

ÉCOLE DES INGENIEURS DE LA VILLE DE PARIS
PARIS, SEPTEMBRE 2014 - MARS 2015



**IMPACT DES INONDATIONS SUR LES
INFRASTRUCTURES ET RESEAUX
TECHNIQUES
ET
SOLUTIONS D'AMELIORATION DE LA
RESILIENCE DES SYSTEMES URBAINS**

SERGI SAMBOLA
STAGIAIRE

MARC VUILLET
MAITRE DE STAGE

Résumé

Actuellement, les inondations se présentent comme une menace contre laquelle il est encore difficile de lutter. Ainsi, de graves inondations se sont produites lors de ces dernières années dans quelques villes du Nouveau-continent comme la Nouvelle-Orléans ou New York, en causant des morts et occasionnant d'importants coûts concernant les dégâts. Les inondations sont, par conséquent, une menace constante qui a des répercussions catastrophiques.

Le projet commence avec une première étape où s'expliquent des concepts importants reliés à la résilience urbaine et à la vulnérabilité, les types d'inondations qui menacent les villes, et l'intériorisation du risque des inondations en milieu urbain s'étudient en fonction des villes qui ont souffert de graves inondations dans les années précédentes.

Postérieurement, le projet compte avec l'analyse de cinq villes, qui ont été choisies à partir des graves inondations dont elles ont souffert lors des dernières années. De manière respective ces villes sont : Londres, Prague, la Nouvelle-Orléans, Bangkok et New- York, pendant les années 2000, 2002, 2005, 2011 et 2012. Cette analyse permettra de voir l'impact des inondations sur les différentes échelles de la ville par rapport à leurs défenses.

Dans la deuxième étape du projet, il s'agit d'analyser d'autres solutions d'amélioration qui se sont déjà appliquées dans des villes comme Hambourg, Dordrecht, Trondheim, etc. Ces solutions, avec celles des villes étudiées, permettront de faire une conclusion qui permettra de comparer toutes les méthodes de défense analysées lors de l'étude.

Finalement, les défenses et les solutions d'amélioration trouvées permettront de discerner l'effet de chaque défense selon l'intensité de l'inondation et l'échelle affecté pour chacun des cas. Ainsi, une séparation parmi les défenses d'aléa et les défenses résilientes sera également faite avec d'autres facteurs afin d'évaluer le coût, l'emprise au sol ou encore l'effet de seuil de la défense.

SOMMAIRE

RESUME

SOMMAIRE

LA PREFACE	1
Origine de l'étude	1
Motivation	1
INTRODUCTION	2
Objectifs de l'étude	2
La portée de l'étude	2
Nécessité et justification de l'étude	2

1. **CONTEXTE**

1.1. DES CONCEPTS IMPORTANTS	4
1.1.1. L'aléa	4
1.1.2. Les enjeux et la vulnérabilité	4
1.1.3. Le risque	4
1.1.4. La résilience et la ville résiliente	5
1.1.5. Causes d'inondations	5
1.1.5.1. Les averses	5
1.1.5.2. Les crues dans le fleuve	6
1.1.5.3. Le phénomène de la submersion marine	6
1.1.6. Intériorisation du risque des inondations en milieu urbain	7
1.2. LES PRÉCEDENTS	7
1.2.1. Les catastrophes à analyser	7
1.2.2. Justification des villes choisies	8
1.2.3. L'importance de diviser l'étude selon les échelles de la ville	8

2. **RETOUR D'EXPERIENCE DE CATASTROPHES MAJEURES**

2.1 LES CATASTROPHES	10
2.1.1. Londres (2000)	10
2.1.1.1. L'événement	10
2.1.1.2. Défenses et sa réponse lors des inondations	10
2.1.1.2.1. La ville de Londres	10
2.1.1.2.2. La zone métropolitaine de la ville	11
2.1.1.2.3. Les alentours de la ville	13
2.1.1.2.4. Les bâtiments	14
2.1.1.2.5. Le quartier	15
2.1.2. Prague (2002)	16
2.1.2.1. L'événement	16
2.1.2.2. Défenses et sa réponse lors des inondations.	16
2.1.2.2.1. La ville de Prague et sa zone métropolitaine	16
2.1.2.2.2. Les alentours de la ville	18
2.1.2.2.3. Les bâtiments	19
2.1.2.2.4. Le quartier	19

2.1.3. La Nouvelle-Orléans (2005)	20
2.1.3.1. L'événement	20
2.1.3.2. Défenses et sa réponse lors des inondations.	20
2.1.3.2.1. La ville et la zone métropolitaine à Nouvelle-Orléans	20
2.1.3.2.2. Les alentours de la ville	23
2.1.3.2.3. Les quartiers de la ville	24
2.1.3.2.4. Les bâtiments	25
2.1.4. Bangkok (2011)	25
2.1.4.1. L'événement	25
2.1.4.2. Défenses et sa réponse lors des inondations.	26
2.1.4.2.1. La ville et la zone métropolitaine de Bangkok	26
2.1.4.2.2. Les alentours de la ville	29
2.1.4.2.3. Les bâtiments	30
2.1.4.2.4. Le quartier	31
2.1.5. New York (2012)	32
2.1.5.1. L'événement	32
2.1.5.2. Défenses et sa réponse lors des inondations.	33
2.1.5.2.1. La ville de New York	33
2.1.5.2.2. La zone métropolitaine de la ville	35
2.1.5.2.3. Les alentours de la ville	36
2.1.5.2.4. Les bâtiments et le quartier	36
2.2. CONSIDERATIONS ET SOLUTIONS PROPOSÉES POST-CATASTROPHE	37
2.2.1. Londres	37
2.2.2. Prague	38
2.2.3. La Nouvelle-Orléans	39
2.2.4. Bangkok	41
2.2.5. New York	43

3. ETUDE DE SOLUTIONS D'AMÉLIORATION DE LA RÉSILIENCE URBAINE

3.1. Les mesures d'habitat résilient	46
3.1.1. Les bâtiments surélevés	46
3.1.2. Les bâtiments en zones inondables	48
3.1.3. Les bâtiments avec défenses intégrées	48
3.1.4. Les bâtiments avec protection externe	49
3.1.5. Les bâtiments flottants	49
3.1.6. Les structures amphibies.	50
3.1.7. Les passerelles surélevées	50
3.2. Les défenses d'aléa	51

4. RESULTATS

BILAN SYNTÉTIQUE DES RESULTATS	53
CONCLUSIONS	58
REMERCIEMENTS	58

ANNEXES	59
ANNEXE I : LA VILLE DE LONDRES	59
ANNEXE II : LA VILLE DE LA NOUVELLE-ORLÉANS	66
ANNEXE III : LA VILLE DE BANGKOK	71
ANNEXE IV : LA VILLE DE NEW YORK	80
ANNEXE V : AUTRES SOLUTIONS D'AMÉLIORATION	81
ANNEXE VI : BILAN DES DÉFENSES	84
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	89

LA PREFACE

Origine de l'étude :

Lors des dernières années, plusieurs inondations sont survenues dans des grandes villes des différents endroits du monde, en causant des morts et occasionnant d'importants coûts concernant les dégâts dans des villes affectées et leurs alentours. En plus, les études actuelles constatent un accroissement des inondations dû au réchauffement global. Ainsi, l'origine de l'étude vient d'un constat de la menace croissante d'inondation dans les villes.

Plusieurs experts constatent la nécessité de prendre conscience de l'actuel risque d'inondation et de ses conséquences, et de prendre les mesures adéquates pour protéger les villes. Par conséquent, cette étude cherche à découvrir de nouvelles mesures qui aident les villes menacées à se protéger des inondations à partir de mesures de réduction de risque.

Motivation :

La possibilité de travailler, au sein à l'EIVP, dans les domaines de l'urbanisme et de la construction, présente la motivation nécessaire pour développer ce projet. Autrement, le sujet de mon travail, qui aborde un problème réel des conséquences dévastatrices par rapport à la protection des vies des personnes et des propriétés, apporte une importance supplémentaire au projet.

Ainsi, développer ce projet m'apporte la satisfaction personnelle d'avoir pris conscience du risque réel d'inondation dans les villes, et d'avoir travaillé en situation réelle en termes d'aménagement des villes.

L'INTRODUCTION

Objectifs d'étude :

L'objectif principal de l'étude consistera à rechercher les différentes solutions qui actuellement existent pour faire face aux inondations et apporter une analyse qualitative qui nous permette d'évaluer la contribution des défenses anti-inondation à la résilience urbaine des villes. Ainsi, le projet s'attardera à trouver les défenses et solutions d'amélioration qui affrontent les inondations et considérer son effet.

Néanmoins, on profitera de l'étude pour analyser en détail plusieurs inondations qui ont noyé plusieurs grandes villes d'Europe, d'Asie et d'Amérique du Nord, qui aussi aideront à atteindre le but du projet à partir de l'impact historique des inondations sur les infrastructures et les réseaux techniques dans quelques villes. Cette analyse contribuera à évaluer la réponse des défenses en cas de fortes inondations.

Finalement, il sera également important d'élaborer des connaissances en ce qui concerne des concepts comme la résilience urbaine et les possibles types d'inondations.

La portée de l'étude :

En ce qui concerne la portée du projet, l'étude des défenses dans les villes analysées est divisée selon les échelles d'application. Ces échelles d'application pourront être : le bâtiment, le quartier, la ville, la zone métropolitaine de la ville ou les alentours de la ville. Ainsi, les conclusions ne sont pas extrapolables qu'à l'échelle étudiée en chaque cas. Autrement, il faut aussi dire que les défenses et les solutions d'amélioration utilisées dans chaque ville sont reliées aux besoins particuliers de chaque ville. Par conséquent, les considérations qu'on prendra par rapport aux défenses seulement sont applicables aux conditions et au contexte particulier de la ville étudiée.

Nécessité et justification de l'étude :

D'un côté, il faut dire que les inondations qui ont touché plusieurs endroits les dernières années, montre la vulnérabilité de plusieurs villes par rapport à ce phénomène. En plus, c'est un constat qui démontre que le risque aura tendance à augmenter dans le futur, à cause du réchauffement global.

En plus, les inondations peuvent avoir des conséquences dévastatrices pour les villes touchées, en causant endommagements et même des morts. Ainsi, prendre conscience du risque d'inondation est important pour comprendre l'importance de ses conséquences et adopter les mesures nécessaires.

D'abord, on peut prendre comme exemple l'inondation de 2011 en Thaïlande. Pour le mois de juillet et le mois de décembre 2011, 65 sur 77 provinces de la Thaïlande ont été touchées par des tempêtes et des inondations, causant 884 morts et un coût de dommages quantifié pour le World Bank équivalent à 45,7 milliard de dollars. Ce fait convertit ces inondations en l'un des cinq pires désastres naturels de l'histoire moderne. (Impact Forecasting LLC, 2012).



Image 1. Rue de Bangkok inondé lors des inondations de 2011

Néanmoins, on trouve une autre inondation notamment importante à la Nouvelle-Orléans, à cause de l'ouragan Katrina. Cette inondation, observé en 2005 a causé 1330 morts, pour un montant des dégâts de près de 100 billion de dollar et la destruction de 3000 maisons. Il faut dire aussi qu'il a été considéré comme le plus grand désastre d'ingénierie civile des Etats-Unis.



Image 2. Ville de la Nouvelle-Orléans noyé pendant les inondations de 2005

À partir des exemples montrés, il est possible de voir les conséquences dévastatrices des inondations sur les villes.

De l'autre côté, il faut dire que la plupart des solutions utilisées pour affronter les inondations lors des dernières années dans les villes susceptibles d'inondations, sont à partir de défenses qu'on pourrait définir comme défenses d'aléa. Ces défenses permettent d'empêcher l'eau de couler dans la ville et d'essayer de maîtriser la nature grâce à des mesures comme le changement du tracé du cours des fleuves ou régler son débit. Autres mesures très connues sont les dykes, les murs anti-inondation, etc.

Cependant, il existe de nouvelles solutions qui proposent d'adapter la ville à vivre avec l'eau à partir de défenses résilientes. Le but n'est pas d'éviter que l'eau coule dans la ville, sinon de maintenir les fonctions principales de la ville lors des inondations ou d'assurer les fonctions basiques.

Par conséquent, la nécessité de cette étude part dans l'optique de trouver des mesures fiables qui aident les villes à se protéger des inondations, et de rassembler les données nécessaires qui permettent d'évaluer les défenses d'aléa vers les défenses résilientes à partir de cas d'application connus.

1. CONTEXTE

1.1. Des concepts importants

1.1.1. L'aléa

On définit **l'aléa** comme la possibilité qu'un phénomène naturel menace ou affecte l'environnement, les biens ou la vie d'une personne, dans une zone donnée. Ainsi, on conçoit l'aléa comme un phénomène qui peut être dangereux pour les personnes et, par conséquent, il faut se protéger de celui-ci. Ainsi, l'aléa est un facteur important en ce qui concerne l'aménagement des villes.

Autrement, l'évaluation de l'aléa est souvent mesurée par rapport à son intensité, sa proximité temporelle et sa fréquence. Cependant, elle ne préjuge en rien des dégâts éventuels ou des conséquences économiques possibles. Dans le cadre du projet étudié, les aléas le plus analysés seront les inondations, ainsi que d'autres aléas venant aggraver les effets des inondations comme les tempêtes, les ouragans et la submersion marine.

1.1.2. Les enjeux et la vulnérabilité

On parle d'**enjeux** ou de Facteurs Exposés toutes les personnes, les propriétés et les biens qui sont menacés par l'aléa, en comptant les dégâts éventuels et les conséquences économiques.

Autrement dit, on considère la vulnérabilité dans une ville en fonction des dommages potentiels ou la capacité d'endommagement des phénomènes naturels menaçants. Pourtant, la vulnérabilité correspond à toutes les propriétés et biens qui sont susceptibles d'être endommagés, ainsi comme le danger pour les personnes, par rapport à un aléa réel. Toutefois, le calcul de la vulnérabilité dépend de plusieurs facteurs très importants et difficiles de quantifier comme des contextes culturels, sociaux, économiques, etc. Pourtant, on trouvera que les villes les plus vulnérables sont celles qui sont les plus denses, de ce fait, le nombre de victimes en périls augmentera ainsi que les enjeux d'ordre économiques.

1.1.3. Le risque

On définit communément le **risque naturel** à partir de l'équation *risque naturel = phénomène naturel générateur de dommage x vulnérabilités*, ou plutôt :

$$\text{ALEA} \times \text{ENJEUX} = \text{RISQUE}$$

Pourtant, on peut dire que le risque est le résultat d'un enjeu qui a été exposé à un aléa. On peut voir la définition graphique de ces concepts dans l'image suivante :

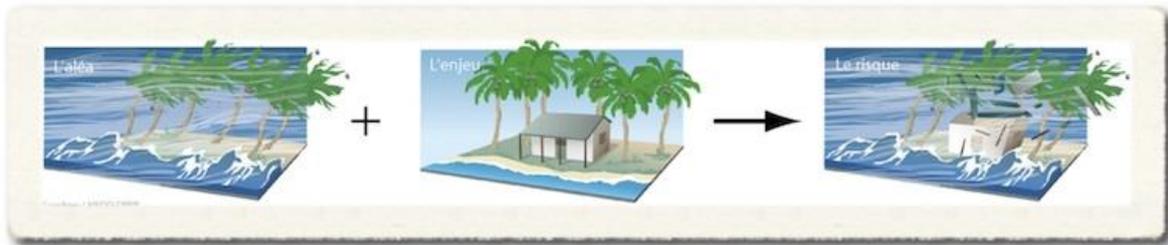


Image 1. Définition graphique de la relation aléa + enjeux = risque

Ainsi, le phénomène naturel ou aléa représente la menace et s'exprime par un champ d'action, une magnitude, une intensité ou un débit, une violence et une récurrence. Autrement, la vulnérabilité s'inscrit dans un système qui englobe les préjudices corporels et moraux aux personnes et l'endommagement potentiel des éléments exposés. (Jean-Claude Thouret et Robert D'Ercole)

1.1.4. La résilience et la ville résiliente

On définit le concept de résilience physique d'un matériel comme sa capacité à absorber de l'énergie quand il se déforme sous l'effet d'un choc. Ainsi, les matériaux qui sont plus résilients sont ceux qui résistent mieux aux impacts.

Autrement, en appliquant le même concept pour les villes, on trouve que la ville est résiliente si elle est capable de résister à un aléa déterminé sans interrompre les fonctions principales des personnes qui habitent la ville et sans affecter le contexte culturel, économique, sociaux, etc.

Ainsi, le calcul de la résilience de la ville dépend de plusieurs facteurs qui, comme la vulnérabilité, sont reliées aux enjeux et sont très compliqués de calculer. Cependant, on parlera de ville résiliente quand selon le fait qu'une ville soit capable d'absorber l'impact d'un aléa concret.

Finalement, on parlera aussi de solutions d'amélioration ou solutions d'habitat résilient pour les solutions qui permettent de maintenir les fonctions principales de la ville en continues et sans interruptions, c'est-à-dire, il est possible pour les habitants de vivre avec la présence d'eau dans la ville.

1.1.5. Causes d'inondations

1.1.5.1. Les averses

Les averses sont souvent des pluies subites et abondantes, lesquelles ont une courte durée. Ainsi, quand les averses se produisent sur dans les villes, elles supposent une demande spéciale aux systèmes de drainage de la ville, lesquels doivent lutter contre une importante quantité d'eau en peu temps.

Ainsi, les averses peuvent causer des inondations dans certaines parties des villes dans le cas où celles-ci ne soient pas préparées pour les affronter. Cependant, même si les averses ne sont pas dans la ville, il est également possible que des inondations se forment à partir de la formation de petites rivières formées à côté de la ville dans des zones caractérisées à fortes pentes.

1.1.5.2. Les crues dans le fleuve

Un autre type d'inondation est celui causé par les crues des fleuves. Les tempêtes ou les pluies abondantes des montagnes ainsi qu'au niveau du cours d'eau d'un fleuve en dehors de la ville, sont des phénomènes qui causent un accroissement de l'eau du fleuve. Ainsi, cette crue d'eau peut provoquer le débordement du fleuve dans la ville.

Ce type d'inondation, qui est le plus fréquent, n'est pas soudain. Ainsi, les habitants des régions concernées peuvent souvent observer la montée des eaux jusqu'à ce qu'ils soient contraints de quitter les lieux. Cependant, plusieurs cas d'inondation par crues sont connus causant de graves montants en termes de dégâts, et même de vies humaines.

On trouve la crue du fleuve du Mississippi en 1927, qui a été la plus meurtrière par rapport à ce fleuve, où 66 000 kilomètres carrés sur sept États ont été inondés. Autrement, 246 personnes périrent et 650 000 se retrouvèrent sans abri. (Universalis)



Image 2. Crue du fleuve Mississippi l'an 1927

Ainsi, il est également possible que le débordement des affluents du fleuve se fasse à partir des pluies et des tempêtes. Par conséquent, nous avons constaté que les crues sont un problème important à prévenir dans les villes qui sont traversées par un fleuve.

1.1.5.3. Le phénomène de la submersion marine

La submersion marine désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques extrêmes.

Ce fait cause la remontée de l'eau de la mer, qui peut causer différents types d'inondation.

En fait, ce phénomène peut causer trois types différents d'inondations :

- *Débordement* : Inondation causée par la remontée de l'eau, qui déborde la côte.
- *Franchissement* : Inondation par franchissement des murs qui sont situés au bord de la mer
- *Rupture des ouvrages* : Inondation de la ville par rupture des ouvrages qui ont pour rôle d'empêcher l'eau de passer.



Image 3. Phénomène de la submersion marine



Image 4. Inondation par débordement, franchissement et rupture, respectivement.

1.1.6. Intériorisation du risque des inondations en milieu urbain

Il existe un constat précisant que la plupart des personnes qui habitent dans une zone susceptible d'inondation méconnaissent souvent le risque avant d'y habiter. Plus concrètement, une étude a été réalisée sur les inondations près de la ville de Londres en automne de l'année 2000, qui affirme que " 50% des personnes qui habitaient en zones présentant un risque d'inondation méconnaissaient le risque, et seulement 10% se sont préparés pour affronter l'inondation" (Roger Evans, 2002).

Autrement, plusieurs bâtiments dans les villes sont menacés et beaucoup sont situés près de mesures de défense comme les digues ou les murs anti-inondation. Ces défenses aident à empêcher l'eau de passer dans la ville en cas de remontée de l'eau, mais une rupture de l'ouvrage, comme nous l'avons vu antérieurement, peut-être dévastateur pour les bâtiments qui sont situés près des défenses, cela étant dû à l'effet de seuil.

Ainsi, plusieurs défenses protègent les villes des inondations, cela a pour effet néfaste que les habitants oublient l'existence d'un risque potentiel d'inondation. Il faut, pourtant, prendre conscience du risque actuel d'inondation et des enjeux qui sont en jeu pour faire face aux inondations.

1.2. Les précédents

1.2.1. Les catastrophes à analyser

Pour atteindre le but du projet, quelques villes qui ont souffert des graves inondations depuis 2000, seront analysées pendant la première partie du projet. Ainsi, les villes choisies sont, par ordre chronologique : Londres, Prague, la Nouvelle-Orléans, Bangkok, et New York lors des années 2000, 2002, 2005, 2011 et 2012, respectivement.

Les villes mentionnées seront analysées à partir des défenses dont elles ont été les cibles, l'impact des inondations et, finalement, les solutions d'amélioration utilisées après la

catastrophe. Cette analyse permettra de faire une comparaison de l'effet des défenses pour chaque cas d'inondation, par rapport aux périodes de retour de chaque événement.

Autrement, pour bien voir l'impact des inondations sur les réseaux techniques, et donc la réponse des défenses sur les villes affectés, on verra que l'analyse est divisée selon si l'échelle affectée est le bâtiment, le quartier, la ville, la zone métropolitaine de la ville, ou les alentours de la ville.

1.2.2. Justification des villes choisies

D'abord, une des inondations choisies est celle qui est arrivée en 2000 à Londres. Ainsi, on trouve comme dans plusieurs autres villes européennes, un climat pluvieux, une densité élevée dans la ville et un fleuve qui traverse la ville, la Tamise. L'analyse des inondations de la ville de Londres sert, donc, comme exemple de réponse d'une ville européenne face aux inondations.

D'un autre côté, on analysera les inondations dans la ville de Prague en 2002. Cette expérience résulte intéressante due à la période de retour de l'événement, qui était de 500 ans (OCDE). Ainsi, ce période de retour signifie les pires tempêtes connues dans la ville de Prague, qu'elle n'avait pas connue auparavant.

Autrement, les inondations de la ville de la Nouvelle-Orléans en 2005 dues à l'ouragan Katrina se sont faites connues dans le monde pour sa gravité. L'analyse de la ville de la Nouvelle-Orléans montre, donc, la défaillance des défenses d'une ville du Nouveau- continent théoriquement préparée pour faire face aux inondations. Il sera aussi possible de voir au sein de l'événement les problèmes qui seront rencontrés par rapport à la gestion de crise en cas d'une grave inondation.

Néanmoins, les tempêtes qui ont atteints toute la Thaïlande en 2011, et surtout à la ville de Bangkok et ses alentours, qui a le comptant 12,6% de la population de la Thaïlande et plusieurs usines de production de voitures et de technologie. Ainsi, l'importance de l'analyse des inondations subies à Bangkok est fonction de l'arrêt économique du pays dû à la grande densité et à l'importante production de la ville, qui s'est retrouvée noyée en causant de graves pertes économiques.

Finalement, on analysera aussi les inondations de la ville de New York dues à l'ouragan Sandy en 2012. La ville de New York représente une ville avec des enjeux considérables dus à sa forte densité de population et à ses hautes constructions, et il faut savoir que la ville est très exposée à des menaces provenant des fortes tempêtes, de la mer et du fleuve Upson impactant dangereusement la ville.

1.2.3. L'importance de diviser l'étude selon les échelles de la ville

Avant d'aborder l'analyse des différentes villes mentionnées, il faut expliquer que l'analyse des défenses, l'impact des inondations sur la ville, et les solutions d'amélioration utilisées après des inondations, ont été séparés en diverses échelles.

Ce fait est dû aux différentes défenses et les solutions d'amélioration proposées de la ville, qui ont pour rôle de protéger la ville à partir de mesures qui abordent une plus grande ou une plus petite échelle. Autrement dit, les impacts sur la ville sont aussi différents en fonction de la portée de l'inondation. Ainsi, pour bien voir l'impact des inondations sur les réseaux techniques et les infrastructures de la ville par rapport aux défenses utilisées, il faudra discerner parmi l'échelle de la ville affectée.

Par conséquent, les échelles utilisées lors de l'étude seront :

- *Bâtiment* : Il s'agira de voir l'impact direct des inondations sur l'échelle d'un bâtiment et son intérieur.
- *Quartier* : L'échelle du quartier comprendra la taille d'un quartier similaire à la taille d'un arrondissement de la ville de Paris.
- *La ville* : Il s'agira de voir les impacts et les défenses sur l'ensemble de la ville.
- *La zone métropolitaine* : On comptera dans cette échelle ce qui affecte l'ensemble de la ville et les villes qui sont situées juste à côté.
- *Les alentours de la ville* : On les repère au niveau du deuxième cordon de la ville situé autour de la ville de Bangkok.

2. RETOUR D'EXPERIENCE DE CATASTROPHES MAJEURES

2.1 Les catastrophes

2.1.1. Londres (2000)

2.1.1.1. L'événement

En automne de l'année 2000, le Royaume-Uni a expérimenté le pire temps en 270 ans. Avec l'Angleterre et le pays de Galles, 10.000 propriétés se retrouvèrent sous l'eau pendant beaucoup de temps et plusieurs fois.

Par ailleurs, on compte que près de 280.000 propriétés ont été sauvées grâce aux défenses contre l'inondation. Cependant, on considère l'estimation du coût des dommages causés de 1.3 billion de livre.

On peut voir dans l'image 7, comment les zones les plus affectées par les fortes pluies furent les zones aux alentours de Londres, et au nord du pays, qui ont subi le phénomène de tempête avec une période de retour de plus de 200 ans.

Ainsi, il est possible de voir les zones de la ville de Londres touchées par les fortes précipitations, pour une **période de retour comprise entre 100 et 200 ans**.

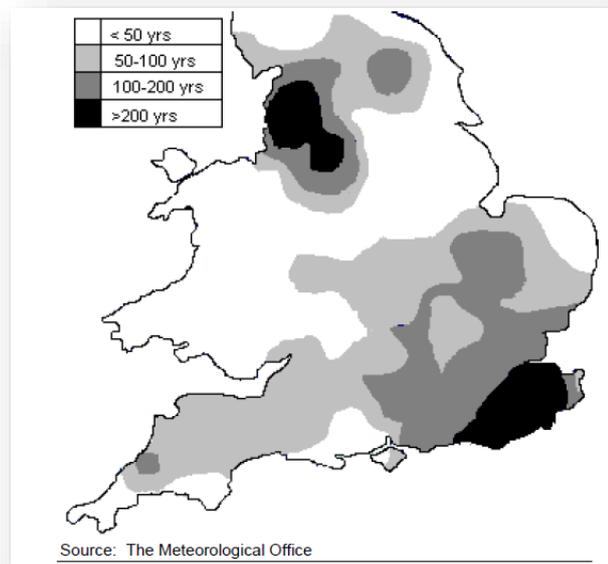


Image 5. Montre les zones plus affectées lors des tempêtes d'automne 2000.

2.1.1.2. Défenses et sa réponse lors des inondations

2.1.1.2.1. La ville de Londres

D'abord, par rapport à des mesures qui protègent l'échelle de la ville de Londres, on trouve la barrière du fleuve Thames comme la plus importante mesure.

La barrière du Thames offre une protection pour près de 420.000 propriétés de Londres avec un risque d'être inondées. D'abord, la barrière a pour rôle principal d'empêcher l'eau de passer lorsque les crues des affluents et du fleuve interviennent. Il faut dire aussi que la barrière n'est pas capable d'éviter le phénomène de submersion marine.

Cependant, elle peut aider à éviter une grande remonte d'eau qui pourrait arriver si les deux phénomènes, crues d'eau et submersion marine, avaient lieu.

Ainsi, en fermant les portes de la barrière, il est possible de séparer les deux phénomènes, en évitant une remontée plus importante des eaux. Finalement, il faut dire qu' "avec la barrière, la probabilité annuelle d'une inondation touchant la ville de Londres est de seulement 0.05%" (Roger Evans, 2002). (Il faut dire, qu'entre 2000 et 2001, qui est le laps de temps que l'on analyse, la barrière a été fermée plusieurs fois. Plus concrètement, elle a été fermée 16 fois due à la submersion marine, lorsqu'elle a été fermée 8 fois due à la crue des affluents¹.



Image 6. Barrière du fleuve Thames

Ainsi, il faut dire que les dommages les plus considérables de la ville de Londres, seraient les dommages causés pour un débordement du fleuve Thames, donc avant la construction de la barrière du Thames une surface de 116 km² était déjà exposée (au) risque.

Autrement, les études qui affirment que, sans la barrière de la Tamise et par une tempête avec un période de retour de 100 ans, près de 420.000 propriétés seraient vulnérables au risque d'inondation. Ce fait signifie que, sans tenir compte des importants enjeux humains, il existerait, par conséquent une valeur de 80 billions de livres. Cependant, la barrière du fleuve Thames, qui a été conçue pour une catastrophe qui a lieu une fois chaque 500 ans, cela a permis la réduction de sa vulnérabilité jusqu'à aujourd'hui.

Toutefois, chaque année, une estimation montre que l'eau monte de 6 mm, par rapport au niveau moyen de la mer. Ce fait démontre qu'il faudra augmenter le niveau de la barrière dans le futur. Il faudrait considérer qu'en 2030 une estimation sera à prendre en compte et elle correspondrait au fait que la barrière devra être améliorée avec un coût de près de 4 milliards de livres. (Roger Evans, 2002)

Autrement, en ce qui concerne l'impact des inondations en 2000 au sein de la ville de Londres, on peut souligner que la zone métropolitaine de la ville et ses alentours furent les espaces qui connurent les plus forts impacts dus aux inondations.

2.1.1.2.1 La zone métropolitaine de la ville

D'un autre côté, en ce qui concerne à la zone métropolitaine de la ville, on trouve d'abord qu'il existe plusieurs barrières le long du fleuve Thames. Ces barrières ont le même objectif que la barrière Thames. D'abord, elles se ferment quand le phénomène des crues d'eau arrive. Autrement dit, en cas d'un phénomène de submersion marine en même temps que les crues d'eau, elles empêcheraient aussi que ces deux phénomènes s'additionnent.

¹ Voir Annexe I, défenses de Londres.

Il est possible de voir dans l'image suivante la situation des barrières qui sont localisées aux alentours de Londres ainsi que leur situation géographique². À travers ce document il est possible de voir également l'exposition de la ville au risque d'inondation, surtout en ce qui concerne l'aléa de submersion marine :

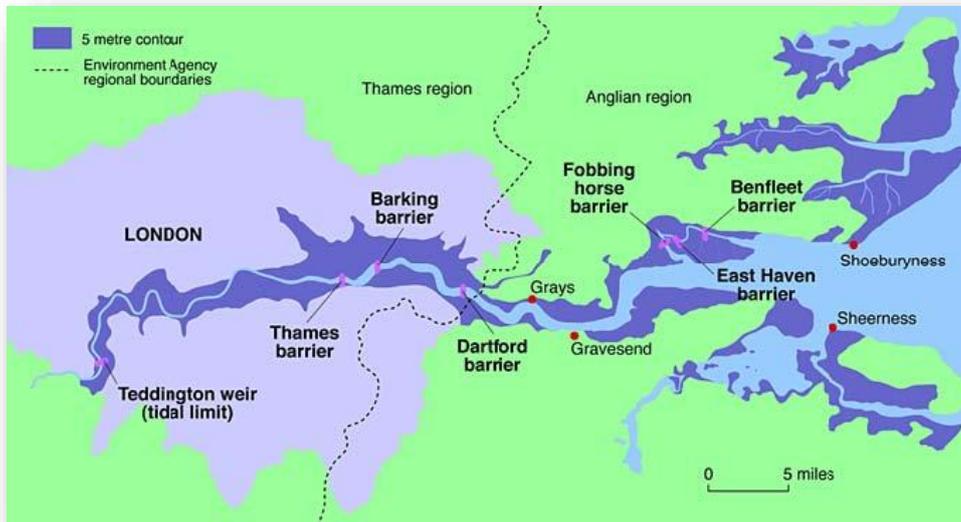


Image 9. Risque d'inondation et barrières à la zone métropolitaine de Londres.

Cependant, ces mesures n'ont pas été capables d'empêcher l'eau de couler dans la ville, de ce fait les barrières ont été débordées par l'eau lors des inondations, en causant l'inondation de 360 bâtiments³.

En ce qui concerne les **réseaux d'eau**, plusieurs compagnies d'eau ont eu des problèmes avec la distribution d'eau en raison de coupures d'électricité et la pollution des eaux souterraines ou de l'eau d'inondation. Des problèmes sont apparus quand il y avait des coupures de courant en affectant le procès de traitement de l'eau, donc beaucoup de petites installations n'ont pas été fournies avec des générateurs électriques de secours.

Par conséquent, un nombre limité d'entreprises ont été obligées à "faire bouillir l'eau", pour éliminer les bactéries, et prévenir les clients, lorsque d'autres ont arrêté le traitement d'eau par précaution. Il faut dire qu'il n'existe pas tellement de connaissances de cas graves de pollution. (John Harman, 2001).

Autrement, **le plus grand problème était l'inondation des égouts**, où le degré d'inondation était supérieur en ce qui concerne l'intensité et la durée des précipitations. Par conséquent, les égouts ne pouvaient pas fonctionner comme cela était prévu. Un certain nombre de stations d'épuration des eaux usées ont été sévèrement inondées. Par conséquent, le traitement a été réduit à la moitié.

² Pour en savoir plus par rapport aux défenses et l'impact, regardez "Les défenses et l'impact à la zone métropolitaine et aux alentours de la ville" dans l'annexe I.

2.1.1.2.2 Les alentours de la ville

Comme on a vu antérieurement, les zones plus touchées où les tempêtes ont été les plus fortes étaient au sud de la ville de Londres. Par conséquent, on trouvera dans cet espace une cible facile pour les tempêtes.

Autrement, des zones ont compté aussi avec différentes défenses pour faire face aux tempêtes. De la même façon que pour les villes qui sont situées au sein de la zone métropolitaine de Londres, on trouvera des barrières anti-inondation situées dans les fleuves. Cependant, la plupart de ces barrières ont comme fonction principale la régulation du débit du fleuve à partir de zones de stockage.

La capacité maximale des réservoirs est de 5,8 millions de m³, avec une profondeur de 4 m. Ainsi, le volume maximal qui peut être stocké dans le réservoir correspond à environ 15% du volume d'une crue avec une **période de retour de 100 ans**.

Toutefois, les alentours de la ville de Londres ont été vraiment touchés par les tempêtes d'automne de l'année 2000. Lors de ces tempêtes, des zones furent inondées dans l'ensemble du pays. Cependant, on trouve un plus grand impact dans les zones situées à l'est de la ville de Londres et, surtout, au sud de la ville.

Ces inondations localisées au sud du pays, ont affecté gravement les **réseaux de transport**, qui ont subi une défaillance généralisée au niveau des routes, des autoroutes et les réseaux de train, due à l'inondation de plusieurs villes.

En ce qui concerne les **réseaux de train**, il y avait plusieurs stations fermées dues aux inondations. Aussi, il y avait des inondations qui ont causé des accidents, en aggravant la situation. De fait, la principale cause d'interruption a été l'accident cause d'un accident ferroviaire à Hatfield le 17 Octobre 2000. Le montant de dégâts estimé pour couvrir la réparation de l'infrastructure, les retards et la compensation par les inondations a été de 20 million de livres. (John Harman, 2001)



Image 10. Les alentours de la ville de Londres plus menacés



Image 81. Station en Lewes, noyée lors des inondations de l'an 2000.



Image 8. Routes noyées près de Berkshire

2.1.1.2.3 Les bâtiments

Plusieurs mesures ont été utilisées pendant les inondations en 2000. Ces mesures ont aidé à protéger quelques bâtiments. Particulièrement, ces bâtiments qui ont une valeur historique. Ainsi, on verra par la suite les différentes défenses qui ont empêché l'eau de passer dans les bâtiments en cas d'urgence.

D'abord, on trouve des coussins qui sont remplis d'un matériel très absorbant. Ils sont légers et faciles à déplacer. Ainsi, on peut les situer facilement dans une position et sont prêts pour faire face à une inondation. En ce qui concerne le fonctionnement des coussins, en premier lieu, il s'agit d'absorber toute l'eau qui essaye de passer dans les bâtiments. Ensuite, une fois remplis d'eau, ils forment une barrière qui empêche l'eau de passer. On peut voir le fonctionnement dans les images suivantes.



Image 93. Montre le fonctionnement des coussins absorbants

Autrement, d'autres systèmes de défense ont été utilisés. D'abord, faire un mur permanent avec des matériaux imperméables semble l'option plus facile. Cependant, faire un mur permanent sans affecter esthétiquement l'infrastructure des bâtiments est souvent difficile. Ainsi, on peut voir dans l'image 19 un bâtiment qui compte avec un mur anti-inondation où sa hauteur a été augmentée grâce à un verre trempé.

Par conséquent, ce bâtiment, qui est situé au bord du fleuve Thames au sein de la zone de Hammersmith (à l'ouest de Londres), est capable d'empêcher l'eau de passer en cas d'une certaine crue.



Image 14. Mur anti-inondation situé au bord du fleuve Thames.

D'un autre côté, il est possible aussi d'utiliser des barrières mobiles. Ces barrières sont faciles à installer en cas de danger d'inondation et aussi faciles de retirer après le danger. Cependant, elles ont besoin d'une adaptation préalable qui dépend des dimensions qu'on veut couvrir.

Toutefois, il faut dire que ces mesures "seulement celles qui peuvent aider l'empêchement de l'eau de passer pendant quelques heures". Par conséquent, elles ne sont utiles qu'en cas d'urgence. (English Heritage, 2004).

De plus, en ce qui concerne l'impact des inondations sur les bâtiments, on peut dire qu'il n'y a pas eu un impact considérable sur la structure du bâtiment, donc il n'y avait pas d'effet de seuil à l'échelle des villes, mais au niveau des biens et des réseaux intérieurs qui se sont trouvés inondés et inutilisables⁴.



Image 15. Exemple de barrières mobiles

2.1.1.2.4 Les quartiers

En premier lieu, il faudra dire que les quartiers de la ville de Londres n'ont pas de défenses permanentes pour faire face à une inondation dans la ville. Autrement, les mesures anti-inondation temporaires n'ont pas été utilisées dernièrement, donc la ville n'était pas vraiment menacée par une inondation. Cependant, on analysera les défenses utilisées dans les petites villes aux alentours de la ville de Londres, en considérant que la taille de ces villes est similaire à celle d'un quartier de Londres. Ainsi, on envisagera que les mesures utilisées pour faire face à une inondation dans les villes affectées par les inondations, pourraient également être utilisées dans les quartiers de la ville de Londres, en cas de menace d'inondation.

Ainsi, en ce qui concerne les défenses anti-inondation au niveau des quartiers, on trouve qu'il existe des protections qui peuvent aider à empêcher l'eau de passer dans le quartier, au moins, pendant quelques heures.

Cependant, il faut dire que ces défenses sont surtout mises en application en cas d'urgence, donc dans les quartiers il est difficile de trouver des défenses anti-inondation permanentes. Ainsi, il est aussi important de dire que la plupart des défenses sont situées dans des quartiers qui ont une grande valeur, ou plutôt, une importance historique qui peut être difficile de



Image 16. Barrière temporaire anti-inondation aux villes d'Upton (à gauche) et Bewley (à droite)

⁴ Le dommage intérieur de chaque bâtiment dépend directement de la hauteur de l'eau dans le bâtiment dans chaque cas. On peut voir les dommages selon la hauteur à l'annexe I

préservé en cas de dégradation. Ensuite, on peut voir des barrières faites à partir de matériaux imperméables ("*flexible frame*") et barrières métalliques aluminium qui ont pour nature de protéger les villes :

Ainsi, comme on l'a dit antérieurement, ces solutions sont seulement applicables en cas d'urgence et elles ne fournissent pas une défense globale à toute la ville mais à diverses zones.

En ce qui concerne l'impact sur les villes et aux alentours de la ville de Londres, qui sont analysées comme quartiers due à leur taille, on peut dire que l'impact de l'inondation a impliqué les problèmes déjà mentionnés qui aussi affectaient la zone métropolitaine de la ville⁵.

2.1.2 Prague (2002)

2.1.2.1 L'événement

Prague, avec 2.300.000 habitants est la capitale et le centre économique de la République Tchèque.

Dans la cité traverse le fleuve Vlatva, qui est le fleuve le plus long de la République Tchèque. En 2002, le fleuve Vlatva a débordé en causant l'inondation de la ville de Prague. D'autres parties du centre de la République Tchèque ont été également affectées, occasionnant 17 morts, l'évacuation de 50.000 personnes et 3,5 milliard d'euros de dommages.



Image 17. La ville de Prague lors des inondations de l'an 2002

A Prague, le coût économique des dégâts est évalué à plus d'un milliard d'euros, le quartier populaire de Karlin a été particulièrement touché, contrairement au centre-ville historique.

Les tempêtes, qui s'estiment **d'une période de retour de 500 ans**, indiquent l'inondation comme le pire événement connu dans l'histoire de la ville de Prague. (Srcl.P, Stehlik J ; 2003)

2.1.2.2 Défenses et sa réponse lors des inondations

2.1.2.2.1 La ville de Prague et sa zone métropolitaine

La ville de Prague et sa zone métropolitaine sont notamment menacées par le fleuve Vlatva et leurs affluents. Ainsi, tous les efforts se concentrent afin d'empêcher l'eau de déborder du fleuve avec plusieurs mesures de régulation de l'eau aux alentours de la ville.

⁵ Pour voir avec plus de détail les problèmes de quelques villes analysées voir l'annexe I.

Cependant, dans la ville de Prague on peut trouver une dénivellation des bâtiments par rapport au niveau moyen du fleuve. Cette dénivellation permet au fleuve de monter de quelques mètres avant de déborder et d'inonder la ville, c'est-à-dire, elle fonctionne comme une digue.

Autrement dit, cette mesure est la dernière ligne de défense de la ville, donc son débordement implique l'inondation de la ville.



Image 18. Dénivellation par rapport au niveau du sol

En ce qui concerne l'impact des inondations sur la ville, on recense le fait que le métro a été notamment affecté. Plusieurs tronçons, dont 17 stations (sur les 52 stations que comptait ce réseau), furent endommagés. Les trois lignes furent alors affectées. Ce n'est que sept mois plus tard (fin mars 2003) que toutes les stations furent ouvertes. Les dommages provoqués par l'inondation coûtèrent environ 250 millions d'euros (Guth, 2010).



Image 19. Metro de Prague affecté per l'inondation

Autrement, il y avait aussi des problèmes avec le **réseau d'assainissement**. Les dommages sur les réseaux d'eau ont été élevés. Par conséquence, les autorités ne furent pas capables d'annoncer aux habitants si l'eau était encore potable ou non. Ainsi, la population n'a pu pas boire l'eau qui arrivait chez elle.

Toutefois, des problèmes avec les **réseaux de communication** sont apparus, donc plusieurs routes et autoroutes de la ville ont été inondées. Ainsi, plusieurs rues se retrouvèrent noyées, en empêchant les voitures de circuler. Néanmoins, l'aéroport de la ville de Prague a eu problèmes pour opérer avec normalité, dû au manque de carburant pour les avions. (Ivana Vonderková, 2002)



Image 20. Inondation des réseaux d'eau.

2.1.2.2 Les alentours de la ville

Parmi les défenses aux alentours de la ville de Prague, on trouve le réservoir Slapy. Ce réservoir, qui a une hauteur de 35 mètres par rapport au niveau du fleuve, offre un approvisionnement d'eau et d'électricité à la ville de Prague.



Image 101. Réservoir Slapy

Autrement, elle aide aussi comme un outil régulateur vers les eaux du fleuve Vlatva. En effet, elle a aidé à atténuer la catastrophe de 2002 sur la ville. Cependant, on prévoit que le réservoir n'est capable d'affronter que les inondations avec une **période de retour de 20 ans**.

Autrement, les alentours de la ville de Prague comptent avec des digues de terre pour affronter une possible inondation. Ainsi, les pelleteuses ont été utilisées lors des inondations pour couvrir un éventuel trou à la digue.

Autrement, les portes anti-inondations qui se ferment en cas de crue du fleuve avec des pompes qui jettent à l'eau sur le fleuve sont aussi mises en œuvre pour faire face aux inondations dans les alentours de la ville.



Image 22. Digue de terre près de la ville de Melnik

Il est possible de voir un exemple dans les images suivantes près de la ville de Liben :



Image 23. Porte avec pompes anti-inondation près de la ville de Liben

Par rapport à l'impact des inondations, on trouve deux vagues de tempêtes qui ont affecté les villes aux alentours de la ville, et surtout, les villes Pilsen et Budweis. Ainsi, la première tempête a causé des inondations avec un période de retour d'un seuil de 10-20 ans, jusqu'à 100 ans sur plusieurs fleuves. Autrement, après la deuxième tempête plusieurs fleuves ont dépassé les inondations avec une période de retour de 100 ans, même quelques fleuves ont atteint une période de retour de 1000 ans. (Srcl.P, Stehlik J ; 2003)

Ainsi, due à la gravité des inondations, 100 villages et villes ont été entièrement inondés lorsque 350 villes et villages de d'autres endroits ont été partialement inondés, causant 17 morts, 220

millions de personnes déplacées et un montant de dégâts de 3 milliards d'euros. (Srcl.P, Stehlik J ; 2003)

2.1.2.2.3 Les bâtiments

En ce qui concerne les bâtiments, on trouve un impact notamment important dans les bâtiments du quartier de Karlin, qui est le plus ancien quartier. Ainsi, 1100 maisons de Karlin ont été submergées, dont plusieurs se sont effondrées et il a fallu la démolition d'une quarantaine d'autres. (Jaroslava Gissübelová). Ainsi, il y eu un impact structurel important sur les bâtiments. On peut voir ce fait à partir des images suivantes :



Image 24. Impact sur les bâtiments dans le quartier Karlin

Autrement, l'impact sur les biens qui restaient dans les bâtiments a été également important, en conséquence une hauteur allant jusqu'à "six pieds" (1,8 mètres), par rapport au niveau du sol fut notée. Ainsi, il faut remarquer l'importance de l'inondation des bâtiments, en guise d'endommagements des biens qui se trouvaient au niveau du rez-de-chaussée. (Bloomberg, 2013)

Finalement, il aurait fallu que les bâtiments comptent avec une défense additionnelle pour qu'ils puissent faire face une possible inondation.

2.1.2.2.4 Le quartier

En ce qui concerne l'impact des inondations sur les quartiers de la ville de Prague, on trouve que le plus affecté de Prague a été le quartier de Karlin, qui a été durement touché. En fait, ce quartier était le plus ancien et après les inondations il a été métamorphosé, puisqu'il a de nouveaux bâtiments et des bureaux sur les places où il existait des bâtiments plus anciens et typiques de la ville historique.

Autrement, la circulation par les rues du quartier de Karlin était impossibles, donc les rues ont été entièrement et gravement noyées.



Image 25. Quartier de Karlin noyé

En comparaison, les dommages causés aux bâtiments sont évalués à 600 millions d'euros, les seuls dommages causés aux monuments historiques dépassant les 100 millions d'euros.

Cependant, le centre de la ville historique était protégé grâce à des barrières mobiles. Ce système de barrières mobiles avait commencé à être mis en œuvre en 2000, par l'équipe municipale de l'époque, après les inondations catastrophiques de 1997 (Guth, 2010). C'est pour ce fait que le quartier du centre de la ville n'a pas subi tant de dommages comme le quartier de Karlin.



Image 26 Barrières mobiles à Praga l'an 2002

Un autre exemple de la mise en œuvre de la progression des techniques en matière de renforcement des ouvrages d'art face aux inondations fut le pont Charles. Ce pont est le plus vieux pont de Prague. Il a résisté aux inondations de 2002, alors même que les inondations de 1890, pourtant d'un débit bien inférieur, l'avaient partiellement détruit (Guth, 2010).

2.1.3 La Nouvelle-Orléans (2005)

2.1.3.1 L'évènement

Le 29 août 2005, l'ouragan Katrina toucha la ville de la Nouvelle-Orléans après s'être formé dans les Bahamas. Avec une vitesse de 185-209 km/h, il a touché près de 241000 km². Par conséquence, près de 80% de la surface de ville de la Nouvelle-Orléans fut inondée dont les hauteurs d'eau oscillaient entre 1,82 m et 6,09 m pendant les jours qui suivaient. L'ouragan fut considéré de degré 3 et équivalent à une tempête d'occurrence tous les 400 ans pour le Mississippi Gulf Coast mais seulement d'une tempête chaque **150 ans pour la Nouvelle-Orléans**⁶.



Image 27. Image de l'ouragan Katrina.

Avec 1 330 morts, un montant de dégâts de près de 100 billion de dollars et la destruction de 3 000 maisons, il a été considéré comme le plus grand désastre d'ingénierie civile des Etats-Unis⁷.

2.1.3.2 Défenses et sa réponse lors des inondations

2.1.3.2.1 La ville et la zone métropolitaine de la Nouvelle-Orléans

Comme nous l'avons dit antérieurement, la zone de la Nouvelle-Orléans se trouve entourée d'eau. En effet, on peut trouver le fleuve Mississippi au sud, alors qu'au nord il se trouve le lac Pontchartrain. Il est important de dire qu'à la Nouvelle-Orléans la crainte à l'inondation a été

⁶ Information disponible sur le site :

<http://www.nola.com/hurricane/index.ssf/2013/08/hurricane_katrina_floodwater_d.html>

⁷ Il est possible voir dans l'annexe II la défaillance des défenses lors de l'évènement.

toujours en relation avec le fleuve du Mississippi. Par conséquent, on verra que la plupart des efforts pour éviter les inondations sont au niveau du fleuve.

Autrement, les autres parties de la ville sont moins protégées pour faire face aux inondations et, par conséquent, elles sont plus vulnérables (F.H. Griffis, 2007).

Ces protections contre le fleuve sont notamment les digues, les murs de rétention d'eau, les pompes d'eau et les portes anti-inondations. Les digues sont les défenses préférées alors que les murs de rétention d'eau sont utilisés dans des lieux où la superficie nécessaire à la construction d'une digue est insuffisante. Au total, **il existe 560 km de digues et de murs** (Isabelle Maret et Romain Goeury, 2008).

Autrement, la zone à côté du lac Pontchartrain et les différents chenaux qui sont dans la ville. On peut voir dans l'image suivante les défenses qui étaient mises en place lors des inondations de 2005 causées par l'ouragan Katrina. Ainsi, il est possible de voir les zones où le mur était endommagé et, par conséquent, l'eau coulait à l'intérieur de la ville :

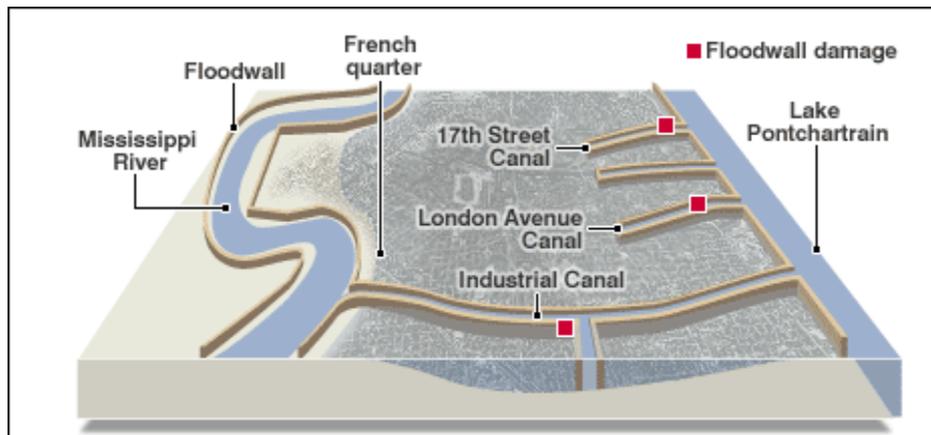


Image 28. Défenses de la ville et la zone métropolitaine de la Nouvelle-Orléans lors des inondations de 2005.

Ainsi, on peut voir que la ville était menacée par différents phénomènes. D'abord, les crues d'eau qui proviennent du fleuve Mississippi peuvent causer une inondation. Autrement, la ville se trouve à côté du lac Pontchartrain, et elle est située en-dessous du niveau du lac. Ainsi, il faut gérer la remontée de l'eau du lac pour éviter les inondations. Finalement, il faut faire attention aussi au débordement des chenaux. En plus, comme peut voir dans l'image 4, il y a des chenaux qui traversent la ville dès le fleuve du Mississippi jusqu'au lac Pontchartrain. Par conséquent, il existe la possibilité d'une crue encore plus grande dans ce chenal en cas d'effet additionnel des deux phénomènes mentionnés, c'est-à-dire, une crue du fleuve avec la remontée d'eau du lac Pontchartrain.

Ensuite, il est possible de voir grâce au document suivant les niveaux de moyennes crues d'eau et de remontées de l'eau du lac Pontchartrain dans deux points de la Nouvelle-Orléans.

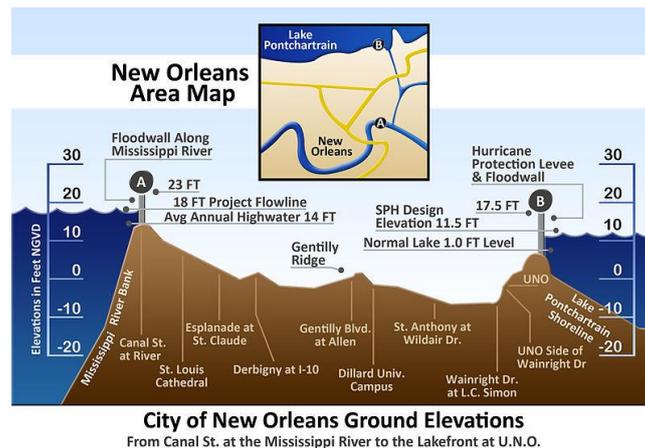


Image 29. Section des défenses à la ville de la Nouvelle Orléans

Autrement, une dernière cause d'inondation peut être celle causée par des intenses pluies. Ainsi, la Nouvelle- Orléans s'est bénéficié de diverses zones humides qui se trouvent aux environs de la ville et qui a pour rôle de stocker l'eau en cas d'averses ou intenses pluies. On peut observer la zone de stockage à l'est de la ville (en couleur vert) dans l'image suivante :

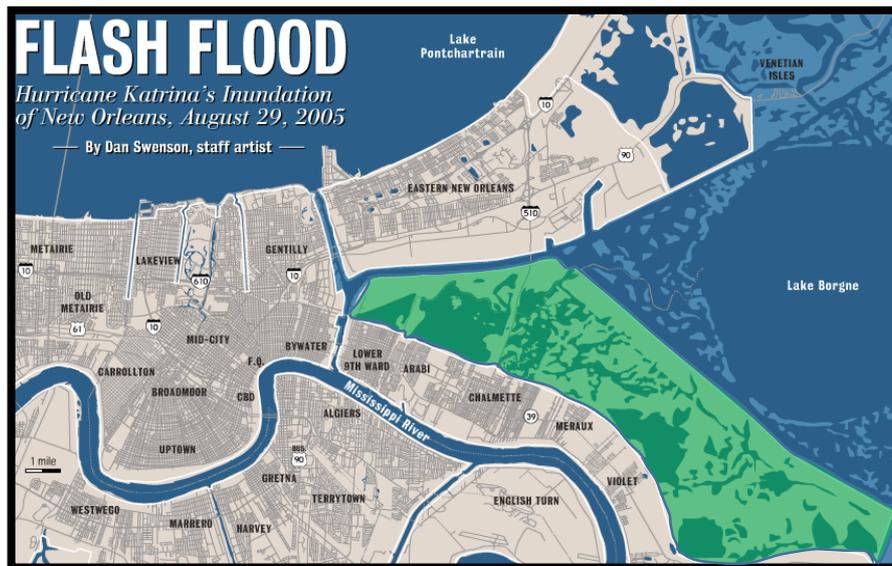


Image 30. Zones de stockage d'eau situées à l'est de la ville

En ce qui concerne l'impact des inondations lors de l'ouragan Katrina en 2005, on trouve que l'impact sur la ville et sur la zone métropolitaine était dévastateur. La plupart de la ville devenait inondable et, par conséquent, il y avait une défaillance de quasiment tous les réseaux techniques.

En premier lieu, on trouve une défaillance généralisée en ce qui concerne au **fournement d'électricité**. En fait, "l'infrastructure électrique de trois États concernés était dévastée, laissant 2,5 millions de consommateurs sans électricité." (Lagadec 2007). Par la suite, la priorité était de remettre en marche les installations critiques. Il faut mentionner l'importance de ce fait, donc

l'électricité était nécessaire pour pouvoir offrir les secours d'urgence aux habitants qui étaient en difficultés.

Autrement, les **zones d'installation de pétrole et de gaz** furent également les conséquences de l'ouragan. Ainsi, "une zone majeure de production, de raffinage, et de réception de navires était sévèrement touchée, et pour une longue période : du 26 août 2005 au 11 janvier 2006. Les effets dominos potentiels sur l'Est américain ont été importants, et il fallait intégrer cette dimension dans les priorités. Cela suppose de nombreux ajustements, dans un environnement très dégradé, sur différents théâtres d'opérations aux exigences contradictoires, et sur une longue période" (Lagadec 2007).

En ce qui concerne le **traitement des eaux**, il y avait problèmes aussi, donc 170 installations de traitement de l'eau potable et 47 unités de traitement des eaux usées furent détruites, en laissant les personnes sans accès à l'eau potable.

D'accord à les **réseaux de télécommunications**, "les installations étaient dévastées. Les réseaux inopérables, entre les milliers d'antennes relais pour les téléphones portables détruites, les dizaines de milliers de poteaux de téléphone brisés, etc. Pour solutionner ce problème, entre autres initiatives, il y avait la mise en œuvre de nouvelles ondes de fréquence. Autrement, il faut mentionner aussi la mise à disposition de protocoles Internet par une petite société par l'autorité des télécommunications." (Lagadec 2007).

En ce qui concerne **les communications de radio**, elles ont été détruites aussi par l'ouragan Katrina. Ainsi, le système de radio de 800 MHz de l'Etat de Louisiane, qui devait être la clé de la communication, était inutilisable. Ce fait était important, donc les réparations ont été retardées pour plusieurs jours et, pour ce motif, le sauvetage a été encore plus difficile.

En ce qui concerne **les réseaux de transport**, elles ont été complètement noyées d'eau avec une profondeur allant à plus de 10 pieds, c'est-à-dire, plus de 3 mètres de profondeur, dans les zones les plus affectées.

Ainsi, plusieurs quartiers de la ville furent noyés, rendant la connexion des réseaux de transport entre eux très difficile. À cause de ce fait, le sauvetage des victimes de l'inondation était encore plus difficile et le support médical connaissait des contraintes en alimentation.



Image 31. La Nouvelle-Orléans noyée le 2 septembre 2005

2.1.3.2.2 Les alentours de la ville

Comme nous l'avons vu précédemment, la ville est surtout menacée par les crues qui proviennent du fleuve Mississippi et, autrement, elle est menacée pour la remontée du lac Pontchartrain, qui se trouve à côté. Cependant, aux alentours de la ville on trouve que la

principale menace se trouve sur le fleuve Mississippi, donc ces zones sont situées à l'intérieur de la ville⁸.

Ainsi, les efforts dans les alentours de la ville se concentrent dans la prévention des crues du fleuve Mississippi. Par conséquent, plusieurs levées sont construites au bord du fleuve pour faire face aux crues⁹.

Autrement, il existe aussi d'autres zones humides qui ont déjà été utilisées comme zones de stockage d'eau en cas de crue du fleuve. Ces zones de stockage d'eau comptent avec près de 96 km² (60 milles) de surface (Mark Schleifstein, 2013)

2.1.3.2.3 Les quartiers de la ville

Pour résoudre des problèmes d'évacuation des eaux dans les quartiers, la Nouvelle-Orléans a un vaste ensemble de canaux de drainage, associé à près de 100 stations de pompage, qui fournissent une deuxième ligne de défense devant les inondations¹⁰.

Cependant, ce **système de drainage** a été conçu pour faire face à des tempêtes tropicales, et non pour compenser une inondation majeure. Ainsi, l'ensemble de stations de pompage n'est prévu que pour affronter des épisodes pluvieux ayant une **période de retour de 10 ans**, les parties les plus anciennes ayant une capacité moindre (Maret et Goeury, 2008).

Ainsi, le système n'était pas capable d'affronter les inondations causées par l'ouragan Katrina, donc il suffit d'une pluie intense (de plus de 5 cm/h) pour inonder quelques rues de la ville.

En ce qui concerne le **système de pompage**, il s'agit d'envoyer l'eau qui s'accumule sur les murs, où l'eau qui a coulé dans la ville, dans le lac Pontchartrain, situé à côté de la ville. Pour atteindre ce but, les pompes utilisent les chenaux de drainage.

Autrement, par rapport au système de pompage lors des inondations, il a été réduit à 16%. Ce fait était dû par divers motifs comme la submersion des pompes, l'absence des opérateurs et la rupture du courant électrique. Cependant, même à plein régime le système n'aurait pas été préparé pour faire face à l'inondation (Maret et Goeury, 2008).



Image 32. La rue Maple Street, au sud de la ville, inondé.

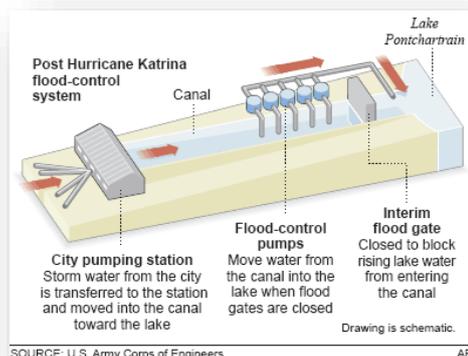


Image 33. Fonctionnement des stations de pompage

⁸ Pour mieux comprendre pourquoi les alentours de la ville n'ont pas été touchés pour les inondations de l'an 2005, regardez : "L'impact sur les alentours de la ville" à l'annexe II.

⁹ Il est possible voir une image avec les défenses dans "L'impact sur les alentours de la ville" dans l'annexe II.

¹⁰ Pour mieux comprendre l'impact sur les quartiers et les bâtiments de la ville, regardez : "Impact sur les quartiers et les bâtiments de la ville" à l'annexe II.

2.1.3.2.4 Les bâtiments

En ce qui concerne les défenses des bâtiments, ils étaient préparés pour affronter de petites inondations causées par des pluies à la zone intérieure des levées qui pouvaient produire des petites inondations localisées.

Autrement, il faut dire qu'ils n'étaient pas préparés pour lutter contre une inondation comme celle qui fut provoquée par l'ouragan Katrina.

Ainsi, les bâtiments étaient construits entre 1 et 2 pieds (parmi 0,3 et 0,6 mètres) au-dessus du niveau du sol pour éviter ces petites inondations. Cette mesure constitue la défense de résilience.

Ainsi, les petites inondations causées par les pluies seulement affectaient les zones qui n'avaient pas cette hauteur, en causant de petits dommages. Postérieurement, elles étaient drainées par des pompes (Overview of Hurricane Katrina in the New Orléans Area, 2005). Cependant, ces mesures n'ont été capables d'empêcher l'eau de couler dans les bâtiments lors des inondations en 2005, en causant des graves dommages à l'intérieur des bâtiments¹¹.



Image 34. Les bâtiments se trouvaient situées 1-2 pieds au-dessus du niveau de la terre.

2.1.4 Bangkok (2011)

2.1.4.1 L'évènement

L'année 2011 fut difficile pour la Thaïlande dû à l'énorme dommage causé par les pires inondations en cinquante ans. La pire saison a été entre le mois de juillet et le mois de décembre. Les inondations ont commencé au nord du pays pendant le mois de juillet, et ont continué en descendant au sud du pays. Pendant ce temps, 65 sur 77 provinces ont été touchées pour des tempêtes avec une estimation du coût des dommages pour le World Bank de 45,7 milliards de dollars. Ce fait convertit ces inondations en une des cinq pires catastrophes naturelles de l'histoire moderne. (Impact Forecasting LLC, 2012).

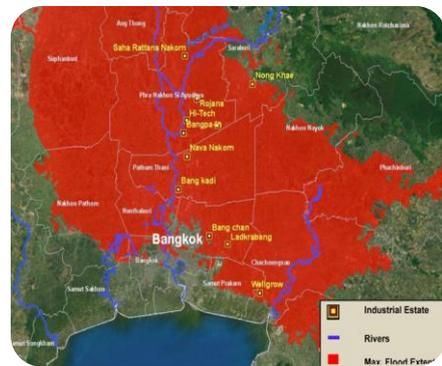


Image 35. Zones affectées près de Bangkok pour les inondations de 2011

À Bangkok, les inondations sont arrivées lors du mois d'octobre. Comme on peut voir sur à côté, la ville de Bangkok voit le fleuve Chao Phraya couler et plusieurs affluents qui passent à travers elle et viennent du nord du pays. Ainsi, les inondations de 2011 à Bangkok ont été surtout causées par les pluies du nord du pays. **Ces pluies ont causé les crues du fleuve Chao Phraya et ses affluents**, qui finalement ont débordés les berges¹².

Le "Danish Hydrological Institute (DHI)" estime que les tempêtes de 2011 à Bangkok **ont mis en évidence une intensité relié à une période de retour de 100 ans**. (Impact Forecasting LL, 2012).

¹¹ Pour en savoir plus des dommages sur les bâtiments, regardez : "L'impact sur les bâtiments à l'annexe II".

¹² Pour voir l'impact détaillé sur l'ensemble du pays regardez "L'évènement" dans l'annexe III.

2.1.4.2 Défenses et sa réponse lors des inondations.

2.1.4.2.1 La ville et la zone métropolitaine de Bangkok

Bangkok a investi massivement dans son infrastructure de drainage de l'eau après 1983, lorsque d'importantes inondations ont frappé la ville. Depuis lors, des canaux et des tunnels ont été creusés, des bassins de rétention conçus, et les stations de pompage construites pour aider à drainer l'eau.

Le système de drainage de l'eau est basé sur un système de polder, où les digues sont construites autour de la zone métropolitaine, et les eaux de crue sont dirigées vers la mer par des pompes, canaux de drainage de l'eau et des tunnels. Les systèmes de polders ont été développés principalement à Bangkok intérieure, du côté ouest de la ville, et la côte orientale. (Jon Fernquest, 2011)

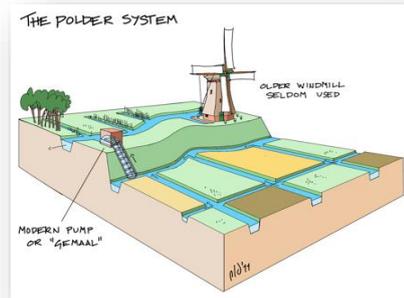


Image 36. Fonctionnement du système de polder

“La majorité de la ville est protégée par un vaste réseau de murs, de digues, de canaux et de tunnels de drainage utilisé pour gérer le flux d’eau. Seuls certains quartiers périphériques de banlieue ne bénéficient pas de ces défenses” (Thaïlande-Fr.com). Mais, “les systèmes de digues, de canalisation de cette zone ne suffisent pas à évacuer les eaux.” (Sylvain Kahn, 2011). Le fleuve Chao Phraya, accusant un niveau plus élevé que la normale, a généré quelques inondations dans zones situées sur ses rives. On peut voir dans l’image suivant les défenses de Bangkok et ses portées l’1 de Novembre de 2011.¹³



Image 37. Montre les défenses de la ville pour faire face une inondation Document écrit pour Jon Fernquest, mentionné à la bibliographie au-dessous.

¹³ Il est possible voir un bilan détaillé des défenses existantes dans la ville à l’annexe III.

Autrement, les défenses mentionnées n'ont pas été suffisantes pour empêcher l'eau de couler dans la ville lors des inondations de 2011¹⁴, causant plusieurs impacts sur la ville de Bangkok et ses alentours.

D'abord, on trouve que les défaillances et les problèmes qui ont eu lieu dans la ville, étaient surtout causés par l'impact des inondations dans plusieurs quartiers de la ville.

Ainsi, par rapport aux **réseaux de communication**, les plusieurs véhicules ne furent pas capables de circuler sur quelques rues et routes, étant de ce fait obligés à circuler par d'autres quartiers, qui n'étaient pas noyées et devaient absorber tout le trafic de la ville. Ce fait a causé la paralysation des autres rues et routes de la ville.¹⁵ (Global Travel Mate, 2011)



Image 38. Routes paralysées dû aux inondations

Autrement, les **réseaux de métro** n'ont pas souffert d'une inondation, mais "la moitié des stations de métro se sont fermés" (Chartchai Praditpong)¹⁶.

Les stations de métro à Bangkok sont situées au moins à 1,2 au-dessus du sol pour prévenir les inondations et elles possèdent également des barrières anti-inondation pour empêcher l'eau de passer dans les stations.



Image 39. Station de métro de Bangkok

La zone métropolitaine de Bangkok fut gravement heurtée. Comme on a vu antérieurement, il y avait beaucoup de défenses préparées dans la ville de Bangkok pour faire face aux inondations. Ces défenses n'ont pas empêché l'eau de passer, mais ont aidé la ville à diminuer les effets de l'inondation. Cependant, on remarqua un manque de défenses au zone métropolitaine de Bangkok. Par conséquent, une grande partie de la zone métropolitaine surtout celle qui était au nord de la ville, fut noyée lors des inondations. On peut voir ce fait dans la carte 51, qui montre les zones noyées (en bleu) et les zones menacées le 29 d'octobre 2011 :

¹⁴ Voir l'annexe III, la réponse et défaillance des défenses lors des inondations.

¹⁵ Pour en savoir plus de l'arrêt de la ville, regardez : "l'arrêt de la ville" dans l'annexe III.

¹⁶ Chartchai Praditpong est le directeur de relations corporatives de BMCL, l'entreprise qui gère le métro de Bangkok. Citation extraite du document mentionné à la bibliographie au-dessous : "Can It flood in the Subway ?" écrit pour Jon Fernquest, 2011.

Ainsi, il est possible d'observer la localisation des zones les plus noyées qui se retrouvent surtout en dehors de la ville, et que ces zones étaient protégées par plusieurs défenses comme, par exemple par des systèmes de drainage, des pompes à digues, etc.

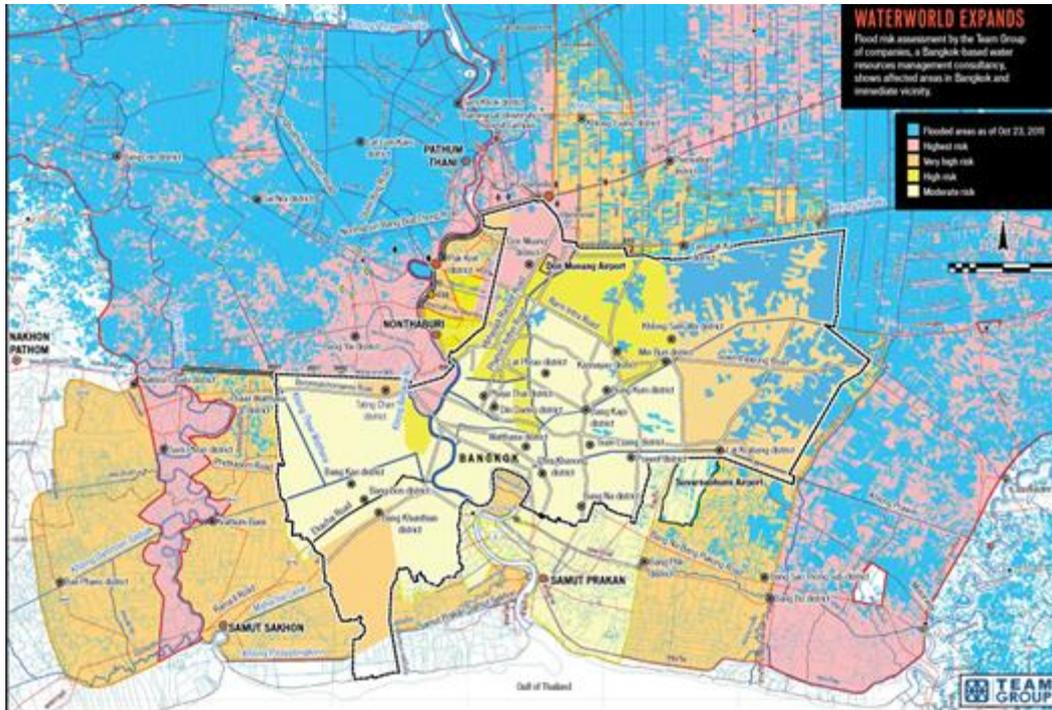


Image 11. Risque d'inondation de la ville de Bangkok pendant les tempêtes de 2011. Carte dessinée lors des inondations le 29-10-2011. Extrait de Global Travel Mate mentionné à la bibliographie au-dessous.

Aussi le deuxième aéroport de Bangkok "Don Mueang", qui est situé au nord de la ville près de Rangsit, était endommagé. "L'aéroport "Don Mueang" était forcé à fermer en octobre 2011. Le bâtiment terminal était noyé lorsque, quant à la piste d'atterrissage, elle aussi était endommagée. La réouverture pour les vols commerciaux a été autorisée jusqu'en mars 2012, après la réparation de la piste d'atterrissage. Le président des aéroports de Thaïlande a indiqué que la réparation de la piste d'atterrissage avait coûté près de 4,8 millions de dollars." (Impact Forecasting LLC, 2012).



Image 40. Aéroport International de Bangkok "Don Mueang" pendant les inondations de 2011

L'inondation a touché les campagnes de la plaine centrale thaïe et de la périphérie de la capitale ; les habitants y sont nombreux et la riziculture très intensive. Plus de 1,9 million d'hectares d'infrastructures agricoles furent endommagés. Cette donnée représente 12,5% des plantations du pays. On estime que le coût de ces dommages est de près de 2,4 billion de dollars.

2.1.4.2.2 Les alentours de la ville

Comme nous l'avons vu précédemment, la zone de la ville de Bangkok était protégée avec plusieurs digues et des stations de pompages pour faire face aux inondations. Particulièrement, ces inondations qui viennent du nord de la ville, sont les plus problématiques. Ainsi, les zones industrielles près de la province d'Ayutthaya, au nord de la ville, étaient protégées avec différentes défenses anti-inondation dans chaque zone. Cependant, on ne peut pas trouver une défense qui permet de protéger toutes ces zones en même temps, comme par exemple une digue qui protégé tous les alentours de la ville.

Par conséquent, on trouve que les zones de l'extérieur de la ville de Bangkok étaient généralement déprotégées par rapport aux inondations.

Autrement, on trouve certaines zones industrielles isolées qui étaient protégées avec des défenses comme des digues avec une hauteur allant jusqu'à 6,5 mètres¹⁷. Ainsi, on recensa un grand impact aux alentours de la ville de Bangkok. On peut souligner celui des **réseaux de transport** qui connectent la ville avec les alentours de la ville.

Beaucoup de routes et de ponts se sont retrouvées sous l'eau. Le Département d'autoroutes et le Département de routes rurales ont indiqué que 1 700 réseaux de transport de routes, d'autoroutes et de ponts furent endommagés. Le coût total des dommages a été de 4,5 milliards de dollars (THB 139,0 billion). Autres moyens de transport comme les trains ont été noyés et aussi des dommages dus aux inondations. (Impact Forecast, 2011).

Par rapport au trafic ferroviaire, la majorité des trains pour destination le nord, au-delà d'Ayutthaya, ont été suspendus. Seul un service limité dans les zones touchées par les inondations est maintenu. Ce fait causait plusieurs déplacements au nord de la ville qui se faisait en avion. (Thaïlande-Fr.com, 2011).

Autrement, les plus hauts dommages des alentours de la ville ont été dans les zones industrielles des alentours de la ville de Bangkok, dû au haut niveau de production et de fabrication. Les zones industrielles près de Bangkok ont été inondées, causant de graves dommages aux bâtiments, aux équipes électriques et électroniques, et les produits à vendre de l'intérieur des usines. On peut trouver le bilan des dégâts causés dans le tableau suivant¹⁸ :



Image 12. Alentours des villes affectés pour l'inondation



Image 42. Routes de la ville thaïlandaise

¹⁷ Pour voir plus d'information par rapport aux zones industrielles aux alentours de la ville, voir l'annexe III.

¹⁸ Il est possible voir dans l'annexe III plus d'information par rapport aux dommages sur les alentours de la ville de Bangkok.

Coûte des dommages aux parcs industrielles et biens (comprend le dommage à la machinerie)	7,4 milliards de dollars (230.0 milliards THB)
Coûte des dommages des matières premières, produits en production et produits finals	4,6 milliards de dollars (143.5 milliards THB)
Coûte global, en comprenant l'arrêt des affaires	32,5 milliards de dollars (Mil milliards de THB)

Taule 1. Information donné pour le "Department of Industrial Works" et fourni pour le document Impact Forecasting, mentionné à la bibliographie au-dessous.

Ainsi, pour tout l'ensemble du pays, "les usines qui ont reçu les plus grands dommages sont celles qui sont caractéristiques d'applications électriques, d'une équipe médicale, d'automobiles, de nourriture et de fabricants de boissons. Le Département de Travaux Industriels a informé que plus de 7 510 usines industrielles et de fabrication ont été endommagées pour les inondations dans 40 provinces". (Impact Forecasting, 2012)



Image 43. Rojana Industrial Park, situé à côté de la ville d'Ayutthaya

2.1.4.2.3 Les bâtiments

Les bâtiments, de même pour les quartiers de la ville de Bangkok, n'étaient pas préparés pour faire face à une inondation.

Ainsi, les défenses qui structuraient les bâtiments ont été des solutions d'urgence. C'est solutions d'urgence correspondaient, de nouveau, à des sacs de terre pour empêcher l'eau de passer.



Image 44. Barrières anti-inondation à l'entrée du métro

D'autres solutions d'urgence comme des barrières anti-inondation pour protéger les entrées des bâtiments furent utilisées. Ces mesures ont aidé à protéger les biens, en empêchant l'eau de passer dans les propriétés, ou dans certains bâtiments.

En ce qui concerne l'impact des inondations aux bâtiments, il exista aussi une dégradation des bâtiments et des rues due à la saleté de l'eau qui avait noyée la ville. Ainsi, il était possible après l'inondation de voir les conséquences à travers les rues de la ville.

Autrement, les portes et les fenêtres des bâtiments ne furent pas capables d'empêcher l'eau de passer, donc ils n'étaient préparés pour faire face une inondation. Ainsi, les intérieurs des bâtiments affectés par l'inondation se sont retrouvés sous l'eau, causant beaucoup de dommages aux meubles et aux installations intérieurs des bâtiments. Aussi, après l'inondation on recensa que les sédiments qui restaient, étaient dus aux mouvements des terres.



Image 45. Images des marques d'eau sur le mur et les sédiments qui restaient après l'inondation.



Autrement, il faut dire que l'impact sur les bâtiments touchés n'a pas beaucoup causée de dommages structurels importants. Cependant, il fallait réparer principalement les autres éléments intérieurs des bâtiments comme les cloisons, les faux plafonds et des compresseurs pour l'air conditionné. Aussi, il fut important d'arranger les vitres brisées et les dommages aux murs.



Image 46. Intérieur d'une usine touchée pour des inondations de 2011

Ce fait a marché de la même façon pour les bâtiments touchés des zones industrielles. En plus, ces bâtiments ont perdu plusieurs machines et outils de travail, qui ont été cassés par les inondations.

Par rapport aux problèmes structurels, il exista des problèmes avec les périmètres des usines, qui aussi ont reçu des dommages.

2.1.4.2.4 Le quartier

Par rapport aux quartiers, seulement ceux qui étaient importants pour des raisons économiques ou culturelles avaient des défenses. Autrement, le reste des surfaces de la ville n'avaient pas de défenses pour faire face à l'inondation, en cas de défaillance des défenses de la ville.

Il faut dire aussi que, par rapport à la ville, il y avait les défenses qui avaient pour rôle de protéger la ville, comme nous l'avons signalé antérieurement. Mais dans les quartiers de la ville de Bangkok il n'y avait pas de bonnes défenses.

Ainsi, lors des inondations de 2011, devant les défaillances des défenses de la ville, d'autres solutions d'urgence furent utilisées. Parmi ces solutions d'urgence on peut trouver l'utilisation de sacs de terre pour empêcher l'eau de passer.



Image 47. Sacs de terres utilisées comme à solution d'urgence pour empêcher l'eau de passer



Image 48. Principales rues de la ville noyées au district de Rangsit

2.1.5 New York

2.1.5.1 L'événement

New York, la capitale économique des Etats- Unis, avec plus de 8.400.000 habitants, a une superficie de 1 214,4 km² dont le 35,36 % est sa superficie en eau alors que le reste de sa superficie est composée de terre. Ainsi, on dit que la ville est une cible facile du fait qu'elle est près de la côte et dans une zone où il existe une chance réelle d'avoir de fortes tempêtes qui proviennent de l'océan Atlantique, c'est-à-dire, on peut dire que New York vit sous la menace de tempêtes dévastatrices.

Un exemple récent est la tempête causé pour l'ouragan Sandy le 29 d'octobre de 2012, considérée une tempête avec une "**période de retour de 714 ans**" (Timothy M. Hall et Adam H. Sobel). Ce fait, causait un montant de dégâts de 33 milliards de dollars, c'est-à-dire, près de 24 milliards d'euros, et près de 400.000 personnes furent obligées d'évacuer. Et puis, chaque année une douzaine de fortes tempêtes se produisent. Par conséquence, et pour cette raison on considère la ville comme vulnérable.

Toutefois, au centre de New York on peut trouver Manhattan, où la population est la plus dense de toute l'Amérique du Nord et on y trouve le port le plus important de la côte est des Etats-Unis. Aussi on trouve au sein d'elle beaucoup de gratte-ciels et l'un des plus hauts gratte-ciels comme l'One World Trade Center avec 104 étages et une hauteur de 541 mètres. Ainsi, on trouve dans Manhattan le parfait exemple pour étudier la résilience urbaine et voir si la cité est capable de résister aux tempêtes et quelles solutions apparaissent pour réaliser cela. Pour analyser la cité, on verra les différents points faibles de Manhattan et les solutions actuelles.

2.1.5.2 Défenses et sa réponse lors des inondations

2.1.5.2.1 La ville de New York

On trouve que la ville de New York, qui est entouré d'eau des fleuves et de l'océan, a plusieurs cibles qui se trouvent souvent sous la menace d'inondations. Ainsi, le port de New York est une cible facile pour les inondations. En plus, les enjeux y sont élevés, donc lors de grandes tempêtes les chenaux sont bloqués et les quais sont endommagés.



Image 49. Barrières de terre pour empêcher l'eau de passer

Pour éviter cela, on utilise la terre obtenue afin de drainer les chenaux pour entretenir la profondeur du port, pour faire une barrière et protéger le littoral.

Cependant, le principal problème est le phénomène du surcoût. Le surcoût est une accumulation d'eau provoquée par des basses pressions dans une perturbation atmosphérique en mouvement. Ces basses pressions aspirent de l'eau à la surface et la tempête l'emporte avec elle. Il faut dire que cette mesure aide à ralentir l'inondation, mais elle n'est pas capable d'empêcher l'eau de passer longtemps.

On trouve qu'un des enjeux de la ville de New York sont **les réseaux électriques et les canalisations**, qui se trouvent en-dessous de la ville de New York formant plus de 160 km de réseaux. Autrement, en ce qui concerne les canalisations de vapeur, la vapeur circule dans la canalisation pour une vitesse de 120 km/h et à 200° degrés. Plus de 200 immeubles comme bureaux et hôpitaux dépendent de ces canalisations pour leur chauffage.

Autrement, il existe des problèmes quand se produisent des fortes tempêtes dans la ville. Le principal problème est la nappe phréatique. Quand il pleut, la nappe phréatique augmente due aux crues et l'eau s'infiltré à travers la roche.

Ainsi, quand l'eau, qui est froide, et la canalisation de vapeur, qui se trouve très chaude se retrouvent, il peut y provoquer une explosion. Celle-ci a eu lieu au centre de Manhattan en 2007.

Pour éviter cette combinaison, des alarmes sont installées au niveau des canalisations et sous terre, pour pouvoir détecter quand l'eau et la canalisation se retrouvent.

Ces alarmes fonctionnent à partir d'un flotteur, qui monte en cas d'inondation des canalisations. Ainsi, si l'eau monte jusqu'à le niveau de la canalisation, on peut couper la circulation de vapeur.



Image 50. Impact de la remonte des nappes phréatiques sur les canalisations.

Autrement, un des impacts célèbres causés par l'ouragan Sandy en 2012, sont les inondations du métro. Ainsi, avec plus de 160 km de galeries, c'est l'un des plus vulnérables réseaux de la ville. Par conséquent, du fait de la défaillance généralisée du métro lors de l'ouragan Sandy, sept tunnels se sont retrouvés noyés, et ont immobilisé près de 7 millions d'utilisateurs quotidiens et ils ont paralysé la ville, causant aussi de graves dommages à des équipements électriques et les rails. On estime que pour l'ensemble des dommages près de 5 milliards de dollars ont été nécessaire pour réparer les réseaux de métro dans la ville de New York.



Image 51. Metro de New York noyé lors de l'ouragan Sandy

Les lignes de métro de Manhattan sont situées seulement à 5,5 mètre de profondeur sous la ville. Par conséquent, le problème dans les lignes de métro est qu'elles sont au même niveau que les nappes phréatiques.

Ce problème arrive quand une forte tempête se produit et les tunnels se transforment en grosses canalisations. On peut voir ce problème dans les figures suivantes :

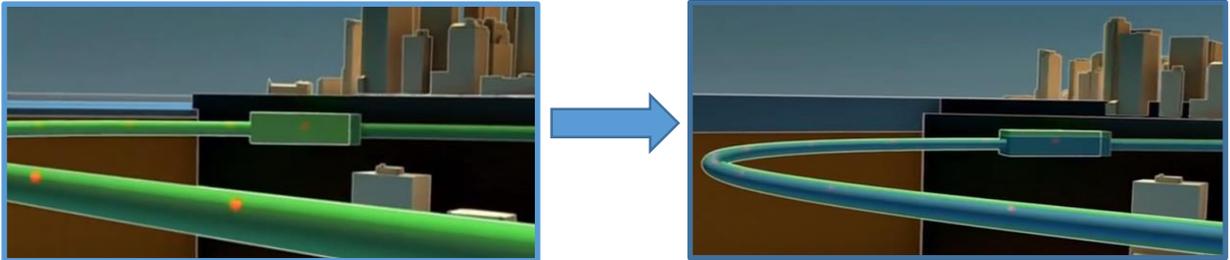


Image 52. Impact de la remontée des nappes phréatiques sur le métro de New York

Il existe aussi des problèmes pour les lignes qui sont sous les nappes phréatiques car l'eau traverse jusqu'au tunnel. Pour ce motif, les lignes qui sont sous la nappe phréatique doivent être étanches.

2.1.5.2.2 La zone métropolitaine de la ville de New York

La zone métropolitaine de la ville de New York a été également touchée par les inondations de 2012. Ainsi, il faut aussi remarquer l'impact sur la ville de New Jersey et les régions de Long Island, de Staten Island et de Hoboken, durement touchées pour les inondations. (Jeroen C.J.H. Aerts, W.J. Wouter Botzen, Hans de Moel et Malcolm Bowman)

En ce qui concerne **l'impact structurel sur les bâtiments**, plus de 650.000 bâtiments ont été endommagés ou détruits, surtout dû à la force de l'ouragan et des vagues. D'autres, ont été détruits par des incendies, causés par la remontée de l'eau dans les bâtiments avec le contact de l'électricité. De ce fait, six mois après la tempête, plusieurs millions de personnes restaient encore sans abri, en habitant dans des chambres d'hôtel où dans des maisons temporaires.

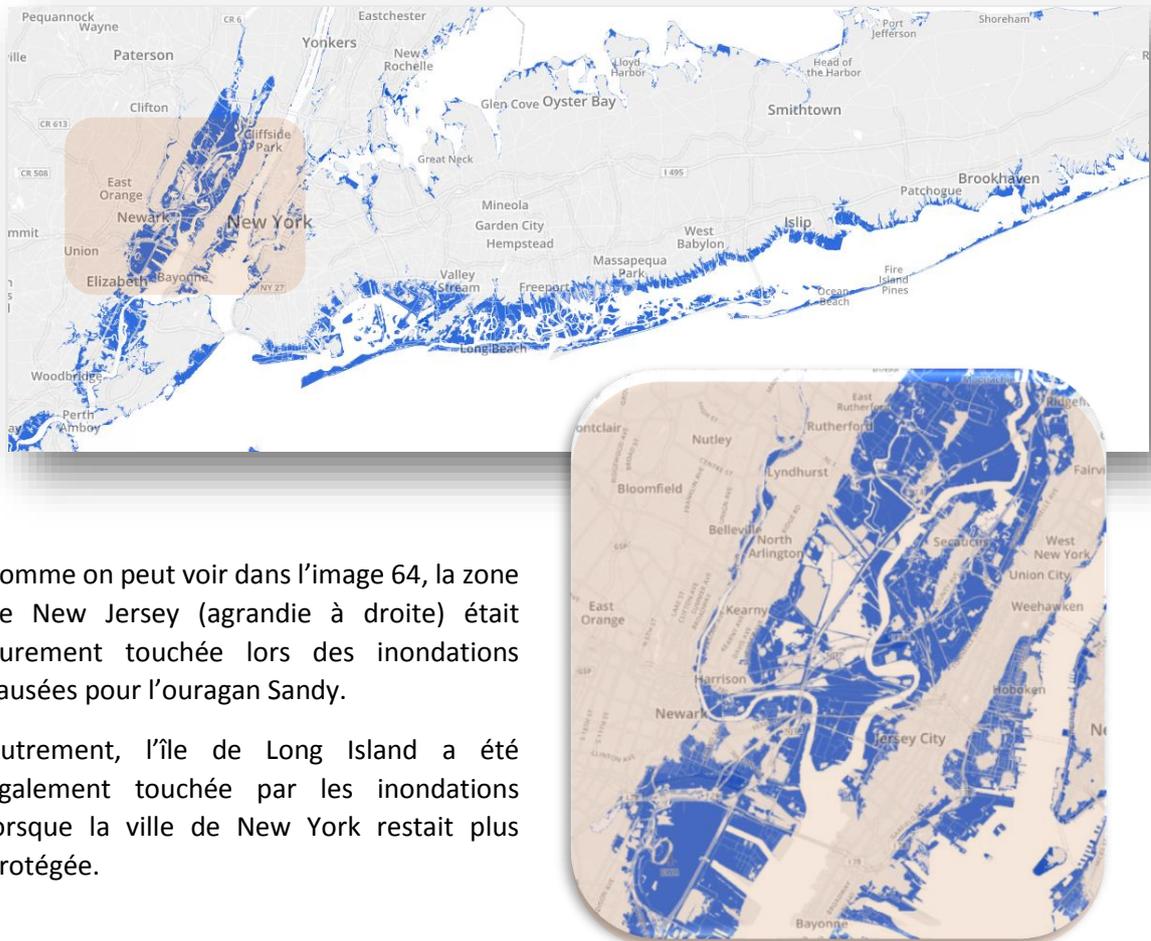
Autrement, Sandy a eu un impact dévastateur sur **les réseaux d'électricité et de gaz**. Il est estimé que près de 8,7 millions d'habitants ont été sans électricité. Plusieurs habitants de diverses régions sont restés sans électricité pendant plus d'une semaine après la tempête. Les régions les plus affectées ont été New Jersey, avec 150 000 habitants sans électricité ; Nassau, Suffolk et Westchester, avec 17 000 habitants, et New York City avec 28 000 habitants. Pour la ville de New Jersey, les dégâts de réparation des réseaux d'électricité et le central électrique s'estiment entre 630 et 680 millions de dollars. Autrement, les dommages pour la ville de New York s'estiment entre 350 et 450 millions de dollars.

D'un côté, le dommage par rapport aux **réseaux de transport** dans la ville de New Jersey, routes et infrastructures, a été également important avec un montant de dégâts de 2.9 milliards de dollars. Néanmoins, plusieurs rues se sont retrouvées inondées et impraticables. (Jeroen C.J.H. Aerts, W.J. Wouter Botzen, Hans de Moel et Malcolm Bowman)



Image 53. Inondations dans la ville de New Jersey

Ainsi, on peut voir la portée de l'inondation dans l'image suivante, qui montre les zones inondées de la ville de New York et sa zone métropolitaine.



Comme on peut voir dans l'image 64, la zone de New Jersey (agrandie à droite) était durement touchée lors des inondations causées par l'ouragan Sandy.

Autrement, l'île de Long Island a été également touchée par les inondations lorsque la ville de New York restait plus protégée.

Image 54. Inondations à la ville de New York et leur zone métropolitaine

2.1.5.2.3 Les alentours de la ville

Les défenses aux alentours de la ville comptent avec des levées qui ont pour rôle surtout d'empêcher l'eau de la mer de couler dans la ville en cas de submersion marine. Cependant, il est aussi possible de trouver des digues au bord du fleuve Delaware, qui sépare l'État de New Jersey et la Pennsylvanie.

Autrement, quelques zones humides (*appelées "wetlands" en anglais*) au sud de la ville sont également utilisées comme zones de stockage d'eau en cas d'inondation. En fait, on estime que l'État évite de dépenser 3 milliards de dollars chaque année grâce à la protection que les zones humides offrent à la ville. (*Pathy Glick et John Kostyack*)¹⁹

2.1.5.2.4 Les bâtiments et le quartier

D'abord, il faut dire que ni les bâtiments ni le quartier ne comptaient avec des défenses. Ainsi, les levées et les zones de stockage d'eau impliquaient la première et la dernière ligne de défense. Par conséquent, les zones où les digues ont été débordées lors des inondations de 2012 ont été durement inondées.

Ainsi, en ce qui concerne l'impact sur les quartiers, on trouve le manque de réseaux de transport, qui restaient noyées, et le manque d'électricité et de gaz dû à la tombée en panne des réseaux dans la plupart de la zone métropolitaine. Autrement, quelques quartiers sont restés sans eau et il n'était pas possible d'assurer la potabilité de l'eau du fait de la pollution causée par l'inondation. À ces problèmes il faut ajouter les problèmes d'inondation de quelques quartiers, qui restaient impraticables pour les voitures.

Par rapport aux bâtiments, plus de 650 000 foyers ont été endommagés ou détruits à cause de l'impact de l'ouragan Sandy dans la ville, dont 305 000 se situaient dans l'Etat de New York, lorsque 346 000 appartenaient à New Jersey. (*Jeroen C.J.H. Aerts, W.J. Wouter Botzen, Hans de Moel et Malcolm Bowman*)



Image 55. Région de Long Island noyée lors des inondations de l'an 2012



Image 56. Inondation à Southampton, New York, le 29 octobre 2012

¹⁹ Pour mieux connaître la portée des inondations à New York et ses alentours, regardez "L'impact sur les alentours de la ville de New York", dans l'annexe IV.

2.2 Considérations et solutions proposées post-catastrophe

Cet alinéa permet d'expliquer les solutions qui ont été proposées après les catastrophes expliquées pour éviter le désastre une nouvelle fois. Ainsi, nous avons aussi mis l'accent sur quelques considérations par rapport aux conditions particulières de chaque ville et sa réponse après les inondations.

Il faut dire que l'étude est focalisée surtout sur les solutions innovatrices. Autrement, d'autres solutions plus communes pourront être également trouvées dans l'annexe V.

2.2.1 Londres

En ce qui concerne les considérations par rapport à la ville de Londres, les mots de Roger Evans, sont "Londres est vulnérable aux inondations causés pour le fleuve Thames, en même temps qu'il est vulnérable aux grandes tempêtes. Ce risque augmentera avec les effets du change climatique. On ne peut pas toujours se protéger d'une inondation. On doit rééduquer pour gérer au mieux les inondations, connaître davantage le risque et être plus préparé pour vivre avec nos fleuves." (Roger Evans, 2002).

Ainsi, on peut voir que différentes mesures ont été adoptées après les inondations pour améliorer la résilience de la ville par rapport aux inondations, comme celles proposées par le plan gouvernemental "Environmental Assessment of Plans and Programmes Regulations, 2004" qui est responsable de la stratégie pour la défense de la ville de Londres des inondations causées par les crues dans le fleuve Thames à partir de la "Lower Thames Strategy" (Graham Piper, 2013).

À partir de cette stratégie, on trouve la proposition de construire des chenaux alternatifs pour rediriger le débit du fleuve Thames en cas de tempête. Ainsi, il existe la possibilité de diversifier l'eau en cas des crues du fleuve.

Par conséquent, on peut déduire que le nouveau débit de l'eau dans le fleuve après la nouvelle mesure de diversification de chenaux sera, par rapport au débit qui existait avant de considérer la mesure, plus petite dans le chenal. Autrement, les chenaux qui n'ont pas une diversification de l'eau auront le même débit de fleuve qu'avant. Par conséquent, appliquer ainsi seulement la mesure de diversification des chenaux aidera certaines zones. Toutefois, cette mesure peut être utile pour protéger les zones qui ont une place importance.

Finalement, il faut dire que "le 50% de la population qui vit dans des zones qui ont un risque d'inondation ne connaissent pas ce risque et seulement le 10% prend des mesures de prévention" (Roger Evans, 2002). Ainsi, il est nécessaire que la population connaisse

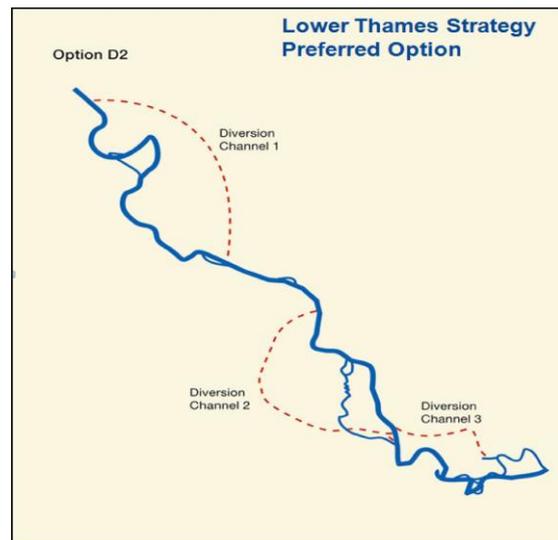


Image 57. Chenaux alternatifs pour rediriger le débit du fleuve en cas de crue

qu'actuellement il existe un risque permanent d'inondation, pour faire face aux prochaines tempêtes avec plus de méthodes anti-inondation.

Autrement, on estime que, dû au réchauffement global, le niveau des eaux accroît de 4 mm par an. Par conséquent, la probabilité que se produise une inondation sur la ville augmente chaque an. De plus, on estime qu'en 2030, la probabilité d'inondation qui actuellement est de 0,05%, sera de 0,1%. (Roger Evans, 2002)

2.2.2 Prague

Après la catastrophe de 2002, plusieurs mesures de défense ont été mises en œuvre dans le territoire de la République Tchèque et, plutôt, dans la ville de Prague. Ce fait est notamment important pour la ville de Prague.

En effet, les inondations de 2002 fut le pire événement dans son histoire que connue la ville. Ainsi, il a fallu que la ville se réadapte pour faire face des tempêtes comme celles de 2002, qui étaient caractéristiques d'une période de retour de 500 ans.

Une des mesures adoptées a été la dénivellation du terrain et qui maintenant offre la possibilité d'être inondé en cas de crue, en évitant l'inondation des quartiers. Cette mesure, d'habitat résilient, a aussi un impact sur le paysage et sert comme zone pour se promener aux habitants.

Autrement, plusieurs murs et petites digues ont été construits au bord du fleuve et les digues déjà construites ont été améliorées. Les mots de l'ancien maire de Prague, Bohuslav Svoboda furent celles-ci : "même les barrières les plus petites sont à 30 cm au-dessus du niveau de l'eau plus hautes qu'en 2002" (Richard Davies, 2013).

Il est possible voir ces implantations dans les images suivantes :



Image 58. Dénivellation de terrain



Image 59. Petite digue à côté du fleuve

D'autres mesures comme l'introduction de pompes anti-inondation et l'amélioration des digues et des murs ont été mises en œuvre. Néanmoins, d'autres mesures comme l'application de barrières mobiles, qui ont eu une très bonne performance dans la défense de la ville lors des inondations en 2002, ont été améliorées.

Ainsi, l'utilisation des barrières mobiles permet maintenant de protéger les stations de métro, durement touchées par les inondations de 2002, mais aussi pour défendre quelques quartiers de grande importance.

En fait, "Il existe plusieurs types de mesures de protection contre les inondations locales à Prague, en comprenant les lignes de barrières mobiles, qui sont utilisés de manière uniforme sur l'ensemble de la région de Prague, principalement dans le centre urbain historique. La longueur totale de ces barrières mobiles est d'environ de 7 km à Prague." (FloodProbe)

Finalement, à partir des solutions mentionnées on estime que la ville pourrait faire face à une inondation similaire à celle de 2002. Les mots du directeur de la Prague Transit Company, Ladislav Urbánek furent : "Nous croyons que les mesures introduites depuis les inondations d'août 2002 éviteront une catastrophe d'une magnitude similaire". (Richard Davies, 2013)

Finalement, on peut dire que les politiques de gestion s'appuient aujourd'hui sur les retours d'expérience consécutifs aux inondations de 2002. Ainsi, la généralisation des barrières mobiles en est la première illustration. Depuis 2002, devant l'efficacité de ce système de protection, les barrières mobiles ont été généralisées à l'ensemble du territoire de la capitale tchèque.

Néanmoins, d'autres actions ont été entreprises pour réguler directement les débits de la Vlatva, alors même que le rôle essentiel de ses affluents a été souligné. Dans ces actions on peut souligner la création de barrières fixes, de murs et de portes avec fermetures anti-inondation et des pompes hydrauliques. (Stanislav Dostál, 2005)



Image 60. Performance des barrières mobiles à Prague l'an 2002.

2.2.3 La Nouvelle-Orléans

L'ouragan Katrina a été l'une des pires catastrophes des Etats-Unis. L'ouragan fut caractérisé par un degré 3 et l'équivalent d'une tempête qui se produirait chaque 400 an pour le Mississippi Gulf Coast mais seulement une tempête chaque 150 an pour la Nouvelle-Orléans.

Cependant, les défenses ne furent pas suffisantes, causant le chaos dans presque tous les réseaux de la ville comme l'électricité, les installations de pétrole et de gaz, le traitement d'eaux, les réseaux de télécommunications et, surtout, dans les réseaux de communication et de transport, qui furent inondés.

Ainsi, après la catastrophe de l'ouragan Katrina, une grande amélioration en ce qui concerne aux défenses de la ville est arrivée pour faire face aux futures inondations. Par conséquent, les mesures suivantes ont été prises pour améliorer la résilience urbaine :

En premier lieu, les digues ont été améliorées. Ce fait est dû en raison qu'avant 2005 les digues ont été faites avec de la terre correspondant à des sédiments obtenus pour drainer le fleuve Mississippi.

Cependant, pour tenir une digue capable de résister aux tempêtes il faut faire des digues en argile et avec la mise en place de matériaux résistants à sa surface. Ainsi, la hauteur des digues a été augmentée et les matériaux ont été améliorés²⁰.



Image 61. Les nouvelles digues à New Orléans.

Il est possible de remarquer une nouvelle porte anti-inondation, qui s'appelle Seabrook, et qui a été construite à l'entrée du chenal et qui communique avec le fleuve Mississippi et avec le lac Portchartrain. Cette porte a une grande importance, donc ce chenal est une cible facile pour les tempêtes.

Afin d'atteindre le but qui est de protéger la ville, il existe une station de pompage dans la porte, qui est spécialement conçue pour faire face aux graves inondations. Ou cas où une tempête casserait la porte, la pompe peut arriver à pomper près de 570 000 litres d'eau. Le coût de la porte a été de 500 millions de dollars et elle est capable de résister un événement avec une période de retour de 100 ans.



Image 62. Porte anti-inondation Seabrook

Finalement, il faut dire que la nouvelle configuration des digues est préparée pour faire face à une tempête avec **une période de retour de 500 ans**²¹.



Image 63. Station de pompage située à la Nouvelle Orléans.

Autrement, le gouvernement a investi 4,5 millions de dollars pour acheter six pompes portatives qui peuvent aider à affronter une inondation en cas de menace. L'objectif des pompes est d'envoyer l'eau qui s'est écoulé dans la ville au lac Pontchartrain, qui se trouve près de la ville (Associated Press, 2007).

Enfin, comme considérations finales par rapport à la ville de la Nouvelle-Orléans, on trouve que les calculs indiquent que la nouvelle porte anti-inondation est capable de résister à une tempête

²⁰ Il est possible voir plus d'information à "D'autres solutions d'amélioration à la Nouvelle-Orléans" dans l'annexe V.

²¹ Information extraite du site :

<http://www.nola.com/hurricane/index.ssf/2013/08/upgraded_metro_new_orleans_levee.html>

d'une probabilité d'occurrence de 100 ans, alors que les nouvelles digues sont capables de résister à une tempête avec une probabilité d'occurrence de 500 ans.

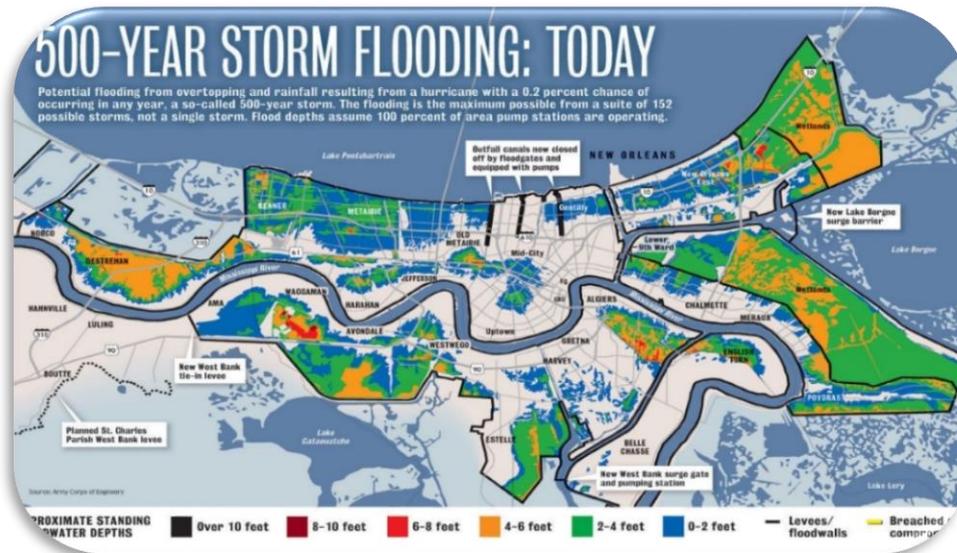


Image 64. Une tempête de l'ordre de 500 ans aujourd'hui.

Ainsi, si on faisait la comparaison de cette image avec l'image de l'inondation provoquée pour l'ouragan Katrina, qui fut un ouragan correspondant à une période d'occurrence de 400 ans, il serait possible de voir que maintenant la catastrophe ne serait pas si grave comme avec l'ouragan Katrina. Cependant, il y aurait encore des zones qui peuvent être durement affectées avec les inondations allant jusqu'à 6 ft. (1,82 mètres) de hauteur. Mais, le plus important à souligner, c'est qu'il existe plusieurs zones qui ne seraient pas noyées.

2.2.4 Bangkok

Comme considérations par rapport à la ville de Bangkok on trouve, d'abord, plusieurs solutions d'urgence qui ont été prises lors des inondations de 2011.

Il existe une autoroute élevée qui peut être utilisée pendant les inondations pour stationner les voitures. Autrement dit, la circulation reste possible sur le pont qui ne s'est pas noyé et donc il se situe au-dessus du niveau de l'eau.

Par conséquent, il est possible d'utiliser les infrastructures qui sont élevées pour garder les biens matériels hors des eaux pendant les crues du fleuve et les inondations.

Par rapport aux **zones industrielles**, qui peuvent être considérées de la taille d'un quartier, on recense de grandes améliorations surtout en ce qui concerne la hauteur des digues et les mesures de défense déjà appliquées²².



Image 65. Les voitures sont stationnées sur un pont dû à l'inondation

²² Il est possible de voir les solutions d'amélioration après les inondations dans l'annexe.

Ce fait est très important dû à la haute industrialisation de la zone. Ainsi, les entreprises demandent une majeure protection contre les inondations sous la menace de se délocaliser en cas de manque de protection. Autrement, aucune mesure de protection d'habitat résilient n'est prévue.

Après les inondations de 2011 et la nécessité de protéger la ville de Bangkok et aussi les alentours de la ville, ce qui correspond au centre de la production du pays, le gouvernement a décidé d'investir **3,9 milliards de dollars** par améliorer les défenses de la région.

Ainsi, au sein de ces mesures on peut trouver la construction de diversion de évacuateurs et des chenaux et des tunnels de dérivation des crues qui permettront d'atteindre un débit de **1,5 milliard de m³/s**, donc plus de 460 chenaux ont été construits après 2012. (Bangkok Metropolitan Administration)



Image 66. Chenal et tunnel de la ville de Bangkok, respectivement.

Autrement, il est, en plus, prévu la construction de réservoirs d'eau. Il s'agira de **320 000 nouveaux hectares de terres agricoles** qui pourront être utilisées comme rétention de l'eau en cas de crue des fleuves.

Néanmoins, des **“barrières anti-inondation, rapide d'installation”** ont également été installées. L'Industrial Estate Authority of Thailand a acheté des défenses contre les inondations et les crues qui totalisent environ 20 kilomètres de longueur, en tant qu'une mesure d'urgence en cas d'inondation dans les zones industrielles²³.

²³ Pour voir un bilan d'autres mesures de défense améliorées dans la ville de Bangkok, regardez “Autres solutions d'amélioration à Bangkok”, dans l'annexe V.

En ce qui concerne les conclusions qu'on peut apprendre à partir des événements de 2012, on trouve que selon quelques rapports reliés au changement climatique du sud de la Thaïlande, la ville de Bangkok et les alentours doivent être préparés par des autres événements comme celui qu'a subi Bangkok en 2011. Il est possible de voir dans le graphique la croissance de la menace d'inondation, ainsi que sa virulence.

Comme nous le pouvons voir dans le graphique, on recense une diminution de la période de retour pour les prochaines années à la zone de Bangkok. Ainsi, la prédiction a dit que l'année 2050 serait définie par la possibilité d'une inondation de magnitude de période de retour d'une fois chaque quinze ans, et sera la même qu'une inondation de magnitude d'une période de retour d'une fois chaque cinquante ans en 2008. Par conséquent, dû à cette grave croissance de la virulence des tempêtes sur la ville, elle devrait améliorer ses défenses pour éviter une catastrophe égale ou encore pire que la catastrophe de 2011.

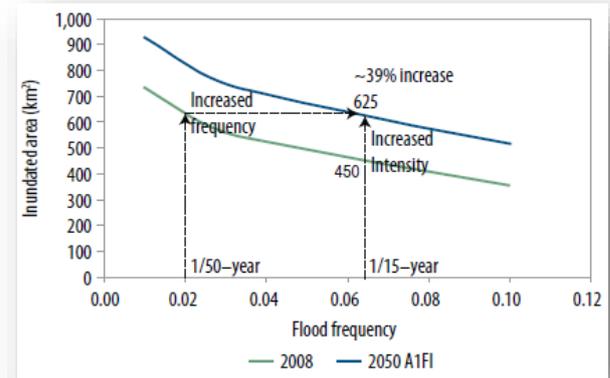


Image 67. Montre la croissance des inondations à Bangkok. Extrait du document écrit pour "The World Bank" mentionné au-dessous.

2.2.5 New York

Plusieurs stratégies pour affronter les inondations ont été conçues après celles de 2012 causées par l'ouragan Sandy. Parmi ces défenses appliquées on trouve surtout des mesures d'habitats résilients, qui ont pour rôle de préparer la ville et leurs bâtiments à vivre avec l'eau en cas d'inondation et en minimisant les dommages.

En ce qui concerne la protection des bâtiments, on trouve l'aménagement des bâtiments préparés pour vivre avec l'eau en cas d'inondation. Ainsi, il s'agit de préparer les étages au niveau du rez-de-chaussée pour agir comme zones de stockage des eaux en cas d'inondation.

On trouve des mesures comme le bâtiment à l'épreuve des inondations (*dry floodproofed building*). Il s'agit d'un bâtiment avec des défenses imperméables à l'extérieur et une pompe anti-inondation qui redirigeait l'eau aux canaux de drainage en cas d'inondation. Cependant, pour raisons de sécurité structurelle, cette mesure n'est pas applicable pour des hauteurs de plus de 3 pieds (près d'un mètre) de haut.

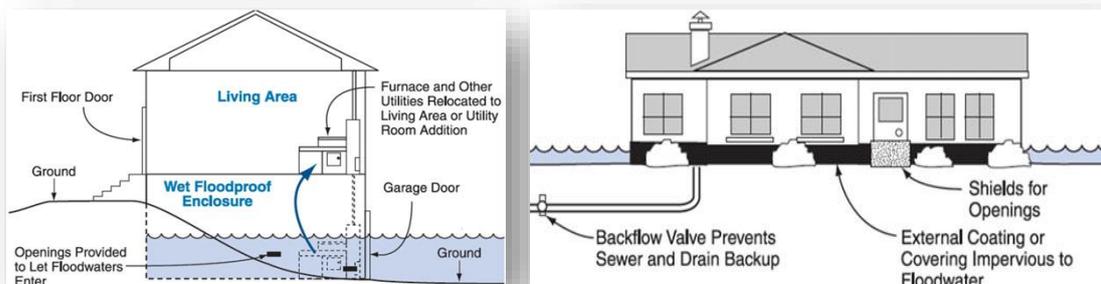


Image 68. Bâtiments préparés pour les inondations à partir de mesures d'habitat résilient

Autres mesures mises en application ont été l'élévation des bâtiments. Cette élévation permet de mettre à l'abri les biens importants qui se situent dans le premier étage des bâtiments, en sauvant les biens les plus importants en cas d'inondation.



Image 69. Élévation des bâtiments

Autrement, cette mesure permet aménager l'étage au niveau du rez-de-chaussée pour soulever les possibles dommages.

D'autres solutions en ce qui concerne la protection des quartiers ont été mises en œuvre. La protection de quelques quartiers de la ville de New York est indispensable, donc ils sont une cible facile en ce qui concerne les inondations, surtout ceux qui se situent près du fleuve Hudson ou près de l'océan Atlantique.



Image 70. Planches anti-inondation de rapide installation

L'installation de planches anti-inondation de rapide installation peuvent aider à empêcher l'eau de passer en cas d'urgence.

Ainsi, ces défenses ne nuisent pas l'esthétique du quartier, donc elles peuvent être démontées après les tempêtes.

D'un autre côté, on a vu que les réseaux les plus touchés ont été les réseaux du métro. Ainsi, il existe un nouveau système qui a été conçu pour éviter l'inondation s'il y a une remontée d'eau lors d'une tempête. Cette nouvelle défense s'appelle le ballon anti-inondation et son fonctionnement est le suivant :



Image 71. Ballon anti-inondation

- Il existe des ballons anti-inondation dans toutes les zones où l'eau peut s'infiltrer et aux goulets d'étranglement.
- En cas de tempête, ils se gonfleront en moins de 30 minutes.

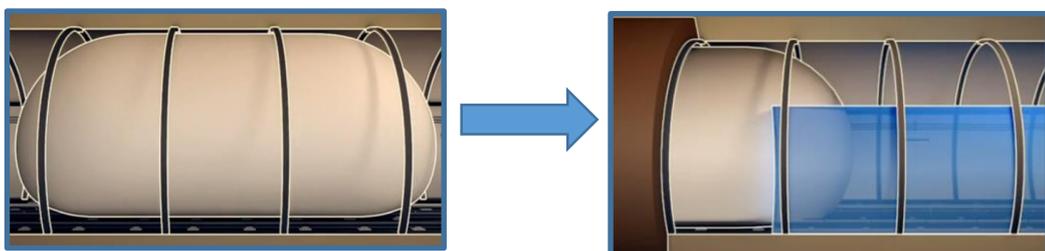


Image 72. Fonctionnement des ballons anti-inondation

Pour accomplir correctement cet objectif, le ballon anti-inondation est formé pour :

- Une première couche intérieure souple.
- Une deuxième couche avec des fibres ultra résistantes.
- Un filet extérieur maillé et indéchirable.

Comme nous l'avons dit antérieurement, ce ballon empêchera l'eau de passer et permettra aux usagers du métro d'aller et de venir les pieds au sec.

Par rapport à la protection général de la ville, il est prévu la construction de **nouvelles zones de stockage d'eau** avec des portes anti-inondations pour réguler le niveau de l'eau est aussi en processus.

Autrement, zones d'us régulier mais inondables sont aussi prévues pour faire face aux inondations. On peut voir un exemple de ces solutions d'amélioration prévues les images suivantes :



Image 73. Zones de stockage d'eau conçues dans la ville de New York

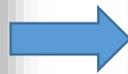


Image 74 Zones inondables dans la ville

D'autres mesures, comme la construction de levées et celle de zones au-dessus de l'eau, sont déjà en cours de réalisation. Ainsi, "en installant une digue polyvalente avec des élévations de bord relevées, la ville pourrait à la fois se protéger au niveau d'une grande partie de la rive sud de la rivière de l'Est du pont Brooklyn contre les inondations, et de créer une nouvelle zone pour le développement résidentiel et commercial" (Dan Amira, 2013).



Image 75. Dignes polyvalents au bord du fleuve

Comme on l'a vu antérieurement, en ce qui concerne les défenses des alentours de la ville, il n'existe pas d'autres moyens que les murs de terre faits à partir du drainage des chenaux. C'est pour ce motif que l'on pense que New York n'est pas vraiment préparé et qu'il faut un autre système pour faire face à une prochaine tempête qui peut être encore pire que l'ouragan Sandy en 2012. Par conséquent, un nouveau projet à long terme se dessine à partir d'une grande barrière située dans la mer qui régulera le niveau de l'eau pendant les tempêtes.

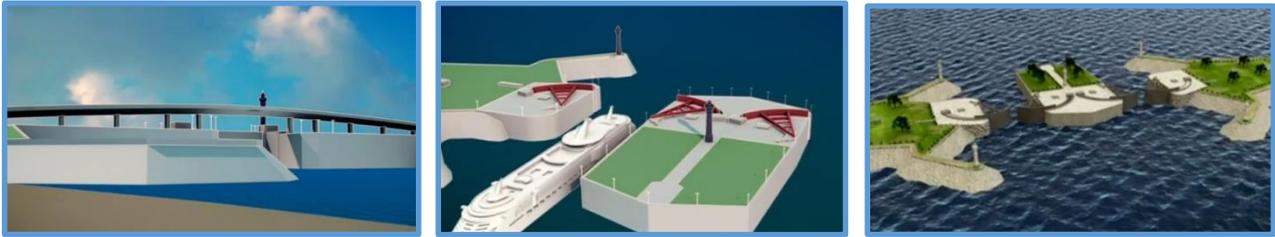


Image 76. Barrière proposée comme solution d'amélioration

Par temps calme, les portes resteront ouvertes, mais en cas de tempête elles seront fermées en moins d'une minute pour empêcher l'eau de l'océan de passer. Cette grande barrière, qui s'appellera "Outer Gateway" coûtera plusieurs milliards d'euros.

3. Etude de solutions d'amélioration de la résilience urbaine

L'étude préalable des catastrophes majeures sert pour évaluer les défenses déjà existantes lors des inondations et son effet pour les arrêter où les soulever. Cependant, la plupart des mesures étudiées ont comme rôle de trouver des solutions face à l'aléa et qui souvent permettent d'empêcher l'eau de couler dans la ville.

Néanmoins, d'autres villes qui sont souvent menacées par les inondations ont plutôt adopté des mesures d'habitat de résilience pour se protéger. Ces mesures permettent, à partir de zones inondables où aménagées, l'écoulement de l'eau dans la ville sans interrompre les fonctions principales de la ville.

3.1 Les mesures d'habitat résilient

Comme nous l'avons pu voir antérieurement dans les villes étudiées, la plupart des bâtiments n'ont que peu de défenses d'aléa. Autrement, ces défenses sont souvent les batardeaux qui ne peuvent pas offrir une forte résistance en cas de catastrophes majeures comme le débordement d'un grand fleuve (*le cas du fleuve Chao Phraya à Bangkok*) ou la rupture d'une digue (*le cas de la Nouvelle-Orléans*).

Cependant, d'autres mesures d'habitat résilient par rapport à la protection des bâtiments ont été mises en œuvre dans quelques villes, dont la plupart proviennent des Pays-Bas et d'Allemagne. Pourtant on verra par la suite que diverses solutions furent utilisées pour faire face aux inondations.

3.1.1 Les bâtiments surélevés

Cette mesure, déjà vue dans quelques zones de la ville de la Nouvelle-Orléans, permet d'élever tout le bâtiment pour éviter l'inondation des étages au niveau du rez-de-chaussée. Ensuite, il est possible de voir les solutions déjà appliquées à Neumühlen, Hambourg:



Image 77. Bâtiments avec défenses d'habitat résilient situés à Neumühlen, Hambourg



D'abord, on peut voir une première dénivellation par rapport à une zone de berges praticable qui offre une première ligne de défense. Cependant, on pourrait considérer cette mesure comme une défense à l'échelle du quartier.

Ensuite, il faut remarquer la surélévation du bâtiment par rapport au niveau du sol, qui suppose une deuxième ligne de défense à l'échelle de chaque bâtiment.



Image 78. Ostasien Institut à Heidelberg, Allemagne

Ainsi, il est possible d'observer sur l'image suivante des bâtiments avec des protections similaires dans la ville de Heidelberg en Allemagne, au bord du Rhin. On estime qu'avec cette mesure, le bâtiment est capable de résister à une inondation avec **une période de retour de 200 ans. (Zollhafen Mainz)**

D'un autre côté, il existe d'autres structures surélevées qui sont construites directement en zones inondables où ces zones ont toujours de l'eau. On peut voir un exemple dans la ville d'Amsterdam, au Pays-Bas :



Image 79. Bâtiments construits sur zone d'eau à Amsterdam, Pays Bas

3.1.2 Les bâtiments en zones inondables

Une autre mesure notamment étendue est l'introduction de zones inondables dans les étages au niveau du sol et du sous-sol. Cette mesure est surtout utile si l'inondation qu'on prévoit de faire face est causée par la crue d'un fleuve ou pour stocker l'eau des averses en cas de défaillance du système de drainage.



Image 80. Parking inondable à Cologne

Ainsi, les zones au niveau du sol deviennent des zones de stockage d'eau en cas d'inondation.

Pourtant, ces zones ont souvent une fonction pour les habitants de la ville mais elles sont aménagées et préparées pour affronter une inondation.

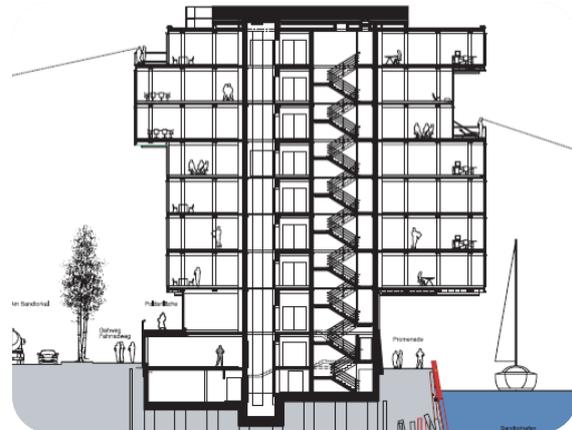
Ainsi, une mesure courante est utiliser les parkings situés au-dessous des grands bâtiments comme zone inondable en cas de crue. Il est possible de voir dans l'image 4 un parking inondable. Ainsi, ce parking est capable de stocker 144 000 m³ en cas d'inondation. (Zollhafen Mainz)

3.1.3 Les bâtiments avec des défenses intégrées

Les bâtiments avec des défenses intégrées permettent l'inondation des espaces qui sont



Image 81. Bâtiment situé à la ville d'Hambourg, Allemagne



directement à côté du bâtiment. Pourtant, cette mesure indique que la part du bâtiment qui se trouvera face à la zone inondée devra être aménagée pour affronter un possible remonté d'eau. Comme on peut le voir dans l'image, la partie du bâtiment que se trouve face au fleuve est aménagée pour affronter une remontée de l'eau. (Zollhafen Mainz)

3.1.4 Les bâtiments avec une protection externe

À partir des protections externes, la capacité de rétention d'eau est localisée à l'extérieur du bâtiment, en créant espaces inondables contrôlés près du bâtiment. Pourtant, cette mesure centre la protection hors du bâtiment, en considérant le bâtiment vulnérable aux inondations si cette protection externe est débordée.

Dans l'image 6, il est possible de voir un parking, située en-dessous d'une place, qui se trouve protégée à partir d'une dénivellation d'un petit jardin, qui fournit une protection similaire à celui d'un mur anti-inondation.

Ainsi, on estime que le jardin situé au milieu de l'image est capable de protéger une inondation avec une **période de retour de 200 ans**.



Image 82. Parking avec protection externe Almere, Pays Bas

3.1.5 Les bâtiments flottantes

Les bâtiments flottants sont ceux qui ont une structure flottante permanente située dans l'eau. Ainsi, le bâtiment est fixé à un emplacement tout en permettant un certain mouvement vertical. Il est possible de voir des exemples de bâtiments flottants dans les images suivantes :

Cette mesure offre une protection aux bâtiments sans tenir compte de la hauteur de la crue. Cependant, une liaison souple à la terre est nécessaire en raison de la fluctuation de l'eau. (FloodProbe, 2013)



Image 83. Prison flottante à la ville de Zaandam (Pays Bas) à gauche et pavillon flottant à Rotterdam (Pays Bas) à droite

3.1.6 Les structures amphibies

Les structures amphibies sont des fondations traditionnelles combinées avec des fondations flottantes. Ainsi, les bâtiments amphibies se situent la plupart du temps sur le sol, mais ils commencent à flotter en cas de remontée de l'eau. Il faut dire que la structure se trouve fixée pour éviter le déplacement horizontal (*FloodProbe, 2013*). Ensuite, il est possible de voir des exemples de bâtiments amphibies :



Image 84.. Bâtiments amphibies dans la ville de Maasbommel (Pays Bas) à gauche et dans la ville de Nouvelle-Orléans (Louisiane, USA), à droite.

3.1.7 Les passerelles surélevées

Une autre solution appliquée concerne des passerelles surélevées. À partir des passerelles, il est également possible de se déplacer lors des inondations. Ainsi, la communication des personnes qui habitent dans les bâtiments affectés avec l'extérieur n'est pas perturbée par les inondations. Ainsi, cette construction favorise aussi un possible sauvetage des personnes en cas d'une grave inondation.

Autrement, cette mesure n'est pas valable que pour des inondations de faibles niveaux d' hauteur, c'est-à-dire, pour des inondations de moins d'un mètre. Ce fait est dû à la pression de l'eau sur les murs du bâtiment. Ainsi, pour des hauteurs majeures de crues d'eau, il faudrait d'autres mesures spéciales pour résister à l'effet des inondations. (*FloodProbe, 2013*)

Ensuite, il est possible d'observer l'application de cette mesure à Hambourg, Allemagne :



Image 85. Passerelle surélevée à Hambourg, Allemagne

3.2 Les mesures de défense d'aléa

Autres mesures d'aléa différentes de celles montrées dans les cas étudiés antérieurement sont également utilisées comme défenses anti-inondation. Ces mesures ont pour rôle d'empêcher l'eau de passer à partir de différentes méthodes.

D'abord, on trouve les **sacs de sable**. De fait de sa facile préparation, ils sont souvent utilisés en cas d'urgence comme la dernière ligne de défense pour empêcher l'eau de couler dans la ville. Le coût approximatif de la défense est de **500 €/m²⁴**. et il peut arriver jusqu'à une hauteur de 2,5 m. Cependant, il faut que l'ampleur soit trois fois plus importante que la hauteur pour obtenir une structure stable.

Autrement dit, les **containers où gabions** sont également utilisés lors des inondations comme défense temporel. Leur coût est de **247 €** et il peut arriver jusqu'à une hauteur de 3,5 m. pour mesures structurelles. Par rapport à son ampleur, il faut qu'elle soit égale ou plus grande que la hauteur. (*Floodprobe, 2013*)



Image 86. Les containers (à gauche) et les sacs de sable (à droite)

Autrement, il est possible de trouver d'autres mesures comme le **flexible free standing, le rigid frame où le flexible frame** ; qui ont pour rôle de protéger des zones de la taille d'un quartier ou d'un bâtiment de l'eau. Le flexible freestanding a un coût de **1390 €/m.**, et compte avec une hauteur maximum de 2 mètres et une ampleur de quatre fois la hauteur.

Par rapport au rigid frame et au flexible frame, tous les deux comptent avec une hauteur maximum égale de 2,5 mètres maximum, et une ampleur minimum de deux fois la hauteur. Cependant, le coût de chaque défense est différente, étant de **1150 €/m.** pour le rigid frame, lorsque le flexible frame a un coût de **418 €/m.** Ainsi, par rapport au coût, il est plus convenable d'utiliser le flexible frame pour couvrir ces petites zones, lorsqu'il est plus approprié d'utiliser le rigid frame pour protéger les grandes zones. (*Floodprobe, 2013*)



Image 87. Flexible freestanding (à gauche), rigid frame (au centre), et le flexible frame (à droite)

²⁴ Tous les coûts mentionnés dans cet alinéa font allusion au prix de la mesure pour une hauteur de 2 mètres.

Autrement, il est également possible de trouver les tubes comme mesure de défense d'aléa. D'abord, on trouve le **Geotech Tube** avec un coût de **424 €/m.** et d'une hauteur maximum de 3,25 mètres et une ampleur minimum de 2,5 fois la hauteur, qui consiste en un grand tube qui empêche l'eau de couler dans la ville.

Néanmoins, il existe la possibilité de faire une barrière à partir de **plusieurs tubes**. Pour des raisons structurelles, la hauteur maximum des tubes est de 2,5 mètres, lorsque son ampleur minimum est de deux fois sa hauteur. Le coût des tubes suit l'équation suivante : **1376 €/m.** (Floodprobe, 2013)



Image 88. Geotech Tube (à gauche) et les tubes (à droite)

Finalement, on retient les **barrières d'aluminium démontables**. Comme nous l'avons vu antérieurement, très utilisées lors des inondations de la ville de Prague. Elles comptent avec une hauteur maximum de 5 mètres et une ampleur minimum de moins d'une fois sa hauteur. Autrement, son coût est de **2600 €/m.**

Les barrières préinstallées sont une autre solution possible, donc elles peuvent être fermées après utilisation. Elles comptent avec une ampleur d'au moins une fois sa hauteur, une hauteur maximum de 2,5 mètres et un coût de **4750 €/m.** (Floodprobe, 2013)



Image 89. Barrières aluminium (à gauche) et préinstallées (à droite)

4. Résultats – Bilan synthétique des résultats

	DEFENSE	DELAJ D'INSTALLATION	EMPRISE AU SOL (RELATION B/H)	COUT**	EFFET SEUIL	CAS D'APPLICATION	ECHELLE D'APPLICATION	RETOUR EXPERIENCE		
								PERIODE DE RETOUR	TYPE D'ALEA ET ANNEE	OBSERVATIONS
Défenses mobiles	Sac de sable	Presque immédiate	Grande	~ 500 €/m.	Oui	Londres	Quartier et bâtiments	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	Très bonne performance
						Bangkok	Quartier et bâtiments	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	-
						La Nouvelle- Orléans	Quartier	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	-
	Barrière gonflable	Immédiate	Grande	~ 1700 €/m.	Oui	Londres	Bâtiment	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	-
	Barrière mobile d'aluminium	Moyenne	Petite	~ 2600 €/m.	Oui	Prague	Quartier	500 ans	Tempêtes – Crue du fleuve en 2002	Très bonne performance
						New York*	Quartier	-	-	-
						Londres	Quartier	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	Bonne performance
	Pompes portatives	Moyenne	Variable	~ 750.000 €/u.	Non	La Nouvelle- Orléans*	Quartier	-	-	-
	Batardeau	Presque immédiate	Petite	~ 320 €/m.	Oui	Londres	Bâtiment	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	-
	Merlon provisoire en remblai	Long	Moyen	Variable	Oui	New York	La ville et la zone métropolitaine	700 ans	Ouragan Sandy- Submersion marine en 2012	Mesure debordée
						Prague	La ville et la zone métropolitaine	500 ans	Tempêtes – Crue du fleuve en 2002	-
	Ballons anti- inondation des tunnels de métro	Immédiate	Petite	-	Non	New York* -	La ville et la zone métropolitaine	-	-	-
	Barrière de tubes d'eau	Moyenne	Moyenne	~ 1400 €/m.	Oui	-	Quartier	-	-	-
	Containers / gabions	Petite	Petite	~ 250 €/m.	Oui	-	Quartier	-	-	-
	Flexible freestanding	Très grande	Très grande	~ 1390€/m.	Oui	Londres	Quartier	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	Bonne performance
Rigid frame	Moyenne	Moyenne	~ 1150 €/m.	Oui	-	Quartier	-	-	-	
Flexible frame	Moyenne	Moyenne	~ 420 €/m.	Oui	-	Quartier	-	-	-	
Geotech tube	Moyenne	Moyenne	~ 425 €/m.	Oui	-	Quartier	-	-	-	

DEFENSE	RELATION B/H	IMPACT AU PAYSAGE	EFFET SEUIL	CAS D'APPLICATION	ECHELLE D'APPLICATION	RETOUR EXPERIENCE			
						PERIODE DE RETOUR	TYPE D'ALEA ET ANNEE	OBSERVATIONS	
Défense fixe	Digue de fleuve	Très grande	Fort	Oui	La Nouvelle-Orléans	Ville et ses alentours	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	Rupture des digues
					New York	Ville et ses alentours	700 ans	Ouragan Sandy-Submersion marine en 2012	Bonne performance
					Prague	Ville et ses alentours	500 ans	Tempêtes – Crue du fleuve en 2002	Digues débordés
					Londres	Ville et ses alentours	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	Bonne performance
					Bangkok	Ville et ses alentours	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Digues débordés
	Digue de mer	Très grande	Fort	Oui	La Nouvelle-Orléans	Ville et la zone métropolitaine	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	Débordement des digues
					New York	Ville et la zone métropolitaine	700 ans	Ouragan Sandy-Submersion marine en 2012	Digues débordés
					Bangkok	La ville et la zone métropolitaine	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Bonne performance
	Digues polyvalents	Très grande	Fort à faible	Oui	New York*	La ville et la zone métropolitaine	-	-	-
	Digue de type mur poids	Très grande	Fort à faible	Oui	Londres	La ville et la zone métropolitaine	200 ans	Tempêtes-Submersion marine en 2000	Bonne performance
					Prague	La ville et la zone métropolitaine	500 ans	Tempêtes – Crue du fleuve en 2002	Digues débordés
					La Nouvelle-Orléans	La ville et la zone métropolitaine	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	Rupture des digues
					New York	La ville et la zone métropolitaine	700 ans	Ouragan Sandy-Submersion marine en 2012	Bonne performance
	Système de drainage	Non	Nul	Non	La Nouvelle-Orléans	Le quartier et la ville	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	Défaillance du système lors des inondations

Système de drainage par polder	Non	Non	Non	Bangkok	Le quartier et la ville	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	-
Barrières avec portes anti-inondation dans la mer	Très grande	Négatif	Oui	New York*	La ville et leurs alentours	-	-	-
Bâtiments avec défenses intégrées ou externes	Petite	Modulable	Oui	Ex : Hambourg, Allemagne	Bâtiment	-	-	-
Barrière mécanisée (Self-closing)	Moyenne	Non	Oui	-	Quartier	-	-	-

Explication du bilan :

Délai d'installation : S'entend comme le temps lors de l'annonce d'une crue.

Emprise au sol "B/H" : S'entend comme la relation entre la base et la hauteur de la défense. Il peut être :

- Petite $\rightarrow B/H < 1$
- Moyenne $\rightarrow 1 < B/H < 2$
- Grande $\rightarrow 2 < B/H < 4$
- Très grande $\rightarrow 4 < B/H$

* Ces mesures sont déjà prévues aux villes mentionnées mais elles n'ont pas été encore utilisées

**Coût estimée pour une hauteur de la défense de 2 m.

Coût de sacs de sable, sacs gonflables, petites planches :

Disponible site : <http://www.flood-products.co.uk/sandbags-hydrosacks-c-2055.html>

	<u>HABITAT RESILIENT</u>	<u>IMPACT AU PAYSAGE</u>	<u>ECHELLE D'APPLICATION</u>	<u>CAS D'APPLICATION</u>	<u>RETOUR EXPERIENCE</u>		
					<u>PERIODE DE RETOUR</u>	<u>TYPE D'ALEA ET ANNEE</u>	<u>OBSERVATIONS</u>
Autoroutes surélevées	Passerelle	Négatif	Ville	Bangkok	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Bonne performance de la défense
	Remblai	Modulable		-	-	-	-
Voie ferrée surélevée	Passerelle	Négatif	Ville	Bangkok	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Bonne performance de la défense
	Remblai	Modulable		-	-	-	-
Chenaux de déviation d'eau	En surface	Modulable	Ville	Bangkok	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Plusieurs chenaux débordés
	Sous-sol	Non		Londres*	-	-	-
Réseaux de gaz avec alarme	Non		Ville	New York	700 ans	Ouragan Sandy-Submersion marine en 2012	Bonne performance de la défense
Parkings inondables	Non		Bâtiment	Cologne, Allemagne	-	-	-
Parcs et plages inondables	Modulable		Quartier	New York*	-	-	-
Chemins entre bâtiments sur élevés	Modulable		Quartier	Ex : Hambourg, Allemagne	-	-	-
Structures amphibies	Positif		Bâtiment	La Nouvelle-Orléans	150 ans	Ouragan Katrina – Rupture des digues en 2005	Les bâtiments ont été inondés
Structures flottantes	Positif		Bâtiment	Ex : Zaandam et Rotterdam, Pays Bas	-	-	-
Passerelle mobile en bois	Modulable		Quartier	Bangkok	100 ans	Tempête –Crue du fleuve en 2011	Bonne performance de la défense
Draguer les chenaux	Non		Ville	Londres*	-	-	-

CONCLUSIONS

Cet étude montre que les dernières inondations dans plusieurs villes de grande importance partout le monde ont mis l'accent sur la besoin de se préparer pour affronter les inondations. De plus, certains experts remarquent l'accroissement de la fréquence de la période de retour des fortes tempêtes et des inondations dans le futur. Ce fait est surtout dû au réchauffement global de la planète Terre.

D'abord, une première approximation de l'étude nous montre le besoin de protéger la ville des aléas et d'intérioriser les importants enjeux qui ont lieu. Pour comprendre le déroulement du projet et les mesures utilisées pour les villes, le projet se doit aussi d'approfondir sur les types d'aléa qui peuvent causer une inondation, et l'explication de l'essor du projet.

D'un autre côté, l'étude constitue une approximation de l'impact des inondations sur les réseaux techniques de quelques villes. Autrement, ces villes ont une importance particulière par rapport à l'impact des inondations sur elles, leurs conditions environnementales, économiques et sociales. Ainsi, en regardant les défenses de la ville lors des catastrophes, il est possible d'évaluer leur performance à laquelle il faudrait protéger la ville.

L'évaluation des solutions déjà appliquées avec des nouvelles solutions de protection anti-inondation ont permis l'élaboration d'un bilan qui regroupe les solutions actuelles pour faire face à la menace d'inondation.

Enfin, les conclusions extraites du projet permettent d'aider à déterminer une solution concrète selon chaque type d'inondation et l'échelle à laquelle la mesure va être appliquée. Cependant, il faut dire que les conditions de chaque mesure ne sont pas exactement totalement valides pour le cas étudié, donc chaque ville étudiée aura des conditions particulières qui ne peuvent pas être tout à fait pareilles avec les autres villes. Ainsi, les résultats obtenus ne sont pas extrapolables.

REMERCIEMENTS

D'abord, je souhaiterais remercier mon tuteur Marc Vuillet pour son dévouement au cours du projet. Marc a été capable de me transmettre ses connaissances en que concerne le sujet étudié, il m'a aidé à résoudre la problématique posée. Ainsi, ses compétences dans le domaine de la résilience urbaine et les phénomènes d'inondations ont été indispensables pour aborder la question correctement lors de l'essor du projet.

Je profite également pour remercier l'EIVP et toute son équipe, qui m'a offert la possibilité de développer ce projet en son sein et en me fournissant tous les moyens nécessaires pour le résoudre. Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe des doctorants qui m'ont accueilli et aidé dès le premier jour avec sympathie : Alberto, Joffrey, Antoine, Angel, Samuel, Etienne, Charlotte, Luis et Michel ; qui m'ont accueilli et aidé dès le premier jour avec sympathie.

Finalement, je profite de l'occasion pour remercier ma famille et mes amis, qui ont constitué et constituent un important soutien dans ma vie.

ANNEXE I : LA VILLE DE LONDRES

L'évènement :

Lors des inondations de 2000-2001, il est possible de voir le nombre de propriétés inondées selon les régions à partir du schéma suivant :

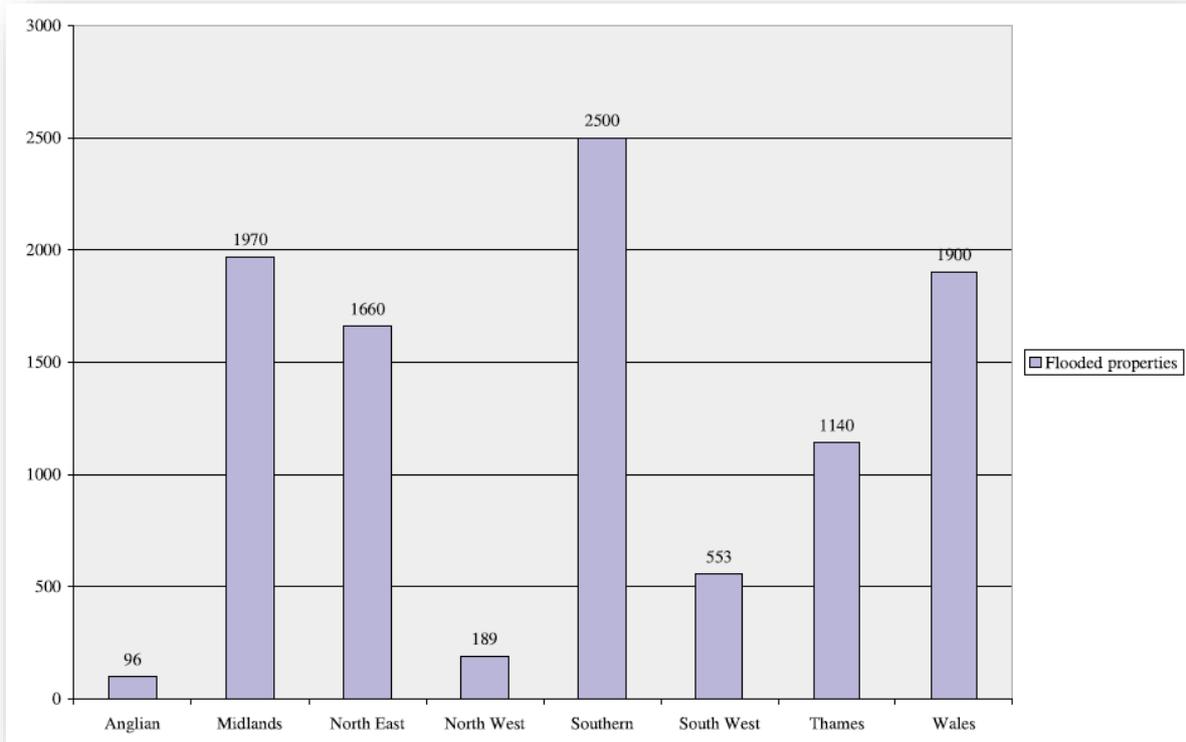


Image 10. Nombre de propriétés noyées selon la région

Ainsi, on estime que près de 280 000 foyers ont été sauvés des inondations grâce aux défenses anti-inondation lorsque 10 000 foyers ont été inondés. Autrement, il faut dire aussi qu'il y avait 37 000 propriétés, qui furent très proche d'être noyées. Ainsi, lors des inondations, 11 000 personnes furent obligées d'évacuer leurs foyers. (John Harman, 2001)

Il y avait, également, plusieurs villes où la fréquence des inondations a été plus élevée. Ainsi, on peut voir dans le tableau suivant cette fréquence à partir de certaines villes ayant subies plusieurs fois des inondations pendant l'année 2000 :

		October	October / November	November
Kent Yalding, Lamberhurst & Robertsbridge	Yalding and Lamberhurst - flooded five times in total during 2000	9th – 14th 29th – 31st		5th – 8th
Shropshire Bewdley Shrewsbury	Bewdley and Shrewsbury - flooded ten times in the last ten years		31st – 4th 31st – 3rd	8th – 9th 7th – 8th
North Wales Ruthin		30th		6th – 10th
Yorkshire Malton & Norton	Malton and Norton – severe flooding in 1999			1st, 3rd , 9th

Image 21. Montre les villes qui se sont inondées plusieurs fois pendant les inondations de l'an 2000.

Il faut dire que ces données sont, en ce qui concerne aux inondations, à l'ensemble du pays. Cependant, l'étude postérieure sera relative aux inondations de la ville de Londres et de ses alentours.

Les défenses et l'impact à la zone métropolitaine et aux alentours de la ville :

Ainsi, on trouve en premier lieu la barrière Barking Creek. Cette barrière de 60 mètres d'hauteur, qui se trouve dans la ville de Barking aux alentours de la ville de Londres, est située à l'extrémité du fleuve Roding. Il faut dire que le fleuve Roding se jette dans le fleuve Thames, après que celui-ci est passé par Londres. Ainsi, la barrière Barking a pour rôle d'empêcher l'eau de passer dans le fleuve Thames en cas de crues d'eau, mais surtout, de protéger les villes de Barking, Wanstead et Woodford du phénomène de submersion marine. (English Heritage)



Image 92. La barrière Barking située au fleuve Roding

Autrement, la barrière Dartford est située à l'extrémité du fleuve Darent, qui se jette aussi dans le fleuve Thames. L'objectif principal de la barrière Dartford est d'empêcher l'eau de passer dans la ville de Dartford, quand survient le phénomène de la submersion marine. Cette barrière protège 2000 propriétés résidentielles et près de 750 propriétés commerciales au sein de la ville de Dartford, qui est située aux alentours de Londres. (KGAL, consulting engineers).



Image 93. La barrière Dartford situé au fleuve Darent

La barrière Leigh a été construite en 1980 pour fournir l'atténuation des crues pour la zone de Tonbridge. Il comprend un barrage en remblai à travers la vallée de la rivière Medway au bord de Tonbridge, avec une structure pour contrôler la partie amont du fleuve. Le barrage en remblai est de quelques 1300 m de long et jusqu'à 5,7 m de haut.



Image 94. La barrière Leigh

Autrement, lors des inondations plusieurs bâtiments ont été inondés à la zone métropolitaine de Londres :

<u>VILLE</u>	<u>NOMBRE DE PROPRIETES INONDEES</u>
Wanstead et Woodford	230
Enfield	75
Richmond	15
Autres de Waltham Abbey	40
Total	360

Ensuite, il est possible de voir l'impact sur des villages au sud du pays :

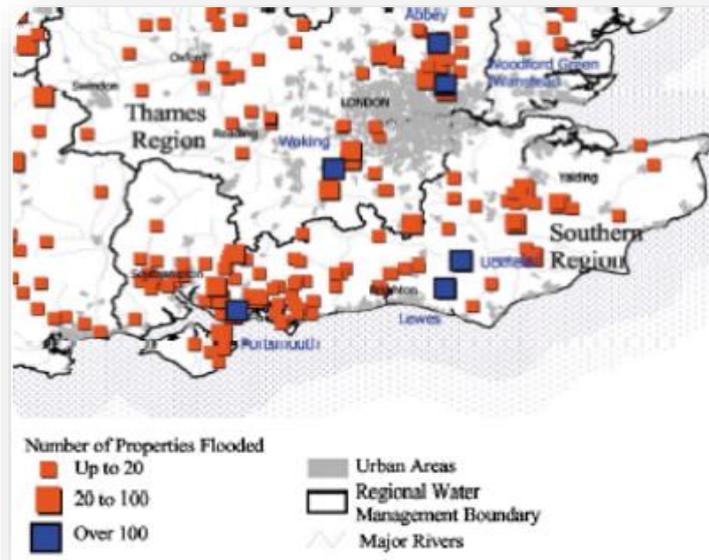


Image 95. Montre les zones plus touchées aux alentours de la ville

A partir de l'image il est possible de voir comment l'inondation était présente au niveau des réseaux de routes et autoroutes, et aussi affectait les réseaux de train. Par conséquent, il est possible de voir comment le transport à travers des zones mentionnées était en difficulté, du fait du manque de moyens disponibles.

Autrement, il faudrait faire mention de quelques villes qui ont été très proches d'être noyées, mais elles l'ont évité. D'abord, la ville de Chichester qui est située près de Portsmouth, au sud de Londres, a évité d'être noyée grâce à un canal de dérivation d'urgence de 5 km qui se trouve sous l'autoroute A27 et la ligne de train principale de la côte sud. On estime que grâce à cette mesure plus de 1000 propriétés ont été sauvées.

D'un autre côté, les murs anti-inondation situés au bord du fleuve dans la ville de Tonbridge ont été en danger d'effondrement. Ces défenses se sont améliorées avec des sacs de terre lors des inondations pour éviter le débordement du fleuve. On estime que grâce à cette mesure près de 700 propriétés se sont sauvées¹. (John Harman, 2001)



Image 96. Zone près de Nottinghamshire noyée.

¹ On peut voir la liste de toutes les villes de Londres qui ont été proches d'être noyées dans l'annexe III.

La barrière de la Tamise :

On peut voir ce fait dans le document suivant, qui montre le nombre de fermetures annuelles de la barrière, et le motif, qu'il soit dû à la marée, fortement liée à la submersion marine, ou bien aux crues des affluents :

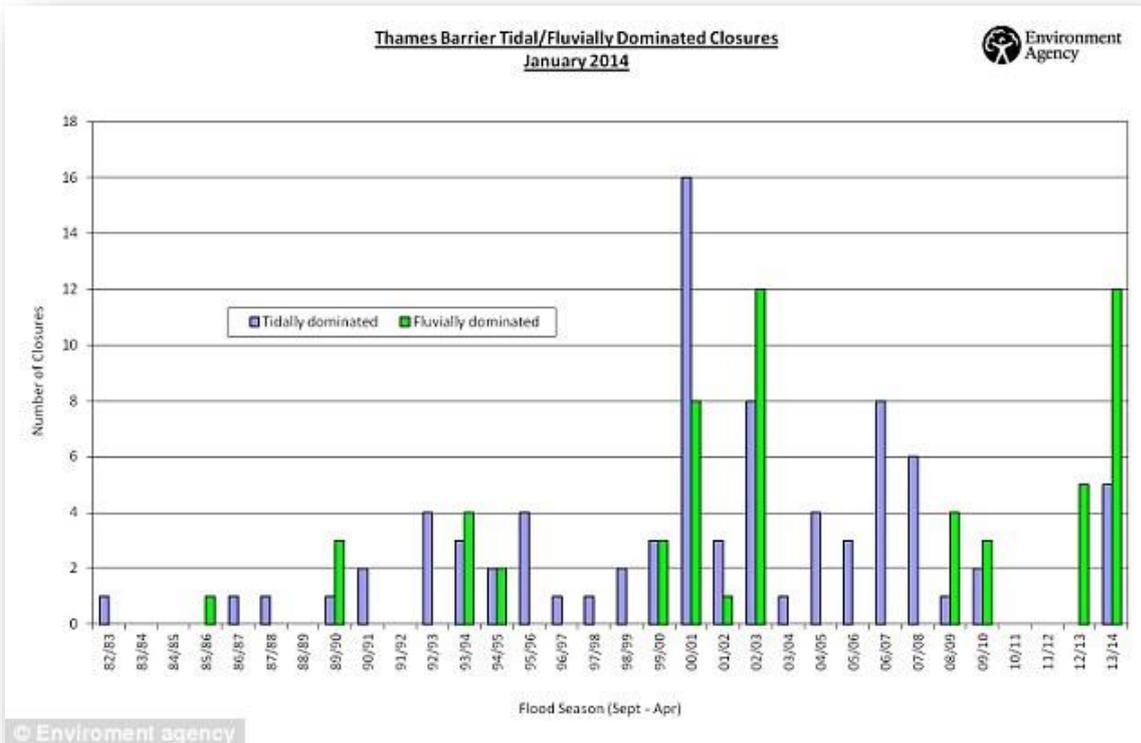


Image 37. Montre nombre de fermetures annuelles de la barrière selon le motif

L'impact sur les villes aux alentours de la ville de Londres, avec la taille des quartiers noyés :

- Ville de Tonbridge

Au sein de la région de Kent, les intenses pluies sur le fleuve Medway ont produit un important débit. Ce débit près de la ville de Tonbridge était de 260 m³/s, soit 15% au-dessus par rapport à la valeur maximale retenue précédemment, en 1968. La zone de stockage d'eau s'est remplie en 5 heures et nous avons retenu des niveaux d'eau de la rivière à Tonbridge de l'ordre de 900 mm en-dessous des niveaux connus en 1968. Il faudrait dire que d'après l'expérience précédente, il fallait deux jours pour remplir la zone de stockage d'eau. Sans la barrière plus de 2 000 propriétés auraient été inondées.



Image 98. Montre la performance de la barrière Leigh lors des inondations de l'an 2000.

Cependant, un problème potentiel pour la ville de Tonbridge a été identifié le 12 Octobre 2000, c'est-à-dire, pendant les fortes pluies. Ainsi, un mur d'un mètre de profondeur, qui s'est créé à

empêcher l'eau, a commencé à fuir car on nota quelques fuites d'eau. Ce problème s'est arrangé à partir de l'utilisation de sacs de terre, qui ont aidé à empêcher l'eau de passer.

- Ville de Yalding

Malgré le fait que les flux d'eau ont été freinés sur le fleuve Medway par la barrière Leigh, les rivières en crue de la Medway, Teise et Beult convergeant avec le cours d'eau Yalding, amenaient à des inondations extrêmes. Il faut dire que le village est devenu le centre d'attention des médias donc les inondations ont continué après chaque période d'intenses tempêtes. Ainsi, le village s'est inondé plusieurs fois pendant les tempêtes de 2000. Ces périodes d'inondation allèrent du 9 au 14 octobre, puis du 29 au 31 octobre et enfin du 5 au 8 novembre². Ce fait a eu pour conséquence le fait que 25 propriétés furent noyées.

- Villes de Robertsbridge, Lamberhurst, Five Oak, Green et East Peckham

Ces villes ont été noyées trois fois lors des mois d'octobre et de novembre en 2000.

- Ville de Portsmouth

A Portsmouth, après d'intenses précipitations le 15 Septembre, plusieurs zones de la ville se retrouvèrent inondée pendant que la station de pompage "Southern Water Eastney" qui jouait un rôle de drainage de l'eau avait elle-même été inondée de drainer l'eau, était aussi inondé. Cela a provoqué des inondations des eaux usées et des eaux de surface de près de 200 maisons dans certaines régions du centre-ville.

L'impact sur les bâtiments :

On peut voir ensuite un tableau qui montre les dommages principaux sur les bâtiments en fonction de la hauteur de l'eau à l'intérieur d'eux³ :

HAUTEUR DE L'EAU	DOMMAGE AU BATIMENT
<i>Au niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none">• Minime dommage sur le bâtiment principal.• L'eau peut entrer dans les caves et les sous-sols.• Erosion possible aux fondations.
<i>Jusqu'à un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none">• Dommages aux finitions intérieures, tels que les revêtements muraux.• L'eau peut être sale et les planchers et les murs peuvent avoir besoin de nettoyage et de séchage.• Dommage au sol, qui peut avoir besoin de remplacement.
<i>Plus d'un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none">• Dommage plus élevé sur les murs. Même, les murs peuvent être endommagés.

² On peut voir ce fait dans l'image 4, située à la feuille 2.

³ L'information suivante a été extraite du document "Preparing for floods" mentionné à la bibliographie au-dessous.

HAUTEUR DE L'EAU	DOMMAGE AUX RESEAUX
<i>Au niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommage sur les prises de courant.
<i>Jusqu'à un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux compteurs d'électricité et les boîtes à fusibles. • Dommages aux compteurs de gaz. • Dommages sur chaudières situées à bas niveau. • Dommage aux services téléphoniques.
<i>Plus d'un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Haute dommage sur autres appareils électroniques et services électriques.

HAUTEUR DE L'EAU	DOMMAGE AUX POSSESSIONS PERSONNELLES
<i>Au niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommage sur le tapis. • Meubles et possessions au sous-sol ou aux caves endommagés.
<i>Jusqu'à un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux sofas, autres meubles, et appareils électriques qui ont un haut valeur. • Dommage sur petites possessions, comme livres, cassettes, vidéos ou photos.
<i>Plus d'un mètre et demi sur le niveau de la terre</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Dommages aux biens qui se trouvent en étagères supérieures.

ANNEXE II : LA VILLE DE LA NOUVELLE-ORLEANS

La défaillance en cascade des défenses

Les investigations ont prouvé que la construction des digues n'a pas été optimale. Les digues ont été construites avec des matériaux obtenus à partir du drainage des chenaux. Ainsi, ces matériaux sont faits de terre et de carapace. Cependant, pour faire une bonne digue capable de résister aux forces produites par un fort événement comme l'ouragan Katrina, il faut construire des digues d'argile et avec une protection à sa surface. Par conséquence, les digues n'ont pas pu résister à la force de la tempête et ont cédé (Lagadec, 2007).

On peut voir dans les images suivantes l'inondation de la ville par ordre chronologique :

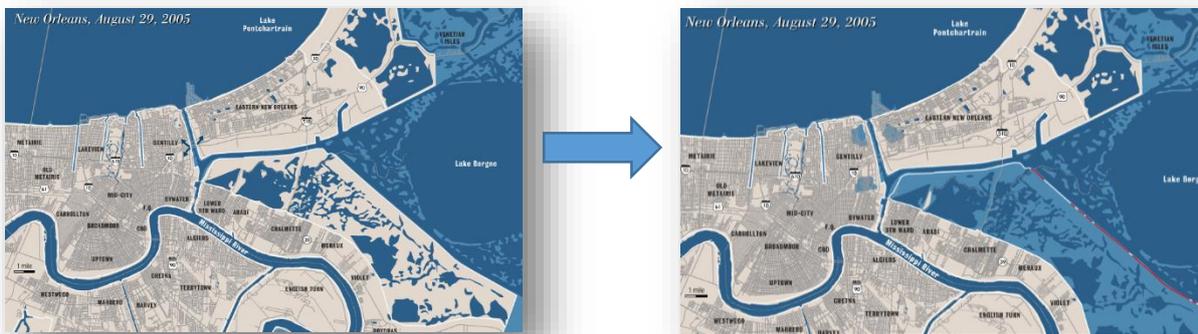


Image 99. Rupture des digues au chenal qui connecte le Mississippi et le lac Pontchartrain (à gauche) et rupture des digues qui protègent les zones humides de la Nouvelle Orléans (à droite)

D'abord, il est possible de trouver la première défaillance sur le chenal qui connecte le fleuve Mississippi avec le lac Pontchartrain. Ce chenal est spécialement dangereux du fait qu'il est possible de rencontrer la somme des phénomènes, d'observer la remontée du lac Pontchartrain et de signaler une crue de ce fleuve⁴.

Autrement, les digues qui ont pour rôle de protéger l'est de la ville, où se trouvent les zones humides qui peuvent également être utilisées comme zones de stockage d'eau, ce se sont aussi cassées. Ainsi, à partir de ce moment, une défaillance en cascade s'est produite dans la ville, due à l'écoulement de l'eau au sein d'elle.



Image 100. Défaillance des digues

On peut voir l'inondation dans les images suivantes :

⁴ On peut voir ce fait dans les images 3 et 6, qui montrent les lieux où la digue n'était pas capable de résister l'ouragan



Image 101. Inondation du quartier est de la Nouvelle Orléans (à gauche) et les quartiers de Bywater et Gentilly (à droite)

L'inondation des zones humides a causé que l'eau coula dans les quartiers du sud-est de la Nouvelle-Orléans. Ainsi, la défaillance des digues extérieures à St. Bernard Parish a causé de graves dommages à la ville due à une sérieuse inondation. Les murs de rétention d'eau, n'étaient préparés pour faire face à l'ouragan, donc ils n'ont pas pu empêcher l'eau de passer. En plus, les pompes qui étaient situées dans les zones affectées pour aider en cas d'urgence, n'ont pas fonctionné, de ce fait, elles se sont retrouvées inondées.

Finalement, l'échec des défenses mentionnées et la défaillance des digues des autres chenaux qui restaient dans la ville ont causé l'écoulement de l'eau à l'intérieur de la ville. On peut voir les zones noyées de la ville dans l'image suivante :



Image 102. Zones de la Nouvelle Orléans noyées

Après la défaillance des défenses, "563 km de digues étaient sous pression maximale, avec des brèches et des dépassements. Aussi, les stations de pompages étaient inondées, ou sans énergie. Il s'agissait d'évacuer 850 MNS de m³ d'eau" (Lagadec, 2007).

Ainsi, "sur les 560 km de levées, Katrina a provoqué au total 50 brèches, endommageant 270 km de digues et de murs, dont 65 km gravement ; les brèches ont créé des dégâts bien plus importants qu'une inondation due à une simple submersion des levées" (Maret et Goeur, 2008).

L'impact sur les quartiers et les bâtiments de la ville :

Par rapport à l'impact des inondations sur les quartiers de la ville, on trouve que les rues des quartiers affectés étaient inutilisables, donc on recensé jusqu'à 3 mètres (10 pieds) de profondeur d'eau sur le niveau de la terre. On peut voir ce fait dans l'image suivante :

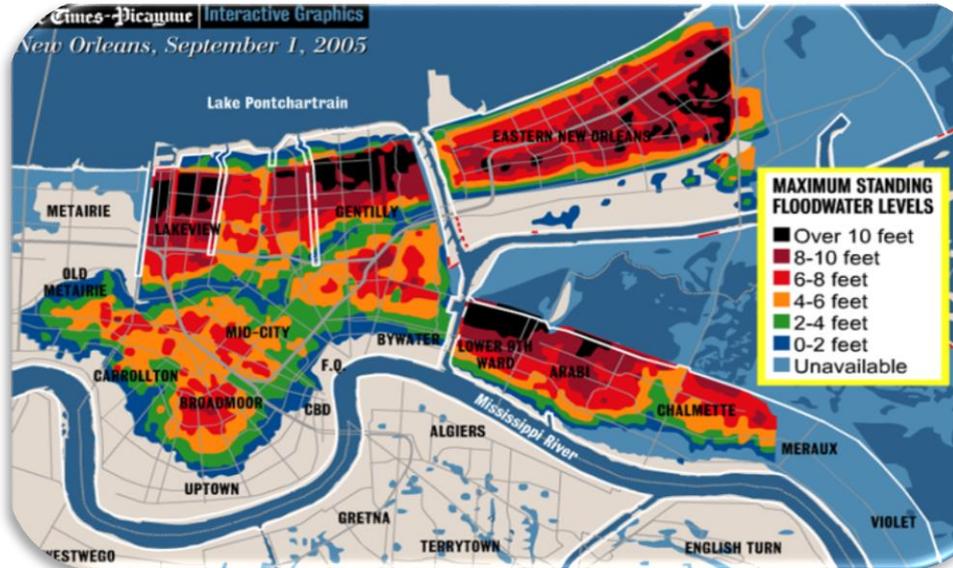


Image 103. Profondeur de l'inondation par rapport à la zone.

Comme nous l'avons dit antérieurement, les quartiers avaient différentes hauteurs d'eau par rapport au niveau du sol dans chaque area. Ainsi, on peut voir les zones les plus affectées par les inondations qui sont celles qui étaient près des chenaux d'eau et celles qui étaient situées à côté du lac Pontchartrain. Ainsi, on peut voir que la défaillance des défenses se localisait sur les murs des chenaux et quelques digues à côté du lac.

Autrement, l'inondation des quartiers a aussi provoqué le stockage de sédiments dans les quartiers affectés pendant quelques jours. On peut voir ce fait dans les images suivantes :

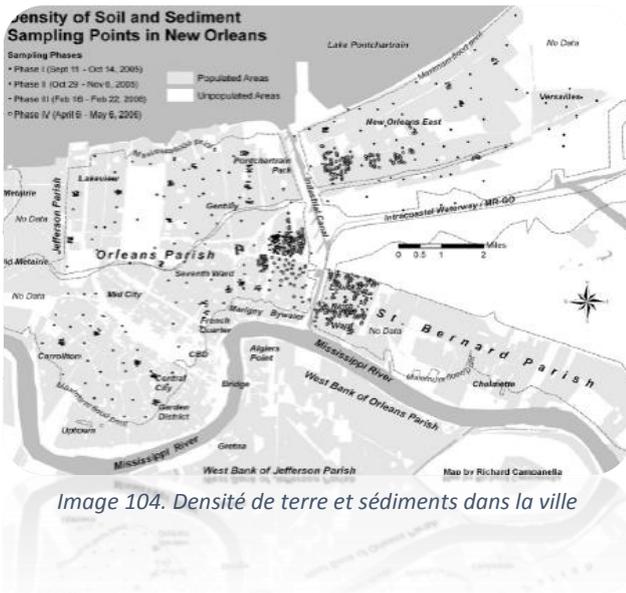


Image 104. Densité de terre et sédiments dans la ville

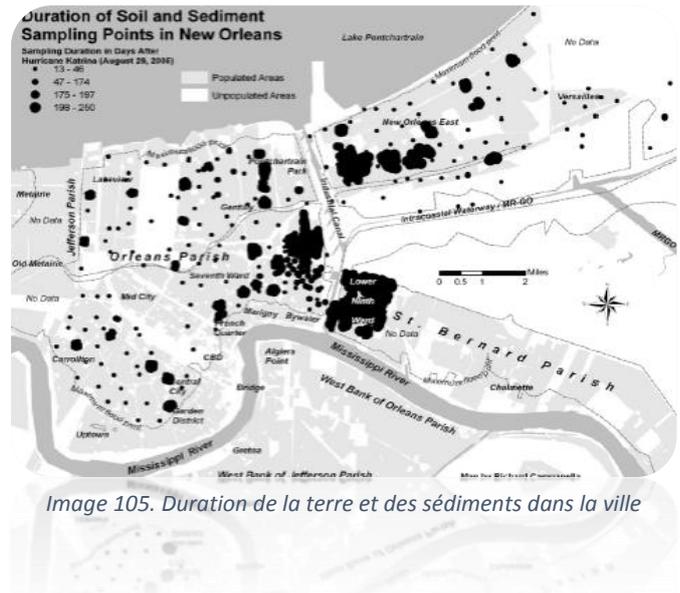


Image 105. Durée de la terre et des sédiments dans la ville

L'impact sur les alentours de la ville de la Nouvelle-Orléans :

Ainsi, comme nous l'avons vu antérieurement, la ville et une partie de sa zone métropolitaine ont souffert des inondations et, par conséquent, ont subi les plus importants dommages. Cependant, les alentours de la zone de la Nouvelle-Orléans n'ont pas souffert des inondations.

Ce fait est dû à la situation particulière de la ville, qui se trouve entourée par l'eau. D'un côté, la ville a deux lacs, le lac Pontchartrain et le lac Borgne. De l'autre côté, la ville a le fleuve Mississippi.

Les alentours de la ville se trouvent seulement menacés par le fleuve Mississippi et, comme on a vu antérieurement, la défaillance des défenses de la Nouvelle-Orléans a été due aux inondations qui sont venues des lacs situés à côté.

Autrement, l'eau qui coulait dans la ville ne pouvait pas traverser le fleuve, donc la ville est située en-dessous du niveau du fleuve et des lacs. Par conséquent, la zone de la ville de la Nouvelle-Orléans servait de zone de stockage d'eau, protégeant ainsi les alentours de la ville.

On peut voir la protection des alentours de la ville de la Nouvelle-Orléans à partir d'un vaste ensemble de digues dans l'image suivante :

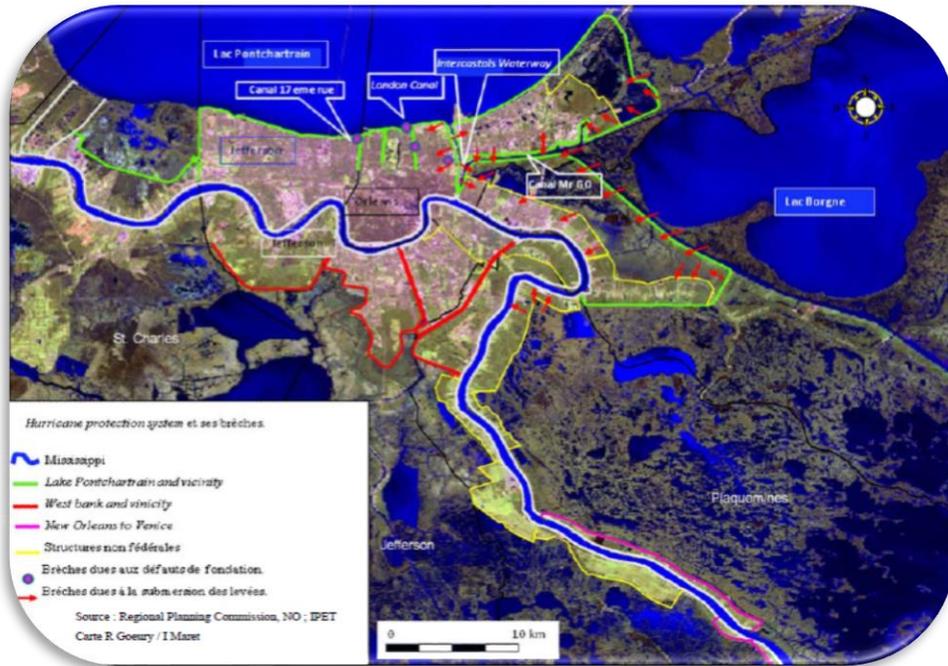


Image 106. Couverture anti-inondation grâce à des défenses

L'impact sur les bâtiments :

Lors des inondations de 2005, les bâtiments ont souffert d'une grave inondation allant jusqu'à 10 pied (3 mètres) de hauteur, dans les zones les plus affectées. Ensuite, en ce qui concerne les dommages des bâtiments, il faudra séparer parmi le dommage structurel des bâtiments et le dommage de l'intérieur des bâtiments.

D'abord, le dommage structurel n'était pas si grave dans la plupart des bâtiments de la Nouvelle-Orléans, par rapport à l'intensité de l'inondation. Ce fait est dû à ce que l'inondation s'est produite par des eaux lentes, qui par la suite ont réduit ou éliminé les effets néfastes des forces hydrodynamiques et les impacts sur les bâtiments. Autrement, les portes et les murs des bâtiments supportaient les pressions hydrostatiques, et ils ont aussi aidé à diminuer les forces hydrodynamiques sur les bâtiments.

Cependant, l'intérieur des bâtiments ont souffert de graves dommages, due à la hauteur des inondations, qui équivalaient à près de 5 pieds (1,5 mètres) d'hauteur. Ainsi, tous les appareils électroniques et les réseaux d'électricités furent noyés et sont restés inutilisables. Autrement, tous les biens situés au premier étage ont été endommagés. On peut voir dans les images 19 et 20 la hauteur de l'eau dans les bâtiments à partir des sédiments.



Image 107. Bâtiment noyée à la Nouvelle-Orléans lors des inondations de 2005

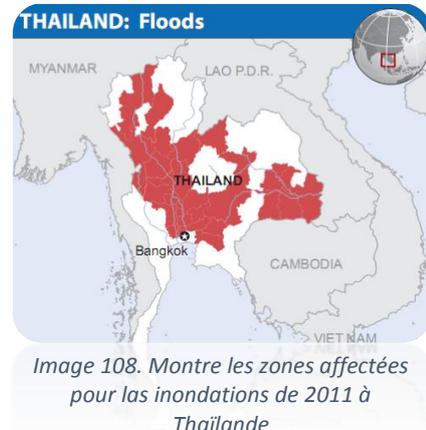
ANNEXE III : LA VILLE DE BANGKOK

L'événement :

Les fortes pluies en 2011 à Bangkok ont causé des graves inondations à la ville. Il est possible de voir l'impact sur la ville dans l'image à côté.

Ainsi, les efforts ont été basés sur la prévention de l'inondation dans les zones centrales de la ville où il y avait une profondeur minimale de 80 cm d'eau dans 470 locations en 32 zones du nord et ouest de la ville.

Il est possible de voir bilan des coûts des dommages et l'impact sur les citoyens causés en Thaïlande dans le tableau suivant :



Foyers affectés	1.886.000 (jusqu'à Nov. 22,2011)
Maisons détruites	19,000 maisons
Personnes obligés à se déplacer	2.5 million de personnes
Morts	813 personnes
Zone agricole affectée	17,578 km ²
Coûte des dommages totaux	THB 1.43 billion / USD 46.5 milliard de dollars
Coûte des dommages dans le secteur de fabrication	THB 1,007 milliard / US\$ 32 milliard de dollars

Tableau 1. Impact sur la ville et sur les citoyens pendant les inondations de 2011 à Thaïlande
Extrait du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall et mentionné à la bibliographie au-dessous.

Bilan des défenses dans la ville

<u>LES ENDROITS MENACES DE LA VILLE</u>	<u>LES DEFENSES</u>
<i>Au bord du fleuve et des chenaux</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs stations de pompage situées à Phra Nakhon et au bord du fleuve et des chenaux. • Dykes avec une longueur de 75,7 km.
<i>Au nord de Bangkok</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Les digues de SM le Roi et Pasak Cholsid barrage à Saraburi (au nord-est de Bangkok) sont les principales mesures de protection contre les eaux de ruissellement qui peuvent aider à tenir jusqu'à 800 millions de mètres cubes d'eau.
<i>L'est de Bangkok</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Portes anti-inondation DMA. • Portes dues au Département d'Irrigation. • Stations de pompage. • 20 bassins de rétention aident à conserver jusqu'à 6 millions de m³ d'eau avant d'être pompée et évacuée vers la mer • 7 grands tunnels ont également été installés pour aider la vitesse du drainage.

L'ouest de Bangkok	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau de digues à la Chao Phraya, Mahasawas et Bangkok Noi chenaux, pour empêcher l'eau pendant les inondations d'entrer dans les zones protégées à l'intérieur des digues.
Au sud de Bangkok	<ul style="list-style-type: none"> • Un bassin de rétention d'eau qui est capable de contenir jusqu'à 6 millions de m³ d'eau
L'intérieur de Bangkok	<ul style="list-style-type: none"> • La digue HK King's. • La digue Samut Prakarn. • Zones de rétention d'eau.

Tableau 2. Les défenses de la ville. Information écrite pour Jon Fernquest (2011) et mentionné à la bibliographie

Ainsi, les défenses de la ville comptaient avec portes anti-inondation, des stations de pompage et plusieurs km de digues et de murs. Avec ces défenses la ville est capable d'écouler **45,53 million de m³ par jour dans la zone est**, au même temps qu'est capable d'écouler **32 million de m³ par jour la zone ouest**. Il est important de dire aussi que, lors du 1er novembre 2011, 1,26 km de digues étaient en train d'être construites au même temps que plusieurs stations de pompage et des portes anti-inondations. Ainsi la ville possède des tunnels qui peuvent être utilisés en cas d'inondation.

La réponse et défaillance des défenses lors des inondations

Autrement, il existe une "masse d'eau qui se déplace au nord de Bangkok, et la ville n'a pas d'infrastructures pour y faire face" (Jon Fernquest, 2011). Ainsi, malgré toutes ces défenses, "le système de drainage des eaux était conçu pour maîtriser quelques inondations localisées, qui furent causées par les fortes tempêtes". Cependant, il n'était pas conçu pour "les grands ruissellements qui viennent du nord" (Bangkok Metropolitan Administration, BMA)⁵.

Ainsi, le problème est que le massif ruisselle au-dessus de Bangkok, et il provient du nord. Par conséquence, il est nécessaire de dévier l'eau du fleuve par d'autres chemins à travers la ville mais des objets réalisés par l'homme empêchent l'eau de passer (Jon Fernquest, 2011).

Pendant le mois d'octobre la tempête avait causé le désastre de la capitale de la Thaïlande, Bangkok. L'échec des principaux murs anti-inondation ont permis l'infiltration de l'eau dans la ville causant près de 20% de sinistrés (deux millions d'habitants) soit obligeant la population à partir de leurs maisons. Cela a entraîné l'inondation des rues, des routes et même de l'aéroport (Impact Forecasting, 2012).

Autres systèmes de défense qui ne résistèrent pas à l'inondation étaient les systèmes de drainage de la ville. Un système qui ne fut pas adéquat pour résister au plus commun des cyclones tropical et ne pouvait pas aider à éviter l'inondation (Impact Forecasting, 2012).

⁵ Information extraite du site mentionné à la bibliographie:

<http://www.bangkokpost.com/learning/learning-from-news/264228/bangkok-drainage-system>
(Jon Fernquest, 2011)

L'arrêt de la ville :

Les mesures anti-inondation n'ont pas été suffisantes pour maintenir ouvertes la plupart des stations de métro. Ainsi, ce fait a influé sur le numéro de voyageurs qui prennent souvent le métro, en diminuant ce numéro de 20%.

Autrement, il faut dire que l'effondrement de la ville, par rapport à la fermeture d'entreprises et commerces lors des inondations, a influé aussi dans le transport des personnes, donc beaucoup de personnes ont décidé de fuir la ville lors des inondations lorsque d'autres n'ont aucun lieu où y aller. (Jon Fernquest, 2011)

Un autre exemple c'est l'aéroport Suvannabhumi de Bangkok, situé à l'est de la ville. Il ne recevait pas beaucoup de dommages dû aux stations de pompage d'eau et les larges digues qui sont situées aux alentours de l'aéroport. "L'aéroport Suvannabhumi, est construit au-dessus de plusieurs grands canaux à l'est". Ainsi, "il empêche l'eau de couler jusqu'à la mer"⁶ (Jon Fernquest, 2011). Cependant, il n'a pas pu opérer avec normalité dû au manque d'essence.

A Bangkok, il est nécessaire de faire remarquer aussi la grande production de riz en zone métropolitaine. En fait, "lors d'une année normale, un tiers des exportations mondiales de riz vient de Thaïlande" (Sylvain Kahn, 2011).

Les dommages aux alentours de la ville :

Par rapport aux alentours de la ville de Bangkok, la province d'Ayutthaya est une des principales attractions touristiques et patrimoniale mondiale située au nord de la ville de Bangkok, elle fut fortement affectée pour par les inondations (Thaïlande-Fr.com, 2011). Mais Ayutthaya a aussi l'une des zones les plus industrielles de tout le pays, avec lesquelles "elle produit 7% de l'économie de la Thaïlande, et on recense plus du 15% de la production du pays" (Impact Forecasting, 2012).

C'est pour cette raison que l'on peut considérer que ce sont ces zones, localisées aux environs de la ville de Bangkok, qui ont reçu les plus grands dommages après les inondations de 2011.

Ainsi, "la province d'Ayutthaya a été une des zones les plus affectées, dont plus de 900 sur 2 150 usines ont été endommagées. Les cinq zones industrielles d'Ayutthaya (Rojana, Saha Rattana Nakom, Hi-Tech, Bang Pa-in et Factoryland) ont été inondées. Deux parcs industriels additionnels près de Bangkok (Bang Chan et Lat Krabang) furent aussi obligés de suspendre temporairement leur production due à l'inondation. De plus, de grandes entreprises furent obligées d'arrêter leur production, comme : Toyota, Honda, Mazda, Nissan, Mitsubishi, Sony, Nikon, Sanyo Semiconductor, Canon, Western Digital, Hitachi, Hutchinson, Microsemi, ON Semiconductor et Matsushita". Selon le président de la "Japan Automobile Manufacturers Association" il y avait des pertes d'équivalent à 6 000 automobiles chaque jour. (Impact Forecasting, 2012).

"L'arrêt prolongé des zones industrielles a conduit à une perte importante de la production, de la fabrication d'automobiles et de l'électronique, de ce fait, on observe une forte diminution de

⁶ On peut voir ce fait dans [l'image 6](#), qui montre les défenses de la ville pour faire face les inondations.

la disponibilité de ces secteurs dans le monde entier. Ainsi, "la perte de production a conduit à des impacts négatifs sur la rentabilité de chaque entreprise." (Impact Forecasting, 2012)

Finalement, il est important de dire aussi que Bangkok englobe 41% de l'économie du pays. Par conséquent, les effets sur la production du pays furent dévastateurs, donc quelques arrêts de la production dans la ville de Bangkok ont impliqué un fort impact à l'économie de tout le pays.

Ainsi, il est possible de voir dans le tableau suivant les différentes zones industrielles des environs de la ville de Bangkok et le temps quand elles étaient sous l'eau.

Name	Province	Number of companies (number of Japanese companies)	Inundated date	Date completed draining water	Time to finish drainage (days)
Saha Ratta Nanakorn Industrial Estate	Ayutthaya	42 (35)	Oct. 4, 2011	Dec. 4, 2011	62
Rojana Industrial Park	Ayutthaya	218 (147)	Oct. 9, 2011	Nov. 28, 2011	51
Hi-Tech Industrial Estate	Ayutthaya	143 (about 100)	Oct. 13, 2011	Nov. 25, 2011	44
Bang Pa-in Industrial Estate	Ayutthaya	84 (30)	Oct. 14, 2011	Nov. 17, 2011	35
Nava Nakorn Industrial Estate	Pathum Thani	190 (104)	Oct. 17, 2011	Dec. 8, 2011	53
Bankadi Industrial Park	Pathum Thani	34 (28)	Oct. 20, 2011	Dec. 4, 2011	46
Factory Land (Wangnoi) Industrial Park	Ayutthaya	93 (7)	Oct. 15, 2011	Nov. 16, 2011	33
Total		804 (451)			

Source: <http://www.jetro.go.jp/world/asia/th/flood/complex.html>

Tableau 3. Montre les zones industrielles noyées et pour combien de temps
Extrait du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall, mentionné à la bibliographie au-dessous.

Il est possible de voir que les villes d'Ayutthaya et Pathum Thani, situées aux alentours de la ville de Bangkok, ayant diverses zones industrielles, se sont retrouvées sous l'eau pendant plusieurs jours, causant de graves dommages sur les bâtiments des entreprises situées dans ces zones.

Par conséquent, après l'inondation plusieurs bâtiments et zones industrielles restaient sans pouvoir revenir à un taux de 100 % de leur capacité de production. Il est possible de voir les tâches 6 mois plus tard, rétablies le premier juin 2012, dans le tableau suivant :

	Number of Factories	Operation has restored			Operation has not restored yet		Businesses has closed	
		Fully Restored	Partly Restored	%	#	%	#	%
Saha Ratta Nanakorn Industrial Estate	46	14	13	59%	14	30%	5	11%
Rojana Industrial Park	213	69	85	72%	30	14%	29	14%
Hi-Tech Industrial Estate	143	75	27	71%	25	17%	16	11%
Bang Pa-in Industrial Estate	90	46	31	86%	12	13%	1	1%
Nava Nakorn Industrial Estate	227	55	107	71%	57	25%	8	4%
Bankadi Industrial Park	36	7	17	67%	9	25%	3	8%
Factory Land (Wangnoi) Industrial Park	84	70	14	100%	0	0%	0	0%

Source: IEAT through JETRO

Tableau 4. Montre les tâches rétablies dans les zones industrielles le 1 juin 2012.
Extrait du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall, mentionné à la bibliographie au-dessous

Ainsi, il est possible de voir comment la récupération des industries fut lente, causant des dégâts importants par manque de production, et de voir la difficulté de pouvoir les quantifier.

Autrements, il est important de dire aussi que plusieurs entreprises qui ont été noyées pendant les inondations de Bangkok de 2011 étaient japonaises. Parmi ces entreprises affectées, il est possible trouver deux grands secteurs : le secteur automobilistique et le secteur de l'électronique, plutôt consacré à la production de disques durs.

Company	Place of factories	Damage	State of operation /production
Western Digital	1) Bang Pa-in Industrial Estate	Factories inundated (2 m)	- Stopped production since Oct 16, 2011
	2) Nava Nakorn Industrial Estate		- Partly restored on Nov 30, 2011 - Needed days to restore:46 days
Toshiba	Nava Nakorn Industrial Estate	Factory was inundated (1 m)	- Stopped production since Oct 11, 2011 - Alternate production in Philippines - Partly restored Thai factory on Feb 1, 2012 - Need dates to restore: 114 days
Seagate Technology	1) Seagate Teparuk, Amphur Muang, Samutprakarn Province 2) Seagate Korat, Amphur Sungnoen, Nakhon-Ratchasima	Factories were not inundated	- Some adjusted production due to the lack of supply from suppliers
Samsung	In South Korea	Factories were not inundated	- Some adjusted production due to the lack of supply from suppliers

Tableau 5. Montre les entreprises affectées qui sont consacrées à la production de disques durs. Extraite du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall mentionné au-dessous.

Factory	Place	Damage	Starting date for adjusted/stopped production	Date when production is resumed	TTR (days)
Honda Honda Automobile	Rojana Industrial Park	Factory was Inundated on Oct 8th 2011, and stopped the production	Stopped production since 10/4/2011	3/26/2012 (Partly resumed)	174
Honda Thailand Manufacturing Company Ltd	Bangkok	No inundation of factory. Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped production since 10/6/2011	11/14/2012 (Partly resumed)	40
Honda Suzuka Factory	Japan	Adjusted production due to the lack of parts supply	Adjusted production since 11/7/2011	12/5/2011 (Normal level of production)	28
Honda Saitama Factory	Japan	Adjusted production due to the lack of parts supply	Adjusted production since 11/17/2011	12/5/2011 (Normal level of production)	18
Honda 6 Factories in the north America	North America	Adjusted production due to the lack of parts supply	Adjusted production since 11/2/2011	12/1/2011 (Normal level of production)	30
Honda Malaysia	Malaysia	Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped production 10/25/2011	not available	Not available
Toyota Toyota Motor Thailand Ltd, Samrong Assembly	Samut prakarn Province, Thailand	Factories were not Inundated Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped Production since 10/10/2012	11/21/2011 (Partly resumed)	42
Toyota Toyota Motor Thailand Ltd, Gateway Assembly	Chachoengsao Province	Factories were not Inundated Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped Production since 10/10/2013	11/21/2011 (Partly resumed)	42
Toyota Toyota Motor Thailand Ltd, Baan Poe Assembly Plant	Chachoengsao Province	Factories were not Inundated Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped Production since 10/10/2014	11/21/2011 (Partly resumed)	42
Nissan Nissan Thailand, HQ Assembly Plant	Samut Prakan Province	Factories were not Inundated Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped production since 10/17/2012	11/14/2011 (Partly Resumed)	29
Nissan Siam Motors and Nissan HQ Assembly Plant	Samut Prakan Province	Factories were not Inundated Stopped production due to the lack of parts supply	Stopped Production Since 10/17/2012	11/14/2011	not available

Tableau 6. Montre les entreprises affectées qui sont consacrées le secteur automobilistique. Extraite du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall mentionné au-dessous.

Ainsi, ces entreprises ont souffert d'importants dégâts dus à la réparation des bâtiments, des équipements électroniques et du matériel perdu. Par conséquent, on peut voir comment dû aux inondations plusieurs usines furent inondées et obligées à arrêter leur production, en causant de graves montants de dégâts. Dans le cas le plus optimiste, des usines ont diminué la production due au manque de fournitures.

Autrement, on trouve que la cause majoritaire d'arrêt était l'inondation des usines, étant ce cas le motif d'arrêt du 55% des usines. Cependant, il est possible de trouver d'autres usines qui furent obligées d'arrêter ou de diminuer la production à cause du manque de fourniture, pendant que d'autres qui ne pouvaient pas fournir ses clients, étaient affectées par l'inondation. Ainsi, la cause principale d'arrêt de la production fut l'inondation des usines, mais il y avait en même temps un impact indirect sur les autres entreprises qui n'étaient pas inondées. On peut voir les différents motifs d'arrêt dans le schéma suivant :

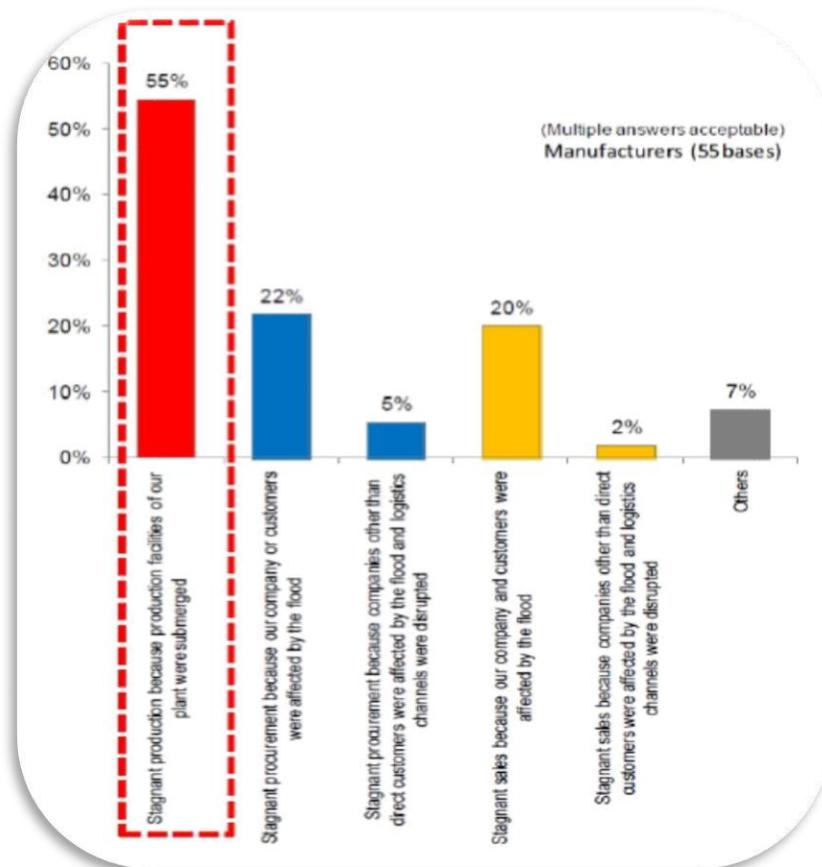


Tableau 7. Montre le pourcentage du motif d'arrêt des entreprises.

Extrait du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall mentionné au-dessous.

Les défenses des zones industrielles de Bangkok

Ainsi, ces zones industrielles sont :

ZONES INDUSTRIELLES	DEFENSES
Rojana Industrial Estate	Il y avait digues avec une hauteur de 5 mètres sur le niveau de la mer. La longueur de la digue c'est de 76,275 mètres.
Saha Rattana Nakorn Industrial Estate	Il y avait une station de pompage et une digue temporelle, qui avait une hauteur de 6,5 mètres sur le niveau de la mer et une longueur de 6 kilomètres.
Navanakorn Industrial Estate	Une digue-terre comprimée, renforcé avec ondulées palplanches en béton, qui avait une hauteur de 4 mètres sur le niveau de la mer et 18 kilomètres de longueur.
Bang Pa-in Industrial Estate	Il y avait une digue de 4,40 mètres de haut sur le niveau de la mer, qui avait une longueur de 9.885 métrés.
Ban Wa (Hi-Tech) Industrial Estate	Il y avait une digue de terre-comprimée, renforcée avec doubles palplanches en béton, qui avait 3,80 mètres de haut sur le niveau de la mer. La longueur des digues été de 11,05 mètres.
Bangkadi Industrial Park	Il y avait une digue de terre-comprimée, renforcée avec doubles palplanches en béton, qui été construit avec une hauteur de 4,40 mètres sur le niveau de la mer. La longueur de la digue c'est de 9,121 mètres.

Tableau 8. Information fourni par l'Industrial State Authority of Thailand, mentionné à la bibliographie au-dessous.

L'impact dans les quartiers de la ville de Bangkok :

Il est possible de voir dans l'image suivante, les différents degrés d'inondation par quartiers dans la ville de Bangkok, en plus de l'information de la gravité de l'inondation selon le quartier :



Image 109. Quartiers inondés le 7 de novembre 2011. Extrait du Global Travel Mate mentionné au-dessous

1. **Bang Bon** : Quelques zones d'Ekkachai et les routes de Bang Bone se retrouvaient à 30 cm sous l'eau.
2. **Bang Kae** : Le niveau de l'eau était haut dans le quartier. Dans le centre commercial Mall Bang Kae il y avait 1,2 m d'eau.
3. **Bang Kapi** : La remontée de l'eau des égouts noyaient la Siburapa Road, près de l'intersection Nida.
4. **Bang Khen** : Le trafic fut fermé dans la Ram Intra Road et le niveau de l'eau à la Phahon Yothin Road était de 20-30 cm.
5. **Bang Phlat** : Le niveau de l'inondation commençait à diminuer, et les magasins se sont remis.
6. **Chatuchak** : Les stations Chatuchak et Phahon Yothin furent obligées de fermer due à l'inondation.
7. **Don Muang/Laksi** : Le niveau de l'eau de Vibhavadi Rangsit Road à Khlong Rangsit et Khlong Laksi était de 90 cm. Jusqu'à 1 m d'hauteur. Grands sacs de terre furent utilisés pour éviter la coulée de l'eau entre les deux quartiers.
8. **Din Daeng** : L'inondation affecta la station Sutthisarn MRT.
9. **Klong Sam Wa** : Le niveau d'inondation fut de 80 cm.
10. **Lat Phrao** : Il y avait une inondation dès l'intersection Lat Phrao jusqu'à Lat Phrao Road. Le Khlong Lat Phrao inonda les zones près des chenaux dans Soi Chokchai 4.
11. **Min Buri** : L'inondation affecta la zone industrielle Bang Chan Industrial et quelques routes étaient inondées.
12. **Taling Chan** : Le niveau de l'eau à Boromrathconnanee Road était stable à 60 cm.
13. **Thami Watthana** : Le niveau de l'eau est remonté brusquement dû à la coulée de l'université Mahidol. (Global Travel Mate, 2011)

Solutions d'amélioration utilisées après les inondations

<u>ZONES INDUSTRIELLES</u>	<u>DEFENSES AVANT DES INONDATIONS DE 2011</u>	<u>HAUTEUR DES CRUES DE L'EAU</u>	<u>DEFENSES APRES DES INONDATIONS DE 2011</u>
Rojana Industrial State	Il y avait digues avec une hauteur de 5 mètres sur le niveau de la mer. La longueur de la digue c'est de 76,275 mètres.	La hauteur de la crue sur le niveau de la mer c'était de 5,30 mètres.	Maintenant, la hauteur de la digue s'a augmenté jusqu'à 6 mètres sur le niveau de la mer.
Saha Rattana Nakorn Industrial State	Il y avait une station de pompage et une digue temporelle, qui avait une hauteur de 6,5 mètres sur le niveau de la mer et une longueur de 6 kilomètres.	-	Une digue permanente est construite, qui a une hauteur de 8,50 mètres sur le niveau de la mer.
Navanakorn Industrial State	Une digue-terre comprimée, renforcé avec ondulées palplanches en béton, qui avait une hauteur de 4 mètres sur le niveau de la mer et 18 kilomètres de longueur.	La hauteur de la crue en référence au niveau de la mer c'était de 4,70 mètres.	La hauteur de la digue s'a augmenté jusqu'à 5,50 mètres sur le niveau de l'eau.
Bang Pa-in Industrial Estate	Il y avait une digue de 4,40 mètres de haut sur le niveau de la mer, qui avait une longueur de 9.885 métrés.	-	La hauteur de la digue s'a augmenté jusqu'à 6 mètres sur le niveau de l'eau. Ça représente un période de retour de 100 ans
Ban Wa (Hi-Tech) Industrial Estate	Il y avait une digue de terre-comprimée, renforcée avec doubles palplanches en béton, qui avait 3,80 mètres de haut sur le niveau de la mer. La longueur des digues été de 11,05 mètres.	La hauteur de la crue en référence au niveau de la mer c'était de 4,90 mètres.	La hauteur de la digue s'a augmenté jusqu'à 5,4 mètres sur le niveau de l'eau. La digue c'était conçue pour faire face une tempête avec un période de retour de 70 ans.
Bangkadi Industrial Park	Il y avait une digue de terre-comprimée, renforcée avec doubles palplanches en béton, qui été construit avec une hauteur de 4,40 mètres sur le niveau de la mer. La longueur de la digue c'est de 9,121 mètres.	La hauteur de la crue sur le niveau de la mer c'était de 4,50 mètres.	La hauteur de la digue s'a augmenté jusqu'à 5,50 mètres sur le niveau de l'eau.

Tableau 9. Solutions d'amélioration aux zones industrielles après les inondations de 2011.

ANNEXE IV : LA VILLE DE NEW YORK

L'impact sur la ville de New York et ses alentours :

En ce qui concerne l'impact des inondations aux alentours de la ville, on trouve que, surtout les régions côtières au sud de la ville de New York ont été également touchées par les inondations de 2012. Il est possible de voir la portée des inondations dans la carte suivante :

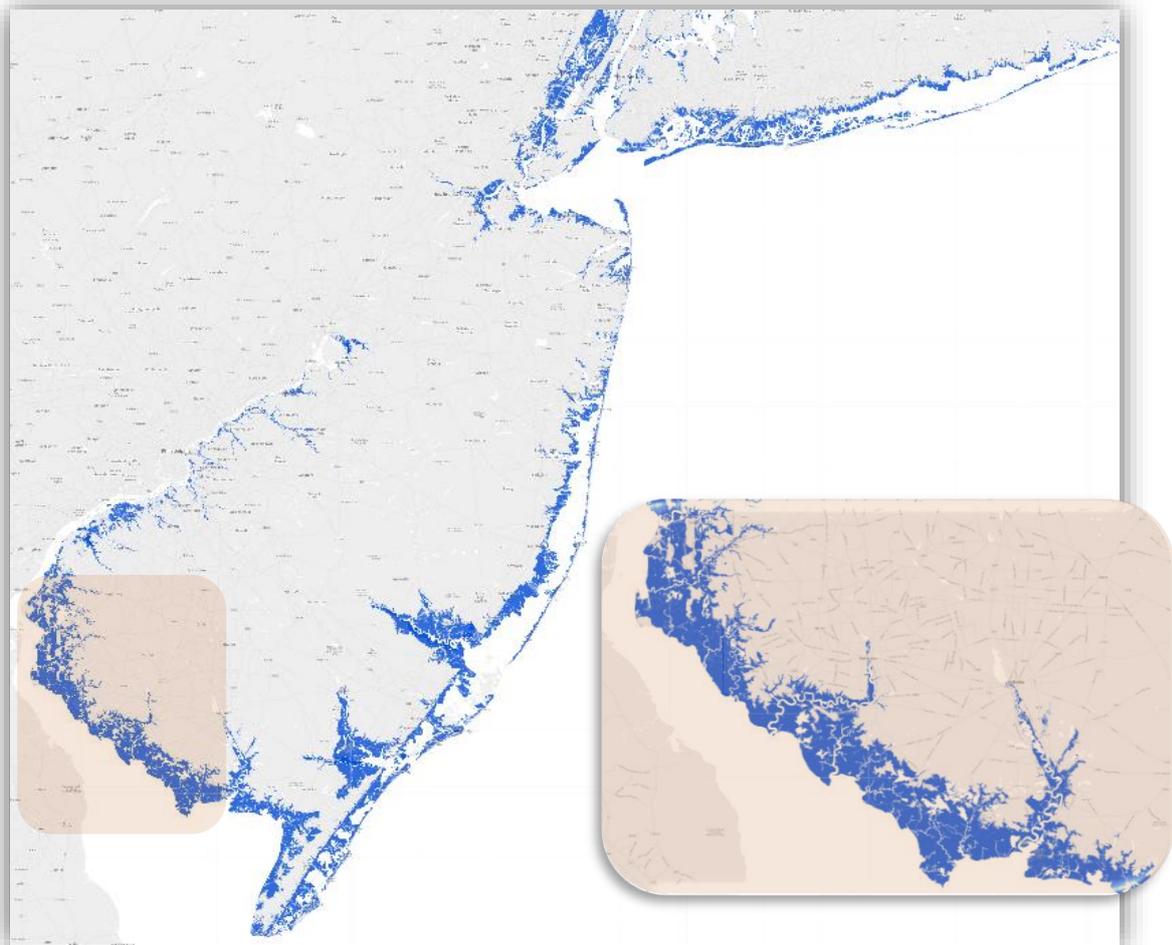


Image 110. Inondations aux alentours de la ville de New York et leur zone métropolitaine

Il est possible de voir comment les zones côtières ont été les plus affectées, ce fait a été surtout causé pour le phénomène de la submersion marine, après le passage de l'ouragan Katrina.

Autrement, les zones du sud de New Jersey et près de Philadelphia, qui se situaient à côté du fleuve Delaware ont été également inondées par la remontée de l'eau.

ANNEXE V : AUTRES SOLUTIONS D'AMELIORATION

Autres solutions d'amélioration à Londres :

Une autre mesure adoptée, après les inondations en 2000, a été le drainage des chenaux afin de percevoir une plus importante capacité pour l'eau. Ainsi, si l'eau du fleuve ou des chenaux montait en cas de tempête, il y aurait plus d'espaces pour elle.

Néanmoins, d'autres défenses comme les batardeaux sont également utilisés dans les portes d'entrée des bâtiments pour se protéger des inondations. Autrement, cette mesure ne s'utilise qu'en cas d'urgence et elle a une hauteur limitée due à des motifs structurels.



Image 111. Batardeau pour le

Autres solutions d'amélioration à Bangkok :

Ensuite, il est possible de voir les défenses améliorées dans la ville après la catastrophe en 2011 :

- 1 682 chenaux d'eau avec une longueur de 2 604 km.
- 158 stations de pompage avec une capacité de 1 638 cm³/s.
- 25 bassins d'eau avec une capacité de 12,88 millions de cm³
- 7 tunnels avec une capacité de 155,5 cm³/s.
- 77 km de murs anti-inondation.



Image 112. Bassins de rétention d'eau (à gauche) et murs anti-inondations (à droite)

Pourquoi les barrières métalliques de rapide installation sont-elles installées à Bangkok ?

Faciles à déplacer, elles ont besoin de moins de travail sur l'installation. Les unités sont capables d'être rapidement installées sur un kilomètre dans une heure et peut être facilement démonté après chaque utilisation. Ainsi, elles sont capables de résister à la pression des eaux d'une inondation par sa structure solide et durable. Autrement, ils peuvent être installés sur le terrain qui fait un angle compris entre 45 et 90 degrés, et sont réglables en largeur, afin d'assurer un minimum de fuites, et ils peuvent également être réutilisés.

Autres solutions d'amélioration à la Nouvelle Orléans :

Par rapport à l'amélioration des digues, il faudrait rappeler que la plupart des inondations dans la ville ont été causées par la défaillance des murs des chenaux qui entrent dès le lac Pontchartrain dans la ville, surtout celui qui communique le lac Pontchartrain avec le fleuve Mississippi.

Par conséquent, on a pu constater que ces chenaux, et particulièrement le chenal qui communique le fleuve avec le lac, sont des cibles faciles qui devaient être améliorés. Ainsi, plusieurs portes anti-inondations ont été situées à l'embouchure du fleuve pour empêcher l'eau de passer en cas de tempête.



Image 113. Améliorations sur les chenaux et les digues de la Nouvelle Orléans

En deuxième lieu, le système de murs de rétention d'eau s'est amélioré. La défaillance des murs de rétention d'eau lors de l'ouragan Katrina a été due à des brèches aux levées.

“Ces brèches étaient la conséquence de l'hétérogénéité du système, donc les murs étaient construits avec des matériaux divers et avec une résistance différente. Par conséquent, la probabilité d'apparition de brèches était élevé” (Maret et Goeury, 2008).

Ainsi, les ingénieurs ont changé les murs au bord des chenaux de drainage sous la forme de “I”, pour d'autres avec la forme de “T” et de “L”, qui ont des poutres de 40 mètres de profondeur pour pouvoir résister en cas de tempête.

Autrement, comme on a vu antérieurement, les défenses des quartiers de la ville étaient fournies avec des stations de pompage et des chenaux de drainage qui constituaient une seconde ligne de défense pour lutter contre les inondations. Cependant, ces défenses étaient seulement capables d'affronter une inondation avec une période de retour de 10 ans, c'est-à-dire, une pluie intense. Ainsi, ces défenses se sont améliorées après le désastre de l'ouragan Katrina pour faire face à une future menace.

On peut voir l'amélioration des stations de pompage, des chenaux de drainage et des levées



Image 114. Nouvelle forme des murs des chenaux.

dans l'image suivante, qui montre aussi la situation des défenses au sein de la ville :

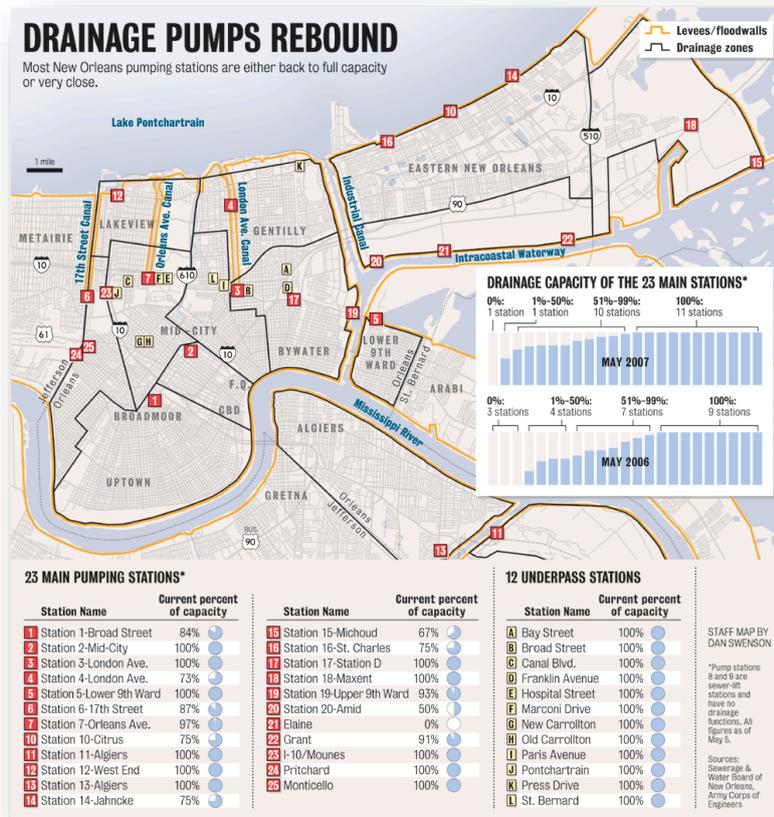


Image 115. Amélioration des stations de pompage et les chenaux de drainage après Katrina

Ainsi, on peut voir dans l'image l'amélioration de la capacité des stations de pompage par rapport à 2006 a été réalisée.

		ÉCHELLES	DEFENSES	IMPACT	SOLUTIONS D'AMELIORATION
BANGKOK 2011	Période de retour de l'évènement : 100 ans	Bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> • Barrières anti-inondation pour protéger les bâtiments historiques et stations de métro. • Stations de métro situées au moins à 1,2 m. sur le niveau de la terre. • Sacs de terre comme à solution d'urgence. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus de 19000 foyers affectés à tout le pays. • Dommages sur la structure du bâtiment et sédiments restants après l'inondation • Dommage aux meubles et possessions personnelles en cas des bâtiments résidentielles et machines et outils endommagés en cas d'usines inondées. 	<i>Il n'y a pas eu une amélioration considérable en ce qui concerne à la défense des bâtiments pour faire face aux inondations.</i>
		Quartiers	<ul style="list-style-type: none"> • Dignes de jusqu'à 6,5 mètres d'hauteur. • Une station de pompage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inondations dans 5 zones industrielles en causant de graves montants de dégâts de plus de 32 milliards de dollars sur les usines et l'arrêt de productions de celles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dignes augmentés jusqu'à une hauteur de 8,5 mètres et périodes de retour de 100 ans.
		Ville	<ul style="list-style-type: none"> • Système de drainage de l'eau, basé sur un système de polder. • Dignes autour de la zone métropolitaine. • Plusieurs stations de pompage. • Plus de 20 bassins de rétention d'eau qui peuvent conserver près de 77 millions de m³ d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Principales rues impraticables par l'inondation. Les autres restaient collapses pour le trafic. • Quartiers inondées avec une hauteur de l'eau jusqu'à 1,2 mètres sur le niveau de la terre. • Quelques stations de métro, fermés pour prévenir l'inondation du métro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construction de nouveaux murs anti-inondation et chenaux de diversification de l'eau qui permettent une grossi du débit du fleuve de 1,5 milliard de m³/s. • 320.000 nouveaux hectares agricoles qui peuvent également être utilisées comme zones de stockage d'eau en cas d'inondation.
		Zone métropolitaine de la ville		<ul style="list-style-type: none"> • Aéroport "Don Mueang" inondé. Fermé pendant 5 mois par besoin de réparation. • 1,9 million d'hectares de zones agricoles consacrés à la production de riz inondées. 	
		Alentours de la ville	<i>Pas de défenses qui protègent l'ensemble des alentours de la ville. Seulement défenses isolées pour les zones industrielles</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Principales routes et autoroutes fermés. • Réseaux ferroviaires inondées et, par conséquent, impraticables. • Petites villes aux alentours de la ville complètement inondées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Barrières anti-inondation de rapide installation de près de 20 km. pour protéger les alentours de la ville en cas d'urgence.

		ÉCHELLES	DEFENSES	IMPACT	SOLUTIONS D'AMELIORATION
LONDON 2000	Période de retour de l'évènement : 200 ans	Bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> Murs permanents faits à partir de matériels imperméables. Barrières mobiles et faciles d'installer en cas de danger d'inondation. 	<ul style="list-style-type: none"> Un total de 1910 propriétés inondées à la zone étudié, dont quelques propriétés ont été noyées plusieurs fois lors des tempêtes de l'automne de l'an 2000. Dommages sur les meubles et les possessions personnelles dans les propriétés. En le pire cas, dommages structuraux sur les bâtiments. 	<ul style="list-style-type: none"> Batardeaux comme protection des bâtiments. Nouvelles mesures comme cousins absorbants d'eau ont été mises en œuvre.
		Quartiers	<ul style="list-style-type: none"> Barrières temporelles anti-inondation. Utilisées pour protéger les quartiers de valeur historique important. 	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs villes de la taille d'un quartier de Londres, situées aux alentours de la ville, partialement noyées. Quelques sédiments ont resté dans les villes après les inondations. 	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs km. de barrières temporelles sont préparées pour être appliquées en cas de menace d'inondation.
		Ville	<ul style="list-style-type: none"> Barrière anti-inondation située au fleuve Thames. La barrière s'agit d'éviter les inondations causées par la somme du phénomène des crues et la submersion marine. Avec la barrière, la probabilité d'inondation à Londres est du 0,05% annuelle 	<p><i>Il n'y avait pas un impact considérable dans la ville de Londres. Cependant, il faut dire que le système de drainage a été près d'être collapsé.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Draguer le lit du fleuve et les chenaux pour qu'ils puissent atteindre un plus grand débit et, par conséquent, une plus grande capacité d'eau. L'échauffement global accroît 4 mm. chaque an le niveau des eaux. Ainsi, il est prévu l'amélioration de la barrière du Thames pour faire face à crues d'eau plus grande dans le futur.
		Zone métropolitaine de la ville	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs barrières son situées aux affluents qui se jettent au fleuve Thames. Elles s'agitent d'éviter les inondations causées par la submersion marine. 	<ul style="list-style-type: none"> Plusieurs compagnies d'eau ont eu des problèmes avec la distribution d'eau en raison de coupures d'électricité et la pollution des eaux souterraines ou de l'eau d'inondation. Inondation des égouts. Un certain de stations d'épuration des eaux usées ont été sévèrement inondées. Par conséquent, le traitement a été réduit à la moitié. 	
		Alentours de la ville	<ul style="list-style-type: none"> Zones de stockage d'eau de capacité de près de 5,8 millions de m³. Barrières anti-inondation aux fleuves qui s'agitent d'atténuer les crues d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Les réseaux de transport ont suffi une défaillance généralisée en routes, autoroutes et réseaux de train, dû à l'inondation de plusieurs villes. Aux réseaux de train, il y avait plusieurs stations fermées dû aux inondations. Aussi, il y avait des inondations qui ont causé d'accidents, en empirant la situation. Plusieurs villes aux alentours de la ville partialement inondées. 	<ul style="list-style-type: none"> Chenaux alternatives pour rediriger le débit du fleuve en cas de crue, et augmenter la capacité d'eau que le fleuve peut assumer.

		ÉCHELLES	DEFENSES	IMPACT	SOLUTIONS D'AMELIORATION
PRAGUE 2002	Période de retour de l'évènement : 500 ans	Bâtiments	Aucune défense qui protège l'échelle des bâtiments n'a pas été trouvée.	<ul style="list-style-type: none"> • 1100 maisons ont été submergées, dont plusieurs se sont effondrées et il a fallu la démolition d'autres 40. • Dommage important aux biens personnelles situés à l'intérieur des bâtiments, donc la hauteur de l'inondation a été de de 1,8 mètres par rapport au niveau du sol 	<i>Il n'y a pas eu une amélioration considérable en ce qui concerne à la défense des bâtiments dans la ville de Prague</i>
		Quartiers	<ul style="list-style-type: none"> • Barrières mobiles appliquées avec réussite dans le centre-ville historique de Prague. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le quartier Karlin, le plus ancien, durement touché pour les inondations sur la ville de Prague. • Rues du quartier impraticables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration des barrières mobiles qui ont été utilisées lors des inondations de 2002, en comptant avec 7 km. de barrières.
		Ville	<ul style="list-style-type: none"> • Dénivellation du niveau de la ville par rapport au niveau du fleuve. C'est-à-dire, la ville se situent quelques mètres au-dessus du niveau moyen du fleuve. • Plusieurs kilomètres de murs au bord du fleuve. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inondation de plusieurs tunnels et stations de métro de la ville. Plus concrètement, 17 stations sur 52 ont été noyées, en endommageant les voies et tous les systèmes électriques situés à l'intérieur. Le coût total des dommages a été de 250 millions d'euros. • Problèmes sur les réseaux d'eau. Les autorités n'ont pas été capables d'assurer si l'eau était potable lors des inondations. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures d'habitat résilient appliquées au bord du fleuve. Zones de berges au bord du fleuve qui permettent être inondées en cas de crue du fleuve, en augmentant le débit qui peut assumer le fleuve sans débordement.
		Zone métropolitaine de la ville	<ul style="list-style-type: none"> • Digues de terre comme solution d'urgence au bord du fleuve. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs routes et autoroutes inondées, en empêchant les personnes de marcher et les voitures de circuler. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs kilomètres de petits digues et murs situés à côté du fleuve.
		alentours de la ville	<ul style="list-style-type: none"> • Plusieurs réservoirs d'eau situés près de la ville. Le plus proche était le réservoir Slapy avec une hauteur de 35 mètres et préparé pour une inondation avec une période de retour de 20 ans. • Portes avec pompes anti-inondation près de la ville de Liben 	<ul style="list-style-type: none"> • L'aéroport de la ville a eu problèmes pour opérer avec normalité, dû à un manque de carburant causée pour les problèmes avec les réseaux de communication. 	<ul style="list-style-type: none"> • Création de barrières fixes et murs au bord du fleuve Vlatva. • Portes avec fermetures anti-inondation et pompes hydrauliques pour réguler le débit du fleuve Vlatva.

		ÉCHELLES	DEFENSES	IMPACT	SOLUTIONS D'AMELIORATION
LA NOUVELLE-ORLEANS 2005	Période de retour de l'évènement : 150 ans	Bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments surélevés entre 0,3 et 0,6 mètres au-dessus du niveau du sol 	<ul style="list-style-type: none"> Plus de 3000 maisons affectées dans la ville Perdue des biens à l'intérieur des bâtiments. Certains bâtiments noyés jusqu'à une hauteur de 3 mètres d'eau par rapport au niveau du sol Accumulation de sédiments dans les bâtiments. 	<p><i>Il n'y a pas eu une amélioration considérable en ce qui concerne à la défense des bâtiments pour faire face aux inondations.</i></p>
		Quartiers	<ul style="list-style-type: none"> Système de drainage conçu pour affronter inondations avec un période de retour de 10 ans. Systèmes de pompage qui envoient l'eau dans le lac Pontchartrain 	<ul style="list-style-type: none"> Rues inondés et impraticables avec une hauteur d'eau de jusqu'à 3 mètres par rapport au niveau du sol. Sédiments déposés dans les quartiers noyés de la ville, avec durations de jusqu'à 250 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> Système de drainage de la ville amélioré.
		Ville	<ul style="list-style-type: none"> Un vaste ensemble de digues et murs au bord du fleuve et du lac Pontchartrain. Chenaux d'eau du lac Pontchartrain qui entre dans la ville et un chenal qui connecte le fleuve Mississippi avec le lac Pontchartrain. 	<ul style="list-style-type: none"> Défaillance généralisé en ce qui concerne au fourniment d'électricité dans la ville Zones d'installation de pétrole et gaz près du port durement touchées pour les inondations Problèmes avec le traitement des eaux. 170 installations de traitement de l'eau potable et 47 unités de traitement des eaux usées ont été détruites. 	<ul style="list-style-type: none"> Porte anti-inondation Seabrook située au chenal qui communique le fleuve avec le lac Pontchartrain. Elle est capable de résister une tempête avec une période de retour de 100 ans. Pompes portatives capables d'aider en cas d'inondation
		Zone métropolitaine de la ville	<ul style="list-style-type: none"> Zones humides utilisées comme zones de stockage d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Défaillance généralisé des réseaux de communications, même celles qui étaient conçues pour cas d'urgence. Réseaux de transport noyées et impraticables. 	
		alentours de la ville	<ul style="list-style-type: none"> Zones de stockage d'eau avec une surface de 96 km² 560 km. de digues et murs au bord du fleuve Mississippi. 	<p><i>Il n'y a pas eu d'impact sur les alentours de la ville dû aux conditions particulières des alentours de la ville, donc l'eau a resté stocker dans la ville de la Nouvelle-Orléans, entre le fleuve Mississippi et le lac Pontchartrain.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> Digues et murs de rétention d'eaux situées au bord du fleuve Mississippi et au lac Pontchartrain beaucoup améliorés. Préparée pour affronter une tempête avec une période de retour de 500 ans.

		ÉCHELLES	DEFENSES	IMPACT	SOLUTIONS D'AMELIORATION
NEW YORK 2012	Période de retour de l'évènement : 700 ans	Bâtiments	<i>La ville ne comptait pas avec de défenses qui protégeaient les bâtiments ni les quartiers. Ainsi, les uniques lignes de défense protégeaient l'ensemble de la ville.</i>	<ul style="list-style-type: none"> Plus de 650.000 foyers ont été endommagées ou détruits à cause de l'ouragan Sandy, dont 305.000 se situaient à New York State, lorsque 346.000 appartenaient à New Jersey 	<ul style="list-style-type: none"> Bâtiments surélevés avec l'étage au niveau de la rez de chaussée inondable. Système de drainage près des bâtiments qui aide à évacuer l'eau
		Quartiers		<ul style="list-style-type: none"> Manque de réseaux de transport dû à l'inondation des rues Tombée en panne des réseaux d'électricité et du gaz. La potabilité de l'eau n'était pas assurable dû à la pollution causée pour l'inondation. 	<ul style="list-style-type: none"> Barrières mobiles d'aluminium préparées pour être utilisées en cas d'urgence.
		Ville	<ul style="list-style-type: none"> Barrières de terre obtenue de draguer des chenaux, utilisées comme solution d'urgence. Alarmes chargées d'aviser en cas de remonte de l'eau qui provienne des nappes phréatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Principales rues noyées et, pourtant, impraticables pour les piétons et les voitures. Part des réseaux de autoroutes et routes, qui connectent la ville avec l'extérieur, inondées et impraticables. Le montant de dégâts est de 2.9 billion de dollar. Près de 8,7 million d'habitants ont été sans électricité. Plusieurs habitants de diverses régions ont resté sans électricité pendant plus d'une semaine après la tempête. Dommage estimé en 680 million de dollars. Metro de la ville inondé, en causant 5 billion de dollar de dégâts et paralysant 7 million d'usagers quotidiens. 	<ul style="list-style-type: none"> Ballon anti-inondation préparé pour être gonflé au milieu des tunnels de métro en cas d'inondation. Zones de stockage d'eau dans la ville New York à partir de parcs et zones inondables. Digues polyvalents au bord du fleuve et de la mer.
		Zone métropolitaine de la ville			
		alentours de la ville	<ul style="list-style-type: none"> Zones humides qui agitent comme zones de stockage d'eau Plusieurs kilomètres de digues et murs anti-inondation au bord de la mer et des fleuves. 	<ul style="list-style-type: none"> Dommage aux zones de Philadelphia, près de New Jersey et au sud de New York. 	<ul style="list-style-type: none"> Grande barrière avec des portes "Outer Gateway" qui protégera toute la côte des aléas.

BIBLIOGRAPHIE :

Liens des images :

Rue de Bangkok inondé lors des inondations de 2011. Disponible sur le site : <http://www.christianpost.com/news/bangkok-flood-latest-news-400-dead-saturdays-peak-tide-to-destroy-citys-defenses-59800/>

Ville de la Nouvelle-Orléans noyé pendant les inondations de 2005. Disponible sur le site : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/KatrinaNewOrleansFlooded_edit2.jpg

Définition graphique de la relation aléa x enjeux = risque. Disponible sur le site : < <http://www.risquesnaturels.re/risques/les-risques-majeurs>>

Crue du fleuve Mississipi en 1927. Disponible sur le site : < <http://historic-memphis.com/memphis/riverflood.html>>

Le phénomène de submersion marine. Disponible sur le site : < <http://www.risquesnaturels.re/risques/les-risques-majeurs/inondation>>

Inondation par débordement, franchissement et rupture, respectivement. Disponible sur le site : < <http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Submersion-marine-Definitions-essentiels>>

Bâtiments préparés par les inondations. Disponible dans le document *“Cost estimates for flood resilience and protection strategies in New York City”* mentionné précédemment.

Inondation à Southampton, New York, le 29 octobre 2012. Disponible sur le site : < <http://www.abc.net.au/news/2012-10-30/storm-surf-from-hurricane-sandy/4341414>>

Inondations dans la ville de New Jersey. Disponible sur le site : < <http://blog.nwf.org/2012/11/post-sandy-working-with-nature-to-keep-us-safe/>>

Inondations de la ville de New York et leur zone métropolitaine. Disponible sur le site : < <http://project.wnyc.org/flooding-sandy-new/#10.00/40.6958/-73.6165>>

Région de Long Island noyée lors des inondations de 2012. Disponible sur le site : < <http://www.ritholtz.com/blog/wp-content/uploads/2012/11/long-island-2.jpg>>

Inondations aux alentours de la ville de New York et leur zone métropolitaine. Disponible sur le site : < <http://project.wnyc.org/flooding-sandy-new/#10.00/40.6958/-73.6165>>

Chenal et tunnel de la ville de Bangkok, respectivement. Disponible sur le document *“Bangkok Flood Protection System – Flood Mitigation and Management in Bangkok Metropolitan Area”* mentionné précédemment.

Bassins de rétention d'eau (à gauche) et murs anti-inondations (à droite). Disponible sur le document *“Bangkok Flood Protection System – Flood Mitigation and Management in Bangkok Metropolitan Area”* mentionné précédemment.

Élévation des bâtiments. Disponible sur le document *“Cost estimates for flood resilience and protection strategies in New York City”* mentionné précédemment.

Montre chaque cause d'inondation et son pourcentage par rapport aux autres. Disponible sur le document "Lessons learned, autumn 2000 floods", mentionné à la bibliographie.

Ville de Londres disponible sur le site : < www.boalingua.ch >

Zone affectée pour le tidal, extrait de le document "Flooding in London, A London assembly scrutiny report", et disponible sur le site de la "Environmental Agency" :

< <http://watermaps.environment-agency.gov.uk/wiyby/wiyby.aspx?topic=floodmap#x=357683&y=355134&scale=2> >

Nombre de propriétés noyées selon la région. Disponible sur le document "Lessons learned, autumn 2000 floods", mentionné à la bibliographie.

Système de drainage de Londres. Disponible sur le site :

< www.london-drainage.co.uk >

Barrière du fleuve Thames. Disponible sur le site : < www.webbaviation.co.uk >

Montre nombre de fermetures annuelles de la barrière selon le motif. Disponible sur le site : < <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2557879/It-worse-Thames-Barrier-closed-29-times-past-10-weeks-protect-London-fifth-total-use-built-1983.html> >

Montre les villes qui se sont inondées plusieurs fois pendant les inondations de l'an 2000. Disponible sur le document "Lessons learned, autumn 2000 floods", mentionné à la bibliographie.

:La barrière Barking située au fleuve Roding. Disponible sur le site :

< <http://informsystem.com/inform/environment/img/barking-barrier-1.png> >

Chenaux alternatives pour rediriger le débit du fleuve en cas de crue. Disponible sur le document "Balancing flood risk and development in the flood plain : the Lower Thames Flood Risk Management Strategy" | Elsevier - "Ecohydrology and Hydrobiology" de Graham Piper, page 5.

La barrière Dartford située au fleuve Darent. Disponible sur le site :

< https://kentcoastalwalk.files.wordpress.com/2013/10/img_3198.jpg >

Protection anti-inondation avec sacs de terre. Image disponible sur le site :

< <http://ksn.com/2014/02/10/river-thames-breaches-its-banks-near-london/> >

Image de la ville de Londres si n'aurait pas la barrière du fleuve Thames. Image obtenu à partir de l'étude de "l'Environment Agency" (UK government), et disponible sur le site du journal "London Evening Standard" :

< <http://www.standard.co.uk/news/london/environment-agency-thames-barrier-saved-london-from-flood-chaos-in-tidal-surge-8991385.html> >

Risque d'inondation et barrières à la zone métropolitaine de London. Disponible sur le site :

< <http://www.geocases1.co.uk/printable/Flooding%20in%20London.htm> >

Les alentours de la ville de Londres plus menacés. Disponible sur le site :

< <https://www.google.es/maps> >

Montre les zones plus touchées aux alentours de la ville. Disponible sur le document "Lessons learned, autumn 2000 floods", mentionné à la bibliographie.

La barrière de Leigh. Disponible sur le site : < http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/en/FluvialDesignGuide/CaseStudy10_1XXX.aspx>

Montre le fonctionnement des coussins absorbants. Disponible sur le document "Flooding and historic buildings". Mentionné à la bibliographie au-dessous.

Station en Lewes, noyée lors des inondations de l'an 2000. Disponible sur le site : <http://news.bbc.co.uk/local/sussex/hi/people_and_places/history/newsid_8330000/8330270.stm>

Mur anti-inondation située au bord du fleuve Thames. Disponible sur le document "Flooding and historic buildings". Mentionné à la bibliographie au-dessous.

Routes noyées près de Berkshire. Disponible sur le site : <<http://www.telegraph.co.uk/news/weather/10630093/Flooding-crisis-weather-live.html>>

Barrière temporelle anti-inondation aux villes d'Upton (à gauche) et Bewley (à droite). Image extraite du document "Flooding and historic buildings". Mentionné à la bibliographie au-dessous.

Zone près de Nottinghamshire noyée. Disponible sur le site : <<http://www.theguardian.com/environment/gallery/2011/feb/16/floods-2000-climate-change-pictures>>

Montre la performance de la barrière Leigh lors des inondations de l'an 2000. Disponible sur le site : http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/en/FluvialDesignGuide/CaseStudy10_1XXX.aspx

Barrière anti-inondation pour le bâtiment. Image extraite du document "Flooding and historic buildings". Mentionné à la bibliographie au-dessous.

Ville de Prague disponible sur le site : < tour-pragenses.com >

Image du quartier de Karlin noyé disponible sur le site : <www.praha8.cz>

Barrières mobiles à Prague l'an 2002, disponible sur le site : <intranet.floodmaster.de>

Metro de Prague affecté pour l'inondation de l'an 2002, disponible sur le site : <forum.spore.com>

La ville de Prague lors des inondations de l'an 2002. Disponible sur le site : <http://quebec.huffingtonpost.ca/2013/06/03/inondations-en-europe--dix-morts-des-milliers-de-foyers-evacues_n_3379799.html>

Dénivellation de terrain. Disponible sur le site : < <http://floodlist.com/europe/prague-floods-defences>>

Petite digue à côté du fleuve. Disponible sur le site : < <http://floodlist.com/europe/prague-floods-defences>>

Performance des barrières mobile à Prague l'an 2002. Disponible sur le site : <<http://www.floodprobe.eu/prague.asp>>

Richard Davies: *"Can Prague stop the Floods?"*. Écrit le 4 juin 2013. Disponible sur le site : <<http://floodlist.com/europe/prague-floods-defences>>

FloodProbe : *"Pilot Sites – Prague"*. Disponible sur le site : <<http://www.floodprobe.eu/prague.asp>>

Réservoir Slapy. Disponible sur le site : <<http://www.radio.cz/es/rubrica/notas/el-embalse-de-slapy-cumple-60-anos>>

Srcl.P, Stehlik J : *"The August 2002 flood in the Czech Republic"*. Écrit l'avril 2003. Disponible sur le site : <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003EAEJA....12404S>

Inondation des réseaux d'eau. Disponible sur le site : <<http://www.novinky.cz/domaci/303937-on-line-labe-v-usti-kulminuje.html>>

Digue de terre près de la ville de Melnik. Disponible sur le site : <<http://www.novinky.cz/domaci/303937-on-line-labe-v-usti-kulminuje.html>>

Porte avec pompes anti-inondation près de la ville de Liben. Disponible sur le site : <http://technet.idnes.cz/povoden-nema-v-praze-sanci-jak-funguji-protipovodnova-opatreni-pps-tec-reportaze.aspx?c=A060403_174657_tec_checktech_vse>

Dénivellation par rapport au niveau du sol. Disponible sur le site : <http://praha.canalblog.com/albums/prague_la_nuit/photos/29073947-nuit_14_1.html>

Impact sur les bâtiments dans le quartier Karlin. Disponible sur le site : <<http://radio.cz/fr/rubrique/faits/prague-cinq-ans-apres-les-inondations-i>>

Impact sur la ville et sur les citoyens pendant les inondations de 2011 à Thaïlande
Extrait du document écrit pour Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall.

Les défenses de la ville. Information écrite pour Jon Fernquest (2011).

Les défenses des zones industrielles. Information fourni par l'Industrial Estate Authority of Thailand. Disponible sur le site : <<http://www.ieat.go.th/ieat/index.php/en/investment/why-invest-in-industrial-estate/flood-contingency-plan-for-industrial-estates>>

Solutions d'amélioration aux zones industrielles après les inondations de 2011. Disponible sur le site : <<http://www.ieat.go.th/ieat/index.php/en/investment/why-invest-in-industrial-estate/flood-contingency-plan-for-industrial-estates>>

Information donné pour le "Department of Industrial Works" et fourni pour le document Impact Forecasting.

Vue aérienne de la ville de Bangkok disponible sur le site : <<http://businessboombolton.com/2012/01/17/nicole-broad-thailand/>>

Inondation à Bangkok le 2 d'Octobre de 2002. Image extraite du document *"Urban flood disaster management"* mentionné au-dessous.

Tableau indicative du coût économique des inondations à la zone de Bangkok les derniers ans. Disponible sur le document *"2011 Thailand Floods Event Recap Report"* mentionné au-dessous.

Montre les inondations historiques à Bangkok. Disponible sur le document "2011 Thailand Floods Event Recap Report" mentionné au-dessous.

Montre les zones affectées à Thaïlande pour les inondations de 2011. Carte réalisé pour l'OCHA (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs). Disponible sur le site : <<http://www.paperblog.fr/4949423/thaïlande-inondations-mise-a-jour-officielle-de-la-tat/>>

Zones affectées près de Bangkok pour les inondations de 2011. Disponible sur le document "2011 Thailand Floods Event Recap Report" mentionné au-dessous.

Routes de la ville thaïlandaise noyée. Disponible sur le site : <http://www.republica.com/2011/10/23/las-inundaciones-en-tailandia-sumergen-parcialmente-varios-districtos-de-bangkok_401315/>

Montre les défenses de la ville pour faire face une inondation. Disponible sur le site : <<http://www.bangkokpost.com/learning/learning-from-news/264228/bangkok-drainage-system>>

Rues du district de Rangsit à Bangkok, noyées. Disponible sur le site : <http://internacional.elpais.com/internacional/2011/10/20/actualidad/1319098097_848389.html>

Les zones de la ville de Bangkok menacées par les tempêtes de 2011. Carte faite le 27-10-2011 et extraite de Global Travel Mate mentionné à la bibliographie au-dessous.

Quartiers inondés le 7 de novembre de 2011. Disponible sur le site : <<http://www.globaltravelmate.com/asia/thailand/bangkok/2017-bangkok-flooding-october-2011.html>>

Aéroport "Don Mueang" International de Bangkok pendant les inondations de 2011. Disponible sur le site : <http://www.lostiempos.com/diario/actualidad/internacional/20111026/queda-inundado-el-aeropuerto-de-bangkok_147022_304181.html>

Images des marques d'eau sur le mur et les sédiments qui restaient après l'inondation. Disponible sur le document "2011 Thailand Floods Event Recap Report" mentionné au-dessous.

Sacs de terres utilisées comme à solution d'urgence pour empêcher l'eau de passer. Disponible sur le web : <<http://lubbockonline.com/sites/default/files/imagecache/superphoto/10608640.jpg>>

Les voitures sont stationnées sur un pont dû aux inondations. Disponible sur le document "2011 Thailand Floods Event Recap Report" mentionné au-dessous.

Digues construites pour protéger les zones industrielles. Disponible sur le site : <<http://www.ieat.go.th/ieat/index.php/en/investment/why-invest-in-industrial-estate/flood-contingency-plan-for-industrial-estates>>

Homme en train d'empêcher l'eau de passer avec sacs de terre lors des inondations de 2011. Disponible sur le site : <http://media.sacbee.com/static/weblogs/photos/images/2011/oct11/thailand_flooding_sm/thailand_flooding_29.jpg>

Barrières anti-inondation à l'entrée du métro. Disponible sur le site :

< <http://www.bangkokpost.com/learning/learning-from-news/263665/can-it-flood-in-the-subway>>

Intérieur d'une usine touchée pour des inondations de 2011. Image extraite du document "2011 Thailand Floods Event Recap Report" mentionné au-dessous.

Routes paralysées dû aux inondations. Disponible sur le site :

< <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-pacific-15303965>>

Station de métro à la ville de Bangkok. Disponible sur le site :

<<http://bangkok.travel/wp-content/uploads/2013/04/Ratchada-mrt-station.jpg>>

Risque d'inondation de la ville de Bangkok pendant les tempêtes de 2011. Carte dessinée lors des inondations le 29-10-2011. Extrait de Global Travel Mate mentionné à la bibliographie au-dessous.

Rojana Industrial Park, situé à côté de la ville d'Ayutthaya. Image extraite d'Impact Forecasting mentionné à la bibliographie au-dessous.

Vue aérienne de la ville de New Orléans disponible sur le site :

< <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1157079&page=2> >

Vue spatial de l'ouragan katrina, disponible sur le site :

< <http://web.mit.edu/12.000/www/m2010/>>

Massachusetts Institute of Technology

(Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences)

Comparation de la moyenne des crues contre la hauteur des digues disponible sur le document "Engineering failures exposed by Hurricane Katrina" de F.H. (Bud) Griffi.

Section des défenses à la ville de la Nouvelle Orléans. Disponible sur le site :

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/b/b2/New_Orleans_Elevations.jpg/800px-New_Orleans_Elevations.jpg>

Section des défenses à la ville de la Nouvelle Orléans avec les moyennes des crues. Disponible sur le document "Engineering failures exposed by Hurricane Katrina" de F.H. (Bud) Griffi.

Couverture anti-inondation grâce à des défenses. Disponible sur le document "La nouvelle Orléans et l'eau : un urbanisme à haut risque" de Isabelle Maret et Romain Goeury mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Défenses de la ville et la zone métropolitaine de la Nouvelle Orléans lors des inondations de 2005. Disponible sur le site :

<<http://news.bbc.co.uk/2/hi/americas/7590822.stm#map>>

Défaillance des digues à New Orleans après l'ouragan Katrina, disponible sur le site :

< <http://science.howstuffworks.com/engineering/structural/levee1.htm>>

Zones de stockage d'eau situées à l'est de la ville, disponible sur le site :

< <http://www.nola.com/katrina/graphics/flashflood.swf>>

Graphique interactive disponible sur le site :

< <http://www.nola.com/katrina/graphics/depths.swf> >

La rue Maple Street inondé. Disponible sur le document "La nouvelle Orléans et l'eau : un urbanisme à haut risque" mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Rupture des digues au chenal qui connecte le Mississippi et le lac Pontchartrain (à gauche) et rupture des digues qui protègent les zones humides de la Nouvelle Orléans (à droite). Disponible sur le site : <<http://www.nola.com/katrina/graphics/flashflood.swf>>

Fonctionnement des stations de pompage. Disponible sur le site : <http://www.nbcnews.com/id/17597203/ns/us_news-life/t/defective-pumps-used-protect-new-orleans/#.VLPHkiuG-T8>

Inondation du quartier est de la Nouvelle Orléans (à gauche) et les quartiers de Bywater et Gentilly (à droite). Disponible sur le site : <<http://www.nola.com/katrina/graphics/flashflood.swf>>

Zones de la Nouvelle Orléans noyées. Disponible sur le site : <<http://www.nola.com/katrina/graphics/flashflood.swf>>

Densité de la terre et sédiments dans la ville sur le document "Mapping knowledge investments in the aftermath of Hurricane Katrina: a new approach for assessing regulatory agency responses to environmental disaster"

Duration de la terre et sédiments dans la ville sur le document "Mapping knowledge investments in the aftermath of Hurricane Katrina : a new approach for assessing regulatory agency responses to environmental disaster"

La Nouvelle-Orléans noyée le 2 septembre 2005. Disponible sur le document "Système de protection de la Nouvelle Orléans contre les tempêtes cycloniques : Katrina, ses impacts et le nouveau système de défense en voie d'achèvement" mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Les nouveaux digues à New Orleans, disponible sur le site : <http://www.nola.com/hurricane/index.ssf/2013/08/upgrated_metro_new_orleans_lew.html>

Les bâtiments se trouvaient situées 1-2 pieds au-dessus du niveau de la terre. Disponible sur le document "Overview of Hurricane Katrina in the New Orleans Area", mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Mur de retenue d'eau, disponible sur le site : <<http://www.archiexpo.es/prod/milbury/muros-contencion-prefabricados-hormigon-armado-pretensados-63470-914478.html>>

Porte anti-inondation disponible sur le site : <<http://bv.com/Home/news/solutions/water/new-orleans-hurricane-protection-system-put-to-the-test>>

L'effet d'une tempête de l'ordre de 500 ans aujourd'hui : http://www.nola.com/hurricane/index.ssf/2013/08/hurricane_katrina_floodwater_d.html

La ligne rouge dans l'image montre la hauteur moyenne de l'inondation des bâtiments de la Nouvelle-Orléans. Disponible sur le document "Overview of Hurricane Katrina in the New Orleans Area", mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Bâtiment noyée à la Nouvelle-Orleans lors des inondations de 2005. Disponible sur le document "Overview of Hurricane Katrina in the New Orleans Area", mentionnée à la bibliographie au-dessous.

Situation de la ville de la Nouvelle Orléans. Disponible sur le site :

<<http://www.thecajuns.com/images/lakepont.gif>>

Améliorations sur les chenaux et les digues de la Nouvelle Orléans. Disponible sur le site : <<http://www.nytimes.com/interactive/2012/06/15/us/protecting-new-orleans.html?ref=us>>

Amélioration des stations de pompage et les chenaux de drainage après Katrina. Disponible sur le site : <http://blog.nola.com/stormwatch/2007/05/no_pump_stations_ready_to_face.html>

Station de pompage située à la Nouvelle Orléans. Disponible sur le site : <http://www.nbcnews.com/id/17597203/ns/us_news-life/t/defective-pumps-used-protect-new-orleans/#.VLPHkiuG-T8>

Vu aérienne de la ville de New York. Disponible sur le site :

<http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/02705/newyork_2705424b.jpg>

One World Trade Center. Disponible sur le site :

<<http://anotherpartofme.com/1-world-trade-centers-spire-becomes-antenna-in-redesign/>>

Fondations et colonne principal de l'One World Trade Center. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Structure du pont de Verrazano. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Metro de New York noyé lors de l'ouragan Sandy. Image extrait de la vidéo fait pour "Associated Press" qui s'appelle "Raw : Sandy Leaves NYC Subways Flooded". Disponible sur le site : <<https://www.youtube.com/watch?v=mhJrrGNvcFk>>

Impact de la remontée des nappes phreatiques sur le metro de New York. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Ballon anti-inondation. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Planches anti-inondation de rapide installation. Disponible sur le site :

<<http://nymag.com/daily/intelligencer/2013/06/5-images-of-the-citys-future-flood-defenses.html>>

Fonctionnement des ballons anti-inondation. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Impact de la remontée des nappes phréatiques sur les canalisations. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site :

<<http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Port de New York. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site : < <http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Barrières de terre pour empêcher l'eau de passer. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site : < <http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Barrière proposée comme solution d'amélioration. Image extrait de la vidéo documentaire de France5.fr. Disponible sur le site : < <http://www.france5.fr/emission/les-dessous-de/diffusion-du-21-09-2014-13h40>>

Digues polyvalents au bord du fleuve. Disponible sur le site : <<http://nymag.com/daily/intelligencer/2013/06/5-images-of-the-citys-future-flood-defenses.html>>

Zones inondables dans la ville. Disponible sur le site : <<http://nymag.com/daily/intelligencer/2013/06/5-images-of-the-citys-future-flood-defenses.html>>

Zones de stockage d'eau conçues dans la ville de New York. Disponible sur le site : < <http://nymag.com/daily/intelligencer/2013/06/5-images-of-the-citys-future-flood-defenses.html>>

Bâtiments avec des défenses d'habitat résilient situés à Neumühlen, Hambourg. Disponible sur le site : < <http://www.architekten24.de/projekt/buerogebaeude-neumuehlen17/>>

Ostasien Institut à Heidelberg, Allemagne. Disponible sur le site : < <http://www.apa.biz/cms/website.php?id=/de/projekte/bildergalerie/05.htm>>

Bâtiments construits sur zone d'eau à Amsterdam, Pays Bas. Disponible sur le document "*Model project for flood-adapted building*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Parking inondable à Cologne. Disponible sur le document "*Model project for flood-adapted building*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Bâtiment situé dans la ville d'Hambourg. Disponible sur le document "*Model project for flood-adapted building*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Parking avec protection externe Almere, Pays Bas. Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Prison flottante de la ville de Zaandam (Pays Bas) à gauche et pavillon flottant à Rotterdam (Pays Bas) à droite. Disponible sur les sites : <http://www.mimoo.eu/images/6316_1.jpg> et <http://patelinternship.blog.usf.edu/files/2013/06/IMG_1135.jpg>

Bâtiments amphibiens dans la ville de Maasbommel (Pays Bas) à gauche et dans la ville de New Orléans (Louisiane, USA), à droite. Disponible sur le site : < <http://weburbanist.com/wp-content/uploads/2014/10/amphibious-architecture-floating-new-orleans-1.jpg>> et <http://myhero.com/images/AP_Story/Homes/g1_u102230_A_row.jpg>

Passerelle surélevée à Hambourg, Allemagne. Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Les containers (à gauche) et les sacs de sable (à droite). Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Flexible freestanding (à gauche), rigid frame (au centre), et le flexible frame (à droite). Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Geotech Tube (à gauche) et les tubes (à droite). Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Barrières en aluminium (à gauche) et préinstallées (à droite). Disponible sur le document "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*" mentionné dans la bibliographie au-dessous.

Documents mentionnés et consultés :

Concepts :

FloodProbe : "*Construction technologies for flood-proofing buildings and infrastructures*". Écrit en mars 2013.

Zollhafen Mainz: "*Model project for flood-adapted building*". Disponible sur le site: <<http://www.floodresiliency.eu/frc-output/117/2-the-zollhafen-development-strategy-and-guidance>>

Définition d'aléa. Site :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Al%C3%A9a_%28risque_naturel%29#cite_note-3

Jean-Claude Thouret et Robert D'Ercole : "Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales". Disponible sur le site : <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/010006241.pdf>

Encyclopaedia Universalis : "*Inondations, la crue des fleuves*". Disponible sur le site : <<http://www.universalis.fr/encyclopedie/inondations/1-les-crues-des-fleuves/>>

DREAL, Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement : "*Submersion marine*" (27 octobre 2011). Disponible sur le site :

<<http://www.nord-pas-de-calais.developpement-durable.gouv.fr/?Submersion-marine-Definitions-essentielles>>

OCDE, étude sur la gestion des risques d'inondation : "*La Seine en Île-de-France*". Disponible sur le site : <<http://www.oecd.org/gov/risk/Gestion-du-risque-inondation-seine-resume-executif.pdf>>

Pathy Glick et John Kostyack : "Natural Defenses from Hurricanes and Floods". Disponible sur le site : <http://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/2014/Natural-Defenses-Final-Embargoed-Until-102114-10amET.pdf>

Jeroen C.J.H Aerts, W.J. Wouter Botzen, Hans de Moel et Malcolm Bowman: "Cost estimates for flood resilience and protection strategies in New York City". Écrit en 2013, Annals of the New York Academy of Sciences. Disponible sur le site : http://www.ivm.vu.nl/en/Images/nyas12200_tcm53-364896.pdf

London:

John Harman : "Lessons learned, autumn 2000 floods". Écrit pour l'Environmental Agency le mars 2001. Disponible sur le site : <http://web.archive.org/web/20070927182913/http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/126637>

Roger Evans : "Flooding in London, A London assembly scrutiny report" écrit pour le Flooding Investigative Committee formé pour : Roger Evans, Tony Arbour, Sally Hamwee, Samantha Heath, Darren Johnson, Valerie Sahwcross – Novembre 2002. Disponible sur : <http://www.london.gov.uk/sites/default/files/archives/assembly-reports-environment-flooding.pdf>

UK Parliament : "The Autumn 2000 rains and floods". Disponible sur le site : <http://www.parliament.uk/business/publications/research/briefing-papers/POST-PN-151/the-autumn-2000-rains-and-floods-december-2000>

Graham Piper : "Balancing flood risk and development in the flood plain : the Lower Thames Flood Risk Management Strategy" | Elsevier - "Ecohydrology and Hydrobiology" – Octobre 2013. Disponible sur le site de ScienceDirect : <http://www.sciencedirect.com/science/journal/16423593>

English Heritage : "Barking Creek Flood Barrier". Disponible sur le site : <http://www.heritage-explorer.co.uk/web/he/searchdetail.aspx?id=11137&crit=flood>

KGAL, consulting Engineers : "Dartford Flood Barrier". Disponible sur le site : http://www.kgal.co.uk/dartford_flood_barrier.html

Environment Agency : "Case Study 10.1 – Leigh Barrier" (24 novembre 2014). Disponible sur le site : http://evidence.environment-agency.gov.uk/FCERM/en/FluvialDesignGuide/CaseStudy10_1XXX.aspx

English Heritage : "Flooding and historic buildings" (2004). Disponible sur le site : http://www.winchelsea.net/images/Flooding_and_Historic_Buildings_Technical_Advice_Note_2004.pdf

Office of the deputy prime minister : "Preparing for floods" (Octobre 2013). Disponible sur le site : <http://www.planningportal.gov.uk/uploads/odpm/4000000009282.pdf>

Prague :

Guth R. "La politique de prévention des inondations de Prague 8 ans après la crue majeure de la Vlatva en août 2002." In : Conférence internationale PreviRisk. Vincennes, France: [s.n.], 2010.

Stanislav Dostál "Anti-flood measures in the City of Prague — phase 0004/ Karlín-Libeň, the docks of Libeň" disponible sur le site :

http://www.zakladani.cz/download/pdf/vodohosp_new2/04_1_vodo_liben_05.pdf

Srcl.P, Stehlik J : "The August 2002 flood in the Czech Republic". Écrit l'avril 2003. Disponible sur le site : <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003EAEJA....12404S>

Ivana Vonderková : "En el aeropuerto de Praga escasean carburantes". Écrit à Radio Praga l'août 2002. Disponible sur le site :

<<http://www.radio.cz/es/rubrica/bulletin/noticias--518>>

Jaroslava Gissübelová : "Le quartier pragois de Karlin – des difficultés persistent". Écrit le septembre 2002. Disponible sur le site :

<<http://radio.cz/fr/rubrique/faits/-le-quartier-pragois-de-karlin-des-difficultes-persistent->>

Bloomberg, Lenka Ponikelska, Peter Laca et Ladka Mortkowitz Bauerova: "Prague Braces for Cresting River as Floods Paralyze City". Écrit le juin 2013. Disponible sur le site :

<<http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-06-02/prague-braces-for-cresting-river-as-floods-paralyze-city>>

Bangkok:

Bangkok Metropolitan Administration (BMA): "Bangkok Flood Protection System – Flood Mitigation and Management in Bangkok Metropolitan Area". Disponible sur le site : <

http://apcs.city.fukuoka.lg.jp/download/mayor/pdf/13_bangkok_10me.pdf>

Sylvain Kahn : "Bangkok coule-t-elle ?" (25 de novembre de 2011) dans "Globe, le blog de planète terre" de France Culture. Disponible sur le site :

< <http://www.franceculture.fr/blog-globe-2011-11-25-bangkok-coule-t-elle>>

Thaïlande-Fr.com : "Thaïlande inondations : mise à jour officielle de la TAT" (12 d'octobre 2011).

Disponible sur le site :

< <http://www.paperblog.fr/4949423/thaïlande-inondations-mise-a-jour-officielle-de-la-tat/>>

Global Travel Mate : "Bangkok Flooding October 2011" (Decembre,2011). Disponible sur le

site : <<http://www.globaltravelmate.com/asia/thailand/bangkok/2017-bangkok-flooding-october-2011.html>>

Jon Fernquest : "Bangkok's drainage system" (1 de novembre 2011). Disponible sur le site :

<<http://www.bangkokpost.com/learning/learning-from-news/264228/bangkok-drainage-system>>

Jon Fernquest : "Can it flood the subway ?" (28 d'octobre 2011). Disponible sur le site :

<<http://www.bangkokpost.com/learning/learning-from-news/263665/can-it-flood-in-the-subway>>

T. Tingsanchali : *"Urban Flood Disaster Management"* du *Program of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand.* (30 de septembre de 2011)

Elsevier - Procedia Engineering 32 (2012) 25-37 - disponible sur le site :

< www.sciencedirect.com >

Impact Forecasting LLC : *"2011 Thailand Floods Event Recap Report"* (March, 2012). Document rédigé pour l'entreprise *AON Benfield* de Chicago. Disponible sur le site :

<http://thoughtleadership.aonbenfield.com/Documents/20120314_impact_forecasting_thailand_flood_event_recap.pdf>

Masahiko Haraguchi et Upmanu Lall : *"Flood Risks and Impacts, Future Research, Questions and Implication to Private Investment, Decision-Making for Supply Chain Networks"* pour le rapport *"Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2013"*. Avec la collaboration de la UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Document disponible sur le site :

<<http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/Haraguchi%20and%20Lall,%202012.pdf>>

The World Bank, The International Bank for Reconstruction and Development : *"Climate Risks and Adaptation in Asian Coastal Megacities"*. Disponible sur le site :

<http://siteresources.worldbank.org/EASTASIAPACIFICEXT/Resources/226300-1287600424406/coastal_megacities_fullreport.pdf>

Industrial Estate Authority of Thailand : *"Flood Prevention System"*. Disponible sur le site :

<<http://www.ieat.go.th/ieat/index.php/en/investment/why-invest-in-industrial-estate/flood-contingency-plan-for-industrial-estates>>

La Nouvelle-Orléans

Scott Frickel, Richard Campanella, M. Bess Vincent : *"Mapping knowledge investments in the aftermath of Hurricane Katrina : a new approach for assessing regulatory agency responses to environmental disaster"*

Elsevier – Environmental Science and Policy 12 (2009) 119-133, disponible sur le site :

< www.sciencedirect.com >

F.H. (Bud) Griffis : *"Engineering failures exposed by Hurricane Katrina"*

Department of Civil Engineering, Polytechnic University, Brooklyn, NY 11201, USA

Elsevier - Technology in Society 29 (2007) 189–195, disponible sur le site

< www.elsevier.com/locate/techsoc >

Patrick Lagadec : *"Katrina : Examen des rapports d'enquête"*

Tome 2: "The Federal Response to Hurricane Katrina - Lessons Learned" - The White House

Juin 2007, première version – Cahier n°2007-11

École Polytechnique – Centre National de la Recherche Scientifique

Mark Schleifstein : "New Orleans already taking steps to use rainwater to help residents, the environment and the city, officials say" disponible sur le site :

http://www.nola.com/environment/index.ssf/2013/07/new_orleans_already_taking_ste.html

Isabelle Maret et Romain Goeuru : "La nouvelle Orléans et l'eau : un urbanisme à haut risque". Environnement urbain, numéro 2, 2008, p. a-107 à a-122. Document écrit l'an 2008. Disponible sur le site : <http://www.vrm.ca/EUUE/vol2_2008/MaretIGoeuryRa107a122.pdf>

Geoffroy Caude, président AIPCN (Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation) : "Système de protection de la Nouvelle Orléans contre les tempêtes cycloniques : Katrina, ses impacts et le nouveau système de défense en voie d'achèvement". Écrit le 2011. Disponible sur le site d'Internet : < http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2012_02_24AIPCN_GCaude_NewOrleans_cle0b1282.pdf>

Associated Press : "Defective pumps used to protect New Orleans". Écrit le 2007. Disponible sur le site : http://www.nbcnews.com/id/17597203/ns/us_news-life/t/defective-pumps-used-protect-new-orleans/#.VLPkHkuG-T8

Mitigation Assesment Team Report : "Hurricane Katrina in the Gulf Coast" (Octobre 2005). Tome 8 : "Overview of Hurricane Katrina in the New Orleans area". Disponible sur le site : <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1520-20490-4521/549_ch8.pdf>

New York :

Cynthia Rosenzweig et William Solecki : "Hurricane Sandy and adaptation pathways in New York : Lessons from a first-responder city". (16 de septembre de 2013). *Global Environmental Change* 28 (2014) 395–408. Disponible sur le site : < www.sciencedirect.com>

Impact Forecasting LLC : "2011 Thailand Floods Event Recap Report" (March, 2012). Document rédigé pour l'entreprise AON Benfield de Chicago. Disponible sur le site : <http://thoughtleadership.aonbenfield.com/Documents/20120314_impact_forecasting_thailand_flood_event_recap.pdf>

Timothy M. Hall et Adam H.Sobel: "On the Impact Angle of Hurricane Sandy's New Jersey Landfall". NASA Goddard Insitute for Space Studies et Department of Applied Physics and Applied Mathematics in Columbia University, New York. Disponible sur le site: < http://www.ideo.columbia.edu/~sobel/Papers/Hall_Sobel_GRL_resubmitted_revised.pdf>