

# **PROTECTION CONTRE LES INONDATIONS ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES VILLES-DELTAS**

---

**Ir. P.T.M. DIRCKE\*, Ing. R.H. DOLFSMA\*\***

\* Université des Sciences Appliquées de Rotterdam – ARCADIS  
piet.dircke@arcadis.nl  
\*\* ARCADIS  
rene.dolfsma@arcadis.nl

---

## **INTRODUCTION**

On estime que d'ici le milieu de ce siècle, la majorité de la population mondiale vivra dans les zones urbaines qui sont dans ou à proximité des deltas, des estuaires ou des zones côtières. Ces zones sont toutes vulnérables à l'élévation du niveau de la mer et aux autres impacts du changement climatique, avec des millions de personnes exposées aux risques d'inondations et de tempêtes extrêmes. Dans le même temps, beaucoup de ces villes souffrent d'affaissement, et il est également prévu que la fréquence, l'intensité et la durée des précipitations extrêmes vont augmenter, ainsi que la fréquence et la durée des périodes de sécheresse. En conséquence de ces différentes évolutions (combinaison et accélération du développement urbain, de l'affaissement et du changement climatique), on s'attend à l'augmentation de la vulnérabilité de ces villes-deltas dans les années et décennies à venir. Cette vulnérabilité sera

aggravée par le déplacement des populations vers les zones urbaines des deltas, et le développement d'infrastructures portuaires et industrielles dans ces zones.

## **LE RÉSEAU « CONNECTING DELTA CITIES » (CDC)**

Comment protéger durablement ces zones de deltas urbanisées contre les impacts futurs du changement climatique, pour qu'elles conservent un environnement urbain attrayant et une économie saine et robuste, tout en respectant l'environnement ? Tels sont les défis que de nombreuses villes-deltas dans le monde, comme New-Orleans, New-York, Rotterdam, Bangkok, Jakarta et Ho Chi Minh-Ville ont à traiter. Une des façons d'y faire face est de partager leurs connaissances avec les autres villes-deltas du

réseau CDC. Ce réseau se compose d'une quarantaine de villes qui sont en pointe pour l'adaptation au climat, avec l'objectif d'échanger des connaissances dans ce domaine et de partager leurs bonnes pratiques. Rotterdam a pris la tête de cette initiative, à laquelle se sont jointes des villes comme New-York, Jakarta, Londres, Ho Chi Min City, New-Orleans, Tokyo et Hong-Kong. D'autres villes ont manifesté leur intérêt où sont sur le point de rejoindre CDC : entre autres Shanghai, Copenhague, Melbourne, Manille, Vancouver et Buenos Aires.

## NEW-ORLÉANS

La Nouvelle Orléans est actuellement la ville-test pour les villes-deltas. En 2005, l'ouragan Katrina a détruit les digues et submergé le système de protection, inondant 80% de la ville et forçant pratiquement toute la population à une évacuation prolongée. Cinq ans plus tard, la plate-forme pétrolière « Deepwater Horizon » de BP a explosé au sud de la ville, en libérant un flot de pétrole depuis le fond de l'Océan, bouleversant l'équilibre fragile des zones côtières marécageuses (palétuviers), essentiel pour l'économie et la culture régionales.

La Nouvelle-Orléans, sans aucune protection après Katrina, avait besoin d'une remise en état et d'une amélioration rapide du système de protection, et a décidé de mettre en place un système de murs de béton, de digues et de barrières anti-tempêtes. Le « US Army Corps of Engineers »(USACE), responsable de la protection contre les inondations de la Nouvelle-Orléans, a décidé la construction avant le 1<sup>er</sup> juin 2012 d'un système de maîtrise des risques d'ouragan, offrant un niveau de protection basé sur la tempête centennale. ARCADIS, société internationale d'ingénierie ayant son origine en Hollande, a été l'une des entreprises retenues pour assister le « Corps » dans cette tâche gigantesque. Les ingénieurs hollandais et américains d'ARCADIS ont travaillé conjointement pour la conception et la construction de digues, de murs de protection, de stations de pompage et de barrières anti-tempêtes pour protéger la Nouvelle-Orléans. Lorsque l'ouragan Isaac a frappé, durant l'été 2012, la Nouvelle-Orléans était prête pour cela. Bien que Isaac ait provoqué d'importantes inondations dans le delta du Mississippi et des vents très élevés, le système de réduction des risques mis en place a été tout à fait efficace.

Mais dans le même temps, la ville se bat pour la reprise économique et a besoin d'une identité attractive comme ville-delta. Et le delta du Mississippi souffre d'affaissement, de la perte ou de la dégradation de zones humides, des pollutions de pétrole et d'autres interventions humaines. Le système de réduction des risques étant maintenant en place, des architectes, urbanistes, paysagistes et ingénieurs américains et hollandais, travaillent actuellement ensemble, dans le cadre de « dialogues hollandais », sur le développement d'un nouveau système de gestion durable de l'eau en milieu urbain pour la Nouvelle-Orléans, qui non seulement protège les citoyens contre l'eau, mais crée aussi une relation positive à cet environnement en développant un « urbanisme de delta ».

Résultant des interactions prolongées entre les ingénieurs, urbanistes, paysagistes, et experts en hydrogéologie hollandais et leur collègues américains, les « dialogues hollandais » découlent de la conviction des participants que la Nouvelle-Orléans ne peut survivre, prospérer et croître que si elle repart sur des bases solides, avec « safety first » comme premier principe de la gestion de l'eau. « Vivre avec l'eau » est devenu récemment un deuxième principe, corollaire de la politique néerlandaise. Les deux principes, « safety first » et « vivre avec l'eau » sont essentiels pour un avenir durable, solide et sûr pour la Nouvelle-Orléans.

## NEW YORK

Avec près de 2400 km de littoral, le développement historique de New York a toujours été lié à la mer. Quatre des cinq arrondissements de New York sont situés sur des îles : Manhattan, Staten Island, Brooklyn et Queens ; seul le Bronx est reliée au continent. De nombreux ponts et tunnels relient les îles à la partie continentale des Etats de New York et du New Jersey. Avec sa position stratégique sur la côte Est des Etats-Unis, et avec son port bien abrité dans l'estuaire de l'Hudson, cette ville historique est devenue l'une des plus importantes du monde.

Les rapports publiés récemment par le « New York City panel on climate change »(NPCC) ont indiqué que le changement climatique peut représenter un défi pour le développement de New York, compte tenu des risques d'élévation du niveau de la mer et de renforcement des inondations. Le NPCC déclare que New York est vulnérable aux tempêtes côtières, associées soit à des ouragans de fin d'été ou d'automne, soit à des cyclones tropicaux dans la période hivernale (« Nor'easters »).

Une grande partie de la ville de New York et de la région environnante est à moins de 3 m au-dessus du niveau moyen de la mer, et l'infrastructure dans ces régions est vulnérable aux inondations côtières. Une inondation centennale pourrait produire une montée des eaux de 3m dans le port de New York et le long de la côte sud de Long Island. Une telle montée est en général plus susceptible d'être causée par un ouragan que par un « nor'easter » hivernal. Toutefois les ouragans se produisent beaucoup moins fréquemment que les « nor'easters » qui couvrent une superficie beaucoup plus grande, peuvent durer plusieurs jours et peuvent causer des dommages considérables, même si leurs vitesses de vent sont inférieures à celles des ouragans qui se déplacent rapidement. A certains endroits la combinaison des « nor'easters » et des grandes marées successives porteront l'inondation plus à l'intérieur. Comme l'ont montré les événements qui ont suivi l'ouragan Sandy, la combinaison d'un ouragan avec une tempête intérieure pose une menace encore plus grande sur New York, avec des inondations tout le long des côtes de New York et du New Jersey, avec une montée des eaux de 4,40 mètres à Battery Park, entraînant d'importantes inondations à Manhattan.

Beaucoup de chemins de fer et d'entrées de tunnels de la région, ainsi que certains éléments des principaux aéroports de New York, se trouvent à des altitudes de 3 m au-

dessus du niveau de la mer ou moins. L'élévation du niveau de la mer et des niveaux d'inondation de seulement un à deux pieds (30 à 60 cm) au-dessus du niveau qui a eu lieu lors de Sandy, mais aussi par exemple au cours de la « nor'easter » d'hiver de décembre 1992, peuvent placer les infrastructures de transport de la zone situées à basse altitude sous un risque accru d'inondation. Dans la région métropolitaine de la côte Est (MEC – Metropolitan East Coast), les plages et les îles-barrières se resserrent ou se déplacent vers la terre, en partie en raison de l'élévation du niveau de la mer en cours ainsi que de l'affaissement du sol. L'élévation accélérée du niveau de la mer va intensifier le rythme et l'ampleur de l'érosion côtière. Alors que l'élévation du niveau de la mer est évidemment un facteur important, l'érosion des plages est souvent renforcée par les activités humaines.

Une mesure possible à long terme pourrait être la construction de barrières fermant les chenaux de navigation entre le Port de New-York et la mer. New York étant située dans l'ensemble sur des terrains plus élevé que les autres villes-deltas, les urbanistes de cette ville ont plus de temps devant eux pour examiner les options pour la protection contre les inondations. Les problèmes liés aux impacts du changement climatique à New York dans 50 à 100 ans sont à certains égards similaires à ceux des villes européennes aujourd'hui. Par conséquent, on peut apprendre beaucoup de l'expérience européenne avec les barrières anti-tempêtes avant de prendre des mesures, mais Sandy était un avertissement pour la ville de New York de ne pas attendre trop longtemps.

La conception des barrières de New York et le choix leurs emplacements requièrent des analyses coûts-avantages complètes sur la base du niveau de protection souhaité. Compte tenu du niveau relativement élevé du terrain dans tous les secteurs la protection contre certains niveaux d'inondation pourrait être obtenue avec une combinaison de mesures locales (comme les murs d'inondation), de logements résilients, de résilience communautaire et de plans d'évacuation. Les barrières ne suffiraient pas à protéger contre les dommages intérieurs importants dus au vent et à la pluie qui accompagnent souvent les cyclones dans la région de New York, et ne protégeraient pas ceux qui vivent à l'extérieur des barrières.

Les emplacements possibles pour les barrières comprennent le Détroit de Verrazano, qui est le canal principal de navigation, reliant la Baie de New York et Port Elizabeth (NJ) à l'océan Atlantique. D'autres emplacements possibles comprennent la partie haute de l'East River, pour éliminer les inondations trouvant leur origine dans l'ouest de « Long Island Sound », le Chenal « Arthur Kill » derrière Staten Island, et un système de barrière externe plus ambitieux allant de Sandy Hook (NJ) à Far Rockaway (Long Island). Cette dernière approche est conforme au « Delta Works design », en raccourcissant la longueur du littoral qui doit être protégé, et en permettant la sauvegarde de l'aéroport JFK et des communautés situées dans le nord du New Jersey et de Jamaica Bay. Cela permettrait d'éliminer la nécessité de barrières pour le Détroit de Verrazano et le Chenal Arthur Kill, et assurerait la protection des arrondissements extérieurs de Brooklyn et Queens, d'autres collec-

tivités du Nord NJ, de Jamaica Bay et de l'aéroport JFK, mais aurait un impact significatif sur l'environnement, en particulier sur les Parcs Nationaux Maritimes situés à proximité.

Le concept d'une barrière fermant les détroits et chenaux pour protéger New-York et le New-Jersey urbanisé a été développé en suivant une approche systématique. Les fonctions et les exigences de la barrière ont été déterminées. Les fonctions importantes sont: retenir la montée des eaux en cas de tempête, permettre le passage des navires dans des conditions normales et permettre l'écoulement des marées dans la baie du Port de New York. Une ouverture de 260 mètres est nécessaire pour permettre aux plus grands navires de passer ; le niveau du seuil de cette porte est de 20 mètres au-dessous du niveau moyen de l'eau. Une section supplémentaire 9300 m<sup>2</sup> mouillés est considérée comme suffisante pour le courant de marée.

Plusieurs options de conception ont été prises en compte, y compris les portes-secteurs, des portes levantes et des portes à clapets. La combinaison d'une large porte-secteur coulissante avec dix-huit portes levantes a été sélectionnée. Ce choix est basé sur l'expérience des barrières anti-tempêtes des Pays-Bas et sur la combinaison des avantages des différents types de barrière. La fiabilité et l'entretien sont des critères importants pour la sélection.

L'emplacement choisi pour l'étude préliminaire d'une barrière anti-tempête est situé à un demi mile au nord du Pont de Verrazano. Ce lieu présente de nombreux avantages concernant la profondeur du canal, les structures adjacentes et la longueur de la fermeture. La hauteur des portes est seulement légèrement au-dessus du niveau d'eau maximum de 8,5 mètres au-dessus du niveau moyen, permettant le franchissement des vagues pendant la tempête. Cette limitation de la hauteur permet la limitation concomitante des coûts. Ceci est possible du fait de la présence d'un grand bassin derrière la barrière. Le franchissement des vagues ajoute deux pieds d'eau dans le bassin, ce qui est acceptable si les barrières sont fermées suffisamment tôt. Le coût de la barrière anti-tempête a été grossièrement estimé à 6,5 milliards US \$. Une réduction significative est possible si la section transversale mouillée peut être réduite.

Cette conception d'un barrage anti-tempête dans le détroit de Verrazano a été présentée comme une contribution au débat sur la façon de faire face aux risques croissants d'une inondation à New York, compte tenu de l'impact attendu du changement climatique et de l'expérience des Pays-Bas qui a montré que l'investissement dans la protection contre les inondations est un bon investissement.

## ROTTERDAM

Rotterdam, l'un des plus grands ports du monde, est situé au cœur du delta néerlandais. La ville est en grande partie en dessous du niveau de la mer (jusqu'à 20 pieds) et la ville ainsi que la zone de basse altitude autour d'elle sont protégées contre la mer par un système complexe et étendu de digues, barrages, barrières et portes: le célèbre « Dutch Delta Works », établi après la désastreuse inondation de



*Projet de barrière dans le détroit de Verrazano*

1953 au cours de laquelle près de 2.000 citoyens néerlandais sont morts noyés. Aujourd’hui, Rotterdam, ville portuaire ouverte sur la mer, est néanmoins une ville sûre, avec un niveau de protection de 1/10.000. Le système d’eau en milieu urbain est bien conçu et planifié et l’urbanisme prend en compte aussi bien les défis de la vie près de l’eau que les potentiels qui y sont associés. Les défis de l’eau et de l’aménagement du territoire urbain sont entièrement intégrés.

Comme toutes les villes-deltas Rotterdam est aux prises avec les impacts du changement climatique, et en particulier avec l’élévation du niveau de la mer et l’évolution des débits des rivières. La première priorité est la sécurité de la ville. Les digues urbaines existantes, traversant en partie le cœur de la ville, seront renforcées et surélevées si nécessaires, souvent d’une manière très innovante et créative, par exemple avec le développement des digues en «marches d’escalier», ainsi que des digues multifonctionnelles. De plus des bâtiments adaptés au changement climatique, et des communautés de maisons amphibiennes, voire flottantes, sont à l’étude. Une opportunité importante pour faire face au changement climatique réside dans la trans-



*« Dutch Delta Works »*



Digue multifonctionnelle

formation d'anciennes zones portuaires en nouveaux quartiers adaptés au changement, en plein cœur du centre-ville. Le projet du Port de Rotterdam vise au réaménagement de près de 1.000 hectares, l'un des plus grands projets de ce type en Europe. Un des principaux facteurs sera le développement des connaissances et le développement des affaires dans le domaine de l'eau, du changement climatique et de la durabilité. Ce développement de la connaissance est nécessaire parce que nous devons apprendre à faire face au changement climatique dans les meilleures conditions et à développer les meilleures pratiques, mais aussi éduquer la prochaine génération de gestionnaires de l'eau et du climat.

Un des premiers projets qui ont été réalisés dans les ports de la ville a été le Campus RDM(recherche, conception et fabrication). Au Campus RDM l'éducation, le développement des connaissances et l'innovation vont de pair: les étudiants de l'Université de Rotterdam collaborent avec les petites entreprises innovantes sur de nouveaux projets de recherche durables.

Rotterdam est en train de développer des technologies innovantes pour devenir une « smart city » d'avenir. L'intégration des technologies de l'information dans les sciences les plus avancées de la protection contre les inondations est l'un des outils. Avant ou pendant une inondation, quelques heures peuvent faire une grande différence. Le consortium public-privé « Lutte contre les inondations 2015» a étudié la faisabilité d'un système intelligent de

contrôle des inondations et a développé avec l'Université des Sciences Appliquées de Rotterdam des jeux de simulation. « Lutte contre les inondations 2015 » a pour objectif d'intégrer la surveillance en temps réel à des systèmes de prévision et de décision efficaces pour assurer une information meilleure et plus rapide aux gestionnaires de l'eau et aux décideurs lors d'une crise. L'objectif des jeux de simulation est d'apprendre aux futurs étudiants comment faire face aux risques d'inondation tout en considérant différents scénarios en temps réel ou en différé. Les jeux sont des outils de gestion parfaits pour ce genre d'exercice, et sont aussi très populaires parmi les étudiants.

## CONCLUSION

Si nous voulons continuer à vivre dans les villes-deltas vulnérables aux inondations, nous devrons les protéger contre les risques d'inondations et les adapter au changement climatique. C'est un défi qui n'est pas totalement nouveau. Les villes se sont adaptées au fil des siècles au changement et ont réussi à attirer l'activité économique et l'investissement, en transformant les défis en opportunités. Le changement climatique est simplement un défi supplémentaire. Les exemples de la Nouvelle-Orléans, de New-York et de Rotterdam montrent que réagir pro-activement aux défis non seulement protège la cité mais aussi crée de nouvelles opportunités.