

Sauver Venise

L'une des villes les plus emblématiques du monde est directement menacée par la hausse du niveau des mers. Avec les changements climatiques qui alimentent le sentiment d'urgence, des ingénieurs sont en train de construire le barrage anti-inondation le plus avancé du monde sur le fond de la lagune vénitienne. Son ingéniosité ? Lorsqu'il ne fonctionne pas, vous ne devinez même pas la présence de cette structure qui a coûté 5,5 milliards d'euros.

TEXTE : **CLAUDIA B. FLISI** PHOTOS : **MAURIZIO CAMAGNA**



REFROIDISSEMENT HYDRAULIQUE



L'année 1966 a fait office de signal d'alarme pour la ville de Venise. Jusque-là, des siècles d'acqua alta (hautes eaux) intermittentes avaient été un inconvénient des mois d'hiver, mais pas une menace de taille. Tous les trois ans environ, la combinaison de la forte marée et des conditions météorologiques entraînaient la pénétration d'eau dans certaines rues de la ville pendant quelques heures ; les bottes en caoutchouc et des plates-formes surélevées résolvaient le problème.

MAIS LES INONDATIONS de 1966 ont fait monter de deux mètres le niveau d'eau dans Venise, causant des millions de dollars de dégâts et la destruction d'œuvres d'art inestimables. Au cours des 40 dernières années, les changements climatiques, la hausse du niveau des mers et une ville qui s'enfonce ont augmenté la fréquence de l'acqua alta et souligné l'urgence d'une solution. « Nous ne pouvons pas prédire l'avenir, mais nous savons que les choses ont empiré de manière vérifiable ces dernières années », note l'architecte locale Monica Ambrosini.

Elle est porte-parole de Consorzio Venezia Nuova, le consortium chargé par le

gouvernement italien de sauver Venise des eaux. Cette solution est le projet Mose, un barrage anti-inondation innovant, conçu pour contrôler les marées hautes qui menacent la ville. Le nom (Mose signifie Moïse en italien) fait allusion au guide biblique, dont il est dit qu'il a séparé les eaux de la mer Rouge, et l'acronyme signifie MODulo Sperimentale Elettromeccanico, ou module électromécanique expérimental.

Mose est un système de 78 portes mobiles placées au niveau des trois ouvertures de l'île-barrière qui sépare la lagune de Venise de la mer Adriatique. En conditions normales, elles sont posées à plat sous l'eau, dans des structures en forme de boîte, ou caissons. En cas de besoin (selon estimations, quatre ou cinq fois par an), elles seront soulevées pour empêcher que

le niveau de la mer, plus haut, ne pénètre dans la lagune. Une fois la marée haute terminée, elles seront de nouveau abaissées.

C'EST LÀ la clé de l'ingéniosité de Mose. Contrairement aux systèmes de contrôle des eaux de Rotterdam, de Londres et d'un certain nombre de villes japonaises, Mose n'a pas de piliers visibles en permanence. L'un des critères de conception visait à ce que le système se fonde dans la ville qu'il défend, et cela imposait un système unique, à l'image de Venise.

Lorsque le feu vert pour la construction a été donné pour la première fois en 2003, Mose était « le système le plus novateur de son genre, selon Mme Ambrosini, et c'est toujours le cas. Il est très flexible pour tous les niveaux de marée. Son fonctionnement est silencieux. Il respecte la vie marine et l'environnement. »



Monica Ambrosini : « Les choses ont empiré de manière vérifiable ces dernières années. »

LES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES sont une priorité absolue du fait du classement de la ville au Patrimoine mondial et pour les 23 millions de touristes qui visitent Venise chaque année. Un nombre croissant d'entre eux vient sur de gigantesques bateaux de croisière, Mose a donc dû permettre le passage de ces bateaux, mais aussi des pétroliers.

Les défis techniques du projet ont été accentués par sa taille et sa complexité. L'ingénieur Tomaso Gastaldi travaille pour

REFROIDISSEMENT HYDRAULIQUE

« Son fonctionnement est silencieux. Il respecte la vie marine et l'environnement. »

MONICA AMBROSINI,
CONSORZIO VENEZIA NUOVA

MOSE : LES CHIFFRES DU PROJET

- **1 sas pour les gros bateaux** (à Malamocco)
- **2 ports-refuges** (Lido et Chioggia)
- **Une marée de 3 mètres** de haut peut être contenue
- **4 barrages mobiles**
- **15 minutes** en moyenne pour fermer (abaisser) les barrages
- **30 minutes** pour ouvrir (relever) les barrages
- **78 barrages mobiles** au total
- **1 000 employés** impliqués
- **2018**, année d'achèvement estimée
- **5,5 milliards d'euros** pour le coût total estimé (mars 2016)

DONNÉES : quelques autres barrages anti-inondation connus



■ Le barrage Oosterscheldekering (Pays-Bas)

Le barrage Oosterscheldekering, 9 km de long, est la plus grande barrière anti-ressaut du monde, mais ce n'est qu'un des 13 barrages et obstacles anti-tempête du projet Delta Work aux Pays-Bas. Le barrage Oosterscheldekering est constitué d'un grand nombre de portes situées au niveau de la mer, qui régulent la quantité d'eau qui s'écoule depuis la mer du Nord. Le barrage n'a été complètement fermé que 25 fois depuis son ouverture officielle en 1986.



■ La barrière de la Tamise (Royaume-Uni)

La barrière de la Tamise est la deuxième plus grande barrière anti-inondation au monde. Depuis son achèvement, en 1982, elle a protégé Londres d'inondations provoquées par des marées exceptionnellement élevées et des ondes de tempête provenant de la mer du Nord. Elle se compose de portes pivotantes qui, une fois ouvertes, reposent horizontalement sur le fond de la Tamise et, lorsqu'elles sont fermées, pivotent en position verticale. Jusqu'en 2016, elle a été fermée 176 fois.



■ Le barrage de Saint-Pétersbourg (Russie)

En 1978, l'Union soviétique commence la construction du barrage de Saint-Pétersbourg, mais le complexe de barrages de 25 km de long n'a été achevé qu'en 2011. Il se compose de 11 barrages et de deux sas remplis d'eau qui séparent le golfe de Finlande de la baie de la Néva pour protéger la ville des inondations côtières. Le cœur du barrage de Saint-Pétersbourg est le sas d'eau méridional et ses deux portes en acier radiales et flottantes, qui pivotent par le milieu.

REFROIDISSEMENT HYDRAULIQUE

Comar Scarl, une entreprise assurant des services de sous-traitance pour le projet Mose en supervisant le travail d'au moins 50 sociétés, dont quatre grandes entreprises. « Le problème avec un projet aussi vaste, c'est la coordination d'un grand nombre de fournisseurs et d'entreprises », dit-il. « Vous devez intégrer différents délais et coordonner les activités de nombreuses entreprises. Chaque entreprise a ses propres intérêts et son propre savoir-faire, et toutes ne collaborent pas de la même manière. C'est le principal problème que nous devons résoudre. »

DE PLUS, MOSE s'est trouvé mêlé à un scandale politique et ses échéances ont été retardées à plusieurs reprises par des accusations de corruption.

Des gros titres croustillants ont masqué les solides réalisations du projet, d'après M. Gastaldi et Mme Ambrosini. Tout d'abord, et avant toute chose, Mose va protéger Venise de près de trois mètres d'acqua alta, et il le fera sans influence négative sur son environnement. Ensuite, sa technologie unique favorisera le développement d'innovations techniques, civiles, mécaniques et maritimes. De plus, s'il est décidé à l'avenir que Mose doit être démantelé, cela peut être fait sans dommage permanent.

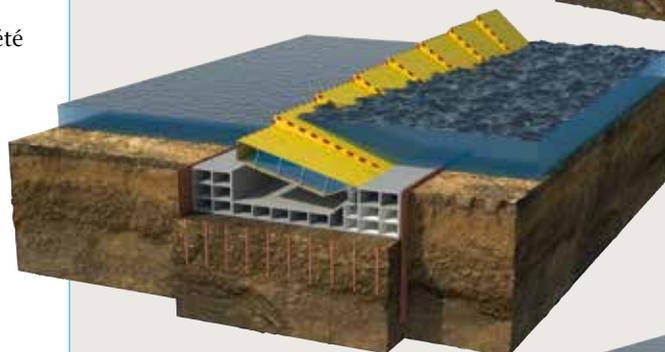
L'une des barrières du projet Mose fonctionne en mode de test depuis le 26 mai 2016 et ses performances techniques ont été plus que satisfaisantes. L'ensemble des 78 portes sera officiellement opérationnel en juin 2018. ■

FONCTIONNEMENT

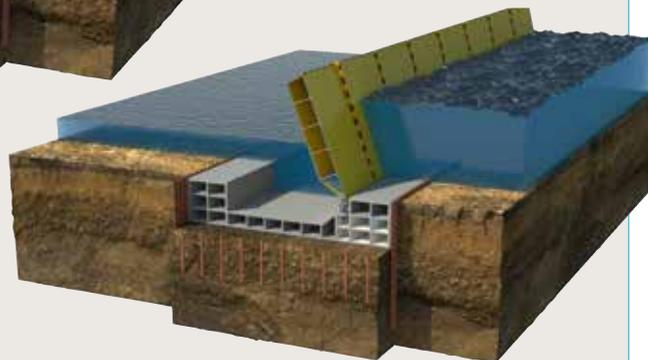
1 Les portes mobiles du projet Mose sont normalement pleines d'eau et elles reposent hors de la vue dans leur structure de logement sur les fonds marins.



2 Lorsque la marée monte de plus de 110 centimètres, l'air comprimé est introduit dans les portes pour vider l'eau qu'elles contiennent et qu'elles commencent à se relever.



3 Les portes s'élèvent au-dessus de la surface jusqu'à ce qu'elles séparent la lagune de la mer. Lorsque la marée redescend, le processus s'inverse et les portes retrouvent leur logement.



Compacte, silencieuse et économe en énergie : la solution de refroidissement d'Alfa Laval

Lorsqu'une inondation se produit, les 78 portes mobiles de Mose se remplissent d'air comprimé refroidi, pompé depuis les échangeurs thermiques d'Alfa Laval. Cet air fait sortir de force l'eau de mer qui remplit normalement les portes, et les maintient submergées, et celles-ci se relèvent de leurs caissons situés sous la lagune pour faire barrière au niveau de la mer qui monte. L'air doit d'abord être refroidi parce que les barrières mobiles sont fabriquées dans un matériau composite rigide qui ne saurait tolérer l'air à une température trop élevée, explique Paolo Zapparoli, Product Manager Industrial Dry Coolers

chez Alfa Laval à Alonte, en Italie.

Deux modèles d'échangeurs thermiques à air d'Alfa Laval sont utilisés dans le projet Mose.

Dans la même gamme de produits Alfa V (ils ne diffèrent que par leur taille et la capacité de transfert thermique), ils ont été choisis pour leur compacité, leur faible niveau sonore et leur efficacité énergétique, selon M. Zapparoli.

Il ajoute qu'un autre élément important a contribué à la réussite de ce projet : la collaboration entre les ingénieurs du projet Mose et les spécialistes d'Alfa Laval.



« Nous avons travaillé ensemble dès le début afin d'adapter nos modèles standard

à leurs exigences spécifiques, en suggérant des améliorations en termes de matériaux et de nouvelles technologies. »

Ces modifications comprennent le matériau thermique, une nouvelle interface, des niveaux sonores limités grâce à une nouvelle ventilation, une mécanique ajustée, une consommation électrique réduite, un encombrement limité et des compresseurs affichant une puissance élevée et un faible volume.

La raison sous-jacente à ces modifications réside dans le fait que de nombreuses années se sont écoulées entre les premières discussions sur le projet et la réalisation effective, et pendant ce temps, la technologie a continué d'évoluer. M. Zapparoli est très fier de cet aspect de la collaboration, qu'Alfa Laval ait pris l'initiative d'intégrer de nouvelles technologies, même si le projet reposait sur des techniques plus anciennes.

Le système a été testé avec succès au sein d'un projet pilote sur site. Les ingénieurs du projet ont apporté quelques ajustements techniques pour améliorer l'automatisation des barrages, mais les composants ont impeccablement fonctionné.