



L'adaptation des ports maritimes aux conséquences du changement climatique

Les ports et les voies navigables sont par définition des points d'intérêts vitaux, au cœur du commerce international. Ils sont vulnérables, en raison de leur situation géographique, ouverts sur le littoral, présents à l'embouchure des deltas et des estuaires et donc situés à basse altitude. Ils doivent faire face à une variété de risques, associés à des paramètres de météorologie, d'hydrologie et d'océanographie, menaces rendues d'autant plus prégnantes avec le changement climatique. Selon les projections du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les phénomènes naturels de grande ampleur en zone côtière liés à la montée des eaux (inondations, submersions), qui ont une récurrence centennale pourraient advenir bien plus régulièrement. Sur la période allant de 1880 à 2015, le niveau moyen des océans est monté de 20,2 cm en raison du réchauffement climatique causé par les activités humaines. La montée des eaux, sous l'effet du réchauffement, provoque la dilatation des océans, la fonte des calottes polaires et des glaciers continentaux et modifie les régimes des eaux continentales. Les projections à 2100 s'accordent toutes sur une augmentation du niveau marin comprise entre 20 cm et 1 m selon le caractère optimiste ou pessimiste des scénarios et en fonction du respect des engagements politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Au regard des menaces liées aux changements climatiques, comment les ports appréhendent-ils ces risques? Comment assurer la résilience des infrastructures portuaires aux changements climatiques?

Quelques éléments contextuels

Les grands ports sont souvent reliés à des agglomérations urbaines, les catastrophes naturelles lorsqu'elles surviennent, impactent les populations et par ricochet les activités socioéconomiques (arrêts d'activités, rupture des chaînes d'approvisionnements, fermetures de voies de transport...). Le risque technologique est également très présent. Les ports accueillent souvent des activités industrielles (raffinerie, chimie, engrais, silos à grains, sites Seveso, etc). Activités, qui, si elles venaient à être victimes de phénomènes naturels engendreraient un sur-accident, à l'image de l'accident nucléaire de Fukushima de 2011.

Pour rappel, le port de New York - New Jersey a été complètement fermé durant le passage de l'ouragan Sandy en 2012. La réouverture de nombreux terminaux de fret a été retardée en raison de pannes de courant et de dommages aux équipements. Autre exemple, en 2017 avec le port d'Itajai, au Brésil qui avait dû fermer pendant presque un mois en raison de fortes précipitations, les navires ne pouvaient plus accoster. À l'inverse, la sécheresse prolongée à l'été 2018 en Allemagne avait rendu certaines sections du Rhin impraticables.

Dans les régions cycloniques, les dégâts subis par les ports seront d'autant plus importants. En 2019, aux Bahamas, le coût total des conséquences de l'ouragan Dorian a été estimé à 3,4 Mds \$¹, tandis que des centaines de personnes ont été portées disparues ou ont perdu la vie. Les répercussions sur l'économie dureront plusieurs années. La situation des États insulaires en développement est délicate, car totalement tributaires des infrastructures portuaires et aériennes et à la merci des perturbations climatiques (érosion du littoral entre autres) qui peuvent impacter leur principal secteur d'activité ; le tourisme. Les saisons cycloniques extrêmes sont aussi une menace pour l'activité de croisière.

Autre impact du changement climatique et de la pression anthropique qu'exerce l'homme sur son environnement ; le déficit hydrique du canal de Panama. Le lien interocéanique voit transiter chaque année 12 000 navires marchands, qui déboursent en moyenne 65 000\$ pour franchir l'isthme. Le canal contribue directement et indirectement à hauteur de 40% de l'économie du pays. La déforestation et le manque de précipitations mettent en péril son bassin hydrique, limitant le nombre de passages de navires et perturbant ainsi les échanges maritimes.

Sur le vieux continent, les récentes cartes publiées par l'Agence européenne de l'environnement (EEA) sur les conséquences du changement climatique en Europe, estiment que les pertes annuelles moyennes dues aux inondations côtières des 17 principales villes côtières (et pour la plupart portuaires) de l'UE pourraient passer d'environ 1 Mds€ en 2030 à 31 Mds€ en 2100 dans le scénario d'émissions élevées. Selon l'EEA 3,5 M d'Européens seraient confrontés à un risque régulier

¹Banque interaméricaine de développement, 2019, *Damages and other impacts on Bahamas by Hurricane Dorian estimated at \$3.4 billion: Report*, 15 novembre.

d'inondation en 2100, si les structures actuelles de protection contre les inondations n'évoluent pas. En 2009, le Fonds mondial pour la nature et Allianz, avaient évalué qu'au sein des 136 mégalopoles portuaires à travers le monde, le montant des dommages dûs aux inondations pourrait atteindre 28 Mds\$ d'ici 2050².

Les trois évolutions majeures qu'implique le changement climatique vis-à-vis des infrastructures portuaires sont : l'élévation du niveau moyen de la mer, la modification des débits des fleuves ainsi que la fréquence et la puissance des tempêtes. Leurs conséquences sont multiples : accroissement du risque d'inondation, modification de la dynamique hydro-sédimentaire des estuaires, érosion côtière, sollicitation plus forte des ouvrages portuaires (digues notamment) et une potentielle modification des aires de répartition de certaines espèces.

Les ports et infrastructures de transport maritime appartiennent et/ou sont souvent exploités par des acteurs privés. Pour autant le rôle des autorités publiques est central. Elles déterminent les réglementations et les politiques favorables à l'adaptation des réseaux et des infrastructures de transport maritime aux changements climatiques. Un cadre juridique et réglementaire, prenant en compte l'évolution du changement climatique notamment pour des projets d'infrastructures doit préexister. À titre d'illustration, la directive 2014/52 de l'UE, *concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement*, en vigueur depuis 2017, prévoit que les conséquences des changements climatiques doivent être intégrées dans les études d'impact sur l'environnement des grands projets d'infrastructures.

Les ports, en tant que gestionnaires, sont garants de l'ensemble de ces sujets et prennent par conséquent, des mesures visant à limiter les impacts du changement climatique. La multiplicité de leurs missions peut parfois les amener à des injonctions contradictoires. Le port incarne à la fois le rôle d'un développeur économique, avec la délicate question du foncier et celui de garant de la préservation de l'environnement, lorsqu'il est gestionnaire de zones naturelles (zones humides, plaine alluviale). Enfin, il assure la sécurité et la pérennité de ses installations et des sites industriels présents, au travers de la prévention contre le risque d'inondation, avec la construction d'ouvrages pouvant venir impacter ces zones naturelles. Les arbitrages sont parfois difficiles. L'adaptation des infrastructures portuaires répond à des stratégies différentes en fonction du type de risque. Au risque de submersion marine épisodique dû à des

phénomènes extrêmes, la réduction des dangers se fera grâce à des travaux de protection du littoral. Face à des risques à évolution lente, comme l'inondation permanente, la solution réside plus dans une action à long terme, de maîtrise du risque et de résilience, avec le maintien et le développement des services éco-systémiques naturels par exemple.

Parallèlement, mais de manière non homogène à travers le globe, les acteurs portuaires se mobilisent via des politiques de réduction des GES (économie d'énergie, courant de quai, *EnvironmentalShip Index...*), la promotion de l'efficacité énergétique, l'utilisation de sources d'énergie propres... Toutes ces mesures concourent aux objectifs mondiaux relatifs au climat et sécurisent l'approvisionnement énergétique des ports.

Ce dont on peut être sûr c'est que le climat change, ce qui l'est moins c'est de savoir dans quelle mesure. Les ports doivent se munir de plan de gestion afin d'anticiper la survenance d'un tel phénomène et ainsi être à même de gérer la crise. Une première phase consiste à faire une évaluation des risques actuels et potentiels dans un contexte de changement climatique. Différents scénarios aux paramètres variables (montée des eaux, température, forte précipitation, vent, onde de marée...) doivent être appréhendés, voir modélisés et ce à plusieurs horizons temporels. L'autre étape est de déterminer quelles infrastructures et activités connexes seront touchées et enfin d'évaluer leur degré de vulnérabilité. Les guides de bonnes pratiques, les méthodologies et outils d'aide à la décision face à cette nécessaire adaptation, n'existent pas à l'échelle mondiale. Mais c'était sans compter sur le retour d'expérience de sept siècles des Pays-Bas.

L'exemple hollandais : le port de Rotterdam

Aux Pays-Bas, les inondations de 1953 ont été catastrophiques avec un coefficient de marée important et un accroissement rapide du niveau des fleuves, les digues du pays avaient cédé, provoquant la mort de 1800 personnes et l'évacuation de 70 000 habitants. En réaction, l'Etat hollandais avait lancé un vaste programme de génie civil (plan Delta) sur quarante ans afin de se prémunir contre ce phénomène. Une nouvelle enveloppe de 20 Mds€ d'ici à 2050 sert à maintenir les ouvrages existants. Le trop peu de nappes phréatiques et/ou de zones humides qui absorbent et stockent l'eau, fait défaut.

Les Pays-Bas avec 1/4 de son territoire sous le niveau de la mer, comptent quelques-uns des grands ports d'Europe avec Rotterdam, Amsterdam et Flessingue. En guise de riposte le pays a construit un impressionnant système de barrages, de brise-lames, de barrières anti-inondation, d'aménagements et d'élargissement des lits des fleuves et cours d'eau, de construction de digues (22 500 km), de

²Major Tipping Points in the Earth's Climate System and Consequences for the Insurance Sector (Gland, Suisse, et Munich, Allemagne), 2009.

bancs artificiels tout le long de ses côtes. Les digues sont rehaussées, les dunes engraisées. Ces constructions questionnent puisqu'elles participent au phénomène de subsidence (affaissement des sols) et ne freinent pas la montée du niveau des océans. L'abandon des terres et des villes ne se fera qu'en dernier recours. Désormais, l'objectif des ingénieurs n'est plus d'aller "contre" la mer, mais de faire "avec", de faire preuve d'adaptation et de résilience³.

L'objectif du programme *Rotterdam Climate Proof* est de rendre la ville et le port "pleinement" résilients aux changements climatiques et de faire de Rotterdam "la ville portuaire la plus sûre au monde" d'ici à 2025. Rotterdam, la capitale économique des Pays-Bas, compte 1,4 M d'habitants et concentre 65% du PIB du pays. C'est le premier port d'Europe, où travaillent 350 000 personnes. L'inconvénient est que la ville se situe à l'embouchure commune du Rhin et de la Meuse et est aussi le point le plus bas du pays (-6m/mer).

La stratégie d'adaptation se concentre sur la lutte contre les inondations, l'accessibilité pour les navires et la construction adaptative. Tous les moyens sont bons pour se défendre : toits végétalisés prompts à retenir l'humidité, parkings convertibles en cuves de récupération des eaux, promenades plantées dissimulant un vaste réseau de drains. C'est à Rotterdam qu'a été inventée une nouvelle génération de places publiques ou de constructions adaptatives : les *waterplaza*. Ces esplanades creuses accueillent des installations sportives ou des jardins publics et se muent en lacs en cas de déluge.

Côté portuaire, Rotterdam a mené une étude entre 2015 et 2016, «*Botlek Water Safety*» (zones de Botlek et de Vondelingenplaat situées en dehors du système de protection contre les inondations) afin de déterminer les conséquences des inondations résultant de l'élévation du niveau de la mer. Ce projet est le fruit d'une collaboration entre l'autorité portuaire de Rotterdam, sa municipalité, le Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement ainsi que des entreprises du secteur privé. Différents scénarios liés aux changements climatiques ont été pris en compte, suivis d'une évaluation des risques, d'une identification et d'une priorisation des mesures d'adaptation. Les changements climatiques sont intégrés dans sa planification spatiale, ses ouvertures sur le large se verrouillent en quelques minutes grâce à des systèmes d'alerte. Parmi les nombreux dispositifs, le *Maeslantkering* ("barrière de protection du pays de la Meuse"). Ce portail géant géré par ordinateur protège le principal chenal reliant le port à la mer. La machine

décède automatiquement la fermeture des portes lorsque le niveau d'eau dépasse le seuil normal de trois mètres, empêchant ainsi la mer du Nord d'envahir Rotterdam. Depuis son inauguration, en 1997, le *Maeslantkering* n'a toutefois fermé ses portes qu'à deux reprises. L'expérience en ingénierie des Néerlandais bénéficie d'une reconnaissance internationale en matière d'aménagement du littoral face au risque côtier, de planification urbaine et d'accès à l'eau potable.

L'exemple du port de Long Beach

La vulnérabilité du port de Long Beach en Californie a été mise en évidence en août 2014, lorsque des ondes de tempête de l'ouragan Marie ont touché les côtes sud de la Californie endommageant le port. Suite à cet épisode, le port a élaboré un plan d'adaptation au climat et de résilience côtière (CRP) pour gérer les risques directs et indirects associés aux changements climatiques et aux risques côtiers. Le CRP comprend un examen des meilleures données climatiques disponibles, un inventaire des actifs du port et une cartographie détaillée du niveau de la mer et des inondations dues aux ondes de tempête. Le CRP recommande des solutions à court terme pour protéger les zones les plus vulnérables du port et des stratégies à long terme qui peuvent aider le port à maintenir la continuité des activités à travers son infrastructure et ses opérations dans le siècle prochain. Il fournit un cadre permettant au port d'incorporer des mesures d'adaptation liées aux changements climatiques, dans sa politique de planification spatiale, ses pratiques de construction, la conception des infrastructures et les documents environnementaux.

Un peu plus au sud de la Californie, le port de San Diego, a lui aussi cartographié les zones vulnérables et mis en place une stratégie afin d'atténuer les potentielles conséquences liées aux changements climatiques. L'une de ces solutions réside dans la construction sur trois ans de 72 bassins de rétention d'eau (*Coastal Star d'ECOcrete*) en remplacement d'enrochements traditionnels. Ils servent à la fois d'enrochements, de brise-lames et de digues qui stabilisent le littoral. Ce sont également des mini-écosystèmes marins. D'autres mesures d'inconstructibilité, d'élévation minimale pour certains bâtiments, de restauration d'espaces naturels tampons (zones humides), d'engraissement des plages font partie des mesures d'adaptation aux changements climatiques. Mais qu'en est-il de la France ?

En France

Le risque d'inondation constitue le premier risque naturel. La tempête Xynthia qui balaya la France dans la nuit du 27 au 28 février 2010, causa le décès de 53 personnes et

³ En géographie et en aménagement, la notion de résilience désigne la capacité des villes à limiter les effets des catastrophes et à retrouver rapidement un fonctionnement normal suite à un choc.

constitua un point de rupture dans l'appréhension du risque de submersion. Plusieurs facteurs ont abouti à la catastrophe : épisode de vents violents, onde de tempête, fort coefficient de marée, pleine mer. Créant ainsi une brutale et très forte submersion marine sur les départements de Charente-Maritime et de Vendée. Xynthia est considérée comme tempête de référence, ayant une période de retour supérieure à 100 ans et sert de point de repère à la cartographie (projection Xynthia +20/60/100 cm)⁴.

Le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC) relevant du Ministère de la transition écologique et solidaire (volet "Infrastructures et systèmes de transports, action 1") évoque les impacts potentiels des évolutions climatiques attendues sur les infrastructures de transport et plus particulièrement sur les infrastructures portuaires et maritimes (en matière de températures, de précipitations, de vent, du niveau des mers et de la modification de la houle). Ses orientations générales peuvent être complétées par différentes politiques locales comme les plans de prévention des risques, élaborés entre les services déconcentrés de l'Etat, les DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer), les collectivités territoriales, les autorités portuaires et les industriels présents sur site. Les risques naturels sont aussi encadrés au travers du PAPI, SLGRI, SGLBC, PLUi... Une meilleure compréhension de l'incidence des changements climatiques sur les processus côtiers, par un travail de connaissances scientifiques et techniques, doit être entreprise afin de cartographier les aléas des risques présents. Des documents de planification spatiale sont ensuite édictés. Les zones portuaires peuvent s'inscrire à la fois dans des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) en raison de la présence de sites industriels classés Seveso, ainsi que dans des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) qui traitent à la fois des risques de submersions marines et d'érosion. L'occupation des sols y est réglementée, les zones à risques sont cartographiées et des mesures sont prises afin de limiter les risques. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions en passant par l'imposition d'aménagements sur les constructions existantes.

Au-delà de l'aménagement spatial, des études de résiliences des infrastructures portuaires face aux changements climatiques sont menées port par port afin de mieux appréhender les impacts sur les infrastructures, les mesures correctives, les systèmes d'alerte,

l'organisation des secours, l'organisation de la reprise d'activité du port, les besoins de dragage... La première étude en la matière en France fut le projet Sao Polo en 2012. Le CEREMA (Centre d'Etudes et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement) entreprend actuellement avec le GPM de Bordeaux, la mise en place d'une méthodologie d'analyse des risques, qui aidera le port à identifier les infrastructures et les fonctionnalités vulnérables et à définir une stratégie de gestion et d'adaptation aux changements climatiques.

Le port du Havre, en lien étroit avec les collectivités locales sur lesquelles il est implanté et avec l'administration, a mené des travaux d'analyse statistique des niveaux d'eau et des modélisations numériques de submersion marine pour caractériser les risques d'inondation sur son territoire. Cette réflexion s'étend à la définition de programmes d'amélioration des connaissances des phénomènes, de prévention pour améliorer la résilience du territoire et de gestion de l'événement pour faciliter le retour au fonctionnement normal des activités.

Dans l'estuaire de la Loire, le programme de recherche C3E2 (2014), coordonné par l'Ifremer avec les contributions d'Artelia, de l'Université de Bretagne Occidentale et du GIP Loire-Estuaire, a mis en lumière les "Conséquences du Changement Climatique sur l'Eco-géomorphologie des Estuaires", via des modèles prospectifs jusqu'en 2040. L'étude prend en compte l'évolution du niveau de la mer, les précipitations, les modifications des apports sédimentaires. Les impacts attendus sont les suivants: remontée du sel et du bouchon vaseux, ainsi qu'une probable augmentation de la fréquence des submersions marines dans la plaine alluviale, et une modification des paramètres physico-chimiques de l'eau. Le GPM de Nantes Saint-Nazaire lancera une étude au deuxième semestre 2020 afin de réduire ses vulnérabilités au changement climatique.

Des politiques efficaces d'adaptation ainsi qu'un renforcement de la résilience climatique et une neutralité carbone des ports constituent de véritables enjeux stratégiques et économiques. Les infrastructures de transport qui représentent un lien vital entre les économies domestiques et l'économie mondiale doivent se préparer à adapter leurs espaces aux changements climatiques.

Camille VALERO

Cette Note de synthèse fait également l'objet d'une publication élargie dans « Etudes Marines » du Centre d'études stratégiques de la Marine

⁴ Niveau de submersion pour la tempête Xynthia avec un niveau marin augmenté de 20 cm, afin de prendre en compte le changement climatique à court terme et un scénario + 60 à 100 cm, afin de prendre en compte le changement climatique prévisible à échéance 2100.