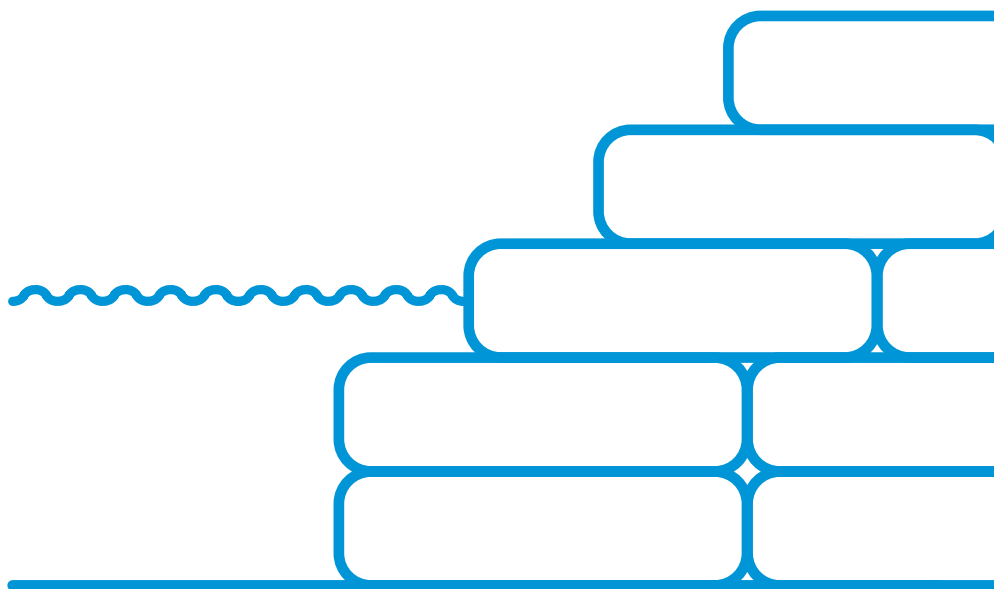


Manuel Pionnier

# Protection contre les crues



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de la protection de la population OFPP

**Impressum**

Éditeur

Office fédéral de la protection de la population (OFPP)

Division protection civile et formation

Version 2025-07

# Tables des matières

|           |                                                                      |           |                                                                             |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>5</b>  | <b>Crues</b>                                                         | <b>23</b> | <b>La sécurité lors d'une intervention en cas de crue</b>                   |
| <b>5</b>  | <b>Causes et déroulement de crues dommageables</b>                   | <b>23</b> | <b>Dangers et risques</b>                                                   |
| <b>6</b>  | <b>Processus intervenant à l'intérieur et le long du cours d'eau</b> | <b>25</b> | <b>Principes tactiques</b>                                                  |
| <b>6</b>  | <b>Aperçu</b>                                                        | <b>26</b> | <b>Mesures de sécurité et d'urgence</b>                                     |
| <b>7</b>  | <b>Inondation et épandage d'alluvions</b>                            | <b>26</b> | <b>Prescriptions de sécurité</b>                                            |
| <b>10</b> | <b>Embâcle ou obstruction de lit</b>                                 | <b>27</b> | <b>Liste de contrôle : évaluation des risques d'intervention et de crue</b> |
| <b>10</b> | <b>Lave torrentielle</b>                                             | <b>28</b> | <b>Autres mesures de sécurité et d'urgence</b>                              |
| <b>12</b> | <b>Érosion / éboulement des berges</b>                               |           |                                                                             |
| <b>13</b> | <b>Bois flottant</b>                                                 | <b>30</b> | <b>Protection mobile contre les crues</b>                                   |
| <b>14</b> | <b>Processus indépendants du cours d'eau</b>                         | <b>30</b> | <b>Systèmes de protection stationnaires</b>                                 |
| <b>14</b> | <b>Aperçu</b>                                                        | <b>30</b> | <b>Systèmes de protection mobiles</b>                                       |
| <b>14</b> | <b>Ruissellement de surface / eau de pente</b>                       | <b>30</b> | <b>Systèmes planifiés</b>                                                   |
| <b>15</b> | <b>Remontée de la nappe phréatique</b>                               | <b>31</b> | <b>Systèmes d'urgence</b>                                                   |
| <b>16</b> | <b>Reflux dans les égouts</b>                                        | <b>32</b> | <b>Processus de mise en place d'une protection mobile contre les crues</b>  |
| <b>17</b> | <b>Aperçu d'une intervention en cas de crue</b>                      | <b>33</b> | <b>Systèmes de protection contre les crues non spécifiques aux lieux</b>    |
| <b>17</b> | <b>Objectif de l'intervention en cas de crue</b>                     | <b>33</b> | <b>Principes tactiques</b>                                                  |
| <b>18</b> | <b>Délai de pré-alerte et temps d'intervention</b>                   | <b>35</b> | <b>Scénarios d'intervention</b>                                             |
| <b>19</b> | <b>Moyens et formation</b>                                           |           |                                                                             |
| <b>20</b> | <b>Points faibles typiques dans des cours d'eau</b>                  |           |                                                                             |
| <b>21</b> | <b>Aperçu de mesures possibles en cas d'événement</b>                |           |                                                                             |

|           |                                                                                   |           |                                                                                |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>42</b> | <b>Systèmes mobiles de protection contre les crues, non spécifiques aux lieux</b> | <b>78</b> | Étalement de la digue du côté des terres                                       |
| 42        | Systèmes commerciaux ou improvisés                                                | 80        | Consolider les effondrements et les fissures du côté de l'eau                  |
| 43        | Systèmes de sacs de sable                                                         | 82        | Film d'étanchéité du côté de l'eau                                             |
| 54        | Systèmes de panneaux                                                              | 83        | Rehaussement de digue (exhaussement)                                           |
| 57        | Systèmes de supports                                                              |           |                                                                                |
| 61        | Systèmes de boudins et systèmes de réservoirs fermés                              | <b>84</b> | <b>Autres mesures de protection contre les crues</b>                           |
| 63        | Systèmes de barrières déployables                                                 | <b>84</b> | <b>Protection d'urgence des berges avec des arbres entiers disposés en épi</b> |
| 64        | Systèmes de bassins                                                               | 84        | But et fonction                                                                |
| 66        | Système d'éléments en béton                                                       | 84        | Principes de l'utilisation                                                     |
| 68        | Aperçu des conditions liées aux systèmes                                          | <b>85</b> | <b>Travaux d'urgence de mise en sécurité et de réparation</b>                  |
| 69        | Aide à la décision quant à l'utilisation                                          | 85        | Mise en sécurité de cuves à mazout                                             |
|           |                                                                                   | 86        | Évacuation d'eau des sous-sols par pompage                                     |
| <b>70</b> | <b>Défense des digues</b>                                                         | <b>88</b> | <b>Bibliographie</b>                                                           |
| <b>70</b> | <b>Mesures d'urgence sur les digues de protection contre les crues</b>            |           |                                                                                |
| <b>71</b> | <b>Système de classification des dommages</b>                                     |           |                                                                                |
| <b>72</b> | <b>Description et classification des scénarios de dommages</b>                    |           |                                                                                |
| 72        | Écoulement traversant ou infiltrant la digue                                      |           |                                                                                |
| 74        | Fissures et effondrements dans la digue                                           |           |                                                                                |
| 76        | Érosion du lit majeur                                                             |           |                                                                                |
| 77        | Déversement de la digue                                                           |           |                                                                                |
| <b>78</b> | <b>Mesures d'urgence</b>                                                          |           |                                                                                |
| 78        | Patrouille de reconnaissance / garde de digue                                     |           |                                                                                |

# Crues

## Causes et déroulement de crues dommageables

La cause la plus fréquente des crues et des inondations réside dans des précipitations extrêmes (p. ex. fortes averses, orages, pluies persistantes, précipitations associées à la fonte de neige).

Les facteurs décisifs influençant la gravité d'une crue sont l'intensité des précipitations, la durée des averses, les caractéristiques du sol, la forme du terrain (pente) et l'aspect (taille) du bassin versant. L'imperméabilisation croissante des sols, l'absence de zones de rétention et la rectification des cours d'eau favorisent des événements de crue intenses.

Des crues et des inondations peuvent aussi survenir sans précipitations pour les raisons suivantes :

- rupture de lacs glaciaires et de poches d'eau
- rupture d'embâcles
- ondes d'origine externe provoquées par des glissements, des chutes de rochers ou des avalanches dans un lac (tsunami)
- tempête lacustre
- débâcle et glaces dérivantes
- rupture de barrages ou de digues de protection
- rupture de conduites d'eau.

| lent      | moyen     | rapide    |
|-----------|-----------|-----------|
| < 0.5 m/s | < 1.0 m/s | > 1.0 m/s |

Tab. 1 : Classement de la vitesse d'écoulement.

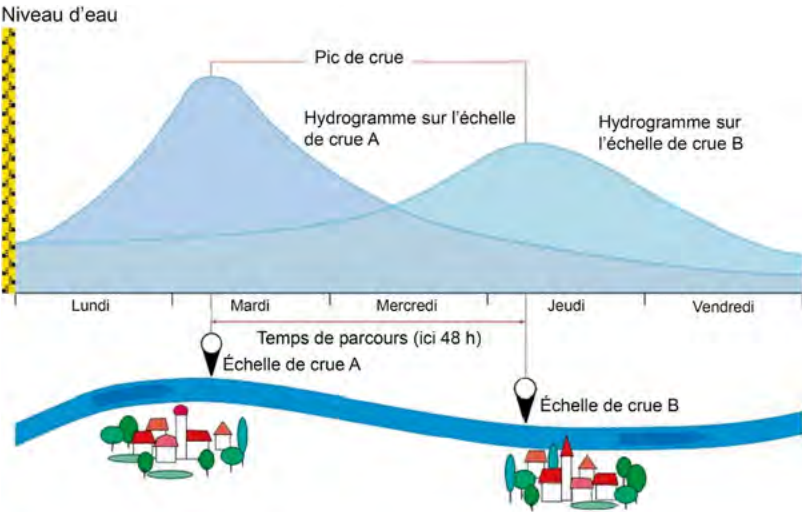


Fig.1 : Exemple de l'hydrogramme relevé sur un cours d'eau (Office bavarois de l'environnement – LfU Bayern)

L'hydrogramme indique le niveau d'eau à un lieu déterminé durant une crue (fig. 1). Tous les événements de crue présentent un hydrogramme caractéristique. La vitesse d'écoulement et la vitesse de montée représentent les principaux paramètres d'évaluation des risques de dommages et des risques encourus par des personnes. Une vitesse d'écoulement élevée et une montée d'eau rapide se produisent souvent dans le cas de torrents et peuvent s'avérer dangereuses. Un événement dynamique de ce genre ne recèle pas seulement de grands dangers, mais les possibilités d'intervention et le temps de réaction à disposition des forces d'intervention sont également le plus souvent restreints.

La vitesse d'écoulement augmente à mesure que

- la pente s'accroît,
- la profondeur d'écoulement ou le débit s'accroît,
- la rugosité du cours d'eau diminue.

### Processus intervenant à l'intérieur et le long du cours d'eau

#### Aperçu

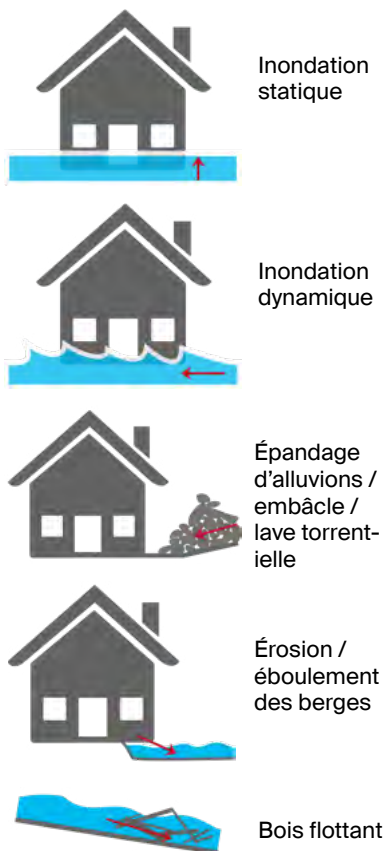


Fig. 2 : Processus intervenant à l'intérieur et le long du cours d'eau (Bruno Gerber, Office des ponts et chaussées du canton de Berne).

## **Inondation et épandage d'alluvions**

L'inondation et l'épandage d'alluvions définissent les états ou les processus dans lesquels l'écoulement d'eau a lieu en totalité ou en partie en dehors du cours d'eau.

### *Inondation statique*

Le niveau d'eau monte sans écoulement notable (terrain plat, par ex. crue d'un lac). Les effets dommageables résultent de la profondeur d'eau et de la surcharge qui y est associée.

Dommages typiques d'une inondation statique :

- submersion de bâtiments et d'infrastructures de transport
- submersion et détérioration ou destruction de digues ou de systèmes d'urgence de protection contre les crues
- remplissage et obstruction des tuyauteries ainsi que reflux dans les égouts
- dépôt de matières en suspension sur une grande surface (boue)
- dissémination de substances dangereuses et d'agents pathogènes
- destruction ou dégradation d'ouvrages de construction dans le sol imputables à la remontée de la nappe phréatique (poussée hydrostatique / pression hydraulique accrues).



Fig. 3 : Inondation statique à Schattdorf UR (fiche d'information Crues et laves torrentielles, OFEV)

Toutefois, le niveau de la nappe phréatique peut aussi monter sans inondation du fait de précipitations prolongées ou de cours d'eau de décharge de crue situés à proximité et causer des dommages en conséquence.

### *Inondation dynamique*

Des courants forts (par ex. dans le cas de torrents, de cours d'eau de montagne ou au niveau de goulets d'étranglement) provoquent le charriage de matériaux et un grand impact de front sur des obstacles.



Fig.4 : Inondation dynamique à Lütschental BE (Plate-forme nationale « Dangers naturels » PLANAT)

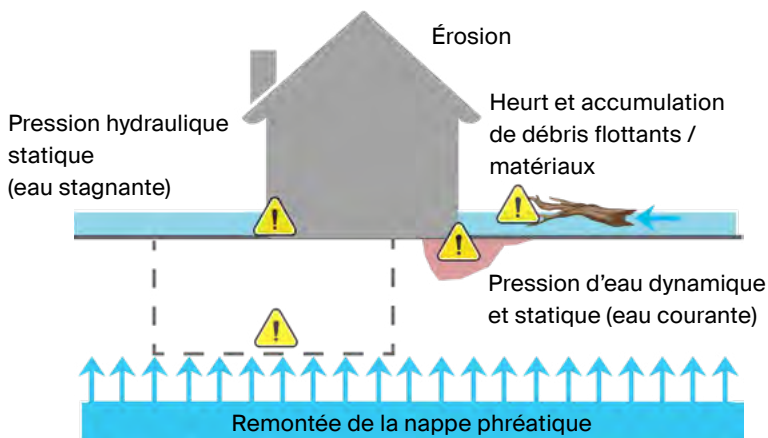


Fig. 5 : Aperçu d'une inondation dynamique / statique (Nils Hählen, Office des ponts et chaussées du canton de Berne).



### Épandage d'alluvions

L'inondation dynamique présente une vitesse d'écoulement élevée et elle entraîne de grandes quantités de matériaux charriés et de bois flottant, qui accentuent énormément l'impact de front sur des obstacles. Lorsqu'il reste des matériaux charriés après l'écoulement de l'eau, il est fait état d'un épandage d'alluvions.

Les dommages typiques causés par une inondation dynamique ou un épandage alluvial sont les suivants :



Fig. 6 : Épandage d'alluvions à Fully VS (recommandation Aménagement du territoire et dangers naturels, OFEV).

- dommages corporels, dans la mesure où les personnes ne sont pas protégées ni évacuées
- érosion du lit du cours d'eau ou des berges
- obstruction des goulets d'étranglement dans le cours d'eau (ponts, ponceaux, etc.)
- formation d'embâcles (obstruction du lit)
- atterrissement (alluvionnement) du cours d'eau aux endroits plats
- submersion et détérioration ou destruction de digues ou de systèmes mobiles de protection contre les crues
- endommagement ou destruction d'ouvrages de construction et d'infrastructures de transport
- remplissage des bâtiments avec des matériaux charriés
- dépôt de matériaux charriés et de bois flottant sur une grande surface.

| Intensité     | faible                                                                                                                          | moyenne                                                                                                                       | forte                                                                                                                                          |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Valeur limite | $h = 0.5 \text{ m}$<br>ou $v \times h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$                                                               | $0.5 < h < 2.0 \text{ m}$<br>ou $0.5 < v \times h < 2.0 \text{ m}^2/\text{s}$                                                 | $h > 2.0 \text{ m}$<br>ou $v \times h > 2.0 \text{ m}^2/\text{s}$                                                                              |
| Effet         | Les caves se remplissent, les voitures dérivent.<br><br>Les personnes se tenant dans les bâtiments ne sont pas mises en danger. | Les fenêtres et les portes éclatent.<br><br>Les personnes séjournant en plein air et dans des véhicules sont mises en danger. | Les rez-de-chaussée sont sous l'eau, les bâtiments sont détruits.<br><br>Même à l'intérieur des bâtiments, les personnes sont mises en danger. |

Tab. 2 : Évaluation des dangers en cas de crue et d'épandage d'alluvions  
(h = profondeur d'écoulement, v = vitesse d'écoulement)

### **Embâcle ou obstruction de lit**

L'embâcle désigne l'obstruction d'un cours d'eau (notamment dans des torrents) due à l'amoncellement de bois, de matériaux charriés, à des glissements de terrain ou à des avalanches. Il survient souvent au niveau de goulets d'étranglement ou d'obstacles (p. ex. à la hauteur des ponts, des ponceaux). Il en découle des remous d'exhaussement dans le cours d'eau (remontée du lit en raison de l'obstacle). Un embâcle constitue un danger potentiel imprévisible. Des embâcles situés dans des tronçons fluviaux éloignés et inaccessibles d'un cours d'eau sont souvent détectés trop tard voire pas du tout.



Fig.7 : Embâcle dans un torrent (PLANAT)

Un embâcle en soi ne cause aucun dommage. Le déversement par-dessus l'obstacle, le débordement provenant du cours d'eau ou, dans le cas de la variante la plus dangereuse, la rupture de l'embâcle engendrent néanmoins des processus dynamiques tels que des inondations, des épandages d'alluvions ou des laves torrentielles avec les dégâts correspondants.

### **Lave torrentielle**

Une lave torrentielle est un mélange s'écoulant rapidement constitué d'eau et de matériaux solides (dans une proportion de 30–70 %). Des blocs pesant plusieurs centaines de tonnes peuvent être alors entraînés. La cause réside le plus souvent dans la rupture d'un embâcle ou dans la liquéfaction du lit du cours d'eau. Les laves torrentielles apparaissent la plupart du temps dans des torrents abrupts. Elles s'immobilisent par contre dans les tronçons fluviaux plats du cours d'eau.

Les coulées de boue de versant ne se produisent pas dans des cours d'eau, mais se forment sur des versants escarpés du fait de la solifluxion ou liquéfaction du sol en pente.

Les laves torrentielles présentent un effet dommageable élevé en raison de leur impact de front extrême, de l'érosion et du dépôt d'éboulis rocheux (débordement de lave torrentielle).

Les dommages typiques d'une lave torrentielle sont les suivants :

- dommages corporels importants, dans la mesure où les personnes concernées ne sont pas protégées ni évacuées
- destruction du cours d'eau y compris des ouvrages de protection sous-dimensionnés
- destruction d'ouvrages de construction et d'infrastructures de transport
- formation d'embâcles avec le danger d'une lave torrentielle ultérieure
- destruction de systèmes mobiles de protection contre les crues
- dépôts importants de matériaux charriés, de bois flottant et de biens emportés.



Fig.8 : Conséquences d'une coulée torrentielle à Bondo GR (OFEV)

| Intensité     | faible                                                                            | moyenne                                                   | forte                                                                                        |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Valeur limite | $h = 0.5\text{ m}$<br>ou<br>$v \times h < 0.5\text{ m}^2/\text{s}$                | $h < 1.0\text{ m}$<br>ou<br>$v < 1.0\text{ m}^2/\text{s}$ | $h > 1.0\text{ m}$<br>ou<br>$v > 1.0\text{ m}^2/\text{s}$                                    |
| Effet         | Déversement liquide avec peu de matériaux charriés (comme lors d'une inondation). | Bâtiments peuvent subir de graves dommages.               | Destruction soudaine de bâtiments, amples dépôts de matériaux charriés, de blocs et de bois. |

Tab. 3 : Évaluation des dangers en cas de lave torrentielle ( $h$  = profondeur d'écoulement,  $v$  = vitesse d'écoulement)

### Érosion / éboulement des berges

Par érosion ou éboulement des berges, il faut entendre le transport ou le glissement des talus de rive en raison d'un fort courant. Les courbes et les goulets d'étranglement sont fréquemment touchés.



Fig. 9 : Érosion latérale et en profondeur à Rueun GR  
 (Plate-forme nationale « Dangers naturels » PLANAT)

L'érosion ou l'éboulement des berges provoquent les dommages typiques suivants :

- détérioration des voies de circulation et des ouvrages de construction à proximité du cours d'eau du fait de l'effondrement du sol
- rupture des digues et submersion des zones environnantes
- remous d'exhaussement ou embâcle dans le cours d'eau et danger d'une onde de crue, d'un dépôt des matériaux érodés sous la forme d'épandages alluviaux ou d'une lave torrentielle.

| Intensité     | faible                                                                                                                       | moyenne                                                                                                                                                                                    | forte                                                                                                                                   |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Valeur limite | $d < 0,5\text{ m}$                                                                                                           | $0,5 < d < 2,0\text{ m}$                                                                                                                                                                   | $d > 2,0\text{ m}$                                                                                                                      |
| Effet         | Entraînement de terre végétale et dommages dus à l'affouillement au niveau des goulets d'étranglement et des rives concaves. | Dégradation de bâtiments normalement munis de fondations ou d'une cave en présence d'écoulements pouvant atteindre un débit de $20\text{ m}^3/\text{s}$ (sans déplacement du cours d'eau). | Écroulement soudain possible de bâtiments. Grave mise en danger des personnes se tenant dans les bâtiments. Déplacement du cours d'eau. |

Tab. 4 : Évaluation des dangers en cas d'érosion / d'éboulement des berges  
 (d = épaisseur moyenne de l'érosion [mesurée perpendiculairement au talus de rive])

## Bois flottant

Le bois flottant est constitué de troncs d'arbre, de branches et de rhizomes, qui se retrouvent dans le cours d'eau durant une crue du fait de la force d'entraînement de l'eau et de glissements, de laves torrentielles ou de l'érosion des berges. Ce peut être non seulement du bois flottant, mais aussi du bois provenant de scieries ou d'entrepôts de bois d'œuvre. Les effets dommageables sont induits par une force d'impact élevée et les embâcles.



Fig.10 : Bois flottant LU (energisch.ch)

Les dommages typiques du bois flottant sont les suivants :

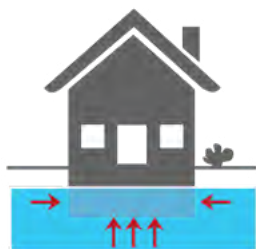
- dommages corporels, dans la mesure où les personnes concernées ne sont pas protégées ni évacuées
- endommagement ou destruction d'ouvrages de construction et d'infrastructures de transport
- formation d'embâcles avec le danger d'une crue brutale ou d'une lave torrentielle
- destruction des systèmes mobiles de protection contre les crues
- dépôts dans le cours d'eau ou sur le terrain.

### Processus indépendants du cours d'eau

#### Aperçu



Ruissellement de surface /  
eau de pente



Remontée de la nappe phréatique



Reflux dans les égouts

Fig. 11 : Processus indépendants du cours d'eau  
(Bruno Gerber, Office des ponts et chaussées du  
canton de Berne)

### Ruissellement de surface / eau de pente

En cas de fortes précipitations, une partie de l'eau de pluie s'écoule directement à la surface du terrain en direction d'un cours d'eau ou d'une dépression du sol. Un terrain imperméabilisé (par ex. surfaces de circulation, places et surfaces de culture tassées, saturées en eau ou fortement desséchées) favorise alors ce phénomène.

Ce dernier se caractérise par de brefs délais de pré-alerte, par des vitesses d'écoulement élevées et par une faible profondeur d'eau (quelques centimètres). Contrairement aux processus dépendants du cours d'eau, il est la plupart du temps difficile de localiser directement sur place les points faibles potentiels et les zones inondables. Dressée par l'Office fédéral de l'environnement, la carte des risques d'érosion du ruissellement de surface constitue une bonne base d'appréciation.



Fig. 12 : Ruissellement de surface  
(Association des établissements cantonaux  
d'assurance incendie AEA)

Les dommages typiques, imputables au ruissellement de surface, sont les suivants :

- dégradation des voies de circulation
- dommages corporels et matériels dus à la submersion des sous-sols de bâtiments

**30 – 50 % des dommages causés par des crues dynamiques ne sont pas engendrés par des cours d'eau ou des lacs qui débordent, mais par le ruissellement de surface.**

### Remontée de la nappe phréatique

Le niveau des eaux souterraines monte à retardement du fait des précipitations ou des inondations. La vitesse de la remontée de la nappe phréatique dépend essentiellement des caractéristiques du terrain.

Les dommages typiques, provoqués par la remontée de la nappe phréatique, sont les suivants :

- dégâts matériels causés par la pénétration d'eau dans les sous-sols de bâtiments
- détérioration ou destruction des murs ou des dalles basses du fait de la pression hydraulique statique dans les sous-sols
- flottement ou basculement de bâtiments entiers sous l'effet de la poussée hydrostatique.

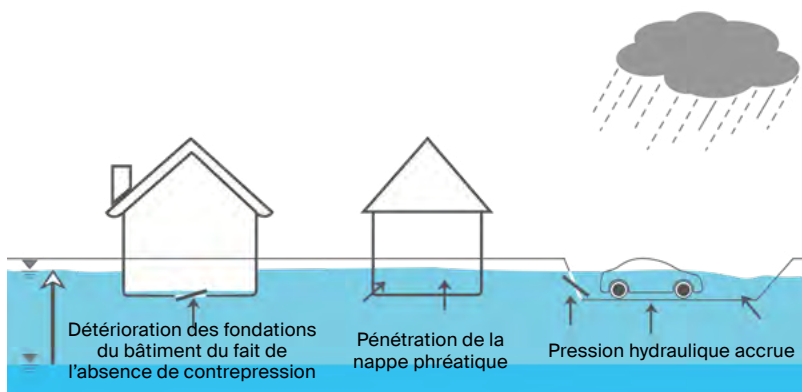


Fig.13 : Inondation et dégradation dues à la remontée de la nappe phréatique (Marc Schürch, OFEV)

### **Reflux dans les égouts**

En cas d'inondations, l'eau s'écoule également dans les égouts et reflue dans les bâtiments. Si ceux-ci ne sont pas équipés de dispositifs à clapet anti-refoulement, les sous-sols sont envahis de l'intérieur par le reflux d'eau.

Les dommages typiques, provoqués par le reflux dans les égouts sont les suivants :

- dommages corporels si des personnes séjournent dans les sous-sols
- dégâts matériels et dégradations des bâtiments

**Les processus provoqués par les crues peuvent interférer entre eux et se renforcer ainsi mutuellement.**



Fig.14 : Reflux par les égouts (Bruno Gerber, Office des ponts et chaussées du canton de Berne)



# Aperçu d'une intervention en cas de crue

## Objectif de l'intervention en cas de crue

Le but de l'intervention en cas de crue vise à empêcher ou à limiter les dommages causés aux personnes, aux biens matériels et à l'environnement. Contrairement aux mesures de protection préventives permanentes (ouvrages de protection contre les crues,

reboisements etc.), il s'agit en l'occurrence de mesures d'urgence devant couvrir les risques résiduels. Elles ne sont déclenchées que juste avant ou pendant un événement. Dans l'idéal, ces mesures d'urgence sont déjà prévues, préparées et exercées au préalable dans le cadre de la planification d'engagement et des préparatifs de l'intervention.

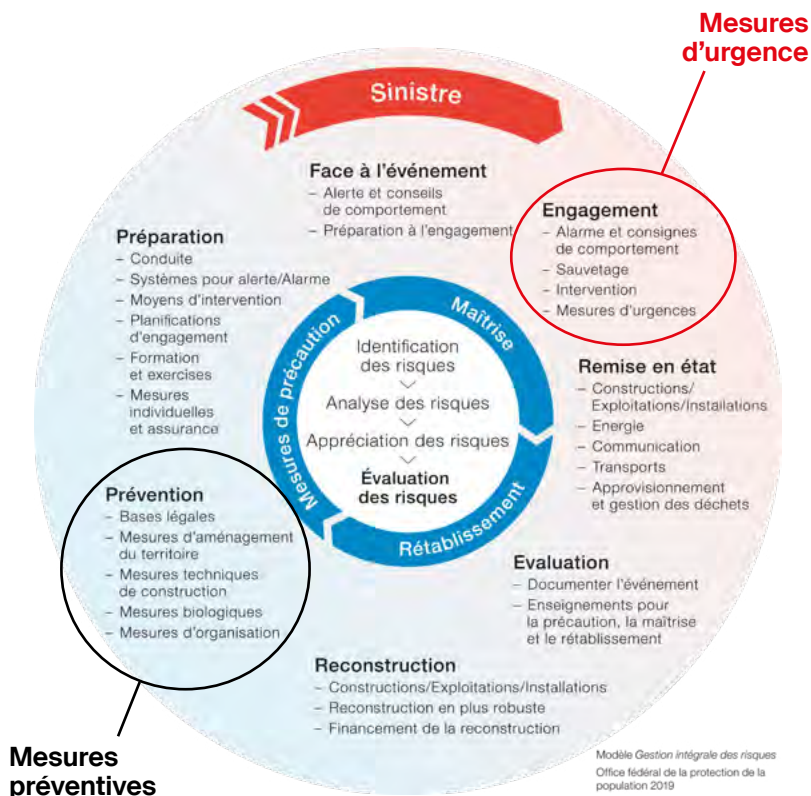


Fig.15 : Gestion intégrale des risques (OFPP)

Délai de pré-alerte et temps d'intervention

Les possibilités et les limites d’une intervention en cas de crue dépendent du délai de pré-alerte et du type de crue. Le délai de pré-alerte désigne la période s’écoulant de la prévision ou de la détection d’un événement de crue jusqu’à la survenue de la crue dommageable. Plus tôt une crue est anticipée, plus il reste du temps pour mettre en place

les mesures d’intervention. Pour définir ces dernières, nous devons donc pouvoir évaluer où nous nous trouvons approximativement et temporellement sur l’hydrogramme. Le temps d’intervention nécessaire à la mise en place d’une mesure doit être plus court que le délai de pré-alerte.

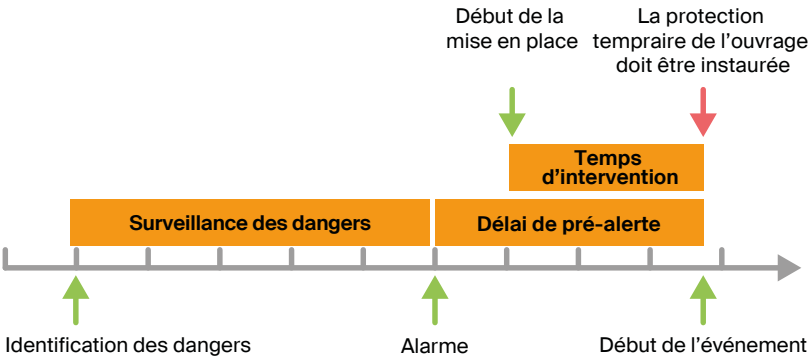


Fig.16 : Déroulement temporel d'un événement (Thomas Egli, Egli Engineering AG)

|                            |                                                                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identification des dangers | Instant où un danger est décelé                                                                                   |
| Surveillance des dangers   | Durée s'écoulant de la consultation des mesures et des prévisions jusqu'à la décision d'exécuter une intervention |
| Alarme                     | Transmission de l'alarme au personnel d'intervention requis                                                       |
| Début de la mise en place  | Début du temps d'intervention                                                                                     |
| Délai de pré-alerte        | Durée s'écoulant de l'alarme jusqu'au début de l'événement                                                        |
| Temps d'intervention       | Temps nécessaire à la mise en place de la mesure                                                                  |

Tab. 5 : Phases d'un événement.

Il importe de prendre des premières mesures (par ex. évaluation constante de la situation par la surveillance des niveaux d'eau ou des points critiques) le plus tôt possible, dès les signes annonciateurs d'un événement de crue (par ex. bulletin météorologique, situation pluviométrique, crue dans le cours supérieur d'un bassin versant etc.), afin que suffisamment de temps soit disponible pour prendre d'autres mesures en cas d'aggravation croissante.

Dans le cas de bassins versants et de cours d'eau abrupts, le délai de pré-alerte est généralement très bref (p. ex. 30 à 60 minutes pour les torrents). L'événement dynamique présente un haut potentiel de destruction (vitesse d'écoulement élevée, ondes de crue, laves torrentielles, charriage de matériaux, etc.) et une courte durée (hydrogramme à branche fortement montante et descendante). Le plus souvent, le temps fait défaut ou ne suffit pas pour engager des mesures d'intervention avant l'événement. Durant l'événement (point culminant), les mesures sont en général interdites dans la zone dangereuse pour des raisons de sécurité, même pour les forces d'intervention. En outre, en raison des forces agissantes, les mesures techniques exigent des moyens lourds (pelleteuses de grande envergure, systèmes mobiles de protection contre les crues à base d'éléments massifs en béton etc.).

Le délai de pré-alerte peut atteindre plusieurs jours dans le cours inférieur de grands cours d'eau (par ex. dans le cas de lacs). L'événement est généralement moins dynamique, mais il dure en contrepartie plus longtemps (hydrogramme à branche faiblement montante et descendante). Par conséquent, suffisamment de temps est disponible pour engager des mesures d'intervention. Toutefois, il ne faut pas non plus sous-estimer les dangers en la circonstance (par ex. glissements de berge inattendus, défaillance de système ou déversement). Du fait de la moindre dynamique et du temps disponible, les dommages peuvent être évités ou réduits efficacement même avec des mesures techniques simples (sacs de sable, systèmes improvisés à base de palettes et de panneaux, etc.).

### Moyens et formation

Même en cas de délais de pré-alerte très serrés, des mesures de protection prometteuses sont réalisables avec des moyens techniques rapidement disponibles et pouvant être utilisés ou mis en place à brève échéance. Si ces moyens sont acquis et dimensionnés de manière ciblée dans le cadre d'une planification d'engagement préalable, leur aptitude fonctionnelle et leur stabilité peuvent être alors optimisées. Des moyens lourds ou massifs sont en partie utilisables même en présence d'événements dynamiques.

De telles mesures techniques ne sont possibles que dans certaines limites avec un équipement léger.

Si les forces d'intervention étudient les mesures définies en raison d'une planification d'engagement et s'exercent régulièrement à les mettre en œuvre, le temps d'intervention requis est raccourci en cas d'événement. Le directeur/la directrice d'intervention ne dispose pas seulement d'estimations approximatives, mais aussi de contraintes temporelles fiables pour exécuter sa planification.

#### Points faibles typiques dans des cours d'eau

Les points critiques typiques dans un cours d'eau sont les endroits où les tronçons au niveau desquels la section transversale du cours d'eau, la vitesse d'écoulement ou la direction d'écoulement varient.

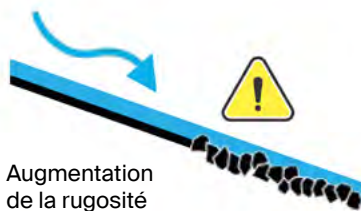
**Les points faibles doivent être déjà connus avant un événement et doivent être impérativement observés de près durant l'événement.**



Rétrécissement de la section transversale



Diminution de la pente



Augmentation de la rugosité



Obstacles dans la section d'écoulement

Fig.17 : Points faibles dans des chenaux  
(Nils Hählen, Office des ponts et chaussées du canton de Berne).

## Aperçu de mesures possibles en cas d'événement

Selon le processus à l'origine de la crue et le niveau d'aggravation, il est possible de mettre en œuvre mesures suivantes:

**L'intervention de la protection civile se déroule toujours sur mandat de la direction d'intervention.**

| Mesure                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Intervention de la protection civile (PCi)                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alerter la population et lui donner des consignes de comportement : <ul style="list-style-type: none"><li>– éviter les cours d'eau</li><li>– évacuer les biens matériels des sites situés en aval (sortir les voitures des garages souterrains)</li><li>– protéger les ouvertures de bâtiments</li><li>– ne pas séjourner dans les sous-sols de bâtiments</li></ul> | Aider éventuellement la population à mettre des biens matériels en sécurité.                                                                            |
| Surveiller / Contrôler : <ul style="list-style-type: none"><li>– les niveaux d'eau</li><li>– les points faibles dans le cours d'eau</li><li>– les ouvrages de protection (digues, barrages, bassins de rétention de matériaux charriés, etc.)</li><li>– les bâtiments et les infrastructures d'importance dans la zone inondable potentielle</li></ul>              | Possible<br><br>Une fois convoqués, les membres de la protection civile (MPCi) doivent être néanmoins disponibles sur place dans les plus brefs délais. |
| Barrer / limiter l'accès à des zones vulnérables, à savoir : <ul style="list-style-type: none"><li>– les zones inondables / à risques</li><li>– les voies de circulation, les ponts, les passages souterrains</li></ul>                                                                                                                                             | Possible                                                                                                                                                |
| Maintenir libre la section d'écoulement et empêcher les embâcles par l'enlèvement permanent de matériaux charriés et de bois flottant aux endroits critiques avec du matériel de chantier lourd.                                                                                                                                                                    | Improbable<br><br>Exige des moyens lourds.                                                                                                              |

| Mesure                                                                                                                                                                                                    | Intervention de la protection civile (PCi)                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mettre en sécurité les bâtiments, les biens matériels, les cuves à mazout, etc.                                                                                                                           | Possible                                                                                                                         |
| Mettre en place les systèmes mobiles de protection contre les crues :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>– les systèmes prévus</li> <li>– les systèmes d'urgence</li> </ul>                        | <b>Tâche majeure de la PCi</b>                                                                                                   |
| Renforcer / Sécuriser les digues de protection surchargées ou endommagées                                                                                                                                 | Possible<br><br>Exige des capacités de transport appropriées (uniquement sous la direction d'un ou d'une spécialiste technique). |
| Établir des mesures de protection des rives en urgence aux endroits vulnérables.                                                                                                                          | <b>Tâche majeure de la PCi</b>                                                                                                   |
| Évacuer les personnes, les animaux et les biens matériels des zones particulièrement à risque.                                                                                                            | Possible                                                                                                                         |
| Sauver les personnes et les animaux enfermés.                                                                                                                                                             | Possible<br><br>Uniquement en coopération avec des équipes de secours spécialisées.                                              |
| Mettre en place des passerelles en cas de crue à l'intention de la population dans les zones urbaines inondées statiquement.                                                                              | <b>Tâche majeure de la PCi</b>                                                                                                   |
| Vider par pompage et désobstruer les zones ou les bâtiments inondés :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>– les caves</li> <li>– les ponceaux / les passages souterrains</li> <li>– etc.</li> </ul> | <b>Tâche majeure de la PCi</b><br><br>N'est exécutée en règle générale qu'après l'événement durant la remise en état.            |

**Tab. 6 : Mesures en cas d'événements de crue.**

# La sécurité lors d'une intervention en cas de crue

## Dangers et risques

Le travail effectué dans le courant d'un cours d'eau en crue se caractérise par le danger pour le personnel d'intervention d'être emporté ou de dériver. La force de l'eau est souvent sous-estimée. Déjà à une faible profondeur, la stabilité de personnes même expérimentées n'est plus garantie en cas d'écoulement dynamique.

**Règle empirique** applicable à l'existence d'un danger encouru par des personnes adultes : **vitesse d'écoulement  $\times$  profondeur de l'eau  $> 0.5$**

À partir d'une hauteur d'eau de 50 à 60 cm, même une voiture se met à flotter. En présence de vitesses d'écoulement de 3 m/s, 20 à 30 cm suffisent déjà à emporter un véhi-

cule. Il existe un danger d'éboulement dans des caves, des fosses, des cages inondées ou dans les égouts. Lors de la désobstruction des prises d'eau encombrées, il se produit un fort effet d'aspiration risquant de happer des personnes. De plus, un danger de noyade menace les personnes qui sont encordées dans le courant ou parce que leurs cuissardes se sont remplies d'eau.

**Travaux en eaux troubles : risque de chute dans des ouvertures du sol et des trous inondés. Du fait de l'eau trouble, il n'est plus possible de savoir ce qui se cache dessous même à une faible hauteur d'eau. Ce danger n'est pas seulement encouru par des personnes, mais aussi notamment par des véhicules d'intervention.**

|                                          | sans écoulement                                                                                                       | avec écoulement                                                                                                      |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Intervention possible                    | Hauteur de botte (env. 30 cm)<br>  | Hauteur de botte (env. 10 cm)<br> |
| Limites de la possibilité d'intervention | Hauteur de botte (env. 100 cm)<br> | Hauteur de botte (env. 30 cm)<br> |

Fig. 18 : Directives à observer lors d'interventions dans l'eau  
(Nils Hählen, Office des ponts et chaussées du canton de Berne)



Fig.19 : Chute d'un véhicule à cause du sapement d'une route (photo du quotidien Luxemburger Wort)

**Autres dangers :**

- écoulement d'éléments de construction, de bâtiments, de routes ou de ponts (par ex. du fait de l'érosion des berges)
- risque d'être surpris par des ondes de crue ou des laves torrentielles survenant subitement (causées par ex. par la rupture d'embâcles)
- défaillance d'ouvrages de protection ou de systèmes mobiles de protection contre les crues s'accompagnant ensuite d'une onde de crue
- heurt de débris flottants (par ex. bois, conteneurs, matériaux charriés, etc.)
- électrocution (par ex. dans des bâtiments)
- coupure de la voie de repli (par ex. écoulement autour du lieu d'intervention ou dans les bâtiments)
- expulsion brusque des plaques d'égout
- ouverture violente des portes entraînant une onde de crue lors de l'accès aux locaux inondés (par ex. caves, abris). La pression hydraulique exercée sur une porte s'élève à env. 2 t pour une hauteur d'eau de 2 m
- remontée des cadavres d'animaux domestiques et de rente à la surface des eaux, dissémination de substances infectieuses (par ex. contenus des fosses septiques et des égouts)
- suspension de liquides combustibles et d'autres substances dangereuses
- réaction chimique entre diverses substances entreposées dans les complexes industriels du fait de la pénétration d'eau
- déshydratation, surchauffe ou coup de chaleur en cas de canicule estivale
- hypothermie et épuisement



## Principes tactiques

Une intervention n'est effectuée dans la mesure du possible qu'après concertation avec un spécialiste (ingénieur-e hydraulicien-ne, conseiller-e local-e en dangers naturels, etc.). Une intervention en cas de crue constitue une activité présentant des dangers particuliers. En principe, les supérieurs hiérarchiques sont tenus d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de protection. Celui-ci comprend les éléments suivants :

- une analyse des dangers et des risques,
- la définition et l'injonction de mesures de protection,
- le contrôle du respect et de l'efficacité des mesures de protection,
- un plan d'urgence et de secours.

Lors de l'analyse des dangers et des risques, il faut non seulement évaluer la place sinistrée ou le lieu d'intervention et la situation actuelle, mais aussi tout le processus ou l'espace dans lequel il se déroule, ainsi que les dangers potentiels y existant :

- type de processus (dynamique, montée des eaux, durée, vitesse d'écoulement, etc.)
- qu'est-ce qui peut (encore) se passer ?
- danger d'ondes de crue, de glissements ou de laves torrentielles
- météo
- etc.

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Procédure défensive</b>                | N'exécuter que des sauvetages dans les zones déjà inondées, mais ne mettre en œuvre aucune mesure pour protéger des biens matériels.                                                                                                   |
| <b>Respect d'une distance de sécurité</b> | Positionner les véhicules et le matériel à une distance suffisamment éloignée de l'eau.                                                                                                                                                |
| <b>Stabilité</b>                          | Dans le cas de systèmes de protection contre les crues établis en urgence sans preuve de stabilité, toujours s'attendre à ce qu'ils puissent céder à tout moment et sans prévenir.                                                     |
| <b>Zones de risque</b>                    | Définir les zones de risque donnant lieu à une autorisation de séjour, par exemple :<br>Zone brûlante = danger de mort imminent<br>Zone chaude = danger (seules les forces d'intervention sont permises)<br>Zone froide = aucun danger |

Tab. 7 : Principes tactiques dans le cas d'un événement de crue

## Mesures de sécurité et d'urgence

### Prescriptions de sécurité

Extrait des directives de l'Office fédéral de la protection de la population concernant les prescriptions de sécurité dans la protection civile.

#### Art. 20

<sup>1</sup> Les personnes astreintes doivent porter un gilet de sauvetage lors de travaux à proximité de l'eau ou dans l'eau :

- a. quand il y a un danger de noyade ;
- b. lors de la traversée d'un cours d'eau.

<sup>2</sup> Il y a danger de noyade lorsque :

- a. la profondeur de l'eau est supérieure à 1 m ;
- b. la vitesse du courant est supérieure à 1 m par seconde et la profondeur de l'eau supérieure à 50 cm.

En cas de danger de noyade, aucune personne astreinte ne doit se mettre à l'eau.

<sup>3</sup> Lorsque des personnes sont assurées au moyen d'une corde dans ou sur un cours d'eau, toute chute dans l'eau doit être exclue.

## Liste de contrôle : évaluation des risques d'intervention et de crue

| Critère  | I                                                                                                      | E                                                                                       | P                                                                                                     | O                                                                                                                                       | Risque de crue<br>(niveau max.<br>décolant de tous<br>les critères) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                        |                                                                                         |                                                                                                       |                                                                                                                                         |                                                                     |
| État     | ↗                                                                                                      | ↗                                                                                       | Impossible                                                                                            | Légèrement sollicité                                                                                                                    | Modéré                                                              |
|          | →                                                                                                      | →                                                                                       | Possible                                                                                              | Fortement sollicité                                                                                                                     | Élevé                                                               |
|          | ↗                                                                                                      | ↗                                                                                       | Probable                                                                                              | Trop sollicité                                                                                                                          | Très élevé                                                          |
| Remarque | ?                                                                                                      | ?                                                                                       | Inconnu                                                                                               | Inconnu                                                                                                                                 | Imprévisible                                                        |
|          | <ul style="list-style-type: none"> <li>Observation</li> <li>Points de mesure</li> <li>Radar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Observation</li> <li>Points de mesure</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Embâcle dans le cours supérieur</li> <li>Glissement</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Franc-bord du cours d'eau</li> <li>Volume de rétention disponible</li> <li>Collecteur</li> </ul> |                                                                     |

| Critère | Prof               | Éc               | Prox                                                                                              | Risque de l'intervention (niveau max. décollant de tous les critères) |
|---------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|         |                    |                  |                                                                                                   |                                                                       |
| État    | À sec              | Aucune           | Loin de l'eau                                                                                     | Modéré                                                                |
|         | Jusqu'à 0,3 m      | Faible < 1,0 m/s | Proche de l'eau<br>$\Delta h > 5 \text{ m}$ , $\Delta L > 20^\circ$ largeur du cours d'eau        | Élevé                                                                 |
|         | Supérieure à 0,3 m | Grande > 1 m/s   | Sur / Au bord de l'eau<br>$\Delta h < 5 \text{ m}$ , $\Delta L < 20^\circ$ largeur du cours d'eau | Très élevé                                                            |

Fig.20 : Liste de contrôle de la sécurité au cours d'une intervention en cas de crue  
(Niels Hählen, Office des ponts et chaussées du canton de Berne)

### Autres mesures de sécurité et d'urgence

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Propre sécurité</b>                             | Est toujours prioritaire et doit être systématiquement prise en considération.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                    | S'attendre à l'impensable.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                    | Utiliser un équipement de protection individuel.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Surveillance / Observation</b>                  | Ne pas effectuer ce travail seul.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                    | Lieu d'intervention et sources de danger potentielles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Poste d'alerte</b>                              | Le placer à une distance suffisante par rapport au lieu d'intervention et l'équiper de moyens de communication (toujours deux systèmes indépendants, par ex. matériel radio et téléphone portable).                                                                                                                                                         |
| <b>Critères d'alarme / de repli</b>                | Définir des directives claires (par ex. niveau de l'eau, bois flottant, signes annonciateurs d'un déversement, décrue soudaine de l'écoulement fluvial, amoncellement dans le cours supérieur, etc.).                                                                                                                                                       |
| <b>Alarme</b>                                      | Organiser la transmission d'alarme sur le lieu d'intervention et aviser tout le monde du comportement à adopter dans le cas d'une alarme.                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Voies d'évacuation / Point de rassemblement</b> | Les définir, les signaler et en garantir le libre accès.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Sauvetage</b>                                   | Assurer le sauvetage interne / externe (matériel de sauvetage, site, liaison, voie d'accès pour les véhicules de secours) et le service sanitaire.                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Liaison</b>                                     | Assurer la liaison avec d'autres formations d'intervention en amont et en aval du lieu d'intervention.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Assurance avec une corde</b>                    | En cas de nécessité, assurer les forces d'intervention avec des cordes (si possible uniquement à la verticale depuis le haut, la personne devant pouvoir être hissée à tout moment). Si une personne vient à chuter dans le courant, elle risque d'être tirée sous l'eau en raison de l'assurance par la corde et de se noyer. Ne pas porter de cuissardes. |
| <b>Non-nageurs</b>                                 | Les non-nageurs doivent être spécialement signalés et gardés sous surveillance. Les forces d'intervention travaillant directement au bord, dans ou au-dessus de l'eau doivent savoir nager.                                                                                                                                                                 |

|                                                           |                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cuissardes</b>                                         | L'utilisation de cuissardes n'est autorisée que dans des eaux stagnantes d'une profondeur max. de 50 cm. Elles ne doivent pas être employées dans des eaux présentant du courant ou dans des embarcations. |
| <b>Éviter de franchir des zones inondées</b>              | Ne pas marcher dans de l'eau trouble ou s'écoulant avec un fort courant (si cela s'avère malgré tout nécessaire, il est indispensable de sonder continuellement son chemin avec une perche).               |
| <b>Si possible, ne pas rouler dans des zones inondées</b> | Exception : les franchir au pas avec des véhicules lourds jusqu'à une profondeur d'eau de 30 cm après reconnaissance préalable par une personne marchant devant avec une perche.                           |
| <b>Zone riveraine</b>                                     | Ne pas la franchir à pied en cas de sapement.                                                                                                                                                              |
| <b>Éclairage</b>                                          | En cas de travaux de nuit : toujours bien éclairer les lieux d'intervention et d'observation.                                                                                                              |
| <b>Sans mission</b>                                       | Se tenir à l'écart des eaux.                                                                                                                                                                               |
| <b>Dangers environnementaux</b>                           | Beaucoup boire et utiliser une protection solaire.                                                                                                                                                         |
| <b>Hygiène</b>                                            | Au moment de quitter le lieu de travail, se laver d'abord les mains ou les désinfecter, puis nettoyer les vêtements très sales ou les changer.                                                             |
|                                                           | Travailler « proprement », ne pas mettre en contact ses muqueuses avec l'environnement durant l'exécution des tâches (risque de contamination par des agents pathogènes dangereux).                        |
|                                                           | Séparer clairement l'espace de détente et le local de restauration du lieu de travail.                                                                                                                     |

Tab. 8 : Aperçu des différentes mesures de sécurité et d'urgence

# Protection mobile contre les crues

## Systèmes de protection stationnaires

Les systèmes de protection stationnaires constituent des mesures de protection permanentes à caractère structural, qui sont en grande partie opérationnelles sans action extérieure et qui garantissent durablement l'effet protecteur prévu (digues protectrices / murs d'endiguement, barrages de rétention de sédiments, barrages de correction torrentielle, etc.).

## Systèmes planifiés

Les systèmes planifiés ont été prévus et dimensionnés au préalable pour un site. En l'occurrence, il peut s'agir de systèmes spécifiques aux lieux ou non. Les systèmes spécifiques à l'endroit exigent auparavant des mesures à caractère structural sur le site d'intervention (par ex. systèmes de batardeaux).

## Systèmes de protection mobiles

Les systèmes de protection mobiles ne sont acheminés et montés sur place qu'en cas d'intervention. Il est fait alors la distinction entre les systèmes planifiés et ceux mis en place dans l'urgence.



Fig. 21 : Système de batardeaux (Weber Hochwasserschutz Systeme WHS)

## Systèmes d'urgence

Les systèmes d'urgence ne sont pas spécifiques aux lieux et ne nécessitent aucune planification ni aucun dimensionnement préalables. Ils sont utilisables avec souplesse (par ex. systèmes de sacs de sable, de panneaux, de boudins).

Si des systèmes d'urgence sont envisagés et dimensionnés au préalable (par ex. dans le cadre d'une planification d'intervention), ils sont alors assimilables à des systèmes planifiés.



Fig.22 : Système de sacs de sable (OFPP)

L'établissement de systèmes de protection contre les crues mobiles et non spécifiques aux lieux constitue une tâche essentielle de la protection civile. Les explications suivantes se focalisent donc avant tout sur ce type de systèmes de protection.

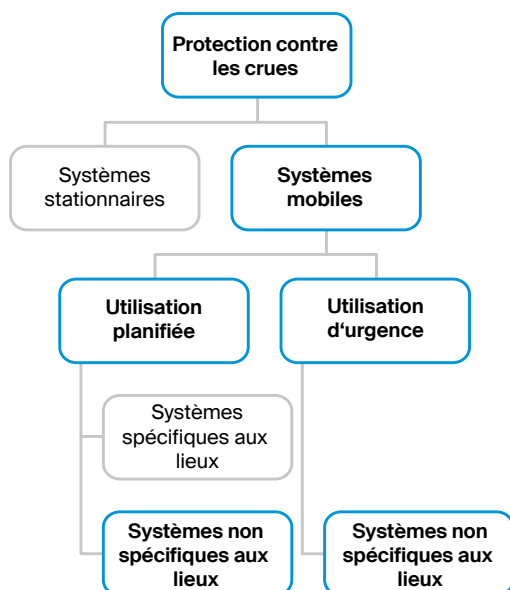


Fig.23 : Organisation des systèmes de protection contre les crues

## Processus de mise en place d'une protection mobile contre les crues

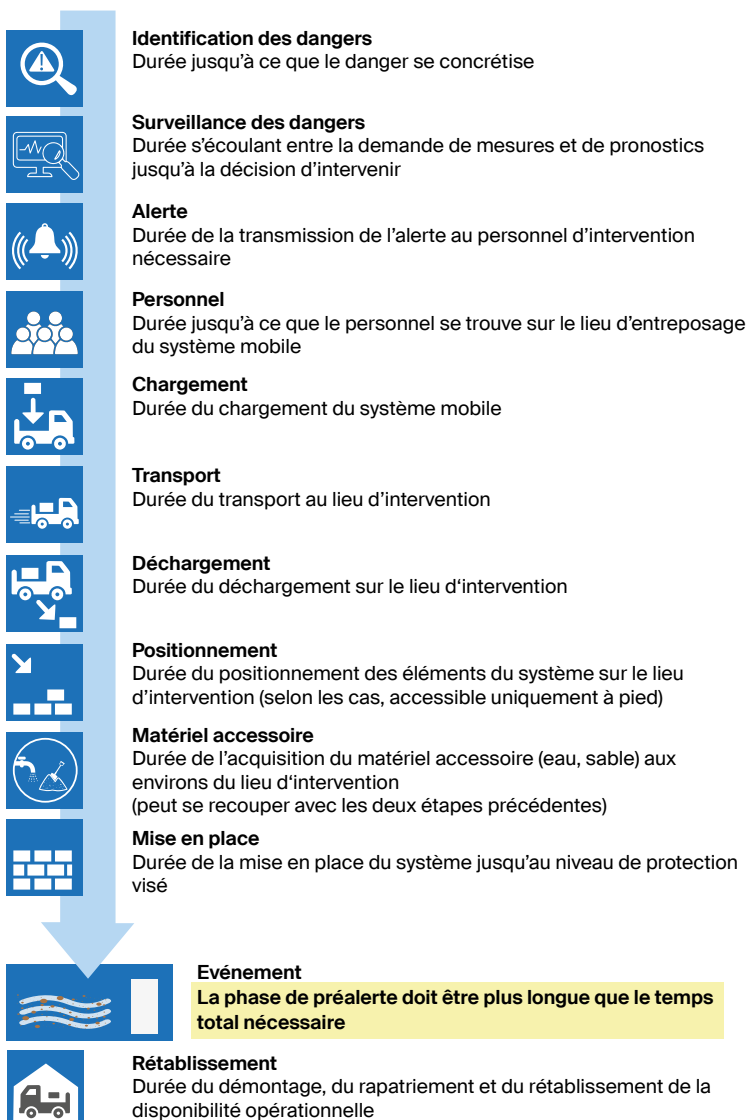


Fig. 24 : Processus de mise en place d'une protection contre les crues (AEA)



## Systèmes de protection contre les crues non spécifiques aux lieux

### Principes tactiques

Les systèmes assurant la protection contre les crues mobile et non spécifique aux lieux sont toujours associés à un certain degré d'incertitude. Ils peuvent non seulement jouer leur fonction protectrice, mais présenter aussi un danger supplémentaire en cas d'utilisation irréfléchie. Une éventuelle rupture du système ne doit pas mettre les personnes davantage en danger. Pour s'en assurer, il convient de respecter les mesures de sécurité suivantes :

**Les systèmes mobiles de protection contre les crues, non spécifiques aux lieux, ne servent qu'à empêcher les dommages matériels et non à protéger les personnes.**

**Les systèmes mobiles de protection contre les crues, non spécifiques aux lieux, ne se prêtent en principe à l'emploi qu'en cas d'inondations de faible intensité. En présence d'une hauteur d'inondation moyenne (0.5–2.0 m) et d'un bref délai de pré-alerte, ces systèmes ne sont utilisables que de manière très restreinte.**

### Hauteur de la protection maximale recommandée :

- Utilisation d'urgence: 0,6 m
- Utilisation planifiée: 1,2 m

### Des zones de risque doivent être définies dans le secteur du système et leur accès doit être barré aux passants :

- Hauteur de la protection jusqu'à 0,6 m → Largeur de la zone de risque 5–10 m
- Hauteur de la protection 0,6–1,2 m → Largeur de la zone de risque 10–20 m
- Hauteur de la protection 1,2–2 m → Largeur de la zone de risque 20–50 m

### Règle empirique :

**Zone de risque =  $20 \times$  la hauteur du système**

La zone de risque sert à absorber ou à atténuer d'éventuelles ondes de crue (en réduisant leur intensité). Elle ne doit être franchie que par les forces d'intervention pour leurs tournées d'inspection. L'état des systèmes de protection doit être vérifié par des tournées d'inspection régulières. Aucun dépôt de matériel ni aucune installation ne sont permis dans la zone de risque.

| Critère                                   | Utilisation d'urgence                                                 | Intervention planifiée                       |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Lieu d'intervention                       | Inconnu                                                               | Connu                                        |
| Délai de pré-alerte                       | Sortie dès la transmission de l'alarme                                | Pré-alerte ou alarme                         |
| Choix du système                          | Disponibilité en cas d'événement                                      | Choix du système avant l'événement           |
| Dimensionnement / cas de charge           | Aucun dimensionnement                                                 | Dimensionnement réalisé par des spécialistes |
| Hauteur de la protection max. recommandée | 0,6 m                                                                 | 1,2 m                                        |
| Montage du système                        | Selon les consignes du/de la directeur-trice d'intervention sur place | D'après le plan d'urgence                    |
| Contrôle du montage                       | Recommandé                                                            | Indispensable                                |
| Zones de risque                           | Recommandées                                                          | Indispensables                               |
| Tournées d'inspection                     | Indispensables                                                        | Indispensables                               |
| Démontage du système                      | Selon les consignes du/de la directeur-trice d'intervention           | D'après le plan d'urgence                    |

Tab. 9 : Comparaison des modalités d'utilisation des systèmes de protection contre les crues.

Dans le cas d'un écoulement d'eau, les systèmes de protection ne doivent jamais être mis en place perpendiculairement au courant, mais si possible parallèlement ou en biais. Les plus grandes énergies apparaissent à proximité d'un cours d'eau. Si une « zone inondable » suffisamment dégagée est disponible, les systèmes de protection ne doivent jamais être installés directement au niveau du cours d'eau, mais à une distance acceptable. Les raisons en sont les suivantes :

- L'eau se répartit sur une grande surface, perdant ainsi beaucoup en hauteur d'écoulement et en énergie.
- La stabilité et l'aptitude fonctionnelle du système de protection sont mieux garanties.
- Des systèmes de protection plus simples et moins résistants sont aussi utilisables, le cas échéant. Davantage de systèmes peuvent être ainsi mis en place en même temps.
- Les forces d'intervention sont moins mises en danger lors des travaux d'installation.

**Si des systèmes mobiles de protection contre les crues édifiés en urgence sont débordés, il faut s'attendre à tout instant à leur défaillance.**

Cette dernière peut être due par ailleurs à un glissement, à un basculement, à un manque de stabilité interne, à un défaut d'étanchéité, à un effondrement de terrain, à un écoulement d'eau souterrain ou à une remontée de nappe phréatique. Si de graves dommages risquent de se produire dans le cas d'une défaillance du système de protection contre les crues, il est possible moyennant assez de matériel et de temps de mettre en place un second système en redondance derrière le premier (suffisamment espacé de celui-ci).

Si les dénivellations topographiques du terrain ne sont pas clairement perceptibles (terrain légèrement accidenté ou plat), il est indiqué d'utiliser des instruments de mesure simples (p. ex. niveau, mire, laser de construction, etc.) pour pouvoir placer stratégiquement les systèmes de protection contre les crues sur les sites optimaux.

## **Scénarios d'intervention**

### *Délimitation*

Dans la protection contre les crues, la distinction est faite en général entre la protection de bâtiments individuels (protection d'ouvrage) et des mesures de protection collective (concernant plusieurs bâtiments, villages / parties de village, quartiers, etc.).

Le/la propriétaire est en principe responsable de la protection d'un bâtiment. Il/elle en assume la responsabilité, sachant que les forces d'intervention l'aident autant que possible. L'expérience montre toutefois que les forces d'intervention se heurtent très vite aux limites de leurs capacités, notamment dans les zones urbaines. Elles doivent fixer des priorités et donc focaliser leur attention la plupart du temps sur des mesures de protection collective et/ou sur la sauvegarde de certaines infrastructures importantes.

### *Évacuation sur des terrains en pente*

Cette technique est utilisée dans les espaces montagneux, dans les régions plus plates et dans les zones urbanisées pour évacuer l'eau. Le système permet de former un couloir d'écoulement jusqu'à un cours d'eau récepteur. Le système doit pouvoir surmonter les inégalités du sol, les pentes, les passages au-dessus de bordures de trottoir et les inflexions dans l'inclinaison longitudinale, la hauteur de retenue nécessaire étant plutôt faible.

Un dévers est à prévoir au niveau des rives extérieures de courbes. Une pression hydraulique dynamique et statique s'exerce sur le système en le rencontrant en parallèle ou sous un certain angle. La vitesse d'écoulement de l'eau déversée se situe dans l'ordre de grandeur de 0,5 à 3 m/s. De plus, il est très vraisemblable que l'eau entraîne de la terre et des graviers.

**Veiller à la stabilité de la pente : aucune coulée de boue de versant ne doit être déclenchée par la dérivation.**

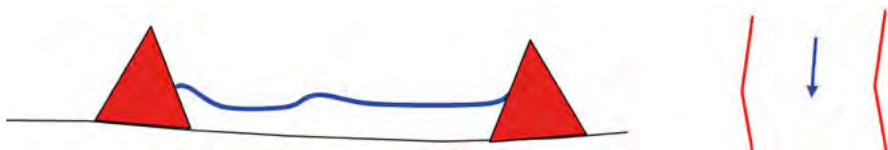


Fig.25 : Exemple d'évacuation sur des terrains en pente (AEAI)

*Protection annulaire en présence d'une dépression du sol*

Le système est utilisé dans des zones d'inondation plates et des dépressions du sol. Le bâtiment est protégé de la crue par le système annulaire. Des fuites, le reflux provenant des égouts, les eaux souterraines et infiltrantes peuvent entraîner néanmoins une inondation intérieure.

L'eau pénétrante peut être rejetée de nouveau continuellement à l'extérieur au moyen de pompes. La pression hydraulique statique s'exerce sur le système. L'écoulement de faible intensité agit en général de front sur le système. Il faut s'attendre à des remous en présence de grandes étendues d'eau environnantes.

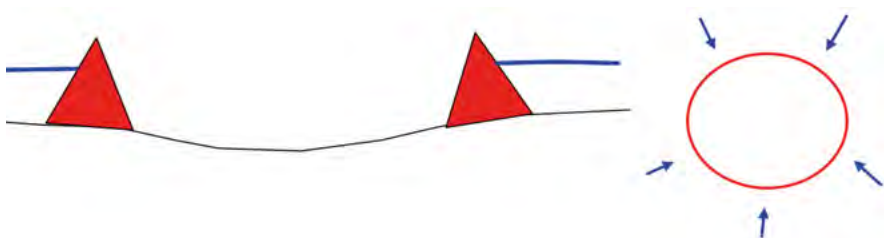


Fig. 26 : Exemple d'un système annulaire de protection contre les crues (AEAI)

*Barrage d'écoulements d'eau sur les routes*

Le système doit permettre d'isoler une route transversalement. Une exigence essentielle du système réside dans le raccordement étanche au niveau de la limite latérale supérieure (mur, façade, talus, etc.). À cette fin, le système doit pouvoir être adapté avec souplesse dans sa longueur.

La pression de l'eau tant statique que dynamique s'exerce alors. De plus, du bois flottant et des matériaux charriés risquent de heurter le système. La vitesse d'écoulement atteint un ordre de grandeur de 0,5 à 3 m/s.



Fig.27 : Exemple de barrage empêchant l'écoulement d'eau sur une route (AEAI)

### *Protection linéaire au bord des lacs*

Le système exerce une protection linéaire le long de la rive à préserver. L'étanchéité par rapport aux différentes caractéristiques du terrain et aux passages à niveau est nécessaire. De l'eau peut toutefois pénétrer du fait de fuites, du reflux provenant des égouts ainsi que des eaux souterraines et infiltrantes. Celle-ci peut être refoulée en permanence à l'aide de pompes.

Plus de temps est généralement disponible pour la mise en place que ce n'est le cas s'agissant de cours d'eau. Le temps d'utilisation jusqu'au démontage peut couvrir des jours voire des semaines. Il est indispensable de faire attention au vandalisme et d'assurer la surveillance du système. La pression hydraulique statique s'exerce sur le système. Le système doit être surveillé avec une attention extrême en cas d'événements de tempête, de déferlantes et de remous.



Fig. 28 : Exemple d'un système longeant la rive d'un lac (AEAI)

*Protection linéaire le long de cours d'eau (pente < 5 %)*

Le système protège les zones urbanisées le long des rivières et des fleuves. En raison du bref délai de pré-alerte (la plupart du temps), il doit pouvoir être mis en place en l'espace de quelques heures (souvent des deux côtés). L'étanchéité est cruciale par rapport aux différentes caractéristiques du terrain et aux passages à niveau. Les hau-

teurs de retenue sont nettement supérieures à celles du scénario « Évacuation sur des terrains en pente » (voir page 35). La pression hydraulique tant statique que dynamique s'exerce alors sur le système. La vitesse d'écoulement se situe dans l'ordre de grandeur de 0,5 à 3 m/s. Des actes de vandalisme, le heurt de bois flottant et, dans le cas de larges cours d'eau, des remous ne sont pas à exclure.

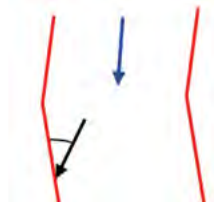
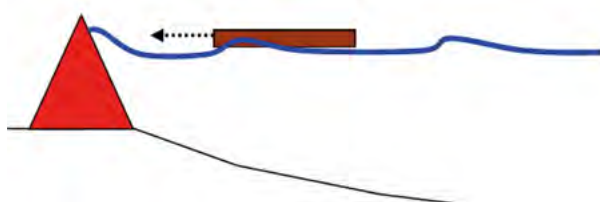


Fig. 29 : Exemple d'un système parallèle au cours d'eau (AEAI)



*Protection linéaire le long de cours d'eau (pente > 5 %)*

Ce scénario pose les exigences les plus sévères au système et aux forces d'intervention. Du fait de la dynamique, les impacts sur le système sont considérablement accrus (bois flottant, matériaux charriés, jets de lave torrentielle). En raison du bref délai de pré-alerte (le plus souvent), la mise en place doit pouvoir être exécutée très rapidement. Le but visé n'est pas l'étanchéité, mais la capacité de résister aux importants effets dynamiques jusqu'à la décrue. La pression hydraulique

tant statique que dynamique agit alors sur le système. La vitesse d'écoulement se situe dans l'ordre de grandeur de 2 à 4 m/s. En plus du heurt de bois flottant, il faut s'attendre à la sollicitation induite par les matériaux charriés et à l'apparition de vagues.

**Le système doit être monté de manière à ce que l'angle d'afflux ne soit pas supérieur à 45°.**

**Les forces d'intervention sont exposées à un grand danger si elles se tiennent à proximité du système durant la crue.**

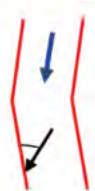
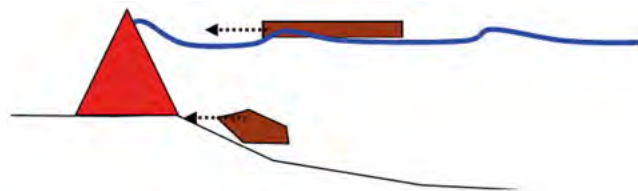


Fig. 30 : Exemple d'un système de protection linéaire le long d'un torrent.  
Des débris flottants et des matériaux charriés exercent des contraintes supplémentaires sur le système (AEAI)

### Systèmes mobiles de protection contre les crues, non spécifiques aux lieux

#### Systèmes commerciaux ou improvisés

Les systèmes commerciaux sont spécialement conçus pour protéger contre les crues. Le fabricant définit exactement les options d'utilisation, les prescriptions de sécurité, l'installation et l'entretien. Les systèmes sont dimensionnés pour l'intervention prévue et la responsabilité du fait des produits du fabricant s'applique en l'occurrence. L'utilisateur-trice doit uniquement évaluer lui/elle-même la sécurité structurale du sol sur place. En général, les systèmes commerciaux sont montés plus rapidement. Ils sont donc évoqués dans le cadre de ce document technique, mais ne sont pas traités en profondeur.

Les systèmes improvisés sont assemblés à partir de matériaux de construction simples, faciles à se procurer (p. ex. panneaux de coffrage, palettes Europe, films en matière plastique, sacs de sable, fers d'armature, bois de construction). Les constructions reposent sur l'expérience et les idées des forces d'intervention. Les constructions et les aspects varient fortement suivant le pays, la région ou l'organisation.

Il n'existe par conséquent aucune instruction de montage ni aucune prescription contraignante. Les systèmes sont fondés sur des valeurs empiriques et ponctuellement sur les calculs ou les documents de construction des organisations d'intervention. Finalement, le/la constructeur-trice est lui/elle-même responsable de l'aptitude à l'emploi et de la sécurité structurale d'une construction.

Les systèmes improvisés sont plus longs à mettre en place, mais peuvent s'adapter à pratiquement toutes les situations. C'est pourquoi ce document technique aborde les systèmes improvisés d'une manière plus approfondie. Les indications fournies doivent servir de valeurs indicatives et de moyens d'orientation à l'utilisateur-trice et l'aider ainsi à éviter des erreurs durant l'emploi. Les données reposent sur des documents techniques et sur les analyses d'organisations d'intervention et de services spécialisés reconnus. De par la grande flexibilité et les possibilités quasiment illimitées des moyens disponibles, les organisations d'intervention doivent en fin de compte décider elles-mêmes comment elles souhaitent les utiliser.



## Systèmes de sacs de sable

Les systèmes de sacs de sable sont mondialement connus et sont le plus fréquemment utilisés contre les crues du fait de leur simplicité. Même des personnes novices peuvent s'en servir.

### Avantages

- Grande souplesse : Ils peuvent s'adapter pratiquement à tous les terrains
- Stabilité relativement élevée (système agissant par gravité)
- Grande disponibilité des matériaux (sacs, sable)
- Simple et apte à l'emploi par des miliciens
- Éléments pouvant être portés par une personne
- Ne requiert aucun équipement spécial

### Inconvénients

- Chronophage
- Exigeant en personnel
- Requérant une chaîne logistique bien conçue

### Options d'utilisation

- Protection de petites zones dans le bâtiment (sopiriaux, portes, ouvertures dans le sol, portails, etc.)
- Dignes de protection de longueur variable pour protéger des zones plus grandes
- Renforcement des digues, des barrages ou des murs existants
- Consolidation des digues ébranlées pour éviter une rupture ou fermeture de brèches
- Étanchéification, lestage ou raccrochement d'autres systèmes mobiles de protection contre les crues

### Emploi de sacs de sable

#### Sac :

- Jute ou matière plastique. Le jute glisse moins que la matière plastique et s'adapte mieux au terrain. Il existe aussi sur le marché des sacs doubles, reliés entre eux. Ils permettent de réaliser des endiguements plus stables.
- Dimensions habituelles L x l (vide) : 70 x 35 cm, 80 x 40 cm
- Hauteur (rempli) env. 10 cm

#### Matériau de remplissage :

- Sable 0 – 8 mm
- Mélange sable-gravier 0 – 16 mm
- Sable de concassage, gravillons, verre pilé

### Remplissage :

- $\frac{2}{3}$  à max.  $\frac{3}{4}$  du volume doivent être remplis. Seuls des sacs de sable déformables et souples permettent de dresser des endiguements stables et denses. Des sacs trop remplis sont inutilisables.
- Conseil : remplir le sac de sable ouvert jusqu'à env. 50 %. Il en résulte un degré de remplissage approximatif de  $\frac{2}{3}$  lorsque le sac de sable est lié.

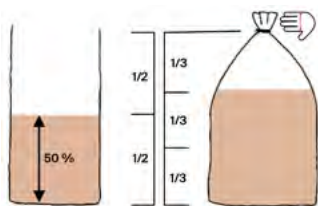


Fig. 31 : Remplissage de sacs de sable (organisme d'aide technique, THW)

### Besoins en matériaux :

- $1\text{ m}^3$  sable  $\approx 70$  sacs
- 1t sable  $\approx 50$  sacs

### Poids par sac :

- 12–20 kg
- Les sacs ne doivent pas peser plus de 15 kg, vu qu'ils doivent être transportés et mis en place le plus souvent à la main en fin de parcours (chaîne humaine). Si les sacs sont trop lourds, les forces d'intervention se fatiguent très vite et doivent être déjà remplacées au bout d'une brève période. Le danger d'accident s'accroît par ailleurs.

### Méthodes de remplissage :

- Avec la pelle, des rampes de chargement, des moyens de remplissage manuels simples tels que des entonnoirs métalliques, des cônes de balisage coupés et une échelle, des trémiss spéciales, etc. (fig. 32–35).
- Avec des remplisseuses spéciales. Celles-ci sont parfois même équipées de machines servant à coudre les sacs. Des rendements nettement supérieurs peuvent être obtenus avec ces appareils spéciaux. Cependant, ces derniers doivent être disponibles ; ils exigent en plus parfois un petit engin de chantier pour le chargement (fig. 36).
- Avec un silo de transbordement ou un camion malaxeur issus du secteur du bâtiment (figures 37/38).



Fig. 32 : Rampe de chargement de sable (OFPP)



Fig. 33 : Trémie manuelle  
(Seidel-Hochwasserschutz.de)



Fig. 36 : Remplisseuse à quatre postes de remplissage (OFPP)



Fig. 34 : Trémie (SAQUICK) (THW)



Fig. 37 : Camion malaxeur (Wikipedia)



Fig. 35 : Cônes de balisage avec échelle (THW)



Fig. 38 : Silo de transbordement (BAKO AG)

Capacité de remplissage à la main  
(sans remplisseuse) :

2 personnes  
→ de 50 à 100 sacs/h

10 personnes  
→ de 500 à 800 sacs/h

50 personnes  
→ de 2500 à 4000 sacs/h

Nouage :

- Toujours fermer les sacs de sable (cordon intégré, ficelle, serre-câble, fil torsadé pour fers d'armature, machine à coudre les sacs de sable, etc.).
- La taille du nœud avoisine la largeur d'une paume de main.
- En cas d'urgence, l'ouverture du sac de sable peut être seulement rabattue à titre exceptionnel sans être nouée.

Transport par des sauveteurs-  
formant une chaîne :

- Les sacs de sable doivent être transportés le plus souvent à la main du site de remplissage jusque sur le lieu d'endiguement proche. La constitution d'une chaîne humaine s'avère appropriée à cette fin (fig. 39).
- Règle fondamentale : une personne par mètre. Ne pas jeter les sacs de sable, mais les transmettre de mains en mains d'une personne à l'autre.

Élimination :

- Les sacs de sable sont en général tellement salis ou contaminés après une intervention qu'ils ne sont plus réutilisables, mais qu'ils doivent être éliminés dans les règles de l'art.

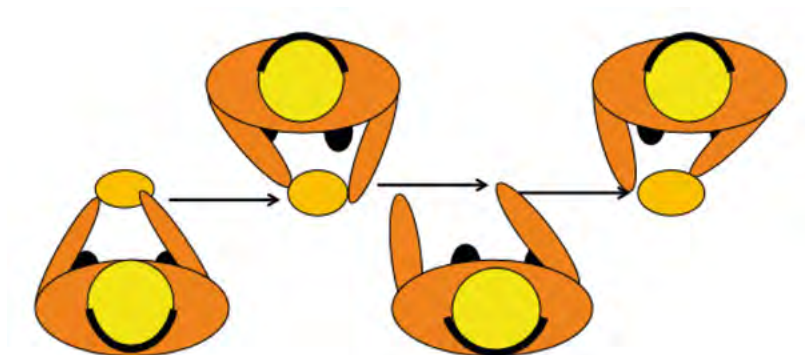


Fig. 39 : Représentation schématique d'une chaîne de sauveteurs pour transporter des sacs de sable  
(école régionale des sapeurs-pompiers du Bade-Wurtemberg)





Fig. 40 : Forme de base d'une digue constituée de sacs de sable.

### *Endiguement à l'aide de sacs de sable*

#### Principes généraux :

- Les sacs de sable doivent être posés en décalé tant à l'horizontale qu'à la verticale. Ne former aucun joint continu.
- Poser à plat sans chevauchement.
- Toujours orienter les sacs de sable avec le nœud vers l'intérieur (tourné du côté opposé à l'eau) (exception : des sacs de sable rabattus, non noués doivent être posés avec l'ouverture dirigée vers l'eau).
- Mettre en place les sacs avec de l'élan (mais sans les jeter) et les tasser avec précaution.
- Pour améliorer la stabilité et l'étanchéité, un film en matière plastique peut être déployé directement à l'extérieur du côté de l'eau, ou pour protéger le film, derrière la première couche de sacs de sable.

**Si une digue formée de sacs de sable est débordée, les sacs supérieurs risquent d'être emportés. Si la brèche s'agrandit, l'écoulement augmente- la digue risque d'être détruite très rapidement.**



Fig. 41 : Digue de sacs de sable débordée (OFFPP)

Digue normale :

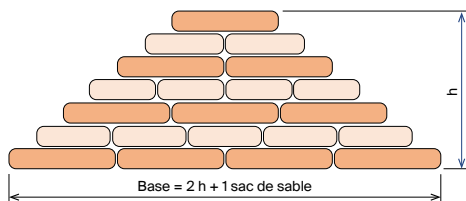


Fig. 42 : Endiguement normal avec des sacs de sable

- Pour une sollicitation normale et une technique de pose simple.
- Le fond (la partie la plus basse) des sacs de sable est dirigé vers l'eau à la base et dans toutes les autres couches impaires.
- Les sacs de sable sont tournés de 90° dans les couches paires.

Digue réglementaire :

- Pour une sollicitation accrue. Exige une technique de pose spéciale (assemblage longitudinal et transversal).
- Ce système d'empilage permet de construire des digues très stables moyennant peu de matériaux et de temps.
- Il est déterminant de déposer précisément les sacs de sable par couches selon l'assemblage longitudinal et transversal décrit sur le schéma.
- $B \geq 2 \times h$

**Base à 3 sacs: 60 cm**

(env. 60 sacs / mètre courant = mc)

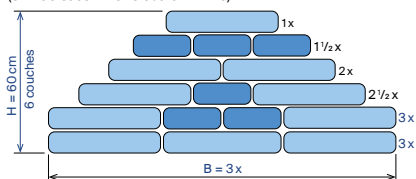


Fig. 43 : Montage d'une digue réglementaire présentant une base à 3 sacs (THW)

La partie supérieure d'une digue à base de 4 ou 5 sacs est toujours constituée des digues plus petites :

**Base à 4 sacs: 80 cm** (env. 90 sacs / mc)

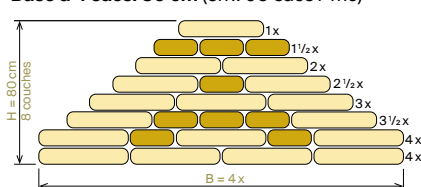


Fig. 44 : Montage d'une digue réglementaire présentant une base à 4 sacs (THW)

**Base à 5 sacs: 100 cm** (env. 130 sacs / mc)

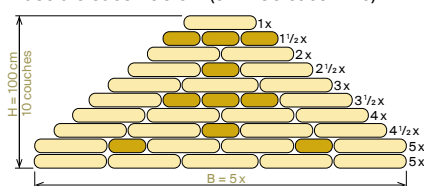


Fig. 45 : Montage d'une digue réglementaire présentant une base à 5 sacs (THW)



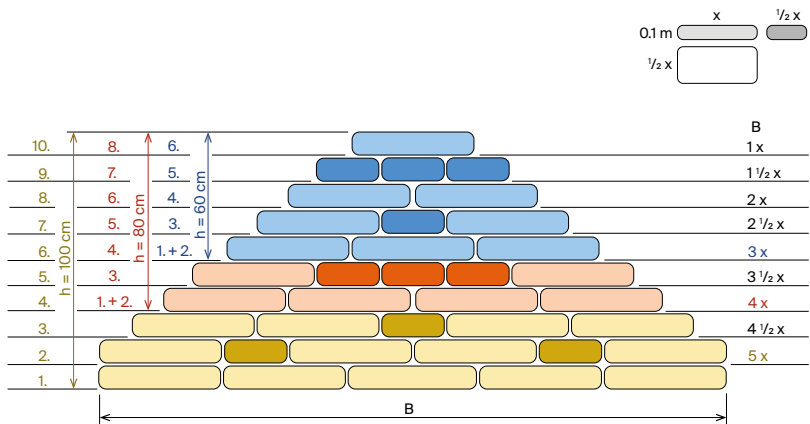


Fig. 46 : Montage d'une digue réglementaire (THW)



Fig. 47 : Montage d'une digue normale (OFPP)



Fig. 48 : Exemple d'une digue réglementaire (OFPP)

Digue d'urgence :

- Faute de temps, une digue d'urgence peut être mise en place.
  - La première moitié de la digue est d'abord érigée dans un rapport  $h : b = 1 : 1$  (à  $45^\circ$  du côté de l'eau, à la verticale du côté de la terre (fig. 48)). Elle procure la première protection contre la crue.
  - Le versant oblique est toujours dirigé vers l'eau et non l'inverse. La pression hydraulique verticale a pour effet de stabiliser en plus la digue d'urgence.
- Pour améliorer la stabilité au glissement, seuls des sacs de jute devraient être si possible utilisés.
  - Étant donné qu'une demi-digue est moins étanche, la mise en place d'un film d'étanchéité est indispensable du côté de l'eau.
  - La seconde moitié de la digue est ensuite édifée du côté de la terre de manière analogue au cours d'une seconde étape.

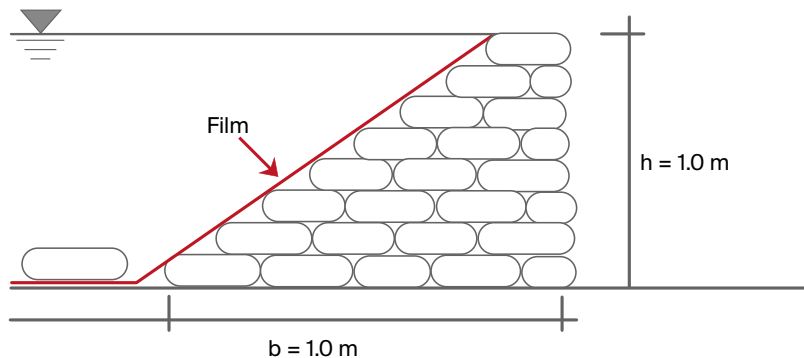


Fig. 49 : Montage d'une digue d'urgence (manuel de construction de l'Armée suisse)



Fig. 50 : Protection d'un soupirail ou d'un passage (Assurance immobilière du canton de Berne AIB)

### *Constitution de murs de sacs de sable simples*

Pour des mesures de protection limitées dans un bâtiment (soupiraux, baies de porte, etc.), il est aussi possible d'obtenir un bon effet protecteur avec de simples « murs de sacs de sable ».

#### Avantages :

- Facile à monter et pouvant aussi être aisément mis en place par les occupants d'une maison eux-mêmes en cas d'événement après de brèves instructions
- Exige peu de temps, de matériaux et de place

#### Principes pour l'intervention :

- Largeur  $\geq$  longueur d'un sac de sable
- **Hauteur  $\leq$  50 cm**
- Longueur maximale d'un endiguement  $\approx$  1–2 m.  
Ne pas utiliser pour de longs ouvrages de construction.
- Toujours disposer les sacs de sable par couches en décalé (fig. 50)
- Éventuellement, utiliser en plus un film en matière plastique et des planches de coffrage (devant les ouvertures).

**Le système n'est pas capable de résister à une forte contrainte dynamique. Il ne doit donc être utilisé en principe qu'en cas d'inondations statiques.**



Fig. 51 : Empilement de sacs de sable en décalé (manuel de construction de l'Armée suisse).

### *Logistique*

Un facteur de réussite décisif pour dresser de plus grands systèmes de protection contre les crues avec des sacs de sable réside dans une logistique de transport, de matériaux et de personnel bien conçue et fonctionnant parfaitement. Diverses questions se posent en l'occurrence lors de la planification.

**Remplissage :** Où et avec quels moyens les sacs de sable peuvent-ils être remplis ?

- De manière centralisée en dehors de la zone d'intervention (par ex. dans la gravière)
- Sur un site avancé à l'intérieur de la zone d'intervention
- Directement à l'emplacement de l'endiguement

**Mise à disposition :** Comment les sacs de sable doivent-ils être fournis en vue de leur transport (par ex. sur des palettes Europe de 120 x 80 cm éventuellement avec un cadre) ?

- 9 sacs par couche
- 9-10 couches
- Faire pivoter chaque couche de 180°
- Une palette Europe permet d'empiler 50-80 sacs de sable, ce qui équivaut à un poids de 1.2-1.5 t.

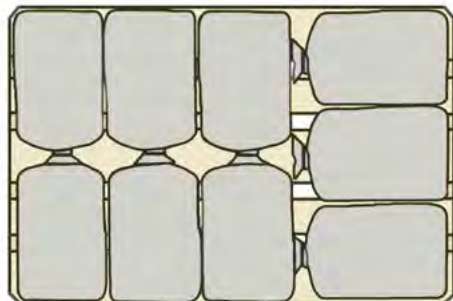


Fig. 52 : Mise à disposition de sacs de sable sur des palettes Europe (THW & OFPP)

**Transport :** Comment les sacs de sable peuvent-ils être transbordés et transportés jusqu'à l'emplacement de l'endiguement ?

- Chariot élévateur, chargeur à bras télescopique
- Transport sur route par camion
- Transport tout-terrain avec un chargeur à bras télescopique, un transporteur agricole, un tombereau sur chenilles (à benne basculante)
- Voiture à bras, brouette
- Chaîne de sauveteurs

**Personnel :** Combien de forces d'intervention sont requises et dans quels intervalles de temps doivent-elles être remplacées ?

10 membres des forces d'intervention par heure (pauses incluses) peuvent soit :

- remplir 500 sacs de sable,
- décharger et transporter 800 sacs de sable (sur max. 10 m) ou
- poser 800 sacs de sable.

**Le sable est lourd. Sans véhicules appropriés pour transborder et transporter efficacement les sacs de sable, des endiguements de grande envergure ne sont pas réalisables.**

| Capacités requises                         | Digue de sacs de sable longue de 100 m |                      |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|
|                                            | Hauteur de digue 0,5 m                 | Hauteur de digue 1 m |
| Sacs de sable de 16 kg chacun              | 3500                                   | 14000                |
| PL (5 t charge utile)                      | 12                                     | 48                   |
| Silos de transbordement                    | 4                                      | 8                    |
| Nombre de personnes nécessaires au montage | 40 durant 1h                           | 50 durant 3h         |

Tab. 10 : Capacités approximativement requises pour mettre en place une digue de sacs de sable



### **Systèmes de panneaux**

Les systèmes de panneaux font partie des systèmes improvisés. Ils sont assemblés en général avec des panneaux de coffrage, des fers d'armature, des pieux en bois, des films en matière plastique et des sacs de sable.

#### **Avantages**

- Simple et apte à l'emploi par des miliciens
- N'exige que peu de personnel
- Hautes performances (en fonction du terrain)
- Grande disponibilité des matériaux (chantiers, magasins de matériaux de construction)
- Éléments petits pouvant être portés par une personne
- Ne nécessitant aucun équipement spécial

#### **Inconvénients**

- Non approprié à un terrain très accidenté ou dur (rocher, béton)
- Hauteur de montage limitée (50 cm)
- Stabilité restreinte

#### *Options d'utilisation*

- Évacuation d'une crue le long des routes ou dans les prairies
- Protection d'entrées de garage ou d'accès aux bâtiments
- Empêcher le déclenchement d'une crue à partir d'un cours d'eau
- Protection linéaire sur un terrain légèrement incliné
- Objectif visant en premier lieu non pas l'étanchéification, mais l'évacuation ou la dérivation de l'eau

### Principes pour l'intervention

#### Montage :

- Le système ne convient qu'à des hauteurs d'eau jusqu'à env. 40 cm.
- Disposer les panneaux de coffrage par chevauchement (faire attention au sens de l'écoulement).
- Stabiliser les planches de coffrage par l'enfoncement alterné de fers d'armature (de pieux en bois dans un sol mou).
- Suivant le sol, la stabilité face aux impacts dynamiques n'est pas très grande en raison de l'effet de levier. S'il faut s'attendre à des sollicitations supérieures, le système doit être consolidé en plus par un étaieement oblique.
- L'étanchéité et la stabilité peuvent être améliorées à l'aide de films et d'un alignement de sacs de sable du côté de l'eau.

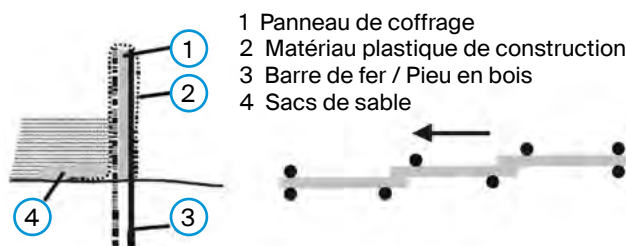


Fig. 53 : Section transversale et vue d'un système de panneaux (AEAI)

### Logistique

| Capacités requises approx.                         | Système de panneaux long de 100 m et haut de 50 cm |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Sacs de sable de 16 kg chacun                      | 150                                                |
| PL (5 t charge utile)                              | 1                                                  |
| Panneaux de coffrage                               | 50                                                 |
| Fers d'armature / pieux en bois (longs d'env. 1 m) | 100                                                |
| Film en matière plastique                          | 250 m <sup>2</sup>                                 |
| Silos de transbordement                            | 1                                                  |
| Nombre de personnes nécessaires au montage         | 4 – 8 durant 1h                                    |

Tab. 11 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système de panneaux



Structure de base



Sécurisation des fers d'armature par du fil torsadé



Étalement supplémentaire par du bois équerri



Consolidation avec des supports de coffrage réglables, issus du secteur du bâtiment

**Fig. 54 : Mise en place de divers systèmes de panneaux (OFPP)**





### Systèmes de supports

Un système de supports comprend un élément d'étaie, un élément de paroi, un film d'étanchéité et du matériel de fixation. Des systèmes tant commerciaux qu'improvisés sont utilisés.

### Avantages

- Généralement facile à mettre en place
- Exige peu de personnel
- Hautes performances (suivant le terrain) moyennant peu de personnel
- Grande disponibilité des matériaux (systèmes improvisés)
- Des hauteurs de retenue élevées peuvent être atteintes par endroits (systèmes commercialisés)
- Pièces détachées pouvant être portées

### Inconvénients

- Non approprié à un sol accidenté
- Ne convenant pas au heurt de débris flottants en cas d'emploi de palettes Europe
- Des changements de direction sont difficilement réalisables s'agissant de systèmes improvisés.

### Options d'utilisation

- Murs d'endiguement linéaires de n'importe quelle longueur
- Protection annulaire pour préserver des bâtiments

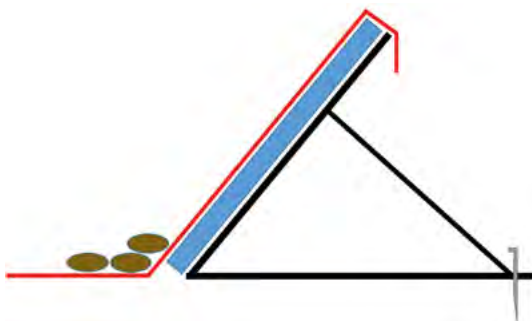


Fig. 55 : Montage d'un système de supports (OFPP)



Fig. 56 : Support d'étalement avec des plaques métalliques sans film d'étanchéité (Flood Control International)

### *Systèmes commerciaux*

De nombreux systèmes différents sont proposés sur le marché. Jusqu'à 3 m de hauteur de retenue sont réalisables par endroits. Les étais sont le plus souvent à base d'acier et sont pliables, tandis que les éléments de paroi sont constitués de plaques de bois, de matière plastique ou d'acier. Des éléments d'angle spéciaux permettent de changer la direction du système. Des constructions triangulaires stables sont aussi proposées sur le

marché sous le terme « systèmes de digue ». Les prescriptions des fabricants s'appliquent à tous les systèmes.

### *Systèmes improvisés*

Les systèmes de supports improvisés comprennent quasi exclusivement des palettes Europe (cotes de base 120 × 80 cm). Les palettes Europe sont disponibles pratiquement partout en grand nombre, elles sont transportables par une seule personne et sont faciles à mettre en place. Elles présentent pour inconvénients de posséder des dimensions fixes et de manquer de souplesse en cas de changements de direction.

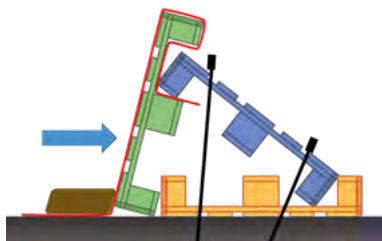


Fig. 57 : Principe de construction avec trois palettes (OFPP)

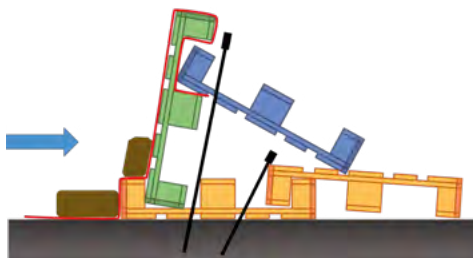


Fig. 58 : Principe de construction avec quatre palettes (OFPP)

Principes pour l'intervention :

- Le système à trois palettes est plus simple et exige moins d'éléments.
- Les palettes doivent toujours être disposées en décalé et aucun joint continu ne doit être formé.
- Vu que le bois flotte, les palettes doivent toujours être assurées avec des piquets ou des sacs de sable.
- En raison des ouvertures pratiquées dans les palettes, le film d'étanchéité constitue l'élément le plus vulnérable du système. Il doit pouvoir tenir face à la pression hydraulique directe et être particulièrement résistant à la déchirure.
- Pour cette raison, le système ne convient pas s'il risque d'être heurté par des débris flottants et des matériaux charriés.
- Les changements de direction et les raccordements à d'autres systèmes ne sont que difficilement réalisables ou uniquement sous certaines conditions.

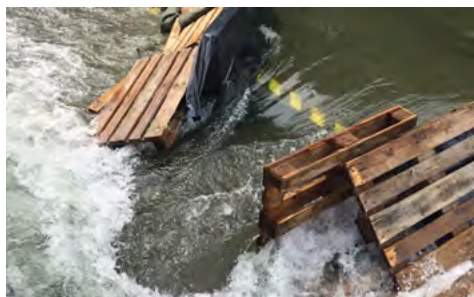


Fig. 59 : Barrage de palettes emporté par le courant (OFPP)

**Offrant une hauteur de retenue d'env. 80 cm, ce système excède la hauteur maximale recommandée de 60 cm, applicable aux systèmes d'urgence. Les risques encourus dans le cas d'une défaillance doivent donc être clarifiés de manière particulièrement détaillée. Des palettes murales ne doivent jamais être utilisées debout (hauteur de retenue de 120 cm).**

Exemples pratiques :



Fig. 60 : Barrage avec trois (AIB) et quatre palettes (OFPP)

*Logistique*

| Capacités requises                       | Système de supports long de 100 m      |                                      |
|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
|                                          | Tôle d'acier de 1,5 mm, haute de 0,6 m | Tôle d'acier de 3 mm, haute de 1,5 m |
| PL pour le transport                     | 1                                      | 1                                    |
| Éléments d'étalement                     | 85 de 8 kg chacun                      | 85 de 60 kg chacun                   |
| Plaques de 10 kg chacune                 | 85                                     | 255 de 30 kg chacun                  |
| Film d'étanchéité                        | 250 m <sup>2</sup>                     | 400 m <sup>2</sup>                   |
| Sacs de sable de 16 kg chacun            | 150                                    | 150                                  |
| Tirants d'ancrage au sol                 | 100                                    | 100                                  |
| Personnes nécessaires à la mise en place | 4 durant 1 h                           | 8 durant 1 h                         |

Tab. 12 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système commercial à base de tôle d'acier (exemple)



### Systèmes de boudins et systèmes de réservoirs fermés

Les systèmes de boudins et de réservoirs constituent des systèmes commerciaux de protection contre les crues. Les prescriptions des fabricants s'appliquent en conséquence. De très nombreuses variantes d'exécution différentes sont proposées sur le marché. L'enveloppe de réservoir est constituée de matière plastique ; elle est remplie d'eau, de sable ou d'air.

#### Avantages

- Système simple et rapide à monter
- Exige peu de personnel
- Hautes performances
- Très grande souplesse facilitant la pose sur un terrain accidenté ou lors de changements de direction (système de boudins)
- Hauteurs de retenue élevées peuvent être atteintes par endroits
- Très stable (systèmes agissant par gravité)

#### Inconvénients

- Ne pouvant pas être porté sur des distances moyennes, car exigeant des moyens mécaniques
- Ne convenant pas au heurt de débris flottants
- Systèmes remplis d'eau problématiques en cas de gel
- Danger de vandalisme

Les systèmes de boudins remplis d'eau sont de loin les plus répandus en Suisse. Deux boudins doivent toujours être posés parallèlement l'un à côté de l'autre, vu qu'un boudin seul s'écarterait en roulant. Pour parvenir à une hauteur de retenue supérieure, un troisième boudin peut être posé dessus.

**Les boudins remplis d'eau sont très lourds. Ils peuvent déjà glisser sur une surface lisse (par ex. herbe humide) présentant une faible inclinaison latérale et ne peuvent plus être retenus par des moyens simples. Du fait de leur poids élevé, ils peuvent mettre en danger des personnes.**

Mise en place standard :

- Dérouler les boudins
- Les remplir d'air
- Positionner et relier les boudins
- Les remplir d'eau (tout en les désaérant)

*Options d'utilisation*

- Protection linéaire de n'importe quelle longueur
- Protection annulaire de bâtiments
- Évacuation ou canalisation de l'eau
- Rehaussement de digues de protection
- Création de bassins d'eau

Exemples pratiques :



Fig.61 : Système de boudins remplis d'eau (Beaver) et éléments en matière plastique remplis d'eau avec système d'emboîtement (Aeschlimann Hochwasserschutz AG)

*Logistique*

| Capacités requises approx.                                | Système de boudins<br>long de 100 m, haut de 60 cm |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| PL (5 t charge utile)                                     | 1                                                  |
| Éléments doubles de boudin de 10 m chacun (50 kg l'unité) | 10                                                 |
| Ventilateur de remplissage d'air                          | 1-2                                                |
| Pompe incluant les tuyaux de remplissage d'eau            | 1                                                  |
| Eau                                                       | 60 m <sup>3</sup>                                  |
| Personnes nécessaires au montage                          | 4 durant 1h                                        |

Tab. 13 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système de boudins.



## Systèmes de barrières déployables

Les systèmes de barrières déployables constituent des systèmes commerciaux. Ils sont composés d'une membrane en matière plastique et fonctionnent comme une poche pliée dont l'ouverture est dirigée vers l'eau. Les poches se remplissent en présence d'un écoulement d'eau et se dressent alors automatiquement.

### Avantages

- Système simple et très rapide à monter
- N'exige que peu de personnel
- Peut être encore traversé à l'état fermé, non sollicité (parfois même par des véhicules)
- Aucune installation supplémentaire requise

### Logistique

### Inconvénients

- Non approprié à un sol très accidenté
- Danger de vandalisme

### Options d'utilisation

Les systèmes de barrières déployables servent à bloquer l'eau s'écoulant de front.

### Exemple pratique :



Fig. 62 : Système de barrière déployable en intervention (MegaSecur Europe)

| Capacités requises approx.                                     | Système de barrières déployables long de 100 m, haut de 50 cm |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| VP véhicule personnel pour le transport                        | 1                                                             |
| Éléments de barrière déployable de 15 m chacun (34 kg l'unité) | 10                                                            |
| Tirants d'ancrage au sol (selon le sol)                        | 200                                                           |
| Personnes nécessaires au montage                               | 2-4 durant 30 min                                             |

Tab. 14 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système de barrières déployables.



### Systèmes de bassins

Les systèmes de bassins comprennent une ossature et une enveloppe extérieure. Ils sont remplis d'eau, de sable ou de terre. L'étanchéité des joints verticaux entre les différents bassins est garantie par la pression appliquée. Des systèmes tant commerciaux qu'improvisés sont utilisés, sachant que pratiquement aucun système commercial n'existe en Suisse.

#### Avantages

- Facile à mettre en place
- Ouvrages de protection réalisables dans n'importe quelle longueur
- Changements de direction possibles
- Très stable (système agissant par gravité)

#### Inconvénients

- Non approprié à un terrain très accidenté
- Danger de vandalisme
- Systèmes remplis de sable ou de terre exigeant l'emploi d'engins de chantier légers



Fig. 63 : Système improvisé de réservoirs avec des sacs industriels (THW)

#### Options d'utilisation

Un système de bassins est utilisé pour la protection linéaire ou annulaire sur terrain plat.

#### Systèmes improvisés

- Des sacs industriels ou des sacs de transport de charges lourdes (« big bags ») ou sacs de grande capacité) et du sable permettent de mettre en place aisément des systèmes de réservoirs fonctionnels.



### Principes d'utilisation des sacs de grande capacité :

- Un terrain résistant au poids constitue la condition préalable. Les sacs industriels ne doivent pas se renverser.
- Remplissage directement sur place avec un chargeur pneumatique ou un camion malaxeur ou remplissage préalable des sacs industriels et transport par les boucles de levage sur le lieu d'installation avec un engin de chantier ou un chariot élévateur à fourche.
- Les réservoirs doivent être amassés de façon à être serrés les uns contre les autres.
- Les sacs industriels n'étant pas renforcés, ils risquent de se déformer avec le temps. Pour empêcher cette déformation, de simples châssis en bois peuvent être insérés, servant de renfort avant le remplissage.



Fig. 64 : Remplissage de sacs de grande capacité renforcés avec un camion malaxeur (INN-PACK)

- Par ailleurs, il est possible de relier 2 à 4 sacs les uns aux autres tels un accordéon en assemblant les châssis en bois par vissage et de stabiliser ainsi le système (de tels systèmes sont également commercialisés).

### Logistique

| Capacités requises approx.                         | Système de bassins long de 100 m, haut de 100 cm |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| PL (5 t de charge utile) pour transporter le sable | 26                                               |
| PL pour transporter les bassins                    | 1                                                |
| Éléments de bassin de 2 m chacun (40 kg l'unité)   | 50                                               |
| Chargeur pneumatique pour remplir de sable         | 2                                                |
| Sable                                              | 80 m <sup>3</sup>                                |
| Personnes nécessaires au montage                   | 4 durant 1 h                                     |

Tab. 15 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système commercial de bassins (remplis de sable).



### Système d'éléments en béton

Il s'agit en principe d'un système improvisé. Des parois en béton mobiles, issues du secteur du bâtiment, sont utilisées comme éléments de protection (par ex. glissières de sécurité temporaires). Elles sont longues d'env. 2 m et résistent à des forces dynamiques élevées.

**Le système doit être monté de manière à ce que l'angle d'afflux ne soit pas supérieur à 45°.**

#### Avantages

- Résistance élevée aux impacts dynamiques
- Très stable (système agissant par gravité)
- Changements de direction possibles
- Disponible auprès des entreprises de construction et des services de voirie

#### Inconvénients

- Exigeant des engins lourds pour le transport et la mise en place
- Non étanche

#### Options d'utilisation

- Application dans le cas d'un impact dynamique très élevé de l'eau.
- Empêcher la sortie locale de torrents (sur la rive extérieure d'une courbe, à proximité de ponts, de murs de berge menaçant de s'effondrer etc.).
- Protection contre les vagues hautes au bord des lacs.



Fig. 65 : Éléments de parois de protection mobiles en béton (Wikipedia).

### *Logistique*

| <b>Capacités requises approx.</b>                 | <b>Système d'éléments en béton<br/>long de 100 m, haut de 100 cm</b> |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| PL (6.5 t de charge utile) pour le transport      | 13                                                                   |
| Éléments en béton de 2 m chacun (1600 kg l'unité) | 50                                                                   |
| Engins de chantier pour soulever et déplacer      | 2                                                                    |
| Personnes nécessaires au montage                  | 4 durant 1 h                                                         |

**Tab. 16 : Capacités requises approximativement pour mettre en place un système d'éléments en béton.**

### Aperçu des conditions liées aux systèmes

|           |                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b>  | <b>Sacs de sable</b>                                   |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                    |
| <b>2</b>  | <b>Panneau</b>                                         |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                     |
| <b>3</b>  | <b>Boudin / Réservoir à remplir d'eau</b>              |                   |                   |
| <b>4</b>  | <b>Boudin à remplir de sable</b>                       |                   |                   |
| <b>5</b>  | <b>Boudin à remplir d'air</b>                          |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                     |
| <b>6</b>  | <b>Bassin à remplir d'eau</b>                          |                   |              |
| <b>7</b>  | <b>Bassin à remplir de sable</b>                       |                   |          |
| <b>8</b>  | <b>Barrière déployable, bâche en matière plastique</b> |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                             |
| <b>9</b>  | <b>Support de barrière anticrue, version légère</b>    |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                             |
| <b>10</b> | <b>Support de barrière anticrue, version lourde</b>    |       |       |
| <b>11</b> | <b>Digue</b>                                           |       |       |
| <b>12</b> | <b>Élément en béton</b>                                |       |       |

Fig. 66 : Récapitulatif des différents systèmes (AEA).

## Aide à la décision quant à l'utilisation

| Image                                                                               | Type de système /<br>Spécification                       | 1. Évacuation sur<br>un terrain en pente | 2. Protection annulaire<br>d'une dépression | 3. Blocage d'un écoule-<br>ment sur une route | 4. Protection linéaire<br>d'un lac | 5. Protection linéaire<br>d'un cours d'eau | 6. Protection linéaire<br>d'un torrent | 7. Barrage d'un cours<br>d'eau | 8. Rétention de liquides |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|    | Sac<br>Sac de sable                                      | ■                                        | ■                                           | ■                                             | ▲                                  | ▲                                          | ▲                                      | ▲                              | ▲                        |
|    | Sac<br>Sac double                                        | ■                                        | ■                                           | ■                                             | ▲                                  | ■                                          | ▲                                      | ▲                              | ▲                        |
|    | Panneau<br>Panneau de coffrage                           | ■                                        | ●                                           | ■                                             |                                    | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ●                        |
|    | Boudin/Réservoir<br>Remplissage d'eau                    | ■                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ■                        |
|    | Boudin<br>Remplissage de sable                           | ●                                        | ▲                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ●                        |
|    | Boudin<br>Remplissage d'air                              | ■                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ■                        |
|   | Bassin<br>Remplissage d'eau                              | ●                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ▲                        |
|  | Bassin<br>Remplissage de sable                           | ●                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ▲                              | ▲                        |
|  | Barrière déployable<br>Membranes en matière<br>plastique | ●                                        | ▲                                           | ■                                             | ▲                                  | ▲                                          | ●                                      | ■                              | ▲                        |
|  | Support de barrière anticrue<br>Variante légère          | ▲                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ■                              | ▲                        |
|  | Support de barrière anticrue<br>Variante lourde          | ●                                        | ■                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ▲                                      | ●                              | ▲                        |
|  | Digue<br>Élément en matière plastique                    | ●                                        | ▲                                           | ■                                             | ■                                  | ■                                          | ●                                      | ●                              | ▲                        |
|  | Masse<br>Élément en béton                                | ●                                        | ●                                           | ▲                                             | ●                                  | ●                                          | ■                                      | ▲                              | ●                        |

Fig. 67 : Aide à la décision concernant les systèmes et leur possibilité d'application, partie 1 (CSSP).

# Défense des digues

## Mesures d'urgence sur les digues de protection contre les crues

Le langage technique différencie les digues des barrages. Les barrages font toujours l'objet d'une rétention d'eau, les digues seulement occasionnellement (en cas de crues). La présente documentation ne fait pas la distinction entre barrage et digue, le terme digue étant seul utilisé.

**Les digues peuvent se rompre brusquement sans raison apparente aux yeux d'un profane. Les interventions de protection contre les crues sur des digues ne doivent être réalisées que sous la direction d'une personne compétente.**



Fig. 68 : Rupture d'une digue (Robert Jüpner, Université technique de Kaiserslautern).

Il est souvent difficile et insuffisant d'évaluer la stabilité d'une digue en se basant sur des impressions purement visuelles. Pour l'apprécier objectivement et en déduire des mesures efficaces, il faut connaître aussi la structure et l'histoire de la digue.

Règles fondamentales :

- Toujours établir et mettre en œuvre un plan de protection.
- Ne pas solliciter ni franchir inutilement la crête, les talus et le lit mineur de la digue. Éviter les secousses.
- Ne pas empêcher ni arrêter l'écoulement d'eau d'infiltration.
- Ne pas fouiller dans les sorties d'eau d'infiltration.
- Ne pas enlever les matériaux de digue éboulés.
- Ne pas enfoncer des pieux ou d'autres poteaux dans la digue.
- Ne poser des revêtements d'étanchéification (par ex. films) que du côté de l'eau, jamais du côté des terres.
- Toujours mettre en œuvre les mesures du côté des terres en assurant la perméabilité.

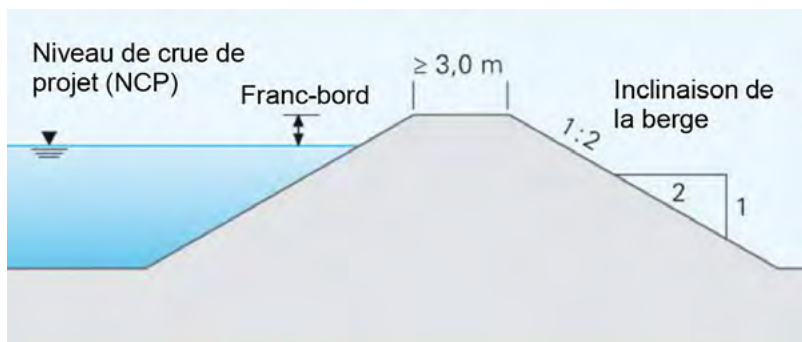


Fig. 69 : Géométrie d'une digue de protection contre les crues (Office bavarois de l'environnement).

## Système de classification des dommages

| Classification                                                                                               |                                         | Conséquences                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>Problématique</b>    | Stabilité réduite                       | Observation et préparatifs                                                                             |
|                                                                                                              | Stabilité pas encore mise en danger     | Défense de la digue                                                                                    |
| <br><b>Dangereux</b>      | Stabilité fortement réduite             | Défense de la digue                                                                                    |
|                                                                                                              | Rupture de digue possible               | Examiner les évacuations<br>Mettre le matériel de sauvetage à la disposition des forces d'intervention |
| <br><b>Très dangereux</b> | Rupture de digue probablement imminente | Défense de la digue immédiate et massive<br>Veiller à la sécurité des forces d'intervention            |
|                                                                                                              |                                         | Repli immédiat en cas de doute                                                                         |

Tab. 17 : Système de classification des dommages et des conséquences associées.

### Description et classification des scénarios de dommages

#### Écoulement traversant ou infiltrant la digue

Les écoulements traversant et infiltrant désignent la sortie d'eau à différents endroits du côté de l'air dans le lit mineur de la digue. D'une manière générale, une digue est considérée comme fragile et dangereuse si :

- l'eau d'infiltration est très trouble (érosion interne de la digue),
- la sortie d'eau se fait dans la partie supérieure de la digue,
- la sortie d'eau augmente considérablement,
- le volume d'eau d'infiltration croît rapidement.

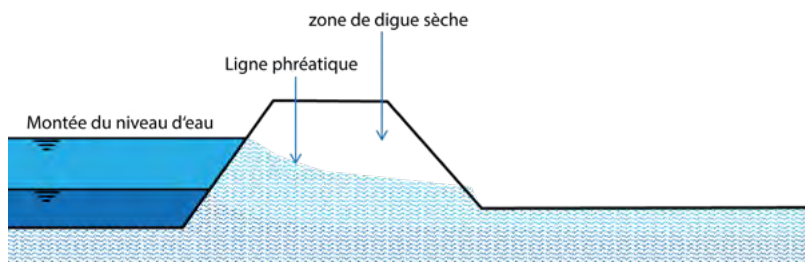


Fig. 70 : Ligne phréatique sur la digue de protection contre les crues  
(Bruno Gerber, Office des ponts et chaussées du canton de Berne)



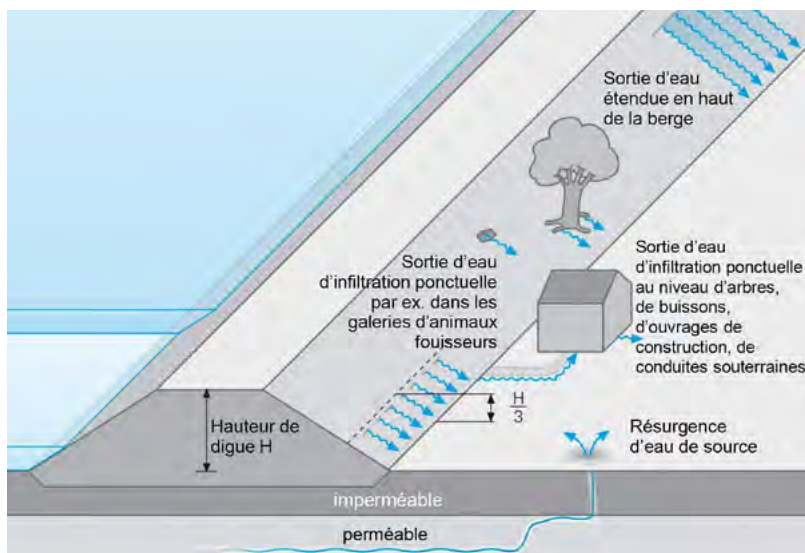


Fig.71 : Sorties d'eau d'infiltration (Office bavarois de l'environnement)

| Constatations                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Classification |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Eau gravitaire claire aux $\frac{2}{3}$ supérieurs de la HD (HD = hauteur de digue)<br>Forte sortie d'eau claire et inclinaison de la digue $> 1:2$                                                                                                                                                                                       | ■              |
| Suintement sur une grande surface d'eau gravitaire trouble<br>Eau gravitaire trouble dans la moitié inférieure de la HD<br>Montée rapide d'eau gravitaire dans les $\frac{2}{3}$ supérieurs de la HD<br>Résurgences de source dans le lit mineur de la digue                                                                              | ▲              |
| Points d'infiltration avec déversement de matériaux de la digue<br>Eau gravitaire trouble dans la moitié supérieure de la HD<br>Montée rapide d'eau gravitaire dans le $\frac{1}{3}$ inférieur de la HD<br>Forte résurgence de source dans le lit mineur de la digue avec déversement de matériaux de la digue<br>Déformation de la digue | ●              |

Tab. 18 : Classification des scénarios de dommages en cas de flux traversant ou infiltrant des digues.

### **Fissures et effondrements dans la digue**

Les déformations telles que des fissures, des effondrements et des exhaussements du côté de l'eau ou de l'air de la digue sont plus dangereuses que des suintements. Il n'existe pas de déformations qui ne soient pas dangereuses. Des fissures et des effondrements fragilisent la digue et la rendent dangereuse :

- s'ils se produisent à proximité de l'eau,
- s'ils se produisent sur une vaste surface, sur une grande longueur et en profondeur,
- si le corps de digue intact est réduit.

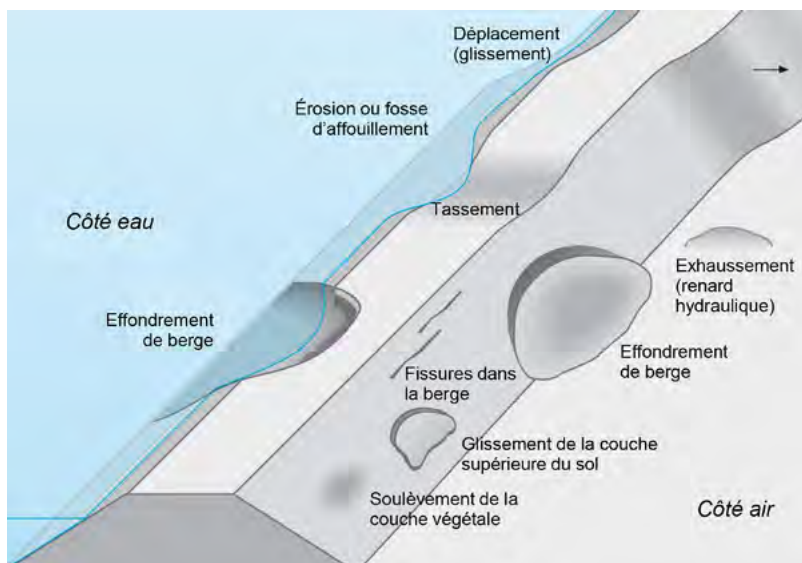


Fig. 72 : Déformations et effondrements au niveau des digues (Office bavarois de l'environnement)

| Constatations                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Classification                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Fissures ou effondrements superficiels</p> <p>La détérioration se situe au-dessus du niveau d'eau et celui-ci ne monte plus</p>                                                                                                                                                                         |  |
| <p>Fissures ou effondrements superficiels pour</p> <p>une CD (= largeur de la crête de digue) &lt; 3 m</p> <p>ou une digue d'une pente plus raide que 1:2</p> <p>Plus forte pénétration d'eau dans la digue</p> <p>Agrandissement des zones endommagées</p> <p>Fissures dans le 1/3 inférieur de la HD</p> |  |
| <p>Crête de digue affaissée et menace d'un déversement</p> <p>Montée du niveau d'eau en présence d'effondrements</p> <p>Fissures profondes dans la crête ou les berges</p> <p>Déformation du talus du côté de l'air</p>                                                                                    |  |

**Tab. 19 : Classification des scénarios de dommages en cas de fissures et d'effondrements**  
(HD = hauteur de digue, CD = largeur de la crête de digue).

### Érosion du lit majeur

Une érosion du lit majeur peut survenir notamment lorsque le lit majeur descend en pente abrupte.

| Constatations                                                                                                                      | Classification                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Érosion du lit majeur jusqu'au pied de digue et début d'affouillement et de sapement                                               |  |
| Effondrement présentant le danger d'une rupture de digue<br>Mise en danger de la stabilité de la digue en cas d'érosion ultérieure |  |

Tab. 20 : Classification des scénarios de dommages dans le cas de l'érosion du lit majeur.

Déversement de la digue



Fig.73 : Classification des scénarios de dommages dans le cas de l'érosion du lit majeur (Office bavarois de l'environnement)

| Constatations                                                                                                                                                                                    | Classification |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Seulement une légère surverse, talus consolidé du côté de l'air (par du béton, de l'asphalte)                                                                                                    | ▲              |
| Surverse forte ou augmentant rapidement<br>Talus du côté de l'air présentant une pente plus raide que 1: 2<br>Talus non consolidé du côté de l'air<br>Danger de rupture de digue, repli immédiat | ● ●            |

Tab. 21 : Classification d'événements dommageables dans le cas d'un déversement de la digue.

### Mesures d'urgence

#### Patrouille de reconnaissance / garde de digue

Tâches et comportement :

- Éviter la digue et l'observer si possible à partir d'une distance de sécurité.
- Détection de points d'infiltration sur le talus de la digue du côté de l'air et au pied de la digue (quantité, turbidité, augmentation ou diminution).
- Constat d'altérations sur le corps de digue (tassements, fissures, effondrements, soulèvements).
- Lecture de l'échelle de crue.

- Observation de la surface de l'eau pour y détecter de forts tourbillons (indiquant éventuellement l'apparition de zones d'affouillement ou d'arrachements de berge).
- Contrôle du niveau d'eau et du franc-bord existant.

#### Étalement de la digue du côté des terres

L'étalement de la digue du côté des terres vise à établir une structure de digue suffisamment forte avec un épaulement. Il y est d'abord procédé au pied de la digue et des sacs de sable sont ensuite posés uniformément tant sur la hauteur de la digue que dans le lit mineur (jusqu'à env.  $\frac{2}{3}$  de la longueur du talus).

**Si l'étalement n'est pas prolongé assez loin dans le lit mineur, la stabilité de la digue n'est pas accrue, mais amoindrie.**

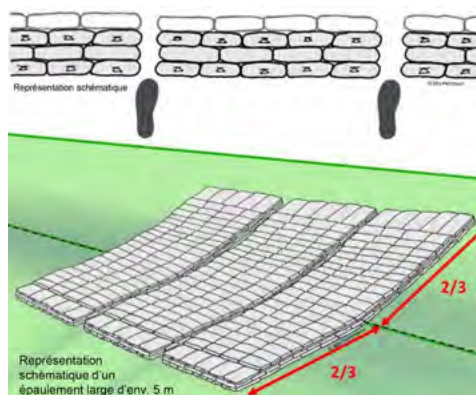


Fig.74 : Principe d'un étalement de digue avec des sacs de sable (THW)

La première couche est posée avec le fond de sac orienté longitudinalement vers l'eau. Tous les cinq sacs de sable, il convient de laisser un espace libre de la largeur d'une chaussure (env. 5 cm) servant au drainage (« l'herbe doit voir le ciel »). Alternativement, il est possible d'appliquer d'abord une couche filtrante laissant passer l'eau gravitaire, mais retenant en même temps les particules du sol (par ex. géotextile, treillis d'armature en acier, tiges de bois, graviers de drainage). Il ne faut en aucun cas entraver ou même arrêter la sortie d'eau d'infiltration. Au moins quatre couches de sacs de sable peuvent

être posées ensuite. Chaque couche est soumise à un pivotement de 90°. Les secousses doivent être évitées (ne pas jeter les sacs). Alternative-ment, il est aussi possible d'utiliser des systèmes de boudins mobiles, des remblais avec des graviers ou du sable (aucun matériau cohésif) ou des sacs industriels remplis de sable (sacs de grande capacité) pour servir d'épaulement à la place des sacs de sable.

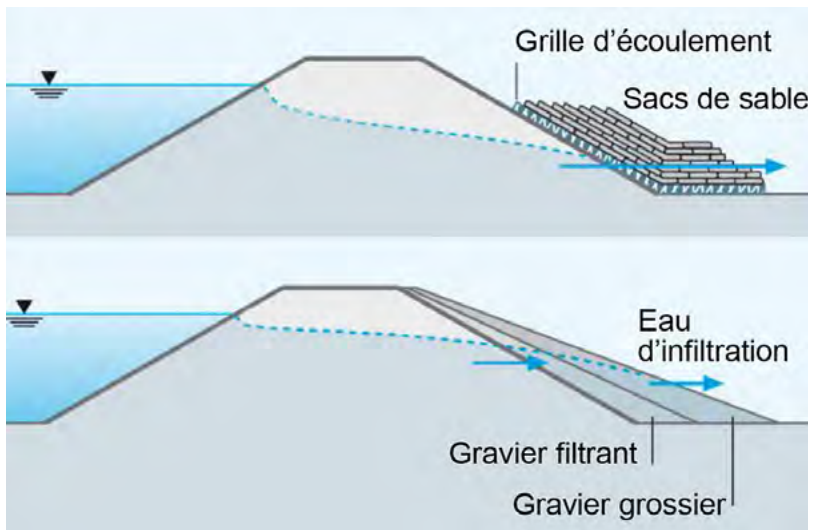


Fig. 75 : Étalement d'une digue avec des sacs de sable ou un remblai de graviers  
(Office bavarois de l'environnement)

### **Consolider les effondrements et les fissures du côté de l'eau**

La consolidation d'effondrements et de fissures du côté de l'eau a pour but de préserver la stabilité de la digue et d'en empêcher l'érosion ultérieure.

Pour consolider des effondrements et des fissures du côté de l'eau, les dépressions du sol, les trous et les fissures sont comblés par la pose de sacs de sable. Pour ne pas fragiliser en plus le talus, il faut commencer si possible au pied de la digue et les sacs ne doivent être jetés que d'une faible hauteur. Alternative-ment, il est aussi possible de remplir les dépressions du sol et les trous par des empierrements. Pour protéger les talus effondrés contre une érosion ultérieure, des arbres en épi (voir page 84) ou, si le temps suffit, des fascines peuvent être mis en place.

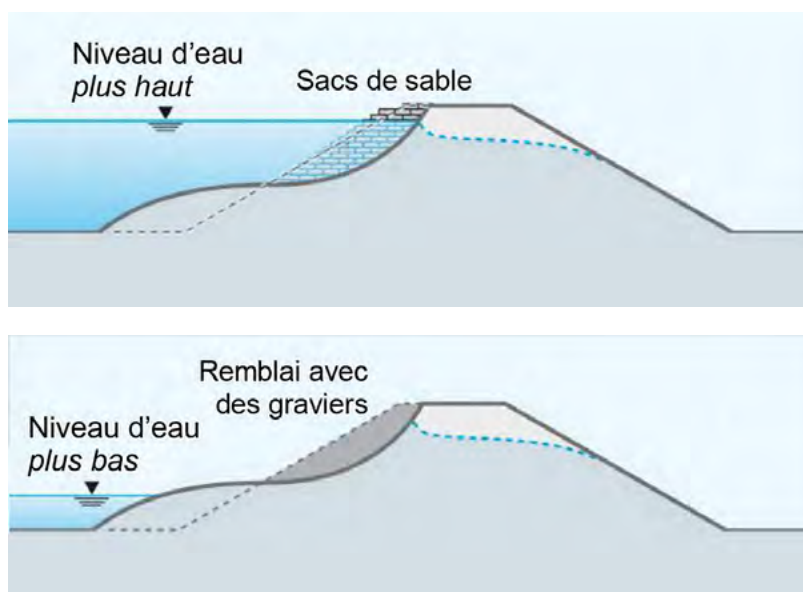


Fig.76 : Consolidation d'effondrements du côté de l'eau avec des sacs de sable ou des graviers  
(Office bavarois de l'environnement)



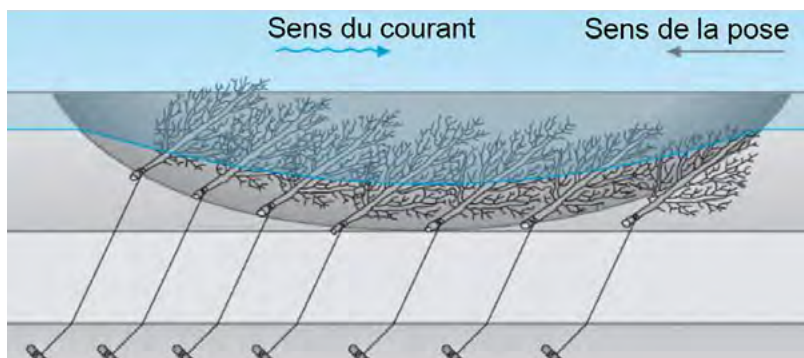


Fig. 77 : arbres en épi ancrés (Office bavarois de l'environnement)



Fig. 78 : Mise en place de fascines dans une digue (Office bavarois de l'environnement)

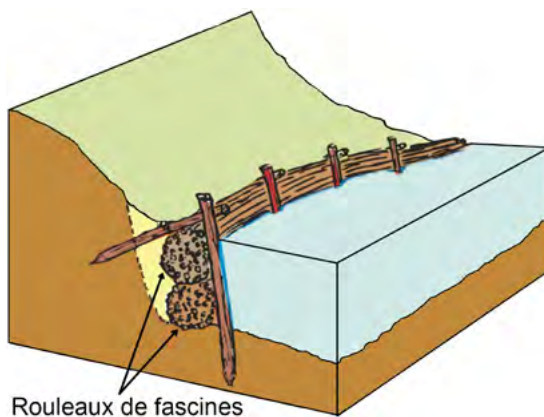


Fig. 79 : Mise en place de rouleaux de fascines sur la rive (OFPP)

### Film d'étanchéité du côté de l'eau

L'application d'un film d'étanchéité vise à empêcher que l'eau ne pénètre dans la digue. Les points d'entrée d'eau ou les dégradations localisées du côté de l'eau peuvent être recouverts d'un film. Le film doit reposer de manière étanche sur le talus (placer un tuyau ou une barre de fer à l'extrémité inférieure du film comme moyen de lestage et alourdir les bords du film avec des sacs de sable).

Le film n'assure une bonne étanchéité que s'il est plaqué contre l'endroit non étanche par l'effet d'aspiration de l'écoulement d'eau. Si aucun effet d'aspiration ne s'exerce, le film s'avère inefficace. Cette mesure ne se révèle judicieuse que si la surface du talus est relativement lisse. De grands trous doivent être remblayés au préalable.

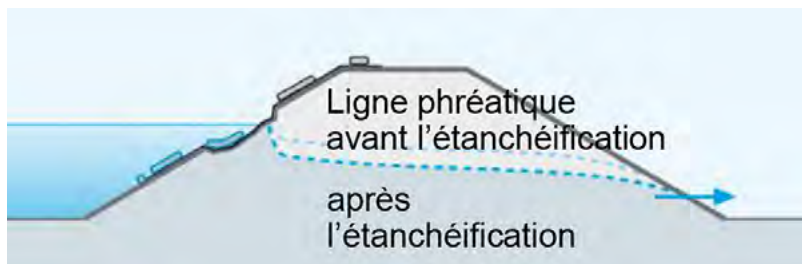


Fig. 80 : Étanchéification de la digue au moyen d'un film (Office bavarois de l'environnement)

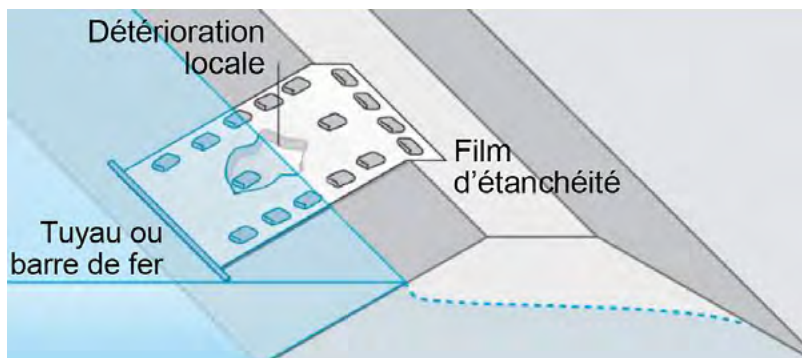


Fig. 81 : Consolidation du film d'étanchéité (Office bavarois de l'environnement)

### **Rehaussement de digue (exhaussement)**

Le rehaussement de digue, appelé aussi exhaussement, a pour objectif d'élever le franc-bord et d'empêcher ainsi le déversement de la digue. Si le niveau d'eau menace de monter au-dessus de la crête de digue, la digue peut être rehaussée avec des sacs de sable ou des systèmes mobiles de protection contre les crues.

**Du fait de l'épaulement, la digue est fortement sollicitée et risque de céder sans prévenir. Les rehaussements de digue ne doivent être exécutés que d'après les instructions de spécialistes.**

Le personnel surnuméraire doit se retirer de la zone dangereuse. En outre, une rupture de digue doit être prise en considération dans l'évaluation des dangers. Si la pente du côté de l'air est plus raide que 1:2 ou si la largeur de la crête est < 3 m, la digue doit être d'abord étayée du côté de l'air (voir page 78).

# Autres mesures de protection contre les crues

## Protection d'urgence des berges avec des arbres entiers disposés en épi

### But et fonction

Des arbres entiers disposés en épi peuvent servir de mesure improvisée de protection contre les crues dans les situations suivantes :

- Protection contre l'érosion des talus de rive
- Limitation des dommages des digues de protection contre les crues du côté de l'eau
- Prévention d'une rupture de digue
- Fermeture d'une brèche dans une digue

La mise en place d'arbres entiers disposés en épi permet de réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et de protéger la rive au niveau du point d'érosion ou de la ligne de rupture. L'avantage tient en l'occurrence

au fait qu'un grand effet peut être obtenu moyennant peu de temps et de matériaux.

### Principes de l'utilisation

Un épicéa ou un sapin vigoureux et branchu se trouvant le plus près possible de l'eau est élagué tout en bas (sur env. 1 m) (1). Le pied de l'arbre est attaché à des câbles métalliques et assuré à un point d'accrochage approprié partant de la zone à protéger en amont (2). L'arbre est alors abattu si possible directement dans l'eau (3). Il doit être charrié dans l'eau jusqu'à l'endroit prévu (4) et être ancré fixement au point d'arrimage (5). Suivant la situation, l'arbre peut être en plus fixé à la cime avec un câble métallique (6). L'arbre entier disposé en épi doit être plus long que la zone à protéger. Si un arbre ne suffit pas, plusieurs arbres peuvent être alignés l'un derrière l'autre. Il faut alors commencer la mise en place en aval.



Fig. 82 : Mise en place d'un arbre entier disposé en épi (Rote Hefte 82, Kohlhammer Verlag)

## Travaux d'urgence de mise en sécurité et de réparation

### Mise en sécurité de cuves à mazout

Si des locaux avec des cuves à mazout insuffisamment protégées sont submergés, les cuves peuvent flotter dans l'eau. Les conduites de raccordement sont arrachées et il existe le danger que les cuves se renversent. De grandes quantités de mazout risquent de se répandre dans l'environnement. Pour éviter ce genre de pollution grave, il est utile d'assurer les cuves à mazout contre la poussée hydrostatique dans le cas d'un délai de pré-alerte suffisant. Vu que d'énormes forces ascensionnelles (plusieurs tonnes) s'exercent sur une cuve presque vide, la consolidation doit être d'autant plus massive. Si les parois et le plafond du local de stockage du mazout sont suffisamment stables, il est recommandé d'assurer la cuve selon la méthode improvisée suivante :

- Consolider la cuve à mazout avec des étais de construction pour qu'elle ne puisse être arrachée latéralement
- Étayer en plus la cuve contre le plafond



Fig. 83 : Mise en sécurité d'une cuve à mazout (AIB)

Ces mesures supposent que la cuve est suffisamment solide et qu'elle n'est pas comprimée par les forces appliquées. En présence d'une cuve moins stable, il est préférable, le cas échéant, de ne poser que les étais de consolidation latéraux. Elle peut alors certes flotter et être plaquée contre le plafond, mais elle ne peut basculer. Il faut faire attention en l'occurrence aux conduites de raccordement afin d'empêcher leur arrachement.

Si le local n'est pas totalement inondé, des forces moins grandes agissent sur la cuve. Alternative-ment, des cuves peuvent être ancrées à la dalle basse avec des sangles.

### **Évacuation d'eau des sous-sols par pompage**

Les opérations commencent le plus souvent très rapidement par le pompage de l'eau hors des sous-sols inondés dans le cadre d'interventions en cas de crues. La sécurité des forces d'intervention, des habitants et du bâtiment doit être alors toujours garantie.

**Danger d'électrocution : l'eau peut être sous tension. Les travaux ne doivent commencer qu'une fois l'alimentation en électricité mise hors tension par un/e spécialiste des sapeurs-pompiers ou par le gestionnaire du réseau.**

**Substances dangereuses : l'eau peut être contaminée par des substances dangereuses (mazout, produits chimiques, etc.). Les travaux ne doivent débuter qu'après consultation de spécialistes en la matière. En outre, des vêtements de protection doivent être portés.**

Les différents niveaux d'eau (remontée de nappe phréatique, pompage d'eau hors de locaux isolés) peuvent engendrer d'énormes forces de compression. Il en résulte de nouveaux dangers et risques, lesquels ne sont pas toujours clairement identifiables :

- En cas de travaux dans un local fermé, des portes ouvrant vers l'intérieur ne peuvent plus être poussées par une personne déjà à partir d'une hauteur d'eau de 30 cm. Par conséquent, la voie de repli est coupée.
- Si les portes s'ouvrent vers l'extérieur, l'ouverture peut se faire alors brusquement avec une violence immense. Il y a un danger de mort maximal.

**Ne pas séjourner dans des locaux à l'intérieur desquels le processus d'inondation est encore en cours. Ne pas ouvrir de portes soumises à une pression hydraulique élevée.**

- Dans le cas d'un sous-sol totalement envahi, il peut être supposé que la surface libre de la nappe phréatique a également monté et qu'elle est au moins aussi haute que le niveau d'eau dans le bâtiment. Si le sous-sol est très vite vidé par pompage, il s'ensuit une grande différence dans les niveaux d'eau. Celle-ci induit une poussée hydrostatique sur le bâtiment. Les dalles de plancher et les parois du sous-sol sont soumises à de grandes forces. La dalle basse peut se rompre, les murs peuvent s'écrouler ou le bâtiment tout entier peut flotter.

Ces dommages ne s'annoncent pas et des contre-mesures ne sont plus possibles. De ce fait, tout le bâtiment risque alors de s'effondrer.

**Les forces d'intervention et les habitant/es courent un danger extrême. Toujours évacuer l'eau du bâtiment par pompage uniquement après une évaluation réalisée par un/e spécialiste en matière de construction.**

En présence d'un niveau élevé de nappe phréatique et d'un bâti fragile (faible charge de construction), il peut être même indispensable d'inonder sciemment avec de l'eau propre des sous-sols pas encore totalement envahis pour équilibrer ainsi les pressions et protéger le bâtiment de dommages plus grands.

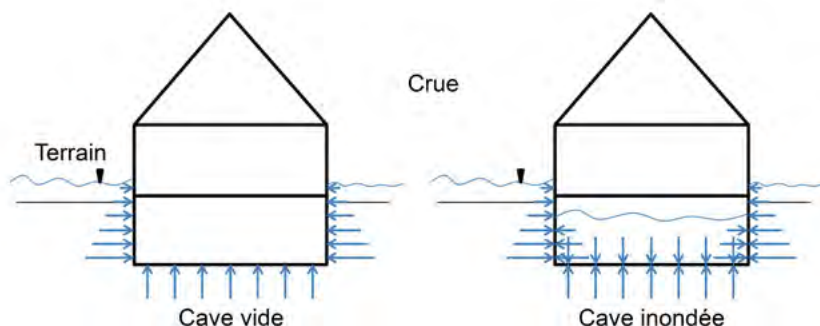


Fig. 84 : Pression d'eau dans le cas d'une cave vide et dans celui d'une cave inondée (école régionale des sapeurs-pompiers du Bade-Wurtemberg)

# Bibliographie

Office fédéral du développement territorial ARE ; Office fédéral de l'environnement OFEV, Recommandation Aménagement du territoire et dangers naturels.



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/droit/aides-execution-dangers-naturels.html.html>

Office fédéral de l'environnement OFEV, Crues et laves torrentielles, fiches d'information Processus de dangers.



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/donnees-de-base-et-utilisation-du-territoire/processus-de-danger-et-donnees-de-base.html>

Office fédéral de l'environnement OFEV, Réchauffement climatique : l'instabilité du pergélisol augmente la fréquence des écroulements.



<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/dangers-naturels/dossiers/rechauffement-climatique-et-ecroulements.html>

Deutsche Vereinigung für Wasserversirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (association allemande pour la gestion des eaux, des eaux résiduelles et des déchets), fédération régionale de Saxe/Thuringe (éditeur) (2011) : Cote d'alerte de crue 4 – Est-il trop tard ? Possibilités et limites de la protection opérationnelle contre les crues, Dresde.

Jüpner, Robert ; Weichel, Thilo (2013) : Inundation caused by dike break – real-time forecast and monitoring during the Flood 2013, in : EVAN 2013, Proceedings of the 1st International Short Conference on Advances in Extreme Value Analysis and Application to Natural Hazards. pp. 105 – 114.

Canton de Berne (éditeur) (2012), Documents de cours Dangers de l'eau, Berne.

Plate-forme nationale « Dangers naturels » PLANAT, Formation d'une inondation.



<https://www.planat.ch/fr/naturgefahren/-risiken/crues>

Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Office fédéral des eaux et de la géologie (éditeur) (2004) : Protection mobile contre les crues. Systèmes destinés aux cas d'urgence, Bienne.