



Dario Camuffo, C. Bertolin - Conseil National des
Recherches (CNR) Institut des Sciences de l'Atmosphère
et du Climat, Padoue, Italie

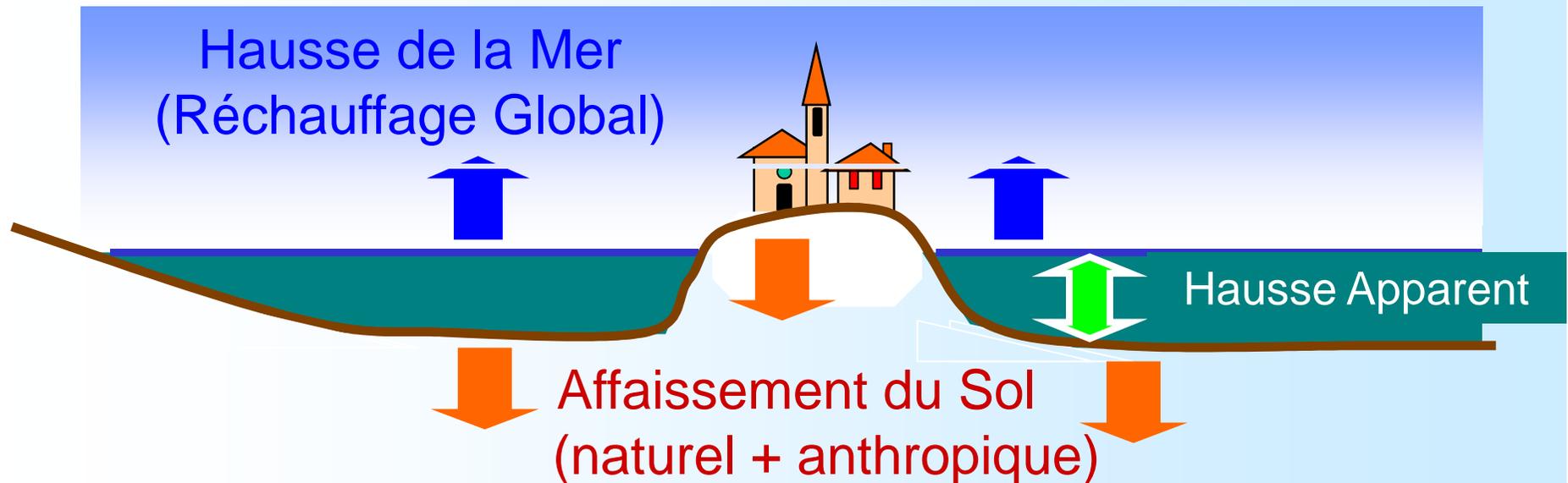


Le risque de submersion historique à Venise et le Projet MOSE



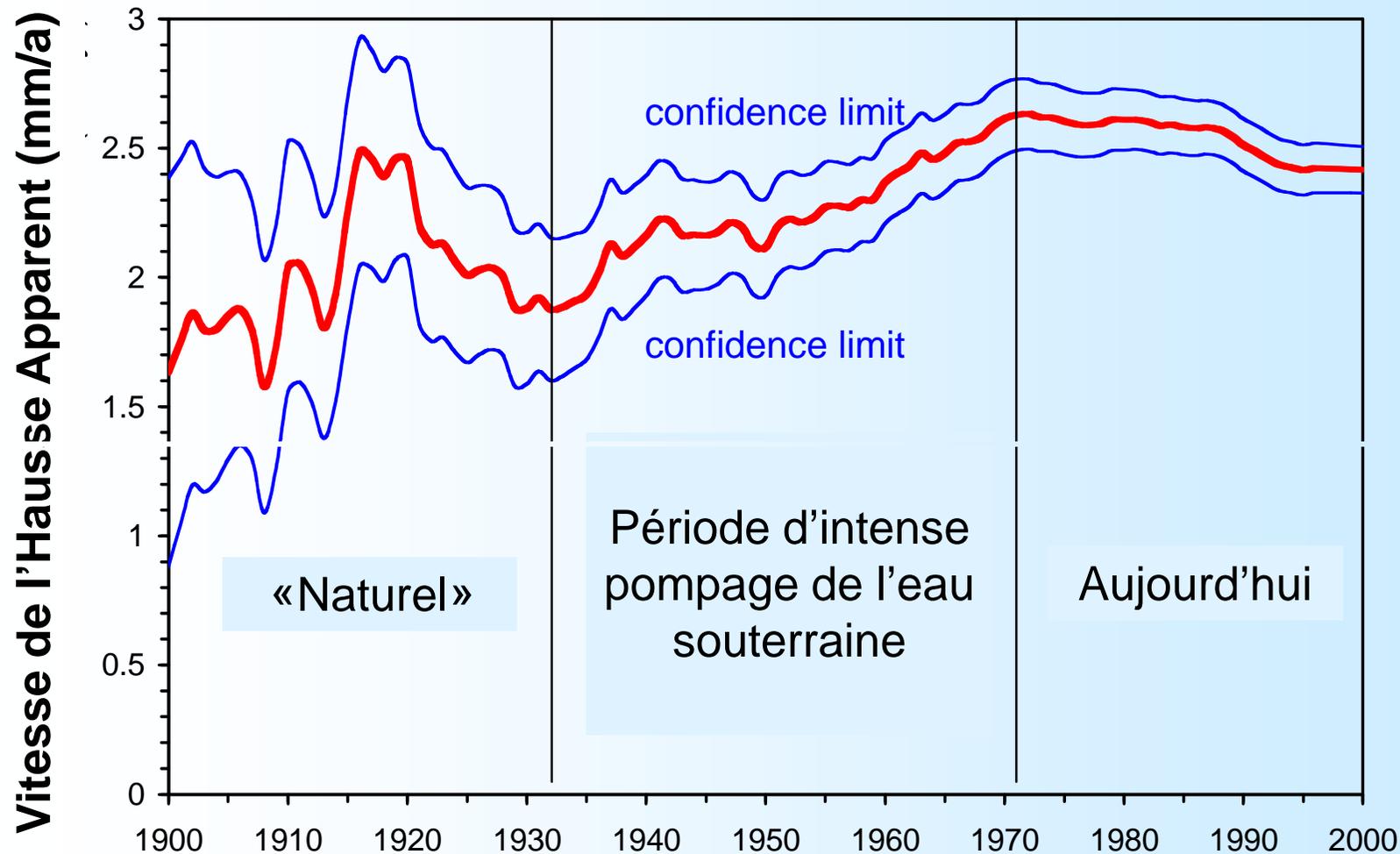
Le Problème de Venise:

**Hausse de la Mer pour réchauffement climatique +
Affaissement du Sol pour raisons géologiques**
(plus pompage de l'eau souterraine du 1930 à 1970)



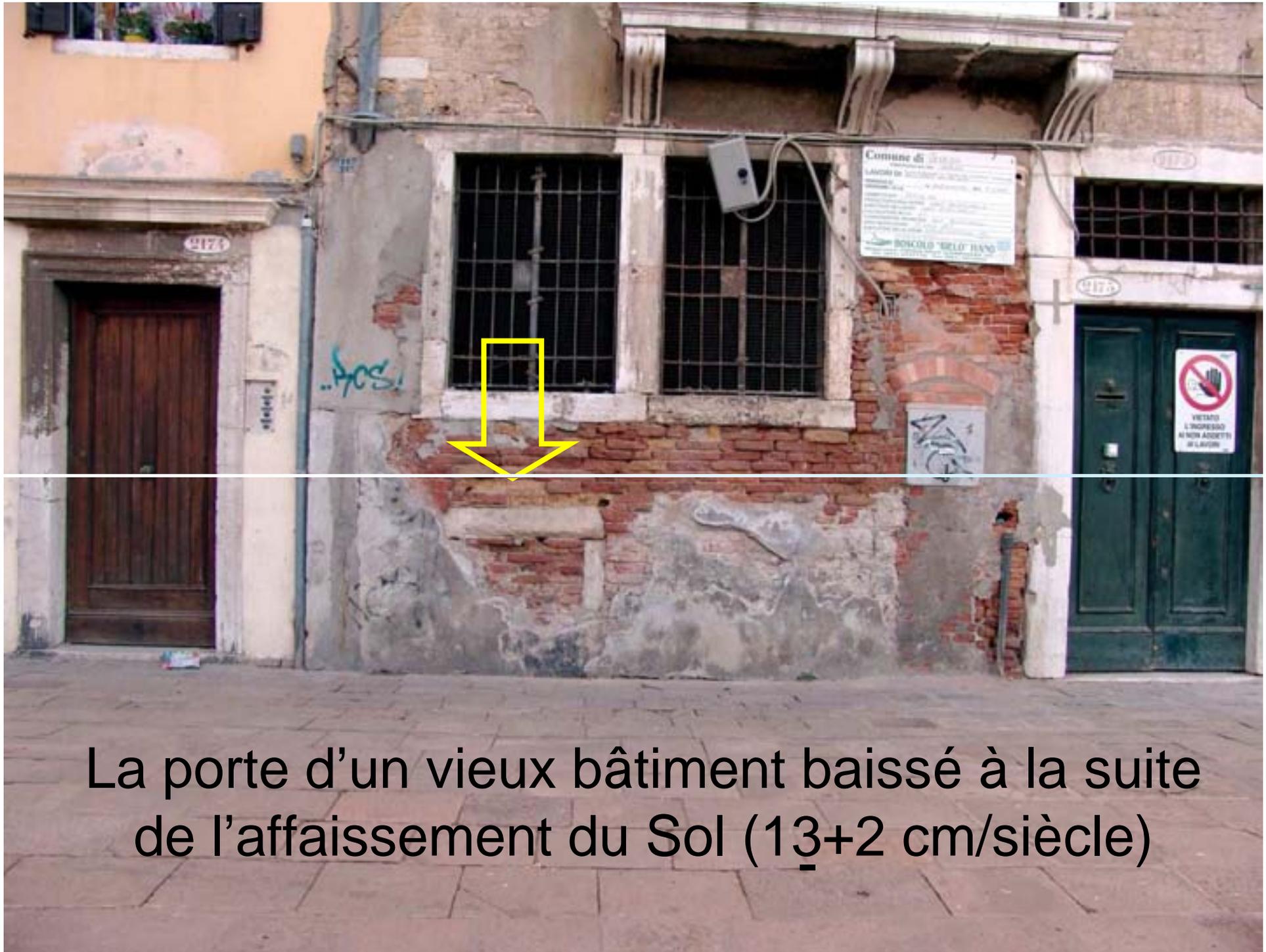
La cité perçoit le **résultat**, c'est à dire l'élévation du niveau marin perçue est la somme des deux composantes.

Quel est la vitesse d'élévation du niveau marin? Pouvons-nous trouver la valeur 'naturelle' ?



Le niveau apparent de la mer s'est élevé entre 1.6 et 2.6 mm/an.

La contribution "naturelle" est plus incertain.



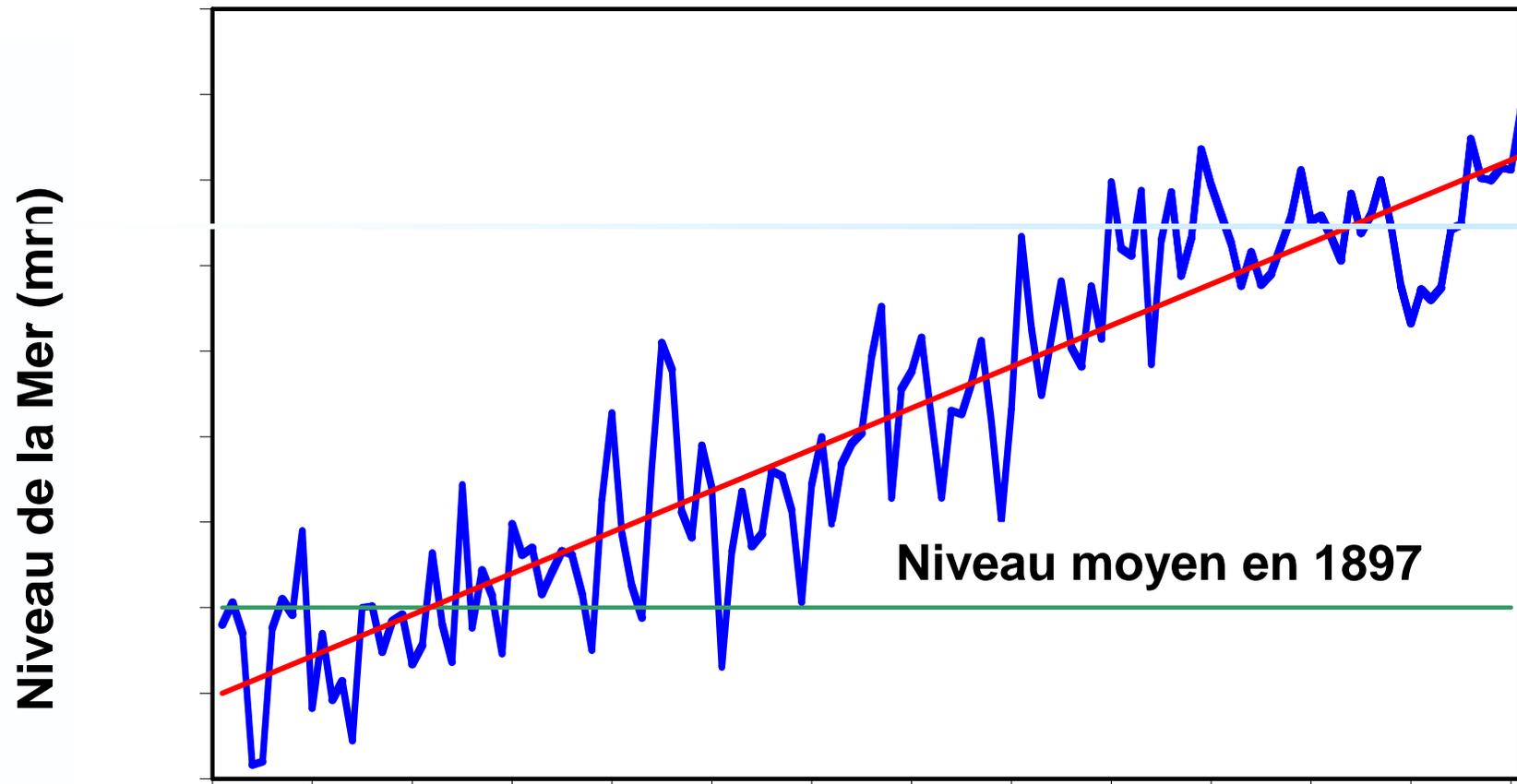
La porte d'un vieux bâtiment baissé à la suite de l'affaissement du Sol ($13+2$ cm/siècle)



Hausse Apparent de la Mer et efflorescences salines sur les murs

Nous connaissons le taux de remonté du niveau marin après 1872 quand on a installé le premier marégraphe à Venise. Nous ne connaissons pas la période précédente.

L'Histoire et l'Art peuvent nous aider, l'Histoire avec des documents d'archive, l'Art avec des tableaux particuliers.





L' "*Acqua Alta*" à Place St Marc, Venise.

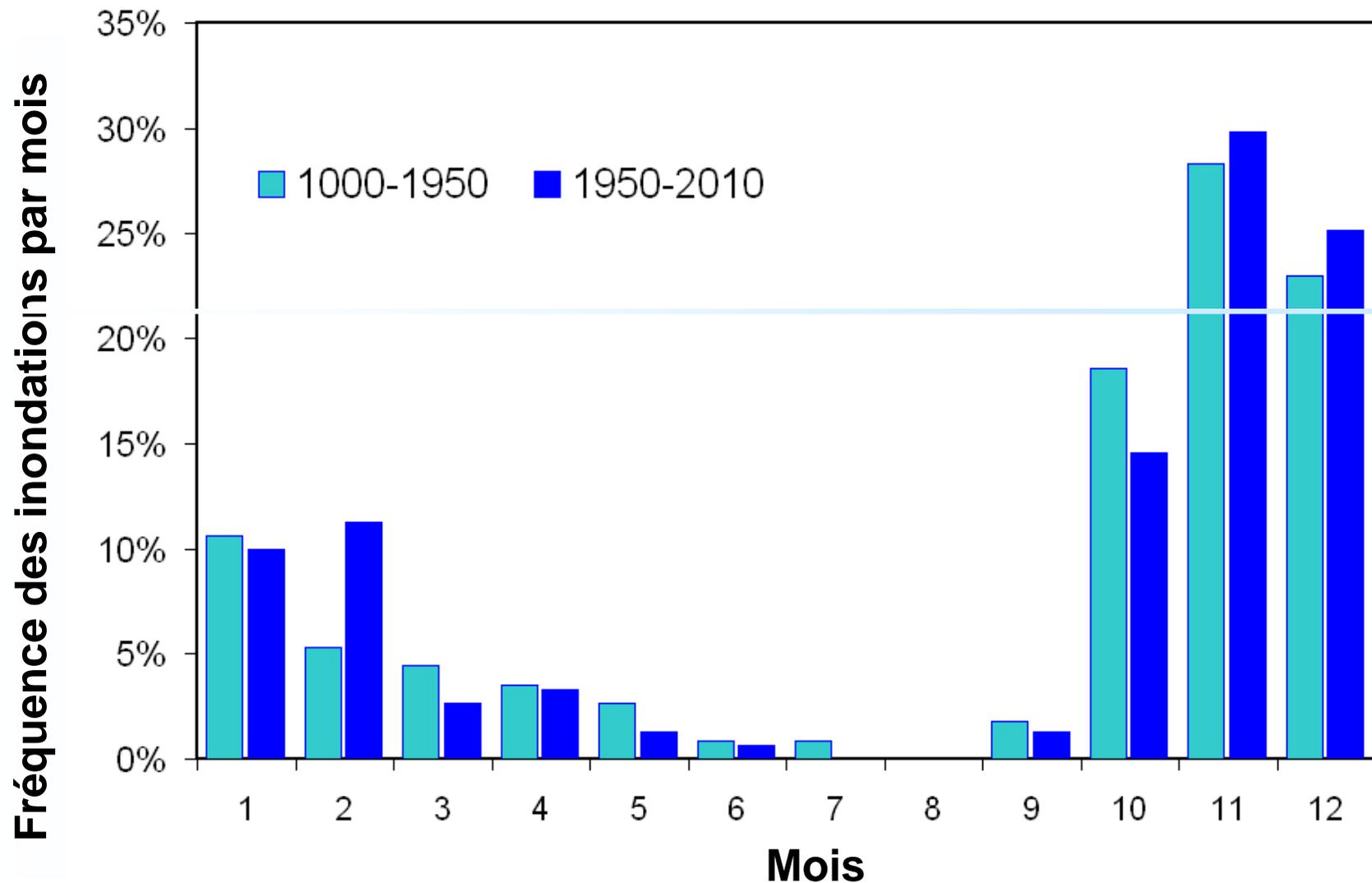
L' "*Acqua Alta*" est une Marée exceptionnellement haute due à l'action du vent Sirocco (Sud-Est)

Plus haut l'hausse apparent, plus petite la marée nécessaire pour submerger la ville.

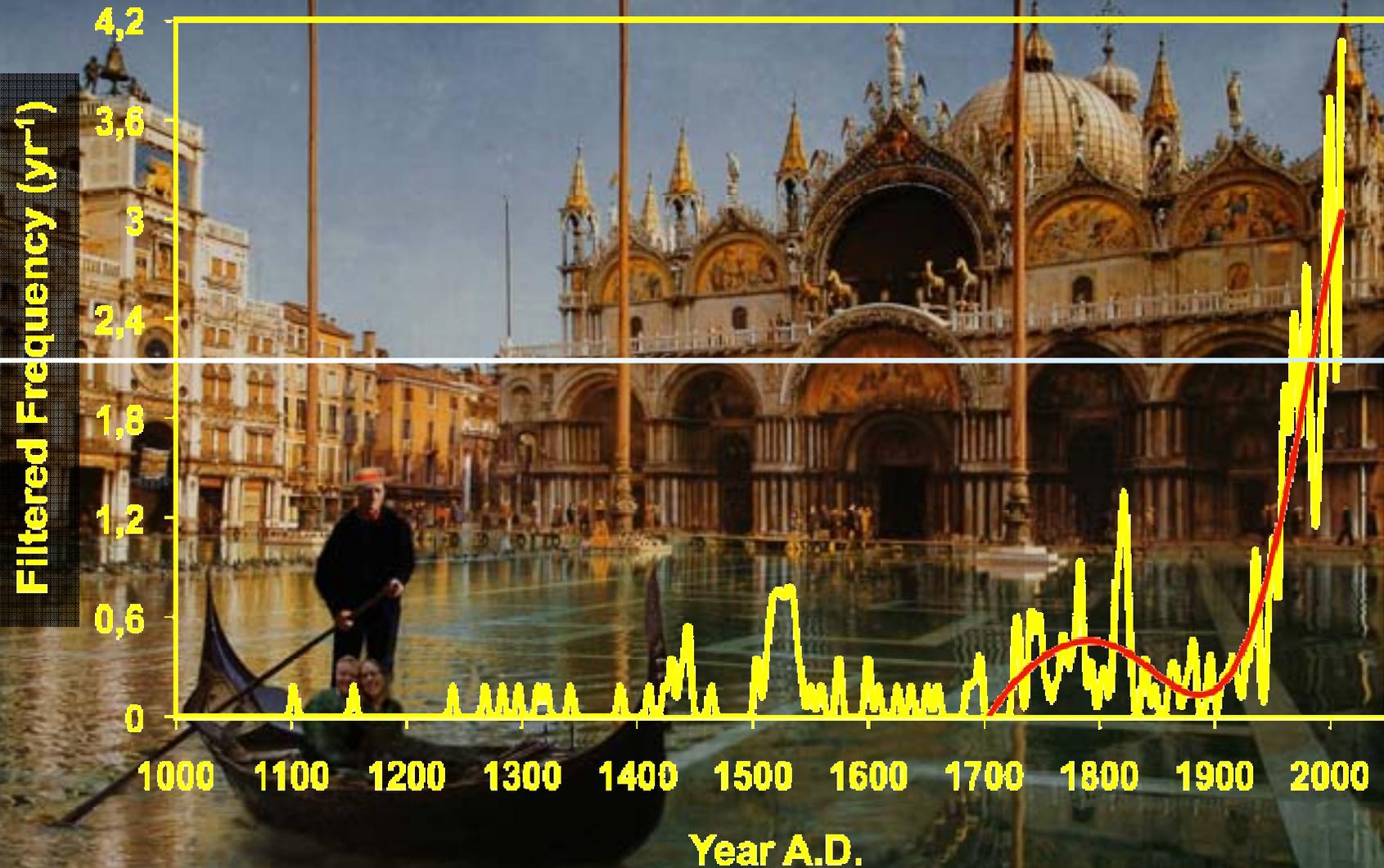


La fréquence des inondations à Venise est plus grande en Automne et pratiquement nulle en Été.

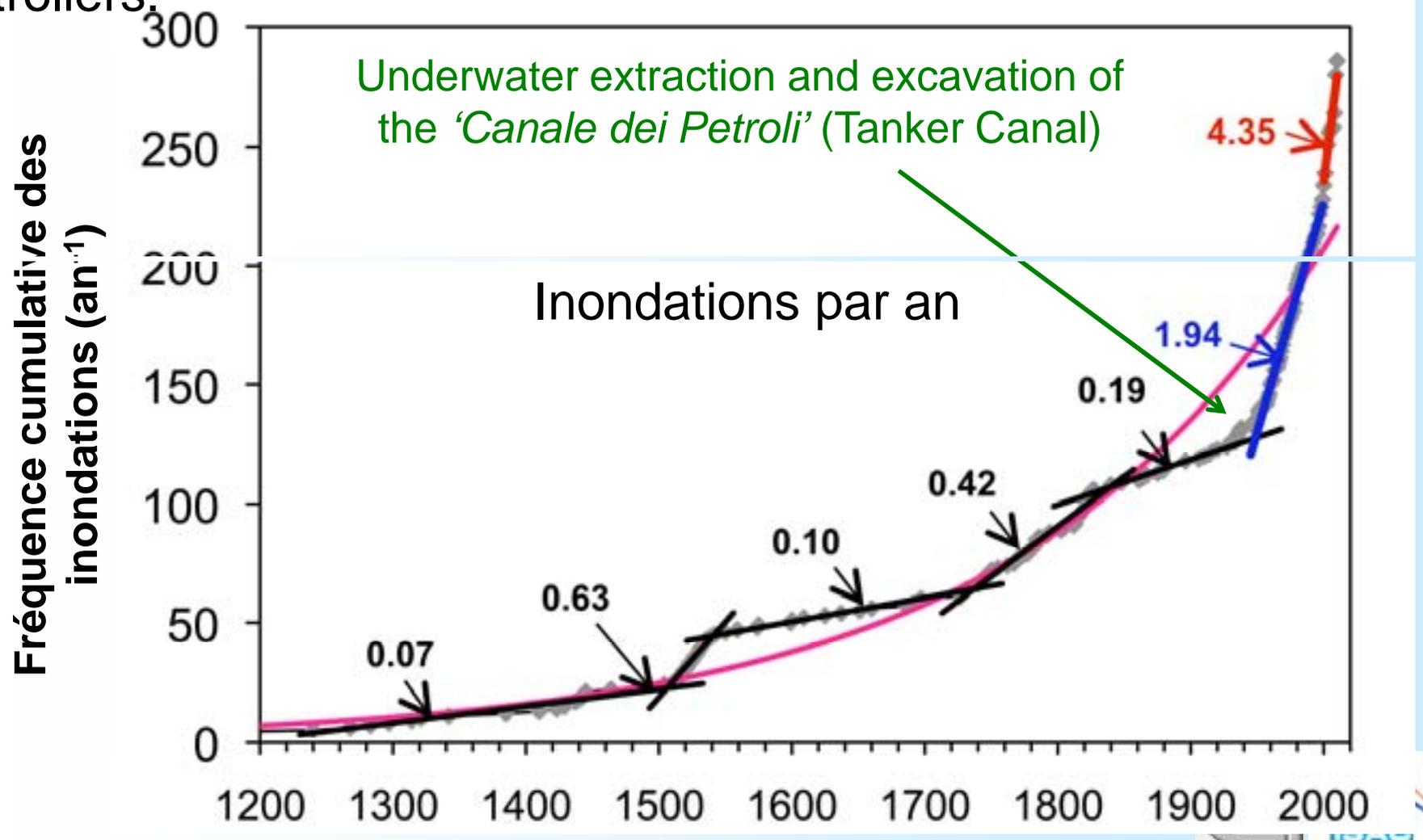
La distribution saisonnière est restée inchangée pendant les siècles, sans influence des changements climatiques.



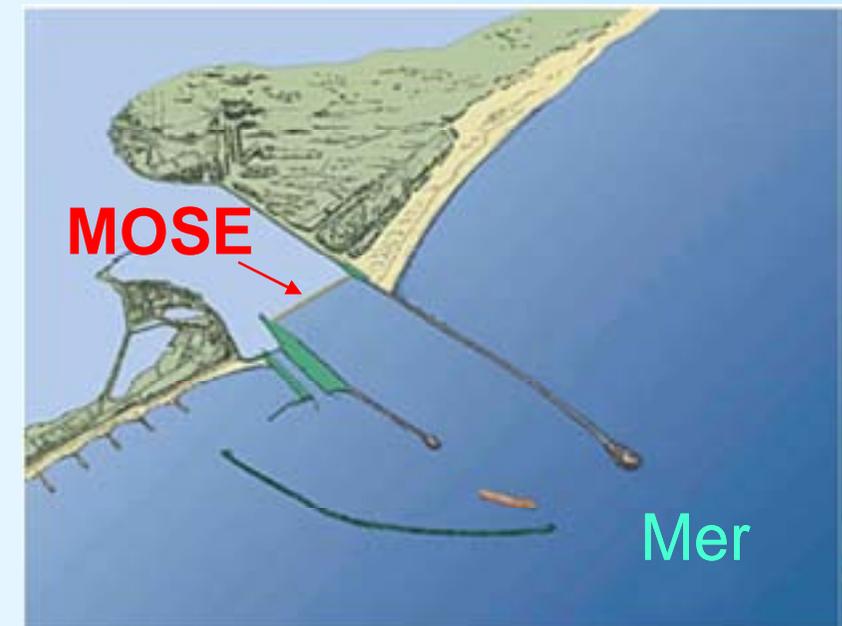
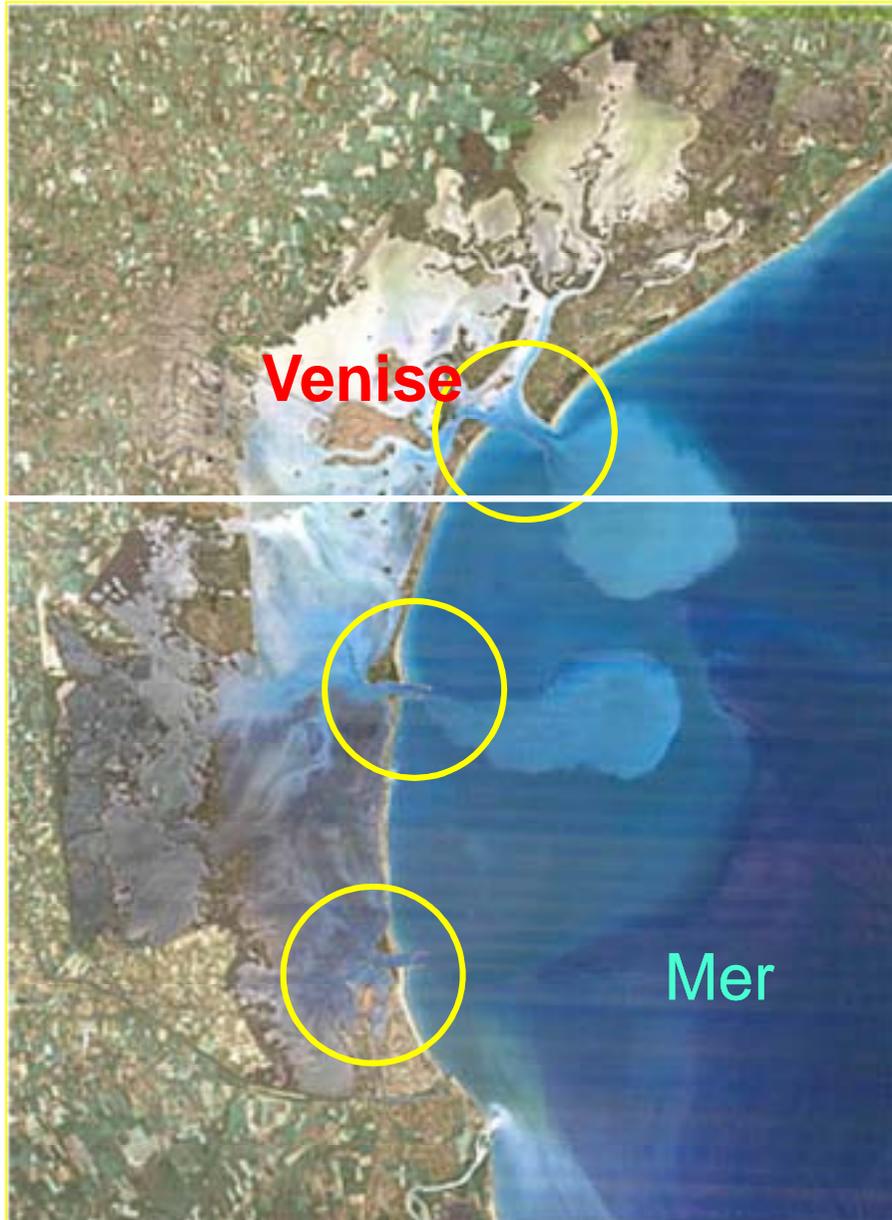
Fréquence des inondations à Venise (*'acqua alta'*) après les documents d'archive



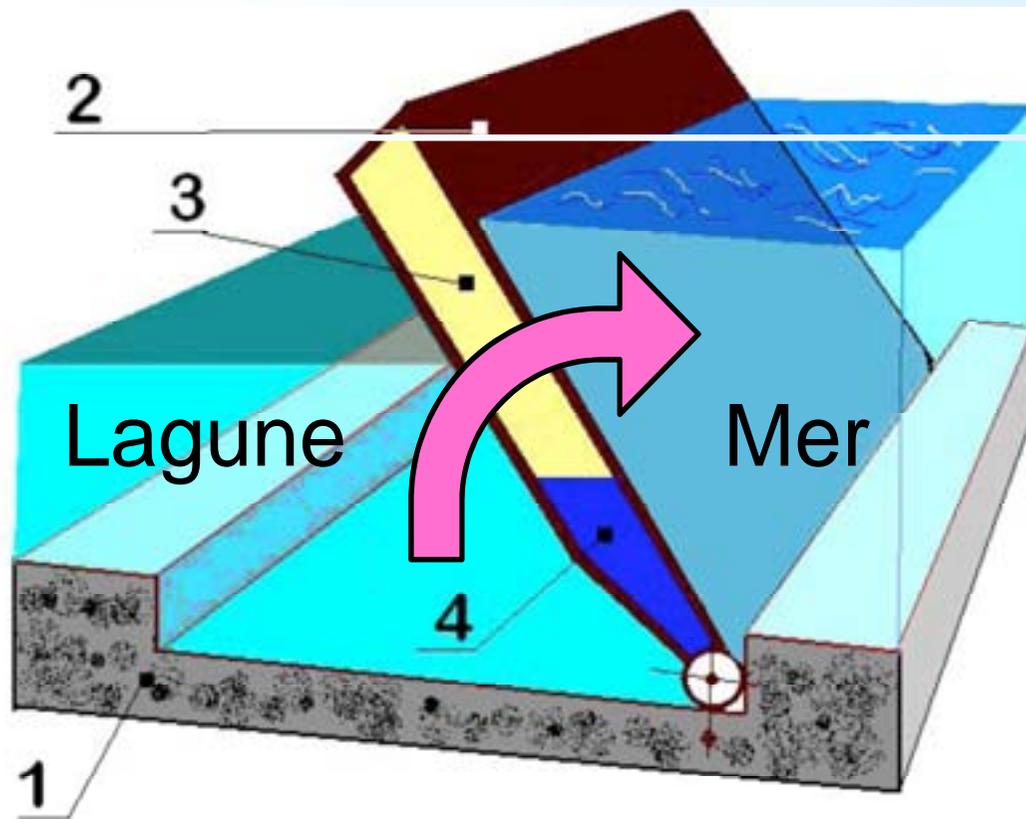
La fréquence des inondations dans les siècles passés est connue grâce aux documents d'archive et après 1872 grâce aux marégraphes. Le taux est dramatiquement changé en 1970, après l'excavation du Canal des Pétroles pour les navires pétroliers.



Le projet MOSE consiste en un système de 79 barrières mobiles qui protègent les trois entrées de la Lagune

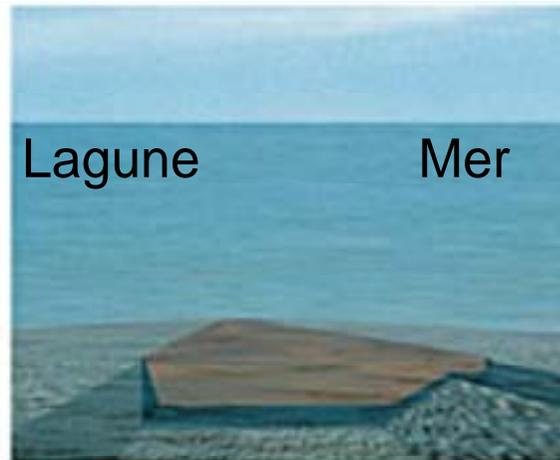
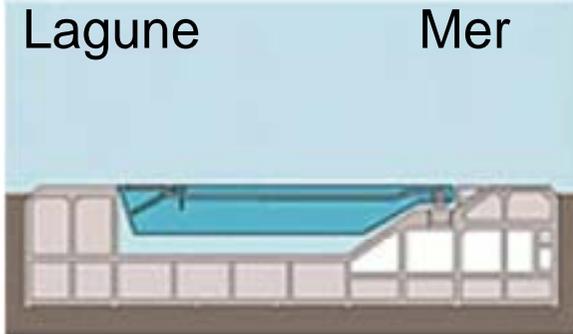


En temps normal, les barrières sont couchées sur le fond de la mer. Mais, lorsque l'on prévoit des grandes marées et des tempêtes, elles sont remplies d'air et s'élèvent, empêchant la mer de pénétrer dans la lagune et réduisant la hausse du niveau des eaux.

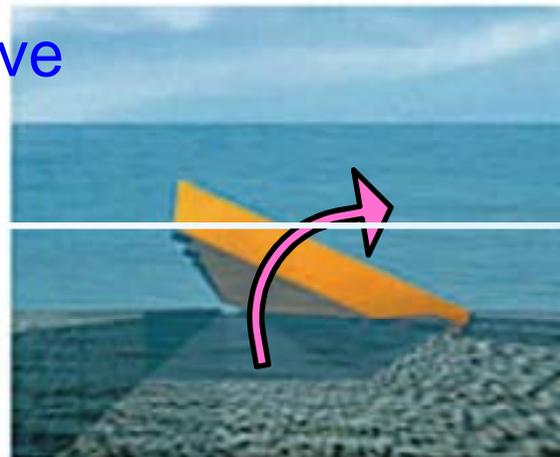
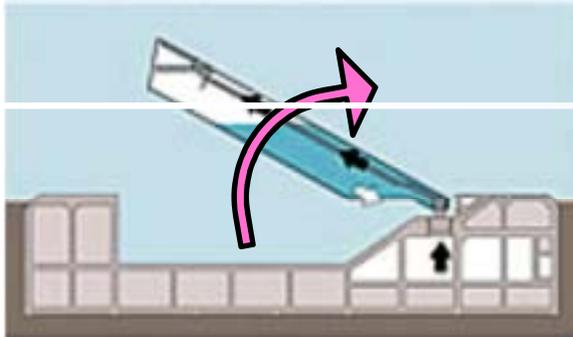


- 1 Fond de la mer
- 2 Barrière mobile
- 3 Air comprimé pour hausser la barrière
- 4 Eau de mer expulsé de la barrière

1. Barrière au fond



2. Barrière qui s'élève



3. Barrière en protégeant la Lagune



Le rôle du MOSE est d'atténuer la fréquence des inondations et leur l'impact, mais il pourrait dans certains cas être incapable de garantir une protection complète.

Dix ans sont nécessaires pour construire le MOSE. On attend qu'il devra fonctionner pour 40-50 ans.

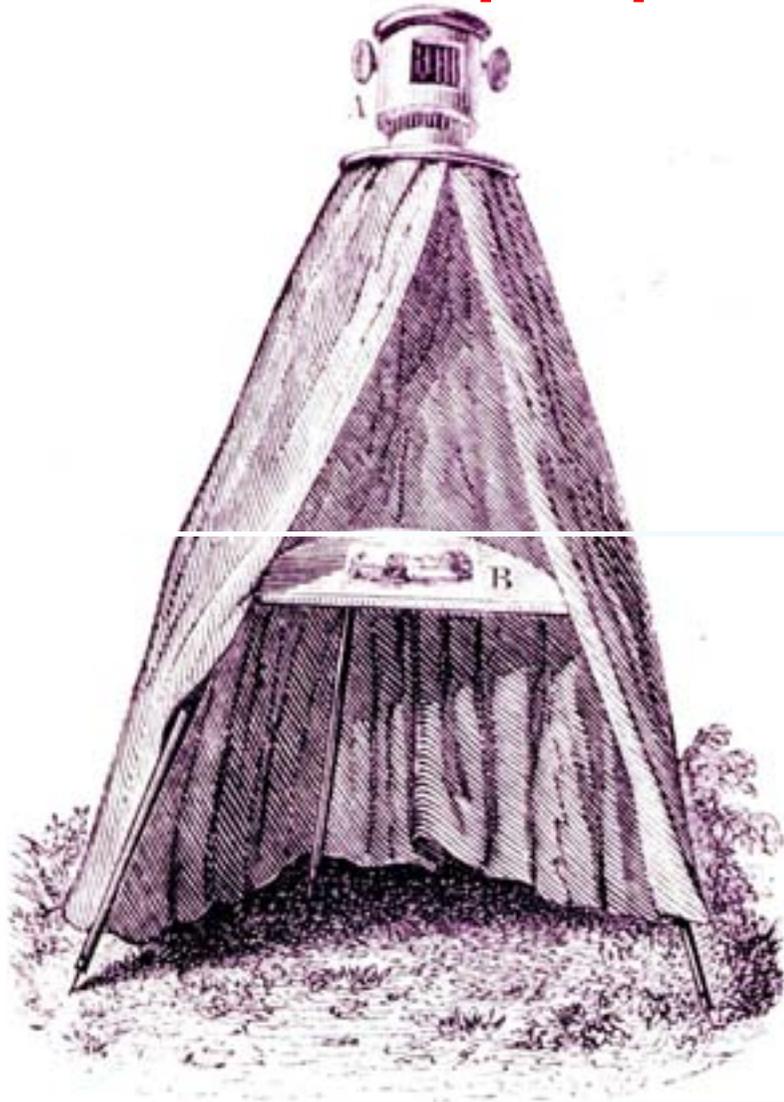
Il faut bien connaître le niveau de la mer qu'il devra affronter. Pour ça, la connaissance du passé est essentielle.



La connaissance du passé est la clé pour interpréter le future.

L'artiste Vénitien **Antonio Canal** (1697-1768), dit **Canaletto** et son neveu **Bernardo Bellotto** (1720-1780) peuvent nous aider avec ses tableaux faits à l'aide de la *Camera Obscura*

Pouvons nous “voir” la mer comme elle était quelque siècle avant nous?

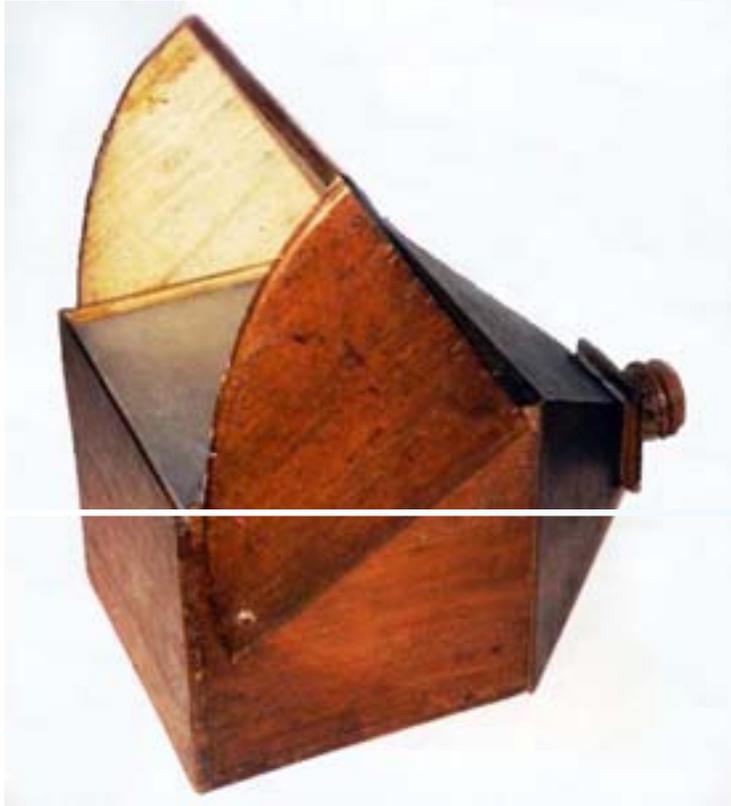


Camera obscure modèle tente

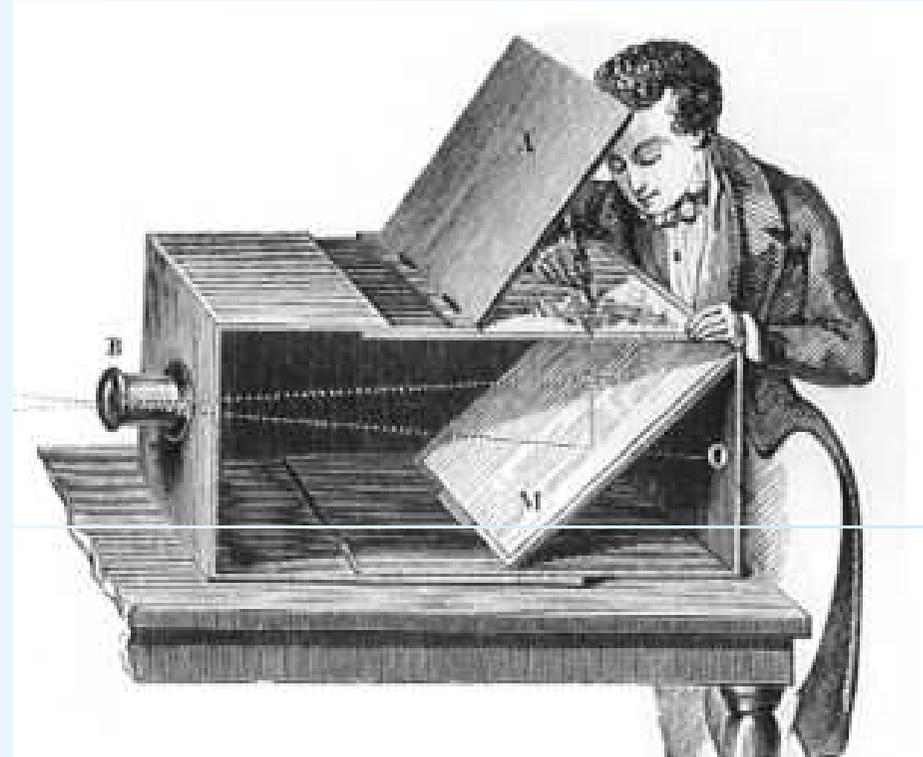
Avant **Canaletto**, les peintres faisaient ses tableau avec une esquisse rapide sur place, ou bien avec une Chambre Obscure, et après ils finissaient ses tableaux dans leur ateliers avec de l'imagination.

Canaletto et Bellotto utilisaient la Camera Obscura comme un appareil de photos puisque il étaient très soigneux avec tous les détails. Les bâtiments dans les tableaux sont comme en réalité.

La '*Camera Obscura*' nous donne des photos un siècle avant l'invention de Daguerre (1839)

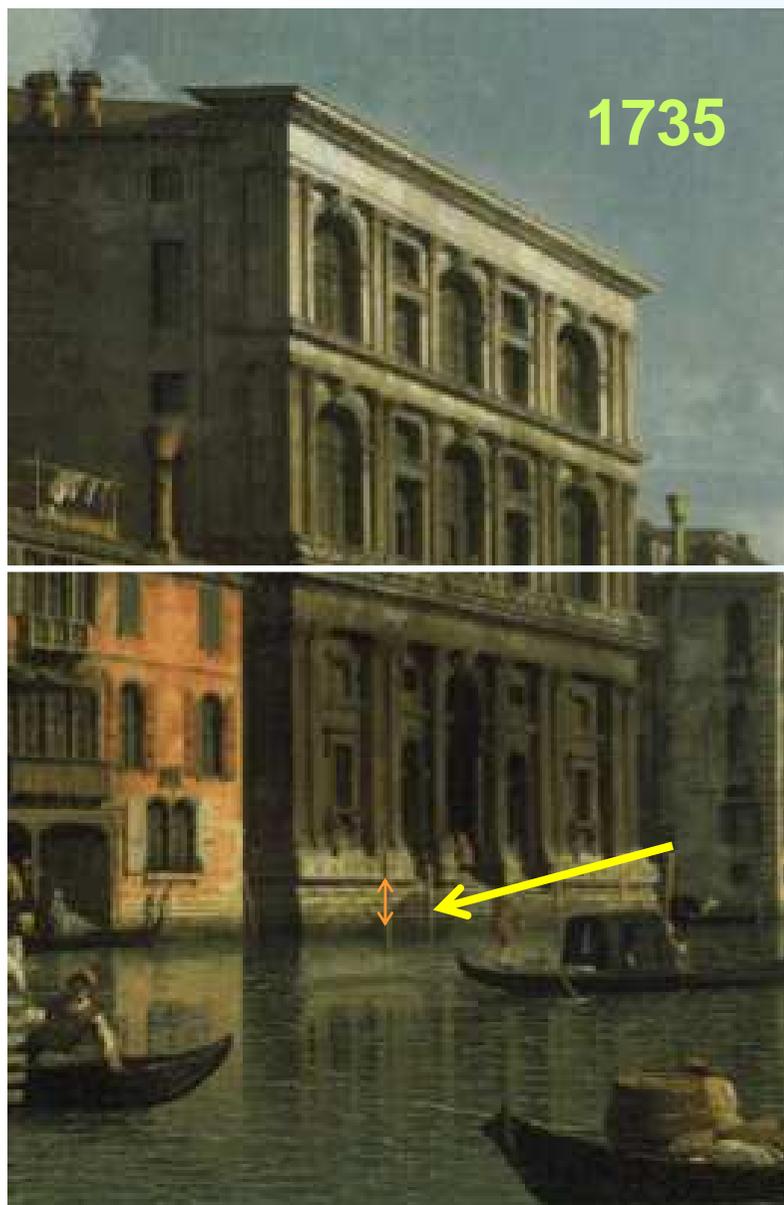


Une *camera obscura* utilisée par Canaletto (avec l'aimable autorisation du Musée Correr de Venise)



Réplique d'une *camera obscura* dont le côté a été enlevé pour montrer, à l'intérieur, le miroir, placé en diagonale, pour réfléchir le faisceau de lumière, et l'image, sur la vitre du dessus.

De la vue du tableau au niveau de la mer



L'utilisation de la camera obscura peut nous fournir une «image» d'un certain moment dans le passé, mais rien sur le niveau moyen de la mer.

Nous avons besoin d'une autre information.

Cela est fournie par le front des algues qui sont un marqueur biologique du niveau de l'haute marée moyenne.

Heureusement, Canaletto et Bellotto ont produit avec précision tous les détails, y compris le front des algues, dans leurs peintures.

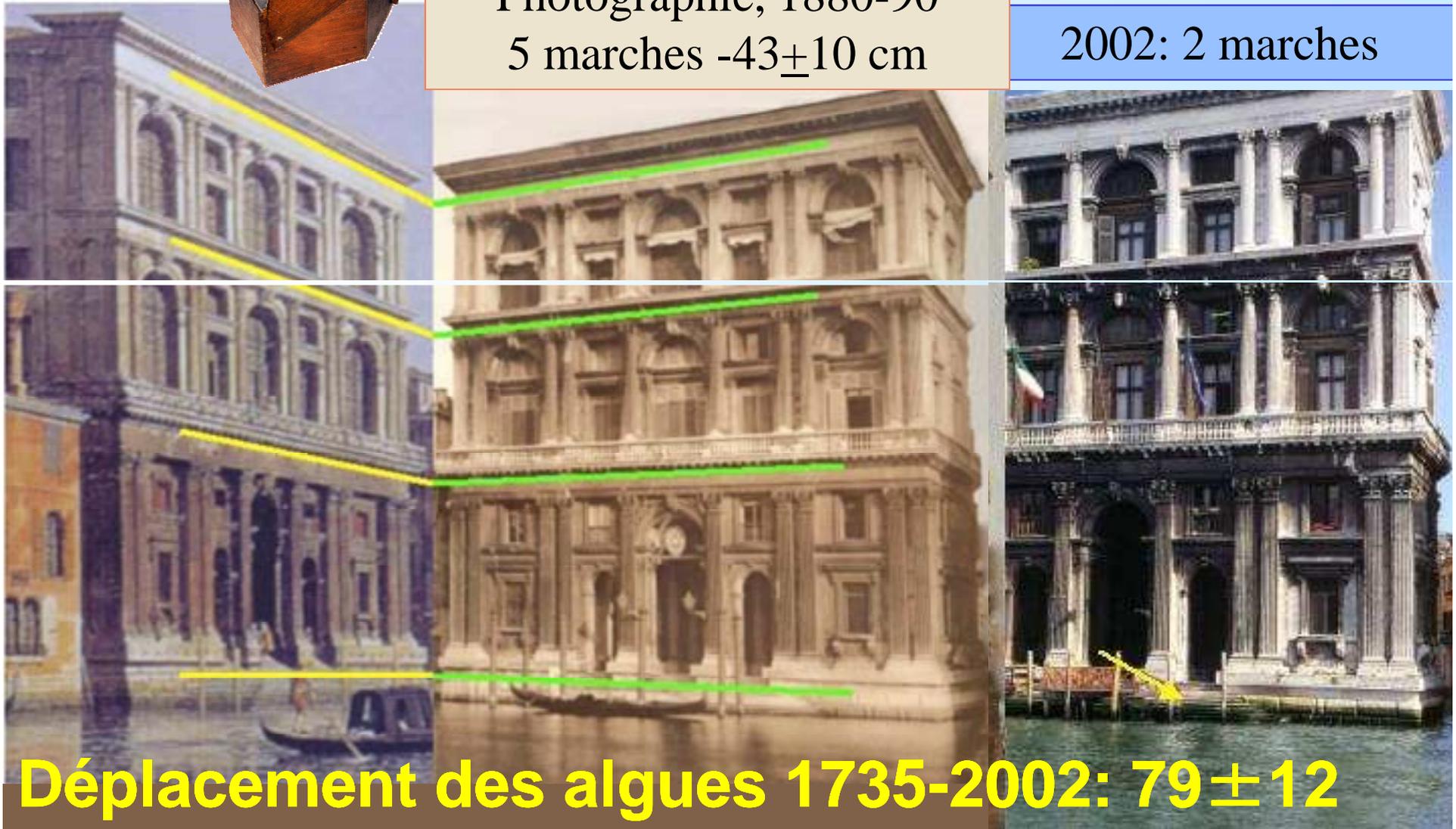
Canaletto, 1735
7 marches -79 ± 12 cm



Palais Grimani: un test sur la précision des tableaux

Photographie, 1880-90
5 marches -43 ± 10 cm

2002: 2 marches



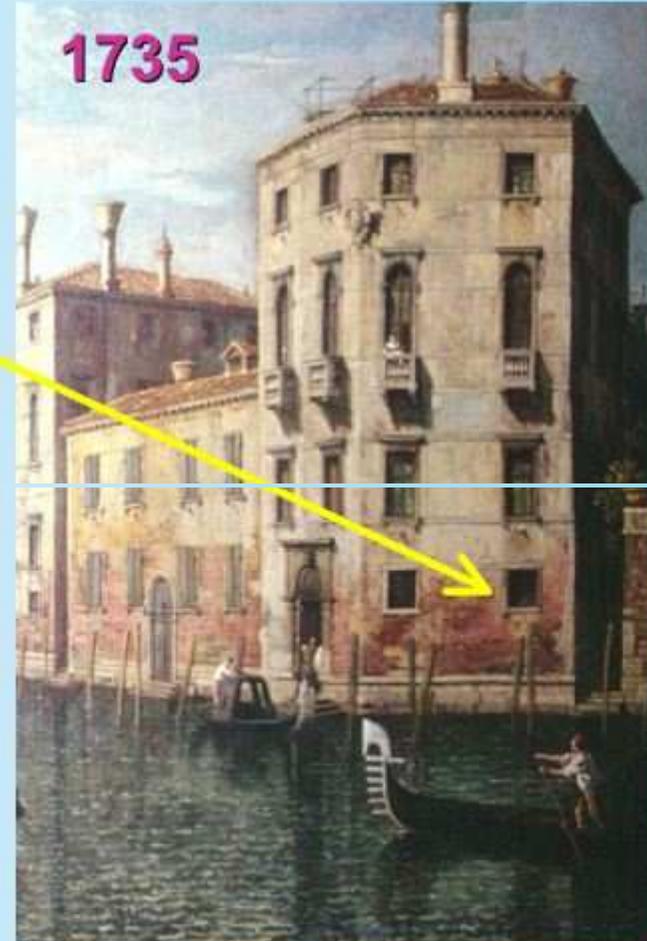
Déplacement des algues 1735-2002: 79 ± 12

Un exemple de la méthodologie



Canaletto, 1735 (avec l'aimable autorisation de la Cassa di Risparmio, Venise)

Canaletto: Cannaregio



Aujourd'hui (2002)

Le tableau (1735)

Déplacement des algues : 71 ± 10 cm

Bellotto, 1732: Palais Corner della Ca' Grandia

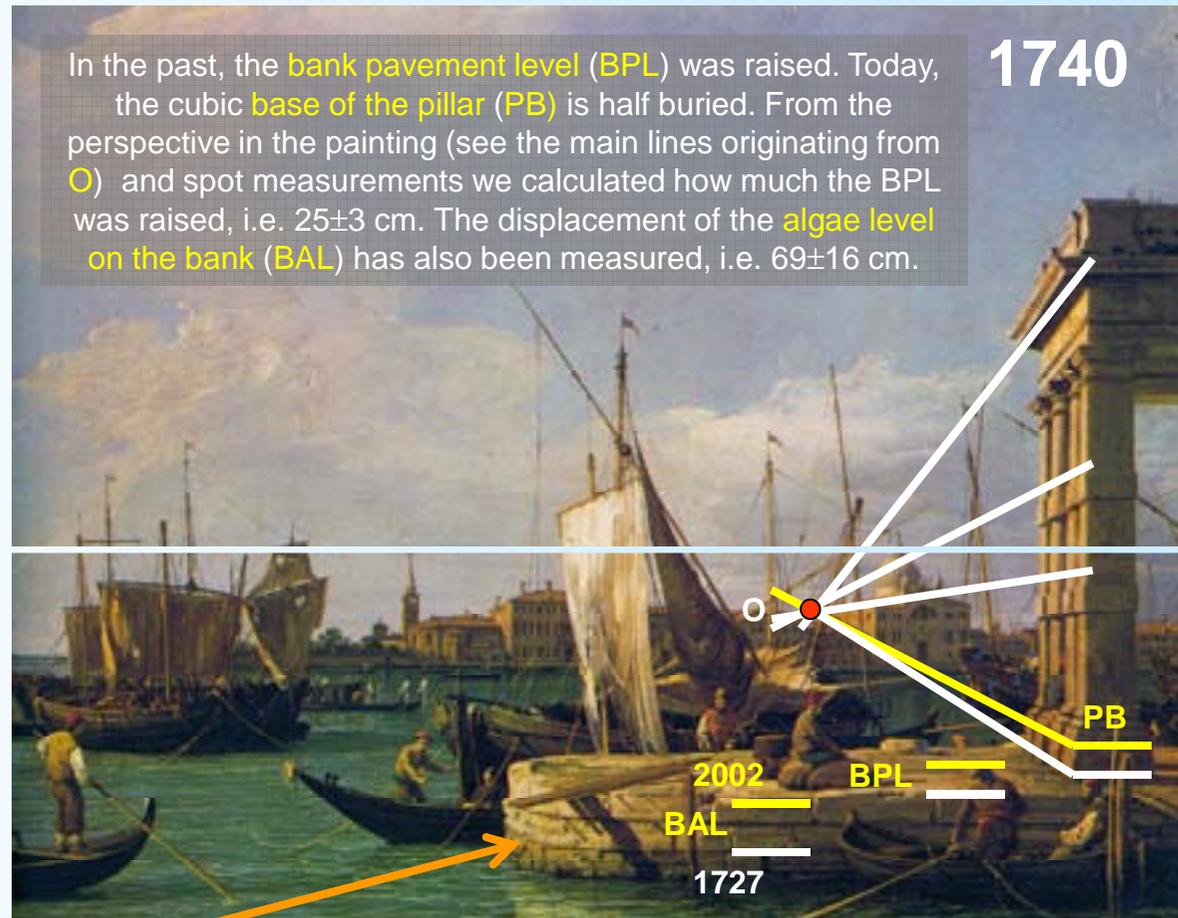


Déplacement des algues : 70 ± 9 cm

D. Camuffo - CNR ISAC



Canaletto, 1740: Punta Dogana

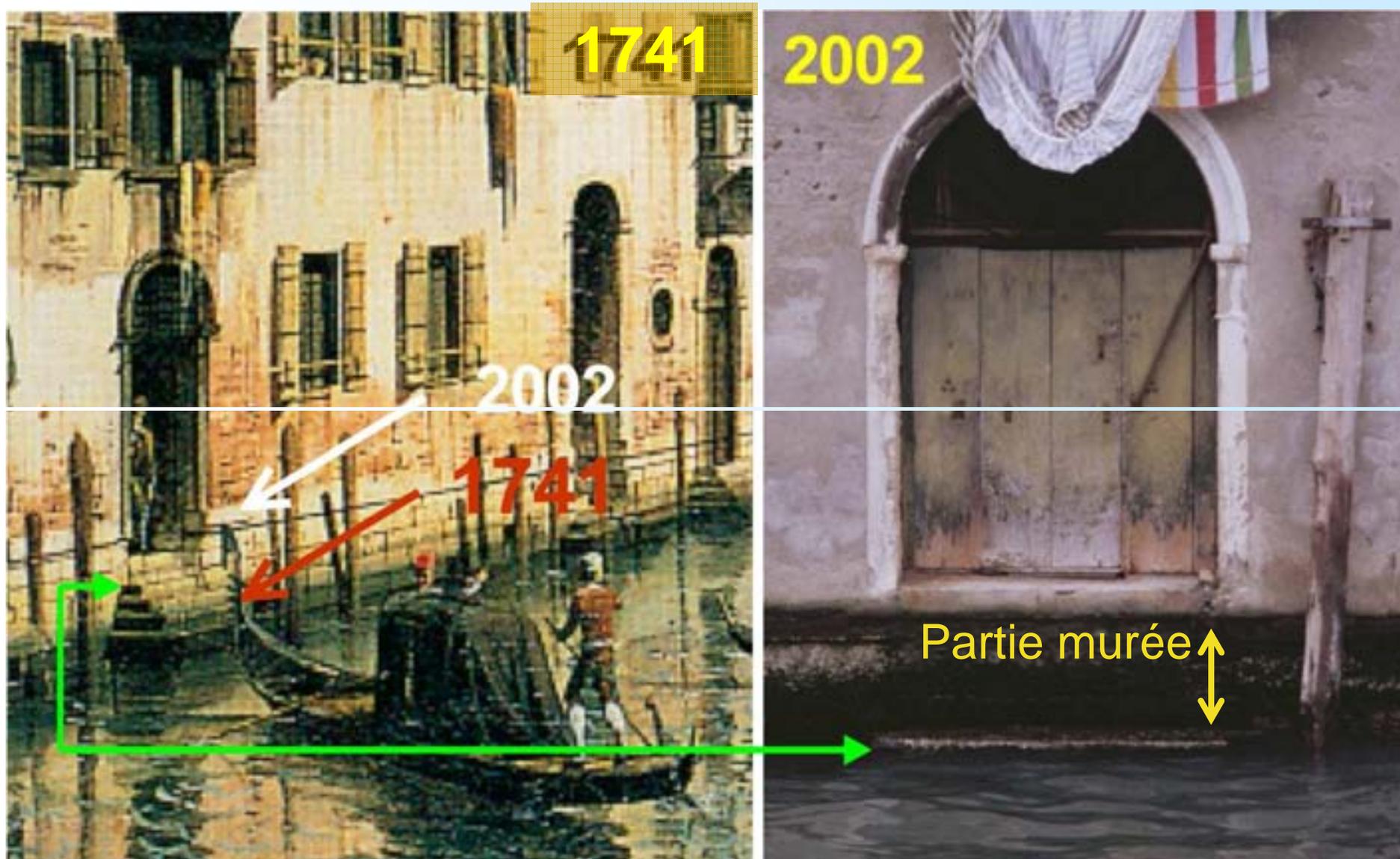


On a dû travailler avec l'aide de la prospective, parce que le quai a été haussé

Déplacement des algues : 69 ± 10 cm

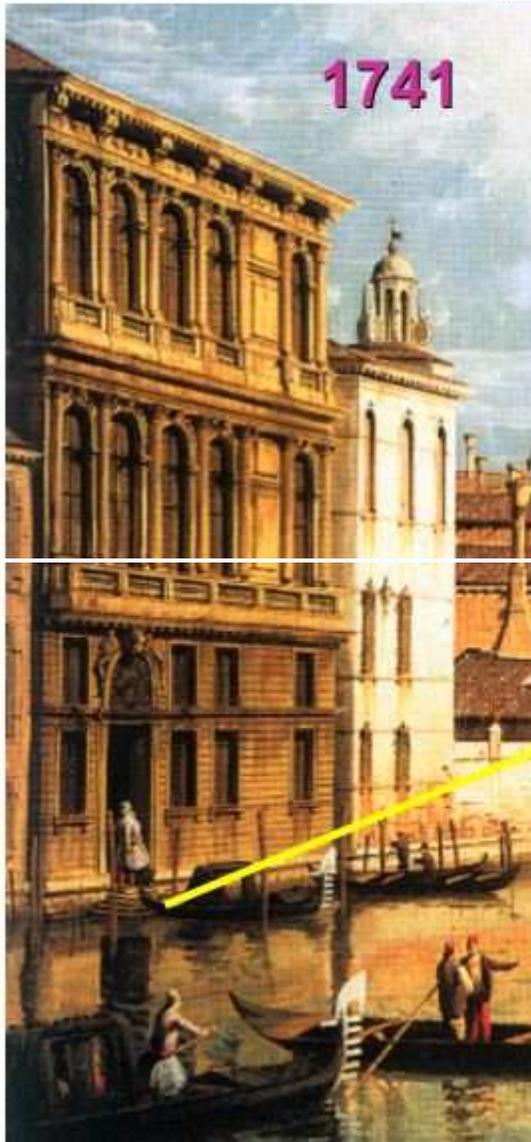


Bellotto, 1741 - S. Giovanni e Paolo



Déplacement des algues : 77 ± 10 cm

Bellotto (1741) – Palais Flangini

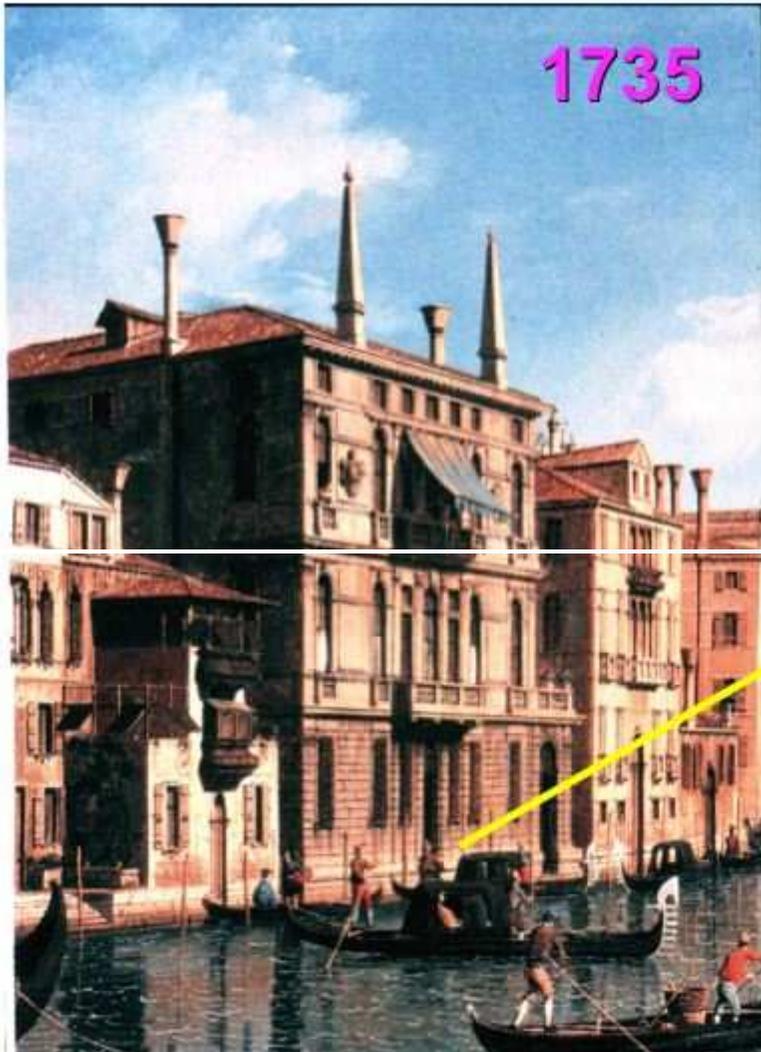


Les algues infestent toutes les marches de l'escalier extérieur.

Déplacement des algues : 71 ± 12 cm



Bellotto (1735) – Palais Giustinian-Lolin



Les algues infestent toutes les marches de l'escalier extérieur. On a dû construire un quai en bois pour permettre l'accès.

Déplacement des algues : 66 ± 10 cm



Comme évaluer la précision des tableaux

- Comparaison avec l'image vraie et tous les détails.
- Évaluation des erreurs de taille dans les peintures.
- Quand nous avons une série de peintures avec la même vue nous devrions suspecter une certaine propagation des erreurs.
- Devons-nous considérer ces peintures comme des copies, des reproductions ou bien toutes les peintures sont des originales?
- Pouvons-nous déterminer le premier de chaque série de tableaux?

Six tableaux avec la même vue



Canaletto, FW,
Cambridge, 1730s



Bellotto, FW,
Cambridge, > 1741?



Bellotto, Abans Colnaghi,
Londre, 1741-2



Bellotto, Stewart,
NY > 1743?



Bellotto, Getty,
Malibu, USA



Anonyme (Bellotto?),
Ca'Rezzonico, Venise

Dans le cas de six peintures avec la même vue, nous pourrions supposer que le premier est « l'original » et le suivant des reproductions ou des copies de qualité inférieure. Est-ce vrai ?

- Nous savons que Canaletto (1730) a fait la première peinture de cette vue.
- Les quatre tableaux de Bellotto et l'Anonyme (Bellotto?) sont des reproductions du Canaletto, ou bien ils sont tous des « originaux indépendants » ?
- Pouvons-nous nous établir d'une manière objective si une peinture a été dérivée par des autres, c.-à-d. pouvons nous distinguer la mère des fils ?
- Est-ce que qualité des détails (c.-à-d. erreurs des copies) empire avec le nombre de reproductions ? La famille de la propagation des erreurs!

Combien les details des peintures correspond à la réalité ? Le rapport : Taille dans la peinture/taille aujourd'hui

2010

Canaletto
Fitzwilliam

Bellotto
Fitzwilliam

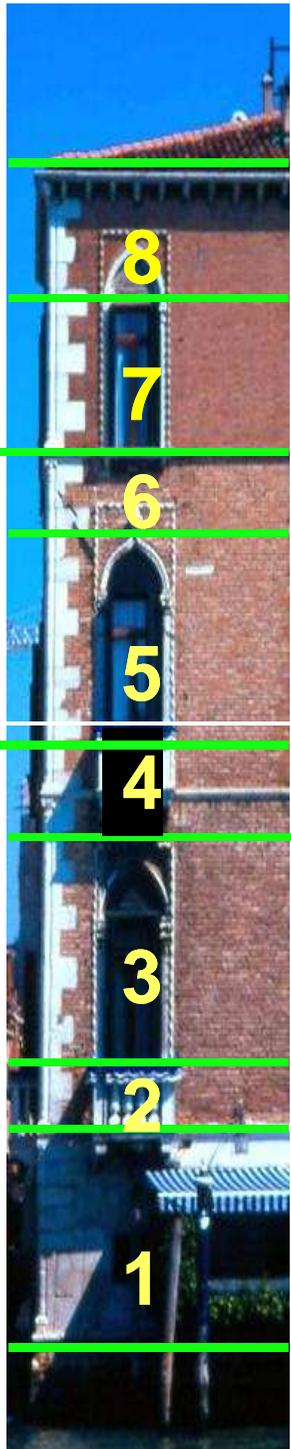
Bellotto
Abans,
London

Anonymous
Bellotto?Rez
zonico

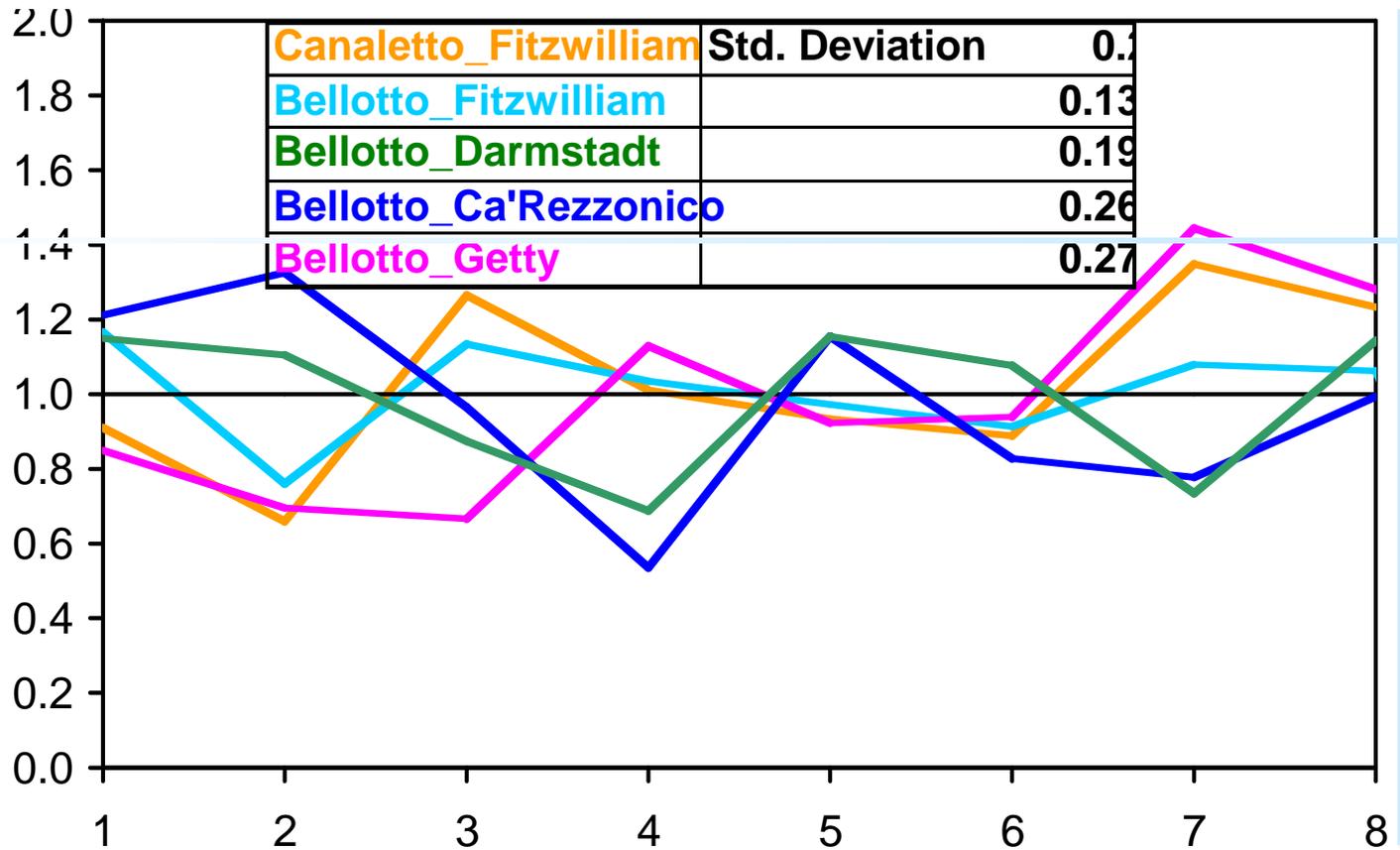
Bellotto
Getty



Canaletto FW (1730s) a été le premier de ces vues, mais Bellotto FW est le plus précis. Le Bellotto ne sont pas des copies du Canaletto (1730s), mais Bellotto est retourné sur le même site pour faire ses peintures nouvelles, indépendamment entre eux, sans aucune famille de transmission des erreurs.



Taille dans la peinture / taille aujourd'hui



Tailles de bâtiment de référence : les bandes 1-8, voir à gauche

Comment corriger pour la taille différente des vagues produites en siècle XVIII par des bateaux à rames et ceux des bateaux à moteur modernes ? La mesure des vagues pendant la Régata et les jours normaux nous donne la différence

Canaletto: Regata



Un control interne de fiabilité : si le front des algues n'est pas exactement reproduit dans les tableaux, chaque peinture devrait fournir un changement du niveau de la mer aléatoirement distribué.

Heureusement, tous les tableaux donnent presque le même résultat.

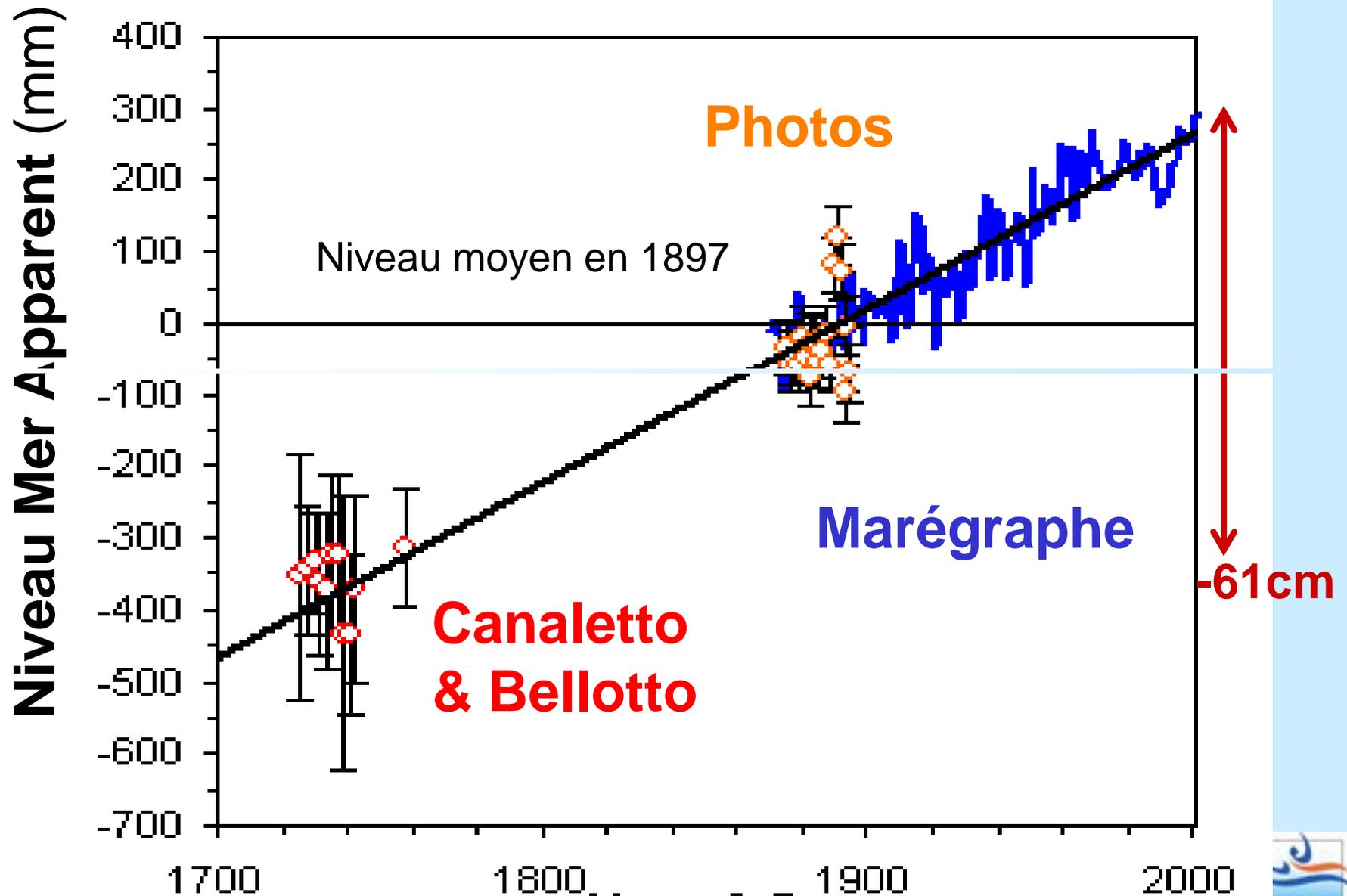
Détermination de l'Hausse Apparent du Niveau de la Mer

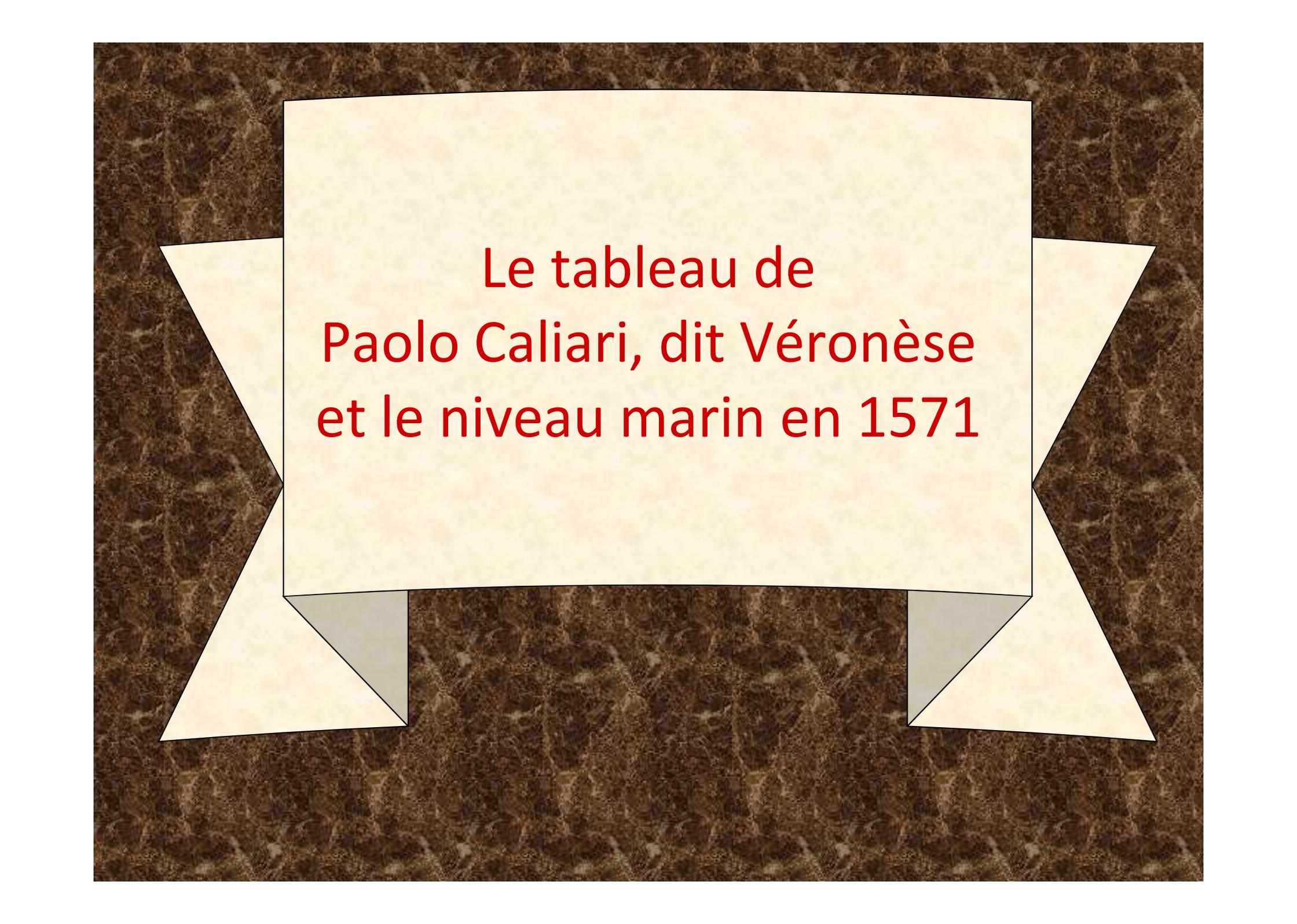
Incertitudes: variabilité interannuelle de la houle et du front des algues: Déviation Standard 3.8 cm. Mesure des détails ± 11 cm

69 ± 11 cm	Moyenne des déplacements observés (12 tableaux)
- 5 ± 1 cm	Différence entre les vagues des bateaux à rames et des bateaux à moteur : 5 cm
3 ± 0.1 cm	Amplification de l'amplitude des houles et marées pour l'effet dynamique des excavations dans la Lagune
<hr/>	
61 ± 12 cm	Hausse Apparent de la Mer

Hausse Apparent de la Mer des trois derniers siècles:
2.3 ± 0.5 mm/an. Sans les effets locaux: 1.9 ± 0.5 mm/an

Marégraphie, photos et peintures: le niveau marin des trois derniers siècles





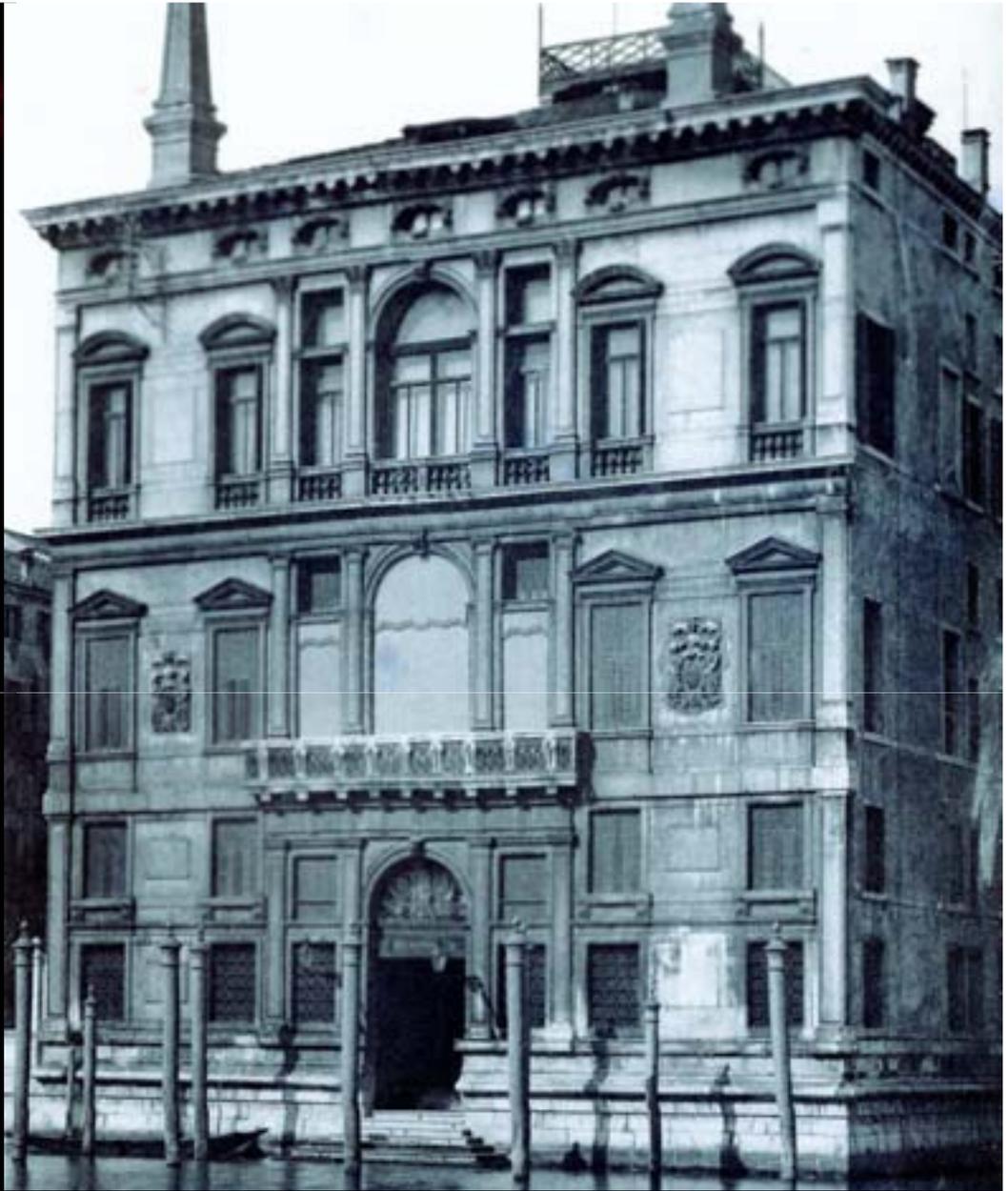
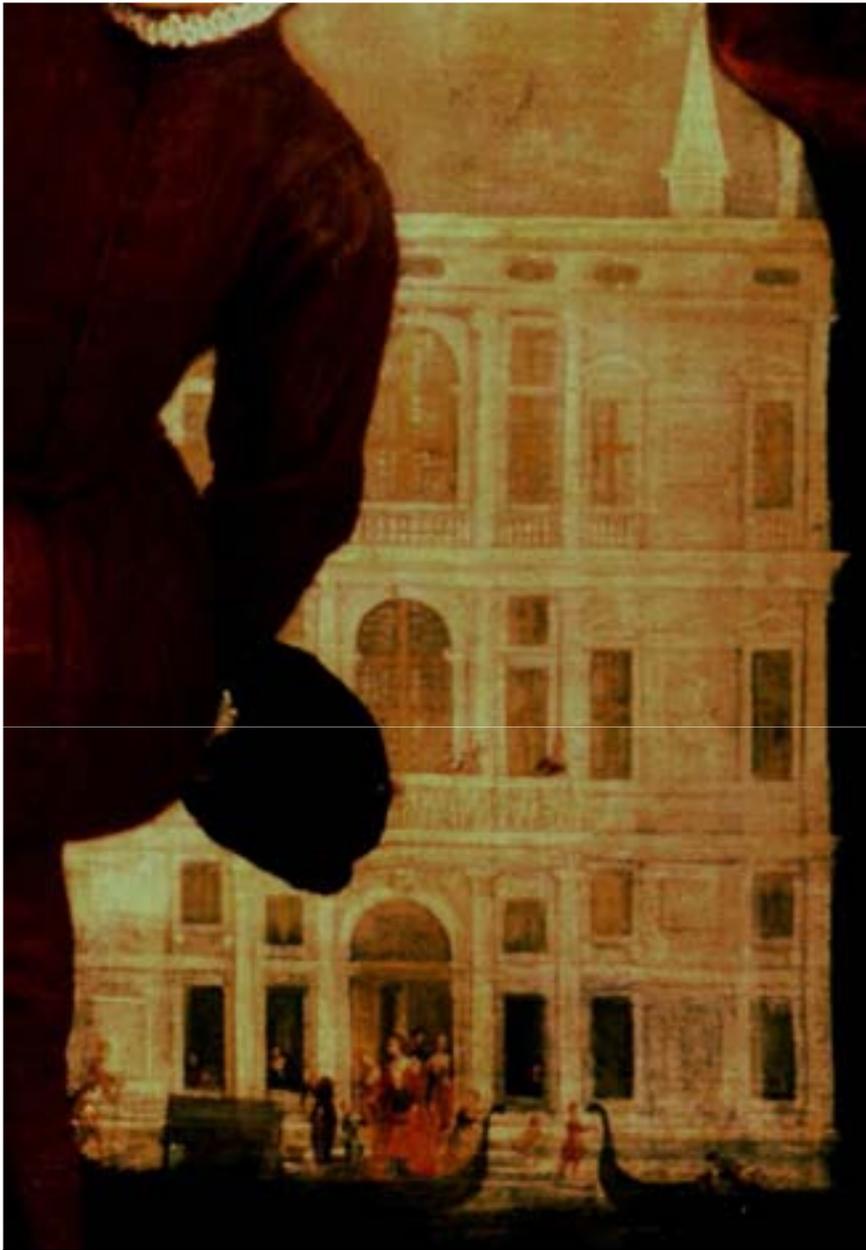
Le tableau de
Paolo Caliari, dit Véronèse
et le niveau marin en 1571



Paolo Caliari, dit Véronèse (1571): présentation de la Famille Coccina à la Vierge.

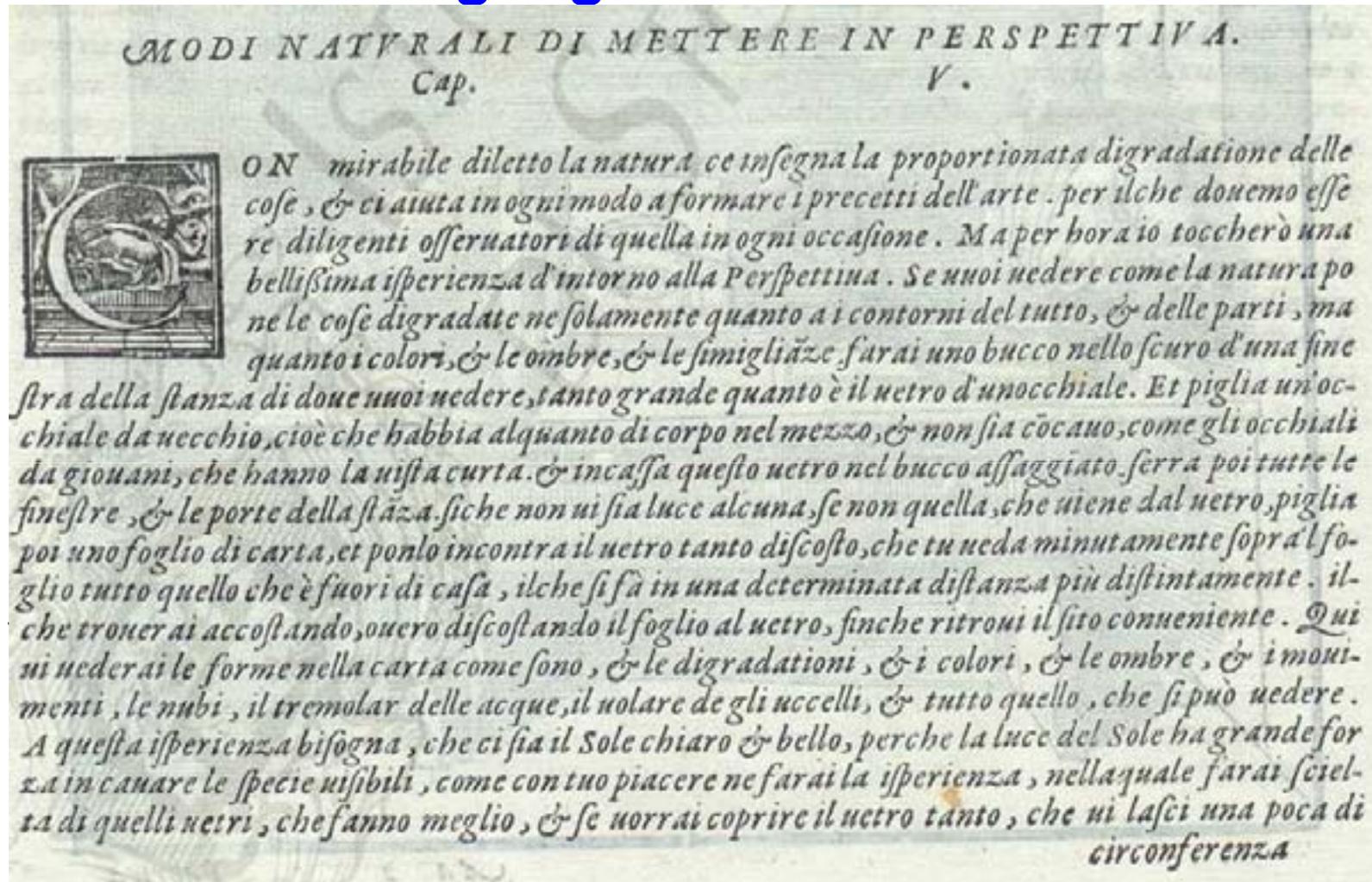
Le bâtiment A est le Palais Coccina, la présence du bâtiment B répond à un but artistique.

Avec l'aimable autorisation de la *Gemäldegalerie Alte Meister*, Dresde.



Le Palais a été reproduit très soigneusement, avec une camera obscura, comme on peut déduire de Barbaro (1569)

La Camera Obscura à Venise, 1569: le témoignage de Daniel Barbaro



Daniel Barbaro, La pratica della prospettiva di monsignor Daniel Barbaro ... : opera molto utile a pittori, a scultori & ad architetti: con due tavole, una de' capitoli principali, l'altra delle cose più notabili contenute nella presente opera. Venice, Borgominieri, p.192, (1569)

Détail des marches du Palais A



Détail du Palais A: 5 marches sans algues = -90 cm
Après correction = -80 cm

Détail des marches du Palais A



Détail du Palais A: 5 marches sans algues = -90 cm
Après correction = -80 cm

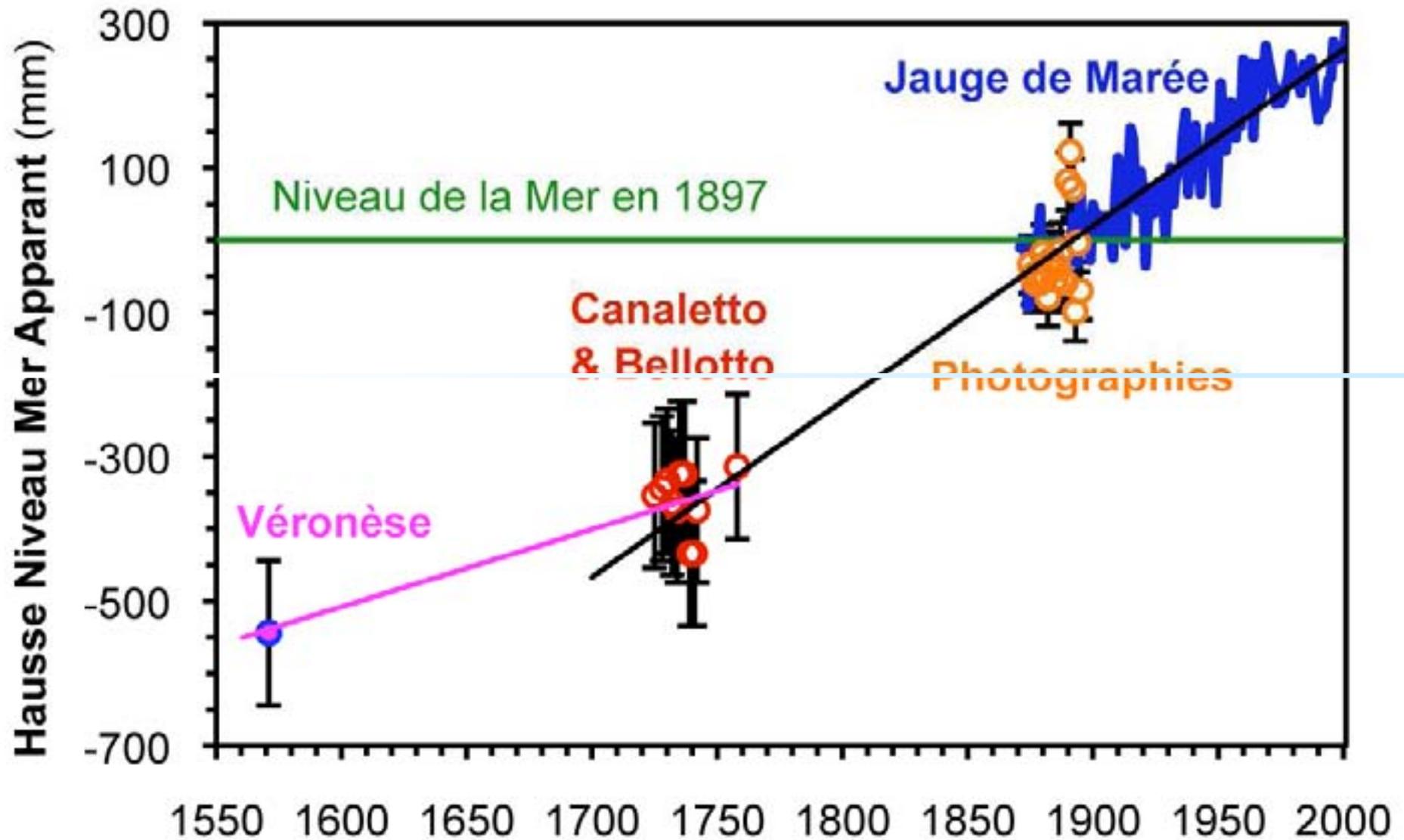
Le même Palais aujourd'hui

Les algues infestent toutes les
marches de l'escalier extérieur.

On a dû construire un quai en
bois pour permettre l'accès.

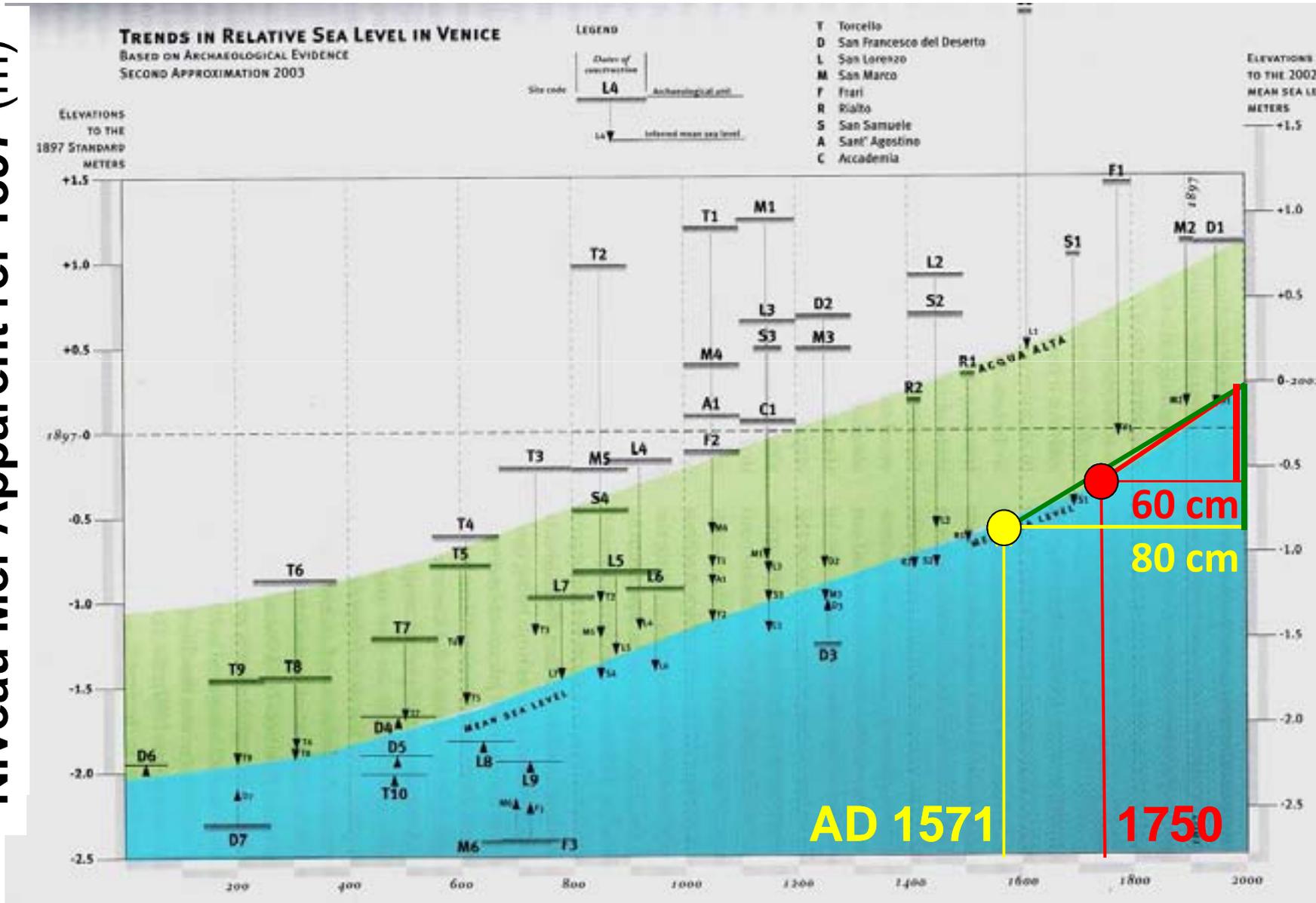


Le niveau de la Mer à Venise depuis 1571



Les résultats de Véronèse et de Canaletto sont en accord avec les réseaches archéologiques de Ammerman (2005)

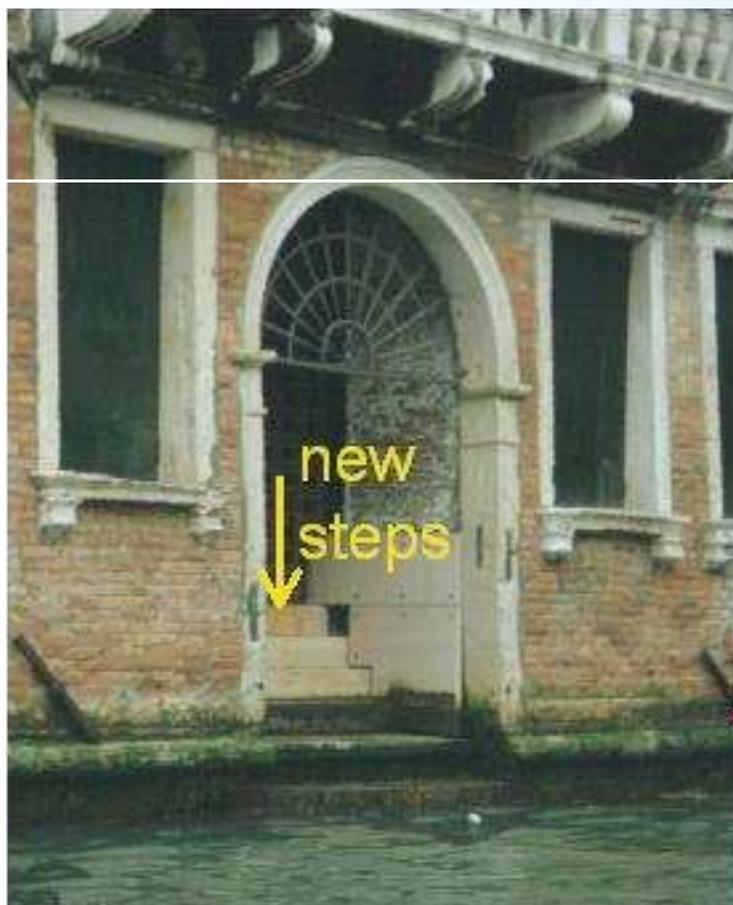
Niveau Mer Apparent ref 1897 (m)



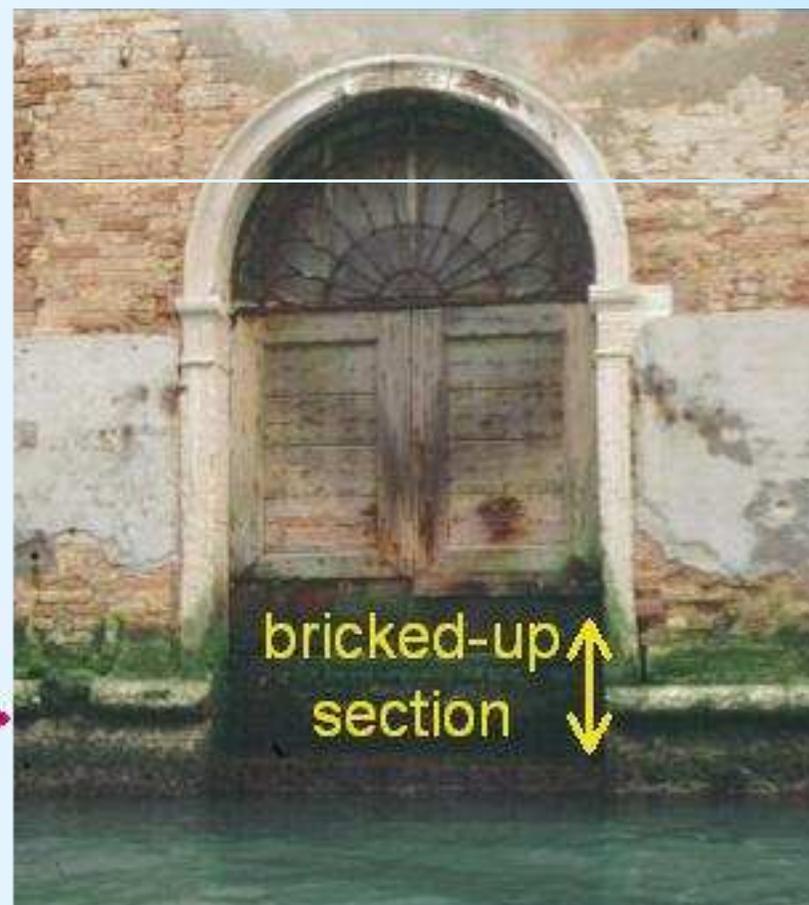
Niveau Mer Apparent ref 2004 (m)

Quel sera-t-il le destin des bâtiments?

Les bâtiments ont une rangée de pierre d'Istrie non perméables pour arrêter la remontée capillaire. Or, cette couche est atteinte par les marées et est incapable de protéger les murs: le rendu, les briques et les pierres sont détruits par le sel marin



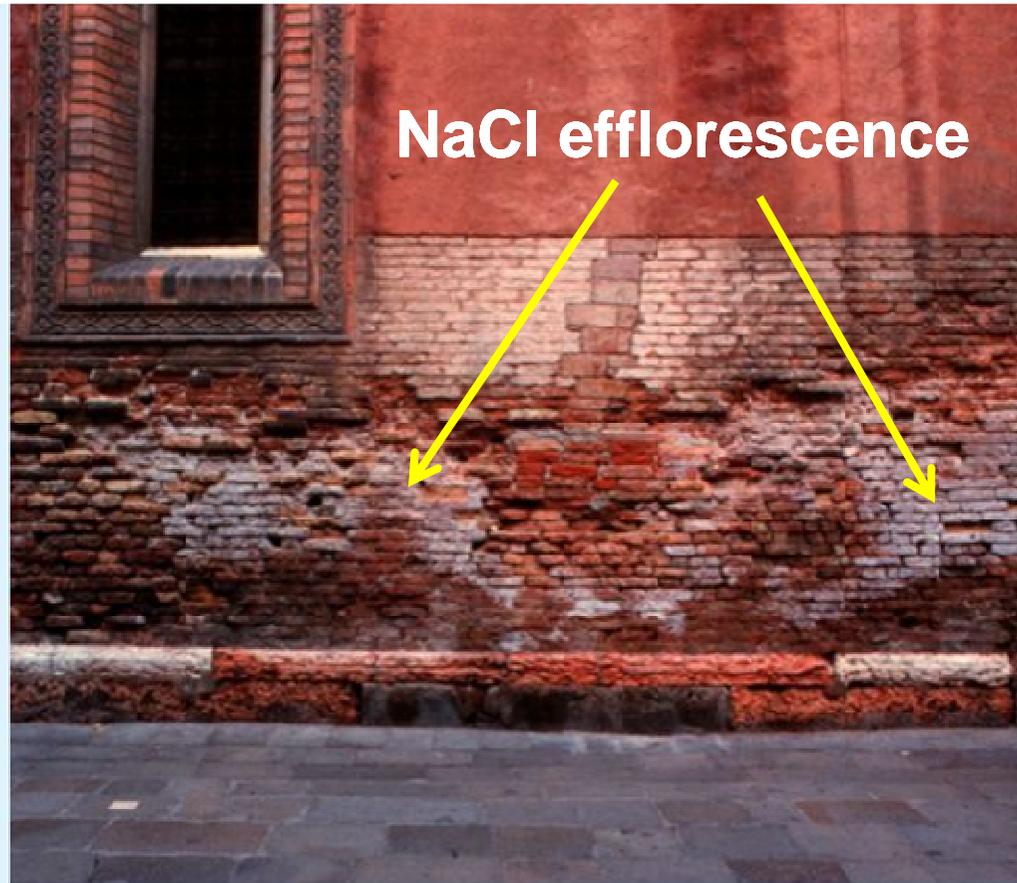
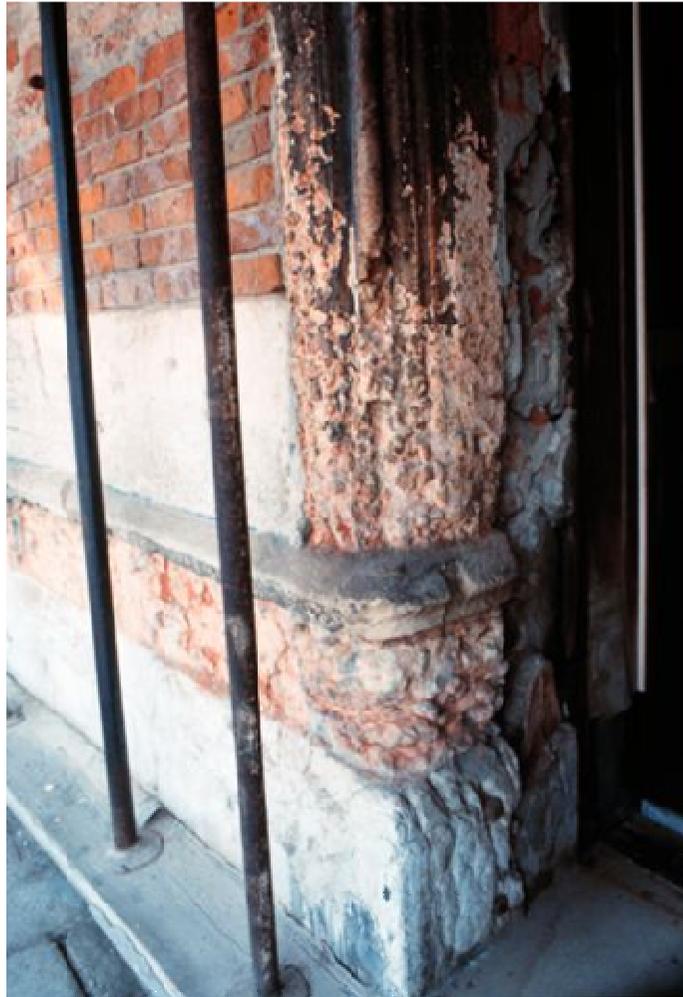
IS
↔



Une solution temporaire est d'élever le sol lorsque l'eau envahit les rues. Cela peut aider à la circulation des piétons, mais les bâtiments sont endommagés de manière irréversible



L'impact de la remontée capillaire et des cristaux du sel marin est terrible, non seulement dans les canaux, mais aussi dans les rues envahies par l'eau de mer



Conclusions

La submersion est en partie due à la dilatation thermique des eaux marines (eustathism) et en partie à l'affaissement du sol (principalement subsidence tectonique, inchangé depuis des millions d'années).

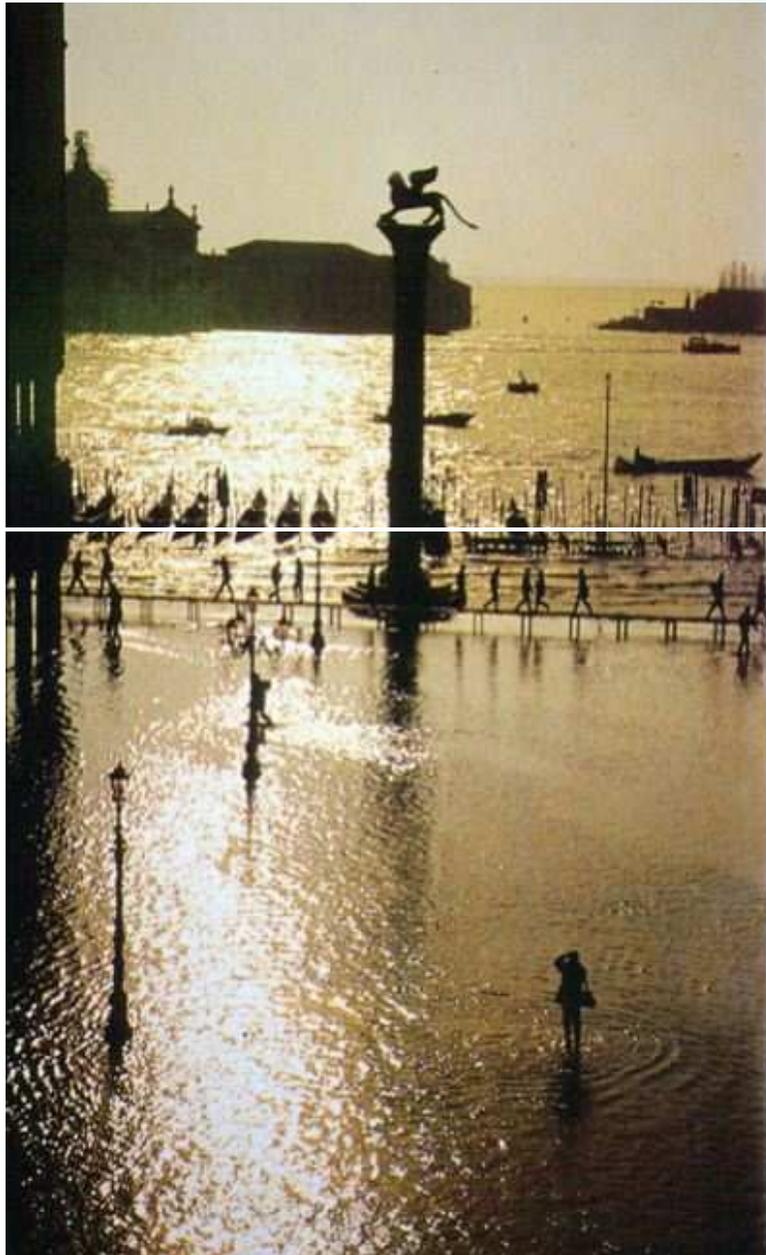
Au temps de Véronèse la montée de la mer était négligeable par rapport à la subsidence tectonique. Dans les derniers trois siècles les deux contributions (mer et terre) ont eu le même ordre de grandeur, 50 – 50%, chacun environ 1.2 -1.3 mm/an.

Les barrières du MOSE peuvent être utiles dans le court terme, mais elles ne peuvent pas fournir une solution ni à long terme, ni complète.

Aujourd'hui, la mer a surmonté le niveau critique et le sel marin a imprégné la maçonnerie des bâtiments et il détruit plâtre, mortier et briques. Il s'agit d'un mécanisme irréversible conduisant à la fin des bâtiments.

Related Papers

- Camuffo, D., 1993: Analysis of the Sea Surges at Venice from A.D. 782 to 1990, *Theoretical and Applied Climatology*, **47**, 1-14.
- Enzi, S. and Camuffo, D., 1995: Documentary Sources of Sea Surges in Venice from A.D. 787 to 1867, *Natural Hazards*, **12**, 225-287.
- Camuffo, D., 2001: Canaletto's paintings open a new window on the relative sea level rise in Venice, *Journal of Cultural Heritage* **4**, 227-281
- Camuffo, D. and Sturaro, G. 2003: Sixty-cm submersion of Venice discovered thanks to Canaletto's paintings. *Climatic Change*, **58**, 333-343
- Camuffo, D. and Sturaro, G., 2003: Use of proxy-documentary and instrumental data to assess the risk factors leading to sea flooding in Venice, *Global and Planetary Change*, **40**, 93-103.
- Camuffo, D., Pagan E., Sturaro G., 2005: The extraction of Venetian sea-level change from paintings by Canaletto and Bellotto, pp. 129-140 in: C.A. Fletcher and T. Spencer (eds), *Flooding and Environmental Challenges for Venice: State of Knowledge*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Camuffo, D., 2010: Le niveau de la mer à Venise d'après l'œuvre picturale de Véronèse, Canaletto et Bellotto. *Révue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, **57**(3), 92-110.



Je vous remercie de votre attention,
et merci aussi à:



L' Université de La Rochelle, le CNRS, E. Garnier et tous les Collègues des Comités Scientifique et d'Organisation du Colloque



Climate for Culture

