
Rotterdam comme modèle de résilience face aux inondations : Approche multiscalaire

Auteur : Auregan, Mathieu

Promoteur(s) : Menzel, Christoph Gotthard

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master architecte paysagiste, à finalité spécialisée

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10226>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ROTTERDAM COMME MODÈLE DE RÉSILIENCE FACE AUX INONDATIONS : APPROCHE MULTISCALEAIRE

MATHIEU AURÉGAN

TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER D'ARCHITECTE PAYSAGISTE

ANNÉE ACADÉMIQUE 2019-2020

PROMOTEUR :
MENZEL CHRISTOPH GOTTARD

© «Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.». Le présent document n'engage que son auteur.

ROTTERDAM COMME MODÈLE DE RÉSILIENCE FACE AUX INONDATIONS : APPROCHE MULTISCALEAIRE

«Peuple fier, résistant aux intempéries, c'est ainsi que vivent les Frisons au bord de la Mer du Nord en Allemagne, menant une lutte tenace contre l'océan impitoyable qui s'attaque constamment à la terre et aux hommes. Il fut difficile de conquérir le sol. Il fut encore plus difficile de le défendre sans cesse contre le déchaînement des forces de la Nature. Les fermes se dressaient isolées dans ce vaste paysage de marais. Taciturnes, pieux et aussi superstitieux, tels vivaient les hommes de ces lieux»

Storm, L'Homme au cheval blanc, 1888

REMERCIEMENTS

Suite à l'achèvement de mon travail de fin d'études, je souhaite tout d'abord remercier mon promoteur, Monsieur Menzel pour l'intérêt qu'il a accordé au sujet de ce mémoire. Je souhaite également le remercier pour son accompagnement, ses conseils, son expertise de Rotterdam, qui m'ont permis de progresser tout au long de ce travail.

Un grand merci également à mes amis Yannick Colling et Tiffany Delavault, pour leur soutien, leur évaluation, leurs regards critiques qui m'ont permis de faire mûrir ma réflexion.

Enfin, je souhaite remercier ma famille et mes proches pour leurs encouragements et l'intérêt qu'ils ont porté à mes études. J'adresse un merci particulier à Apolline Louveau pour son soutien.

Merci à mes parents qui m'ont permis de réaliser les études dont je rêvais.

RÉSUMÉ

Ce mémoire est le fruit de mon expérience acquise durant ces 5 années dans le cursus d'architecte du paysage mais également de toutes les années qui m'ont forgé, jusqu'au plus loin de mes origines bretonnes. Le sujet que j'ai choisi d'aborder s'inscrit dans une réflexion nourrie de découvertes personnelles, faites notamment lors de la pratique d'ateliers « projet » durant mon cursus d'architecte du paysage à Gembloux. Depuis tout petit, je suis un enfant du littoral sensible aux événements climatiques qui menacent ma région. J'ai pu constater au fil des années la récurrence des tempêtes comme par exemple la tempête Xynthia en 2010. J'ai alors pris conscience d'un monde qui se dérègle face aux effets dévastateurs du changement climatique. Ce fut une première prise de conscience. Au cours de mon cursus, j'ai découvert différents concepts sur les changements globaux, notamment en écologie. Ces derniers ont retenu toute mon attention face à une préoccupation personnelle qui somnolait en moi. La proximité et l'arpentage multiple des Pays-Bas m'ont permis, en parallèle, de mieux comprendre ces paysages et de prendre conscience à quel point ils sont proches de l'eau. Mais c'est l'un des ateliers de Master 1 portant sur la ville de Bruxelles et son devenir qui a été pour moi l'élément déclencheur. Il m'a amené à réfléchir sur les inondations qui seront de plus en plus présentes sur la vallée de la Senne. Il me permet aujourd'hui de mener une réflexion plus globale sur les problèmes climatiques et le phénomène des inondations qui en découle.

Le sujet de ma recherche s'énonce donc ainsi : COMMENT LES VILLES PEUVENT-ELLES DEVENIR RÉSILIENTES AUX INONDATIONS ? VISION PROSPECTIVE ET MULTISCALE FAÇONNÉE FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX (CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE ROTTERDAM).

J'ai la conviction que les Pays-Bas ont une avancée depuis des décennies, comparé à d'autres pays d'Europe dans ce domaine. Cette gestion du risque d'inondation fait partie de la culture des Pays-Bas. De plus, Rotterdam est à la fois en bord de côte, dans un delta, avec un relief inférieur à celui du niveau de la mer, bordé par un fleuve, ... autant de spécificités qui montrent à quel point ce paysage est sujet aux aléas d'inondations. Je souhaite analyser l'impact des mesures prises à Rotterdam sur le paysage urbain.

Pour procéder au développement de mon sujet de recherche, je vais réaliser en première partie un état de l'art des inondations en Europe. Ensuite, la partie II présentera le pays d'étude (Pays-bas), la ville d'étude (Rotterdam) ainsi que la méthodologie appliquée pour ce mémoire. La partie III regroupera les résultats avec la présentation de deux programmes et quatre projets d'études de Rotterdam. Enfin, la partie IV développera la phase de discussion de ce mémoire.

Mots clés : Résilience aux inondations / Rotterdam / approche multiscalaire / stratégie d'adaptation / changement climatique / étude de cas.

ABSTRACT

This thesis is the result of the experience I have acquired during these five years in the course of the master's degree landscape architect but also during my whole life, going as far as my Breton origins. The topic I chose to address is part of a reflection nourished by personal discoveries made in particular during the practice of « project » workshops during my academic career as a Landscape Architect in Gembloux. As far as I can remember, I have always been a coastal child. Moreover, I am sensitive to the climatic events threatening my region. Over the years, I have noticed the recurrence of storms such as storm Xynthia in 2010. Then, I saw the devastating effects of climate change : it was the first step in getting aware that the world was in turmoil. During my studies, I became aware of different concepts about global change, especially in ecology. They caught my full attention in the face of a personal preoccupation that was drowning inside me. The proximity and multiple surveying of the Netherlands also allowed me, in parallel, to better understand these landscapes and to realise how close they are to water. However, the triggering factor for me was one of the workshops I have attended in the course of my first year of master's. This workshop, which was about the city of Brussels and its future, made me think about the increasingly present floods in the Senne Valley. Today, it allows me to reflect at a more global scale on climate issues and on the flooding phenomenon which results from it

The topic of my research is thus stated as follows: HOW CAN CITIES BECOME RESILIENT TO FLOODS ? A PROSPECTIVE AND MULTISCALE VISION IN THE FACE OF GLOBAL CHANGE (CASE STUDY OF THE CITY OF ROTTERDAM).

I am convinced that the Netherlands has made decades of progress compared to other countries in Europe in this area. This flood risk management is part of the culture of the Netherlands. In addition, Rotterdam is at the same time on the coast, in a delta, with a relief that is below sea level and bordered by a river, ... so many specificities which show to what extent this landscape is subject to the vagaries of 'floods. I want to analyse the impact of the measures taken in Rotterdam on the urban landscape.

To develop my research, I will first carry out a state of the art of flooding in Europe. Then, part II will present the country of study (Netherlands), the city of study (Rotterdam) as well as the methodology applied for this master's thesis. The third part will bring together the results with the presentation of two programmes and four Rotterdam study projects. Finally, part IV will allow us to present the discussion phase of this thesis.

Key words : Flood resilience / Rotterdam / multiscale approach / adaptation strategy / climate change / case study.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	II.
RÉSUMÉ / ABSTRACT	III. & IV.
INTRODUCTION	1.
PARTIE I : ÉTAT DE L'ART (EUROPE)	3.
I.1. DÉFINITIONS.	3.
I.1.A. Les types d'inondations.	5.
I.1.A.a. Origine pluviale.	5.
I.1.A.b. Origine climatique non pluviale.	8.
I.1.A.c. Origine non climatique.	9.
I.1.A.d. Origine suite à des accidents technologiques.	10.
I.1.B. Les effets accentuant les inondations.	10.
I.1.B.a. Effets naturels.	10.
I.1.B.b. Des villes au bord de l'eau : effets anthropiques.	11.
I.1.C. Les impacts des inondations.	16.
I.1.C.a. Impacts paysagers.	17.
I.1.C.b. Impacts socio-économiques.	19.
I.2. ÉVALUATIONS.	20.
I.2.A. Atouts et opportunités.	20.
I.2.A.a. Contraintes et risques.	20.
I.2.A.b. Contraintes en opportunités : L'adaptation.	20.
I.2.B. Aperçu des différentes stratégies de lutte contre les inondations en Europe.	21.
I.2.B.a. Stratégies européennes.	22.
I.2.B.b. Résilience : Des modèles de villes plus durables ?	24.
I.2.B.c. Gestion du risque d'inondation.	25.
I.3. CONCLUSION ET OBJECTIFS DE RECHERCHES.	26.
PARTIE II : MÉTHODOLOGIE (PAYS-BAS)	27.
II.1. OBJECTIFS, STRATÉGIES ET OUTILS.	27.
II.1.A. Objectifs.	27.
II.1.B. Stratégies.	27.
II.1.C. Outils.	27.
II.2. PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE : ROTTERDAM.	27.
II.2.A. Le pays d'étude : Les Pays-Bas.	27.
II.2.A.a. Présentation.	27.
II.2.A.b. Les stratégies actuelles aux Pays-bas.	32.
II.2.A.c. Des stratégies controversées.	34.
II.2.B. La ville d'étude : Rotterdam.	35.
II.2.B.a. Histoire de «Rotterdam».	36.
II.2.B.b. Rotterdam, une ville delta.	39.
II.2.B.c. Une volonté de gestion plus durable.	41.

II.3. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION.	43.
II.3.A. Récolte de données.	43.
II.3.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	44.
II.3.C. Analyse par observation du paysage in situ.	.
PARTIE III : RÉSULTATS : ÉTUDE DE PROJETS MULTISCAIRES (ROTTERDAM)	45.
III.0. CONNECTING DELTA CITIES (CDC) PAR C40 CITIES (ÉCHELLE GLOBALE INTERNATIONALE).	45.
.	.
III.1. ADAPTATION STRATÉGIQUE DE ROTTERDAM (ÉCHELLE GLOBALE URBAINE).	47.
.	.
III.1.A. Récolte de données.	47.
III.1.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	50.
III.2. LA VILLE ÉPONGE : DAKPARK (ÉCHELLE SPÉCIFIQUE SUR UN QUARTIER ET LE PORT).	53.
III.2.A. Récolte de données.	53.
III.2.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	56.
III.2.C. Analyse par observation du paysage in situ.	58.
III.3. MUSEUMPARK GARAGE (ÉCHELLE SPÉCIFIQUEMENT ARCHITECTURALE).	61.
III.3.A. Récolte de données.	61.
III.3.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	62.
III.3.C. Analyse par observation du paysage in situ.	65.
III.4. WATER SQUARE (ÉCHELLE SPÉCIFIQUE AU COEUR D'ÎLOT).	66.
III.4.A. Récolte de données.	66.
III.4.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	68.
III.4.C. Analyse par observation du paysage in situ.	70.
III.5. VILLE FLOTTANTE : FLOATING PAVILLON (ÉCHELLE D'UN BASSIN PORTUAIRE).	72.
III.5.A. Récolte de données.	72.
III.5.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.	74.
III.5.C. Analyse par observation du paysage in situ.	75.
III.6. CONCLUSION.	77.

PARTIE IV : DISCUSSION : LES ENJEUX DE RÉSILIENCE FACE AUX INONDATIONS DOIVENT S'INSCRIRE DANS UNE DYNAMIQUE SYSTÉMIQUE ET MULTISCALEAIRE DE LA GESTION DES EAUX.	79.
IV.1. DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS.	79.
IV.1.A. Le modèle de Rotterdam permet une résilience globale tant au niveau économique, écologique et de la qualité de vie.	79.
IV.1.B. Le concept de ville « éponge » est-il réellement efficace?	80.
IV.2 CRITIQUE DE LA MÉTHODOLOGIE.	81.
IV.2.A. Présentation d'un seul modèle de ville résiliente : Rotterdam.	81.
IV.2.B. Les solutions sont applicables seulement en ville.	82.
IV.3 LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES.	82.
IV.3.A. Absence de recul pour savoir si les projets sont résilients à long terme en fonction des changements climatiques.	82.
IV.3.B. Des stratégies parfois compliquées à assimiler.	83.
IV.3.C. Manque de temps pour analyser d'autres villes.	83.
PARTIE V : CONCLUSION	84.
TABLE DES FIGURES	87.
BIBLIOGRAPHIE	85.
ANNEXES	90.
	97.

INTRODUCTION

Les phénomènes d'inondations sont classés comme étant le risque naturel qui fait à la fois le plus de victimes et de dégâts dans le monde. Le sujet d'inondation a été énormément abordé, selon « Web of Science », entre 1900 et 2016. Plus de 28 000 publications ont paru avec un titre contenant le mot « flood » (*onlinelibrary, 2015*).

Pourtant, malgré de nombreux écrits scientifiques, les inondations ne font qu'augmenter et sont de plus en plus « violentes ». Depuis toujours la terre est habituée aux aléas naturels, mais aujourd'hui un paramètre aggravant vient se rajouter : le changement climatique. Le terme de « changement climatique » rentre dans les préoccupations collectives et fait de plus en plus la une des médias quant à la pérennité de notre planète.

Historiquement, les Hommes ont progressivement constitué des communautés, des sociétés, afin de mettre en commun les ressources nécessaires à leur survie. L'eau étant l'un de ces éléments essentiels, nous pouvons observer dans le temps l'implantation stratégique de villages, de bourgs, puis de villes aux abords des cours d'eau ou des littoraux, faisant ainsi émerger une économie prospère. Mais le développement et l'étalement des villes conduisent, d'une part, à l'imperméabilisation des sols (problématique importante dans la gestion de l'infiltration des eaux) et d'autre part, à une artificialisation et une homogénéisation du paysage. Celles-ci entraînent une diminution de la résilience naturelle de l'espace. Actuellement, 50% de la population mondiale vit dans les villes et l'on estime que celle-ci passera à 70% d'ici 2050. Cette croissance démographique va entraîner un développement économique de plus en plus important. Elle aura une influence sur la gestion des ressources fossiles qui vont se raréfier. L'agriculture intensive va prendre de l'ampleur afin de répondre aux besoins d'une population mondiale toujours grandissante. Toutes ces modifications produites par l'Homme sur le paysage accentuent les changements climatiques, avec une augmentation de la température, des précipitations moins régulières mais plus fortes, une montée des eaux, une acidification des océans et un affaiblissement de la ressource en eau potable, etc. Tous ces phénomènes ont et auront un impact direct sur la gestion des inondations. Les zones urbaines vont être alors de plus en plus vulnérables aux risques d'inondations.

J'ai choisi de faire mon étude sur Rotterdam, car c'est une ville innovante depuis des siècles en ce qui concerne les problématiques d'inondations. De plus, sa proximité avec la Belgique m'a permis de mener une réelle expérience de paysage.

Dans un premier temps nous ferons un état de l'art des inondations en Europe. Dans un second temps, nous aborderons l'approche méthodologique de ce travail. Puis, dans la troisième partie, nous étudierons les résultats des différents projets analysés. Enfin, la quatrième partie tentera de discuter ces résultats et de répondre à la problématique suivante : *COMMENT LES VILLES PEUVENT-ELLES DEVENIR RÉSILIENTES AUX INONDATIONS ? VISION PROSPECTIVE ET MULTISCALE FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX.*

PROBLÉMATIQUE : COMMENT LES VILLES PEUVENT ELLES DEVENIR RÉSILIENTES AUX INONDATIONS ? VISION PROSPECTIVE ET MULTISCALEAIRE FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX (CAS D'ÉTUDE DE LA VILLE DE ROTTERDAM).

I.1. DÉFINITIONS.

Avant de débiter mon mémoire de fin d'études, il me semble judicieux de définir des concepts ou des termes importants et majeurs à la compréhension de ce travail. Lors de mon cursus j'ai été confronté à de nombreuses reprises à des divergences de données sur des cas d'études similaires. En effet, les auteurs n'avaient pas utilisé les mêmes définitions pour défendre leurs travaux. Ainsi sur base de définitions scientifiques nous vous exposerons les définitions sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour développer notre propos.

Résilience : Ce terme connaît plusieurs définitions qui vont varier selon les secteurs. En écologie, la résilience : «exprime, d'une part, la capacité de récupération ou de régénération d'un organisme ou d'une population, et, d'autre part, l'aptitude d'un écosystème à se reconstituer à la suite d'une perturbation» (*Géoconfluences, 2015*).

Pour des analyses socio-spatiales la définition change légèrement. La résilience «désigne la capacité d'un système à assimiler, voire à tirer profit, d'une perturbation extérieure. Dans ce cas, il s'agit de capacités d'adaptation, plus que de retour à un état initial, telles qu'elles permettront au système socio-spatial de fonctionner après un désastre, en présence d'un stress continu ou plus couramment d'une bifurcation géopolitique, économique, environnementale». Nous verrons, au cours de ce rapport, que cette deuxième définition pourra être utilisée pour la résilience face aux inondations, en utilisant la menace comme une opportunité (*Géoconfluences, 2015*).

Inondation : «Action d'inonder ; résultat de cette action. Submersion des terres par les eaux en crue d'un cours d'eau, d'un lac ou par celles de la mer à la suite d'un raz de marée ou de la rupture de digues.» (*CNRTL, 2012*).

Temps de concentration : Durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point «hydrologiquement» le plus éloigné, atteigne l'exutoire (*Géorisques, 2019*).

Thalweg : En hydrologie : Ligne de plus grande pente d'une vallée, suivant laquelle se dirigent les eaux courantes (*Forest, 1946*).

Battement de la nappe : «Variation du niveau de la nappe au cours de l'année» (*Vinet, 2018*).

Changement climatique : «Désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. Certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants : élévation du niveau des mers, accentuation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones,...), déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales, etc» (*Géoconfluences, 2017*).

Changements globaux : «Le changement global est la traduction de l'anglais «global change», désignant le changement des conditions climatiques dans l'atmosphère terrestre, liées aux activités humaines. Il est, à l'origine, une alternative à l'expression réchauffement climatique ou réchauffement global (global warming) permettant de rappeler que s'il y a certes augmentation de la température moyenne de l'atmosphère à l'échelle mondiale, cela n'exclue pas une diminution de la température moyenne dans certains espaces terrestres à l'échelle régionale ou locale » (*Géoconfluences*, 2017).

Polder : Région entourée de digues, afin d'éviter l'inondation par les eaux marines ou fluviales, puis drainée et mise en valeur (*Larousse*).

Retour d'expérience : La méthode du retour d'expérience est un processus de collecte d'informations et d'expériences en matière de gestion des événements catastrophiques, qui permet d'identifier les méthodes et conditions qui ont eu un impact positif, d'évaluer l'efficacité des mesures prises et «d'accéder à la capitalisation d'expériences en favorisant le développement et le partage de bonnes pratiques» (*Leone, Meschinet de Richemond & Vinet, 2010*).

Wetland : En français : Zone humide : « On qualifie de zone humide tout territoire dont le biotope et la répartition des êtres vivants sont caractérisés principalement par la présence d'eau, quelque soit son degré de salinité ou sa persistance au cours de l'année. » (*Futura Planète*).

Conurbation : Agglomération urbaine formée de plusieurs villes qui se sont rejointes au cours de leur croissance, mais qui ont conservé leur statut administratif (*Larousse*).

Temps de réponse : Intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de la pluie nette de la pointe de crue ou parfois du centre de gravité de l'hydrogramme dû à l'écoulement de surface (*EPFL*).

Bassin versant : Unité géographique naturelle recevant les précipitations qui alimentent un cours d'eau (*Larousse*).

Phénomènes convectifs : «Les mouvements de convection sont l'ensemble des mouvements internes (horizontaux ou verticaux) générés dans une masse fluide (liquide ou gaz). Ces mouvements peuvent notamment être dûs aux différences de température ou aux différences de densité en divers points de la masse» (*Futura sciences*).

Échelle : «L'échelle est le rapport d'une longueur sur une représentation graphique, cartographique, photographique, sur une maquette, un modèle réduit, etc., à la longueur réelle correspondante. (L'échelle peut être indiquée sous la forme du nombre exprimant ce rapport ou représentée graphiquement par un trait gradué. Le document représenté est d'autant plus détaillé que l'échelle est plus grande)» (*Larousse*).

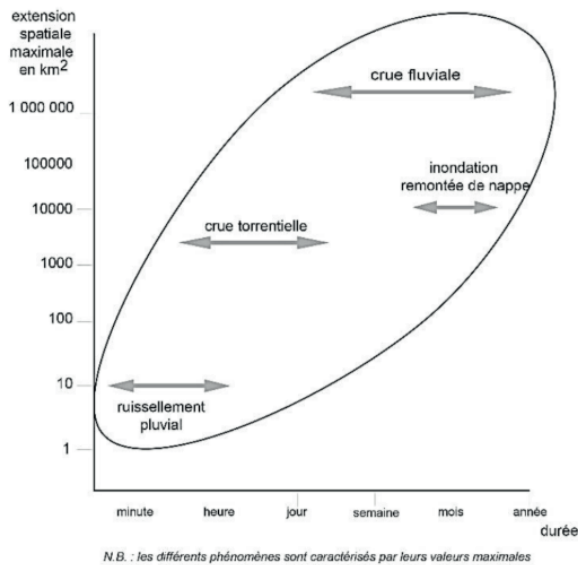
I.1.A. Les types d'inondations.

Au regard de la diversité des types d'inondations qui existent, il semble important de les présenter et de les définir afin de mieux comprendre leurs processus.

Figure 1.1. Classification classique des inondations d'origine pluviale

Source : FLOODsite : Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, 2015

Le phénomène d'inondation est complexe et d'autant plus complexifié par l'anthropisation de nos paysages. On retrouve alors de multiples scénarios: Freddy Vinet dans son étude « La connaissance du risque », différencie les inondations d'origine précipitable des inondations d'origines autres que ce soit climatiques (submersions marines) ou telluriques (tsunamis) (Vinet, 2018).



I.1.A.a. Origine pluviale.

Selon les classifications classiques on identifie (FLOODsite, 2015) :

1. Les crues éclairs ou crues torrentielles (flash floods) ;
2. Les inondations par ruissellement (urban floods) ;
3. Les inondations fluviales : par débordement de cours d'eau (fluvial floods) ;
4. Les inondations par remontée de nappe (ponding floods) ;

L'ensemble de ces classifications est réglé par l'intensité des précipitations et par les caractéristiques des bassins versants déterminant les temps de concentration et de propagation.

1. Les crues éclairs ou crues torrentielles :

Lorsque des précipitations intenses tombent sur tout un bassin versant, les eaux ruissellent et se concentrent rapidement dans le cours d'eau, provoquant des crues brutales et violentes dans les torrents et les rivières torrentielles. Le lit du cours d'eau est en général rapidement colmaté par le dépôt de sédiments et/ou de bois morts, pouvant former des barrages appelés embâcles. Lorsqu'ils viennent à céder, ils libèrent une énorme vague qui peut être mortelle (FLOODsite, 2015).

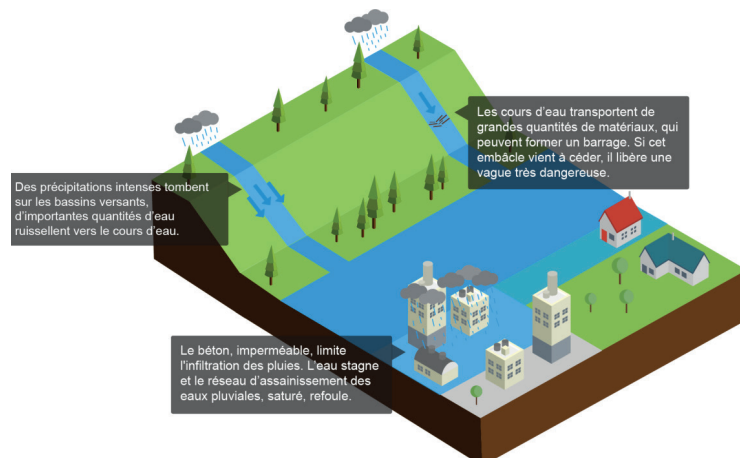


Figure 1.2. Diagramme explicatif des crues éclairs

Source : BFMTV, 2018

Les inondations par crues torrentielles sont associées à des bassins versants pour lesquels le temps de concentration (Cf. Définition, p. 3 et 4) est généralement inférieur à douze heures.

Ce phénomène se rencontre principalement lorsque le bassin versant intercepte des précipitations intenses à caractère orageux (en zones montagneuses et en région méditerranéenne), mais aussi sur les petits bassins versants à forte capacité de ruissellement (Géorisques, 2019).

2. Inondations par ruissellement :

En anglais, «Urban floods» : Ce type d'inondations est en grande partie lié à l'activité anthropique sur nos territoires. Lors d'un événement climatique important (forte intensité et période de retour longue), si la plupart des espaces sont en pente et relativement imperméables, ce phénomène se produit (autant en milieu urbain, péri-urbain et rural). La croissance grandissante de notre société est très généralement implantée sur les bords de cours d'eau, littoraux pour des nécessités vitales. Elle se développe sur les trajectoires naturelles d'écoulement des eaux (FLOODsite, 2015).

L'imperméabilité des sols va être le facteur aggravant du ruissellement. Dans ce travail, c'est en partie ce type d'inondation que je vais traiter, puisqu'il est le phénomène le plus récurrent en milieu urbain. Nous pouvons aussi constater qu'en milieu urbain, les ouvrages de gestion d'évacuation des eaux ont été dimensionnés selon des modèles d'événements climatiques passés, généraux et dans un contexte à un moment T. Seulement aujourd'hui le climat évolue, notre société s'accroît et les dimensionnements des réseaux se voient parfois dépassés, causant des inondations de plus en plus régulières, avec par exemple : la remontée des eaux par les bouches de visite des égouts.

Le ruissellement urbain n'est pas réellement un type d'inondation mais fait plus référence à un risque croissant selon le degré d'anthropisation. Ce ruissellement correspond aux surfaces artificialisées et est mis sous contrainte des thalweg (Cf. Définition, p.3 et 4) favorisant la concentration des écoulements. Ce type d'écoulement va être de plus en plus récurrent compte tenu de l'étalement et du développement des zones urbaines sur l'ensemble du globe. Dans l'étude des inondations (Forest, 1946), les zones péri-urbaines sont différenciées des zones urbaines. En zone péri-urbaine le danger vient des cours d'eau affluents qui convergent vers une agglomération urbaine (effet entonnoir). En zone urbaine, les précipitations ayant lieu à « l'aplomb » de la zone, le réseau d'évacuation des eaux pluviales sature et ne peut pas évacuer les eaux (FLOODsite, 2015).

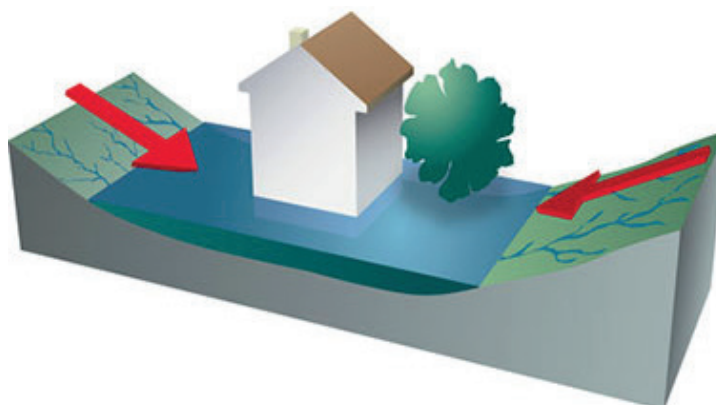


Figure 1.3. Diagramme explicatif de l'inondation par ruissellement

Source : Water-words, 2009

3. Inondations fluviales :

Ce type d'inondations se traduit par le débordement d'un cours d'eau du lit mineur vers le lit majeur. Ce débordement va se produire par le biais de différents facteurs de précipitations et des météo marines. On retrouve alors les orages d'été qui provoquent des pluies violentes et localisées. En automne il n'est pas rare de retrouver des perturbations orageuses. Ce type de phénomène peut aussi être occasionné par des pluies océaniques engendrant des crues en hiver et au printemps. Ces phénomènes peuvent être amplifiés par la fonte des neiges du milieu montagneux, elle-même amplifiée par le changement climatique. D'ailleurs ces changements créent parfois de grandes pluviométries sur des périodes de retour très longues (ex: plusieurs années) (*FLOODsite, 2015*).

Ces inondations se manifestent par des crues, des ruissellements, des submersions voir même des remontées de nappes (autres types d'inondations) en fonction de l'intensité, de la durée ou encore de la répartition des précipitations.

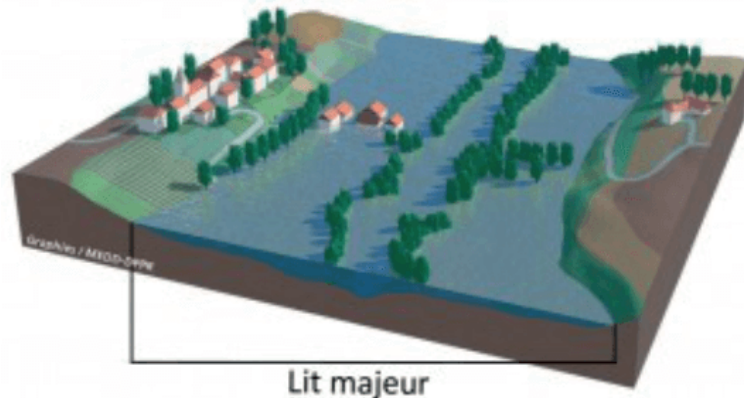


Figure 1.4. Diagramme explicatif des inondations fluviales

Source : SEDIPEC

Ces risques sont d'origines naturelles et sont plus ou moins intenses selon le relief de la pente du bassin du versant, son point exutoire, la couverture végétale qui va permettre de capter et ralentir les eaux, la typologie du sol (capacité d'absorption et d'infiltration), etc. Ces facteurs sont nombreux mais l'action anthropique va largement amplifier les risques par l'homogénéisation des paysages : la disparition des haies laissant place à des cultures monospécifiques, l'artificialisation et l'imperméabilisation du sols dûs à l'étalement urbain (*SEDIPEC*).

Enfin, dans des cas spécifiques, les risques peuvent être accentués par un contexte particulier. Par exemple, les Pays-Bas sont à la fois sur le littoral mais en plus sous le niveau de la mer. En 1953, une forte marée haute dûe à la tempête et de vives-eaux ont entraîné la rupture d'une digue.

4. Inondations par les nappes phréatiques :

Comme énoncé dans la partie précédente (*Cf. I.1.A.a. Origine pluviale*), les inondations peuvent être causées par les nappes phréatiques. Ces dernières sont alimentées par les pluies qui vont, après évaporation infiltration ou encore captation par la végétation, finir leurs courses dans les nappes. Le battement de la nappe (*C.f Définition, p. 3 et 4*) est souvent plus grand en période hivernale.

En effet, en cette saison, les précipitations sont généralement plus importantes et plus redondantes, la température provoquant l'évaporation est plus faible et la plupart de la végétation est en dormance (au repos). Lorsque des événements exceptionnels se produisent, la nappe peut se recharger rapidement et atteindre la surface du sol (*Géorisques, 2019*).

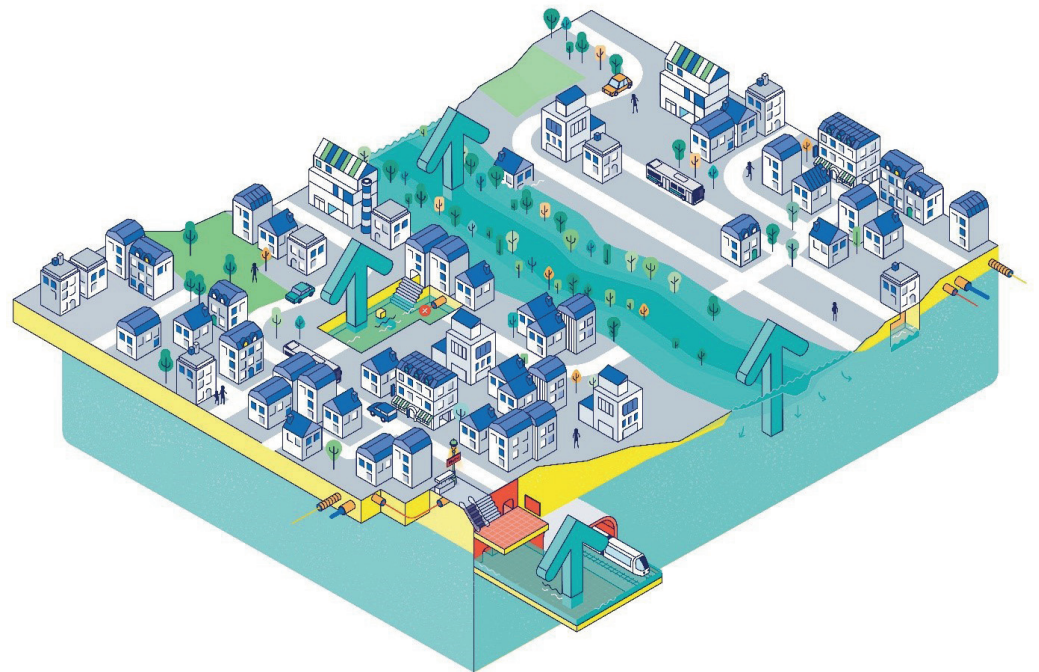


Figure 1.5. Diagramme explicatif des inondations par les nappes phréatiques

Source : Episeine, 2018

I.1.A.b. Origine climatique non pluviale.

L'origine climatique non pluviale se caractérise par la submersion marine. Les territoires situés sur le littoral sont sujets aux variations des marées des océans. Ces dernières varient selon les conditions météorologiques et océaniques, comme les basses pressions atmosphériques, les vents, etc.

Ces phénomènes se caractérisent en trois types : Le premier est la submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur au niveau de la côte de crête. La côte de crête peut-être soit naturelle (terrain naturel) soit anthropique (digues) (*FLOODsite, 2015*).



Figure 1.6. Photo du village de Wieringerwerf avant et après les inondations

Source : Inconnu, 1953

Le second est la submersion par franchissement, c'est-à-dire lorsque les déferlantes (grandes vagues) dépassent la côte de crête. Ce type de submersion peut fragiliser les structures de protection et entraîner le dernier type de submersion : submersion par rupture du système de protection. La rupture du système de protection en place peut se manifester par la brèche d'un cordon naturel, un ouvrage vieillissant ou mal entretenu, une érosion, un phénomène de surverse, un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel, etc. (Vinet, 2018). Au Pays-Bas, le 31 janvier 1953, lors d'une tempête, une digue a cédé. Etant donné que ce territoire est en dessous du niveau de la mer, cette dernière s'est engouffrée dans le paysage. Dans ce cas, l'eau des rivières ne pouvant plus se déverser dans la mer, le paysage fut inondé par l'eau douce engendrant des milliers de victimes. Ce cas démontre l'importance de la nécessité de se protéger de diverses manières et de prévoir des solutions secondaires au cas où le système viendrait à céder.

I.1.A.c. Origine non climatique.

Ces types d'inondations sont très divers (par ex : tsunامي) et peuvent se produire par une multitude de facteurs secondaires : mouvement de terrain, séisme, éruption volcanique, etc.

En prenant l'exemple des glissements de terrain, plusieurs types d'inondations peuvent se produire. Tout d'abord, ces glissements de terrains d'un versant peuvent se transformer en barrage naturel. L'eau va s'accumuler en amont du barrage jusqu'à ce qu'il atteigne son point de rupture. Ainsi une grande quantité d'eau va couler en aval de ce dernier. Si la rupture de ce barrage est brutale, la zone en aval subira une inondation torrentielle. Mais un glissement de terrain peut aussi se traduire sur un lac (Fig. 1.7). L'élément solide du glissement tombant dans le lac va donc créer un débordement de celui-ci (ex : Italie 9 Octobre 1963 : Barrage de Vajont) (Vinet, 2018).

Figure 1.7. Vue aérienne du barrage du Vajont le lendemain de la catastrophe, montrant le glissement de terrain occupant l'emplacement de la partie aval du lac de retenue, contre le barrage dans le bas de la photo

Source : Inconnu, 1963



I.1.A.d. Origine suite à des accidents technologiques.

Cette origine est purement due à l'action anthropique en se manifestant par la rupture d'ouvrages artificiels permettant de tirer profit de l'eau. Ces accidents sont dus à la rupture de barrages ou de digues. Ces ouvrages contre nature sont dimensionnés à un moment T ou par rapport à des événements antérieurs et ne sont donc pas à l'abri d'intempéries plus élevées (sous-dimensionnement). On dit qu'ils sont dimensionnés par rapport à leur crue de projet et selon un retour d'expérience (*Cf. Définition, p. 3 et 4*). De plus, les structures peuvent vieillir ou être mal construites (mauvaises fondations, usures de la structure). Depuis la création de ces ouvrages, nous constatons une hétérogénéité dans leur conception, selon les régions, les époques, les connaissances, leur taille, leur utilisation, etc.

Les risques de rupture sont encore trop peu connus des autorités. Selon Freddy Vinet, 2018 : « Ces accidents ont encore lieu au moins une fois par an. Toutefois, petit à petit, ces risques sont pris en considération dans les plans locaux de gestion de crises locales » (*Vinet, 2018*).



Figure 1.8. Photo d'un renforcement de barrage sur le point de céder en Angleterre

Source : Roland HARRISON / AFP, 2019

Enfin, ce type d'inondation n'en est pas un. Il est plutôt considéré comme un facteur aggravant de ces dernières, qu'elles soient fluviales ou littorales. De nombreux cours d'eau, de part l'action anthropique, sont endigués, canalisés sur la partie inférieure ou moyenne de leurs cours. Ils sont classés comme « risque technologique », le risque de rupture des structures fait partie intégrante des scénarios d'inondation fluviale (*Vinet, 2018*).

I.1.B. Les effets accentuant les inondations.

I.1.B.a. Effets naturels.

Le sentiment que nos infrastructures pouvaient contrôler les risques naturels a toujours été présent. Les stratégies mises en place dans le passé visent à se défendre plutôt qu'à s'adapter. En conséquence, la plupart de nos ouvrages européens sont obsolètes et ceux du futur ne sont pas anticipés. Nous nous inscrivons ainsi dans une lutte extrêmement énergivore et qui semble peu efficiente à moyen terme.

«À l'exception des rares, mais bien souvent catastrophiques conséquences hydrologiques et humaines liées aux mouvements de terrains, aux ruptures de barrages et aux inondations marines, les inondations des vallées et plaines de France sont essentiellement dépendantes de pluies intenses ou prolongées parfois concomitantes à la fonte du stock neigeux constitué en hiver sur les massifs montagneux voire sur les plaines et plateaux» (Scarwell et al., 2017).

«Les processus de transfert des eaux à l'échelle des versants et des bassins versants (Fig. 1.9.) constituent alors le moteur des inondations. La variabilité spatiale et temporelle de ces processus contribue aussi à la diversité des inondations à l'échelle du territoire français. Or, l'enjeu d'une politique de gestion des extrêmes est d'appréhender la diversité du fonctionnement des hydrosystèmes de manière à adapter les modes opératoires de gestion du risque aux situations locales» (Scarwell et al., 2017). Autrement dit, les crues lentes et durables (montée des eaux en plusieurs semaines et décrue dépassant parfois 1 mois) ne peuvent être gérées comme celles des régions pour lesquelles la montée des eaux est fulgurante (dizaines de mètres en quelques heures). «Il s'agit alors de comprendre comment se forme sur les versants le ruissellement générateur d'écoulement de crue dans le but de limiter, par des techniques adaptées aux conditions locales, l'arrivée massive d'eau dans les talwegs» (Scarwell et al., 2017).

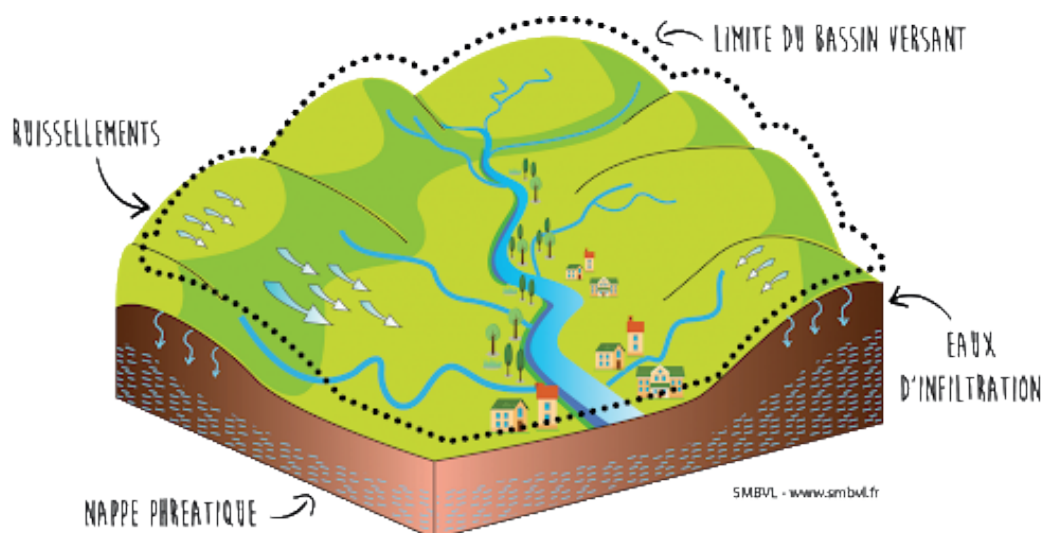


Figure 1.9. Illustration du bassin versant

Source : Syndicat Mixte du Bassin Versant du Lez

I.1.B.b. Des villes au bord de l'eau : effets anthropiques.

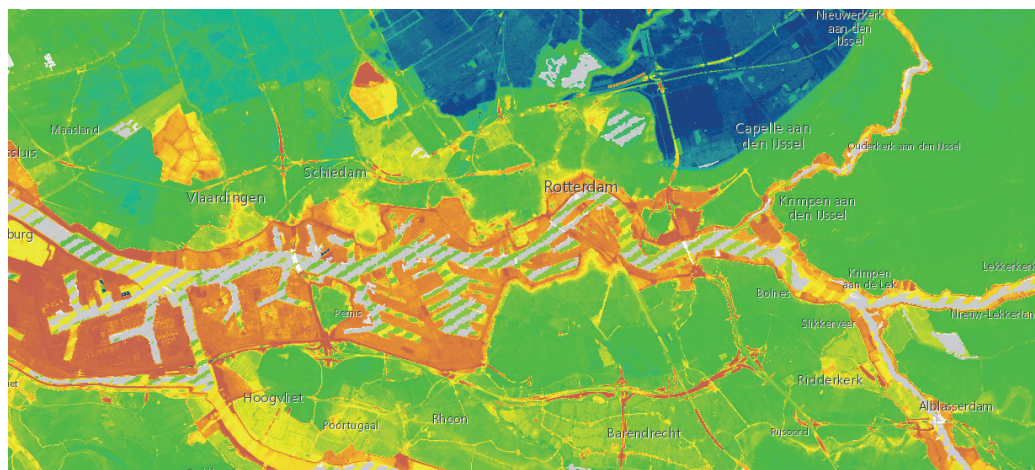
L'Homme, en s'implantant et en se sédentarisant au bord des cours d'eau ou du littoral, a élaboré au fil du temps des éléments architecturaux nécessaires à leur franchissement (ponts, gués, etc.), mais aussi à la gestion de ceux-ci, l'utilisation de leur force motrice (barrages) ainsi que pour la navigabilité (écluses, chemins de halages, canaux etc.) ou encore pour se protéger (Digues, levées, etc.). L'eau devient pour les villes une ressource centrale et fondamentale, avec une diversité de son utilisation tant pour l'hygiène, que pour l'alimentation ou les loisirs. La gestion de l'eau devient alors un enjeu économique majeur.

Nous constatons sur la carte figure 1.10. de Rotterdam que, comme pour de nombreuses villes, la densité d'habitats la plus élevée est au plus proche des cours d'eau. Ainsi la ville se déploie de son centre vers les zones agricoles qui vont progressivement s'étendre en proximité.

Figure 1.10. Carte montrant la densité de population par rapport à la proximité de l'eau (Rotterdam)

Le cas de Rotterdam illustré dans la figure 1.11 sera repris plus en détails dans la partie « II : Méthodologie », cas d'étude de ce mémoire.

Source : ArcGis



Ce type d'implantation peut présenter des désavantages. En effet, les cours d'eau peuvent générer des contraintes en fonction de leur implantation avec l'apparition d'inondations. En modifiant le trait des côtes par l'implantation de digues ou en canalisant les cours d'eau, l'homme va artificialiser le paysage, notamment avec l'utilisation parfois intensive du béton. Les quais révèlent cette volonté de se protéger de l'eau tout en la contrôlant. Ils peuvent être assimilés à des digues internes aux cités. La navigation fluviale a d'abord nécessité l'implantation de ports aux centres des villes qui se sont progressivement déplacés en périphérie. Afin de développer les loisirs en milieu urbain, les villes ont souhaité réaménager, revaloriser les berges, les rendant ainsi beaucoup plus attractives. Tous ces ouvrages paraissaient initialement comme une réponse à la gestion des eaux, mais ils génèrent actuellement des problèmes auxquels nous sommes confrontés, tels que les inondations, l'érosion des sols, etc. Ils ont un impact direct sur la capacité de résilience naturelle des cours d'eau et des littoraux (Pelletier Jean, 1990). Combinés à cela, les changements climatiques vont accentuer les phénomènes.

Au XXe siècle, les ports situés initialement au coeur des villes ont déplacé leurs infrastructures vers le littoral pour des raisons d'accroissements économiques (Ex : Hambourg, Anvers, Rotterdam). Ainsi les infrastructures portuaires dans la ville ont perdu leur raison d'être et se sont faites oublier, devenant progressivement des friches. Au XVIe siècle, elles présentent à nouveau un regain d'intérêt. Elles sont à nouveau réinvesties et deviennent moteur de développement urbain comme le canal de Bruxelles qui redevient un élément majeur de la ville, en prenant un nouveau souffle paysager (Pelletier Jean, 1990).



Figure 1.11. Carte montrant l'impact de l'être humain sur la planète

Source : NASA, 2012

«Les changements de l'usage des sols affectent les processus hydrologiques par la modification des facteurs d'infiltration, d'évaporation, de ruissellement comme par la modification des charges sédimentaires et de la morphologie des cours d'eau. S'il n'est pas envisageable d'aborder en quelques pages l'ensemble de ces impacts, un éclairage à partir de quelques types d'usages illustrera le rôle de l'urbanisation ou de certaines pratiques agricoles sur la modification du volume et de la fréquence des crues» (Scarwell et al., 2017).

Selon Dacharry (1984) et Chocat (1987), la ville modifie le cycle naturel de l'eau. La particularité des hydrosystèmes urbains découle en effet de trois caractéristiques (Dacharry, 1984 ; Chocat, 1987) :

1. La première est relative aux conséquences de l'urbanisation sur l'ensemble des termes du bilan hydrologique (évapotranspiration, précipitation, infiltration, ruissellement) et plus particulièrement sur les conditions de ruissellement.
2. La deuxième est due à la circulation de deux flux hydriques, séparés ou unis au sein des mêmes réseaux selon les cas, et ayant au final le même exutoire : le cours d'eau. Ces flux correspondent, d'une part, à l'eau distribuée qui répond aux besoins domestiques ou industriels et à l'eau usée, résidus de l'usage urbain de l'eau et, d'autre part, à l'eau pluviale plus aléatoire et variable selon les régions françaises.
3. La troisième résulte du caractère évolutif des villes qui entraîne, par l'étalement des zones de bâtis et des infrastructures imperméables comme par la densification du tissu urbain, une modification progressive des termes du bilan de l'eau.

Le ruissellement des sols lors d'épisodes pluvieux est favorisé par des zones imperméabilisées grandissantes qui réduisent la capacité d'infiltration des eaux dans le sol. L'imperméabilisation favorise l'augmentation du volume de l'écoulement rapide de crues, même lors de précipitations de faible intensité. Selon le degré d'imperméabilisation, le volume ruisselé augmenterait de 500 à 800 %.

De plus, les réseaux d'évacuation des eaux pluviales conçus selon des concepts hygiénistes du XIX^e siècle, ont pour fonction d'évacuer rapidement les eaux de pluies et les eaux usées en dehors de l'espace urbain. Ils rendent le transfert des eaux de crues plus rapide dans les réseaux d'eau

peu rugueux et imperméables. Les surfaces imperméabilisées conduisent ainsi à une latence des temps de réponse des bassins versants et à l'évacuation de volumes ruisselés plus importants. Les coefficients d'apports sont bien plus importants qu'en milieu rural ou naturel. La forme de l'hydrogramme de crue s'en trouve alors changée (fig. 1.12) : montée des eaux plus rapide, pointe de crue plus précoce, volume ruisselé plus important.

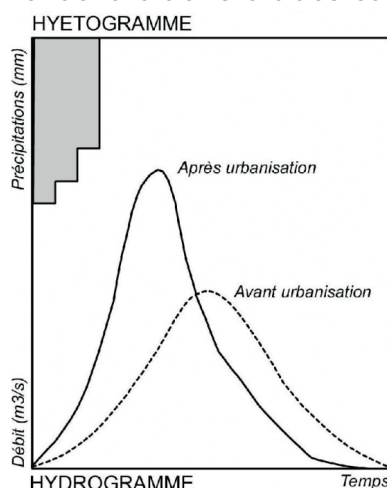


Figure 1.12. Impact de l'urbanisation sur l'hydrogramme de crue

Source : Scarwell et al., 2017

Dans ce contexte, l'aspect aléatoire des inondations est plus important car le ruissellement pluvial s'associe aux rejets d'eaux domestiques dans les réseaux. Ces derniers, étant sous-dimensionnés, ne peuvent plus faire face à des événements hydrologiques extrêmes et rares (ex : période de retour estimée à 100 ans) (Davy, 1989 ; Laganier et Davy, 2000).

D'autre part, les fossés en amont (espace rural) disparaissent aux portes des zones urbanisées. Lorsqu'ils arrivent en ville, ils sont pris en charge par un réseau souterrain complexe, devant normalement collecter les eaux pluviales usées, plus celles des sources ou de cours d'eau. Or, c'est à ce niveau qu'il y a un dysfonctionnement. Si un trop grand volume d'eau arrive rapidement, alors les réseaux d'égouttage ne peuvent plus absorber, traiter les eaux. Ainsi, des torrents vont se créer et impacter les aménagements urbains. De plus, le phénomène est accentué par l'amoncellement de matériaux emporté par les eaux créant des barrages naturels. Ceci explique la formation de «vagues successives» qui, en quelques minutes, déferlent les pentes des rues de la ville, y causant de nombreux dégâts, tel que cela a pu être notamment observé à Nîmes en 1988 (Fig. 1.13). Cet exemple nous montre l'impact des modifications générées systématiquement par la croissance urbaine sur le cycle de l'eau. À celles-ci est associé le manque de surfaces végétalisées qui atténue l'évapotranspiration des villes (Scarwell et al., 2017).



Figure 1.13. Inondation du 03 octobre 1988 à Nîmes

Source : Internet

Enfin de nombreuses observations, menées à l'échelle de grandes métropoles, montrent que les villes contribuent à l'accroissement des précipitations pour diverses raisons (Scarwell et al., 2017) :

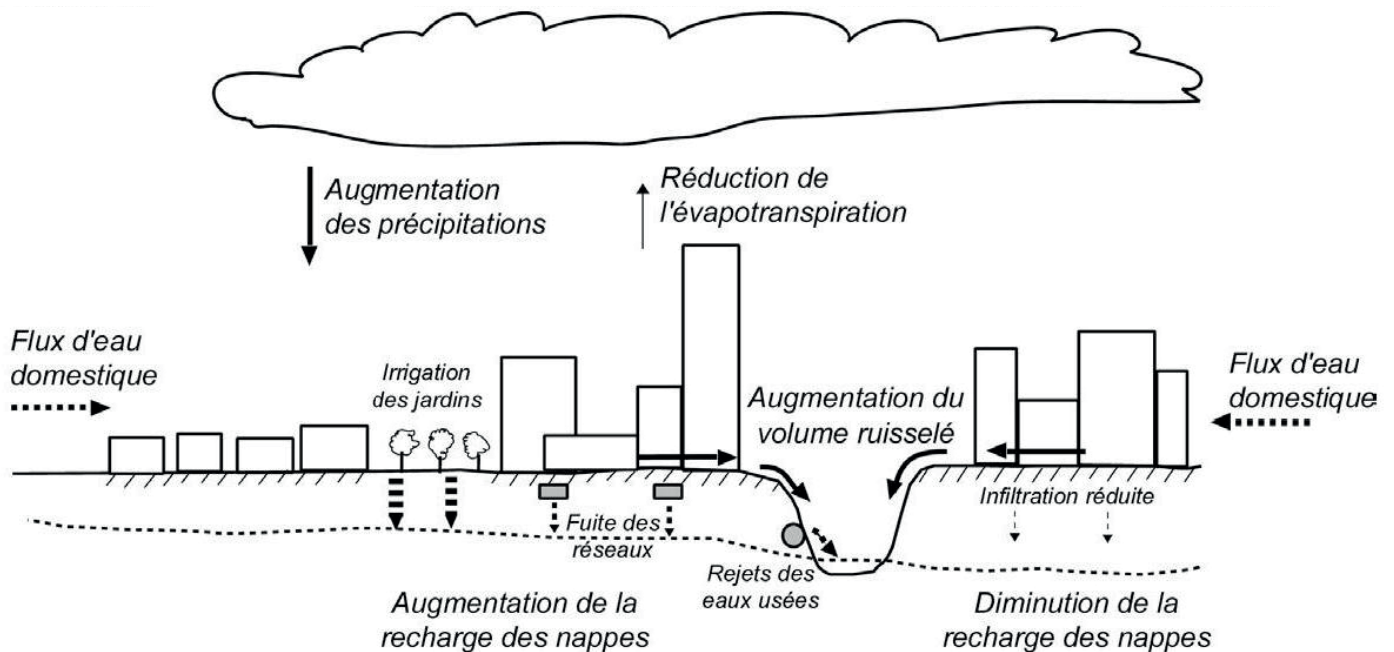
1. Les noyaux de condensation sont, en effet, plus nombreux au-dessus des villes, en raison de l'importance des émissions de particules fines par les activités urbaines,
2. Dans certaines conditions climatiques, les centres urbains enregistrent des températures plus élevées que les zones périphériques. L'instabilité de masses d'air est alors accrue au-dessus de cet îlot de chaleur (ascendances thermiques),
3. La rugosité de certains quartiers caractérisés par le développement vertical de grandes tours et immeubles, peut renforcer l'instabilité des masses d'air et entraîner une aggravation des précipitations à l'image de l'effet de lisière observé au niveau des forêts.

Ces effets, parfois conjugués à l'échelle d'une même ville, se font ressentir au cours d'un épisode pluvieux (un orage estival par exemple) et parfois même à l'échelle mensuelle. G. Escourrou a pu constater qu'à l'échelle d'une agglomération, les quartiers, les espaces centraux de fortes densités et les effets de site (ex : butte) ont une influence sur l'augmentation des totaux pluviométriques par rapport à la banlieue. Les espaces pavillonnaires provoquent un premier accroissement des précipitations, auquel s'ajoute une augmentation supplémentaire due à la construction de grands ensembles (*Comité National Français de Géographie, 1996*).

L'urbanisation favorise donc une augmentation des précipitations et majore les épisodes pluvieux issus des masses d'air les plus instables, provoquant ainsi ses propres risques. Elle accentue le dérèglement climatique par le renforcement des phénomènes convectifs (*Cf. définition, p. 3 et 4*) et l'imperméabilisation des surfaces. De plus, en milieu urbain, le flux d'eau issu du ruissellement pluvial est dévastateur. Il a cette particularité d'engendrer des dommages matériels et humains, d'accumuler au fil du parcours de l'eau pluviale des polluants variés (*Scarwell et al., 2017*).

Figure 1.14. Urbanisation et cycle de l'eau

Source : Scarwell et al., 2017



L'enjeu de la gestion du ruissellement pluvial urbain est donc double : D'une part, il permet d'atténuer l'effet dommageable des inondations et d'autre part, de limiter le transfert de polluants vers les cours d'eau et les nappes. Cette double problématique, quantitative et qualitative, amène à repenser l'évacuation rapide des eaux dans la gestion des eaux pluviales urbaines. En effet, la croissance et l'étalement des villes contribuent à augmenter très fortement les volumes d'eau à assainir par les stations d'épuration. Ils saturent aussi les réseaux existants lors d'épisodes pluvieux. L'un des objectifs de la gestion des eaux pluviales est de garantir le traitement des eaux de ruissellement et surtout les premiers volumes précipités d'orage particulièrement pollués. L'extension des réseaux de collecte des eaux usées et pluviales dues à l'étalement urbain ne suffit pas à gérer des volumes de crues de plus en plus importants et notamment à cause de réseaux anciens sous-dimensionnés (*Scarwell et al., 2017*).

Intégrer la gestion des eaux pluviales à l'aménagement urbain revient à revisiter les fondements de l'hydrologie urbaine, en limitant le transit des eaux en ville, en favorisant l'infiltration ou la rétention des eaux afin de se rapprocher des cycles naturels. Ce changement de paradigme de l'assainissement provoqué par l'urbanisation galopante des années 1950-1970 induit des coûts de grande ampleur nécessaires à la construction de canalisations de grand diamètre sur des distances de plus en plus importantes, notamment lors de la construction de grands ensembles et de villes nouvelles. Porosités multiples, parkings tampons et zones filtrantes se développent pour stocker ou ralentir l'écoulement au sein de l'espace urbanisé (Scarwell et al., 2017).

Cependant, cette nouvelle orientation dans la sphère de décision technico-politique ne fait pas l'unanimité. Elle se heurte aux concepts des urbanistes et des aménageurs des années 1960-1980 qui sont pour beaucoup dans le refus de tout ce qui pourrait rappeler l'eau dans la ville. Ces nouvelles techniques dans leur mise en place, se heurtent à des logiques parfois divergentes qui impactent l'efficacité de la gestion technique de ces ouvrages. Les différences de formation et de démarches professionnelles entre le maître d'ouvrage, le maître d'étude et de réalisation des bassins d'orage et l'exploitant de ces retenues peuvent conduire à des dysfonctionnements (Scarwell et al., 2017).

Enfin, l'appropriation par les usagers de l'aspect plurifonctionnel des ouvrages (bassins d'orage mais aussi espaces récréatifs) est source de conflits d'objectifs. Par exemple, certains habitants s'interrogent ou critiquent vivement les pouvoirs publics lorsqu'une aire de jeux s'inonde à la suite d'un orage, d'autres s'émeuvent fortement à l'occasion d'un agrandissement des bassins d'orage, considérant seulement le caractère ludique, paysager, voire « naturel » du site. L'architecte du paysage doit prendre en compte ces conflits d'objectifs afin de trouver un consensus auprès des différents acteurs impliqués dans le projet (Cf. voir annexe n°8) (Scarwell et al., 2017).

I.1.C. Les impacts des inondations.

Quels sont les impacts des inondations ? Selon un projet européen les principales catégories sont (Meyer et al., 2012) :

1. Les dommages matériels directs aux biens meublés et immeubles ;
2. Les pertes d'exploitations, les pertes pécuniaires diverses (pertes de loyers) ;
3. Les pertes indirectes causées aux enjeux non affectés par des dommages matériels directs.

Le projet présenté ci-dessus vise à analyser les impacts monétisés, c'est-à-dire pour lesquels on peut donner une valeur monétaire. Cependant, le rôle de l'architecte du paysage dans la gestion des inondations, ne se réduit pas à une approche économique. En effet, la mission première du paysagiste est de réfléchir aux impacts patrimoniaux du paysage et aux impacts à venir.

I.1.C.a. Impacts paysagers.

Les inondations ont amené l'homme à faire évoluer le paysage en construisant différents ouvrages au fil des siècles, le métamorphosant pour, entre autre, se protéger. Les impacts sur le paysage vont d'ailleurs être accentués par « les conditions climatiques, la taille et l'occupation du sol des bassins versants, la forme des vallées, les aménagements des abords de rivières et de fleuves par l'homme » (*Atlas de Paysage des Pays de la Loire*, 2016).



Figure 1.15. Inondation à Port Marly

Source : Alfred Sisley, 1876

Le paysage va alors laisser entrevoir un nouveau visage. Notamment, les crues auront pour conséquences des courants importants, des destructions de berges et de végétation associée, et l'immersion de certaines routes des vallées, sauf celles réalisées en levées. Les inondations modifient complètement la perception des paysages en unifiant les plans horizontaux, en créant des jeux de miroir (*Fig.1.16*), en modifiant la perception des distances et des profondeurs des paysages. Elles induisent un caractère à la fois identitaire et insolite lorsque des arbres, une peupleraie, un pont, surgissent de l'eau. Le phénomène est d'ampleur telle, qu'elles induisent ainsi une véritable identité des lieux et des paysages régionaux avec laquelle les habitants de la région ont appris à composer et qui ne peut laisser indifférent (*Atlas de Paysage des Pays de la Loire*, 2016).



Figure 1.16. Jeu de miroir à Rotterdam

Source : Mathieu Aurégan

Indirectement, afin de lutter contre l'élément « eau », différents ouvrages vont marquer l'identité du paysage : levées, digues, ponts, berges maçonnées, écluses, etc. De nouveaux paysages productifs vont apparaître, comme par exemple les polders.

La levée est un terme connu dans les paysages. Par exemple, la levée de Sully-sur-Loire est une digue continue de près de 40 kms dans la partie orientale du Val de Loire. Cet ouvrage datant de 1160, initié par le roi d'Angleterre Henri II Plantagenet, va inciter les vétérans de l'armée, ainsi que des étrangers à la région, à s'y installer moyennant compensations, donnant naissance à de nombreux villages (Arsene, 2017). Ceux-ci construisent une digue assez large pour porter des maisons et assez haute et puissante pour contenir le fleuve. La création de cet ouvrage va avoir un impact significatif sur l'identité du paysage. Aujourd'hui, les levées continuent de protéger les terres basses des eaux de la Loire et constituent un moyen de découverte privilégié du paysage (axes routiers) (Atlas de Paysage des Pays de la Loire, 2016).



Figure 1.17. La levée de Sully-sur-Loire

Source : Internet

Les polders démontrent l'impact des risques d'inondations sur le paysage mais également la volonté de l'homme d'acquérir toujours plus de nouvelles terres. Le polder est une étendue artificielle de terre conquise sur la mer grâce à des digues, des barrages et dont le niveau est inférieur à celui de la mer. Les polders sont réalisés par drainage provoquant l'assèchement de marais, de lacs, ou de zones littorales. Les Pays-Bas sont souvent associés aux polders, puisqu'une grande partie de leur surface a été gagnée sur la mer au cours des siècles (ActuEnvironnement, 2015).



Figure 1.18. Polders aux Pays-Bas

Source : Foodlog.nl

D'autres infrastructures proches de la levée comme les portes marinières, les écluses et les barrages permettent de contrôler les débits et les niveaux d'eau dans les rivières et les marais. Leur contrôle précis s'opère à des fins de navigation, de gestion des écoulements des eaux dans les bassins versants en lien avec les problématiques d'inondations et d'irrigations, de maintien des milieux. Ces éléments construits jouent aujourd'hui un rôle paysager important dans les paysages de ces vallées, tant par leur qualité architecturale intrinsèque, que par leur caractère de ponctuation et d'animation de ces paysages linéaires et les rythmes et contrastes qu'ils génèrent (*Atlas de Paysage des Pays de la Loire*, 2016).



Figure 1.19. Protection par des remblais artificiels à Rotterdam

Source : Mathieu Aurégan

I.1.C.b. Impacts socio-économiques.

Les impacts peuvent être catégorisés selon deux types : les dommages tangibles permettant une évaluation monétaire et les dommages intangibles qui sont difficilement monétisables. Ces deux catégories vont être différenciées selon deux types de dommages : directs et indirects (*Hubert and Ledoux*, 2015).

Dans l'étude «Le Coût du risque [...] : l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations» (*Hubert and Ledoux*, 2015), il est énoncé la difficulté de quantifier l'ensemble des dommages dûs aux inondations et la préférence d'évoluer vers des démarches plus qualitatives : «évaluation des enjeux et de la vulnérabilité». À priori, l'étude identifie l'évaluation des dommages et à posteriori, elle évalue les enjeux et la vulnérabilité.

L'évaluation des dommages utilise une logique d'analyse de coûts-avantages permettant de comparer les coûts utilisés pour la mise en place de gestion des risques par rapport aux bénéfices (dommages évités) que l'on peut attendre. L'évaluation des dommages à posteriori vise à estimer le coût des dommages d'événements déjà produits. L'évaluation à priori consiste à réaliser une estimation des dommages potentiels en tenant compte de l'existence risque et de son occurrence.

Seulement, ce type d'analyse évalue des impacts basés sur des méthodes de défenses aux inondations et non d'adaptation. Il serait intéressant d'analyser le coût bénéfice de ces deux méthodes.

Les inondations n'ayant pas de limite par rapport au déplacement de l'eau, ont créé de nombreux dégâts notamment sur le patrimoine. Les impacts patrimoniaux sont souvent abordés comme secondaires, contrairement aux impacts économiques et humains. Pourtant, ce phénomène peut emporter avec lui des biens uniques qui font références aux mémoires d'un paysage vécu. La notion de patrimoine culturel comprend «l'ensemble des biens qui, à titre religieux ou profane, civil ou militaire, revêt une importance pour l'archéologie, la préhistoire, l'histoire, la littérature, l'art, l'ethnologie ou la science, d'intérêt national ou local : patrimoine écrit, bâti, audiovisuel, sonore, muséal, jardins, etc.» (Vinet, 2018).

I.2 ÉVALUATIONS

I.2.A Atouts et opportunités.

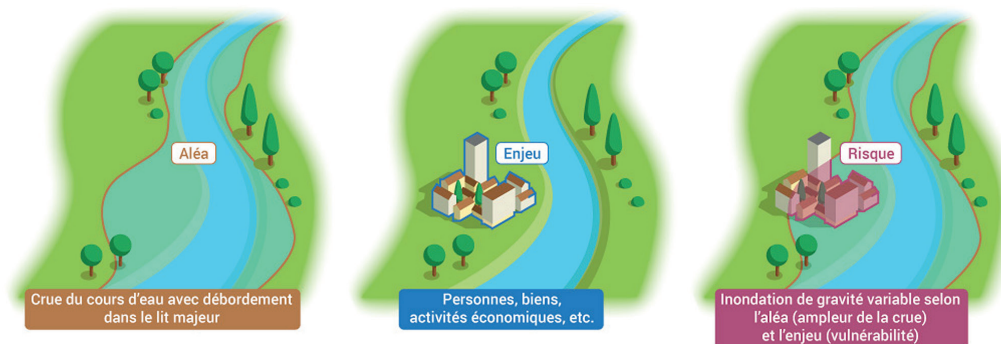
I.2.A.a. Contraintes et risques.

Les risques d'inondations peuvent être considérés si l'on suppose la présence d'un aléa : proximité d'un cours d'eau qui pourrait sortir de son lit mineur (SMRB, 2018), engendrant une inondation de plaine, des crues des rivières par ruissellement, des ruissellements pluviaux en milieu urbain ou encore une submersion marine sur le littoral (Huet, 2008).

À cet aléa il faut déterminer un ou plusieurs enjeux : biens, activité économique, activité sociale, etc. ayant subi des nuisances de celui-ci. Toutefois, il faut prendre connaissance du fait que le phénomène d'inondation peut être un phénomène naturel et ne constitue pas forcément un risque. Cependant, si cela se produit en milieu urbain ou à proximité d'une zone industrielle et qu'il constitue un risque pour les biens ou la population, alors dans ce cas nous parlerons de risque (SMRB, 2018).

Figure 1.20. Les inondations : aléa, enjeu, risque

Source : Agence française pour la biodiversité / Réalisation Matthieu Nivesse, 2018



I.2.A.b. Devenir en opportunité.

Pour la ville, l'élément «EAU» est une ressource essentielle au bon développement de la société mais elle doit être bien gérée pour ne pas nuire à cette dernière. On comprend assez rapidement à quel point cet élément est vaste et complexe. En effet, la ville doit être dans la capacité de gérer les eaux usées, polluées, grises, par des réseaux d'assainissement adéquats. En parallèle, elle doit gérer l'eau potable, sa distribution ou son stockage, mais elle doit aussi être en capacité de protéger la ville des inondations précédemment définies (Cf. I.1.A. Les types d'inondations).

Utiliser les événements d'inondations comme une opportunité, c'est permettre à la ville d'être résiliente et donc de pouvoir se remettre d'un traumatisme. Pour cela la ville ne doit plus se défendre face à ces risques, mais plutôt s'adapter. Cette adaptation passe par la conception spatiale de l'espace urbain. Il s'agit alors de trouver un consensus entre l'identité des lieux de défense et une adaptation de ces paysages. Cela se traduit par le fait de redonner de l'espace aux cours d'eau, de rendre les sols perméables, d'utiliser l'architecture comme des strates du sols, favorisant l'infiltration verticale.

Si l'on se réfère au rapport Arcadis, la ville résiliente à l'eau va permettre de protéger ses habitants des inondations, mais également de la sécheresse avec un approvisionnement en eau (Arcadis, 2016). En finalité, la résilience va permettre de protéger les habitants dans la ville. Selon moi, la résilience est un point d'équilibre vers lequel on doit tendre et ne pas dépasser, afin de pouvoir aussi répondre aux problèmes de changement climatique.

I.2.B. Aperçu des différentes stratégies de lutte contre les inondations en Europe.

En Europe, des stratégies sont mises en place et certains territoires sont plus en avance que d'autres (souvent les plus touchés mettent au point de nouveaux concepts). Par exemple, l'agence De Urbanisten (Pays-Bas) a remporté un concours de restauration de wetlands aux Etats-Unis (Cf. *Définition*, p.3 et 4). Ces dernières sont restaurées en parcs mais également comme zones de résilience naturelle. Ces nouveaux projets montrent une nouvelle philosophie, en utilisant l'adaptation plutôt que la défense. «C'est, en substance, laisser l'eau entrer, dans la mesure du possible, sans soumettre Mère Nature : vivre avec l'eau, plutôt que de lutter pour la vaincre». Les Pays-Bas construisent des lacs, des garages, des parcs et des plages qui sont une aubaine pour la vie quotidienne, mais aussi des réservoirs pour recueillir d'énormes quantités d'eau quand les mers et les rivières se répandent. « Vous pouvez faire semblant de justifier que la montée des mers est un harcèlement perpétré par des scientifiques et les infos, ou vous pouvez créer des barrières à plusieurs endroits. Mais en fin de compte, les deux ne fourniront pas une défense adéquate» disent les Hollandais.

Figure 1.21. Collage de l'agence de Urbanisten sur un projet de connexion d'une rivière à sa ville

Source : De Urbanisten



Ce qui est vrai pour la gestion du changement climatique s'applique également au tissu social. La résilience environnementale et sociale devrait aller de paire. Les responsables qui croient à cela améliorent les quartiers, répandent l'équité et apprivoisent l'eau pendant les catastrophes. L'adaptation climatique, si elle est abordée de façon directe et correcte, doit donner un état plus fort et plus riche. C'est le message que les Hollandais diffusent dans le monde. Des conseillers néerlandais prodiguent des recommandations pour les autorités bangladaises, concernant les abris d'urgence et les voies d'évacuation récemment mis en place pour contribuer à réduire le nombre de décès subis lors d'inondations récentes à «des centaines de décès au lieu de milliers», selon M. Ovink (*Owdin, 2017*).

En revanche, et c'est pour cela que j'ai choisi de développer ce sujet, étant français, je constate qu'en France nous utilisons encore des méthodes de défense (manque de données ? manque de partage européen ? manque de recul sur l'efficacité ?). À contrario les pays nordiques ont un programme de partage des connaissances sur la question. C'est par la coopération et non l'individualisme que des solutions voient le jour. Mon rôle en tant que futur architecte du paysage est de permettre cette transversalité des connaissances dans de futurs projets de paysage urbain.

Suite à de nouvelles études paysagères et par la mise en place de nouveaux outils de planification, le paysage est réorganisé dans sa spatialité. De nouvelles stratégies sont mises en œuvre, comme par exemple : ne plus construire dans des zones à risques, désurbaniser et redonner de la place à l'eau, utiliser le recul, etc.

I.2.B.a. Stratégies européennes.

Le phénomène d'inondation touche en Europe les secteurs de la santé, de préservation du patrimoine culturel ou encore de l'économie et de l'environnement. L'Europe a mis en place une directive européenne entrée en vigueur en 2007. Celle-ci porte sur la gestion des risques d'inondations. Cette directive montre la considération qu'a l'Europe d'analyser ces phénomènes dans sa stratégie globale. Cette directive va permettre d'évaluer, de cartographier, prévoir et réduire les risques d'inondations en Europe. Par la mise en place d'outils adaptés, l'Europe peut alors évaluer plus précisément les bassins hydrographiques ainsi que les régions côtières, en créant la carte des zones susceptibles d'être inondées. Par la suite, des plans de gestion pourront être réalisés en coopération avec les pays membres de l'Union Européenne (*Union européenne, 2007*).

Quels outils ?

Comme l'indique le CEPRI (Centre Européen de prévention de Risque d'Inondation) (*CEPRI, 2007*), la mise en œuvre de la «directive inondation» se déroule à l'échelle des districts hydrographiques par cycles de 6 ans. Le premier a démarré en 2011.

Chaque cycle comporte trois étapes :

1. L'évaluation préliminaire des risques (EPRI) constitue un état des lieux du risque d'inondations sur la base notamment d'indicateurs liés à l'emprise potentielle des inondations extrêmes. Les EPRI identifient les territoires à risque important d'inondations (*Ministère de la transition écologique, 2020*).
2. À partir des EPRI, une cartographie détaillée est réalisée et permet d'identifier les territoires à risque d'inondations (*CEPRI, 2007*).
3. Les Plans de gestion des risques d'inondations (PGRI) définissent à l'échelle de chaque district hydrographique les objectifs des politiques de gestion du risque d'inondations ainsi que les dispositions permettant de les atteindre (*CEPRI, 2007*).

Toutefois, qu'en est-il de cette directive 13 ans plus tard ? A-t-elle réellement pris en compte les événements climatiques futurs de plus en plus imprévisibles ?

Lorsque nous étudions la directive, nous observons que les risques sont analysés et prévus en fonction d'événements passés. Au regard du réchauffement climatique à venir, les données recueillies sont-elles exploitables afin de mettre en place des stratégies sur le long terme ? Nous savons que les événements climatiques vont être de plus en plus imprévisibles et qu'ils produiront des inondations différentes de celles précédemment observées.

En 2018, la commission a publié une évaluation et une consultation publique de la stratégie d'adaptation de L'UE. Suite à cela, l'Union européenne a rédigé un rapport définissant les améliorations à apporter à l'action future (*Union européenne, 2018*). L'évaluation met en avant plusieurs constats: «L'évaluation montre que la stratégie a atteint ses objectifs, avec des progrès enregistrés pour chacune de ses huit actions individuelles» (*Union européenne, 2007*). Le rapport met néanmoins en évidence que l'Europe est toujours vulnérable aux impacts climatiques à l'intérieur et à l'extérieur de ses frontières. Depuis 2013, il est devenu plus clair que l'action climatique internationale doit prendre en considération le réchauffement climatique projeté à 1,5 ° C ou 2 ° C afin de réduire les impacts actuels et à venir du réchauffement climatique mondial.

L'adaptation doit être un paramètre primordial à considérer dans les efforts de développement durable et de réduction des risques de catastrophes. La politique de l'UE doit chercher à créer des synergies entre les politiques pour éviter de futurs dommages et assurer une protection économique et sociale à long terme en Europe et dans les pays partenaires. La stratégie a été un point de référence pour préparer l'Europe aux impacts climatiques à venir, à tous les niveaux. La Commission continuera de travailler vers ces objectifs. L'évaluation suggère également des domaines où davantage de travail doit être fait pour préparer les régions et les secteurs vulnérables (*Union européenne, 2007*).

I.2.B.b. Résilience : Des modèles de villes plus durables ?

En partant de l'hypothèse que c'est la résilience aux inondations qui va permettre aux villes d'être durables, il apparaît important de développer succinctement ce que revêt ce concept.

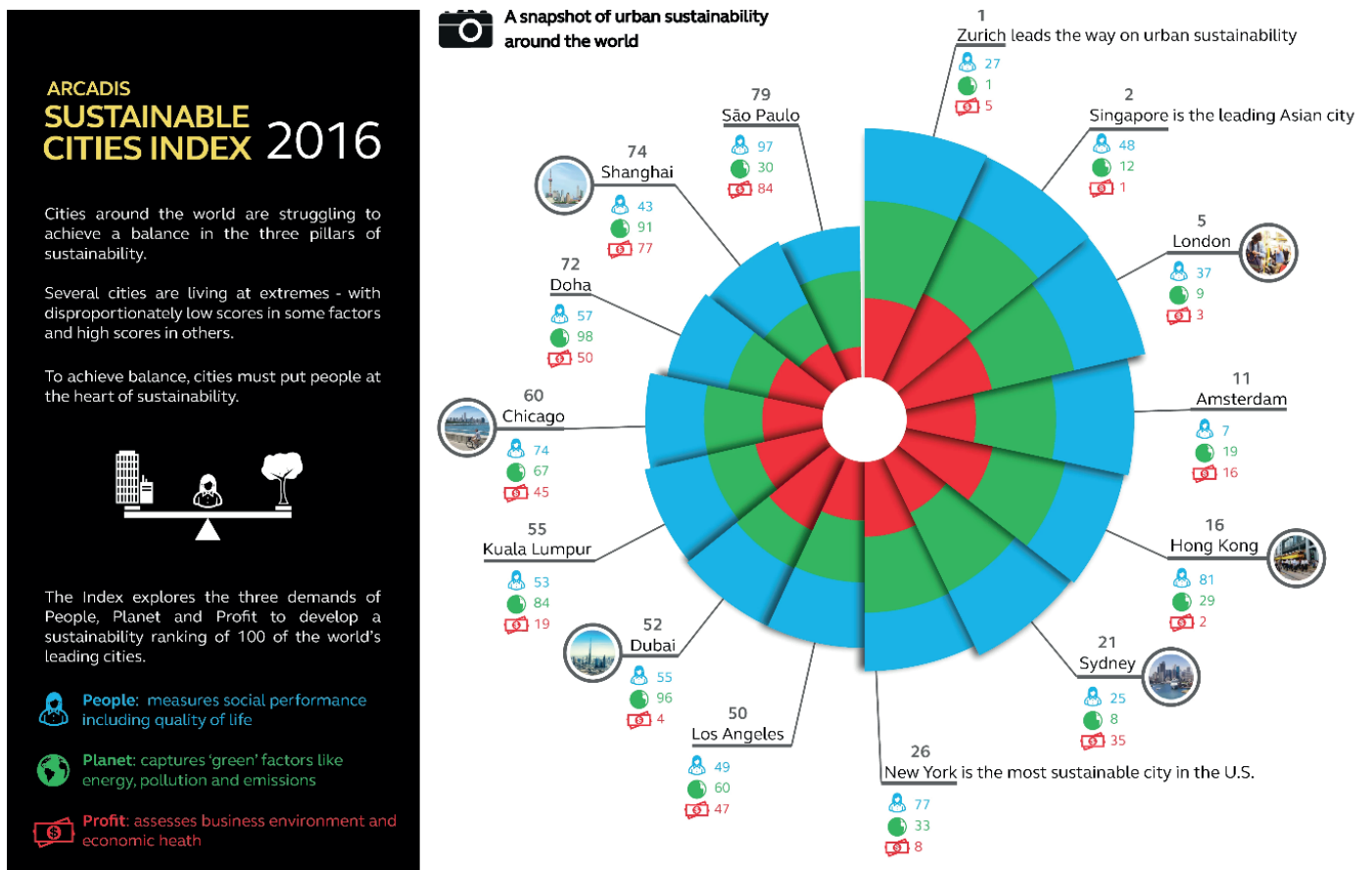
Selon Arcadis (Arcadis, 2016), des sous indices tels que la qualité de vie, les facteurs environnementaux et la santé économique (fig1.22) sont pris en compte afin de calculer l'indice de la durabilité des villes :

Le sous-indice «People» évalue des indicateurs pouvant être généralement considérés comme reflétant la «qualité de vie» tels que la santé (espérance de vie et obésité), l'éducation (alphabétisation et universités), l'inégalité des revenus, l'équilibre entre vie professionnelle et vie privée, le rapport de dépendance, la criminalité, le logement et les coûts de la vie (Arcadis, 2016).

Le sous-indice «Planet» prend en compte des indicateurs pouvant globalement être considérés comme capturant des «facteurs écologiques». Il classe les villes en fonction de leur consommation d'énergie et leur part d'énergies renouvelables, des espaces verts dans les villes, des taux de recyclage et de compostage, les émissions de gaz à effet de serre, le risque de catastrophe naturelle, l'eau potable, l'assainissement et la pollution de l'air (Arcadis, 2016).

Figure 1.22. Indice de durabilité des villes selon Arcadis

Source : Arcadis



Enfin, le sous-indice «Profit» intègre des indicateurs pouvant globalement être considérés comme reflétant la «santé économique». Il examine les performances du point de vue des entreprises, en combinant les mesures des infrastructures de transport (rail, air et congestion du trafic), la facilité de faire des affaires, le tourisme, le PIB par habitant, l'importance de la ville dans les réseaux économiques mondiaux, la connectivité en termes de mobile et l'accès à large bande et les taux d'emploi (Arcadis, 2016).

Selon Chalon, l'auteur de l'ouvrage : «Pour un nouvel urbanisme, la ville au coeur du développement durable» (Chalon, 2018), les villes sont différentes des grands ensembles ou du «tout pavillonnaire» considérés comme des expériences non satisfaisantes dans le domaine. Conférer le titre de ville durable c'est penser un urbanisme plus cohérent et plus harmonieux avec l'environnement. L'étalement urbain infini ne peut continuer. Tendre vers une ville durable c'est parler de densification, créer une société moins individualiste au profit du collectif. D'après le livre : «Pour un nouvel urbanisme, la ville au coeur du développement durable», pour obtenir une ville durable, il faut réduire les facteurs provoquant la mobilité et/ou changer les modes de déplacement. Les ouvrages parlent de mixité sociale, de rapport de proximité entre l'habitat, les commerces et services (Chalon, 2018).

I.2.B.c Gestion du risque d'inondations.

En réaction aux crues catastrophiques, l'Union européenne met en vigueur en 2007 la directive relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondations (DI). Celle-ci préconise comme élément central dans la gestion des risques d'inondations, l'information, la consultation, la participation du public. Cependant, pour qu'une telle stratégie de prévention des inondations soit efficace, il faut que les acteurs concernés sur le terrain soient pris au sérieux et soient informés et associés à temps. En offrant une plateforme dédiée aux échanges associatifs, les partenariats «Inondation» ont un rôle primordial dans le cycle de la gestion des risques d'inondations à tous les niveaux : maîtrise de l'aléa, remise en état, évaluation des opérations et des dommages, traitement des résultats et identification de mesures préventives (Union européenne, 2007).

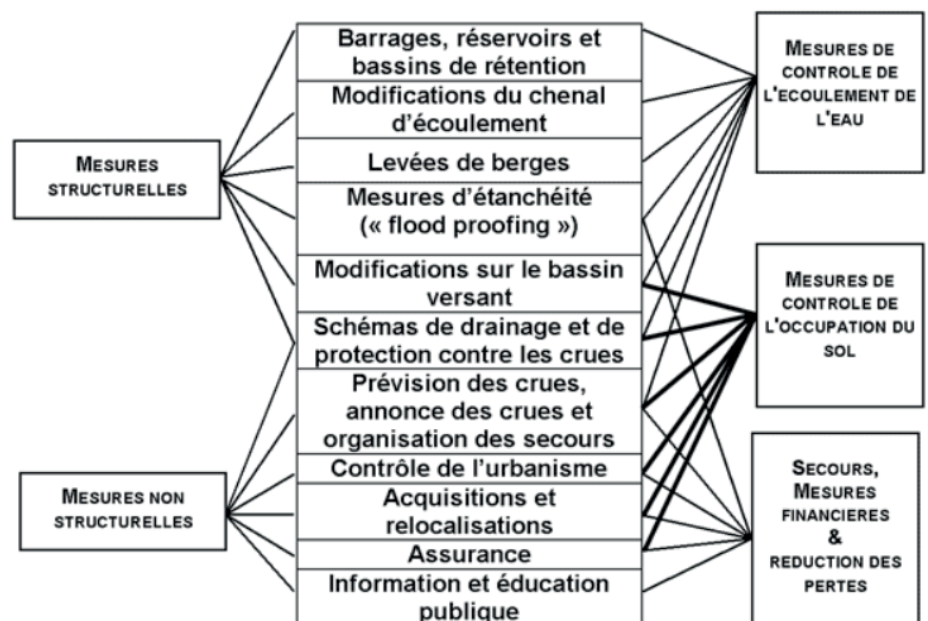
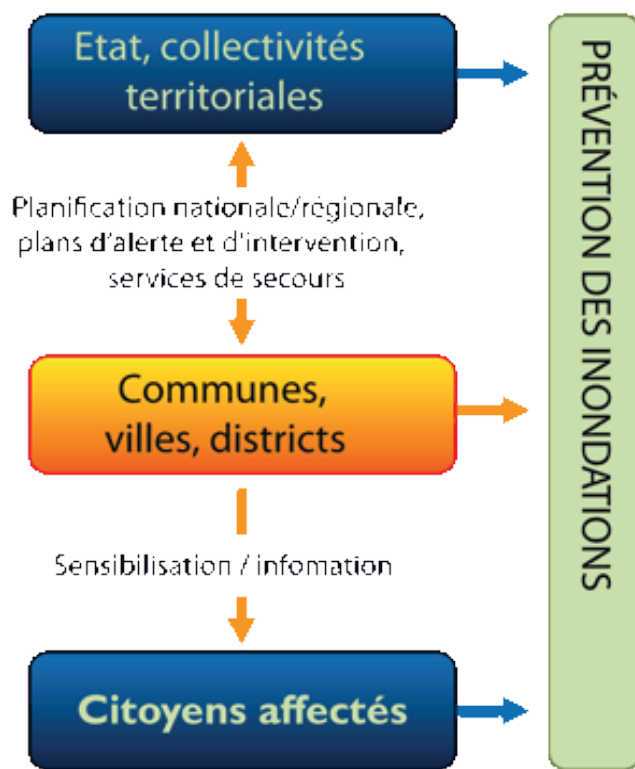


Figure 1.23. Classement des stratégies de gestion des inondations et mesures associées

Source : Pottier N., 2003.



Les périodes de répit exemptes d'inondations sont propices pour rassembler tous les acteurs concernés autour d'une «table ronde». Elles permettent de leur donner l'occasion d'échanger et de mutualiser leurs connaissances et expériences afin de discuter des moyens à mettre en œuvre pour combler les déficits et faire face aux difficultés. Cela permet d'anticiper, de mieux se préparer, au niveau communal, à l'arrivée de la prochaine crue (HPI, 2015).

La gestion aux Pays-Bas :

Au Pays-Bas, la politique tend vers de nouvelles adaptations. En 2014, le pays propose une politique d'anticipation, en mettant en place des projets avant les catastrophes. Cela aura pour conséquence d'éviter des dégâts multiples (sanitaires, paysagers, culturels, patrimoniaux, économiques). Pour exemple, l'ouragan Katrina (2005) a coûté 10 milliards d'euros pour les dégâts directs et 100 milliards à l'économie des Etats Unis.

Figure 1.24. Article 1 de la directive 2007760/CE

Source : Union européenne.

La politique des Pays-Bas prévoit de nouveaux plans d'action de prévention qui passent par une révision des plans d'occupations du sol comme par exemple, en redonnant de la place au fleuve en cas d'événement climatique. Mais en cas d'inondation, le pays est confronté à la difficulté ou l'impossibilité d'évacuer un aussi grand nombre de populations qui habitent encore à proximité directe des fleuves.

Citons un autre exemple comme celui de la Meuse où environ 100 000 personnes habitent dans les zones inondables des fleuves. Entre les années 70 et 80, il y a eu très peu de crues et en 1993 et 1995, les habitants ont été inondés deux fois. La population a construit beaucoup de maisons et des milliers d'habitations sont proches du lit du fleuve de la Meuse. Aujourd'hui, le gouvernement français a interdit de reconstruire à proximité des fleuves (Slomp, 2018).

I.3. CONCLUSION ET OBJECTIFS DE RECHERCHES.

Au regard des constats observés sur le sujet des inondations en Europe dans l'état de l'art, nous constatons à l'heure actuelle des défaillances dans le système de gestion des eaux associées à l'émergence de changement globaux. Ainsi dans la deuxième partie (Partie II : Méthodologie), nous analyserons et rechercherons les techniques actuelles d'adaptations aux inondations aux Pays-Bas et plus précisément à Rotterdam. Celles-ci seront analysées afin d'en dégager les atouts, les contraintes, les failles, les opportunités et les limites de ce modèle. Les conclusions de cette analyse me permettront d'acquérir une expertise afin de proposer des améliorations, dans ma future fonction d'architecte du paysage. Ce travail permettra par la suite d'enrichir des savoirs, des réflexions qui pourront servir de boîte à outils pour des villes européennes qui ne sont pas encore résilientes face aux inondations.

PARTIE II: MÉTHODOLOGIE

PAYS-BAS

II.1 OBJECTIFS, STRATÉGIES ET OUTILS.

II.1.A. Objectifs.

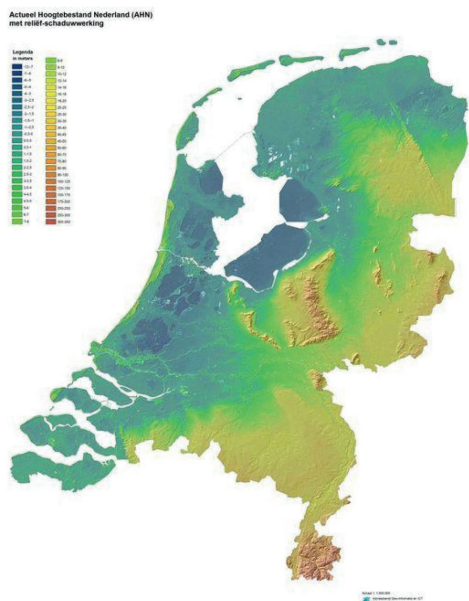


Figure 2.1. Cartographie topographique des Pays-Bas

Source : Maps Netherlands

Par ce travail je souhaite démontrer en quoi les villes de demain peuvent-être résilientes face aux événements d'inondations. Le changement d'état d'esprit progressif menant à l'acceptation de ces événements et à la volonté de s'adapter plutôt que d'essayer de les contrôler m'amènent à analyser ces nouvelles méthodes, en ayant un regard critique en tant qu'architecte du paysage. Ce regard permettra de déceler les failles et/ou les améliorations de ces ouvrages. Une plus grande maîtrise de ces concepts pourra me permettre d'exercer au mieux mon métier de concepteur paysagiste.

II.1.B. Stratégies.

Afin de m'imprégner au mieux du sujet, j'ai, en premier lieu, fait des recherches sur différents projets mis en place. Ceux-ci m'ont amené au fur et à mesure à concevoir Rotterdam comme une ville « laboratoire ». Les stratégies se sont élaborées à partir de l'étude de plusieurs projets sur la ville de Rotterdam m'amenant à concevoir ma recherche dans une approche multiscale. Cette réflexion s'inscrit à partir d'échelles spécifiques : internationale, urbaine, entre deux paysages, un quartier, un cœur d'îlots, etc.

L'analyse de cartes va me permettre de comprendre comment la ville est intégrée et fonctionne avec son territoire (petites et grandes échelles). Enfin, je développerai mon expérience in situ. C'est l'une des premières étapes de ma démarche et celle qui a le plus d'importance à mes yeux de paysagiste (l'expérience personnelle), dont je souhaite parler en dernière partie.

II.1.C. Outils.

- Récolte de données
- Revue littéraire et filmographie
- Analyse cartographique et multiscale
- Arpentage des différents projets
- Photographie



II.2 PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE : ROTTERDAM.

II.2.A. Le pays d'étude : Les Pays-Bas.

II.2.A.a. Présentation.

Les Pays-Bas représentent une surface de 40 000 m². Ce pays européen présente un paysage particulier, puisque 26% de son territoire est en dessous du niveau de la mer (point le plus bas : 7m en dessous du niveau de la mer) et que 55% est inondable par les fleuves, les lacs et le littoral (Slomp, 2018).

Ce territoire me semble donc pertinent pour analyser les stratégies et les solutions mises en place pour répondre à la question de résilience de la ville aux inondations.

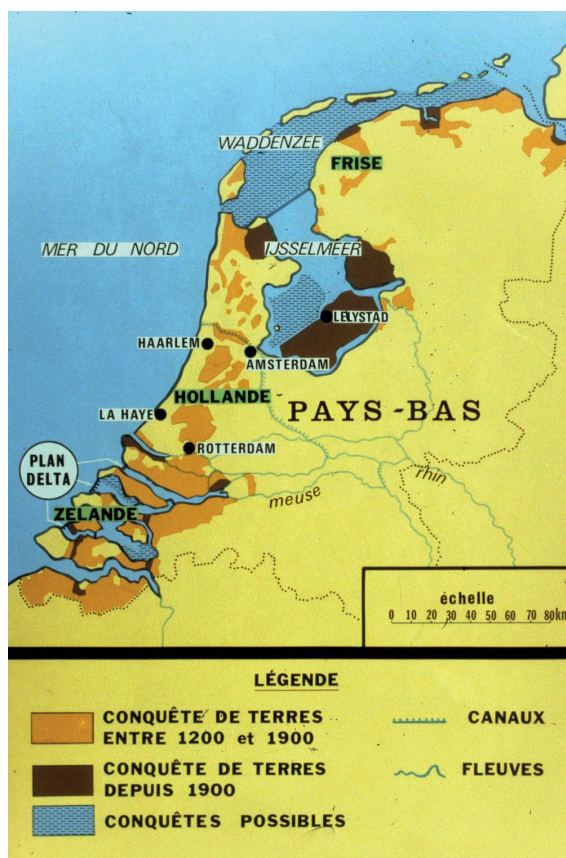
Au début du Moyen-Age, la gestion de l'eau et l'aménagement du territoire néerlandais s'opéraient uniquement au niveau local. Dès le treizième siècle, ses habitants ont très vite compris qu'ils seraient durablement confrontés à la lutte contre les eaux et que le pays devrait toujours chercher des solutions pour s'en protéger (Te Brake, 2002).

Ainsi sont apparues, dans les régions de la Hollande et de Utrecht, des institutions « waterschappen » en néerlandais, «waterboard» en anglais (Tol, 2000). Leur rôle était de collecter des taxes auprès des habitants pour financer les projets de réclamation et de protection. Ce système fut la première forme de démocratie qui a été observée dans le pays. Les conseils en charge des waterboards étaient élus et au sein de ces organisations, chaque propriétaire de terre avait un droit de vote. La gestion des eaux était décentralisée, elle était sous la responsabilité des «waterships» (Anna J. Wesselink et al., 2002) locales et régionales.

C'est au XVIIIe siècle, que le gouvernement central a nommé un inspecteur général du Rhin et des rivières, en réponse aux débordements de rivières qui ont eu lieu entre 1750 et 1780 (Te Brake, 2002). De plus, en 1798, le gouvernement a créé la «Rijkswaterstaat», qui est l'agence centrale du contrôle des eaux. Cette agence, toujours existante aujourd'hui, est en charge de la création des ports, écluses, digues et autres instruments de protection. Elle supervise leur construction, qui est réalisée par des entreprises privées qu'elle-même engage (Wiebe, 2002). Le cadre institutionnel de management des eaux s'est donc progressivement mis en place. Partant initialement d'un niveau local, il a évolué à l'échelle nationale, tout en restant en étroite coopération avec les autorités locales. La progressive centralisation du management des eaux a eu pour effet de réduire considérablement les «waterboards» qui restent cependant présents dans le processus de décision concernant le contrôle des eaux (Roth et al., 2017). Nous constatons alors que la question du contrôle des eaux aux Pays-Bas ainsi que son aménagement sont une tradition très ancienne et qu'elle s'opère par une gouvernance à plusieurs niveaux.

Figure 2.2. Évolution des polders depuis 1200

Source : Victor Prévot, 1979



La zone côtière des Pays-bas est emblématique par la «Randstad Hollande». Elle est composée de 4 grandes villes : Amsterdam, Rotterdam, La Haye et Utrecht. Ces 4 villes forment un «fer à cheval» avec en son centre un «cœur vert». Les villes sont spatialement rapprochées mais restent individuelles. La Randstad Holland est particulière car, en général, ce sont les éléments urbains qui sont au cœur d'une zone géographique, avec les zones agricoles autour. Historiquement, ici, la spatialité est «renversée», les zones urbaines sont en périphérie et ce sont les zones agricoles (zones les plus consommatrices d'espaces) qui se trouvent au centre (Michel, 1985). Cette Randstad est aujourd'hui aussi caractérisée de conurbation.

Sur la carte (fig.2.2), nous pouvons constater l'évolution des paysages aux Pays-bas, notamment par l'évolution des polders. Ces « gains de terres » ont été réalisés depuis 1200 dans les trois provinces : la Frise, la Hollande et la Zélande (*Département de géographie de l'Université Laval*).

De 1200 à 1900, il y a eu un assèchement des tourbières et des lacs (ex: mer de Haarlem en 1852). Ensuite en 1900, la conquête par l'assèchement des terres a prit une ampleur importante par la transformation du «Zuiderzee» en polders. Dans la même période le plan delta fut mis en place pour protéger la Zélande (*Département de géographie de l'Université Laval*).

Selon l'ingénieur Mr Lely (*Lely, 1979*), des conquêtes de terre sont à ce jour encore possibles comme à l'ouest du lac d'Yssel mais également dans la mer des Wadden au nord du pays (*voir fig 2.3*), entre les îles et le continent. Toutefois, ces projets n'ont pas été mis en place afin de protéger le paysage originel ainsi que sa richesse.

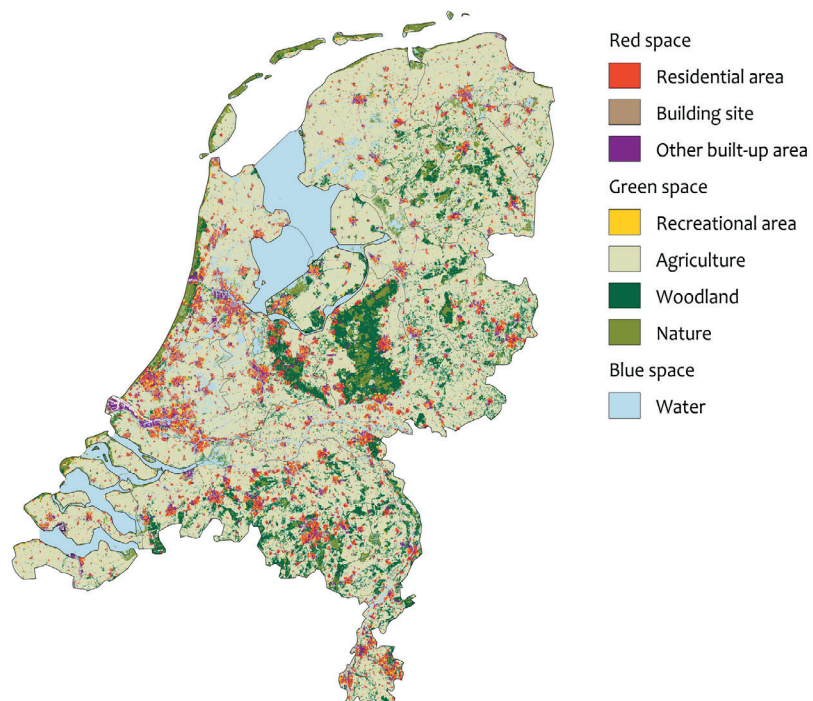


Figure 2.3. Cartographie de la Randstad Holland en 2015

Source : Statistics Netherlands, cadastre

Puis apparaît le plan Delta (*Fig 2.4*), il nous montre la stratégie mise en œuvre afin de lutter contre les phénomènes d'inondations qui présentent une énorme pression sur le paysage et notamment sur l'activité humaine. Les orientations de ce plan ont évolué au fil du temps :

Tout d'abord ce plan avait pour objectif de fermer tous les estuaires des bras de mer : l'Escaut occidental, l'Escaut oriental, le Haringvliet et le Brouwershavense Gat. Les travaux débutèrent en 1950, faisant évoluer les premiers bassins en bassins d'eau douce, propices pour l'horticulture. Mais en 1953, une tempête venue du nord-ouest associée à une marée de printemps a provoqué une marée catastrophique. L'eau de mer a atteint des hauteurs exceptionnelles. À Hoek van Holland, la hauteur de l'eau se situait à une hauteur de 3,85 m au-dessus du niveau normal d'Amsterdam, un niveau d'eau dangereusement élevé pour l'arrière pays de Hollande méridionale, densément peuplé. Dans plus de 150 endroits de la Zélande, de la Hollande méridionale et du Brabant septentrional, de nombreuses digues n'étant pas en capacité de gérer la quantité d'eau ont cédé (*Deltawerken*).

Le niveau d'eau le plus élevé a été mesuré à Vlissingen à 4,55 m. Les conséquences des deux raz de marée successifs ont été désastreuses : Plus de 1500 hectares de terres furent alors submergées, engendrant des dommages considérables sur les infrastructures et les terres agricoles. Il a fallu évacuer plus de 72 000 personnes, 1 836 personnes ont été tuées, 47 000 têtes de bétails et 140 000 têtes de volailles se sont noyées. 4 300 maisons et immeubles ont été détruits et 43 000 ont été endommagés.

Le coût du dommage total a été évalué à 1,5 milliard de florins (équivalent en euros : 5,4 milliards d'euros) (*Watersnoodramp, 1953*).

Suite à cette catastrophe, le territoire a mis en place un «plan delta», composé de 13 ouvrages (voir fig.2.4) formant le plus grand barrage anti-tempête au monde. Dans les plus emblématiques il y a le barrage Maeslant (fig.2.5) entre le littoral et la ville de Rotterdam. Ce barrage n'est pas fixe et peut se fermer en cas de tempête, bloquant alors les eaux venant du littoral et allant vers la ville de Rotterdam. Ainsi en laissant certains axes ouverts, le plan assure la sécurité des ports de Rotterdam et d'Anvers tout en les inscrivant dans une durabilité économique.



Figure 2.4. Barrage du plan delta

Source : Nasa, 2011

Ce plan joue un rôle crucial actuellement dans le fonctionnement de la société du pays.

Comme dit précédemment, il permet l'approvisionnement en eau douce nécessaire à l'agriculture. Il a permis une meilleure mobilité par la navigation en interne. De fil en aiguille, il permet de développer une économie, des loisirs et même des zones écologiques (*Deltawerken*).



Figure 2.5. Barrage de Maeslant

Source : Photographie de Frans Lemmens

Au Pays-Bas, 95% des cours d'eau sont modélés par l'homme dont environ 20 % du territoire actuel perdus dans la mer et environ 13 % reconquis sur la mer mais maintenant interdit depuis 1950 (Slomp, 2018). Le plan Delta mis en place après 1950 a également eu un fort impact sur le paysage. La création des infrastructures anti-inondations a empêché le fonctionnement naturel des marées sur le paysage. La mer ne pouvait plus venir sur les terres comme elle le faisait avant. Suite à la création des digues une partie des eaux salées furent piégées dans les parties inférieures au niveau de la mer. Cette eau est devenue petit à petit de l'eau douce, ce qui entraîna des conséquences écologiques : l'écosystème marin qu'il soit faunistique ou floristique disparut. De plus, certaines zones qui étaient sous-marines ce sont asséchées et à contrario d'autres se sont retrouvées submergées de façon permanente. C'est tout un écosystème qui s'est retrouvé chamboulé par le seul impact de l'Homme (Deltawerken).

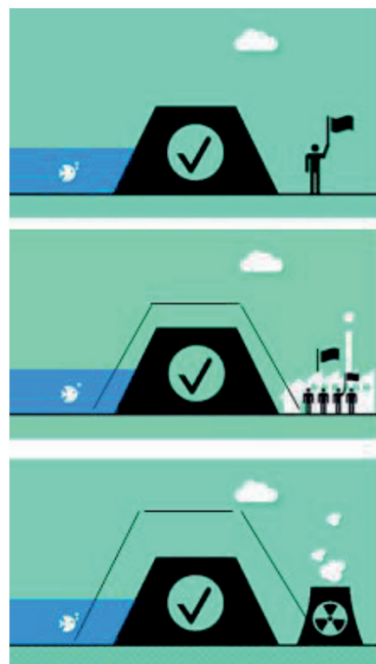


Figure 2.6. Importance des digues
Source : Slomp, 2018

A partir de 2014, les Pays-Bas ont mis en place une nouvelle politique plus proactive pour éviter de nouveaux désastres. Cette politique vise donc à investir dans des moyens de protections plutôt que de mettre en place des projets une fois le désastre produit. Il s'est avéré que cette nouvelle politique est bien plus rentable. De plus, cette politique vise à l'apport d'une meilleure protection de la population. En effet, elle vise à ne pas dépasser la probabilité de 1/10000 décès en cas d'inondation. Cette norme va automatiquement avoir un impact positif sur les dommages économiques. Sur le schéma (fig.2.6), la première vignette illustre la hauteur de digue pour un habitant. La seconde illustre la hauteur de digue pour 100 000 habitants. Nous constatons qu'elle est plus haute. Et enfin, dans la troisième on observe une hauteur encore plus élevée s'il y a un risque sur une structure qui impacte directement la société (ex : centrale nucléaire, station de pompage) (Slomp, 2018).

Nous pouvons alors nous interroger sur la durabilité et l'efficacité de telles structures sur le long terme. En effet, leurs réalisations sont énergivores et nécessitent de grandes ressources. Faut-il construire toujours plus haut pour se protéger des futures menaces qui vont s'amplifier ? Cependant, nous pouvons émettre l'hypothèse que ces structures puissent être réellement viables en étant combinées à d'autres techniques.

C'est ce que nous allons aborder dans le point suivant en étudiant le modèle de Rotterdam. Nous analyserons l'efficacité des moyens mis en œuvre. Ce modèle s'articule donc en deux grandes stratégies : Adaptation et réduction.

Dans la première partie (*Cf. Partie I*), nous avons pu voir les stratégies européennes à propos de la gestion des inondations en Europe. Il va être intéressant d'aborder particulièrement les stratégies mises en place aux Pays-bas : Adaptation et réduction.

La première stratégie du pays est donc une stratégie d'adaptation. Les Pays-Bas ont beaucoup investi pour renforcer la protection du pays face à la montée des eaux.

Instauré en 2006, le projet « Room for the River » est un programme qui a pour objectif de contrôler le niveau des rivières, en adoptant des techniques différentes, adaptées à chaque cas. Il génère ainsi de l'espace pour les rivières dans plus de 30 zones du pays (*Rijkswaterstaat, 2006*). Ces techniques consistent à abaisser le niveau du sol, à creuser le lit des rivières, à créer des rétentions d'eau ou encore à dépolderiser. La dépolderisation est une méthode d'adaptation défensive à la montée des eaux. Elle ne s'applique pas uniquement au cas des rivières. Elle peut s'effectuer sous différentes formes (*Goeldner-Gianella, 2010*):

- Dépolderisation partielle : brèche sur la mer comme par exemple une ouverture dans une écluse,
- Dépolderisation complète : ouverture dans une digue, pour recréer l'effet d'une tempête et laisser l'eau rentrer,
- Submerger complètement un polder.

En 2008, un nouveau comité Delta a réalisé un rapport intitulé «Working with water». Il avait pour objectif d'analyser les stratégies d'adaptation sur la côte néerlandaise jusqu'à 2020. Le rapport mentionnait que son objectif principal était de renforcer le contrôle des eaux, tout en prenant en compte le changement climatique. Il préconisait de trouver des solutions les plus durables possibles, tout en ayant une utilisation efficace des ressources. La visée opérationnelle était d'améliorer la qualité de l'environnement (*Deltacommissie, 2008*).

La question du réchauffement climatique et de l'adaptation autour de ce processus déjà très présente dans ce plan de 2008 est à nouveau abordée en 2015. Un nouveau plan Delta appelé «Working on the Delta» est proposé. Le gouvernement investit plus de 20 milliards d'euros sur ce projet pour une durée de 30 ans (*Monde, 2014*). Dans ce rapport, il est mentionné que l'approche de protection a évolué. Elle passe d'une stratégie de protection basée sur la prise en compte d'un éventuel dépassement de l'eau, à la prise en compte du degré de probabilité d'une inondation ainsi que ses conséquences éventuelles. Les normes de protection ont également augmenté. Le niveau de protection est donc adapté aux conditions des différentes zones et à leur niveau d'exposition (*Deltacommissaris, 2015*).

D'autres projets d'adaptation différents ont été aussi mis en place. Le projet «Delta 3000» vise à recouvrir des polders avec du sable jusqu'à créer des dunes afin d'entourer les grandes villes de Hollande. Les provinces du Nord souhaitent également sa réalisation.

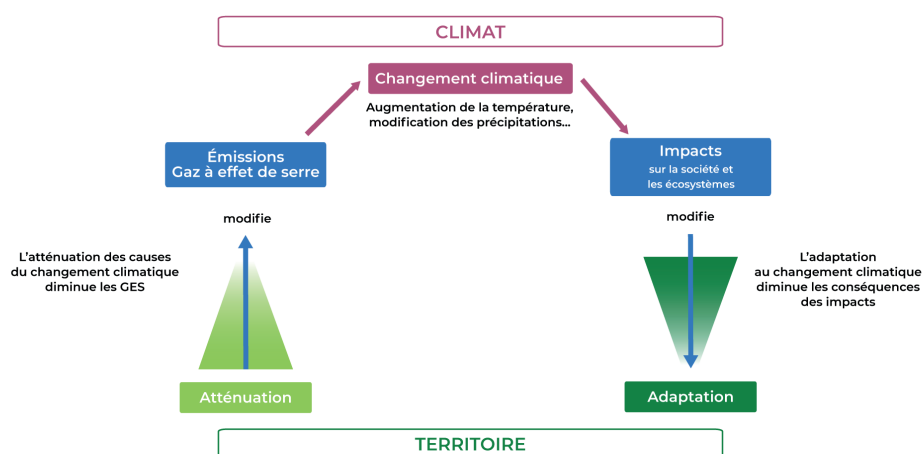
En effet, il représente une solution à l'affaissement des sols, un problème qui est récurrent dans le pays depuis plusieurs siècles. Le sable rend le pompage inutile car il peut protéger des inondations (Knight, 2017). La Commission Delta a vivement recommandé ce projet pour protéger les provinces de Zélande et de Hollande (Gueben-Venière, 2015). Cependant, la réalisation de ce projet nécessite des quantités de sable très importantes. En effet, il faudrait 7 millions de m³ pour protéger d'une hausse du niveau de l'eau de seulement 1 millimètre (Gueben-Venière, 2015).

Les Pays-Bas participent à trois programmes de recherche internationaux qui sont «the International Geosphere Biosphere Programme» (IGBP), «the World Climate Research Programme» (WCRP) et «The International Human Dimensions Project» (IHDP). Les institutions néerlandaises participent activement aux projets de recherche EU Horizon 2030 Research and Innovation Programme. Le KNMI et l'Institut Météorologique Néerlandais, participent également aux programmes IGBP et IDHP. Le pays fait également partie des signataires du Protocole de Kyoto et des Accords de Paris sur le Climat.

Par ailleurs, la place de l'éducation et de la communication au changement climatique a un rôle de plus en plus important. «Learning for Tomorrow» fait partie d'un ensemble de programmes lancés en 2016. Il fait suite à la signature d'un accord entre des entreprises, associations de professeurs, organisations de jeunes et le Parlement néerlandais, afin de proposer plus d'éducation au développement durable. La collaboration entre des jeunes et des réseaux d'éducation a permis de mettre ce programme en place.

En 2014, le programme «Our Water» concerne l'adaptation avec l'eau. Il a pour objectif d'informer les habitants sur les risques d'inondations dans leurs quartiers (Ministry of Economics Affairs and Climate Policy, 2017). Ces campagnes de communication et d'éducation sont un exemple du troisième instrument d'adaptation : l'instrument institutionnel (De Bruin et al., 2009).

Figure 2.7. Schéma explicatif de l'adaptation et l'atténuation : deux stratégies complémentaires pour réduire et maîtriser les risques liés au changement climatique.



Source : Eau de France, 2019

La seconde stratégie du gouvernement est une stratégie de réduction. Un comité sur le climat a été mis en charge afin de contrôler les efforts réalisés dans la réduction de gaz à effet de serre auprès des cinq secteurs identifiés par le gouvernement. Il s'agit de l'industrie, de l'agriculture, des transports, de la construction et de l'utilisation des sols. Face au constat que les villes produisent plus d'émissions de gaz à effet de serre, le gouvernement a proposé aux provinces et municipalités de mettre en place leur stratégie environnementale de lutte contre le changement climatique.

En 2011, le gouvernement et les autorités locales et régionales ont mis en place un Agenda Local du Climat. Celui-ci propose des mesures de lutte contre le changement climatique telles que la promotion de moyens de transports plus écologiques, ou l'équipement des maisons pour une utilisation d'énergie plus faible (*Government of the Netherlands, 2011*).

Un plan climat est introduit. Il est à l'origine d'une loi climat qui oblige le gouvernement à présenter un Plan Climat quinquennal, qui sera révisé tous les deux ans. Cette loi mentionne que le 4 octobre est la journée nationale pour le climat. Par ailleurs, les objectifs fixés par la loi climat semblent bien précis et ambitieux : une réduction des émissions de CO₂ de 95% comparé à 1990 d'ici 2050, des émissions de CO₂ réduites de 49% d'ici 2030 et une électricité neutre en carbone d'ici 2050. Bien que de nombreux pays aient également des lois climats, celle-ci est considérée comme la plus ambitieuse, notamment en ce qui concerne l'objectif de réduction de 95% de CO₂ d'ici 2050 (*Noortje, 2018*).

II.2.A.c. Des stratégies controversées.

Un rapport de 2011, de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) mentionne tout d'abord que les néerlandais ne sont pas assez conscients du danger des eaux. Ceci est lié à un manque d'information sur les stratégies d'évacuation en cas d'urgence et à une méconnaissance des zones inondables (*Akhmouch, 2014*).

La confiance élevée dans l'expertise des ingénieurs néerlandais reconnus à l'international et la diminution des inondations vers la fin du vingtième siècle, ont amené les habitants à penser que la situation était parfaitement sous contrôle et qu'ils ne risquaient rien. Un sondage réalisé en 2009 indique que seulement 9% de la population s'inquiète de la montée des eaux (*Besamusca, 2014*).

Cependant, il apparaît que les néerlandais soient divisés sur les stratégies de protection adoptées. Par ailleurs, la stratégie de dépoldérisation génère des conflits d'objectifs. Selon les experts, elle n'est pas une solution car cela risquerait de saliniser les sols. Ils préconisent la recherche de solutions complémentaires comme, par exemple, la mise en place d'un meilleur stockage de l'eau de pluie (*Kutterink, 2019*). Ils évoquent aussi la difficulté éventuelle de trouver un consensus entre les intérêts des locaux et la dépoldérisation de grande ampleur. En effet, celle-ci génère la perte de terres agricoles. Certaines personnes ont du mal à concevoir de céder des terres à la mer, après avoir essayé de lui en prendre pendant des siècles (*Gueben-Venière, 2015*).

Parfois, ces conflits d'objectifs nécessitent l'intervention de la justice pour statuer sur la solution qui sera mise en oeuvre. Ainsi, dans le cas de l'Hedwige polder, la décision de dépoldériser a été prise par le Conseil d'Etat et par la Cour Suprême. Cependant, la province demeure en désaccord avec cette décision et certains opposants au projet ne sont toujours pas convaincus. Ils pensent qu'après la dépoldérisation, la zone sera à nouveau boueuse (*Volkstrant, 2014*).

II.2.B. La ville d'étude : Rotterdam.

Pourquoi choisir la ville de Rotterdam ? Des projets internationaux tels que C40 Cities placent la ville de Rotterdam comme étant la plus performante en terme de résilience à l'eau. Malgré qu'elle soit en dessous du niveau de la mer, la ville est bien connue pour son excellente gestion des eaux et ses pratiques robustes de protection contre les inondations.

Sur la figure 2.9 nous pouvons observer les zones de Rotterdam au-dessous du niveau de la mer (en rouge -5 m, et chaque nuance de couleur correspond à un mètre de moins, se rapprochant du niveau 0).



Figure 2.8. Classement des villes résilientes aux inondations

Source : Arcadis

90% de la ville de Rotterdam se trouve au-dessous du niveau de la mer, laissant de nombreuses zones résidentielles vulnérables à une montée de l'océan.

Du point de vue des néerlandais, le changement climatique n'est pas une hypothèse ou un frein à l'économie, mais une opportunité (Owdin, 2017).

La ville de Rotterdam est située dans la province de Hollande-Méridionale et héberge un peu plus de 17 millions d'habitants pour une surface de 41 542 km². Rotterdam est une ville delta, ce qui signifie qu'elle est localisée au croisement de deux rivières et de la côte littorale. La ville est donc vulnérable par les phénomènes d'inondations d'autant plus qu'elle est le point du pays le plus bas en dessous de la mer. 90 % de la ville est en dessous du niveau de la mer. Selon la municipalité, si un phénomène d'inondation se produisait, elle ne pourrait évacuer que 15 % de la population. Elle n'a donc pas eu d'autre choix que d'apprendre à vivre avec l'eau. Rotterdam est donc connue aujourd'hui comme une ville qualifiée de «waterproof». Pour cela c'est toute la spatialité de la ville qui a été étudiée, allant du parking sous terrain aux toitures, en passant par les espaces publics.

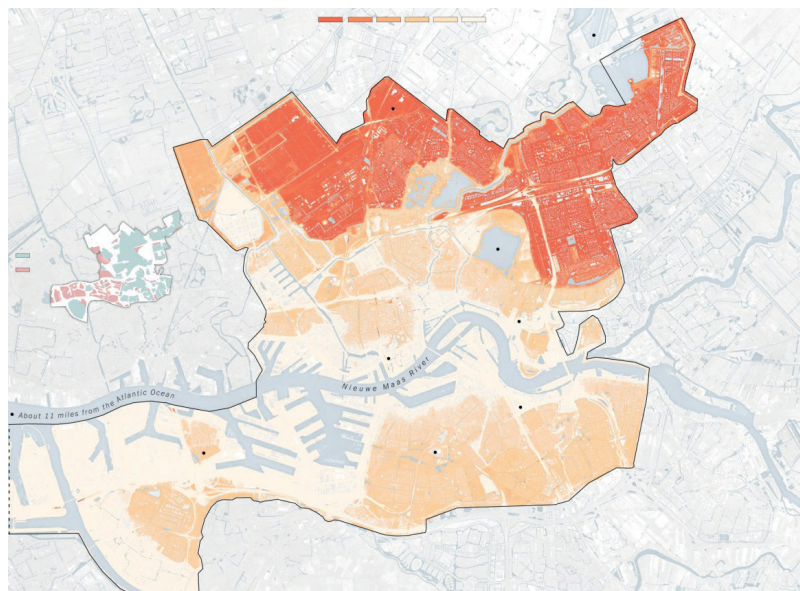


Figure 2.9. Niveau topographique de Rotterdam en fonction du niveau de la mer. Plus les zones tendent vers le rouges, plus le niveau topographique est bas

Source : Maps Netherlands

II.2.B.a. Histoire de Rotterdam.

Rotterdam prend racine lorsque l'homme s'implante le long de la rivière au Xe siècle. Nous comprenons rapidement le nom de la ville en s'intéressant à sa toponymie. En effet, «Erd» signifie «terre» et «dam» signifie «digue» : «digue de terre». Ces digues sont alors placées le long de la rivière, la «Rotte» qui se déverse dans la mer. Suite à cela les habitants vont construire des «terpes». Ce sont des terrains surélevés permettant de s'implanter le long du cours d'eau (*Universalis*).

Toutefois, en 1164, une tempête détruit la ville. Les habitants vont alors poursuivre les travaux d'endiguement. Comme vu dans le chapitre I.1.B.b, l'eau va être la centralité du développement. Autour de la rivière de la Rotte nous observerons les habitations, puis en périphérie les zones agricoles (*Universalis*).

C'est ensuite, au XIIe siècle, qu'une organisation de l'eau appelée à cette époque « Watershappen » va investir dans la construction et l'entretien de digues pour protéger la population et «sauver» les terres saturées en eau. Les premières grandes digues se surnommaient des «Middeldam» jusqu'en 1270, elles deviennent des «Hoogstraat» (*Universalis*).

Figure 2.10. Triangle historique : «Dualité entre la ville de l'eau et la ville de la terre» (1689)

Source : Archives municipales de Rotterdam

Au XVIe siècle, le développement économique de la ville devient important: C'est l'âge d'or hollandais. Sa situation géographique lui permet de développer le commerce de marchandises par l'activité portuaire. Ainsi, des bassins sont progressivement créés dans le port (fig. 2.10) pour permettre la circulation : C'est la naissance des canaux (*Universalis*).



Suite au développement économique grandissant, la ville exploite les tourbières, ce qui va engendrer un affaiblissement du sol et la création de résurgences d'eau au coeur même de la ville, créant de nouvelles inondations (*Universalis*).

Puis en 1841, suite à une épidémie du Choléra, un vaste projet d'assainissement et d'embellissement «waterproject» voit le jour. Ce projet va répondre au problème d'hygiène de l'époque : eau polluée entraînant des problèmes de santé chez les habitants. C'est à cette époque que la ville va mettre en place la construction d'égout et va améliorer la qualité de l'eau potable. Le paysagiste Jan D. Zocher va réfléchir à une vision hygiéniste, esthétique et au développement de la croissance urbaine de la ville. On verra alors se développer à travers la ville les canaux bordés d'allées d'arbres tiges (*Universalis*).

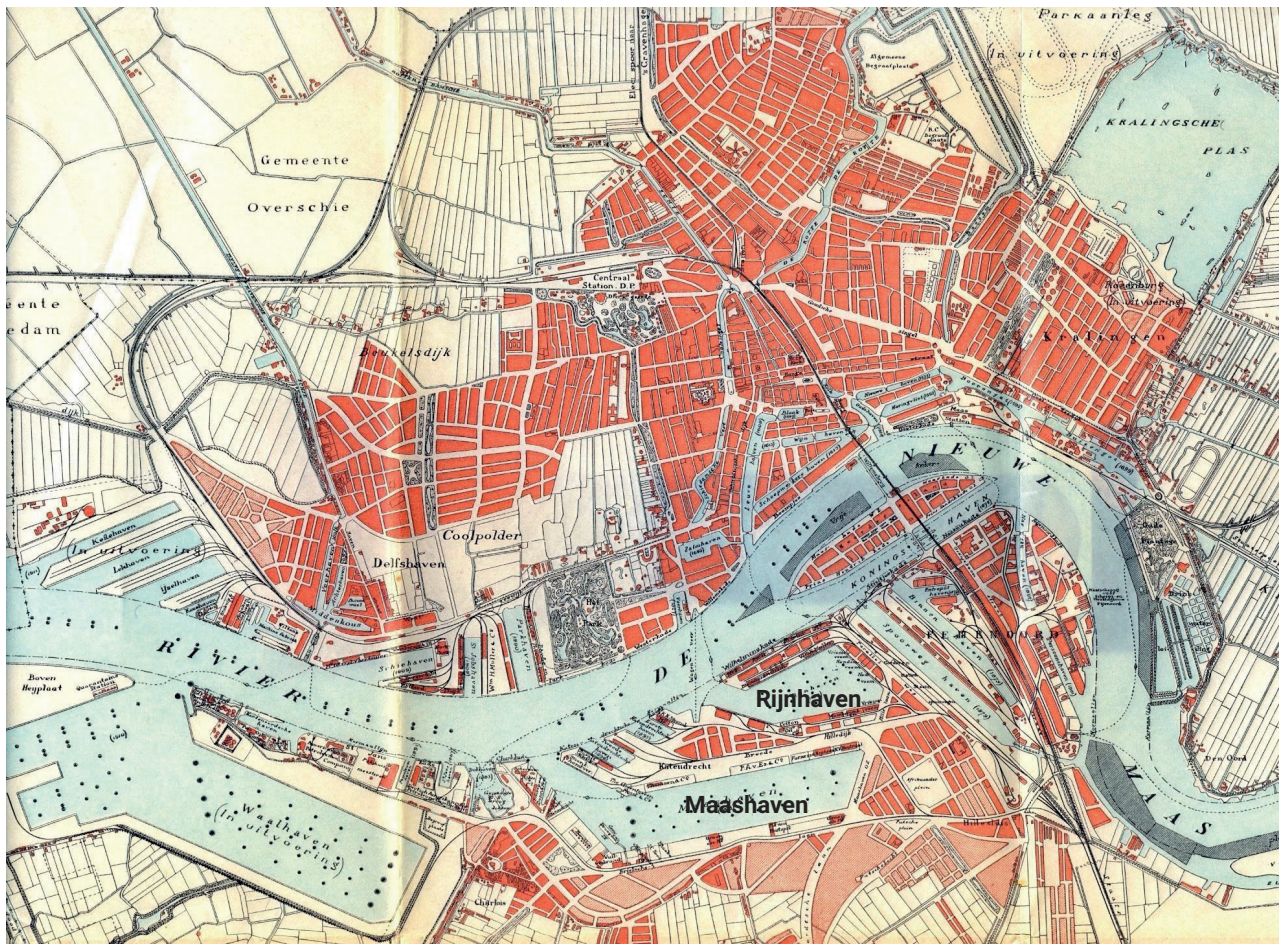
Au XIXe siècle, la ville continue de créer de nouveaux bassins le «Rijnhaven» et le «Maashaven» (Fig.2.11), afin d'optimiser les échanges des marchandises fluviales (*Universalis*).

Lorsque l'on étudie l'histoire de Rotterdam, on constate que c'est l'eau qui est à l'origine de la ville par un lien très étroit entre lutte et approvisionnement. Selon Thierry Mandoul et Sophie Rousseau, 2009 : «l'eau, bien sûr, n'a pas seulement structuré le paysage de Rotterdam. Elle est la condition même de son existence» (*Mandoul & Rousseau, 2009*).

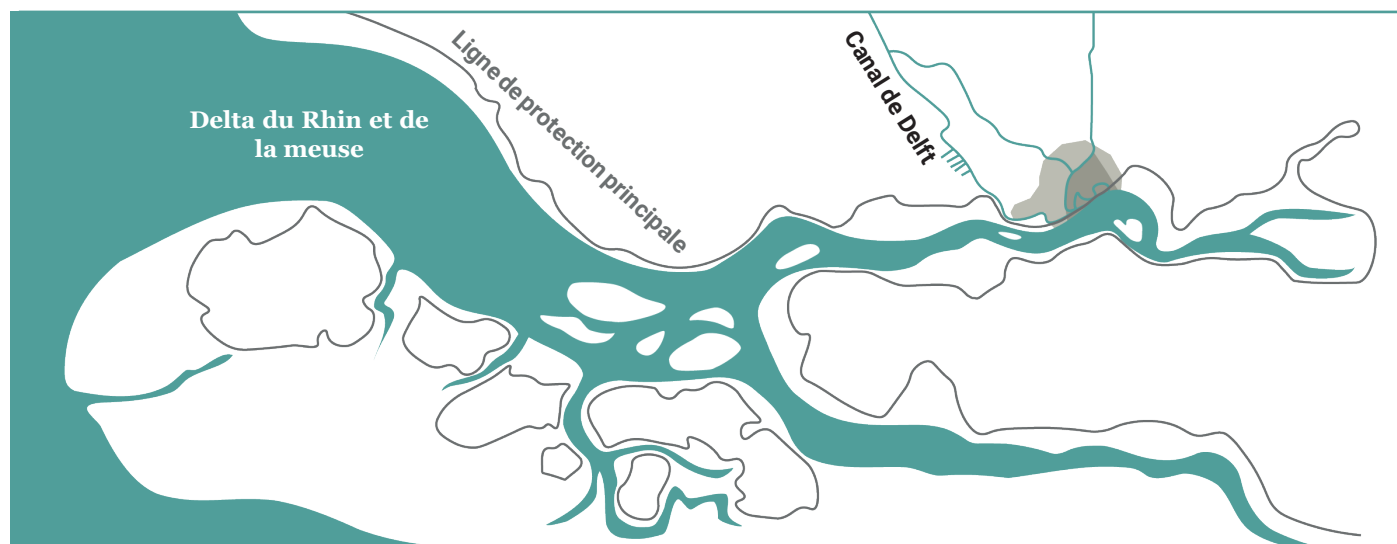
Figure 2.11. Rotterdam en 1912

Source : Internet-Etsy

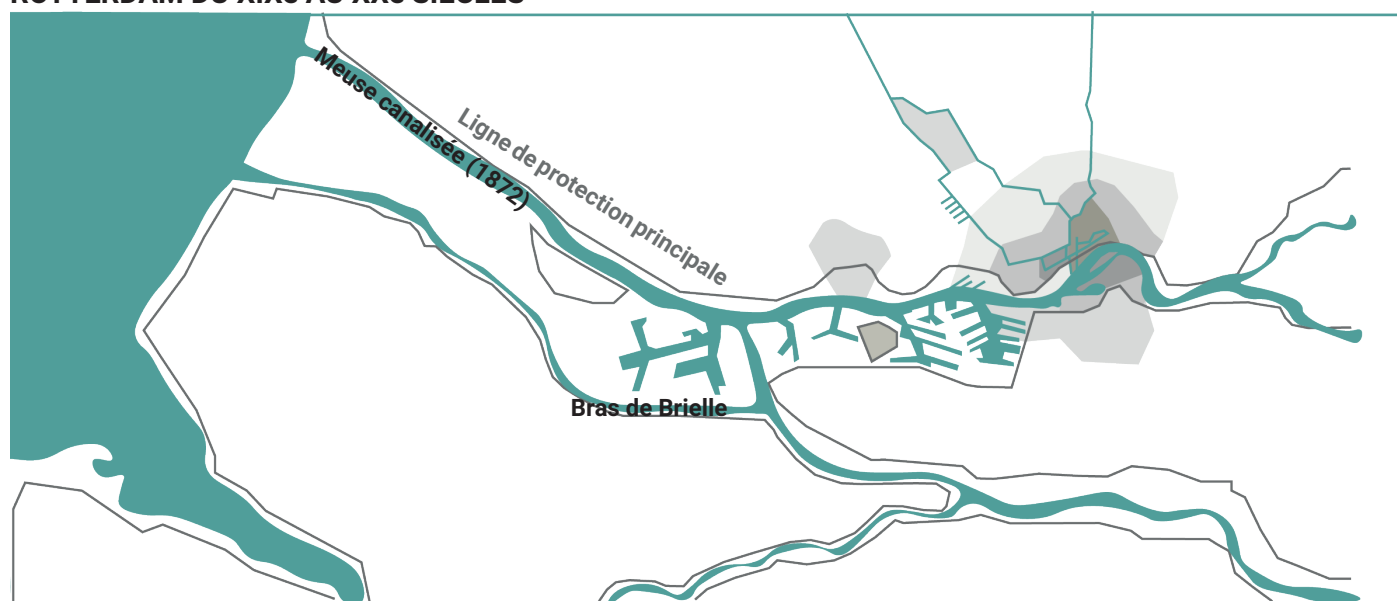
En observant les cartes de la figure 2.12, nous constatons à partir du XIVe siècle, que l'emprise de la rivière a été progressivement diminuée et canalisée par l'action anthropique.



ROTTERDAM DU XIVe AU XIXe SIÈCLES



ROTTERDAM DU XIXe AU XXe SIÈCLES



ROTTERDAM DU XXe AU XXIe SIÈCLES

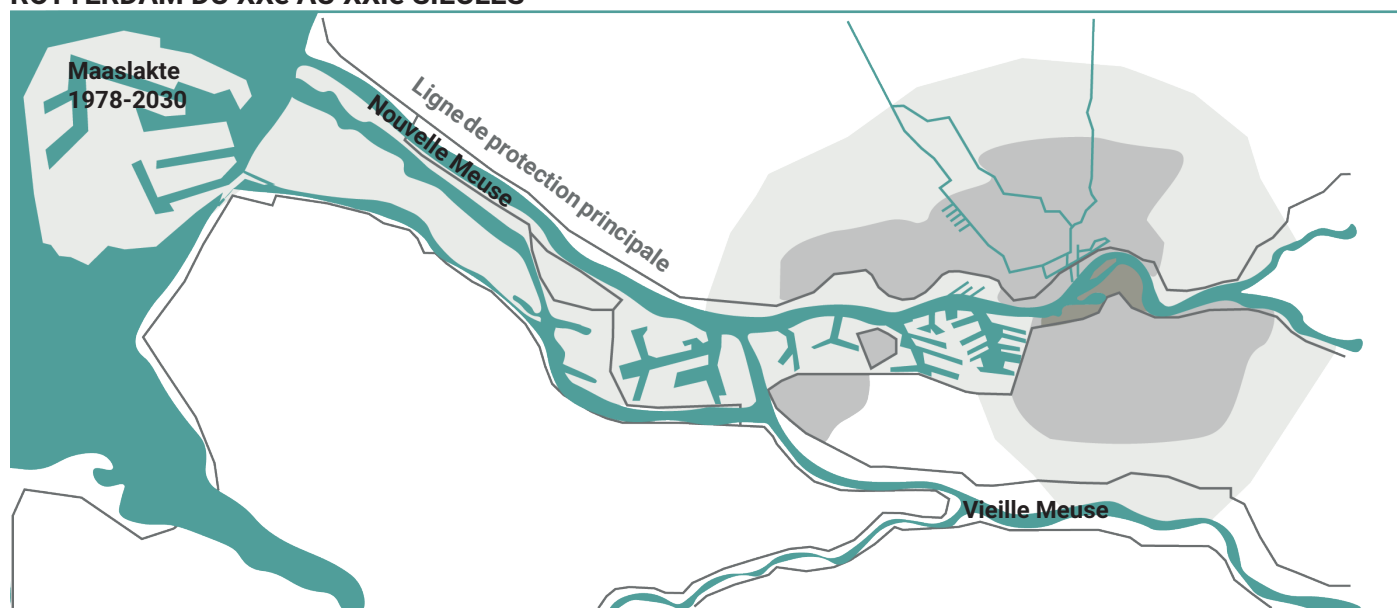


Figure 2.12. Évolution historique de la ville de Rotterdam du XIVe au XXIe siècles. Le gris foncé vers le gris clair illustre l'expansion urbaine entre deux dates

Source : Mathieu Aurégan sur base de l'ouvrage Mandoul & Rousseau « Portrait de ville: Rotterdam », « Dutchdikes.net » et « rotterdamkaart.nl »

II.2.B.b. Rotterdam, une ville delta.



Figure 2.13. Les provenances de l'eau à Rotterdam

Source : Ville de Rotterdam, 2013.

Rotterdam est une ville Delta. Située au croisement de deux rivières et d'une mer, elle est très vulnérable aux inondations. Les premières protections se trouvent du côté du littoral des dunes naturelles et du côté des rivières des digues. L'un des ouvrages importants est l'immense barrière «Maeslantkering» (Cf. fig.2.5, p.30) qui s'ouvre et se ferme selon les fortes marées. La ville a surélevé certaines routes qui servent de digues. Elle a aujourd'hui des systèmes de protections très sûrs mais elle rencontre des difficultés à les intégrer dans la planification urbaine. Dans le cadre du plan climatique «Room for river», la ville a complètement repensé son rapport à l'eau en proposant de petites actions comme la création de parcs flottants ou en créant des projets plus ambitieux comme le Dakpark (ancienne gare devenue une digue, des commerces et un grand parc : Cf. III.2, p.53) (Presson, 2018).

Rotterdam, ville de l'eau, par la photographie :



Figure 2.14. Au plus près de l'eau

Source : Mathieu Aurégan



Figure 2.15. Les « singel » parcourent la ville. Paysage urbain bucolique

Source : Mathieu Aurégan

Figure 2.16. Le paysage portuaire sur la nouvelle Meuse

Source : Mathieu Aurégan



Figure 2.17. L'eau comme délimitation des quartiers

Source : Mathieu Aurégan



Figure 2.18. Le moulin, témoin de la culture historique de la gestion des eaux

Source : Mathieu Aurégan





Figure 2.19. Le port historique

Source : Mathieu Aurégan

II.2.B.c. Une volonté de gestion plus durable.

Rotterdam semble avoir bien conscience du problème. Elle s'est fixé un défi important et ambitieux. Elle a introduit une initiative Climat ayant pour finalité de diminuer ses émissions de CO₂ de 50% d'ici 2050. Elle souhaite s'adapter aux conséquences du changement climatique, tout en renforçant l'économie de la ville. Cette initiative est à l'origine de différents acteurs : la ville de Rotterdam, le port de Rotterdam, les associations d'industrie et la DCMR qui est l'Agence de protection de l'environnement dans la province de la Hollande du Sud (*Berger, 2017*). Au sein de ce programme, il a également été établi le réseau Connecting Delta City (CDC). Son but est de partager, avec d'autres villes situées dans un delta, les options d'adaptation et les stratégies pour aménager le territoire avec les eaux, (*Ward et al., 2013*) ce que nous détaillerons dans la «Partie III.0, p. 45».

Rotterdam a mis en place l'initiative «Rotterdam Climate proof» qui fait partie de l'Initiative Climat. Certains aménagements ont été réalisés comme, par exemple, la construction de maisons flottantes (*Cf. III.5, p. 72*). Celles-ci en forme de bulle illustrent le concept de "Climate proof architecture" pour ce type d'aménagement. Face à la demande grandissante pour ce type d'habitations, la ville a prévu de construire 13 000 maisons résistantes à l'eau d'ici 2040, dont certaines seront sur l'eau (*Lisa, 2013*). Le parc «Recycled Park» ouvert en 2018 a été construit entièrement à partir de plastique récupéré dans les canaux de Rotterdam. Ses espaces contiennent des «pièges à déchet», qui les empêchent de partir dans l'eau (*Berke, 2018*).

De nouveaux projets pour réduire l'empreinte écologique du port ont commencé à apparaître. Le projet «Maasvlakte 2» en est un exemple. Il vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre produits par le port, notamment par l'utilisation de terminaux électriques et d'énergie éolienne. Ce projet ambitionne également à inciter les entreprises à stopper leur utilisation d'énergie fossile au bénéfice de sources d'énergies renouvelables (*Port of Rotterdam*).

Figure 2.20, p.42

Comparaison de Rotterdam avec Londres et Bordeaux. Il est constaté, dans les deltas européens concernés : à l'exception de Rotterdam et Hambourg, les autres villes delta ne fournissent pratiquement pas de possibilité d'aménagement urbain en dehors de la ligne de protection des digues ou des quais (lignes rouges) comme par exemple Londres

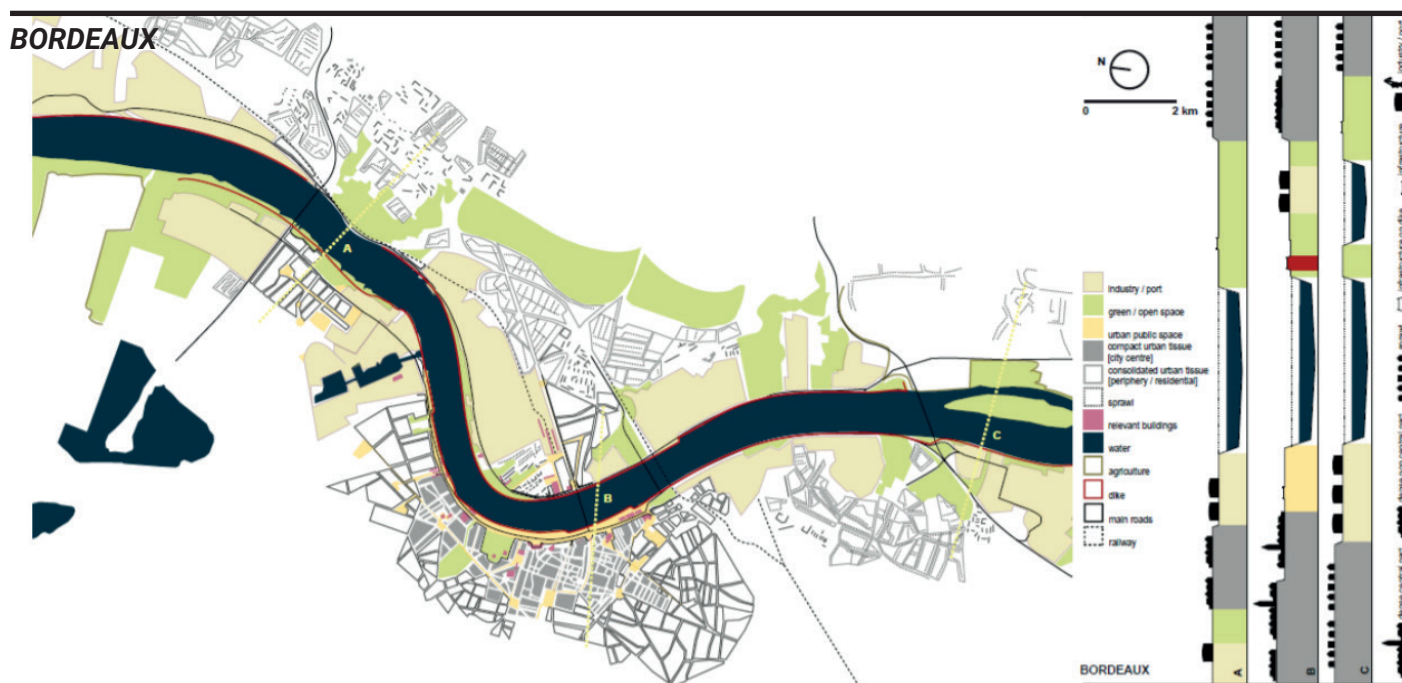
Coupe agrandis Cf Annexe n°7 p.102

Source : Han Meyer, Willem Hermans, TU-Delft, 2009

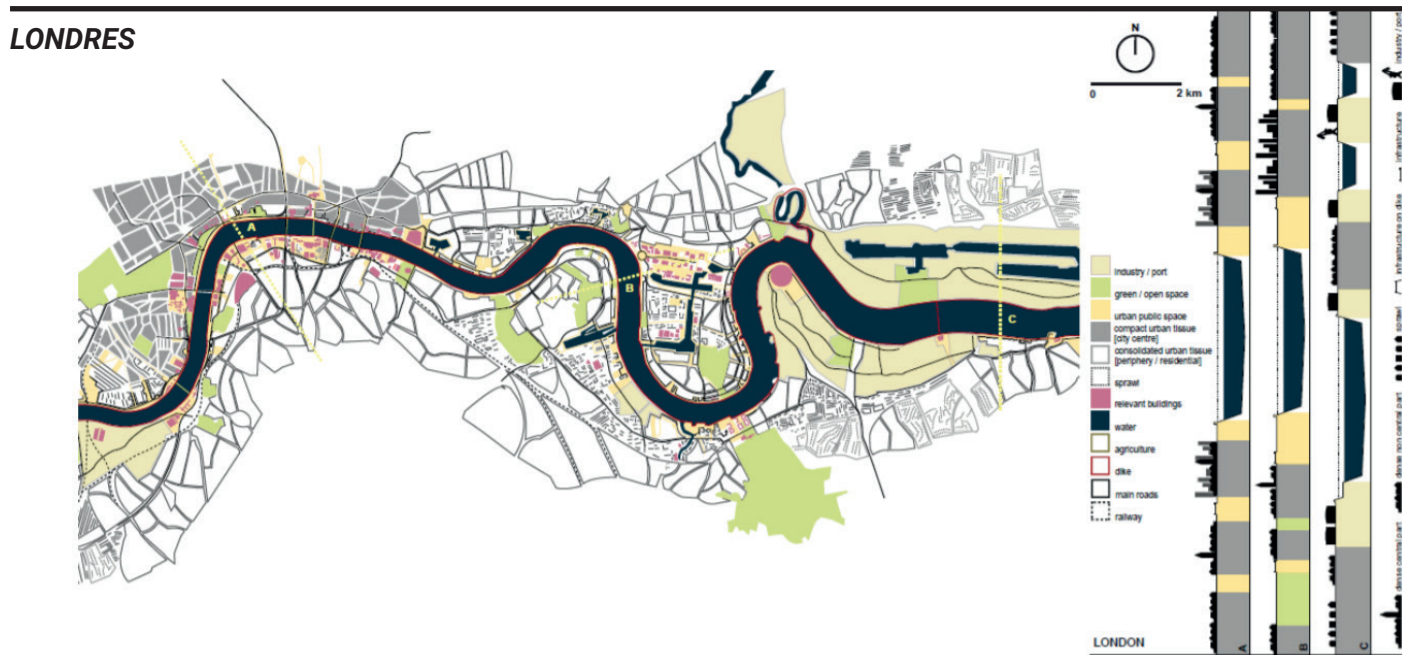
ROTTERDAM



BORDEAUX



LONDRES



II.3 LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉVALUATION.

II.3.A. Récolte de données.

Les projets de résilience aux inondations à Rotterdam sont abondants. Aussi, seront présentés dans la partie III «Résultat» les projets qui me paraissent pertinents au regard de la problématique abordée. Un projet de chaque type sera présenté avec un niveau scalaire territorial allant du coeur d'îlot à un programme international. Cette récolte va permettre d'assimiler les principes de base des projets, de comprendre comment ils fonctionnent.

II.3.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.

En tant que futurs architectes du paysage nous avons la capacité d'évaluer le paysage par une vision multiscalaire. Cette analyse se fait notamment en sollicitant la cartographie. Ainsi, il est possible d'appréhender le paysage à des échelles macroscopiques par le biais de vues aériennes, tout en étant en dehors de la zone d'étude. La cartographie va également permettre d'observer et comprendre l'intégration du projet dans son paysage.

De plus, les vues aériennes peuvent permettre de comprendre les modifications avant et après projet, de comprendre l'impact du projet et ce qu'il va apporter comme changements, causes à effets sur le paysage.

Afin de comprendre la stratégie mise en place par Rotterdam pour lutter contre les inondations, il nous semble important d'envisager cette étude dans une approche globale, systémique et multiscalaire. Cette orientation justifie ainsi le choix de ces différents projets. Nous utiliserons donc des programmes et des projets qui interrogent cette approche. Cette dernière permettra d'analyser les solutions mises en place pour gérer les problèmes d'inondations en partant d'un programme international, puis d'un programme à l'échelle de la ville, pour ensuite analyser des projets de paysage allant de l'échelle d'un quartier jusqu'au coeur d'îlot. Ainsi par ce cheminement, nous essayerons de démontrer l'importance de cette approche sur les différents projets afin de tendre vers une résilience face aux inondations :

- Connecting Delta Cities (CDC) par C40 cities (Échelle globale internationale).
- Adaptation stratégique de Rotterdam (2013) (Échelle globale urbaine).
- **1.** La ville éponge : Dakpark (Échelle spécifique sur un quartier et le port) (Cf. fig.2.21).
- **2.** Museumpark Garage (Échelle spécifiquement architecturale) (Cf. fig.2.21).
- **3.** Water Square (Échelle spécifique coeur d'îlot) (Cf. fig.2.21).
- **4.** Ville flottante : Floating pavillon (Échelle d'un bassin portuaire) (Cf. fig.2.21).



Figure 2.21.
Localisation des projets étudiés

Source : Mathieu Aurégan

II.3.C. Analyse par observation du paysage in situ.

L'arpentage sur le terrain va permettre d'apporter de nouvelles données et compléter la vision cartographique. L'utilisation de la photographie et du croquis va permettre de traduire les ressentis, les remarques, la vision, etc., vivre le paysage.

Ces outils vont permettre de comprendre le paysage et son fonctionnement et d'en faire découler les ambiances selon des contextes différents.

Cependant, le contexte de pandémie lié à la Covid-19 m'a obligé à être confiné. Par conséquent, il ne m'a pas été possible de pouvoir retourner sur le terrain afin de vérifier à des moments différents, les observations faites cet hiver.

Enfin, lorsque les analyses objectives et subjectives seront réalisées, il sera alors possible de réaliser un tableau en synthétisant les atouts, les faiblesses et l'avenir des projets (Cf. Figure 3.57, p.78).

Dans cette partie, nous vous proposons d'étudier plusieurs projets à différentes échelles et leurs impacts. Dans un premier temps, nous étudierons un programme international (Connecting Delta Cities) qui propose un cadre global. Puis dans un second temps, nous étudierons des projets à différentes échelles qui proposent des cadres plus spécifiques (Adaptation stratégique, Dakpark, etc).

III.0. CONNECTING DELTA CITIES (CDC) PAR C40 CITIES (ÉCHELLE GLOBALE INTERNATIONALE).

Le programme Connecting Delta Cities (CDC) a été développé par l'organisme mondial C40 Cities Climate Leadership Group. L'objectif de Connecting Delta Cities est d'accompagner les villes côtières de delta dans le développement spatial lié au changement climatique, la gestion de l'eau et l'adaptation au changement climatique. C'est un groupe qui rassemble cinquante-neuf villes engagées dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction des risques climatiques mais aussi pour répondre aux problèmes d'inondations.

C40 Cities aide ces villes à identifier, développer et mettre en œuvre des politiques et des programmes locaux qui ont un impact global collectif (C40, 2019). C'est donc un réseau mondial de partage des connaissances en faveur de la résilience des villes qui les aide à résister au mieux aux défis physiques, sociaux et économiques actuels. Il s'appuie sur les trois grands piliers (social, économique et environnemental), socle du développement durable afin de répondre aux objectifs d'obtenir la ville la plus résiliente et durable possible. Afin de mener à bien sa mission, quatre grandes lignes sont à suivre par la ville (C40, 2019) :

1. Un nouveau poste innovant de «Chef de la résilience» dans la gouvernance de la ville est ouvert pour diriger les actions à mettre en place.
2. Des experts et scientifiques soutiennent le développement de stratégies solides pour la résilience.
3. L'accès des solutions aux partenaires des secteurs privés, publics et organisations non gouvernementales (ONG) qui peuvent les aider à mettre en œuvre les stratégies.
4. Enfin, les villes doivent adhérer au réseau de partage des connaissances afin de s'entraider.

C'est de cette manière que le programme aide les villes de façon individuelle à devenir plus résilientes mais également à construire les stratégies globales de résilience.

Depuis 2009, Rotterdam met tout en œuvre pour rendre son territoire résilient et sa ville plus durable. D'ailleurs Zanuso (2016), cite : «As a delta city situated primarily below sea level, Rotterdam always been in the vanguard of innovation in water management, with a long history of designing solutions that not only aim to reduce flooding in the city, but also connect water with economic opportunity, recreation and beautification» (Zanuso, 2016).

Rotterdam se considère elle-même comme un laboratoire vivant, où des expériences sur l'eau sont effectuées dans ce paysage urbain. Afin de comprendre les stratégies d'innovations de la ville, le programme d'échange a étudié et analysé cinq grands projets opérationnels allant des structures flottantes en réponse directe à l'élévation du niveau de la mer au concept de ville éponge pour l'absorption de l'eau.

D'ailleurs Rotterdam, classée par C40 comme la ville la plus résiliente au monde, a été élue ville centre d'accueil des villes delta résilientes. Ce centre fédère un réseau d'organismes qui cherchent à accélérer la transition vers des villes delta sécurisées et durables à l'échelle mondiale. En mutualisant leurs connaissances, ces villes cherchent à développer des solutions intégrées pour la résilience ajoutant ainsi de la valeur à la ville en terme de qualité environnementale, sociale et en potentiel économique. Pour autant, ces programmes d'échange des connaissances ne sont pas développés partout, et toutes les villes n'en font pas partie. Cependant, ce travail s'inscrit réellement dans une dynamique collective par le biais de plateformes qui traitent les informations collectées à l'échelle mondiale. Dans le cadre de ce programme d'échange des connaissances, Rotterdam est impliquée directement dans l'opération Climate Change Adaptation in Delta City mis en place par l'organisme C40 Climate Leadership Group. Chaque ville a pu développer dans ce contexte son propre programme d'adaptation, comme par exemple, à Ho Chi Minh City : «Triple-A Strategic Planning» et à Copenhague: «Public-Private finance schema». Pour Rotterdam c'est le programme Climate Change Adaptation Strategy qui a été choisi.

Toutes les stratégies pour le développement durable dans les villes delta doivent intégrer un plan d'adaptation pour réduire la vulnérabilité face aux risques et impacts du changement climatique. Ainsi dans le cadre du programme pour les villes Delta, l'organisme C40 a publié un guide des bonnes pratiques qui sont les suivantes (C40, 2019) :

- Avoir une approche intégrée de l'utilisation de l'espace et des systèmes d'approvisionnement en eau.
- Engager les populations dans la planification de l'utilisation des côtes et des berges.
- Gérer les eaux de pluies.
- Limiter l'affaissement des sols et surveiller le niveau des nappes phréatiques avec la montée du niveau des océans.
- Chercher un équilibre entre une quantité d'eau potable disponible et les moyens de protection des rivières.
- Adopter une approche aux risques pluriels.
- Utiliser les budgets prioritaires et créer des financements pour une sécurité à long terme.



Figure 3.1. Une partie des villes participant au programme C40

Source : C40.org

III.1. ADAPTATION STRATÉGIQUE DE ROTTERDAM (ÉCHELLE GLOBALE URBAINE).

III.1.A. Récolte de données.

En 2013, la ville de Rotterdam souhaite réaliser une stratégie d'adaptation aux changements climatiques. C'est l'agence De Urbanisten en collaboration avec «Rotterdam Climate Proof» qui va réaliser un possible plan d'adaptation de la ville aux futurs changements. Selon les prévisions, les conditions météorologiques seront plus extrêmes, les précipitations plus fortes, les périodes de sécheresse plus longues et les vagues de chaleur de plus en plus importantes. Il y aura aussi une hausse du niveau des océans, des mers et des rivières.



Figure 3.2. Perspectives pour la ville delta à l'épreuve du climat

Source : De Urbanisten

Comme cité précédemment (II.2.B.b), Rotterdam est une ville delta et est donc sensible aux changements climatiques. La ville est actuellement un modèle solide en matière de protection et d'adaptation. Ceci s'explique par l'accumulation successive historique de solutions ingénieuses de protection de la ville, lui permettant de rester « au sec » et saine. Mais à ce jour, ce système est remis en question face à une usure des structures et des installations non conçues pour les types de changements climatiques futurs. C'est pour cela que la ville souhaite entretenir et adapter ses ouvrages existants pour un paysage résilient. Mais la ville comprend que les futures mesures doivent non plus comme avant être dites de protection mais plutôt d'adaptation pour prétendre à un système à la fois plus léger et plus résilient. Ces mesures vont être appliquées à des échelles du paysage très fines : place publique, espaces privés. Tous ces éléments réunis sont les artères de la ville et vont donc interagir avec une échelle beaucoup plus globale.

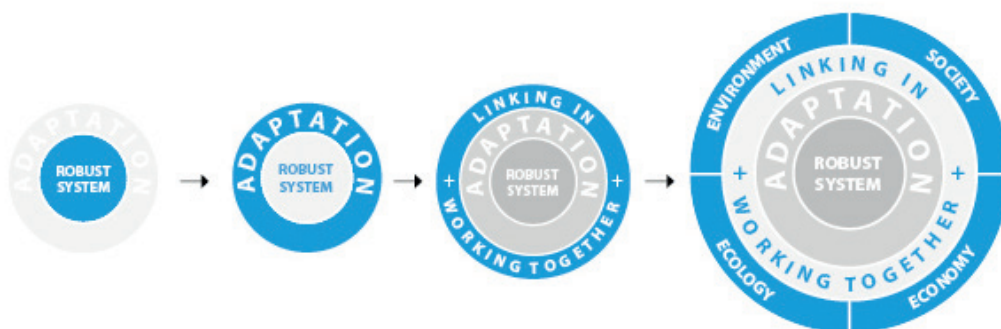
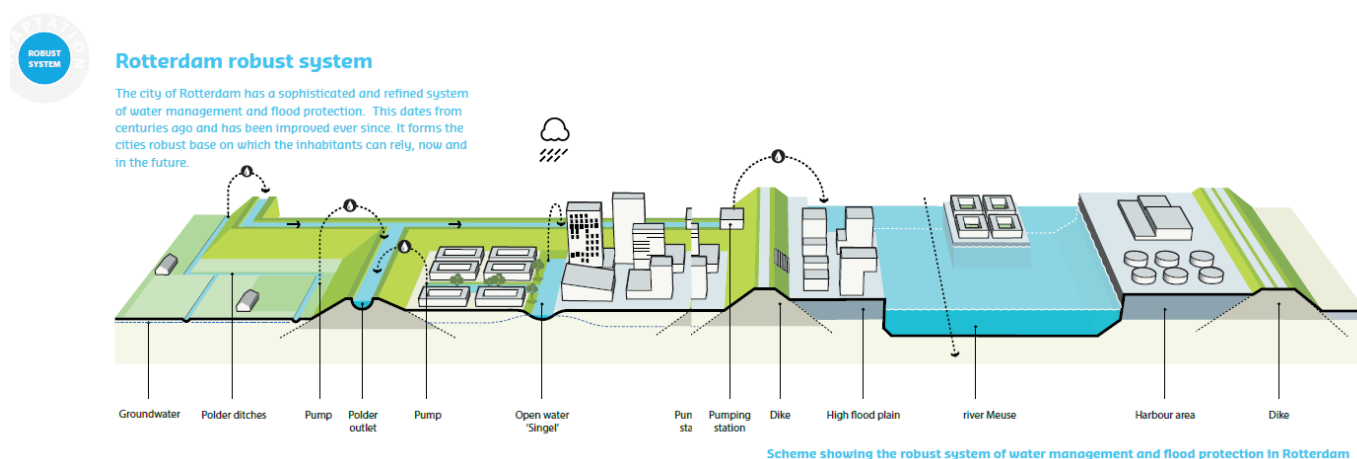


Figure 3.3. The Rotterdam adaptation strategy

Source : City of Rotterdam, 2013

Figure 3.4. Schéma stratégique de gestion des eaux et de la protection contre les inondations à Rotterdam

Source : De Urbanisten



En théorie, les projets respectent les conditions du programme et intègrent les différentes approches. Cependant la ville de Rotterdam a fait évoluer son projet. Elle a dans un premier temps, en 2008, adopté «The Rotterdam Climate Proof» puis dans un second temps, en 2013, «The Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy». Dans cette dernière réactualisation de recherche d'adaptation, la ville de Rotterdam a priorisé quelques grands axes à respecter. Les différents projets envisagés doivent donc répondre à l'un ou parfois plusieurs de ces critères (City of Rotterdam, 2013) :

- Renforcer le système robuste contre les inondations et se défendre contre les tempêtes et la montée du niveau des océans,
- Adapter l'espace public en combinant trois fonctions : «éponge» (water squares, zones d'infiltration et espaces verts), protection (digues et dunes) et limiter les dégâts (routes d'évacuation, bâtiments isolés de l'eau, et des structures flottantes),
- Augmenter la résilience de la ville par une gestion intégrée,
- Favoriser les opportunités économiques que les changements climatiques apportent tout en améliorant la qualité de vie et en augmentant la biodiversité.

Les résultats des projets développés par la ville de Rotterdam sont efficaces. Pour le moment ils sont considérés comme des réussites. Le système d'adaptation de Rotterdam est conçu sur un système de défense graduel contre les inondations et la montée du niveau des océans. Ce système comporte dans un premier temps, la mise en place d'une barrière amovible contre les tempêtes appelé «Maeslantkering» et appartenant au delta plan (Deltawerken).

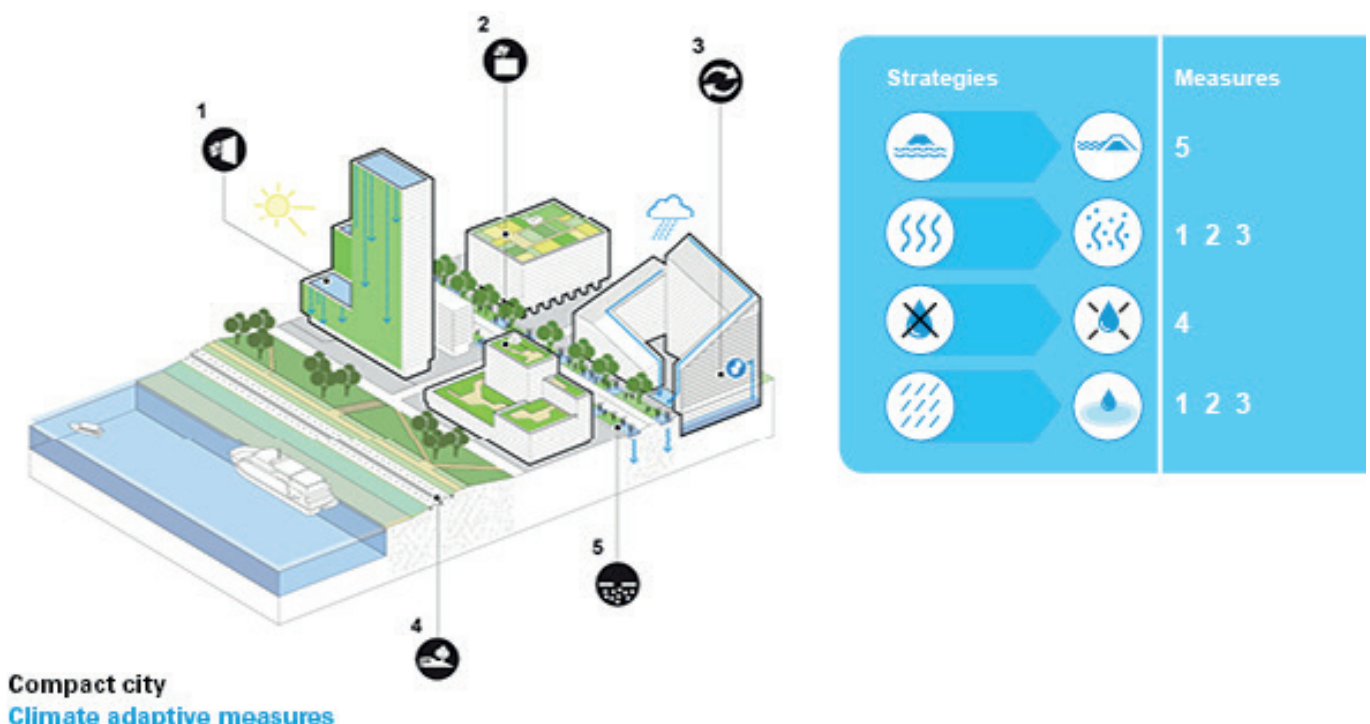
Puis, dans un second temps, il comprend le positionnement des dunes le long de la côte, et des digues le long des rivières (*Deltawerken*).

La ville opte pour une utilisation adaptée des digues internes «inner-dyke» et digues externes «outer-dyke». Les premières se trouvent sous le niveau de la mer. Elles sont structurées par un système de polders qui drainent l'eau en utilisant des pompes protégées par d'autres digues extérieures plus hautes. Les secondes surplombent approximativement de trois à cinq mètres le niveau des océans. Elles accueillent quarante mille citoyens. La zone étant vulnérable à la montée du niveau des océans ou des petites inondations, elle s'adapte avec l'utilisation d'innovations technologiques (Floating pavilion), ou de techniques plus traditionnelles comme l'isolation des façades ou des systèmes électriques hors de danger. Rotterdam associe, à la mise en place des systèmes de défense contre les inondations de la rivière et de la montée du niveau des océans, une anticipation des menaces liées aux fortes pluies. Pour cela, elle a édifié des espaces de stockage de l'eau comme le «Museumpark garage» et aménagé dans la ville des espaces verts, des cours d'eau et des bassins. Ces derniers permettent une gestion hydrologique naturelle du réapprovisionnement en eau des nappes phréatiques et minimisent les inondations. Ces espaces offrent ainsi une biodiversité beaucoup plus grande. Ils contribuent à une meilleure qualité de vie.

La ville de Rotterdam a également développé les toitures végétalisées. Le lancement du projet «Zomerhofkwartier» montre l'engagement de la ville en faveur de l'adaptation totale de la ville delta. En effet, par la diversité des actions menées telles que le développement des espaces verts, des jardins d'eau, les toitures végétalisées et même les espaces publics servant de réservoir d'eau, Rotterdam montre sa détermination dans le processus de résilience qu'elle a engagé.

Figure 3.5. Exemple de ville compacte par De urbanisten

Source : De Urbanisten, 2013

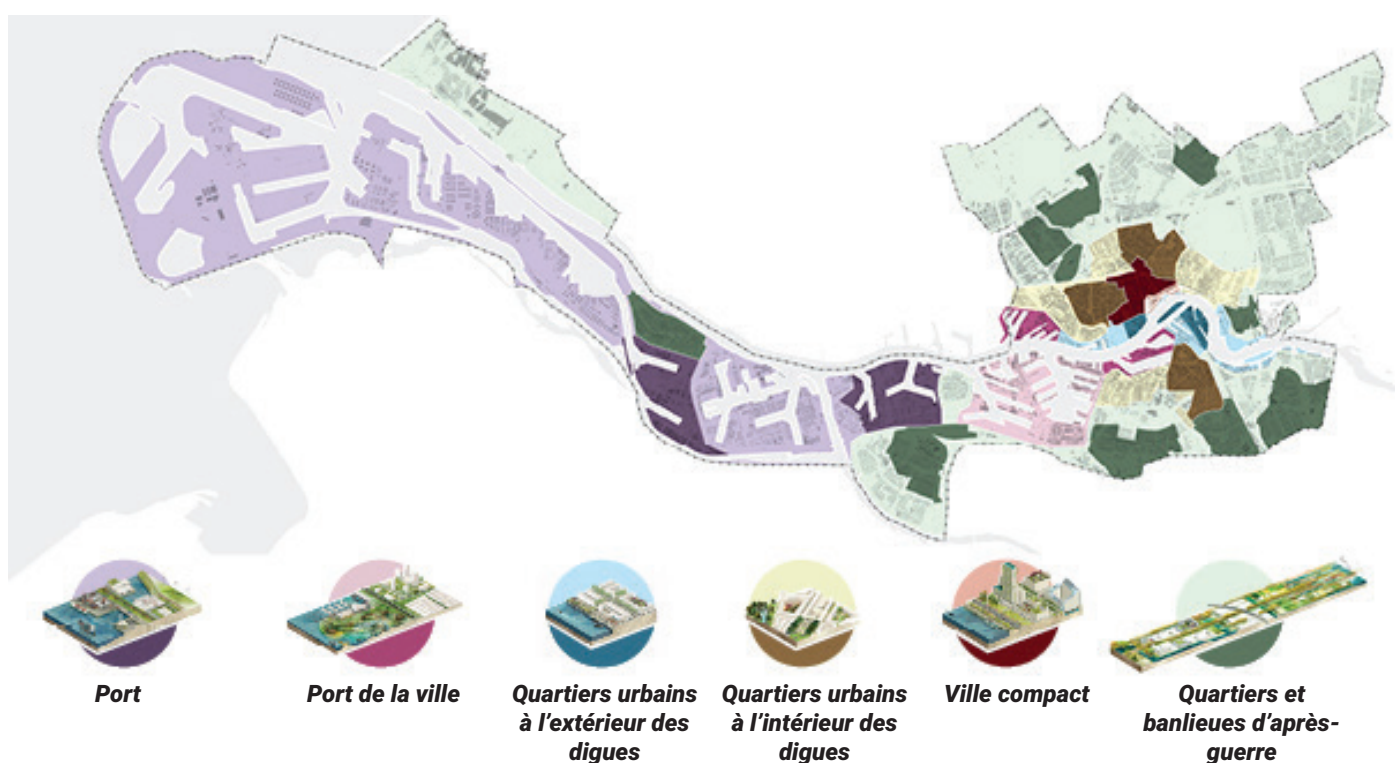


III.1.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.

Le bureau De Urbanisten a proposé 6 typologies de villes résistantes au changement climatique (*fig 3.6*). Ces typologies ont été déterminées selon plusieurs critères. Tout d'abord, le premier critère est leur localisation à l'intérieur de la digue «inner-dike» ou à l'extérieur de la digue «outer-dike». Ensuite, les zones urbaines avec peu d'espace disponible sont différenciées des zones avec beaucoup d'espace disponible. Ces espaces peuvent être déjà disponibles ou alors l'agence détermine également des espaces non disponibles actuellement mais avec un potentiel de transformation future (Par ex : le port). Egalement, le contexte économique, les dynamiques, les pressions de la zone en question permettront de se diriger vers certaines typologies plus que d'autres (par ex: centre-ville).

Figure 3.6. Perspectives proposées par De Urbanisten pour la ville delta à l'épreuve du climat

Source : De Urbanisten



A l'extérieur de la digue, l'objectif principal est la protection face aux inondations, en ne construisant plus contre l'eau mais en construisant sur l'eau (structure flottante), en construisant avec le concept «building with nature» (*De Urbanisten, 2013*). Par exemple, le port de la ville se prête bien au développement de mesure adaptative comme le floating pavilion (*Cf. III.5, p70*). Selon De Urbanisten : «La prévention est le facteur clé de la protection contre les inondations de la digue intérieure de Rotterdam» (*De Urbanisten, 2013*). Ainsi les actions à suivre seront le renforcement des digues par des remblais naturels multifonctionnels (ex : Dakpark).

À l'intérieur des lignes de protection, le concept de « ville éponge » est privilégié afin de recueillir les eaux de pluies dès leur contact avec le sol, de les stocker, ou de leur permettre de s'infiltrer (porosité verticale) : toitures vertes, dépavage par des plantations, place publique d'eau (Watersquare), etc. La ville éponge se prête bien aux zones densément peuplées avec peu d'espace disponible, comme par exemple dans le centre-ville (De Urbanisten, 2013).

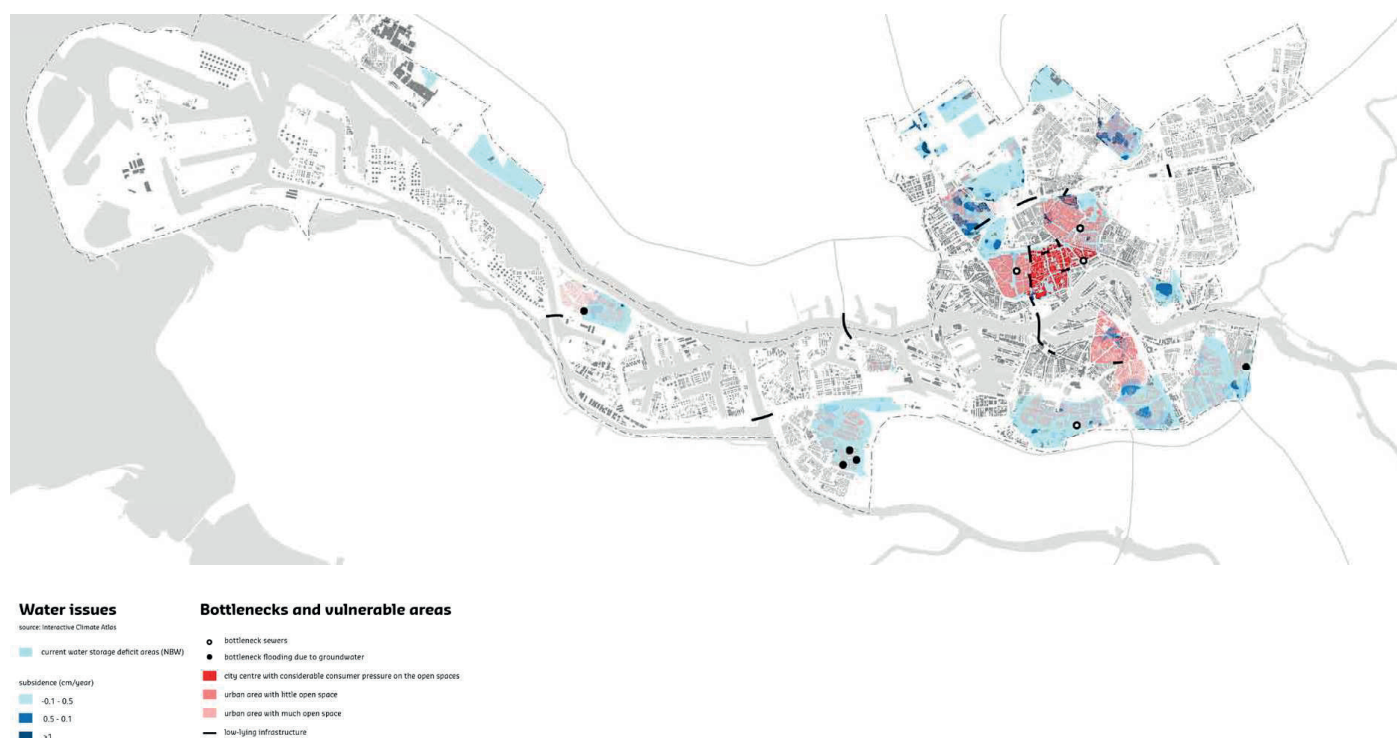
En revanche dans les zones avec plus d'espaces, il y a la possibilité de mettre en place des systèmes robustes grâce aux canaux, aux parcs, aux trames vertes et bleues (porosité horizontale) permettant de lutter contre le changement climatique (De Urbanisten, 2013). Cela permettra de nombreuses plus-values comme l'amélioration du cadre de vie, l'attrait touristique, le développement économique, etc.

Pour déterminer quelle typologie appliquer, l'agence compare et répond à deux questions (De Urbanisten, 2013) :

- «Quelles mesures d'adaptation au climat sont appropriées pour quelles parties de la ville et qui fait le premier pas?» (De Urbanisten, 2013)
- «Quelle valeur ajoutée les mesures combinées génèrent-elles pour l'environnement, pour la société, pour l'économie et pour l'écologie, qui en bénéficiera?» (De Urbanisten, 2013)

Figure 3.7. Effets du changement climatique et conséquences pour Rotterdam

Source : De Urbanisten



La carte ci-dessus (fig 3.7) montre une estimation pour 2100 des zones à risques, où l'on s'attend à ce qu'il y ait des inondations à l'avenir, et là où l'affaissement rend la zone plus vulnérable aux effets de pluies intenses (De urbanisten, 2013). Globalement, ces zones sont construites sur des tourbières. De plus, la carte montre les éléments d'évacuation des eaux qui peuvent être sujets au phénomène de «goulot d'étranglement» (De Urbanisten, 2013), c'est à dire les réseaux d'égouts, les eaux souterraines et les infrastructures basses telles que les tunnels.

Lors du nouveau plan, «Rotterdam Water Plan 2» identifie les districts où les caractéristiques du système d'aqueduc urbain (assainissement et eaux de surface) ne respectent pas les normes, à ce jour. Cependant, il n'est pas encore possible de prévoir avec certitude les conséquences futures du changement climatique, notamment au sujet des précipitations. Selon la ville de Rotterdam : «les zones urbaines sont trop diversifiées et les modèles de calcul sont (encore) inadéquats. On s'attend à ce que des précipitations plus intenses conduisent à une augmentation des problèmes liés aux inondations dans les zones les plus vulnérables, et que l'étendue de ces zones vulnérables augmentera» (Rotterdam, 2013). L'hypothèse de la ville est d'ailleurs illustrée sur la coupe (fig 3.8) sur les futures zones potentielles de gestion des eaux (RCP, 2013).

Figure 3.8. Exemple de système robuste

Source : De Urbanisten

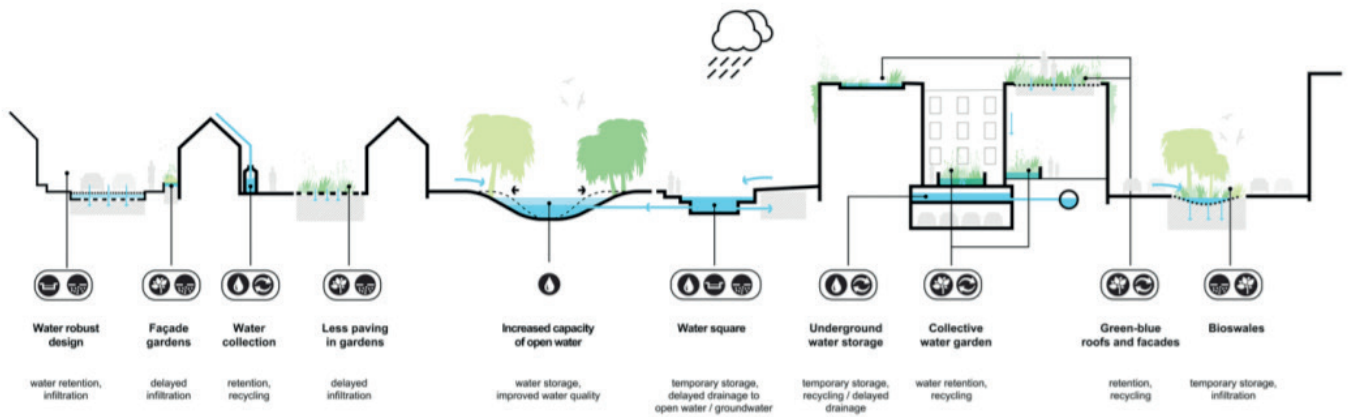
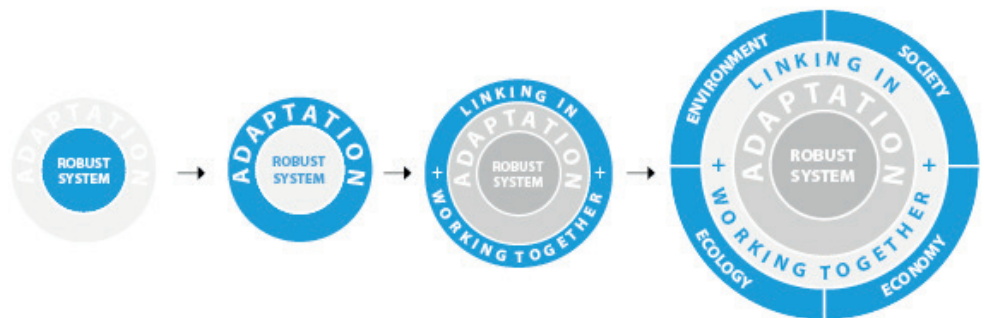


Figure 3.9. The Rotterdam adaptation strategy : Comment tendre vers un système robuste et résilient

Source : City of Rotterdam, 2013



III.2. LA VILLE ÉPONGE : DAKPARK (ÉCHELLE SPÉCIFIQUE SUR UN QUARTIER ET LE PORT).

III.2.A. Récolte de données.

Afin d'être plus résiliente, la ville de Rotterdam travaille à la fois la porosité horizontale mais également verticale par l'utilisation spatiale des toitures. En effet, le Dakpark est une digue séparant un quartier populaire du port industriel. Ce lieu était avant le projet, une ancienne gare de triage (de la Vierhavenstraat de Delfshaven, vacante depuis 1998), abandonnée, un espace oublié à proximité des logements sociaux. Il s'agissait d'un lieu notoire pour les trafics de drogue (Top010,2013).



Figure 3.10. Vue aérienne du Dakpark

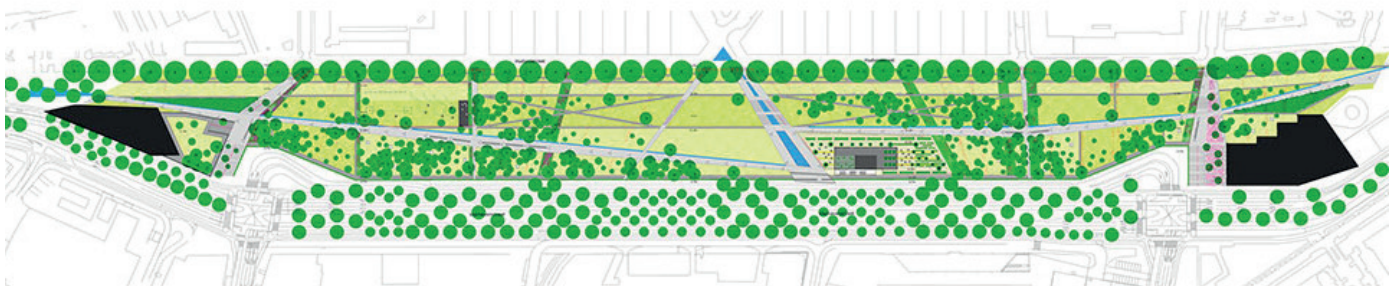
Source : Internet

Ce parc de toit est le plus grand d'Europe avec une hauteur de digue de 9m, une longueur de 1200m et une largeur de 85 m (Top010,2013).

Aujourd'hui, cette digue est multifonctionnelle et fait plus que simplement protéger les quartiers des inondations. Elle accueille un centre commercial, créant un service de proximité au quartier ainsi qu'un parc sur le toit. Les magasins font face au port, le parc s'étend du toit aux rues et aux blocs de logements, créant une colline herbeuse qui relie le parc et le quartier (Owdin, 2017; Top010, 2013).

Figure 3.11. Plan masse du projet Dakpark

Source : Buro Sant en Co, 2014



Le parc a été réalisé par le bureau d'étude néerlandais «Buro Sant en Co». La mission initiale était d'intégrer le développement de 85.000m² de bureaux, commerces et écoles sur une digue et un parc public au sommet. Ce projet sert de catalyseur à la transformation urbaine des ports et constituera un nouveau point de repère le long de la «Park Lane» qui est l'une des routes les plus importantes de Rotterdam. Le projet ajoute une qualité spatiale significative au quartier voisin Bospolder, qui manque de parc accessible. Le parc sur toit est un bon exemple d'utilisation spatiale intensive et multiple du sol. Malgré ses nombreuses limitations (altitude, problèmes de sécurité, forme étroite et conditions climatiques et de construction), l'objectif est de créer un parc bien accessible et «verdoyant» (Buro Sant en Co, 2014).

Deux bâtiments importants marquent les extrémités du parc. Le «Roof park» se caractérise par une morphologie repliée intrigante, qui se rapporte à la digue et aux bâtiments sous-jacents. Le profil du parc est d'un côté de 8 mètres au-dessus du niveau du sol. De l'autre côté, le parc est plié en deux niveaux jusqu'au niveau du sol avec une connexion directe avec le quartier adjacent (Buro Sant en Co, 2014).



Figure 3.12. Vue aérienne du projet Dakpark

Source : Buro Sant en Co, 2014

Le parc est intégré à son environnement. En effet, les entrées principales sont liées au modèle de la rue de Bospolder et forment une structure de chemins du niveau de la rue jusqu'au bord surélevé. Les escaliers à la tête et à la queue du parc sont reliés à Park Lane et à la zone portuaire. Des sentiers et des pistes linéaires rendent le parc de toit facilement accessible depuis le quartier. L'axe central s'étend du haut au niveau le plus bas du parc et reliera les différents éléments du parc (Buro Sant en Co, 2014).

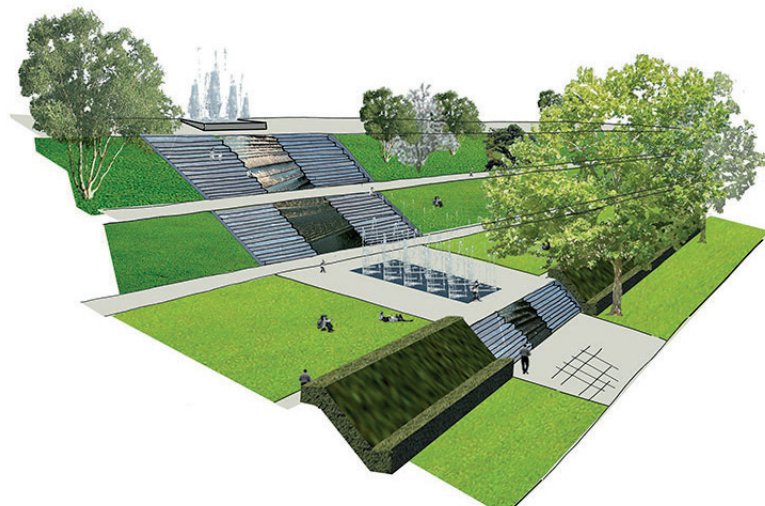


Figure 3.13. Les escaliers d'eau

Source : Buro Sant en Co, 2014

Le parc est caractérisé par trois jardins thématiques situés à différents endroits : une aire de jeux, un jardin de quartier et une serre. Les jardins sont bordés de haies créant un «microclimat». La serre est située au cœur du parc et forme un lien direct entre le toit et le niveau de la rue, le bâtiment et le parc. Elle abrite une cafétéria avec un jardin méditerranéen. Les parties est et ouest du parc diffèrent considérablement par leur caractère, pour renforcer l'intégration avec l'environnement alentour (*Landezine, 2014*).

Selon le bureau «Buro Sant en Co», les jardins thématiques sont les points forts du parc et ont un design spécifique. Le jardin méditerranéen abrite une serre et est situé le long de l'entrée principale. L'escalier central est relié au jardin méditerranéen et a un design spécial combiné avec de l'eau. Le terrain de jeu sera équipé d'éléments de jeu spécialement conçus pour ce jardin et qui utiliseront les différences de hauteur. Le jardin du quartier a une disposition simple qui permet d'être façonné par les résidents (*Buro Sant en Co, 2014*).

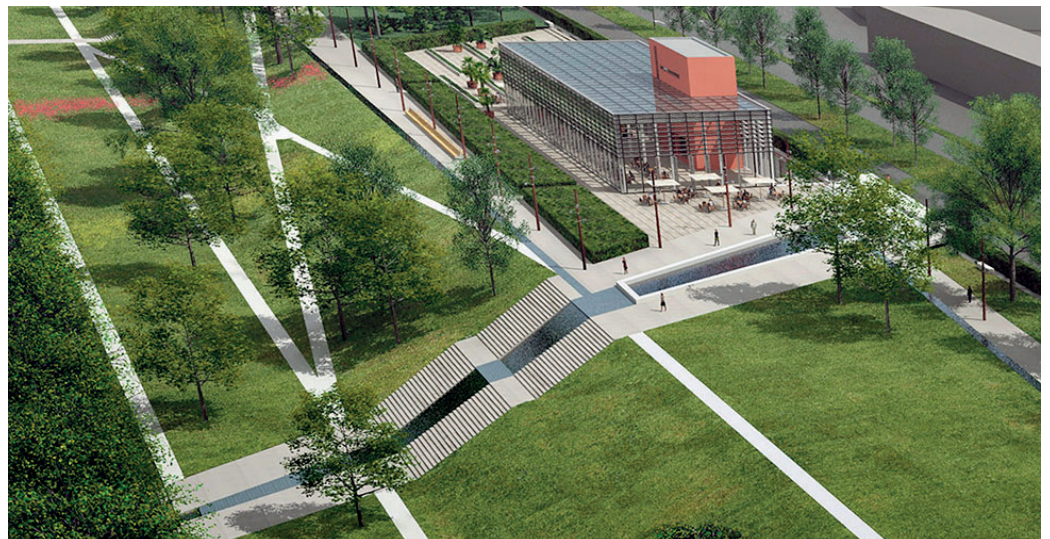


Figure 3.14. Les escaliers d'eau

Source : Buro Sant en Co, 2014

D'un point de vue conceptuel, le parc est traversé par de nombreuses lignes fortes et directes. Selon le bureau d'étude, ces dernières vont structurer l'espace et ont été déterminées selon 3 caractéristiques :

1. Le cheminement de l'eau (escaliers),
2. La circulation,
3. Le développement et le contexte urbain.

Ainsi, le Dakpark se veut intégré avec son environnement extérieur notamment par les usages. Les lignes se retrouvent alors dans l'alignement de Platanes bordant le quartier résidentiel. Elles vont également se retrouver dans les escaliers droits et rapides ou dans les chemins diagonaux qui vont proposer une pente moins raide. La digue forme donc un talus du côté des quartiers et offre une coupe franche vers le port offrant un panorama.

III.2.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.

Figure 3.15. Localisation du Dakpark à l'échelle de Rotterdam

Source : Mathieu Aurégan



Figure 3.16. Comprendre l'impact positif du Dakpark

Source : Mathieu Aurégan

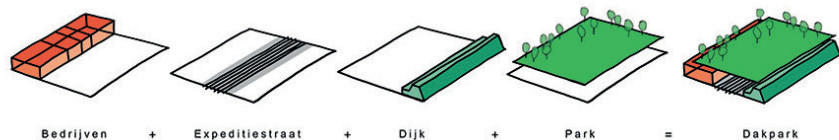


Avant le projet, le propriétaire foncier de la gare était l'administration portuaire. Suite à la vacance de la gare, l'administration souhaitait construire des biens immobiliers tels que des commerces, des bureaux. Cette volonté s'inscrivait dans les plans de restructuration des anciens ports ainsi que dans leur implication pour la ville (Buro Sant en Co, 2014).

Seulement de l'autre côté de la gare, les habitants des quartiers résidentiels d'avant-guerre (Bospolder et Tussendijken), souhaitaient un parc pour combler l'absence d'espace de ce type dans leur quartier. La commune de Delshaven a soutenu les habitants de quartiers et a permis de trouver un terrain de conciliation entre les quartiers et le port.

Figure 3.17. Décomposition des différentes strates qui forment le Dakpark

Source : Buro Sant en Co



Ainsi, selon mon analyse, c'est ce pourquoi le projet est une telle réussite à ce jour : il a été réalisé en concertation avec les habitants des quartiers, les promoteurs, la commune ainsi que le bureau d'étude Buro Sant en Co, de manière à proposer une digue multiusages, c'est à dire une digue comme support de commerces et d'un parc qui peut également être qualifié de toiture végétale.

La participation des habitants ne s'est pas arrêtée à la conception du projet. Aujourd'hui, ils gèrent l'ouverture et la fermeture du parc, ont des parcelles potagères et enfin ont un rôle dans la gestion du parc. Cette initiative permet de sensibiliser et de responsabiliser les usagers, pour qu'ils s'approprient l'espace public. En traitant la résilience aux inondations, nous nous rendons compte que les actions menées à Rotterdam vont bien plus loin vers une résilience globale de la ville.

Le Dakpark s'inscrit dans une démarche d'innovation et de résilience face aux changements climatiques. Il répond aux problématiques de sécheresse, de stress thermique mais aussi apporte une solution au sujet qui nous intéresse : les inondations. Avant le projet, la zone était artificialisée, imperméable et minérale. Aujourd'hui elle abrite un parc qui lutte contre les îlots de chaleurs. Le parc participe également à l'amélioration du cadre de vie des habitants. Enfin, la fonction de digue est conservée en cas d'inondation, protégeant ainsi les quartiers. Selon Buro Sant en Co, le sol du parc peut capter, 100 à 200 litres par mètres carré et offre une capacité tampon : cette eau ne se retrouve donc pas en ville (Buro Sant en Co, 2014).

La PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, considère le Dakpark comme un bon exemple de solution afin de répondre aux problématiques climatiques futures. En regardant le rapport de la PBL, nous pouvons constater l'importance de considérer ces futurs changements. En effet, la PBL recueille des informations sur les effets possibles aux Pays-Bas mais également dans le monde et peut permettre le prémice d'une stratégie d'adaptation. Les architectes du paysage ont alors une place majeure dans le domaine du climat afin de reconsidérer l'espace public (PBL, 2015).

Selon la PBL, «un cadre pour la vision, la stratégie et les options d'action sont constituées des points suivants:

- L'adaptation au climat a un agenda physique important: nommer la résilience climatique comme une qualité intrinsèque des conceptions spatiales et des investissements.
- Impliquer et mobiliser les provinces, les communes, les entreprises et les organisations sociales.
- Créer un environnement stimulant et innovant pour l'adaptation au climat,
- Utiliser et créer des opportunités pour des moments de changement.
- Encourager les tests de résistance à différentes échelles - également à l'échelle européenne.
- Inclure l'adaptation au climat dans la politique internationale et les projets internationaux, et les laisser se renforcer mutuellement» (PBL, 2015).

Le Dakpark s'inscrit dans cette vision et montre l'importance du niveau scalaire. Ce projet permet une connaissance collective mondiale. Par exemple : il a été un exemple pour la création d'un quartier à Stockholm (Buro Sant en Co, 2014).

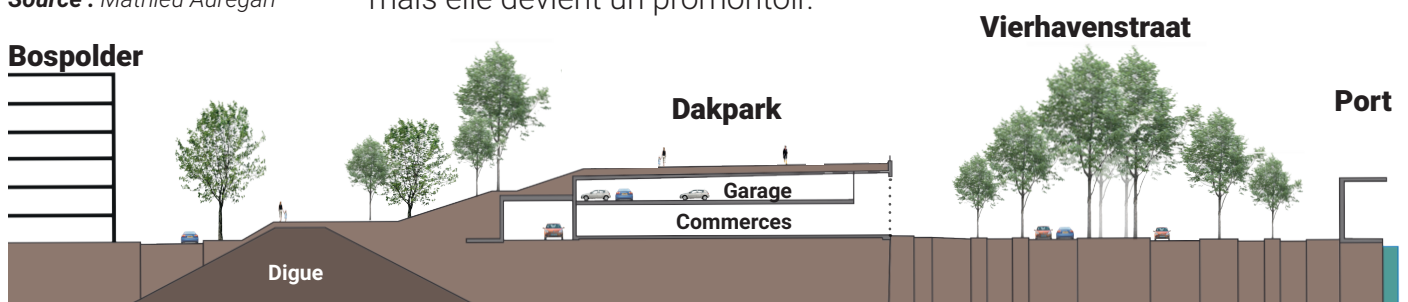
III.2.C. Analyse par observation du paysage in situ.

D'autres projets de digues sont pensés dans la ville et s'inscrivent dans le programme d'adaptation aux changements climatiques. En effet la montée des eaux, la quantité d'eau provenant de la rivière augmentant et les précipitations de plus en plus fortes, font des digues un élément de protection à haut potentiel. Les digues font parties de l'identité du paysage de Rotterdam, elles sont présentes depuis la naissance de la ville et s'inscrivent intégralement à la culture collective locale. Elles ont presque toujours eu pour rôle primordial la protection contre les inondations et l'implantation de l'Homme dans ce paysage de delta. À ce jour et pour répondre aux changements globaux ces digues sont vues comme un potentiel et une opportunité de les rendre multiusage. En effet, ces dernières deviennent le support de développement urbain : intégration d'espace public, intégration de bâtiment, de parc, etc. Ce «concept» permet de renforcer la durabilité de la ville ainsi que la résilience engendrant des plus-values économiques, écologiques, de qualité de vie.

Comme dit précédemment, les digues peuvent devenir multiusage, c'est-à-dire qu'elles vont conserver leur fonction première : la protection. Elles vont également pouvoir accueillir des parcs comme le Dakpark, des pistes cyclables et piétonnes permettant la sécurité des usagers puisqu'ils sont en surplomb par rapport à la circulation (fig 3.22). L'accès sur les digues va également permettre aux citoyens de se réapproprier le paysage portuaire. Ainsi ce n'est plus une «frontière» entre l'intérieur de la digue et l'extérieure mais elle devient un promontoir.

Figure 3.18. Coupe allant du quartier Bospolder, passant par le Dakpark et allant jusqu'au port

Source : Mathieu Aurégan



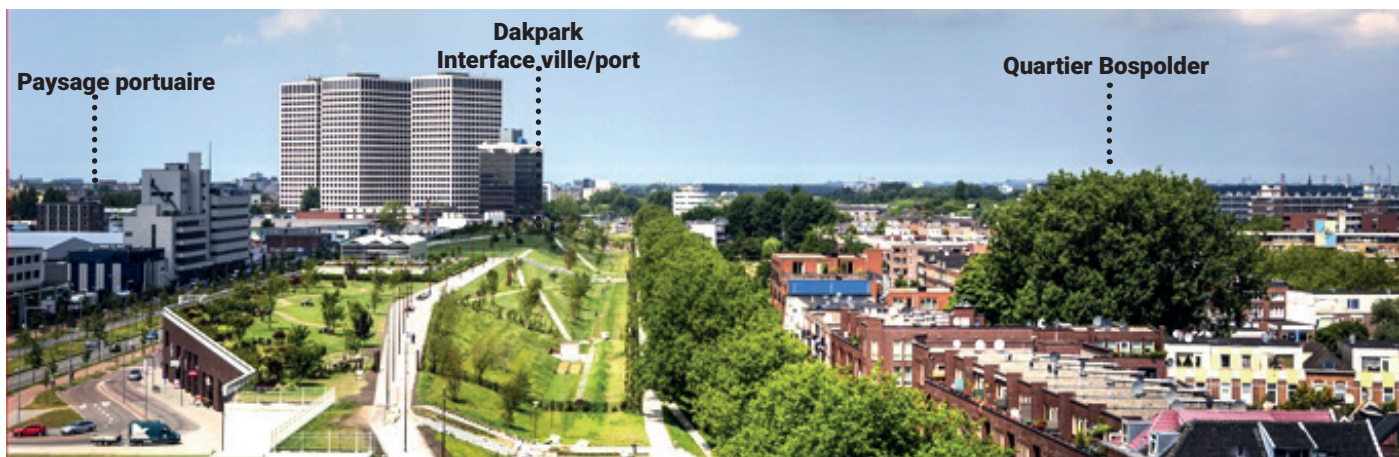


Figure 3.19. Vue panoramique du Dakpark

Source : Frank Hanswijk



Figure 3.20. En haut du Dakpark, nous constatons la proximité du paysage portuaire

Source : Mathieu Aurégan



Figure 3.21. Serre et jeux d'eau du Dakpark : Le parc est conçu pour rappeler l'importance de l'eau dans ce nouveau paysage

Source : Mathieu Aurégan

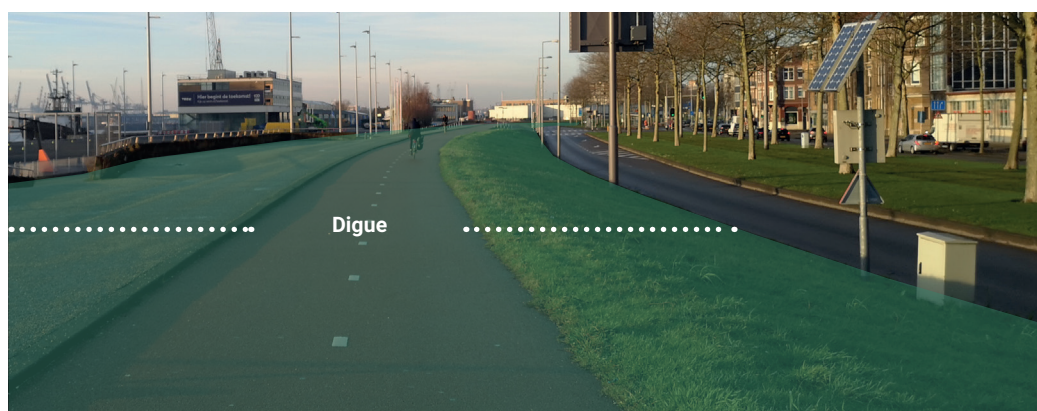


Figure 3.22. Intégration de la mobilité douce sur les digues : sécurité et réconciliation avec le paysage portuaire

Source : Mathieu Aurégan

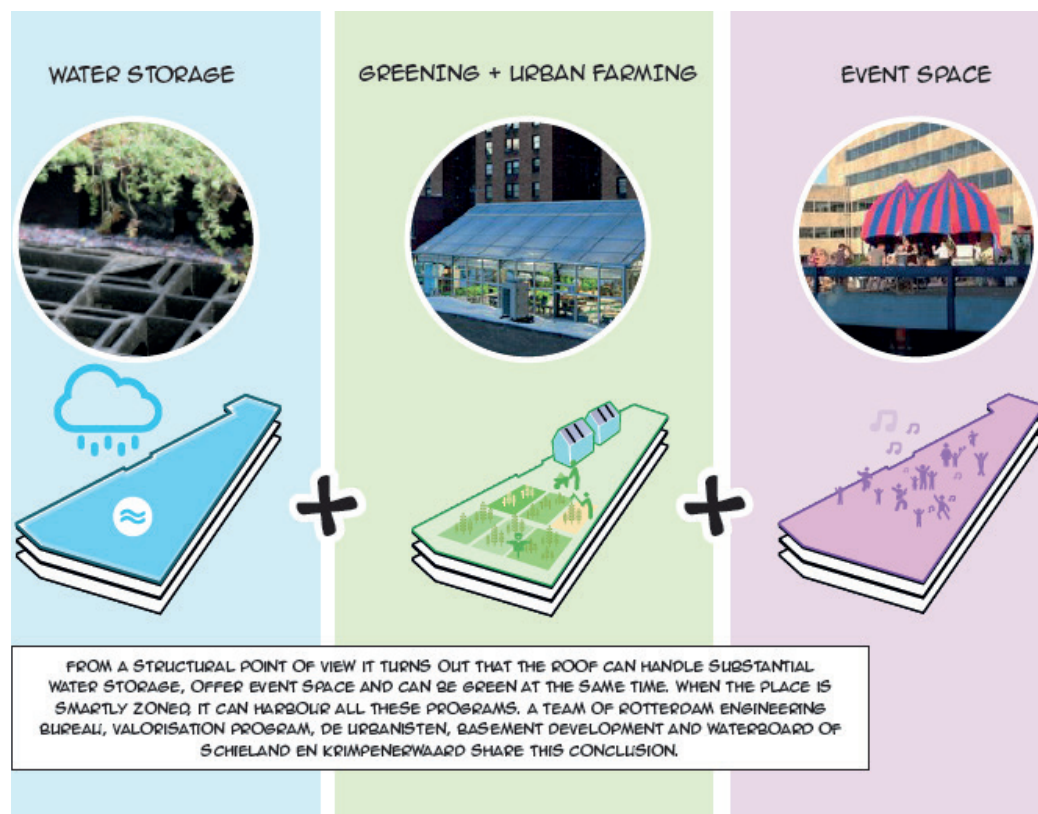


Figure 3.23. Schéma des plus values des «toitures vertes» applicable au projet du Dakpark

Source : De Urbanisten

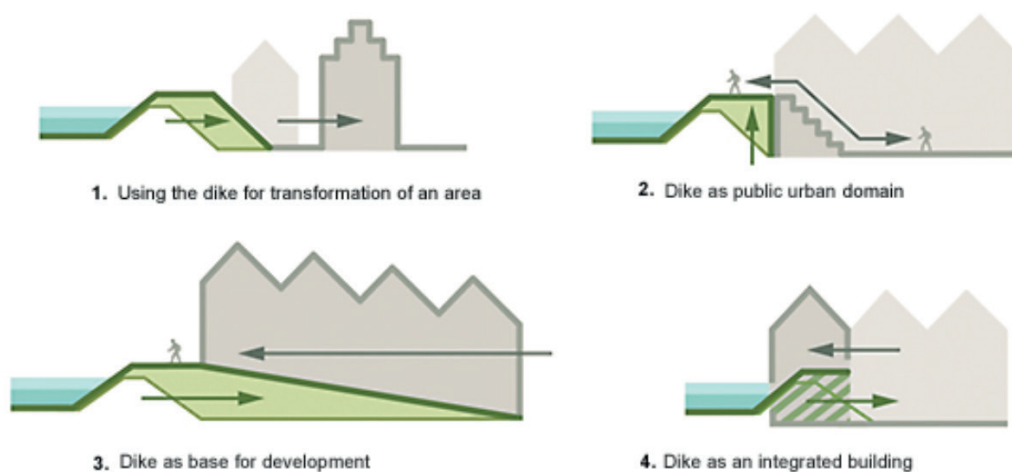


Figure 3.24. Schéma de l'évolution potentielle des digues comme support

Source : De Urbanisten

Sur la ville de Rotterdam, quatre stratégies sont développées en prenant en compte les digues comme support de développement (City of Rotterdam, 2013) :

1. la digue comme instrument de transformation des zones;
2. la digue comme domaine public urbain;
3. la digue comme base du développement urbain;
4. la digue intégrée dans un bâtiment.

Ces quatre stratégies augmentent en degré de complexité. Elles sont des outils qui permettent aux différents acteurs de comprendre tout le potentiel qu'une approche intégrée peut apporter à toutes les parties concernées. Ce projet est conçu dans le cadre d'une vaste série d'ateliers menés et élaborés par l'agence De Urbanisten (De Urbanisten, 2009).

III.3. MUSEUMPARK GARAGE (ÉCHELLE SPÉCIFIQUEMENT ARCHITECTURALE).

III.3.A. Récolte de données.

Dans la partie III.2, nous avons pris connaissance d'un système de porosité verticale : le toit du Dakpark. La ville a développé ce concept sur d'autres projets où l'eau «s'infiltre» dans le sol. Le Museumpark garage est un parking sous-terrain pouvant accueillir 1000 voitures. Tout comme la digue (protéger) du Dakpark, la fonction première de ce projet est le stationnement. Cependant, dans le projet, l'idée de rendre l'infrastructure avec plusieurs usages a été appliquée en transformant ce garage en un réservoir d'eau lors de fortes pluies : c'est le plus grand réservoir d'eau souterrain de Rotterdam.

Dans «Waterplan 2 Rotterdam», les autorités municipales de Rotterdam ont exposé les grandes lignes de leur plan pour faire face à la mission de l'eau de la ville. Différents scénarios ont été étudiés pour le centre-ville, afin de réaliser des capacités de stockage supplémentaires. La réalisation d'un stockage souterrain relié au nouveau parking sous la place Museumplein s'est avérée être l'un des scénarios. Le stockage souterrain d'eau («OWB», pour le *waterberging ondergrondse*) a un volume de 10 000 m³ et a été intégré dans la conception du parking. Il s'agit d'un réservoir séparé, dont une partie utilise des espaces résiduels sous le parking (*fig. 3.26*), tels que l'espace sous les entrées et les sorties. Avec la réalisation de ce réservoir, Rotterdam a créé 12% de la capacité de stockage d'eau nécessaire au centre-ville. Le coût de l'installation était de 7,2 millions d'euros (*Nooijer, 2011*). Lors de fortes pluies le réservoir va se remplir, permettant d'éviter les inondations et la saturation des réseaux avec un dimensionnement devenu trop faible. Après l'intempérie le réservoir va se vider progressivement à mesure que les réseaux vont désaturer.

Fonctionnement de l'OWB

Lorsqu'il pleut fort, l'OWB (stockage souterrain de l'eau), peut être complètement rempli en environ 30 minutes. Ensuite, la moitié du contenu de l'égout dans le centre de Rotterdam sera vidée dans l'OWB. L'égout dans les rues a suffisamment d'espace pour traiter l'eau de pluie. Si le système d'égout est à nouveau vide, deux pompes assurent le pompage de l'OWB. L'eau retourne ensuite à l'égout et via les égouts, elle retourne au traitement des eaux usées. Les pompes ont une capacité de 900 mètres cubes par heure, ce qui signifie que l'OWB est à nouveau vide après environ 10 heures (*Municipalité de Rotterdam*)



Figure 3.25. Museumpark garage : stationner et collecter l'eau

Source : Municipalité de la ville de Rotterdam

Système de rinçage

L'OWB est ensuite «rincé avec un système de rinçage sous vide. Avec ce système, 40 000 litres d'eau sont libérés en même temps. Cette eau s'écoule à travers le bac comme un raz de marée et emporte tous les sédiments. Ensuite, l'OWB est prêt pour la prochaine pluie. Il y a une zone où il est possible d'observer le réservoir d'eau» (*Rotterdam.nl*, 2019).



Figure 3.26. Intérieur du Museumpark garage.

Source : Jannes Linders

Figure 3.27. Localisation du Museumpark garage à l'échelle de Rotterdam

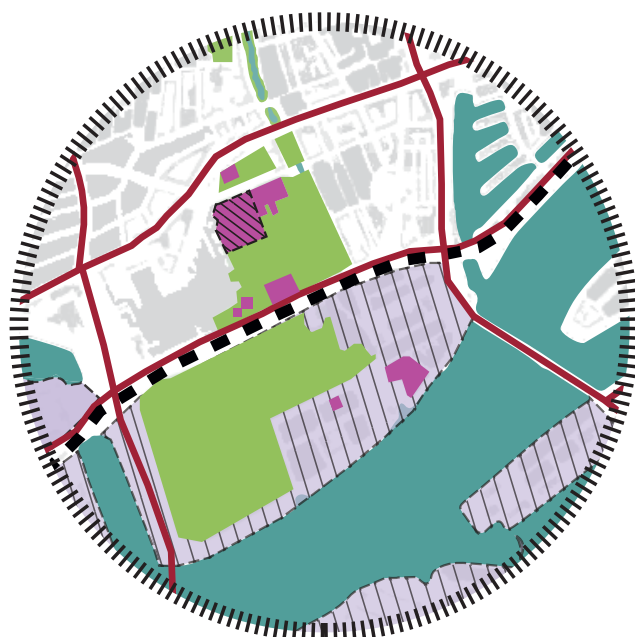
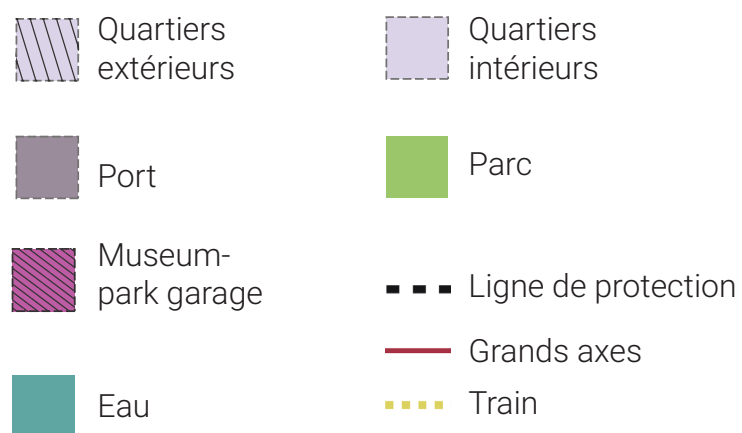
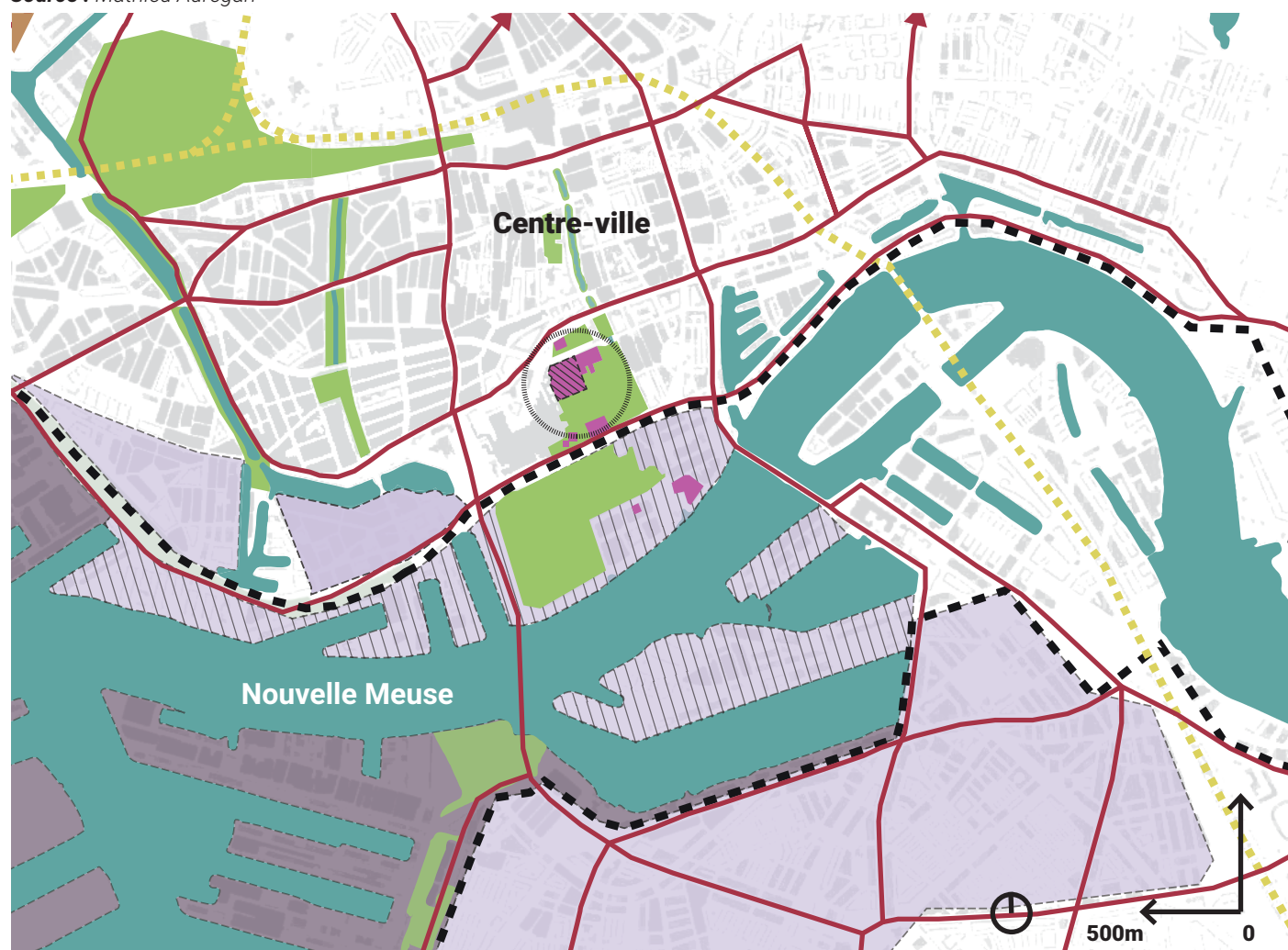
Source : Mathieu Aurégan

III.3.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.



Figure 3.28. Comprendre comment le projet Museumpark garage connecte le quartier des musées

Source : Mathieu Aurégan



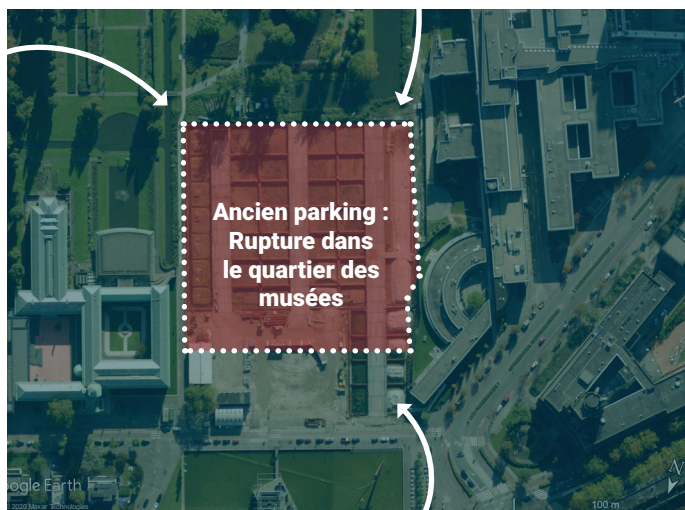


Figure 3.29. Museumpark garage (2007)

Source : Mathieu Aurégan sur base de Google Earth pro

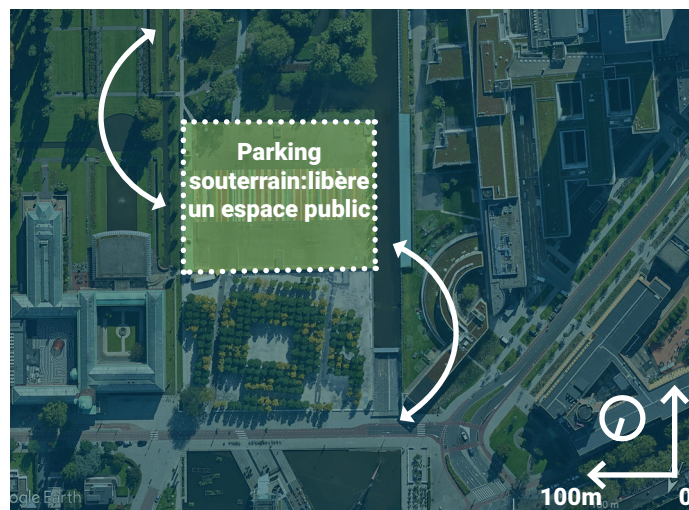


Figure 3.30. Museumpark à ce jour (2020)

Source : Mathieu Aurégan sur base de Google Earth pro

Le projet ne semble pas, au premier abord, avoir de réel impact sur le paysage. Pourtant en analysant la carte (fig 3.28), nous constatons que le Museumpark fait en réalité partie d'un quartier avec plusieurs autres musées. Nous observons également que plusieurs parcs existent entre ces musées. Avant la réalisation du projet, le parking «aérien» se trouvait au centre des musées et était une rupture dans l'espace public. En enterrant le parking, le musée s'est alors vu offrir une large dalle à ses abords, connectant à la fois les musées entre eux mais également les quartiers environnants (MVRDV).

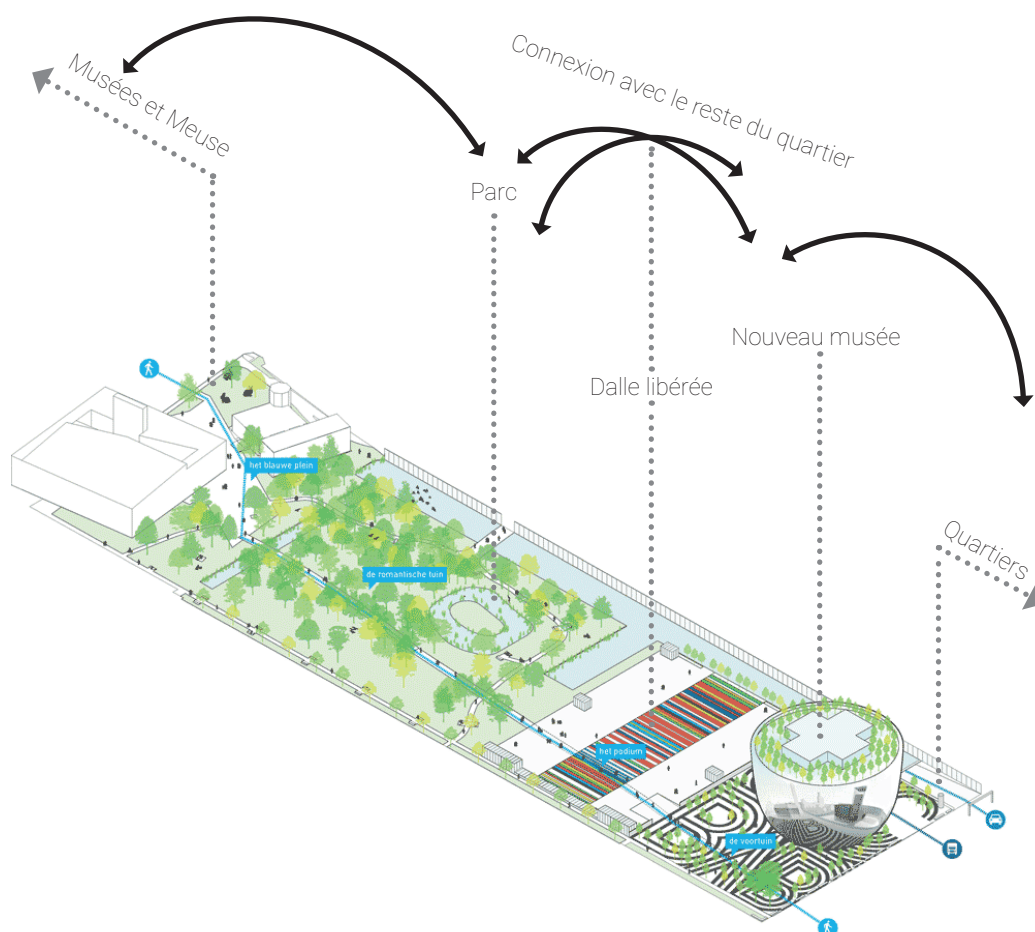


Figure 3.31. Museumpark garage (2018)

Source : MVRDV et Mathieu Aurégan

III.3.C. Analyse par observation du paysage in situ.

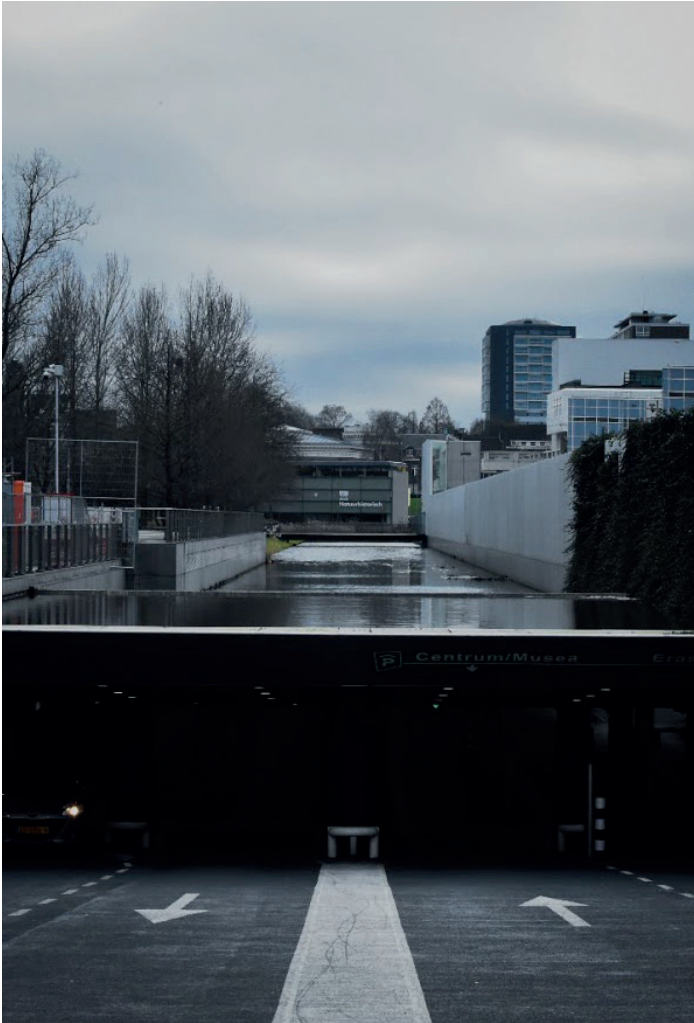


Figure 3.32. Museumpark garage

Source : Mathieu Aurégan

Malgré qu'au premier abord on ne se rende pas compte du concept de récupération des eaux de pluies, sur la photographie (fig. 3.32), nous constatons que lors de la conception, un rappel par le biais d'un miroir d'eau a été installé au dessus du parking. Ainsi, on ne rentre plus dans un parking classique mais on rentre sous l'eau. Les alentours du musée sont conçus par de nombreux jeux d'eau rappelant l'identité du paysage de Rotterdam.

Le parking étant souterrain, il permet d'avoir une large dalle sur l'espace public, permettant aux usagers de s'appropriier l'espace, notamment en skatepark. À noter aussi que le parking intérieur est adapté aux piétons en favorisant au maximum l'entrée de la lumière naturelle.

Tous les alentours du parc, ainsi que l'architecture rappellent l'eau : la façade vitrée du nouveau musée, les pièces d'eau, etc.

Ainsi sur l'ensemble de la ville, Rotterdam a mis en œuvre une variété d'actifs de drainage multifonctionnels, qui stockent l'eau pendant les pluies, mais peuvent autrement être utilisés à d'autres fins : «ville éponge». Le parking souterrain

ne contribue pas directement à agrémenter les usagers ou le «verdissement», mais fournit des contextes de l'approche intégrée d'atténuation des inondations mis en œuvre par la municipalité de Rotterdam.

En tenant compte de toutes ces initiatives, les défis de l'eau et les initiatives pour y faire face ont considérablement influencé l'habitabilité et les résultats de l'écologie au sein de la ville. Cela a également contribué positivement aux résultats sanitaires grâce à ces modifications des structures.



Figure 3.33. Dalle extérieure au dessus du parking

Source : Petra Blaisse

III.4. WATER SQUARE (2013) (ÉCHELLE SPÉCIFIQUE COEUR D'ÎLOT).

III.4.A. Récolte de données.

Situé à Benthemplein, cette place conçue par l'agence «De Urbanisten» est devenue un espace à la fois résilient aux inondations mais également un espace social et d'attrait touristique. Cet espace peut être vu comme un espace de médiation en sensibilisant la population, les touristes ou autres visiteurs à l'importance de gérer les eaux.



Figure 3.34. Water Square inondé

Source : De Urbanisten

Benthemplein sépare le quartier Agniesebuurt et le centre moderne de Rotterdam. Agniesebuurt, est l'un des plus petits quartiers du nord de la ville et est densément peuplé (XIXe siècle). Les bâtiments qui encadrent la place datent du XXe siècle. L'un d'eux accueille des bureaux, des écoles (école de graphisme), un gymnase, un théâtre. On y trouve aussi une église datant du XIXe siècle, autant d'éléments créant une centralité sur cet espace. Pourtant cet espace interstitiel est victime de l'implantation des bâtiments qui n'ont pas été réfléchis dans leur ensemble, laissant un espace peu convoité, voir mal fréquenté.

Aujourd'hui cette place est connue sous le nom de «Waterplein» ou «Watersquare» en raison de trois bassins semblables à des piscines, pouvant se remplir lors de fortes pluies. En majeure partie du temps ces bassins sont asséchés offrant alors un espace public propice à un skate-park, espace de loisirs, théâtre de plein air, etc. Selon De Urbanisten : «Le carré d'eau peut être compris comme une double stratégie. Il rend l'argent investi dans les installations de stockage d'eau visible et agréable. Il génère également des opportunités pour créer une qualité environnementale et une identité dans les espaces centraux des quartiers» (De Urbanisten, 2013).

Le projet a été conçu par démarche citoyenne avec la communauté locale par la succession de workshop. Suite à ces ateliers, les groupes de travail se sont entendus sur le fait que l'eau doit être l'élément dynamique du lieu même si elle n'est pas toujours présente, elle doit être ressentie (De Urbanisten, 2013).

Les systèmes de gouttières en acier inoxydable sont pensés comme structure pour le skate-park et pour transférer les eaux dans le bassin. Tous les éléments d'eau répondent au même langage de design : les gouttières sont en surface métallique et les espaces inondables sont de tons bleus. Les anciens arbres ont été conservés et entourés de massif (seule zone d'infiltration directe).

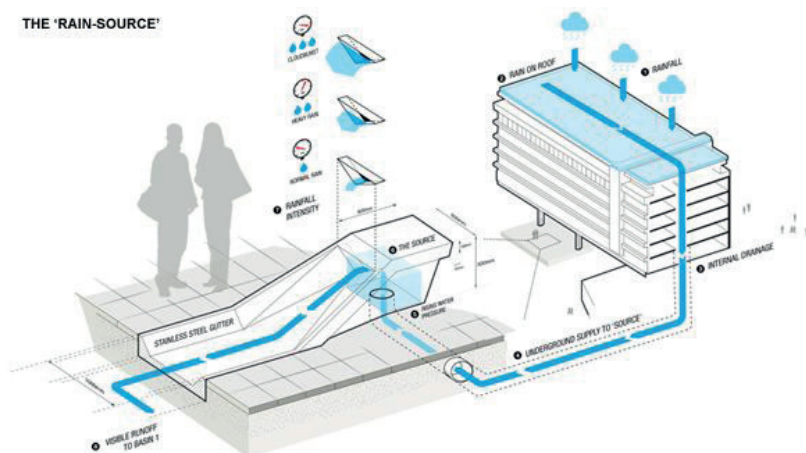


Figure 3.35. Schéma de fonctionnement

Source : De Urbanisten

Les bassins ont des profondeurs différentes selon la «gravité» des précipitations. Ils ne se remplissent pas de la même manière. Sur les trois bassins, un seul est plus profond. Ainsi, les deux bassins les moins profonds récoltent les premières pluies. Le troisième, se rempli par système de trop plein des deux précédents (De Urbanisten, 2013).

Suite aux événements climatiques, les deux bassins peu profonds se déversent dans un dispositif d'infiltration sous terrain, permettant aux eaux de retrouver les eaux souterraines. En permettant un équilibre des eaux souterraines, la ville peut alors faire face non pas seulement aux événements d'inondations mais aussi aux périodes de sécheresse. Comme dit précédemment, nous allons subir des quantités de précipitations égales à celles actuelles mais sur des temps plus courts et donc une quantité plus grande sur un même temps T. Ce phénomène va donc entraîner une saturation de nos systèmes pluviaux. Ces phénomènes vont être accompagnés de fortes sécheresses nocives à nos écosystèmes. Ainsi il ne faut pas seulement lutter et évacuer les eaux précipitées mais il faut aussi pouvoir les stocker pour des périodes plus sèches. La ville est alors résiliente et par la même durable. Le dispositif mis en place dans ce projet devrait donc approvisionner les nappes permettant d'alimenter la végétation urbaine pouvant contribuer aux îlots de chaleurs (De Urbanisten, 2013).

L'eau du bassin profond est récupérée par «le système d'eau libre» de la ville et ne rejoint jamais les eaux grises (égouts). Le système d'égouttage des eaux usées est alors «soulagé». En séparant progressivement à l'échelle locale les eaux pluviales des eaux grises, le système évolue dans un plus grand ensemble, vers une amélioration de la qualité globale des eaux libres de la ville (De Urbanisten, 2013).

III.4.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.

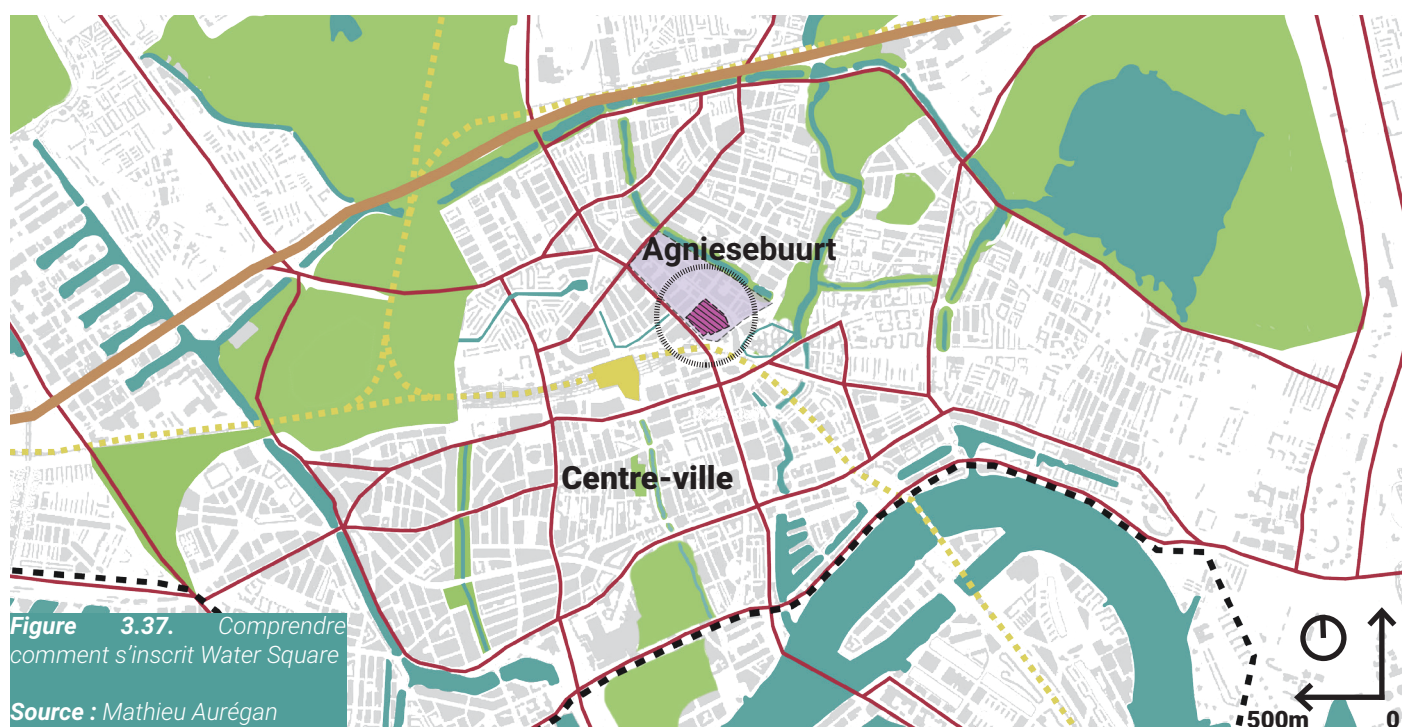
Figure 3.36. Localisation de Watersquare à l'échelle de la ville











Source : Mathieu Aurégan



Figure 3.37. Comprendre comment s'inscrit Water Square

Source : Mathieu Aurégan



- | | |
|---|--|
|  Nouveaux quartiers extérieurs |  Quartiers intérieurs |
|  Port |  Parcs |
|  Water square |  Ligne de protection |
|  Eau |  Grands axes |
|  Couronne |  Train |

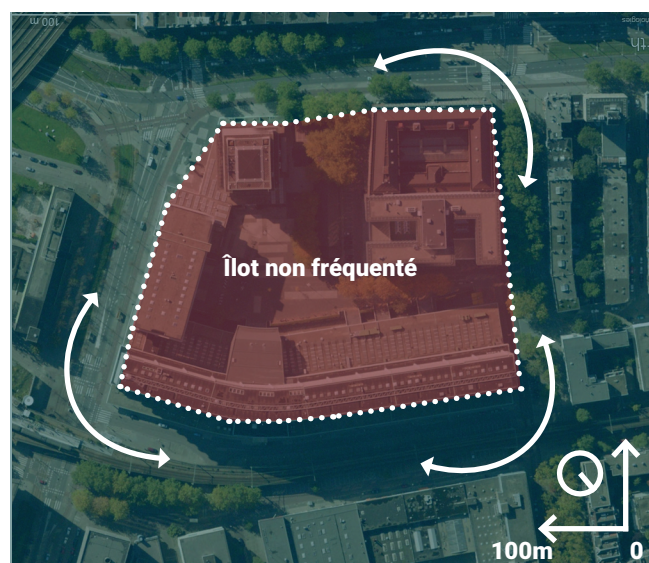


Figure 3.38. Watersquare avant projet (2007)

Source : Mathieu Aurégan sur base de Google Earth pro

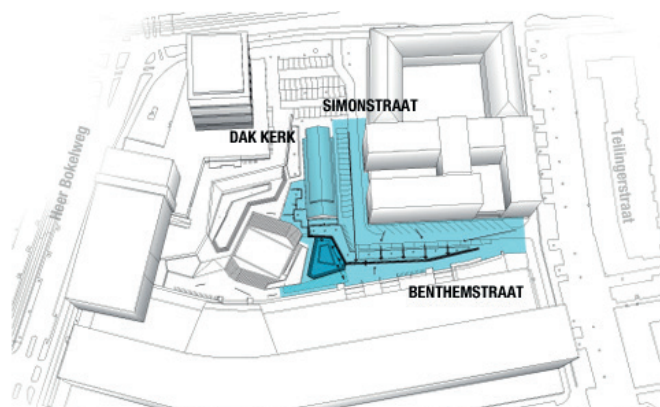
Figure 3.39. Watersquare plan du projet (2012)

Source : De Urbanisten, 2013

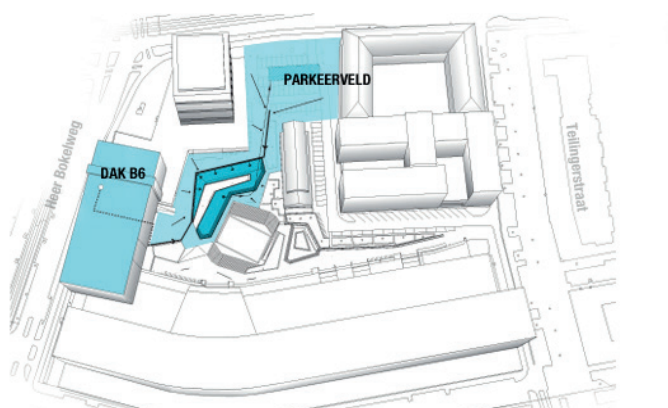


Le projet watersquare a pour objectif de traiter les eaux des bâtiments du coeur d'îlot. Pourtant, en comparant les deux vues aériennes, nous constatons que l'espace de projet n'est pas plus poreux qu'en 2007 (Fig. 3.38, p. 68). Les surfaces imperméables sont sensiblement les mêmes. L'eau est seulement ralentie et stockée pour ne pas saturer les réseaux d'eau de la ville.

1.



2.



3..

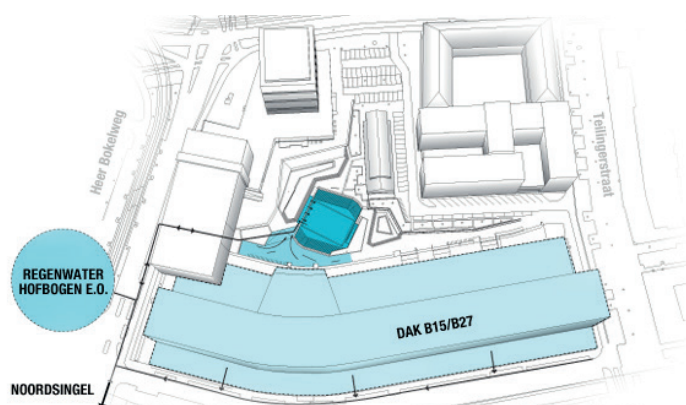


Figure 3.40. Schéma de répartition des eaux de pluies de toitures dans les bassins du parc

Source : De Urbanisten, 2013

Le projet «Water square» présenté précédemment a été le prémice d'un projet de plus grande envergure : Le point de départ d'une diffusion du projet dans le quartier de Benthemplein. Ainsi d'autres espaces du quartier se sont métamorphosés en collaboration avec les habitants de Benthemplein. Par ex : le dépavage de la place pour planter et permettre l'infiltration de l'eau de pluie et de ruissellement (fig 3.42 et 3.43). À l'origine ce sont deux parkings et un large trottoir qui ont été transformés en jardin de pluie. Ces jardins ont été réalisés avec les habitants du quartier en seulement deux jours (dépavage et plantation). Ainsi ce jardin contribue à la réduction des îlots de chaleurs mais également la gestion des eaux (De Urbanisten, 2013).

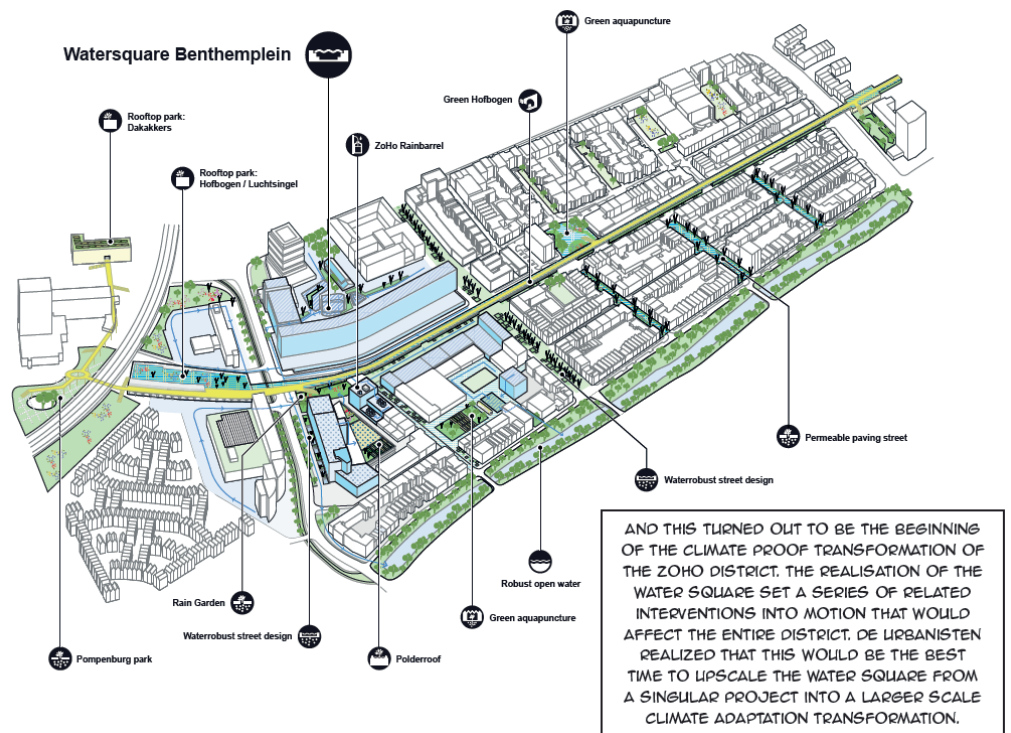


Figure 3.41. Schéma des projets interconnectés dans le quartier

Source : De Urbanisten



Figure 3.42. Collage du projet ZOH0 (Benthemplein)

Source : De Urbanisten



Figure 3.43. Photo du projet ZOH0

Source : Mathieu Aurégan

III.4.C. Analyse par observation du paysage in situ.

Ma première impression en parcourant le site fut un sentiment d'enfermement. Celui-ci est accentué par l'aspect minéral de la place qui est assez sombre. Lorsque nous parcourons l'espace public, plusieurs éléments sautent aux yeux : il y a une présence assez forte de déchets, d'éléments organiques morts (feuilles), etc. Nous pouvons donc nous demander comment se vit réellement la place lorsqu'elle s'inonde dans les bassins imperméables ?

L'espace est une invitation pour les usagers qui le côtoient à réfléchir aux risques d'inondations dans la ville et à la préoccupation majeure de traiter ce problème. C'est selon moi un projet didactique qui a d'ailleurs permis le développement du projet ZOHO sur le reste du quartier.

Contrairement à d'autres projets, à part la volonté de créer un nouvel espace public, l'objectif est de traiter l'eau des toits. La multifonctionnalité de l'espace aurait peut-être pu être plus poussée, à moins que pour finir, le projet ZOHO soit peut-être un seul et même projet à l'échelle du quartier, d'où l'importance de varier les échelles spatiales (fig. 3.41).

Toutefois, les visites de terrains ont été réalisées cet hiver, ce qui explique peut-être l'espace sombre, les végétaux étant peu présents à cette période ont peut-être renforcé ce ressenti. Ce genre de projet dans des coeurs d'îlots sont de bonnes alternatives, mais les bassins pourraient être réfléchis de manière à pouvoir infiltrer l'eau et la stocker temporairement et ainsi réduire les surfaces minérales.

Figure 3.44. Photo des massifs aux printemps

Source : De Urbanisten



Figure 3.45. 1. Collecte des eaux de surface ; 2. Collecte des eaux de toitures ; 3. Gouttières inox

Source : Mathieu Aurégan



Figure 3.46. 1. Photographie d'un des bassins qui accueille un terrain de jeu

Source : Mathieu Aurégan



III.5. VILLE FLOTTANTE : FLOATING PAVILION ET SQUARE ISLAND (ÉCHELLE D'UN BASSIN PORTUAIRE).

III.5.A. Récolte de données.

Cette structure appelée «Floating Pavilion» (Pavillon flottant), financée en partie par des fonds européens de développement régional de la Commission européenne, est innovante, durable et flexible (*Floating Pavilion*, 2019). C'est une architecture qui se trouve sur l'un des bassins du port de Rijnhaven, sur la Meuse. Ce bassin a été sélectionné selon plusieurs critères : sa situation «économique», les vagues modérées présentes et le changement d'usage nautique du Rijnhaven par les bateaux de navigation intérieure est en baisse depuis que le port est destiné à être un futur port de plaisance (*Floating Pavilion*, 2019). En effet, le bassin fait partie d'un ensemble moderne : il est entouré par de nombreux bâtiments récents ainsi que par des quartiers en revitalisation. Ce bassin est alors un endroit idéal pour développer ce type d'innovation.



Figure 3.47. *Floating Pavillon :*
Un nouveau paysage portuaire se dessine

Source : Mathieu Aurégan

Le projet s'inscrit dans le groupe de travail «Rotterdam Climate Initiative» qui vise à construire avec le changement climatique dans des zones qui se trouvent à l'extérieur des digues de la ville (*Floating Pavilion*, 2019). Il a été conçu par l'équipe locale DeltaSync et PublicDomain Architects et construit par Dura Vermeer (*Insideflows*, 2015). L'architecture en elle-même se compose de trois sphères transparentes interconnectées, dont la plus grande a un rayon de 12 mètres (*Floating Pavilion*, 2019).

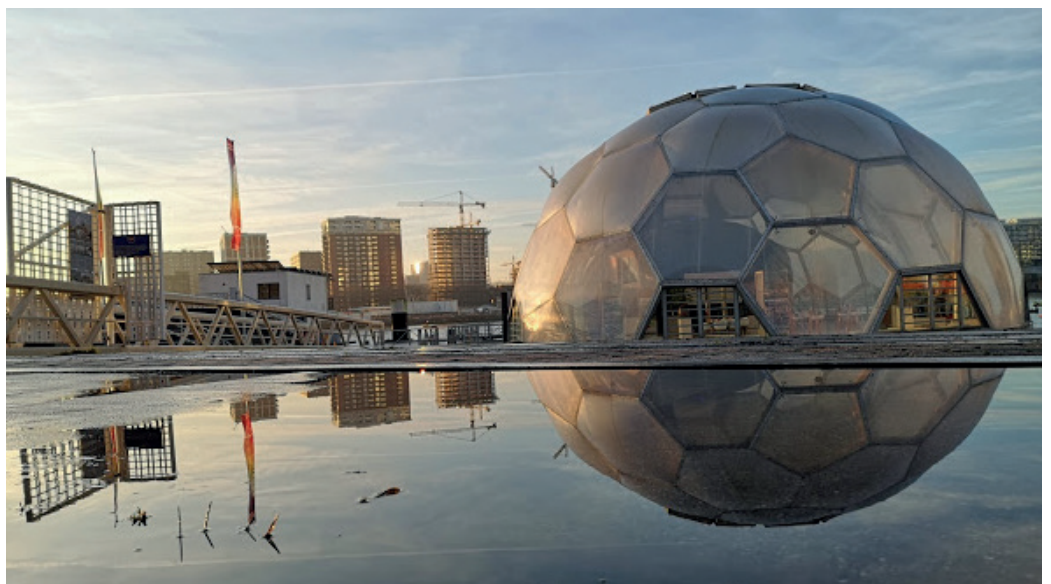


Figure 3.48. Même sur terre, la moindre flaque d'eau rappelle le paysage aquatique de Rotterdam

Source : Mathieu Aurégan

Ce projet est le premier de son genre à Rotterdam, traduisant un développement spatial sur l'eau mais non fixe car le projet est déplaçable. Le pavillon a pour objectif de s'adapter aux changements globaux, ce qui signifie qu'il doit participer à une ville résiliente et plus durable. L'architecture étant flottante, elle va pouvoir fluctuer selon la montée/descente des eaux. De plus, elle se veut également réductrice des gaz à effet de serre.

Le pavillon est auto-suffisant puisqu'il fonctionne à l'énergie solaire et la gestion du chauffage est intelligente : la structure ne chauffe que les pièces utilisées. Le bâtiment est chauffé à l'énergie solaire et refroidi par les eaux de surface (*Floating Pavilion, 2019*). Egalement, le matériau «film ETFE» constituant la pavillon flottant est entièrement transparent, favorisant la lumière naturelle et est environ 100 fois plus léger que le verre, ce qui limite le besoin d'une fondation flottante épaisse (*Floating Pavilion, 2019*). Les eaux usées internes sont purifiées avant d'être renvoyées dans le bassin de Rijnhaven.

A terme, Rotterdam a la volonté de développer le concept afin de créer des quartiers entiers de ce type, permettant de s'adapter à la montée des eaux et donc de résoudre le problème d'inondation. En développant le concept sur le bassin, la ville pourrait continuer de dynamiser le développement économique du quartier (habitat, bureau, commerce, etc.). Le gros atout de ce projet c'est qu'il ne modifie pas de manière drastique le paysage. Nous sommes en présence de constructions adaptatives : pas d'imperméabilisation et artificialisation des sols, peu d'impact sur la biodiversité présente sur les bassins. En imaginant un quartier complet la porosité horizontale pourrait être poussée à son paroxysme.

Autour du pavillon flottant se trouve le «Square Island». Il s'agit d'îlots flottants et insubmersibles végétalisés (*fig.3.49*).

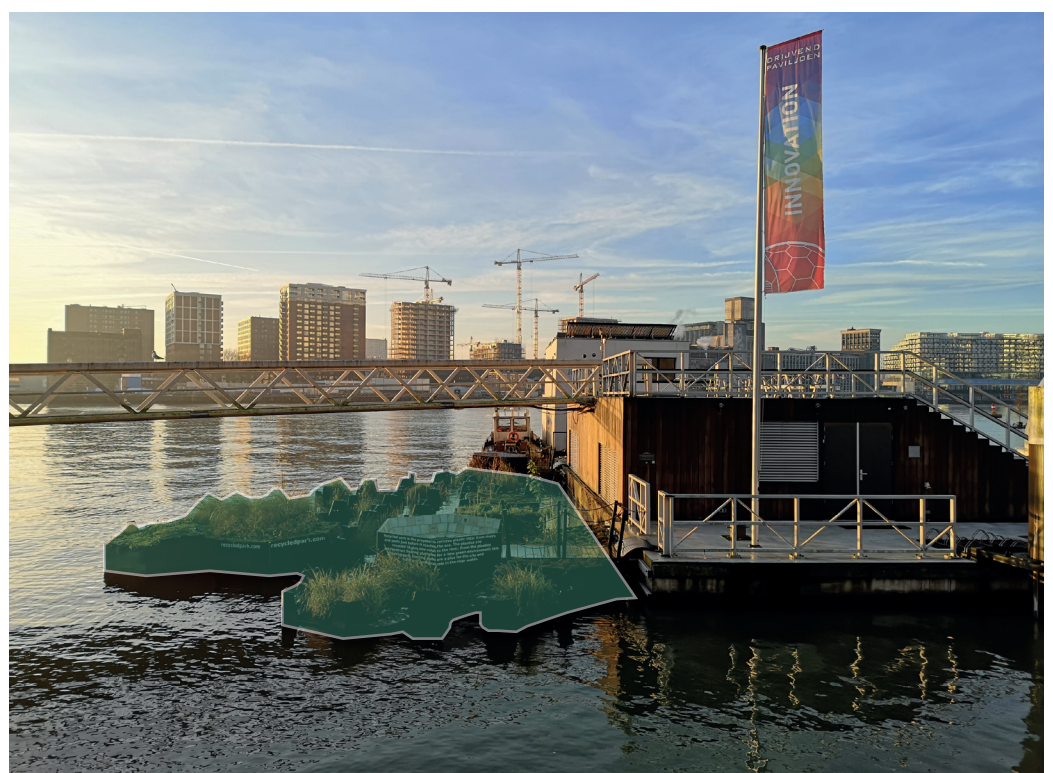


Figure 3.49. En bleu opaque, les «Square Island»

Source : Mathieu Aurégan

III.5.B. Analyse par observation du paysage depuis des vues aériennes.

Figure 3.50. Localisation de Floating pavillon à l'échelle de la ville

Source : Mathieu Aurégan

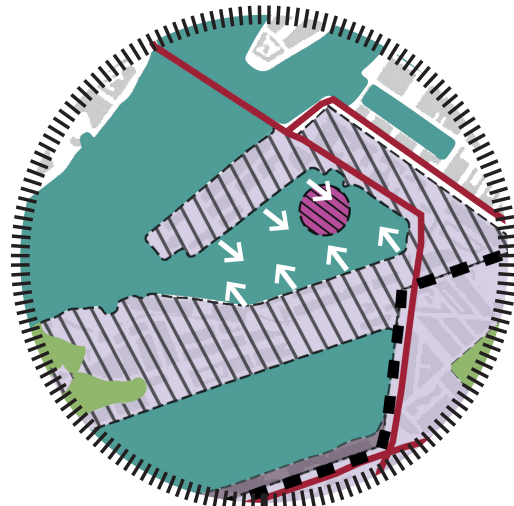


Figure 3.51. Le bassin Maashaven accueille le projet Floating pavillon

Source : Mathieu Aurégan



- | | |
|---|--|
|  Nouveaux quartiers extérieurs |  Quartiers intérieurs |
|  Port |  Parcs |
|  Floating Pavilion |  Ligne de protection |
|  Eau |  Grands axes |
| |  Train |

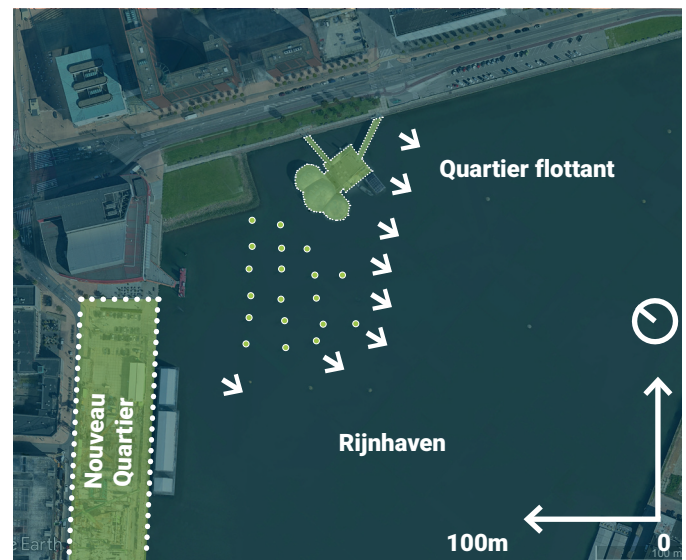
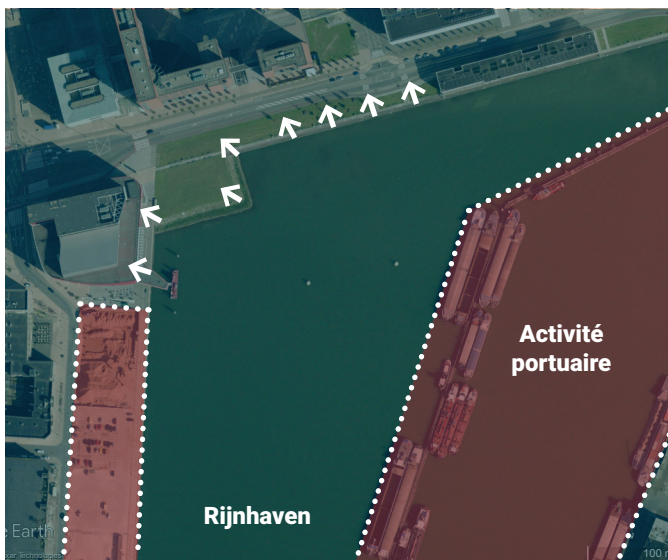


Le changement de vocation du bassin Rijnhaven va permettre d'être un moteur dans le dynamisme du quartier.

En effet, du fait que le port s'est déplacé en dehors de la ville, le bassin a perdu sa vocation commerciale portuaire initiale. Il devient alors une friche. L'un des atouts de Rijnhaven est que la Meuse n'a pas de grosse influence de courant dessus. Ainsi l'eau reste stable et calme. Le projet Floating Pavilion ambitionne de réinvestir le bassin Rijnhaven comme nouveau quartier. Il affiche une volonté de la ville de lier ses différents paysages en se reconnectant à l'ancien port (*Insideflows*, 2015). Sur le quartier alentour nous observons que les concepts d'agricultures urbaines et de porosité verticale sont intégrés sur les nouvelles constructions. Ces observations laissent à penser que le quartier futur veut combiner différentes méthodes liées à l'eau.

À droite **Figure 3.52.** Floating pavillon avant projet (2007) et à droite **Figure 3.53.** Floating pavillon à ce jour (2020)

Source : Mathieu Aurégan sur base de Google Earth pro



III.5.C. Analyse par observation du paysage in situ.

Si nous nous intéressons au concept de porosité horizontale énoncé précédemment, nous constatons que l'eau rentre dans la ville par des canaux mais que son cheminement est guidé. Mais grâce au concept de quartier flottant, l'eau sera plus importante dans la ville puisque c'est la ville qui flottera et s'adaptera.



Figure 3.54. Photographie d'un canal

Source : Mathieu Aurégan

Les canaux sont soit canalisés (fig.3.54) lorsqu'ils permettent la navigation fluviale («kanal»), soit bordés d'espaces paysagers («singel») avec des berges et des zones végétalisées bordées d'arbres (fig.3.55), ou même des parcs. Les canaux et leurs abords (parcs ou «espace de recul») permettent d'anticiper les fluctuations de la rivière, de l'influence des marées ascendantes et descendantes ainsi que la captation des eaux de pluies.

Figure 3.55. Photographie d'un singel à Rotterdam

Source : Mathieu Aurégan.



Tous ces aménagements tournés vers l'eau sont générateurs de l'amélioration du cadre de vie des habitants. En effet, les canaux et les parcs permettent, d'une part, le développement économique par l'activité portuaire, le tourisme, la dynamisation des quartiers ou encore le tourisme, D'autre part, ils favorisent le développement de la biodiversité au sein de la ville par la présence caractéristique d'une richesse faunistique et floristique propre au milieu aquatique.

Figure 3.56. Square Island

Source : Mathieu Aurégan



Pour revenir au Square Island, en tant qu'architectes du paysage, nous pouvons nous poser des questions quant à la durabilité de ces parcs flottants, notamment concernant les arbres solitaires. Les visites de terrains réalisées cette hiver n'ont pas permis d'évaluer, depuis le rivage, la possible bonne santé des arbres. Nous pouvons également nous questionner sur le développement de ces arbres à long terme. Enfin, il serait intéressant de trouver un réel plan, quand à la réalisation de ces structures.

III.6. Conclusion

L'analyse de ces cinq projets de natures différentes a permis de faire une approche multiscalaire des solutions intéressantes pour que les villes deviennent résilientes aux inondations. L'importance de l'échelle permet de montrer que de petites interventions sont aussi importantes que des projets à plus grandes échelles et que les différents projets peuvent être complémentaires. Cette complémentarité me semble importante puisqu'elle va faire appel à des termes coopératifs. Certains projets sont peut-être à parfaire et pourtant ils participent à une démarche commune de recherche de solution d'adaptation. De plus, les programmes présentés au départ montrent la volonté d'étendre ces projets à l'international, malgré qu'ils ne soient pas encore assez connus de tous.

Figure 3.57. Tableau synthétique des projets présentés précédemment

Source : Mathieu Aurégan

Ce tableau propose de faire une synthèse des différents projets présentés (comme précisé dans la partie II.3.C). Cette synthèse s'appuie sur 4 axes de réflexions : les atouts, les faiblesses, les évolutions possibles ainsi que des remarques qui en découlent. Pour ce faire, nous avons choisi les 4 items suivant : impact social, impact économique, impact sur le paysage et sur les inondations.

	Atouts	Faiblesses	Evolutions possibles	Remarques
Projet 1 : Adaptation stratégique	<ul style="list-style-type: none"> • Crée du lien entre différents projets, • S'inscrit dans une vision globale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il diverge avec les stratégies du pays. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implique un grand nombre d'acteurs dans la recherche de solutions. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ce projet s'inscrit dans une approche globale de la ville, • Ce projet est un outil permettant d'ouvrir un débat entre les acteurs.
Projet 2 : Dakpark	<ul style="list-style-type: none"> • Crée une interface entre les quartiers et le port, • Crée une diversité d'activités économiques et sociales, • Protège les quartiers de la montée des eaux, • Propose une démarche participative des habitants • Propose un parc pour les habitants, • Est une invitation à découvrir le paysage portuaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il rend les commerces à l'intérieur de la digue vulnérables, • Il propose des grandes surfaces engazonnées qui sont un frein à la mise en place d'habitats. 	<ul style="list-style-type: none"> • Favorise possiblement l'implantation d'habitats sur le long terme, • Envisager la création d'un «talus» de protection entre le port et la digue afin de protéger les commerces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ce projet lie 2 paysages d'identités différentes, • Montre comment associer usage et paysage, • Ce projet est un modèle pour d'autres pays d'européen.
Projet 3 : Museumpark garage	<ul style="list-style-type: none"> • Libère de l'espace public, • Crée du lien entre les musées, • Permet de stocker et tamponner les eaux, • Redynamise un espace culturel. 	<ul style="list-style-type: none"> • La réalisation génère un coût important, • Propose un espace exclusivement artificiel, • Le garage stocke l'eau mais ne l'infiltre pas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réaliser d'autres parkings de ce type au bénéfice de l'expansion d'espaces publics. 	<ul style="list-style-type: none"> • Montre comment associer usage et paysage.
Projet 4 : Watersquare	<ul style="list-style-type: none"> • Contribue à une résilience sociale, • Tamponne les eaux de toitures, • Contribue à la résilience aux inondations, • Sensibilise le public aux enjeux des inondations 	<ul style="list-style-type: none"> • Propose un espace majoritairement imperméable, • Le square stocke l'eau mais ne l'infiltre pas, • Ne propose pas une diversité d'usages comme le Dakpark. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer plus de zones d'infiltrations. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prise de conscience pour les habitants du quartier, • S'inscrit dans un projet global du quartier (Projet Zoho), • Apporte une plus-value touristique.
Projet 5 : Floating pavillon	<ul style="list-style-type: none"> • Innovation et recherche • Semble s'adapter à la rivière 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de recouvrement important de l'espace aquatique. 	<ul style="list-style-type: none"> • En multipliant les structures 	<ul style="list-style-type: none"> • Stade expérimental • Attention aux risques d'extension de ce projet sur le milieu aquatique

PARTIE IV : DISCUSSION : LES ENJEUX DE RÉSILIENCE FACE AUX INONDATIONS DOIVENT S'INSCRIRE DANS UNE DYNAMIQUE SYSTÉMIQUE ET MULTISCALEIRE DE LA GESTION DES EAUX.

Comme nous l'avons évoqué dans l'état de l'art (partie I), le paysage urbain, notamment en Europe, a été pensé et construit afin de maîtriser et contrôler l'eau. À ce jour les stratégies évoluent vers des méthodes plus douces et adaptatives qui sont en adéquation avec des paysages poreux, perméables, etc. La ville de Rotterdam est classée comme ville résiliente et durable. En collaboration avec les acteurs locaux, ils ont réussi à rendre la ville attractive tout en répondant à ces problématiques. Par la diversité de ses projets autour de l'eau, ils réinventent et innovent de nouvelles manières de vivre le paysage de delta : digue multi-usage, garage réservoir, ville flottante, etc. Ces projets sont réalisés par des paysagistes impliqués dans la recherche de solutions et le partage de leur expertise à l'échelle internationale. Toutefois, il semble nécessaire de se demander si la ville de Rotterdam doit être considérée comme un « modèle » ou comme une ville « laboratoire » ? Est-ce que tous ces projets répondent à la résilience aux inondations ? Enfin, avons-nous assez de recul pour anticiper l'impact de ces projets sur les réels changements climatiques futurs ?

IV.1. DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS.

IV.1.A. Le modèle de Rotterdam permet une résilience globale tant au niveau économique, écologique et de la qualité de vie.

Les études de cas présentées dans la partie III (*Cf. PARTIE III : RESULTATS: Étude de projet multiscaleire*), ont démontré les nombreux avantages et opportunités qui sont conférés à ces projets. Cependant, ces derniers ayant pour objectif principal la gestion de l'eau, nous pouvons nous demander s'ils répondent à une résilience plus globale, amenant la ville à être plus durable?

Les études ont notamment montré qu'en permettant aux habitants d'être acteurs dans l'évolution de leur ville ou quartier, ceux-ci ont pu bénéficier d'un espace de vie adapté. Ces études révèlent également l'impact économique lié à l'évitement des sinistres produits par les inondations. En produisant une plus-value sur la qualité de vie des habitants, la ville devient ainsi très attractive. Cette attractivité, moteur de développement économique, permet à la ville d'être concurrentielle. La dernière plus-values et selon moi l'une des plus importantes est la biodiversité, notamment avec le concept «build with nature». En effet, elle a un rôle clef dans l'infiltration des eaux, la qualité de vie, la réduction des îlots de chaleurs, la stabilité des sols, la qualité de l'eau, la réduction des gaz à effet de serre, etc. et permet alors une résilience plus naturelle.

Toutefois, nous pouvons nous interroger sur l'efficacité de certains projets face à la venue d'un événement extrême. Par exemple, le Dakpark est une digue qui accueille des commerces. Si une tempête survenait et que le Dakpark devait servir de digue, ce qui est sa fonction première, toutes ces installations internes seraient détruites. Le coût économique serait alors plus élevé. Tout est question de mesure et d'échelle.

En effet, ces infrastructures installées actuellement dans la digue, génèrent une économie. Celle-ci sera-t-elle en capacité d'absorber les coûts de réparation engendrés par des événements extrêmes futurs ? Il serait intéressant d'évaluer les bénéfices /risques liés à la destruction des magasins au regard de la protection de la ville. Toutefois, comme nous l'avons abordé dans les parties précédentes, depuis des décennies, la ville a fait preuve d'une capacité à innover et à survivre. Nous pouvons supposer qu'elle conservera les solutions les plus viables au bénéfice d'une ville d'autant plus robuste.

Les projets présentent déjà aujourd'hui un grand nombre d'avantages et d'opportunités pour la ville. Cependant, face à des changements climatiques approximatifs, il est encore difficile de connaître la pertinence de chacun des projets tant dans leur singularité que dans une vision globale. Enfin, les projets de résilience aux inondations interviennent généralement dans des zones anciennement délaissées, inaccessibles, peu fréquentables, parkings faisant rupture, etc. Ils ont souvent pour objectif d'être vecteurs de lien dans le paysage urbain. Ces nouveaux milieux sont propices à la résilience globale du paysage (écologique, sociale et économique) permettant une ville plus durable.

IV.1.B. Le concept de ville «éponge» est-il réellement efficace?

Dans ce travail de fin d'études, tous les cas étudiés s'inscrivent dans le concept de ville éponge. Celui-ci consiste à maximiser le traitement des eaux sur place plutôt que de les transporter (ex : réseaux d'égouttage désaturés). Ce concept se décline en deux axes : la porosité horizontale et la porosité verticale.

La porosité horizontale va avoir pour but de donner plus d'espace aux fleuves afin qu'ils puissent poursuivre leur cycle naturel de variation et de fluctuation. Cela implique que la ville doit avoir un tissu urbain poreux permettant à l'eau d'entrer dans la ville. C'est le cas notamment pour le projet de la requalification des berges et des digues ainsi que pour le projet de quartier flottant. La porosité horizontale permet d'allier deux milieux : le milieu aquatique et le milieu urbain. En créant un espace propice à une résilience naturelle, le milieu urbain végétalisé va permettre le développement d'une richesse en biodiversité contrairement à un milieu artificiel qui est souvent imperméable. Ce milieu terrestre lié au milieu aquatique va accueillir une diversité d'espèces et de strates. Le milieu aquatique va accentuer la diversité d'espèces et d'habitats. Un nouveau milieu va se dessiner : l'espace transitoire entre terre et eau. Il va permettre le développement d'espèces faunistiques et floristiques traduisant la qualité du milieu. Dans un travail futur, l'étude qualitative grâce aux indicateurs de diversité permettrait de déterminer la réelle résilience naturelle de ces projets. En effet, la richesse du milieu permet de définir si la ville est durable. Effectivement, une bonne diversité d'espèces permet d'entretenir les cycles de vie et d'assurer la résilience naturelle.

Le quartier flottant développe le concept de la porosité horizontale à l'extrême. Il va jusqu'à laisser l'eau rentrer dans la ville. Toutefois, le projet de quartiers flottants soulève plusieurs interrogations : comment ces quartiers vont-ils s'adapter aux courants naturels ?

Comment s'opèrera la gestion des déchets et des eaux usées ? tant au niveau de la gestion des déchets et des eaux usées ? Le milieu aquatique supportera-t-il un apport réduit de lumière dans l'eau ? Quel impact cela aura-t-il sur la biodiversité aquatique ? Serons-nous dans la capacité d'absorber le coût financier pour réaliser ce type de quartiers ? Quel public y sera accueilli ? Cette proposition fait écho à l'arche de Noë ne pouvant accueillir tout le monde sur son embarcation.

Enfin, la porosité verticale fait appel à un autre aspect paysager en permettant l'infiltration dans le sol et le traitement des eaux sur place. Cette porosité permet donc de rendre la ville plus perméable notamment en favorisant le développement floristique. Elle permet également de réapprovisionner l'eau des nappes phréatiques. Le captage par le sol de toutes les eaux de pluie permettra de réduire le volume d'eau ruisselé. Ainsi, les points les plus bas de la ville seront moins vulnérables aux inondations. Toutefois, dans le projet de Water square (*C.f partie III.4*), les eaux traitées du parc viennent principalement des toitures autour du cœur d'îlots. Nous pouvons alors nous demander à ce jour, quelle est l'efficacité réelle en matière de résilience aux inondations de ce projet à l'échelle du quartier ?

En revanche, en déployant ce projet sur l'ensemble du quartier peut-être que cette solution serait viable. Il faut aussi noter que ces types de solutions n'infiltreront pas les eaux contrairement au projet Zoho dans le même quartier. En effet, le Water square fait seulement office de bassin tampon lors de fortes précipitations.

IV.2. CRITIQUE DE LA MÉTHODOLOGIE.

IV.2.A. Pertinence d'un seul modèle de ville résiliente : Rotterdam.

Pour ce travail de fin d'études, un seul modèle de ville résiliente a été présenté. Cela a permis d'avoir une première approche afin de comprendre les solutions mises en place pour rendre la ville moins vulnérable aux aléas d'inondations. L'étude a permis de dégager de grands principes mais sont-ils applicables systématiquement aux autres villes vulnérables ? Chaque ville, territoire a des spécificités diverses et variées : Les caractéristiques géomorphologiques, la topographie, la politique, etc. sont autant d'éléments qui vont permettre de différencier un paysage d'un autre. Étudier exclusivement la ville de Rotterdam a permis de réellement identifier les solutions mises en œuvre par la ville sur le temps qui m'était donné dans la réalisation de ce mémoire. Sur un délai plus long, il aurait été intéressant de réaliser le même exercice appliqué à deux ou trois autres villes types programme C40 cities. En effet, cela permettrait d'en étudier leurs spécificités, leur complémentarité, leurs divergences ainsi que d'en évaluer les impacts et les limites des stratégies adoptées par chacune. Enfin, si à une même problématique, il était adopté différentes stratégies alors nous pourrions confronter les résultats, afin de mettre en perspective d'autres axes de réflexions :

1. Poser un regard critique sur le modèle de Rotterdam au regard d'autres échantillons de villes.
2. La diversité des solutions peut enrichir les modes d'intervention dans la résilience des inondations d'autres villes.

Enfin, cette étude de nouvelles villes permettrait une fois de plus de montrer l'importance de la prise en compte de l'échelle du paysage en fonction des solutions proposées. C'est-à-dire, qu'il serait intéressant d'analyser une ville du même programme sur la même échelle territoriale : Amsterdam, et ainsi d'en analyser les solutions et de les comparer. Il serait également intéressant de choisir la ville de Venise à l'échelle européenne, avec des différences importantes : géomorphologie, topographie, climat, politique, stratégie, etc. Enfin la troisième pourrait convoquer l'échelle internationale, par l'étude d'une ville telle que Tokyo au Japon qui présente une caractéristique différente des autres villes citées : l'étude de la gestion des inondations d'une ville d'île.

IV.2.B. Les solutions sont applicables seulement en ville.

Ce mémoire s'est focalisé seulement sur des problématiques urbaines. Toutefois, il est important de préciser l'importance de mise en place de stratégies sur le paysage rural autour de la ville afin de la préserver. Au Pays-Bas il y a le plan Delta qui permet de protéger le paysage du delta du fleuve et de la mer. Il va de soi, que si la ville n'est pas préservée des aléas extérieurs, elle ne pourra pas y faire face. Cela montre l'importance d'avoir une approche territoriale globale dans la gestion des inondations. Cependant des méthodes utilisées en ville peuvent être applicables en espace rural comme par exemple le fait de laisser plus d'espace disponible à l'eau pour fluctuer selon les marées et/ou lors d'événements extrêmes. Cela permet ainsi de pouvoir appréhender un paysage évoluant selon le cycle naturel de l'eau.

IV.3 LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES.

Le contexte particulier lié à la pandémie de la Covid-19, a impacté ma mobilité et mon expérience du terrain. D'une part, en plus d'une approche multiscale, j'aurais souhaité intégrer une approche temporelle : c'est à dire vérifier mes observations à des saisons différentes (saisons d'hivernale et printanière). Il ne m'aura été possible d'y aller qu'en hiver. D'autre part, le confinement ne m'a pas permis de rencontrer les acteurs locaux comme je l'avais envisagé initialement.

IV.3.A. Absence de recul pour savoir si les projets sont résilients à long terme en fonction des changements climatiques.

Les études de cas présentées dans la partie III, datent tout au plus d'une dizaine d'années. Cette décennie a permis d'avoir une certaine visibilité sur leurs efficacités et leurs résiliences jusqu'à aujourd'hui. Seulement, nous manquons de données objectivables quant aux changements climatiques futurs et leur impact. Rotterdam est un exemple local des stratégies d'adaptation qui essayent de se mettre en place. Elle a su tirer profit des opportunités d'innovation et faire face aux difficultés qui peuvent parfois être rencontrées. En effet, l'adaptation au changement climatique ainsi qu'à ses conséquences est un processus long et complexe, qui implique une réflexion collective. Ce processus est cependant essentiel compte tenu des différents défis auxquels le pays devra faire face, aujourd'hui et demain. Les rapports scientifiques ne donnent pas tous les mêmes estimations quant aux conséquences du changement climatique, et en particulier, du degré d'élévation du niveau des eaux.

Cependant, tous s'accordent sur le fait que ce phénomène va bel et bien avoir lieu à moyen terme. Par conséquent, les paysages doivent devenir plus résistants et résilients. De plus, les projets n'ont pas été évalués de manière scientifique sur leur capacité de résilience selon un événement donné. Une décennie ne permet pas d'objectiver de manière précise leur efficacité.

Une autre difficulté rencontrée a été l'impossibilité de rencontrer les architectes paysagistes des différents projets, notamment De Urbanisten à cause de l'épidémie de Covid-19, qui a perturbé ce dernier semestre. De plus, il ne m'a pas été possible de retourner sur Rotterdam au printemps pour observer le paysage durant cette période. Les visites de terrain n'ont pu être possibles que pendant l'hiver.

Est-il possible de réellement prévoir des solutions viables face à la survenue d'événements climatiques de plus en plus imprévisibles et qui ne correspondent plus aux normes connues dans le passé ? Aujourd'hui une des réponses à cette question semble être l'adaptation. Celle-ci passe par une bonne connaissance du monde et du vivant. Nous devons prendre en compte le contexte social actuel où de plus en plus de citoyens sont déconnectés de ces enjeux. Pourtant, à Rotterdam, les nombreux accidents climatiques catastrophiques ont permis à tous les habitants d'ancrer cette connaissance de l'eau dans la culture locale. Nous pouvons alors nous demander si l'adaptation ne passe pas d'abord par une phase de perturbation ? C'est au pied de la digue que l'on voit le mieux la digue ...

IV.3.B. Des stratégies parfois compliquées à assimiler.

Le système de gouvernance à plusieurs échelles qui offre aux villes une certaine liberté concernant leur stratégie environnementale, peut également être un obstacle. En effet, il apparaît parfois complexe d'harmoniser les stratégies urbaines aux stratégies nationales ou régionales. Par exemple, en 2013, la stratégie d'aménagement différait entre la ville de Rotterdam, la région et le gouvernement. En effet, la ville de Rotterdam, mettait déjà en place des initiatives ayant pour objectif la création d'un environnement résistant au climat. La région, de son côté, essayait de trouver des solutions pour construire sur les rivières, tandis que la stratégie nationale était l'aménagement autour des rivières larges. Cette divergence de stratégie peut parfois apparaître complémentaire mais peut également représenter un défi (*Ward et al., 2013*).

IV.3.C. Manque de temps pour analyser d'autres villes.

Cette difficulté a déjà été mentionnée et développée dans la partie IV.3.A. En effet, avec plus de temps, il aurait été intéressant d'analyser d'autres villes delta afin d'en analyser les solutions pour constituer un éventail de solutions applicables en réponse à la diversité des situations à venir. Cette analyse aurait aussi permis de poser un regard critique plus distant sur les projets détaillés de Rotterdam et leur viabilité.

PARTIE V : CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif d'analyser les résultats des mesures prises sur le modèle de Rotterdam afin d'étudier l'impact des inondations sur le paysage urbain tant au niveau économique, social que paysager.

Aujourd'hui, la majorité des villes sont exposées au réchauffement climatique et leurs aménagements ne sont pour la plupart plus adaptés. En effet l'Homme a maîtrisé et canalisé l'eau pour des raisons économiques. Les ouvrages de gestion des eaux ont été conçus selon des critères liés aux événements climatiques passés. Ces stratégies de développement ont fortement impacté la structure paysagère des villes (stratégies d'endiguement, canalisation des rivières, imperméabilisation des sols, etc.) Aujourd'hui, ces ouvrages ne répondent que partiellement aux exigences actuelles et futures liées au changement climatique. Cependant, la ville de Rotterdam semble être un modèle de résilience aux inondations en adoptant une stratégie d'adaptation en cohabitant avec l'eau. Les projets de paysage analysés dans ce travail de fin d'études sont des outils adaptés pour répondre aux enjeux de ces porosités : horizontale et verticale. Cet aménagement du tissu urbain poreux présente notamment de nombreux avantages et opportunités.

Tout d'abord, les atouts socio-économiques sont nombreux. La résilience des inondations par l'architecture contemporaine du paysage permet une meilleure qualité de vie pour les habitants. Les projets s'inscrivent dans une dynamique participative citoyenne, permettant aux habitants d'être acteurs du paysage dans lequel ils vivent. Cette démarche va avoir un impact sur l'usage du lieu qui devient alors attractif. Les projets deviennent un vecteur essentiel au dynamisme économique de la ville (emploi, tourisme, etc.). Ainsi, les bénéfices seront sociaux et économiques en réduisant l'impact des dégâts matériels, humains et les coûts financiers induits.

Ensuite, les atouts sont paysagers. D'une part, ces architectures paysagères permettent de reconnecter des paysages urbains de natures différentes (paysage portuaire, quartier socialement défavorisé, etc.). D'autre part, le projet de paysage implique le vivant. En permettant à l'eau de s'infiltrer en ville et en lui donnant plus d'espace, il va permettre à la biodiversité de se développer.

En conclusion, le paysagiste a donc un rôle moteur dans l'accompagnement des villes vers une résilience. En sollicitant et confrontant d'autres acteurs, il inscrit son travail dans une dynamique systémique et pluridisciplinaire. Cette complémentarité s'articule par la maîtrise multiscale autant à l'échelle géographique qu'à l'échelle politique. La première permet d'intégrer le projet dans le paysage environnant. La seconde permet la mise en place graduelle de programmes d'échange de connaissances internationales, allant d'une échelle globale comme par ex «C40» ou «100 Resilient Cities», vers une échelle plus fine, impliquant la participation de l'habitant.

Ce travail de fin d'études m'a apporté des outils et des méthodologies qui me permettent d'envisager mon futur travail journalier en tant qu'architecte du paysage. L'architecte du paysage doit questionner sa démarche de projet tant dans une approche globale que dans une approche singulière. De questions en réponses et de réponses en questionnements, il réinterroge régulièrement, à différentes échelles (du quartier, de la ville, du pays, du monde), les différents acteurs du projet. Il crée du lien entre ces différents acteurs en les faisant interagir. En effet, la problématique liée à la résilience des inondations est complexe et elle convoque plusieurs disciplines pour y répondre. De par sa sensibilité esthétique, il apporte une dimension artistique et culturelle aux projets qu'il réalise. Il permet de rendre cohérentes les différentes composantes du paysage : passées/ à venir, rurales / urbaines, artificielles / naturelles, etc. Enfin, la mission de l'architecte est aussi d'apporter du bien-être aux habitants en leur proposant des espaces adaptés, mais évolutifs à leurs besoins.



Table des figures p. 87

Bibliographie p. 90

Annexes p.97

TABLE DES FIGURES

PARTIE I : ÉTAT DE L'ART

Figure 1.1. Classification classique des inondations d'origine pluviale.	5.
Figure 1.2. Diagramme explicatif des crues éclair.	5.
Figure 1.3. Diagramme explicatif des inondations par ruissellement.	6.
Figure 1.4. Diagramme explicatif des inondations fluviales.	7.
Figure 1.5. Diagramme explicatif des inondations par les nappes phréatiques.	8.
Figure 1.6. Photo du village de Wieringerwerf avant et après les inondations.	8.
Figure 1.7. Vue aérienne du barrage du Vajont.	9.
Figure 1.8. Photo d'un renforcement de barrage sur le point de céder en Angleterre.	10.
Figure 1.9. Illustration du bassin versant	11.
Figure 1.10. Carte montrant la densité de population par rapport à la proximité de l'eau.	12.
Figure 1.11. Carte montrant l'impact de l'être humain sur la planète.	12.
Figure 1.12. Impact de l'urbanisation sur l'hydrogramme de crue.	13.
Figure 1.13. Inondation du 03 octobre 1988 à Nîmes.	14.
Figure 1.14. Urbanisation et cycle de l'eau.	15.
Figure 1.15. Inondation à Port Marly.	17.
Figure 1.16. Jeux de miroir à Rotterdam.	17.
Figure 1.17. La levée de Sully-sur-Loire.	18.
Figure 1.18. Polders aux Pays-Bas.	18.
Figure 1.19. Protection par des remblais artificiels à Rotterdam.	19.
Figure 1.20. Les inondations : aléa, enjeu, risque.	20.
Figure 1.21. Collage de l'agence de Urbanisten sur un projet de connexion d'une rivière à sa ville.	21.
Figure 1.22. : Indice de durabilité des villes selon Arcadis.	24.
Figure 1.23. Classement des stratégies de gestion des inondations et mesures associées	25.
Figure 1.24. Article 1 de la directive 2007/60/CE	26.

PARTIE II : MÉTHODOLOGIE

Figure 2.1. Cartographie topographique des Pays-Bas.	27.
Figure 2.2. Évolution des polders depuis 1200.	28.
Figure 2.3. Cartographie de la Randstad Holland en 2015.	29.
Figure 2.4. Barrages du plan delta.	30.
Figure 2.5. Barrage de Maeslant.	30.
Figure 2.6. Importance des digues.	31.
Figure 2.7. Schéma explicatif de l'adaptation et l'atténuation : deux stratégies complémentaires pour réduire et maîtriser les risques liés au changement climatique.	33.
Figure 2.8. Classement des villes résilientes aux inondations.	35.
Figure 2.9. Niveau topographique de Rotterdam en fonction du niveau de la mer.	35.
Figure 2.10. Triangle historique : « Dualité entre la ville de l'eau et la ville de la terre » (1689).	36.
Figure 2.11. Rotterdam en 1912	37.
Figure 2.12. Évolution historique de la ville de Rotterdam du XIV ^e au XXI ^e siècle.	38.
Figure 2.13. Les provenances de l'eau à Rotterdam.	39.
Figure 2.14. Au plus près de l'eau.	39.
Figure 2.15. Les « singel » parcourent la ville. Paysage urbain bucolique.	39.
Figure 2.16. Le paysage portuaire sur la nouvelle Meuse.	40.
Figure 2.17. L'eau comme délimitation des quartiers.	40.
Figure 2.18. Le moulin, témoin de la culture historique de la gestion des eaux.	40.
Figure 2.19. Le port historique	41.
Figure 2.20. Comparaison de Rotterdam, Londres et Bordeaux	42.
Figure 2.15. Localisation des projets étudiés	

PARTIE III : RÉSULTATS

Figure 3.1. Une partie des villes participant au programme C40.	46.
Figure 3.2. Perspectives pour la ville delta à l'épreuve du climat	47.
Figure 3.3. The Rotterdam adaptation strategy	47.
Figure 3.4. Schéma stratégique de gestion des eaux et de la protection contre les inondations à Rotterdam	48.
Figure 3.5. Exemple de ville compact par De urbanisten	49.
Figure 3.6. Perspectives proposées par De Urbanisten pour la ville delta à l'épreuve du climat	50.
Figure 3.7. Effets du changement climatique et conséquences pour Rotterdam	51.
Figure 3.8. Exemple de système robuste.	52.
Figure 3.9. The Rotterdam adaptation strategy : Comment tendre vers un système robuste et résilient	52.
Figure 3.10. Vue aérienne du Dakpark	53.
Figure 3.11. Plan masse du projet Dakpark.	53.
Figure 3.12. Vue aérienne du projet Dakpark.	54.
Figure 3.13. Les escaliers d'eaux.	54.
Figure 3.14. Les escaliers d'eaux.	55.
Figure 3.15. Localisation du Dakpark à l'échelle de Rotterdam.	56.
Figure 3.16. Comprendre l'impact positif du Dakpark.	56.
Figure 3.17. Décomposition des différentes strates qui forment le Dakpark.	57.
Figure 3.18. Coupe allant du quartier Bospolder, passant par le Dakpark et allant jusqu'au port.	58.
Figure 3.19. Vue panoramique du Dakpark.	59.
Figure 3.20. En haut du Dakpark, nous constatons la proximité du paysage portuaire.	59.
Figure 3.21. Serre et jeux d'eaux du Dakpark : Le parc est conçu pour rappeler l'importance de l'eau dans ce nouveau paysage.	59.
Figure 3.22. Intégration de la mobilité douce sur les digues : sécurité et réconciliation avec le paysage portuaire.	59.
Figure 3.23. Schéma des plus values des «toitures vertes» applicables au projet du Dakpark.	60.
Figure 3.24. Schéma de l'évolution potentielle des digues comme support.	60.
Figure 3.25. Museumpark garage : stationner et collecter l'eau.	61.
Figure 3.26. Intérieur du Museumpark garage.	62.
Figure 3.27. Localisation du Museumpark garage à l'échelle de Rotterdam.	62.
Figure 3.28. Comprendre comment le projet Museumpark garage connecte le quartier des musées	63.
Figure 3.29. Museumpark garage (2007)	64.
Figure 3.30. Museumpark à ce jour (2020)	64.
Figure 3.31. Museumpark garage (2018)	64.
Figure 3.32. Museumpark garage	65.
Figure 3.33. Dalle extérieure au dessus du parking	65.
Figure 3.34. Water Square inondé	66.
Figure 3.35. Schéma de fonctionnement.	67.
Figure 3.36. Localisation de Watersquare à l'échelle de la ville.	68.
Figure 3.37. Comprendre comment s'inscrit Water square.	68.
Figure 3.38. Watersquare avant projet (2007)	68.
Figure 3.39. Watersquare plan du projet (2012).	69.
Figure 3.40. Schéma de répartition des eaux de pluies de toitures dans les bassins du parc.	69.
Figure 3.41. Schéma des projets interconnectés dans le quartier.	70.
Figure 3.42. Collage du projet ZOHO (Benthemplein).	70.
Figure 3.43. Photo du projet ZOHO	70.
Figure 3.44. Photo des massifs aux printemps	71.

Figure 3.45. 1. Collecte des eaux de surface ; 2. Collecte des eaux de toitures; 3. Gouttières inox.	71.
Figure 3.46. Photographie d'un des bassins qui accueille un terrain de jeu	71.
Figure 3.47. Floating Pavillon : Un nouveau paysage portuaire se dessine	72.
Figure 3.48. Même sur terre, la moindre flaqué d'eau rappelle le paysage aquatique de Rotterdam	72.
Figure 3.49. En bleu opaque, les « Square Island ».	73.
Figure 3.50. Localisation de Floating pavillon à l'échelle de la ville.	74.
Figure 3.51. Le bassin Maashaven accueille le projet Floating pavillon.	74.
Figure 3.52. Floating pavillon avant projet (2007).	75.
Figure 3.53. Floating pavillon à ce jour (2020)	75.
Figure 3.54. Photographie d'un kanal	75.
Figure 3.55. Photographie d'un singel à Rotterdam.	76.
Figure 3.56. Square Island.	76.
Figure 3.57. Tableau synthétique des projets présentés précédemment.	78.

BIBLIOGRAPHIE

- A** ActuEnvironnement, 2015. *Définition de Polder*.
https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/polder.php4
- Akhmouch, A, 2014. *Water governance in OECD countries. A multi-level approach : The " water crisis " is largely a governance crisis'*. OECD Water, pp. 1–8.
- Ana Lisa, 2013. *Le pavillon flottant à énergie solaire de Rotterdam est un développement expérimental à l'épreuve du climat*.
<https://inhabitat.com/rotterdams-floating-pavilion-is-an-experimental-climate-proof-development/>
Consulté le : 25/06/2020.
- Arcadis, 2016. *Indice Arcadis des villes durables*.
<https://www.arcadis.com/en/global/our-perspectives/sustainable-cities-index-2016/>
Consulté le 04/06/2020.
- Arsene, 2017. *La promenade et le chemin (de la Levée)*.
<http://sully-sur-loire.eklablog.com/la-promenade-et-le-chemin-de-la-leeve-a130033734>
Consulté le 04/06/2020.
- Atlas de Paysage des Pays de la Loire, 2016.
<http://www.paysages.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/pour-en-savoir-plus-sur-les-inondations-et-la-a881.html>
Consulté le 01/06/2020.
- B** Buro Sant en Co, 2014. *Four Harbor Roof Park par Buro Sant en Co*. Plateforme d'architecture paysagère, Landezine.
<http://landezine.com/index.php/2014/12/four-harbour-roof-park-by-buro-sant-en-co/>
Consulté le 05/05/2020.
- C** C40.
https://www.c40.org/networks/connecting_delta_cities
Consulté le 25/06/2020.
- CEPRI, 2007. *Directive inondation*.
<https://www.cepri.net/directive-inondation.html>
Consulté le 04/06/2020.
- CHALON C. et al., 2008. *Pour un nouvel urbanisme : La ville au coeur du développement durable*, Yves Michel.
- Chocat B.,1997. *Aménagement urbain et hydrologie. La Houille Blanche*. pp. 12-28.

Comité National Français de Géographie, 1996. *Les français dans leur environnement*. Nathan. (Sous la direction de R. Neboit-Guillot et Lucette DAVY). 382 p.

CNRTL, 2012.
<https://cnrtl.fr/definition/inondation>
Consulté le 07/06/2020.

D Dacharry M., 1984. *Spécificité de l'hydrologie urbaine*. Bulletin Association Géographique Français., pp. 99-109

Davy L., 1989. *Une catastrophe naturelle : l'averse nîmoise du 3 octobre 1988 et ses conséquences hydrologiques*. Hydrologie continentale, vol. 4, n° 2, pp. 75-92.

De Bruin, K. et al, 2009. *Adapting to climate change in the Netherlands: An inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives*. Climatic Change. Springer, 95(1–2), pp. 23–45.

Deltacommissie, 2008. *Working together with water*, p. 134.

Deltawerken. *Les travaux du plan Delta*.
<http://www.deltawerken.com/Les-travaux-du-plan-Delta/924.html>
(Accessed: 8 February 2020).

Delta commissaris, 2015. *Working on the delta - The decisions to keep the Netherlands safe and liveable*. Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment and Ministry of Economic Affairs, p. 180.
<https://english.deltacommissaris.nl/delta-programme/documents/publications/2014/09/16/delta-programme-2015>.

Département de géographie de l'Université Laval. *Carte des polders*, 1979.

De Urbanisten, 2013. *Rotterdam adaptaties strategie*. Holland Shipbuild., pp. 31–32.

De Urbanisten, 2013. *DE URBANISTEN, Portolio*.
<http://www.urbanisten.nl>
Consulté le 09/03/2020.

E École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFL.
<https://www.epfl.ch/fr/>
Consulté le 07/082020.

Emmeline Besamusca, J. V., 2014. *Discovering the Dutch*. Amsterdam University Press.
<https://www.aup.nl/en/book/9789089647924/discovering-the-dutch>
Consulté le 25/06/2020.

F Floating Pavilion, 2019. *Rotterdam*.
<https://www.drijvendpaviljoen.nl/floating-pavilion-event-location>
Consulté le 26/06/2020.

FLOODsite, 2015. *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies*.

<http://www.floodsite.net/>

Consulté le 27/01/2020.

Futura Sciences.

<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-zone-humide-6175/>

Consulté le 12/04/2020.

G

Géoconfluences, 2017.

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/changements-globaux>

Consulté le 18/01/2020.

Géorisques.

<http://www.georisques.gouv.fr/glossaire/inondation-par-crue-torrentielle-0>

Consulté le 12/04/2020.

Goeldner-Gianella, L. and Lydie, 2010. *Changement climatique et dépolddérisation : le rôle des acteurs et le poids des représentations sociales sur les côtes d'Europe atlantique*. Les éditions de la Maison des sciences de l'Homme, pp. 41–60.

<http://journals.openedition.org/quaderni>.

Government of the Netherlands, 2011. *Vision néerlandaise sur l'action climatique mondiale*.

<https://www.government.nl/topics/climate-change/dutch-vision-on-global-climate-action>

Consulté le 25/06/2020.

H

HPI, 2015. *Gestion des risques d'inondation*.

<http://hpi-iksms.org/servlet/is/84658/>

Consulté le 04/06/2020.

Hubert, G. and Ledoux, B., 2015. *Le Coût du risque : l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*.

Huet, P., 2008. *Le risque inondation*. Annales des Mines - Responsabilité et environnement.

I

INSIDEflows, 2015. *Rotterdam Floating Pavilion*.

<https://www.insideflows.org/project/rotterdam-floating-pavilion/>

Consulté le 26/06/2020.

J

Jeffrey Kutterink, 2019. *Experts: Le problème du changement climatique est bien plus important que celui du polder de Hedwige*. pzc.nl.

<https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/experts-het-probleem-van-de-klimaatverandering-is-veel-groter-dan-de-hedwigepolder~a684e677/?referer=https://www.google.com/>

Consulté le 25/06/2020.

Jeremy Berke, 2018. *A new 'floating park' made out of recycled plastic waste has popped up in the Netherlands.*

<https://www.businessinsider.fr/us/rotterdam-floating-park-made-out-of-recycled-plastic-waste-2018-7>

Consulté le 25/06/2020.

John J. Berger, 2017. *The 'Climate-Proofing' Of Rotterdam.*

<https://www.huffpost.com/entry/the-climate-proofing-c>

Consulté le 25/06/2020.

K Knight, S., 2017. *Can Netherlands' ground-shifting plan prevent flooding?* | Financial Times.

<https://www.ft.com/content/40cb8f96-87ee-11e7-afd2-74b8ecd34d3b>

Consulté le 25/06/2020.

L Laganier R. et Davy L., 2000. *La gestion de l'espace face aux risques hydroclimatiques en région méditerranéennes.* Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques, SEDES.

Larousse.

<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/polder/62129>

Consulté le 08/02/2020.

Leone, F., Meschinet de Richemond, N. and Vinet, F., 2010. *Aléas naturels et gestion des risques.*

<http://www.sudoc.fr/145726754>

Consulté le 01/06/2020.

M Meyer, V. et al., 2012. *Costs of Natural Hazards - A Synthesis.* CONHAZ project final report.

Michel, M., 1985. *Randstad Holland : un concept face au changement*, pp. 690–719.

Ministère de la transition écologique, 2020. *Prévention des inondations | Ministère de la Transition écologique et solidaire.*

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations#e5>

Consulté le 04/06/2020.

Ministry of Economics Affairs and Climate Policy, 2017.

<https://www.government.nl/topics/climate-change/climate-policy>

Consulté le 25/06/2020.

Monde, L., 2014. *Les Pays-Bas vont investir 20 milliards d'euros pour se protéger de l'eau.*

https://www.lemonde.fr/europe/article/2014/09/16/les-pays-bas-vont-investir-20-milliards-d-euros-pour-se-protger-de-l-eau_4488555_3214.html

Consulté le 25/06/2020.

Municipalité de Rotterdam. Rotterdam.nl.
<https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/waterberging-museumparkgarage/>
Consulté le 23/06/2020.

MVRDV (2015) *Feu vert pour le dépôt d'art du Museum Boijmans Van Beuningen*, Rotterdam.
<https://www.mvrdv.nl/news/426/green-light-for-art-depot-boijmans-rotterdam>
09/08/2020.

N Noortje Jacobs, 2018. *The Netherlands presents ambitious Climate Law | GroenLinks*.
<https://groenlinks.nl/nieuws/netherlands-presents-ambitious-climate-law>
Consulté le 25/06/2020.

O Onlinelibrary. *Bibliothèque en ligne Wiley : Articles de recherche scientifique, revues, livres et ouvrages de référence*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/>
Consulté le 09/08/2020.

Owdin, 2017. *Les Hollandais ont des solutions pour faire face à la montée des eaux. Le monde peut les prendre en modèles*
<https://owdin.live/2017/06/15/les-hollandais-ont-des-solutions-pour-faire-face-a-la-montee-des-eaux-le-monde-peut-les-prendre-en-modeles/>
Consulté le 05/06/2020.

P PBL, 2015. *Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas*.
<https://www.pbl.nl/en/>
Consulté le 09/08/2020.

Pelletier Jean, 1990. *Sur les relations de la ville et des cours d'eau* Revue de géographie de Lyon, pp. 233–239.
Port of Rotterdam. *Maasvlakte 2, Port de Rotterdam*.
<https://www.portofrotterdam.com/en/our-port/port-development/maasvlakte-2>
Consulté le 25/06/2020.

Presson, P., 2018. *Contre la montée des eaux, Rotterdam devient la première ville waterproof*. Rubrique Détours.
<https://detours.canal.fr/rotterdam-veut-devenir-premiere-ville-waterproof/>
Consulté le 9/06/2020.

R Rijkswaterstaat, 2006. *Room for the River*, Rijkswaterstaat.
<https://www.rijkswaterstaat.nl/english/about-us/gems-of-rijkswaterstaat/room-for-the-river/index.aspx>
Consulté le 25/06/2020.

Roth, D. et al., 2017. *Watered-down politics? Inclusive water governance in the Netherlands*. Ocean and Coastal Management. Elsevier Ltd, 150, pp. 51–61.

- S** SMRB, 2018. *Prévenir et réduire les inondations*. Syndicat Mixte des Rivières du Beaujolais.
<http://www.rivieresdubeaujolais.fr/fr/information/3476/prevenir-reduire-inondations>
 Consulté le 09/05/2020.
- Scarwell, H.-J. et al., 2017. *Chapitre 1 : Les excès hydrologiques : processus, rythmes et impacts anthropiques*. Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, pp. 21–53.
- SEDIPEC : *Les types d'inondations, origine et explication du phénomène*.
<https://sedipec.com/les-types-inondation-origines/>
 Consulté le 26/01/2020.
- Servane Gueben-Venière, 2015. *De l'équipement à la gestion du littoral, ou comment vivre avec les aléas météo-marins aux Pays-Bas ?*
<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/risques-et-societes/articles-scientifiques/littoral-pays-bas>
 Consulté le 25/06/2020.
- Slomp, R. 2018. *Inondation aux Pays- Bas , comment faire face au défi du climat et de la société ?*, pp. 201–211.
- Storm, 1888. *L'homme au cheval blanc*.
- T** Te Brake, W., 2002. *Taming the waterwolf: Hydraulic Engineering and Water Management in the Netherlands during the Middle-Ages*. Technology and culture
- Tol, R.S.J., 2000. *A Concise History of Dutch River Floods*. A Climate change, volume 46.
- Top010, 2013. *Parc de toit Rotterdam*.
<https://nieuws.top010.nl/dakpark-rotterdam.htm>
 Consulté le 26/06/2020.
- U** Universalis. *ROTTERDAM, Naissance du premier port maritime du monde*. Encyclopædia Universalis.
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/rotterdam/1-naissance-du-premier-port-maritime-du-monde/>
 Consulté le 09/08/2020.
- Union européenne, 2007.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007L0060>
 Consulté le 04/06/2020.
- V** Vinet, F., 2018. *Inondations 1: La connaissance du risque*.
<https://play.google.com/books/reader?id=FGRjDwAAQBAJ&pg=GBS.PA10>
 Consulté le 05/02/2020.

Vittoria Zanuso, 2016. *Water Management and Multi-Benefit Solutions: The Rotterdam Exchange*. 100 Resilient Cities.
<https://100resilientcities.org/water-management-and-multi-benefit-solutions-the-rotterdam-exchange/>
Consulté le 25/06/2020.

Volkstrant, 2014. *Hedwigepolder mag onder water, het wordt een modderbak met slib*. De Volkskrant.
<https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/hedwigepolder-mag-onder-water-het-wordt-een-modderbak-met-slib~b7f6dc99/?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
Consulté le 25 June 2020.

W

Ward, P. J. et al., 2013. *Governance of flood risk management in a time of climate change: The cases of Jakarta and Rotterdam*. Environmental Politics, pp. 518–536.

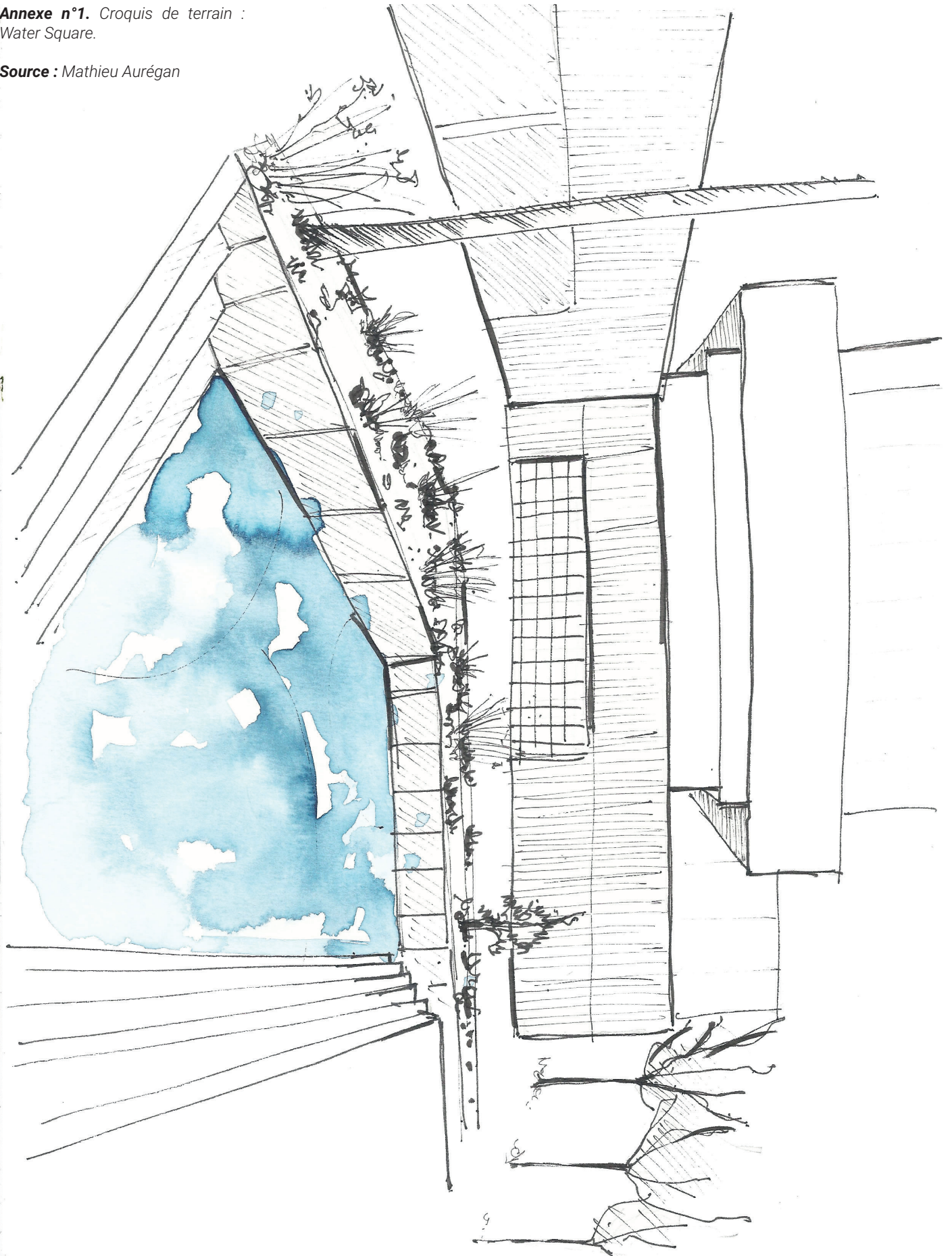
Watersnoodramp, 1953. *Rijkswaterstaat*.
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/watersnoodramp-1953/index.aspx> (Accessed: 12 April 2020).

Wiebe E, 2002. *The Oosterschelde Storm Surge Barrier : a Test Case for Dutch Water Technology, Management and Politics*. Technology and Culture.

ANNEXES

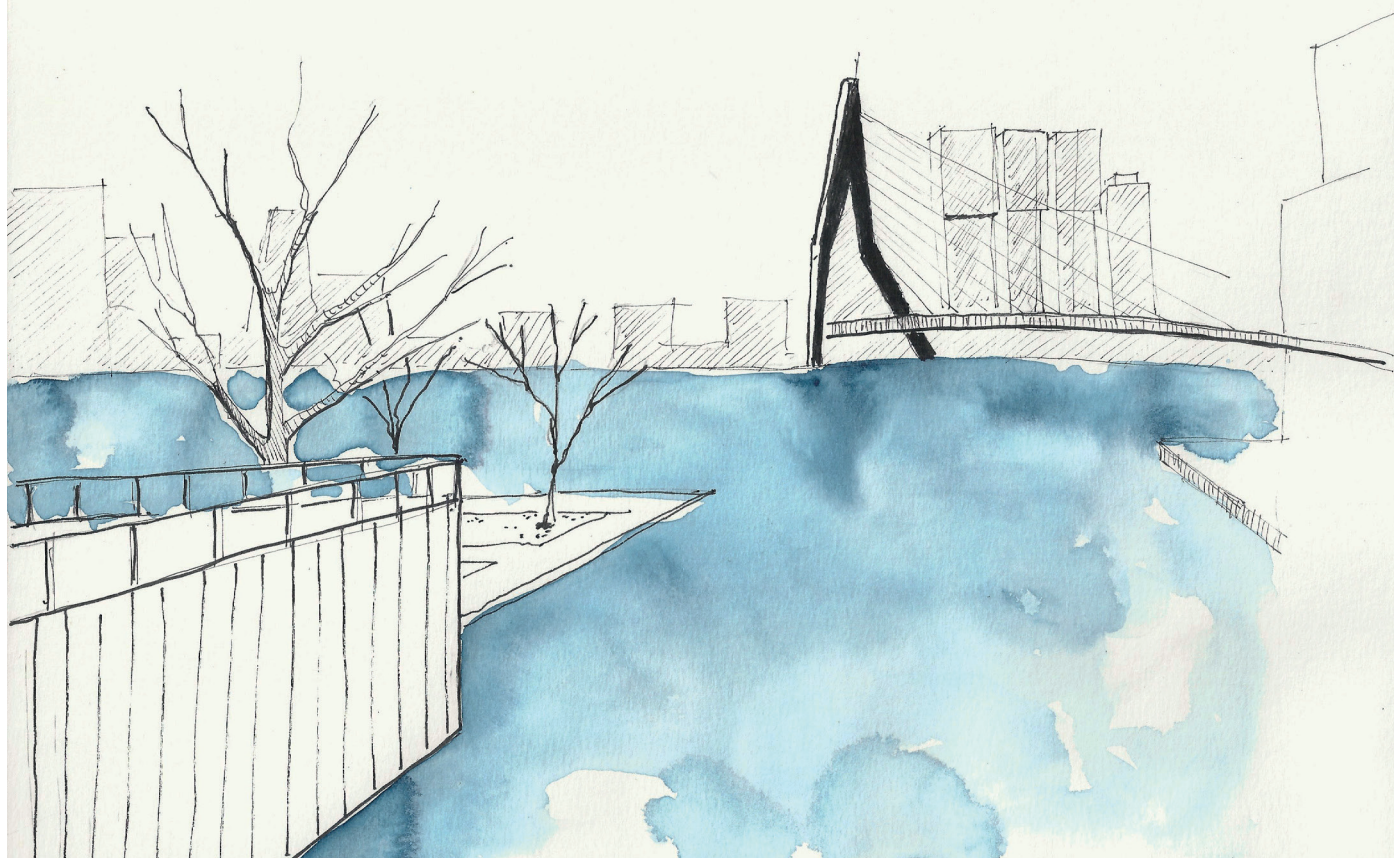
Annexe n°1. Croquis de terrain :
Water Square.

Source : Mathieu Aurégan



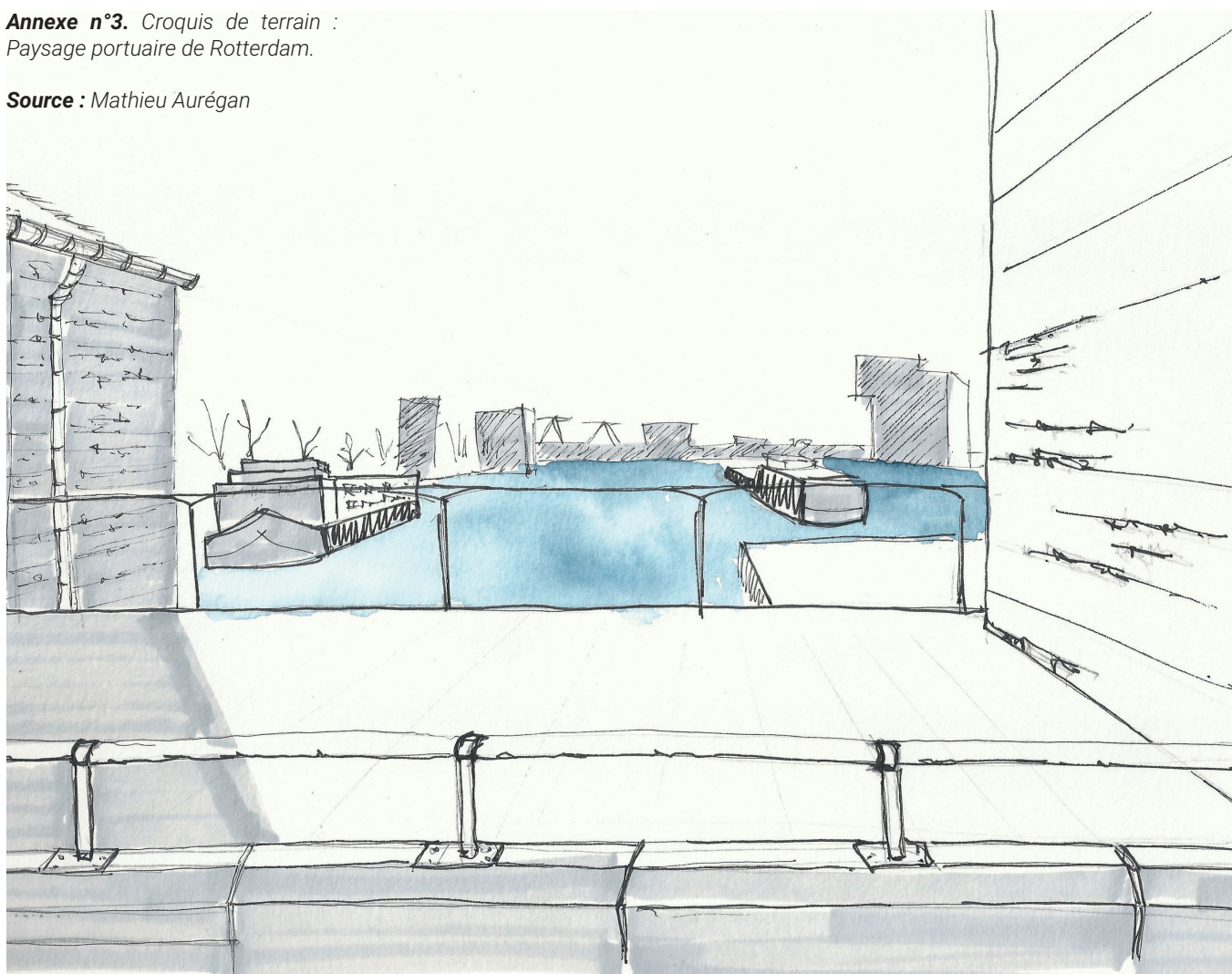
Annexe n°2. Croquis de terrain :
Pont Érasme.

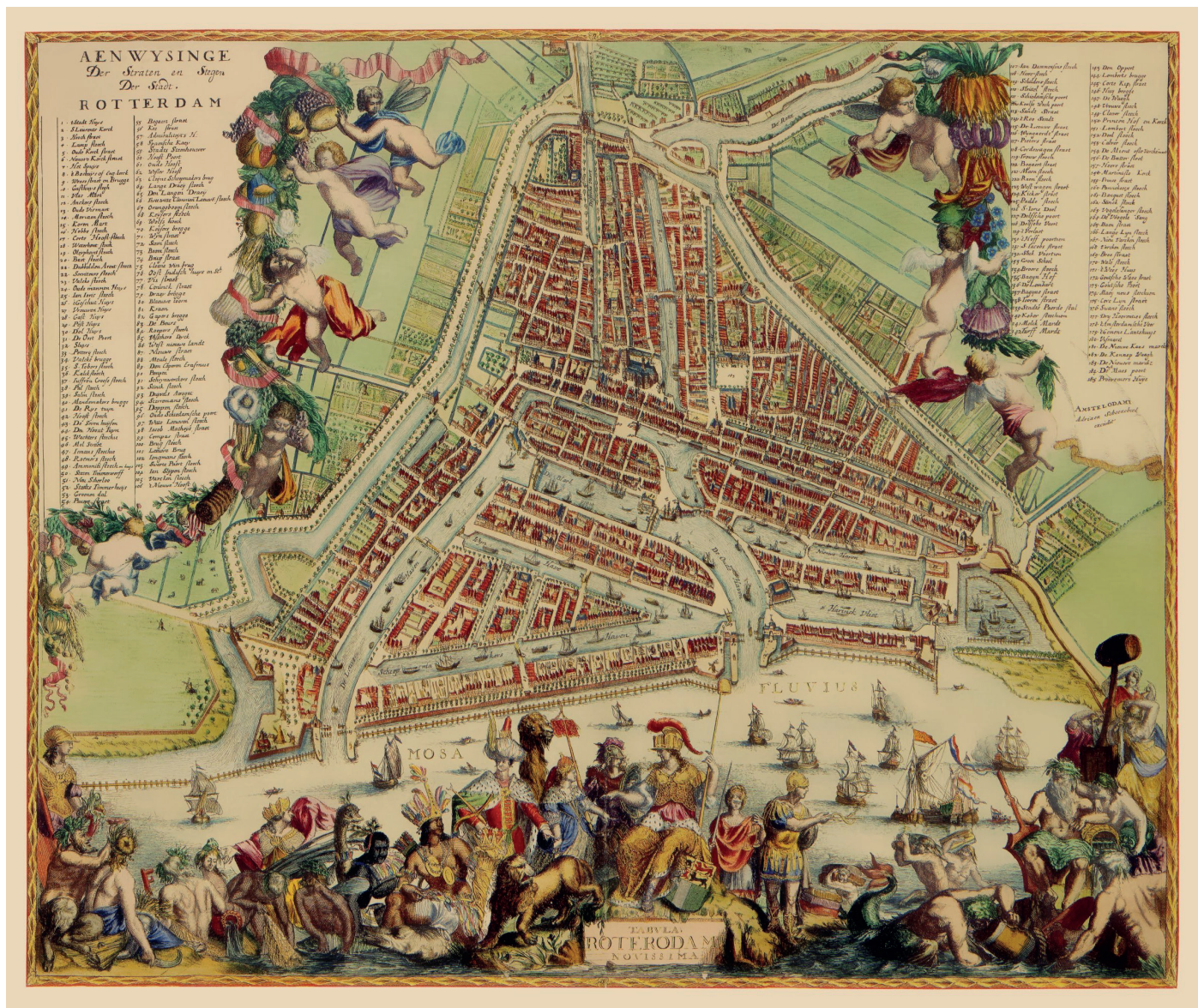
Source : Mathieu Aurégan



Annexe n°3. Croquis de terrain :
Paysage portuaire de Rotterdam.

Source : Mathieu Aurégan





Annexe n°4. Triangle historique :
«Dualité entre la ville de l'eau et la ville de la terre» (1689)

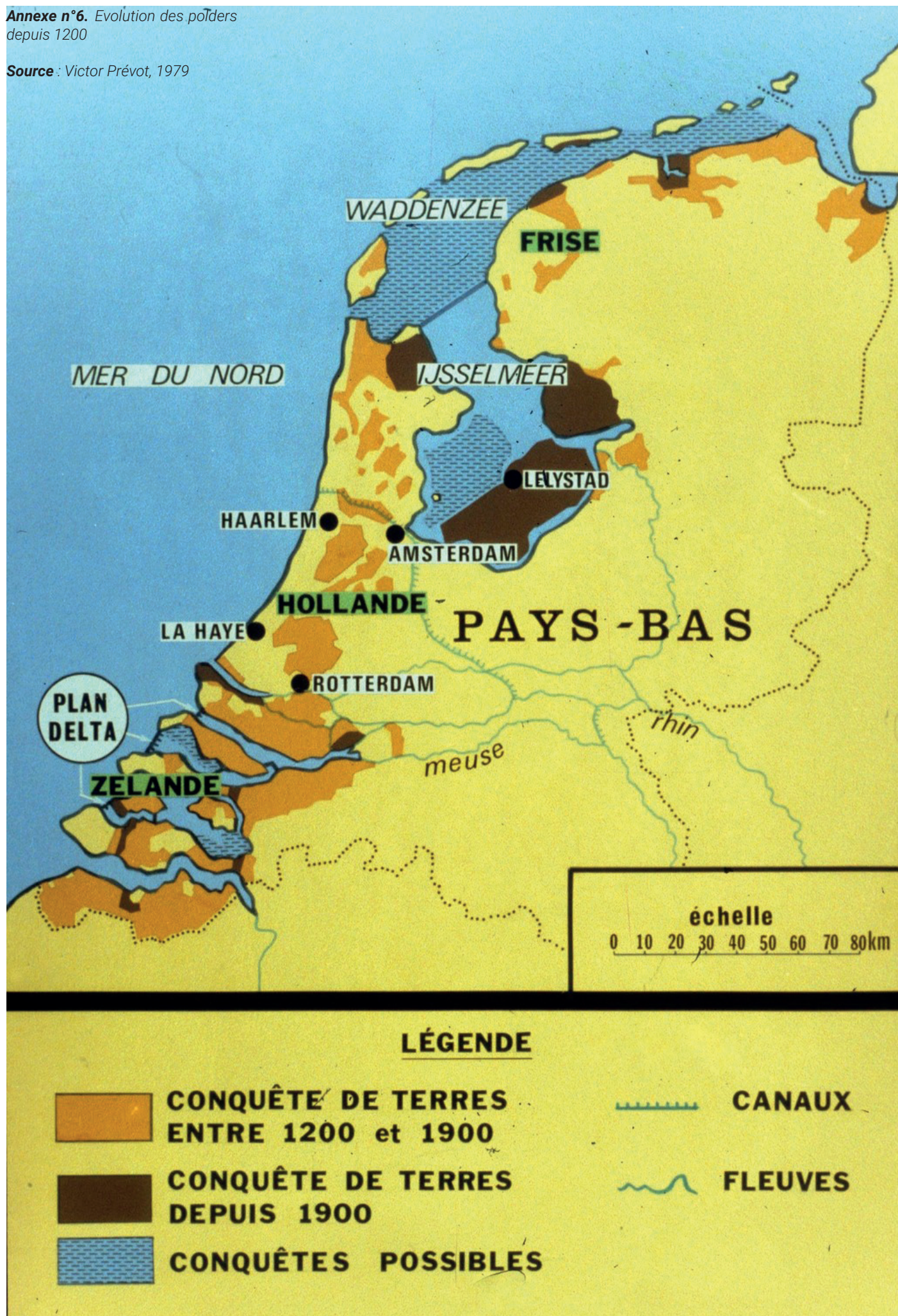
Source : Archives municipales de Rotterdam



Annexe n°5. Rotterdam 1912

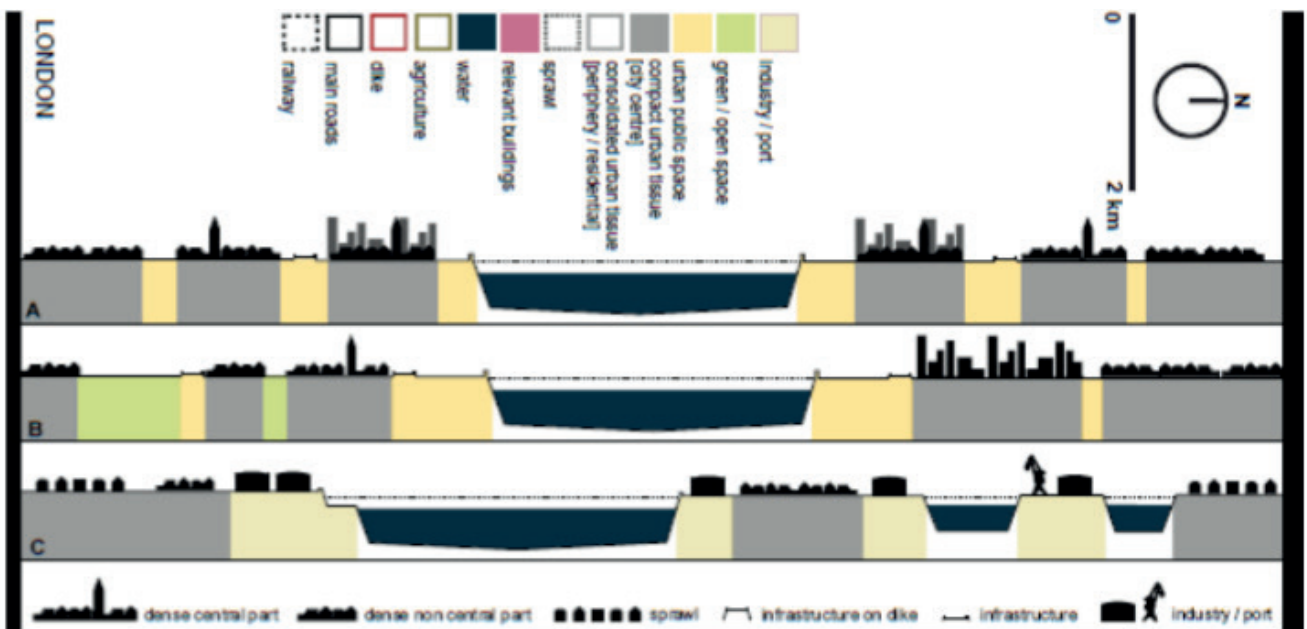
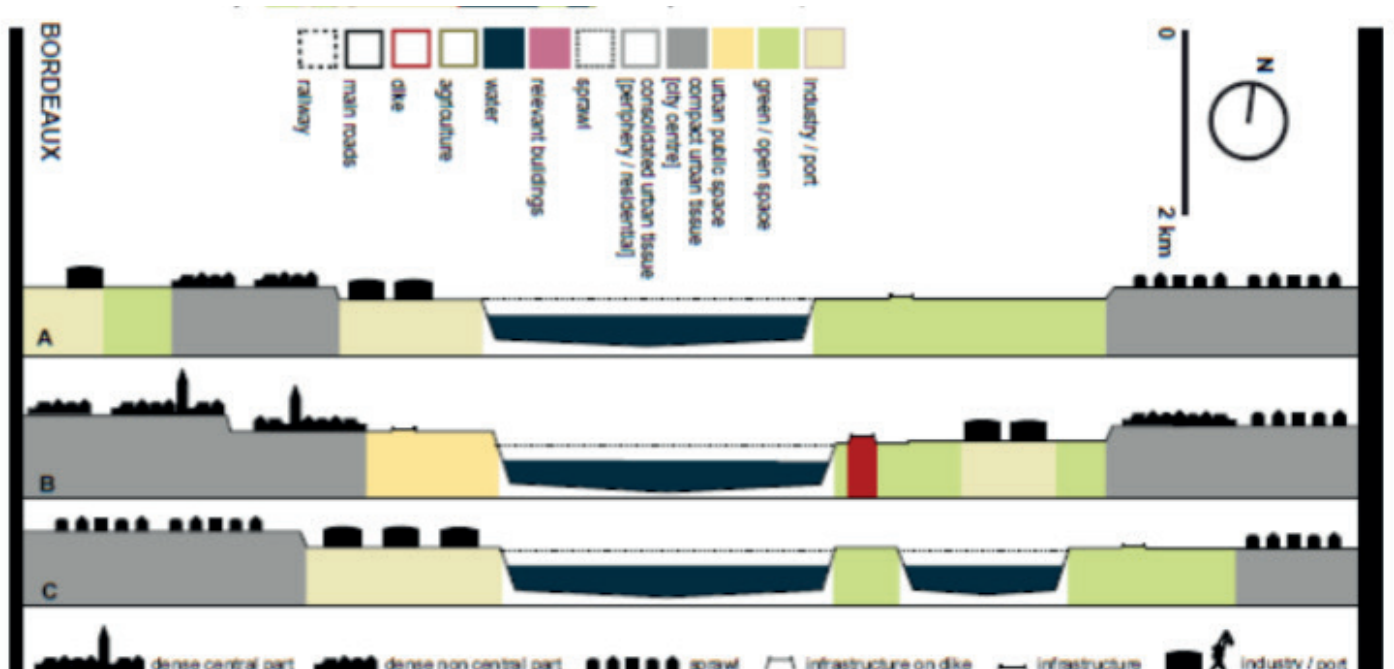
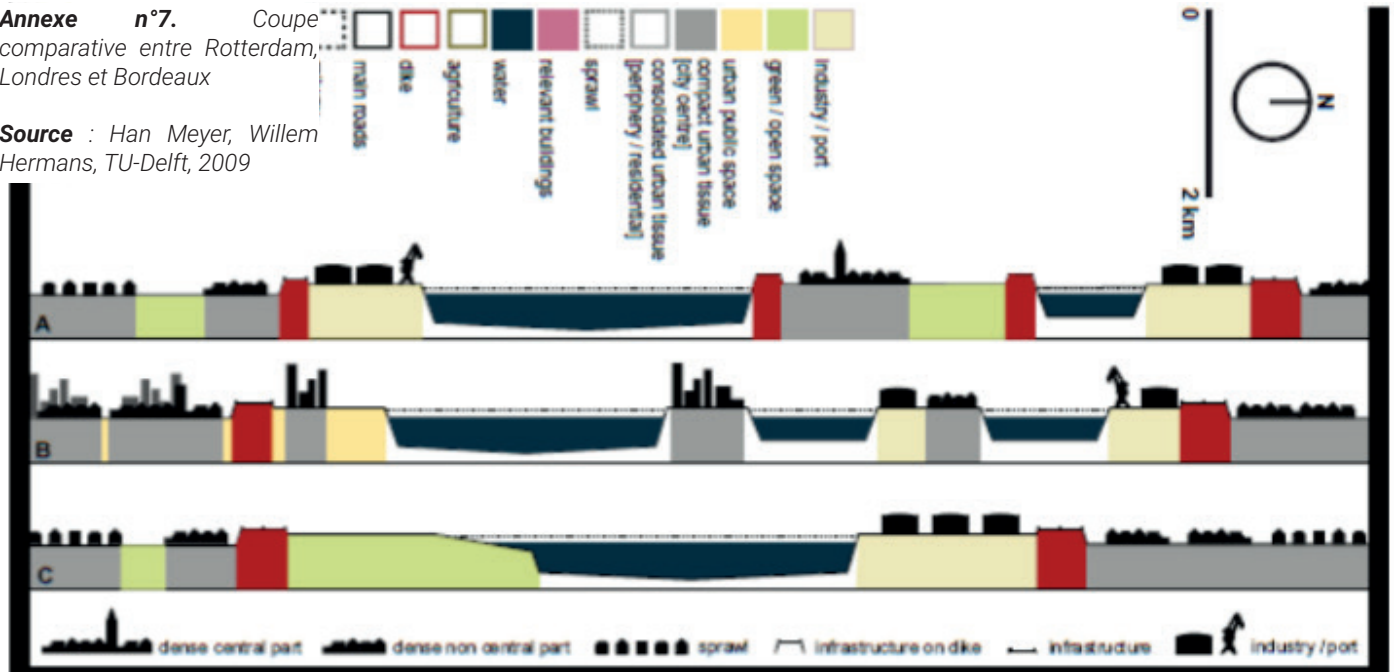
Source : Internet-Etsy

Source : Victor Prévot, 1979



Annexe n°7. Coupe comparative entre Rotterdam, Londres et Bordeaux

Source : Han Meyer, Willem Hermans, TU-Delft, 2009





Annexe n°8. Répondre au conflits d'objectifs : L'aire de jeux d'eau de pluie à Hambourg-Neugraben montre une approche ludique du sujet des fortes pluies

Source : <https://www.hamburgwasser.de/>



Annexe n° 9 et 10. Structures flottantes installées sur l'ancien port.

Source : Mathieu Aurégan





Annexe n°11. Miroir d'eau au dessus du Museumpark garage

Annexe n°12. Reflet d'eau à Rotterdam

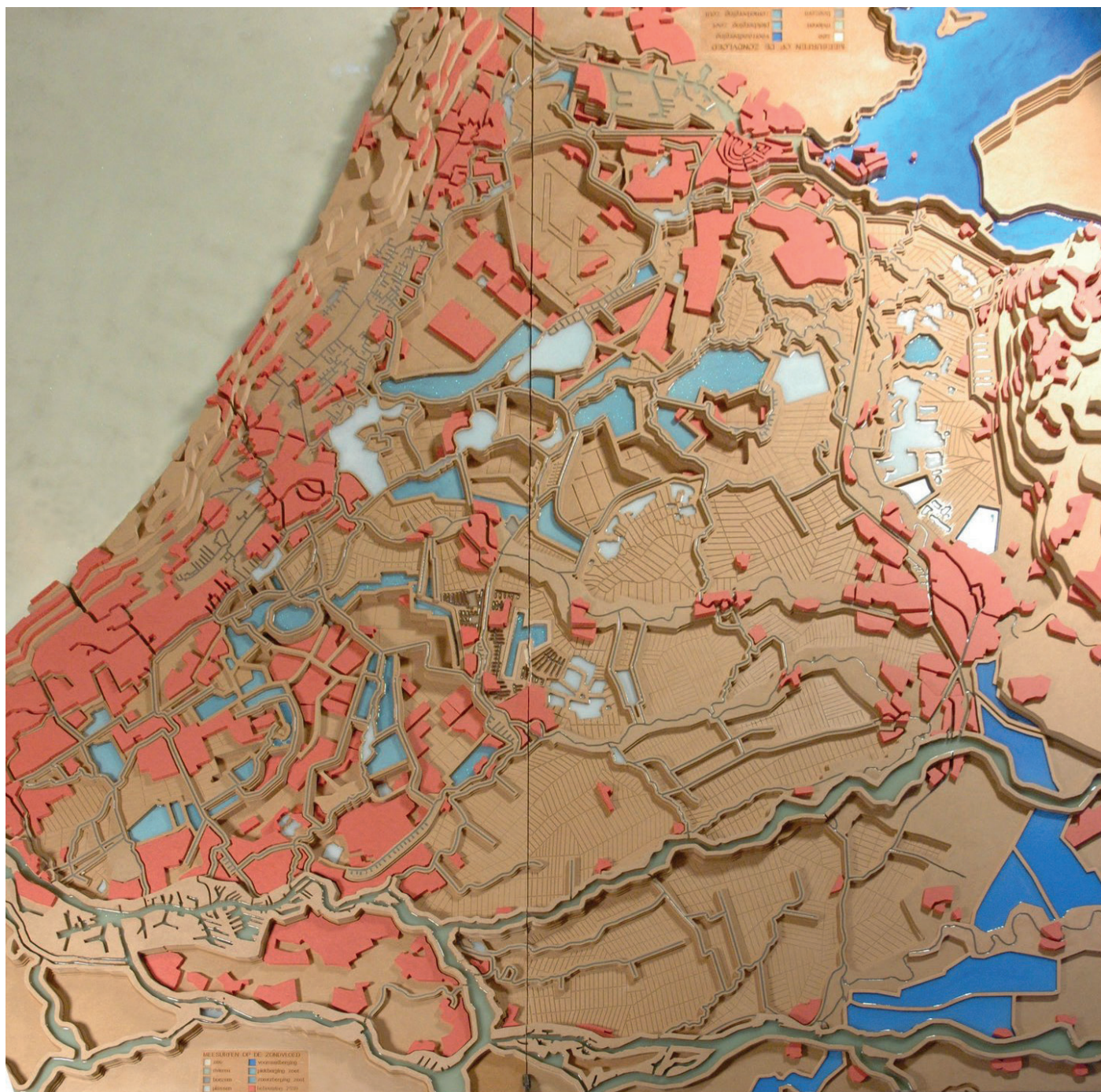
Source : Mathieu Aurégan





Annexe n°13. Flevoland - Lelystad

Source : Internet



Annexe n°14. Maquette de Rotterdam

Source : Ville de Rotterdam