivement jusqu'au pied aval d'un ouvrage d'accumulation situé à l'amont (voir figure A13 dans la partie A de la directive).

Pour les digués latérales dans la zone proche d'un barrage au fil de l'eau<sup>11</sup>, les exigences requises pour la sécurité en cas de crue sont stipulées dans la présente partie de la directive.

Pour les digués latérales à l'extérieur de la zone proche d'un barrage au fil de l'eau<sup>11</sup>, les dispositions de la concession s'appliquent. La présente partie de la directive stipule uniquement des exigences minimales.

L'autorité de surveillance peut formuler des exigences plus sévères pour certains tronçons des digués latérales après consultation des autorités cantonales compétentes pour la protection en cas de crue.

---

<sup>11</sup>L'autorité de surveillance fixe la zone proche d'un barrage au fil de l'eau; pour cela, l'influence de la zone proche sur la stabilité du barrage est prise en considération.



### **2.7.3. Conditions lors de révisions et de travaux**

Les événements de crue qui doivent pouvoir être évacués lors de révisions et de travaux sont à spécifier en tenant compte des répercussions sur les tiers.

Les travaux de révision des organes de décharge et de vidange sont à faire si possible hors de la saison des crues.

### **2.7.4. Sécurité en cas de crue après un séisme**

Après un séisme, un événement de crue avec une période de retour d'au moins 10 ans doit pouvoir être maîtrisé (voir partie C3 de la directive, chapitre 2.2).



### 3. Critères de dimensionnement pour les organes de vidange

#### 3.1. Exigences générales

Les organes de vidange sont à dimensionner en fonction des objectifs suivants:

- a) abaissement du plan d'eau lors d'un danger imminent d'écoulement d'eau incontrôlé (voir chapitre 3.2),
- b) abaissement du plan d'eau lors d'une menace militaire (voir chapitre 3.3),
- c) abaissement du plan d'eau pour des travaux de contrôle et de maintenance (voir chapitre 3.4),
- d) maintien du plan d'eau après un abaissement du plan d'eau (voir chapitre 3.5),
- e) régulation du plan d'eau lors de la première mise en eau (voir chapitre 3.6),
- f) vidange du bassin de retenue (voir chapitre 3.7),
- g) évacuation des crues (voir chapitre 3.8).

L'emplacement des organes de vidange doit être prévu de manière à être conforme aux objectifs ci-dessus, compte tenu du développement prévisible des dépôts de sédiments et des mouvements de masse possibles dans le bassin de retenue.

#### 3.2. Abaissement du plan d'eau lors d'un danger imminent d'un écoulement d'eau incontrôlé

La poussée de l'eau doit pouvoir être réduite de moitié à partir de la cote de retenue initiale (selon chap. 2.2) en 8 jours. De surcroît, le réservoir doit pouvoir être vidé durant le temps de vidange maximum fixé dans le tableau 6<sup>12</sup>. Pour cela, il faut prendre en considération les apports correspondant à la moyenne pluriannuelle des apports d'été. D'éventuels débits turbinés peuvent être ajoutés à la capacité d'évacuation.

Volume de retenue	$V \leq 1$ million m <sup>3</sup>	1 million m <sup>3</sup> < V < 10 millions m <sup>3</sup>	$V \geq 10$ millions m <sup>3</sup>
Temps de vidange maximum	(1 à) 3 jours	Interpolation linéaire	21 jours

Tableau 6: Temps de vidange en fonction du volume du réservoir.

La capacité des organes de vidange nécessaire pour effectuer la vidange peut être adaptée en accord avec l'autorité de surveillance, en tenant compte de la capacité du cours d'eau à l'aval.

<sup>12</sup> La cote d'abaissement visée, propre à un ouvrage, est à fixer en accord avec l'autorité de surveillance. Pour cela, il faut tenir compte des dégâts qui pourraient être causés à des tiers, suite à une défaillance de l'ouvrage d'accumulation abaissé à la cote fixée.



### **3.3. Abaissement du plan d'eau lors d'une menace militaire**

Le plan d'eau des ouvrages d'accumulation qui remplissent les critères relatifs à l'installation d'un dispositif d'alarme-eau selon l'art 11 LOA et l'art. 26 OSOA, doivent pouvoir, en cas de menace militaire, être abaissé jusqu'à la cote critique militaire en l'espace de 3 jours<sup>13</sup>. Pour cela, les apports correspondant à la moyenne pluriannuelle des apports d'été sont à considérer. D'éventuels débits turbinés peuvent être ajoutés à la capacité d'évacuation.

La cote critique militaire correspond, pour les barrages en béton, à celle où l'épaisseur du mur est de 15 m, resp. pour les digues, à celle située 20 m en dessous du couronnement. La cote critique militaire peut alternativement être fixée au niveau du plan d'eau pour lequel il n'existe plus de grand danger selon l'art. 26 al. 2 OSOA .

La capacité des organes de vidange ainsi déterminée peut être adaptée en accord avec l'autorité de surveillance, pour tenir compte de la capacité du cours d'eau à l'aval.

### **3.4. Abaissement du plan d'eau pour des travaux de contrôle et de maintenance**

Aucune valeur indicative n'est donnée en ce qui concerne les exigences relatives à la capacité des organes de vidange pour l'abaissement du plan d'eau lors de travaux de contrôle et de maintenance.

### **3.5. Maintien du plan d'eau après un abaissement du plan d'eau pour raison de sécurité**

La capacité des organes de vidange doit être suffisante afin de pouvoir maintenir le plan d'eau à un niveau bas. Il faut ainsi démontrer que les apports naturels directs, jusqu'à une période de retour de 5 ans, peuvent être évacués sans une remontée du plan d'eau. Pour cela on doit admettre que le plan d'eau abaissé se trouve à la cote correspondant à la moitié de la poussée de l'eau. Cette cote se situe généralement à 71% de la hauteur de la retenue, évtl. plus haut. D'éventuels débits turbinés peuvent contribuer à la capacité d'évacuation.

Ces exigences ne trouvent pas d'application pour les barrages au fil de l'eau, les ouvrages de protection contre les dangers naturels et les ouvrages qui ne remplissent pas le critère géométrique d'assujettissement selon l'art. 2 al. 1 LOA.

### **3.6. Régulation du plan d'eau lors de la première mise en eau**

Les exigences requises pour la capacité des organes de vidange en relation avec la régulation du plan d'eau lors de la première mise en eau sont couvertes par celles formulées pour le maintien de la cote de retenue après un abaissement du plan d'eau pour raison de sécurité.

---

<sup>13</sup> Si cette exigence n'est pas remplie pour un ouvrage d'accumulation existant, la capacité de vidange ne doit pas être augmentée pour cette raison. La capacité de vidange ne doit néanmoins pas être diminuée.



### **3.7. Vidanges des bassins de retenue**

Les exigences quant à la capacité des organes de vidange dans le but d'effectuer des purges de la retenue relèvent en premier lieu de l'exploitation. Elles ne sont de ce fait pas traitées dans cette partie de la directive.

### **3.8. Evacuation des crues**

Les organes de vidange contribuent à l'ensemble de la capacité d'évacuation d'un ouvrage, à condition qu'ils se laissent aussi manœuvrer en cas d'événements de crue exceptionnels et extrêmes. Les indications pertinentes sont données au chapitre 2.

### **3.9. Exigences constructives requises pour les organes de vidange**

Les organes de vidange sont à construire de manière à ce qu'une obstruction ou un blocage des vannes dus à des alluvions ne puissent se produire. Les sections, grilles d'entrée et la distance entre les vannes de garde et de service sont à dimensionner en conséquence. Ces éléments doivent en plus être conçus et équipés de façon à ce que leur fonctionnement ne soit pas entravé par la formation de glace.

Lorsqu'il y a danger d'obstruction par des sédiments du réservoir, des mesures constructives préventives appropriées ou des purges régulières doivent être prévues, avec pour objectif d'assurer un entonnoir libre de sédiments à l'entrée du pertuis.

Une alimentation électrique de secours doit être prévue pour les moteurs d'entraînement des vannes. Ces dernières doivent toujours se laisser manœuvrer également à la main. Pour les ouvrages d'accumulation de la classe III, il est en général suffisant de prévoir uniquement un entraînement manuel.

Pour les vannes commandées à distance, l'ouverture doit se faire par paliers afin d'empêcher une ouverture totale involontaire.

Pour les nouvelles constructions d'ouvrages d'accumulation des classes I et II, les organes de vidange doivent être équipés d'au moins deux vannes (vannes de garde et de service).



## **4. Contrôle de fonctionnement des organes de décharge et de vidange**

### **4.1. Etendue du contrôle**

Le fonctionnement de toutes les vannes est à contrôler au moins un fois par année, pour autant que celles-ci n'aient pas été manœuvrées dans le courant de l'année.

Toutes les composantes doivent être contrôlées. Le contrôle comprend notamment

- les entraînements (y compris la manœuvre manuelle),
- la commande (commande locale, commande à distance, régulation),
- l'alimentation électrique (y compris l'alimentation électrique de secours).

L'interaction entre chaque composante doit également être contrôlée.

En outre, l'état des organes de décharge et de vidange doit être contrôlé. Le contrôle comprend notamment

- les éléments hydromécaniques (vannes, robinets, clapets, paliers, glissières, éléments d'étanchéité, entraînements),
- les ouvrages d'entrée,
- les galeries et puits non mouillés,
- les ouvrages de restitution et les coursiers,
- le pied du barrage.

Le déroulement du contrôle de fonctionnement est à spécifier dans le règlement de surveillance. Le contrôle doit être effectué si possible par la personne qui, selon le règlement de manœuvre des vannes et le règlement en cas d'urgence, manœuvre les vannes lors d'un événement.

Le contrôle de fonctionnement des vannes des organes de décharge et de vidange doit être effectué dans les mêmes conditions que celles qui pourraient prévaloir lors d'une situation exceptionnelle nécessitant une manœuvre de ces vannes. Le contrôle doit en particulier avoir lieu avec un écoulement d'eau ("essai avec lâchures") et avec un plan d'eau élevé. Le niveau du plan d'eau minimum pour l'exécution de l'essai est à spécifier dans le règlement de surveillance.

Avant de commencer le contrôle de fonctionnement, l'état de l'ouvrage de décharge (y compris la galerie et le coursier) doit être examiné. Des obstacles comme la neige ou des dépôts sont à évacuer. De plus, il faut s'assurer qu'aucune personne ne se trouve dans le cours d'eau ou à proximité immédiate, le long du tronçon affecté par l'essai.

### **4.2. Contrôle des vannes des organes de vidange**

Pour contrôler les vannes des organes de vidange avec lâchure, il suffit d'ouvrir partiellement la vanne de service. L'ouverture est à spécifier dans le règlement de surveillance; celle-ci est en règle générale de 10 cm. La vanne peut être fermée immédiatement après, si bien que le volume d'eau lâché reste petit. Après l'ouverture partielle de la vanne de service, celle-ci peut être ouverte complètement, sous protection de la vanne de garde fermée ou d'un batardeau. Le déroulement standard du contrôle est présenté dans l'annexe 2.



#### **4.3. Contrôle des vannes des organes de décharge**

Les vannes des organes de décharge (telles que vannes planes, vannes segments et clapets) sont également soumis à un essai de fonctionnement. Pour autant que les conditions le permettent, les vannes sont à contrôler avec un lâcher d'eau. Si ce n'est pas possible, il faut effectuer un contrôle détaillé des entraînements et, selon les possibilités, ouvrir totalement la vanne en milieu sec.

#### **4.4. Contrôle des vannes des barrages au fil de l'eau**

Les vannes des organes de décharge des ouvrages mobiles au fil de l'eau doivent, pour autant que ces vannes n'aient pas été manœuvrées dans le courant de l'année, être soumises à un contrôle de fonctionnement. L'essai annuel de fonctionnement se limite à une ouverture partielle.

Des essais de fonctionnement avec une ouverture totale sont à prévoir pour chaque vanne selon une planification pluriannuelle, pour autant que les conditions d'exploitation le permettent et que les riverains à l'aval ne soient pas mis en danger.

#### **4.5. Contrôle des vannes des bassins de rétention**

Les vannes des organes de vidange des bassins de rétention et d'ouvrages destinés à stabiliser le lit des torrents peuvent être contrôlées à sec.

#### **4.6. Procès-verbal du contrôle**

Le contrôle de fonctionnement est à consigner dans un procès-verbal. Le procès-verbal contient en particulier le déroulement du contrôle, la distance d'ouverture des vannes, la durée nécessaire à l'ouverture et à la fermeture, les pressions hydrauliques, la confirmation de l'exécution de la manoeuvre manuelle, les éventuels incidents et les divergences par rapport au déroulement prescrit dans le règlement de surveillance.

Les résultats du contrôle de fonctionnement sont à évaluer par le professionnel expérimenté et à analyser dans le rapport annuel. Pour cela, les valeurs théoriques et les valeurs des contrôles précédents sont à prendre en considération. Le procès-verbal du contrôle de fonctionnement est à joindre au rapport annuel.



## 5. Règlement de manœuvre des vannes

### 5.1. Objectif et contenu du règlement de manœuvre des vannes

Pour tous les ouvrages d'accumulation qui disposent d'organes de décharge ou de vidange avec des vannes, l'exploitant doit élaborer un règlement de manœuvre des vannes et le soumettre à l'autorité de surveillance pour approbation.

Le règlement doit contenir les instructions concernant les manœuvres des vannes à effectuer en cas d'événements de crue. Le règlement de manœuvre des vannes définit uniquement les manœuvres relevant de la sécurité, mais pas celles se rapportant à l'exploitation. Sont notamment à définir

- les positions des vannes en fonction du niveau d'eau (en règle générale jusqu'à l'ouverture totale, mais au moins jusqu'à concurrence de l'ouverture qui permet d'évacuer le débit de la crue de sécurité),
- les conditions pour lesquelles l'ouvrage d'accumulation doit être occupé par du personnel (conditions atmosphériques, niveau d'eau),
- le procédé pour la manœuvre manuelle des vannes dans le cas où la commande devait être défailante.

Si le débit des apports, jusqu'à concurrence du celui de la crue de sécurité, est évacué sans que les vannes ne soient ouvertes, il doit être précisé dans le règlement que les vannes ne doivent pas être manœuvrées pour maîtriser un événement de crue.

Le règlement de manœuvre des vannes contient aussi:

- les hypothèses sur lesquelles repose la vérification de la sécurité en cas de crue (crue de projet  $Q_B(t)$ , crue de sécurité  $Q_S(t)$ , cote de retenue initiale, cote de danger, revanche de sécurité, capacités de décharge considérées, références des études hydrologiques correspondantes),
- le volume du bassin de rétention en fonction de la cote de retenue (relation volume-hauteur de la retenue),
- la capacité des organes de vidange et de décharge en fonction de la cote de la retenue,
- la capacité des turbines et la cote de retenue la plus basse possible pour le turbinage,
- les données techniques et les esquisses des organes de décharge et de vidange,
- les emplacements à partir desquels les vannes des organes de décharge et de vidange peuvent être manœuvrées.

Le règlement de manœuvre des vannes doit être déposé à tous les emplacements d'où les vannes des organes de décharge et de vidange peuvent être manœuvrées.



## **5.2. Elaboration du règlement de manœuvre des vannes**

Les points suivants sont à prendre en considération lors de l'élaboration du règlement de manœuvre des vannes:

- la manœuvre des vannes des organes de décharge et de vidange lors de crues est à prévoir de manière à ce que le débit de pointe sortant de la retenue ne dépasse pas le débit de pointe entrant attendu<sup>14</sup>,
- le débit doit être augmenté lentement; des changements de débit rapides sont à éviter dans la mesure du possible.

## **5.3. Contrôle et approbation du règlement de manœuvre des vannes par l'autorité de surveillance**

L'autorité de surveillance contrôle si la procédure décrite dans le règlement permet de maîtriser des événements de crue allant jusqu'à celui de la crue de sécurité.

D'autres aspects, notamment de nature écologique et d'exploitation ne font pas partie du contrôle ni de l'approbation du règlement.

L'autorité de surveillance met à disposition et sur demande une copie du règlement de manœuvre des vannes approuvé aux autorités cantonales de la protection de la population.

---

<sup>14</sup> Des accords différents, p. ex., pour les besoins de la protection contre les crues, peuvent être conclus avec les autorités cantonales compétentes



## 6. Références bibliographiques

- Barben, M. (2001). Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern, Bern.
- Biedermann, R., Delley, P., Flury, K., Hauenstein, W., Lafitte, R. & Lombardi, G. (1988). Safety of Swiss Dams against Floods; Design Criteria and Design Flood. *Trans. 16th ICOLD Congress*, San Francisco, CA, Question No. 63, R. 22, 345-369.
- Burton, A., Kilsby, C. G., Moaven-Hashemi, A., & O'Connell, P. E. (2004). Neyman-Scott Rectangular Pulses Rainfall Simulation System. BETWIXT Technical Briefing Note 2.
- CFBR (2013). Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages. Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR).
- Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.
- CSB (2017). Schlussbericht Arbeitsgruppe Schwemmholz. Schweizerisches Talsperrenkomitee, [www.swissdams.ch](http://www.swissdams.ch) (*en préparation*).
- Davison, A. C. & R. L. Smith (1990). Models for Exceedances over High Thresholds. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* **52**(3), 393-442.
- Fréchet, M. (1927). Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Annales de la société polonaise de mathématique (Rocznik polskiego tow. matematycznego)* **5**, 93-116.
- Godtland, K., & Tesaker, E. (1994). Clogging of spillways by trash. *Proc. 18<sup>th</sup> ICOLD Kongress*, Durban, 543–557.
- Guillot, P. & Duband, D. (1967). La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. *International Association of Hydrological Sciences Publications* **84**, 560-569.
- Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. New York, Columbia University Press.
- Hertig, J.-A., Fallot, J.-M. & Brena, A. (2007). Etablissement des cartes de précipitations extrêmes pour la Suisse, Méthode d'utilisation des cartes de PMP pour l'obtention de la PMF, Projet Cruex, Directives crues de l'OFEN.
- Hingray, B., Picouet, C. & Musy, A. (2014). *Hydrology - a science for engineers*. Boca Raton, CRC Press.
- Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **81**(348), 158-171.
- Kan, C. (1995). Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Diplomarbeit in der Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern, Publikation Gewässerkunde (169), Bern.
- Kölla, E. (1987). Estimating flood peaks from small rural catchments in Switzerland. *Journal of Hydrology* **95**, 203-225.
- Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transactions, American Society of Civil Engineers* **20**, 1–56.



- Kürsteiner, L. (1917). Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur. *Schweiz. Bauzeitung* **1**, 4–8, Zürich.
- Margoum, M., Oberlin, G., Lang, M., & Weingartner, R. (1994). Estimation des crues rares et extrêmes : principes du modèle Agregée. *Hydrologie Continentale* **9**(1), 85-100.
- Melli, E. (1924). Die Dimensionierung städtischer Kanäle, *Schweizerische Bauzeitung* **83/84**, 137-141.
- MétéoSuisse (2016). Analyses des valeurs extrêmes. <<http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/passe/extremes-climatiques/analyses-des-valeurs-extremes.html>>.
- Meylan, P., Favre, A. C. & Musy, A. (2008). Hydrologie fréquentielle: une science prédictive. PPUR presses polytechniques.
- Müller, R. (1943). Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauung. *VAW-Mitteilung* **4** (Meier-Peter, ed.), Versuchsanstalt für Wasserbau, ETH Zürich..
- OFEG (2001). Protection contre les crues des cours d'eau, Directive de l'OFEG.
- OFEG (2003). Evaluation des crues dans les bassins versants de Suisse, Guide pratique, Rapports de l'OFEG, Série Eaux, n° 4.
- OFEN (2008). Document de base relatif à la vérification de la sécurité en cas de crue, sécurité des ouvrages d'accumulation.
- OFEN (2015). Vollzugshilfe zur Stauanlagengesetzgebung betreffend den Bau und den Betrieb von Stauanlagen an der Aare unter direkter Bundesaufsicht.
- OFEN & RPF (2013). Sicherheitstechnische Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Stauanlagen am Hochrhein.
- OFEV (2007). Atlas hydrologique de la Suisse HADES.
- Sinniger, R. & Hager, W. H. (1984). Retentionsvorgänge in Speicherseen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* **102**(26), 535-539.
- Weingartner, R. (1999). Regionalhydrologische Analyse - Grundlagen und Anwendungen. *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz* **37**.
- WMO (2009). Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). Geneva, World Meteorological Organization.
- Würzer, S., Jonas, T., Wever, N. & Lehning, M. (2016). Influence of initial snowpack properties on runoff formation during rain-on-snow events. *Journal of Hydrometeorology* **17**(6), 1801–1815.
- Zeimetz, F. (2017). Development of a methodology for extreme flood estimations in alpine catchments for the verification of dam safety. In: Schleiss, A.J. (Ed.), Communication N° 68. Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland, ISSN 1661-1179.
- Zeller, J. (1975). Berechnung der Abflusswassermenge. Beilage zur Vorlesung "Wildbach- und Hangverbau", Abteilung VI, ETH Zürich.



## Annexe 1 - Méthode courante pour l'estimation des événements de crue

	Méthodes	Références	Domaine d'application		
			Période de retour [ans]	Surface du bassin versant [km <sup>2</sup> ]	Nature du bassin versant
<b>M1</b>	Extrapolation statistique des apports à l'aide de distributions de valeurs extrêmes Base de données utilisées: „Annual flood series AFS“ ou „Peak over treshhold POT“	[Fréchet 1927, Gumbel 1958, Coles 2001]  AFS: [Jenkinson 1955]  POT: [Davison & Smith 1990]	jusqu'à 2-3 fois la période d'observation (AFS)	-	Des tests de stationarité sont à effectuer. Ceci est valable en particulier pour des bassins versants avec neige, glacier ou karst.
	Gradex	[Guillot & Duband 1967]	1000-10'000	bis 5'000	Pour des bassins versants sans neige, glacier ou karst.
	Agregée	[Margoum et al. 1994]	10-10'000	bis 5'000	Pour des bassins versants sans neige, glacier ou karst.
<b>M2</b>	Extrapolation statistique des précipitations à l'aide de distributions de valeurs extrêmes	[Coles 2001, Meylan et al. 2008]	jusqu'à 2-3 fois la période d'observation	-	-
<b>M4</b>	PMP-PMF	[WMO 2009, Hertig et al. 2007, Zeimetz 2017]	-	5-200 (pour les cartes PMP de la Suisse)	-
<b>Méthodes empiriques et pseudo-empiriques</b>	BaD7	[Barben 2001, OFEG 2003]	à choix	10-200	Inadapté pour les bassins versants avec des caractéristiques extrêmes (p.ex. bassins versants urbains ou des régions avec beaucoup de glaciers)
	GIUB'96	[Kan 1995, Weingartner 1999, OFEG 2003]	100 (ainsi que la crue maximale)	10-500	-
	Müller-Zeller	[Müller 1943, Zeller 1975, OFEG 2003]	env. 100	2-100	Problématique dans des bassins versants alpins et très urbanisés
	Kürsteiner	[Kürsteiner 1917, OFEG 2003]	env. 100	5-500	-
	Melli	[Melli 1924]	Crue maximale	0.3-10'000	-
	Rational Formula	[Kuichling 1889, OFEG 2003, Hingray et al. 2014]	-	-	-
	Kölla meso	[Kölla 1987, OFEG 2003]	2.33, 20 ou 100	10-500	Problématique dans des bassins versants alpins et très urbanisés; inadapté pour les bassins versants avec des caractéristiques extrêmes (p.ex. pour des régions avec beaucoup de glaciers ou avec de grandes altitudes moyennes)



## **Annexe 2 - Déroulement courant du contrôle de fonctionnement des vannes d'un organe de vidange**

### **Déroulement du contrôle pour une vanne:**

Pour les organes de vidange équipés d'une seule vanne, cette dernière est ouverte partiellement (en général au minimum 10 cm).

### **Déroulement du contrôle pour deux vannes en série:**

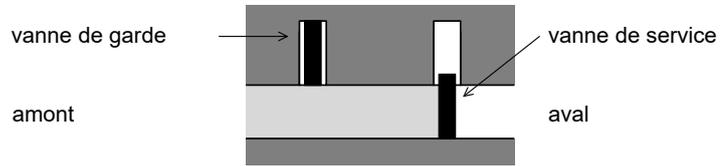
Le contrôle de fonctionnement pour deux vannes en série se fait en règle générale selon l'illustration 7.

### **Déroulement du contrôle pour trois vannes en série:**

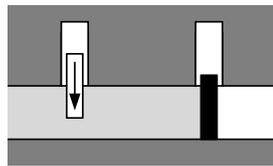
L'exploitant désigne les vannes qui servent de vanne de service et de vanne de garde. Le contrôle de fonctionnement de ces deux vannes se déroule selon l'illustration 7. La troisième vanne peut être considérée comme vanne de garde supplémentaire et contrôlée sans lâcher d'eau.



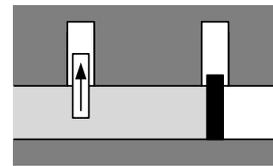
**0) Position initiale**



**1) Contrôle de la vanne de garde**

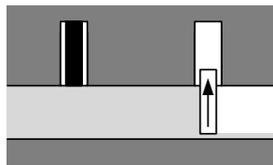


1a) fermeture totale

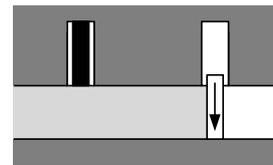


1b) ouverture totale

**2) Contrôle avec écoulement de la vanne de service**

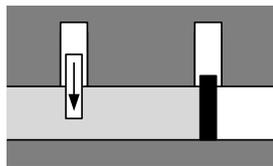


2a) ouverture partielle (min. 10 cm)

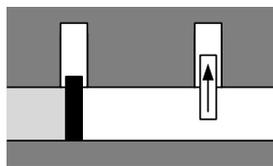


2b) fermeture

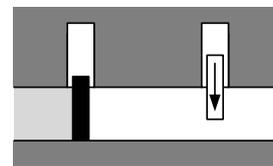
**3) Fermeture de la vanne de garde**



**4) Contrôle de la vanne service**

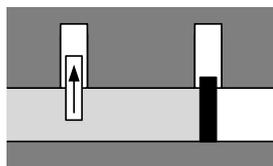


4a) ouverture totale



4b) fermeture totale

**5) Ouverture de la vanne de garde**



*Illustration 7: Séquences du contrôle de fonctionnement de deux vannes en série.*