

— SEA AND SURVIVAL : ÉVOLUTION DES PRATIQUES DE PROTECTION ET D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU LITTORAL DU NEW JERSEY

Claire Doussard, Enseignante
à l'École Spéciale d'Architecture
Chercheuse associée,
UMR AUSser 3329 CNRS

Courriel :
claire.doussard@gmail.com

RÉSUMÉ

Cet article examine l'évolution des réflexions sur les stratégies de protection du littoral fondées sur la nature aux États-Unis, et questionne leur pertinence et mise en œuvre au cours du XX^{ème} siècle dans une optique d'adaptation climatique. Il met en perspective les apports théoriques d'un architecte paysagiste, Ian McHarg au prisme des travaux d'ingénierie civile du corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis (USACE). Au travers de l'étude des impacts de l'ouragan Sandy de 2012 sur les aménagements construits sur les côtes du New Jersey, l'article met en lumière les forces et les limites des techniques développées par McHarg et l'USACE vis-à-vis d'un contexte littoral fortement urbanisé et contraint.

MOTS-CLÉS

Adaptation climatique, littoral, aménagement, Ian McHarg, New Jersey

ABSTRACT

This article examines the evolution of nature-based solutions for coastal protection, and questions their relevance and implementation during the 20th century in the United States, from a climate adaptation perspective. It puts into perspective the theoretical contributions of a landscape architect, Ian McHarg, through the lens of the civil engineering work achieved by the United States

Army Corps of Engineers (USACE). The study of the Hurricane Sandy's impacts on the highly urbanized and constraint New Jersey coastline highlights the strengths and limitations of the planning and construction techniques developed by McHarg and the USACE.

KEYWORDS

Climate Adaptation, Coastline, planning, Ian McHarg, New Jersey

—

— INTRODUCTION

Face au changement climatique, les villes côtières s'organisent de plus en plus afin de faire face aux tempêtes et inondations de grande ampleur, entraînant évacuations, destructions d'infrastructures et pertes économiques (Lane et al., 2013). Même si la question de ces impacts est prise en compte dans les agendas politiques locaux depuis le début des années 1990, notamment en Europe (Dugua et al., 2017), la question climatique est particulièrement examinée au lendemain de l'ouragan Katrina de 2005 aux États-Unis. C'est suite à cet événement que les fonctionnaires américains constatent qu'une partie de leurs concitoyens n'est pas en mesure de se protéger en cas de catastrophe (Eisenman et al., 2007), alors que près de la moitié de la population américaine vit le long des côtes (Crosset et al., 2013). En dépit de milliards de dollars d'actifs, notamment situés sur la côte atlantique nord, de Boston à Washington, les investissements dans la protection du littoral ont souvent été inadéquats (Aerts et al., 2014). En outre, la plupart des marais salants naturels, des plages et des dunes de sable qui protégeaient initialement les premières colonies américaines ne sont plus intactes (Burger, 2019). Cette dégradation des écosystèmes côtiers a ainsi contribué à une augmentation de la vulnérabilité des aménagements urbains construits, et à une remise en question de la résilience de ces espaces.

Masslink et Lazarus (2019) associent la notion de résilience côtière à la capacité des systèmes socio-économiques et naturels de l'environnement côtier à faire face aux perturbations, induites par des facteurs tels que l'élévation du niveau de la mer, les événements climatiques extrêmes et les impacts humains, en s'adaptant et en conservant leurs fonctions essentielles. La question de l'adaptation urbaine est alors ici d'importance. Le corps des ingénieurs de l'armée des États-Unis (*United States Army Corps of Engineers*, ou USACE dans la littérature anglophone) définit plus précisément trois grands types de stratégies d'adaptation climatique appliquées aux espaces côtiers et utilisées sur le sol américain. Les stratégies non-structurelles se basent sur l'établissement de nouvelles politiques publiques en lien avec la mise en place de stratégies d'alerte, de relocalisation des populations, et de réglementation territoriale à large échelle. Les stratégies structurelles concernent la construction d'infrastructures et d'ouvrages d'art tels que les digues, les barrières anti-tempêtes, les épis maritimes ou les brise-lames. Enfin, l'USACE regroupe les solutions inhérentes aux écosystèmes côtiers existants et aux solutions fondées sur la nature. Ces dernières imitent les caractéristiques de l'environnement naturel, tout en étant issues de systèmes d'ingénierie et construites pour fournir des services spécifiques. Les solutions d'adaptation fondées sur la nature ont fait l'objet d'un rapport spécifique publié en 2015, commandité par le Congrès

américain en janvier 2013 suite aux conséquences de l'ouragan Sandy qui a touché le nord-est des États-Unis le 29 octobre 2012 (Bridges et al. 2015). Cependant, la question de l'utilisation de solutions basées sur la nature est bien plus ancienne, et a fait l'objet de réflexions théoriques en géographie de l'environnement, en planification territoriale et en paysage. Ian McHarg est l'un de ces théoriciens. Dans son ouvrage *Design with Nature* publié en 1969, le chapitre *Sea and Survival*, se concentre sur une étude du littoral du New Jersey dans les années 1960 suite à un ouragan similaire à Sandy. Il suggère des stratégies d'adaptation fondées sur la nature qui seront plus sérieusement envisagées des décennies plus tard. Aussi, cet article s'intéresse-t-il à l'évolution des réflexions sur les stratégies de protection du littoral et d'adaptation climatique côtières fondées sur la nature, et questionne leur pertinence et mise en œuvre au cours des cinquantes dernières années aux États-Unis. Il met en perspective les apports théoriques de Ian McHarg au prisme des travaux d'ingénierie civile de l'USACE sur les côtes du New Jersey, ayant particulièrement été impactées par Sandy.

L'article s'appuie sur une revue de la littérature scientifique et sur une analyse des rapports opérationnels de l'USACE sur la protection du littoral depuis 1954. Les apports théoriques de McHarg, ainsi qu'une analyse du chapitre *Sea and Survival* extrait de l'ouvrage *Design with Nature* (1969) seront tout d'abord discutés, puis mis en abyme avec les stratégies développées par l'USACE. Enfin, une discussion de ces stratégies développées pour le New Jersey permettra de mieux comprendre les défis à venir, et les champs des possibles envisageables pour l'adaptation et la préservation des villes côtières américaines.

— SEA AND SURVIVAL (1969) : APPROCHES THÉORIQUES ET OPÉRATIONNELLES DE LA PROTECTION DU LITTORAL SELON MCHARG

L'AJUSTEMENT CRÉATIF COMME PRINCIPE DIRECTEUR DE PLANIFICATION ÉCOLOGIQUE

Bien que Ian L. McHarg (1920 - 2001) soit considéré comme l'une des figures de proue du mouvement environnemental américain durant les années 1970, son héritage est toujours prégnant aujourd'hui aux États-Unis (Steiner, Fleming, 2019). Ses méthodes de planification écologique en architecture du paysage et en urbanisme, ont été éprouvées pendant près de 50 ans auprès de ses étudiants à l'Université de Pennsylvanie, et de professionnels de l'aménagement au travers de l'agence de paysage Wallace, McHarg, Roberts and Todd qu'il cofonde en 1963. Son ouvrage *Design with Nature*, publié en 1969, est estimé comme étant pionnier dans l'élaboration de concepts de planification

écologique du territoire. McHarg y défend l'écologie comme principe de base de la planification, et modifie fondamentalement certaines approches relatives à la conception des projets d'aménagement. Au cours de plus de quatre-vingt-dix projets élaborés au cours de sa carrière, McHarg n'aura de cesse de rechercher la capacité de charge intrinsèque du territoire au travers de processus de conception respectant, intégrant et facilitant les multiples fonctions et services des écosystèmes (Yang, Li, 2016). La pensée de McHarg est résumée dans sa théorie du « *creative fitting* » ou ajustement créatif. Celle-ci témoigne de la conception de projets d'aménagements créatifs conçus avec la nature, plutôt qu'en opposition à elle. Elle s'appuie sur plusieurs fondements théoriques antérieurs, tels que les théories scientifiques de Charles Darwin sur la survie et l'adaptation des espèces à l'environnement, de Lawrence Henderson sur l'adaptation des lieux de résidence, et de Howard et Eugène Odum sur les écosystèmes et l'ingénierie écologique (McHarg, 1996 ; Herrington, 2010). Le concept d'adaptation du projet à l'environnement est alors central dans la pratique et l'enseignement de McHarg, qui viennent parfois se confronter aux pratiques de l'USACE. Étant lui-même ancien ingénieur de l'armée britannique durant la seconde guerre mondiale, McHarg s'oppose parfois aux approches d'aménagement de l'armée américaine, qu'il estime désastreuses pour l'environnement. Il se démarque notamment lors d'une allocution durant une conférence sur l'impact de l'USACE sur l'environnement en 1969 :

« Quelle chance que cette réunion ne soit pas ouverte à la presse. Je peux donc révéler mon passé anti environnemental. J'étais autrefois un ingénieur de l'armée (...) J'ai fait sauter beaucoup de choses qu'on m'a ordonné de détruire. (...) J'en suis venu à prendre plaisir à changer l'environnement de manière explosive. Mais, messieurs, la différence entre vous et moi, c'est que j'ai arrêté quand la guerre a pris fin. »

McHarg, 1996, p. 200

Bien que McHarg soit généralement en opposition avec les pratiques de l'armée, qu'il dénonce notamment dans les journaux locaux¹, il peut également les saluer lorsqu'il estime qu'elles répondent à sa vision écologique. C'est notamment le cas lorsque l'USACE publie son étude sur les ressources en eau du territoire américain en 1960, ce que McHarg considère être un « pas de géant » en termes de planification s'adaptant aux systèmes naturels à l'échelle

1 Le Général Wheeler demandera officiellement à l'Université de Pennsylvanie que McHarg s'excuse de ses critiques sur les pratiques l'USACE, qu'il considère être à l'origine de la pollution des océans et des cours d'eau américains, propos tenus dans le Philadelphia Enquirer en 1969 (McHarg, 1996).

régionale (Whitaker, Steiner, 2019).

La compréhension des processus naturels, et l'adaptation des projets d'aménagement à cette échelle sont en effet prépondérants dans les approches de conception de McHarg. Durant l'enseignement de son premier atelier auprès des étudiants en 1956, McHarg leur demande d'examiner pour le littoral de Cape Hatteras en Caroline du Nord, les processus de formation et d'érosion des plages, la flore et la faune, ainsi que les interactions entre eux (McHarg, 1996). L'étude du littoral reviendra régulièrement dans les travaux de McHarg en tant qu'enseignant, praticien, et théoricien. Le second chapitre de *Design with Nature*, intitulé *Sea and Survival*, lui est consacré.

SEA AND SURVIVAL : SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE ET PROTECTION DU LITTORAL

«*Sea and Survival*» se concentre sur une étude du littoral du New Jersey, réalisée par McHarg et ses étudiants du Master en Architecture du Paysage de l'Université de Pennsylvanie en 1962. McHarg présente les dynamiques écosystémiques d'une île barrière du New Jersey. Il explique les relations entre l'océan, la plage, les dunes « primaires », « secondaires » et « arrière »², le rivage et la baie. Dans ce chapitre, il recommande des principes de planification relatifs au développement urbain et à la protection du littoral, suite à une violente tempête ayant provoqué cette même année près de 80 millions de dollars de dégâts associés à l'endommagement et à la destruction de 2400 maisons et infrastructures publiques. L'objectif de l'atelier est alors de réfléchir à la minimisation de tels impacts à l'avenir, en utilisant des dunes naturelles ou artificielles. Néanmoins, l'idée n'est pas récente, car McHarg s'inspire dans ce cas précis des stratégies d'aménagement du littoral néerlandais, basées sur la conception de complexes dunaires absorbant une partie de l'énergie des vagues (McHarg, 1969). Ce complexe se compose d'unités de paysages successifs, zones écologiques se distinguant par une végétation spécifique. Celle-ci évolue avec les processus d'érosions marine et éolienne, et la décroissance de la salinité. Chacune de ces zones implique des réglementations nécessaires pour la protection du complexe dunaire, et ainsi des structures urbaines. Certaines espèces végétales endémiques sont par exemple essentielles à la conservation des dunes tout en étant très fragiles. Il est alors indispensable que les hommes ne puissent les piétiner. Ces plantes ayant également besoin d'eau douce ou relativement peu salée pour survivre, il est alors déconseillé

2 Les dunes « primaire », « secondaire », et « arrière » dans les travaux de McHarg sont associées aux termes dunes « blanche » (ou cordon dunaire externe), « grise » et « noire » respectivement dans le cadre de l'étude des écosystèmes littoraux en France. Nous retiendrons cependant la terminologie de McHarg au sein de cet article.

de construire une infrastructure pouvant entraîner une baisse du niveau des eaux souterraines. Enfin, le mouvement des sédiments sur le rivage ne peut être entravé, puisqu'il est nécessaire à l'apport de sable et au renouvellement des dunes.

McHarg propose alors de mettre en œuvre différentes zones de protection du littoral et d'urbanisation présentées en figure 1. Les dunes primaires et secondaires sont totalement intolérantes et ne devraient présenter aucune activité humaine, à part d'éventuelles passerelles pour accéder à la plage. La zone la plus appropriée pour être urbanisée se situe entre la dune arrière et la baie. Les infrastructures routières principales devraient être construites sur la dune arrière, ou éventuellement sur une troisième dune qui offrirait une protection supplémentaire ainsi qu'une vue sur le paysage de la baie. Cependant, les zones plus étroites, ou qui présentent des caractéristiques de zones humides qui permettent de charger l'aquifère, devraient être exemptes de toute construction, même si elles sont situées sur la dune arrière (McHarg, 1969).

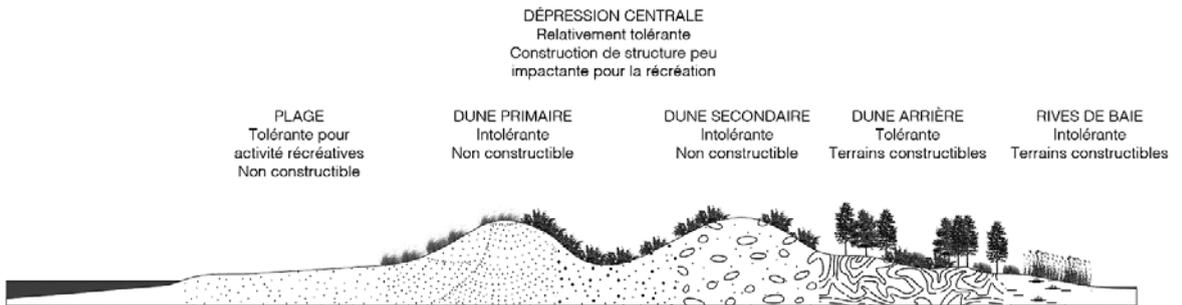


Figure 1 : Recommandations de MCHARG pour la planification et la protection du littoral (source : Claire Doussard d'après MCHARG, 1969)

Ces principes d'aménagement sont, au début des années 1960, encore peu appliqués aux États-Unis. Les dunes sont alors détruites pour permettre l'accès aux plages et aux logements. L'absence de politiques de préservation et de planification adéquates est en partie responsable de la perte de ces écosystèmes qui pourraient pourtant contribuer à la protection du littoral à l'échelle régionale. Il faudra attendre le début du XXI^{ème} siècle pour que l'USACE s'intéresse plus particulièrement à certains de ces principes, suite à une lente évolution des pratiques d'aménagement relatives à la protection des villes côtières.

— DE LA PROTECTION DU LITTORAL À L'ADAPTATION CLIMATIQUE DANS LE NEW JERSEY : 60 ANS D'AMÉNAGEMENT DE L'USACE

UNE ÉVOLUTION TECHNIQUE ET IDÉOLOGIQUE DES PRINCIPES DE PROTECTION DU LITTORAL

L'ingénierie côtière n'est pas inconnue de l'USACE, dont l'histoire débute lors de la guerre d'indépendance des Etats-Unis en 1775. Il faudra néanmoins attendre le XIX^{ème} siècle pour une expansion du rôle de l'USACE aux travaux d'ingénierie civile au niveau fédéral, et le XX^{ème} siècle pour le début des études sur les processus et méthodes de protection du littoral. Ces travaux sont issus de l'évolution de différentes entités militaires créées depuis 1930³, la dernière en date étant un conglomérat de laboratoires regroupés au sein du *Engineer Research and Development Center* depuis 1999. Les travaux menés entre 1930 et 2015 s'orientent principalement sur des études méthodologiques relatives à la protection du littoral, et ont mené à la production d'une vaste littérature scientifique et technique sur les processus naturels côtiers, ainsi que sur l'ingénierie des structures côtières. Le premier document produit à cet effet est le rapport technique intitulé *Shore Protection Planning and Design*, publié en 1954. De même que pour la succession des différentes entités responsables de la protection du littoral américain, ce premier rapport technique initie une série de travaux permettant la révision de ce même document en 1957, 1961, et 1966, puis la publication de manuels dès 1973, eux même révisés régulièrement tous les 2 à 5 ans. Parmi eux, nous retiendrons le *Coastal Engineering Manual* (2003). Ce dernier document a pour mission de récapituler, d'amender, et de proposer des méthodes de planification, de construction et de gestion de projets d'ingénierie côtière établies depuis 1954. Alors que les premiers rapports techniques des années 1950 ne comportaient que quelques centaines de pages, celui-ci est constitué de 6 volumes et totalise presque 3000 pages explicitant d'une part des analyses relatives aux processus naturels côtiers et à la morphologie des côtes, proches de la philosophie de McHarg, et d'autre part les approches d'ingénierie et méthodes de gestion des projets d'aménagement et d'infrastructure.

Cette évolution marque bien une amélioration nette des connaissances relatives à la protection du littoral depuis l'époque de McHarg et les années 1960. Cependant, la plupart des rapports et manuels publiés jusqu'en 2008 consi-

3 Ces entités militaires incluent le Beach Erosion Board (1930-1963), puis ses successeurs, le Coastal Engineering Research Center (1963-1983), l'Hydraulics Laboratory and the Coastal Engineering Research Center (1983-1996), et enfin le Coastal and Hydraulics Laboratory (1996 -), inclu dans le Engineer Research and Development Center (1999 -)

dèrent l'utilisation des dunes et des solutions fondées sur la nature comme des moyens de protection secondaires par rapport à la conception d'ouvrages d'art. Les analyses présentées sont avant tout techniques, peu en lien avec la planification territoriale à l'échelle régionale. Les apports d'autres disciplines relatives au paysage, à l'urbanisme et à l'architecture sont quasi inexistantes. La notion d'adaptation des aménagements côtiers face au changement climatique apparaît en filigrane dans le *Coastal Engineering Manual* de 2003 sans pour autant y avoir une place prépondérante. Cependant, les pratiques de l'USACE sont remises en question, et appelées à évoluer suite aux impacts de l'ouragan Sandy en 2012. Le Congrès américain commande alors un rapport sur des solutions d'adaptation climatique fondées sur la nature en 2013, publié en 2015. Il marque un changement de paradigme en termes de réflexions sur la protection du littoral américain (Nordenson, Seavitt, 2015). D'une part, cette réflexion fournit un cadre de gestion des risques de tempêtes côtières et d'élévation future du niveau de la mer, en mettant le changement climatique au cœur des analyses. D'autre part, le rapport met l'accent sur les solutions fondées sur la nature pour améliorer la résilience des systèmes côtiers. En plus de la prise en compte traditionnelle des mesures structurelles et non structurelles pour la gestion des risques, l'étude examine de manière approfondie le rôle des écosystèmes et du paysage, et ce, à plus large échelle, en prenant en compte la planification territoriale. En ce sens, ce dernier rapport vient renforcer la position que McHarg soutenait dans les années 1960 et 1970. Il contribue à illustrer l'évolution des pratiques de l'USACE associées à l'utilisation des dunes comme moyen de protection du littoral, notamment dans le New Jersey.

LE LITTORAL DU NEW JERSEY COMME EXEMPLE DE L'ÉVOLUTION DES PRATIQUES DE L'USACE

Le littoral du New Jersey s'étend sur environ 200 km du nord au sud, et présente de nombreuses configurations côtières comme le démontre la figure 2 : falaises et promontoires au nord, îles-barrières du centre au sud, et marais salants le long de la baie du Delaware au sud (Nordstrom et al. 1986). L'urbanisation des côtes et l'intérêt pour la construction sur les îles-barrières s'accroît à l'issue de la seconde guerre mondiale, puis d'autant plus après la tempête de 1962, lorsque les propriétés de ces îles deviennent abordables pour la classe moyenne (Barone et al., 2014). Parallèlement, la densité de développement, la destruction des dunes de protection, et l'érosion des plages augmentent l'ampleur des dégâts causés par les inondations dues aux tempêtes. L'érosion des plages est un problème historique le long de la côte du New Jersey, et a ainsi nécessité l'utilisation intensive de mesures de protection évoluant au cours des XX^{ème} et XXI^{ème} siècles.

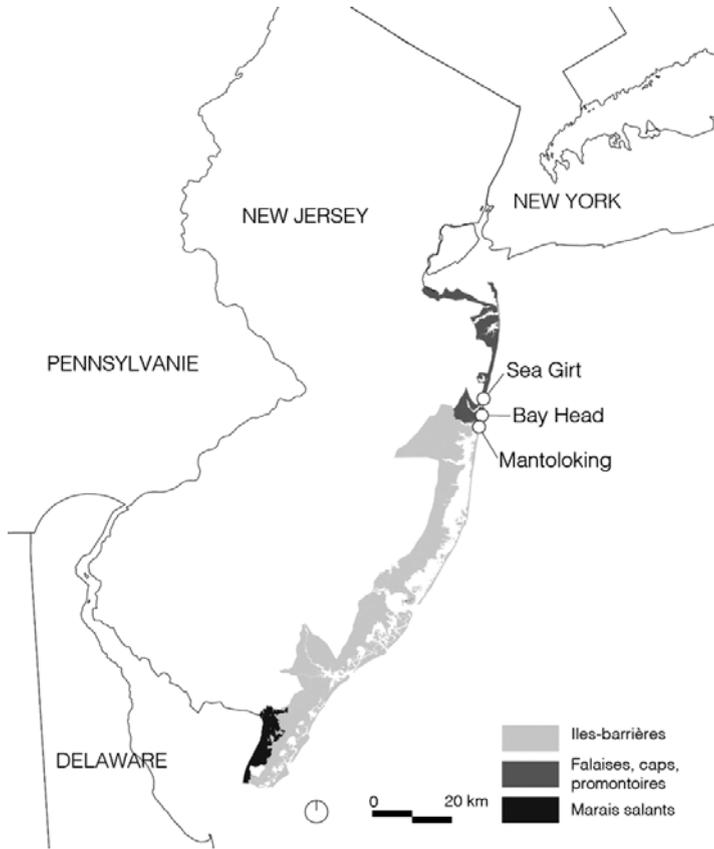


Figure 2 : Types de littoraux du New Jersey (sources : US Census Bureau, NJ bureau of GIS)

Entre les années 1940 et 1980, la stabilisation du littoral est principalement réalisée grâce à la construction d'ouvrages d'art : digues et brises lames pour stabiliser le littoral, et épis et jetées pour stabiliser les sédiments (Nordstrom et al. 1986). Plus de 80 % du littoral de Jersey a ainsi été stabilisé durant cette période (Psuty et Ofiara, 2002). Cependant, ces installations tiennent peu compte des dynamiques environnementales côtières et des modes de transport des sédiments de la région, et ce plus particulièrement jusqu'aux années 1970, période durant laquelle les documents techniques de l'USACE demeurent peu développés sur ce sujet. Ainsi, certains projets que le Corps avait développés et construits durant cette période furent à l'origine de problèmes d'érosion qu'il devra régler des décennies plus tard. La construction des jetées de Cold Springs poussera ainsi l'USACE à utiliser d'autres techniques associées au rechargement des plages à Cape May City dès 1989 pour contrer l'érosion produite par les ouvrages qu'il avait construits.

Les projets de rechargement des plages, associés au remplacement du sable à partir de bancs offshore, d'anses ou de carrières minières proches, débutent dans les années 1960, mais deviennent réellement prédominants dans les années 1990 (Cutter et al., 2012). Cette méthode prend de l'ampleur grâce à la délivrance de permis par les agences fédérales et étatiques rendant accessibles les réserves de sédiments en mer au milieu des années 1980 (Barone et al., 2014). Près de la moitié du littoral aménagé a fait l'objet de rechargement de plages, et l'on estime que plus de 55 millions de mètres cubes de sable ont été pompés sur les plages du New Jersey, dans le cadre des efforts visant à freiner l'érosion, rien qu'entre 1980 et 2000 (Psuty et Ofiara 2002). Les projets de stabilisation du littoral par la création des dunes en tant qu'outil de gestion des risques d'inondations débutent également en parallèle des projets de rechargement, puisque ces deux approches impliquent un remplacement et un remodelage de sédiments. Il existe plusieurs méthodes de réhabilitation des dunes utilisées par l'USACE, mais les plus récentes consistent à construire des clôtures faites de branchages positionnés en front de mer du côté d'une dune préexistante pour piéger le sable et stabiliser la structure. De nombreuses municipalités élaborent à l'issue de la tempête de 1962, des ordonnances pour restaurer les dunes détruites, sans pour autant adopter les principes de planification territoriale développés par McHarg. En 1984, toujours à la suite d'une tempête qui détruit la plupart des complexes dunaires, l'État du New Jersey met en œuvre un programme officiel de restauration des dunes dans le cadre de la loi fédérale sur la gestion des zones côtières. Alors que la protection du littoral relevait principalement des prérogatives des municipalités avant cette date, l'État s'engage à financer la préservation et la construction de complexes dunaires dès lors que les acteurs locaux adoptent des ordonnances conformes aux pratiques de l'USACE et aux réglementations étatiques en matière de gestion des zones côtières. Après 2006, les projets fédéraux se concentrent sur la construction de dunes artificielles par l'USACE, présentes sur 26 sites avant l'ouragan Sandy de 2012. Cependant, toutes les municipalités ne disposent pas d'ordonnances, présentent un front de mer déjà trop urbanisé, et des dunes trop petites ne correspondant pas aux réglementations étatiques pour offrir la protection nécessaire contre les tempêtes et les inondations (Barone, 2014).

Cet état de fait démontre que l'implémentation des principes d'aménagement territorial de McHarg demeurent au début des années 2000 difficiles à mettre en œuvre, du fait de l'histoire urbaine des côtes du New Jersey. Cependant, même une implémentation partielle de ces principes peut contribuer à une protection du littoral accrue face à un ouragan tel que Sandy.

— ENTRE PLANIFICATION TERRITORIALE ET INGÉNIERIE ÉCOLOGIQUE : LES LEÇONS DE L'OURAGAN SANDY

L'impact de l'ouragan Sandy sur le New Jersey fut loin d'être négligeable. Son littoral est intensément développé, et comprend plusieurs centres urbains dont Atlantic City, ainsi qu'un nombre important de résidences saisonnières et d'équipements liés à l'industrie du tourisme. Suite à l'ouragan, deux millions de foyers furent privés d'électricité, et 346 000 maisons endommagées ou détruites. Chris Christie, le gouverneur de l'État du New Jersey annonçait en 2012 que le coût de l'ouragan s'élèverait à près de 36,9 milliards de dollars, pour pallier aux dommages des biens personnels, des entreprises, des infrastructures et des services publics (Blaskiewicz, 2014).

Cependant, le poids de ces dommages dépend des mesures de protection établies par les municipalités en collaboration avec l'USACE. L'étude de 3 municipalités côtières, Mantoloking, Bay Head, et Sea Girt (figure 3), démontre l'effectivité de différentes stratégies de protection. Mantoloking présente uniquement une plage étroite. Bay Head dispose de digues de rochers construites le long de la ligne des dunes associées à la plage. Sea Girt présente enfin une large plage et un complexe dunaire important. La municipalité avait bénéficié d'un projet de rechargement de plage et de renforcement de dunes artificielles à grande échelle avant 2012.

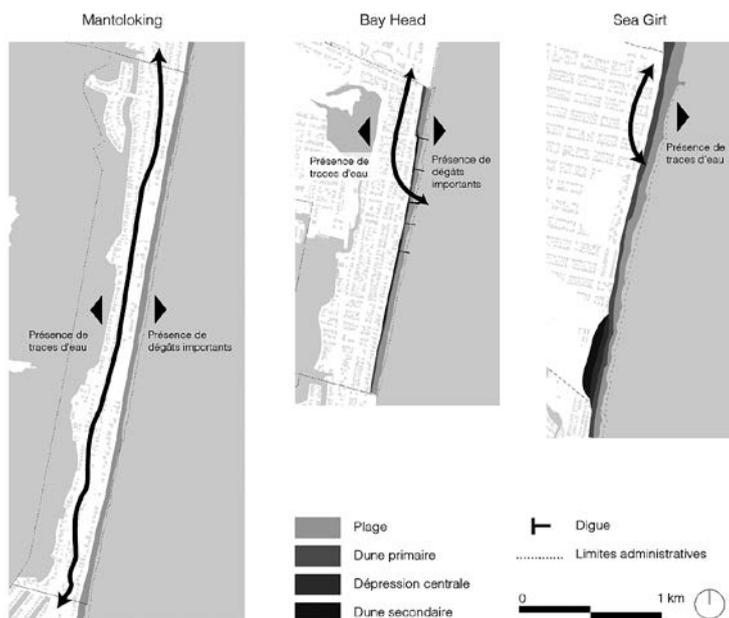


Figure 3 : Impact de différentes stratégies de protection du littoral pour 3 municipalités du New Jersey : Mantoloking, Bay Head, et Sea Girt (sources : US Census Bureau, NJ bureau of GIS, Walling et al. 2014)

Si l'on reprend le modèle développé par McHarg appliqué à ces 3 municipalités comme démontré en figure 3, Mantoloking ne présente pas de complexe dunaire protecteur, sa seule protection demeurant sa plage étroite. Certaines résidences sont également construites directement sur le front de mer. Bay Head présente une dune primaire sans pour autant présenter un complexe dunaire important. La véritable protection réside dans les digues construites par l'USACE. Sea Girt présente un profil côtier proche des recommandations de McHarg, bien que celui-ci soit hétérogène en fonction du front de mer. Certaines parties présentent un complexe dunaire relativement complet alors que d'autres demeurent partiels et s'arrêtent à la dune primaire. Il est à noter également que toutes les dunes construites sont artificielles et ne dépendent pas de processus écosystémiques naturels contrairement au modèle de McHarg. Une étude de Walling et al. (2014) révèlent alors l'étendue des dommages suite à l'ouragan Sandy pour ces 3 municipalités. Mantoloking fut la municipalité la plus touchée, à contrario de Sea Girt qui présente le moins de dommages structurels. La présence des digues de Bay Head a considérablement atténué la propagation des vagues sur les structures présentes sur le front de mer, sans pour autant atteindre les niveaux de performance de protection des dunes artificielles de Sea Girt. Les préconisations de McHarg, même appliquées artificiellement et partiellement, demeurent donc un bon moyen de protection face aux tempêtes. Il est à noter également que ces trois municipalités sont voisines, et témoignent encore d'un manque de réflexion d'aménagement conjoint à plus large échelle, ce qui minimise les processus de protection qui pourraient être mis en place à l'échelle régionale.

Ces résultats viennent confirmer une étude d'évaluation du littoral post-ouragan menée par le Centre de Recherche Côtière du Richard Stockton College of New Jersey (CRC) qui démontre de façon claire comment les plages et les complexes dunaires en général se sont comportés pendant la tempête. Sur 105 sites évalués par le CRC, 63 incluait une plage qui était adossée à des dunes, dont 26 artificielles construites par l'USACE dans le cadre de projets fédéraux. Suite à l'ouragan Sandy, l'étude révèlent que les dunes les plus performantes et résistantes sont artificielles. Alors que 54% des sites comportant des dunes naturelles non aménagées ont connu un effondrement pendant la tempête, seuls 3% des complexes dunaires artificiels ont connu le même sort (Barone, 2014). Ces résultats viennent nourrir les réflexions contemporaines sur l'adaptation des territoires côtiers face au changement climatique. L'USACE reconnaît ainsi dans son dernier rapport sur la question qu'il ne suffit pas de faire appel à une stratégie d'adaptation unique qui assure une protection universelle. Il propose plutôt une série d'interventions, basées sur la notion de « protection stratégique par couches » (Bridges et al., 2015). Pour un même site, certaines de ces interventions sont fondées sur la nature, en compléments de protections structurelles et non structurelles associées à des

éléments de réglementation et de droits de l'urbanisme. Ces interventions fonctionnent alors ensemble pour protéger les communautés côtières (Nordenson, Seavitt, 2015). L'un des aspects les plus intéressants de ces approches hybrides est qu'il existe une grande possibilité d'innovations et de combinaisons. L'approche des rivages vivants, développée par Branch dès 1981 (Branch, 2018), et qui combine restauration d'habitats et construction d'infrastructures est aujourd'hui très soutenue dans plusieurs États américains. Le Maryland, a ainsi adopté sa première loi sur la protection des rivages vivants en 2008, mais d'autres États tels que la Virginie, la Caroline du Nord, le New Jersey, New York, le Connecticut, Rhodes Island et le Mississippi s'intéressent également à ces stratégies de protection hybride du littoral (Sutton-Grier et al., 2015).

— CONCLUSION

L'ouragan Sandy a été un déclencheur de décisions majeures dans la politique d'adaptation climatique américaine, notamment pour les États du Nord-Est des États-Unis. Même si la protection du littoral fait l'objet de réflexions nourries par l'augmentation et l'amélioration de connaissances scientifiques sur le sujet, à la fois par l'USACE mais aussi par des intellectuels tels que McHarg, la question de l'adaptation climatique ne devient centrale qu'au début des années 2000. Alors que les réflexions sur la conception de solutions fondées sur la nature, et en particulier des complexes dunaires, sont explicitées pour la protection du littoral dès les années 1960, notamment avec les travaux de McHarg, leur mise en œuvre demeure longtemps secondaire. Celles-ci redeviennent particulièrement pertinentes suite aux vicissitudes climatiques telles que les ouragans Katrina ou Sandy qui ont le pouvoir de révéler leur efficacité, notamment lorsqu'elles sont hybridées avec d'autres stratégies de protection, notamment structurelles. Cependant, ces hybridations posent de nouvelles questions et de nouveaux défis dans le domaine de l'adaptation des territoires côtiers au changement climatique auquel la recherche peut répondre. Or, l'accès aux données sur les services de protections fournies par les écosystèmes côtiers varie en fonction des États américains, et il existe des variations régionales importantes dans la nature et la qualité des données disponibles. Ces variations traduisent également le fait qu'il n'existe pas de solution unique pour améliorer la résilience des côtes, et que les retours sur les innovations récentes dans ce domaine demeurent encore partiels. Enfin, il est à noter que le manque de terrains en zone urbaine rend difficile la mise en œuvre de ces approches hybrides qui nécessitent de l'espace. Réfléchir à ces défis pour renforcer la résilience des communautés côtières est sans doute ce que McHarg nous incite encore et toujours à faire, malgré le demi-siècle qui nous sépare de ses réflexions.

— BIBLIOGRAPHIE

- Aerts, J. C., Botzen, W. W., Emanuel, K., Lin, N., De Moel, H., & Michel-Kerjan, E. O. (2014). Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science*, 344(6183), 473–475.
- Barone, D. A., McKenna, K. K., & Farrell, S. C. (2014). Hurricane sandy: Beach-dune performance at New Jersey beach profile network sites. *Shore & Beach*, 82(4), 13–23.
- Blaskiewicz, C. S. (2014). *Hurricane Sandy and New Jersey: The Nature of a Natural Disaster*. Mémoire en Sciences de la Terre, de l’Océan et de l’Atmosphère, Florida State University.
- Branch, G. (2018). *Living Shores*. Penguin Random House, Cape Town, Afrique du Sude.
- Bridges, T. S., Burks-Copes, K. A., Bates, M. E., Collier, Z. A., Fischnich, J. C., Piercy, C. D., Russo, E. J., Shafer, D. J., Suedel, B. C., & Gailani, J. Z. (2015). *Use of natural and nature-based features (NNBF) for coastal resilience*. US Army Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory.
- Burger, J., Gochfeld, M., & Lacy, C. (2019). Concerns and future preparedness plans of a vulnerable population in New Jersey following Hurricane Sandy. *Disasters*, 43(3), 658–685.
- Crossett, K. M., Culliton, T. J., Wiley, P. C., & Goodspeed, T. R. (2004). *Population trends along the coastal United States: 1980-2008* (Vol. 55). US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Cutter, S. L., Schumann III, R. L., & Emrich, C. T. (2014). Exposure, social vulnerability and recovery disparities in New Jersey after Hurricane Sandy. *Journal of Extreme Events*, 1(01), 1450002-23.
- Dugua, B., Delabarre, M., & Novarina, G. (2017). Planification et adaptation au changement climatique en Europe. *Thomas, I., Da Cunha, A. (Dir.)(2017) Métropoles Vulnérables, Villes Résilientes et Gouvernance: Quelles Réponses Locales Aux Changements Climatiques Nouveaux?*, 265–268.
- Eisenman, D. P., Cordasco, K. M., Asch, S., Golden, J. F., & Glik, D. (2007). Disaster planning and risk communication with vulnerable communities: Lessons from Hurricane Katrina. *American Journal of Public Health*, 97(Supplement_1), 109–115.
- Herrington, S. (2010). The nature of Ian McHarg’s science. *Landscape Journal*, 29(1), 1–20.
- Lane, K., Charles-Guzman, K., Wheeler, K., Abid, Z., Graber, N., & Matte, T. (2013). Health effects of coastal storms and flooding in urban areas: A review and vulnerability assessment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013.
- Masselink, G., & Lazarus, E. D. (2019). Defining coastal resilience. *Water*, 11(12), 2587.
- McHarg, I. L. (1996). *A quest for life: An autobiography*. John Wiley & Sons, Hoboken.

McHarg, I. L. (1969). *Design with nature*. American Museum of Natural History, Natural History Press, New York.

Nordenson, G., & Seavitt, C. (2015). Structures of coastal resilience: Designs for climate change. *Social Research: An International Quarterly*, 82(3), 655–671.

Nordstrom, K. F., Garés, P. S., Neal, W. J., Psuty, N. P., & Pilkey, O. H. (1986). *Living with the New Jersey shore*. Duke University Press.

Psuty, N. P., & Ofiara, D. D. (2002). *Coastal hazard management: Lessons and future directions from New Jersey*. Rutgers University Press.

Steiner, F. R., & Fleming, B. (2019). Design With Nature at 50: Retrospect and prospect. *Socio-Ecological Practice Research* 1(3), 171–172

Sutton-Grier, A. E., Wowk, K., & Bamford, H. (2015). Future of our coasts: The potential for natural and hybrid infrastructure to enhance the resilience of our coastal communities, economies and ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 51, 137–148.

Yang, B., & Li, S. (2016). Design with Nature: Ian McHarg's ecological wisdom as actionable and practical knowledge. *Landscape and Urban Planning*, 155, 21–32.