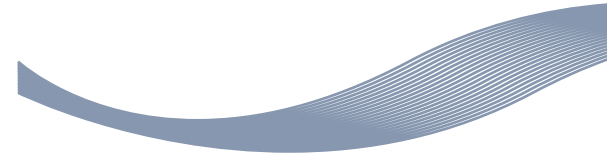




Guide pour les projets de construction à l'intérieur des zones inondables



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Administration de la gestion de l'eau



Avant-propos au guide « Construire en zone inondable »

Les inondations constituent un phénomène naturel et font partie intégrante du cycle hydrologique. Depuis tout temps, l'homme s'est installé le long des rivières et des ruisseaux. Il a ainsi appris à vivre avec les débordements occasionnels des cours d'eau et à se protéger contre les inondations.

La conscience du risque d'inondation a toujours conditionné les projets de construction. Néanmoins, les interventions de l'homme sur le paysage, sur les sols et leur gestion, ainsi que sur le réseau hydrographique, ont un impact négatif sur le risque d'inondation.

L'approche curative visant à protéger les bâtiments constitue une possibilité pour se prémunir, les renaturations proactives en sont une autre. Malheureusement, ces mesures n'offrent pas non plus de protection absolue contre les dommages dus aux inondations.

Dans les zones inondables, les nouvelles constructions et les rénovations sont soumises à l'autorisation du ministère ayant le domaine de l'eau dans ses compétences. Cette autorisation fixe les conditions générales qui sont applicables à un projet de construction et sert enfin et surtout à protéger le propriétaire.

Le présent guide, fruit d'une réflexion de feu Camille Gira, secrétaire d'État au Développement durable et aux Infrastructures, donne un aperçu des différents moyens à disposition des personnes concernées afin de mieux planifier la construction en zone inondable.

Il s'adresse aux architectes et ingénieurs, ainsi qu'aux maîtres d'ouvrage envisageant un nouveau projet de construction au sein d'une zone inondable et souhaitant s'informer à l'avance. La prévention est indispensable pour éviter tous les dommages engendrés par des inondations. La première étape de cette prévention consiste à adapter la conception du bâtiment au risque d'inondation. Le présent guide sert à orienter le lecteur et à lui faciliter la préparation de dossiers de demande d'autorisation.

J'espère que la lecture de ce guide apportera une aide et contribuera à mieux gérer les risques liés aux inondations et à augmenter la conscience de ces risques.



Carole Dieschbourg
Ministre de l'Environnement

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS AU GUIDE « CONSTRUIRE EN ZONE INONDABLE »	3
1 INTRODUCTION	5
2 LES INONDATIONS	11
2.1 LES TYPES D'INONDATION	11
2.2 LES RÉCURRENCES DE CRUE	15
3 LA SITUATION JURIDIQUE AU LUXEMBOURG	17
3.1 LES LOIS ET RÈGLEMENTATIONS	17
3.2 LES ZONES INONDABLES	18
3.3 LES CARTES DES ZONES INONDABLES ET LES CARTES DES RISQUES D'INONDATION	18
3.4 LES INTERDICTIONS EN VIGUEUR AU SEIN DES ZONES INONDABLES	23
3.5 LES AUTORISATIONS	23
4 RISQUE D'ATTEINTE AU BÂTI SUITE AUX INONDATIONS	25
4.1 LA PÉNÉTRATION D'EAU	26
4.2 LA PRESSION DE L'EAU ET LA POUSSÉE D'ARCHIMÈDE	27
4.3 LE RENARD HYDRAULIQUE, L'ÉROSION DES SOLS DE FONDATION	28
4.4 LE COURANT, LES DÉBRIS FLOTTANTS, L'AFFOUILLEMENT	29
5 CONSTRUCTION ADAPTÉE AUX RISQUES D'INONDATION: STRATÉGIES	31
5.1 ÉVITER	34
5.2 ADAPTER	36
5.3 RÉSISTER	40
INDEX DES SOURCES	49
LOIS ET RÈGLEMENTS	50

1 ~ INTRODUCTION

« Les inondations constituent une menace susceptible de provoquer des pertes de vies humaines et le déplacement de populations, de nuire à l'environnement, de compromettre gravement le développement économique et de saper les activités économiques de la Communauté. »

Directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations – DI)

Les crues font partie du cycle hydrologique et constituent donc un phénomène naturel inévitable. Les facteurs environnementaux font fortement varier les débits des cours d'eau. L'intensité des précipitations, les caractéristiques du bassin hydrographique (sa taille, sa capacité de rétention des eaux, l'évaporation, l'infiltration, la topographie) ainsi que les interactions avec la nappe phréatique sont décisives pour la formation des écoulements. A intervalles irréguliers, des précipitations prolongées peuvent faire augmenter les débits des cours d'eau bien au-delà de la normale. Cette hausse des débits provoque une montée du niveau d'eau qui peut même conduire au débordement des cours d'eau. Ce processus est important pour le milieu naturel environnant le cours d'eau car de nombreux organismes qui y sont implantés dépendent des inondations régulières.

Pour l'homme par contre, les inondations présentent souvent un risque, ce qui est d'une part dû au fait qu'au fil du temps, les installations humaines se sont de plus en plus rapprochées des cours d'eau. D'autre part, certains usages (habiter, travailler, ...) implantés dans les zones inondables ne résistent pas à ce type de contrainte. En cas d'incident, cela peut avoir des conséquences graves pour l'homme et pour l'environnement.



Figure 1

Inondation soudaine due à des pluies intenses à Syren en mai 2016



Figure 2

Vue aérienne de la crue de la Sûre en 1995, Echternach-Minden

Les activités humaines aggravent encore les risques inhérents aux inondations. L'imperméabilisation des surfaces, la rectification des lits des cours d'eau et la destruction des zones de rétention naturelle et le changement climatique aggravé par l'homme augmentent les débits de pointe des crues, c'est-à-dire les niveaux d'eau, et agrandissent les champs d'expansion de la crue.

De manière plus ou moins régulière, des crues se produisent également au Luxembourg. Rien qu'en 2016, trois événements de crue se sont produits au Luxembourg. Leur étendue et les dommages provoqués ont été différents d'un événement à l'autre. En février de l'année précitée, une crue « classique » s'est produite sur la Moselle où des périodes de

précipitations prolongées ont fait déborder la rivière et ont ainsi inondé les routes. Fin mai 2016, de fortes précipitations se sont abattues sur une grande partie de l'Europe centrale et ont également touché des localités situées dans le sud du Luxembourg. Contrairement à la crue de la Moselle, le débordement rapide des ruisseaux et canalisations, l'inondation subite des routes, et des caves étaient cette fois-ci dus à des précipitations intenses de courte durée.

On se souvient surtout de l'événement pluvial intense du 22 juillet 2016 dans la vallée de l'Ernz. Cet événement a provoqué de gros dégâts matériels. Suite aux importantes quantités d'eau de ruissellement dévalant les pentes, que ce soit le long des routes, des versants ou des



Figure 3

*Pluie intense dans la vallée de l'Ernz, 22 juillet 2016
(Tageblatt.lu, 2016)*

petits cours d'eau affluents de l'Ernz Blanche, les eaux n'ont fait halte ni devant les ponts et murets, ni devant les bâtiments. Les eaux se sont finalement concentrées dans le cours d'eau récepteur provoquant une augmentation rapide des débits et hauteurs d'eau de l'Ernz Blanche, dont les inondations ont également causé beaucoup de dégâts. C'est notamment cet évènement qui fait comprendre d'une part, que les inondations peuvent se produire partout, non seulement à proximité de cours d'eau, et d'autre part, que le temps de réaction peut parfois être très court.

Dans les années précédentes, d'importantes crues se sont produites au Luxembourg, dont par exemple celle de 1993 (Attert, Eisch et Sûre), celle de 1995 (Eisch, Wark, Sûre, Alzette et Our), celle de 2003 (Attert, Eisch, Alzette et Sûre) ou encore celle de 2011 (entre autres sur l'Alzette, la Sûre, la Wiltz, ...).



Figure 4

Crue de l'Alzette à Walfer, 2011



Figure 5

Inondation à Itzig en mai 2013 (L. Blum/Wort, 2014)

LA DIRECTIVE SUR LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION

Pour établir un cadre concernant les mesures prises à l'échelle des Etats membres visant à réduire les risques de dommages provoqués par les inondations, le Parlement européen a adopté la « *directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations* » (« DI »). Son objectif consiste à prévenir et à réduire les conséquences négatives des inondations pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique.

La DI définit le risque d'inondation comme étant « *la combinaison de la probabilité d'une inondation et des conséquences négatives potentielles* » de cette dernière. Le risque d'inondation résulte donc de l'interaction entre l'aléa de crue et la vulnérabilité.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la DI, il convient de tenir compte de tous les aspects de la gestion des risques d'inondation afin de réduire les conséquences négatives des inondations. La directive met l'accent sur les aspects suivants :

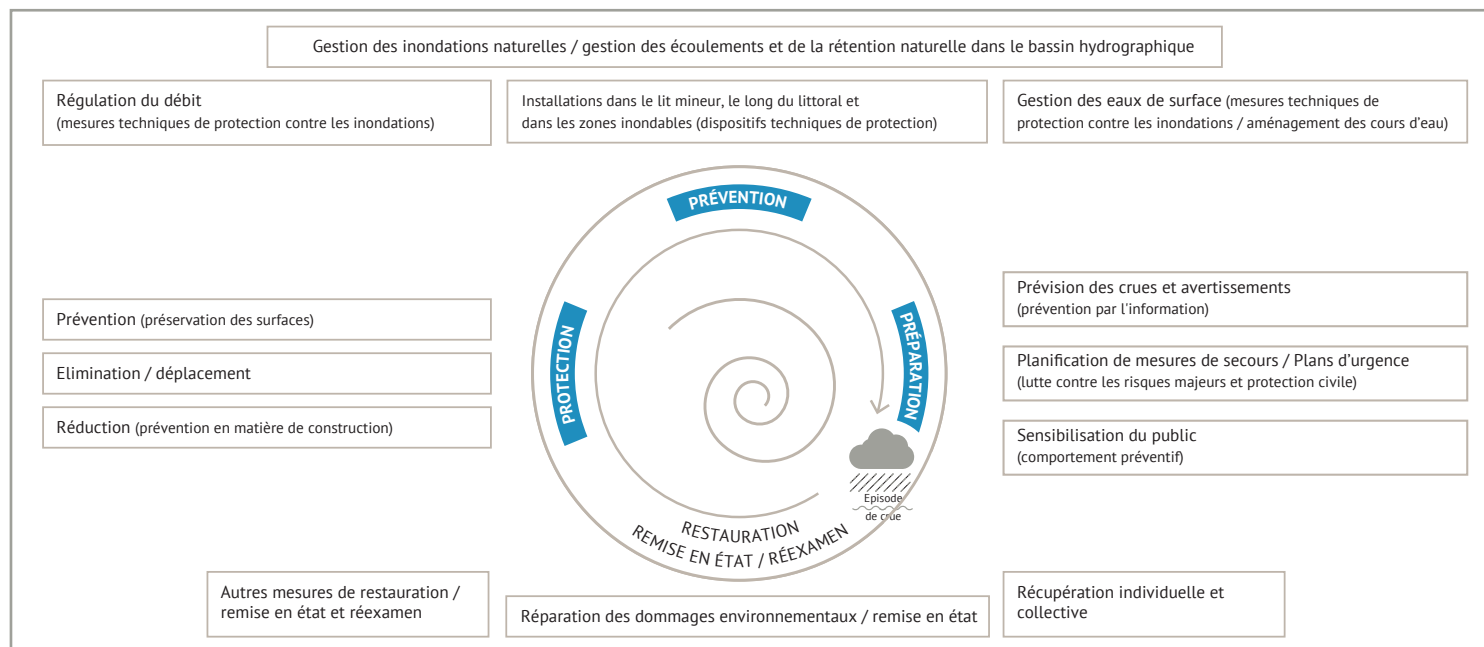
réduire

protéger

prévenir

Figure 6

Le cycle des crues selon la DI
(LAWA, 2013)



Les quatre objectifs relatifs à la protection contre les inondations ont été déduits pour le Luxembourg à partir de ces dispositions de la DI :

- **Eviter de nouveaux risques dans les zones exposées au risque d'inondation**
- **Réduire les risques existants dans les zones exposées au risque d'inondation**
- **Réduire les conséquences négatives pendant l'inondation**
- **Réduire les conséquences négatives après l'inondation**

La gestion des risques d'inondation couvre donc un cycle composé des phases de la prévention, de la maîtrise et de la remise en état. En temps normal, il s'agit d'une spirale car le niveau de protection change au fil

du temps. Par conséquent, la gestion des risques d'inondation est un processus réajusté en continu.

La présente brochure s'adonne en premier lieu à la prévention en matière de construction et aux modes de construction adaptés aux risques d'inondation. Selon la norme allemande fiche technique n° 553 de la DWA, la planification, la construction et la rénovation adaptées aux inondations visent à « réduire sensiblement les dommages potentiels subis par les biens immobiliers en cas d'inondation ». Une construction adaptée au risque d'inondation ne peut donc « que » réduire les dommages potentiels en cas d'inondation. Une protection absolue contre les dangers d'inondation n'existe pas ; chaque projet de construction à l'intérieur d'une zone inondable reste donc soumis à un risque résiduel.

2 ~ LES INONDATIONS

La DI définit l'inondation comme étant une « submersion temporaire par l'eau de terres qui, en temps normal, ne sont pas submergées ». Cette notion recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières et elle peut exclure les inondations dues aux réseaux d'égouts ». Vu la situation géographique du Luxembourg, tous les types d'inondation énumérés ci-avant ne s'y produisent pas.

2.1 LES TYPES D'INONDATION

Deux processus prédominants permettent de décrire la genèse des inondations : Une inondation se produit lorsque

- **la capacité de rétention en eau des sols est épuisée suite à des précipitations de longue durée ou que**
- **la capacité d'infiltration des sols est sensiblement plus faible que la quantité des précipitations**

A la suite, il en résulte trois types d'inondations, les inondations fluviales, les inondations soudaines dues à de fortes pluies et les inondations par remontée de nappe. De plus, des inondations peuvent se produire suite à la défaillance des dispositifs de protection techniques.



Figure 7

Crue de l'Alzette à Hesperange,
2011

Figure 8

Crue de l'Attert à Reichlange,
2011

A. LES INONDATIONS FLUVIALES

On parle d'inondation fluviale lorsque le débit d'un cours d'eau devient tellement important que l'eau déborde et inonde les terrains avoisinants. Dans la plupart des cas, un tel événement est pour l'essentiel déclenché par des précipitations étendues et prolongées (éventuellement combinées à une fonte des neiges). Ce type d'inondation se produit essentiellement pendant les mois d'hiver au Luxembourg.

Au cas où des égouts sont raccordés au cours d'eau, l'eau risque de refouler dans la canalisation et de provoquer ainsi des inondations de caves ou de routes.

Pour ce qui est des inondations fluviales, des systèmes de prévision des crues avec un délai de préalerte de plusieurs heures voire jours peuvent être mis en place. Au Luxembourg, la prévision des crues est assurée par le Service Hydrométrie de l'Administration de la gestion de l'eau (ci-après : AGE). Les informations sur les hauteurs d'eau ainsi que les bulletins de crue sont accessibles sur www.inondations.lu

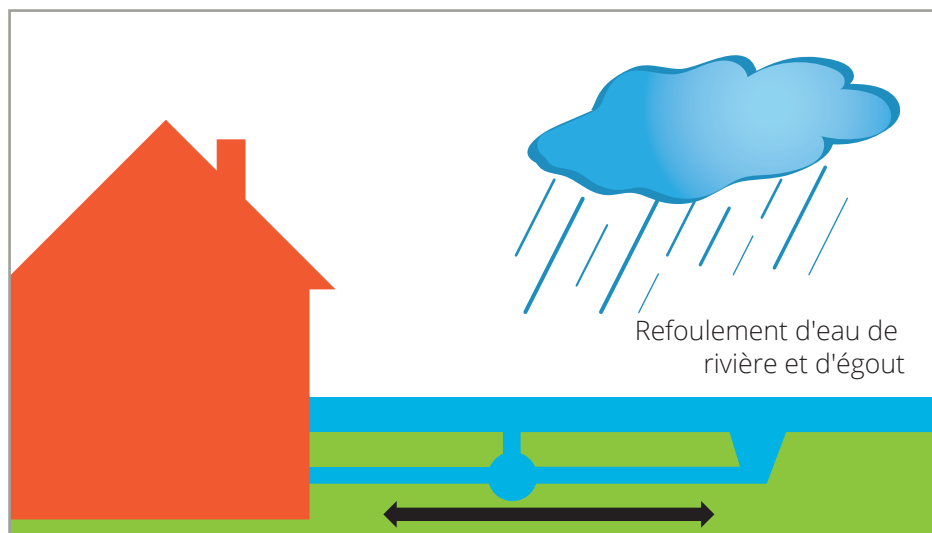


Figure 9

Crue soudaine en plaine

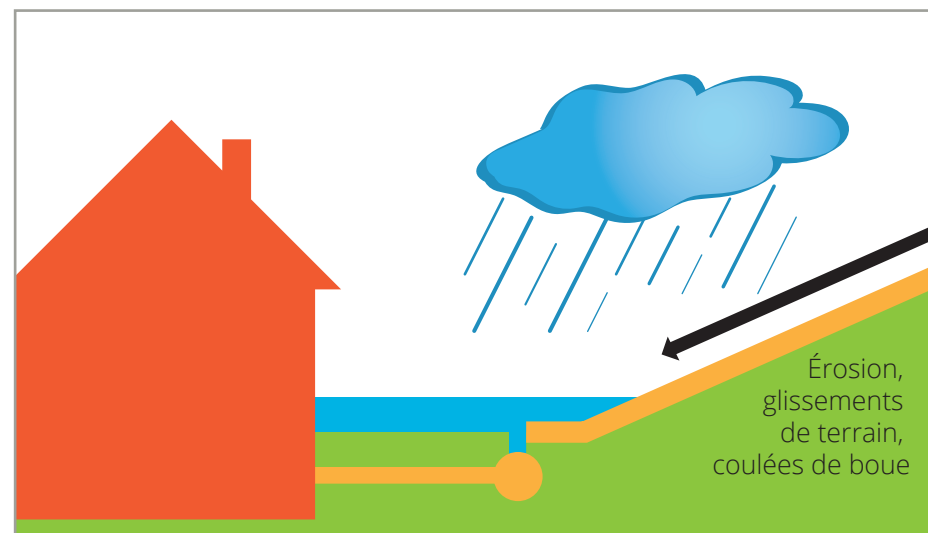


Figure 10

Crue soudaine en pied de colline

B. LES INONDATIONS SOUDAINES DUES À DE FORTES PLUIES

Ce type d'inondation se produit au Luxembourg essentiellement pendant les mois d'été. Il a son origine principale dans les fronts orageux locaux ou régionaux que l'on appelle pluies fortes, en raison de l'intensité des précipitations et de la durée relativement courte de l'événement. L'intensité des pluies dépasse souvent la capacité de rétention en eau des sols, et l'eau excédentaire s'écoule rapidement à la surface. Suite à des processus d'érosion, cette eau peut emporter de grandes quantités de boues et de matériaux. En règle générale, les temps de réaction sont extrêmement courts et ne permettent guère de prendre des mesures de prévention.

En cas de fortes pluies, l'eau s'accumule dans toutes les cuvettes dont font également partie, en zone urbaine, les sous-sols ou les parkings

souterrains. Un autre problème que l'on rencontre dans les zones urbanisées sont les obstacles à l'écoulement (dont par exemple les buses, les ponts, les clôtures, ...) ou les canalisations en surcharge, ces dernières ne pouvant pas être dimensionnées pour de tels événements extrêmes pour des raisons économiques et de gestion.

Les épisodes pluvieux intenses peuvent conduire à une crue fluviale. Dans ce cas, d'importantes quantités d'eaux de ruissellement s'écoulent directement dans le cours d'eau. Il en résulte une augmentation rapide des débits et hauteurs d'eau, comme c'était par exemple le cas en 2016 dans la vallée de l'Ernz. N'importe quel bâtiment, indépendamment de sa localisation peut donc être affecté par les fortes pluies.

C. LES INONDATIONS PAR REMONTÉE DE NAPPE

Les inondations par remontée de nappe se forment lorsque le niveau de la nappe phréatique atteint la surface du terrain ou monte au-delà. Cette remontée de la nappe est provoquée par des quantités de précipitations supérieures à la moyenne, tombées sur une période prolongée (pendant des mois voire des années), ainsi que par des inondations (fluviales) étendues.

Les eaux souterraines et les eaux de surface sont en interaction permanente, et la hauteur d'eau dans la rivière, surtout à proximité des berges, correspond souvent au niveau de la nappe phréatique. Ce risque existe notamment dans les anciennes zones alluviales où les eaux souterraines peuvent pénétrer loin dans les terres. Des résurgences phréatiques peuvent alors se produire dans les dépressions de terrain. Ce phénomène peut donc se produire même derrière les murs de protection contre les inondations.

D. LA DÉFAILLANCE DES DISPOSITIFS DE PROTECTION TECHNIQUES

Les dispositifs de protection contre les inondations, tels que les murs de protection ou les bassins de rétention sont généralement construits pour protéger la population contre les inondations de récurrence régulière et de moindre envergure. Ils ne fournissent donc pas de protection suffisante contre les événements plus importants – raison pour laquelle les zones ainsi « protégées » comptent toujours parmi les zones inondables. L'objectif de protection, c'est-à-dire le débit de dimensionnement de l'installation, est déterminé en fonction des coûts de cette dernière ainsi qu'en fonction des enjeux (dommages potentiels) situés à l'intérieur de la zone à protéger.

Dans des cas imprévisibles, il est néanmoins possible que la stabilité de l'ouvrage soit défaillante en situation de crue, ce qui a pour conséquence inévitable l'inondation des surfaces situées derrière l'ouvrage.



Figure 11

Crue de la Sûre près d'Ingeldorf, 2003

2.2 LES RÉCURRENCES DE CRUE

Les débits des cours d'eau sont parfois soumis à d'importantes variations. Les méthodes de construction adaptées aux inondations font partie des projets de gestion des eaux et de génie hydraulique. Lors de la planification, ces derniers sont dimensionnés de sorte à garantir leur fonction (ici : la protection) jusqu'à l'atteinte d'un débit défini. Lorsque ce débit de dimensionnement est dépassé, l'efficacité d'une mesure n'est plus donnée. La hauteur du débit de dimensionnement dépend de sa récurrence, c'est-à-dire de sa probabilité d'occurrence.

Le débit de crue (HQ) d'une récurrence (T) d'un profil transversal est abrégé par HQ_T . Un HQ_{100} correspond ainsi à un événement de crue avec un débit d'une récurrence $T = 100$ ans, ce qui signifie qu'un tel événement se produit en moyenne statistique tous les 100 ans.

Cela ne signifie cependant pas qu'il faut s'attendre à un événement centennal exactement tous les 100 ans. L'intervalle entre deux événements de ce type peut également être de quelques années seulement.

Les récurrences couramment utilisées dans le domaine de la protection contre les inondations sont les suivantes : HQ_{10} , HQ_{100} et $HQ_{\text{extrême}}$. Ces trois événements se distinguent non seulement par la probabilité d'occurrence, mais également par la quantité d'eau à attendre ainsi que par les hauteurs d'eau et les champs d'expansion de la crue. Les relations entre ces différents paramètres sont synthétisées dans le tableau suivant :

Événement	Occurrence	Débit	Champ d'inondation	Hauteurs d'eau
HQ_{10}	Événement décennal - fréquent	Les trois paramètres augmentent avec la croissance de la probabilité d'occurrence. C'est-à-dire que les événements plus rares entraînent des inondations plus sévères.		
HQ_{100}	Événement centennal - rare			
$HQ_{\text{extrême}}$	Événement millennal - très rare			



Figure 12

Inondations à Ettelbruck et Warken, 1995

(Administration des Services Techniques de l'Agriculture, 1999)

3 ~ LA SITUATION JURIDIQUE AU LUXEMBOURG

3.1 LES LOIS ET RÈGLEMENTATIONS

Dans le domaine de la protection contre les inondations à l'échelle européenne, la directive 2007/60/CE relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations (DI) que le Parlement européen et le Conseil ont adoptée le 23 octobre 2007, est en vigueur.

Cette directive a été transposée en droit national par la loi du 19 décembre 2008 relative à la gestion de l'eau (appelée ci-après loi relative à l'eau).

L'élaboration d'un plan de gestion des risques d'inondation pour le Grand-Duché de Luxembourg, comprenant également les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation, constitue un élément clé de la mise en œuvre de la DI. Le premier plan de gestion des risques d'inondation a été publié le 22 décembre 2015 et doit être mis à jour tous les 6 ans. Le plan de gestion des risques d'inondation peut être consulté sur la plateforme Internet de l'Administration de la gestion de l'eau (www.waasser.lu).

3.2 LES ZONES INONDABLES

En raison de la diversité des types d'inondation, toute zone peut être inondée suite à un évènement de crue. Or, le terme de « zones inondables » dont il est question dans le présent guide est un terme juridique concret qui ne couvre que des zones bien précises.

Selon la définition générale de la loi relative à l'eau (article 2), les zones inondables sont toutes les aires ayant la capacité de retenir temporairement les eaux de crue ayant débordé des berges d'un cours d'eau, les eaux de ruissellement d'un versant ou les eaux de remontée des nappes.

Plus spécifiquement dans le cadre de la construction en zone inondable, on entend par « zones inondables » les aires étant représentées dans la cartographie des zones inondables et des zones à risque d'inondation et qui ont un caractère juridiquement contraignant (article 38 de la loi relative à l'eau).

3.3 LES CARTES DES ZONES INONDABLES ET LES CARTES DES RISQUES D'INONDATION

Les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation constituent la situation de référence actuelle sur des 15 cours d'eau sélectionnés. La sélection repose sur l'estimation des risques d'inondation effectuée pour toutes les eaux luxembourgeoises.

Ces cartes ont été dressées dans le cadre de la mise en oeuvre de la DI et de l'élaboration du plan de gestion des risques d'inondation, avec la participation du public.

Les cartes des zones inondables représentent l'étendue d'une inondation potentielle. Elles font état des zones susceptibles d'être inondées lors d'un évènement de crue d'une récurrence bien précise. Par ailleurs, elles renseignent sur les profondeurs d'eau locales via un code couleur.

Les cartes des risques d'inondation présentent les impacts potentiels négatifs des inondations en fonction de la récurrence de ces dernières. Elles font référence au nombre d'habitants concernés, au type d'activité économique, aux installations susceptibles de polluer l'environnement en cas d'inondation (IPPC/SEVESO), aux zones de protection (Natura 2000, zones de protection des eaux souterraines, zones de protection des oiseaux, etc.), aux bâtiments sensibles (hôpitaux, écoles, maisons de retraite) ainsi qu'aux décharges abandonnées et aux sites potentiellement pollués situés au sein des zones inondables.

La DI impose de représenter à travers des cartes des zones inondables et des cartes des risques d'inondation trois types d'événements de crue en fonction de leur récurrence :

les crues de forte probabilité (HQ₁₀)

les crues de probabilité moyenne (HQ₁₀₀)

les crues de faible probabilité ou les scénarios d'événements extrêmes (HQ_{extrême})

Les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation sont gratuitement accessibles via le portail cartographique www.geoportail.lu, menu thématique « eau ».

Ce portail permet d'afficher les informations relatives aux événements de crue de récurrences différentes telles que

- les champs d'expansion,
- les hauteurs d'eau,
- les usages concernés par les inondations.

Grâce aux cartes topographiques ou aux photographies aériennes qui sont également disponibles, on peut ainsi voir si une zone de projet est susceptible d'être inondée. Par ailleurs, on peut afficher les profils transversaux du terrain en y associant des informations pertinentes pour les inondations telles que la hauteur d'eau et le débit pour des événements de crue bien précis.

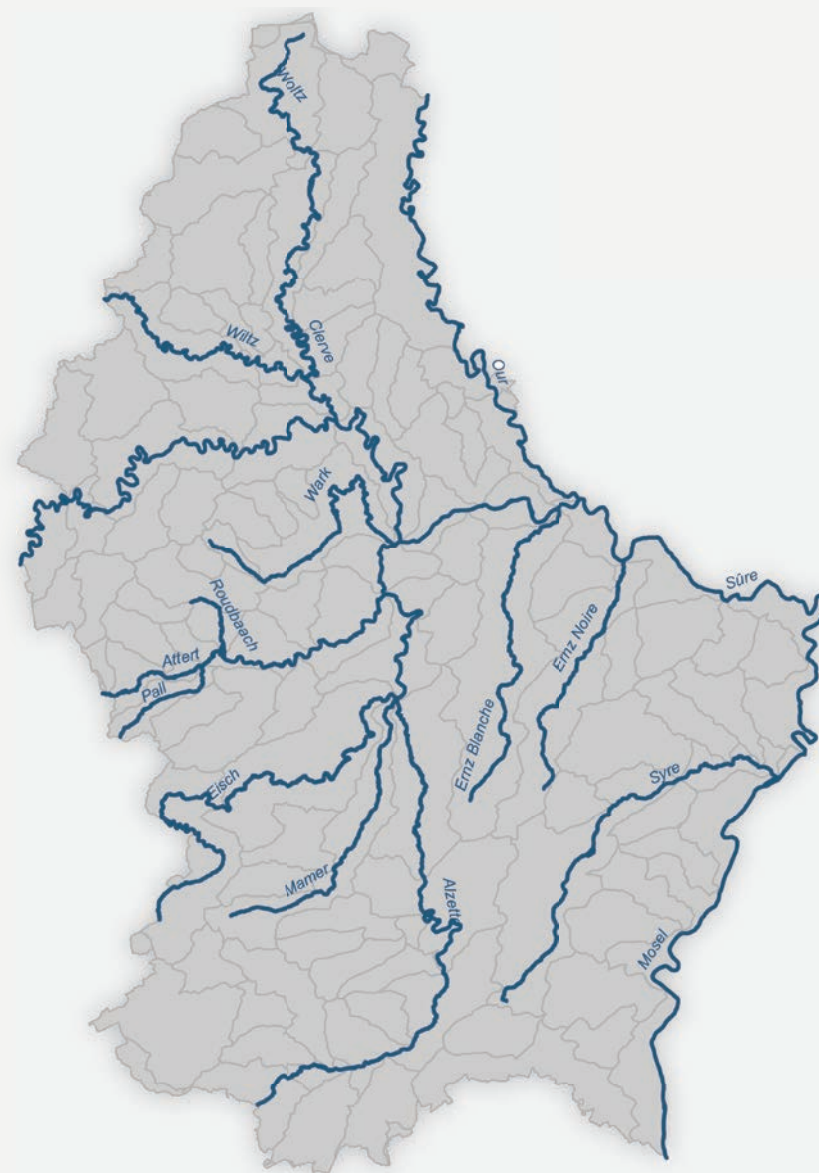


Figure 13

*Cours d'eau à risque important d'inondation
Alzette - Attert - Clerf - Eisch - Mamer - Moselle - Pall - Roudbaach -
Sûre - Ernzy Noire - Syre - Our - Ernzy Blanche - Wark - Wiltz
(état 2015)*

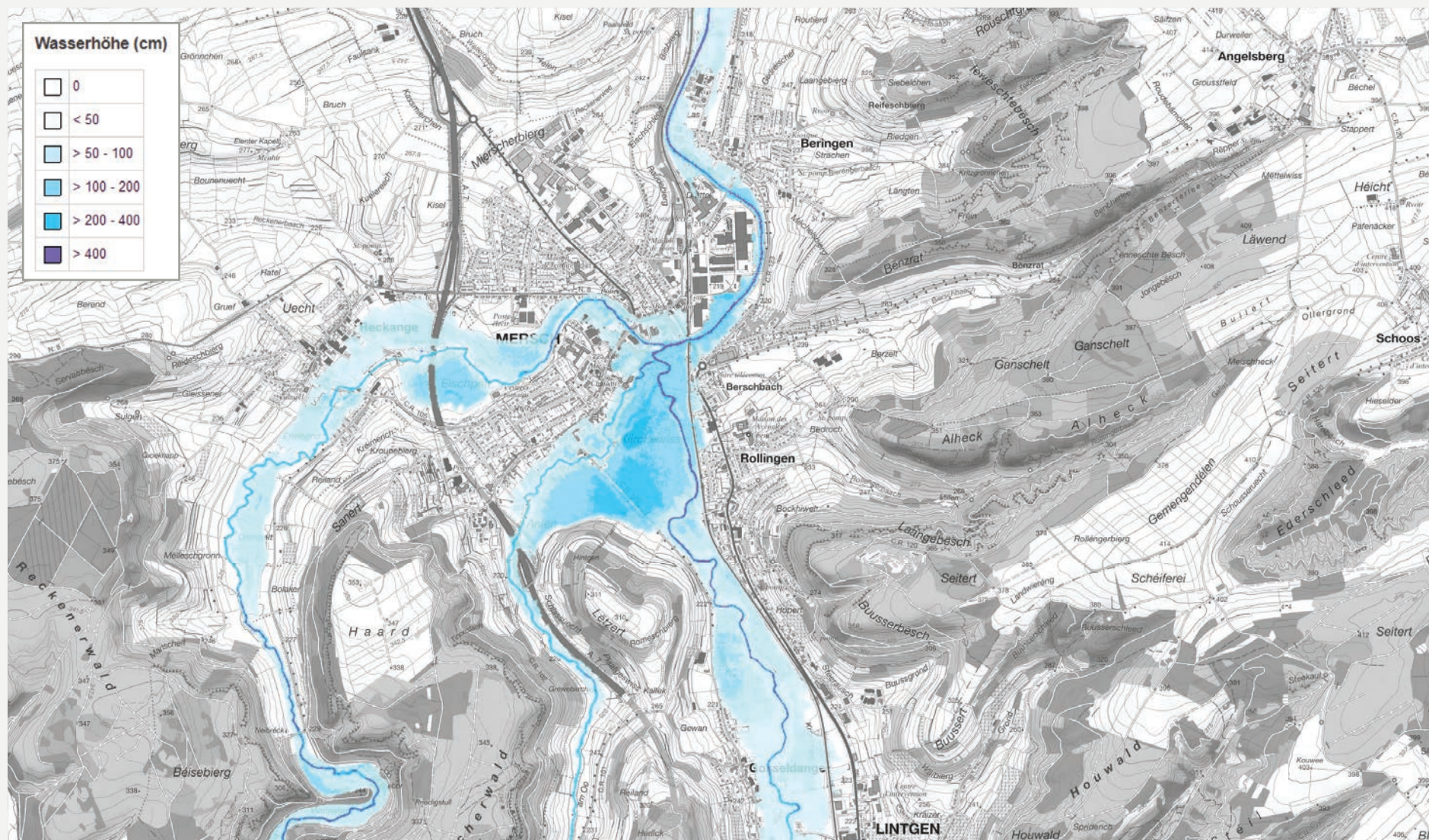


Figure 14 Carte des zones inondables issue de Geoportail.lu ; exemple des zones HQ₁₀₀ pour la commune de Mersch

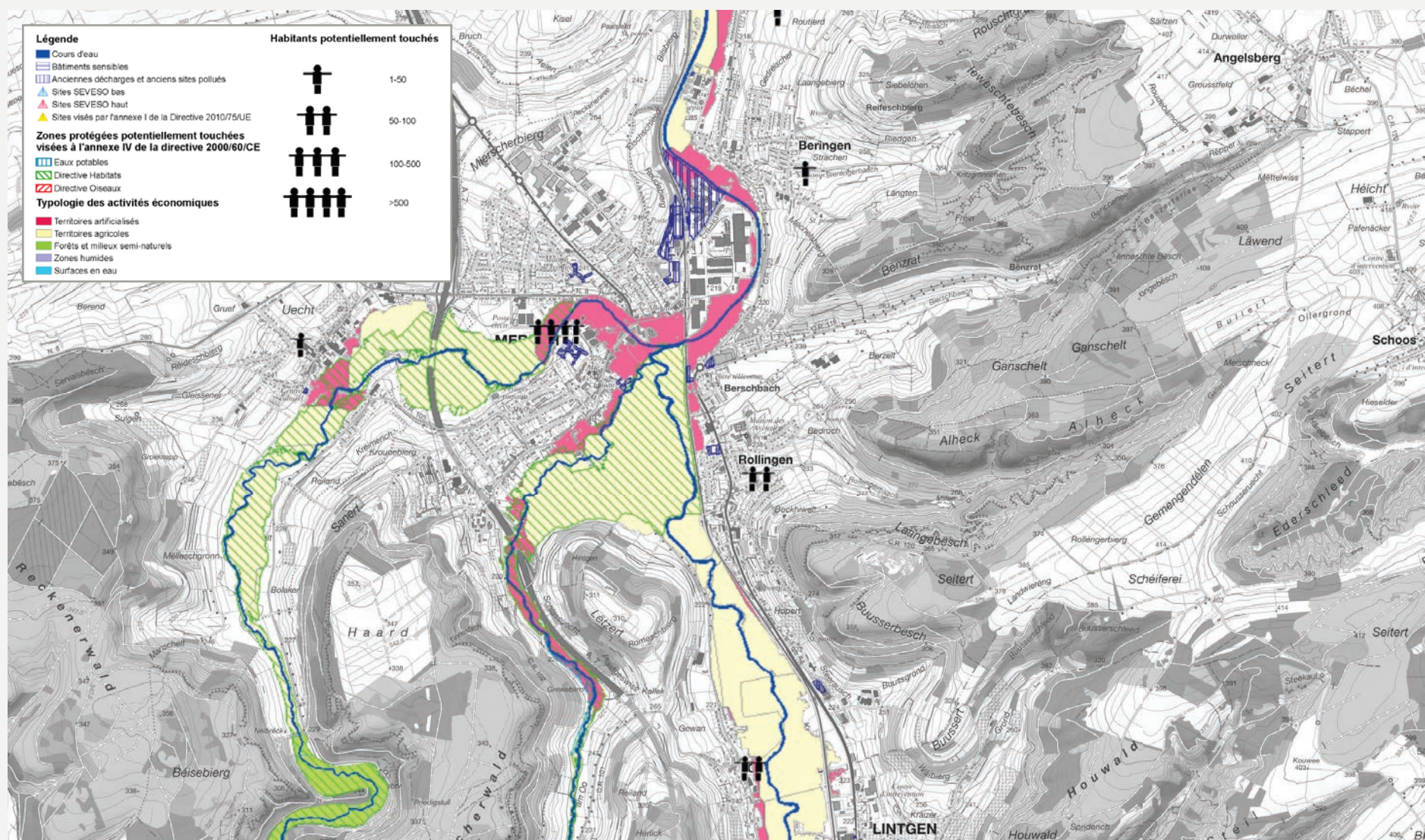
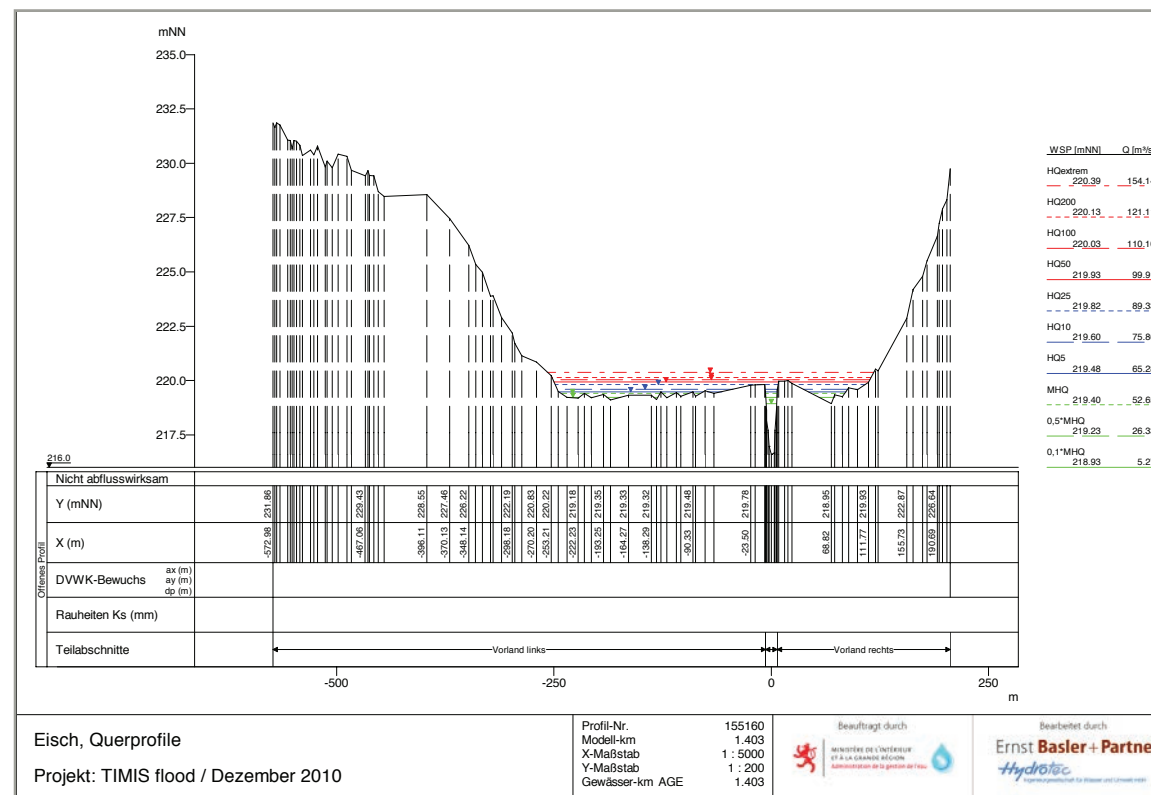


Figure 15 Carte des zones inondables issue de Geoportail.lu ; exemple des zones HQ₁₀₀ pour la commune de Mersch

Figure 16

Exemple d'un profil en travers avec indication des débits et des hauteurs d'eau



Depuis le 5 février 2015, six règlements grand-ducaux ont déclaré obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation et ces dernières font à présent partie intégrante des plans d'aménagement général de chaque commune. Cette cartographie représente ainsi un outil central des plans communaux et nationaux d'occupation des sols et renseigne les maîtres d'ouvrage sur les risques potentiels présents dans une telle zone. La directive impose que cette cartographie soit réexaminée et, si nécessaire, mise à jour tous les six ans.

Outre les 15 cours d'eau déjà retenus, ce réexamen qui a d'ores et déjà été mandaté par l'Administration de la gestion de l'eau analyse la prise en compte de deux cours d'eau supplémentaires.

3.4 LES INTERDICTIONS EN VIGUEUR AU SEIN DES ZONES INONDABLES

Dans les zones inondables réglementaires, il est interdit (au titre de l'article 39 de la loi relative à l'eau) de définir dans le cadre du plan d'aménagement général de nouvelles zones urbanisées ou destinées à être urbanisées dans lesquelles peuvent habiter des personnes ou dans lesquelles peuvent être aménagés des installations, ouvrages ou constructions diminuant le volume de rétention ou risquant de créer un dommage pour les personnes, les biens ou l'environnement.

Dans les zones urbanisées existant en zone inondable, toute nouvelle construction est en règle générale interdite. Sous certaines conditions, la loi autorise à combler des lacunes dans le tissu construit existant. Des travaux de réparation ou de rénovation peuvent être effectués sur des constructions existantes si leur emprise au sol n'est pas augmentée.

La loi relative à l'eau (article 39) prévoit néanmoins des dérogations permettant dans des cas individuels de réaliser des projets de construction en zone inondable.

De nouvelles zones urbanisées peuvent être viabilisées si le volume de rétention perdu peut être compensé et s'il n'en résulte aucune augmentation du risque de dommages pour les personnes, les biens ou l'environnement liés à des inondations, ni à l'intérieur de la zone en question, ni dans des zones inondables situées en amont ou en aval. Cette restriction vise à empêcher toute aggravation du risque d'inondation plus en aval ou en amont.

3.5 LES AUTORISATIONS

Tous travaux, aménagements, ouvrages et installations dans les zones inondables sont soumis à autorisation (article 23 de la loi relative à l'eau) et doivent donc faire l'objet d'une demande d'autorisation. Cette disposition prend en compte les trois types de zones désignées ($HQ_{10'}$, HQ_{100} et $HQ_{\text{extrême}}$) et concerne tous les projets de construction, qu'ils se situent entièrement ou partiellement au sein de la zone inondable.

La demande d'autorisation est à adresser à l'AGE pour instruction. En vue de la procédure d'autorisation et la recevabilité d'un projet de construction, il est avantageux d'entrer en contact avec les collaborateurs de l'AGE avant même de se lancer dans la planification. Sont à disposition à cet effet les deux services régionaux de la Division de l'hydrologie (service régional Nord à Diekirch et service régional Sud à Esch-sur-Alzette) ainsi que le Service Autorisations. Des renseignements généraux sur les demandes d'autorisation et sur les documents requis sont disponibles sur le site Internet de l'AGE (<http://www.eau.public.lu/autorisations/procedure/index.html>).

Le dossier de demande d'autorisation comporte des formulaires standards (téléchargeables à partir de www.waasser.lu) et des documents spécifiques renseignant sur les éléments suivants :

- Emplacement de l'ouvrage potentiel au sein de la zone inondable ;
- Profils transversaux du projet de construction et du terrain, y compris toutes les indications de hauteur des bâtiments, du terrain et des niveaux d'eau des événements de crue ;
- Preuve de la compatibilité du projet avec les inondations et de sa non incidence sur ces dernières ;

- S'il s'agit de compenser le volume de rétention perdu suite au projet, la perte de volume doit être calculée et documentée dans les plans. Il convient par ailleurs de décrire la compensation de la perte de volume et de la représenter sur les plans.
- Vue en plan des rez-de-chaussée et des sous-sols.

Il est possible de faire appel à des bureaux d'études pour rassembler les documents requis. Les données numériques requises (expansion de la crue, profondeur d'eau, ...) sont disponibles sur demande auprès de l'AGE sous l'adresse électronique hydrologie@eau.etat.lu ou peuvent être téléchargées à partir de la plateforme www.data.public.lu.

Les contraintes ou exigences imposées à l'objet à planifier varient en fonction de la récurrence de crue de la zone inondable au sein de laquelle le projet est prévu. Les contraintes sont donc plus sévères pour HQ_{10} et HQ_{100} que pour $HQ_{\text{extrême}}$. Néanmoins, il est possible que les demandeurs d'autorisation de construction en zone inondable $HQ_{\text{extrême}}$ reçoivent des instructions sur la manière d'adapter leur ouvrage au risque d'inondation. En effet, selon la situation géographique, il se peut par exemple que le niveau de la nappe phréatique augmente en cas d'inondation.

A noter finalement que l'autorisation délivrée au titre du droit de l'eau n'exempte pas le titulaire de son obligation de se procurer toutes les autres autorisations requises telles que le permis de construire communal ou l'autorisation selon la loi sur la protection de l'environnement. Comme les communes connaissent bien leurs territoires et qu'elles sont à même d'attirer l'attention des futurs maîtres d'ouvrage sur la réglementation en vigueur, elles revêtent un rôle clé dans l'instruction des dossiers de demande.

4 ~ RISQUE D'ATTEINTE AU BÂTI SUITE AUX INONDATIONS

La sollicitation du bâti pendant une inondation résulte des contraintes suivantes :

- Niveau d'eau élevé,
- Vitesse et directions d'écoulement,
- Pressions hydrodynamiques du courant (érosion, contraintes de cisaillement),
- Débit de charriage,
- Augmentation du niveau piézométrique.

Les dommages typiques dus aux inondations sont les suivants :

- Dommages provoqués par l'eau ou par l'humidité sur le bâtiment et sur les biens meubles qu'il héberge ;
- Restriction de l'utilisation du bâtiment suite à la perturbation (éventuellement forte) des réseaux d'alimentation et d'évacuation ;
- Risque d'atteinte à la stabilité du bâtiment. Ce risque est provoqué par la poussée d'Archimède lorsque le niveau piézométrique monte ou par la pression que l'eau exerce sur l'enveloppe du bâtiment en situation de hautes eaux.
- Contamination en cas de libération de substances dangereuses suite à l'inondation.

Figure 17

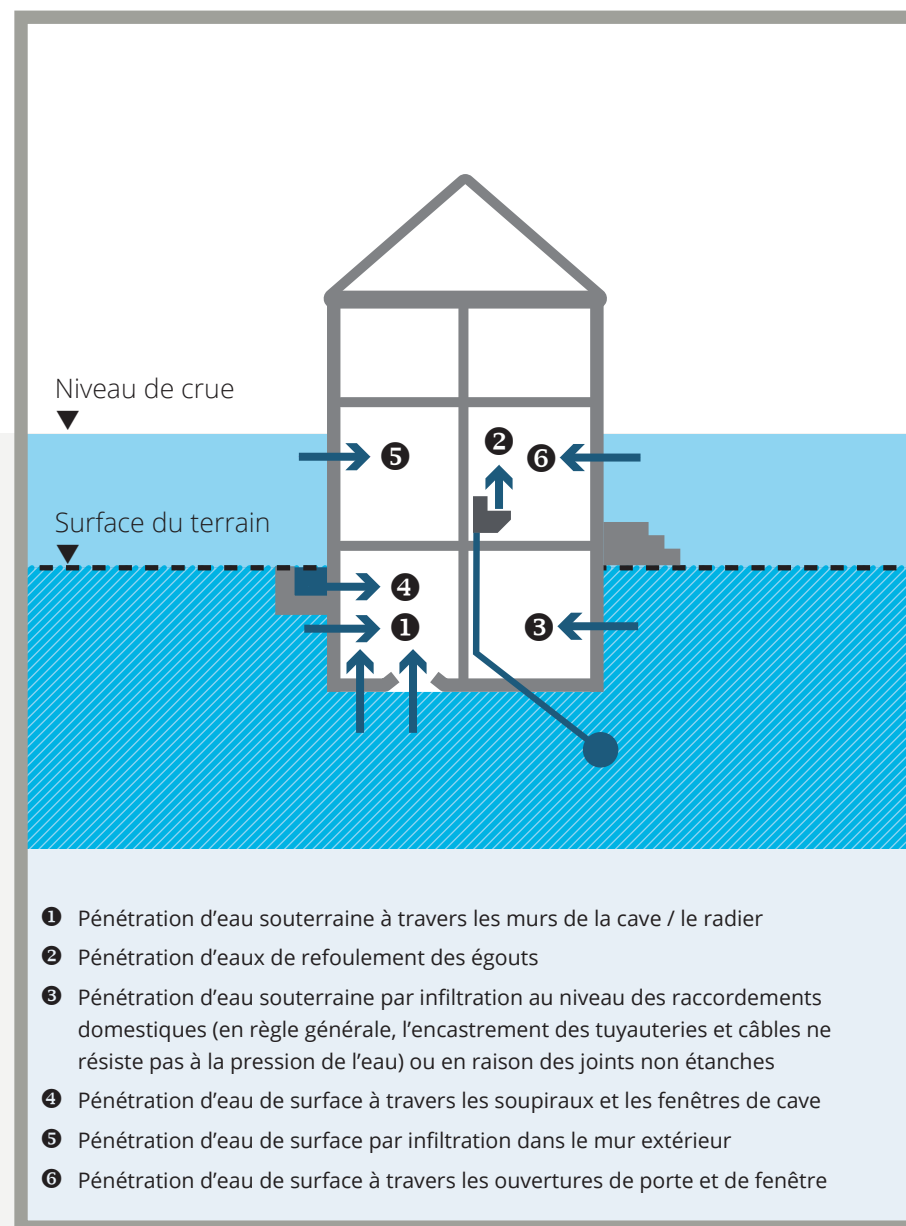
Voies potentielles de pénétration d'eau dans les bâtiments (DWA-M 553)

4.1 LA PÉNÉTRATION D'EAU

Quand le niveau d'eau monte et qu'il existe des voies de pénétration, l'eau commence à pénétrer dans le bâtiment. Les ouvertures situées dans les points bas, telles que les soupiraux ou les fenêtres de cave sont les premières voies de pénétration, suivies par les portes et les fenêtres. Mais ce sont non seulement les ouvertures directes qui présentent un danger ; l'eau peut également s'infiltrer à travers les murs. C'est pourquoi le choix des matériaux de construction est décisif.

Il existe cependant d'autres voies de pénétration, par exemple le raccordement au réseau d'évacuation des eaux usées ou unitaires. Un refoulement d'eau dans la canalisation peut avoir pour conséquence que l'eau pénètre via les bacs de douche, les W.C. ou d'autres voies similaires.

La remontée de la nappe phréatique peut provoquer la pénétration d'eau à travers le radier ou les murs de la cave. Les ouvertures dans les murs qui assurent le passage des tuyauteries d'alimentation et d'évacuation constituent également des voies de pénétration.



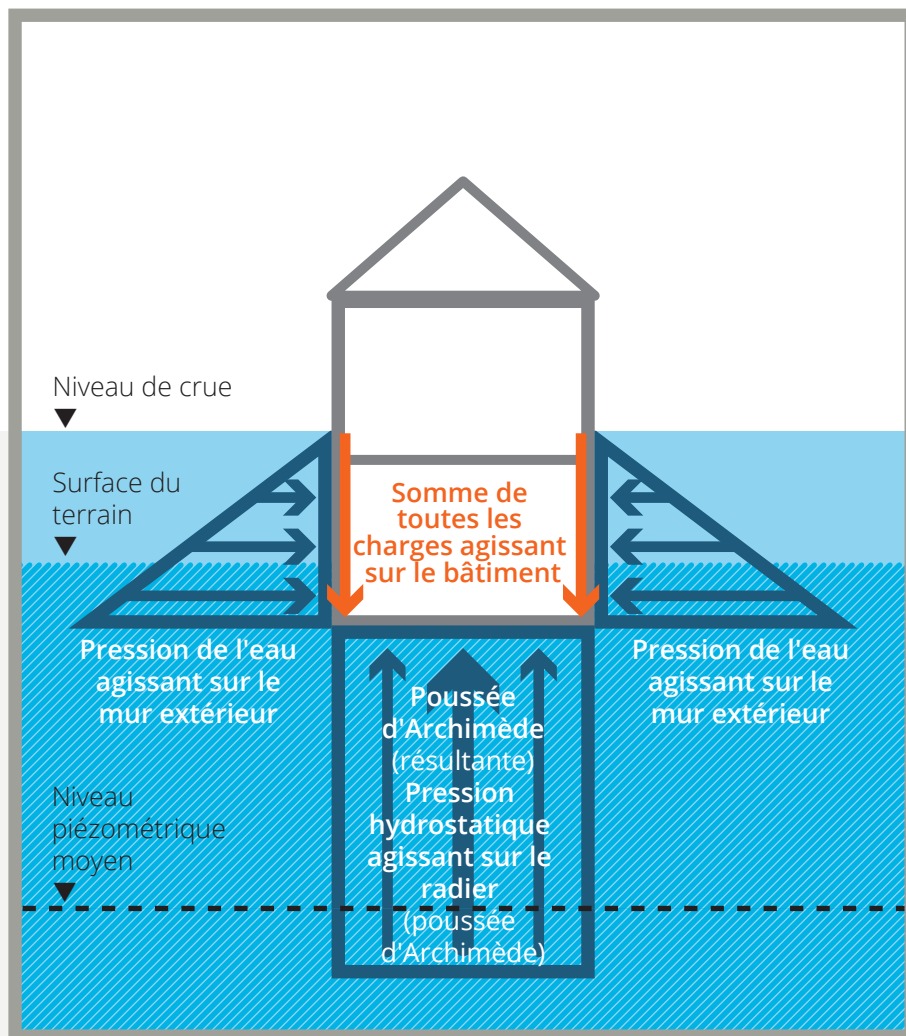


Figure 19
Effondrement d'un bâtiment



Figure 18

Poussée hydrostatique agissant sur le bâtiment en situation d'inondation (DWA-M 553)

4.2 LA PRESSION DE L'EAU ET LA POUSÉE D'ARCHIMÈDE

Lorsque, suite à une inondation par débordement des cours d'eau ou à une inondation par remontée de nappe, le niveau d'eau dépasse les fondations d'un bâtiment, des forces hydrostatiques agissent sur ce dernier. Ces forces (pression de l'eau et poussée d'Archimède) augmentent au fur et à mesure que le niveau d'eau monte.

A défaut d'un dispositif de protection contre la poussée d'Archimède, des éléments du bâti peuvent se soulever ou se mettre à flotter. Il en résulte des dommages au bâtiment tels que les fissures, les dévers, les affaissements, la rupture des tuyauteries d'alimentation et d'évacuation, voire l'effondrement total du bâtiment. Ce risque concerne fréquemment les bâtiments à peu d'étages qui, en raison de leur faible poids propre, ne résistent pas à la poussée d'Archimède. Les pressions latérales exercées par les masses d'eau extérieures peuvent provoquer la rupture des murs de cave ou du radier.

Figure 20

Phénomène de renard hydraulique
(DWA-M 553)

4.3 LE RENARD HYDRAULIQUE, L'ÉROSION DES SOLS DE FONDATION

Les différences du niveau piézométrique ont pour effet des écoulements souterrains ascendants pouvant conduire à la formation d'un renard hydraulique. Un tel phénomène de renard hydraulique se produit lorsque la force d'écoulement est supérieure à la force de pesanteur du sol. Le sol perd en stabilité, il commence à rompre et les grains du sol sont entraînés par l'eau, ce qui réduit la capacité portante des sols de fondation.

Le risque de renard hydraulique se présente généralement dans les zones situées à proximité d'une rivière, étant donné que les conditions hydrogéologiques présentes favorisent les écoulements et que les différences de niveaux d'eau y sont plus variables.

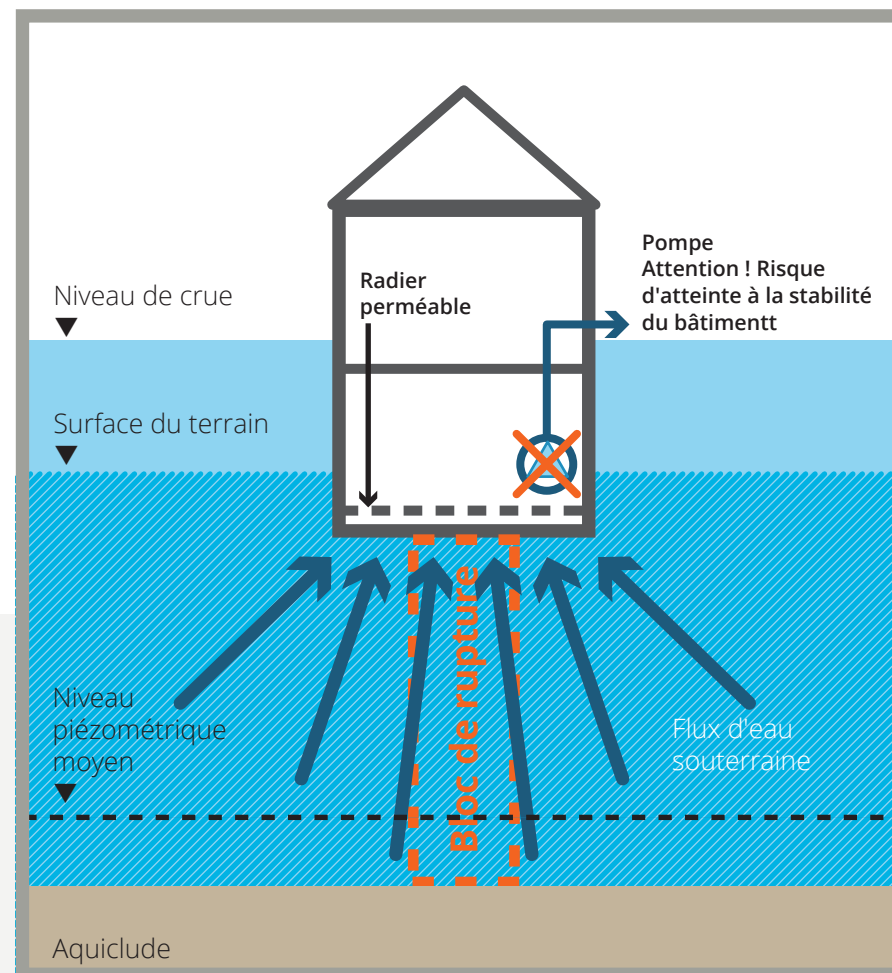




Figure 21 Coulée de débris provoquée par des pluies intenses, 2016

4.4 LE COURANT, LES DÉBRIS FLOTTANTS, L'AFFOUILLEMENT

Surtout dans les zones situées à proximité d'une rivière, les bâtiments sont exposés à des risques liés au courant en situation d'inondation. Des phénomènes d'érosion peuvent se produire si la semelle de fondation est relativement élevée par rapport au fond du cours d'eau. Ils provoquent l'affouillement et le déchaussement des fondations et portent atteinte à la stabilité du bâtiment. Ces phénomènes peuvent être évités à l'aide de murs de palplanches ou d'enrochements. Une fondation plus profonde sur pieux forés constitue une alternative. Les débris flottants emportés par les eaux peuvent également endommager les bâtiments.

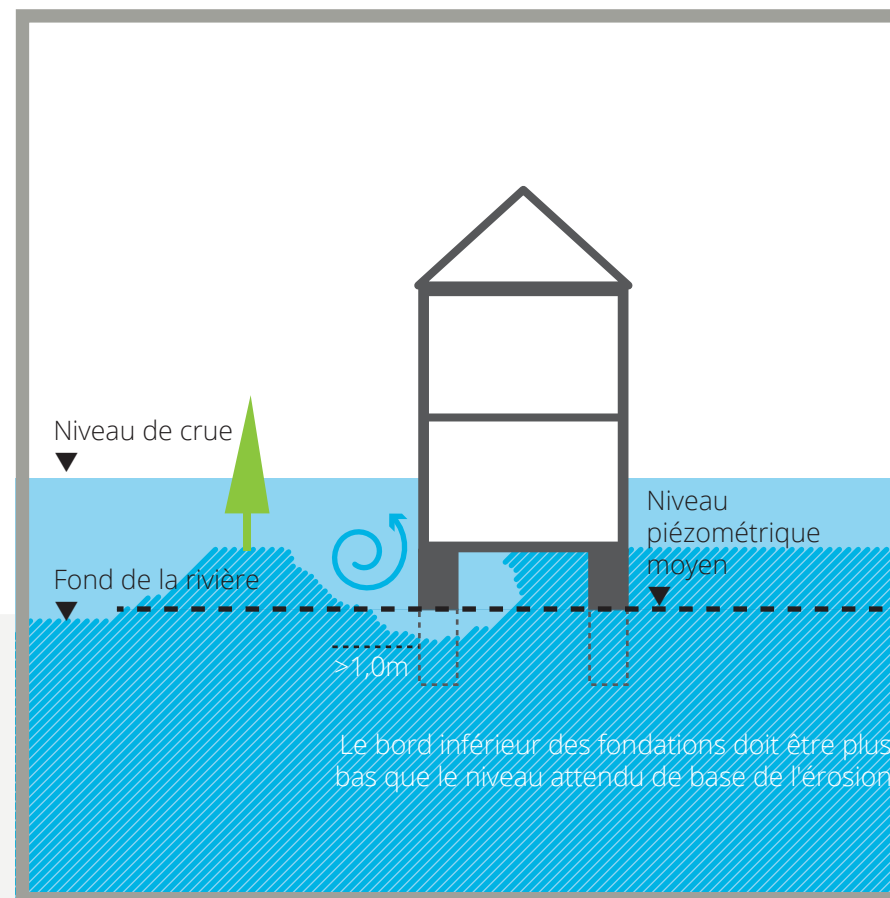


Figure 22 Fondations déchaussées (phénomène d'affouillement) (DWA-M 553)

5 ~ CONSTRUCTION ADAPTÉE AUX RISQUES D'INONDATION STRATÉGIES

Sous réserve du respect de prescriptions spécifiques, il est possible de construire en zone inondable (ZI). Ces prescriptions sont des mesures de construction adaptées aux risques d'inondation. Ces mesures visent à réduire le risque de dommages mais ne peuvent pas être considérées comme une protection absolue contre les inondations. La planification et la construction adaptées aux risques d'inondation ont pour objectif de réduire la vulnérabilité d'un ouvrage afin de minimiser ainsi l'ampleur et l'intensité des dégâts ainsi que les coûts et le temps nécessaires à réparer les dommages.

Bien entendu, ces mesures préventives ne s'appliquent pas exclusivement à l'intérieur des zones inondables réglementaires mais devraient être mises en œuvre sur tous les sites soumis à un risque d'inondation potentiel. Pour adapter le mode de construction aux risques d'inondation, il est décisif d'avoir connaissance de la situation en cas d'inondation.

Les mesures sont attribuées aux trois catégories suivantes :

Éviter

Adapter

Résister

1. EVITER

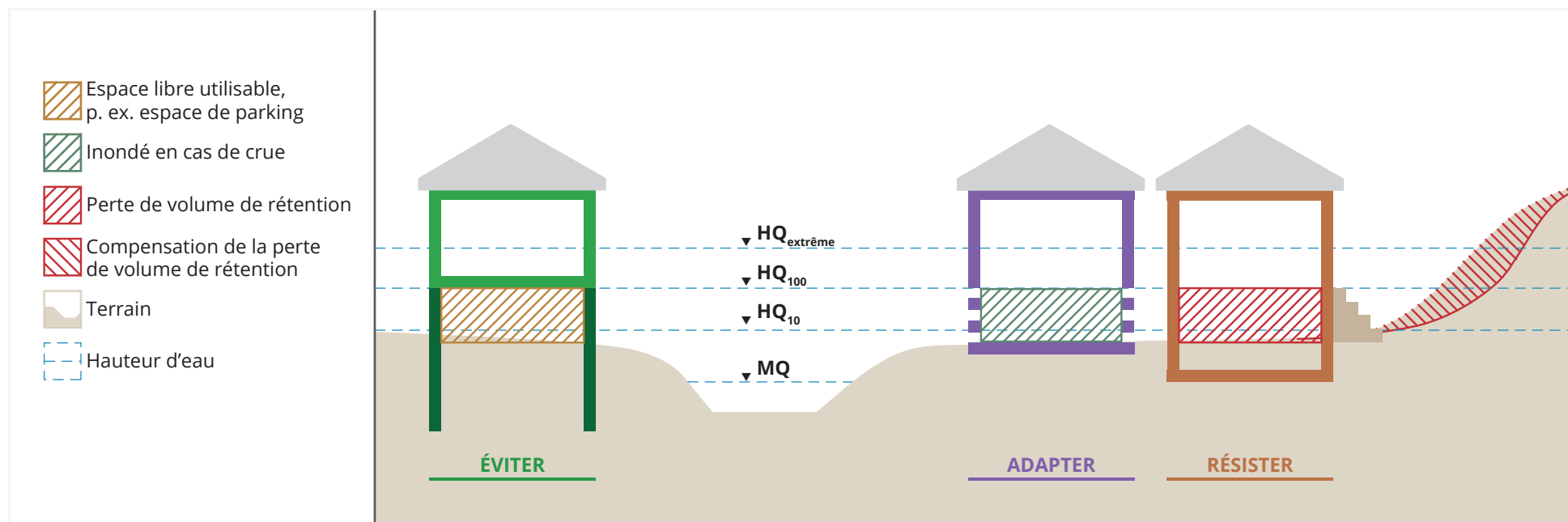
La stratégie la plus efficace contre les dommages consiste à éviter autant que possible le danger (ici : l'inondation) en veillant à ne pas implanter les bâtiments dans une zone à risque. Cela peut se faire à l'horizontale ou à la verticale. Cette stratégie a en outre l'impact le plus faible sur les inondations car elle ne réduit pas le volume de rétention disponible pour l'eau.

2. ADAPTER

« Adapter » (ou « céder ») est une stratégie qui consiste à exposer le bâtiment directement à l'inondation sans pour autant empêcher l'eau de pénétrer.

Cette inondation volontaire du bâtiment le protège contre les dommages dus à la poussée d'Archimède, l'afflux d'eau exerçant une contre-pression. Autre avantage de cette stratégie : La perte en volume de rétention qui implique des mesures de compensation d'envergure est très faible.

Un mode de construction adapté au risque vise à minimiser les dégâts et à permettre la remise en état (relativement) simple et rapide après un évènement d'inondation.



3. RÉSISTER

La stratégie „Résister“ consiste à construire en zone inondable et à exposer le bâtiment à l'eau en cas d'inondation. Dans ce cas, il convient d'éviter ou de limiter la pénétration d'eau. A noter que cette stratégie n'est efficace que jusqu'à l'atteinte de la crue de dimensionnement, par exemple HQ_{100} .

Comme la nouvelle construction occupe une partie de l'espace auparavant disponible à l'expansion des crues, ce type de construction réduit le volume de rétention. Cette stratégie n'est donc autorisée qu'à condition d'une compensation adéquate.

En vue de la procédure d'autorisation, ces trois stratégies sont listées ci-avant par ordre de priorité à respecter lors de la planification d'un ouvrage en zone inondable. Ce n'est qu'après avoir examiné et exclu la faisabilité de la stratégie prioritaire qu'une autre stratégie peut entrer en ligne de compte.

L'ordre de priorité a été fixé en fonction du principe de non-détérioration de la situation pour les riverains aval (ou amont).

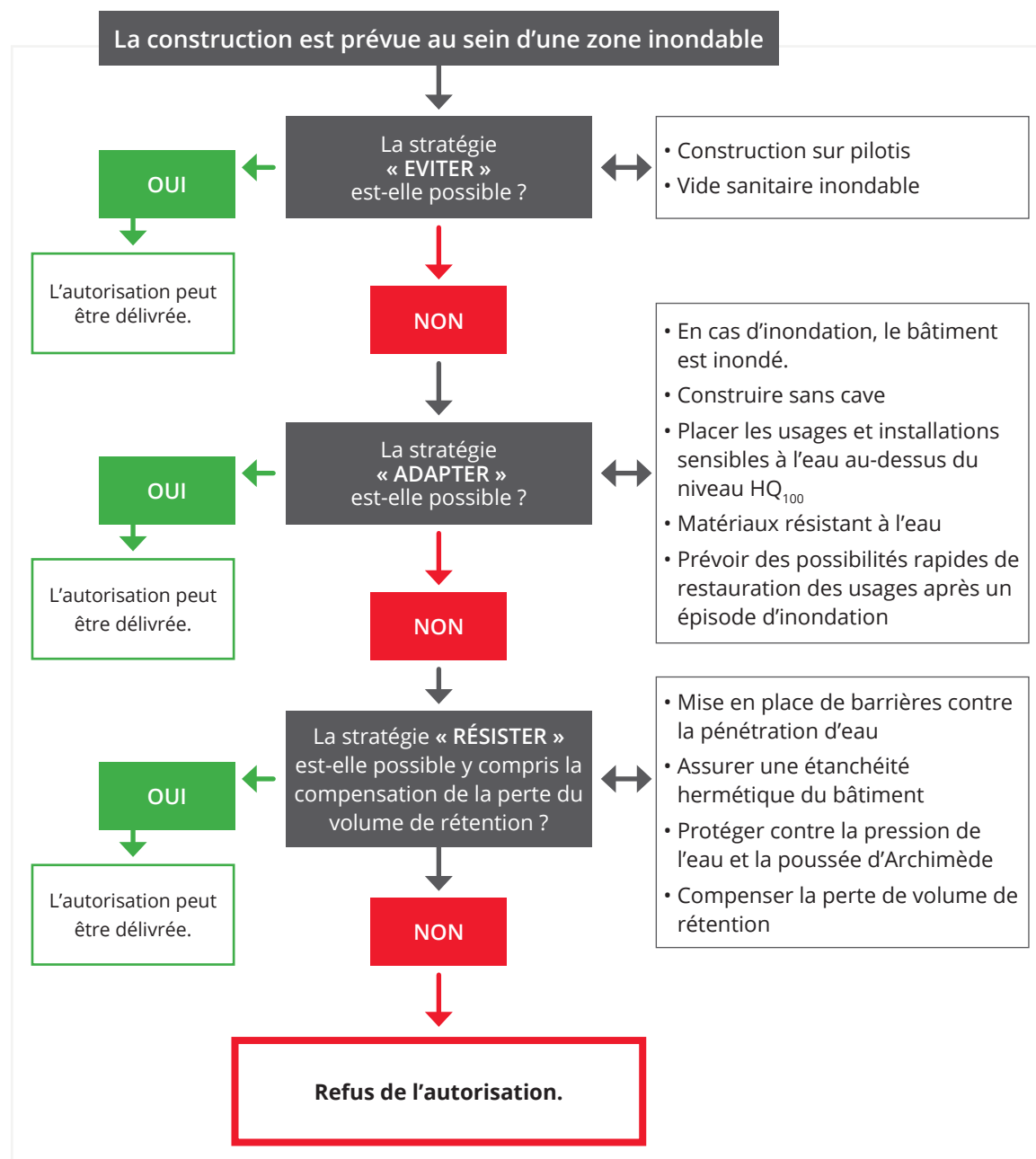


Figure 23

Arbre décisionnel pour l'octroi d'une autorisation selon le droit de l'eau



Figure 24 Eriger un bâtiment au-dessus de la ligne d'eau de crue (construction sur pilotis)
(Hind House, John Pardey Architects)

5.1 ÉVITER

A. EVITER LES ZONES À RISQUE D'INONDATION

La première possibilité de mettre en œuvre la stratégie « Eviter » consiste à ne pas implanter les bâtiments dans les zones à risque d'inondation, voire à les retirer de ces zones pour éviter toute exposition à l'eau. Cette stratégie laisse davantage d'espace aux cours d'eau en leur permettant de se développer dans les corridors fluviaux ; elle correspond ainsi également aux objectifs de la directive-cadre européenne sur l'eau qui demande un développement plus durable. Cette forme d'évitement est horizontale.

B. CONSTRUIRE SUR PILOTIS

La construction sur pilotis consiste à maintenir, à l'aide de pieux ou de piliers, l'arête inférieure du bâtiment au-dessus de la zone dangereuse (cote de dimensionnement). L'eau peut s'épandre librement comme cela était le cas avant la construction. Il n'est cependant pas toujours nécessaire de soulever l'ensemble du bâtiment ; en fonction de sa situation par rapport au cours d'eau, il peut être suffisant d'en soulever une partie. L'espace libre peut servir à des usages non permanents tels que les parkings.

Par ailleurs, la construction sur pilotis est par exemple la solution de choix lorsque l'on veut ajouter une terrasse à une maison existante.

Les pilotis n'étant pas considérés comme objets de refoulement d'eau, cette méthode ne nécessite aucune mesure de compensation de volume. L'espace dégagé sous le bâtiment peut être protégé contre les débris flottants par des grilles ou des dispositifs similaires.

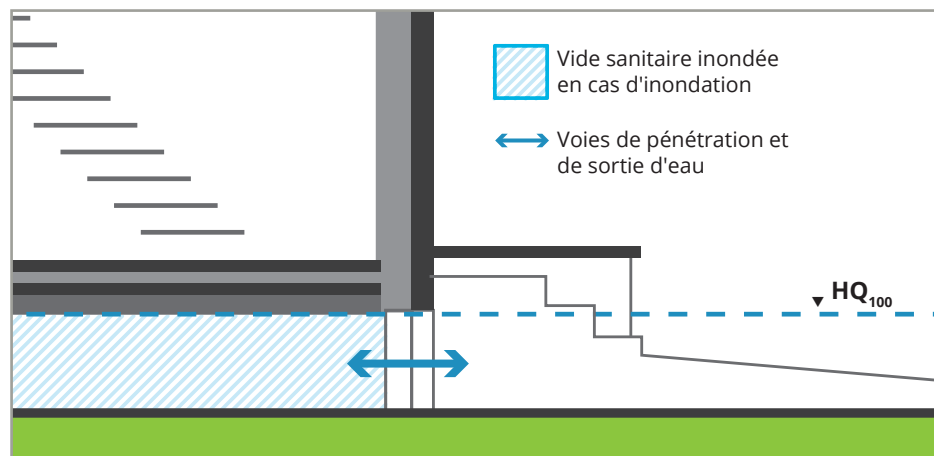


Figure 25 Exemple de vide sanitaire inondable

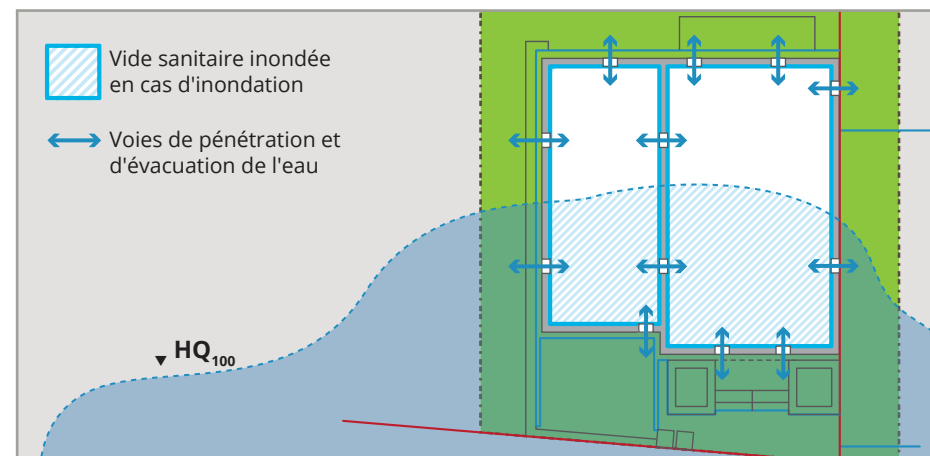


Figure 26 Vue en plan d'un vide sanitaire

C. LE VIDE SANITAIRE

Pour construire un vide sanitaire (ou « vide ventilé », en allemand : « Kriechkeller »), on érige les murs à partir des fondations filantes jusqu'au-delà du niveau d'eau nominal. Le radier du bâtiment y est raccordé et la partie habitable se situe ainsi au-dessus du niveau d'eau nominal. En-dessous du bâtiment, on crée de cette manière un volume libre dans lequel l'eau peut entrer et ressortir à travers des ouvertures soigneusement placées.

Selon la méthode conventionnelle, le vide sanitaire est construit de la manière suivante : dans la plupart des cas, le plancher est placé en-dessous de la surface du terrain. Il doit être perméable et ne doit pas être bétonné côté sol pour éviter toute force hydrostatique en cas d'ascension d'eau à partir de la nappe. Lorsque le niveau d'eau baisse, l'eau peut ressortir par les ouvertures et/ou s'infiltrer dans le sous-sol.

Comme alternative, il est également possible d'équiper le bâtiment d'un radier imperméable placé au niveau du sol. Ce radier ne doit pas être plus haut que le terrain naturel pour que l'eau puisse s'écouler après une inondation. L'eau qui s'écoule dans le vide sanitaire exerce une contre-pression contre les pressions hydrostatiques des eaux (latérales ou agissant de bas en haut) et protège ainsi le bâtiment.

Le vide sanitaire est le plus souvent érigé à faible hauteur, sachant qu'il convient, pour des raisons pratiques, de respecter une hauteur minimale de 80 cm, le vide devant le cas échéant être accessible à l'homme.

Les ouvertures peuvent être protégées par des grilles ou par d'autres dispositifs empêchant les débris flottants d'entrer dans l'espace inondable.

Tout comme pour la construction sur pilotis, il n'est pas nécessaire de compenser le volume de rétention perdu par les murs du vide sanitaire inondable.

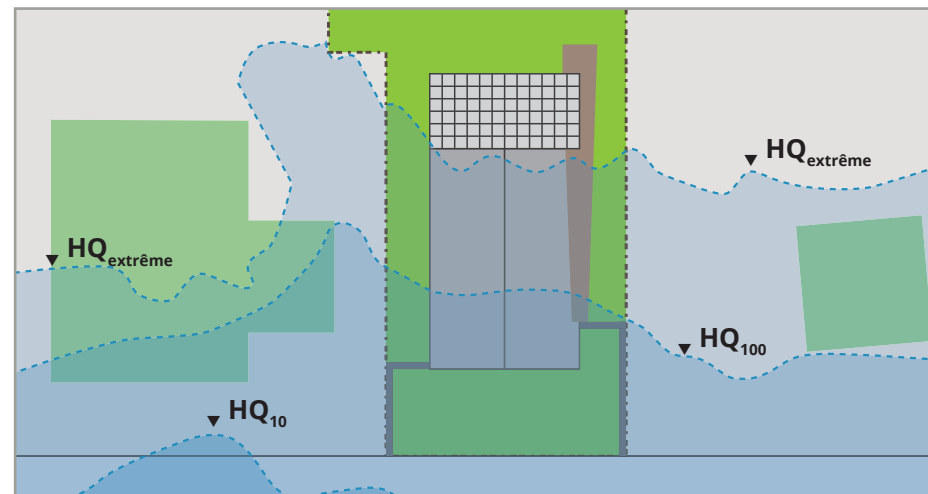


Figure 27 Vue en plan d'un bâtiment avec indication des zones inondables

5.2 ADAPTER

A. RENONCER AUX SOUS-SOLS

Les nouvelles constructions en zone inondable devraient être réalisées sans sous-sols. En cas d'inondation, les caves représentent un danger pour les matériaux stockés et les êtres humains présents, les pièces étant généralement inondées très rapidement. De faibles niveaux d'eau suffisent par ailleurs pour rendre très difficile l'ouverture de portes.

B. METTRE EN EAU POUR PROTÉGER CONTRE LA POUSSÉE D'ARCHIMÈDE ET LA PRESSION DES EAUX

La mise en eau volontaire et contrôlée peut contribuer à prévenir les dommages consécutifs, notamment lorsque les bâtiments ne sont pas protégés contre la poussée d'Archimède. La mise en eau a pour effet une contre-pression agissant contre la pression extérieure, ce qui réduit les sollicitations qui en résultent. La mise en place d'ouvertures est indispensable à la mise en eau volontaire et contrôlée. Les portes, par exemple celles donnant sur le jardin, peuvent également servir à cet effet.

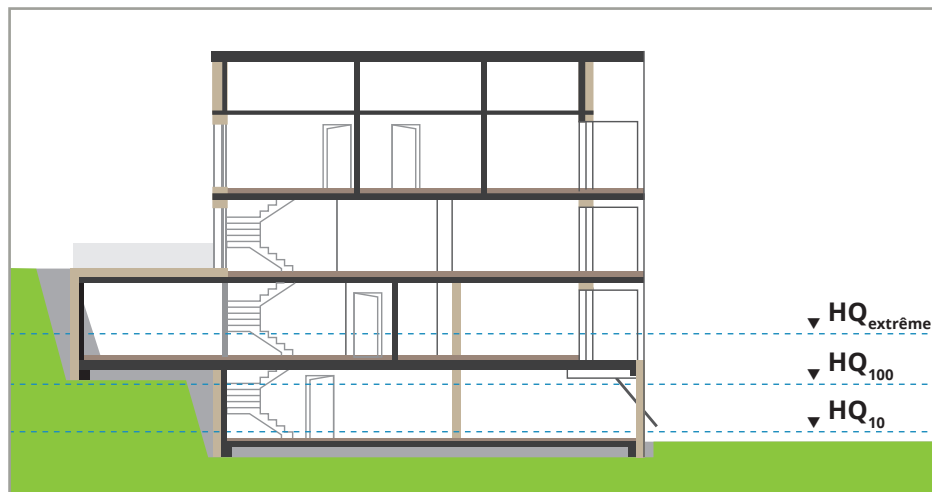
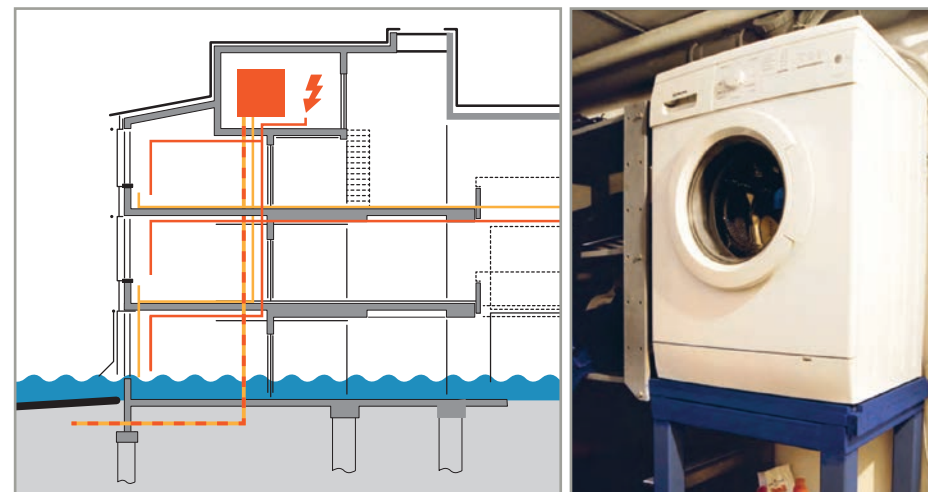


Figure 28 Vue en profil du bâtiment y compris l'espace inondable

C. PLACER LES USAGES ET INSTALLATIONS SENSIBLES À L'EAU

Les usages sensibles à l'eau (tels que dormir et habiter) doivent être tenus à l'écart de la zone exposée au risque d'inondation en les plaçant par exemple aux étages supérieurs. La zone exposée au risque est définie par la hauteur d'eau nominale (par exemple HQ_{100}).

Il en va de même pour les usages ou installations représentant, en cas d'inondation, un danger pour l'homme ou l'environnement, par exemple les réservoirs de fuel. Cette mesure permet de réduire considérablement les dommages potentiels lors d'une inondation.



Figures 29/30 Installer les appareils sensibles sur un support surélevé
(WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, 2015 et Umweltbundesamt, 2011)

Elle s'applique également aux appareils et équipements techniques du bâtiment tels que les boîtes de raccordement particulier, les compteurs et répartiteurs électriques, les prises de courant, les réservoirs de fuel, les ventilations mécaniques contrôlées ou les installations de gaz. Lors de la planification, il faut veiller à prévoir ces installations à la hauteur souhaitée. Cela signifie concrètement d'installer les prises de courant sous le plafond ou de placer les appareils ou installations sensibles sur un socle permettant de les soulever à la hauteur souhaitée. Les parkings ou les entrepôts de matériaux peu sensibles peuvent être aménagés dans la zone à risque.

D. MATÉRIAUX : RÉSISTANCE À L'EAU ET SUCCESSION DES COUCHES

Comme les matériaux de construction sont exposés à l'eau pendant un événement d'inondation, leur résistance à l'eau est un paramètre technique important. C'est notamment la porosité du matériau qui est décisive dans ce contexte. La vulnérabilité des éléments de construction dépend également de leur stabilité. La stabilité dimensionnelle et la constance de volume ainsi que la résistance aux infestations phyto- et zoo-parasitaires sont d'autres facteurs importants. Il est également intéressant de savoir dans quelle mesure les matériaux se prêtent au séchage technique ou naturel. Les bâtiments qui ne sont pas suffisamment séchés après avoir été inondés présentent un risque élevé de formation de moisissure. Certains matériaux de construction sont plus résistants aux inondations que d'autres et sont donc à favoriser.

Dans la plupart des cas, les murs, plafonds et planchers sont construits en plusieurs couches pour répondre aux diverses exigences. La construction moderne de murs doit garantir une isolation thermique et acoustique et protéger contre l'humidité. A cet effet, on opte pour des constructions multicouches voire multicoques. La résistance d'une telle construction en situation d'inondation dépend par conséquent de l'ensemble des matériaux utilisés ; l'évaluation de l'adéquation doit donc toujours porter sur la succession des couches dans son ensemble.

Ouvrage	Matériau de construction ou mode d'exécution	Résistance contre l'action de l'eau		
		bonne	moyenne	mauvaise
Matériaux	Chaux	x		
	Plâtre			x
	Ciment	x		
	Matériaux cuits	x	x	
	Argile (selon la durée d'action)	x	x	x
	Produits en grès	x		
	Bitume (enduits et lés)	x		
	Métaux (selon le type)	x	x	
	Matières plastiques (selon le type)	x	x	x
	Bois (selon l'essence)		x	x
	Matières textiles			x
	Matières absorbantes			x
Dalle de fondation	Béton imperméable à l'eau	x		
Structure du sol	Chape	x	x	
	Chape flottante		x	x
	Chape anhydrite			x
	Poutres en bois		x	
Revêtement de sol	Pierre naturelle (granit, dolomite)	x		
	Grès			x
	Marbre			x
	Pierre artificielle	x		
	Carrelage (selon le type)	x	x	
	Surfaces en résines époxydes	x		
	Parquet/sol stratifié			x
	Pavé en bois			x
	Bois massif			x
	Liège			x
	Revêtements textiles (tapis, moquettes)			x
	Linoléum			x

Ouvrage	Matériau de construction ou mode d'exécution	Résistance contre l'action de l'eau		
		bonne	moyenne	mauvaise
Murs	Briques silico-calcaires	x		
	Briques pleines en terre cuite	x		
	Briques pleines perforées		x	
	Klinker	x		
	Béton	x		
	Béton cellulaire durci en autoclave		x	
	Argile (selon la durée d'action)		x	x
	Cloisons légères en plaques de plâtre			x
	Bois			x
	Briques de verre	x		
Enveloppe du bâtiment	Systèmes composites pour l'isolation thermique extérieure			x
	Crépis minéraux (ciment, chaux hydraulique)	x		
	Maçonnerie de parement avec lame d'air	x		
	Carreaux en grès cérame	x		
	Isolation hydrofuge	x		
	Plinthes en plastique	x		
	Plaques en fibrociment	x		
	Isolants fibreux			x
	Crépis minéraux de ciment	x		
	Crépis de chaux (chaux hydrauliques)	x		
Crépis	Crépis de plâtre			x
	Argile (selon la durée d'action)	x	x	
	Crépis spéciaux (imprégnation hydrophobe)	x		
	Crépis de résines synthétiques	x		
Peinture	Peintures minérales	x		
	Peintures à la chaux	x		
	Peinture de dispersion			x

Ouvrage	Matériau de construction ou mode d'exécution	Résistance contre l'action de l'eau		
		bonne	moyenne	mauvaise
Revêtement mural	Papiers peints			x
	Carrelage	x		
	Bois			x
	Matières textiles			x
	Placoplâtres			x
	Liège			x
Fenêtres	Bois (selon l'essence)		x	x
	Plastique	x	x	
	Aluminium	x		
Rebords de fenêtre	Acier galvanisé	x		
	Marbre			x
	Autres pierres naturelles (granit par exemple)	x		
	Bois (selon l'essence)		x	x
	Aluminium et métaux revêtus	x		
	Grès			x
Portes	Ardoise		x	
	Châssis en bois			x
	Châssis en métal	x		
	Portes en bois			x
	Portes en inox	x		
Escaliers	Béton	x		
	Bois			x
	Construction en acier galvanisé	x		
	Escaliers massifs en pierre naturelle	x		

Quelle

nach Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (2013)



Figure 31 Fenêtre anti-inondation (WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, 2015)

5.3 RÉSISTER

A. PROTÉGER CONTRE LA PÉNÉTRATION D'EAU

La mise en place de barrières doit permettre d'obturer hermétiquement toutes les ouvertures susceptibles de laisser pénétrer de l'eau d'inondation ou de l'eau souterraine. De telles ouvertures sont par exemple les soupiraux, les portes, les fenêtres, les passages des conduits et des câbles ainsi que les raccordements au réseau d'évacuation des eaux.

Les mesures de protection suivantes sont possibles pour empêcher la pénétration d'eau :

- les systèmes de batardeaux ou les digues (mis en place autour d'un bâtiment),
- les systèmes de batardeaux (mis en place au droit des ouvertures d'un bâtiment),
- des fenêtres et des portes résistant à la pression de l'eau,
- un système d'étanchéification pour les passages des conduits et des câbles (en post-équipement uniquement, ne peut pas être autorisé pour les nouvelles constructions),
- les clapets anti-retour sur les canalisations.



Figure 32 Entrée surélevée (WBW Fortbildungs-gesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, 2015)

Toutes les entrées au bâtiment doivent être aménagées au-dessus du niveau de la crue centennale (HQ_{100}). On exclut ainsi toute possibilité de pénétration d'eau et on garantit l'évacuation en situation d'inondation.

En ce qui concerne les dispositifs d'obturation, il est impératif de veiller à la statique du bâtiment. Le niveau de l'eau présent à l'extérieur du bâtiment et sa montée ont pour effet une poussée d'Archimède et une pression d'eau qui agissent sur le bâtiment.

B. LE CAS PARTICULIER DES PARKINGS SOUTERRAINS EN ZONE INONDABLE

Les parkings souterrains, en particulier ceux à plusieurs étages, ne sont pas recommandés en zone inondable car ils se remplissent en quelques minutes en cas d'inondation et peuvent donc représenter un danger pour les personnes. On sous-estime souvent la vitesse avec laquelle se remplissent les étages du sous-sol lorsque l'eau y pénètre. En cas d'inondation de l'installation électrique, il y a risque de coupures de courant voire d'électrocution. Cela entrave en particulier le repérage des itinéraires d'évacuation.

Lors de la planification des bâtiments en zone inondable, il convient de ce fait de n'envisager des parkings souterrains que si toutes les autres possibilités de création d'aires de stationnement ont été examinées et rejetées de façon justifiée.

Figure 33

*Inondation d'un parking souterrain
(Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge
Rheinland-Pfalz und WBW Fortbildungsgesellschaft für
Gewässerentwicklung mbH, 2012)*

Une autorisation de construction pour les parkings souterrains ne peut par ailleurs être délivrée que sous certaines conditions visant à protéger les personnes en situation d'inondation et à minimiser les dégâts matériels et environnementaux.

La première contrainte limite l'usage des étages souterrains au seul stationnement. Tout autre usage de ces étages est proscrit. En outre, tous les éléments de la construction (souterrains ou de surface) susceptibles d'être exposés aux inondations doivent être absolument étanches. Dans la zone à risque, les passages des conduits et câbles ne sont autorisés que sous certaines conditions. S'il peut être prouvé que la pose des conduites d'adduction d'eau potable et d'évacuation des eaux usées est techniquement impossible au-dessus du seuil HQ_{100} , le raccordement peut être effectué en-dessous de cette limite. Par contre, les branchements de gaz et d'électricité doivent toujours être installés au-dessus du HQ_{100} .

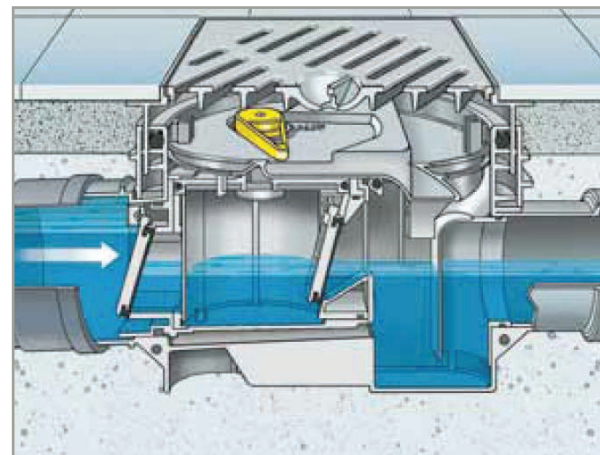


D'autres contraintes spécifiques dépendent du nombre d'étages du parking souterrain.

Les aires de stationnement peuvent être réalisées en-dessous du bâtiment, sous la forme d'un demi-étage souterrain. A cet effet, le bâtiment est rehaussé d'un demi-étage, par exemple en le mettant sur pilotis. Accessible via une rampe, l'espace ainsi créé est sous eau en cas d'inondation. Ce mode de construction ne réduit donc pas l'espace de rétention.

Figure 34

Protection du bâtiment contre le refoulement
(Bundesministerium für Verkehr, Bau und
Stadtentwicklung, 2013)



Lorsqu'il s'agit d'un parking souterrain à un seul étage, toutes les entrées et sorties doivent être positionnées au-delà de la hauteur d'eau centennale (HQ₁₀₀) et des plans d'urgence sont à élaborer.

Pour les parkings souterrains à deux étages, ces contraintes sont renforcées par l'obligation de prévoir un dispositif mobile de protection contre les inondations, l'objectif de protection minimal étant la crue extrême. Le plan d'urgence doit clairement définir les acteurs en charge du montage de ces dispositifs, un service d'astreinte devant être assuré à tout moment.

Dans les immeubles à usage mixte (habitations et bureaux, par exemple), les emplacements pour le stationnement journalier sont à prévoir à l'étage inférieur : l'on part du principe que leurs détenteurs sont généralement sur place et peuvent évacuer leurs véhicules à temps.

Les parkings à plus de deux étages souterrains ne sont pas autorisés, les voies d'évacuation étant trop longues et l'évacuation devenant donc trop chronophage et trop dangereux.

C. PROTÉGER CONTRE LE REFOULEMENT D'ÉGOUT

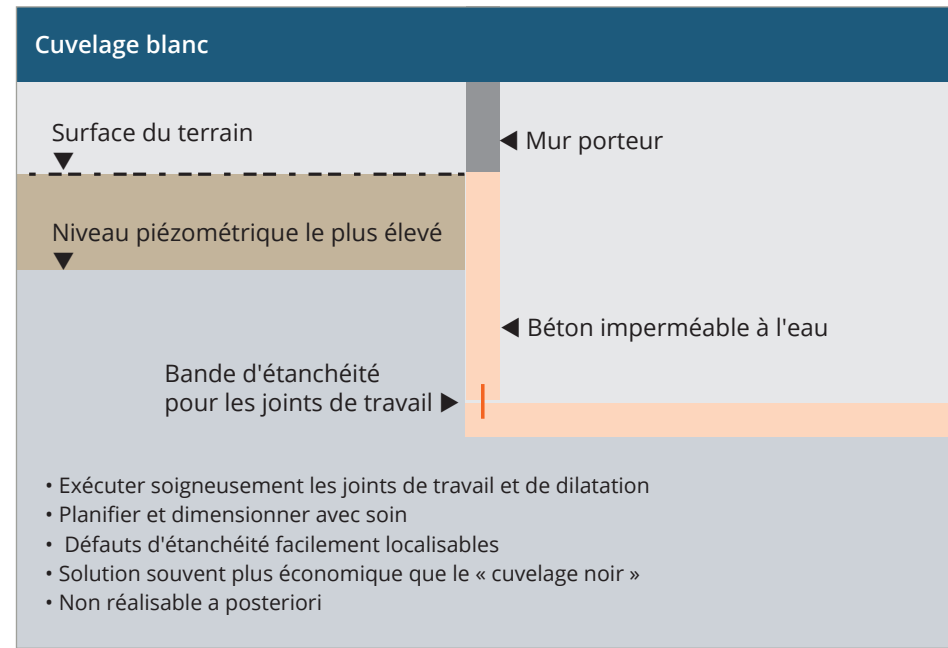
La montée des eaux dans le réseau d'égout peut avoir deux origines : Les épisodes pluvieux intenses qui surchargent les réseaux ou la pénétration d'eau suite à un niveau d'eau élevé dans le cours d'eau. La montée des eaux se poursuit à travers les égouts et les raccordements domestiques et atteint ainsi les bâtiments.

Des dispositifs de sécurité tels que les clapets anti-retour ou les vannes d'arrêt permettent d'éviter le refoulement d'égout. Si les délais de préalerte sont suffisants, les vannes d'arrêt offrent une plus grande sécurité, mais elles doivent être fermées manuellement.

Même si la protection contre le refoulement d'égout figure dans le présent guide sous le chapitre « Résister », on recommande cette forme de protection pour toutes les stratégies et tous les bâtiments, même en dehors des zones inondables, notamment au regard des événements pluvieux intenses qui sont difficiles à prévoir.

Figure 35

« Cuvelage blanc » selon DIN 1045, DIN EN 206, DaFStb « directive WU »



D. ÉTANCHÉIFIER LES BÂTIMENTS

On fait la distinction entre deux types d'étanchéification :

- L'étanchéification des façades extérieures du gros œuvre, combinée à l'étanchéification horizontale supplémentaire de la section du mur,
- La construction du gros œuvre assurant une fonction tant porteuse qu'étanchéifiante.

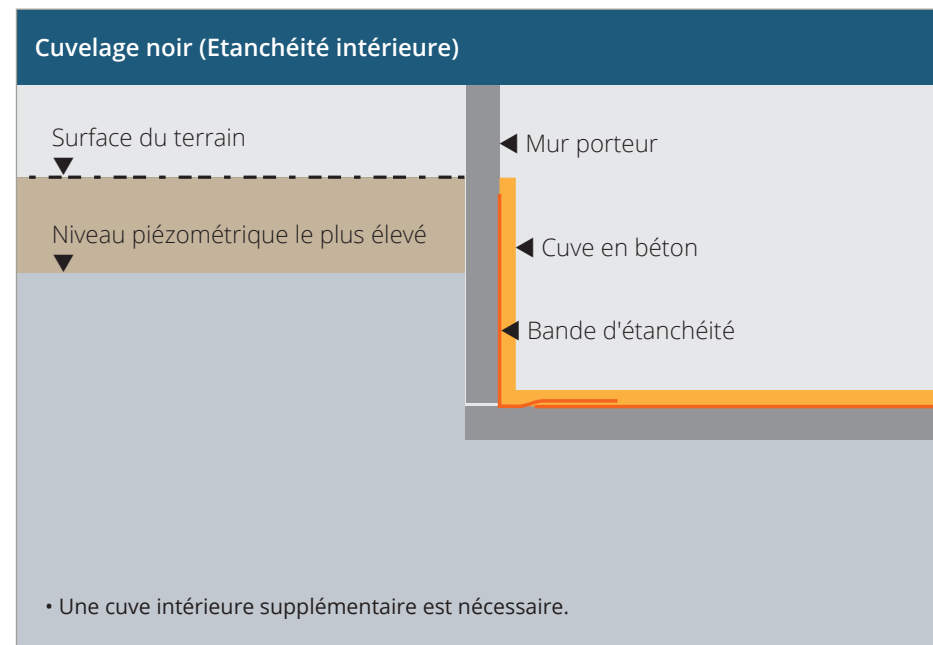
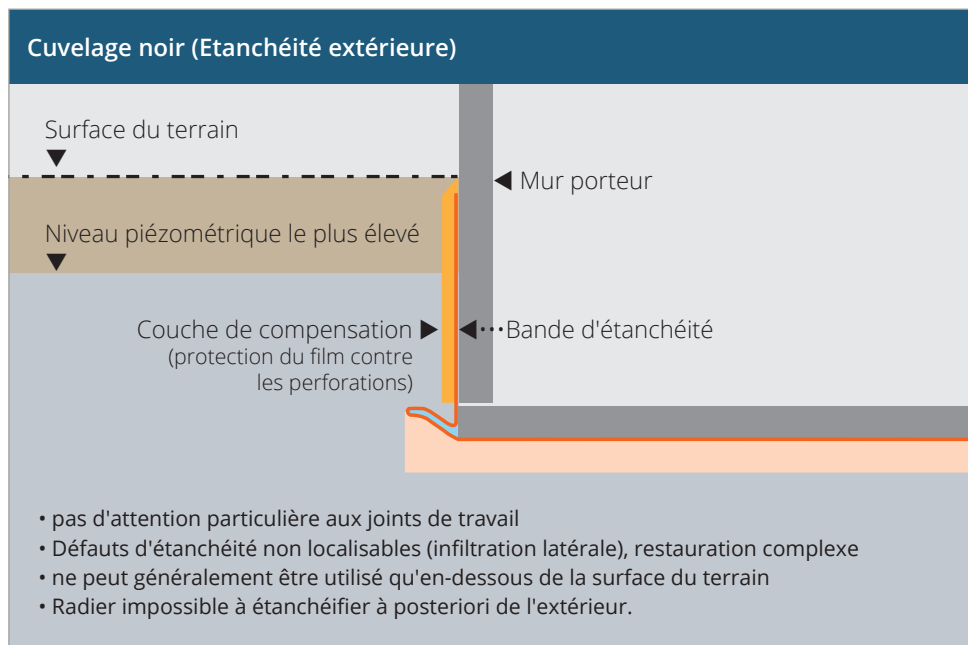
D'une manière générale, toutes les constructions en contact avec le sol – quel que soit leur type – doivent être étanchéifiées. Mais en cas d'inondation, les éléments de construction situés au-dessus de la surface du terrain sont eux aussi soumis à de fortes sollicitations dues à la pression de l'eau et doivent de ce fait être considérés dans le projet d'étanchéité.

Les étanchéifications en contact avec le sol sont ventilées comme suit :

Cuvelage en béton
« cuvelage blanc »

cuvelage en bitume
« cuvelage noir »

On désigne comme « cuvelage blanc » un ensemble en béton imperméable à l'eau, composé du radier et des murs extérieurs. Dans ce cas, le béton armé assure non seulement une fonction porteuse, mais il a également un effet imperméabilisant qui rend superflue une couche d'étanchéification supplémentaire. Un soin particulier doit être apporté à la conception et à l'exécution de ce type de cuvelage, car le béton imperméable doit, dans la mesure du possible, rester exempt de fissures ou présenter peu de fissures. Les joints de maçonnerie doivent être durablement obturés par des mesures supplémentaires, par exemple en posant des bandes à joints. Dans la pratique, une pose a posteriori du cuvelage blanc s'est avérée inadaptée car elle va de pair avec des apports importants dans le bâti existant.



Figures 36/37

« Cuvelage noir » selon DIN 18195

Le concept de « cuvelage noir » désigne une construction composée du radier et des murs extérieurs dont la face extérieure est complètement étanche contre la pression de l'eau. Cette étanchéité est souvent atteinte par un revêtement de membranes bitumineuses ou de membranes à base de bitume polymère dont la couleur est éponyme de ce mode d'imperméabilisation. Les cuvelages noirs peuvent être utilisés en combinaison avec différents types de maçonnerie. Ce dispositif d'étanchéification du bâtiment doit être protégé contre toute sollicitation mécanique ou thermique. Un avantage du cuvelage noir réside dans les faibles coûts de réparation et d'entretien, mais à condition que le cuvelage soit bien accessible.

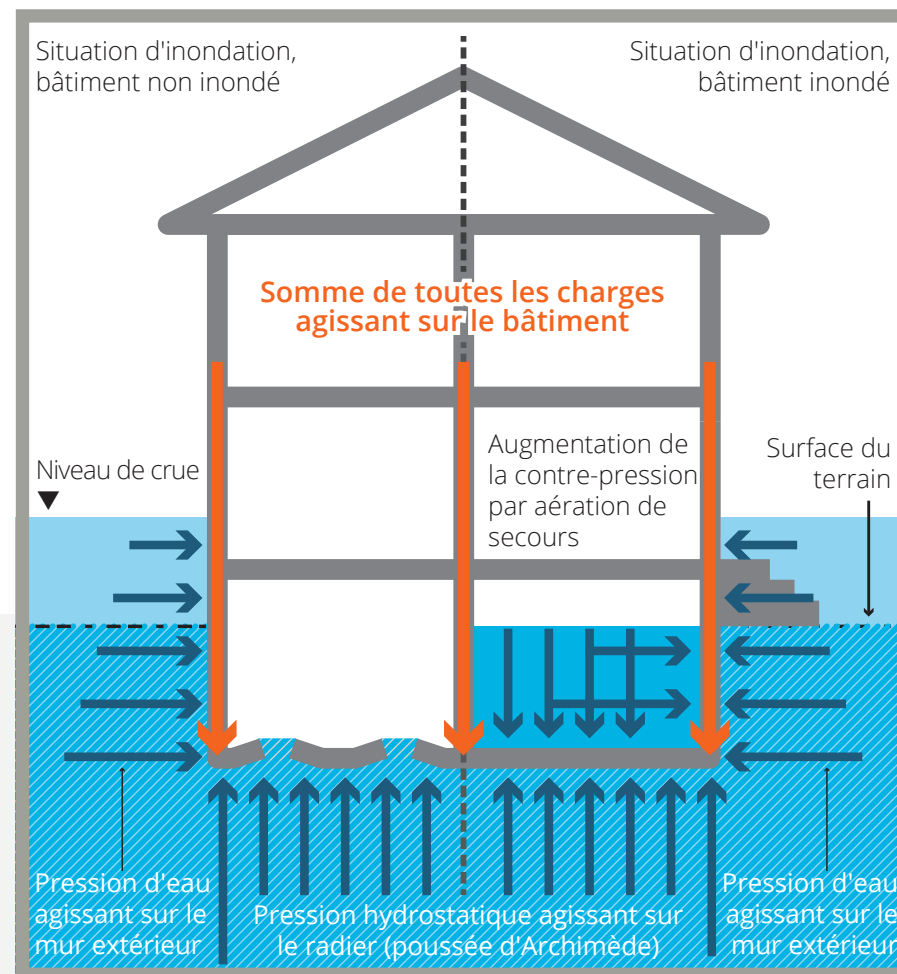
Figure 38

Augmentation de la contre-pression par inondation d'urgence
(Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau
und Reaktorsicherheit, 2013)

E. PROTÉGER CONTRE LA POUSÉE D'ARCHIMÈDE ET CONTRE LA PRESSION DE L'EAU

Il convient de protéger les nouvelles constructions contre la poussée d'Archimède. L'une des possibilités de le faire est l'ancrage arrière par tirants d'ancrage ou par pieux. Les bâtiments existants non résistants à la poussée verticale peuvent être protégés contre la pénétration d'eau souterraine à l'aide d'un drainage spécifique évitant les remontées capillaires.

Au cours de la période de construction de bâtiments résistants à la poussée, il est important de prendre des mesures de prévention des inondations. Des ouvertures d'urgence sont ainsi à prévoir pour le cas où une inondation du bâtiment avec de l'eau claire n'est pas possible. A un stade plus avancé de la construction, les systèmes de drainage installés



sous le radier et connectés à des tuyaux à l'intérieur du bâtiment peuvent également servir à la mise en eau nécessaire.

F. COMPENSER LA PERTE DE VOLUME DE RÉTENTION

La construction de bâtiments selon la stratégie « résister » a pour l'objectif de tenir l'eau à l'écart de l'intérieur du bâtiment. Pour les nouvelles constructions, cela signifie qu'en cas d'inondation, l'eau ne peut plus occuper l'espace auparavant disponible à son expansion. Le même problème se pose pour les remblais de toute sorte (c'est-à-dire aussi lorsque des terres déblayées au cours de travaux de terrassement sont entassées autour d'un bâtiment), et c'est la raison pour laquelle ces remblais sont également soumis à autorisation.

Les pertes de volume de rétention ont pour effet que le volume d'eau déplacée par le bâtiment neuf est « transmis » aux voisins ou villages situés à l'aval où la situation se détériore par conséquent. Cela est interdit au titre de l'article 39 de la loi relative à l'eau. De tels projets qui réduisent le volume de rétention ne peuvent donc être réalisés que si la perte de volume peut être compensée. Les principes suivants s'appliquent à cette compensation de volume de rétention :

- Comme les inondations peuvent se produire à tout moment, la mesure compensatoire doit être réalisée en même temps que le chantier de construction.
- La mesure compensatoire doit être conçue de sorte à créer de l'espace « nouveau ». Deux règles sont à respecter :
 - La mesure compensatoire ne doit pas être réalisée au sein de la zone inondable, mais en bordure. Si la construction nouvelle est par exemple prévue en zone inondable HQ_{10} , la mesure compensatoire doit être effectuée à l'interface entre la zone HQ_{10} et la zone HQ_{100} .

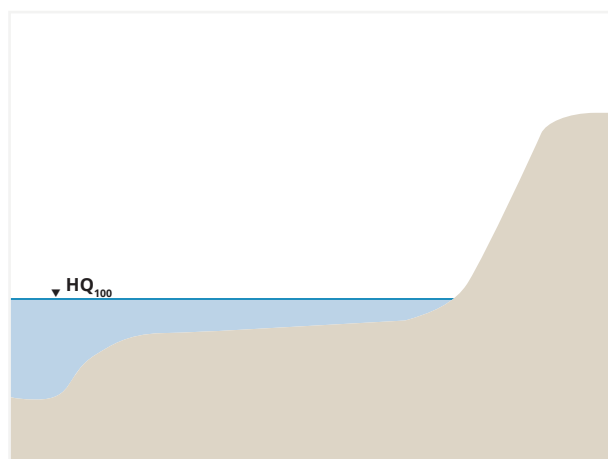
- L'excavation d'une fouille est une mesure insuffisante. Une fois inondé, ce volume n'a ensuite plus d'effet compensatoire sur les hauteurs d'eau. Mieux : Création d'un espace inondable, peu profond et permettant à l'eau de circuler et dont l'effet de rétention est obtenu par la largeur et non par la profondeur.
- La mesure de compensation de la perte de volume de rétention doit être mise en œuvre à proximité immédiate du volume évincé. La réalisation de cette mesure compensatoire sur la rive opposée est autorisée.
- S'il est envisagé de compenser la perte de volume à une distance plus importante, il convient de prouver, à l'aide de modèles numériques d'écoulement, que l'impact de la mesure sur la situation d'inondation est neutre. Pour élaborer de tels modèles complexes, il est en règle générale nécessaire de faire appel à des bureaux d'études.
- Des projets d'ores et déjà réalisés tels que des renaturations (éventuel effet réducteur des inondations grâce à la redynamisation d'espaces de rétention naturelle) ne peuvent pas faire office de mesure compensatoire d'une perte de volume qui est générée ultérieurement.
- Néanmoins, il est tout à fait possible de mettre en œuvre des mesures de renaturation pour créer des volumes de compensation en vue de projets de construction prévus. Dans ce cas, il faut prouver à l'aide d'un modèle hydraulique d'écoulement que la mesure est fonctionnelle.

Pour calculer le volume de rétention perdu, on peut se servir des coupes transversales des cartes des zones inondables et des cartes des risques d'inondation. Les remblais réalisés sur le terrain doivent également être pris en compte.

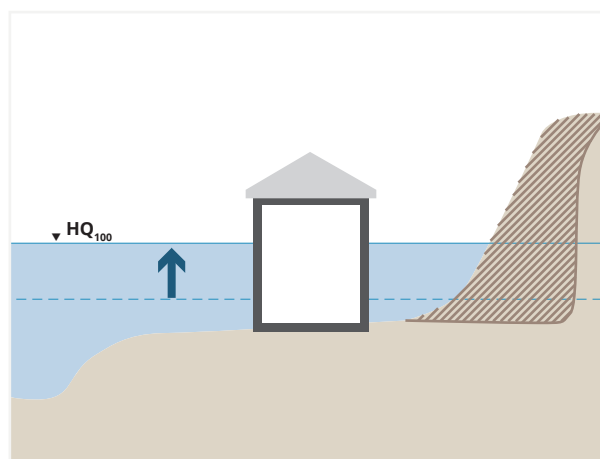
La rénovation de bâtiments existants constitue une particularité. Dans ce cas, les calculs ne se réfèrent pas au terrain non bâti, mais à l'immeuble existant. Si la surface bâtie n'est pas modifiée au cours de la rénovation, une mesure de compensation n'est pas requise.

Pour ce qui est des remontées de nappe, il n'est pas prévu de compensation de la perte de volume de rétention. Aucune compensation n'est requise pour les constructions en zone $HQ_{\text{extrême}}$. Il existe par ailleurs une limite en-deçà de laquelle la perte de volume ne doit pas être compensée. Cette limite est de 10 m^3 .

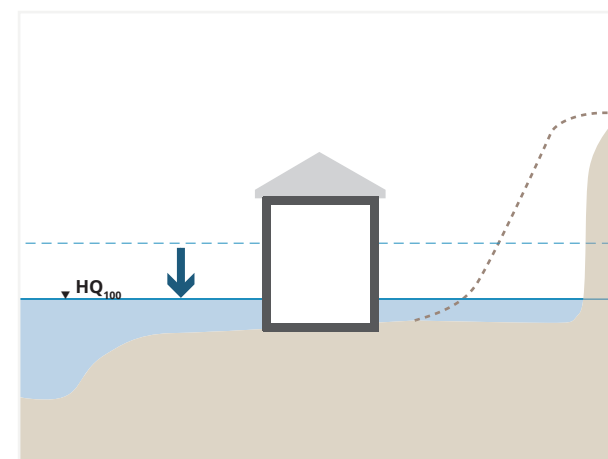
COMPENSATION DE LA PERTE DE VOLUME DE RETENTION : UN EXEMPLE



Niveau d'eau initial du scénario HQ_{100} avant la construction



La construction cause une perte du volume de rétention et donc une modification de la situation en cas d'inondation. Ici, le niveau d'eau aux alentours augmente à cause de cette perte. Le terrain hachuré peut être pris en considération pour la compensation du volume perdu.



Grâce à cette compensation, le niveau d'eau sera à nouveau abaissé. La situation en cas d'inondation, pour les débits pareils, n'est pas modifiée par rapport à l'état initiale.

INDEX DES SOURCES

Administration de la Gestion de l'Eau (AGE) (2017): URL <http://eau.public.lu/>

AGE (2011): Cartes des zones inondables, cartes des risques d'inondation, plans de gestion des risques d'inondation (Brochure)

AGE (2015): Plan de gestion des risques d'inondation pour le Grand-Duché de Luxembourg

AGE (2013): Cartes des zones inondables au Luxembourg (brochure)

ASTA (Administration des services techniques de l'agriculture) (1999): Bassin pour la rétention des hautes eaux sur la « Wark » à Welscheid

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Österreich (2011): Leitfaden – Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2015): Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“, Ein Handbuch für Bürger und Kommunen.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Deutschland (2015): Hochwasserschutzfibel, Objektschutz und bauliche Vorsorge

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Hochwasserschutzfibel, Objektschutz und bauliche Vorsorge

LAWA (Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2013): Empfehlungen zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (2010): Le bâtiment face à l'inondation, Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2010): DWA-M 551: Audit „Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2012): DWA-M 552: Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2014): DWA-M 553: Hochwasserangepasstes Planen und Bauen

Direction régionale de l'environnement Centre – Ville d'Orléans (2008): Comment mieux construire ou rénover en zone inondable

Informations- und Beratungszentrum Hochwasservorsorge Rheinland-Pfalz und WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (2013): Starkregen, Was können Kommunen tun?

L. Blum/Wort (2014) : in Wort.lu : Itzig erhält Hochwasserschutz, 13.Juni 2014, <https://www.wort.lu/de/lokales/projekt-kostet-1-9-millionen-euro-itzig-erhaelt-hochwasserschutz-5399d747b9b3988708035598>

Müller U. (2010): Hochwasserrisikomanagement

Patt. H, Jübner R. (2013): Handbuch Hochwasser

Tageblatt.lu (2016): heftige Unwetter über Luxemburg, 22. Juli 2016, http://www.tageblatt.lu/nachrichten/faits_divers/heftige-unwetter-uber-luxemburg-11382919/

Umweltbundesamt (2011): Hochwasser, Bestehen, Erkennen, Handeln!

WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH (2015): Hochwasser-Risiko-bewusst planen und bauen – Entwicklungen, Konzepte, Strategien, Instrumente

LOIS ET RÈGLEMENTS

Directive 2007/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations

Loi du 19 décembre 2008 relative à l'eau

Règlement grand-ducal du 30 décembre 2010 concernant les aspects techniques du programme directeur de gestion des risques d'inondation.

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de l'Alzette et de la Wark

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de l'Attert, de la Roudbaach et de la Pall

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de la Mamer et de l'Eisch

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de la Moselle et de la Syre

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de la Sûre inférieure, de l'Ernz blanche et de l'Ernz noire

Règlement grand-ducal du 5 février 2015 déclarant obligatoires les cartes des zones inondables et les cartes des risques d'inondation pour les cours d'eau de la Sûre supérieure, de la Wiltz, de la Clerve et de l'Our

Administration de la gestion de l'eau

1, avenue du Rock'n'Roll

L-4361 Esch-sur-Alzette

www.waasser.lu

