

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil



N° d'ordre : M...../GC/2021

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Année universitaire : 2020 / 2021

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

**Construire en zones inondables : cas de la ville
de Mostaganem**

Présenté par:

Mr. AFGHOUL Djamel Eddine

Soutenu publiquement le 28/10/2021 devant le jury composé de :

Mr. ZELMAT Yassine	MAA	Université de Mostaganem	Président
Mr. HADJII Ilhem	MAA	Université de Mostaganem	Examinatrice
Mr. SARDOU Miloud	MCA	Université de Mostaganem	Encadrant

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

On tient à remercier très vivement notre encadreur du mémoire, Mr.Sardou

Miloud',pour ses qualités humaines et scientifiques. On ne pourra jamais oublier son gentillesse,son générosité, son esprit de recherche et ses commentaires efficaces.

Un grand merci denous avoir donné la chance de réaliser ce modeste travail.

Puis, on remercie les membres de jury pour le soutien et l'intérêt qu'ils ont portés à ce travail.

Après, nos remerciements vont également à l'ensemble de nous enseignants en graduationet en post graduation qui nous ont orienté vers le bon chemin de recherche et restaient disponibles à tout moment.

Ainsi que tous nous amis pour l'appui moral qu'ils nous ont témoigné.

Dédicace

Je commence à avoir pitié de mon père, que Dieu ait pitié de lui, que j'aurais tant souhaité qu'il soit présent aujourd'hui pour que nous puissions partager la joie ensemble

je remercie le bon dieu de m'avoir permis de faire ce parcours artistique très passionnant et de me donner la capacité d'écrire et de réfléchir, et d'aller jusqu'au bout.

*Je tiens à exprimer ma plus profonde reconnaissance à
mon adorable mère*

Qui n'est jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

*Ma chère sœur et mes chers frères
Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.*

Mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

Tous ceux que j'aime.

Merci !

Afghoul Djamel Eddine

ملخص :

يحدث في الوقت الراهن عدة ظواهر طبيعية تشكل خطرا كبيرا على سكان العالم، نذكر من بينها الفيضانات التي تحدث عادة نتيجة لتدفق الأودية مما يسبب زيادة منسوب مياهها بعد سقوط كبير للأمطار مثلا، مما يسبب اضرار عديدة تكون معتبرة احيانا خصوصا في المناطق السكنية، لهذا وجب على الهيئات المختصة بالتنسيق مع الباحثين المختصين في دراسة الظواهر الطبيعية وضع خطط و استراتيجيات تهيئة للحد من مخاطر الفيضانات بشكل خاص على المباني و المنشآت العمرانية.

الكلمات المفتاحية : فيضان – مخاطر – المناطق السكنية – استراتيجيات – تهيئة – المباني.

Résumé :

Plusieurs phénomènes naturels constituent un grave danger pour la population mondiale, notamment les inondations provoquées par les coulées de vallées, qui entraînent l'élévation du niveau de l'eau après la chute de fortes pluies par exemple, causant de nombreux dommages considérable, en particulier dans les zones résidentielles, Pour cette raison, les organismes compétents, en coordination avec les chercheurs spécialisés dans l'étude des phénomènes naturels, doivent élaborer des plans et des stratégies d'aménagement pour réduire les risques d'inondation, en particulier, sur les bâtiments et les ouvrages de construction.

Mots-clés: inondation–risques–zones résidentielles–strategies-aménagement–bâtiments.

Abstract

There are several natural phenomena that pose a great danger to the world's population, including the floods that occur as a result of the flow of valleys, which causes the increase of water levels after the fall of heavy rain for example, causing many damage which sometimes is quite considered, especially in residential areas, For this reason, the competent bodies, in coordination with researchers specialized in studying natural phenomena, must develop plans and strategies of layout to reduce the risks of floods, in particular, on buildings and construction facilities.

Keywords: flood -risks-residential areas-strategies-layout-building.

Table des Matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction general	1
Chapitre I Généralités sur les inondations	2
Introduction	3
1. Définitions	3
2. Les types des inondations	3
2.1- Inondation de pleine	3
2.2- Inondations par remontées des nappes phréatiques	4
2.3- Inondations par crues torrentielles	4
2.4- Inondations par ruissellement en secteur urbain	5
2.5- Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle	5
2.6- Inondations marines	6
3. Evaluation de l'aléa inondation	6
3.1- Les caractéristiques de l'aléa inondation	6
3.2- Causes de formation des crues et des inondations	7
3.2.1 Cause directe	7
3.2.2 Phénomène aggravant l'aléa	8
Conclusion	9
Chapitre II Risque d'atteinte au bâtiment suite aux inondations	10
Introduction	11
1. La pénétration d'eau	11
2. La pression de l'eau et la poussée d'Archimède	12

3. Le renard hydraulique, l'érosion des sols de fondation	14
4. Le courant, les débris flottants, l'affouillement	14
5. Cas de l'inondation de Mostaganem en 1927	15
5.1 Evolution de la ville de Mostaganem	15
5.2 Circonstances de l'événement	16
5.3 Les causes de l'inondation	17
5.4 Dégâts causés par les inondations	17
5.5 Les sites inondés	18
5.5.1 Les dégâts dans la place Gambetta et le marché couvert	19
5.5.2 Les dégâts dans le port et le quai de Mostaganem	20
5.5.3 Les dégâts dans le quartier de Tigditt	20
5.6 La ville de Mostaganem après la crue	21
6. Les aménagements du ravin de Aïn Sefra	21
Conclusion	23
Chapitre III Adaptation des constructions aux risques d'inondation	24
Introduction	25
1. Inclure un système de protection dans l'aménagement	25
1.1- Objectifs	25
1.2- Types d'aménagements possibles	26
1.2.1 Le concept de super-digue	26
1.2.2 Le concept de digue multifonctionnelle	27
1.2.3 Les dispositifs mobiles de protection	31
1.3- La mise en œuvre du principe	35
2. Donner ou redonner plus de place à l'eau	40

2.1-	Objectifs	40
2.2-	Types d'aménagements possibles	41
2.2.1	Les aménagements permettant de préserver les écoulements de l'eau, sans aggraver ni réduire l'aléa	41
2.2.2	Les aménagements permettant de donner plus de place à l'eau en réduisant l'aléa.....	43
2.3-	La mise en œuvre du principe	46
	Conclusion	49
Chapitre IV	Aménagements face aux inondations	51
	Introduction	52
1.	Localiser les activités et les infrastructures urbaines	51
1.1-	Objectifs	51
1.1.1	Activités et infrastructures susceptibles de rendre la ville vulnérable en cas d'inondation	52
1.1.2	Les différentes stratégies possibles de localisation des activités	54
1.2-	Types d'aménagements possibles	54
1.2.1	Localisation des usages sur le plan horizontal	55
1.2.2	Localisation des usages sur le plan vertical	55
1.3-	La mise en œuvre du principe	56
2.	Concevoir des bâtiments adaptés à l'inondation	58
2.1-	Objectifs	58
2.2-	Types d'aménagements possibles	59
2.2.1	La stratégie "éviter"	59
2.2.2	La stratégie "résister"	63
2.2.3	La stratégie "céder"	65
2.3-	La mise en œuvre du principe	65

Conclusion	68
Conclusion générale	70
Bibliographie	73

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Infrastructures et activités génératrices de vulnérabilité pour le territoire	48
---	----

Liste des Figures

Chapitre I

Figure 1 : Inondation de Plaine	4
Figure 2 : Inondation par remontées des nappes phréatiques	4
Figure 3 : Inondation par crues torrentielles	5
Figure 4 : Inondation par ruissellement en secteur urbain	6
Figure 5 : Schéma montrant les causes des crues	8

Chapitre II

Figure 6 : Voies potentielles de pénétration d'eau dans les bâtiments	13
Figure 7 : Poussée hydrostatique agissant sur le bâtiment en situation d'inondation	14
Figure 8 : Phénomène de renard hydraulique	15
Figure 9 : Fondations déchaussées (phénomène d'affouillement)	16
Figure 10 : Cadre géographique de la ville de Mostaganem	16
Figure 11 : Vue sur oued Aïn Sefra après la crue de 1927	16
Figure 12 : Les dommages causés par la crue du ravin de Aïn Sefra	18
Figure 13 : Les sites touchés par la crue du ravin de Aïn Sefra	19
Figure 14 : Les dégâts sur la place de Gambetta	19
Figure 15 : Les dégâts dans le port et les quais de Mostaganem	20
Figure 16 : Vue sur Tigditt après la catastrophe	21
Figure 17 : La ville de Mostaganem après la crue de 1927	21
Figure 18 : L'état actuel du ravin de Aïn Sefra	22

Chapitre III

Figure 19 : La super-digue	26
Figure 20 : Quartier des Sept Deniers à Toulouse	27
Figure 21 : Mur de protection contre les crues du Rhin, à Leutesdorf (Allemagne)	28
Figure 22 : Proposition de digue multifonctionnelle	29
Figure 23 : Exemple de digue multifonctionnelle	30
Figure 24 : Coupe schématique de la "digue terrasse The Hilledijk" à Rotterdam	31
Figure 25 : Schéma de structure vertical (mur)	31
Figure 26 : Système de protection à Andernach (Allemagne)	32
Figure 27 : Exemple des structures pliantes	33

Figure 28 : Schéma des structures en forme de dièdres (non verticales)	33
Figure 29 : Schéma des barrières flexibles	34
Figure 30 : Schéma des barrages poids	35
Figure 31 : Schéma des sacs absorbants	35
Figure 32 : Schéma d'aménagement en donnant plus de place à l'eau	40
Figure 33 : Réalisation d'une passerelle pour piétons et cyclistes	42
Figure 34 : Immeubles d'habitat collectif dans le quartier Matra	42
Figure 35 : Localisation de immeubles d'habitat collectif dans le quartier Matra	43
Figure 36 : Etapes du projet d'aménagement	44
Figure 37 : Avant et après de la création du canal de décharge	44
Figure 38 : Création d'un bras de rivière	45
Figure 39 : Le projet de quais (2013)	45
Figure 40 : Exemple de remise à ciel ouvert d'un cours d'eau en milieu urbain	45
Figure 41 : La rivière Saw Mill après sa remise à ciel ouvert à Larkin Plaza, Yonkers	46

Chapitre IV

Figure 42 : Schéma d'aménagement localisant les activités et infrastructures urbaines	51
Figure 43 : Schéma de localisation des usages sur le plan horizontal	55
Figure 44 : Schéma de localisation des usages sur le plan vertical	56
Figure 45 : Schéma montrant les stratégies d'adaptation des bâtiments à l'inondation	58
Figure 46 : Exemples de maisons individuelles et immeuble sur pilotis à Saint-Pierre-des-Corps	60
Figure 47 : Exemple de logements sur pilotis dans le cadre du projet urbain du Grand Paris	61
Figure 48 : Maison flottante à Amsterdam	62
Figure 49 : Principe de la maison amphibie qui monte le long de sa structure fixe en flottant sur l'eau en cas d'inondation	63

Introduction générale

Dans les événements récurrents dans le monde, les inondations sont le risque naturel majeur le plus courant dans le monde. Parfois bénéfiques, parfois dévastatrices, elles font partie du cycle saisonnier. Ainsi, afin de conquérir plus de territoires, les humains ont longtemps eu affaire à la nature, soit simplement en vivant à ses côtés, soit en essayant de la domestiquer. Au cours des derniers siècles, les progrès technologiques et scientifiques ont permis de développer des équipements qui utilisent et protègent l'énergie hydraulique afin de mieux coloniser l'environnement. La science fournit un moyen de contrôle extrêmement fort sur la nature [1].

En raison de la révolution industrielle continue et de l'explosion démographique, la demande d'industrialisation et de surfaces habitables ne cesse de croître. Pour soutenir le développement économique, les aménageurs doivent rendre praticables de nouvelles terres et progresser de plus en plus dans le domaine naturel, tout en gardant à l'esprit un autre besoin social, celui de la sécurité des biens et des personnes. Ces deux problèmes ont généré de nombreux conflits d'intérêts, et le résultat est souvent le préjudice du deuxième intérêt plutôt que du premier conflit d'intérêts [1].

Évidemment, le problème actuel est de savoir comment vivre dans des zones menacées par les inondations. Et comment faire face à ses risques, ou du moins les éviter avec un minimum de pertes [1].

Pour répondre à ces questions. Nous devons d'abord comprendre les inondations, comment elles se forment et quels sont leurs risques afin de pouvoir trouver des solutions pour y faire face comme un phénomène normal [1].

Chapitre I

Généralités sur les inondations

Introduction

Les inondations peuvent se définir comme l'envahissement par l'eau douce ou salée de lieux terrestres habituellement émergés. Plusieurs causes et des processus complexes aboutissent à ce phénomène, dont l'ampleur peut conduire à une catastrophe majeure. On considère que les inondations sont responsables de plus de 60 p. 100 du total des morts provoqués par l'ensemble des catastrophes naturelles (séismes, éruptions volcaniques, glissements de terrain, cyclones et typhons, etc.), hormis les épidémies [2].

1. Définition

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs et aggravée par d'autres dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels sont généralement de statistiques lourdes [3].

L'aléa inondation

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières,...etc.) ou salées (submersion marine, tsunami,...etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'inondation est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues [4].

2. Les types des inondations

2.1- Inondation de plaine

Les inondations de plaine se produisent après des précipitations océaniques d'intensité modérée à long terme, affectant le ruissellement pour déclencher des sols lents, couvrant des bassins versants moyens à grands (plus de 500 kilomètres carrés). Les ruisseaux jaillissent lentement du lit ordinaire de la rivière, occupent le lit principal et inondent longuement la plaine. Ces phénomènes concernent particulièrement les terres basses ou mal drainées. Sa dynamique lente a duré plusieurs semaines [4].

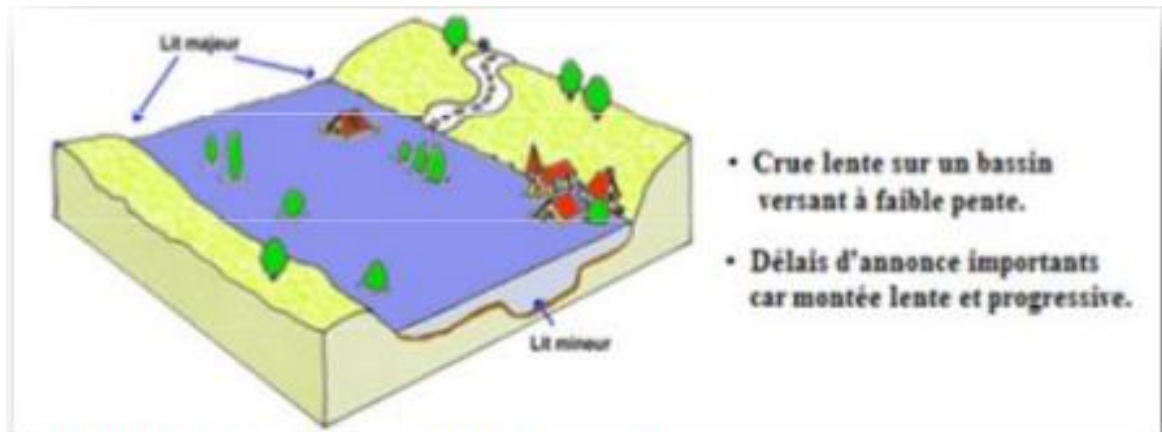


Figure 1 : Inondation de Plaine [16].

2.2- Inondations par remontées des nappes phréatiques

Elles correspondent à des crues indirectes à débordement, qui se manifestent par une montée des nappes phréatiques exposées à la surface ou des intrusions d'eau dans les différents réseaux d'assainissement [4].

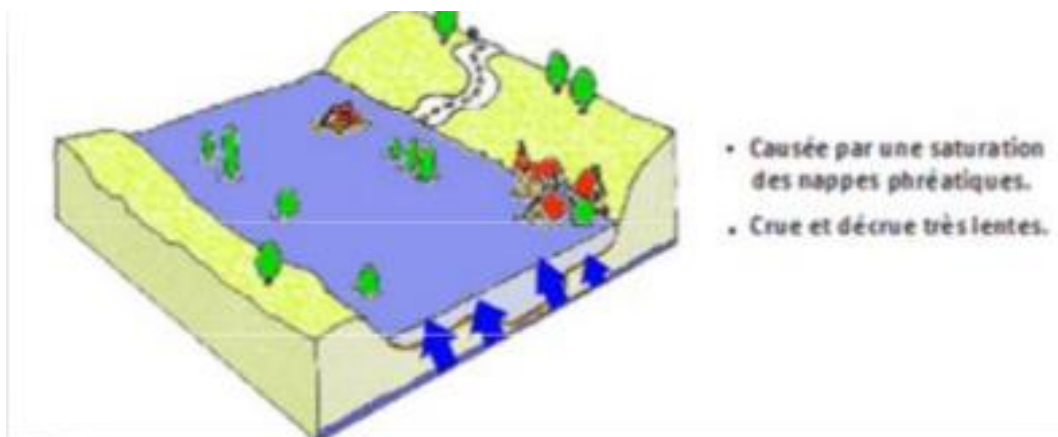


Figure 2 : Inondation par remontées des nappes phréatiques [16].

2.3- Inondations par crues torrentielles

Les fortes pluies sont un phénomène soudain et violent causé par des événements pluvieux forts et locaux (tels que les orages convectifs), qui se caractérisent par un transport solide très fort et des modifications de la profondeur du lit d'eau au cours de l'événement. Les dégâts occasionnés par ces phénomènes sont d'abord liés à la vitesse d'écoulement de l'eau, et la matière pouvant être emportée par la rivière qui produit de telles crues renforce encore ces dégâts [4].

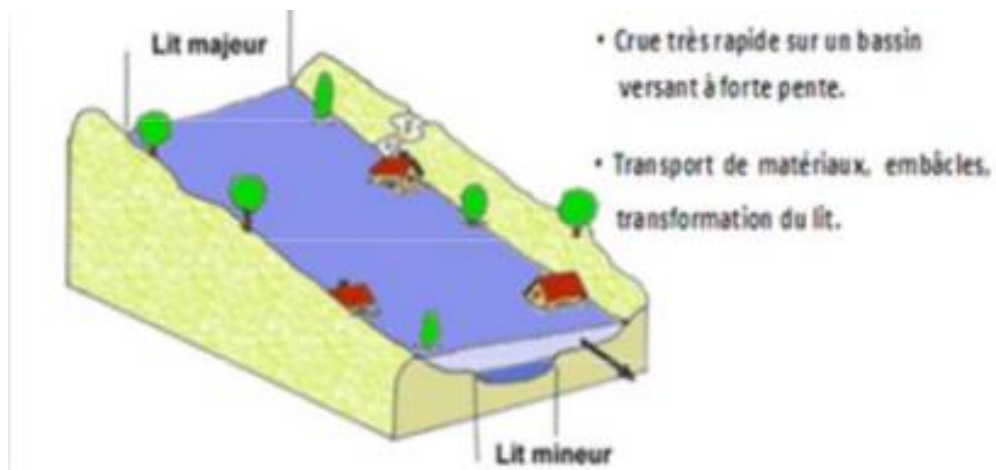


Figure 3 : Inondation par crues torrentielles [16].

2.4- Inondations par ruissellement en secteur urbain

Les crues de ruissellement recouvrent différents phénomènes physiques, selon qu'elles surviennent en milieu rural, périurbain ou urbain. Cependant, ces phénomènes ont des caractéristiques de soudaineté et de courte durée, ce qui les rend difficiles à prévoir et à contrôler en temps de crise. Ce sont des phénomènes très locaux qui affectent les petits bassins versants [4].



Figure 4 : Inondation par ruissellement en secteur urbain [16].

2.5- Inondations par rupture d'ouvrage ou d'embâcle

Dans le cas des barrages et des rivières, des inondations peuvent survenir soudainement en raison de débordements au-dessus des barrages ou de la rupture des

barrages. Ce phénomène peut être très cruel, et plus le barrage est proche, plus il est destructeur. Par conséquent, le fait qu'il se trouve derrière l'ouvrage de protection pour une taille de niveau de crue donnée augmente le seuil de risque en cas de destruction ou de dépassement de ce dernier. Les zones où il n'y a généralement pas d'eau peuvent être soudainement inondées [4].

2.6- Inondations marines

Les inondations marines sont des inondations temporaires de zones proches de la mer par cette dernière dans des conditions météorologiques (talles, vents, fortes marées). Ils conduisent à une infestation d'eau salée particulièrement agressive. À la suite d'un raz de marée ou d'un tsunami (incidence très faible, mais phénomène dévastateur), ou à la suite d'une tempête (montée des mers, vents forts et précipitations) ou en cas d'effondrement des défenses contre la mer (dans ce cas, les risques sont concentrés le long de la côte dans des zones de basse pression) [4].

3. Evaluation de l'aléa inondation

3.1- Les caractéristiques de l'aléa inondation

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation:

a) Période de retour

Un phénomène avec une période de récurrence de cent ans (un phénomène centenaire) a une chance sur une de se produire ou d'être dépassé chaque année. Ceci est vérifié après avoir considéré une longue période de temps. Mais il peut aussi être répété plusieurs fois dans un court laps de temps (quelques années). En d'autres termes, d'ici 20 ans, une personne a une chance sur cinq de subir une inondation une fois tous les 100 ans [4].

b) Hauteur et durée de submersion

La hauteur de l'inondation peut avoir un impact important sur le bâtiment, surtout lorsqu'elle dépasse le niveau de référence. En cas d'immersion prolongée, des problèmes d'assainissement peuvent survenir : l'eau est généralement sale, contaminée par les égouts, et parfois le carburant déborde du réservoir de carburant. Pour l'homme, les niveaux d'eau supérieurs à 50 cm sont généralement considérés comme dangereux. Par exemple, une voiture commence à flotter à partir de 30 centimètres d'eau [4].

c) Vitesse du courant

Le débit est affecté par la pente du lit et sa rugosité, et le risque d'écoulement dépend du couple hauteur/vitesse. Par exemple, à partir de 0,5 m/s, la vitesse d'écoulement de l'eau devient dangereuse pour l'homme, et il y a un risque d'être emporté par les cours d'eau ou d'être blessé par des objets transportés [4].

d) Volume de matière transportée

Ce volume est souvent appelé « transport solide ». Il s'agit de matériaux présents dans les cours d'eau (argile, limon, sable, gravier, cailloux, blocs, etc.), qui peuvent être transportés en suspension dans l'eau ou en se déplaçant sous le lit en raison des forces liées à l'écoulement de l'eau. cause des inondations catastrophiques Il se caractérise par un débit d'eau rapide et une forte capacité de transport solide [4].

3.2- Causes de formation des crues et des inondations

Les causes de formation peuvent fractionner en deux styles ; causes directes et phénomènes aggravant l'aléa.

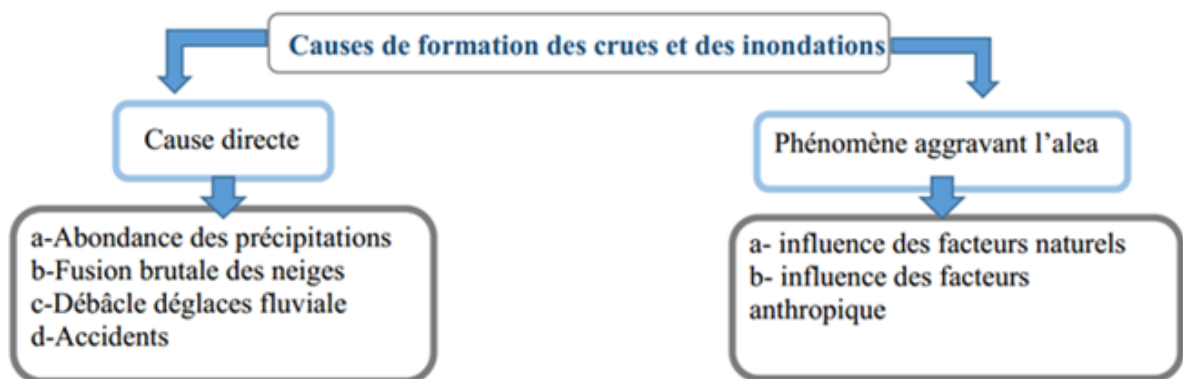


Figure 5 : Schéma montrant les causes des crues [15].

3.2.1 Causes directes

a- Abondance des précipitations

C'est le principal facteur explicatif des crues et des inondations. On peut distinguer plusieurs types d'orages, comme les averses soudaines, les averses prolongées, ou les pluies cycloniques. D'une manière générale, la puissance des crues et les dégâts qu'elles provoquent augmentent tous avec l'augmentation des précipitations dans le bassin. Fort, fort et durable. Le quotient

d'écoulement est plus élevé et la forme et les propriétés du matériau sont facilement corrodées [4].

b-Fusion brutale des neiges

Il est très commun en Europe à la fin du printemps et au début de l'été. En effet, à la sortie de l'hiver, l'arrivée de fronts chauds (vent et pluie) va rapidement fusionner la neige recouvrant les bassins versants des montagnes (comme les Alpes et les Pyrénées en France), entraînant des crues importantes [4].

c-Débâcle déglaces fluviale

Chaque hiver, la température glaciale gèle d'abord l'eau de la rivière en surface, puis gèle progressivement en profondeur. Dès l'arrivée du printemps, la combinaison de la hausse des températures et de la poussée miraculeuse de l'eau qui s'accumule derrière le barrage de glace fera tôt ou tard éclater ce dernier. À ce moment-là, il y a eu un énorme effondrement, balayant tout ce qu'ils allaient [4].

d- accidents

Rupture inattendue de barrages naturels ou artificiels. Parfois, l'accident lui-même est lié à un autre phénomène particulier (glissement de terrain, lié à de fortes précipitations, volcans, tremblements de terre, etc.) [4].

3.2.2 Phénomène aggravant l'aléa

a- influence des facteurs naturels

- La surface et la forme du bassin : Ainsi, pour une même surface, l'aspect d'une carte hydrographique des crues provoquées par une pluviométrie donnée varie d'un endroit à l'autre.
- La forme du bassin, le bassin très élancé ne réagit pas comme le bassin collecteur.
- La configuration du relief du lit de la rivière : la pente a un effet direct sur la vitesse d'écoulement de l'eau.
- La densité des cours d'eau et la perméabilité des bassins versants : Par conséquent, la densité des cours d'eau est fonction de la nature du sol. En raison de la plus faible perméabilité du sol, le réseau est plus développé et complexe.

- Facteurs biogéographiques : La végétation joue un rôle climatique complexe, elle agit sur le ruissellement, retenant une partie des eaux de pluie et évaporant l'eau [4].

b- influence des facteurs anthropique

- Occuper les zones riveraines : La concentration de la population et l'accumulation de marchandises dans le champ d'inondation crée un risque d'inondation par le biais d'un risque accru, d'une vulnérabilité accrue et d'un manque de mesures préventives.
- Forte étanchéité (conséquence du développement urbain ou agricole).
- Méfiance vis-à-vis des dispositifs de protection (digues, déversoirs).
- Méfiance envers le réseau de la santé [4].

Conclusion

La gravité des inondations est un risque prévisible, mais il est difficile de savoir quand elles se produiront. Il existe de nombreux paramètres qui conduisent à la formation de crues, mais l'un d'eux est déterminant : les précipitations. Par conséquent, la prévision des crues comprend principalement l'observation continue des précipitations.

Enfin, les inondations sont considérées comme un événement météorologique extrême. Généralement qualifié de risque naturel, il peut avoir des conséquences graves [5].

Chapitre II

**Risque d'atteinte au bâti suite aux
inondations**

Introduction

L'eau a toujours été le principal ennemi des bâtiments. Du point de vue du confort et de la santé des occupants, cela réduira surtout la performance des matériaux et des structures, résultant en un environnement intérieur inacceptable [6].

1. La pénétration d'eau

Lorsque le niveau d'eau monte et qu'il y a un canal d'entrée, l'eau commence à entrer dans le bâtiment. Les ouvertures inférieures, telles que les événements de sous-sol ou les fenêtres de cave, constituent la première voie d'entrée, suivies des portes et des fenêtres. Mais non seulement il est dangereux d'ouvrir directement, l'eau peut aussi s'infiltrer dans le mur. C'est pourquoi le choix des matériaux de construction est déterminant. Cependant, il existe d'autres voies d'accès, telles que le raccordement à un réseau d'égouts ou de drainage commun. Le reflux d'eau dans le tuyau peut faire entrer de l'eau par les receveurs de douche, les toilettes ou d'autres canaux similaires. L'élévation du niveau des eaux souterraines peut provoquer une infiltration d'eau dans le radeau ou les murs de la cave. L'ouverture dans le mur qui permet le passage des tuyaux d'alimentation et d'évacuation est également la voie d'entrée.

- Pénétration d'eau souterraine à travers les murs de la cave / le radier.
- Pénétration d'eaux de refoulement des égouts.
- Pénétration d'eau souterraine par infiltration au niveau des raccordements domestiques (en règle générale, l'encastrement des tuyauteries et câbles ne résiste pas à la pression de l'eau) ou en raison des joints non étanches.
- Pénétration d'eau de surface à travers les soupiroux et les fenêtres de cave.
- Pénétration d'eau de surface par infiltration dans le mur extérieur.
- Pénétration d'eau de surface à travers les ouvertures de porte et de fenêtre [7].

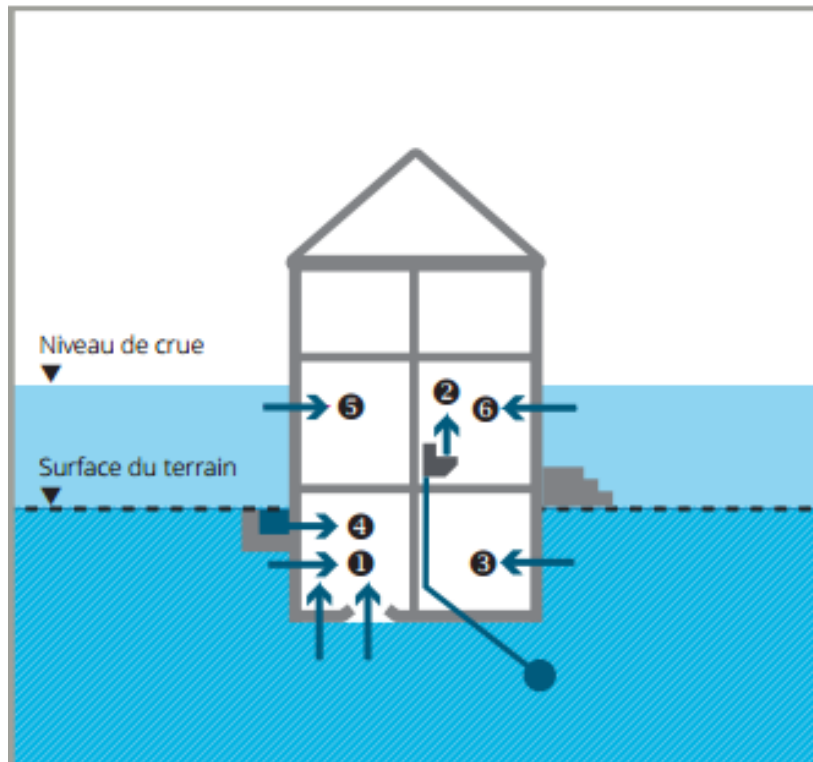


Figure 6 : Voies potentielles de pénétration d'eau dans les bâtiments [17].

2. La pression de l'eau et la poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède est la force particulière que subit un corps placé entièrement ou partiellement dans un fluide (liquide ou gaz) et soumis à un champ de gravité. Cette force provient de l'augmentation de la pression du fluide avec la profondeur ou l'altitude (effet de la gravité sur le fluide [8]).

La pression étant plus forte sur la partie inférieure d'un objet immergé que sur sa partie supérieure, il en résultera une poussée globalement ascendante verticale. C'est à partir de cette poussée qu'on définit la flottabilité d'un corps [8].

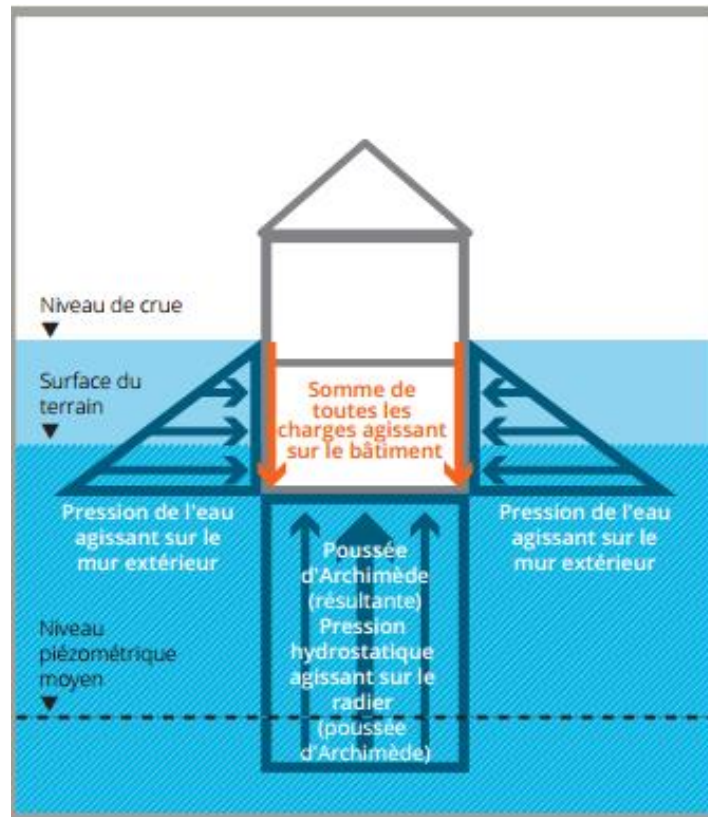


Figure 7 : Poussée hydrostatique agissant sur le bâtiment en situation d'inondation [17].

Lorsqu'une inondation ou une montée du niveau des eaux souterraines fait que le niveau d'eau dépasse les fondations du bâtiment, l'énergie hydrostatique agit sur le bâtiment. Ces forces (pression de l'eau et poussée d'Archimède) augmentent avec la montée du niveau de l'eau. Sans protection contre la poussée d'Archimède, certaines parties du châssis peuvent monter ou flotter. Cela peut causer des dommages au bâtiment, tels que des fissures, des penes, des affaissements, une rupture des conduites d'alimentation et d'évacuation d'eau, et même un effondrement complet du bâtiment. Ce risque concerne généralement les immeubles de faible hauteur, incapables de résister à la poussée d'Archimède en raison de leur faible poids. La pression latérale exercée par la masse d'eau extérieure peut provoquer la rupture de la paroi de la cave ou du radier [7].

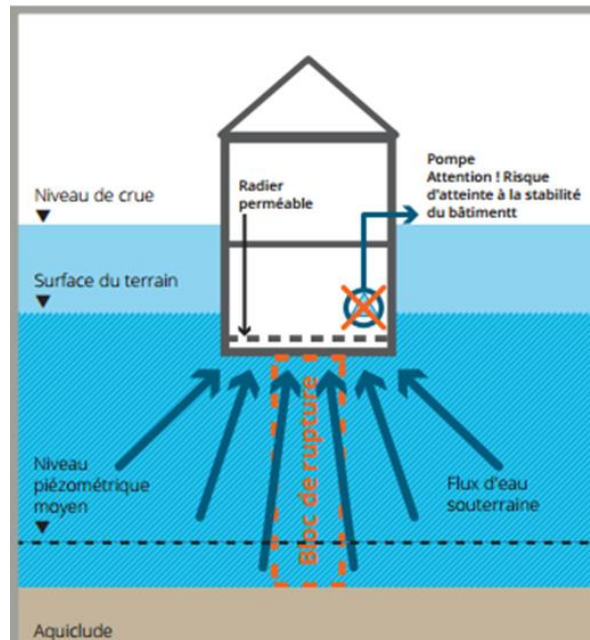


Figure 8 : Phénomène de renard hydraulique [17].

3. Le renard hydraulique, l'érosion des sols de fondation

Les différences du niveau piézométrique ont pour effet et des écoulements souterrains ascendants pouvant conduire à la formation d'un renard hydraulique.

Ce phénomène de renard hydraulique se produit lorsque la force de l'écoulement est supérieure à la gravité du sol. Le sol perd sa stabilité et commence à se fissurer, et les particules de sol sont emportées par l'eau, réduisant la capacité portante du sol de fondation.

Le risque de renards hydrauliques existe généralement dans les zones proches des rivières, car les conditions hydrogéologiques actuelles sont propices au ruissellement et les différences de niveaux d'eau sont plus importantes [7].

4. Le courant, les débris flottants, l'affouillement

Surtout dans les zones proches des rivières, les bâtiments sont confrontés à des risques actuels en cas d'inondation. Si la fondation est relativement haute par rapport au fond de la rivière, l'érosion se produira. Ils peuvent provoquer l'affouillement et le relâchement des fondations et affecter la stabilité du bâtiment. Ces phénomènes peuvent être évités en utilisant des palplanches ou du gravier. Une fondation plus profonde sur des pieux forés est une autre option. Les débris flottants qui sont emportés peuvent également endommager le bâtiment [7].

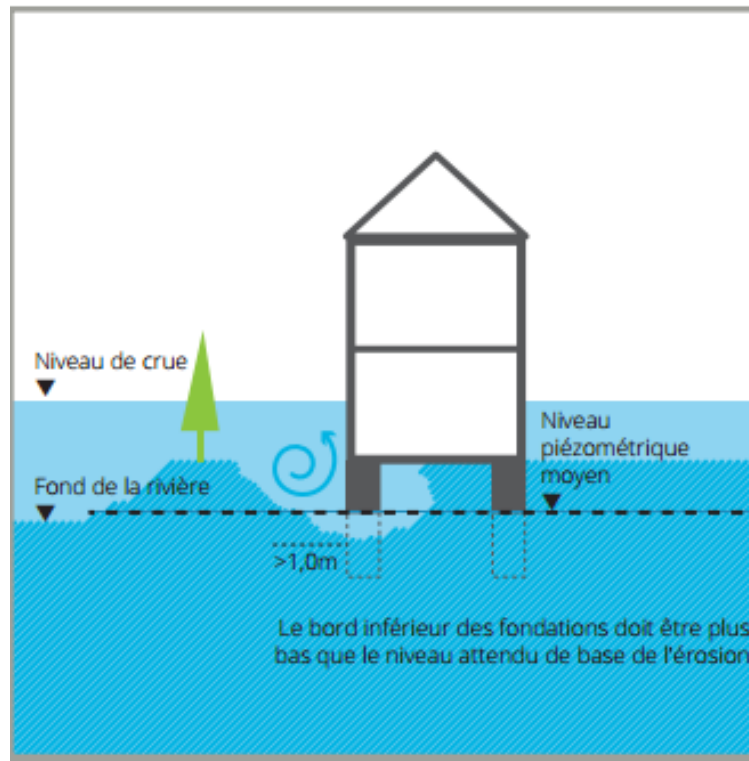


Figure 9 : Fondations déchaussées (phénomène d'affouillement) [17].

5. Cas de l'inondation de Mostaganem en 1927

5.1 Evolution de la ville de Mostaganem

Mostaganem occupe un site d'une topographie élevée et accidentée (Ghalem 1998). Elle est traversée par un oued important dans une direction est-ouest. Les premiers noyaux de construction se sont fait sur les berges de l'oued Aïn Sefra, nous citerons l'exemple des quartiers de l'ancienne ville (El-Arsa, El-Matmar et Tijditt). Le quartier d'El-Matmar se distingue par Bordj El-Turcs. Tijditt comprend dans sa partie ouest, un sous quartier appelé Kadous-el-Meddah. Quant à Derb-Tobbana se localise sur la rive gauche. Après la colonisation, la ville dite moderne s'est implantée à côté du noyau initial (Yamani et Brahim 2009). L'extension urbaine et l'apparition des nouveaux quartiers (La marine, Beymouth, Saint-Jules, Monplaisir, La Salamandre, etc), ont donné à la ville la configuration actuelle [10] (fig 10).

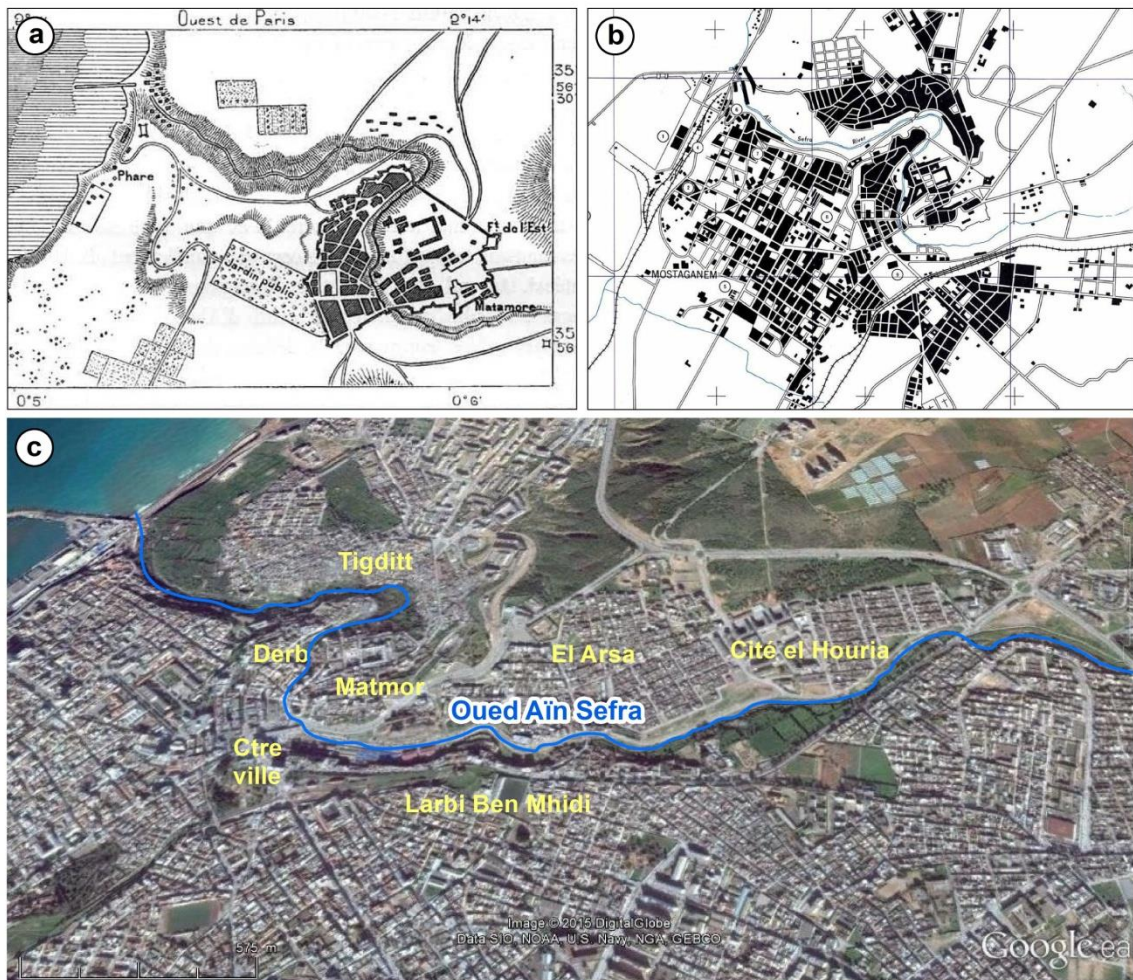


Figure 10- Carte de la ville de Mostaganem : (a) la ville de Mostaganem en 1880, (b) la ville de Mostaganem en 1941, (c) la ville actuelle.

5.2 Circonstances de l'événement

A 01 heure de matin, suite aux pluies torrentielles, oued Aïn Sefra a été gonflé rapidement. Le tunnel d'écoulement obstrué par les débris, et sous la pression des eaux, le rempart en amont a cédé (fig 11). La hauteur des eaux a atteint six mètres [10].



Figure 11- Vue sur oued Aïn Sefra après la crue de 1927 : (a) oued Aïn Sefra après la crue, (b) les débris emporté par le ravin (Source: photos d'archives).

5.3 Les causes de l'inondation

Deux facteurs essentiels ont causé cette catastrophe. Le premier est d'ordre atmosphérique, l'automne 1927 a été caractérisé par des averses de forte densité. La chute de pluie torrentielle pendant une semaine, ainsi que son aggravation la veille de la catastrophe, ont fait augmenter fortement le débit du ravin. L'autre facteur est lié à la défaillance humaine. Le ravin a emporté les substances et les laves torrentielles, ce qui a entravé le drainage du tunnel. Ce dernier qui avait été construit en resserrant et déviant le lit de l'oued, n'a pas pu supporter les eaux torrentielles, et dans un court moment il a été obstrué. L'eau a quitté rapidement son lit, en inondant les riverains [10].

5.4 Dégâts causés par les inondations

Le nombre des morts était très élevé; d'après les rapports officiels: « le nombre de décès pour la ville de Mostaganem et ses environs est de 150 à 155 colons et de 200 à 250 indigènes » dont environ 300 victimes au centre de la ville. Les dégâts matériels ont atteint 200 millions d'anciens francs. Selon la déclaration des responsables plus de 60 immeubles ont été rasés (fig 12). Les dommages dans le domaine agricole ont atteint 1300000 anciens francs. Le domaine commercial et industriel a enregistré 14100000 anciens francs, et pour le domaine immobilier plus de 13500000 d'anciens francs ont été enregistrés [10].



Figure 12- Les dommages causés par la crue du ravin de Aïn Sefra (Source: photos d'archives).

5.5 Les sites inondés

Sur le plan spatial, plusieurs sites ont été fortement endommagés, à l'instar de la place dite Gambetta à l'époque coloniale, le square, les arbres, la partie comprise de la ville entre l'avenue de 1^{ère} ligne «Abdellaoui Abed» et le quartier de Matmar, le vieux quartier de Souika El Tahtania et Tjidditt [10] (fig 13).

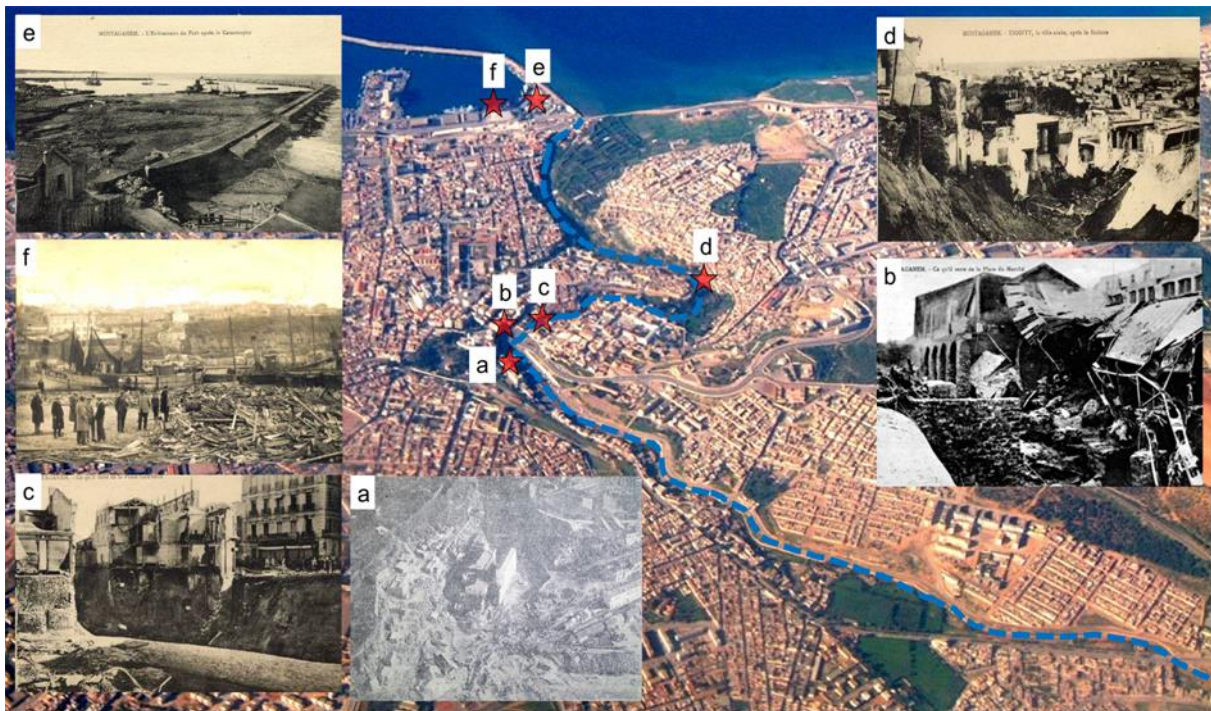


Figure 13- Les sites touchés par la crue du ravin de Ain Sefra : (a) vue aérienne sur les dégâts à Matmar, Gambetta et les trois ponts, (b) la destruction du Marché, (c) les dégâts dans la place de Gambetta, (d) les dégâts dans le quartier du Tigditt, (e) et (f) la submersion du port (Source: photos d'archives) [10].

5.5.1 Les dégâts dans la place Gambetta et le marché couvert

La place de Gambetta et le Marché ont été les plus endommagés (fig 14). Les eaux ont débordé sur le site avec une hauteur de 4mètres. Plusieurs victimes et disparus ont été enregistrés. Les dégâts graves dans ces deux sites s'expliquent par la construction du quartier du marché couvert et de la place Gambetta sur un ancien ravin qui servait de lit de l'oued Ain Sefra. Par conséquent les immeubles ont été écroulés à la suite de l'instabilité du terrain [10].



Figure 14- Les dégâts sur la place de Gambetta (Source: photos d'archives).

5.5.2 Les dégâts dans le port et le quai de Mostaganem

Le port et les quais qui représentent l'exutoire du ravin ont été fortement endommagés. La hauteur des vagues de la crue a atteint 6mètres et plus de 7mètres de sables avait été comblés. Notons qu'un nombre élevé de corps ont été trouvés de ces sites. Les chalutiers ont été sérieusement abîmés sur la terre ferme, ils sont enlisés dans le sable jusqu'à mi-hauteur (fond de 8mètres) [10] (fig 15)

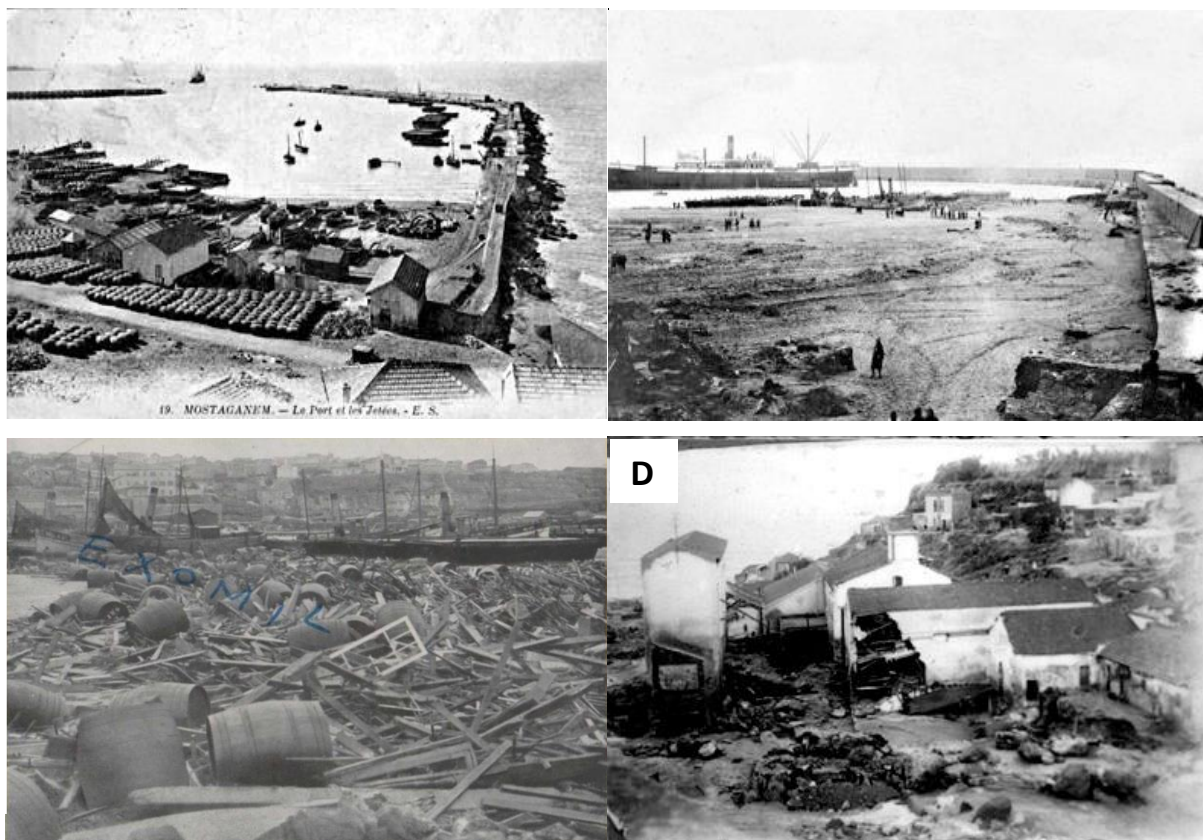


Figure 15- Les dégâts dans le port et les quais de Mostaganem : (a) montre l'état du port avant la crue, (b) le port ensablé après la crue, (c) les débris au niveau du quai, (d) des moulins détruits près du port (Source: photos d'archives) [10].

5.5.3 Les dégâts dans le quartier de Tigditt

La ville de Tigditt et Souika Tahtania ont été les plus touchés (fig 16). Les inondations ont causé de nombreuses victimes. Les maisons situées sur les rives de Aïn Sefra ont été écroulées. Leurs occupants ont été entraînés avec une vitesse vers la mer. Les moulins et un bon nombre des immeubles de la ville ont été démolis [10].



Figure 16- Vue sur Tigditt après la catastrophe (Source: photos d'archives).

5.6 La ville de Mostaganem après la crue

L'inondation de novembre 1927 restera gravée dans les mémoires. La ville de Mostaganem faillit complètement rayée de la carte. Après cette catastrophe des travaux furent entrepris, pour éviter de nouvelles inondations, son lit a été creusé et la place Gambetta a été remplacée par trois ponts. Les trois ponts ont été placés entre la place du marché couvert et le quartier du Matmar qui mène vers la vieille ville de Tigditt [10] (fig 17).

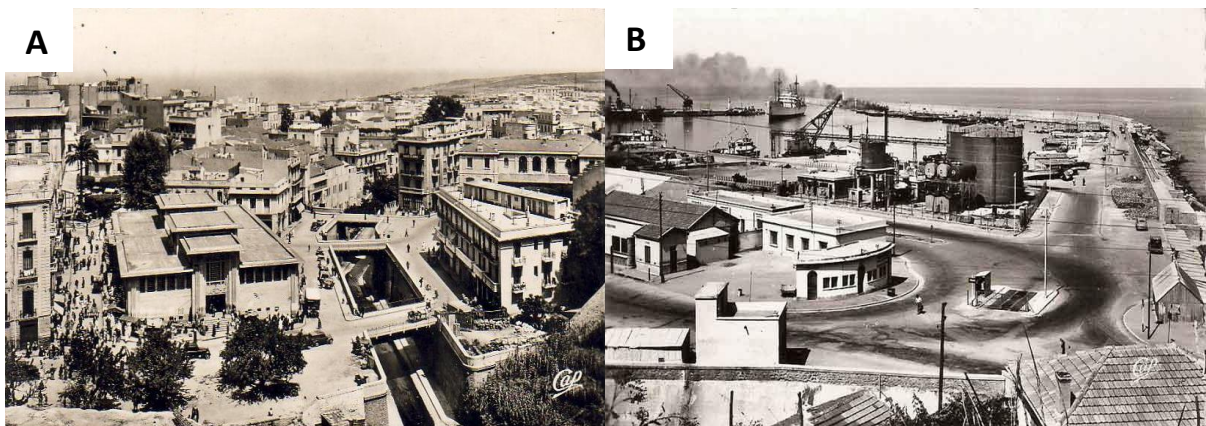


Figure 17- La ville de Mostaganem après la crue de 1927 : (a) une vue sur les trois ponts, (b) la reconstruction du port (Source: photos d'archives).

6. Les aménagements du ravin de Aïn Sefra

Après l'indépendance, les trois ponts ont été transformés en une immense esplanade. Des années après, un bassin de décantation et de régulation des crues a été construit. Le résultat était spectaculaire pour les habitants des bas quartiers de Sayada. Entre-temps, l'APC de Mostaganem a entamé des travaux de recouvrement de l'oued depuis le pont d'El Arsa jusqu'à hauteur de la place des trois ponts. Des aménagements approximatifs et coûteux qui ne feront

que retarder les échéances. Toutefois des fissures et des affaissements ont menacé les dalles posées sur les berges [10].

En 2014, un projet d'aménagement de l'oued Aïn Sefra sur 5,2km a été lancé pour protéger la ville de Mostaganem contre les inondations. Ce projet porte sur la réalisation d'une conduite principale aux abords de l'oued pour l'évacuation des eaux usées, ainsi que la correction torrentielle de l'oued pour accueillir les eaux pluviales. Il prévoit également la création, sur la berge, d'espaces verts, d'aires de jeux, avec la perspective d'investissement dans des espaces commerciaux. L'oued qui est actuellement très pollué, reçoit environ 20.000m³ de déchets par jour provenant de 20 embouchures anarchiques [10] (fig 18).



Figure 18- L'état actuel du ravin de Aïn Sefra : (a) une vue sur le site des trois ponts, (b) et (c) les déchets jetés dans le ravin (Source: archives de presse).

Conclusion

La pression latérale sur le bâtiment est grande. Plus l'eau est profonde, plus le débit d'eau est rapide et plus la pression exercée est élevée. L'eau qui coule va générer des zones de turbulence locales, ce qui va changer la direction de la pression.

Les dommages instantanés causés par la puissance du courant électrique peuvent renverser un bâtiment et emporter ses occupants avec des biens. Les débris d'origine hydrique peuvent également causer des dommages. Les polluants tels que la boue, les produits chimiques ou les eaux usées peuvent endommager le contenu du bâtiment. L'eau peut affaiblir les fondations et les murs des bâtiments, provoquant une instabilité du sol, ce qui peut entraîner des glissements de terrain ou des fissures sur le sol [9].

Chapitre III

**Adaptation des constructions aux risques
d'inondation**

Introduction

Il peut être construit en zone inondable (ZI) s'il répond à certaines exigences. Ces mesures sont des mesures de construction adaptées au risque d'inondation. Ces mesures visent à réduire les risques de dommages, mais ne peuvent être considérées comme une protection absolue contre les inondations. Planification.

Les bâtiments adaptés aux risques d'inondation visent à réduire la fragilité de l'ouvrage pour minimiser l'étendue et l'intensité des dommages, ainsi que le coût et le temps nécessaires pour réparer les dommages. Bien entendu, ces mesures préventives ne s'appliquent pas seulement à la surveillance des zones inondables, mais doivent également être mises en œuvre dans tous les endroits confrontés à des risques potentiels d'inondation. Afin d'adapter le mode de construction au risque d'inondation, il est nécessaire de comprendre la situation au moment de la crue [7].

1. Inclure un système de protection dans l'aménagement urbain

1.1- Objectifs

La protection des communautés contre les inondations peut être une action permanente ou temporaire. Dans un système permanent, les digues, que ce soit sur la mer ou sur le fleuve, sont les dispositifs les plus couramment construits. (*Source : CEPRI Principes techniques d'aménagement*).

Elles sont définies comme des ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions (art. L. 566-12-1 du Code de l'environnement). Tout ouvrage entrant dans ce périmètre est défini par deux éléments : la superficie qu'il protège des risques d'inondation et d'inondation et le niveau de protection qu'il assure (article L. 562-8-1 du code de l'environnement). Le but de la digue est d'empêcher l'eau d'entrer, pas de stocker l'eau. Il a provoqué temporairement une différence de niveau d'eau entre deux parties d'une même zone inondable. Cette différence crée une "tête hydraulique" qui permet à la structure de résister aux efforts qui doivent être correctement dimensionnés pour résister [11].

Certains ouvrages gênent et arrêtent parfois les crues. Alors ils jouent la fonction de la digue, sans son nom, n'est pas conçue et dimensionnée pour bien résister à la pression de l'eau, elle remplit donc spécifiquement le rôle de protection des personnes et des biens. Par exemple, protection routière (sol, maçonnerie ou autre), protection d'isolation acoustique en haut de remblais le long des routes ou autoroutes comme remblais ou franchissement de

vallées inondables, garde-corps routiers, produits d'entretien, carrières pour produits d'extraction placés autour des granulats Ou autour des sites industriels dans les zones inondées, etc .[11].

Enfin, un autre facteur important est l'impact de ces structures sur le paysage, la vue sur l'eau (rivière, rivière ou mer) peut être cachée aux résidents de la communauté du remblai.

Un autre effet d'entraînement peut être un manque de culture du risque d'inondation en raison du manque de pièces d'eau.

Pour pallier ces inconvénients, des solutions d'aménagement peuvent être proposées pour les zones de renouvellement urbain protégées par des digues :

- le concept de super-digue ;
- la notion de digue multifonctionnelle ;
- les dispositifs mobiles de protection [11].

1.2- Types d'aménagements possibles

1.2.1 Le concept de super-digue

Bien que pas encore très expérimenté, ce concept vise à apporter une réponse : le problème du brise-lames. Il s'agit d'élever le niveau du sol derrière le barrage jusqu'à ce qu'il atteigne le sommet du barrage, suffisamment loin pour que la pente du nouveau site paysager soit très faible (par exemple, 3 %) [11].

Concrètement, cela signifie que dans une certaine zone derrière le barrage (disons des centaines de mètres), les anciens bâtiments sont détruits ; une quantité suffisante est ajoutée au sol le long du barrage existant pour former un nouveau plancher avec une légère inclinaison puis un petit bâtiment neuf érigé. Des terrasses peuvent être aménagées pour éviter la compensation de pente dans tous les bâtiments.

D'un point de vue technique, le super lift évite une éventuelle rupture du remblai la partie pertinente. Le digue a été renforcé et même transformé, ce qui représentait une garantie de sécurité face au risque de rupture. Cependant, ce processus n'empêche pas l'agglomération en arrière d'être inondée en cas de débordement du barrage [11].



Figure 19 : La super-digue [11].

Ce type d'opération combine la gestion du risque d'inondation tout en protégeant l'ouvrage de protection et l'aménagement du territoire. Pour la ville qui décide de le mettre en œuvre, il s'agit d'un véritable reflet de la forme urbaine qui se construira sur ce nouveau socle. Il s'agit donc d'une opportunité de repenser l'urbanisation des zones à risque d'inondation, notamment l'intégration d'espaces de loisirs, de types de bâtiments, de services ou d'activités plus grands et plus nombreux... [11].

Ce type d'aménagement nécessite néanmoins un foncier relativement important dans des zones urbaines parfois très denses, ce qui représente une première difficulté à sa mise en œuvre. Par ailleurs, modifier fondamentalement le terrain derrière un ouvrage de protection a des conséquences non négligeables pour les habitants vivant à proximité (relogement temporaire pendant l'aménagement du terrain ainsi que la construction des nouveaux logements, voire expropriation) [11].



Figure 20 : Quartier des Sept Deniers à Toulouse.
Source: ville de Toulouse et CETE Sud-Ouest.

1.2.2 Le concept de digue multifonctionnelle

Ce concept vise à répondre à la question de la disponibilité foncière dans les zones de renouvellement urbain, en particulier dans les zones urbaines densément peuplées. Ce concept n'est pas nouveau : dans la pratique, il existe déjà de nombreux barrages multifonctionnels parfois vétustes (routes, chemins, voies ferrées, maisons à usage de barrage, etc.). Ces ouvrages sont des barrages dont la structure est utilisée pour une autre fonction, économisant ainsi de l'espace urbain. Plusieurs types de barrages multifonctionnels existent ou sont envisageables [11].

a) La conception de digues multifonctionnelles à partir de murs de protection

Le mur de protection est un dispositif permanent dont la hauteur dépend de Reportez-vous à la fonction d'inondation. Ils peuvent être distingués en fonction de leur structure. Soutènement : mur de soutènement élancé, mur porteur, en « L » ou mur avec talon Et fortification.



Figure 21 : Mur de protection contre les crues du Rhin, à Leutesdorf (Allemagne) [11].

A partir de cet ouvrage destiné à assurer des fonctions de maîtrise des crues, d'autres usages de l'ouvrage lui-même (voies, réseaux) et extérieurs à l'ouvrage (espaces publics, jardins d'agrément, etc.) peuvent être envisagés [11].



Figure 22 : Proposition de digue multifonctionnelle [18].

b) La conception de digues multifonctionnelles à partir de bâtiments ayant d'autres fonctions

Ces ouvrages ont pour fonction de protéger des zones urbaines spécifiques car ils ont la résistance et la robustesse des barrages. Tout comme les murs de protection « en L », ils ont des fonctions différentes à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. L'avantage de ce dispositif réside dans sa capacité à évoluer verticalement dans le temps, ce qui représente notamment une voie intéressante pour s'adapter au changement climatique.

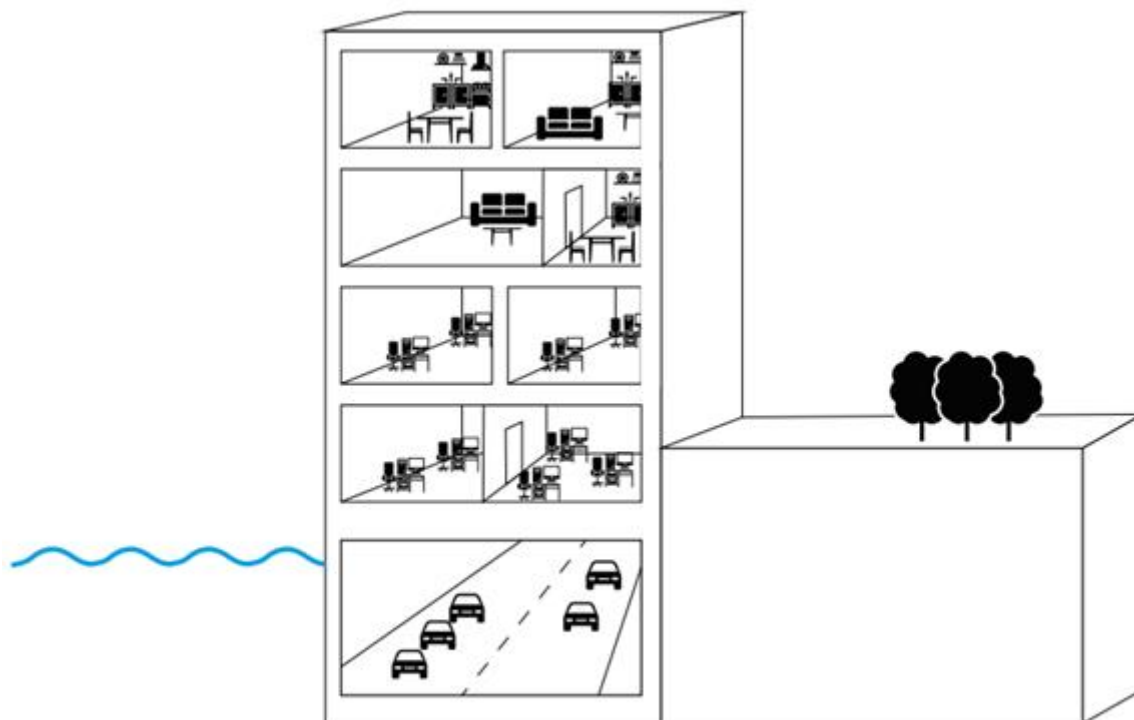


Figure 23 : Exemple de digue multifonctionnelle [11].

La capacité évolutive de l'appareil met non seulement à jour la relation entre les habitants et l'eau, mais crée également différentes dynamiques temporelles en fonction de la destination du bâtiment. En raison de son adaptabilité, le dispositif n'a pas besoin d'être remplacé par une autre structure car sa fondation est déjà trop grande et sa première couche est « scellée ». Cette fondation structurelle peut résister à des efforts horizontaux importants (pression hydrostatique et pression hydrodynamique), ainsi qu'à des efforts verticaux liés à l'extension du bâtiment. L'ouvrage doit être en bon état pour remplir les différentes fonctions de sa conception, ce qui nécessite un entretien et une surveillance à long terme [11].

c) La conception de digues multifonctionnelles à partir d'un remodelage du terrain

Compte tenu des barrages existants, cette technologie peut être utilisée dans le cadre d'une stratégie de développement. L'idée est d'augmenter la hauteur du barrage et d'assurer sa robustesse contre les charges horizontales grâce à des éléments verticaux. En aménageant des espaces publics, des voiries, des bâtiments comprenant des logements, et diverses activités, les coûts d'aménagement et d'entretien de ces équipements peuvent être compensés [11].

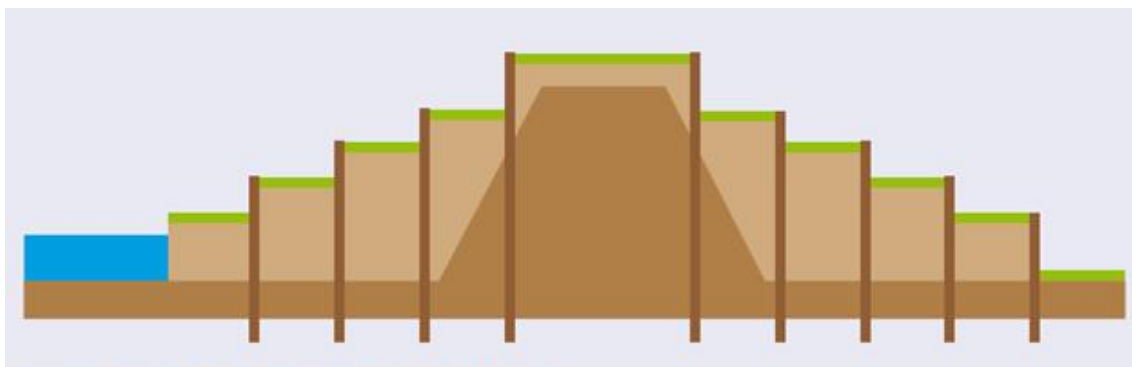


Figure 24 : Coupe schématique de la “digue terrasse The Hilledijk” à Rotterdam [12].

1.2.3 Les dispositifs mobiles de protection

La construction de barrages n'est pas envisageable dans toutes les situations, elle a un certain impact sur le paysage et déforme parfois l'identité des communautés voire des villes.

Afin de résoudre ce problème, les systèmes de protection mobiles peuvent susciter l'intérêt des personnes. Ils ont la même fonction que les barrages permanents et peuvent être de plusieurs types : ouvrages verticaux, barrières souples, ouvrages dièdres, barrages poids et sacs absorbants [18]. Mais ces différents systèmes ne sont utiles que lorsqu'on a le temps de les installer et que la crue ne durera pas trop longtemps. Autrement dit, ces dispositifs sont moins pertinents dans les zones où le niveau d'eau monte rapidement, le délai d'alerte est court, et où la crue dure longtemps (des fuites d'eau peuvent se produire). Pour aider à lutter contre les débordements ou les inondations, ils peuvent également être inefficaces dans les situations où les remontées d'aquifères ou les refoulements du réseau produisent des crues [11].

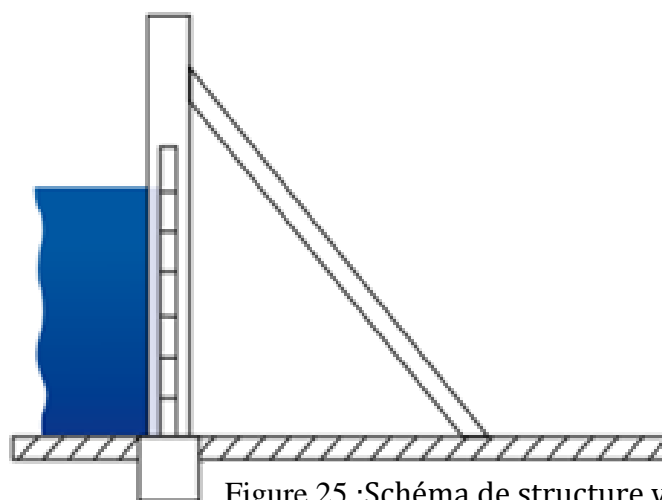


Figure 25 :Schéma de structure vertical (mur) [19].

a) Les structures verticales (murs)

Il existe différentes structures : portes, barrières, murs provisoires, etc. Des barricades peuvent être installées à l'entrée du quartier ou directement à l'entrée du quartier sur la rue. Des clôtures temporaires peuvent être installées le long de la rivière ou du littoral pour assurer la protection du quai.

Le terme « batardeau » est utilisé pour désigner une structure combinée qui combine une structure amovible temporaire (bois scellé) et une structure permanente (structure de support en bois).



Figure 26 : Système de protection à Andernach (Allemagne) [11].

Ce système de protection temporaire est fixé sur des éléments permanents relativement discrets, permettant de les fixer au bon moment. Pour être efficaces, ces systèmes doivent être utilisés, entretenus et stockés régulièrement dans des conditions permettant une bonne conservation et une utilisation rapide. L'étanchéité du batardeau étant assurée la plupart du temps par des joints en caoutchouc, son état doit être vérifié fréquemment (pour éviter la rouille et la moisissure sur le joint).

L'aspect opérationnel est également très important : le personnel chargé du montage de ces équipements doit être formé et entraîné au montage et au démontage du batardeau pour limiter le temps d'installation. Il convient également de s'assurer que le personnel familiarisé avec ces procédures est disponible le jour de l'installation de l'équipement [11].

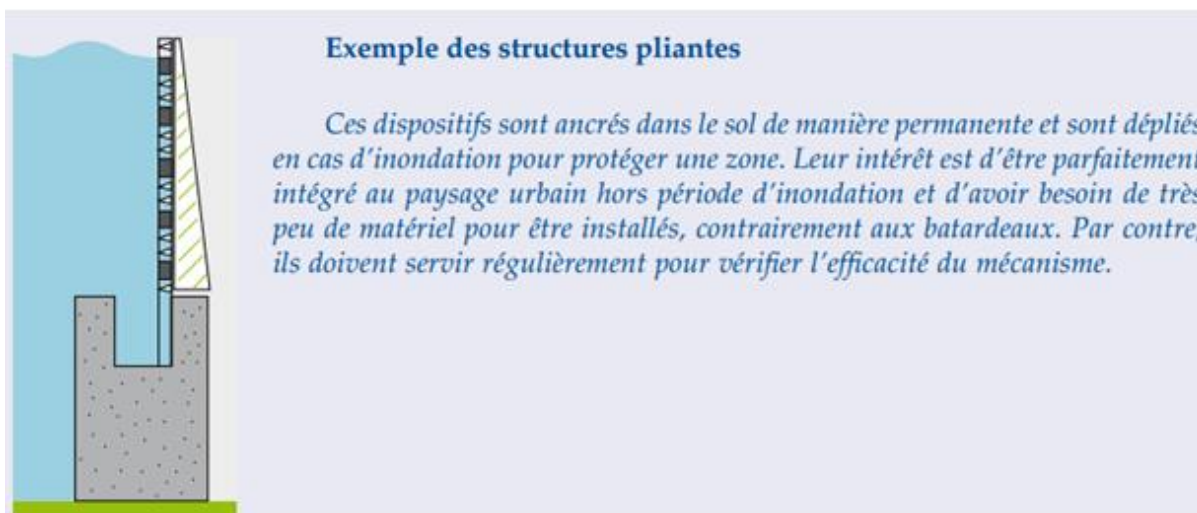


Figure 27 : Exemple des structures pliantes [19].

b) Les structures en forme de dièdres (non verticales)

Ces systèmes de protection sont constitués de dièdres assemblés (formes géométriques créées par la rencontre entre deux plans). Une partie du dispositif mécanique sera en contact avec le sol, et l'autre partie sera en contact avec l'eau, en s'appuyant sur le sol. La pression de l'eau pousse la structure vers le sol, en supposant que ces systèmes sont installés sur un sol lisse.

L'avantage de ce système est qu'il ne nécessite pas d'attaches permanentes, il peut donc être retiré après la fin de l'inondation. Cependant, ses performances sont plus douces qu'un système de mur vertical car sa hauteur dépasse rarement 1m [11].

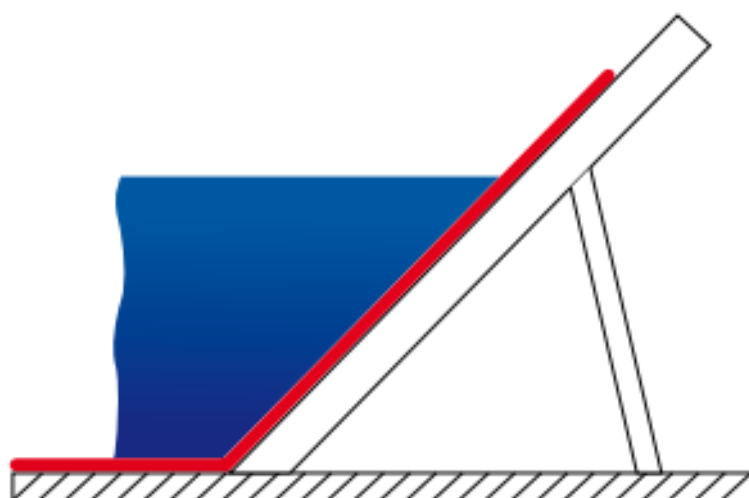


Figure 28 : Schéma des structures en forme de dièdres (non verticales) [19].

c) Les barrières flexibles (sous pression de l'eau)

Le principe de ces barrières est d'utiliser la puissance de l'eau pour s'installer, tout comme un parachute. Ils ne s'ouvrent qu'au moment où l'eau arrive. Plus la hauteur d'eau est élevée, plus la barrière s'ouvre. Il est important d'avoir un système de poids afin que la membrane en contact avec le sol puisse être bien collée pour assurer l'étanchéité et la stabilité du système. Les barrières peuvent être reliées entre elles pour obtenir la longueur requise. La hauteur peut aller jusqu'à 2 m [11].

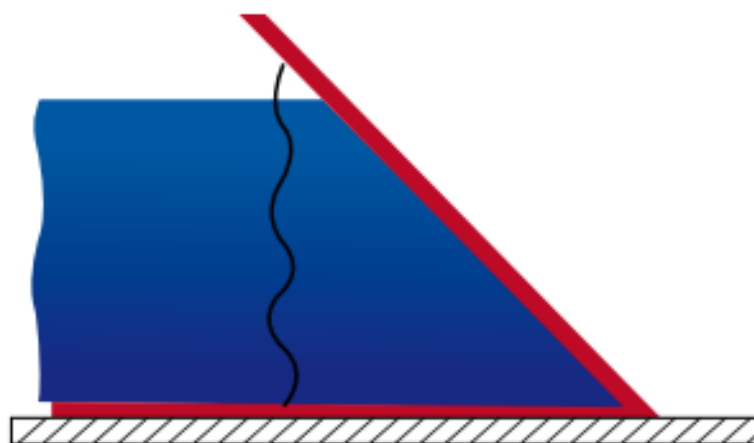


Figure 29 : Schéma des barrières flexibles [19].

d) Les barrages poids

Le principe consiste à remplir des volumes (conduites, réservoirs) avec du sable ou de l'eau pour utiliser le poids de ces volumes « ballastés » pour créer des barrages temporaires. Ces rouleaux peuvent être ajoutés les uns aux autres pour obtenir la bonne longueur. La profondeur d'eau maximale est de 1 m, en fonction du frottement de ces volumes de remplissage sur le sol.

Dans le cas d'une structure tubulaire, qui est généralement remplie d'eau, deux tuyaux adjacents peuvent être raccordés pour éviter que l'ensemble du barrage résultant ne roule sur le sol.

Quant aux réservoirs de stockage, ils sont composés de structures métalliques et d'enceintes géotextiles. Ils peuvent être remplis d'eau ou de sable (2m³). Le poids des composants offre une résistance mécanique à la pression de l'eau [11].

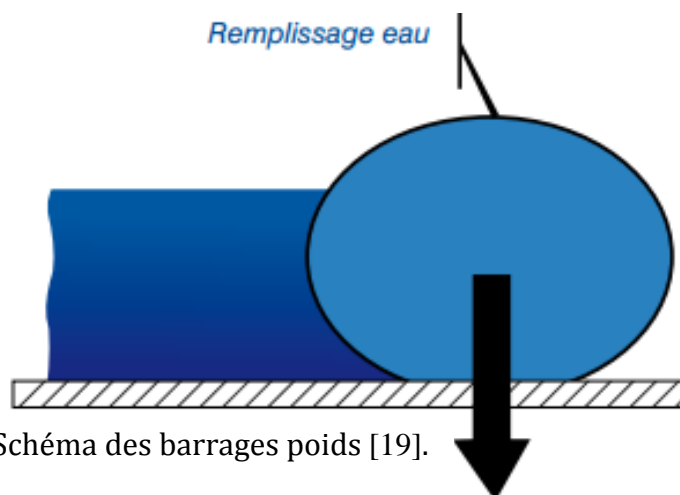


Figure 30 : Schéma des barrages poids [19].

e) Les sacs absorbants

Contrairement aux sacs de sable, les sacs absorbants n'ont pas besoin d'être remplis de sable. Ce sont des sacs géotextiles contenant des polymères (macromolécules) à une capacité d'absorption d'eau très élevée. Ils peuvent être empilés pour former un barrage.

Cependant, ils peuvent présenter certains inconvénients. Ils ne peuvent être utilisés que pour les crues d'étiage et ne peuvent être utilisés qu'une seule fois. Par conséquent, ils deviennent des déchets, et leur recyclage n'est pas toujours possible selon les matériaux utilisés pour les fabriquer [11].

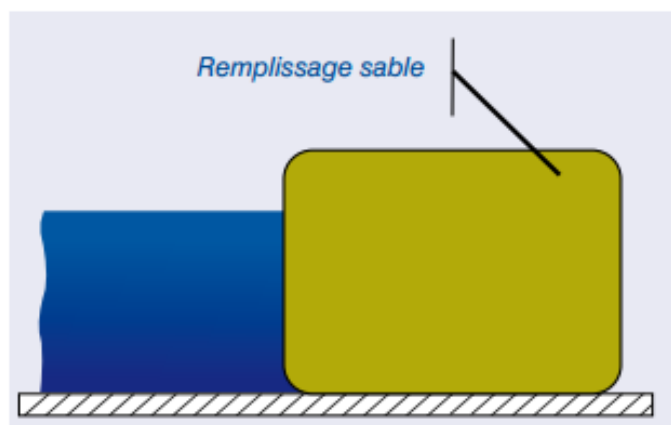


Figure 31 : Schéma des sacs absorbants [19].

1.3- La mise en œuvre du principe

- Sur le plan technique

L'inclusion de différents concepts de systèmes de protection dans l'urbanisme présente des avantages technologiques. Le super barrage offre une meilleure résistance au barrage, évitant la rupture brutale du barrage et son impact potentiellement dramatique et destructeur

sur la partie derrière la structure. Cependant, cela ne signifie pas que la zone située derrière le barrage ne sera pas inondée. Si la crue dépasse la crue prévue du barrage, le barrage peut encore déborder. De plus, l'innovation ne réside pas dans le processus technologique (remblayage de la zone derrière le barrage), mais dans le développement de synergies entre différentes fonctions (protection, logement, emploi, services, espace public...) et le fait que l'espace soit Le coût de construction et de gestion de la super digue a une certaine qualité. Cela peut être un défi pour certaines villes. Un autre défi concerne le besoin d'une grande surface de terrain (quelques centaines de mètres derrière le remblai) et de beaucoup de terre pour élever le sol.

Enfin, l'une des principales difficultés de ce type d'aménagement est la continuité de la super digue. Pour une grande ville, le coût de construction de super digues le long de la rivière ou de la côte qui la traverse peut être très élevé. En revanche, la construction de super digues uniquement dans certains secteurs urbains pose la question de savoir si le risque sera répercuté sur les zones voisines ou situées en aval et sa dégradation potentielle. Si la rupture du barrage peut être évitée dans la section où le super barrage a été construit, alors pour la section non aménagée du super barrage à proximité et la section en aval (le long d'un cours d'eau notamment). Par conséquent, ce développement nécessite des recherches hydrauliques précises pour évaluer l'impact des super digues sur les autres communautés à risque d'inondation.

Pour les digues multifonctionnelles, en termes de réduction du risque, tout dépend si les digues sont nouvellement construites ou aménagées sur des digues existantes. Si le barrage existe déjà, il n'affectera pas le danger, ce qui est différent de la construction d'une nouvelle structure. Ce type d'aménagement n'est pas nouveau et a fait ses preuves dans de nombreux domaines, notamment les estuaires et les deltas. Les maisons en remblai, les routes en remblai et parfois les voies ferrées qui servent de remblai sont des structures multifonctionnelles. Ce processus permet d'utiliser l'espace foncier rare dans les grands centres urbains denses pour coordonner la densification urbaine et prévenir les risques d'inondation. Les multiples bénéfices générés par les différentes utilisations de l'ouvrage contribuent à renforcer l'attention portée au bon entretien du barrage et à sa pérennité. Cependant, cela nécessite une définition précise du niveau d'eau auquel le remblai peut résister, déborder ou se rompre, et une parfaite connaissance de l'aléa inondation des départements concernés. Ces procédés sont intégrés dans des projets actuellement développés principalement aux Pays-Bas.

La difficulté technique peut résider dans le type et la nature de l'infrastructure que les gens souhaitent intégrer dans la structure de protection. Par exemple, certains projets prévoient de construire des tunnels à l'intérieur du remblai pour accueillir des véhicules et d'aménager des espaces verts au sommet du remblai pour améliorer la structure d'un point de vue paysager. Cependant, la résistance de cette structure doit être évaluée avec précision.

Enfin, les équipements de protection mobiles présentent de nombreuses lacunes techniques. Leur installation peut prendre beaucoup de temps, l'heure de l'alarme doit donc être suffisamment longue pour configurer l'installation nécessaire. Ils sont conçus pour résister à une certaine hauteur d'eau, généralement très basse, au-delà de laquelle ils ne sont plus utiles. Par conséquent, certains équipements ne sont pas adaptés aux niveaux d'eau élevés (sacs de sable, bacs à eau/sable). Ils n'ont rien à voir avec les crues rapides et ne sont efficaces que pour les crues qui augmentent lentement. Paradoxalement, bien que ces systèmes puissent empêcher l'eau d'entrer en zone urbaine, dans certains cas (par exemple, les crues de longue durée, où l'eau reste longtemps avant d'être évacuée), leur étanchéité peut s'avérer insuffisante. Parfois, il est nécessaire de prévoir un système de pompage autonome pour évacuer l'eau qui s'infiltre encore dans la zone protégée.

Comme pour les digues non mobiles, des ruptures sont possibles et représentent un danger potentiel en cas de rupture brutale des équipements. De plus, leur mise en œuvre nécessite parfois beaucoup de ressources humaines et matérielles. Par exemple, une fois immergé, l'enlèvement des sacs de sable, des réservoirs d'eau ou des sacs d'aspiration nécessite une machinerie lourde. Leur installation nécessite un certain savoir-faire professionnel, et ce savoir sera vite perdu si le matériel n'est pas régulièrement testé ou utilisé en conditions réelles. Ses paramètres, ce travail suppose également que lorsqu'une alarme se déclenche, le personnel formé et chargé de cette tâche peut être présent à temps, mais ce n'est pas toujours le cas. Le stockage du matériel peut également poser problème s'il n'est pas connu du personnel chargé d'installer les dispositifs et s'il ne se trouve pas à proximité du lieu d'installation afin d'éviter la perte de temps liée au transport au moment de la mise en place. Pour assurer leur mise en place effective, ces protections mobiles doivent être intégrées dans une organisation spécifique au moment de la gestion de crise. Ce qui suppose d'avoir testé ces dispositifs au préalable au cours d'exercices par exemple [11].

- Sur le plan économique

Par rapport aux digues traditionnelles, les super digues sont un type d'aménagement très coûteux : démolition de bâtiments existants, expropriation éventuelle de terres, transport de grandes quantités de terres, constructions pouvant être adaptées aux risques d'inondation (en cas d'inondation) barrages). Cependant, le renforcement de la sécurité structurelle, du fait de son aménagement dans la super-digue, peut faciliter la conception de villes denses sur la super-digue et en répartir les coûts. De même, le coût d'entretien du barrage peut être compensé par la construction du super barrage et les activités qu'il peut accueillir. Néanmoins, l'analyse coût/bénéfice apparaît indispensable pour évaluer ces amortissements supposés.

Comme les super digues, les digues multifonctionnelles doivent faire l'objet d'une analyse coût/bénéfice basée sur des conditions spécifiques. La polyvalence en elle-même représente un avantage économique. Cependant, pour les ouvrages de protection à usages multiples, il est nécessaire d'évaluer le coût des fonctions supplémentaires (comme les maisons, les voies souterraines) lors de la construction de digues multifonctionnelles ou en termes de renforcement et de pérennité. Maintenir la structure qui accueille ces fonctions.

Pour les équipements de protection mobiles, le coût de maintenance et de remplacement des équipements endommagés ou défectueux peut être élevé. Ces appareils doivent être utilisés régulièrement pour apporter des bénéfices à la communauté. S'il n'est pas utilisé, le matériau se détériorera avec le temps. Cependant, ils semblent moins chers que les dispositifs de protection permanents (coûts d'entretien, travaux si nécessaire, surveillance permanente de l'ouvrage, etc.). Une autre limitation des équipements temporaires (dont une partie peut être conservée en permanence) est que des matériaux sont volés lors du stockage ou de l'installation (par exemple, des vis en acier inoxydable qui protègent les trous utilisés pour fixer les colonnes du batardeau. En aluminium, voire le batardeau lui-même lorsqu'ils sont en crue Lorsqu'ils sont installés il y a quelques jours) [11].

- Sur le plan social

Les équipements mobiles de protection représentent une solution instinctive à la gestion des inondations et sont considérés comme une action pour faire face aux risques. Par conséquent, lorsqu'une crise survient, les gens ont une attitude positive à son égard. Cependant, ce sentiment de protection et de sécurité est limité à la flexibilité de ces appareils. La mise en œuvre des mesures structurelles s'accompagne de mesures organisationnelles. Le public doit être averti.

Au contraire, l'aménagement récréatif du barrage multifonctionnel rend difficile la visibilité de l'ouvrage par les gens. La fonction protectrice de la digue semble avoir été anéantie aux yeux des riverains. Cependant, cette structure joue un rôle protecteur dans d'autres applications qui lui sont liées. Par conséquent, il semble important de sensibiliser les gens à l'existence de barrages multifonctionnels dans la ville, car cela permet de développer une culture du risque dans un quartier [11].

- Sur le plan juridique

Qu'il s'agisse d'une super digue ou d'une digue multifonctionnelle, la difficulté présentée réside dans la diversité des acteurs (propriétaires de digues, gestionnaires, promoteurs, etc.) qui peuvent intervenir, qui peut être résolue entre les protagonistes en signant une convention claire, et Les deux parties mettent en œuvre les règlements actuels sur la gestion des digues. Il est parfois difficile de déterminer qui est responsable du bon entretien et de la supervision de certaines structures. Il est donc nécessaire de bien répartir les compétences entre les différents protagonistes qui interviennent dans le barrage.

Dans l'acquisition ou l'expropriation à l'amiable de maisons ou de maisons construites derrière le barrage dans le but de le transformer en super barrage, les gens peuvent aussi soulever des procédures administratives relativement compliquées. Dans le cadre de son projet de super digue, la ville de Tokyo a envisagé de reloger les résidents qui possèdent des maisons personnelles pendant la construction. Ils ont conservé leur propriété et leur résidence temporaire a été financée par les pouvoirs publics (mais le coût était trop élevé sur les 58 km du tracé, et le projet a dû être réduit).

Quant aux dispositifs de protection mobiles, ils apportent des réponses à la question de la protection du patrimoine urbain contre les risques d'inondation. Ils représentent une alternative intéressante aux barrages « traditionnels » pour protéger certains sites patrimoniaux célèbres des villes des inondations, sans modifier le paysage urbain existant (il y a la mer ou les ruisseaux à proximité.) et est compatible avec leur protection. C'est notamment le cas pour les bâtiments, les zones de sauvegarde du patrimoine urbain et paysager (ZPPAUP), les bâtiments classés ou classés monuments historiques et les secteurs protégés [11].

- Sur le plan paysager

La construction de super digues le long des cours d'eau ou des côtes peut créer des espaces publics d'une grande valeur paysagère. Ils sont liés à l'eau et offrent des vues sur les

cours d'eau ou les océans, par exemple, ils peuvent être mis en évidence dans le cadre de grilles vertes et bleues (aménagement d'espaces verts récréatifs, voies vertes...). Cela rend notamment ces espaces très attractifs et un atout du point de vue paysager.

Les barrages multifonctionnels permettent également d'envisager l'urbanisation de lieux spécifiques : équipements récréatifs ou nouveaux paysages urbains (nouveaux bâtiments de part et d'autre du barrage), transformations urbaines liées aux fleuves ou à l'océan, par exemple.

L'équipement de protection mobile est un choix approprié pour les zones urbaines au patrimoine historique important. Il peut même être un choix populaire de conserver une vue sur un ruisseau ou une mer dans des conditions normales, contrairement à la vue dont une digue permanente les priverait. Par exemple, à Andernach (Allemagne), c'est la condition pour choisir un dispositif de protection hybride : une paroi permanente du batardeau peut être installée lors de la crue du Rhin. Les habitants ne veulent pas d'un barrage de quelques mètres de haut, ce qui dénaturera le paysage, surtout pour de nombreux touristes qui séjournent dans la vallée du Rhin pendant l'été [11].

2. Donner ou redonner plus de place à l'eau

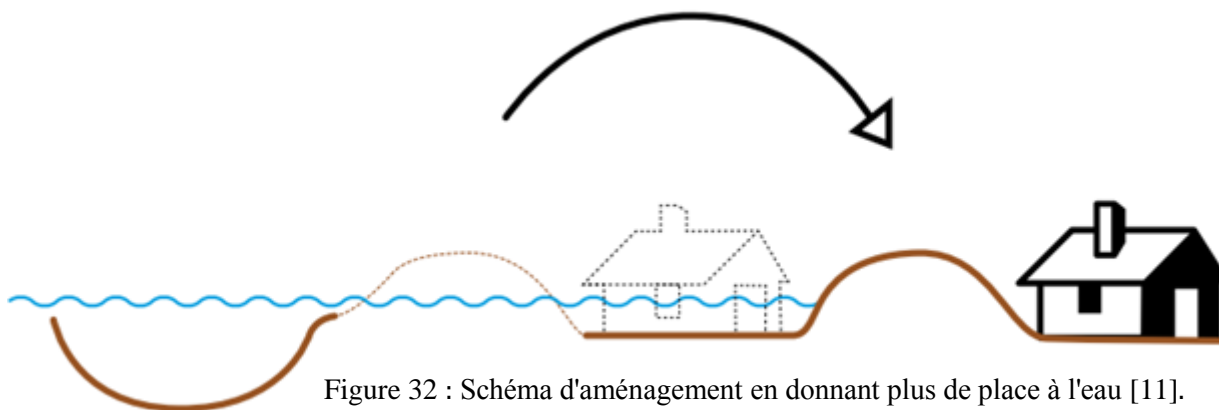


Figure 32 : Schéma d'aménagement en donnant plus de place à l'eau [11].

2.1- Objectifs

Lorsqu'une rivière est en crue, elle s'étend naturellement sur une plus grande surface qu'elle n'occupe habituellement. Ces espaces inondables permettent l'écoulement et le stockage temporaire de l'eau, assurant ainsi la limitation des inondations, c'est-à-dire la réduction de ce phénomène. Ces espaces sont généralement plus efficaces pour réduire les risques car ils ne contiennent pas d'obstacles qui entravent l'écoulement de l'eau.

L'urbanisation le long des rivières ou le long des côtes empiète souvent sur les zones où l'eau naturelle gonfle. Dans la plupart des cas, les aménagements réalisés n'ont pas tenu compte du fait qu'ils sont situés dans le lit principal du cours d'eau ou dans des zones pouvant être submergées par l'eau de mer. Certains aménagements entravent le passage de l'eau, de l'eau, exacerbant ainsi ce phénomène et donc, les conséquences des inondations. Le premier objectif du principe d'aménagement de « l'approvisionnement en eau ou plus d'espace pour l'eau » est au moins de protéger l'écoulement naturel de l'eau dans la zone. L'objectif est de coordonner l'existence naturelle de l'eau dans ces secteurs avec le développement futur.

De plus, les lits des rivières et des littoraux font souvent l'objet de recalibrage (canaux), de redimensionnement ou de lutte contre la submersion (digues et barrages), limitant et modifiant ainsi la capacité de certaines eaux à gonfler. Par exemple, le maillage routier des cours d'eau dans les zones urbaines ou la dérivation des cours d'eau dans les villes constituent également des obstacles à l'écoulement naturel de l'eau. Le deuxième objectif de ce principe est de favoriser (parfois artificiellement) l'écoulement de l'eau en offrant plus d'espace pour l'eau afin de réduire les dommages. Il s'agit de modifier les ouvrages, voire de les démolir dans certains cas, pour réduire les paramètres de crue (profondeur de l'eau, notamment vitesse d'écoulement) dans les zones affectées par l'aménagement [11].

2.2- Types d'aménagements possibles

2.2.1 Les aménagements permettant de préserver les écoulements de l'eau, sans aggraver ni réduire l'aléa

Il existe deux manières possibles de préserver l'écoulement naturel de l'eau dans la zone de rénovation urbaine : laisser de la place à n'importe quel bâtiment, ou au contraire, construire dans la zone en respectant le principe de transparence hydraulique [11].

a) L'aménagement sans construction de bâtiments

Dans les zones où la rénovation urbaine s'effectue en zone inondée, s'il n'y a pas d'ouvrage de protection, afin d'éviter l'expansion des crues lors des crues, une solution qui ne construit pas de bâtiments peut être envisagée. Il n'y a pas de bâtiments dans ce quartier qui gênent l'eau en cas d'inondation, et il peut être intégré à la structure urbaine sous forme de parcs ou d'espaces de loisirs, par exemple, presque aucune infrastructure n'est nécessaire. Il s'agit généralement d'une réponse apportée dans une zone à haut ou très haut risque du Programme de Prévention des Risques Naturels (PPRN) [11].



Figure 33: Réalisation d'une passerelle pour piétons et cyclistes le long des berges de la rivière Isle à Périgueux (à gauche) et une voie verte (à droite) [20].

b) L'aménagement avec construction de bâtiments respectant le principe de la transparence hydraulique

Dans certaines villes, les zones inondables d'urbanisation qui font l'objet de projets de rénovation urbaine sont principalement destinées à accueillir de nouveaux bâtiments pour assurer l'offre de logements et/ou de services. Dans ce cas, assurer l'espace d'eau en cas de crue passe par la conception d'un aménagement totalement transparent d'un point de vue hydraulique. Celle-ci peut être caractérisée par des méthodes constructives, telles que la conception d'ouvrages volontairement inondés (parkings), la compensation d'excavation et de remblai, etc [11].



Figure 34 : Immeubles d'habitat collectif dans le quartier Matra. Source: Éric Daniel-Lacombe.

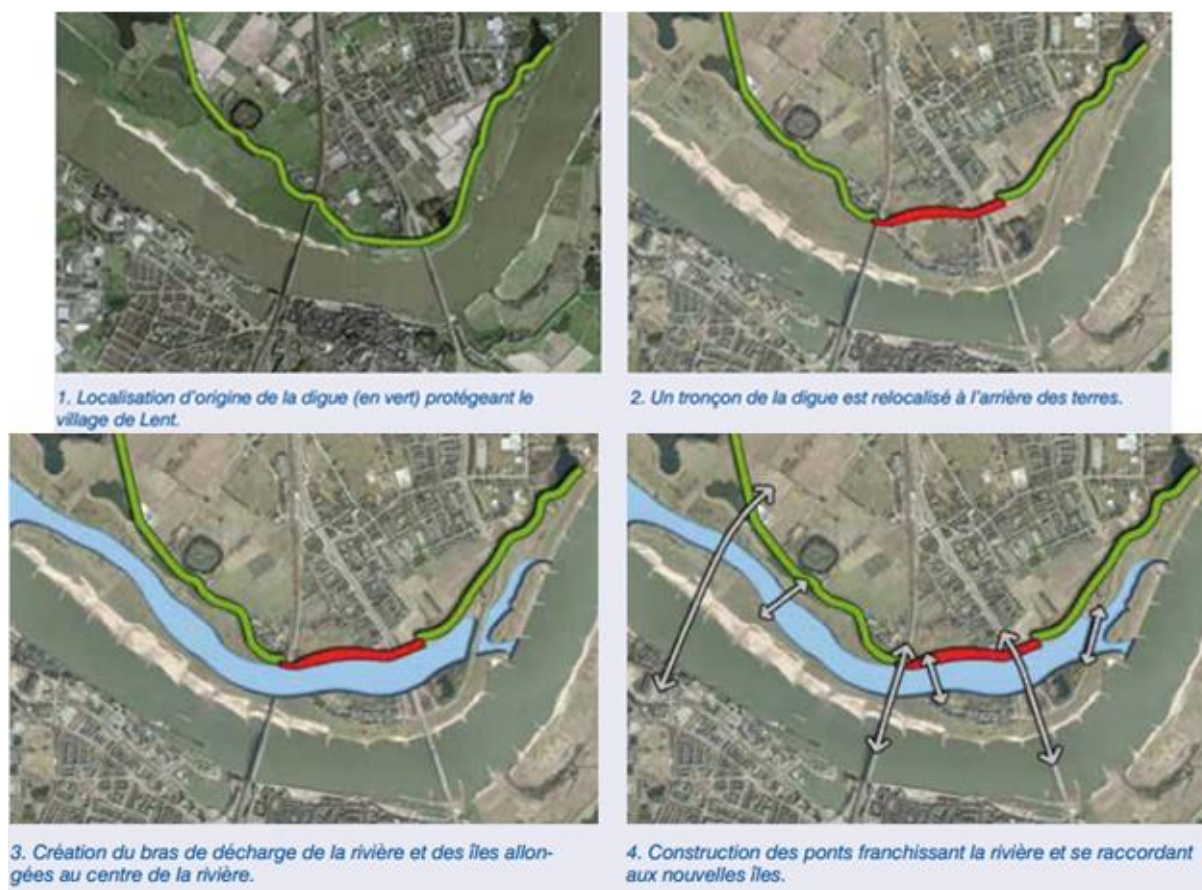


Figure 36 : Étapes du projet d'aménagement [21].



Figure 37 : Avant et après de la création du canal de décharge [21].

b) La suppression des ouvrages faisant obstacle à l'eau

Un autre type de développement qui vise à fournir plus d'espace pour l'eau dans les villes peut inclure la destruction des structures existantes et leur remplacement par de nouveaux procédés compatibles avec cet objectif. Quelques exemples : construction de canaux secondaires, destruction d'infrastructures urbaines, de banques de paiement, etc.



Figure 39 : Le projet de quais (2013).
Source: ateliers Grether, architects [22].



Figure 38 :Création d'un bras de rivière [22].

D'autres types d'aménagements peuvent être réalisés, comme la destruction de l'ouvrage, puis la transformation de l'espace urbain pour « accueillir » plus d'eau en ville.

Parmi les projets mis en œuvre, on peut citer les exemples des affluents Cheonggyecheon (Corée du Sud) de la rivière Han et de la rivière Saumur à Yonkers (États-Unis). Il existe quelques exemples de projets qui ont réouvert ou réouvrent des rivières devenues « canalisations » en France, comme la Verse (Oise), la Bièvre (Val-de-Marne), la Sambre (Nord) et l'Yzeron (Rhône) [11].



Figure 40 : Exemple de remise à ciel ouvert d'un cours d'eau en milieu urbain.
Source : © Graphies - Onema.

c) La démolition d'ouvrages urbains pour redonner de l'espace à la rivière en ville

Ce type d'aménagement consiste à réserver une partie de l'espace urbain au fleuve, tout en tenant compte du risque d'inondation associé. La déconstruction de projets urbains comme les routes dans les villes devient de plus en plus populaire, même s'ils peuvent être coûteux d'un point de vue financier et politique. Les travaux de démolition et de reconstruction des lits et berges des rivières demandent beaucoup d'argent, ce qui implique la participation d'acteurs publics et parfois privés. Cependant, peu importe qui finance de tels projets, les plans de développement liés à une telle transformation spatiale urbaine doivent être en mesure de fournir un certain montant de compensation en fonction de la quantité de travail requis. Ceci peut être réalisé en créant des logements, des activités commerciales et des espaces publics où l'espace est contraint, car le principe consiste à investir une partie importante du secteur au cours d'eau [11].



Figure 41 : La rivière Saw Mill après sa remise à ciel ouvert à Larkin Plaza, Yonkers.
Source: Groundwork Hudson Valley.

2.3- La mise en œuvre du principe

- Sur le plan technique

Quelle que soit la méthode d'aménagement utilisée dans le secteur inondable, il est avantageux de coordonner le flux existant du secteur avec le projet d'aménagement prévu ou de réduire les catastrophes, en laissant autant d'espace d'eau que possible pour le projet.

Dans le cas d'un aménagement de conservation de l'eau dans la zone du projet, la mise en réserve de plan d'eau a pour but de limiter les obstacles au ruissellement, afin qu'en plus de ne pas aggraver ce phénomène, elle puisse également réduire la charge d'objets dans l'eau. Le moment de l'inondation et donc les dégâts potentiels.

Les **aménagements visant à réduire les aléas**, tels que la création de bras de décharge, l'agrandissement de petits lits de rivières ou la destruction de projets urbains (tels que des canalisations souterraines), peuvent réduire l'intensité des inondations à une fréquence donnée (réduction de la hauteur et de la vitesse de l'eau). Ces dispositions augmentent le débit et contribuent également à accélérer le drainage de la zone.

Cependant, en ce qui concerne les cours d'eau, les impacts hydrauliques potentiels sur l'amont et l'aval nécessitent au préalable des études d'impact approfondies [11].

- Sur le plan économique

Dans la plupart des cas, l'aménagement de friches préindustrielles sous forme d'espaces récréatifs dans des zones en cours de rénovation urbaine peut être coûteux, notamment compte tenu de la restauration du site.

Cependant, la valorisation récréative de ces espaces pour donner plus d'espace à l'eau (réduction des aléas, remplacement des ouvrages qui gênent l'eau par de nouveaux équipements) peut aussi favoriser le développement d'économies spécifiques : petites entreprises de loisirs et de restauration, etc. L'économie du tourisme peut également émerger. Prenons l'exemple de Yonkers (USA) : la rénovation à ciel ouvert du fleuve est un catalyseur de revitalisation du centre-ville, devenu aujourd'hui un pôle économique attractif en centre-ville [11].

- Sur le plan social

Qu'il s'agisse d'aménager plus d'espace pour l'eau en réduisant les risques, la conception d'espaces de loisirs dans les zones de renouvellement urbain (parcs, bases de loisirs, sentiers de loisirs, comme le long des voies navigables à Séoul) permet la création d'espaces publics multifonctionnels. espaces, qui est un lien social. De nos jours, la demande des habitants pour un espace urbain offrant un cadre de vie de qualité est très forte. Il est donc nécessaire d'envisager l'aménagement d'espaces le long des cours d'eau non urbanisables pour créer des habitats répondant à cette demande. Il s'agit généralement de zones attractives, situées au centre de zones urbaines denses, qui peuvent également renforcer l'image de marque et l'attractivité d'une ville. Considérant que les risques dans ces zones peuvent représenter des atouts pour le développement d'espaces publics spécifiques. Les habitants se réapproprient le fleuve, ce qui contribue également à renforcer la culture locale du risque.

Cependant, cela peut engendrer des difficultés pour le foncier disponible et conduire à des procédures de gestion complexes d'un point de vue social, notamment lorsqu'il est décidé

de remplacer des espaces constructibles par des espaces de loisirs (acquisition amicale, expropriation). Dans le cas de la création d'un canal secondaire, obtenir de l'espace en eau dans la ville peut signifier détruire des bâtiments ou des infrastructures et soulever d'autres questions (comment réinstaller les habitants ? Faut-il reconstruire ailleurs ?). Dans ce cas, d'autres inconvénients peuvent survenir, comme des problèmes de sécurité publique liés au processus d'expropriation (les résidents qui ne sont pas partis avant la phase de démolition peuvent s'accroupir et devenir en danger) [11].

- Sur le plan politique

Pour un élu, il peut être compliqué de justifier sa décision d'inonder volontairement la rivière pour faire plus de place à la rivière. Si des acquisitions amicales voire des expropriations sont envisagées, cela semble encore plus difficile. Cela nécessite une volonté politique forte et soutenue, car cela implique également de ne pas envisager de construction dans ces zones, généralement très prisées des acheteurs potentiels.

Si un nouveau projet d'aménagement remplace un projet de blocage d'eau (par exemple, la rénovation à ciel ouvert d'une rivière), la décision n'est pas neutre et nécessite un engagement fort des élus municipaux pour entreprendre un tel projet. Elle est cependant déterminante pour montrer qu'elle est propice à un développement urbain plus durable, ce qui peut représenter une valeur ajoutée politique, comme c'est le cas avec le maire de Séoul. Les médias ont couvert l'élection présidentielle de 2006, et la réouverture de Zhang Chuanhe était dans l'élection du maire de Séoul en 2002 [11].

- Sur le plan juridique

La construction d'un canal secondaire et la rénovation à ciel ouvert d'une rivière dans un centre-ville densément peuplé est une opportunité intéressante pour répondre à la législation actuelle issue de la loi Grenelle (réseau vert et bleu) et aux principes plus généraux du développement durable. Les villes. Cela apporte aussi des bénéfices écologiques (développement de la diversité végétale et animale) qui contribuent à améliorer la qualité de vie des habitants. Cependant, d'un point de vue administratif, cela représente également une procédure lourde : achat éventuel, expropriation amicale du terrain voire expropriation, restauration des sols, etc. À Séoul, par exemple, la destruction d'anciennes autoroutes a réduit l'utilisation de la voiture dans la ville. Les habitants changent de métro, changent leurs habitudes de déplacement, réduisent la pollution urbaine et évoluent dans le sens de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cela a également pour effet de réduire les

nuisances sonores générées par les voies rapides et permet de développer des usages compatibles avec ce nouveau cadre de vie (habitat, zone commerciale) [11].

- Sur le plan paysager

Différents types d'aménagements permettent d'utiliser librement la créativité des paysagistes pour transformer les espaces urbains. Ils s'inscrivent pleinement dans les tendances actuelles, visant à mieux intégrer la nature dans la ville, "cohabiter avec l'eau", à travers une configuration rappelant l'eau existant dans la ville (à travers une végétation qui s'adapte à la nature des crues locales, etc.) .) Loisirs L'aménagement du paysage et de l'espace paysager peut s'intégrer dans des espaces urbains denses et permettre de « respirer » en centre-ville. Par exemple, la construction d'un canal secondaire est un aménagement paysager attrayant qui modifie fondamentalement le paysage urbain de la ville. L'aménagement paysager peut jouer un rôle important en aidant à promouvoir l'acceptation des risques d'inondation urbaine. Par exemple, en favorisant la présence de l'eau en ville lors de la rénovation à ciel ouvert des cours d'eau, l'aménagement paysager peut même avoir un impact sur la culture du risque. La présence d'eau rappelle que si une inondation se produit, elle pourra envahir davantage l'espace urbain [11].

Conclusion

Les différents outils disponibles pour lutter contre le risque d'inondation prouvent la complémentarité des mesures structurelles et non structurelles à différentes échelles de temps et d'espace. Les faits ont prouvé que l'utilisation de barrages et de barrages est précieuse, mais l'augmentation de la réhabilitation du lit des rivières ne fera qu'augmenter les dommages causés par les inondations. Progressivement, nous sommes passés d'une technologie polyvalente à une conception plus respectueuse de l'environnement, en diversifiant nos outils et en réalisant qu'il n'y a pas de risque zéro. La logique d'équipement qui prévaut a laissé place à la prise en compte des enjeux liés à la gestion des ressources en eau dans le processus d'aménagement du territoire. Ces nouvelles mesures basées sur la prévention de l'échelle du bassin ne prennent pas seulement en compte la fonction du système hydraulique, mais considèrent d'abord le retrait de certaines zones vulnérables aux inondations. Dans ces conditions, toute politique de prévention du risque d'inondation doit chercher à limiter l'impact du risque d'inondation sur l'homme et l'environnement, c'est pourquoi l'urbanisme et la conception doivent être revus pour réduire la vulnérabilité. Trop d'exemples catastrophiques ont été témoins d'actions humaines qui négligent la complexité des fonctions environnementales pour l'urbanisation et le développement [13].

Chapitre IV

Aménagement face aux inondations

Introduction

Localiser les activités et les infrastructures urbaines, en tenant compte de leur vulnérabilité au risque d'inondation, concevoir des bâtiments ou des infrastructures (bâtiments amphibies, bâtiments sur pilotis, bâtiments flottants) adaptés à leurs zones à risque d'inondation, et assurer le maintien de la fonction de le réseau technique. La combinaison de tous ces leviers permet de renforcer la résilience d'un territoire ou d'un projet en cas d'inondation [14].

1. Localiser les activités et les infrastructures urbaines

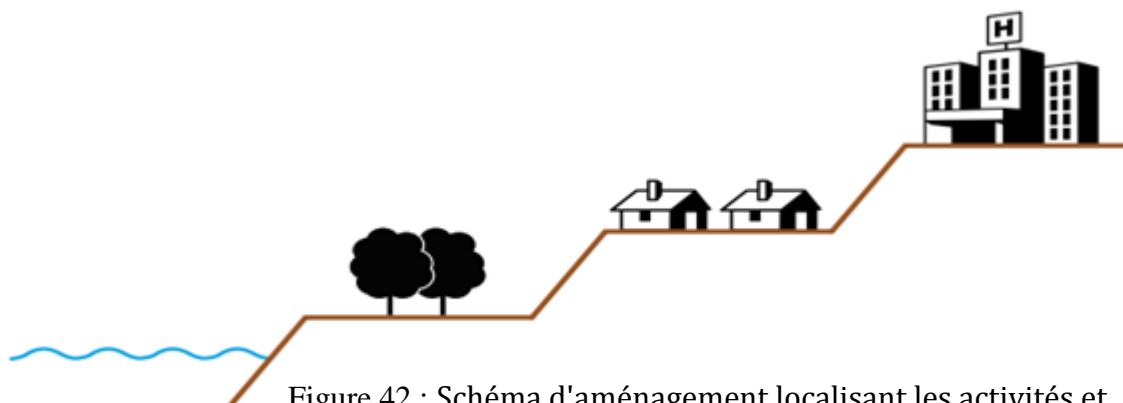


Figure 42 : Schéma d'aménagement localisant les activités et infrastructures urbaines [11].

1.1- Objectifs

Ce principe vise à déterminer la localisation des infrastructures ou des activités en fonction de la vulnérabilité de la zone en cas d'inondation.

Il existe diverses infrastructures et activités dans les villes : logements, commerces, industrie, infrastructures de transport, établissements de santé, postes de police, écoles, stations d'épuration, etc. Ils peuvent avoir des degrés divers de vulnérabilité au risque d'inondation, c'est-à-dire qu'ils ont des propensions différentes à subir des dommages, et il est difficile de surmonter les mêmes difficultés lorsque des inondations se produisent.

De plus, leur importance pour les opérations territoriales n'est pas exactement la même. Par exemple, certains équipements publics, comme les infrastructures de transport, l'électricité, l'eau potable ou les réseaux d'assainissement, sont indispensables au fonctionnement normal d'une ville, et certains sont également indispensables en cas d'inondation. On peut aussi considérer les établissements de santé, comme les hôpitaux qui doivent pouvoir fonctionner en permanence pendant les périodes normales (comme lors des inondations). Ces agences, telles que les postes de police, les casernes de pompiers et d'autres agences de services d'urgence, peuvent être considérées comme plus vulnérables à la

vulnérabilité urbaine que d'autres agences car elles sont importantes lors de catastrophes et de crises.

Avant de considérer où placer ces activités, il est nécessaire de déterminer comment elles vont ou non créer une vulnérabilité au territoire en cas d'inondation. Cette étape peut prendre la forme d'un diagnostic complet des infrastructures et des activités existantes sur le territoire, dans le but de déterminer quelles fonctions sont les plus affectées en cas d'inondation et comment cela peut entraîner une paralysie de l'approvisionnement en eau. Territoire pendant la phase de redémarrage de la ville [11].

1.1.1 Activités et infrastructures susceptibles de rendre la ville vulnérable en cas d'inondation

Sans prétendre à l'exhaustivité, on peut citer un certain nombre de biens, services et activités qui existent dans les zones urbaines vulnérables aux inondations. On utilise généralement le terme « problèmes » pour désigner la population permanente, les logements, les activités économiques, les services publics (centres de secours, bâtiments administratifs, hôpitaux, écoles, installations sportives, etc.) et les réseaux (électricité, eau, assainissement, routes, voies ferrées, autres types des transports), des télécommunications...).

Si certaines activités et infrastructures sont affectées par les inondations, elles peuvent provoquer de graves vulnérabilités sur le territoire. Ces catégories ne sont pas exhaustives, de même que les infrastructures associées.

Infrastructures et activités génératrices de vulnérabilité pour le territoire	
Infrastructures susceptibles de générer des dommages aux personnes	Logements (en particulier ceux sans niveau refuge au-dessus des PHEC), hôpitaux, cliniques, établissements psychiatriques, unités de soins de longue durée, centres d'hébergement et de réadaptation sociale, établissements d'hébergement et d'accueil pour adultes et enfants handicapés, établissements d'hébergement pour les personnes âgées, foyers, prisons, etc.
Infrastructures et activités nécessaires à la gestion de crise (secours)	Casernes de pompiers, mairies, préfectures
Infrastructures et activités nécessaires à la sécurité (défense, maintien de l'ordre, économie)	Gendarmeries, commissariats de police
Infrastructures et activités nécessaires à l'information	Plates-formes de communications
Infrastructures et activités nécessaires à l'assistance aux victimes (assistance médicale, hébergement, ravitaillement, soins)	Hôpitaux, SAMU, cliniques, maisons médicalisées, etc. Centres de distribution d'alimentation (supermarchés, magasins)
Infrastructures et activités nécessaires au fonctionnement des réseaux	Entreprises de travaux publics, entreprises de transport, centres d'exploitation routiers, stations d'épuration, routes, réseau EDF, réseau GDF, réseaux de télécommunications, gares, aéroports, réseaux de bus, de métro, de tramways, etc.
Infrastructures et activités nécessaires au soutien à l'économie	Centres financiers, banques
Infrastructures susceptibles de générer du sur-endommagement (pollutions, épidémies, sur-endommagement matériel)	Industries et zones de stockage diverses, stations-service, dépôts pétroliers, réservoirs de gaz, cuves à gaz, stations d'épuration, usines de traitement d'eau, activités agricoles, jardineries, piscines, industries phytosanitaires, déchetteries, zoo, élevages, concessionnaires, autres installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE, dont celles classées Seveso), etc.
Infrastructures nécessaires à la reconstruction (réhabilitation de bâtiments)	Centres d'exploitation routiers (réhabilitation des routes), décharges/déchetteries et entreprises liées (bennes/nettoyage), entreprises de nettoyage, laboratoires, artisans du bâtiment (électriciens, plombiers, maçons, couvreurs, chauffagistes, vitriers, menuisiers, charpentiers, entreprises du BTP, etc.), magasins de bricolage, entreprises fournisseuses de matériaux, etc.
Infrastructures nécessaires pour assurer le retour à une situation normale (reprise de la vie sociale, économique, administrative)	Entreprises, Trésor public, banques, centres d'approvisionnement alimentaire (grandes surfaces/petits commerçants), centres médicaux de proximité (médecins/pharmacies), bureaux des services sociaux, tribunaux, établissements d'enseignement (écoles, collèges, lycées), crèches, autres services publics (bureaux de poste, espace vert, CAF...), etc.

Tableau 1 : Infrastructures et activités génératrices de vulnérabilité pour le territoire [23].

Ces activités et infrastructures peuvent générer des vulnérabilités au niveau fonctionnel urbain, dont certaines peuvent être qualifiées de « critiques ». La directive sur la liste européenne des infrastructures critiques du 8 décembre 2008 définit les infrastructures critiques comme « un point, un système ou une partie de celui-ci situé dans un État membre, qui est essentiel au maintien de la société, de la santé, de la sûreté, de la sécurité et de l'économie des citoyens. ou le bien-être social. , Et la fermeture ou la destruction de ces fonctions en raison de l'échec de ces fonctions aura un impact significatif sur les États membres ». Cela signifie que les atteindre en cas d'inondation est extrêmement difficile pour la ville et même pour les zones voisines.

La directive définit spécifiquement les secteurs de l'énergie (électricité, pétrole, gaz naturel) et des transports (routes, chemins de fer, aviation, voies navigables, navigation). D'autres services destinés à fournir au public, tels que l'assainissement, la production ou la distribution d'eau pour la consommation humaine, et les réseaux de communications électroniques ouverts au public, ont également été identifiés comme infrastructures clés en France par la loi de sécurité. Interne (article L.732) -1).

On peut aussi y ajouter les agences de santé, les casernes de pompiers et gendarmerie, les centres de décision de gestion de crise (mairies, départements).

Certaines activités et infrastructures qui appartiennent au système urbain indiquent qu'il peut y avoir divers problèmes au sein de la ville, et leurs fonctions peuvent être gravement endommagées en cas d'inondation, faisant ainsi obstacle au territoire.

La deuxième étape du diagnostic consiste à identifier différentes stratégies de positionnement possibles pour chaque activité [11].

1.1.2 Les différentes stratégies possibles de localisation des activités :

Selon les vulnérabilités qui peuvent être générées par l'activité, l'activité peut s'étendre sur une variété de stratégies, et ces stratégies dépendent de l'activité elle-même. Pour certaines activités, les choix sont limités. C'est le cas des activités où la proximité de l'eau est déterminante pour son fonctionnement (par exemple : infrastructures portuaires, activités liées à la pêche, tourisme, etc.). Cependant, ils peuvent rendre les territoires très fragiles. Cela est particulièrement vrai pour les centrales nucléaires et les usines de traitement des eaux usées.

Pour les activités qui génèrent la plus grande vulnérabilité, il peut être envisagé de les déplacer vers un autre endroit de la zone inondable où la crue est moindre et le paramètre du phénomène n'est pas trop fort.

Les choix de localisation des infrastructures et activités peuvent être orientés dans une certaine direction. Par exemple, en France, la circulaire du 14 août 2013 mentionne que les bâtiments publics nécessaires à la gestion de crise, au maintien de l'ordre et à la sécurité civile "devront dans la mesure du possible être implantés en dehors de l'enveloppe de l'évènement extrême". Il s'agit des casernes de pompiers, des gendarmeries, des équipements de santé (hôpitaux, cliniques, maisons médicalisées), établissements accueillant des personnes à faible mobilité (maisons de retraites, établissements pour personnes handicapées...). Il en est de même pour les infrastructures structurantes telles que les transports (lignes à grande vitesse, etc) [11].

1.2- Types d'aménagements possibles

Il existe deux manières différentes de répartir les usages sur les territoires urbains touchés par certains types d'inondations, en fonction de leur capacité à générer des vulnérabilités associées à ces risques : horizontale et verticale [11].

1.2.1 Localisation des usages sur le plan horizontal

C'est le type d'arrangement qui semble le plus facile à mettre en œuvre. Dans le cadre de la rénovation urbaine, ce type d'aménagement implique des activités basées sur l'évolution des caractéristiques des catastrophes du territoire (niveau d'eau, temps d'immersion, fréquence) et prenant en compte leur capacité à générer des vulnérabilités. Par conséquent, leur localisation dépendra de la compréhension des aléas et des caractéristiques de la zone inondable [11].

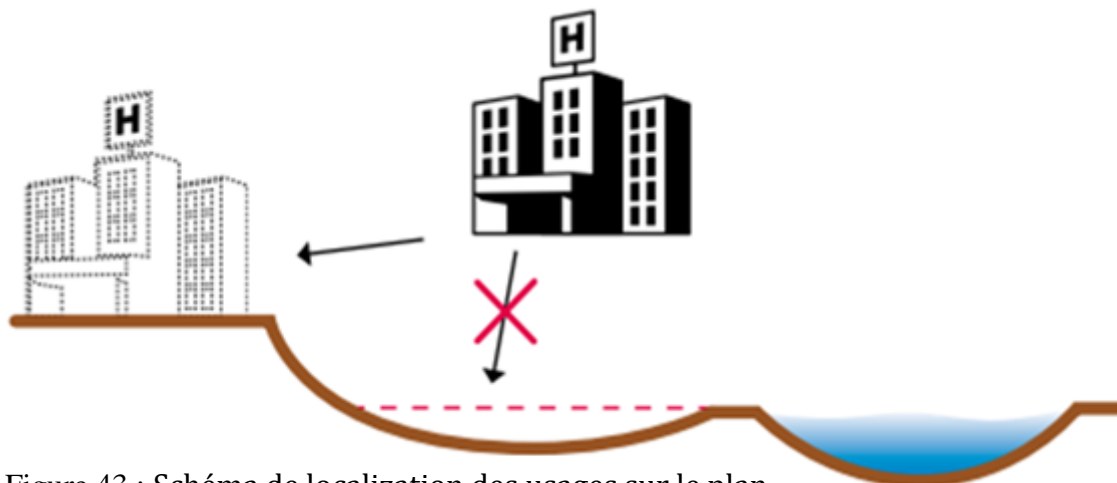


Figure 43 : Schéma de localisation des usages sur le plan horizontal [11].

1.2.2 Localisation des usages sur le plan vertical

Le principe ici est de localiser les applications qui présentent un degré élevé de vulnérabilité dans des zones dangereuses avec une intensité et une fréquence plus faibles verticalement, répartir les usages en fonction de leur vulnérabilité consiste à placer les usages les uns au-dessus des autres, au-dessus du niveau d'eau potentiel le plus élevé. Un exemple de ce type d'aménagement pourrait être que la vocation du bâtiment se superpose, de sorte que les personnes les moins vulnérables se situent en bas du bâtiment (sous-sol ou rez-de-chaussée). Les plus vulnérables seront installés sur les personnes les plus vulnérables dans la partie haute du bâtiment, et ainsi de suite [11].

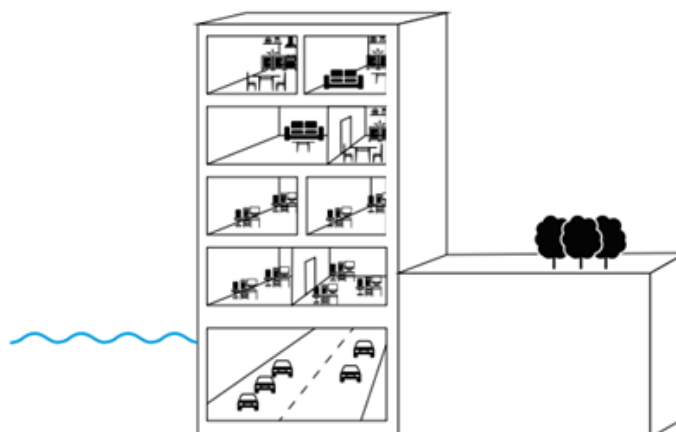


Figure 44 : Schéma de localisation des usages sur le plan vertical [11].

1.3 La mise en œuvre du principe

- Sur le plan technique

En ce qui concerne la localisation sur le plan horizontal, ce principe présente des limites, notamment en termes de disponibilité foncière dans les zones urbaines densément peuplées. Certains projets envisagent la transformation des communautés sous forme de terrasses, permettant presque de considérer les positions verticales et horizontales. Le premier étage est proche de l'eau, le deuxième étage est une terrasse surélevée avec le dos de l'eau, le troisième étage est une nouvelle terrasse plus éloignée de l'eau, et ainsi de suite. Les activités les plus vulnérables peuvent se situer sur la troisième terrasse, qui est la plus haute (position verticale) et la plus éloignée de la zone inondable (position horizontale). Mais ce projet très coûteux nécessite beaucoup de terrain, et il y a très peu de terrains disponibles dans les centres urbains densément peuplés.

La seconde restriction concerne la possibilité d'aménager le terrain sous forme de déblais ou de digues pour protéger certaines activités des risques d'inondation.

La troisième limite vient du fait qu'il n'est pas toujours possible de déplacer des infrastructures très fragiles (comme des gares ou des aéroports) sans occasionner des coûts excessifs à la collectivité. Ces restrictions montrent qu'il est important de considérer l'environnement existant d'une ville, car il n'est pas toujours possible de perturber le développement de l'ensemble de la communauté (usages usuels, paysages, etc.).

La localisation horizontale des infrastructures et des activités nécessite également une compréhension approfondie des zones sujettes aux inondations, des plus hauts niveaux d'eau connus (PHEC) et des phénomènes généraux d'inondation dans la région.

Avec toutes ces restrictions bien comprises, la mise en œuvre de ce principe peut réduire les conséquences potentielles des inondations. En fonction des choix effectués, elle peut également améliorer la sécurité des personnes, par exemple en soustrayant la surface d'habitation des zones inondables, où des dangers peuvent apparaître à grande vitesse.

Concernant la position sur le plan vertical, elle semble plus facile sur un nouveau bâtiment que sur un existant. Cependant, dans certains cas, un ou plusieurs étages peuvent être ajoutés au bâtiment, ou les étages au-dessus du PHEC peuvent être convertis à différents usages. Par exemple, utilisez le rez-de-chaussée pour des magasins, des lieux associatifs, des salles d'exposition ou à d'autres fins, comme éviter les usages résidentiels et médicaux. La compatibilité des usages est attendue lors de l'opération de rénovation urbaine. Par exemple, si des infrastructures médicales sont prévues en exploitation, elles doivent être situées au-dessus des PHEC selon le principe de localisation sur le plan vertical. Cependant, ils doivent rester accessibles pendant les périodes de crue et d'après-crise, ce qui implique qu'un accès permanent doit être envisagé, y compris pendant les inondations. Cela signifie également que l'utilisation de la couche inférieure est compatible avec les fonctions médicales situées au-dessus du PHEC (des nuisances sonores peuvent être présentes) [11].

- Sur le plan économique :

D'un point de vue économique, la modification horizontale de la localisation de certaines infrastructures et activités représente un coût énorme pour la collectivité.

Cependant, il est nécessaire de comparer ce coût avec le coût d'éviter des dommages potentiels à ces infrastructures et activités en cas d'inondation. Le coût peut également être élevé lorsque des terrains supplémentaires sont nécessaires pour réaliser un développement horizontal ou la relocalisation d'infrastructures importantes est impliquée, ce qui peut impliquer la démolition et la reconstruction de plusieurs bâtiments (tels que des hôpitaux, des casernes de pompiers, des réseaux électriques). La localisation, les contraintes économiques semblent moins importantes. Puisque la polyvalence du bâtiment peut répondre à de multiples usages en temps normal et en temps de crise, il nécessite moins de terrain et permet de réduire les coûts.

- Sur le plan politique

La difficulté d'appliquer ce principe réside dans le choix de la position d'utilisation sur le plan horizontal ou vertical. Elle pose la question des raisons politiques pour lesquelles les pouvoirs publics font ce choix pour les différents acteurs du système urbain (habitants, entrepreneurs, gestionnaires de réseaux, industriels, associations, etc.). L'arbitrage entre de

multiples fonctions (telles que les entreprises, le logement social, les agences de santé publique...). La hiérarchisation des fonctions est une tâche difficile [11].

- Sur le plan juridique

Qu'il s'agisse d'acquérir le terrain nécessaire, de procédures de décontamination (par exemple, si le terrain qui contient des industries précédemment contaminées devient un jardin public), de demander un changement de destination ou de « bâtir l'usage et la destination » (convertir de vieilles maisons en bureaux, par exemple), Procédures amiables d'acquisition et même d'expropriation, dans le cas d'une position horizontale, la procédure est longue et coûteuse. De plus, dans le cas d'une position horizontale ou verticale, les réglementations environnementales, notamment celles liées aux installations classées en Protection de l'Environnement (ICPE), peuvent limiter la possibilité d'exercer certaines activités [11].

- Sur le plan paysager

Les changements de localisation de certains bâtiments sont des opportunités pour remodeler le paysage urbain et apporter de nouvelles formes, notamment en réponse aux principes du développement durable. Cependant, l'implantation de bâtiments dédiés à de nouvelles activités dans certains quartiers de la ville risque de détruire le paysage urbain existant, difficile à reconstruire ailleurs [11].

2. Concevoir des bâtiments adaptés à l'inondation



Figure 45 : Schéma montrant les stratégies d'adaptation des bâtiments à l'inondation [11].

2.1- Objectifs

L'objectif de ce principe est de déterminer le processus constructif adapté aux inondations dans les zones de rénovation urbaine, afin qu'il soit possible de construire des bâtiments adaptés dans les zones inondables.

Il existe plusieurs façons d'adapter les bâtiments inondables. Ils renvoient à des stratégies qui traduisent une position radicale sur l'arrivée de l'eau : Soit on se tient à l'écart de l'eau (stratégie « éviter »), soit on empêche l'eau d'entrer (stratégie « résistance »), soit on laisse entrer l'eau (Stratégie « ceder »).

Ces stratégies correspondent à la vision anglo-saxonne, centrée sur la manière de faire et les moyens de mise en œuvre. A cet égard, il diffère de ce que l'on trouve habituellement en France, il est davantage basé sur les objectifs à atteindre : améliorer la sécurité des personnes, limiter le temps nécessaire à la normalisation et réduire les coûts de maintenance. La vision anglo-saxonne et l'approche française sont bien entendu complémentaires.

Les trois stratégies identifiées répondent à des objectifs différents. Chacune de ces stratégies fournit un ensemble de solutions constructives qui sont testées dans le cadre de divers projets achevés ou en cours. Le choix de la stratégie dépend de facteurs tels que le type de crue dans la zone et ses caractéristiques (fréquence, profondeur, vitesse). Surtout dans les zones à forts courants, il n'existe actuellement aucun procédé spécifique permettant d'adapter la construction à la technologie habituelle. D'autres facteurs influent également sur le choix de la stratégie, comme l'implantation de l'industrie dans la ville (centre-ville, périphéries, zones spécifiques) et les projets de développement envisagés (logements, bureaux, espaces verts, bâtiments publics, etc.).

Une fois la stratégie choisie, le choix du mode de construction est retenu. Celles-ci peuvent être appliquées à des bâtiments collectifs ou individuels. Cependant, les types de développement décrits ci-dessous ne sont pas exhaustifs [11].

2.2- Types d'aménagements possibles

2.2.1 La stratégie "éviter"

La stratégie "à éviter" consiste à surélever le bâtiment et à le placer dans un endroit hors de l'eau. D'un point de vue technique, tant les individus que les collectifs sont considérés comme les plus pertinents. la raison est simple. Cette stratégie élimine tous les dommages directs potentiels au bâtiment. La maison n'est pas affectée, du moins sa partie habitée, même si elle peut être isolée et temporairement inhabitable (infiltration d'eau de la route, interruption du réseau d'énergie et de télécommunications, etc.). Ce faisant, il n'a subi pratiquement aucun dommage matériel et a offert à ses habitants la possibilité d'une réinsertion rapide dans la société après l'inondation. La réponse technique apportée varie évidemment d'une situation à

l'autre, notamment en fonction du niveau d'eau possible : par exemple, création de vides sanitaires dans les sous-sols ou garages non enterrés, pilotis, remblais, pièces de vie à l'étage.

Cependant, il est important de souligner que ce type de bâtiment ne permet pas forcément aux habitants de continuer leur vie sans difficulté pendant la crue (communication, énergie, eau potable, et le réseau d'assainissement qui fournit le logement peut être interrompu) en raison d'inondations, lorsque l'inondation dure plusieurs jours, les conditions de vie sont extrêmement instables). de Hambourg, Francfort, Mayence (Allemagne) conçus en fonction de cette stratégie d'évitement », la reconstruction de la Nouvelle - Orléans (États-Unis) est également basée sur cette stratégie d'évitement ». Après la catastrophe de 2005, plus de 200 000 personnes ont été détruites. Toujours dans cette stratégie, nous allons classer les maisons amphibies et flottantes les plus remarquablement installées aux Pays-Bas.

Nul doute qu'elle a déclenché une petite révolution dans les modes de construction classiques dans le cas de l'habitat individuel [11].

a) Les bâtiments surélevés

- **Construction sur pilotis** : c'est un dispositif fréquemment cité car c'est aussi l'un des bâtiments les plus représentatifs des zones susceptibles d'être inondées. Ce processus comprend l'élévation du premier niveau de vie sur la structure installée sur pilotis, ce qui favorise l'écoulement de l'eau (sous le plancher vivant) et la transparence hydraulique.

Ce procédé est adapté à la construction de maisons individuelles mais également aux zones résidentielles (maisons collectives) en zone inondée.

Une limitation causée par ce type d'équipement est l'utilisation de l'espace au niveau de la fondation sur pieux en dessous du premier étage de l'étage habitable. Le vide laissé par cet espace doit être maintenu en crue.).



Figure 46 : Exemples de maisons individuelles et immeubles sur pilotis à Saint-Pierre-des-Corps [11].



Figure 47 : Exemple de logements sur pilotis dans le cadre du projet urbain du Grand Paris [24].

Si la construction sur pilotis présente des avantages techniques, elle doit être adaptée aux conditions réelles du territoire, notamment lorsqu'il est affecté par d'autres risques naturels (comme les risques sismiques), les échasses ne lui sont pas toujours compatibles. "Point de vue technique".

D'un point de vue social, cela soulève aussi de nombreuses questions : à quoi va servir l'espace sous les pilotis ? Ne sont-ils pas comblés pour créer un garage au rez-de-chaussée, voire un nouvel étage de vie ?

Un autre facteur à considérer est la qualification de ces espaces sur pilotis : s'il s'agit toujours d'espaces privés, par exemple, les piétons peuvent y pénétrer, la frontière entre espaces privés et publics n'est pas toujours claire.

- **Construire sur des monticules ou des barrages** : Cette solution est efficace, mais elle semble plus adaptée aux zones rurales à faible densité qu'aux zones urbaines où les terrains disponibles pour de tels bâtiments sont rares. Cependant, construire des logements collectifs peut être intéressant. En revanche, d'un point de vue hydraulique, le processus n'est pas neutre, car la transparence n'existe plus. Une indemnisation est donc nécessaire.

- **La construction surélevée** : Par exemple, cela comprend le remplacement des monticules par des vides sanitaires ou des stationnements pour améliorer le premier niveau des espaces de vie. S'il s'agit d'un vide sanitaire souterrain, il est plus facile à entretenir [11].

b) Les bâtiments flottants

Ce type de bâtiment a été spécialement développé aux Pays-Bas et au Royaume-Uni pour faire face à la rareté des terrains à bâtir. Néanmoins, il existe toujours en France sous forme de péniche.

D'un point de vue technique, la construction de maisons ou de bâtiments flottants (sauf dans le cas de bateaux résidentiels) dépend du système de construction de la plate-forme flottante.

La plate-forme peut être constituée d'une coque en béton armé avec un noyau en polystyrène expansé (EPS). Les plates-formes de grandes surfaces sont généralement construites d'un seul tenant, ou composées de plusieurs pièces transportées séparément, puis assemblées sur place pour un transport aisé. La plate-forme est assez lourde et le centre de gravité est bas pour assurer la sécurité des utilisateurs. Les matériaux utilisés dans la structure du bâtiment sont très légers (bois, métal). Ce type de bâtiment fait l'objet de recherche et développement de nouvelles méthodes pour supporter des structures plus lourdes tout en réduisant la quantité de matériaux pour rendre la construction de tels bâtiments plus économique [11].



Figure 48 : Maison flottante à Amsterdam [11].

c) Les bâtiments amphibies

Ces bâtiments sont conçus de la même manière que les navires ancrés ; ils montent ou descendent selon les variations du niveau d'eau le long du pilier de guidage (Duc d'Albe), empêchant ainsi le bâtiment de dériver. Dans des circonstances normales, le bâtiment est au sol. S'il y a une inondation, il flottera sur l'eau avec le duc d'Albe. Par conséquent, il ne

flottera pas en permanence. Le flotteur sur la plate-forme principale du bâtiment peut être constitué de divers matériaux : béton, plastique, matériau composite ciment verre, acier, etc.

Cette structure ne semble pas adaptée aux zones à fort courant. Les bâtiments sont généralement construits sur une petite surface car ils ne peuvent supporter qu'un poids limité pour assurer la flottabilité de l'ensemble de la structure, ce qui est un atout d'urbanisation en milieu urbain dense.

Afin d'assurer son fonctionnement normal et du point de vue de sa rentabilité financière (technologie très coûteuse), les navires amphibies doivent être régulièrement inondés. Il n'est donc pas recommandé de l'utiliser dans des zones peu inondées, et il semble approprié dans les estuaires où le niveau d'eau change avec la marée, ce qui se caractérise par une montée progressive du niveau d'eau.

Cependant, des incertitudes subsistent, notamment lorsque l'eau se retire, lorsque des sédiments et divers déchets s'accumulent en dessous lors des crues, ce qui affecte la stabilité du bâtiment [11].

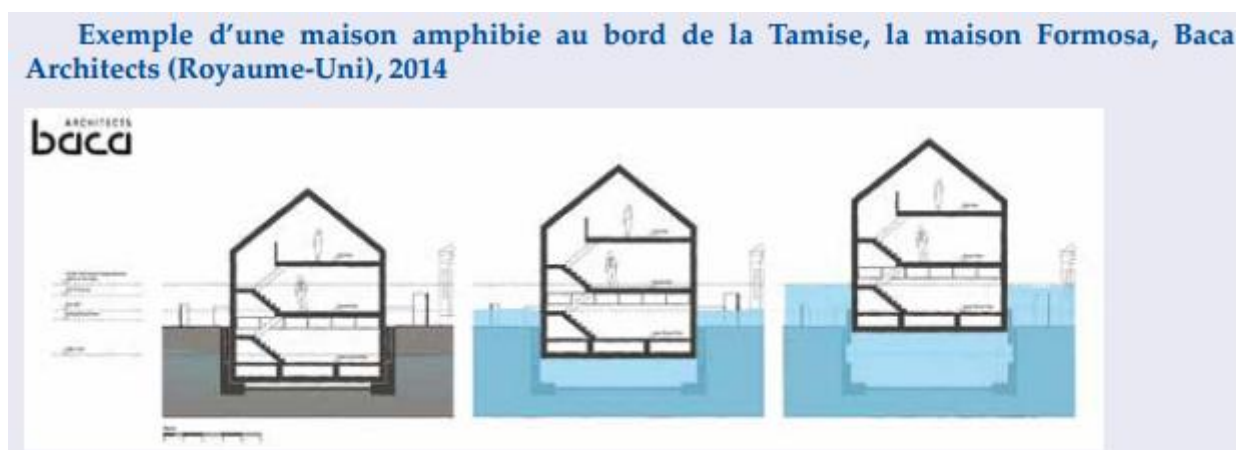


Figure 49 : Principe de la maison amphibie qui monte le long de sa structure fixe en flottant sur l'eau en cas d'inondation.

2.2.2 La stratégie «résister»

Les stratégies de « résistance » comprennent la mise en place de dispositifs temporaires (bouchage des ouvertures, batardeaux, barrières mobiles, sacs de sable) ou permanents (blocage des voies d'infiltration, des murs, etc.) pour retarder voire empêcher les infiltrations d'eau dans le bâtiment, et maintenir le bâtiment dans une certaine mesure. Avantages de la sécheresse interne. Il s'adapte au logement existant (et reste compatible avec la situation du logement neuf). Dans certaines conditions, même si la pénétration partielle d'eau et d'humidité dans la coque ne peut être totalement éliminée, et même si les salissures et les hydrocarbures

de la paroi extérieure peuvent être imprégnés, cela peut réduire considérablement les dommages potentiels.

Pour ceux dont la réponse à la montée des eaux consiste généralement à ériger des sacs de sable devant la porte, cela peut être la stratégie la plus simple et la plus intuitive. Cependant, aussi efficace soit-elle, la mise en place de mesures pour « résister » aux inondations doit être maintenue sous certaines conditions, complétée par de nombreuses mesures préventives :

-La hauteur maximale de la crue au-dessus du sol doit être inférieure à 1 mètre (autre que cela, la pression exercée sur les murs du bâtiment peut provoquer des désordres structurels);

-La durée de la crue doit être limitée (moins de 48 heures), car quel que soit le type de méthode d'étanchéité utilisée, elle ne peut empêcher l'eau de pénétrer indéfiniment dans le bâtiment ;

-Le temps d'alarme (c'est-à-dire le temps écoulé entre l'annonce de l'entrée d'eau et l'événement réel) doit être suffisant (plus de quelques heures) pour pouvoir mettre en place un dispositif d'occultation temporaire. Après le déclenchement de l'alarme, il doit être possible d'installer des batardeaux et des dispositifs d'occultation temporaires à tout moment de l'année, en semaine, de jour comme de nuit. Par conséquent, il est fondé sur l'existence et la connaissance réelles de l'emplacement de stockage de ces appareils et de la manière de les installer ;

-Le système d'arrêt temporaire (type batardeau) ne peut être mis en œuvre efficacement que s'il est relativement fréquemment utilisé (dans les zones à inondations fréquentes), dans lequel une véritable expertise peut être construite pour longtemps ;

-Un système de pompage automatique (en termes d'alimentation électrique) doit être prévu à l'intérieur du bâtiment pour assurer une vidange régulière de l'eau infiltrée.

Les nombreuses conditions entourant l'efficacité de cette stratégie la rendent inappropriée voire dangereuse dans de nombreuses situations car elle incite les résidents à rester chez eux lors des inondations. La « résistance » ne s'applique qu'aux crues de faible altitude (moins d'un mètre) et de courte durée (moins de 48 heures). De plus, le risque de défaillance des volets est terrible et les personnes présentes dans le bâtiment peuvent être menacées. Si le niveau d'eau dépasse le niveau d'eau du batardeau et que les occupants se retrouvent piégés dans un bâtiment entouré d'eau et commencent à se remplir d'eau.

Cependant, certains projets ont adopté cette stratégie dès la conception du nouveau bâtiment, ce qui est propice à l'étanchéité du rez-de-chaussée, notamment la forme « caisson ». Considérant que le bâtiment peut résister aux inondations avec des matériaux et des structures adaptés à une immersion permanente, certaines alternatives sont prévues pour les restrictions ci-dessus, telles que la nécessité d'installer des équipements temporaires d'expertise, ou la disponibilité du personnel au moment de l'alarme.

2.2.3 La stratégie “céder”

Dans certains cas, il est impossible de surélever la maison au-dessus de la surface de l'eau (stratégie "éviter"), ni d'empêcher l'eau de pénétrer dans le bâtiment (stratégie "résistance"). La seule solution qui reste est de "concéder", c'est-à-dire de laisser l'eau s'infiltrer dans le bâtiment et de prendre toutes les mesures nécessaires pour limiter les dégâts et réduire les délais de retour à la normale. Cette dernière stratégie, incluant la « concession » à l'eau, est la seule stratégie possible pour les habitations existantes, s'exposant à des niveaux d'eau de plus d'un mètre ou plus. Dure plus de 48 heures. Pour les maisons nouvellement construites, cette stratégie peut être envisagée tant que la hauteur des appareils électriques ou électroménagers est prise en compte, l'utilisation de matériaux aussi difficiles à changer ou faciles à remplacer que possible, et la structure du bâtiment et l'environnement extérieur sont réparés. Elle peut parfois laisser des dégâts résiduels importants, notamment en raison des caractéristiques sévères de la crue [11].

2.3- La mise en œuvre du principe

- Sur le plan technique

Les stratégies d'adaptation aux risques ne peuvent pas être appliquées de la même manière à toutes les situations. Exposer une maison à 50 cm d'eau pendant plusieurs heures ne nécessite pas la même stratégie technique qu'exposer une maison à plus de 1,5 mètre d'eau pendant une semaine. Chaque stratégie a des caractéristiques spécifiques, et leurs applications spécifiques sont plus ou moins compatibles selon la situation rencontrée.

Dans les îlots en rénovation urbaine, la stratégie de « éviter » peut être mise en œuvre par la surélévation des bâtiments. Cependant, les stratégies de « réduction » et de « résistance » peuvent également être utilisées pour concevoir des bâtiments qui causent peu de dommages.

Cependant, les trois stratégies ont un point commun : elles ne sont pas adaptées aux zones potentielles de forts courants (zones de défaillance structurelle de protection, zones prioritaires pour le drainage des vallées et le transport d'objets. Flottant...). Dans ces zones,

afin de réduire les dommages possibles au logement, si l'utilisation de technologies de construction extrêmement lourdes et coûteuses doit être encouragée, ces technologies doivent être utilisées. Cependant, ces technologies ne sont actuellement pas utilisées principalement par les fabricants et n'ont pas de sens économique.

Il y a aussi un manque de méthodes et de données sur les matériaux. La sélection des mesures techniques pertinentes doit également être basée sur les industries de construction et de rénovation existantes. Contrairement à d'autres pays européens, si certaines mesures ne sont pas mises en œuvre en France aujourd'hui, cela peut s'expliquer par un manque de marchés et d'entreprises professionnelles pouvant mettre en œuvre ces mesures.

De plus, choisir des matériaux adaptés à un trempage prolongé peut s'avérer difficile aujourd'hui. Les recherches sur le comportement des matériaux au contact de l'eau ne s'appuient pas sur des conditions aussi sévères que celles correspondant à une inondation de plaine (notamment en termes de temps de trempage). Pour les professionnels du bâtiment, « l'eau est l'ennemie de l'architecture ». Par conséquent, il n'y aura pas de problèmes d'étanchéité des bâtiments : en principe, les bâtiments doivent être construits dans des endroits hors de portée de l'eau [11].

- Sur le plan économique

Du point de vue des bénéfices économiques, la stratégie « d'évitement » semble être plus rentable que la « résistance » et plus rentable que la « reddition » en soi. Cependant, cela dépend de la fréquence des inondations. Lorsque les crues sont fréquentes voire très fréquentes (moins de 1/25 an), il est économiquement raisonnable d'utiliser la stratégie « céder ». Concernant la stratégie « résistance », elle est rentable pour des crues relativement fréquentes (inférieures à 1/100 et 1/50 ans). Enfin, la stratégie "à éviter" semble être la plus rentable économiquement pour les zones avec relativement peu de crues (avec une probabilité de 1/400 ans ou plus).

De plus, il sera plus rentable de réhabiliter les bâtiments à usage collectif que de les utiliser seuls (amortissement des surcoûts). Pour le renouvellement d'un quartier ou la transformation d'une friche industrielle, des bâtiments adaptés peuvent être envisagés, et le surcoût de ces bâtiments peut être intégré à l'ensemble du projet. Ce type de projet est l'occasion de soulever la question de la construction d'infrastructures, en tenant compte du risque d'inondation, en fonction de la dangerosité subie par le secteur.

Concernant la rentabilité des projets qui offrent des bâtiments adaptés aux risques en zone de remblai, la question demeure. Si le dispositif de protection "élimine" les effets des

inondations fréquentes, est-il rentable de rénover la maison, ce qui rentabiliserait l'une des trois stratégies sans digue ? L'exemple de Rotterdam montre clairement que même derrière la protection des digues de la ville pour des événements rares (1/10 000 ans), des projets de construction de bâtiments publics adaptés (hôpitaux) sont envisagés pour réduire le risque éventuel de rupture de barrage [11].

- Sur le plan social

Du point de vue de l'intérêt général, l'adaptation du logement est assez positive, mais les freins sociaux restent nombreux. En effet, les gens sont quelque peu réticents à adapter leurs maisons aux risques d'inondation. Plusieurs arguments ont été avancés, notamment que cela ne fait pas partie de notre culture (par exemple, le logement flottant en France n'est pas très développé par rapport aux Pays-Bas) ou la pression psychologique que peut représenter le fait de vivre en logement, rappeler les risques à ses occupants.

Par ailleurs, pour faire face à la densification des zones de renouvellement urbain, des projets d'habitat collectif sont généralement proposés. Pourtant, en France, les maisons unifamiliales ont la cote, même au premier étage dans certains quartiers. Ceci est presque incompatible avec l'objectif actuel de développement de centres urbains denses, et peut conduire à une forte fragilité du territoire (surtout s'il n'y a pas de couche refuge). Par conséquent, des changements culturels sont nécessaires pour orienter les besoins sociaux dans de nouvelles directions [11].

- Sur le plan politique

Il n'est pas possible d'ajuster les bâtiments dans toutes les situations (par exemple, les zones à forts courants). Lorsque l'adaptation est techniquement faisable, il peut être difficile de la justifier politiquement. Par exemple, il peut être politiquement difficile d'encourager la rénovation de logements dans des zones qui sont récemment devenues des projets de conservation (digues). Cela peut amener les habitants à penser que l'ampleur des mesures de protection est inappropriée, ce qui est une posture délicate qui doit être maintenue politiquement [11].

- Sur le plan juridique

On constate que les outils actuels de contrôle de l'urbanisme, de la construction et du droit de l'habitat prennent en compte le risque d'inondation. Cependant, ils ne semblent pas suffisants pour favoriser l'évolution des pratiques actuelles vers des formes architecturales adaptées aux risques. Dans certains cas, elles sont même incompatibles entre elles : normes pour les personnes à mobilité réduite, protection contre les inondations, performance

énergétique des bâtiments, bâtiments parasismiques... Cela nécessite leur parfaite compréhension et leur bonne application.

Dans le même temps, les outils du domaine des assurances n'ont pas incité les particuliers et les pouvoirs publics à agir de manière plus responsable dans la rénovation des bâtiments en zone inondable qu'ils ne le sont aujourd'hui. Par exemple, dans les zones couvertes par le PPRN, des exigences peuvent être imposées aux particuliers et aux pouvoirs publics pour réduire la vulnérabilité des bâtiments. Toutefois, lorsque ces travaux sont effectués, ils n'ont aucune incidence sur le montant des surprimes ou des franchises du régime d'indemnisation fondé sur la protection contre les catastrophes naturelles.

En d'autres termes, s'adapter à l'architecture d'aujourd'hui requiert une volonté politique forte, ce qui signifie aussi un engagement plus important lorsque les outils pour la mettre en œuvre sont parfois insuffisants [11].

- Sur le plan paysager

Dans une autre perspective, l'adaptation du logement modifie le paysage urbain, elle peut être positive ou négative, selon les choix effectués et la sensibilité de chacun. Pourtant, cela représente le véritable atout du renouvellement urbain au sens propre : la ville se reconstruit et donne une nouvelle image à ses habitants. Considérer que l'inondation signifie "coexister avec l'eau". Cela peut inclure un changement dans l'identité de la ville, mais cela stimulera certainement la créativité des architectes et des urbanistes. Si la partie paysagère parvient à concilier les attentes des populations et les projets immobiliers adaptés aux risques d'inondation, elle peut même représenter un moyen de réduire les réticences culturelles et psychologiques évoquées [11].

Conclusion

Le problème de la prévention des inondations n'est pas une solution unique, car il est déterminé par les conditions locales. Nous pouvons dire combien de problèmes différents doivent être résolus, tout comme le nombre de zones inondables. De plus, la réalisation d'une protection à distance ou à distance doit répondre à un certain nombre de conditions, qui dans la plupart des cas limitent les possibilités et les résultats. Il faut donc toujours trouver le type de protection qui convient le mieux à la zone à protéger, et laisser une marge de sécurité suffisante, car la méthode de recherche n'est pas toujours précise.

Dans le domaine de la prévention des inondations, les gens ne devraient pas attacher de valeur formelle à la recherche économique qu'ils n'ont pas. Les résultats qu'ils provoquent doivent être considérés davantage comme des estimations approximatives, mais cela permet de juger si l'opération conçue est déraisonnable en planification économique, et en particulier de comparer les solutions entre elles [15].

Conclusion générale

Conclusion générale

Les crues présentent plusieurs aspects, en fait, il existe différents types de crues : les crues de débordement directes, les crues de débordement indirectes et les crues de ruissellement. Ces inondations sont causées par divers facteurs, tels que les précipitations et même les conditions du sol. Ensuite, les inondations auront des conséquences diverses : elles causeront beaucoup de dégâts, les principaux types de dégâts sont les dégâts matériels et les dégâts causés par l'homme. En raison de l'inondation, de nombreuses installations ont été détruites et de nombreuses personnes sont mortes. Cependant, les inondations ont non seulement des effets négatifs, mais aussi des effets bénéfiques dans certains pays. Par exemple, en Egypte, la crue du Nil rend le sol fertile, favorisant ainsi l'agriculture. Enfin, de nombreuses mesures ont été prises pour lutter contre les inondations, comme la délimitation des zones inondables et la protection des champs d'expansion des crues. De plus, divers organismes ont réalisé de nombreux travaux de protection en réponse aux inondations. Le pays est également très actif à cet égard, car c'est lui qui prend ces mesures, et cela a aussi un effet préventif sur la population.

De nombreux projets dans le monde voient le jour, renforçant le sens de l'existence ressources en eau dans les zones urbaines. Ils s'appuient sur la tendance actuelle à réconcilier l'homme et la nature, qui n'est plus une utopie. Intégrer le risque inondation dans les projets de développement est en effet une réalité aujourd'hui, et ce rapport est au cœur de ce mouvement.

La détermination de ces quatre principes de planification a ouvert des perspectives intéressantes à travers des projets innovants à travers le monde. Cette liste de principes ne saurait être exhaustive, des exemples de ces concepts testés et mis en œuvre et la diversité des pays peuvent indiquer qu'il doit y en avoir d'autres.

Cependant, la mise en œuvre de ces principes semble avoir certaines limites, et cela mérite encore un certain nombre de recherches, notamment d'un point de vue économique, afin de mieux cerner les éléments des surcoûts possibles dans certains cas. Il semble que ces principes doivent aussi être appréhendés différemment selon les territoires. D'autres obstacles, comme les terrains utilisables pour certains aménagements ou les questions de responsabilité liées à la maîtrise foncière (propriété et gestion des super digues, expropriation pour laisser plus d'espace à l'eau lorsque l'urbanisation décline, etc.).

Mais attention au malentendu, il ne s'agit pas de prôner la construction de zones inondables dans les zones non urbanisées actuelles. Nos idées s'inscrivent bien dans le cadre des principes du droit de l'urbanisme visant à réduire l'étalement urbain et à favoriser la densification. Elle se limite à l'aménagement de zones urbaines denses, la rénovation urbaine est en cours, des aménagements futurs apparaîtront. Par conséquent, il vise à plaider pour que le projet s'adapte aux inondations, en tenant compte du fait que tout aménagement dans les zones inondables doit non seulement augmenter la vulnérabilité des zones exposées, mais aussi minimiser la vulnérabilité des zones voisines afin de fédérer. Affrontez le risque.. C'est le défi d'inverser les perceptions communes du gel du développement urbain et de faire accepter l'idée que la rénovation urbaine dans certaines zones sujettes aux inondations peut réduire la vulnérabilité de zones déjà gravement touchées.

Par conséquent, les collectivités disposent de nombreux documents de référence pour commencer à ajuster leurs territoires pour faire face aux risques d'inondation. Ne doutons pas que la mise en œuvre des futures stratégies locales de gestion des risques d'inondation offrira des opportunités de résoudre ces problèmes avec tous les acteurs concernés et réduira la vulnérabilité de notre territoire à moyen terme. Le Territoire doit adopter une approche stratégique globale, incluant une réflexion sur un développement durable qui s'adapte aux risques d'inondation [11].

Bibliographie

- [1] Source site : <http://jb.henry.free.fr/documents/these/chapitres/3>.
- [2] Source : site : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/inondations>.
- [3] source: Memoire de fin d'étude en master academique "aménagement en zone inondable" .Université de mostaganem-dprt d'architecture et de genie civil.
- [4] Source : BACHIM, « Problématique de risque inondation en milieu urbain, cas de l'agglomération de Sidi Bel Abbes », Université Aboubakr Belkaid- Tlemcen-, Faculté de technologie, Département d'Hydraulique (2011
- [5] Source : site : <http://www.prim.net> Site sur la prévention des risques majeurs.
- [6] Source: Guide d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments vis-à-vis de l'inondation ;Ministère de la Transition écologique.
- [7] Source: Guide pour les projets de construction a l'interieur des zones inondables.
- [8] Source site: <https://fr.wikipedia.org/>).
- [9] Source : Guide de la sécurité de l'habitat /Informations importantes pour construire un habitat plus sûr).
- [10] Source : site : <http://reporters.dz/index.php/region/90projet-d-amenagement-de-l-oued-ain-sefra> (mardi, 27 janvier 2015).
- [11] Source :CEPRI Principes techniques d'aménagement.
- [12] Source : site : www.rotterdamclimateinitiative.nl
- [13] Source : Risque d'inondation et aménagement durable des territoires/ Presses universitaires du Septentrion 2004).
- [14] Source : site : <https://www.bouygues-construction.com/construire-durablement/ville-inondation>.
- [15] Source : DJEBALI KHALIFA/memoire de master/ Contribution à l'étude de l'aléa " inondations"/ departement aménagement et genie hydraulique/ ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdelah.
- [16] Source : La prise en compte des risques d'inondations dans la planification urbaine, «cas de la ville de Bab El oued ».
- [17] Source: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2010): DWA–M 551: Audit „Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“

[18] Source : site : www.urbanisten.nl.

[19] Source : Salagnac J.-L.(coord.), Marchand D., Florence C., Delpech P., Axes J.-M.CSTB -Impacts des inondations sur le cadre bâti et ses usagers, rapport final, juillet 2014, 46 p.

[20] Source : Certu, Prise en compte des risques naturels, 10 monographies, 2012 ; Communauté d'agglomération Le Grand Périgueux.

[21] Source: ville de Nimègue, www.nijmegen.nl/ruimtevoordewaal.

[23] Source : site : http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/guide_classe_d_vf_allee.pdf.

[24] Source : atelier Castro Denisoff Casi, Nexity, Vivre le fleuve, 2010.