HAL
open science

CSTB - Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers, rapport final

Jean-Luc Salagnac, Dorothée Marchand, Céline Florence, Philippe Delpech, Jean.-Michel Axès

To cite this version:

Jean-Luc Salagnac, Dorothée Marchand, Céline Florence, Philippe Delpech, Jean.-Michel Axès. CSTB - Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers, rapport final. CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment. 2014. hal-01064721

HAL Id: hal-01064721

https://cstb.hal.science/hal-01064721

Submitted on 17 Sep 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CSTB
le futur en construction

Maîtrise des risques

Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers

Rapport final

J-L. Salagnac, D. Marchand, C. Florence, P. Delpech, J-M Axes

Juillet 2014

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | www.cstb.fr
ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229
MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

Maîtrise des risques

Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers

Rapport final

J-L. Salagnac, D. Marchand, C. Florence, P. Delpech, J-M Axes

Centre scientifique et technique du bâtiment, Directions Economie et sciences humaines, Sécurité structures feu, Climatologie - aérodynamique - pollution - épuration

Juillet 2014

© 2014 CSTB

Ce texte est distribué sous les termes de la licence Creative Commons Attribution 3.0 non transposé (CC BY 3.0).
Le texte complet de la licence est disponible à l'adresse suivante : http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode

Résumé des droits et conditions de la licence :
⇒ **Vous êtes libre de** :
→ partager (reproduire, distribuer et communiquer) l'œuvre ;
→ remixer, adapter l'œuvre ;
→ d'utiliser cette œuvre à des fins commerciales.
⇒ **Selon les conditions suivantes** :
→ **Attribution (paternité, crédit)** : vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre).
Toute citation d'extraits, reproduction ou utilisation doit obligatoirement faire apparaitre la référence de ce document sous la forme : **Salagnac J-L. (coord.), Marchand D., Florence C., Delpech P., Axes J-M. Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers, rapport final, juillet 2014, 46 p.**
⇒ **Comprenant bien que**
→ les droits suivants ne sont en aucune manière affectés par la licence :
– Vos prérogatives issues des exceptions et limitations aux droits exclusifs ou *fair use* ;
– Les droits moraux de l'auteur que rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint.
→ A chaque réutilisation ou distribution de cette œuvre, vous devez faire apparaître clairement au public la licence selon laquelle elle est mise à disposition. La meilleure manière de l'indiquer est un lien vers cette page web : http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.fr.

Résumé

Une évolution en cours tend à faire passer la gestion des crues du « tout protection » (endiguement des cours d'eau) à la création de champs d'expansion, là où cela est possible. Malgré tout, des bâtiments resteront immergés partiellement ou totalement comme c'est le cas aujourd'hui, qu'il s'agisse de crues ou d'autres types d'inondation. Ce rapport explore les moyens de prévention/protection à l'échelle des bâtiments. Ces moyens, connus de longue date pour la plupart, sont relativement limités et ont chacun leur portée et leurs limites dans chaque contexte d'inondation. Cette situation plaide pour une approche adaptée à chaque situation après analyse à l'échelle du territoire concerné afin que des aménagements hydrauliques modèrent l'aléa à l'échelle des bâtiments et en particulier des zones urbaines. L'examen de ces solutions relève de compétences complémentaires de celles du CSTB, dont le regard porte essentiellement sur les bâtiments.

Mots clés :
Bâtiment, inondation, crue, prévention, protection, changement climatique, assurance

Abstract

A current trend tends to pass river flood management from "all protection" (damming of rivers) to the creation of expansion fields, where possible. Nevertheless, some buildings will remain partially or totally immersed as it is the case today, for any kind of flood. This report explores means of prevention / protection at the scale of buildings. For the most part, these means are relatively limited in numbers and have been known for long. They all have their own scope and limits for each flood context. This situation calls for an approach at the territory scale in order to select the most appropriate solutions according to each context. Hydraulic projects should aim to moderate flood hazard at the buildings scale and especially in urban areas. Examination of these solutions falls under complementary skills to those of CSTB, the expertise of which is focused at the building scale.

Keywords:
Building, flood, prevention, protection, climate change, insurance

Résumé long

L'inondation est un risque d'origine naturelle très dommageable pour la société. D'après la Fédération Française des sociétés d'assurance (FFSA), les dommages cumulés sur la période 1988-2007 (11.3 Md € au titre du régime d'assurance CAT-NAT) le situent en deuxième position derrière les tempêtes (16.6 Md € au titre du régime d'assurance Tempête-Grêle-Neige [TGN]) et devant le risques retrait–gonflement des argiles (RGA) (5.9 Md € au titre du régime d'assurance CAT-NAT) (FFSA, 2009). Rappelons que les dommages assurés représentent environ 40 à 60 % des dommages observés.

En France où 17 millions de personnes habitent en zones inondables (source www.prim.net), l'actualité rappelle régulièrement que les différents types d'inondation concernent de grandes parties du territoire dont de nombreuses zones urbanisées.

Ces chiffres plaident pour un examen des moyens de limiter les dommages directs et indirects au cadre bâti et à ses occupants/utilisateurs. Dommages matériels et économiques mais également corporels puisque l'inondation cause blessures corporelles et psychologiques, décès et parfois disparitions.

Le présent rapport s'intéresse principalement aux moyens mobilisables à l'échelle des bâtiments. Compte tenu de l'ancienneté de l'installation des groupes humains à proximité des cours d'eau et des zones côtières, les principes sous-jacents à ces moyens sont connus de longue date. Des évolutions technologiques permettent d'envisager des offres renouvelées mais la portée et les limites de ces moyens n'en sont pas pour autant notoirement repoussées.

Ces limites objectives et le fait que les textes technico-réglementaires concernant la prise en compte de l'aléa inondation à l'échelle du bâtiment sont rares, plaident pour un renforcement d'une approche coordonnée entre les différentes échelles d'un territoire. Il est par exemple acté de longue date que l'urbanisme est une échelle pertinente. Au-delà, toute action dans la zone inondable et à sa périphérie, qui permet de modérer l'aléa au niveau des bâtiments, participe d'une approche de progrès.

La mise en œuvre d'une telle approche appelle une coopération entre les spécialistes des différentes échelles. Le CSTB se situe « en bas » des échelles. Pour être efficientes, les mesures de prévention des dommages aux bâtiments doivent être intégrées dans une approche élargie mobilisant les compétences d'autres acteurs au niveau régional et national.

Table des matières

INTRODUCTION **7**

1. INONDATION **9**

1.1 Le phénomène **9**

1.2 Incidence du changement climatique **10**

2. LES CONSÉQUENCES **11**

2.1 Conséquences humaines **11**

2.2 Conséquences pour les bâtiments **12**

2.2.1 Mécanismes de dégradation des matériaux 13

2.2.2 Mécanismes de dégradation des ouvrages de bâtiment 15

2.3 Conséquences pour les infrastructures **19**

3. LA PRÉVENTION DES EFFETS DES INONDATIONS **20**

3.1 Les mesures à l'échelle du bâtiment **22**

3.1.1 Principes 22

3.1.2 Eviter 22

3.1.2.1 Surélévation des bâtiments 22

3.1.2.2 Zone refuge 23

3.1.2.3 Bâtiments amphibies 24

3.1.3 Résister 25

3.1.3.1 Barrières périphériques 25

3.1.3.2 Batardeaux 27

3.1.3.3 Ouvrages de bâtiment résistant à la pénétration de l'eau 29

3.1.4 Céder 30

3.1.5 Autres mesures 31

3.1.6 Evaluation technique des solutions 32

3.2 L'économie des solutions **34**

4. EVOLUTION DE LA GESTION DES INONDATIONS **38**

CONCLUSION **40**

LISTE DES RÉFÉRENCES **42**

INTRODUCTION

Eau amie, eau ennemie. Cette dichotomie ne résume-t-elle pas la relation des humains avec cet élément indispensable à la vie ? La proximité d'un fleuve ou d'un rivage peut ainsi être bénéfique ou maléfique :

- **bénéfique** comme en atteste l'installation de nos ancêtres à proximité des fleuves dont ils ont tiré de nombreux avantages : terres fertiles, eau potable, nourriture, énergie, navigation, ou encore capacité d'absorption des rejets pour se limiter à ceux-ci ;
- **maléfique** lors de crues importantes pouvant endommager ou détruire les constructions érigées à proximité, voire loin des berges, entraînant des blessures et parfois des décès voire des disparitions, sans oublier la pollution et l'impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation. Les exemples historiques et contemporains sont nombreux qui attestent de la récurrence et du caractère universel de ces évènements d'origine naturelle, de la violence de certains d'entre eux (EM-DAT, 2008) et des démarches de protection et de prévention des dommages engagées par les communautés dans le monde entier (UNISDR, 2010).

Sous le double effet de la croissance de la population mondiale (United Nations, 2008) et de la tendance persistante de cette population à se concentrer dans les villes, (United Nations, 2011) souvent traversées par des fleuves ou situées en zone côtière, l'actualisation et l'opérationnalisation de ces démarches de protection et de prévention relèvent du *challenge*. Le développement des zones urbaines induites par cet afflux permanent de population conduit en effet à une croissance des constructions sous-terraines et en surface qui sont autant d'enjeux supplémentaires potentiellement exposés aux inondations.

Chaque nouvel évènement rappelle combien les zones urbaines sont vulnérables malgré l'attention qui a pu être portée en amont des projets de développements urbains. Il faut aussi reconnaître que cette attention n'est pas toujours présente et que nombre de situations considérées comme catastrophiques résultent pour tout ou partie de décisions mal pesées, qui créent des conditions favorables pour des ravages ultérieurs (Sénat, 2010). Les mesures correctives peuvent être spectaculaires comme la destruction de bâtiments qui n'auraient jamais dû être construits mais interviennent trop tard, après le constat de la faillite des décisions prises antérieurement.

« Plus jamais ça » est alors le message émis par les parties prenantes mais les événements suivants rappellent qu'il n'est pas nécessairement entendu. Des positions tranchées se dessinent et s'affrontent. Certains prônent l'interdiction de de toute nouvelle construction en zone inondable, d'autres s'y opposent fermement au motif que ce serait la mort des territoires concernés. La synthèse de ces positions conduit à envisager un développement en toute conscience du risque, c'est-à-dire en anticipant au mieux, compte tenu des connaissances et des moyens, les conséquences humaines et matérielles d'évènements d'origine naturelle dont on ne peut tarir la source.

La Directive inondation 2007/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation prône une telle attitude (EU, 2007). Elle argumente notamment que : *« Il est possible et souhaitable de réduire les risques des conséquences négatives associées aux inondations, en particulier sur la santé et la vie humaines, l'environnement, le patrimoine culturel, l'activité économique et les infrastructures. Toutefois, les mesures de réduction de ces risques devraient, dans la mesure du possible, être coordonnées à l'échelle d'un bassin hydrographique pour être efficaces ».*

Cette anticipation passe effectivement par une réflexion à toutes les échelles d'un territoire comme l'illustre la Figure 1. La cohérence et la coordination des mesures à ces différentes échelles est une condition nécessaire à l'amélioration de la gestion des conséquences de ces évènements. L'exercice est certes complexe du fait des implications croisées suivant différentes dimensions : amont/aval, intérêt collectif/intérêt individuel, perceptions différenciées suivant les groupes et les individus, prérogatives nationales/locales d'instances en charge d'aspects particuliers, inégalités des sous-territoires. Complexe mais incontournable (SMARTeST, 2013b).

Cependant, même une connaissance fine de l'aléa local ne prémunit pas contre des évènements d'intensité exceptionnelle. Ces derniers étant rares par nature, la communauté peut toutefois escompter des bénéfices tangibles de dispositions de prévention et de protection adaptées aux évènements moins intenses mais plus fréquents. Rappelons que les inondations ont des **conséquences directes** sur les bâtiments et les occupants mais les dommages subis occasionnent également des **conséquences indirectes** (perturbation de la vie économique et sociale, pertes d'exploitation, pertes immatérielles). Des activités abritées par des bâtiments non touchés directement peuvent être durablement impactées du fait de la coupure de réseaux : voies d'accès, eau, énergie, évacuation des déchets.

Une littérature très abondante traite de ces questions, qu'il s'agisse des textes réglementaires, des commentaires sur ces textes, d'études et de recherche portées par des tenants des sciences physiques (climatologie, hydrologie, hydraulique) et des science humaines (sociologie, psychologie, économie).

Dans ce champ de questions, l'objet du présent rapport est d'apporter un **éclairage relatif à l'échelle du bâtiment**. Compte tenu du fait qu'un bâtiment n'est jamais isolé mais toujours relié à son environnement, nous ne pourrons éviter de « sortir » du bâtiment, ne serait-ce que pour insister sur la cohérence des mesures de prévention envisageables pour un ou des bâtiments avec celles qui peuvent être pensées et mises en œuvre à des échelles supérieures.

Après avoir abordé le phénomène inondation et ses conséquences pour les bâtiments et leurs occupants, sont évoquées les mesures de protection et de prévention principalement à l'échelle du bâtiment ainsi que les perspectives en matière d'évolution des systèmes de gestion des inondations, notamment en zone urbaine

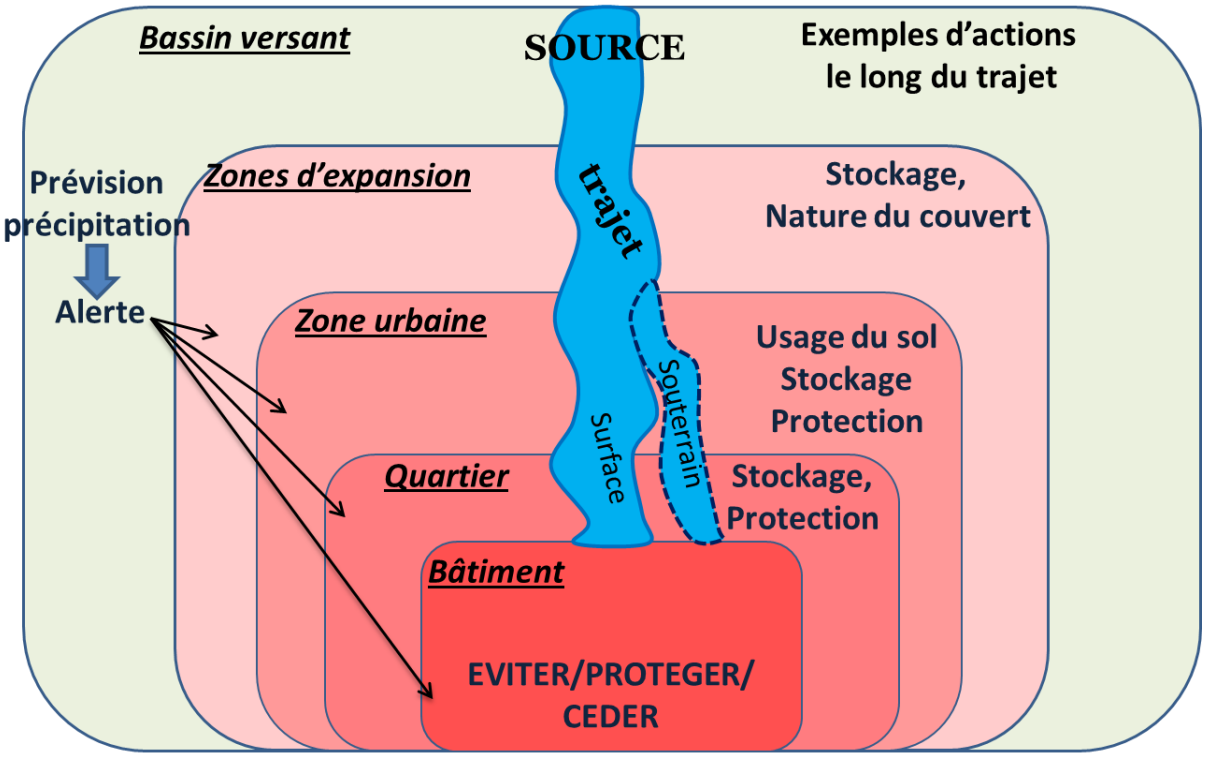


Figure 1 : vision simplifiée des échelles de territoire et d'actions de prévention envisageables à ces échelles (source SMARTeST : www.floodresilience.eu)

1. INONDATION

1.1 LE PHÉNOMÈNE

Phénomène d'origine naturelle, l'**inondation** est définie comme suit par la Directive inondation 2007/60/CE (EU, 2007) :

> *« submersion temporaire par l'eau de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. 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 »*[1]

On peut ajouter à cette liste de situations, la rupture de digue qui occasionne également une submersion temporaire de zones non submergées en temps normal.

[1] Bien que répondant partiellement à cette définition, mentionnons pour ne pas la retenir par la suite le phénomène de tsunami. Particulièrement dévastateur et meurtrier dans les zones côtières, la submersion temporaire des zones côtières a une origine sismique qui ne rentre pas dans le cadre de ce rapport centré sur l'évènement d'origine climatique.

La **crue** correspond à une augmentation du débit d'un cours d'eau qui l'amène à sortir de son lit mineur, limité par les berges, pour recouvrir le lit majeur, situé de part et d'autre. Des précipitations importantes sur tout ou partie du bassin versant sont la cause la plus fréquente de l'augmentation du débit. Suivant les circonstances et la topographie, on distingue différents types d'évènements (Tableau 1)

Tableau 1 : origine et principales caractéristiques des inondations

Type d'évène-ment*	Origine	Dynamique/durée
Crue de plaine	Survient après de longs épisodes pluvieux, notamment en hiver.	Lente montée des eaux étalée sur plusieurs jours à quelques semaines.
Crue éclair	Survient lors de violentes averses orageuses frappant des bassins versants au relief accidenté.	Evènements brusques et de courte durée causant des dommages très importants et fréquemment mortifères.
Crue de nappe	Survient lors de pluies intenses qui finissent de remplir les réservoirs souterrains déjà bien remplis à la sortie de l'hiver.	Ces énormes quantités d'eau peinent à s'évacuer naturellement et occasionnent des inondations pouvant durer plusieurs semaines.
Ruissel-lement urbain	Survient lors de précipitations intenses sur une zone construite lorsque les réseaux pluviaux sont saturés. L'eau s'écoule alors en surface notamment dans les rues et dans d'autres réseaux urbains.	En fonction de la topographie des lieux, des écoulements torrentiels peuvent se créer et occasionner d'importants dégâts et des décès/disparitions.
Inonda-tion côtière	Survient en cas de tempête occasionnant des vagues qui viennent s'écraser sur la côte. Les conditions de basse pression régnant alors localement entraînent une élévation du niveau de la mer qui accentue la pénétration des eaux dans les terres. Quand, de plus, le phénomène arrive à marée haute, la situation est aggravée.	L'effet dynamique de la tempête se superpose à celui des eaux (salées) entraînant d'importants dommages et des décès/disparitions.

* Animation pédagogique présentant les principaux types d'inondation accessible à partir du site internet Floodsite : http://www.floodsite.net/juniorfloodsite/html/en/teacher/thingstoknow/hydrology/floodtypes.html

1.2 INCIDENCE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Au même titre que les autres aléas d'origine climatique, les inondations résultent avant tout du fonctionnement de la « machine thermodynamique » que constitue le système terre-soleil immergé dans l'espace. Les phénomènes prenant place dans l'atmosphère, et en particulier le cycle de l'eau, sont gouvernés par le bilan énergétique de la terre et de son atmosphère.

Un des effets de l'augmentation de la concentration des gaz à effets de serre est de modifier ce bilan. Il s'ensuit des perturbations potentielles dans la circulation générale des flux de chaleur et de vapeur d'eau dans la couche atmosphérique qui peuvent modifier le régime local des précipitations.

Les projections climatiques récentes du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) indiquent une très probable évolution des régimes de précipitation : plus la température moyenne de l'atmosphère augmentera, plus le contraste sera marqué entre les régions sèches et humides (IPCC, 2013). Des études à échelles plus fines sont à venir mais on peut d'ores et déjà constater une projection d'évolution, marquée par une diminution des précipitations sur le bassin méditerranéen et par leur renforcement au nord de l'Europe. Les britanniques anticipent de telles évolutions en communicant fortement sur ces perspectives (Doeni, 2013). Un bassin méditerranéen moins arrosé ne signifie évidemment pas la disparition d'évènements intenses et dévastateurs comme en connaît régulièrement le sud-est du territoire. La variabilité temporelle et spatiale devrait rester une caractéristique des précipitations.

Pour ce qui est de la fréquence, l'analyse des rares séries statistiques actuellement disponibles en Europe occidentale et de l'est montre que la fréquence moyenne des crues exceptionnelles des grands fleuves n'a guère changé au cours des quatre derniers siècles (Kundzewicz, 2008). Sans attendre une meilleure connaissance de l'évolution de ce paramètre, les évènements majeurs récents en Europe doivent dès aujourd'hui inciter à améliorer la gestion des situations parfois dramatiques qui en résultent.

2. LES CONSÉQUENCES

Les groupes humains ont, de longue date, vécu les conséquences bénéfiques et maléfiques des inondations. Ils ont cherché à se prémunir de ces dernières par divers moyens plus ou moins efficaces et pérennes : choix du lieu d'implantation, digues, aménagement de l'intérieur des bâtiments, etc. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux conséquences pour les bâtiments et leurs occupants ainsi que pour les réseaux auxquels ces derniers sont reliés.

L'analyse des **conséquences économiques** des inondations au niveau d'un territoire déborde du cadre de ce rapport. Des éléments économiques concernant l'échelle du bâtiment sont évoqués au chapitre 3.2.

2.1 CONSÉQUENCES HUMAINES

L'inondation tue. Elle tue certes moins massivement sous nos latitudes que d'autres phénomènes d'origine climatique comme les canicules mais cette situation n'en est pas moins difficilement acceptable. Le nombre de décès peut être très élevé comme en 1953 aux Pays Bas où une rupture de digue entraina la mort de 1800 personnes (Sénat, 2010).

La granulométrie de la base de données internationale Emdat[2] (EM-DAT, 2008) est trop grossière pour donner une image précise de la situation à l'échelle du territoire national. L'observatoire national des risques naturels (ONRN[3]) inauguré en 2012 viendra à terme combler l'absence de base de données nationale (Vinet et al, 2011). Pour les évènements les plus récents, les rapports parlementaires (Sénat, 2010) et des études ([Vinet et al., 2011], [Marchand, Colbeau, 2012]) fournissent des éléments plus circonstanciés. La cause des décès la plus fréquente semble être la noyade mais l'absence d'investigation systématique ne permet pas d'avoir une évaluation précise de l'importance de cette cause par rapport à d'autres (Vinet et al., 2011). Une autre question est celle du lieu des décès. Pour un même évènement, les analyses peuvent diverger. Ainsi le lieu de décès des 25 (ou 26) personnes décédées lors des graves intempéries des 15 et 16 juin 2010 dans le Var, est évalué de manière différente selon les rapports :

- « *L'essentiel des décès a concerné des personnes bloquées dans leur véhicule* » (Sénat, 2010) ;
- « *Si près de la moitié des décès sont localisés au domicile, pour l'autre moitié, les décès ont eu lieu soit à l'extérieur (26 %), dans un camping (7 %) ou sont liés au déplacement en véhicule (19 %)* » (Vinet et al., 2011).

Pour les personnes noyées chez elles, le fait de ne pouvoir évacuer le bâtiment à temps ou de rejoindre un étage élevé paraissent être des circonstances non exceptionnelles. Ceci conduit à évaluer la pertinence d'une zone refuge sur laquelle nous reviendrons au chapitre 3.1.2.2.

Illustration de la forte dépendance de nombre de dispositifs à la disponibilité de l'électricité, des cas de décès par noyade ont été enregistrés lors de la tempête Xynthia par suite de l'impossibilité par les occupants de pouvoir ouvrir les volets roulants (Vinet et al., 2011).

Outre ces conséquences mortifères, les conséquences psychologiques liées à la perte de biens auxquels les victimes étaient attachés, à la dévastation de lieux chargés d'affect sont bien réelles et commencent à être étudiés (Lasalle J-L, 2004).

2.2 CONSÉQUENCES POUR LES BÂTIMENTS

L'inondation est un phénomène qui peut concerner de grandes parties d'un territoire et, partant, de nombreuses constructions, notamment en zone urbanisée. Sur de petits territoires en zone montagneuse, les dégâts peuvent également être considérables du fait du caractère torrentiel de l'inondation.

---

[2] La base de données EM-DAT fournit non seulement des informations relatives aux conséquences humaines de situations catastrophiques (nombre de décès, de blessés, de sans-abris…) mais également des données économiques liées aux dommages matériels ainsi qu'à l'aide internationale éventuellement mobilisée.

[3] www.onrn.fr

Les bâtiments ordinaires (en maçonnerie, en bois, en métal), qui constituent la majeure partie du cadre bâti ne sont pas conçus pour conserver leurs performances (mécanique, thermique, etc.) en cas d'inondation. Ils sont vulnérables à la fois à un contact prolongé (de quelques heures à plusieurs semaines) avec l'eau polluée charriée lors de l'inondation, et aux effets statiques (hauteur d'eau au niveau des bâtiments) et dynamiques (vitesse d'écoulement de l'eau, vagues, chocs d'objets flottants) liés à la présence de l'eau. Les ouvrages intérieurs, le mobilier et les équipements abrités par ces bâtiments, sont également vulnérables à de telles sollicitations. Les mécanismes de dégradation sont présentés dans ce chapitre.

Les dommages directs sont généralement importants. Au-delà des conséquences pour les bâtiments pris individuellement, la dimension territoriale est évidemment essentielle dans le cas des inondations. Ce rapport n'aborde toutefois pas cette dimension.

2.2.1 MÉCANISMES DE DÉGRADATION DES MATÉRIAUX

Les constructeurs savent depuis fort longtemps que l'eau (sous toutes ses formes : vapeur, liquide, solide) est l'ennemie numéro un du bâtiment. Situation de fait, synthétisée comme suit par l'Institut de recherche en construction du Canada : *« les recherches en construction ne seraient plus nécessaires s'il n'y avait pas l'effet de l'eau sur les matériaux de construction »* (Latta, 1964). Cette adversité reconnue est traduite dans les codes de construction des bâtiments par des dispositions destinées à éviter le contact prolongé de l'eau avec les matériaux constitutifs des différents ouvrages. Ainsi, un bâtiment bien conçu, bien réalisé et bien entretenu ne devrait pas subir de dommages consécutifs à une agression par l'eau liquide provenant de l'extérieur (pluie, neige) ou de l'intérieur (condensation).

Compte tenu de ce qui précède, il n'y a pas de nécessité impérieuse pour les constructeurs à caractériser le comportement des matériaux de construction au contact prolongé de l'eau puisque cette situation est réputée ne pas devoir arriver pour les bâtiments ordinaires et notamment pour les logements. Bien entendu, des situations accidentelles (fuite de canalisation, défaut d'étanchéité par exemple) peuvent se produire. Leur traitement relève de la réparation qui consiste d'abord à tarir la source accidentelle d'eau puis à remplacer les matériaux ou à reconstruire à l'identique les ouvrages affectés.

Dans le cas où la destination des bâtiments rend le contact prolongé avec l'eau inévitable (par exemple douches collectives, bâtiments abritant des process industriels générant de la vapeur d'eau, ...), des moyens sont mobilisés pour caractériser le comportement des matériaux afin d'effectuer des choix judicieux de conception et de réalisation des ouvrages concernés.

Par exemple, le classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois renvoie à des exigences sur le comportement à l'eau des matériaux (CSTB, 2006). De nombreuses normes d'essais ont été élaborées afin de qualifier

ces comportements et d'aider les professionnels à faire des choix appropriés compte tenu de la destination des bâtiments. Une analyse de ces normes montre que les essais ont lieu d'une part avec de l'eau claire et, d'autre part - à l'exception de rares essais - pendant des durées généralement courtes (typiquement quelques heures) (Salagnac J-L., 2006a).

Ces connaissances codifiées viennent compléter les connaissances empiriques qui ont permis à nos prédécesseurs de construire Venise, Bruges, Delft et toutes les villes qui entretiennent des liens intimes avec l'eau. Des pierres peu capillaires ont été utilisées pour faire barrière aux remontées par capillarité. Des minéraux solubles dans l'eau comme le plâtre ont été mis en œuvre hors d'atteinte de l'eau.

En cas d'inondation, la plupart des matériaux immergés (ou situés au-dessus du plus haut niveau des eaux) s'imprègnent d'eau par capillarité, plus ou moins complètement et rapidement en fonction de leur nature et de la durée de l'inondation (Figure 2).

Figure 2 : trace de remontée capillaire dans l'enduit d'un mur partiellement immergé
Inondation à Bellegarde (30) en 2003 (source CSTB)

Les performances des matériaux et des ouvrages peuvent être affectées pendant l'inondation mais également après le retrait des eaux. Si la courte durée d'immersion prévue par certains essais peut être représentative de quelques situations d'inondation et pourrait permettre ainsi d'apprécier le niveau de dégradation subi par les matériaux immergés, les résultats obtenus avec de l'eau claire sont en revanche difficiles à valoriser : lors des inondations, l'eau est chargée de produits minéraux et organiques dont l'impact sur les matériaux n'est pas documenté dans le corpus technico réglementaire bâtiment.

On peut déplorer l'absence de documents de référence pour caractériser précisément le comportement des matériaux de construction lors d'inondation, voire le peu de travaux de recherche pour développer des matériaux pouvant subir une inondation sans dommage. Cependant, cette absence ne tient-elle pas fondamentalement au fait que la prévention du risque inondation passe avant tout par des considérations d'implantation du bâtiment (voir chapitre 3) ?

Par ailleurs, un matériau de construction ne fait pas le bâtiment : les ouvrages (murs, planchers, cloisons…) sont des assemblages de matériaux et même si un

ou plusieurs d'entre eux est « insensible » à l'eau, cette seule caractéristique ne garantit en aucun cas que les performances de l'ouvrage sont préservées des effets de l'inondation (Salagnac J-L., 2006a).

A défaut de pouvoir réaliser des ouvrages peu sensibles aux effets de l'inondation, la pratique actuelle après évènement est double : 1) Désinfecter en surface les parois souillées des ouvrages qui peuvent être conservés, 2) Remplacer à neuf les matériaux ou reconstruire partiellement ou en totalité les ouvrages après séchage (CSTB, 2003).

2.2.2 MÉCANISMES DE DÉGRADATION DES OUVRAGES DE BÂTIMENT

Les bâtiments ordinaires (logements individuels, logements collectifs, locaux non résidentiels) sont dimensionnés pour résister aux effets mécaniques du vent et de l'accumulation de neige.

L'eau est environ mille fois plus dense que l'air et même si la vitesse d'écoulement de l'eau lors d'une inondation est beaucoup plus faible (quelques m/s) que celle de l'air (quelques dizaines de m/s) lors d'une tempête, les pressions dynamiques de l'eau peuvent être significativement plus élevées que celles de l'air.

Le seul **effet hydrostatique** pris en compte dans le dimensionnement des ouvrages de bâtiment est la poussée d'Archimède sur les ouvrages enterrés (AFNOR, 2000). Elle est également prise en compte dans le dimensionnement des dispositifs d'arrimage des cuves d'hydrocarbure (arrêté du 30 juillet 1979[4]) (Figure 3).

Figure 3 : Cuve de gaz flottante lors d'une inondation à Bellegarde (30) en 2003 (photo CSTB)

[4] relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux stockages fixes d'hydrocarbures liquéfies non soumis à la législation des installations classées ou des immeubles recevant du public

Les murs maçonnés ordinaires (ainsi que les fenêtres ou portes-fenêtres) ne sont pas conçus pour résister à de fortes pressions hydrostatiques (Figure 7, Figure 8). Le calcul, confirmé par des expérimentations, indique qu'un mur maçonné, peu ou non chargé verticalement, est susceptible de s'effondrer dès lors que la différence de hauteur d'eau entre l'intérieur et l'extérieur atteint un mètre (Valencia N., 2006). Cette « règle » est à l'origine de la recommandation de limiter les batardeaux à une hauteur d'un mètre à partir du sol (voir chapitre 3.1.3).

Cette hauteur d'un mètre n'est cependant pas un seuil absolu : dans certaines configurations (dimensions, qualité de réalisation, liaison aux autres murs, présence d'un refend, charge verticale), un mur ordinaire peut ne pas s'effondrer s'il subit une hauteur d'eau significativement supérieure à un mètre. On saurait construire des murs résistants à de plus fortes hauteurs d'eau mais l'économie des projets courants, sans compter la présence d'ouvertures dans les murs (portes, fenêtres), ôte tout intérêt à cette approche. Il vaut mieux ne pas rechercher ce type de situation : la sécurité des personnes est en jeu.

Les règles de construction ne prennent pas en compte les autres sollicitations auxquelles peuvent être soumis les bâtiments lors d'inondations (Figure 4 à Figure 6) :

- effets hydrodynamiques (vitesse d'écoulement, vague) ;
- chocs par des corps flottants

Les constructeurs savent cependant réaliser des bâtiments résistant à ce type de sollicitation, comme les phares maritimes résistant aux assauts répétés des vagues violentes, mais ce savoir-faire n'est guère transposable pour réaliser des bâtiments ordinaires pour des raisons évidentes de coût et d'usage.

Figure 4 : enveloppe détériorée par une vague[5]

Figure 5 : Fondation affouillée

Figure 6 : Cloison séparative probablement détruite par une vague

Photos CSTB prises après inondation torrentielle à Durban en Corbières (11) (novembre 1999)

[5] Les menuiseries ont servi de « fusibles » mécaniques, le poteau a pu être percuté par un corps flottant

Figure 7 : rupture d'un mur maçonné non chargé verticalement sous l'effet de la pression hydrostatique (source Mairie de Toulouse-Artelia)

Figure 8 : rupture d'une porte fenêtre sous l'effet de la pression hydrostatique (source Mairie de Toulouse-Artelia)

Sachant que des zones urbaines sont susceptibles d'être soumises à des aléas violents (ruissellement urbain, rupture de digue), la question se pose de l'évaluation *a priori* des dégâts consécutifs à ces situations et de la définition de mesures de limitation de ceux-ci.

Les mécanismes de dégradation des bâtiments peuvent être classés sur une échelle à quatre degrés (Taillefer, Chenaf, 2008a) :

- Niveau 1 : pas de ruine des ouvertures et pas de ruine de murs. Les dégâts sont limités au contact de l'eau avec les ouvrages de second œuvre, sachant qu'il est quasi impossible d'empêcher durablement l'eau de pénétrer dans un bâtiment ordinaire ;
- Niveau 2 : ruine des ouvertures (portes, fenêtres). L'eau pénètre à l'intérieur du bâtiment ce qui a pour effet de rétablir l'équilibre des pressions de part et d'autre des murs qui peuvent de ce fait conserver leur intégrité. Aux réparations de niveau 1, s'ajoute au minimum la réparation des ouvrants ;
- Niveau 3 : ruine d'un mur non porteur. L'eau pénètre à l'intérieur du bâtiment avec le même effet d'équilibrage des pressions que pour le niveau 2. S'ajoutent aux précédentes la réparation des murs non porteurs ;
- Niveau 4 : ruine d'un mur porteur. La stabilité du bâtiment est compromise. Les réparations sont lourdes.

Pour un aléa donné, le diagnostic d'une zone urbaine permet de cartographier les types de bâtiments et de leur associer un niveau de dégradation possible. A noter que le diagnostic peut nécessiter de « déshabiller » partiellement un bâtiment pour bien comprendre sa structure et apprécier son niveau de vulnérabilité. Cette approche permet d'identifier des zones possiblement plus vulnérables que d'autres.

Ceci étant fait, des techniques de confortement mécanique, destinées à réduire le risque de ruine, peuvent être envisagées. Elles consistent par exemple à (Taillefer, Chenaf, 2008b) :

- Chemiser par du béton armé ou par un tissu en fibre de carbone la face interne de murs porteurs exposés à la poussée des eaux. La fonction recherchée par cette intervention est d'augmenter la résistance mécanique en agissant sur la face tendue du mur (face interne) ;
- Créer délibérément une ouverture « fusible » (porte, porte-fenêtre, élément de paroi opaque). La fonction recherchée par cette intervention est le rétablissement de la pression interne au bâtiment de manière à rééquilibrer la poussée sur les murs (porteurs et non porteurs).

Ces éléments techniques ne constituent pas la panacée et doivent seulement être considérés comme des éléments d'une stratégie plus globale qui intègre tous les aspects organisationnels pré et post évènement, tels que rappelés par la stratégie nationale de gestion du risque inondation (SNGRI).

Bien qu'il s'agisse d'une fonction essentielle, rappelons que la solidité d'un bâtiment n'est qu'une des fonctions attendues par les occupants. Les conséquences sur les autres performances du bâtiment (thermique, acoustique ; hygrothermique, ..) doivent impérativement être examinées lorsque des interventions de confortement telles que celles évoquées sont envisagées.

2.3 CONSÉQUENCES POUR LES INFRASTRUCTURES

Les bâtiments sont reliés entre eux par des réseaux souterrains ou de surface qui assurent les circulations entre les bâtiments, l'approvisionnement et l'évacuation de tous les flux y entrant et en sortant. Les images de routes « avalées » par un torrent ou par la mer, de ponts sans tabliers, de talus de voies ferrées sapés, de bouches d'égout d'où jaillissent des geysers d'eau polluée, de routes coupées pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines sont dans toutes les mémoires, que l'actualité se charge de rafraîchir régulièrement.

Chaque type de réseau présente sa propre vulnérabilité. Les réseaux sont de plus interconnectés : la défaillance de l'un peut occasionner des conséquences en chaîne (effet domino) sur d'autres réseaux. Du fait de son rôle essentiel pour le bon fonctionnement des autres réseaux, il est compréhensible que le réseau électrique se trouve au sommet de la hiérarchie décrivant les relations d'interdépendance entre réseaux et soit l'objet d'une attention particulière ([Sogreah, Asconit, 2006], [Certu, 2005]).

Les digues font également partie des infrastructures essentielles. Elles ont longtemps été des moyens privilégiés de gestion du risque inondation. Vitales aux Pays-Bas où elles font l'objet d'une surveillance à la hauteur des enjeux pour ce pays, elles peuvent être source de graves évènements. Ainsi en décembre 2003, une crue très importante a entraîné la rupture d'une digue du petit Rhône. Les riverains victimes de l'inondation ont été déboutés de l'action intentée à l'encontre du gestionnaire de cet ouvrage public pour défaut d'entretien. Il a en effet été jugé que la crue excédait toutes les hypothèses prises en compte lors de la conception de l'ouvrage au XIXème siècle et que le défaut d'entretien n'était pas démontré[1].

Cet exemple rappelle, s'il est nécessaire, que les ouvrages de protection sont dimensionnés pour une situation de référence, en l'occurrence une crue antérieure ou définie à partir d'évènements passés. Au-delà de cette limite, caractérisée par la période de retour de l'évènement de référence, l'ouvrage peut rompre. Cette information simple est évidemment difficile à entendre pour les riverains qui peuvent se sentir « définitivement » protégés par la digue.

[1] http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/rupture-d-une-digue-absence-de-a3314.html

Bien entendu, la maintenance est une condition essentielle à ce que la digue puisse assurer sa fonction dans les limites de ses performances de conception. Le Tableau 2 permet de situer quelques ordres de grandeur actuels des situations de référence dans des pays européens voisins.

Tableau 2 : ordre de grandeur des périodes de retour des crues de référence dans plusieurs pays (Acuf, 2012)

Pays	Longueur des digues (km)	Situation de référence
Allemagne	3524	>100 ans
Danemark	4605	50 à 1000 ans
France (Nord Pas de Calais)	140	100 ans
Pays Bas	1276	4000 à 10000 ans
Royaume Uni	17 381	50 à 1000 ans

L'absence d'évènement majeur pendant plusieurs décennies et la nécessité de construire pour étendre la ville ont pu pousser à des implantations imprudentes en pied de digue. Les situations de fait ainsi créées posent des questions ardues et actuelles de gestion urbaine et de crise : quels aménagements envisager ? Comment diminuer l'importance de la population exposée ? Peut-on diminuer la vulnérabilité du bâti existant aux effets de vague accompagnant la rupture d'une digue ? Peut-on préconiser la construction de bâtiments « solides » dans les zones exposées ? Comment organiser la mise à l'abri des personnes ? (Taillefer N., Chenaf M., 2008b).

L'amélioration de la situation actuelle est au cœur de la SNGRI récemment diffusée (Medde, 2014).

3. LA PRÉVENTION DES EFFETS DES INONDATIONS

Les inconvénients liés à la proximité de l'eau ont été très tôt vécus par nos ancêtres et les traces historiques montrent à l'envi que des mesures ont été mises en œuvre il y a plusieurs millénaires pour tenter de s'en abstraire, de s'en protéger comme l'illustre le pont romain de Sommières.

Ce pont, construit par les Romains il y a environ deux mille ans sur un des chemins reliant Nîmes et Toulouse, enjambe le Vidourle, fleuve descendant des Cévennes jusqu'à la Méditerranée. Situé sur le site de Sommières, cet ouvrage comportait originellement dix-sept arches de pierre. Cette longueur peut paraitre bien excessive pour un fleuve modeste mais les Romains avaient sans doute constaté les caprices du Vidourle (les Vidourlades) qui font que ce paisible cours d'eau se transforme en quelques heures en torrent impétueux sortant largement

de son lit mineur lors d'un évènement Cévenol (précipitation intense sur le versant sud du massif des Cévennes, fréquemment observé en automne).

Le développement de la ville de Sommières à partir du moyen–âge s'est fait de manière préférentielle sur le lit du fleuve si bien qu'il ne reste aujourd'hui que sept arches pour assurer l'écoulement (Figure 9). Cette restriction reste certes suffisante pour les évènements mineurs les plus fréquents mais le Vidourle se rappelle à la mémoire des habitants lors d'évènements exceptionnels où il trouve son passage parmi les constructions, comme le 2 septembre 2002 (Figure 10).

Figure 9 : les arches actuelles du pont de Sommières (source www.sommieres.fr)

Figure 10 : inondation à Sommières (septembre 2002) (Source : www.sommieresetsonhistoire.org)

Préoccupation ancienne, la prévention consiste à anticiper les effets possibles de décisions prises à un moment donné (implantation d'un bâtiment, construction d'une route…) compte tenu de ce qui est connu des aléas possibles en un lieu donné. L'exercice peut être difficile mais est *a priori* rationnel. Cependant, des considérations liées aux comportements des uns et des autres (conflits entre intérêt collectif et intérêt individuel, déni des scenarios possibles, pondération erronée de la probabilité d'occurrence…) peuvent venir altérer la rationalité du processus.

Les deux principaux leviers d'actions, la protection et la prévention, peuvent recevoir de multiples définitions parmi lesquelles :

- La **protection** est l'action ou le fait de soustraire une personne ou un bien aux effets de l'aléa inondation qui pourrait le toucher ;
- La **prévention** est l'ensemble de mesures destinées à éviter que l'inondation prévisible n'entraîne un dommage aux personnes ou aux biens (une mesure de prévention a pour objet de limiter la vulnérabilité des personnes et des biens).

Dans la pratique, une même mesure peut relever de l'une ou l'autre notion :

- Une mesure de protection efficiente (une digue par exemple) participe à la prévention puisqu'elle évite (jusqu'à un certain point) que l'inondation prévisible n'entraîne de dommage aux personnes ou aux biens ;
- Une mesure de prévention efficiente des dommages pour les personnes (zone refuge accessible en toutes circonstances par exemple) les protège du risque de noyade mais ne protège pas le bâtiment et son mobilier ;

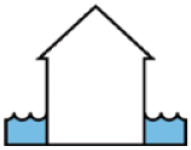
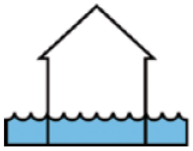
– Une mesure de prévention efficiente des bâtiments (implantation d'un bâtiment sur une hauteur) est également une mesure de protection.

3.1 LES MESURES À L'ÉCHELLE DU BÂTIMENT

3.1.1 PRINCIPES

L'expérience des inondations passées permet de classer les actions de protection/prévention à l'échelle du bâtiment en trois groupes : « éviter », « résister », « céder » (Tableau 3).

Tableau 3 : stratégies de protection et de prévention à l'échelle du bâtiment (source DGALN, 2012)

	Eviter	Résister	Céder
Objet des mesures	Faire en sorte que l'eau ne puisse atteindre les parties occupées du bâtiment	Faire en sorte que l'eau ne puisse pénétrer dans le bâtiment	Laisser l'eau entrer dans le bâtiment
			

3.1.2 EVITER

La protection (et, partant, la prévention) la plus efficace en matière de mise à l'abri des personnes et des biens est de ne pas s'exposer. Ce truisme fut appliqué avec succès par exemple par les fondateurs de la Nouvelle–Orléans qui furent bien avisés de construire la ville originelle hors d'atteinte des inondations côtières et du Mississipi.

Ce principe de bon sens est repris par exemple dans les préconisations d'assureurs à l'attention de leurs clients industriels (FM Global, 2010) :

> *"Proper site selection is the best solution for avoiding the effects of flooding. Selecting the correct site is far less difficult than designing a facility located in a flood zone to resist the effects of flooding"*[2].

La limite de ce principe simple s'impose d'elle-même du fait que la géographie de la région et la topographie des lieux ne présentent pas toujours de telles opportunités.

3.1.2.1 Surélévation des bâtiments

Au cas où la topographie des lieux n'offre pas de position élevée, la surélévation peut être assurée de manière artificielle soit en créant une plateforme à une hauteur suffisante (Figure 12), soit en utilisant des pilotis (Figure 11) (Salagnac

[2] La meilleure solution pour éviter les effets de l'inondation est de choisir un site d'implantation hors d'atteinte. Faire un tel choix est de loin plus simple que de concevoir des dispositifs de protection d'une installation située en zone inondable.

J-L, 2006b). Ces mesures d'évitement ont été mises en œuvre par de nombreux groupes humains sur terre. Elles trouvent leur limite dès lors que le niveau de l'eau dépasse la cote de surélévation comme l'illustre ce commentaire concernant la maison Farnsworth, œuvre de l'architecte Ludwig Mies van der Rohe

> *Construite sur un terrain inondable, la maison est surélevée de 1,60 m par rapport au sol. Par ce geste magistral, l'architecte la transformait en sublime belvédère.* ***Mais malgré cette précaution, en 1996 et en 1997, l'eau monta à plus de 1,50 m au-dessus du premier niveau****, endommageant sérieusement son noyau central et ses placages en primavera.*[3]

Figure 11 : un des dix bâtiments HOUSE BOAT® au Lac du Bourget (source : www.patriarche.fr)

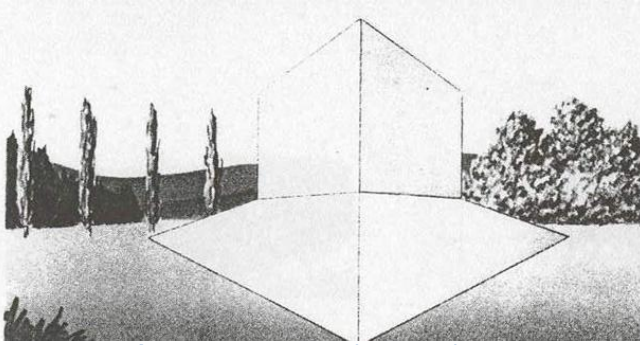


Figure 12 : Construction sur talus (Source : DDE Moselle, 1990)

3.1.2.2 Zone refuge

Si la protection des biens peut difficilement être garantie en toutes circonstances par la surélévation, cette mesure peut cependant se révéler vitale pour la protection des personnes.

A cette fin, la création d'une zone refuge est judicieuse dès lors que le type d'inondation (par exemple une inondation torrentielle) ne permet pas d'anticiper une évacuation du bâtiment en temps opportun. Cette zone peut être aménagée dans un étage élevé du bâtiment ou être créée par ajout d'un plancher abrité des intempéries. Elle doit favoriser l'évacuation par barque ou par hélitreuillage (Figure 13). La solution adoptée dépend de paramètres techniques (structure du bâtiment, possibilité de créer un accès intérieur), socio-économiques (nombre de personnes concernées, ressources disponibles, subventions éventuelles), administratifs (autorisation de construire) (Figure 14).

[3] Extrait article de Nicolas Horiot, Le Moniteur N° 5218 du 28/11/2003 - page 306

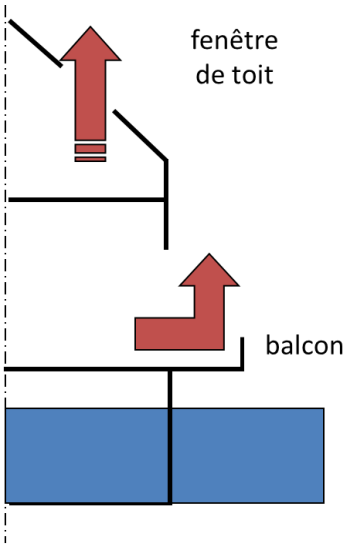


Figure 13 : principe d'évacuation à partir d'une zone refuge (source : CSTB)

Figure 14 : exemple de zone refuge (source : CSTB)

Figure 15 : monte-personne autonome en énergie pour accès à zone refuge (source : CSTB)

Quelle que soit la solution adoptée *in fine*, la zone refuge n'a d'autre fonction que d'accueillir temporairement les habitants dans l'attente des secours. Outre la constitution et la maintenance d'un kit de survie et de signalement au secours (MRN, 2005), les points essentiels sont **l'accès en toutes circonstances** (la nuit, sans éclairage, avec éventuellement de l'eau au niveau bas du bâtiment et des meubles qui flottent et obstruent le passage) et les **possibilités d'évacuation** (fenêtre de toiture, balcon) (DGALN, 2012) (Figure 15).

3.1.2.3 Bâtiments amphibies

Là également, l'exemple vient de temps lointains : l'Arche de Noé n'est-elle pas le premier bâtiment amphibie ? Construite sur sol sec, elle se mit à flotter avec ses occupants dès que le niveau de l'eau permit la flottaison pour se redéposer sur le sol après le Déluge. Les bâtiments amphibies sont construits suivant ce même principe. Afin toutefois d'éviter la dérive du bâtiment flottant au gré des flots, les concepteurs contemporains prévoient des ducs d'Albe qui guident les mouvements verticaux du bâtiment.

Pour limiter le tirant d'eau, les bâtiments sont légers, généralement en bois. Les flotteurs sont quant à eux en béton, en acier, en matière plastique, en béton de fibre (Figure 16) (Salagnac J-L., 2006b). La production de ce type de bâtiment reste confidentielle malgré une médiatisation intense d'une expérimentation néerlandaise en 2007 portant sur 25 bâtiments amphibies (Dura Vermeer, 2009).

Des projets de ville flottante sont également médiatisés (Floatec, 2011) qui généralisent le concept du bateau-logement installé par exemple en de multiples exemplaires le long des berges de la Seine à Paris.

Figure 16 : Exemples de bâtiments amphibies utilisant différents types de flotteurs (photos CSTB)

3.1.3 RÉSISTER

Limiter la pénétration de l'eau dans les bâtiments, voire dans tout un quartier, est également une solution très ancienne. Les digues le long des rivières y participent. Même dans des endroits où elles sont vitales, comme aux Pays-Bas, l'évolution des modes de gestion des inondations tend à ne plus les privilégier mais au contraire à promouvoir une nouvelle approche (voir chapitre 4).

Les barrières temporaires et les batardeaux sont les moyens les plus courants de protéger respectivement un ensemble de bâtiments ou des bâtiments pris isolément, quelle que soit leur destination. La littérature de langue anglaise parle de « dry-proofing ».

3.1.3.1 Barrières périphériques

Sans oublier les traditionnels empilements de sacs emplis de sable ou de polymères gonflant au contact de l'eau, la typologie des barrières est peu foisonnante (Figure 17) :

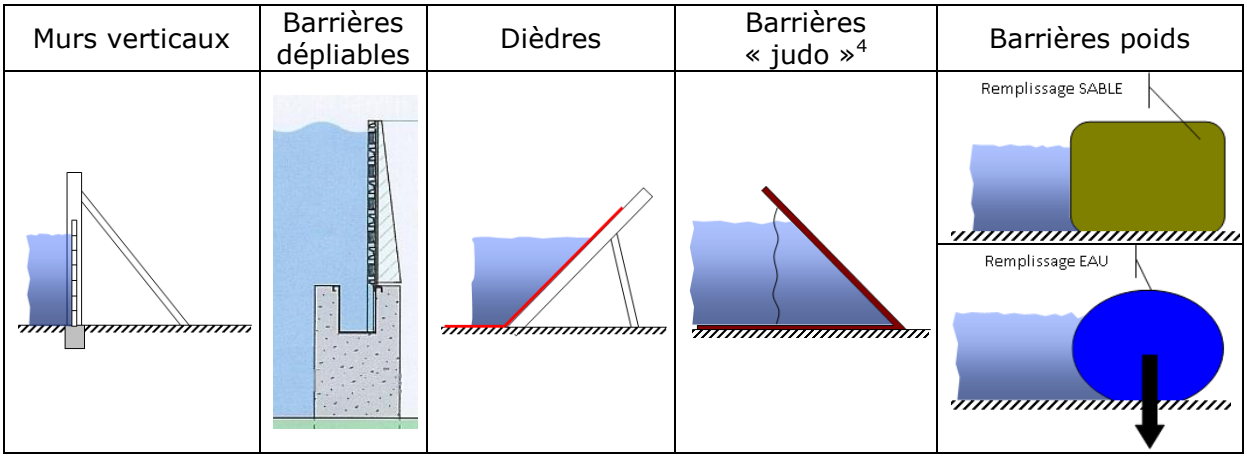


Figure 17 : typologie de barrières périphériques (Salagnac J-L, 2007)

Outre le coût de ces équipements, le choix par une collectivité ou un industriel dépend de nombreux critères : type d'inondation, temps disponible pour déploiement, temps nécessaire pour montage, capacité de stockage des éléments, gestion du risque de vol des éléments de barrières, capacité de maintenance, insertion paysagère des équipements fixes (murets support par exemple [Figure 18]), pour ne retenir que ceux-là.

S'il existe un grand nombre de fournisseurs, comme en attestent les informations contenues dans la base de données développée dans le cadre du projet européen SMARTeST[5], le marché reste relativement modeste (SMARTeST, 2013a).

Des collectivités locales peuvent cependant investir de manière importante dans des barrières périphériques comme à Givet, commune des Ardennes située sur les bords de la Meuse et fortement affectée en 1995. En complément d'autres travaux hydrauliques (assainissement, réservoirs amont), une infrastructure permettant de créer une barrière périphérique de 2500 m afin de protéger des quartiers riverains du fleuve (Figure 18) a été réalisée.

Les travaux débutés en 2009 ont duré un an et coûté 10 millions d'euros. Ils ont consisté en la création d'un rideau de palplanches et de murets paysagers permettant de mettre en place des potelets en aluminium entre lesquels sont fixées les planches horizontales.

Les éléments verticaux et horizontaux des barrières et les accessoires sont stockés dans des racks repérés par un code. La hauteur de la barrière à réaliser est fonction de la crue annoncée. Les racks sont déposés en douze points le long des 2,5km à protéger. L'installation complète de la barrière la plus haute est prévue en 2 jours (2x9h) par une équipe de 36 personnes et 4 camions. Un montage à blanc est prévu chaque année.

[4] Utilise à son profit la force de l'eau, son adversaire

[5] http://tech.floodresilience.eu/

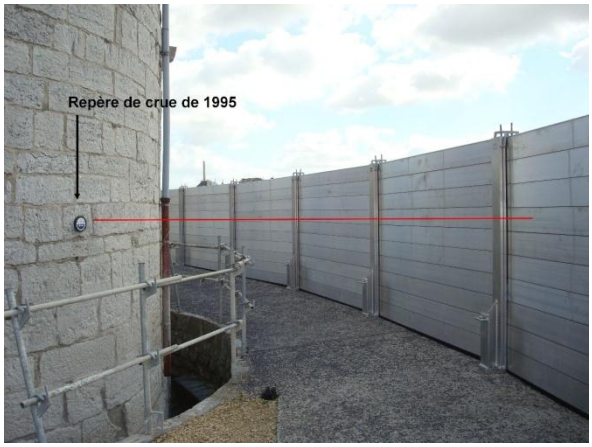


Figure 18 : barrière périphérique à Givet (produit IBS-ESTHI), visite du 14/09/2011, (photos CSTB)

3.1.3.2 Batardeaux

La fonction des barrières provisoires de protection des bâtiments contre les inondations, communément appelées « batardeaux », est de :

- limiter la pénétration d'eau dans les bâtiments ;
- retenir les débris transportés par l'inondation, jouant ainsi un rôle de filtre grossier.

Ce faisant, leur usage est de nature à limiter les dégâts provoqués à l'intérieur du bâtiment et le temps de reprise de possession de l'usage des locaux concernés.

Le principe de ces équipements est d'occulter les baies des portes, des portes-fenêtres et éventuellement des fenêtres à l'aide de matériaux assemblés pour former une barrière présentant une certaine étanchéité à l'eau. Cette étanchéité ne pouvant être parfaite, un dispositif de pompage/écopage doit être prévu pour évacuer l'eau qui parvient à pénétrer dans le bâtiment (DGALN, 2012). L'eau pénètre en effet par toutes les voies qui lui sont offertes (fissures, traversées de canalisations), ce qui rend quasi impossible l'absence de pénétration.

Le maintien en place de ces équipements et l'étanchéité des joints situés à l'interface avec les murs sont assurés par diverses solutions techniques (arc-boutement, écrasement d'un remplissage de joints en matériau mécaniquement résilient, serrage contre le mur, joint gonflables …) propres aux différents systèmes proposés sur le marché.

Ces batardeaux doivent par ailleurs résister à l'impact d'objets transportés par les flots (branche d'arbre, bidons…) ou à un choc provoqué par une embarcation

de secours. Suite à un tel évènement, ils doivent bien entendu continuer à assurer leurs fonctions.

Outre les raisons évoquées au paragraphe 2.2.2 pour justifier de limiter la hauteur d'eau au niveau des batardeaux à environ un mètre, rappelons que cette hauteur est aussi une limite supérieure pour le franchissement par enjambement en sécurité par un adulte de l'obstacle constitué par cet équipement de protection.

La mise en œuvre des batardeaux est souvent faite directement par les sinistrés, c'est-à-dire principalement par des particuliers. Aussi importe-t-il que les conditions de mise en œuvre (notice, manutention, montage), d'entretien et de stockage de ces équipements répondent aux compétences techniques de ces utilisateurs.

Empilement par emboitement de planches en aluminium (produit Feugier) (photo CSTB)

Assemblage de panneaux en PVC (produit Feugier) (photo CSTB)

Panneaux avec joints gonflables (produit Colladeau) (photo CSTB)

Coque moulée en applique sur le mur (produit et photo Flood Guard)

Figure 19 : quelques exemples de batardeaux

3.1.3.3 Ouvrages de bâtiment résistant à la pénétration de l'eau

Un mur ordinaire en maçonnerie, bien conçu et réalisé, est imperméable à l'eau de pluie mais n'est pas étanche à l'eau qui l'entoure pendant une inondation, ainsi que l'ont confirmé des essais réalisés lors de projets de recherche (FloodProbe, 2012), (SMARTeST, 2013a).

La technique du mur double est courante en Europe du nord. Au Royaume Uni, le Building Research Establishment (BRE) a testé la capacité de tels murs à faire office de barrières à la pénétration de l'eau (SMARTeST, 2013a). Le vide de construction était rempli d'une mousse assurant l'isolation thermique. Le mur était soumis à la pression hydrostatique. Les résultats ont montré un faible débit de fuite et un comportement mécanique satisfaisant (peu de déformation, pas de fissures). Cependant l'influence sur les performances thermiques de l'ouvrage n'a pas été évaluée.

D'autres essais peu convaincants ont été menés par l'IOER (Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung) à Dresde en Allemagne pour étudier l'incidence de la nature des enduits extérieurs sur le débit de fuite (SMARTeST, 2013a). Ces essais ont confirmé, si c'était nécessaire, que le rôle de l'enduit n'est pas de rendre le mur étanche mais « imperméable » (Figure 20). A supposer que l'on rende les murs d'un bâtiment réellement étanches (ce qui est possible), il faudrait s'interroger sur les conséquences de cette mesure sur le fonctionnement hygrothermique de l'enveloppe.

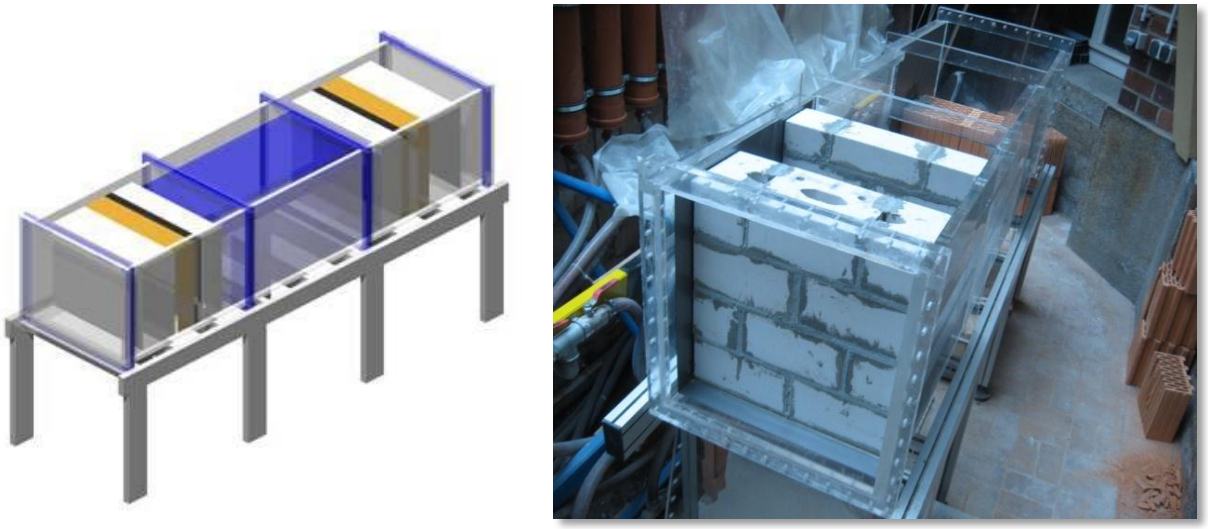


Figure 20 : Principe et banc de tests d'étanchéité à l'eau de maçonnerie (source IOER)

3.1.4 CÉDER

Compte tenu de la limite de différence de hauteur d'eau entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment ordinaire, évoquée au chapitre 2.2.2, il est prudent de ne pas tenter de résister à la pénétration de l'eau dès lors que cette différence dépasse un mètre, sauf à mettre en péril les ouvrages et en danger les personnes qui se trouveraient dans le bâtiment. Céder au passage des flots devient alors l'option raisonnable pour éviter ces risques. Il suffit pour cela d'ouvrir les portes avec pour conséquence une immersion du bâtiment et de tout le mobilier placé sur le plancher concerné et sous la ligne de niveau des eaux

Les tenants de cette approche (wet-proofing) plaident pour la mise en œuvre de matériaux « résilients », la mise en hauteur des équipements sensibles (par exemple chaudière, four), la réalisation de réseaux électriques descendant afin d'éviter l'accumulation d'eau dans les gaines, le positionnement des appareillages électriques au-dessus d'une certaine cote (DGALN, 2012).

Certes, tout ce qui est hors de portée de l'eau a des chances de ne pas subir de dégâts mais avec les mêmes limites que pour les bâtiments surélevés : la mesure est efficiente tant que l'eau ne dépasse pas la cote maximale. Par ailleurs, pour les raisons exposée au chapitre 2.2.1, il n'existe pas de référence de matériaux « résilients » actuellement en France et en Europe.

Aux USA, dans un contexte assurantiel particulier, la Federal Emergency Management Agency (Fema) a publié un guide définissant des critères d'acceptabilité des matériaux pour des constructions en zone inondable (Fema, 2008). Ces préconisations correspondent à des modes constructifs différents des modes dominants en Europe. Leur transposition au contexte national ne peut se faire aisément (Salagnac, 2006a), (FloodProBe, 2012).

La stratégie « céder » était bien adaptée en France à une époque révolue où la fonction essentielle de maçonneries en pierre non enduites et non isolées thermiquement était peu affectée par une inondation. L'absence de différence de pression intérieur/extérieur réduisait le risque d'effondrement (pour autant qu'il n'y ait pas de courant violent) et les pierres immergées pouvaient sécher après inondation sans conséquence majeure pour le bâtiment sinon pour les occupants, du fait de la présence d'humidité. De plus, l'aménagement intérieur des bâtiments anticipait l'éventualité d'une inondation en plaçant les éléments vulnérables à l'étage.

L'amélioration du confort intérieur dans les bâtiments contemporains diminue l'efficience de cette stratégie du fait que des éléments vulnérables (isolation thermique, réseaux électriques, équipements de chauffage et de climatisation, revêtements muraux) sont indissociablement liés aux parties inondées et que, de plus, l'aménagement intérieur privilégié par nos prédécesseurs ne correspond plus aux usages actuels. A ces éléments factuels, il faut ajouter le risque de vol dans les bâtiments dont l'accès est facilité par les portes laissées ouvertes. La préconisation de grilles peut être une réponse préventive à ce risque d'origine humaine (Figure 21).

Figure 21 : grille anti intrusion associée à la stratégie « wet-proofing » (source DGALN, 2012)

3.1.5 AUTRES MESURES

L'eau pénètre dans un bâtiment par tous les passages qui lui sont offerts. Parmi ceux-ci, les réseaux d'évacuation sont des artères que l'eau peut parcourir en sens inverse de ce qui est prévu par conception dès lors que la pression est inversée. Une situation courante est la remontée d'eau par le réseau d'eaux usées (Figure 22). La parade à cette situation dommageable est l'installation de clapets anti-retour sur les canalisations concernées (mesure qui peut être prescrite dans certains plans de prévention du risque inondation [PPRI]).

Figure 22 : remontée d'eau par le réseau d'eaux usées (source ENPC-Leesu)

Afin d'éviter que des objets (bûches, cuve d'hydrocarbure, bouteilles de gaz) flottent et percutent avec plus ou moins d'énergie l'enveloppe des bâtiments, il est recommandé de bien les arrimer. Cette mesure ne peut cependant être mise en œuvre de manière fiable dans le cas d'inondation torrentielle du fait des effets dynamiques du courant.

Dans un autre ordre d'idée, une mesure peu onéreuse permettant d'éviter la perte d'un véhicule d'intervention et de risquer la noyade des passagers ou de piétons consiste à baliser l'emprise au sol des piscines privatives (Figure 23).

Figure 23 : balisage de l'emprise d'une piscine privative (source DGALN, 2012)

3.1.6 EVALUATION TECHNIQUE DES SOLUTIONS

Il ressort des chapitres précédents que les mesures de prévention du risque inondation à l'échelle du bâtiment et de son environnement proche font l'objet de peu de prescriptions techniques. C'est notamment le cas de batardeaux, des barrières périphériques, des matériaux « résilients ».

Les prescripteurs et les utilisateurs potentiels des dispositifs techniques associés à ces mesures doivent cependant pouvoir disposer d'éléments d'appréciation pour choisir parmi les solutions possibles celles qui sont les mieux adaptées à chaque contexte particulier.

Le CSTB a été sollicité en 2003 par le ministère de l'environnement pour élaborer un protocole d'évaluation des performances des batardeaux (Salagnac, Rivillon, 2005). Trois produits ont été testés en 2004 suivant ce protocole. Ces premiers essais, subventionnés par le ministère, sont restés sans suite jusqu'à ce qu'ils reprennent, à titre gracieux, en 2012 pour deux autres produits, dans le cadre du projet européen SMARTeST (SMARTeST, 2013a).

A cette occasion, l'échange avec des équipes d'autres pays a fait évoluer dans le détail le protocole d'essais. Ainsi l'essai de choc, destiné à qualifier le comportement d'un batardeau par exemple à la sollicitation occasionnée par l'accostage d'une barque de secours est passé d'un choc « mou » (essai inspiré du choc normalisé sur les cloisons intérieures de bâtiment) à un choc « dur », inspiré des essais réalisés en Allemagne (Figure 24).

Les premiers essais réalisés en 2004 ont mis en évidence la présence sur le marché d'un produit potentiellement dangereux car ne pouvant résister aux sollicitations mécaniques représentatives de situations possibles. Ce produit a été depuis retiré du commerce alors qu'un autre produit, de qualité notoirement supérieure au regard des performances ciblées, n'a pas trouvé sa place sur le marché, l'importateur ayant renoncé à son activité de distribution après deux ans sans vente.

Ces travaux ont amené des échanges avec l'assureur FM-Global[6] qui promeut une démarche de certification des équipements de prévention des risques auprès de ses clients industriels. Après plusieurs années de prospection en Europe, une première barrière de 1,2 m de large fabriquée en Lettonie a été certifiée en décembre 2013[7].

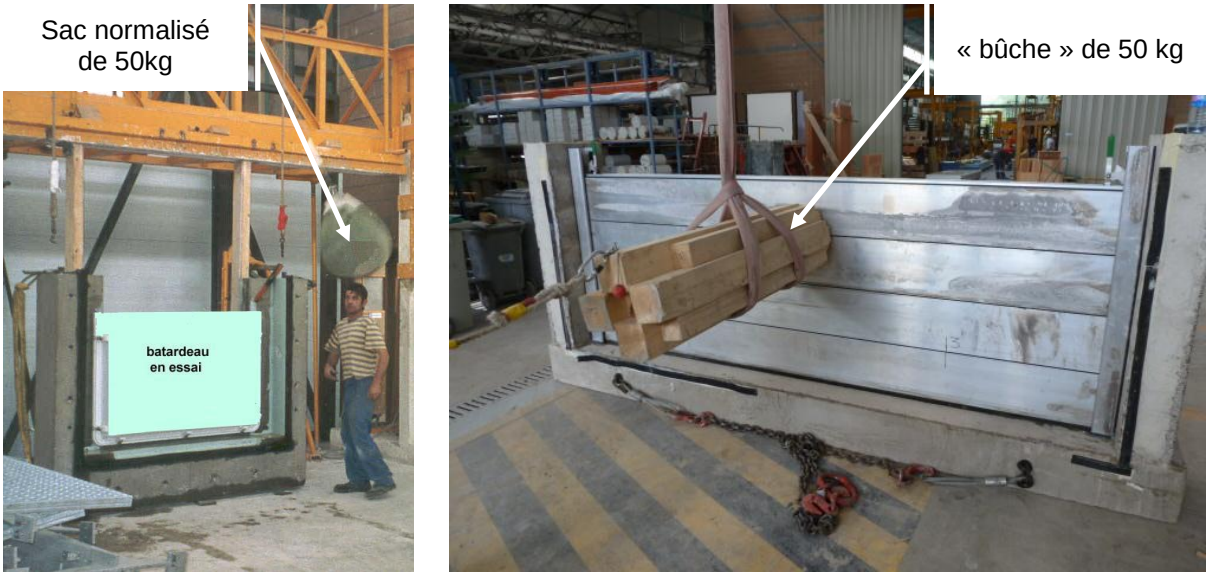


Figure 24 : essai de choc « mou » du protocole 2004 (à gauche) et essai de choc « dur » lors du projet SMARTeST (photos CSTB)

Cette faible activité d'essais semble contradictoire avec le besoin de disposer d'informations fiables et objectives relatives aux performances de ces équipements. Cette situation est également observable dans les autres pays partenaires du projet SMARTeST (SMARTeST, 2013a).

Les raisons de cette situation sont sans doute à chercher du côté de la structuration des segments de clientèle : « risques de masse » (particuliers, PME) d'un côté, « grands risques » (industriels, centre commerciaux, collectivités…) de l'autre.

Les « grands risques » sont *a priori* à même de faire état d'une capacité financière, de compétences techniques, de capacités d'entretien et de maintenance, d'une culture du risque, de la possibilité de mobiliser du personnel en temps et en heure, de l'accès aux experts prévention des compagnies d'assurance. De plus les enjeux sont précisément localisables et parfois très élevés.

Les « risques de masse » ne peuvent pas faire état de caractéristiques semblables. Si un particulier est absent avant l'inondation, il sera dans l'incapacité de mettre en œuvre des batardeaux et son investissement sera perdu, sans compter les dommages qu'il n'aura pu éviter. L'assureur serait

[6] www.fmglobal.fr

[7] http://www.aquafence.com/wp-content/uploads/sites/11/FM-approval-Certificate.pdf

réticent à prendre en compte l'existence d'une telle mesure pour autant qu'il en ait connaissance. Or, le nombre de clients, leur dispersion géographique rendent infaisables en pratique des visites sur chaque site permettant une appréciation du risque comparable à celle qui sera faite pour un site de production industrielle comme le mettent en avant Gérin et Nussbaum (2012) dans l'annexe 6 (Is the insurance industry proactive enough in promoting the uptake of flood resilient technologies?*)* du guide issu du projet SMARTeST (2013b).

Ainsi, une même mesure « de bon sens » comme celle qui consiste à protéger un équipement sensible par un muret (Figure 25), ne pourra pas être prise en considération de la même manière lors de la souscription d'un contrat « grands risques » ou « risques de masse ».

Figure 25 : protection d'un équipement vulnérable par un muret à gauche en site industriel (source FM Global) et à droite chez un particulier (source DGALN, 2012**)**

3.2 L'ÉCONOMIE DES SOLUTIONS

De nombreux guides et sites internet recensent les mesures évoquées précédemment, les commentent, et les illustrent ([DGUHC, 2005], [CEPRI, 2010a], [CEPRI, 2010b], [EPTBSD, 2012]). Ces mesures sont destinées à limiter des dommages donc des frais de remise en état mais elles ont aussi un coût.

Les dommages au bâtiment sont fonction des principaux paramètres de l'inondation au niveau du bâtiment concerné :

- Hauteur d'eau : qui définit l'ampleur de la zone affectée ;
- Vitesse d'écoulement : qui, lorsqu'elle est élevée (quelques mètres par seconde) provoque des effets dynamiques pouvant affecter la structure (affouillement des fondations, chocs, poussée) ;
- Durée d'immersion : facteur qui gouverne des mécanismes de dégradation, comme la dissolution, et qui conditionne l'importance des remontées capillaires.

Pour les bâtiments neufs dont la construction en zone à risque est autorisée conformément à la réglementation d'urbanisme du lieu, les prescriptions du plan de prévention du risque inondation sont de nature à mettre les personnes en sécurité et à limiter les dommages. Les coûts afférents à la mise en œuvre de ces mesures entrent dans l'établissement du coût du projet. Les mesures prescrites sont réputées limiter les dommages.

Pour les bâtiments existants, la mise en œuvre de mesures inspirées des mesures pour le neuf n'est pas toujours techniquement possible. L'évaluation du coût des mesures qui peuvent être mises en œuvre et des bénéfices escomptables relève de méthodes d'évaluation économique couramment utilisées.

Une de ces méthodes est fondée sur l'utilisation de courbes qui relient, sur la base d'expérience et de calcul, les dommages aux bâtiments en valeur absolue et les paramètres de l'inondation. Dans la pratique, la hauteur d'immersion est le paramètre le plus fréquemment pris en compte (Figure 26). Une variante est constituée des courbes d'endommagement qui expriment les dommages en valeur relative par rapport à une situation de référence comme la valeur de l'enjeu que constituent le ou les bâtiments.

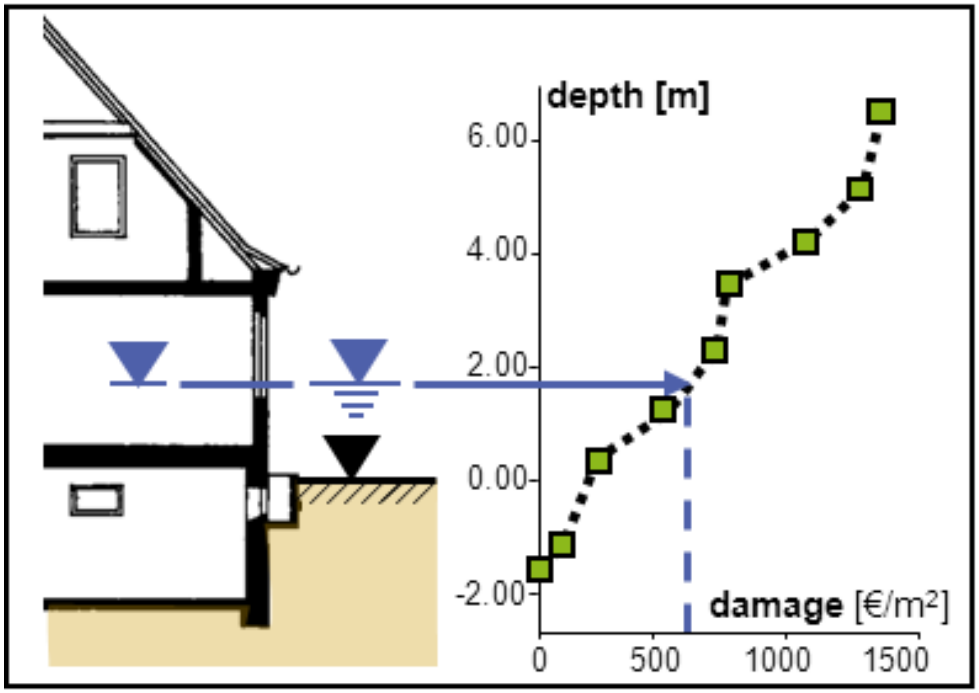


Figure 26 : principe de construction d'une courbe de dommage (source IOER)

En partant d'une courbe correspondant aux dommages potentiels en l'absence de toute disposition de protection/prévention, ces courbes peuvent être utilisées pour évaluer l'incidence sur l'importance des dommages de mesures relevant soit du « dry-proofing » soit du « wet-proofing ».

Le fait de résister à la pénétration de l'eau limite théoriquement les dommages à peu de choses tant que la hauteur limite de retenue n'est pas atteinte (Figure 27). Dans le cas d'une stratégie « céder », la surélévation d'équipements et de réseaux, la mise en œuvre de matériaux « résilients » doit, à hauteur donnée, diminuer les dommages (Figure 28).

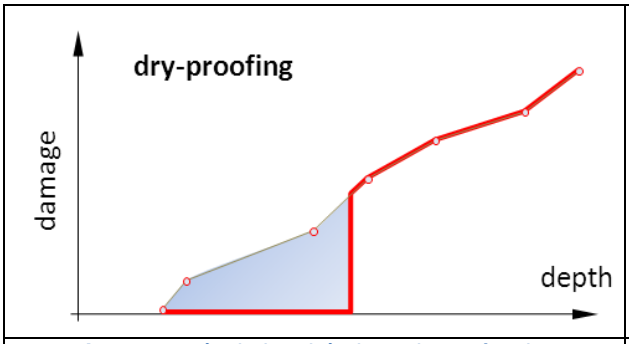


Figure 27 : évolution théorique des coûts des dommages liée à des mesures de type « résister » (source IOER)

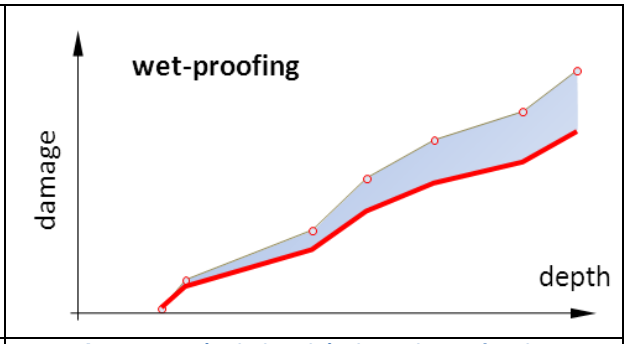


Figure 28 : évolution théorique des coûts des dommages liée à des mesures de type « céder » (source IOER)

Il ne faut pas en attendre de l'analyse de telles courbes des valeurs précises mais des ordres de grandeur et surtout des éléments de comparaison entre les effets possibles de diverses mesures de prévention/protection dans un contexte donné.

Une approche de cette nature a été utilisée pour situer « l'indice d'efficacité économique » introduit en tant qu'élément de comparaison dans le *Référentiel de travaux de prévention du risque inondation dans l'habitat existant* élaboré en 2011, sous l'égide du ministère en charge du logement, (DGALN, 2012). Les trois niveaux d'indice correspondent à des situations où sont comparés le coût des travaux et la valeur des bénéfices qui sont réputés en résulter en matière de réduction de dommages (Figure 29).

L'application de ces méthodes à des territoires, en englobant le coût des travaux d'aménagements hydrauliques éventuels, donne un moyen d'éclairer les aspects économiques de projets de réduction de la vulnérabilité dans ce territoire. Ces calculs, comme d'ailleurs ceux relatifs aux seuls bâtiments, sont effectués dans le cadre d'hypothèses de fréquence et d'intensité des inondations propres à chaque localisation (Syribt-Asconit, 2012).

Rappelons que l'effet des mesures reste assez théorique car, dans la pratique, les conditions peuvent ne pas être réunies au moment voulu pour que les dispositifs de prévention/protection soient efficients. Aussi, les données économiques issues de ces évaluations sont à manier avec discernement.

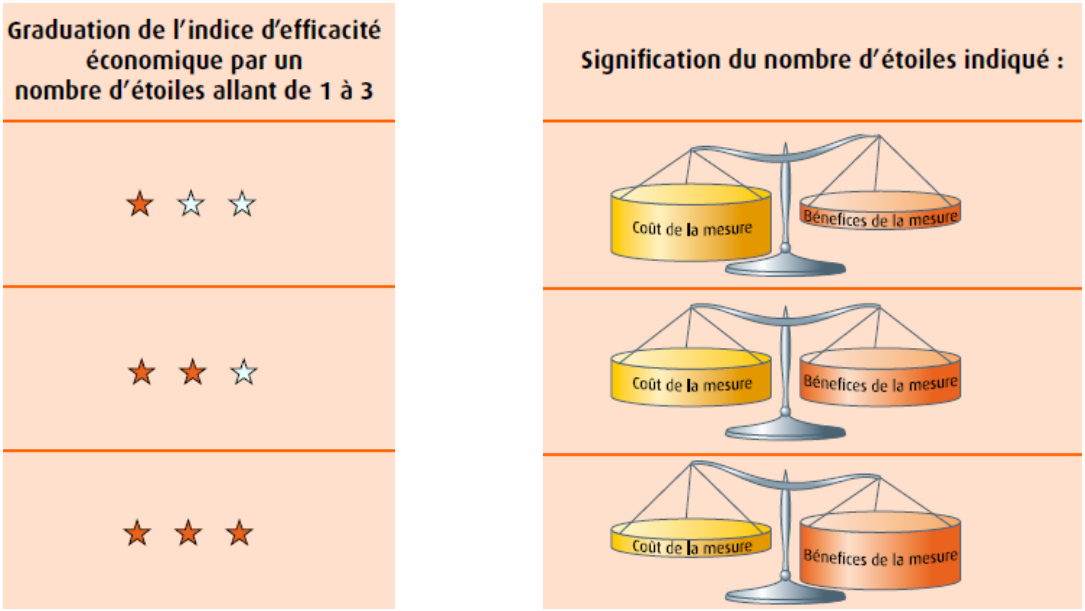


Figure 29 : définition des échelons comparatifs en fonction de la valeur relative des coûts et des bénéfices (source : DGALN, 2012)

A noter également que ces évaluations prennent essentiellement en compte les dommages au bâti sans considération pour le mobilier. Une exploration de la répartition entre dommages immobilier et mobilier montre que dernier poste peut atteindre une proportion importante du total (Figure 30). Cette étude porte sur 168 dossiers d'expertise d'assurance (Cete, 2004).

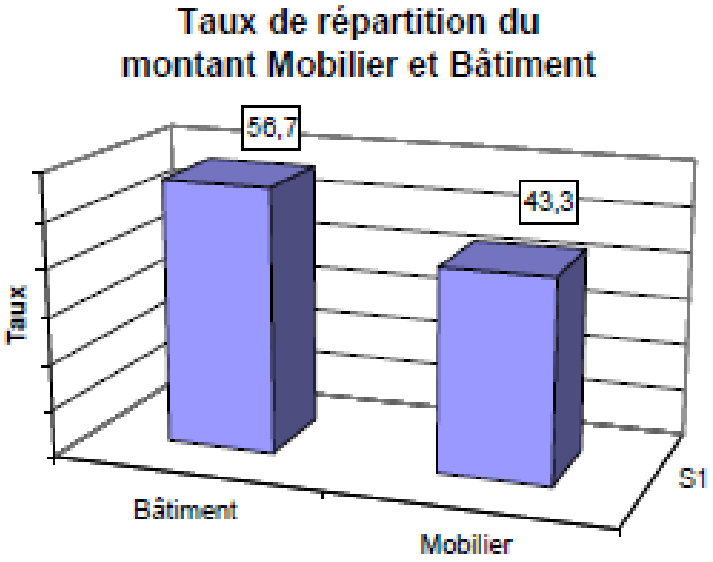


Figure 30 : répartition entre dommages immobilier et mobilier (source : CETE, 2004)

4. EVOLUTION DE LA GESTION DES INONDATIONS

Les mesures de prévention/protection à l'échelle des bâtiments sont relativement limitées en nombre et font appel à des principes éprouvés. Les chapitres précédents se sont attachés à en décrire la portée et les limites ainsi que les évolutions en cours. Leur mise en œuvre dépend de facteurs propres à chaque contexte.

Comme il a été rappelé en introduction, l'étude de ces mesures ne devrait être envisagée qu'en portant un regard couvrant les différentes échelles de territoire (Figure 1). La gestion du temps est aussi un élément essentiel de l'efficience de ces mesures. Aux phases habituelles avant/après/pendant, il est utile d'ajouter une phase avant-avant pendant laquelle les mesures peuvent être réfléchies, pesées, décidées, mises en œuvre (Figure 31).

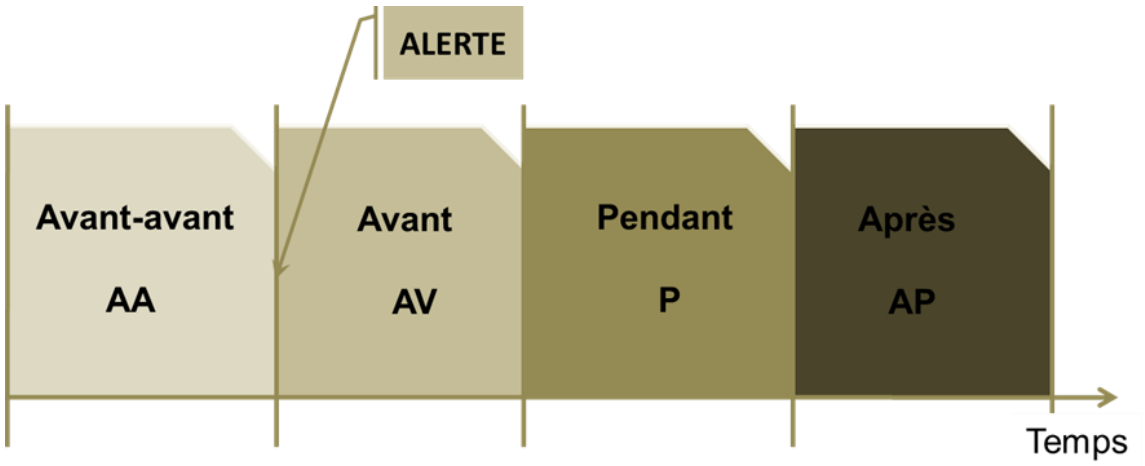


Figure 31 : phases d'une inondation

Chaque type d'inondation relève d'un chronogramme-type dont l'examen guide le choix des solutions (Figure 32). Dans de nombreuses circonstances, il est juste impossible de mettre en œuvre certaines solutions qui nécessitent la présence de personnes pendant une certaine durée au bon moment.

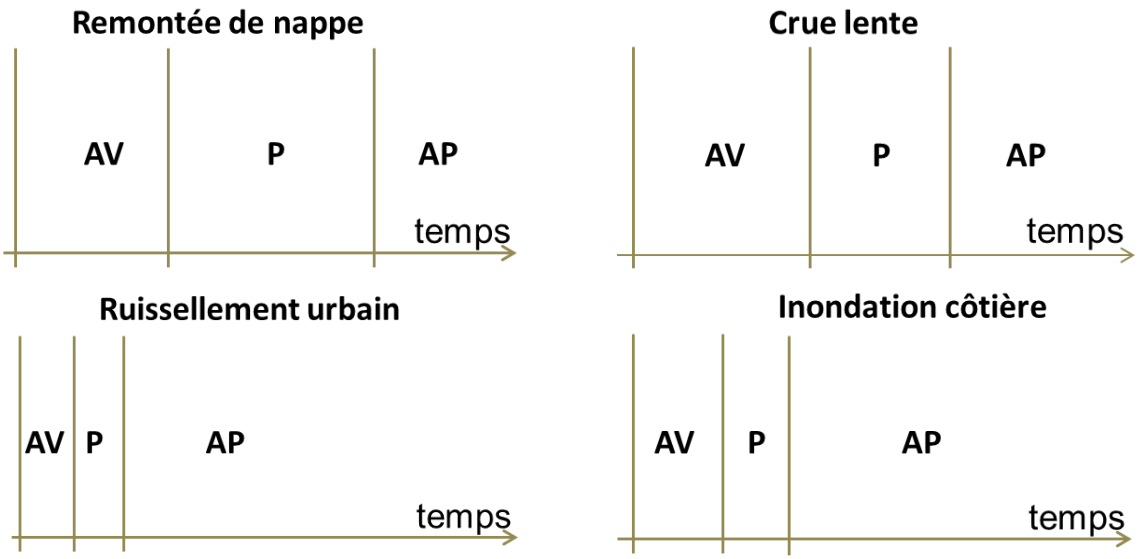


Figure 32 : chronogrammes typiques pour quelques situations typiques

Pour les crues, l'approche traditionnelle tend à évoluer petit à petit du « tout protection » fait de digues et autres barrières collectives à une association de mesures spatialement distribuées et temporellement coordonnées de manière à « vivre avec les inondations ».

Cette nouvelle approche, particulièrement mise en avant par les Néerlandais dans le cadre du programme « Room for the river »[8] consiste à anticiper l'envahissement de l'eau dans des zones dont les bâtiments existants sont éventuellement déplacés vers des zones non inondables (par exemple sur des talus créés spécialement). Les dommages subis dans ces zones (cultures, plantations) sont également anticipés à l'aide de mécanismes financiers prévoyant le dédommagement des propriétaires qui auront accepté que leurs propriétés soient inondées. Afin que les zones offertes à l'expansion de l'eau soient vaste, des digues existantes sont reculées par rapport à leur position actuelle.

Cette dynamique de concertation est bien illustrée par les initiatives de L'Entente interdépartementale pour la protection contre les inondations de l'Oise, de l'Aisne, de l'Aire et de leurs affluents (Entente Oise Aisne[9]) qui a construit en amont de l'Oise, à Proisy, un bassin de rétention occasionnel fermé par une vanne. Dès que les conditions nominales sont réunies, la vanne se ferme pour créer un bassin de rétention limitant l'afflux d'eau dans les villes situées le long du fleuve. Ce faisant, les risques d'inondation sont considérablement limités dans ces zones urbaines et les habitants pourraient même investir dans des batardeaux, du fait que la hauteur probable est relativement bien cernée. Un mécanisme de compensation financière a été mis en place afin d'indemniser les propriétaires dont les terrains sont volontairement inondés en amont.

---

[8] http://www.ruimtevoorderivier.nl/meta-navigatie/english/types-of-measures/

[9] http://www.entente-oise-aisne.fr/

Ni cette réalisation, ni les aménagements relevant de l'approche « vivre avec les inondations » ne peuvent définitivement empêcher que certains bâtiments soient inondés. Pour ceux qui le sont et le seront, les mesures évoquées au cours des précédents chapitres restent d'actualité avec la portée et les limites qui ont été précisées. Il est en effet quasiment impossible économiquement d'empêcher durablement l'eau entourant un bâtiment ordinaire de pénétrer dans celui-ci.

Ces considérations mettent une limite à l'intérêt qu'il y aurait à généraliser des mesures sur tout le territoire sans distinction fine des contextes variés qu'offre la réalité des territoires.

CONCLUSION

Indépendamment de l'incidence encore imprécise du changement climatique sur la fréquence, voire l'intensité des inondations en un lieu donné, les évènements actuels sont suffisamment fréquents et variés pour rappeler les progrès encore à réaliser dans la gestion des différents types d'inondations.

Ces progrès concernent tous les maillons de la chaîne allant de la détection de la pluie jusqu'à la mise en œuvre de mesures de prévention/protection à l'échelle des bâtiments en passant par l'alerte, la mise en œuvre coordonnée de mesures collectives, l'organisation des secours, la gestion de la crise, sans oublier le retour d'expérience et l'information des personnes concernées.

Les mesures à l'échelle du bâtiment proprement dite sont relativement limitées et la question se pose de la pertinence de travaux de réduction de la vulnérabilité d'un patrimoine donné en un lieu précis (Cepri, 2009).

Dans les régions où la culture du risque inondation est vivace, des solutions éprouvées sont traditionnellement mises en œuvre comme les batardeaux ou l'aménagement intérieur des bâtiments. La portée de ces mesures est connue ainsi que leurs limites.

Dans les régions où la culture du risque est peu développée ou auprès des habitants peu informés (même vivant dans des zones à forte probabilité d'inondation), la diffusion de ces techniques éprouvées est difficile. Les situations où des bâtiments sont délibérément construits dans une zone où les dispositifs présentés seraient inefficients du simple fait de la hauteur d'eau ou de la vitesse d'écoulement probable sortent du champ du présent rapport.

Dans ce contexte, il est peu surprenant que des dispositifs de protection/prévention « modernes » (dotés par exemple d'automatismes) aient des difficultés à trouver un marché en dehors d'une clientèle avertie comme des industriels sensibilisés à la gestion des risques technologiques et naturels et rompus à la maintenance des installations.

Le développement de solutions de prévention et de protection est aussi fortement lié au régime d'assurance. Le système français CAT-NAT[10] , fondé sur la solidarité nationale, est parfois considéré comme peu propice à de tels développements au motif que les initiatives prises par les particuliers sont

[10] https://www.ccr.fr/index.do?aid=2094981368466376057

difficilement reconnues par les compagnies. En contrepoint de cette posture, il peut être avancé que ces mesures, si elles sont efficientes, bénéficient à l'assuré.

Nous avons toutefois souligné qu'il semble peu probable de voir réunies les conditions de cette efficience pour les « risques de masse ».

Situé « en bas » de l'échelle, le bâtiment reste le récepteur final des eaux chargées, charriées lors d'une inondation. Ce confinement en bout de chaîne ressort du rapport du CGDD intitulé : « Risque Inondation : quels défis pour la recherche en appui à l'action publique ? » (CGDD, 2012). Le sujet « bâtiment » y est à peine évoqué, l'essentiel du rapport étant relatif à de légitimes considérations territoriales, venant ainsi conforter la position exposée dans le présent rapport.

Puisse ce rapport contribuer à combler cette relative absence. Les actions à l'échelle du bâtiment sont certes limitées mais n'est-ce pas une bonne raison, compte tenu de l'enjeu représenté par le cadre bâti, notamment urbain, pour qu'elles soient mises en œuvre dans un contexte préparé par des travaux en amont et en aval visant à créer les conditions de leur efficience ?

LISTE DES RÉFÉRENCES

Acuf, 2012. Séminaire « Vivre avec les inondations : de la résistance à la résilience » sous l'égide de l'Association des Communes Urbaines de France, Dunkerque, 18-19 octobre 2012

Afnor, 2000. DTU 14.1 travaux de bâtiment travaux de cuvelage partie 1 - cahier des clauses techniques.

Cepri, 2009. Un logement "zéro dommage" face au risque d'inondation est-il possible ?. Téléchargeable : http://www.cepri.net/tl_files/pdf/ceprilogementzerodommage.pdf

Cepri, 2010a. Le bâtiment face à l'inondation : Diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Guide méthodologique. Téléchargeable : http://www.cepri.net/tl_files/pdf/guidevulnerabilite.pdf

Cepri, 2010b. Le bâtiment face à l'inondation : Vulnérabilité des ouvrages, aide-mémoire. Téléchargeable : http://www.cepri.net/tl_files/pdf/aidememoire.pdf

Certu, 2005. Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations ? Étude pour le compte du MEDD

Cete, 2004. *Vulnérabilité des bâtis aux inondations : Analyse des dossiers de sinistres suite aux inondations de Septembre 2002 dans le Gard et les départements limitrophes*. CETE Méditerranée, Collection Les Etudes, Juin 2004

CGDD, 2012. Risque Inondation : quels défis pour la recherche en appui à l'action publique ?, Collection « RéférenceS » de la Direction de la recherche et de l'innovation (DRI) du CGDD, août 2012

CSTB, 2003. Guide de remise en état des bâtiments après inondation. Téléchargeable : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_remise_en_etat.pdf

CSTB, 2006. Classement des locaux en fonction de l'exposition à l'humidité des parois et nomenclature des supports pour revêtements muraux intérieurs, e-Cahiers du CSTB, n° 3567, mai 2006

DDE Moselle, 1990. *Construire en zone inondable, DDE Moselle*

DGALN, 2012. Référentiel de travaux de prévention de l'inondation dans l'habitat existant, Téléchargeable : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Referentiel-de-travaux-de.html

DGUHC, 2005. Guide d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments vis-à-vis de l'inondation. Téléchargeable : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_guide_evaluation_vulnerabilite_inondations_nov_2005.pdf

Doeni, 2013. Revised Draft Planning Policy Statement 15, Department of Environment, www.doeni.gov.uk, Téléchargeable: http://www.planningni.gov.uk/index/policy/policy_publications/planning_statements/pdf_-_draft_review_pps_15_-_october_2013_version.pdf

Dura - Vermeer, 2009. *Bouwen op water,* http://www.duravermeer.nl/over_ons/publicaties/brochures/DuraVermeer_BouwenOpWater_BOW.pdf

EPTBSD, 2012. Réduction de la vulnérabilité de l'habitat aux inondations : préconisation technique d'aménagement, Téléchargeable : http://www.eptb-saone-doubs.fr/IMG/pdf/reducvuln-fiches_01.pdf

EM-DAT, 2008. *The International Disaster Data-base*. Téléchargeable: http://www.emdat.be/ [Accessed December 5, 2013].

EU, 2007. European Parliament and the Council of the European Union. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Brussels: Official Journal of the European Union, 2007.

FFSA, 2009. Synthèse de l'étude relative à l'impact du changement climatique et de l'aménagement du territoire sur la survenance d'événements naturels en France, téléchargeable : http://www.ffsa.fr/sites/upload/docs/application/pdf/2010-05/synthese_etude_changement_climatique.pdf

Fema, 2008. Flood damage-resistant materials requirements for buildings located in special flood hazard areas in accordance with the national flood insurance program technical bulletin 2 / august 2008, téléchargeable : http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1502-20490-4764/fema_tb_2_rev1.pdf

Floatec, 2011. FLOATEC projet ∑! EUREKA 4446, Floating houses, www.eurekanetwork.org/project/-/id/4446

FLoodProBE, 2012, Buildings flood resilience measures, deliverable of the FP7 No:243401 FloodProBe research project, téléchargeable: http://www.floodprobe.eu/partner/assets/documents/Deliverable4_4_FINALNov2012.pdf

FM Global, 2010. Property Loss Prevention Data Sheets, téléchargeable: http://www.fmglobal.com/fmglobalregistration/Vshared/FMDS0140.pdf

Gerin S., Nussbaum R., 2012. *Is the insurance industry proactive enough in promoting the uptake of Flood Resilient Technologies? A contribution to the SMARTeST project, appendix n°6 of Guidance for Flood Resilience Systems,* deliverable of the FP7 n° 244102 SMARTeST project (cf SMARTeST 2013b), pp. 76-87

IPCC, 2013. Climate Change 2013: the physical basis, Working Group 1

Kundzewicz Z., 2008. Changement climatique et crues, Bulletin OMM, Juillet 2008, téléchargeable : http://www.wmo.int/wcc3/bulletin/55_3_en/55_3_kundzewicz_fr.html

Lasalle J-L, 2004. Surveillance épidémiologique suite aux inondations survenues à Arles (décembre 2003, janvier 2004), DRASS PACA, INVS

Latta J-K., 1964.- *L'eau et les matériaux de construction*, Digeste de la construction au Canada, CBD-30-F, IRC-CNRC-1964

Marchand D., Colbeau L., 2012. *Dynamiques individuelles et communautaires de résilience après Xynthia*, in : Gestion des risques naturels - Leçons de la tempête Xynthia, Editions Quae, 2011

Medde, 2014. Stratégie nationale de gestion du risque inondation (SNGRI) http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/140509_SNGRIetAnnexes_approuvee_BAT_cle0459ad.pdf

Meddtl, 2010. Construire en montagne : la prise en compte du risque torrentiel, http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/GUIDE_CONSTRUIRE_EN_MONTAGNE.pdf

MRN, 2005. *Mémento pratique du particulier Risque « inondations »,* Mission des sociétés d'assurances pour la connaissance et la prévention des risques naturels. Téléchargeable : http://www.mrn.asso.fr/system/files/Memento_inondations.pdf

Salagnac J-L., 2006a. *Vulnérabilité des bâtiments a l'inondation : qualification du comportement des matériaux*, Décision attributive de subvention n° Y05-29 du 28/10/05, DGUHC.

Salagnac J-L, 2006b. *Bâtiments amphibies et autres solutions pour construire en zone inondable*, Décision attributive de subvention n° Y05-30 du 18/10/05, DGUHC

Salagnac J-L, 2007. An overview of flood protection barriers, in: Advances in Urban Flood Management (Cost 22 action), Taylor and Francis, 2007

Salagnac J-L, Rivillon P., 2005. *Evaluation des performances des dispositifs provisoires de protection contre les inondations : batardeaux*, Etude réalisée en partenariat avec le MEDD-DPPR-SDPRM-BICI convention n° CV03000126 du 15/10/03

Sénat, 2010. rapport d´information fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia par M. Alain ANZIANI, Sénateur

Sogreah, Asconit, 2006. Etude préalable à la réduction de la vulnérabilité des réseaux liée aux inondations en Loire moyenne, pour le compte de l'EP Loire,

SMARTeST, 2013a. *Flood resilience technologies,* deliverable of the FP7 n° 244102 SMARTeST project, téléchargeable: http://www.floodresilience.eu/attachments/article/165/D2.3%20final-July13.pdf

SMARTeST, 2013b. *Guidance for Flood Resilience Systems,* deliverable of the FP7 n° 244102 SMARTeST project, téléchargeable: http://www.floodresilience.eu/attachments/article/169/D3.3%20final-July13.pdf

Syribt-Asconit, 2012. Programme de restauration hydraulique et écologique du bassin versant de Brèvenne-Turdine : présentation des résultats de l'analyse coût-bénéfice, Syndicat de Rivières Brévenne Turdine

Taillefer N., Chenaf M., 2008a. Vulnérabilité des bâtiments vis-à-vis d'inondations dues à la rupture des digues de la Garonne, dans la ville de Toulouse, rapport préliminaire pour la DIREN Midi-Pyrénées, CSTB, 2008

Taillefer N., Chenaf M., 2008b. Cahier de préconisations constructives pour le renforcement du bâti existant vis-à-vis du risque d'inondation par rupture de digue, rapport final pour la DIREN Midi-Pyrénées, CSTB, 2008

United Nations, 2008. Department of Economic and Social Affairs - Population Division, 2008. World Urbanization Prospects: The 2009 Revision.

United Nations, 2011. Department of Economic and Social Affairs - Population Division, 2011. Urban and rural areas

UNISDR, 2010. Making Cities Resilient: My City is Getting Ready. World Disaster Reduction Campaign, téléchargeable: http://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/

Valencia N., 2006. Risques naturels, aléa et vulnérabilité mécanique : cas de constructions en maçonnerie vis-à-vis des séismes et inondations, Thèse Université de Marne la Vallée

Vinet et al., 2011. La mortalité comme expression de la vulnérabilité humaine face aux catastrophes naturelles : deux inondations récentes en France (Xynthia, Var, 2010), VertigO, Volume 11 Numéro 2, septembre 2011

SIÈGE SOCIAL
84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction