

Université Libre de Bruxelles
Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Impacts et menaces portant sur un site patrimonial à haute fréquentation touristique

Le cas de Venise



Mémoire de fin d'études présenté par
Frédéric de Thier
en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
« Finalité Gestion de l'Environnement 120ECTS M-ENVI5G »

Année académique : 2016-2017

Sous la direction de Marie-Françoise GODARD

Assesseurs : Jean-Michel DECROLY

Anya DIEKMANN

Frank PATTYN

Image de couverture :

Place San Marco, décembre 1933

Photographe : Bettmann/Corbis

Remerciements

Ce mémoire est dédié à toutes celles et ceux qui ont supporté et encouragé ma reprise d'études, 25 ans après l'obtention de mon premier diplôme. Je tiens à remercier mes parents, ma tante ainsi que Anne et Géraldine pour leurs relectures et leurs commentaires avisés. Je remercie également mes camarades d'étude ainsi que celles et ceux qui m'ont soutenu et raisonné dans mes nombreux moments de doute et d'insatisfaction. Enfin, je remercie le corps enseignant de l'IGEAT dans son ensemble pour toutes ces nouvelles portes de savoir qu'ils m'ont permis d'ouvrir.

*Oh Venice ! Venice ! when thy marble walls
Are level with the waters, there shall be
A cry of nations o'er thy sunken halls,
A loud lament along the sweeping sea !
If I, a northern wanderer, weep for thee,
What should thy sons do ? — any thing but weep :
And yet they only murmur in their sleep.*

Ode on Venice
Lord Byron (1788–1824)

Résumé

L'imagerie populaire contemporaine, relayée par la presse grand public, dépeint Venise comme une ville submergée par les touristes mais, au-delà de cette vision catastrophiste, on trouve une autre réalité, plus large et plus fine : celle d'une ville ancienne, patrimoniale puisqu'inscrite au *Patrimoine mondial* de l'UNESCO, faisant face à de nombreux challenges. Venise est nichée au nord de la mer adriatique, au sein d'une lagune où s'appliquent plusieurs phénomènes climatiques locaux et qui subit des modifications continues, certains naturels, d'autres d'origine anthropiques mais qui tous participant à la dégradation progressive de la cité historique. Afin de cerner au mieux les différents problèmes auxquels fait face la cité historique de Venise actuellement, on cherchera à faire un bref inventaire des menaces portant sur la cité historique, des impacts liés aux intervention humaines tant au niveau de la ville et de la lagune que de la zone continentale attenante et on tachera de décrire les principales réponses apportées à ces menaces et ces impacts. Ce cheminement s'appuiera sur le schéma DPSIR, adapté à la situation locale, décrivant la chaîne de liens de causalité allant des *forces motrices* (secteur économique, activités humaines) jusqu'aux *impacts* sur l'écosystème, la santé, le territoire, etc. en passant successivement par les *pressions* (émissions, déchets) et les *états* (physique, chimique, biologique).

Une première partie est consacrée à la description des lieux, depuis le cadre englobant que constitue la lagune jusqu'à la cité historique qui y est nichée, en passant par une description de l'environnement marécageux lagunaire et des zones côtières qui séparent la lagune de la mer. Une seconde partie sera consacrée à l'élément humain : on y passera en revue le contexte socio-économique, principalement centrée sur l'évolution de la population de la ville historique ainsi que sur sa relation au tourisme de masse contemporain. La troisième partie sera axée sur les menaces et impacts divers subis par Venise et sa lagune. Ce long chapitre, très disparate, commence par une description des conditions climatiques locales comme la circulation atmosphérique, la subsidence, les vents et les marées ; puis on s'attachera à décrire ce que ces conditions impliquent pour Venise en particulier, en termes de gestion des eaux et des inondations par exemple. On y abordera ensuite les mesures de protection, utilisées ou envisagées, tant locales, c'est-à-dire à l'échelle de la ville, que diffuses, c'est-à-dire à l'échelle de la lagune. On parlera ainsi des modifications morphologiques de la lagune, de la reconstruction de zones de marais salants, de la balance sédimentaire, de la gestion de la pollution, du processus d'érosion menaçant le bâti et des mesures de réparation ou de protection mises en œuvre. Enfin, pour clôturer cette partie, on décrira les mesures à grande échelle en construction aux embouchures séparant la lagune de la mer, le projet MoSE. Pour conclure, on reviendra sur le schéma DPSIR ainsi que sur les questions de recherche avant de proposer quelques pistes de travaux complémentaires.

Table des matières

Remerciements	3
Résumé.....	4
Table des illustrations.....	7
1 Introduction.....	1
1.1 Contexte de l'objet	1
1.1.1 Application du modèle DPSIR à Venise	1
1.2 Contexte de la recherche	2
1.2.1 Plan et méthodologie	2
1.2.2 Evolution et limites de l'ouvrage.....	3
2 Venise et sa lagune.....	4
2.1 Description et évolution	4
2.2 Les marais salants et vasières.....	6
2.3 La zone côtière	7
2.3.1 Les embouchures entre la lagune et l'Adriatique	8
2.4 La cité historique	9
3 Eléments socio-économiques.....	12
3.1 Venise et sa population	12
3.2 Venise et le tourisme.....	13
3.2.1 Capacité de charge	14
3.2.2 Management touristique	16
3.2.3 Gestion des stocks et des déchets.....	16
3.2.4 Les bateaux de croisière	17
3.3 Population, économie et soutenabilité	20
4 Menaces, impacts et mesures prises	21
4.1 Climat, vents et marées.....	21
4.1.1 Circulation atmosphérique et vents	21
4.1.2 Subsidence.....	24
4.1.3 Le niveau des eaux	27
4.1.4 Inondations.....	33
4.2 Protection et restauration.....	37
4.2.1 Mesures locales et diffuses	37
4.2.2 Gestion	38

4.2.3	Activités socio-économiques.....	40
4.3	Modifications dans la lagune.....	41
4.3.1	Morphologie.....	41
4.3.2	Marais salants et vasières.....	43
4.3.3	Sédiments.....	44
4.3.4	Nutriments.....	47
4.3.5	Restauration.....	48
4.4	Bâtiments.....	51
4.4.1	Erosion des fondations et du bâtis.....	51
4.4.2	Élévation des structures.....	52
4.4.3	Réparation et entretien des canaux.....	55
4.5	Pollution.....	56
4.5.1	Bassin de drainage.....	56
4.5.2	Egouttage.....	57
4.5.3	Le port de Marghera.....	59
4.5.4	Trafic maritime.....	60
4.6	Zone côtière.....	62
4.6.1	Interventions côtières.....	62
4.6.2	MoSE.....	63
5	Conclusion.....	68
5.1	Résumé des menaces et interventions.....	68
5.2	Réponses aux questions de recherche.....	70
5.3	Ouverture vers d'autres recherches.....	70
Annexes.....		71
Annexe 1 : Détails du Patto per lo sviluppo della Città di Venezia.....		71
Annexe 2 : Interventions de restauration planifiées dans la lagune.....		72
Bibliographie.....		73

Table des illustrations

Figure 0 : Place San Marco, décembre 1933	Couverture
Figure 1 : Modèle DPSIR pour la lagune de Venise.....	2
Figure 2 : Déviation des rivières.	5
Figure 3 : La lagune de Venise : zones immergées, canaux, zones intertidales, marais salants, terres émergées et zones réservées à la pisciculture.	6
Figure 4 : Vasières et marais salants.....	7
Figure 5 : Embouchures entre la lagune et l'Adriatique.....	8
Figure 6 : Quartiers de la cité historique.	9
Figure 7 : Répartition du caranto dans le sous-sol.	10
Figure 8 : Fondation vénitienne.....	11
Figure 9 : Plan type d'un campo et d'un puit.....	11
Figure 10 : Importance des flux de navetteurs entre Venise et le continent.	13
Figure 11 : Population résidente et touristique.....	15
Figure 12 : Manifestation face aux navires de croisière. - Affiche du référendum du 18 juin 2017.	19
Figure 13: Evolution d'une zone de pression de 1000hPa à l'origine d'une forte crue (+ de 70cm).	22
Figure 14 : Direction et force des vents Sirocco (gauche) et Bora (droite).	23
Figure 15 : Variations du niveau des eaux dues au vent du nord-est Bora et du sud-est Sirocco	23
Figure 16 : importances relatives de l'eustasie et des subsidences naturelles et anthropiques.....	24
Figure 17 : Mesure du mouvement d'origine anthropique des sols	25
Figure 18 : Effet des pompages d'eaux souterraines entre 1930 et 1970 sur la subsidence.	26
Figure 19 : Comparatifs entre Venise et Trieste, distantes de 100km	26
Figure 20 : Variations du niveau moyen de la mer (cm) à Venise de 1872 à 2015.....	27
Figure 21 : Vitesse des eaux à l'embouchure de Malamocco en marée montante (a,c) et sortante (b,d) actuellement (gauche) et en 1811 (droite).....	29
Figure 22 : Affichage en ligne des niveaux des marées.....	29
Figure 23 : Flux, hauteur et dispersion des marées entrantes.....	30
Figure 24 : Temps de résidence des eaux.	31
Figure 25 : Zones inondables, selon trois niveaux de marées en 1900 et 1997.....	32
Figure 26 : Niveau des eaux : comparaison entre la vue actuelle et une peinture de Canaletto	33
Figure 27 : Evolution du niveau moyen de la mer à Venise et distribution annuelle des marées hautes > = 110 cm, de 1872 à 2016.....	34
Figure 28 : Distribution mensuelle des marées dépassant 110cm de 1872 à 2014.....	34
Figure 29 : Nombre et durée des marées exceptionnelles pour la période 2013-2015. - Nombre d'événements pour la période 1966-2015, durée moyenne pour chaque événement et fréquence	35
Figure 30 : Pourcentage de la cité historique inondé en fonction du niveau des eaux	36
Figure 31 : Application Piazza San Marco du projet Ramses.	36

<i>Figure 32 : Niveau de protection octroyé par différentes mesures de mitigation.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 33 : Evolution morphologique et bathymétrique de la lagune.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 34 : Modélisation du flux de sédiments en marée montante et descendante, époque contemporaine. ...</i>	<i>45</i>
<i>Figure 35 : Modélisation du flux de sédiments en marée montante et descendante, en 1811.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 36 : Limites de concentration pour la classification des sédiments.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 37 : Evolution de la concentration en phosphate, ammoniac et nitrate dans la lagune.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 38 : Restaurations morphologiques de marais salants - Réutilisation de sédiments dragués.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 39 : Evolution d'un projet de restauration.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 40 : Méthodes de restauration des marais salants</i>	<i>50</i>
<i>Figure 41 : Dégradations dues aux effets de l'eau et du ressac.</i>	<i>52</i>
<i>Figure 42 : Deux élévations successives du niveau du pavement.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 43 : Modernisation du système d'évacuation des eaux place San Marco.....</i>	<i>53</i>
<i>Figure 44 : Elévation et époque de construction des bâtiments à neuf endroits de la cité historique.</i>	<i>54</i>
<i>Figure 45 : Réparation en cours après assèchement d'un canal.</i>	<i>55</i>
<i>Figure 46 : Responsabilités respectives du bassin de drainage, de la zone industrielle et de l'atmosphère.</i>	<i>57</i>
<i>Figure 47 : Plan type d'une fosse septique, ratio de traitement des eaux.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 48 : Localisation des stations de traitement des eaux</i>	<i>58</i>
<i>Figure 49 : Dignes et jetées artificielles à Pellestrina.</i>	<i>62</i>
<i>Figure 50 : Dispositif MoSE : plan de coupe.</i>	<i>63</i>
<i>Figure 51 : Barrières en position fermées.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 52 : Durée moyenne (h) d'inondation par an selon différents scénarios de montée des eaux.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 53 : Durée moyenne (h) de fermeture des barrières selon différents scénarios de montée des eaux.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure 54 : Dispersion de la pollution.....</i>	<i>65</i>
<i>Figure 55 : Détails du Patto per lo sviluppo della Città di Venezia.</i>	<i>71</i>
<i>Figure 56 : Interventions de restauration planifiées dans la lagune.</i>	<i>72</i>

1 Introduction

1.1 Contexte de l'objet

Présente depuis longtemps dans l'imaginaire romantique et touristique, la vision contemporaine portée sur Venise est aussi celle d'une ville en danger : Venise qui s'enfonce, Venise sous eau, Venise envahie de hordes de touristes. Mais qu'en est-il réellement ? Quelles sont les menaces et les challenges réels auxquels fait face cette ville inscrite avec sa lagune, depuis 1987, au patrimoine mondial de l'UNESCO ?

Ce mémoire propose d'étudier les rapports complexes entre, d'une part, les différents intérêts entrant en jeu localement : intérêts économiques, pressions touristiques, enjeux politiques, conditions de vie de la population et, d'autre part, les différents impacts relatifs à ces activités et les menaces, d'origine naturelles ou anthropiques, directes ou indirectes, auxquels doit faire face la cité historique. Quelques questions de recherche serviront de fil rouge au contenu de ce mémoire : Quelles sont les menaces portant sur le site touristique de Venise ? Quelle est la part jouée par l'homme dans ces menaces ? Quelles sont les solutions mises en œuvre ? Quels sont les éléments permettant de comprendre l'équilibre difficile entre les intérêts économiques, patrimoniaux et environnementaux ?

1.1.1 Application du modèle DPSIR à Venise

Selon le modèle DPSIR¹, il existe une chaîne de liens de causalité depuis les *forces motrices* (secteur économique, activités humaines) jusqu'aux *impacts* sur l'écosystème, la santé, le territoire, etc. en passant successivement par les *pressions* (émissions, déchets) et les *états* (physique, chimique, biologique). Ce modèle permet de structurer la réflexion sur les indicateurs nécessaires à l'information des décideurs et sur les conséquences des choix effectués. (Kristensen, 2004)

Appliqué à Venise, ce modèle permet de définir les *forces motrices* spécifiques que sont les éléments naturels (vents, marées, eustasie, changement climatique) et les éléments d'origine anthropique (industrie, agriculture, pisciculture, tourisme, habitants). Ces forces causent diverses pressions portant sur l'environnement lagunaire et les îles, comme le niveau relatif des eaux, la force des marées, les échanges mer-lagune, les charges de polluants, la dissémination des sédiments. En conséquence, l'état de l'environnement est affecté, avec des modifications de la qualité de l'air, de l'eau, des écosystèmes, des sols et des fonds marins. Ces changements induisent des impacts comme l'eutrophisation, la réduction de la biodiversité, l'évolution morphologique de la lagune, les dommages causés aux bâtiments et structures, la détérioration des conditions sanitaires. L'identification de cette chaîne de causalités permet aux décideurs de fixer les priorités quant aux réponses à apporter : mesures de

¹ DPSIR pour : Drivers (D, *Forces motrices*) - Pressures (P, *Pressions*) - State (S, *Etats*) - Impacts (I) – Responses (R, Réponses). (Observatoire National de la Biodiversité)

protection face aux inondations, reconstruction de marais salants (zones de terres émergées sauf à marée haute), dépollution, régulation portant sur l'agriculture et la pisciculture, amélioration des infrastructures, gestion touristique, etc. Ce sont ces différentes problématiques, centrées sur la cité historique, et les solutions actuellement apportées, qui constituent le cœur de ce mémoire.

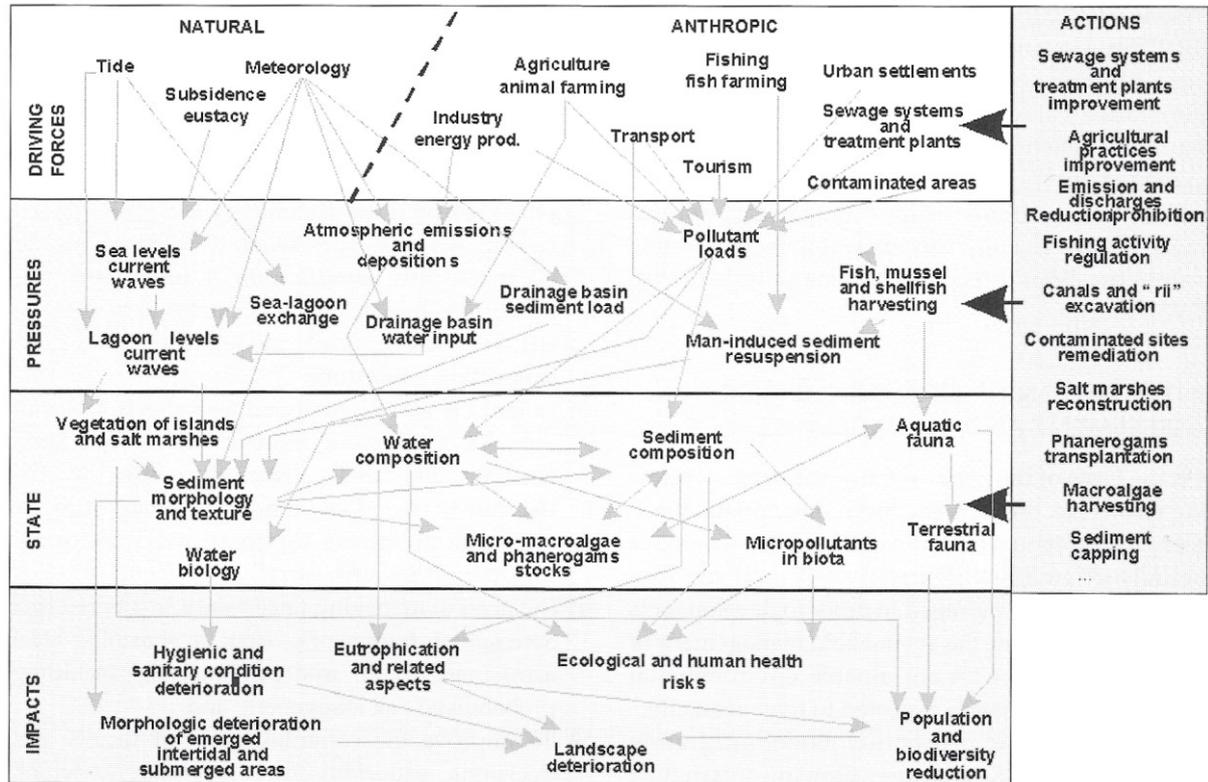


Figure 1 : Modèle DPSIR pour la lagune de Venise. (Marcomini, p.498)

1.2 Contexte de la recherche

1.2.1 Plan et méthodologie

Le mémoire est conçu comme une recherche théorique sur base d'études scientifiques, monographies, rapports, plans d'action, reportages et articles journalistiques. Il débute par une description des différents éléments constitutifs des lieux : la lagune, la zone côtière, la cité historique, la zone continentale. L'organisation du reste du mémoire comporte deux parties : tout d'abord, les éléments socio-économiques pertinents : économie, population, tourisme ; ensuite, une présentation des menaces, impacts et mesures prises dans la ville et dans la lagune. Les relations causes-effets liant les impacts et les mesures prises n'étant que rarement linéaires et simples, le découpage peut sembler artificiel et certains sujets abordés ont nécessité quelques redites, réduites au minimum. Ce long chapitre s'intéresse aux effets du changement climatique, au régime des vents, aux marées et inondations, aux modifications apportées à la lagune et aux zones côtières, au bâti de la cité historique, au trafic maritime et à la pollution. Enfin, reprenant brièvement les grandes menaces et interventions, la conclusion s'attachera à réaliser une analyse critique du texte, à voir si les questions de recherche ont bien été couvertes et quelles pistes et travaux complémentaires pourraient être envisagés.

Au sein de ce travail, les citations de sources francophones sont encadrées de guillemets. Les traductions et les amalgames d'idées sont identifiés par la référence détaillée de l'emprunt, déclinées sous différents formats (Nom de l'auteur principal, date, page) ou Nom (date, page) pour les références issues de livres, (Nom de l'auteur principal ou de la revue, date) pour les articles, et (Site web, date si mentionnée) pour les sources en ligne. Lorsqu'au sein d'un même paragraphe, plusieurs références issues d'un même auteur et d'un même ouvrage se succèdent directement, à partir de la seconde mention, seule la page sera indiquée.

1.2.2 Evolution et limites de l'ouvrage

La construction de ce mémoire s'est heurtée à plusieurs problématiques qui ont conduit à le recadrer. Tout d'abord, une série d'entretiens exploratoires menés auprès de personnes ayant visité Venise ou ayant l'intention de s'y rendre a rapidement conduit à la conclusion que la plupart des gens n'ont qu'une idée très vague des problèmes que rencontre Venise. On retrouve dans leur discours les idées générales que Venise coule ou que Venise est régulièrement inondée mais sans réelle connaissance des raisons et des mesures prises. Personne n'était, par exemple, au courant des sirènes d'alarme qui sont activées dans la ville en cas de forte inondation. Pareillement, plusieurs visiteurs ont cité la problématique des bateaux de croisière mais l'externalité mentionnée se limite à l'aspect visuel désagréable causé par les navires lorsqu'ils passent à proximité de la ville. De ce fait, l'idée de baser en partie ce mémoire sur des entretiens de visiteurs a été écartée. D'autre part, le plan initial du mémoire était fortement orienté sur les relations entre la cité historique et le tourisme. Après visionnages de plusieurs documentaires et des lectures généralistes portant sur les problèmes et menaces auxquels fait face Venise, il est apparu que, dans les problématiques que rencontre la ville, tout d'abord, sa relation au tourisme n'occupe qu'une place parmi d'autres, et ensuite, qu'il ne peut être fait l'impasse de certaines questions liées à la lagune dans son ensemble et à ses relations avec la mer Adriatique. En conséquence, la partie relative au tourisme a été considérablement réduite. A ce stade, un nouveau problème a émergé : comment réaliser un mémoire à la fois complet par rapport aux problématiques de Venise et sa lagune sans que celui-ci ne soit trop long ou, à l'opposé, court mais superficiel. Ce dilemme a conduit à certains choix, à certaines exclusions thématiques, et à un angle de récit en particulier : le mémoire présenté couvrira les menaces, impacts et mesures prises portant sur la cité historique de Venise et ne parlera des autres zones que lorsqu'elles ont, directement ou indirectement, un impact réel sur la cité. On ne s'occupera donc pas des problématiques spécifiques à la lagune, comme ses populations de faune et flore, ou à l'hinterland. Le mémoire ne rentrera pas non plus en profondeur dans la vie politique, dans le cadre légal ou dans le financement des mesures prises, ni dans les incessants débats portant sur le bien-fondé de ces mesures.

2 Venise et sa lagune

2.1 Description et évolution

La lagune de Venise est une surface de 550km² de zones humides et d'eaux saumâtres connectée à la mer par trois embouchures (du nord au sud) : Lido, Malamocco et Chioggia. (Day Jr, 2005, p.445) Elle est implantée dans le bassin de l'Adriatique du Nord, qui est lui-même bordé au nord par les Alpes, au sud et à l'ouest par les Apennins et à l'est par les Alpes dinariques. Cette zone comprend les restes de la plaque tectonique adriatique, qui est progressivement subduite sous les Apennins. (Fletcher, 2004, p.17) L'environnement de la lagune de Venise est un écosystème complexe, résultat de la rencontre des systèmes aqueux terrestres et maritimes. La lagune est un écosystème transitionnel qui incorpore des interactions entre un environnement terrestre et un environnement maritime, y mêlant eaux douces et eaux salées ainsi que des cycles de flux et reflux de marées. Il s'agit également d'un environnement maintenu artificiellement par des actions humaines couvrant plusieurs siècles, et ce non seulement afin de permettre le développement d'une communauté de vie mais aussi afin de maintenir un système de défense particulier. Ce dernier est basé sur la faible profondeur de la lagune, qui protège les habitants des invasions tant terrestres que maritimes. Dans cet ensemble, interagissent des processus naturels physiques, chimiques et biologiques et des actions humaines diversifiées. (Da Mosto, 2005, p.644) Son bassin de drainage couvre lui une surface de 1850km² abritant une population de plus d'un million d'habitants ; 40% de cette zone étant en-dessous du niveau de la mer, en particulier les zones sud et celles bordant la lagune. Les zones cultivées ou destinées à l'élevage occupent 70% de la surface. (Zonta, 2005, p.581)

La profondeur moyenne de la lagune est de 1,1m. L'amplitude des marées varie de 0,6 à 1,1m. Les zones infratidales sont partiellement occupées par des macroalgues et des zostères² ainsi que des espèces spécifiques aux marais salants. (Cecconi, 2005, p.461) La lagune inclut la plus grande zone humide d'Italie (70km²) et une des plus importantes de Méditerranée en termes de diversité et d'abondance. (France, 2011, p. 7) Elle est un sanctuaire servant d'étape de migration hivernale et d'aire de reproduction à quelque 200.000 oiseaux et d'habitat permanent à une soixantaine d'espèces d'oiseaux et de nombreuses espèces aquatiques. (LabaEPFL, 2016, p.81) Parmi les espèces nidifiantes, on dénombre entre 80 et 90% de la population italienne de Chevalier gambette et de Sterne caugek. (Scarton, 2005, p.573)

Elle comprend un réseau de canaux artificiels de plus de 1.500km dont les plus importants peuvent descendre à une profondeur de 20m. Elle se compose de quatre types d'habitats principaux : une part

² Plantes marines herbacées appartenant au genre *Zostera* (famille des Zostéracées), vivaces, à feuilles en forme de rubans de 20 à 120cm de long et 0,5 à 1,5cm, de couleur vert brillant. (Wikipédia)

sous eaux en permanence, des vasières, des marais salants et des îles émergées, qui comprennent les îles intérieures à la lagune et les trois bandes de terres séparant la lagune de la mer Adriatique. Les surfaces sous eaux en permanence vont de celles peu profondes aux canaux profonds. Dans les eaux peu profondes, on trouve des herbiers marins qui aident à stabiliser le fond du lagon et servent de nurserie à la reproduction des poissons. Les vasières sont le plus souvent immergées, n'émergeant qu'à marée basse, riches en invertébrés importants tant pour l'économie locale (palourdes) qu'en tant qu'aire d'alimentation et de nidification pour certains oiseaux. Elles interagissent avec les canaux mineurs et influencent les formations et érosions des marais salants. Les marais salants sont partiellement couverts d'eau à marée haute. Les plantes tolérantes au sel qui y poussent font le lit d'une vie sauvage assez riche et diversifiée. Ils sont distribués de manière irrégulière dans la lagune et présentent des surfaces très variables, allant de quelques mètres carrés à plusieurs hectares. (Fletcher, 2004, p.18-20)

Dès les premières colonisations, la fonction défensive de la lagune de Venise est apparue comme essentielle et, afin de contrer son ensablement progressif, à partir du 15^{ème} siècle, sept rivières furent détournées vers le nord ou le sud. (Fletcher, 2004, p.22-23) Les plus importantes sont Brenta, la Sila et la Piave. (Da Mosto, 2005, p.644)

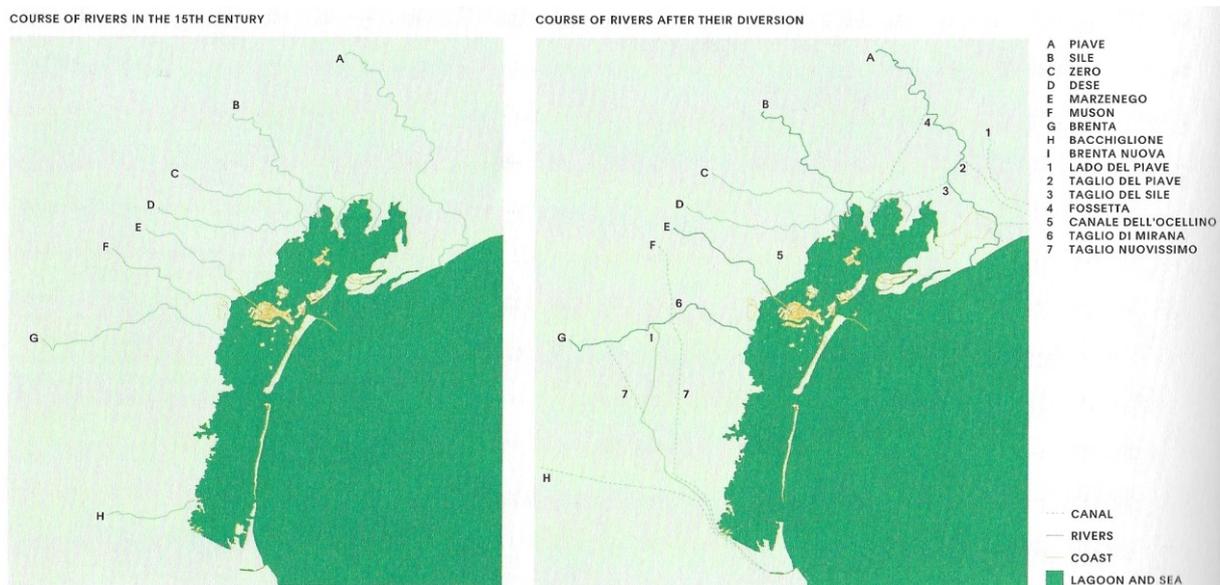


Figure 2 : Déviation des rivières. (LabaEPFL, p.74)

Après la déviation des rivières, les canaux menant à l'Adriatique ont été modifiés afin d'accroître l'évacuation des sédiments vers la mer. Ces cinquante dernières années, ces canaux ont été élargis et approfondis afin de permettre le passage de bateaux au tonnage de plus en plus importants. (France, 2011, p. 8) La lagune a également été fortement altérée par le développement de zones urbaines sur les îles et les zones de dunes côtières. (Day Jr, 2005, p.445) Actuellement, la lagune s'approfondit, en combinaison de la subsidence et de la montée des eaux, et s'aplatit de par la manière dont les

sédiments circulent au sein de la lagune. (Cecconi, 2005, p.463) Le volume d'eau actuellement présent dans la lagune est actuellement estimé au double de ce qu'il était au 19^{ème} siècle, et ce malgré la réduction de la surface totale de la lagune. Son évolution vers un format marin, où la teneur en sel est de plus en plus similaire à celle de l'eau de mer, entraîne la régression des marais salants et vasières, (Fletcher, 2004, p.24) ainsi que la raréfaction des espèces présentes, certaines ayant déjà disparu. (p.12) Les aspérités du fond marin étant progressivement lissées, on observe une stagnation des eaux et un phénomène d'eutrophisation. Cette dernière pénalise la croissance des plantes aquatiques qui solidifient le fond de la lagune, rendant les fonds plus sensibles à l'érosion, ce qui, dans un cycle continu, renforce la disparition de plantes et espèces animales. (Cecconi, 2005, p.462-463)

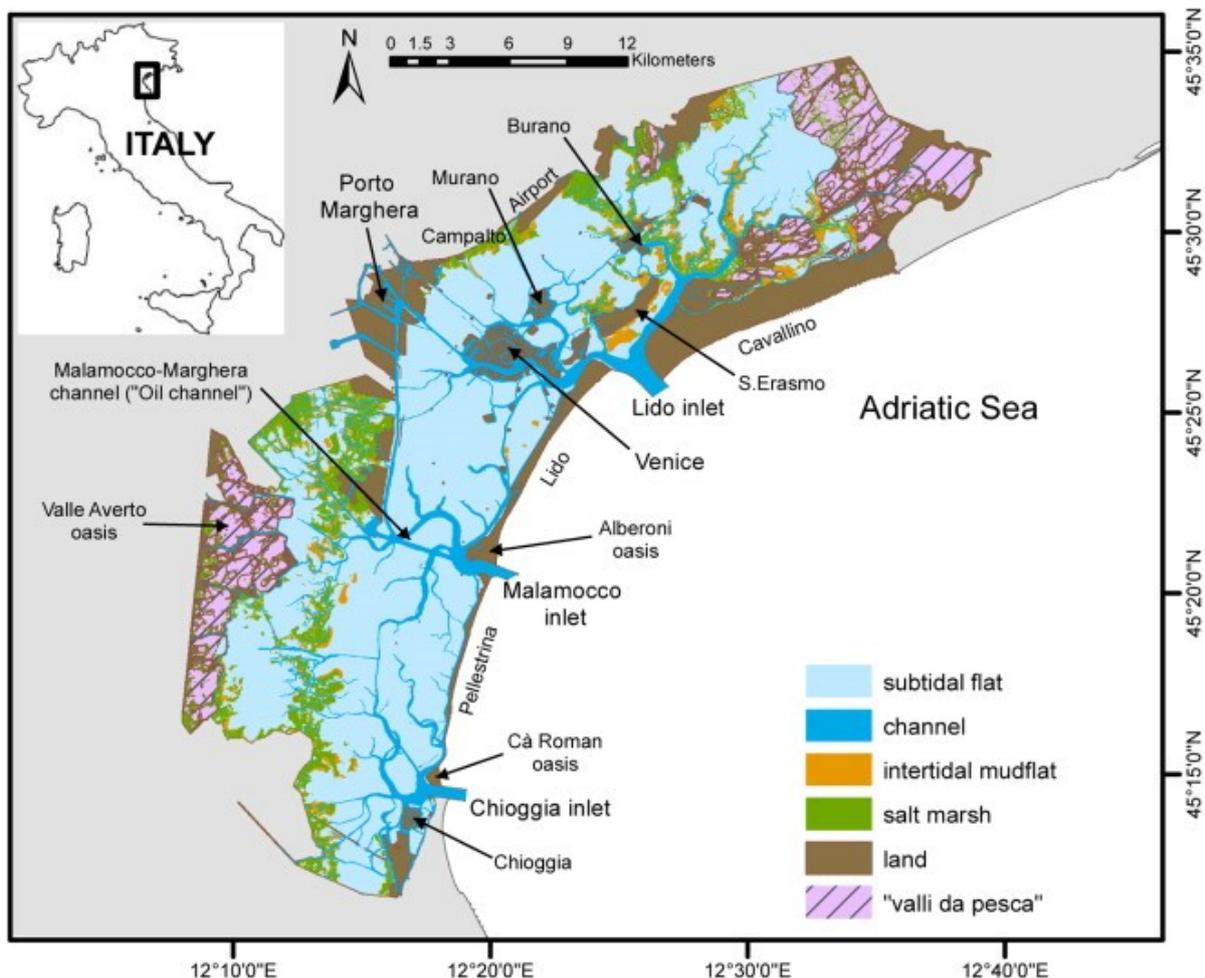


Figure 3 : La lagune de Venise : zones immergées, canaux, zones intertidales, marais salants, terres émergées et zones réservées à la pisciculture. (Rova, Pravoni, Müller, 2015)

2.2 Les marais salants et vasières

Les marais salants ont un rôle important dans la lagune puisqu'ils participent à la dissipation de la force des courants et des marées. Leur élévation moyenne est de 20 à 25cm au-dessus du niveau de la mer, avec des pics à 45cm (Fersuoch, 2014, p.10), une hauteur correspondant à la zone intertidale. (Bonometto, 2005, p.476). Ils sont sujets à des immersions périodiques lors des fortes marées printanières, pouvant atteindre 65cm, qui coïncident avec les périodes de pleine ou de nouvelle lune.

(Fersuoch, 2014, p.10) La subsistance des zones humides dépend de l'import régulier de sédiments. Dans la lagune, le processus naturel de déposition de sédiments est majoritairement causé par les fortes tempêtes, lorsque le niveau des eaux est haut et que de larges quantités de sédiments présents au fond de la lagune sont remis en suspension et sont déposés dans les zones humides alors immergées. (Day Jr, 2005, p.452)

Plusieurs interventions humaines ont réduit la surface de la lagune et causé des pertes massives de zones humides : la construction de la zone industrielle de Marghera, principalement implantée sur des terres asséchées (en 1919 puis en 1925), des assèchements à destination de l'agriculture en 1930, l'établissement de bassins fermés destinés à la pisciculture à partir de 1940, la construction de l'aéroport international à Tessera (1957), l'établissement d'une troisième zone industrielle et le dragage du canal Malamocco-Marghera en 1963. (Day Jr, 2005, p.450) Une quantification de la perte de marais salants réalisée par le *Magistrato alle Acque* a estimé la superficie de marais salants à 72km² en 1930, 47km² en 1970 et moins de 45 en 1992, les plus grandes pertes se concentrant dans le centre de la lagune. (Bonometto, 2005, p.480) Remontant plus loin, D'Alpaos a estimé l'étendue des surfaces de marais salants à 255 km² au 17^{ème} siècle et à 47km² en 2003, (D'Alpaos, 2003, p.383) cette dernière progression résultant de travaux de reconstruction. Selon Abrami (1998), cité par Day Jr (2005, p.450), ce serait 70% des *barene* qui auraient disparu entre 1800 et 1992, disparition due tant à l'érosion de l'eau et des vents qu'à un manque d'accroissement de l'élévation des zones humides nécessaire pour faire face à la montée relative des eaux.



Figure 4 : Vasières et marais salants. Le canal de navigation est délimité par des pieux en bois. (wmf.org)

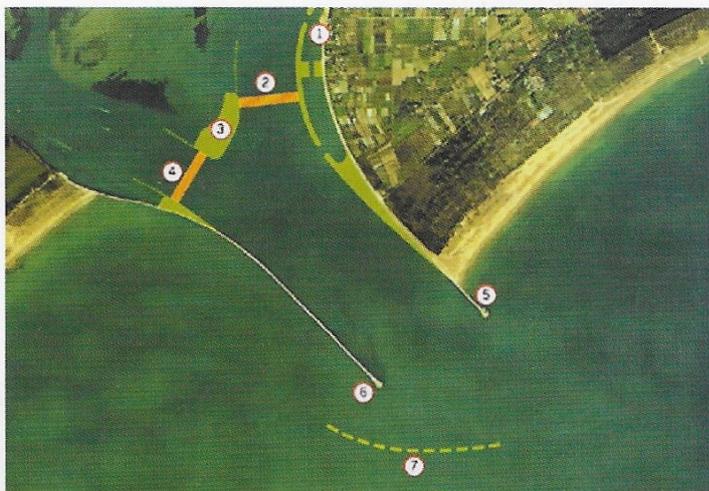
2.3 La zone côtière

Le bassin de la lagune de Venise est séparé de l'Adriatique par 60km de lignes côtières, du nord au sud, Jesolo, Cavallino, Lido, Pellestrina, Sottomarina et Isola Verde, interrompues par les rivières *Sile* (au nord) et *Brenta* (au sud) et les embouchures du Lido, Malamocco et Chioggia. (Scotti, 2005, p.248) Cette zone côtière, les *lidi*, s'est formée progressivement par l'accumulation de masses de sables et de sédiments chassées par les fleuves mais gardées à proximité des côtes du fait des vents de tempête et

de l'action contraire de la mer, créant des barrages sableux de dunes. « Sur ces dunes avaient surgi, en bordure de la lagune, les *lidi* de Venise, qui s'étendaient longitudinalement, en une ligne parallèle à la côte ; dans les intervalles qui les séparaient, s'ouvraient les bouches, plus ou moins larges et diversement utilisables, des ports les plus importants qui donnaient accès à la pleine mer : Lido, Brondolo, Malamocco, Fossone, San Pietro et Chioggia. » (Bevilacqua, 1995, p.16)

2.3.1 Les embouchures entre la lagune et l'Adriatique

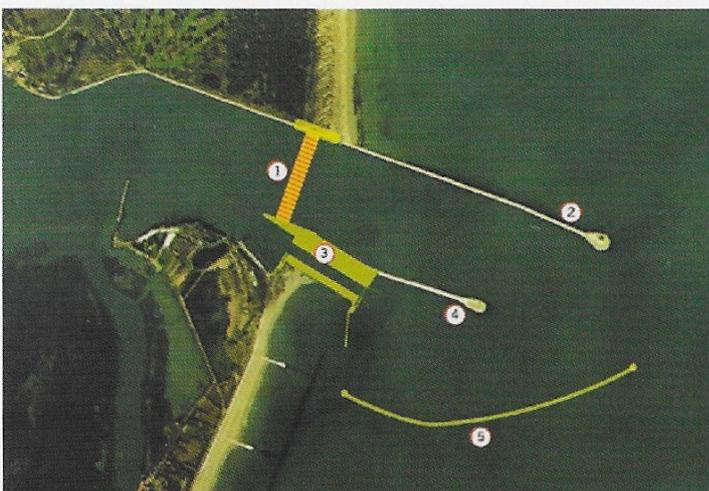
Des sept embouchures originales, trois furent conservées. Les jetées qui les bordent interrompent la circulation littorale du courant (qui circule dans le sens antihorlogique en Adriatique), ce qui cause, au sud de chaque jetée, une dégradation des plages côtières, et au nord, un développement de celles-ci. Avec la construction de longues jetées aux embouchures de la lagune, les entrées de ces dernières ont été avancées de quelques centaines de mètres vers la mer, au-delà de la zone de déferlement où les sédiments demeurent en suspension durant les tempêtes, ce qui réduit la quantité de sédiments pouvant être ramenés au sein de la lagune lors des marées montantes. (Seminara, 2005, p.369-370)
Les zones sud de la ligne côtière, qui s'érodent par manque de sédiments, doivent donc régulièrement être renforcées. (Cecconi, 2005, p.462)



Lido inlet

800m wide, 12m deep,
two barrier systems and
a central island

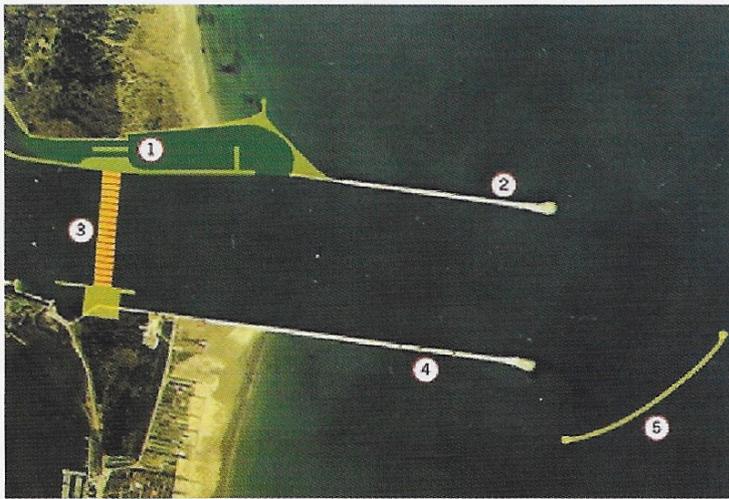
- 1 Boat haven
- 2,4 barriers
- 3 artificial island
- 5,6 existing jetties
- 7 breakwaters



Malamocco inlet

400m wide, 16m deep

- 1 Barriers
- 2,4 existing jetties
- 3 navigational lock
- 5 breakwaters



Chioggia inlet
380m wide, 10m deep

- 1 Boat haven
- 2,4 existing jetties
- 3 barriers
- 5 breakwaters

Figure 5 : Embouchures entre la lagune et l'Adriatique. (Fletcher, p.65)

2.4 La cité historique

La cité historique est divisée en six quartiers officiels (*sestiere*) : Cannaregio, Santa Croce, San Polo, Dorsoduro, San Marco, Castello auquel on peut ajouter l'île lui faisant directement face, Giudecca.



Figure 6 : Quartiers de la cité historique. (az-venise.com)

Historiquement, on trouve dans la lagune quelques ruines datant de l'époque romaine mais la véritable colonisation et la construction de la ville remontent aux invasions lombardes du 6^{ème} siècle. Trop

profonde pour une invasion terrestre mais pas assez pour une invasion maritime, la lagune est vue comme un refuge idéal. Après avoir occupé l'île de Torcello, les colons s'établirent sur un groupe de 118 îlots qui allaient devenir la Venise historique. (France, 2011, p. 4-5) Les premiers endroits d'établissement se firent sur des parcelles de terres composées de sols compacts sur lesquels furent posés de larges treillis de planches de bois dur servant de support aux fondations en pierres. Les fondations du palais ducal sont de ce type. Si certains bâtiments de la cité historique de Venise reposent sur du sol ferme, la plupart d'entre eux sont construits sur un sol instable. Afin de permettre la construction sur ce type de sol, il était nécessaire en premier lieu d'atteindre une part du sous-sol stable et solide, capable de porter le poids de la structure, à plusieurs mètres de profondeur (jusqu'à 9m) : le *caranto*, une ancienne couche de limon argileux. (Mancuso, 2014, p.13-14) Les fondations sont constituées par une multitude de long pieux (2 à 3m), en aulne, chêne ou mélèze, enfoncés dans le sous-sol, jusqu'au *caranto*. Cette structure est ensuite couverte par une couche de chêne puis par une couche de marbre d'Istrie, qui présente la particularité d'avoir une haute résistance à la compression (1.350 kg/cm²), à la salinité et d'être imperméable à l'eau (taux de porosité de 0,1-0,5% (Maretto, 1998), la porosité des briques en terre cuite étant nettement plus élevée, entre 20 et 55%). Cet ensemble forme des sols flexibles, permettant de s'accommoder des mouvements du sol résultant du compactage des sédiments. (France, 2011, p. 5)

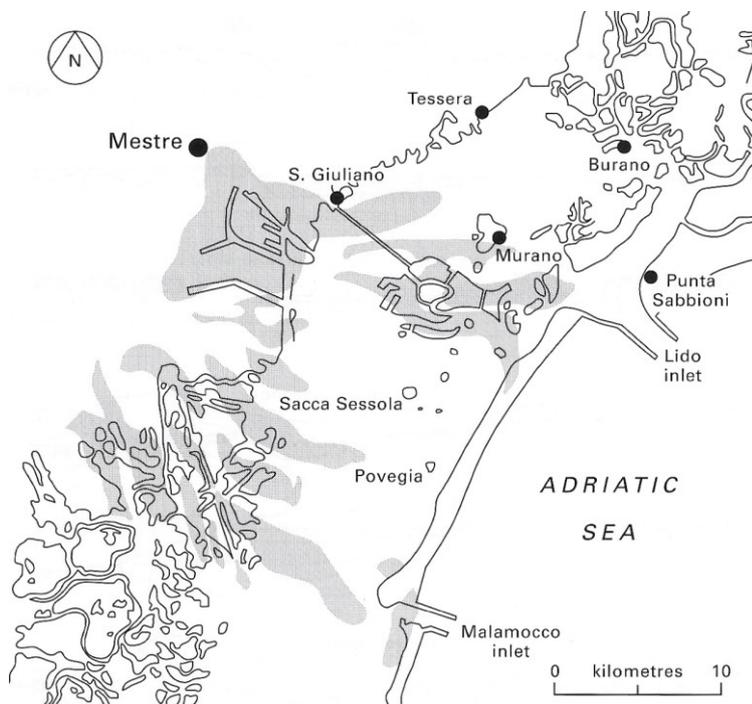


Figure 7 : Répartition du *caranto* dans le sous-sol. (Frassetto, p.32)

Isolés de l'air par l'argile, les pieux subissent un processus de minéralisation et sont ainsi préservés de la dégradation. Le bâti en lui-même est composé d'éléments légers : bois, brique et plâtre. (Fletcher, 2004, p.35) Toute cette construction devant se faire dans des conditions sèches, il était nécessaire de bâtir des quais asséchés temporaires protégeant l'endroit des eaux. (Mancuso, 2014, p.13-14)

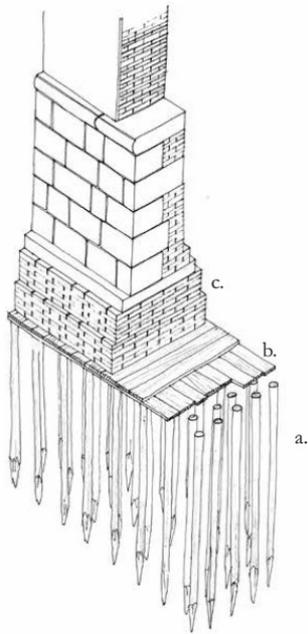


Figure 8 : Fondation vénitienne :
 a. Pieux en bois enfoncés profondément dans le substrat
 b. Double plancher de chêne ou de mélèze
 c. Couches de fondation en trachyte
 (Mancuso, p.16)

A la différence de nombreuses cités qui se sont développées de manière concentrique autour d'un point central - un carrefour, un château, une source - la Venise des origines s'est développée depuis un certain nombre d'installations sur pilotis séparées par des canaux ou des étendues d'eau. (Mancuso, 2014, p.8) Au fil du temps, la structure des lieux se développa autour de la juxtaposition d'un modèle paroissial particulier : un *campo* (square public) destiné aux animaux, faisant front au canal et disposant de pâtures pour les animaux et d'un espace destiné au commerce, un *pozzo* (puits) pour l'eau potable comprenant un système élaboré de captation de l'eau, une *scuola* (lieu de confraternité dévotionnelle) pour les rassemblements sociaux, une *chiesa* (église) pour les activités religieuses. S'y ajoutent les bâtiments d'habitation, dépendances et *palazzo* (palais) et les rues étroites (*calli*) connectant les parts périphériques au *campo*. (LabaEPFL, 2016, p.92-94) Les bâtiments n'étaient pas contigus et pendant longtemps de larges surfaces restèrent dédiées à la culture de fruits et de végétaux. Progressivement, le réseau d'allées et de rues irrégulières propres à chaque îlot (*insulae*), et à l'origine réservé à un usage privé, fut organisé de manière plus systématique et devint un espace collectif permettant de circuler au sein des îlots et les reliant par des ponts. (Dolcetta, 2005, p.160)

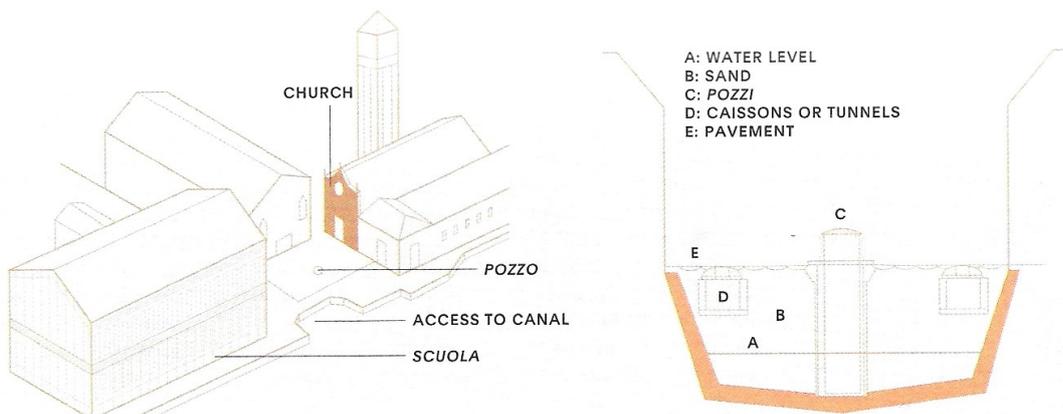


Figure 9 : Plan type d'un campo et d'un puit. (LabaEPFL, p.93)

La lagune étant salée, il était nécessaire de collecter au mieux les eaux de pluie dans les citernes des places publiques, les *campi*. L'eau circule au travers de blocs de pierre blanche (*pillelle*) percés d'ouvertures (*gatoli*) où elle est filtrée par du sable propre. Afin d'éviter que cette eau ne puisse être contaminée par de l'eau saumâtre provenant de la lagune à la suite d'une inondation, la seule solution était d'élever continuellement le niveau des pavements de la ville. (Zucchetta, 2000) Au sommet des bâtiments, on trouve des corniches et gouttières en pierre d'Istrie, destinées à récolter les eaux de pluie et à les mener, via des conduits en pierre logés dans les murs, vers les citernes situées dans les cours intérieures ou sous les puits centraux des *campo* (places publiques). (Mancuso, 2014, p.23) Cette importance accordée à l'eau douce se retrouve dans la législation : une loi de 1536, ne voulant pas qu'on puisse faire de l'argent avec l'eau, avait interdit l'usage des puits aux différentes corporations (teinturiers, barbiers, etc.). (Prades, 2015, p.58)

Les chevaux furent bannis de la cité en 1392, favorisant le développement du trafic par bateau. (LabaEPFL, 2016, p.94) Avant la fin du 14^{ème} siècle, la ville était équipée de ses structures fondamentales : squares publics, églises, canaux et rues, immeubles publics et résidentiels, palaces. Elle ne devait plus vraiment grandir par la suite mais plutôt subir de nombreuses phases de transformations, atteignant la plus grande densité possible. (Mancuso, 2014, p.11) Mis à part la construction des *Fondamente Nuove*³ au 16^{ème} siècle, il faudra attendre le début du 19^{ème} et les administrations successives de Venise par les Français et les Autrichiens pour que de nombreux canaux soient comblés (une quarantaine de km de canaux furent comblés entre 1815 et 1889) afin de développer les possibilités de se déplacer à pied. (LabaEPFL, 2016, p.94)

3 Eléments socio-économiques

3.1 Venise et sa population

En 1353, la cité comptait 133.000 habitants, 190.000 en 1570. En conséquence d'une épidémie de peste en Italie de 1629 à 1631, ce nombre déclina à 102.000 puis remonta à 138.000 en 1790 et continua à grimper par après. (Mancuso, 2014, p.12-13) Alors que la population résidant sur la terre ferme, estimée à 100.000 en 1950, a doublé, la population résidant dans le centre historique est passée de 175.000 en 1950 à 56.406 en 2014. Le total pour la *municipalità* (Venise, Murano, Burano) étant de 61.692 au 1er juillet 2017. Il s'agit d'une population dont la moyenne d'âge augmente (45,5 ans en 1991, 48 en 2003, 49 en 2017), en conséquence de la diminution des jeunes familles vivant dans le centre historique. Cette diminution résulte du prix élevé du logement, des lois strictes encadrant les rénovations et de conditions de vie rendues difficiles non seulement par l'humidité et les inondations

³ Les *Fondamente Nuove* (Nouvelles Fondations) sont une série de quais, de près d'un km de long, formant la limite septentrionale de la ville de Venise, sur les quartiers Cannaregio et Castello. (Wikipédia)

mais aussi par la raréfaction des commerces et des services nécessaires à la vie quotidienne (Vellinga, 2005, p.652 ; France, 2011, p.81 ; portale.comune.venezia.it) Une étude du *Servizio Statistica e Ricerca* de la ville de Venise, centrée sur l'évolution de la population entre 2001 et 2011, montre que, sur cette période, la diminution de la population résidente des 20-34 ans a atteint 34,4% (3.996 unités), la diminution moyenne pour les 20-64 ans étant de 16,2%, celle de la population totale de 10,1%. (comune.venezia.it/statistica) La diminution de la population résidente accroît les coûts par habitant ; coûts liés à la vie quotidienne en ville (service médicaux, réparation des infrastructures, gestion des déchets, etc.), à la maintenance des monuments et à la maintenance de la lagune et de ses canaux. (Vellinga, 2005, p.652) En parallèle de ce lent exode, le nombre de navetteurs venant quotidiennement travailler dans la cité depuis le continent a atteint, en 2015, 62.000 navetteurs entrant pour, 17.000 sortant, l'échange se faisant majoritairement avec la commune de Mestre. (LabaEPFL, 2016, p.96)

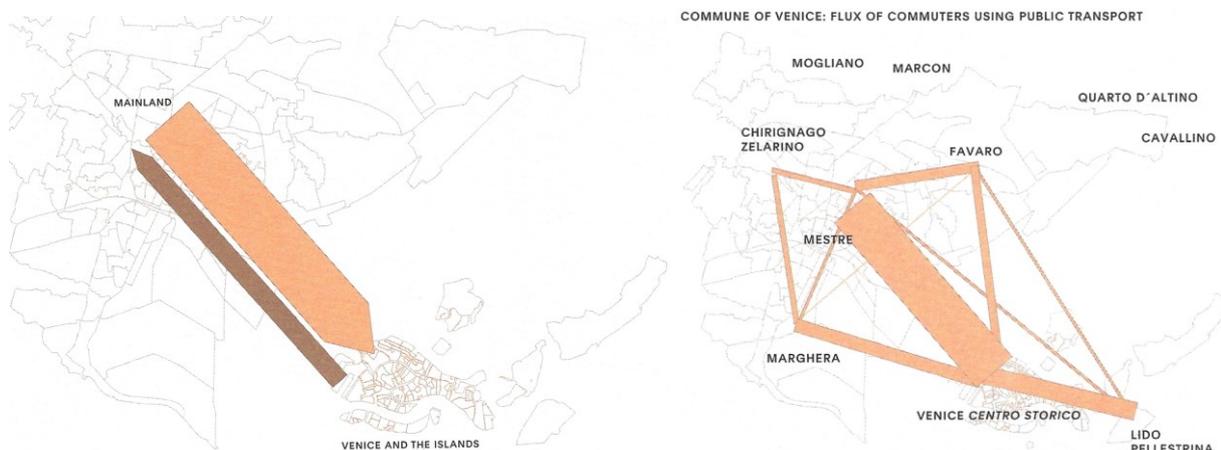


Figure 10 : Importance des flux de navetteurs entre Venise et le continent. (LabaEPFL, p.97)

Le taux d'emploi dans la région de Vénétie a diminué depuis les années 1980, depuis la régression de l'importance du rôle de l'industrie (qui compte encore 30% des emplois). L'industrie touristique est, a contrario, en croissance continue et représente 35% des activités économiques de la cité. Le tourisme est donc une activité économique dominante mais qui génère en contrepartie de fortes pressions et externalités environnementales et sociales, tant sur la qualité de vie des résidents (petite criminalité, congestion) que sur les structures physiques de la ville. (Vellinga, 2005, p.653-54)

3.2 Venise et le tourisme

Venise a longtemps été une destination touristique prisée par l'aristocratie, elle faisait notamment partie du Grand Tour⁴ entre le 17^{ème} et le 19^{ème} siècle, mais ce phénomène touristique ne concernait alors qu'un nombre limité de visiteurs. Depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle, le nombre annuel de

⁴ Le *Grand Tour* (qui est à l'origine du terme *Tourisme*) réfère aux voyages, souvent de deux ou trois ans, entrepris par de nombreux jeunes hommes anglais de classes supérieures (aristocratie et haute bourgeoisie) qui se rendaient, généralement accompagné d'un précepteur, en Europe continentale, en particulier en France, en Grèce et en Italie, à des fins éducatives et culturelles. (Lominé, 2007, p.87)

touristes a augmenté de manière significative, passant de 2 millions en 1950 à un nombre estimé entre 16.5 et 22 millions, arrivant par avion (via l'aéroport de Venise, Marco Polo, et celui de Trévise), train, voiture, bateaux (de croisière, de plaisance et *vaporetto*). (LabaEPFL, 2016, p.98) Certains articles de presse citent des chiffres plus importants : 28 millions pour Le Monde (12/11/2016), 25 (16/9/2016) puis 30 millions (22/06/2017) pour France Info, par exemple. Des chiffres supérieurs à ceux de l'UNESCO (2016), qui parle de 22 millions de touristes répartis en 8 à 9 millions d'excursionnistes et 12 à 13 millions de touristes résidents. La Chambre de commerce, en 2015, dénombre, pour l'ensemble de la province de Venise, 8,652 millions d'arrivées touristiques pour un total de jours de présence de 34,187 millions. (*Camera di Commercio*, 2017) On peut donc se poser la question s'il n'y aurait pas parfois confusion entre ces deux concepts... L'édition 2016 de *l'Annuario del Turismo a Venezia*, qui coordonne les données recueillies par l'Agence de promotion du tourisme à Venise (sur les arrivées et les présences), par la direction des grandes infrastructures et des services (port, aéroport, zone à trafic limité, billetterie touristique de transports en commun, etc.) et par les institutions culturelles de la ville, note qu'on a dépassé les 10 millions de nuitées passées dans la *municipalità* et que le nombre de touristes ayant logé au moins une nuit a dépassé les 4,5 millions. Les étrangers représentent plus de 85% de l'ensemble du marché du tourisme. L'industrie hôtelière loge la majorité des clients, environ 74%, tandis que le secteur non hôtelier se distingue par une plus longue durée du séjour (2,73 jours en moyenne par rapport à 2,14 dans les hôtels). (Mar, 2016)

3.2.1 Capacité de charge

En ce qui concerne spécifiquement la cité historique, Van der Borg met en avant que, selon des interviews réalisées avec des gérants d'attractions, la majorité des touristes ne fréquente que peu les sites d'attractions (musées, palais, églises...) mais passe la majorité de son temps à déambuler au travers de la ville. (Van der Borg, 1998, p.126) Selon Violier et Zarate (2007, p.147), « les touristes ne fréquentent qu'une partie de la ville prenant la forme d'un archipel que les touristes dessinent dans leurs déplacements intra urbains entre des lieux plus ou moins fonctionnellement diversifiés, comme entre les îlots périphériques de concentration hôtelière et les quartiers centraux historiques ». Il suffit que l'on s'en écarte de quelques dizaines de mètres pour trouver des rues et ruelles quasi désertes.

Law (2002, p.196) ajoute l'importance du facteur de capacité de charge⁵, un point important au vu de la surface restreinte couverte par le centre historique et, en particulier, par ses quelques lieux

⁵ Page et Hall (2003, p.236) citent trois éléments constitutifs de la capacité de charge en tourisme urbain: la capacité de charge physique (ou écologique) c'est-à-dire la limite du nombre de visiteurs au-delà de laquelle l'environnement construit culturel et historique peut être irrémédiablement endommagé ; la capacité de charge économique, c'est-à-dire la limite au-delà de laquelle la qualité de l'expérience touristique diminue, ce qui joue sur l'attractivité de la destination ; la capacité de charge sociale c'est-à-dire le nombre de visiteurs que la ville peut accueillir sans que soient affectées négativement les autres activités sociales et économiques qui sous-tendent l'existence de la ville.

emblématiques comme la place San Marco ou le pont du Rialto. Selon lui, l'expérience du visiteur peut être fortement détériorée à cause de la congestion causée par la foule, au point que certains visiteurs potentiels pourraient être dissuadés d'y venir. En 1988, une étude réalisée par Costa et Van der Borg mentionna une capacité de charge de 20.000 touristes par jour, dont un tiers d'excursionnistes. Dix ans plus tard, Van der Borg calcula la limite de la capacité de charge à 9 millions de visiteurs annuels, répartis selon un ratio de 60% de touristes et de 40% d'excursionnistes. Mais, selon lui, ce ratio était déjà en déséquilibre à l'époque, le flot de visiteurs à Venise étant majoritairement composé, non de touristes résidant sur place mais d'excursionnistes. La capacité journalière maximale qu'il mentionne est de 25.000 touristes. Cette capacité est dépassée les deux tiers de l'année, le nombre de visiteurs pouvant même atteindre les 200.000 lors d'occasions spéciales. (Van der Borg, 1998, p.131)

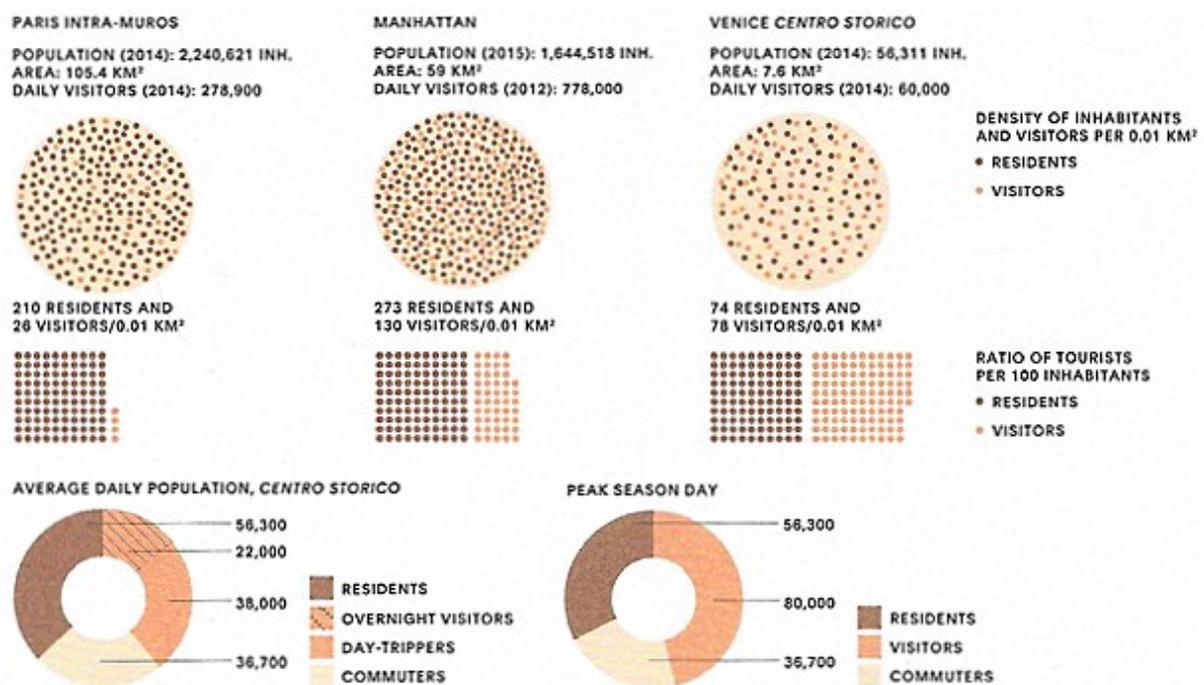


Figure 11 : Population résidente et touristique. (LabaEPFL, p.99)

L'étude menée par COSES en 2009 définit le point de saturation par une méthode de calcul qualifiée par Lanapoppi à la fois d'efficace et d'étrange. Cette méthode se fonde sur l'espace disponible dans les rues les plus fréquentées, propose une vitesse de déplacement moyenne des touristes de 2,5km/h et une occupation individuelle de l'espace de 0,6m² et ce durant un temps d'occupation maximal de 6h/jour pour arriver à l'estimation que ces espaces touristiques peuvent accepter entre 140 et 150.000 touristes par jour. Lanapoppi (2012, p. 24-26) fait remarquer qu'il s'agit là de conditions inconfortables, et peu vraisemblables, où les touristes se déplaceraient épaules contre épaules, sans flâner ni s'arrêter devant les échoppes.

3.2.2 Management touristique

Van der Borg distingue deux types d'approches de management touristique. L'approche dure implique l'installation d'infrastructures visant à empêcher physiquement les touristes d'adopter certains comportements. L'approche douce vise à changer le comportement du visiteur, principalement via des outils informatifs et marketing. (Van der Borg, 1998, p.132) Pour la première, prenons l'exemple de l'accès à la basilique San Marco qui est gratuit mais implique de faire une file souvent longue : le nombre de personnes présentes à l'intérieur de l'édifice étant limité, les visiteurs ne sont autorisés à y accéder que lorsque d'autres en sortent. En ce qui concerne la seconde, citons la carte multi-usage *Venezia Unica City Pass*. Achetable via internet sur le site www.veneziaunica.it, elle permet aux visiteurs de regrouper de nombreux services à un prix promotionnel, dont les différentes formules d'abonnements pour les transports et les packs de visites couvrant la majorité des lieux touristiques (musées, églises, palais, théâtres). En concentrant différents services, cette approche facilite la gestion par le touriste de son séjour, ce qui contribue à réduire la congestion aux points de vente et d'information locaux. Elle facilite aussi la découverte de lieux et de services moins connus ou fréquentés, et favorise donc une meilleure répartition des touristes dans la ville.

Parmi les modes de gestion touristique envisagés, la taxe de séjour, longtemps rejetée par l'industrie touristique, a été implémentée en 2011. Elle est calculée selon quatre critères, fixés par le bureau des taxes et finances de la Cité de Venise : l'emplacement du logement ; la saison, haute ou basse ; le type d'hébergement, hôtel, B&B, hébergement en plein air ; la catégorie, étoilé ou non. (comune.venezia.it/it/content/regolamento-imposta-soggiorno) Mais l'argument avancé par ses opposants reste valide : est-il juste de faire payer une taxe aux touristes résidents alors que la majorité de ceux qui causent des dommages sont des excursionnistes ? Et France (2011, p.118) de poser la question : faudrait-il envisager un droit d'accès touchant tous les visiteurs, basé sur un calcul des coûts engendrés par la consommation des ressources naturelles et le traitement des déchets récoltés ? On en est encore loin, même si des associations citoyennes militent pour l'imposition d'un droit d'entrée qui serait appliqué à toute personne désirant accéder aux environs immédiats de la place San Marco et qui servirait à couvrir les coûts d'entretien et de nettoyage des lieux.

3.2.3 Gestion des stocks et des déchets

Si le tourisme génère 35% des activités économiques de l'île, il est aussi à la source de 83% des déchets produits, les coûts attenants étant à charge des citoyens. Une large part des trajets quotidiens des bateaux (plus de 25.000) est destinée à alimenter l'industrie touristique : transports entrant et sortant de touristes, transports des denrées alimentaires et commerciales, évacuation des déchets, etc. (France, 2011, p.79-80) En ce qui concerne la collecte des déchets, les vénitiens sont habitués à trier leurs déchets. Ces déchets doivent être, selon le quartier, soit apportés par les citoyens dans des

bateaux-conteneurs amarrés en différents points de la ville, soit déposés aux portes des habitations où ils sont ramassés par des ouvriers de la ville, équipés de charrettes, qui les emmènent ensuite dans le bateau-conteneur qui suit leur trajet. Afin de réduire la prolifération de rats et de mouettes, ce système de collecte doit progressivement être étendu à l'ensemble de la cité historique. S'y ajoute une amende de 167€ qui sanctionne le déversement sauvage. (Veritas, 2017) Toute cette organisation, complexe et intensive en main-d'œuvre, a un coût élevé : 500,2€ la tonne en 2015 pour la *municipalità* de Venise. Ce montant se répartit en trois postes : balayage des rues et frais de gestion (237,77€), collecte et transport (187,75€), traitement (74,67€). Pour les deux premiers, il s'agit de montants supérieurs à ceux observés dans toutes les autres *municipalità* de Vénétie, en particulier pour le premier qui est entre deux et cinq fois supérieur aux coûts observés ailleurs. (Venezia Ambiente, 2016) Selon le Commissaire au budget de la ville, Michele Zuin, il s'agit là d'un coût imputable, d'un côté, aux particularités de la collecte des déchets à Venise qui, restant en partie effectuée à la main, implique une main d'œuvre importante, et de l'autre côté, aux coûts de la gestion des déchets produits par le tourisme. (nuovavenezia.gelocal.it) Ce qui, selon Veritas, la société responsable de la collecte et du nettoyage, implique une différence de coût par rapport aux villes du continent chiffrée à 30 millions d'euros par an. (corrieredelveneto.corriere.it) Ces coûts sont en grande part assumés par les citoyens via une taxe annuelle s'élevant en 2016 à 3,55€ par m². (nuovavenezia.gelocal.it) En février 2017, le taux de déchets triés a atteint 54,22%, en progression par rapport à 2016 où la moyenne était de 53,81%. (comune.venezia.it/it/content/la-raccolta-differenziata)

Afin de diminuer la quantité de bouteilles en plastique vendues, et donc jetées (261 tonnes par mois), Venise a lancé une campagne d'information, baptisée *Refill Venice*, destinée à mettre en valeur l'eau du robinet et à attirer l'attention sur les fontaines publiques, qui déversent de l'eau potable en continu. Sur le site veneziaunica.it, on peut trouver une carte google détaillée, la *Fuori Rotta*, qui donne l'emplacement des cent fontaines d'eau potable disponibles. (veneziaunica.it/en/NODE/735) La qualité de cette eau est strictement contrôlée par Veritas qui prélève annuellement 17.000 échantillons et analyse 200.000 paramètres, les résultats des dernières analyses effectuées étant affichés en ligne. Parmi les paramètres analysés, on trouve : le pH, la conductivité, l'alcalinité, la dureté, la turbidité, l'indice d'agressivité, les concentrations en calcium, ammonium, nitrite et nitrate, fluor, cyanure, etc. ainsi que la présence de micro-organismes et de polluants tels que les composés organométalliques halogénés, les métaux (dont l'arsenic) et les pesticides. Le coût au litre de cette eau potable est d'à peine plus de 0.001 euros au litre. (gruppovertas.it/node/80)

3.2.4 Les bateaux de croisière

Le port alloué aux bateaux de croisière et aux ferries, situé près de San Basilio à l'ouest de la ville, date de 1846 et fut construit par les Autrichiens afin d'être à proximité de la gare (le port original était situé

dans le bassin San Marco). (Testa, 2014, p.9). Il est relié à la piazzale Roma par la route et, depuis 2010, par un métro aérien, appelé *Poeple Mover*. (Kusch, 2014, p. 35) En 2012, les autorités portuaires ont comptabilisé 569 vaisseaux de croisière et 1.757.297 passagers dont 11% en transit et 89% débarquant puis rembarquant, les bateaux de tonnage supérieur à 70.000tjb⁶ incluant alors 70% des passagers. Actuellement, pour des raisons de sécurité après le naufrage du *MS Costa Concordia* au large de l'île Del Gigli en 2012, les bateaux de plus de 40.000tjb ne sont plus autorisés à passer par les canaux de San Marco et de Guidecca. (Fersuoch, 2014, p.23) Et les bateaux autorisés sont tractés par un remorqueur à l'avant, un second, placé à l'arrière à contre-sens, évitant toute dérive du navire. Entre 1997 et 2012, le nombre de touristes embarquant et débarquant de navires de croisière a augmenté de près de 400%. Pour un navire de 3.000 passagers, en moyenne, 750 empruntent les *vaporettos*, 630 les taxis, 1.170 le bus, 270 le train et 180 choisissent de marcher. Cet afflux massif d'excursionnistes a un impact direct sur le comportement de la population vénitienne : une augmentation du nombre de touristes amenant à une baisse de la fréquentation des transports en commun par les résidents vénitiens. (LabaEPFL, 2016, p.98-99) Ceci s'explique par le fait que les passagers soient débarqués en masse au même moment, ce qui pose des problèmes d'encombrement, en particulier lors de la saison estivale où la capacité de charge de la ville est déjà à son maximum. (Tattata, 2013)

3.2.4.1 Economie

Une étude de l'économiste Guiseppe Tattara de l'université *Ca'Foscari* (2013) met en avant le faible ratio coûts/bénéfices lié au tourisme de croisière. Selon lui, le tourisme de croisière ne contribuerait qu'à 1,9% du PNB, apportant un total de 290 millions d'euros par an pour des coûts directs de 278 millions. Coûts qui n'incluent ni les risques générés par la proximité des bateaux de croisière circulant dans la ville historique, ni les aménités générées par ces bateaux et leurs passagers : surpopulation touristique, émissions de toxines par les moteurs et incinérateurs, dommages aux bâtiments causés par le ressac. (Tattata, 2013) De plus, ceux qui profitent directement des revenus générés, les compagnies de croisière et les autorités portuaires, ne sont pas ceux qui en subissent les inconvénients et les coûts liés. On constate donc un comportement de "passager clandestin", bénéficiant des ressources et services sans vraiment participer à leurs coûts réels. (Tattara, 2014, p.5-8)

Les dépenses cumulées de ces touristes ont été estimées par la Commission européenne à 120 millions d'euros, un montant inférieur à celui avancé par les autorités portuaires. Les dépenses effectuées par les équipages ont été évaluées à 5,9 millions d'euros. Les frais de mouillage se montent à 41.8 millions d'euros (Tattara, 2014, p.12-15 ; Dosi, 2013, p.39) Selon Tattara, les données fournies par les autorités

⁶ La jauge brute est une des méthodes de mesure de la capacité de transport d'un navire. Cette mesure s'exprime en tonneaux de jauge brute (ou tjb), ou en mètres cubes. Un tonneau de jauge brute vaut 100 pieds cubes, soit environ 2,832 m³. (Wikipédia)

portuaires et les compagnies de transport seraient fantaisistes variant, d'une source à l'autre, de 4255 à 6800 emplois directs et d'une valeur économique de 221 millions à 1 milliard. Ainsi, par exemple, en 2013, le Président des autorités portuaires affirmait que l'industrie touristique valait 435 millions d'euros par an, soit 5,4% du PIB local. Quelques mois plus tard, après la parution de l'enquête de Giuseppe Tattara, cette valeur avait régressé à 3,96%. Selon Tattara, le poids de cette industrie serait de moins de 2% du PIB, avec une valeur de 185 millions annuels pour 2.000 emplois. Les coûts économiques directs seraient de 194 millions. Ce qui implique que, même sans considérer les risques de dommages aux monuments, les bénéfices sont inférieurs aux coûts. (Tattara, 2013) La question sous-jacente de l'intérêt de ce type de prestations touristiques réside donc moins dans un équilibre entre le service proposé, son coût et ce qu'il rapporte, que dans le déséquilibre de l'attribution des bénéfices et des coûts : les premiers allant au port, aux compagnies et à leurs intermédiaires, les seconds étant supportés par la collectivité des habitants de Venise.

3.2.4.2 Contestation

On peut faire remonter le début de l'opposition au passage des navires de croisière à proximité de la cité historique au 12 mai 2004, lorsque le navire de croisière allemand *Mona Lisa* s'est échoué dans le bassin San Marco, à quelques mètres de la riva degli Schiavoni. Organisée par l'*Assemblea permanente No-MoSE*, la première protestation citoyenne eut lieu le 30 octobre 2006. 2011 a vu la parution du livre *E le chiamano navi* et la création du groupe de coordination d'action citoyenne *Fuori le maxi-navi dal Bacino di San Marco*, suivi en 2012 par le *Comitato No Grandi Navi - Laguna bene comune*. Ces groupes portent le flambeau de la contestation et de la diffusion d'informations sur le sujet, accordant de nombreux interviews télé et radio pour des journaux du monde entier. (Testa, 2014, p.22-23) Dernièrement, le 18 juin 2017, s'est tenu un référendum populaire, organisé non officiellement par le *Comitato No Grandi Navi* avec l'organisation environnementale *Ambiente Venezia*, portant sur l'interdiction d'accès à la lagune aux navires de croisière. Le résultat : 18.105 votants, dont 97,8% ont voté pour l'interdiction des grands navires dans la lagune. (tramezzinimag2.blogspot.be)



Figure 12 : Manifestation face aux navires de croisière. (reporterre.net) A droite : Affiche du référendum du 18 juin 2017.

Face à ces contestations, les autorités portuaires ont mis en place le *Cruise Venice*, une commission chargée d'organiser le secteur et de répondre aux critiques. (www.cruisevenice.org) Elles publient également des campagnes de contre-information dans la presse, via des publicités rédactionnelles. Les autorités portuaires sont aussi à l'origine de livres minimisant les impacts des croisières, comme *A Venezia dal mare* qui présente des études commandées par ces mêmes autorités mais évite de répondre aux critiques formulées, ou *Venezia, un'invisibile battaglia navale* qui cherche à démontrer que les opposants aux croisières organisent des campagnes de désinformation et qui nie les arguments relatifs aux dommages environnementaux. (Testa, 2014, p.23-24) Reste qu'interdire la navigation des bateaux de croisière est une chose compliquée puisque cette décision ne relève pas de la ville de Venise mais des seules autorités portuaires qui tirent une majeure part de leurs revenus de ce trafic maritime (45.000 euros par navire étranger accostant). (de Rabaudy, 2013)

3.3 Population, économie et soutenabilité

La notion de soutenabilité enjoint de rencontrer les besoins du présent sans compromettre ceux des générations futures. Dans cette optique, un groupe de travail pour le bien-être et la soutenabilité (BES) a vu le jour en 2012, au niveau national, à l'initiative du *Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro* (CNEL) et de *L'Istituto nazionale di statistica* (ISTAT). Ce groupe a défini 12 dimensions pertinentes pour le bien-être citoyen : environnement, sécurité, santé, bien-être subjectif, bien-être économique, paysage et patrimoine culturel, éducation et formation, recherche et innovation, emploi, qualité des services, relations sociales, politiques et institutions. Il a ensuite défini 134 indicateurs s'y rapportant. De ce projet national est issu un projet d'études local, portant sur 15 villes échantillon dont Venise : le projet UrBes (*Benessere Equo e Sostenibile in ambito Urbano-metropolitano*, bien-être équitable et soutenable en milieu urbano-métropolitain). Un premier rapport a été publié en 2013, suivi d'un second en 2015. Y sont inclus une première description des tendances et des niveaux de bien-être tels qu'ils ressortent de l'application des concepts et des méthodologies BES. (comune.venezia.it/archivio/62275) A Venise, au niveau social, la soutenabilité devrait participer à une meilleure protection des habitants face aux dommages causés par les inondations et les problèmes écologiques. Elle devrait comporter des incitations à restaurer une balance démographique (par exemple en subsidiant l'installation de jeunes couples), et à supporter et encourager les liens locaux tant culturels qu'économiques (comme le commerce de proximité). Une meilleure gestion économique du tourisme à court terme (en particulier le tourisme excursionniste) pourrait être envisagée, par exemple via un droit d'accès payant à certains lieux clés comme la place San Marco. Ce qui pourrait amener à un meilleur équilibre financier des moyens destinés à maintenir en bon état le cadre culturel et naturel. Au niveau de la soutenabilité écologique, le tourisme devrait y être organisé de manière à ce que les habitats naturels ne puissent être impactés. De manière plus large, une bonne

gestion de l'équilibre écologique et de la biodiversité implique une réduction et un contrôle des déversements d'origines urbaines, agricoles et industrielles dans la lagune et une revitalisation des marais salants. (Vellinga, 2005, p.654-55)

Certaines initiatives vertes ou soutenables ont vu le jour dans la cité historique, mises en avant par le site vенеziaunica.it. On y trouve les certifications attribuées sous le label *Venezia Sostenibile* dans trois domaines : la protection de l'environnement, le tourisme durable pour une meilleure équité sociale, la Venise durable pour les familles (comune.venezia.it/archivio/62021). Ces commerces et entreprises labélisés sont facilement identifiables par les touristes et citoyens grâce à la carte interactive *Fuori Rotta* qui, outre la localisation des fontaines publiques, pointe les magasins orientés vers l'écologie ou la soutenabilité : alimentation biologique ou solidaire, tourisme responsable, recyclage, artisanat local. En ce qui concerne l'offre touristique, la campagne *Detourism* fait la promotion d'un tourisme lent et soutenable et invite le touriste à découvrir une Venise plus authentique et plus locale. Elle s'accompagne d'un magazine en ligne bilingue italien-anglais (issuu.com/cittdivenezia), d'une newsletter et d'une forte présence sur les réseaux sociaux. (vенеziaunica.it/fr/node/1283)

4 Menaces, impacts et mesures prises

Afin de mener au mieux préservation et restauration dans la lagune, un service d'information dédié a été créé, dépendant du *Magistrato alle Acque*. De nombreuses études ont été entreprises destinées à identifier les forçages naturels (marées, courants, vents, subsidence, eustasie, climat local, flux des rivières), les forçages d'origines anthropiques (navigation, activités portuaires, pêche et pisciculture, industrie, drainage de la lagune), les processus expliquant et quantifiant les changements dans la lagune (modification des courants, érosion, réactions biochimiques, évolution de la faune et de la flore) et les processus expliquant et quantifiant les relations existant entre les activités humaines et les changements dans la lagune. (Scotti, 2005, p.247-248) Il s'agit d'une démarche qui s'inscrit dans la poursuite des actions menées depuis des siècles dans la lagune sur la base « d'une culture de l'intervention réformatrice : celle qui conseillait aux magistratures de la Sérénissime de prendre des décisions, de mettre en œuvre telle modification matérielle ou telle nouvelle règle, sans cesser d'observer, dans une attitude expérimentale, ce qu'étaient les résultats. En demeurant toujours prêtes à reconsidérer, corriger et changer. » (Bevilacqua, 1995, p.109)

4.1 Climat, vents et marées

4.1.1 Circulation atmosphérique et vents

Dans l'hémisphère Nord, la circulation atmosphérique a tendance à tourner dans le sens antihoraire autour d'une dépression (et dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'une haute pression).

(Pirazzoli, 2011, p.17) Un système d'importantes basses pressions situées sur l'Europe du nord induit un gradient de pression vers le sud-est. Canalisé et renforcé par les crêtes de montagnes côtières (cyclogénèse orographique), ce dernier produit un fort vent de Sirocco. Le cumul de ces phénomènes provoque les montées des eaux dans le nord Adriatique. On peut distinguer deux variations du phénomène, selon la localisation du principal minimum de pression par rapport aux Alpes : 1) l'activité cyclonique peut se déplacer vers le sud, causant un fort cyclone sur l'Italie. Ce premier cas est responsable d'approximativement 40% des ondes de tempête supérieures à 70cm. 2) l'activité cyclonique peut stagner sur l'Europe centrale et du nord. Elle cause alors l'apparition d'une seconde zone de basse pression, au sud des Alpes, qui sera progressivement absorbée par la dépression principale. Ce second modèle est responsable de 60% des fortes marées et généralement associé aux plus hautes ondes de tempête. La hauteur moyenne des 10 plus hauts pics de marées annuels (depuis 1958) est, dans le premier cas, de 96cm et, dans le second, de 105cm. (Lionello, 2005, p.62-63)

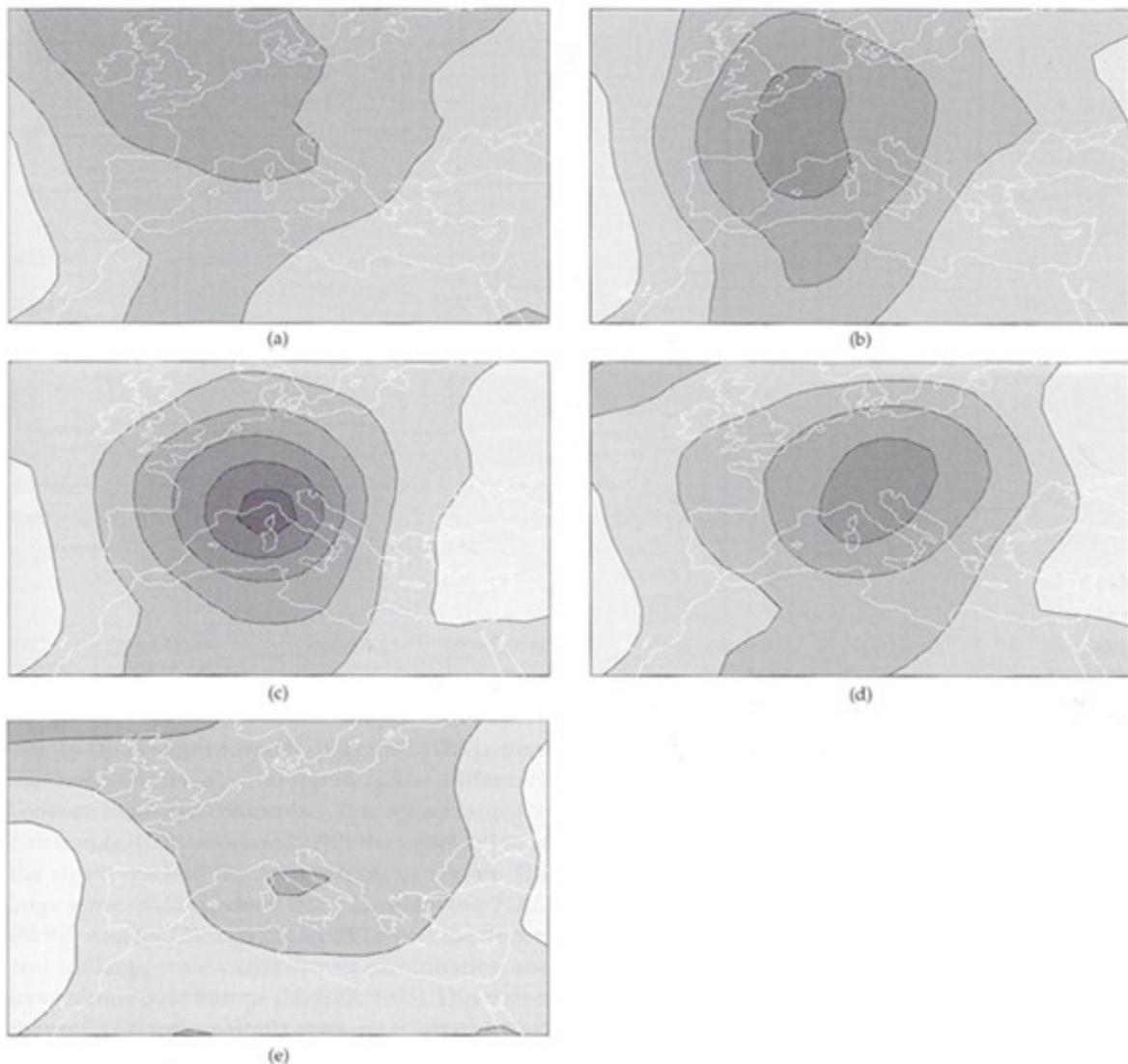


Figure 13: Evolution d'une zone de pression de 1000hPa à l'origine d'une forte crue (+ de 70cm). Les images (a) à (e) montrent le déplacement d'un champ de pression de 1000hPa selon les tranches horaires de -48h, -24h, 0, 24h, 48h par rapport au moment du pic de crue (c). (Lionello, 2005)

Soufflant depuis le sud-est, le Sirocco accumule les eaux dans le nord de l'Adriatique tandis que la Bora⁷, soufflant depuis le nord-est, pousse les eaux vers Venise. (Tomasin, 2005, p.72)

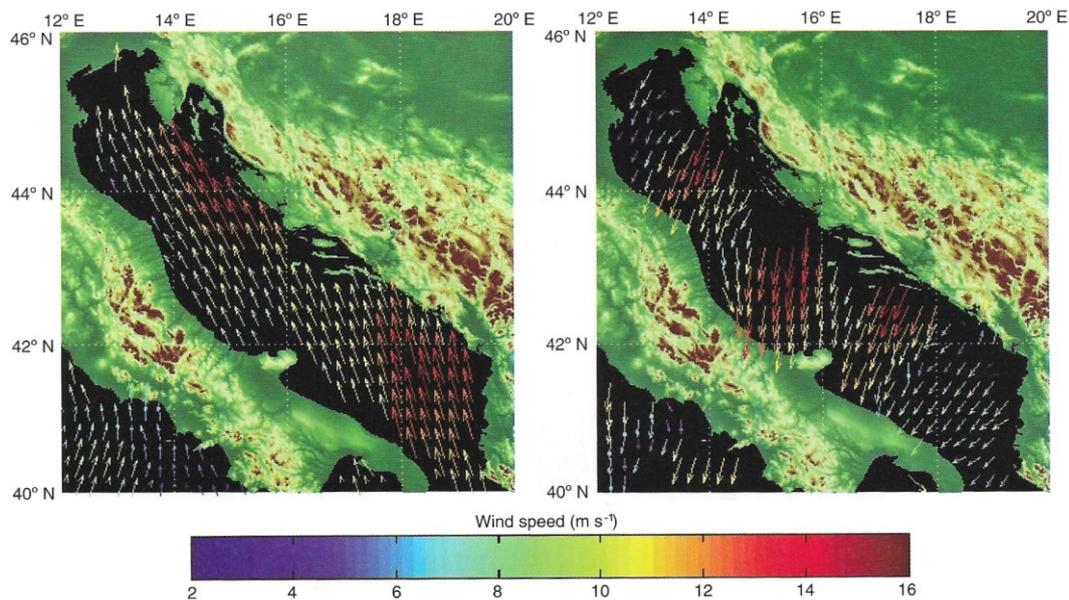


Figure 14 : Direction et force des vents Sirocco (gauche) et Bora (droite). (Zecchetto, p.335)

Le vent Sirocco soufflant depuis le sud-est, la bathymétrie de l'Adriatique, plus profonde au sud et plus étroite au nord, et la forme de son bassin, qui canalise eaux et vents vers la lagune de Venise, peuvent provoquer des variations de niveau au sein de la lagune de plus de 60cm. La Bora peut y ajouter une élévation additionnelle de plus de 20cm. (LabaEPFL, 2016, p.85)

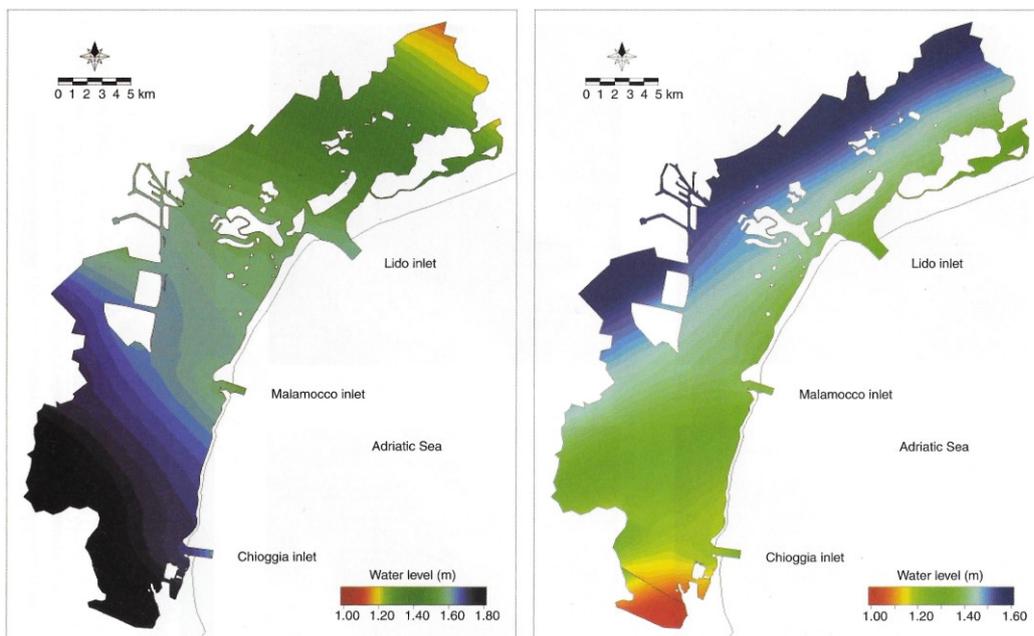


Figure 15 : Variations du niveau des eaux dues au vent du nord-est Bora (gauche) et du sud-est Sirocco (droite). (Ferla, p.335)

⁷ La Bora est un vent catabatique, c'est-à-dire un vent gravitationnel produit par le poids d'une masse d'air froide dévalant un relief géographique. Souvent violent en hiver, il est mesuré en moyenne à une vitesse de 50 à 80 km/h, des rafales à 180 km/h ayant été observées sur le golfe de Trieste. Le Sirocco, quant à lui, est un vent saharien violent, sec et chaud qui souffle sur l'Afrique du Nord et le sud de la mer Méditerranée. (Wikipédia)

Enfin, le nord de l'Adriatique est sujet à un phénomène d'oscillation des eaux, nommée seiche⁸. Après l'impulsion due au passage d'une tempête, l'Adriatique subit ces oscillations particulières : la seiche principale a une durée de près de 22 heures, semblable à celle de la marée. Vient ensuite une seiche secondaire, d'une période de près de 11 heures. Il arrive fréquemment que le retour des ondes de seiche produise de nouvelles eaux hautes, même après que le phénomène météorologique se soit calmé, (Pirazzoli, 2011, p.16-18) ce qui peut amener les eaux des ondes successives à se cumuler en hauteur, pouvant conduire à des pics de marée de plus en plus hauts. (Fletcher, 2004, p.18)

Suivant de fortes précipitations, les eaux envahissent la lagune et l'intérieur plat des terres. Si, au même moment, la marée est haute et que ces vents forts poussent l'eau de mer dans les embouchures séparant l'Adriatique de la lagune, Venise se trouve coincée entre deux masses d'eau. (LabaEPFL, 2016, p.85)

4.1.2 Subsidence

Depuis la fondation de Venise, l'élévation du niveau des eaux lié à l'eustasie compte pour plus d'un mètre. S'y ajoute la subsidence locale, tant d'origine naturelle qu'anthropique. Cette dernière est due, au niveau local, au poids des structures et à l'extraction d'eaux souterraines et, au niveau global, aux changements climatiques. Les changements climatiques affectent également le régime des pluies, ce qui influe sur le débit des cours d'eau, et sur la force des vents qui poussent les eaux vers le nord de l'Adriatique et, depuis l'est, vers la lagune. (Vellinga, 2005, p.651-52)

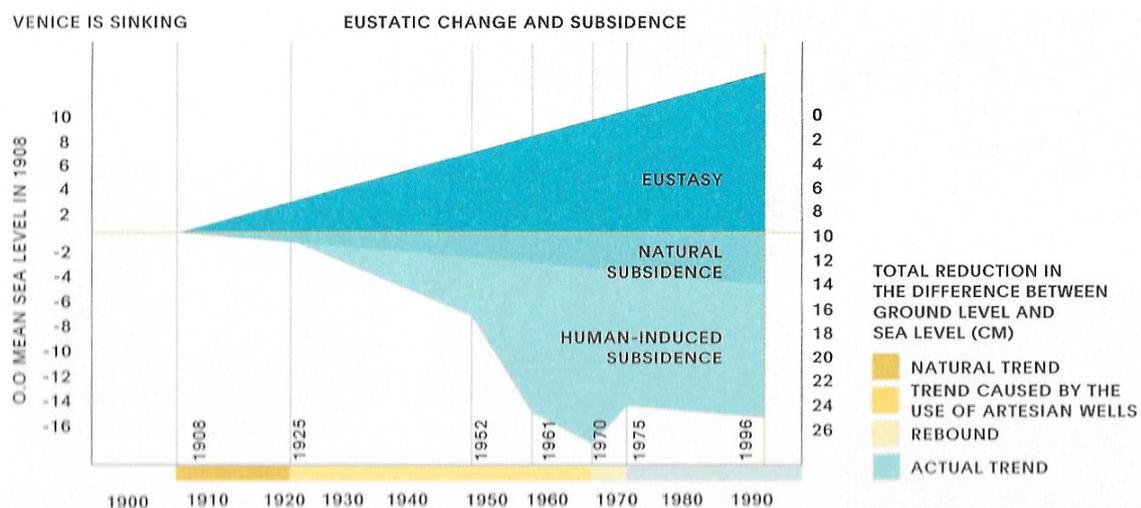


Figure 16 : importances relatives de l'eustasie et des subsidences naturelles et anthropiques. (LabaEPFL, p.87)

Dans la plaine du Pô, la subsidence naturelle peut se scinder en deux composantes. La première est une composante à long terme, résultant de l'activité tectonique et de la géodynamique terrestre. Elle

⁸ Une seiche est une oscillation de l'eau dans un bassin hydrique initiée par de petites secousses sismiques, par le vent ou par des variations de la pression atmosphérique. La période d'oscillation peut varier de quelques minutes à plusieurs heures. L'amortissement étant souvent faible, les oscillations libres peuvent se perpétuer longtemps après que la source de la perturbation a cessé ou, dans le cas d'oscillations entretenues, atteindre des amplitudes importantes par un phénomène de résonance. (Wikipédia)

est active sur des périodes couvrant plusieurs millions d'années et causée par le glissement de la plaque Adriatique sous les Apennins. Le taux de subsidence estimé, relatif à cette première composante, est de 1,0mm par an. Il a été calculé à partir de données stratigraphiques recueillies via des forages de puits industriels. La seconde composante, plus récente (de l'ordre de milliers ou dizaines de milliers d'années), est relative aux changements climatiques, aux cycles glaciaires, ainsi qu'aux déversement de sédiments depuis les deltas et au compactage de ces sédiments. Via l'analyse du Carbone14 des sédiments récents, on est parvenu à estimer la subsidence totale de la région de Venise à 1,3mm par an. Par déduction, les effets de la seconde composante sont donc estimés à 0,3mm par an. (Carminati, 2005, p. 21-25) Les travaux archéologiques d'Ammerman (2009), qui ont permis d'établir une courbe de subsidence portant sur les deux derniers millénaires, confirment cette valeur annuelle de 1,3mm. Ce rythme lent est dû à la résistance du sous-sol, composé d'un argile limoneux compact et quasi imperméable, appelé *caranto*, formé il y a 6000-10000 ans. (Fletcher, 2004, p.34) L'affaissement régional a été estimé, par carottage profond à 4-5 cm par siècle, mais peut être plus élevé pour les couches superficielles de la lagune, compte tenu du tassement des sédiments récents sous leur poids et sous le poids des bâtiments. (Pirazzoli, 2011, p.21) Ce dernier, exerçant une pression continue sur les couches compactées de sédiments issus des rivières, en chasse progressivement l'eau, rendant cette couche de plus en plus fine. (France, 2011, p. 6) Vu l'hétérogénéité du substrat, cette part de la subsidence est répartie inégalement au sein de la ville, entraînant des vitesses de subsidence différentes selon le lieu. Notons que, selon Tosi (2013), de nos jours, les travaux de restauration et d'améliorations des infrastructures peuvent avoir des effets positifs sur cette subsidence, principalement dans les lieux les plus sensibles, sujets aux travaux de consolidation les plus importants. Il estime l'amplitude de ces mouvements structurels à une valeur annuelle de -10 à +2mm.

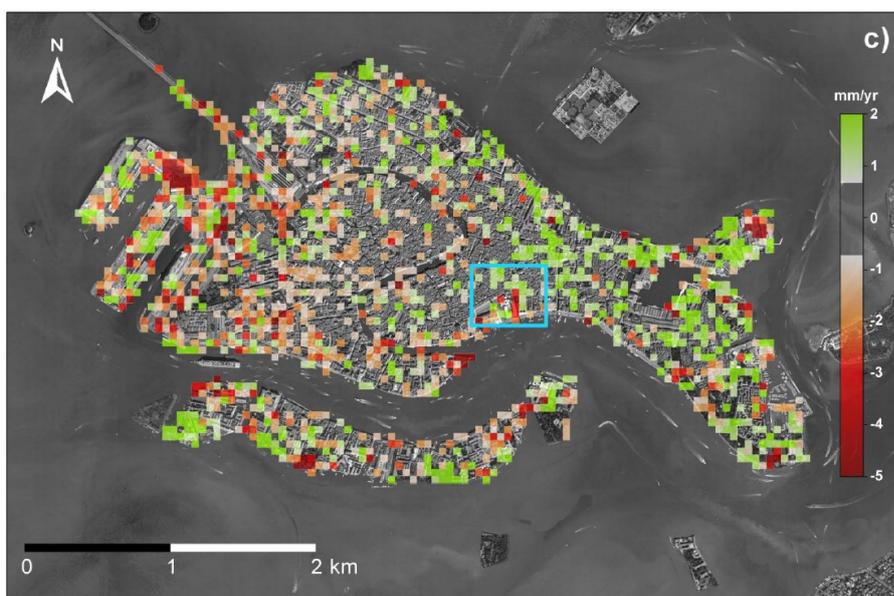


Figure 17 : Mesure du mouvement d'origine anthropique des sols : les valeurs positives indiquent une élévation des sols, les négatives leur subsidence. (Tosi, 2013)

L'affaissement moyen du sol a été accéléré durant la période 1930-1970. En cause : l'extraction d'eau souterraine à destination des activités industrielles et portuaires de la région de Marghera, eau provenant de réserves aquifères profondes. On a ainsi extrait jusqu'à un maximum de 1,5 millions de litres quotidiennement en 1969. Il fallut plusieurs décades pour découvrir que cette eau servait de coussin amortisseur supportant les sols. Ces pompages d'eaux souterraines ont eu comme effet une subsidence anthropique additionnelle estimée à 14cm suivie, après l'arrêt des pompages en 1970, d'une remontée du sol de 2cm. A titre de comparaison, cette subsidence additionnelle de 12cm correspond à une période de 84 ans de subsidence naturelle. (Butterfield, 2005, p.125-126)

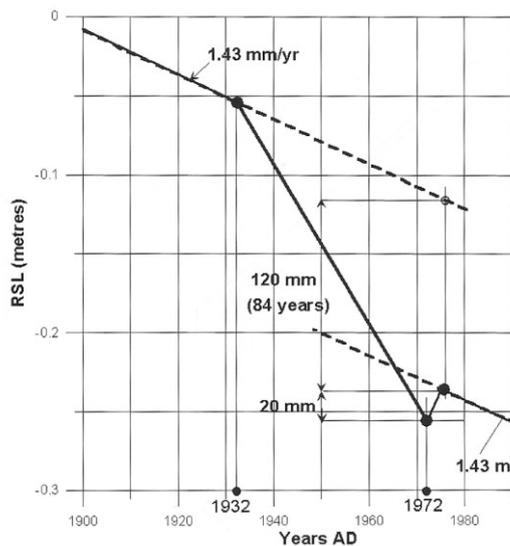


Figure 18 : Effet des pompages d'eaux souterraines entre 1930 et 1970 sur la subsidence. (Butterfield, p.125)

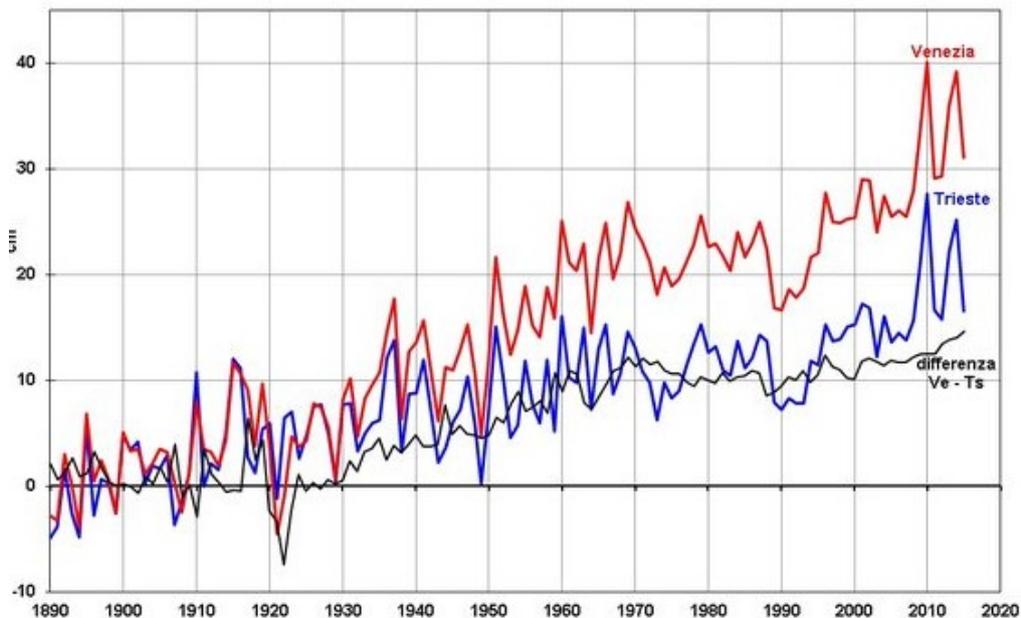


Figure 19 : Comparatifs entre Venise et Trieste, distantes de 100km : le niveau d'élévation des eaux était similaire avant l'accélération due aux extractions d'eaux souterraines à Venise. Depuis leur arrêt, la progression est à nouveau similaire. (comune.venezia.it)

4.1.3 Le niveau des eaux

4.1.3.1 Circulation des eaux

Au sein de l'Adriatique nord, les pertes de chaleur subies durant l'hiver sont compensées par le flux passant par le détroit d'Otrante. Ceci est le résultat d'un échange latéral de chaleur se produisant entre le courant adriatique de l'est, qui remonte vers le nord le long de la côte est de l'Adriatique, et le courant côtier adriatique de l'ouest, qui descend vers le sud. Ce dernier subit au nord le forçage des vents et reçoit les ruissellements d'eau provenant du fleuve Pô. De ce fait, la circulation des eaux aux embouchures de la lagune de Venise est connectée tant aux effets de forçage des vents qu'à la circulation des eaux dans l'Adriatique. (Pinardi, 2005, p.44)

4.1.3.2 Niveau relatif des eaux

Le niveau relatif de la montée des eaux est estimé à 7mm par an durant la période de -4000 à 400, à 13mm par an entre 400 et 1897. Pour la dernière centaine d'années, on a estimé cette valeur à 25cm, Mais si l'on en soustrait les 12 cm causés par la ponction des eaux souterraines au complexe industriel du port de Marghera, le solde restant, 13cm, est bien dans la continuité des mesures précédentes. Les premières mesures du niveau des eaux datent de 1440, moment où fut créé le *Magistrato alle Acque* dont la mission était de mesurer le niveau des eaux en marquant d'un C (pour *Comune Marino*) le niveau qu'atteignaient les algues sur les bâtiments en bordure des canaux. La première jauge de mesure des marées fut installée en 1870 (à Santo Stefano), remplacée en 1897 par celle placée à Punta della Salute, à l'entrée sud du Grand Canal (Fletcher, 2004, p.17) En conséquence de l'enfouissement de Venise et de la montée des eaux, ce point de référence est actuellement 25cm plus bas que le niveau moyen de l'eau. (p.32) Ses données conservées couvrent la période 1909-2000. En 2001, une nouvelle jauge l'a remplacée, installée en mer, à l'entrée du port du Lido.

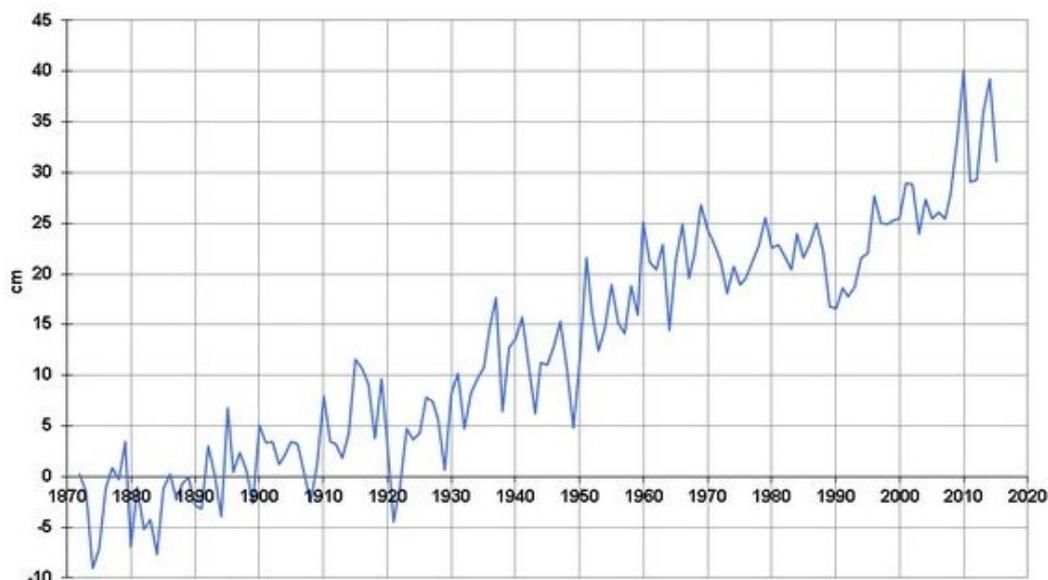


Figure 20 : Variations du niveau moyen de la mer (cm) à Venise de 1872 à 2015. (comune.venezia.it)

Le niveau relatif des eaux est déterminé par nombre de facteurs et de paramètres, certains globaux (eustasie) d'autres locaux, influencés tant par des phénomènes naturels que par des facteurs de forçage anthropiques. Au niveau global, le réchauffement des océans (qui cause une expansion du volume des eaux marines) et la fonte des glaces provoquent une montée générale des eaux. Au niveau local, les variations des conditions climatiques en Adriatique (force des vents, pression atmosphérique, etc.) et la subsidence, tant d'origine naturelle d'anthropique, influencent l'élévation et l'énergie des marées. (Da Mosto, 2005, p.644 ; Frassetto, 2005, p.36-39) L'étude des variations de flux d'eau au sein de la lagune a montré que 90% du total de ces variations est dû aux marées. (Gacic, 2005, p. 431)

4.1.3.3 Marées

Les fortes marées dans la lagune sont le résultat de trois composantes : (1) une composante astronomique résultant du mouvement et de l'alignement des corps célestes, principalement la lune (marées de vives-eaux ou de mortes-eaux⁹), (2) une composante géographique relative à la forme du bassin, (3) une composante météorologique, liée à un grand nombre de variables dont les précipitations, la direction et la force des vents, etc. (LabaEPFL, 2016, p.85)

Un autre phénomène est lié à la rotation terrestre, responsable localement de l'apparition d'un point amphidromique¹⁰ relatif à deux composantes de la marée : l'oscillation semi-diurne lunaire (M2) et la solaire (S2). (Tomasin, 2005, p.71) Ce point est situé à la sortie de Ancône, sur la même côte que Venise, à 222km plus au sud. Là, les ondes de marée tournent dans le sens antihoraire. Lorsqu'on s'en éloigne, l'amplitude des ondes augmente plus rapidement vers l'Adriatique du nord qu'au sud. Après avoir atteint la plus forte amplitude dans la région de Trieste (plus de 40 cm), les ondes de marée décrivent une trajectoire le long de la côte vénitienne, passant presque simultanément devant les trois embouchures de la lagune (Lido, Malamocco, Chioggia). Lorsqu'elles pénètrent dans la lagune, elles vont être ralenties et diminuer d'amplitude dans les canaux naturels, peu profonds et sinueux, tandis que dans les canaux creusés, profonds et rectilignes, elles subissent une accélération pouvant conduire à une augmentation de leur amplitude. (Pirazzoli, 2011, p.14)

On peut observer dans la figure suivante que la vitesse des eaux à l'embouchure de Malamocco en marée montante et sortante est nettement plus importante actuellement qu'en 1811, ce qui a un impact sur la balance des sédiments.

⁹ Lorsque le marnage (dénivellation entre la pleine mer et la basse mer) passe par un maximum, la marée est dite de vive-eau. Elle correspond aux phases de nouvelle lune et de pleine lune. Elle s'explique par les effets conjugués de l'attraction de la lune et du soleil. Lorsque le marnage passe par un minimum, la marée est dite de morte-eau. Elle correspond aux phases de premier et de dernier quartiers de la lune. Elle s'explique par les effets opposés de la lune et du soleil. (shom.fr)

¹⁰ Un point amphidromique est un point d'un système physique soumis à une force de marée où le marnage, la différence de hauteur d'eau mesurée entre les niveaux d'une pleine mer et d'une basse mer consécutives, est voisin de zéro. Le marnage s'accroît progressivement lorsqu'on s'en éloigne. (Wikipédia)

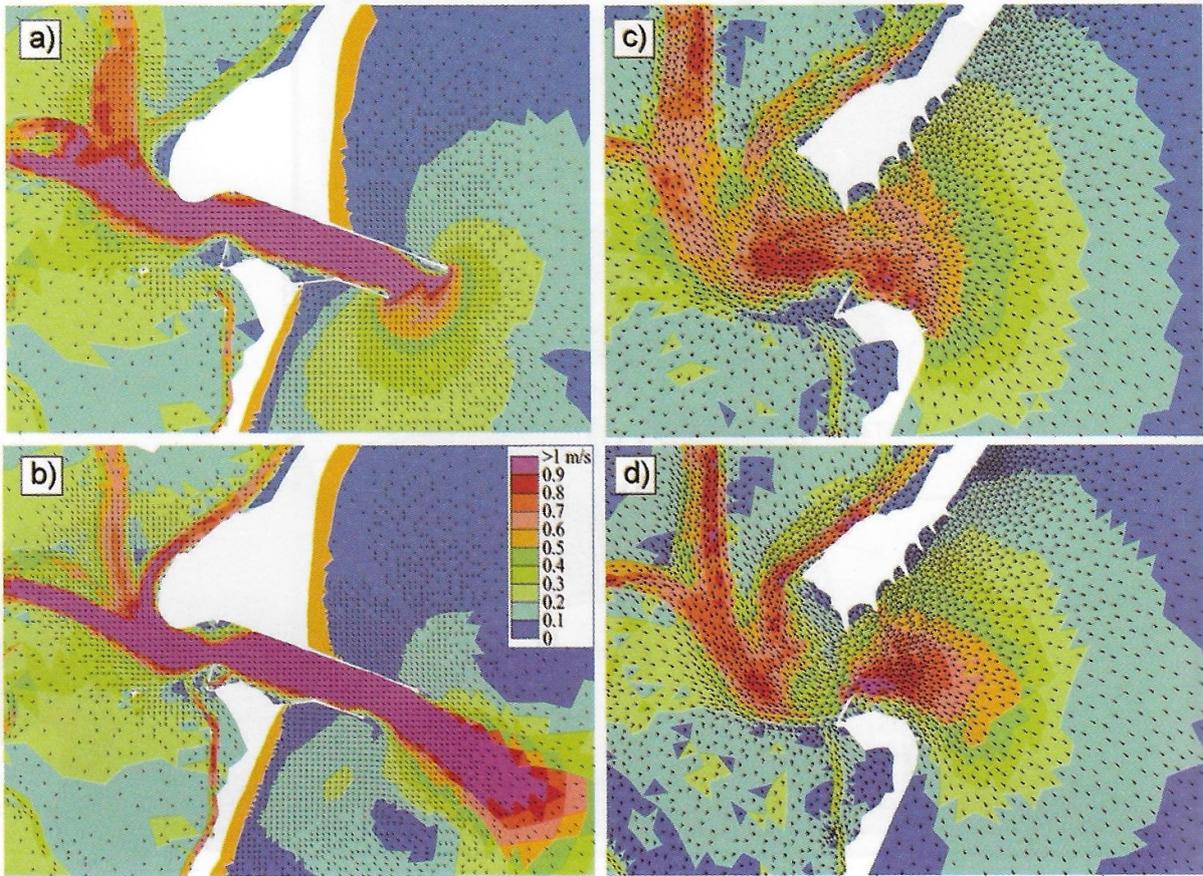


Figure 21 : Vélodité des eaux à l'embouchure de Malamocco en marée montante (a,c) et sortante (b,d) actuellement (gauche) et en 1811 (droite). (D'Alpaos, p.335)

Le niveau des marées varie de -50cm à +80cm par rapport au niveau de référence de Punta della Salute, en fonction des cycles de marées liés aux phases de la lune. Une marée soutenue se situe entre 80 et 110cm, une marée exceptionnelle entre 110 et 140cm et une marée extrême au-delà de 140cm. (Fletcher, 2004, p.18) Quotidiennement, la ville publie en ligne les heures et les niveaux des prochaines marées hautes et basses, ainsi que le niveau en temps réel.

Marea	Livello attuale: + 46cm	16:10 85cm ↑	23:15 35cm ↓	02:50 40cm ↑	09:15 10cm ↓
--------------	-------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Figure 22 : Affichage en ligne des niveaux des marées. (comune.venezia.it)

La distribution des marées dans la lagune, telle que modélisée dans l'image du LabaEFPL ci-dessous, montre que la lagune est inégalement impactée par les marées et que c'est la zone de la cité historique, au centre, qui subit la plus forte amplitude de marée.

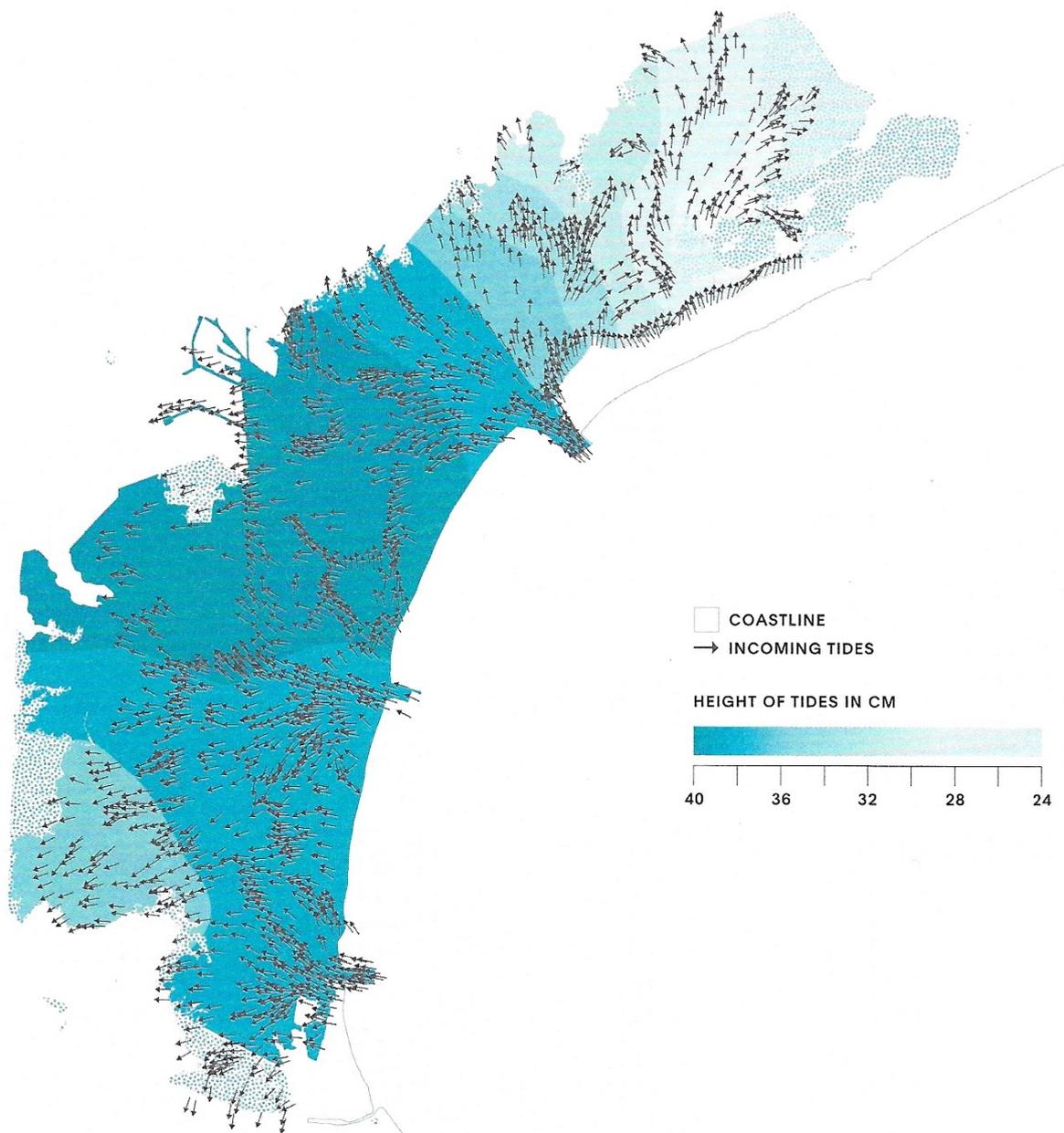


Figure 23 : Flux, hauteur et dispersion des marées entrantes. (LabaEPFL, p.86)

4.1.3.4 Flux et temps de résidence

Les flux nets moyens mesurés estiment la sortie d'eau depuis la lagune à 100m^3 par seconde, ce qui correspond aux apports d'eau douce dans la lagune par le débit fluvial et les décharges industrielles. On peut en déduire qu'au sein de la lagune, les apports d'eau venant des précipitations sont équilibrés avec l'évaporation. Le temps de semi-résidence, c'est-à-dire le temps qu'il faut pour remplacer la moitié des eaux de la lagune, a été calculé à 6 et 12 heures, respectivement pour les marées de mortes et de vives-eaux, ce qui est rapide si l'on compare avec des systèmes aquatiques similaires. (Gacic, 2005, p. 441)

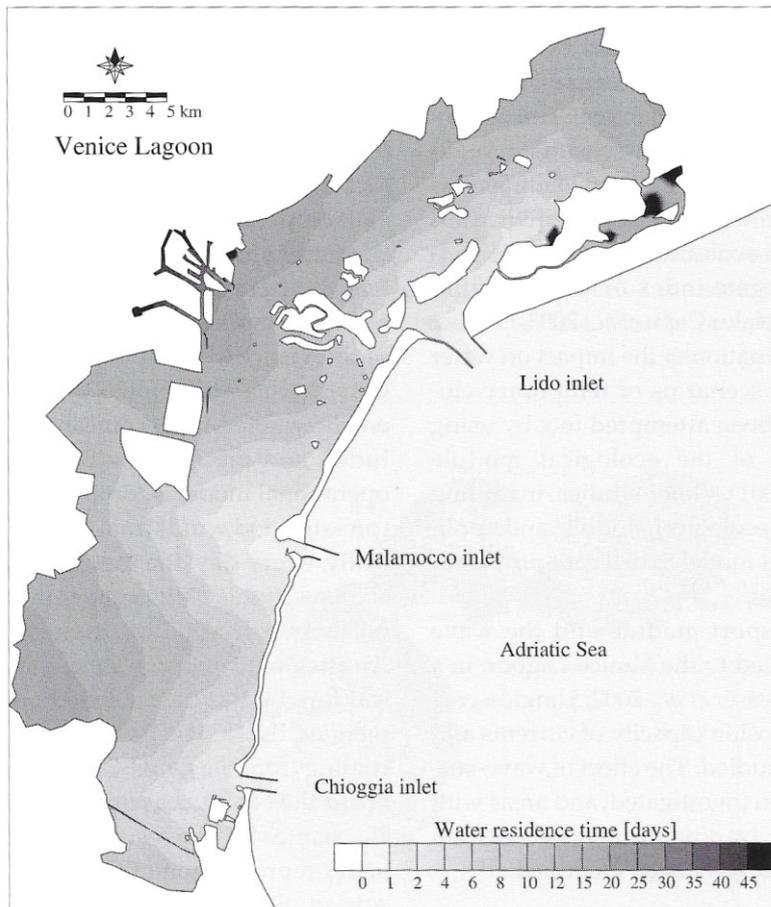


Figure 24 : Temps de résidence des eaux. (Umgiesser p. 408)

4.1.3.5 Gestion de l'hinterland

De nos jours, l'utilisation centralisée des terres (dans la zone de terre ferme continentale), qui a fortement augmenté durant les dernières décennies, a provoqué une diminution des capacités locales de stockage d'eau et une augmentation du volume des flux d'eau s'écoulant vers la lagune, pouvant, en conséquence, aggraver les problèmes d'inondation et de pollution. (LabaEPFL, 2016, p.75)

4.1.3.6 Structure de la lagune

La lagune a subi, au fil du temps, de nombreux changements structurels dont des modifications du nombre et des formes des embouchures vers la mer, une réduction des surfaces de vasières et de marais salants, un lissage du sous-sol immergé, le développement industriel du port de Marghera, le dragage de canaux de navigation profonds (dont le canal Malamocco-Marghera, qui dessert le port et est surnommé *canale dei Petroli* au vu de son usage intensif par l'industrie pétrolière), la construction de l'aéroport San Marco, l'isolation de larges zones de la lagune destinées à la pisciculture (*valli de pesca*) et le comblement artificiel de parties de la lagune. (Seminara, 2005, p.370) En conséquence, la lagune contient plus d'eau répartie sur une plus petite surface qu'il y a un siècle, ce qui implique qu'un plus grand volume d'eau dispose de moins de surface pour se répartir. Ces changements contribuent également à un renforcement des courants internes et des effets des marées. (Fletcher, 2004, p.40)

4.1.3.7 *Élévation au sein de la cité historique*

Dans la cité historique, les endroits les plus élevés n'atteignent que 2m au-dessus du niveau de la mer. Les cartes représentant les zones subissant des inondations, comme celles ci-dessous, montrent que ces dernières touchent actuellement bien plus d'endroits qu'auparavant.

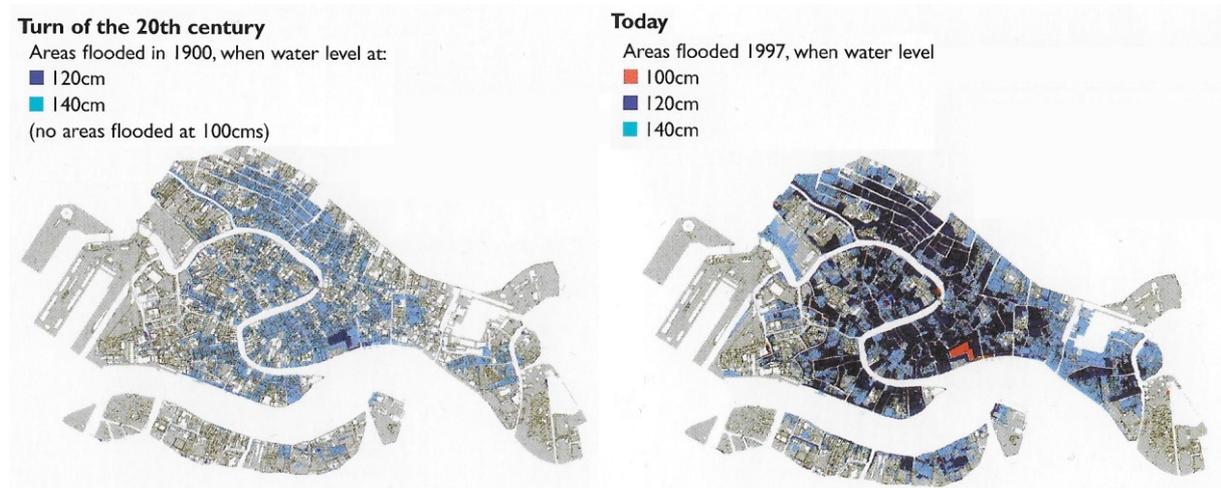


Figure 25 : Zones inondables, selon trois niveaux de marées en 1900 et 1997. (Fletcher, p.37)

A partir de 70cm au-dessus du niveau de référence, *la place San Marco* et sa basilique sont inondées, à 100cm 3,5% de la cité est touchée, à 110cm 12%, à 120cm 35%, à 130cm 69% et à 140cm c'est 90% de la ville qui est sous eau. (Fletcher, 2004, p.36-37) Depuis 1923, les données montrent une croissance dans le nombre d'inondations dites 'normales' (à partir de 80cm) ainsi que dans le nombre d'événements 'extrêmes' (à partir de 110cm). (p.40)

4.1.3.8 *Estimations par indicateur biologique*

La montée relative des eaux à Venise a également été estimée à l'aide d'un indicateur biologique : la hauteur de la ceinture d'algues vertes accrochées aux bâtiments bordant les canaux. Ces algues, ayant besoin d'eau, d'air et d'ensoleillement, vivent dans la zone intertidale : la ceinture brun-vert qu'elles forment sur les murs indique le niveau de marée haute moyen. Cet indicateur a été consigné visuellement de manière précise par plusieurs peintres du 18^{ème} siècle, en particulier Antonio Canal, surnommé Canaletto (1697-1768). Utilisant la technique de la *camera obscura*¹¹ (chambre noire), lui et ses disciples ont réalisé de nombreuses peintures détaillées des principaux palais de Venise. Cette étude a permis de déterminer le niveau relatif des eaux à leur époque : l'ampleur de la submersion moyenne depuis un peu plus de trois siècles a ainsi été estimée à 61 +/- 11cm (correspondant au seuil d'incertitude), soit un chiffre correspondant à celui avancé par les études archéologiques. En outre,

¹¹ Un instrument d'optique composé d'une lentille et d'une boîte ou d'une tente. La lumière passe dans la lentille est reflétée par un miroir et s'affiche sur une glace où est apposée une feuille de papier, y esquissant l'image que l'artiste s'applique à consigner.

les vagues produites par les bateaux à moteur participent à l'élévation du niveau de la zone humide sur les bâtiments à raison de 5cm en moyenne. (Camuffo, 2010)

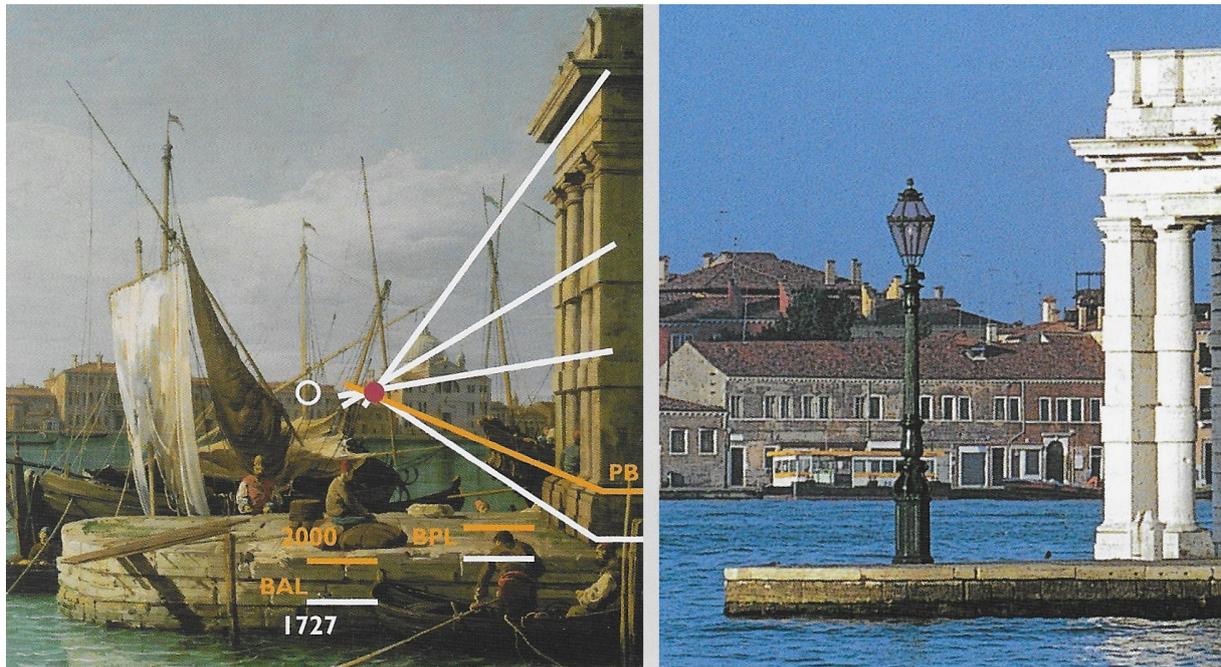


Figure 26 : Niveau des eaux : comparaison entre la vue actuelle et une peinture de Canaletto réalisée par la technique de la 'camera obscura'. La montée des eaux est déduite en mesurant le niveau des eaux et des algues et l'élévation du sol, la base de la colonne à droite indiquant que le pavement a été rehaussé. (Camuffo)

4.1.4 Inondations

Durant la saison humide, de l'automne au printemps, les zones basses de la ville sont inondées quasi quotidiennement. « Les risques et les ravages croissants du mouvement ondulatoire sur la ville se manifestent à travers l'intensification des Acqua Alta. (...) Le flux des marées, qui atteint dans l'Adriatique l'amplitude la plus forte de tout le bassin Méditerranéen, (...) impose aux citoyens des désagréments périodiques croissants et opère de surcroît comme une lime corrosive qui entame les structures des immeubles, des monuments et des voies. » (Bevilacqua, 1995, p.101)

4.1.4.1 L'Acqua Alta à Venise

La durée des Acqua Alta étant généralement courte, moins de quatre heures, les fortes inondations se produisent lorsque les conditions de marées hautes et d'onde de tempêtes sont réunies. Cependant, de par sa forme, l'énergie contenue dans les ondes de marée ne se dissipe que lentement hors de cette zone, ce qui a pour conséquence que les ondes de tempête peuvent continuer à se déplacer et cumulées à de nouvelles conditions favorables (comme une marée haute) peuvent causer des inondations bien après le passage de la tempête initiale. (Tomasin, 2005, p.72-73) Comme le montre le premier graphe ci-dessous, les inondations supérieures ou égales à 110cm sont de plus en plus fréquentes et sont principalement réparties sur les trois derniers mois de l'année.

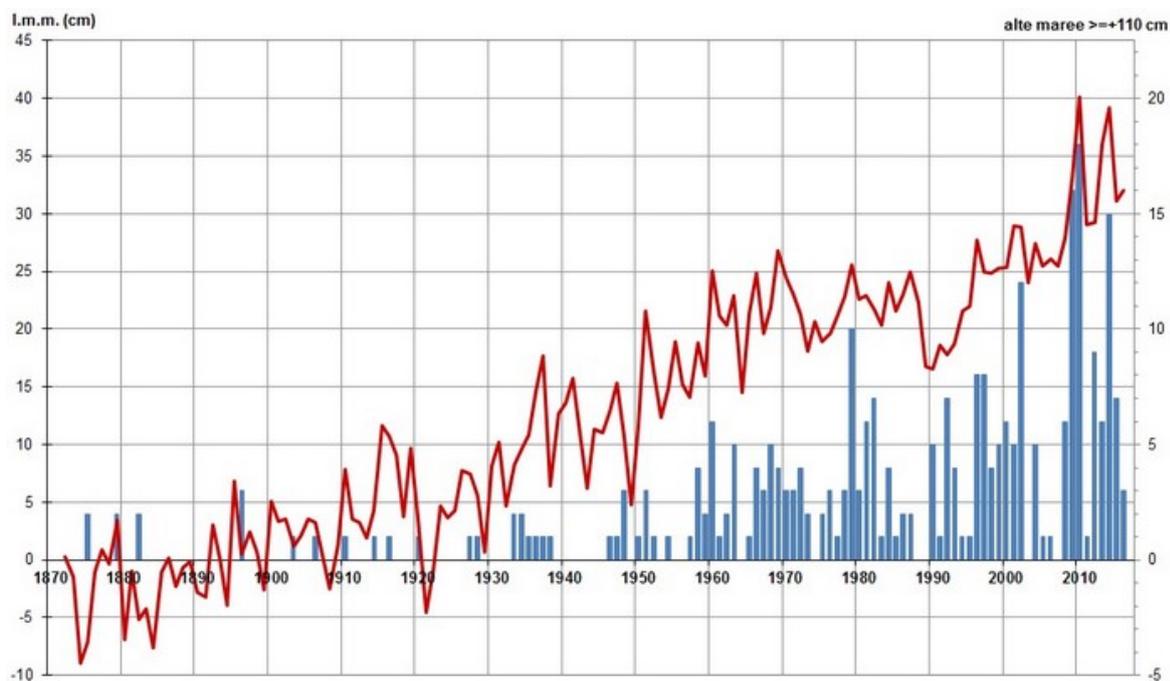


Figure 27 : Evolution du niveau moyen de la mer à Venise et distribution annuelle des marées hautes >= 110 cm, de 1872 à 2016. (comune.venezia.it)

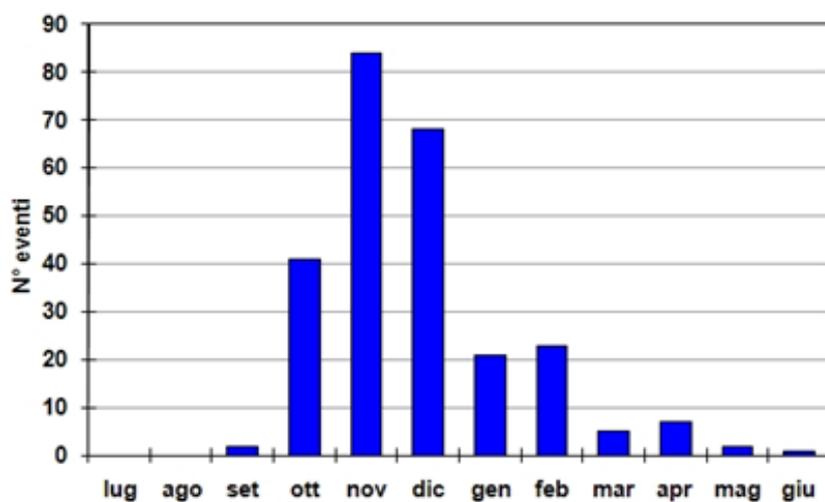


Figure 28 : Distribution mensuelle des marées dépassant 110cm de 1872 à 2014. (comune.venezia.it)

4.1.4.2 Mesures des marées et alertes

Les données recueillies chaque heure (depuis 1940) par la jauge de marées de Punta delle Salute sont traitées et classifiées en quatre types d'informations : 1) les valeurs brutes, 2) les valeurs obtenues en soustrayant des premières les marées astronomiques, 3) les valeurs obtenues en soustrayant des premières le niveau moyen des eaux (ce dernier est une valeur évolutive correspondant à la moyenne du niveau sur une période de 181 jours), 4) les valeurs obtenues en soustrayant des premières à la fois les marées astronomiques et le niveau moyen des eaux. Ce dernier panel de mesures comprend donc les valeurs correspondant aux seiches et aux ondes de tempête qui servent à établir une liste annuelle des tempêtes, classées par ordre d'importance, (Lionello, 2005, p.59) ainsi qu'une évaluation de la fréquence des événements exceptionnels.

Livelli di marea	2013			2014			2015			livelli di mare numero casi	durata media ore min	frequenza numero casi/anno
	numero		durata	numero		durata	numero		durata			
	casi	ore min		casi	ore min		casi	ore min				
>= 190 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	1	0h 10'	1 ogni 49 anni	
>= 180 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	1	1h 30'	1 ogni 49 anni	
>= 170 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	1	5h 50'	1 ogni 49 anni	
>= 160 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	2	4h 40'	1 ogni 24.5 anni	
>= 150 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	4	4h 25'	1 ogni 12.3 anni	
>= 140 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0	0	0 0	15	2h 40'	1 ogni 3.3 anni	
>= 130 cm	1	1 15	0	0 0	0	0 0	0	0 0	36	2h 33'	1 ogni 1.4 anni	
>= 120 cm	1	2 50	0	0 0	0	0 0	0	0 0	90	2h 30'	1.8 all'anno	
>= 110 cm	3	7 35	4	5 55	2	3 15	7	14 35	219	2h 31'	4.5 all'anno	
>= 100 cm	6	16 15	15	32 10	7	14 35	15	43 10	566	2h 28'	11.6 all'anno	
>= 90 cm	31	69 10	38	97 0	15	43 10	36	99 5	1272	2h 41'	26.0 all'anno	
>= 80 cm	70	207 55	71	218 40	36	99 5	94	275 20	3164	2h 44'	64.6 all'anno	
< -50 cm	1	0 5	0	0 0	7	13 15			801	1h 48'	16.3 all'anno	
< -60 cm	0	0 0	0	0 0	1	0 50			217	1h 38'	4.4 all'anno	
< -70 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0			51	1h 26'	1.0 all'anno	
< -80 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0			12	1h 02'	1 ogni 4.1 anni	
< -90 cm	0	0 0	0	0 0	0	0 0			2	0h 30'	1 ogni 24.5 anni	

Figure 29 : A gauche, nombre et durée des marées exceptionnelles pour la période 2013-2015. A droite, nombre d'événements pour la période 1966-2015, durée moyenne pour chaque événement et fréquence avec laquelle ils se produisent. (comune.venezia.it)

De par leurs implications sur la vie quotidienne et sur les activités touristiques, les inondations à Venise constituent un réel problème. Aussi, afin d'avertir les résidents et les touristes, la *municipalità* a fondé, en 1980, le *Centro Previsioni e Segnalazioni Maree* (CPSM). Outre des activités de recherche et de modélisation, il a pour missions : l'observation et la fourniture de prévisions à court terme relatives au niveau des eaux et aux phénomènes météorologiques liés, ainsi que l'émission d'alerte en cas de risque d'inondation. Le réseau de surveillance est composé de onze jauges de marées et stations météorologiques, plateforme ISMAR-CNR (sept dans la lagune, une à chaque embouchure séparant la lagune de la mer et une en mer à 15km de la côte). Ces stations transmettent, en temps réel, leurs données à une station centrale qui les rassemble et les consolide. Le service en ligne *Maree*, comune.venezia.it/maree, donne des prévisions des marées, portant généralement sur 48 heures (comune.venezia.it/archivio/2420), diffusées via un réseau d'information complet : sms, site web, numéro direct, secrétariat d'information, notification par email, smartphone, panneaux lumineux, point d'information sur les marées, réseaux sociaux : Twitter et Facebook. (comune.venezia.it/archivio/1754) En cas de risque d'inondation, la ville est alertée trois à quatre heures avant l'événement via des appels automatiques et des SMS, destinés en particulier aux propriétaires de rez-de-chaussées tant commerciaux que privés et aux compagnies responsables des différents services public. En cas de prévision d'un niveau de l'eau dépassant 110cm par rapport au niveau de référence, une série de 16 sirènes réparties dans la cité historique avertit la population. (Canestrelli, 2005, p.86-88) Ces sirènes électroniques émettent deux sons distincts : le premier destiné

à avertir la population de l'arrivée d'une *Acqua alta*, le second donnant une indication de sa hauteur, en fonction du nombre de tonalités émises (d'une à quatre) : +110 cm, +120 cm, +130 cm et +140 cm. (comune.venezia.it/archivio/13623)

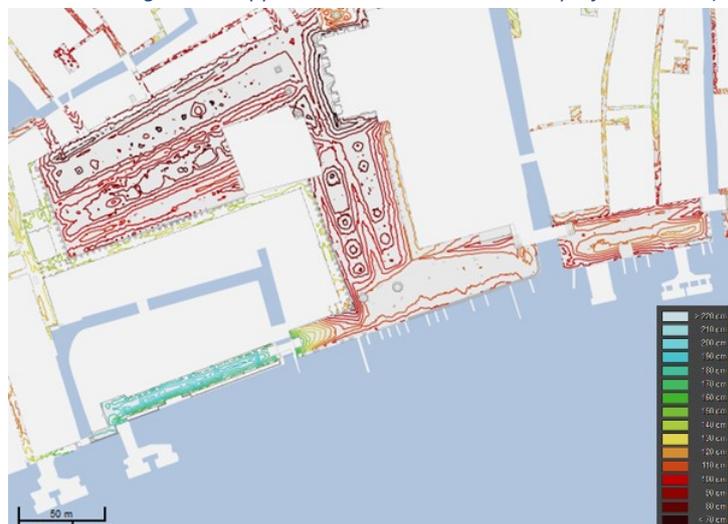
4.1.4.3 Observations de terrain

De nombreux éléments de la cité historique sont affectés par l'exposition au sel marin, aux effets des vagues et aux inondations : les canaux, les infrastructures de surface (rues, pavements, ponts et embarcadères), les infrastructures souterraines (égouttage et services utilitaires : gaz, eau, électricité, communications), les bâtiments privés et publics ainsi que l'héritage architectural et culturel. Une bonne gestion de la maintenance de ces éléments (coût en 2016 : 154 millions, selon le rapport UNESCO 2017) nécessite la récolte de données factuelles précises concernant leur localisation, leur état et leur usage, le tout corrélé avec le niveau de menace auquel ils sont exposés. A cet effet, un travail de collecte de données a été effectué par le *Venice Project Center* et la compagnie *Forma Urbis*. Il a abouti à un mappage détaillé de la ville à destination de la compagnie gérant les travaux, *Insula SpA* (une compagnie créée le 10 juillet 1997 et dirigée conjointement par le Conseil de la ville de Venise (qui en détient 52%) et par les quatre principales compagnies de travaux public : électricité (*Vesta*), gaz (*Italgas*), eau (*Enes Hydra*), télécommunication (*Telecom Italia*)). L'ensemble des rues, ponts, embarcadères et des bâtiments privés et publics a été ensuite couplé avec les niveaux d'élévation afin de produire des cartes. Le projet *Ramses (Rilievo Altimetrico, Modellazione Spaziale E Scansione 3D)*, mis en place par *Insula SpA* et le conseil de la ville de Venise, a permis de développer un modèle cartographique, précis au centimètre, en trois dimensions des rues de la ville historique. Son module altimétrique permet, via des délimitations en isolignes, de consulter l'élévation des sols de l'ensemble des zones pédestres ainsi que les niveaux auxquels les différents endroits de la cité historique sont inondés. (smu.insula.it)

Hight tides Flooding	
+ 200 cm	91%
+ 190 cm	88%
+ 180 cm	85%
+ 170 cm	82%
+ 160 cm	77%
+ 150 cm	70%
+ 140 cm	59%
+ 130 cm	46%
+ 120 cm	28%
+ 110 cm	12%
+ 100 cm	5%
+ 90 cm	2%

Ci-contre : Figure 30 : Pourcentage de la cité historique inondé en fonction du niveau des eaux, par rapport au point 0 de Punta del Salute. (comune.venezia.it/archivio/1754)

Ci-dessous : Figure 31 : Application Piazza San Marco du projet Ramses. (smu.insula.it)



4.2 Protection et restauration

Comme l'indique Bevilacqua, très tôt, à Venise, on s'est inquiété des signes de comblement progressif de la lagune, de « la diminution progressive du volume des eaux dans la *mer* intérieure de Venise, signes évidents du déséquilibre entre le *peu d'eau, beaucoup de terre et peu de mouvement* », ainsi que des répercussions sur la qualité de l'habitat dans la lagune et sur la qualité de l'air. « L'altération de la qualité de l'eau menace, en effet, la salubrité de l'air », causant « exhalaisons et effluves putrides et pernicieux qui infectent l'air et pourraient rendre la ville inhabitable. » (...) « Les déchets des activités artisanales, les eaux de rejet des teinturiers, les ordures et les déjections évacués dans les canaux, le sable, les cailloux, les poteaux de construction ou de démolition qui finissent clandestinement dans les eaux provoquent des effets immédiats sur la salubrité de l'environnement. » (Bevilacqua, 1995, p.20-23)

4.2.1 Mesures locales et diffuses

Les mesures prises sont classées selon qu'elles sont locales, effectuées aux niveaux de la cité historique et des îles habitées, ou diffuses, c'est-à-dire à l'échelle de la lagune et des côtes bordant l'Adriatique. (Fletcher, 2004, p.46) Les mesures de défenses locales incluent l'élévation des chaussées, des digues et des ponts, l'installation de mesures anti-inondation, le remplacement et la modernisation des infrastructures et câblages (électricité, gaz, eau, etc.), le dragage des canaux et la réparation des murs bordant les canaux. (Fletcher, 2005, p.144)

Les mesures diffuses se répartissent sur l'ensemble de la lagune et cherchent à restaurer sa morphologie et ses défenses naturelles afin de limiter les impacts liés aux fortes Acqua Alta. Elles visent notamment à protéger et revitaliser les vasières et les marais salants existants et à en créer de nouveaux. (Fletcher, 2004, p.54) On veut protéger les arêtes des zones de marais salants, qui ont tendance à s'éroder à cause des vagues et des courants mais aussi suite à la raréfaction de la végétation marine qui consolide les sols. L'érosion des bas-fonds et la raréfaction des vasières qui limitaient la force des vagues et fournissaient une part des nutriments de cet écosystème ne fait que renforcer la détérioration. (p.56) Enfin, sur la côte extérieure de la lagune, qui constitue la première ligne de défense contre les marées, les plages, dunes de sable, épis et jetées doivent être constamment réparés et améliorés pour faire face à l'érosion. (p.58)

Le choix pour la défense de la cité historique de Venise et sa lagune est posé entre, d'un côté, une dépendance accrue vis-à-vis des solutions technologiques (comme illustré par la construction de barrières amovibles aux embouchures de la lagune) destinées à réguler les relations entre la cité et le niveau des eaux, avec des conséquences indéfinies sur l'environnement lagunaire et ses écosystèmes et, de l'autre côté, une volonté de restauration de la dynamique naturelle de

l'environnement lagunaire, au détriment de certaines activités économiques particulièrement dommageables : porte-containers et bateaux de croisière, par exemple, dont le volume impose la taille et la profondeur actuelle des embouchures d'accès à la mer. (Da Mosto, 2005, p.644) Revitaliser le tissu économique et renverser le déclin démographique sont également importants. Un développement soutenable impliquant les trois piliers de la soutenabilité économique, de la soutenabilité sociale et de la soutenabilité écologique, il est impératif de ne pas seulement compter sur des fonds extérieurs, destinés surtout à la préservation et à la restauration des lieux, mais d'y adjoindre des instruments de régulation visant à un usage soutenable de toutes les formes de capital : naturel, social, culturel et économique. (Vellinga, 2005, p.650)

4.2.2 Gestion

4.2.2.1 Gestion internationale

La lagune de Venise est incluse dans la *Convention de Ramsar* de 1971, sur la protection des zones humides, ainsi que dans la directive *Habitats* et le réseau *Natura 2000* de la Communauté européenne, qui ont pour objectifs la protection et la gestion des espaces naturels ou semi-naturels à valeur patrimoniale. (Cecconi, 2005, p.462) L'UNESCO définit la lagune de Venise comme un ensemble culturel qualifiant pour la préservation au titre de Patrimoine mondial de l'UNESCO, (Fersuoch, 2014, p.8) c'est-à-dire un ensemble de biens culturels et naturels présentant un intérêt exceptionnel pour l'héritage commun de l'humanité.

Depuis 1966, le programme pour la sauvegarde de Venise a participé à plus de 1500 projets pour un montant plus de 50 millions d'euros, principalement consacré aux projets de conservation et de restauration. (whc.unesco.org/fr/soc/3633) Outre le financement UNESCO, Venise est dotée de sources extérieures de financement : le fait d'être inscrit sur la liste du Patrimoine mondial favorisant la mobilisation de financements publics et privés destinés aux actions de préservation et de mise en valeur. (Patin, 1997, p.55). Ces sources, non présentes ailleurs en Italie, ont également facilité le développement d'une structure de monitoring environnemental avancée. (Penna, 2005, p.518)

Concernant le suivi des actions à prendre, tel que recommandé par un rapport UNESCO en juillet 2016, le Comité du patrimoine a exprimé plusieurs recommandations et demandé à l'Italie d'y répondre pour le 1 février 2017. (whc.unesco.org/fr/actualites/1621) Dans ce rapport annuel portant sur l'état de conservation, l'UNESCO pointe différents facteurs affectant les lieux, facteurs déjà présents dans le rapport précédent et que l'on retrouve de manière transversale dans ce mémoire. Citons : le système de gestion ainsi que le cadre juridique ; les effets de l'érosion et de l'envasement ; les effets liés à l'utilisation des infrastructures de transport ; les impacts liés aux activités touristiques ; les infrastructures hydrauliques et celles de transport maritime. (whc.unesco.org/fr/soc/3633) Le 26 novembre 2016, les autorités italiennes ont réaffirmé leur volonté d'agir en faveur de la protection de

Venise et de sa lagune en promulguant un nouveau plan de développement, le *Patto per lo sviluppo della Città di Venezia*, qui prévoit un budget de 457 millions d'Euros d'investissements réparti sur quatre ans. (whc.unesco.org/fr/actualites/1621) Dans son rapport annuel 2017, l'UNESCO reconnaît cette avancée significative, le budget dégagé et la volonté d'apporter des réponses aux différents points relevés dans le rapport 2016. L'UNESCO souligne la volonté de l'administration de rénover la ville et sa gestion touristique ainsi que de mettre en place des solutions aux problèmes de navigation dans la lagune. (p.10) Parmi les points importants, citons la volonté de créer les conditions nécessaires à ce que Venise reste une ville où les gens peuvent résider, vivre et travailler, ce qui nécessite une attention soutenue portée tant sur l'environnement urbain que naturel. (p.12) Une attention particulière est accordée à la réforme des pratiques touristiques, dans la Recommandation n°4 (p.34-43) qui vise le développement du tourisme soutenable et de la gestion des flux touristiques. A cet effet, un fond spécifique de 10 millions d'euros a été dégagé afin d'implémenter des systèmes de management touristique expérimentaux. (p.12)¹²

4.2.2.2 Gestion nationale

Dans le processus législatif italien, les lois et règles officielles fixent les objectifs en termes de protection de l'environnement et d'action de restauration et désignent les autorités responsables de leurs mises en œuvre. Ces autorités élaborent les plans et projets et doivent donc avoir une bonne compréhension des problèmes à résoudre et des impacts à corriger, ce qui nécessite des études spécifiques et un monitoring constant. (Penna, 2005, p.518) L'écosystème de la lagune s'étend sur un bassin réparti sur quatre provinces de Vénétie (Venise, Padoue, Treviso, Vicence) et dépendant de 110 gouvernements locaux, alors qu'il était sous une gouvernance unifiée quasiment jusqu'à la fin du 18^{ème}. (Salzano, 2014, p.5) La répartition actuelle des rôles se fait ainsi : le *Comitatone* élabore les politiques générales de sauvegarde ; le *Magistrato alle Acque* délègue au *Consorzio Venezia Nuova* la planification et l'implémentation des décisions concernant la lagune et à *Insula SpA* celles concernant les zones urbaines et les îles, tous deux travaillant de concert avec les autorités locales et régionales. (Fletcher, 2004, p.46)

La gestion des eaux à Venise remonte au 13^{ème} siècle, époque où fut fondé le *Magistrato ai Lidi*, auquel succéda, en 1501, le *Magistrato alle Acque*, en place jusqu'en 2014. (Penna, 2005, p.517). A cette date, suite à un scandale financier, ses fonctions ont été transférées au 4^{ème} bureau du Ministère des infrastructures et des transports (baptisé *Salvaguardia di Venezia del Magistrato alle Acque - Opere marittime per il Veneto*). Il a pour charge la gestion des eaux et l'imposition de règles sévères portant sur le respect des eaux de la lagune, (Frassetto, 2005, p.36) et, plus précisément, la restauration de l'équilibre hydrologique et des habitats de la lagune, l'amélioration de sa qualité environnementale, la

¹² Pour les détails de ces investissements, voir l'annexe 1.

préservation des écosystèmes et la protection de Venise par rapport aux Acqua Alta, tâches dont il s'acquitte grâce au support technique du *Consorzio Venezia Nuova*. Pour la partie continentale, la tâche principale de la région de Vénétie dans le domaine, menée par son agence technique ARPAV (*Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto*), est de développer des plans et des projets afin d'améliorer la qualité des eaux intérieures, côtières et du bassin de drainage ainsi que d'en gérer les aspects liés à la santé humaine. (Penna, 2005, p.518)

Il fallut attendre l'inondation du 4 novembre 1966 pour que « de la frayeur suscitée par cet événement naquit à Venise et en Italie une attention plus générale, plus soutenue et moins superficielle au destin de la ville » (Bevilacqua, 1995, p.106) Les débats et les études qui suivirent aboutirent à la création d'un corpus législatif spécifique : la première Loi spéciale (171/1973) envisage la préservation de l'unité physique et environnementale de la lagune, la préservation des marais salants et un embargo sur les travaux d'assèchement ; la seconde (798/1984) la restauration de l'équilibre environnemental ; la troisième (139/1992) la fin de la détérioration de la morphologie de la lagune et la réhabilitation de cette dernière à son état initial. (Fersuoch, 2014, p.11) Il y est précisé que les interventions devraient, en tout temps, être graduelles, testables et réversibles. (Salzano, 2014, p.25-26)

La première Loi spéciale a défini le cadre structurel. Elle « prévoit l'institution d'un Comité de contrôle, le *Comitatone*, dont font partie de nombreux ministères et organismes (Marine marchande, Environnement, Biens culturels, mairies de Venise et de Chioggia, etc.), confie en concession à un groupe de droit privé, le *Consorzio Venezia Nuova*, la mission de réaliser dans le bassin lagunaire les interventions de la compétence de l'Etat sur la base de décisions prises périodiquement. » (Bevilacqua, 1995, p.106) En 1992 et 1993, la troisième Loi spéciale et son protocole d'application mirent en place plusieurs mesures afin de moderniser les infrastructures de la ville : dragage des canaux, réparation structurelle des canaux et fondations, rénovation des systèmes d'égouttage, consolidation et amélioration des services et systèmes utilitaires d'eau, gaz, électricité et télécom. En 1994, un Plan Programme a été lancé avec un budget de 723 millions d'euros répartis sur une période de 23 ans (loi 206/1995). Ses objectifs : la cité historique, les zones construites ou urbaines du Lido et de plusieurs îles (Murano, Burano, Pellestrina). L'ensemble étant réparti sous trois juridictions : celle des autorités portuaires, de la *Magistrato alle Acque* et du Conseil de la ville. Ce plan a été étendu jusque 2025, le budget étant porté à 1213 millions. La coordination et la réalisation de ces travaux sont effectuées par la compagnie de maintenance urbaine *Insula SpA*. (Dolcetta, 2005, p.163-164)

4.2.3 Activités socio-économiques

Depuis des siècles, les Vénitiens ont appris à gérer les conséquences des Acqua Alta. Les dommages économiques découlant des marées et inondations peuvent être répartis entre les dommages sur site et hors site. Les dommages sur site regroupent les dommages causés aux structures et matériaux et

comprennent les dépenses de mitigation effectuées pour les prévenir ou les diminuer. Les dommages hors site sont ceux relatifs aux aménités causées par les inondations : difficulté de déplacement, fermeture de commerces, interruption ou ralentissement de certains services dont les services d'urgence et d'approvisionnement, diminution du flux de clients et de touristes, difficulté d'accès au lieu de travail. Ces derniers dommages ont un coût à court terme, résultant des dommages aux commerces (nettoyages, réparations, pertes de marchandises), des interruptions de fonctionnement de certaines activités socio-économiques ou de la perte de revenus commerciaux (cessation temporaire d'activité). Le coût en fut estimé à un montant annuel allant de 3,41 à 4,73 millions d'euros, le premier chiffre ne prenant pas en compte les impacts du changement climatique. (Breil, 2005, p205-215). Différentes options de mitigation sont accessibles aux commerces et particuliers, leurs coûts pouvant varier fortement. Parmi ces mesures, outre l'élévation des sols, de la moins coûteuse à la plus coûteuse, on trouve : les *paratia*, des barrières étanches en métal, pouvant monter jusqu'au genou, placées devant les portes d'entrée ; les pompes à eau ; les *vasca*, des réservoirs en béton armé placés aux rez-de-chaussée des bâtiments et qui nécessitent une isolation additionnelle des structures attenantes. (beicostruzioni.it)

	Pavements	Walls	Inner doors	Front doors
Raising of floors	+++	+	+++	+++
Vasca	+++	+++	+++	+++
Paratia	+	0	++	+++
Water pump	+	0	++	0
Water pump and <i>paratia</i>	++	0	+++	+++
Waterproof barriers for walls	0	+++	0	0

Legend: +++ strong, ++ medium, + small, 0 no mitigation effect.

Figure 32 : Niveau de protection octroyé par différentes mesures de mitigation. (Breil, p.210)

4.3 Modifications dans la lagune

4.3.1 Morphologie

Le premier grand changement concernant l'apport de sédiments dans la lagune fut le détournement du flux d'eau de plusieurs rivières, dont les rivières Brenta et Piave, hors du bassin de la lagune. Entrepris dès le 14^{ème} siècle, il avait pour objectif de réduire le déversement de sédiments dont l'afflux menaçait d'envasement l'ensemble de la lagune et mettait en péril la navigation, l'accessibilité au port et la défense militaire de la cité. (Di Silvio, 2005, p.359) Le second changement prit place entre 1850 et 1920 et consista en la construction de jetées aux trois embouchures de Malamocco, Lido et Chioggia. Afin d'améliorer l'accessibilité du port, ces jetées ont réduit la taille des embouchures et ont provoqué un accroissement de la profondeur du plancher marin voisin (qui passa de 6m en 1810 à plus de 10m). (p.360) Destinés à faciliter la navigation, l'approfondissement des embouchures menant à l'Adriatique et l'excavation de canaux profonds taillés en ligne droite, en contraste aux nombreux méandres

préexistants, ont changé considérablement la morphologie de la lagune. Le premier canal profond, le canal Vittorio Emanuele, fut creusé entre 1920 et 1925, le second reliant l'embouchure de Malamocco et le port de Marghera, le *canale dei Petroli*, le fut durant les années 1960. (Fersuoch, 2014, p.13) L'embouchure de Malamocco est passée de 4-5m du début du XIX^{ème} siècle à 8-9m après la construction de deux jetées puis, dans les années 60, à 15m, suite à l'excavation du canal Vittorio Emanuele. L'embouchure du Lido affichait, début XIX^{ème} siècle, une profondeur de 3,5m à marée haute. La construction des digues au Lido a provoqué une canalisation des courants de marées et une profondeur de 7-8m en 1901. Puis, entre 1919 et 1930, l'embouchure a été approfondie à 12m et reliée directement à la station maritime et au Port de Marghera via un canal de 10m de profondeur qui passe à travers le bassin San Marco (la zone de la lagune en face à la place San Marco). Cette profondeur favorise une propagation rapide des eaux, dont les crêtes sont peu atténuées lors de marées hautes. (Pirazzoli, 2011, p.23-24)

Ces canaux ont une influence négative sur la circulation hydrodynamique du centre de la lagune et sur son évolution morphologique (D'Alpaos, 1992, p.73), y causant un accroissement général de profondeur estimé à au moins un mètre. (p.85) Ils isolent la dispersion naturelle des courants et provoquent une atrophie des petits canaux voisins. En conséquence des forts courants présents dans les canaux, le flux de sédiments entrants et sortants de la lagune n'est plus équilibré, les sédiments sortants lors du reflux de la marée étant chassés trop loin des embouchures pour être ramenés au sein de la lagune par la marée montante suivante, causant une érosion générale progressive du bassin de la lagune, un lissage des fonds et un accroissement de la profondeur moyenne. (Di Silvio, 2005, p.360) Les mesures bathymétriques régulières réalisées par le *Magistrato alle Acque* depuis 1900 montrent que la lagune s'est approfondie de plus de 60cm en un siècle. Le volume d'eau échangé par les marées deux fois par jour a également fortement augmenté, de même que les volumes de polluants déversés par l'agriculture, l'industrie et les villes. (Scotti, 2005, p.246)

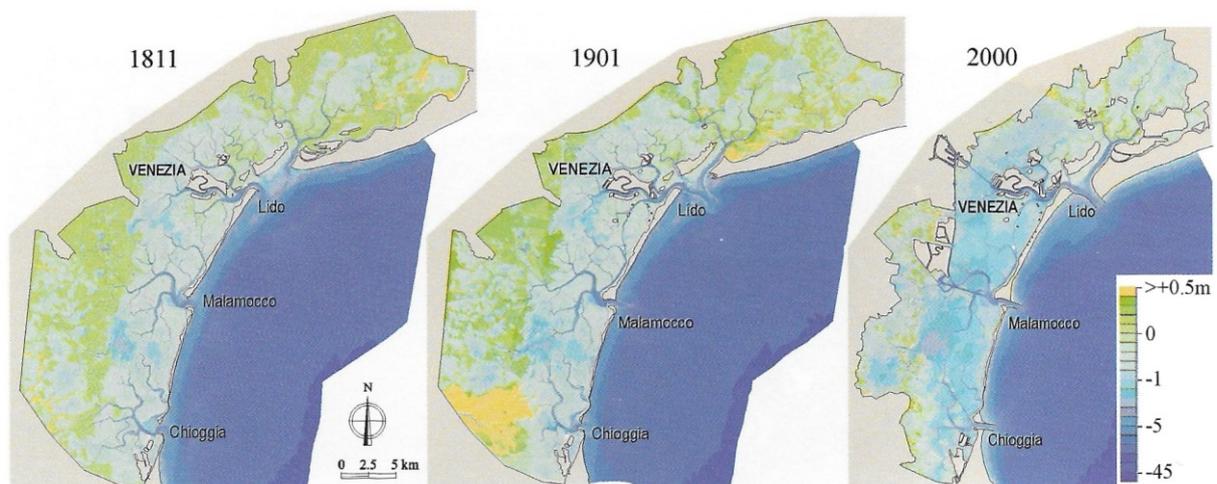


Figure 33 : Evolution morphologique et bathymétrique de la lagune. (D'Alpaos, p.335)

En sus, ces courants causent un envasement des canaux, une détérioration du réseau de canaux secondaires et une diminution du nombre et de la surface de marais salants. En conséquence de la diminution des zones intertidales, on observe une diminution de la population d'espèces animales et végétales qui y réside. (Di Silvio, 2005, p.359-360) Un dernier facteur d'altération de la morphologie peut être trouvé dans la pratique de la pisciculture. Cette dernière a abouti à la constitution de plans d'eau fermés, qui ont réduit la taille de la lagune et ne participent plus aux échanges d'eau avec la mer. Elle a également introduit la pratique de la pêche à palourde japonaise (*Ruditapes philippinarum*), une espèce à tendance invasive dont la pratique de pêche consiste à agiter les fonds marins sur 10 à 15 cm afin de maximiser la collecte. (Fersuoch, 2014, p.16-17)

En ce qui concerne la navigation dans la lagune, les bateaux de croisière passent par l'entrée du Lido puis suivent les canaux San Nicolo, San Marco et Guidecca pour accoster au terminal marin du Tronchetto. Les bateaux cargo entrent dans la lagune via l'entrée de Malamocco et transitent par le *canale dei Petroli* pour mouiller au port de Marghera. (Fersuoch, 2014, p.22) Les vagues produites par ces bateaux endommagent les fonds avoisinants, érodent les marais salants situés à proximité et en dissolvent les sédiments. (p.14) Ainsi, selon L'Institut des Sciences Marines, les ressacs générés par les bateaux transitant dans le *canale dei Petroli* peuvent atteindre un mètre (Fullin, 2010) et leur fort effet de succion serait à la source de la découverte de restes humains drainés depuis les fondements du site monastique médiéval submergé de *San Leonardo in Fossa*. En 1988, le grand sol monolithique de l'église, découvert dans les années 1960, a été mesuré comme ayant été déplacé de 66m par la seule force de ces vagues. (Fersuoch, 2014, p.15) Afin de limiter l'importance du ressac, les routes de navigation traversant la lagune sont dotées de règles de trafic dont des limitations de vitesse et de taille d'embarcation. (LabaEPFL, 2016, p.82)

Actuellement en projet, la création d'un port offshore, à 8 miles de la côte pour un coût estimé à 2,1 milliards d'euros, permettrait de pallier les obstacles posés actuellement par la législation, c'est-à-dire la loi (798/84) qui interdit à terme l'accès des pétroliers à la lagune, et de développer plus avant le rôle économique de quatre ports du Nord de l'Adriatique (Marghera, Chioggia, Mantua et Porto Levante). Il s'agirait d'un terminal, protégé par un brise-lames de plus de 4km, pouvant accueillir tant les pétroliers que les navires porte-conteneurs dont les contenus seraient alors transférés dans les quatre ports terrestres via des barges de transport légères, spécifiquement conçues pour la navigation dans la lagune. (offshore.port.venice.it)

4.3.2 Marais salants et vasières

La diminution des surfaces de marais salants et de vasières est le résultat de deux composantes. D'une part, les asséchages réalisés pour dégager de nouvelles surfaces à destination de l'industrie, de l'agriculture et de zones habitables. Ces développements ont conduit à une perte estimée entre la

moitié et les trois quarts des marais salants présents au 19^{ème} siècle et, en conséquence, à une diminution de quelque 20% de la biodiversité végétale et à une décroissance de moitié des espèces aviaires présentes dans la lagune. (France, 2011, p. 9) D'autre part, l'érosion qui progresse par une sape de la partie immergée de la rive, cette dernière finissant par s'effondrer. La matière sédimentaire, ainsi désassemblée, est ensuite emportée par les courants. L'érection d'un écran de piliers de bois aux bordures, à la même élévation que celle de la zone à protéger, permet de protéger ces dernières de l'action des vagues et d'éviter leur effondrement. La zone entre les piliers et la berge est comblée par de la matière sédimentaire et sera colonisée par de la végétation halophytique endéans les 12 mois. Le seul revers à cette procédure est la détérioration progressive des piliers par un ver du bois, le taret commun (*terado navalis*). (Cecconi, 2005, p.466)

4.3.3 Sédiments

4.3.3.1 Balance des apports dans la lagune

Selon les sources, la quantité de sédiments emportés par la mer varie entre un demi et deux millions de m³ par an : 400 à 500.000 m³ selon D'Alpaos, 700.000 selon le *Consorzio* (www.salve.it), 800.000 selon Saretta (2010), 1 million selon l'*Ufficio di Plani* (2009), tandis que les mesures effectuées dans les embouchures de la lagune indiquent qu'entre 1,5 et 2 millions de m³ de sédiments sont évacués chaque année dans la mer (Day Jr, 2005, p.450). Cette perte de sédiments équivaldrait, selon Bevilacqua (1993, p.103) à « un approfondissement d'environ 15 centimètres des eaux de la lagune en cinquante ans. »

S'intéressant à la balance entrée/sortie, Cecconi (2005, p.461), mentionne que seules de petites rivières se déversent dans la lagune, pour un flux cumulé de 30m³ d'eau par seconde. L'entrée de sédiments via ces sources ne compte que pour 30.000 m³ par an (70.000 m³ selon Day Jr (2005, p.450)), à comparer avec une estimation de 700.000 m³ par an avant le détournement des rivières Brenta, Sile et Piave. De manière similaire, la construction de brise-lames et de jetées aux embouchures de Lido, Malamocco et Chioggia a réduit l'import de sédiments marins par 10, de 300.000 à 30.000 m³ par an. Au total, l'export net de sédiments de la lagune vers la mer atteint 1,1 million m³ par an. Reste que, quelle que soit la source des mesures, on constate une nette différence entre les flux entrant et sortant.

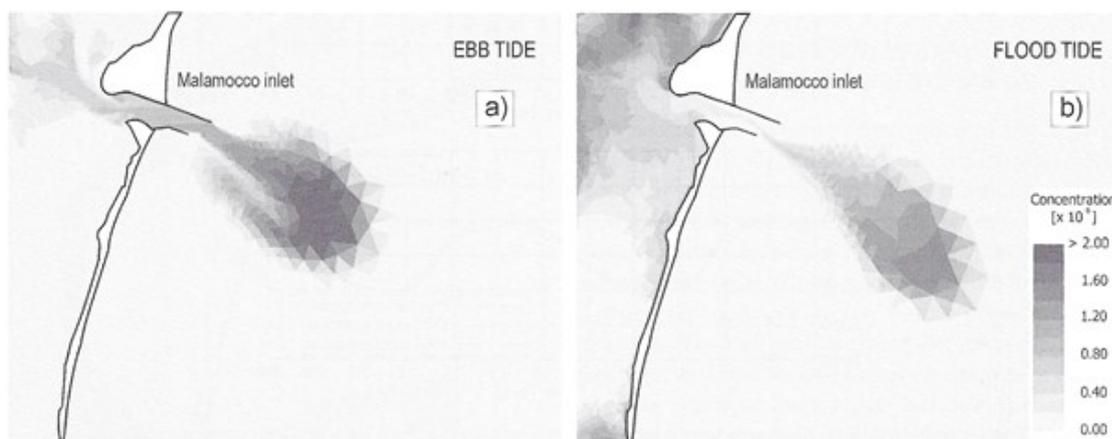


Figure 34 : Modélisation du flux de sédiments en marée montante et descendante, époque contemporaine. (D'Alpaos, p.426)

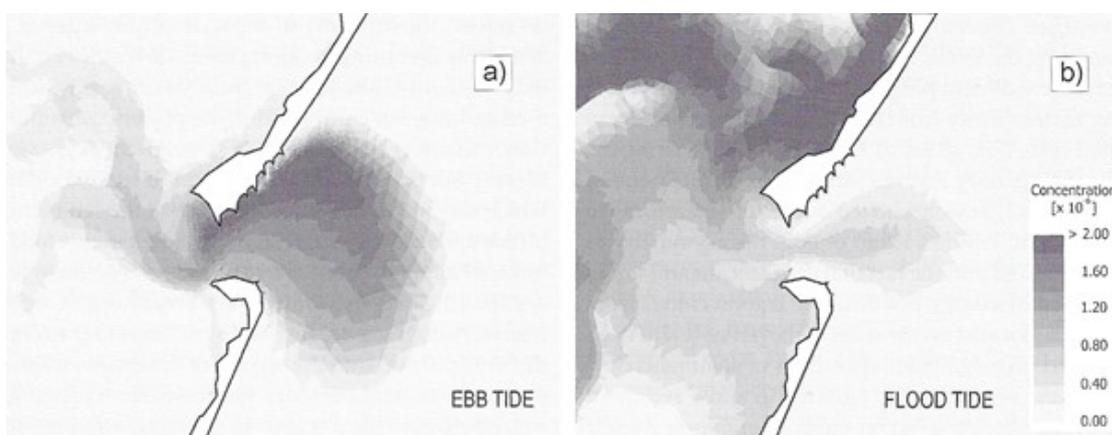


Figure 35 : Modélisation du flux de sédiments en marée montante et descendante, en 1811. (D'Alpaos, p.427)

4.3.3.2 Réduction du déficit sédimentaire

Réduire le déficit sédimentaire ne peut être atteint qu'au travers d'une évolution morpho-dynamique de la lagune, un processus complexe, dont les différents composants sont peu maîtrisés et s'étalant sur des décennies alors qu'au contraire protéger la ville historique des effets des eaux peut être envisagé plus rapidement et avec moins d'incertitudes. (Seminara, 2005, p.377) Selon Day Jr (2005, p.445), un management soutenable supposerait que certaines rivières soient réincorporées dans le fonctionnement de la lagune. Une approche déjà entreprise au milieu du 19^{ème} siècle lorsque le cours de la Brenta fut utilisé afin de créer de nouvelles zones humides au sud-ouest de la lagune. Cette hypothèse est contredite par Cecconi (2005, p.470) et France (2011, p.49) qui affirment que cette solution a été rejetée à cause de la pollution des eaux et des sédiments pélagiques ainsi que des conséquences sur le littoral de déversement actuel. Quant à la solution préconisant la réduction des embouchures et la suppression des digues les bordant, Cecconi (2005, p.470-71) pense que, même si elle pourrait réduire la perte de sédiments, elle contribuerait à une érosion accrue des littoraux, à l'ensablement des canaux de navigation et à une baisse du renouvellement des eaux au sein de la lagune.

4.3.3.3 Dragage des canaux

A Venise, les matières organiques et inorganiques provenant des égouttages et de l'érosion du bâti aboutissent dans les canaux où elles s'accumulent. Or, maintenir la navigation nécessite d'éviter le comblement des canaux, ce qui implique qu'il faut régulièrement les draguer puis il faut disposer des sédiments ainsi extraits. Ces opérations de dragages furent interrompues au début des années 1960, ce qui conduisit à l'accumulation de plus d'un mètre de sédiments. La loi 139/1992 votée au parlement italien a abouti à rétablir, dès 1994, les opérations de maintenance et l'amélioration des services publics urbains, en ce compris la restauration des fondations des bâtiments, le renouvellement des caniveaux et l'introduction de fosses septiques. Au vu de la haute teneur en métaux lourds et en produits chimiques organiques hydrophobes (HOC), un protocole technique spécifique pour la classification des sédiments fut introduit par le Ministère de l'environnement en 1993 (Zonta, 2005, p.603-604). Les hautes concentrations observées, accumulées durant trois décennies de concentration de sédiments sans dragage, relèvent de différentes causes (égouttages privés et commerciaux, déversements industriels et agricoles) dont certaines n'existent plus à l'heure actuelle ou ont très nettement diminué au fil du temps grâce à l'introduction de législations spécifiques. Ceci est corroboré par l'étude des couches de sédiments, qui montrent une diminution de la concentration de matières toxiques dans les périodes plus récentes. (p.613)

4.3.3.4 Classements et utilisation des sédiments

Les matières récoltées sont classifiées, avec des limites de concentration, en quatre classes correspondant à des conditions restrictives croissantes pour le traitement et l'utilisation. Les matières classifiées incluent des produits chimiques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), les hydrocarbures totaux (TH), les PAHs et PCBs ainsi que les pesticides organochlorés (OCs). (Zonta, 2005, p.605-06)

Determinants	Limits and classes		
	A mg/kg d.w.	B mg/kg d.w.	C mg/kg d.w.
As	15	25	50
Cd	1	5	20
Cr	20	100	500
Cu	40	50	400
Hg	0.5	2	10
Ni	45	50	150
Pb	45	100	500
Zn	200	400	3000
Total hydrocarbons (TH)	30	500	4000
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)	1	10	20
Polychlorinated biphenyls (PCBs)	0.01	0.2	2
Organochlorine pesticides (OCs)	0.001	0.02	0.5

Figure 36 : Limites de concentration pour la classification des sédiments. (Zonta, p.606)

Un protocole de 1993 classe les différents types de sédiments et leurs usages :

- Les sédiments de Classe A (non contaminés) peuvent être utilisés pour les interventions de restauration morphologique comme la reconstruction de marais salants et de vasières.
- Les sédiments de Classe B (modérément pollués) peuvent être utilisés pour remblayer les îles mais à condition d'être confinés afin d'éviter leur libération dans la lagune.
- Les sédiments de Classe C (pollués) peuvent être utilisés pour remblayer les îles mais sous condition d'être solidement enfermés dans des fondations profondes : ils ne peuvent être utilisés que pour des zones qui ne sont jamais en contact avec les eaux de la lagune et ne pouvant être touchées par des infiltrations ou de l'érosion.
- Les sédiments de Classe >C (hautement pollués) doivent être emportés hors de la lagune, après avoir été traités dans l'île artificielle Isola delle Tresse. Un lieu de déversement long de deux kilomètres est prévu sur le continent, à proximité de l'embouchure de la rivière Brenta. (Fersuoch, 2014, p.20 ; Zonta, 2005, p.605-06)

Parmi les échantillons de sédiments récoltés (1067 échantillons), les classes A et B représentaient une minorité, les classes C et >C atteignant respectivement 68,3% et 31,5%. (Zonta, 2005, p.605-06)

4.3.4 Nutriments

Les taux de nutriments déversés dans la lagune depuis le port et l'arrière-pays ont contribué, jusqu'à la fin des années 1980, à l'eutrophisation de la lagune. Depuis 1998, le monitoring exercé par le *Consorzio Venezia Nuova* (sous l'autorité du *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Magistrato alle Acque di Venezia*), a amené à un meilleur contrôle des rejets d'eaux usées et à de significatives réductions d'ammonium¹³ et de phosphate, avec pour conséquence une nette diminution des macroalgues *Ulva*, la teneur en nitrate restant stable. (Harleman, 2005, p.279)

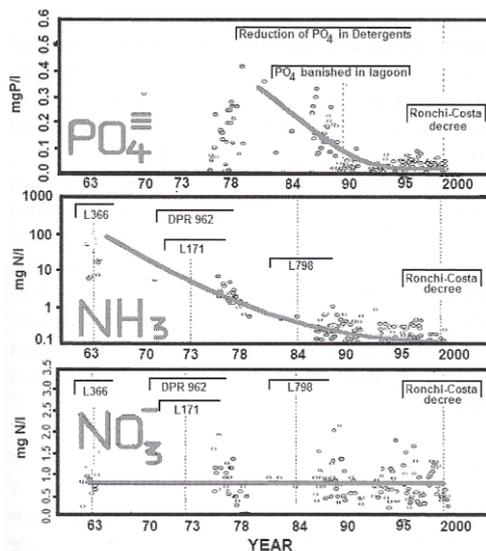


Figure 37 : Evolution de la concentration en phosphate, ammoniac et nitrate dans la lagune des années 1960 à 2000. Les annotations dans les images correspondent aux différentes Lois et Décrets édictés afin de lutter contre la pollution. (Zirino, p.507)

¹³ « L'ammonium est le principal indicateur chimique de pollution directe, c'est-à-dire de déséquilibre du milieu. Une part de l'ammonium peut être toxique pour la faune aquatique (lésions aux branchies des poissons) mais uniquement lorsque l'eau est alcaline. En effet, plus le pH (au-delà de 6,5) et la température sont élevés, plus une partie importante d'ammonium se transformera en gaz ammoniac (NH₃) très toxique dissous dans l'eau. » (cpepesc.org)

4.3.5 Restauration¹⁴

Le débat relatif aux mesures à implémenter, mixant arguments techniques et considérations politiques, oppose deux camps. Le premier supporte l'idée que « défendre Venise face à la montée des eaux peut seulement être assuré via la régulation des embouchures de la lagune à l'aide de barrières mobiles. » (Vote de l'assemblée générale du Conseil du Ministère des Travaux Public italien, 1999). Le second se base sur le fait que « défendre Venise est un objectif ne pouvant être poursuivi à moins que l'ensemble de la lagune ne soit simultanément gouverné. En particulier, le déficit sédimentaire devrait être supprimé et il devrait être démontré que le système peut tendre vers un nouvel équilibre dynamique. » (Commission de l'impact environnemental du Ministère de l'Environnement italien, 1998) (cité par Seminara, 2005, p.370)

Depuis 1986, le *Magistrato alle Acque-Consorzio Venezia Nuova* a entrepris des actions de restauration morphologique afin de maintenir la profondeur des canaux de navigation et d'augmenter la capacité de circulation des eaux dans la lagune. Les matériaux dragués dans les canaux sont utilisés pour construire des vasières et des marais salants artificiels. (Cecconi, 2005, p.461) Le programme de mesures prévoit la construction de vasières et de marais salants et le renforcement de ceux déjà existants, le drainage des canaux secondaires ainsi que la restauration des côtes des îles mineures, l'élévation du lit de la lagune et sa consolidation par plantation de zostères. (Scotti, 2005, p.250)

La restauration des marais salants est une des clés de la résilience de l'écosystème de la lagune. Ces deux dernières décennies, ce sont plus de 6 millions de mètres cubes de sédiments puisés dans les canaux qui ont servi à reconstruire quelques 1.000 hectares de marais salants et de vasières. La répartition des sédiments sur l'ensemble de ces zones nécessite de lourdes machines destinées, d'une part à collecter les sédiments, de l'autre à les projeter sur les surfaces des marais salants et vasières. (France, 2011, p.49-50, 57) Le principal problème est dû à la faible hauteur de la zone intertidale dans la lagune (0,6 à 1,1m) : il s'agit de déterminer avec précision la quantité de matières sédimentaires à importer dans une cellule reconstituée de manière à ce que, lorsque ces matières se décantent, elles soient encore affectée par les marées (le marais salant devant être émergé à marée basse et immergé à marée haute). Les cellules sont construites avec des piliers en bois et des filets hydrauliques afin de contenir les boues et de réduire la turbidité. Les sédiments sont pompés à l'intérieur des cellules jusqu'à une élévation de 1m puis on les laisse reposer et drainer jusqu'à une élévation optimale de 0,3m. Des travaux de consolidation aux bordures sont destinés à stabiliser ces structures ainsi qu'à encourager l'implantation de végétation. (Cecconi, 2005, p.464)

¹⁴ Afin de donner une idée de l'ampleur des travaux en cours, une carte de 2015 est jointe en annexe 2. Elle localise les différentes interventions planifiées dans la lagune.



Figure 38 : Restaurations morphologiques de marais salants. A droite : réutilisation de sédiments dragués. (scuttari.it)

Dans certains grands marais salants, la perte sédimentaire se fait également au cœur de ceux-ci, conduisant à la formation de lacs intérieurs et à leur fragmentation. Ce processus est accompagné par une perte de la diversité des espèces présentes et leur remplacement par des compositions simplifiées d'espèces pionnières. Afin d'éviter cela, une quantité limitée de sédiments, extraits des canaux avoisinants, est mélangée avec de l'eau puis projetée mécaniquement sur la surface du marais salant, le recouvrant d'une couche fine. Les effets positifs en sont une élévation de 3 à 8cm suivie d'un compactage rapide, une absence de dommages aux végétaux préexistants et le développement de plantes vivaces dans les 24 mois, avec un accroissement total de 50% de la biomasse de racines. (Cecconi, 2005, p.468-69)



Figure 39 : Evolution d'un projet de restauration. De gauche à droite : mise en place de la structure de canaux, criques et mares ; apparition d'une végétation pionnière ; diversification des espèces présentes. (Linden)

Cependant, dans les années 1990, la création de marais salants artificiels, obéissant à des contraintes financières, temporelles et d'implantations géographiques, fut menée à l'aide de techniques simplifiées et standardisées, avec pour résultat des structures morphologiques et des caractéristiques fonctionnelles différentes des marais salants naturels. En conséquence, ces marais salants artificiels ne participent à la protection globale de la lagune qu'à un rythme nettement plus faible par rapport aux structures naturelles. (Bonometto, 2005, p.482-84)

Différentes techniques sont utilisées afin d'éviter l'érosion des bordures des marais salants, comme le placement de gabions solides (nasse de câbles renfermant des pierres), de gabions biodégradables (nasse biodégradable de sédiments ou d'écorce), de clôtures de branchages ou de piliers de bois comme alternatives au gabion en dur (piliers en bois, gabions, bancs de sables et plages artificielles).

Les gabions sont composés de pierres de différentes tailles contenues par un filet géo synthétique¹⁵ ou en acier. Moins coûteux, d'une plus grande durée de vie et procurant une meilleure dissipation de l'énergie des vagues que les piliers en bois, ils sont utilisés en alternative et sont placés entre 1m de profondeur et entre 0,3 et 0,5m au-dessus du niveau des eaux. Leur colonisation progressive par des organismes incrustés donnant une couleur verdâtre aux pierres permet une bonne intégration visuelle dans le paysage. (Cecconi, 2005, p.466-67)

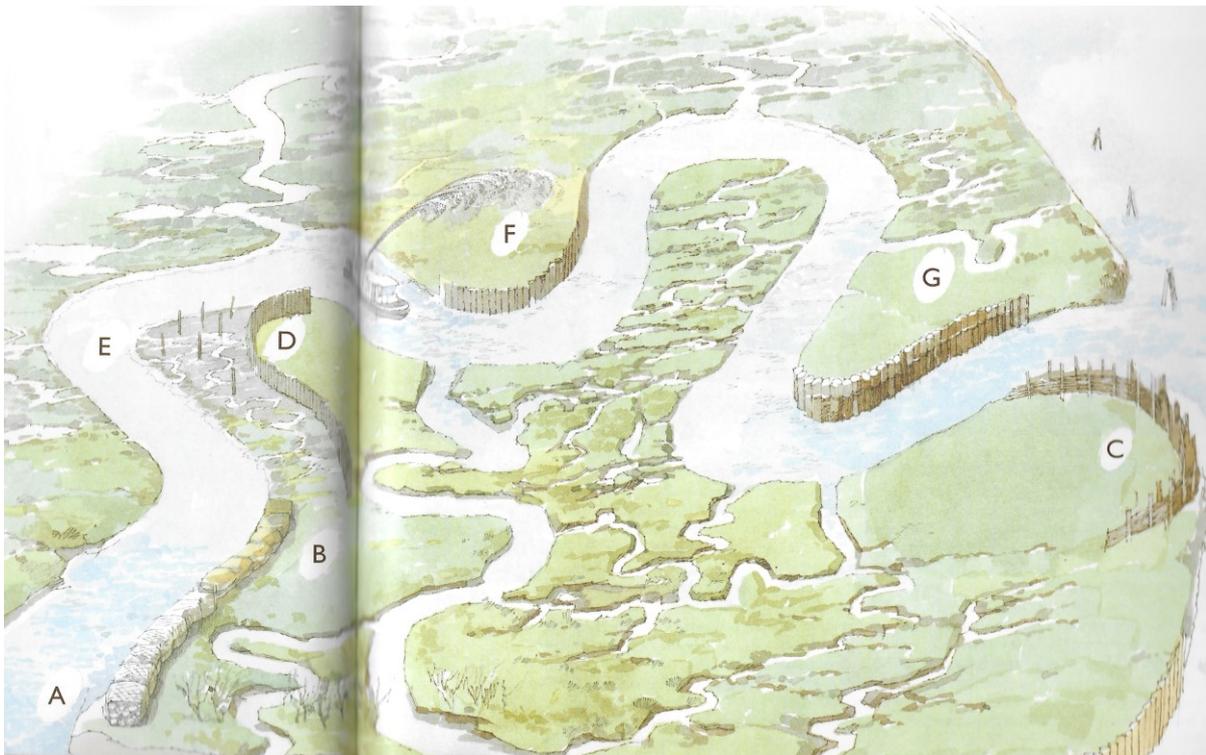


Figure 40 : Méthodes de restauration des marais salants : A) gabions en pierre B) gabions biodégradables C) palissades en branchages D) palissades en piliers de bois E) Replantation afin de solidifier le lit de la lagune F) remplissage des marais salants par projection de sédiments G) amélioration de la circulation des eaux. (Fletcher, p.56-57)

La reconstitution, par dragage, des réseaux de chenaux de marées et de criques de marées garantit une meilleure circulation d'eau et du flux de nutriments lors des marées et donc une amélioration de la qualité des eaux, une diminution de la prolifération d'algues et une progression du nombre d'espèces de poissons présentes. Le replantage de plantes stabilisatrices, comme les zostères, dans les zones dégradées favorise la reprise du tapis sous-marin et son extension. Dans les zones peu polluées et présentant un faible régime hydrodynamique, le recouvrement de zones sous-marines dégradées par du sable propre a permis une baisse de la pollution locale et la recolonisation par des colonies benthiques. (Cecconi, 2005, p.469-70)

Enfin, de longs bancs de sable sont régulièrement reconstruits dans la lagune. Ces bandes de sables, de 10 à 50m de large, sont créées par l'élévation du plancher de la lagune, d'une profondeur de 1,5m

¹⁵ Produit dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de nappe, de bande, ou de structure tridimensionnelle (Norme NF EN ISO 10318). (Wikipédia)

ou plus jusqu'à une hauteur correspondant à celle de la marée basse (- 0,5m). Selon l'endroit où ils sont placés, ils permettent d'absorber entre 40 et 80% de l'énergie des vagues. (Cecconi, 2005, p.468)

4.4 Bâtiments

Historiquement, tout au long de l'existence de la République de Venise, les vénitiens étaient habitués à démolir les bâtiments qui ne leur convenaient plus pour faire place à de nouveaux, mieux adaptés aux besoins du moment et répondre ainsi à la montée des eaux. Ce phénomène s'est poursuivi sous les occupations successives autrichiennes et françaises avec, notamment, la construction du pont de chemin de fer reliant Venise au continent et la fermeture de la place San Marco par l'*Ala Napoleonica*. Ce n'est que depuis le 19^{ème} siècle et la création de l'État Italien qu'une pensée plus conservatrice a vu le jour et a pris progressivement le devant. (Standish, 2012, p.101) Les restaurations architecturales menées à Venise illustrent ainsi le questionnement relatif aux mérites respectifs de la restauration par rapport à la reconstruction. Faut-il rénover les bâtiments en utilisant toutes les techniques disponibles, quitte à les rendre plus résistants que les originaux ? Faut-il les restaurer à leur splendeur d'antan et, dans ce cas, comment décider de la période adéquate à chaque restauration ? Ou faut-il juste les restaurer au minimum, préservant ainsi une vision picturale de bâtiments abimés par le temps ? Ce débat est perceptible derrière de nombreux projets importants, comme dans le démantèlement du pont *dell'Accademia* original, dans la reconstruction du *Campanile* de la place San Marco après son effondrement le 14 juillet 1902 ou dans le fait que, depuis 1984, de nombreuses églises ont subi un processus destiné à éliminer les restaurations trop poussées (France, 2011, p.106) On le retrouve également dans certains projets avortés, comme, par exemple, celui dépeint dans le documentaire de la BBC « Francesco's Venise » (2004). On y raconte que certains tenants du modernisme et de la voiture-reine désiraient prolonger les travaux de comblement de canaux secondaires et de construction du second pont reliant Venise au continent (le *Ponte della Libertà*, destiné à la circulation automobile et construit sous Mussolini entre 1931 et 1933), par le comblement du Grand Canal. Ce dernier deviendrait ainsi une large route permettant la pénétration des voitures au cœur de la cité.

4.4.1 Erosion des fondations et du bâtis

Les dégradations concernant les bâtiments sont principalement dues aux effets du sel marin et au ressac causé par les bateaux à moteur. L'élévation du niveau des eaux et les ressacs, provoquant un va-et-vient de l'eau pouvant atteindre 50cm (France, 2011, p. 13), permettent à l'eau salée de passer au-dessus de la barrière imperméable constituée par la pierre d'Istrie. L'eau imprègne les briques, le plâtre et le bois et s'y élève, par capillarité, jusqu'à des hauteurs de 2-3m. Au sein des murs, le sel s'accumule et subit des cycles de dissolution et de recristallisation, en fonction des conditions d'humidité, fragilisant progressivement les briques qui finissent par se désagréger. (Fletcher, 2005,

p.143) Afin de ralentir ces dégradations, lors de leur construction, la majorité des surfaces extérieures des bâtiments étaient recouvertes d'un plâtrage, utilisé comme stabilisateur. (Danzi, 2005, p.194)



Figure 41 : Dégradations dues aux effets de l'eau et du ressac. (de Thier)

Alors que, lorsque leur environnement est stable, les parties de murs constamment sous eau ne montrent que des dégâts structurels limités, les parties qui sont alternativement en contact avec l'air et l'eau présentent une diminution de la cohésion du mortier et de son adhérence aux briques, pouvant emmener ces dernières à se déchausser et à s'effondrer. (Biscontin, 2005, p.199) De plus, sous la surface de l'eau, l'effet des moteurs des bateaux provoque un effet de succion. Celui-ci a pour résultat une érosion des ciments et briques des fondations ainsi que l'obstruction par les sédiments remués des conduites de drainage et d'égouttage. Les sédiments s'accumulant au sein des murs les endommagent depuis l'intérieur (Fletcher, 2004, p.42), accentuant leur fragilité et causant des effondrements sous-marins, ces derniers contribuant à boucher les canaux de circulation. (France, 2011, p. 13) La pollution qu'elle contient accentue l'action corrosive des eaux (Bevilacqua, 1995, p.100) tandis que les bateaux rapides (ambulances, pompiers) et le non-respect des limitations de vitesse accentuent le phénomène de succion. (France, 2011, p. 13) En conséquence de tout cela, la stabilité du bâti en contact avec l'eau peut être mise en péril par l'exposition des piliers de bois à l'eau, qui entraîne leur dégradation rapide. (Dolcetta, 2005, p.165).

L'essentiel des actions de restauration et de réparation menées inclut : l'injection de mortier résistant à l'eau et d'agglomérats afin de reconstruire les murs et de renforcer leur résistance à l'eau et à l'action du sel (Falchi, 2016), l'ajout de sédiments derrière la maçonnerie, la reconstruction des systèmes d'évacuation et d'égouttage, la construction de réservoirs destinés à confiner les eaux, la consolidation de la structure et des fondations à l'aide de poutres en bois ou métal (selon les cas spécifiques) voire des reconstructions partielles ou des reconstructions correctives afin de corriger des mouvements du bâti ayant causé un changement du support de sa masse. (Dolcetta, 2005, p.165)

4.4.2 Elévation des structures

Depuis le 18^{ème} siècle, une des solutions adoptées pour contrer la montée des eaux est la surélévation des pavements, allées, ponts et embarcadères. Cette solution de mitigation est encore perçue, de nos

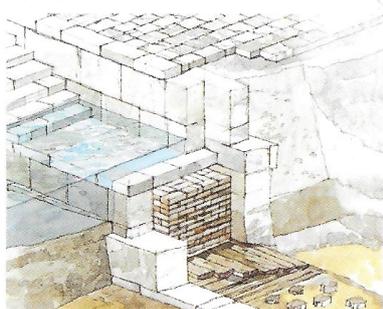
jours, comme pouvant répondre à plus de la moitié des problèmes d'inondation. (France, 2011, p.44)
 Elle comporte cependant une limite : d'abord parce qu'il est impossible de perpétuellement élever les entrées de portes et les rez-de-chaussée sans finir par les rendre impraticables, ensuite parce qu'il est important de préserver la structure historique et architecturale de la ville que ces modifications finissent par dénaturer. (Spinelli, 2005, p. 150-151)



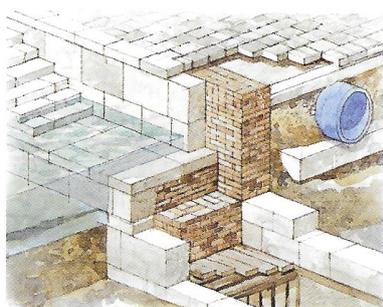
Figure 42 : Deux élévations successives du niveau du pavement. A gauche, la base de la colonne est bordée d'une première couche de pavés assez anciens tandis qu'en arrière-plan un autre niveau de pavement a été ajouté plus récemment. A droite, le bord de quai a été rehaussé plusieurs fois. (de Thier)

Sur la place San Marco, afin d'éviter de dénaturer la structure architecturale, le pavement de la place n'a pas été pas modifié et seules les berges ont été élevées. Le système de collecte des eaux de pluies et le réseau souterrain d'évacuation d'eau ont été modernisés et sont renforcés par une station de pompage installée dans les Gardini Reali voisins. L'ensemble est également isolé des eaux pouvant provenir des canaux avoisinants. (Brotto, 2005, p.190-191)

Quayside

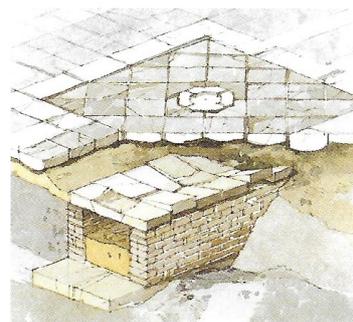


Damaged paving, brick and stone

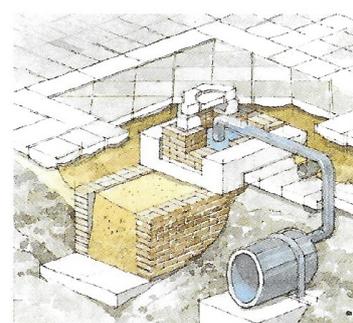


Restored paving and brickwork and new masonry, new rainwater sewer and erosion protection

Piazza



Damaged paving and broken, collapsing conduits



Restored paving and conduit, augmented by a new rainwater drainage system

Figure 43 : Modernisation du système d'évacuation des eaux place San Marco. (Fletcher, p.50-51)

L'archéologie urbaine a permis d'estimer la progression de l'élévation moyenne des constructions au fil du temps. Cette élévation des surfaces répondant au besoin de se protéger des marées et des inondations, cela a permis d'établir une corrélation entre la progression de cette élévation et la montée relative des eaux : une valeur calculée à 13cm par siècle. Les données recueillies aux différents sites de fouilles ont également permis de créer une courbe montrant l'évolution progressive du niveau des bâtiments, et donc des eaux par rapport à ceux-ci. (Ammerman, 2005, p.107-112) A titre d'exemple, citons Vio (2005, p.177) qui fait remarquer que la crypte de la basilique San Marco repose 168cm plus bas que lorsqu'elle a été construite en 829.

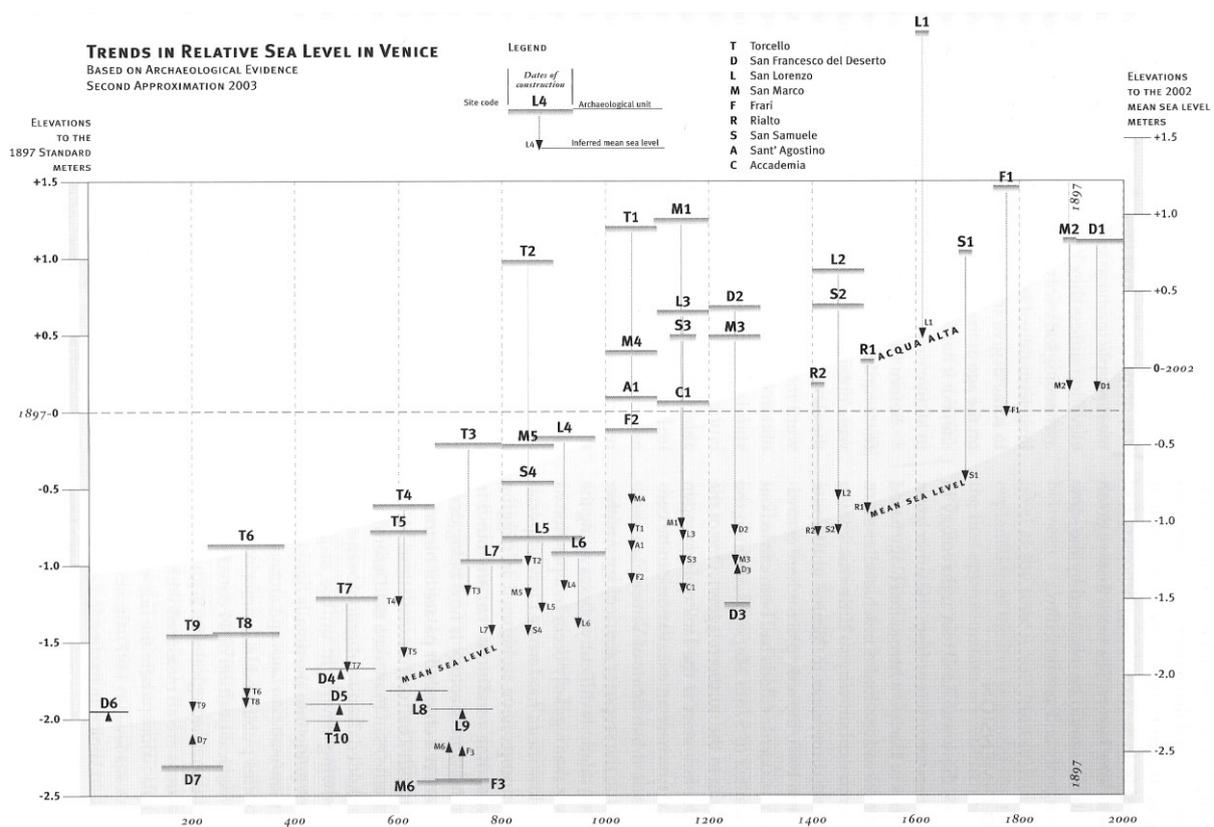


Figure 44 : Elévation et époque de construction des bâtiments à neuf endroits de la cité historique. (Ammerman, p.109)

En 1999, une analyse de la faisabilité de l'élévation des sols fut commandée par le *Comitatone* à deux groupes d'études. Le premier *IUAV-ISP*, lié à l'Université d'Architecture de Venise, porta son étude sur trois quartiers de la ville et conclut à la difficulté d'une élévation généralisée des sols vu la complexité et la variété des structures et des esthétiques architecturales présentes. L'autre groupe d'étude, *Insula SpA*, utilisant des paramètres moins restrictifs par rapport au maintien de l'intégrité architecturale, a conclu qu'il serait possible d'ériger les défenses autour de 120 cm même si les interventions devraient être évaluées au cas par cas. (Fletcher, 2004, p.47 ; Dolcetta, 2005, p.165)

Achevons cette partie, en notant que les restaurations mal pensées ou faites à l'économie ont souvent des effets négatifs inattendus. Par exemple, la consolidation de bâtiments via des structures, peu coûteuses, d'acier et de béton, matériaux dépourvus d'élasticité, ont pour effet de réduire la capacité

de ces bâtiments à absorber les mouvements causés par le sous-sol instable de Venise, ce qui contribue à de nouveaux problèmes structurels. (France, 2011, p.106-107)

4.4.3 Réparation et entretien des canaux

Durant des siècles, les canaux de la cité historique ont été régulièrement drainés ou asséchés afin de permettre la réparation des fondations des structures, éviter leur ensablement et permettre ainsi la continuité de la navigation. Ces opérations ont cependant été suspendues durant la période allant de 1960 jusqu'à fin 1990. (Fletcher, 2004, p.48) Dès le début des années 1980, il était devenu évident que le manque d'entretien avait causé une accumulation de déchets et de sédiments, entraînait une perte de navigabilité et pouvait poser des risques sanitaires pour les habitants. Avec pour conséquence, une augmentation des risques pour la communauté et une augmentation des coûts quotidiens liés aux livraisons de biens, à la circulation des passagers ainsi qu'à celle des bateaux de première nécessité comme les ambulances ou les pompiers. (Dolcetta, 2005, p.161-164) Il a pourtant fallu attendre la fin des années 90 pour que les drainages et les réparations reprennent et que des lois strictes relatives au maintien de la qualité des eaux et de la navigation soient promulguées. (Da Mosto, 2005, p.644)

En ce qui concerne les techniques de réparation, la méthode pour les petits canaux consiste à assécher la zone en fermant le canal à ses extrémités, puis à en extraire l'eau tout en posant, si nécessaire, des structures de consolidation afin d'éviter l'effondrement des murs. Dans les canaux principaux de la cité historique et sur les rives bordant la lagune, les réparations nécessitent l'installation de barrières métalliques isolantes, créant une surface séparée étanche hors de laquelle l'eau est ensuite pompée, ce qui donne accès aux fondations. (France, 2011, p.56, p. 62-64)



Figure 45 : Réparation en cours après assèchement d'un canal. (Fletcher, p.49)

4.5 Pollution

4.5.1 Bassin de drainage

La lagune est exposée à diverses sources de pollution comme les eaux polluées amenées par les rivières depuis les industries du Veneto (LabaEPFL, 2016, p.91), les déchets issus de l'agriculture intensive auxquels s'ajoutent les déversements de la zone urbaine de Mestre et les déchets organiques résultants du manque de traitement adéquat des eaux usées dans la Venise historique. Cette gadoue est déversée dans la lagune où elle est sans cesse remuée par les hélices et les sillages des bateaux à moteur. Ces rejets ont causé, dans les années 1980 et 1990, un sérieux problème d'eutrophisation des eaux, avec pour résultat la prolifération de macroalgues, dont la décomposition accentua la perte d'oxygène de l'eau, causant la mort de milliers de poissons et d'organismes de fonds marins. (France, 2011, p. 10-11)

Le contrôle des polluants provenant des sources terrestres est un critère essentiel dans la sauvegarde des zones côtières comprenant des écosystèmes fragiles. (Zonta, 2005, p.590) Le monitoring du bassin de drainage a nécessité la mesure des flux d'eau des rivières et courants ainsi qu'une évaluation de la qualité environnementale des eaux souterraines et de surface. (Penna, 2005, p.519) Ce monitoring a débuté au milieu des années 1980. Il est réalisé par un réseau de stations dont 16 proches des lieux de déversement d'eaux usées civiles et industrielles, 28 réparties sur l'ensemble de la lagune et deux stations de contrôle. Ces stations prennent régulièrement des mesures relatives à des paramètres physico-chimiques et de polluants organiques persistants. (p.522)

Initié par le *Consorzio Venezia Nuova*, le projet DRAIN a été créé afin de mesurer les transferts d'eau douce, de nutriments, de métaux lourds et de polluants organiques de l'ensemble du bassin de drainage. Il prend en considération les 12 principaux affluents, représentant 90% de la surface des déversements du bassin et 97% de la quantité d'eau douce rejetée. Un large panel de substances sont prises en compte : métaux (Fe, Mn, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), nutriments (nitrogène, phosphore), carbone organique (POC, DOC), polluants organiques (HCB, hexachlorobenzène ; PAHs, hydrocarbures aromatiques polycycliques ; PCBs, biphényles polychlorés ; PCDD/Fs, dibenzo-p-dioxines et dibenzofurannes polychlorés) ainsi que les matières particulaires en suspension. (Zonta, 2005, p.582)

La mesure des rejets annuels a permis de rassembler un ensemble de données de référence servant de cadre pour l'élaboration des actions de gestion et de sauvegarde entreprises dans la lagune. Elle permet également de différencier les provenances de charges de pollution (bassin de drainage, zone industrielles, atmosphère) et leurs contributions respectives. Le bassin de drainage apparaît comme la principale source pour tous les contaminants étudiés, en particulier les métaux lourds (même si ces derniers restent en deçà des maximums légaux fixés par la législation italienne).

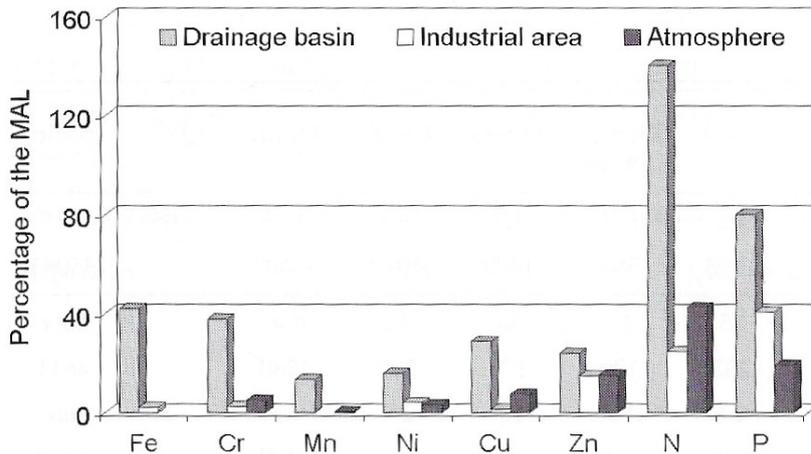


Figure 46 : Responsabilités respectives du bassin de drainage, de la zone industrielle et de l'atmosphère. (Zonta, p.586)

Notons que les décharges de contaminants ne sont pas régulières et sont corrélées avec l'importance de l'afflux : les périodes de forts afflux saisonniers ou de tempêtes augmentant l'énergie des débits mettent plus de sédiments en suspension, ce qui engendre de plus fortes concentrations de polluants lourds (métaux et polluants micro-organiques), en particulier dans la zone nord de la lagune qui reçoit une plus grande part des déversements. (Zonta, 2005, p.586-90)

4.5.2 Egouttage

Les canaux de la ville absorbent actuellement 60% d'eaux usées non traitées, les échanges d'eau causés par les marées étant chargés de l'évacuation, ce qui cause des problèmes de pollutions et d'accumulations des déchets dans les canaux. (LabaEPFL, 2016, p.95) Afin de traiter les rejets domestiques, touristiques, commerciaux et industriels de la ville, le *Magistrato alle Acque* a décidé la mise en place progressive d'un système décentralisé constitué de centaines de stations de traitement locales d'une capacité de 100 à 400 Equivalent-Habitant (EH). Le type de technologie pour le traitement dépend de la nature des activités et du nombre d'EH à traiter. Sous 100EH, les fosses septiques sont autorisées mais les restaurants et bars doivent s'équiper de trappes à graisses disposées avant la fosse. Cette catégorie correspond à 80% des eaux traitées. Au-delà de 100EH, des systèmes aérobies, de type SBR (Sequencing Batch Reactor¹⁶) ou MRB (Membrane Bio Reactor¹⁷), doivent être

¹⁶ Le procédé SBR (réacteurs biologiques séquentiels) correspond à un réacteur unique de type mélange intégral dans lequel se réalisent successivement l'aération puis la clarification. La décantation des boues s'opère lorsque l'aération est arrêtée et un dispositif de vidange est utilisé pour soutirer le surnageant. Les différentes étapes du traitement sont l'alimentation (eau brute ou décantée) et réaction (aération/brassage du réacteur), la décantation (séparation des matières en suspension), la vidange (soutirage de l'eau traitée) puis le repos (extraction des boues en excès). Elles se réalisent lors d'intervalles de temps prédéfinis et programmables, l'ensemble des étapes constituant un cycle. (suezwaterhandbook.fr)

¹⁷ La technologie des bioréacteurs à membrane est basée sur le procédé de boues activées. Un ensemble de micro-organismes contenus dans un réservoir dégrade la manière organique provenant d'un effluent entrant. Cette consommation entraîne la croissance de la biomasse qui décante. La séparation entre l'eau à traiter et les micro-organismes se fait par différence de densité, un système de séparation physique (membranes de micro ou ultrafiltration) se chargeant de recueillir les eaux traitées et de conserver la biomasse active à forte charge dans le réacteur. (hmf.enseiht.fr)

utilisés. Les déchets des services sanitaires sont soumis à des traitements de désinfections supplémentaires tandis que pour les effluents des activités industrielles des traitements physico-chimiques spécifiques sont requis. Les taux minimum de réduction sont de 70% pour la demande biologique en oxygène, 75% pour la demande chimique en oxygène et 50% pour les solides en suspension. Le contrôle des unités de traitement est effectué, en temps réel, via un système centralisé (SisTeMaV) qui collecte les données de fonctionnement (pompes, vannes, mélangeurs, alarmes de niveau, capteurs de turbidité, etc.) fournies par chacune des unités, ce qui permet d'agir rapidement en cas de dysfonctionnement. (Tromellini, 2009)

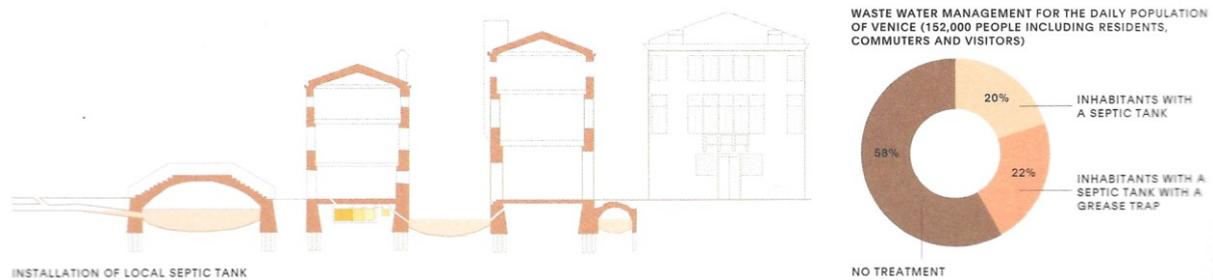


Figure 47 : Plan type d'une fosse septique, ratio de traitement des eaux. (LabaEPFL p.95)



Figure 48 : Localisation des stations de traitement des eaux (LabaEPFL p.95)

Le projet intégré de contrôle de la pollution de Fusina (PIF) est basé sur les concepts de réutilisation de l'eau, de traitement et de réduction des eaux usées et de déversement des flux résiduels dans la mer, hors de la lagune, (Casarin, 2005, p.631), dans une zone où le risque pour la lagune et le continent est réduit au minimum. (hmr.it) Installée dans la zone sud du port de Marghera, elle a une capacité de

traitement, via trois lignes parallèles de traitement biologique, de 300.000EH (ou 40 millions m³). (wave2016iuav.com) Le PIF assure un contrôle de tous les afflux polluants de la zone centrale du bassin de drainage.

4.5.3 Le port de Marghera

Selon France, en 2011, le port de Marghera, situé sur la terre ferme en face de la cité historique, prenait en charge quelque 29 millions de tonnes de biens annuellement. Son développement initial nécessita la destruction de 1.600ha de zones humides, la construction dans les années 1960 d'un grand complexe pétrochimique entraîna la perte de 4.000ha supplémentaires. Ce site industriel est un des plus importants en termes d'intensité énergétique, incluant une dizaine d'unités de production énergétique à partir de charbon, de gaz et de pétrole. Le port inclus de nombreux bâtiments abandonnés et des décharges de produits toxiques. (France, 2011) Selon l'*Osservatorio Porto Marghera*, en 2014, le port employait 10.060 employés directs répartis en 780 entreprises de différents secteurs d'activités. Quatre secteurs d'activités représentent ensemble 88% des employés et 75% des entreprises. Le secteur industriel et de manufacture comprenait 40% des employés répartis dans 113 entreprises ; les domaines des transports et des services logistiques impliquaient 17% des employés et 182 entreprises ; le secteur des services 22% des employés dans 265 entreprises ; les secteurs de l'énergie, de l'eau et des déchets employaient 9% des travailleurs dans 24 entreprises. (comune.venezia.it/osservatorioportomarghera)

Cette zone constitue la plus grande zone de friche industrielle d'Italie : un problème environnemental existant depuis les années 1950 lorsque la législation de l'époque avait permis la production de 70% des produits dérivés du pétrole fabriqués en Italie. (France, 2011, p. 10-11) Ce n'est que depuis les années 90 qu'un contrôle plus strict des rejets et que la construction d'une centrale de traitement des eaux usées a permis d'améliorer la situation. Reste que de nombreuses substances se sont accumulées dans les sédiments de la lagune, dont des métaux toxiques (mercure, cuivre, arsenic, plomb) et des composés persistants comme des dioxines et des pesticides organochlorés. (Fletcher, 2004, p.26-29)

Ces dernières années, des efforts ont été faits afin de réduire la toxicité des lieux en relocalisant des déchets logés dans des structures dégradées ou mal construites, en draguant les sédiments polluants hors des canaux du port industriel et en changeant la route des tankers afin de limiter les dommages potentiels d'un risque de fuite d'hydrocarbures. Des études préliminaires portant sur 3.500ha du port, basées sur le mappage de la contamination des sols et les coûts des opérations de nettoyage, ont estimé que le coût d'une restauration complète dépasserait le milliard et demi d'euros. (France, 2011) En 2014, un projet de reconversion et de requalification industrielle (PRRI, *Progetto di Riconversione e Riqualificazione Industriale*), élaboré depuis 1999, portant sur la zone de friche industrielle du port de Marghera et des régions voisines a été approuvé par le Ministère du Développement économique, la

Région de Vénétie, la ville de Venise, et les autorités portuaires de Venise. Le montant de 152 millions d'euros prévus couvre 24 interventions diversifiées telles que la requalification environnementale des lieux, l'aménagement paysager, hydraulique, électrique et routier de la zone, la gestion des boues de dragage des canaux de navigation, la mise aux normes des raffineries et des zones de stockage de pétrole, etc. (comune.venezia.it/osservatorioportomarghera) Un montant additionnel de 250 millions a été alloué dans la cadre des investissements du *Patto per lo sviluppo della Città di Venezia*. (UNESCO, 2017, p.10)

4.5.4 Trafic maritime

Le trafic maritime est une importante source de pollution, le carburant utilisé étant nettement plus polluant que le carburant routier. De plus, les vaisseaux de croisière laissent tourner leurs moteurs à l'amarrage, donc à proximité de zones habitées, afin de fournir de l'énergie pour les services à bord. (Tattara, 2014, p.18). Selon Corbett, les navires océaniques sont responsables de l'émission de 1,2-1,6 million de tonnes métriques (Tg) de particules fines (PM), 4,7-6,5Tg d'oxyde de soufre et de 5-6,9Tg d'oxyde d'azote. De plus, 15% des émissions globales de NOx et 5-8% des émissions globales de SOx leur seraient attribuables, 70% d'entre elles étant émises à moins de 400km des côtes, contribuant ainsi à la pollution des zones côtières. (Corbett, 2007) Des chiffres confirmés par une étude plus récente de l'OCDE citant de 5 à 10% des émissions mondiales d'oxydes de soufre (SOx), et entre 17 et 31% des oxydes d'azote (NOx) (Merk, 2013, p.32). Ces polluants ont pour principaux effets négatifs : le SO₂ irrite les voies respiratoires et contribue à l'acidification des mers ; le NOx entrave les fonctions pulmonaires, augmente le risque de maladies cardiovasculaires et nuit à l'environnement en causant eutrophisation, acidification et participe à la formation d'oxydants photochimiques et de particules fines ; les particules fines (PM₁₀, PM_{2,5}) sont actives dans le déclenchement de problèmes d'asthme, de bronchite chronique et de cancer du poumon. (Corbett, 2007)

4.5.4.1 Pollution des bateaux de croisière

Dans le cadre du projet APICE¹⁸ a été publiée en 2011 une étude des émissions locales d'origine anthropogéniques, calculées à l'émission, pour Venise et ses environs (zone de 100km x 100km).

En ce qui concerne la navigation :

- Les particules fines PM_{2,5} : la navigation représente 8% des émissions (413T), dont 5% pour les navires de croisières. Par comparaison, le chauffage central représente 47% et l'industrie 24%.
- Les particules fines PM₁₀ : la navigation représente 6% des émissions (413T), dont 4% pour les navires de croisières. Le chauffage central représente 42% et l'industrie 24%.
- L'oxyde d'Azote (NOx) : la navigation représente 9% des émissions (4.961T), dont 7% pour les navires de croisières. Le trafic routier représente 44% et l'industrie 18%.

¹⁸ Stratégie méditerranéenne commune et actions locales pratiques pour l'atténuation des émissions des ports, des industries et des villes regroupant des partenaires scientifiques et institutionnels dans cinq villes portuaires majeures de la Méditerranée (Barcelone, Marseille, Gênes, Venise et Thessalonique). (apice-project.eu)

- Le dioxyde de soufre (SO₂) : la navigation représente 13% des émissions (1.208T), dont 12% pour les navires de croisières, le premier facteur étant l'industrie (51%) puis la production d'énergie (28%).
- Le CO : la navigation représente 5% des émissions (3.162T), le premier facteur étant le chauffage central (65%) suivi par le trafic routier (28%).
- La contribution de la navigation aux Hydrocarbures volatiles est sous les 2% (919T).

En 2007, une étude de l'ARPAV démontra que les bateaux de croisière étaient les principaux responsables des émissions de PM₁₀ à Venise. Suite à cela fut signé le premier « Venice Blue Flag », un accord volontaire entre les compagnies organisant les croisières, les autorités portuaires et la Capitainerie du Port (un corps technique responsable, avec les garde-côtes, de la sécurité maritime). Son objectif : réduire progressivement le niveau de soufre présent dans le fuel brûlé lors de la traversée de la lagune (de 3,5% à 2%) et de l'arrimage au port (1,5%). Le décret législatif italien n°205 du 9/11/2007 a pris le relais, limitant les émissions au port à 0,1%. En 2013, un nouvel accord fut signé limitant les émissions concernées à 0,1% dès l'entrée dans la lagune. (Testa, 2014, p.10) S'y ajoute un protocole d'Accord volontaire que peuvent signer les compagnies maritimes qui, par leurs signatures, acceptent la publication des activités de monitoring des émissions. (UNESCO, 2017, p.47)

A titre de comparaison, les émissions de soufre des véhicules automobiles diesel sont en moyenne de 0,001%, soit 100 fois moindres que celles autorisées dans la lagune et 500 fois moindre que celles qui seront autorisées en mer au terme de la directive votée par le Parlement européen en septembre 2012 (cette directive limite les émissions en mer à 0,05% à partir de 2020). (Testa, 2014, p.11) En ce qui concerne les PM_{2,5}, l'association environnementale allemande *Nature and Biodiversity Conservation Union* conduisit en 2013 et 2014 une série de mesures aboutissant à la conclusion que lors du passage de grands bateaux de croisières, le taux de ces particules pouvait atteindre un niveau de 200.000 particules par mètre cube d'air, à comparer au seuil de sécurité de 2.000 particules. En conséquence, seuls devraient être acceptés dans la lagune les navires équipés de filtres, ce qui n'est pas encore généralisé. (p.14) Afin d'estimer les coûts sociaux des émissions de gaz à effet de serre, Guiseppe Tattara s'est appuyé sur le rapport « External Cost of Maritime Transport » de la *Commission Européenne, DG Mobilité et Transport* et propose une évaluation des coûts sociaux à approximativement 1/3 des coûts de pollution totale soit, pour Venise, annuellement, un montant de 56,2 millions. (Tattara, 2014, p.28)

Les navires de croisière sont tenus de traiter leurs déchets avant de les déverser en mer, au minimum à 3 miles des côtes (12 miles si non traités). Ces déchets consistent en des déchets solides, des eaux usées, des résidus de fond de cale auxquels s'ajoutent des rejets d'hydrocarbures. L'efficacité des traitements et de ces rejets, basée sur l'idée que la dilution est une solution en soi, est cependant limitée : le déversement de quantités sans cesse croissantes dans un lieu mi-clos comme le nord de

l'Adriatique rendant insuffisantes les capacités d'absorption naturelle par la mer. (Tattara, 2014, p.28-29) Les déchets solides produits sont similaires à ceux des petites villes : papier, verre, plastique, nourriture, etc. Ces déchets sont séparés, les déchets organiques étant jetés en mer après traitement, les inorganiques, selon le type de navire, incinérés à bord ou débarqués au port. (p.29) Les eaux usées comprennent : les eaux noires (sanitaires), les eaux brunes (eau d'évier, douche, piscine, machines à laver, etc.), les eaux de fond de cale, où se mêlent huiles, composés chimiques et résidus de métaux et de verre et les matières dangereuses (solvants, produits pharmaceutiques usagés, peintures, métaux lourds, etc.). (p.30) Un grand bateau de croisière peut produire jusqu'à : 15.000l d'eau noire et près de 2 millions de litres d'eau brune par jour ; 3,5kg/jour par passager de déchets solides, 1000l par semaine de déchets toxiques et 8 tonnes métriques d'eaux de cale par jour. S'y ajoutent les eaux de ballast qui servent à stabiliser les navires et sont donc chargées et déchargées à des endroits éloignés. Pouvant contenir des plantes, animaux, virus et bactéries, elles peuvent causer des dommages sensibles à l'environnement, en conséquence de l'introduction d'espèces invasives, par exemple. Le manque d'efficacité du traitement des eaux usées à bord a également été signalé : des analyses après traitement des eaux noires ont révélé qu'elles contenaient toujours de larges quantités de bactéries fécales coliformes dont la bactérie Escherichia Coli. (Klein, 2009, p. 4-8)

4.6 Zone côtière

4.6.1 Interventions côtières

Selon les conditions locales, le programme d'intervention pour les zones côtières inclut la création de nouvelles plages ou l'extension de plages existantes, la construction ou le renforcement des structures terrestres de digues, de brise-lames et de jetées, la restauration de zones de dunes. Ces dernières abritant des habitats de plantes et d'animaux typiques ou migrateurs. (Scotti, 2005, p.249)



Figure 49 : Digues et jetées artificielles à Pellestrina. (mosevenezia.eu)

Ces interventions amènent parfois des effets inattendus. Ainsi, la construction de jetées et de digues aux embouchures ainsi que les structures de consolidations (nommées *murazzi*) de la côte du Lido

exposée à l'Adriatique ont interférés avec les vents et les courants modifiés. Ce qui a mené à certains changements sur le littoral comme, par exemple, la formation à l'embouchure de Malamocco d'un barrage de dunes de sable de 4m de haut, nommé *Dune degli Alberoni*. (LabaEPFL, 2016, p.87)

4.6.2 MoSE

4.6.2.1 Contexte

Deux fois par jour, une marée moyenne de 70cm entraînant 4 millions de mètres cubes d'eau entre et sort de la lagune. En raison des craintes liées à l'élévation du niveau des eaux, les experts ont avancé, et ce dès le 17^{ème} siècle, qu'à défaut de fermer la lagune, un système de barrières protectrices devrait être érigé. Idéalement ce système devrait pouvoir être déployé rapidement, être fiable, nécessiter peu de maintenance, ne pas interférer avec la navigation ou avec les activités commerciales du port, ne pas avoir d'impact esthétique et avoir peu d'effets sur l'écosystème de la lagune. (France, 2011, p.47)

4.6.2.2 Description

La première proposition d'ériger un barrage à l'entrée de la lagune remonte au début des années 70 : une étude de faisabilité a été réalisée en 1971 et le premier texte législatif à ce sujet remonte à 1973. (Standish, 2012, p.17) A titre de test, une première barrière de volets fut érigée en 1988, baptisée *Modulo Sperimentale Elettromeccanico* (MoSE). Ce nom a ensuite été repris pour l'ensemble du projet dont la construction a été déléguée à un groupement d'entreprises baptisé *Consorzio Venezia Nuova* (France, 2011, p.47) Les prévisions récentes estiment la mise en service des barrières MoSE entre 2018 et 2020, pour un coût final projeté de 5,496 milliards d'euros. (LabaEPFL, 2016, p.89) L'étude d'impact environnemental (SIA) fut présentée par le *Magistrato alle acqua* et le *Consorzio Venezia Nuova* en 1997 et évaluée positivement en 1998. Le chantier en lui-même, autorisé par le *Comitatone*, démarra en 2003. La structure du projet comporte 78 volets amovibles, répartis en 4 barrières. A la passe du Lido-San Nicolò, la plus large, on trouve deux barrières, de 21 et 20 volets, qui sont reliées par un îlot artificiel abritant des bâtiments techniques pour leur gestion ; à la passe de Malamocco se trouve une barrière de 19 volets et à la passe de Chioggia, une de 18 volets. Chacun des volets a une dimension de 20m de long, 2m d'épaisseur et une hauteur allant de 18 à 30m (selon la profondeur des fonds marins à chaque embouchure). (mosevenezia.eu)

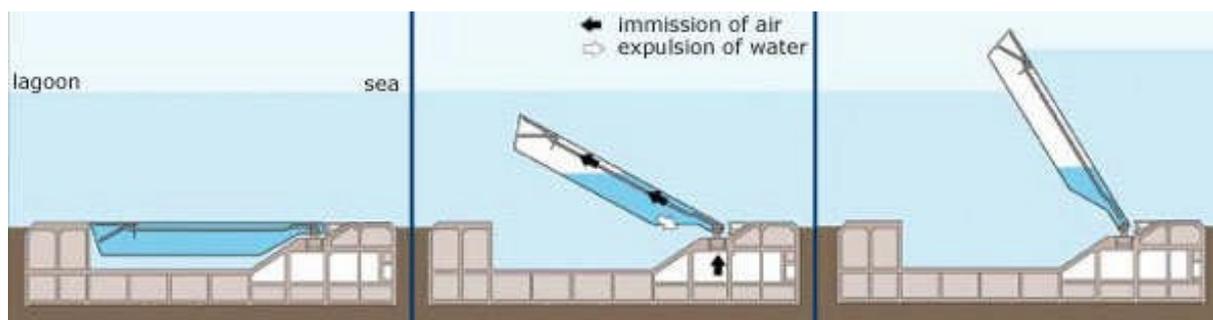


Figure 50 : Dispositif MoSE : plan de coupe. (Lo Storto)



Figure 51 : Barrières en position fermées. (mosevenezia.eu)

Chaque barrière est accompagnée d'une série de brise-lames et de digues destinés à réduire de 15 à 28% l'apport d'eau aux points d'accès. Ces structures ont également pour effet de stabiliser la ligne côtière contre l'érosion et de diminuer l'impact des courants littoraux. (France, 2011, p.48) S'y ajoutent des îles artificielles en mer, l'ensemble ayant pour rôle de rediriger les eaux des marées vers la barrière protectrice du MoSE. (p.70) Afin de permettre la navigation lors du fonctionnement des barrières mobiles, des ports de refuge et des bassins de navigation ont été prévus. (mosevenezia.eu)

L'efficacité du système MoSE est influencée par plusieurs facteurs comme l'importance des entrées d'eau dans le bassin hydrique mais aussi, au sein de la lagune : la quantité de pluie, le régime des vents dans la lagune et son influence sur les seiches. (France, 2011, p.48) A son tour, le MoSE aura une influence sur les flux d'eau, lorsque la lagune sera fermée lors d'une Acqua alta, et donc sur le temps de résidence de l'eau dans la lagune. (Gacic, 2005, p. 432) Afin de modéliser cela, différents scénarios, relatifs au nombre de fermetures annuelles, ont été évoqués, en tenant compte de trois seuils possibles pour le déclenchement d'une fermeture (100, 110 et 120cm) et de cinq scénarios d'élévation du niveau des mers. (Harleman, 2005, p.279)

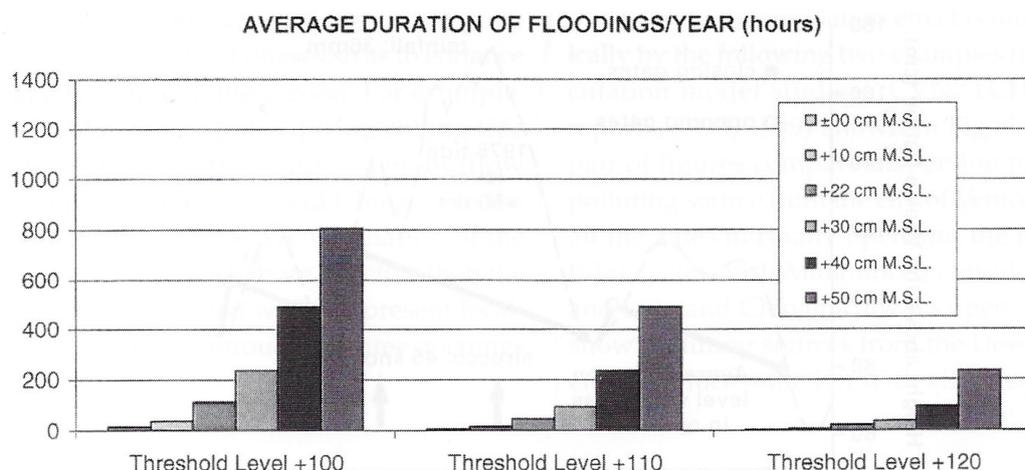


Figure 52 : Durée moyenne (h) d'inondation par an selon différents scénarios de montée des eaux. (Harleman, p.281)

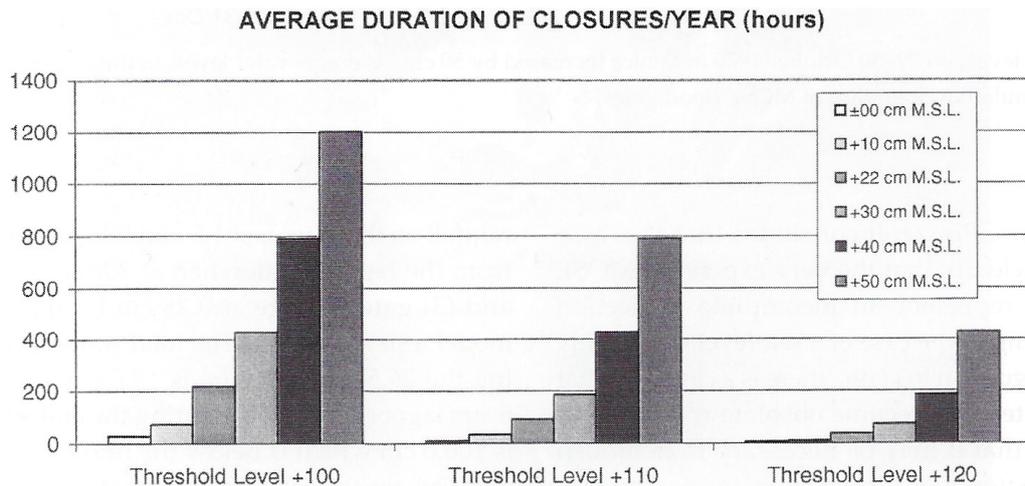


Figure 53 : Durée moyenne (h) de fermeture des barrières selon différents scénarios de montée des eaux. (Harleman, p.281)

Se pose ensuite la question de la qualité de l'analyse d'impact relative au projet MoSE puisque deux des trois projections relatives à la montée du niveau relatif des eaux en 2100 ne prennent pas en compte les effets du réchauffement climatique, avec pour conséquence une sous-estimation de ce niveau et donc sous-estimation de la fréquence de fermeture des portes. (Ammerman, 2005, p.113) De plus, vu le grand nombre de fermetures prévues, la limitation de la circulation des eaux, essentielle pour la vie biologique de la lagune, augmenterait la pollution et impacterait négativement l'écologie de la lagune (McClemmen, 2000). En 1993, une étude d'experts, commandée par le *Consorzio Venezia Nuova*, amenée à se pencher sur cette controverse, a avancé une tout autre perspective. Selon eux, la qualité des eaux au sein de la lagune pourrait même être gérée positivement par des ouvertures et fermetures appropriées de certaines des embouchures : associées à certaines phases de marées, ces fermetures partielles devraient engendrer une meilleure circulation des eaux au sein de la lagune et donc améliorer les modèles de dispersion en cas de pollution. (Harleman, 2005, p.282-284)

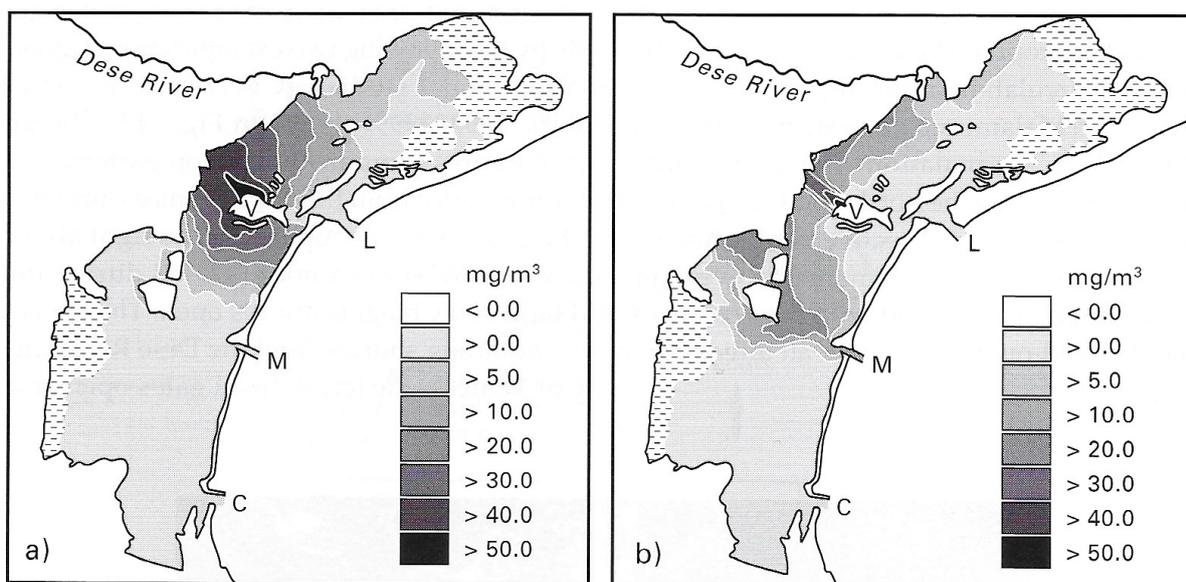


Figure 54 : Dispersion de la pollution : modélisation avec et sans circulation des eaux par ouverture des barrières. a) situation normale avec une source de pollution à Venise b) idem après quatre cycles de marées, la porte de Malamocco étant fermée et celles de Lido et de Chioggia ouvertes. (Harleman, p.284)

Fontini, Umgiesser et Vergano (2009) se sont appliqués à réaliser une évaluation économique du projet MoSE, mettant en balance avantages et inconvénients selon douze différents scénarios de montées des eaux, de déclenchement du mécanisme et d'efficacité des barrières. Du côté des avantages, ils mettent en avant l'évitement des coûts de réparation et des coûts de prise en charge des personnes en difficulté (enfants, personnes âgées) et les meilleures recettes touristiques générées grâce à la non interruption des activités par les inondations. Du côté des inconvénients, les coûts incluent le fonctionnement et la maintenance du système et les impacts générés par son activation sur les activités de navigation commerciale et de pêche. Leurs conclusions, selon le scénario envisagé, annoncent des bénéfices nets annuels de -6,5 millions à +373 millions d'euros. Leur étude ajoute un point de vue intéressant sur le processus de prise de décision lié à la construction du MoSE : ils avancent en effet que cette décision aurait surévalué les scénarios les plus pessimistes et sous-évalué les scénarios optimistes, démontrant par là une approche attentive au principe de précaution.

4.6.2.1 *Le débat autour du projet MoSE et de ses impacts*

Les tenants du projet avancent des arguments centrés autour du fait que, vu la nature artificielle de la lagune, les solutions de mitigations comme les zones humides ne peuvent suffire et suggèrent que ce sont des agendas politiques intéressés qui motivent les opposants. Un point de vue qui paraît assez ironique quand on sait que le maire de Venise, Giorgio Orsoni, et de nombreux fonctionnaires et chefs d'entreprises, ont été cités dans une affaire de corruption relative au projet MoSE, pour un détournement de fond de 20 millions d'euros. (Le Monde, 04/06/2014) De plus, comme le relate en détails le blog spécialisé *Olia i Klod*, les juges soupçonnent que près d'un milliard d'euros, soit un cinquième du coût total (à l'époque) du projet, serait entaché de faits de corruption ou de surfacturation. (oliaklodvenitiens.wordpress.com, 08/06/2014) Ce qui corrobore ce que le directeur du *World Wildlife Fund* italien avançait quelques années plus tôt, en affirmant que les liens étroits entre le gouvernement et le milieu d'affaires italien avait corrompu le processus de prise de décisions à Venise. (Testa, 2014, p.31-32) Ce qui valide l'avis de Vellinga (2005, p.653), selon qui la présence d'institutions aux compétences morcelées et se superposant ne pouvait que conduire à une gouvernance inefficace et peu transparente.

Au niveau des études préliminaires, les opposants ont fait remarquer le peu d'informations disponibles lors de ces phases du projet, le fait que ce qui était accessible ne l'était généralement pas en anglais et n'était également pas revu par les pairs avant publication, comme il est de tradition dans la littérature scientifique de qualité. A cela s'ajoute le fait que l'Etude d'Impact Environnemental (EIA) relative aux impacts du MoSE sur la cité historique et la lagune n'a été ordonnée qu'en 1995, après de fortes pressions du parti écologiste *Verdi* et du *Consiglio comunale* (conseil communal) de la ville, soit après que la planification de la construction ait été entamée. Ce seul fait suffit pour que les opposants,

mais aussi nombre d'indécis, pensent que cela compromet la crédibilité de l'EIA. (France, 2011, p.107-108) Cette partie du débat est vite devenue obsolète puisqu'en 2001, une loi passée par le gouvernement Berlusconi a défini de nouveaux objectifs stratégiques au niveau national, réduisant d'autant l'autonomie décisionnelle des pouvoirs locaux en la matière. Un de ces objectifs stratégiques était le projet MoSE auquel il allouait des fonds spécifiques Cette loi ouvrit donc la porte à un démarrage accéléré des travaux et ce malgré et de nombreux recours infructueux devant les tribunaux et la mobilisation de plusieurs associations environnementales (*Italia Nostra, WWF Italia, Legambiente*). (Standish, 2012, p.136-138)

Concernant la durée de vie du système, Pirazzoli (2002) avance que l'élévation du niveau des mers risque de rendre cette structure obsolète en seulement quelques décennies. Et même avant cela, comme Venise s'enfonçe alors que le niveau de l'eau s'élève, la fréquence de fermeture des barrières ne peut que s'accroître au fil du temps. Les opposants dénoncent sur ce point des modèles mathématiques trop optimistes qui, selon eux, devraient être revus à la hausse avec pour effet que les barrières devraient être fermées en moyenne 10% du temps, 20% durant la période hivernale. Ce qui aurait des effets sur la stagnation de contaminants dans la lagune et ne pourrait que nuire à l'écosystème. (France, 2011, p.109) On a vu plus haut que ce dernier point est contesté. Enfin, si MoSE peut contribuer à diminuer les inondations dans la cité historique de Venise, son impact sur les fortes marées au sein de la lagune pourrait résulter en une diminution des dépôts de sédiments sur les surfaces des zones humides, contribuant ainsi à accélérer la diminution des surfaces de zones humides. (Day Jr, 2005, p.452)

4.6.2.2 Alternatives

Une étude conjointe menée par des étudiants des universités Harvard et Ca'Foscari avance qu'économiquement parlant les investissements placés dans la construction (et on parle là de l'investissement initial, non compris tous les dépassements de budget qui ont eu lieu depuis) et dans la maintenance seraient plus rentables s'ils étaient investis en bourse. Selon ce modèle économique, sur une durée de vie du MoSE estimée à 60 ans, cet investissement pourrait rapporter 40 milliards d'euros, soit largement de quoi compenser les dégâts subis annuellement par les particuliers et institutions suite aux inondations, qui se chiffrent à quelque 4 millions par an. Une alternative tout à fait plausible, même si ce dernier chiffre est sous-évalué puisqu'il ne comprend aucune évaluation des aménités relatives au fait de vivre dans des lieux fréquemment inondés. (France, 2011, p.109)

Parmi les alternatives technologiques avancées, l'une est basée sur une technique développée par les industries d'extraction pétrolière et de gestion d'eaux usées : l'injection d'eau salée en puits profonds, utilisée afin de faire flotter les hydrocarbures en surface ou de dissoudre les contaminants en profondeur. Pour Venise, l'idée proposée consisterait à élever l'ensemble de la cité de 25 à 30cm suite

à l'injection massive d'eau de mer dans l'aquifère saumâtre profond, situé à une profondeur de 600 à 800m sous la lagune. (Castelletto, 2008) Cette solution théorique est contestée quant à la possibilité d'une efficacité à une telle échelle mais aussi parce que, vu l'hétérogénéité du substrat, des différences d'élévations se produiraient, déstabilisant les bâtiments en surface. (France, 2011, p.49) Une autre solution est suggérée dans le documentaire de PBS Nova : « Sinking City Of Venice ». Elle consisterait à étendre les zones terrestres séparant l'Adriatique de la lagune, ce qui séparerait la lagune de la mer, la transformant en un lac intérieur d'eau douce et en zone humide. En résulterait une protection de la cité historique par rapport aux marées et l'arrêt du transfert de sédiments vers la mer, mais au détriment de changements radicaux dans les écosystèmes présents et d'une accumulation de la pollution dans la lagune. Cela ne résoudrait cependant en rien les inondations liées à aux afflux d'eau se déversant dans la lagune depuis la zone continentale lors de fortes pluies.

Selon Standish (2012, p.212), la solution, à terme, devra dépasser l'approche basée sur la seule ingénierie pour incorporer des facteurs sociaux et historiques. Gasparetto (2005) parle, lui, d'ingénierie environnementale, mixant des solutions destinées à tempérer la force des courants et des seiches avec des aménagement comme le rétrécissement des embouchures menant à la mer. Malgré ces éléments, actuellement, l'avenir de Venise passera donc par la mise en fonction des barrières du MoSE. Ce qui, si tout se déroule comme le pensent ses concepteurs, devrait donner à la ville un demi-siècle de répit. Restera à voir si ces décennies seront mises à profit afin de développer des stratégies et des solutions plus durables et plus efficaces sur le long terme.

5 Conclusion

5.1 Résumé des menaces et interventions

Au début de ce mémoire, le schéma DPSIR a esquissé les principaux éléments constitutifs des *Forces motrices, Pressions, Etats, Impacts* et *Réponses* à Venise. On a tout d'abord réalisé un état des lieux descriptif comprenant les composantes des lieux (lagune, zone côtière, cité historique) et les populations tant résidentes que touristiques. On a ensuite décrit les menaces subies par Venise et sa lagune, d'origines tant naturelles qu'anthropiques, et les principales mesures de sauvegarde, d'adaptation ou de restauration adoptées.

Au niveau global, la lagune subit le double impact d'un phénomène de subsidence et de l'eustasie. Le niveau relatif des eaux monte régulièrement depuis des siècles. Et ce phénomène se voit désormais accentué par la menace que fait peser le changement climatique global, en particulier la montée de niveau des océans, due tant à la fonte des glaces qu'à son augmentation de volume causée par son réchauffement progressif. Au niveau de l'Adriatique, les vents *Bora* et *Sirocco* ont un effet local sur le niveau des marées et sur les seiches et, en conséquence, sur l'intensité et la fréquence des inondations.

Afin de limiter l'impact de ces changements, de lutter contre la modification morphologique de la lagune et de limiter les dommages causés par les fortes marées, de lourds travaux ont été entrepris dont le plus coûteux, et polémique, est sans nul doute celui du projet MoSE, relatif à l'installation, dans les trois embouchures séparant l'Adriatique de la lagune, d'écluses destinées à fermer ces accès lors de marées importantes. En complément de ce projet, au sein de la lagune de nombreux projets de restauration et de récréation de la zone lagunaire sont menés en permanence : reconstruction de nouveaux marais salants et de vasières, protection de ceux préexistants, dragages de canaux, dépollution des fonds marins, installation de digues côtières, etc.

Dans la cité historique, les bâtiments et les infrastructures sont également menacés par la montée des eaux. Les infiltrations d'eau salée, en particulier, dépassant la couche isolante constituée par la pierre d'Istrie, endommagent les briques poreuses, les mortiers, les plâtres et les boiseries. Les mesures prises à l'échelle de la ville vont de l'élévation des pavements à la rénovation et à l'amélioration des structures des bâtiments et des infrastructures techniques de la ville, en passant par l'installation d'un système d'alerte destiné aux résidents. Le travail sur la réduction des sources de pollution est également important : il comporte aussi bien des mesures législatives portant sur les déversements dans la zone terrestre de la *municipalità* et sur la réhabilitation des zones de friche industrielle du port de Marghera que sur l'installation de services de traitements des eaux usées dans la cité historique.

Le tourisme de masse, croissant dans la cité, fragilise les structures et monuments et cause de nombreux inconvénients dont se plaint la population locale, par exemple, la congestion des rues et la gestion des déchets. En découlent des externalités financées par les seuls citoyens résidents et un coût des services de bases comparativement plus élevé qu'ailleurs. En retour, une part de cette population, cherchant des conditions de vies plus aisées, a tendance à migrer vers la zone continentale de Mestre. Ceux qui décident de rester sont de plus en plus confinés dans les quartiers moins touristiques, comme le Cannaregio ou la Guidecca. Pour faire face aux inondations de plus en plus fréquentes, ces résidents doivent prendre des mesures de mitigation, comme l'installation de barrières en métal placées devant les portes, et doivent continuellement investir dans des rénovations afin de réparer les dégâts des infiltrations salines. Du côté de la gestion touristique, ces dernières années ont vu l'apparition d'une taxe quotidienne touchant les touristes résidents et la limitation du tonnage des navires de croisière traversant la lagune. Sont également apparues des initiatives douces, parfois apparentées au *slow tourism*, comme les itinéraires alternatifs, les commerces bios et les services responsables.

Enfin, on a mentionné certaines des oppositions aux mesures prises, les principales ciblant le projet MoSE. Des solutions alternatives ont été évoquées, comme celle suggérant l'injection d'eau salée dans le sous-sol lagunaire ou celle proposant de rediriger vers la lagune certaines rivières autrefois détournées, et ce afin de compenser sa balance sédimentaire actuellement négative.

5.2 Réponses aux questions de recherche

En parcourant tous ces éléments, on a répondu aux différentes questions de recherche posées en début de mémoire. Les menaces portant sur le site touristique très fréquenté que constitue la cité historique de Venise ont été décrites, qu'elles soient ou non liées à l'action de l'homme. Les solutions mises en œuvre actuellement ont également été abordées, ainsi que certaines des alternatives proposées. Et le dernier point, celui portant sur l'équilibre difficile à trouver entre les intérêts économiques, l'environnement et la préservation des lieux, lui, n'apporte qu'une réponse limitée dans le temps et peu porteuse d'espoir. En effet, il faut bien conclure de tout ce qui a été vu que, si certains impacts liés à l'action humaine, comme la pollution, peuvent trouver des solutions mêlant technologie et législation, d'autres impacts, comme ceux relatifs à la continuité de fonctionnement d'une ville dont le sol s'enfonce lentement alors que le niveau des eaux monte, ne trouvent que des réponses temporaires, des réponses qui reportent la problématique à quelques décennies mais pas de solutions durables. On a vu, en effet, que l'élévation des structures du bâti était près d'atteindre ses limites et que la protection assurée par les barrières du système MoSE était limitée quant à la force des marées et décroissante dans le temps. A l'opposé, la solution préconisée d'isoler complètement la lagune de la mer est irréaliste puisqu'elle ne prend pas en compte l'apport d'eau polluée par ruissellement continental, ni les changements radicaux dans les écosystèmes qui seraient causés par l'adoucissement des eaux consécutif à la fermeture des accès à la mer.

5.3 Ouverture vers d'autres recherches

A l'heure actuelle, il semble qu'il n'y ait pas encore de solution idéale aux problèmes rencontrés par la ville. On peut cependant rester positif quant à l'avenir de Venise : tout d'abord, parce que le projet MoSE devrait limiter les impacts des fortes marées durant quelques décennies, puis, surtout, parce que les pressions conjointes des associations citoyennes et environnementales et de l'UNESCO semblent avoir fait prendre conscience aux décideurs que le développement de la ville se doit d'incorporer tant le bien-être de ses habitants que la viabilité de l'espace lagunaire. Et du côté des acteurs économiques, le message semble également être passé, comme l'illustre le projet de construction d'un grand terminal portuaire offshore.

Au final, pour conclure, j'espère que ce travail, non seulement donne un aperçu assez complet de la situation mais aussi qu'il ouvre la porte à d'autres travaux de prolongation comme, par exemple, un approfondissement des spécificités du bâti vénitien, de son évolution au fil du temps et de l'efficacité des mesures de conservation et de restauration prises au fil du temps. J'espère aussi que la lecture de ce mémoire peut amener à une autre manière de voir et de visiter Venise et sa lagune, à ce que le visiteur puisse désormais être attentif à tous ces détails qui révèlent les luttes et les challenges quotidiens présents au sein de la cité historique.

Annexes

Annexe 1 : Détails du Patto per lo sviluppo della Città di Venezia

AREA TEMATICA	Costo totale (€)	Risorse FSC 2014-2020 (€)	Altre risorse (€)	
			Nazionali	Altre fonti
Infrastrutture				
Progettazione infrastrutture necessarie alla risoluzione del transito nel canale di San Marco e della Giudecca delle navi superiori a 40.000 tonnellate di stazza lorda	2.000.000	2.000.000		
Progettazione delle opere di riqualificazione urbanistica ed edilizia della Stazione di Mestre	3.000.000	3.000.000		
Ambiente e Territorio				
Interventi di manutenzione straordinaria (escavo dei rii), acquisizione e restauro conservativo di immobili da destinare a residenza, attività sociali, culturali, produttive artigianali; sistemazione ponti e canali (1ª tranche)	45.000.000	45.000.000		
Opere di completamento rete marginamento delle macroisole del SIN di Porto Marghera	250.000.000		72.000.000 (1) 178.000.000 (2)	
Completamento impianto trattamento acque Progetto Integrato Fusina (PIF)	13.000.000	13.000.000		
Interramento Linee elettriche di alta tensione di Terna, previste dall'AdP Vallone Moranzani	90.000.000			90.000.000 (3)
Valorizzazione Culturale e Turismo				
Recupero di Forte Marghera – (1ª tranche)	12.000.000	5.000.000	7.000.000 (4)	
Riqualificazione funzionale di Palazzo Ducale (1ª tranche)	8.000.000	8.000.000		
Sistemi sperimentali di gestione del turismo a Venezia (1ª tranche)	10.000.000	10.000.000		
Ricerca sulle tecnologie di conservazione e restauro	3.000.000	3.000.000		
Rafforzamento dell'azione della P.A. e semplificazione dei procedimenti				
Riqualificazione edifici e luoghi pubblici di rilevanza socio-economica e contrasto all'illegalità nella Terraferma di Venezia	21.000.000	21.000.000		
TOTALI	457.000.000	110.000.000	257.000.000	90.000.000
(1) Risorse MATTM				
(2) Risorse come da Accordo di Programma per la Chimica di Porto Marghera del 21 ottobre 1998 e ss.ii. ed Accordo di Programma per la Bonifica e la Riqualificazione Ambientale del SIN di Venezia - Porto Marghera del 16 aprile 2012.				
(3) Terna – Accordo di programma per la gestione dei sedimenti di dragaggio dei canali di grande navigazione e la riqualificazione ambientale e viabilistica dell'area Venezia-Malcontenta-Marghera; Art. 6, comma 6.1				
(4) Risorse MIBACT				

Figure 55 : Détails du Patto per lo sviluppo della Città di Venezia. (UNESCO, p.11)

Annexe 2 : Interventions de restauration planifiées dans la lagune

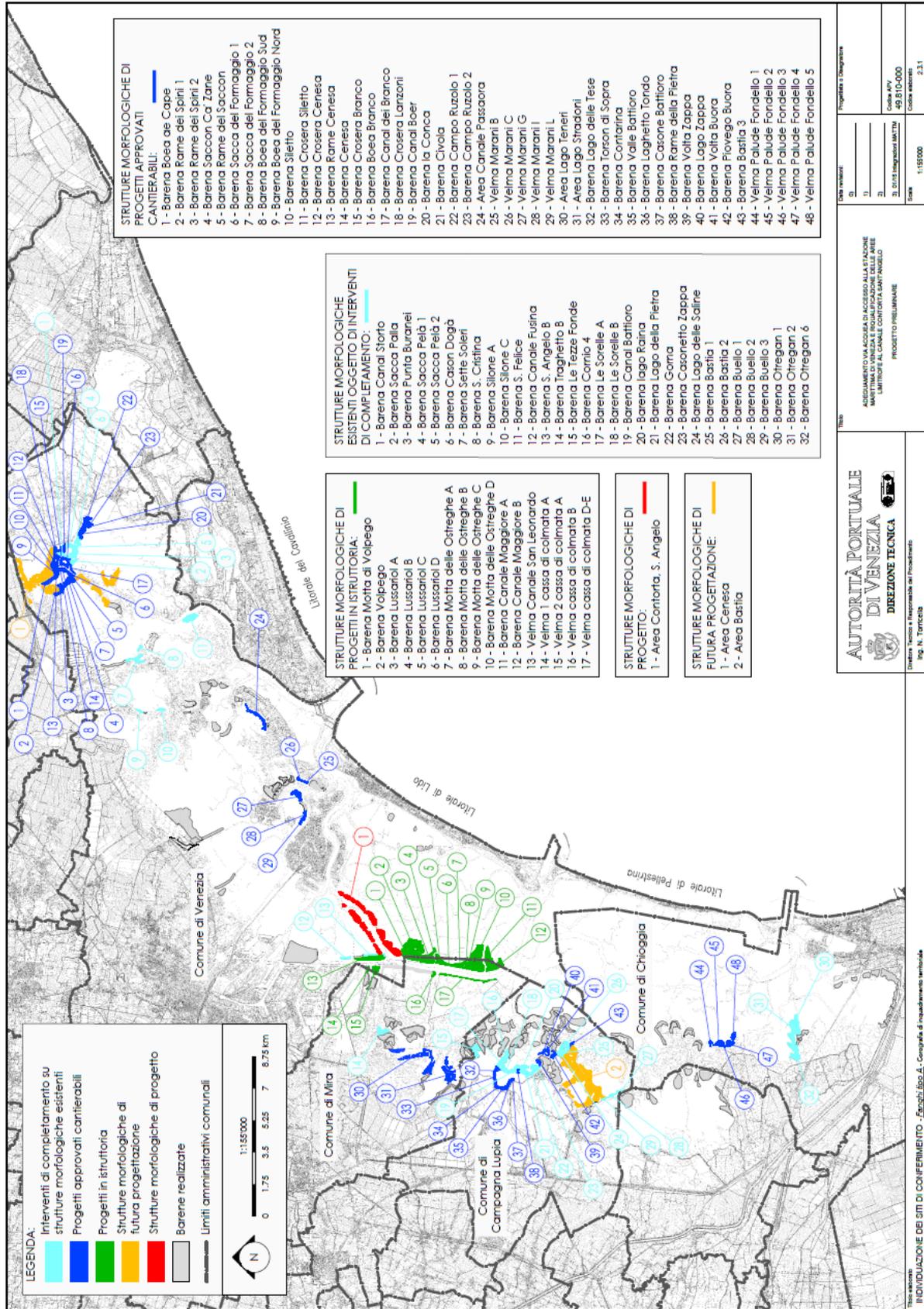


Figure 56 : Interventions de restauration planifiées dans la lagune. (minambiente.it)

Bibliographie

- ABRAMI G (1998), "Carta delle trasformazioni della Laguna Veneta:1810-1992", Magistrato alle Acque di Venezia
- AMMERMAN AJ (2005), "The third dimension in Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- APICE (2010-2011), "Emission Inventory Venice", in www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Results/Emission%20inventory/Emission_Inventory_Venice_def.xls
- ATEN (2015), "Guide d'élaboration des plans de gestion des espaces naturels", 8.12. DPSIR, ct88.espaces-naturels.fr/node/1389
- ATTFIELD R (2003), "Environmental Ethics. An Overview for the Twenty-First Century", Blackwell Publishing, Cambridge
- BASILICO L, MOJASKI M, IMBARD M (2012), "Changement climatique et littoral méditerranéen, synthèse des programmes de recherche CIRCLE-Med 2008-2011", VERSeau Développement
- BEI ERE (Bureau d'Etudes Industrielle Energies Renouvelables et Environnement), "Bioréacteur à membrane: Principe et méthodes de dimensionnement", hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g01/bioreacteur-membranes-principe-et-methodes-de-dimensionnement
- BEI COSTRUZIONI SRL, "Vasche per il Contenimento delle Alte Maree" , www.beicostruzioni.it/proposte/vasche-per-il-contenimento-delle-alte-maree
- BEVILACQUA P (1996), "Venise et l'eau", Lania Levi, Paris.
- BISCONTIN G, ZENDRI E, BAKOLAS A (2005), "Alteration of brickwork exposed to sea tide in Venice" in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- BONOMETTO L (2005), "Functional characteristics of salt marshes (barene) in the Venice Lagoon and environmental restoration scenarios", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- BOSCOLO, SIMONETTA, *et al.* (2011), "Safeguarding of Venice Coastal Area Through Habitat® Blocks", in *Journal of Coastal Research*, no. 61, pp. 269–273
- BOYER M, "Le tourisme de masse", Editions L'Harmattan, Paris, 2007
- BREIL M, GAMBARELLI G, NUNES PALD (2005), "Economic valuation of on-site material damages of high water on economic activities based in the city of Venice: results from a dose-response-expert-based valuation approach", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

BROTTO MT (2005), "Venice high water protection measures in St Mark's Square", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

BRUNEL S (2012), "La planète disneylandisée: pour un tourisme responsable", Editions Sciences Humaines

BUTTERFIELD R (2005), "A consistent interpretation of relative sea-level change in Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

CAMERA DI COMMERCIO (2017), "Cruscotto di indicatori congiunturali delle province di Venezia e Rovigo", *Cruscotto indicatori*, Camera di Commercio di Venezia Rovigo Delta - Lagunare, www.dl.camcom.gov.it/script.aspx?PRISMABIN=1&objectid=908a3086d95e42f3b4e9a62653099b68

CAMUFFO D, "Le risque de submersion historique à Venise et le projet MoSE", Conseil national des Recherches (CNR), Institut des Sciences de l'Atmosphère et du Climat

CAMUFFO D (2010), "Le niveau de la mer à Venise d'après l'œuvre picturale de Véronèse, Canaletto et Bellotto." *Revue d'histoire moderne et contemporaine*, vol. n 57-3, 2010

CANESTRELLI P, ZAMPATO L (2005), "Sea-level forecasting at the Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (CPSM) of the Venice Municipality", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

CAPPUCCI S (2011), "The Stability and Evolution of Venice Lagoon, Italy: "Building with nature" within Venice Lagoon", VDM Publishing, Sarrebruck

CARBOGNIN L, *et al.* (2010), "Global Change and Relative Sea Level Rise at Venice: What Impact in Term of Flooding", in *Climate Dynamics* 35.6: 1039-047.

CARMINATI E, DOGLIONI C, SCROGGA D (2005), "Magnitude and causes of long-term subsidence of the Po Plain and Venetian region in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*", Cambridge University Press

CARRERA F (2005), "City knowledge as key to understanding the relation between water and stones in Venice" in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

CASARIN R, *et al.* (2005), "Fusina integrated project: a global approach to waste water treatment and reuse in the central area of the Venice Lagoon", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

CASTELLETTO N, FERRONATO M, GAMBOLATI G, PUTTI M, TEATINI P (2008), "Can Venice be raised by pumping water underground? A pilot project to help decide", in *Water Resources Research*, Vol.44, Issue 1, January 2008

CAZES G (2006), "La problématique des impacts du tourisme, réflexion sur quelques évolutions significatives", in Decroly, Jean-Michel, *et al. Tourisme et société : autour de la vision du tourisme de A. Haulot*, Editions de l'Université de Bruxelles

CECCONI G (2005), "Morphological restoration techniques", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

CIRIACONO S (2006), "Building on water: Venice, holland, and the construction of the european landscape in early modern times". Berghahn Books, New York

CITTA DI VENEZIA

- "Servizio Statistica e Ricerca", www.comune.venezia.it/statistica
- "Osservatorio Porto Marghera", www.comune.venezia.it/osservatorioportomarghera
- "Venezia Sostenibile", www.comune.venezia.it/archivio/62021
- "Servizi di informazione e di comunicazione", www.comune.venezia.it/archivio/2420
- "Servizi di allertamento", www.comune.venezia.it/archivio/2421
- "Variazioni del livello medio del mare", www.comune.venezia.it/archivio/2967
- "Le percentuali di allagamento", www.comune.venezia.it/archivio/1754
- "Acqua alta, ma quanto alta? ", www.comune.venezia.it/archivio/13623
- "Servizio Statistica e Ricerca, Qualità della vita", www.comune.venezia.it/archivio/62275
- "Regolamento Imposta di Soggiorno nella città di Venezia", www.comune.venezia.it/it/content/regolamento-imposta-soggiorno
- "L'Area di Porto Marghera", www.comune.venezia.it/it/content/larea-di-porto-marghera
- "La permanenza della marea", www.comune.venezia.it/archivio/2975
- "Distribuzione mensile delle alte maree $\geq +110$ cm", www.comune.venezia.it/archivio/2973
- "Distribuzione annuale delle alte maree $\geq +110$ cm", www.comune.venezia.it/archivio/2968
- "Accordo di programma tra Ministero dello sviluppo economico, Regione del Veneto, Comune di Venezia, Autorità Portuale di Venezia per la riconversione e riqualificazione industriale dell'area di crisi industriale complessa di porto marghera", www.comune.venezia.it/it/content/documenti-di-riferimento

COMUNE DI VENEZIA - PORTALE DEI SERVIZI, "Mappa della Popolazione residente al giorno precedente", portale.comune.venezia.it/millefoglie/statistiche/home

CORBETT JJ, WINEBRAKE JJ, *et al.* (2007), "Mortality from ship emissions: a global assessment", in *Environmental Science & Technology*, 24 (2007), pp.8512-18

CORILA (Consortium for coordination of research activities concerning the Venice lagoon system), www.corila.it

CORRIERE DEL VENETO (2015), "Manutenzione, rifiuti e scuole - Venezia paga il 30% in più delle altre città", 12/10/2015, corrieredelveneto.corriere.it/veneto/notizie/cronaca/2015/12-ottobre-2015/manutenzione-rifiuti-scuole-venezias-paga-30percento-piu-altre-citta--2302040529119.shtml

COSES (Consorzio per la Ricerca e la Formazione) (2009), "Turismo sostenibile a Venezia", Rapporto 141.0

COSTA P, VAN DER BORG J (1988), "Un modello lineare per la programmazione del turismo. Sulla capacità massima di accoglienza del Centro storico de Venezia", in *Coses Informazioni*, 32-33 (1988), pp.21-26

CPEPESC (Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères), "Processus et conséquences de la pollution organique", www.cpepesc.org/PROCESSUS-et-CONSEQUENCES-de-la.html

CROSS-POLLINATE (2016), "Trash in Venice – what you need to know", 25/10/2016, www.cross-pollinate.com/blog/2816/trash-in-venice-what-you-need-to-know

D'ALPAOS L (2003), "Conoscere il comportamento idrodinamico della laguna del passato per progettare la laguna del future", in *Atti dell'Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti. Classe di scienze fisiche, matematiche e naturalmente*, 162 (2003-04)

D'ALPAOS L (1992), "L'evoluzione morfologica della laguna di Venezia dal tempo del Déneix ad oggi e sue conseguenze sul regime idrodinamico, in *Conterminazione lagunare. Storia, ingegneria, politica e diritto nella laguna di Venezia*", Venice

DANZI E, *et al.* (2005), "Research for conservation of the lagoon building culture: catalogue of the external platerwork in Venitian buildings", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

DA MOSTO, *et al.* (2005), "Venice and the Venice Lagoon : communication, uncertainty and decision making in an environmentally complex system", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

DAY JR JW, *et al.* (2005), "Venice Lagoon and the Po Delta : system functioning as a basis for sustainable management", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

DE RABAUDY N (2013), "Venise victime du tourisme de masse", www.slate.fr/story/76756/venise-tourisme-masse

DEHEYN D, SHAFFER L (2007), "Saving Venice, engineering and ecology in the Venice lagoon", in *Technology in Society* 29, p. 205-213, Elsevier

DEPREST F (2000), "Enquête sur le tourisme de masse. L'écologie face au territoire", Belin

DI SILVIO G (2005), "Sediment balance, morphodynamics and landscape restauration", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

DOLCETTA B (2005), "Urban maintenance in Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

DOSI C, MUSU I, RIZZI D, ZANETTE M (2013), "L'impatto economico della crocieristica a Venezia", Autorità Portuale

e-VENISE.com, "Acqua Alta à Venise - Le Projet de Dignes MO.S.E. (MoSE) pour les Marées Hautes", http://www.e-venise.com/acqua_alta_venise_4.htm

EQUIPE MIT (2002), "Tourismes 1. Lieux communs", Paris, Belin, coll. « Mappemonde ».

- EQUIPE MIT (2005), "Tourismes 2. Moments de lieux", Paris, Belin, coll. « Mappemonde ».
- EUROPEAN COMMISSION - DG Mobility and Transport (2014), "Update of the Handbook on External Costs of Transport", Ricardo-AEA/R/ ED57769, Issue 1
- EVIN F (2012), "Un sénateur italien veut mettre Venise et sa lagune à l'abri des paquebots géants", Le Monde Planète, www.lemonde.fr/planete/article/2012/07/09/venise-veut-interdire-les-paquebots-dans-sa-lagune_1731094_3244.html
- F.LLI SCUTTARI S.A.S., "Opere ambientali", www.scuttari.it/opere-ambientali/
- FALCHI L, *et al.* (2016), "The behaviour of water-repellent mortars with regards to salt crystallization: from mortar specimens to masonry/render systems", in *Materials and Structures* (2017) 50: 66
- FERLA M (2005), "APAT duties and techno-scientific activities regarding the Lagoon of Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- FERSUOCH L (2014), "Misreading The lagoon", *Eye On Venice* 30, Corte del Fontego editore, Venezia
- FLETCHER C, DA MOSTO J (2004), "The Science of Saving Venice", Umberto Allemandi & C, Turin
- FLETCHER C, SPENCER T (2005), "Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge", Cambridge University Press
- FONTINI F, UMGIESSER G, VERGANO L (2009), "The role of ambiguity in the evaluation of the net benefits of the MoSE system in the venice lagoon", in *Ecological Economics* 69 (10): 1964-72.
- FRANCE INFO (2016), "Tourisme: les habitants de Venise en colère", 16/09/2016, www.francetvinfo.fr/monde/italie/tourisme-les-habitants-de-venise-en-colere_1828277.html
- FRANCE INFO (2017), "Venise se révolte face au tourisme de masse", 22/06/2017, blog.francetvinfo.fr/bureau-rome/2017/06/22/venise-se-revolte-face-au-tourisme-de-masse.html
- FRANCE RL (2011), "Veniceland Atlantis: The Bleak Future of th²e World's Favourite City", Libri Publishing, Faringdon
- FRASSETTO S (2005), "The facts of relative sea-level rise in Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- FULLIN M (2010), "Le navi erodono il canal dei Petroli", in *Il Gazzettino*, 12 mai 2010
- GACIC M, *et al.* (2005), "Water fluxes between the Venice Lagoon and the Adriatic Sea", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press
- GASPARETTO C (2005), "A chi serve il MoSE". In *Il Manifesto*, 28/07/2005
- GIBLETT R (2016), "Cities and Wetlands: The Return of the Repressed in Nature and Culture", Bloomsbury Academic

HALL C, MICHAEL C, LEW AA (2009), "Understanding and managing tourism impacts: An integrated approach". Routledge, New York-London

HAULOT H (2006), "Une conquête sociale majeure du XXème siècle", in Decroly, Jean-Michel, *et al. Tourisme et société : autour de la vision du tourisme de A. Haulot*, Editions de l'Université de Bruxelles

HARLEMAN DRF (2005), "Mobile barriers as a management tool for water quality and lagoon flushing", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

HEELEY J (2011), "Inside city tourism: A european perspective", Bristol-Buffalo, Channel View Publications

HOLDEN A (2016), "Environment and tourism", Routledge, New York-London.

HMR SRL, "Integrated Fusina Pollution Control Project", www.hmr.it/project-portfolio/hydraulics/integrated-fusina-pollution-control-project

ISSUU, "Detourism - Turismo Sostenibile Città di Venezia", issuu.com/cittdivenezia

ITALIA NOSTRA VENEZIA, www.italianostravenezia.org

ITALIA NOSTRA VENEZIA (2015), "Proposte per Venezia - Realtà presente e prospettive per il futuro"

KEAHEY J (2002), "Venice Against the Sea: A City Beseiged", St Martin's Press, New York

KLEIN R (2009), "Getting a Grip on Cruise Ship Pollution", Friends of the Earth

KNAFOU R, DUHAMEL P (2007), "Mondes urbains du tourisme", Belin, Paris

KRISTENSEN P (2004), "The DPSIR Framework", National Environmental Research Institute, Denmark

KUSCH CF, GELHAAR A (2014), "Guide d'architecture – Venise. Constructions et projets après 1950", DOM Publishers, Berlin

LABA EPFL (2016), "Venice Lessons. Industrial Nostalgia", Park Books, Zurich

LANAPOPPI P (2012), "Dear Tourist", *Eye On Venice* 13, Corte del Fontego editore, Venezia

LANDRIN S (2013), "Un port offshore à Venise pour chasser les navires géants", www.letemps.ch/sciences/2013/02/19/un-port-offshore-venise-chasser-navires-geants

LAW C (2001), "Urban tourism: the visitor economy and the growth of large cities", Continuum, London

LAZZAROTTI O (2011), "Patrimoine et tourisme", Paris, Belin.

LE MONDE (2014), "Le maire de Venise interpellé dans le cadre d'une enquête pour corruption", 04/06/2014, www.lemonde.fr/europe/article/2014/06/04/soupconne-de-corruption-et-blanchiment-le-maire-de-venise-interpelle_4431550_3214.html

LE MONDE (2016), "Venise cherche à canaliser le tourisme pour éviter d'être engloutie", 12/11/2016, www.lemonde.fr/economie/article/2016/11/12/venise-cherche-a-canaliser-le-tourisme-pour-eviter-d-etre-engloutie_5030034_3234.html

LA NUOVA, (2016), "Nel Comune di Venezia la tassa rifiuti più alta del Nordest", 30/09/2016, nuovavenezia.gelocal.it/venezia/cronaca/2016/09/30/news/nel-comune-di-venezia-la-tassa-rifiuti-piu-alta-del-nordest-1.14178765

LINDEN P (2014), "The science of saving Venice", phys.org/pdf300605758.pdf

LIONELLO P (2005), "Extreme storm surges in the Gulf of Venice: present and future climate", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

LO STORTO C (2015), "The MoSE project - A Megaproject case study compiled by Corrado lo Storto"

LOMINE L, EDMUNDS J, (2007), "Key concepts in tourism", New York: Palgrave Macmillan.

MANCUSO F (2014), "Building on water", *Eye On Venice 2*, Corte del Fontego editore, Venezia

MARCOMINI A, *et al.* (2005), "Environmental quality issues in the perspective of risk assessment and management in the Venice Lagoon", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

MARETTO B (1998), "La casa Veniziana", Marsilio Editore

MAR P, *et al.* (2016), "Annuario del turismo - dati 2015", Centro Produzione Multimediale, Comune di Venezia, Assessorato al Turismo

MCCLENNEN CE, AMMERMAN AJ (2000), "Saving Venice". In *Science*, 289, 1301-2

MERK O (2013), "The Competitiveness of Global Port-Cities: Synthesis Report", OECD Port-Cities Programme

MICOUD A, *et al.* (1991), "Des hauts-lieux: la construction sociale de l'exemplarité", Editions du Centre national de la recherche scientifique, Paris

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI (2015), "Sintesi delle conoscenze disponibili presso il Servizio Informativo inerenti alcune questioni emerse nell'ambito del Progetto del Canale Contorta", www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1486/2259?pagina=31

MOSE, "MoSE, la difesa di Venezia e della laguna dalle acque alte", www.mosevenezia.eu/mose

NOUGARET MP (2014), "La bataille de Venise contre les paquebots monstrueux", 24/04/2014, reporterre.net/La-bataille-de-Venise-contre-les

OBSERVATOIRE NATIONAL DE LA BIODIVERSITÉ, "Le cadre conceptuel : un modèle DPSIR adapté", indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/le-cadre-conceptuel-un-modele-dpsir-adapte

OECD (2015), "Governing the Metropolitan City of Venice", OECD Publishing, Paris

OLIA I KLOD (2014), "Pour comprendre le scandale, notre enquête sur le MoSE", 08/06/2014, oliaklodvenitiens.wordpress.com/2014/06/08/pour-comprendre-le-scandale-notre-enquete-sur-le-mose/

PAGE S, HALL C (2003), "Managing urban tourism", Prentice Hall, New York; Harlow, England

PATIN V (1997), "Tourisme et patrimoine en France et en Europe", Paris, La Documentation française

PENNA G, *et al.* (2005), "Institutional monitoring of the Venice Lagoon, its watershed and coastal waters : a continuous updating of their ecological quality", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

PENZO PL (2013), "Grandi Navi, serve un referendum comunale", in *La Nuova Venezia*, 28 June 2013

PINARDI N, *et al.* (2005), "Ocean climate variability in the Mediterranean Sea: climate events and marine forecasting activities", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

PIRAZZOLI P (2002), "Did the Italian government approve an obsolete project to save Venice? ", in *EOS*, 83, 20, 217-18

PIRAZZOLI P (2011), "La misura dell'acqua. Come e perché varia il livello marino: le ripercussioni a Venezia", *Eye On Venice* 4, Corte del Fontego editore, Venezia

PIRAZZOLI P (2015), "Le projet Moïse, pour sauver Venise des eaux", www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/developpement-durable-sauvegarde-venise-266/page/6/

PORT VENICE,

- "L'impatto economico della crocieristica a Venezia", 02/2013, www.port.venice.it/it/limpatto-economico-della-crocieristica-venezia.html
- "Venice offshore port - The project", offshore.port.venice.it/index.php/progetto/?lang=en

PRADES J (2015), "Comment résiste encore Venise ? La leçon des vénitiens", Editions Le vent se lève !

ROVA S, PRAVONI F, MULLER F (2015), Provision of ecosystem services in the lagoon of Venice (Italy): an initial spatial assessment, in *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol.15(1), 13-25.

ROGGERO M, FRITSCH O (2010), "Mind the costs: Rescaling and multi-level environmental governance in Venice lagoon", in *Environmental Management*, 46(1), 17-28.

SALZANO E (2014), "The Lagoon of Venice. Governance for a complex system", *Eye On Venice* 5, Corte del Fontego editore, Venezia

SARETTA, *et al.* (2010), "Sediment budget in the lagoon of Venice, Italy", in *Continental Shelf Research*, 30, p.934-949

SCARTON F (2005), "Breeding birds and vegetation monitoring in recreated salt marshes of the Venice Lagoon", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

SCOTTI A (2005), "Engineering interventions in Venice and in the Venice Lagoon", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

SEMINARA G, *et al.* (2005), "Open problems in modelling the long-term morphodynamic evolution of Venice lagoon", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

SHOM, "Marée de vive-eau, marée de morte-eau », www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/maree-et-courants/marees/vive-eau-morte-eau/

SMU INSULA, smu.insula.it/index.php@lang=en.html

SOMERS COCKS A (2006), "The Science of Saving Venice", Icon, winter 2005/2006, wmg.org

SPINELLI M, FOLIN M (2005), "Local flood protection measures in Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

STANDISH D (2012), "Venice in Environmental Peril? Myth and Reality", United Press of America

SUEZ (Le Memento degremont® de SUEZ), "réacteurs biologiques séquentiels", www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/procedes-biologiques/procedes-a-cultures-libres/reacteurs-biologiques-sequentiels

SUMAN D, GUERZONI S, MOLINAROLI E (2005), "Integrated Coastal Management in the Venice Lagoon and its Watershed", in *Hydrobiologia*, vol. 550/no. 1, pp. 251-269.

TATTARA G (2013), "É solo la punta dell'iceberg ! Costi e ricavi del crocierismo a Venezia", https://mpra.ub.uni-muenchen.de/45627/1/MPRA_paper_45627.pdf

TATTARA G (2013), "Costi e ricavi del crocierismo a Venezia", in *Economia e società regionale*, xxxi, 3 (2013), p. 135-165

TATTARA G (2014), "Quantifying cruising. Study on the economic impact of large cruise ships at Venice", *Eye on Venice* 39, Corte del Fontego editore, Venezia

TESTA S (2014), "Reversing Course", *Eye on Venice* 39, Corte del Fontego editore, Venezia

TOMASIN A (2005), "Forecasting the water level in Venice: physical background and perspectives", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

TOSI L, TEATINI P, STROZZI T (2013), "Natural versus anthropogenic subsidence of Venice", in *Scientific Reports* 3, Article number: 2710, doi:10.1038/srep02710

TRAMEZZINIMAG (2017), "97,8% pour l'éloignement des grands Navi ! Un immense succès", 19/06/2017, tramezzinimag2.blogspot.be/2017/06/978-pour-leloignement-des-grandi-navi.html

TREVISAN E (2013), "Gli industriali e Chisso: Grandi Navi in Marittima", in *Il Gazzettino*, 16 Feb. 2013

TROMELLINI E, FERRARI G, CROCI F (2009), "Centralized management and control of decentralized systems", actes du 8ème IWA Specialised Conference on Small Water and Wasterwater Systems, Coimbatore (Inde), 6-9 février 2008

TYLER D, GUERRIER Y, ROBERTSON M (1998). "Managing tourism in cities: Policy, process, and practice", New York-Chichester, J. Wiley

UFFICIO DI PLANI (2009), "La gestione dei sedimenti contaminati nella laguna di venezia", Rapporto tematico (bozza), Venezia

UNESCO

- "Venise et sa lagune", whc.unesco.org/fr/list/394/
- "État de conservation", whc.unesco.org/fr/soc/3633
- "La Directrice générale de l'UNESCO reçoit le maire de Venise", whc.unesco.org/fr/actualites/1621/

UNESCO (2011), "From Global to Regional: Local Sea Level Rise Scenarios Focus on the Mediterranean Sea and the Adriatic Sea", Workshop organized by UNESCO Venice Office and ISMAR-CNR, 22-23 November 2010, Venice, Italy

UNESCO (2016), "Report of the joint unesco/icomos/ramsar - Reactive monitoring mission to venice and its lagoon", Mission report - Venice and its Lagoon (Italy) (394), 13-18 October 2015

UNESCO (2017), "Report on the State of Conservation according to the World Heritage Committee Decision 40 COM.7B.52", whc.unesco.org/document/156231

VAN DER BORG J (1998) "Tourism management in Venice, or how to deal with success". In D Tyler D, Y Guerrier, Robertson M, *Managing Tourism in Cities: Policy, Process ans Practice*. Chichester: John Wiley ans Sons

VAN DER BORG J and RUSSO AP (1999), "Tourism Management in Heritage Cities". UNESCO Venice Office Technical, Report n. 28. Venice: UNESCO.

VELLINGA P, LASAGE R (2005), "Venice, an issue of sustainability", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

VENISEJETAIME, " La population de Venise", www.venisejetaime.com/la-population-de-venise

VENEZIA AMBIANTE (2016), "Costi e tariffe del servizio rifiuti nei Comuni del Bacino Venezia - Indicatori comparati - Esercizio 2016", Allegato n. 3 alla delibera di Assemblea di Bacino n. 10 del 20/10/2016

VENEZIA UNICA

- "Sustainable Venice", www.veneziaunica.it/en/content/sustainable-venice
- "Detourism: travel Venice like a local", veneziaunica.it/en/node/1283
- "Refill Venice", www.veneziaunica.it/en/node/735

VERITAS

- "La raccolta dei rifiuti", www.gruppoveritas.it/node/7551

- "La qualità dell'acqua", www.gruppoveritas.it/node/80

VERITAS (2017), "Nuovo sistema di raccolta dei rifiuti", Gruppo Veritas

VIO E (2005), "St Mark's Basilica as a case study in flooding issues for historical Venice", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

VIOLIER P, ZARATE AM (2007), "Politiques urbaines du tourisme", in Philippe Duhamel et Rémy Knafou (dir.), *Mondes urbains du tourisme*, Belin

VODISEK D (2013), "Ville et Développement durable. Venise un cas exceptionnel", in *Population & Avenir* 72 p.4-7, 2013/2, Ashworth and Page

WAVE 2016, "Vesta sewage treatment plant", www.wave2016iuv.com/key-theme/south-border/fusina-industrial-edge/vesta-sewage-treatment-plant

YAGOUBI A (2010), "Le mythe de Venise. Interview avec Massimo Cacciari", in *Sociétés* 3/2010 (n° 109), p. 41-53

ZANNINI A (2014), "Il turismo a Venezia dal secondo dopoguerra ad oggi", ENS Éditions, 2014..doi:10.4000/laboratoireitalien.848

ZECCHETTO S, DE BIASIO F, BAJO M (2005), "Features of scatterometer wind observations in the Adriatic sea", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

ZIRINO A (2005), "The monitoring programme in the Venice Lagoon : striving towards a comprehensive knowledge of the lagoon ecosystem", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

ZONTA R, *et al.* (2005), "Pollution in the Venice Lagoon (Italy) : loads from the drainage basin", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

ZONTA R, *et al.* (2005), "Sediment contamination assessment of the Venice canal network", in Fletcher CA, Spencer T, *Flooding and Environmental Challenges for Venice and Its Lagoon: State of Knowledge*, Cambridge University Press

ZUCCHETTA G (2000), "Storia dell'acqua alta a Venezia dal Medioevo all'Ottocento", Venice, Marsilio editore

Documentaries

BENDALI L (2016), "Venise, récit d'un naufrage annoncé", France 5, 7 février 2016, www.youtube.com/watch?v=7feq-_pS8cY

BRAS R (2010), "Saving Venice", Distinctive Voices, National Academy of Sciences, 2010, www.youtube.com/watch?v=1_QTTRtR9Y, 2010

DA MOSTO F (2004), "Francesco's Venice", BBC2

MENDOZA N (2015), "Italie : ces croisières qui n'amuse plus du tout Venise", Patrick Lovett, 2015, www.france24.com/fr/20151231-video-venise-tourisme-masse-menace-environnement-economie

MINISTERIO DELLA INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, MAGISTRATO ALLE ACQUA DI VENEZIA, CONSORZIO VENEZIA NUOVA (2009),

- 01 " Introduzione - Venezia/Laguna. Difesa dalle acque alte e protezione ambientale ", www.youtube.com/watch?v=XkRqAfMzQG4
- 02 " Venezia/Laguna. Difesa dalle acque alte. Il sistema mose alle bocche di porto", www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms
- 03 " Venezia/Laguna. Difesa dalle acque alte. Protezione locale degli abitati lagunari", www.youtube.com/watch?v=QnRsIJKF2jA
- 04 " Venezia/Laguna difesa dalle mareggiate. Rinforzo dei litorali e dei moli foranei", www.youtube.com/watch?v=C4ESz2orHog
- 05 "Venezia /Laguna. Difesa ambientale. Protezione e ricostruzione di strutture e habitat lagunari", www.youtube.com/watch?v=RCx93QhyEcl
- 06 "Venezia/Laguna. Difesa ambientale. Protezione dall'inquinamento e risanamento ambientale", www.youtube.com/watch?v=luk-n4fryL4

NICOL F, *et al.* (2013), "Venise, la cité des mystères", série *L'Ombre d'un doute*, France 3

PBS - NOVA (2002), "Sinking City of Venice", www.youtube.com/watch?v=-w8H4NaFfMY

SUBRA-MOREAU L (2000), "Sauver Venise", série *C'est pas sorcier*, www.youtube.com/watch?v=kiKHDouin5M

UNESCO (1969), "VENISE : Venise en péril", archive ina.fr, www.youtube.com/watch?v=dYXIZcCbK34

« This sculpture '*Support*' placed in Venice at Ca' Sagredo, coinciding with the opening of the Venice Biennale, wants to speak to the people in a clear, simple and direct way through the innocent hands of a child and it evokes a powerful message which is that united we can make a stand to curb the climate change that affects us all. We must all collectively think of how we can protect our planet and by doing that we can protect our national heritage sites »

- Lorenzo Quinn, on *Instagram*, 14/05/2017



La sculpture "Support" dans le grand canal de Venise, emblème de la Biennale d'Art 2017 (de Thier)