

Support de cours pour enseignants d'Architecture et de Génie Civil

Module 02B: **Applications: Infrastructure**

Sommaire

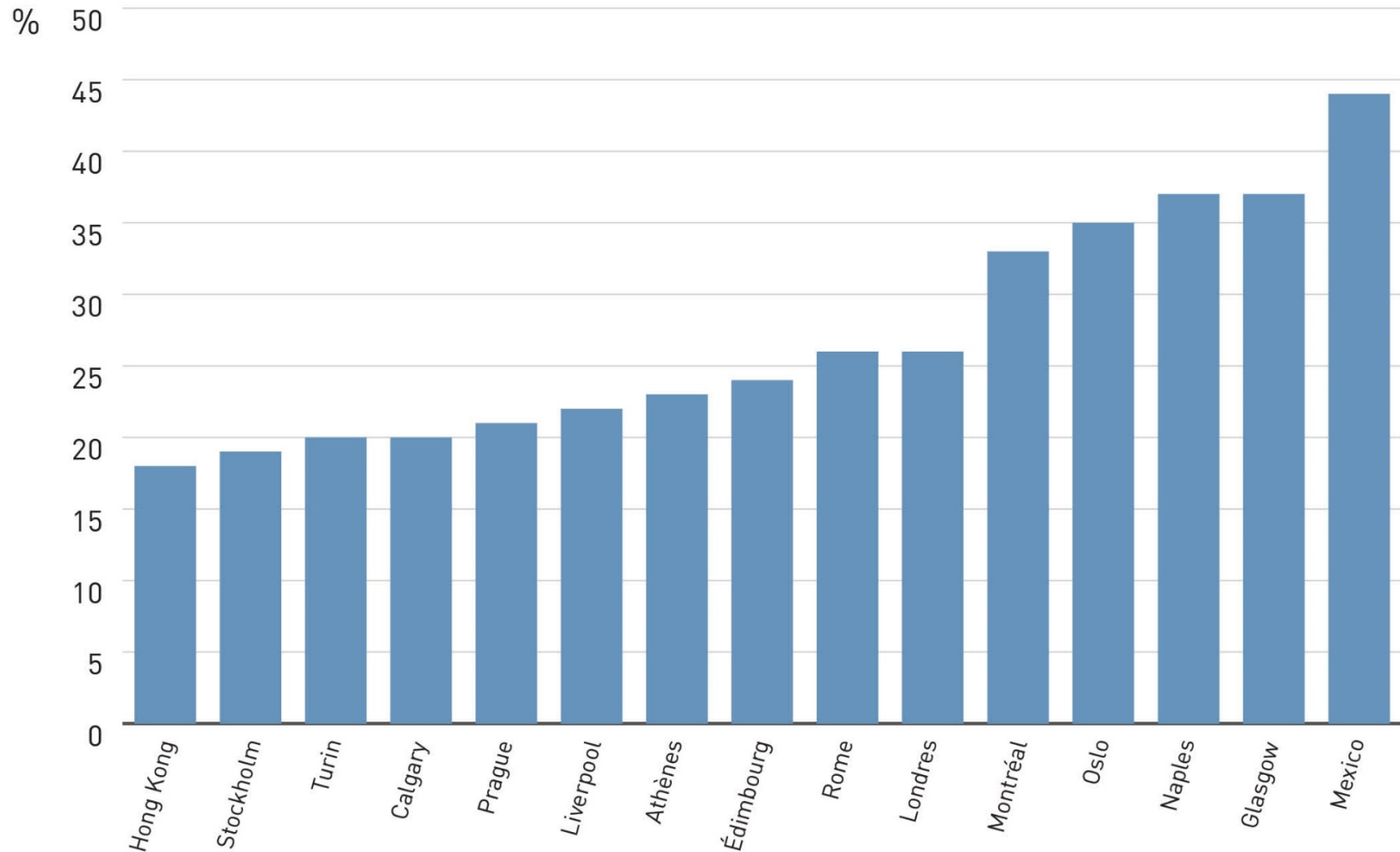
1. Réseaux d'eau potable
2. Ponts
3. Infrastructures côtières

1. Réseaux de distribution d'eau

Pourquoi utilise t'on les aciers inox?

- Faible pertes par fuites: Les inox ne développent pas de corrosion uniforme comme c'est le cas pour la fonte ou l'acier, corrosion qui peut conduire à la rupture des canalisations. Les vannes inox ne se grippent pas. Moyennant une conception appropriée, les tuyauteries inox fonctionnent sans risque dans les zones sismiques
- Hygiéniques : Les inox sont inertes vis-à-vis de l'eau potable et conservent ainsi la qualité de l'eau
- Durée de vie étendue: Les installations inox peuvent fonctionner 100 ans grâce à leur excellente résistance à la corrosion. Les inox résistent à la corrosion dans la plupart des sols et ne nécessitent pas de revêtement ou de protection électrochimique
- Recyclable : A la différence des canalisations en ciment ou non-métalliques, les inox se recyclent très facilement et leur teneur en éléments d'alliage a de la valeur.
- L'inox est utilisé pour des réservoirs d'eau potable de grande capacité, neufs ou en rénovation.

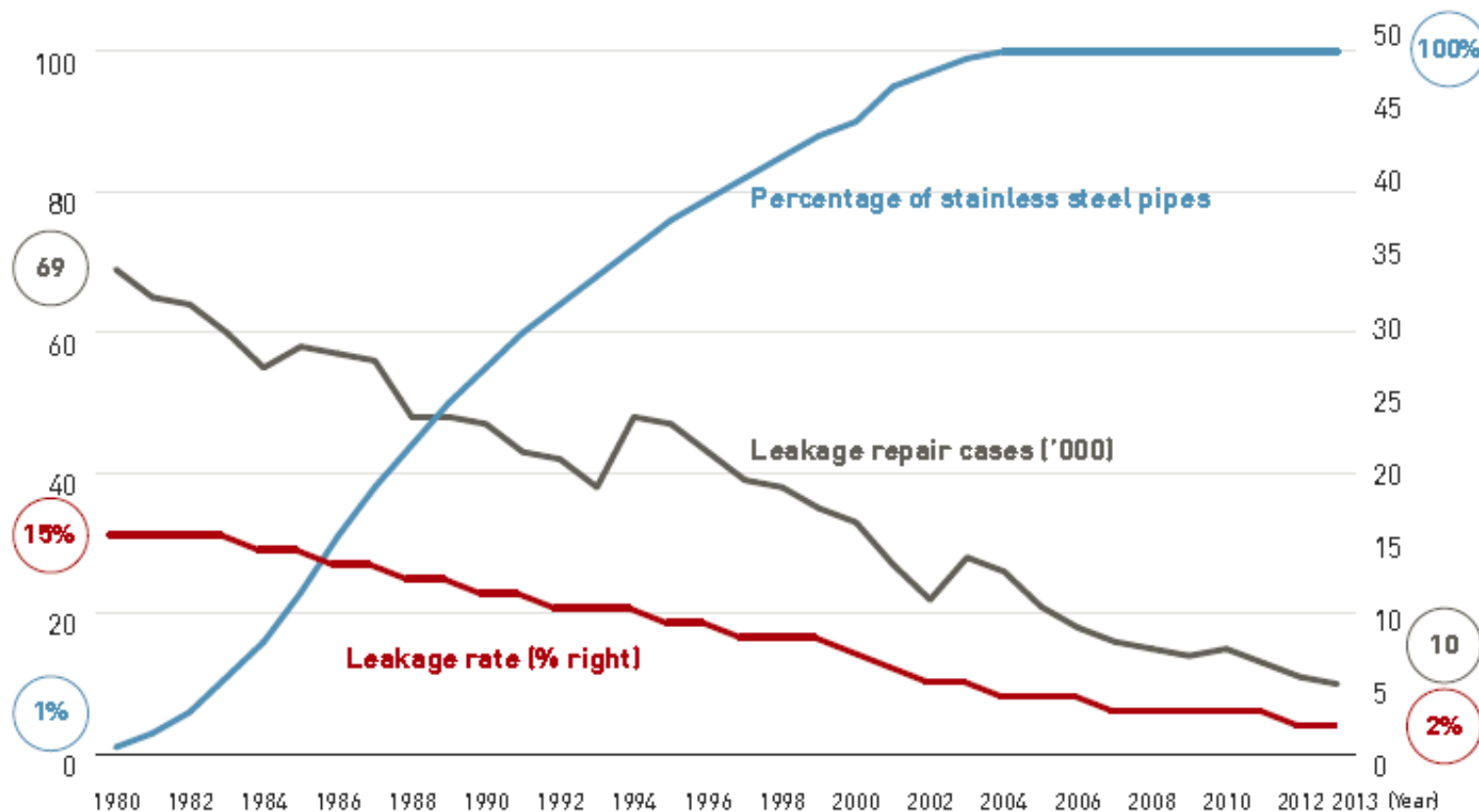
Taux de perte en eau de quelques métropoles (2014) ⁸



Taux de fuite dans certaines grandes villes
Source : OCDE (Water Governance in Cities, 2014)

Reduction des fuites d'eau du réseau de distribution à Tokyo associée à l'utilisation d'acier inoxydable¹

Reduction of leakage

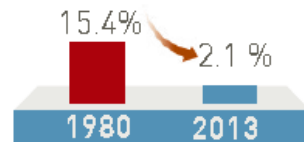


Reduction of water leakage with the replacement of old water pipes with stainless steel ⁸

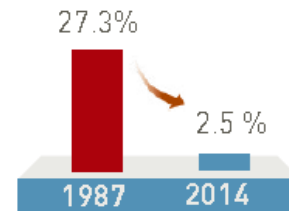
Results of the projects in Tokyo, Seoul and Taipei



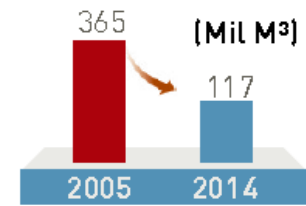
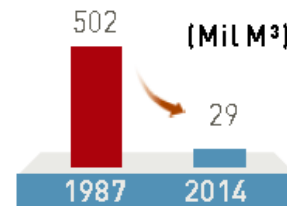
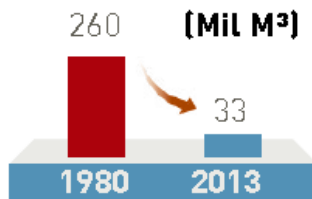
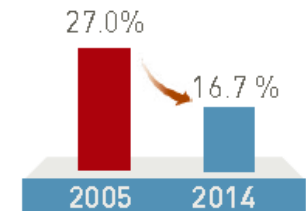
Tokyo

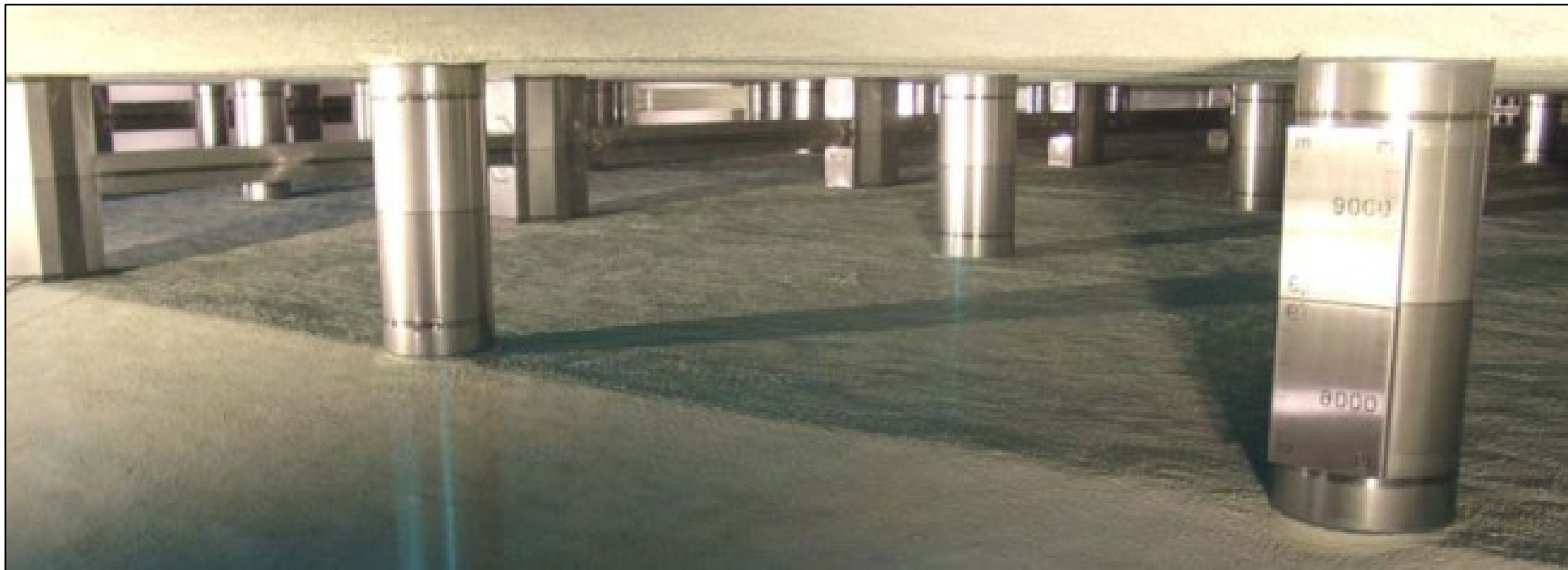


Seoul



Taipei







Réservoir d'eau avant réparation, Gangneung-City, Corée⁹

- La corrosion et la détérioration du béton sont visibles sur l'image et sont la cause des fuites.
- Le revêtement époxy n'a pas été retenu car non durable. Le choix de l'inox pour la rénovation a été motivé par sa résistance à la corrosion, sa durabilité, l'absence d'entretien et l'absence de prolifération bactérienne.



AVANT

Le même après installation du nouveau revêtement inox

- Acier inox ,
nuances duplex
STS329LD et
STS329J3L
- Les panneaux
sont assemblés
par soudage et
ancrés dans le
béton



APRES

Références « Réseaux de distribution d'eau »

1. <http://www.nickelinstitute.org/en/NickelUseInSociety/MaterialsSelectionAndUse/Water/Distribution.aspx>
2. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Stainless_Steel_Pipe.pdf
3. <http://www.worldstainless.org/news/show/246>
4. <http://worldstainless.org/news/show/2140>
5. Source: POSCO, Korea (<http://www.posco.com>)
6. http://www.worldstainless.org/Files/ISSF/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Drinking_Water_Supply.pdf
7. http://worldstainless.org/applications_protection_environment_and_human_health/water
8. http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/CorrResist_SoilsConcrete_EN.pdf
9. https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/FieldCorrosionResistanceTestOnStStPipingForBuildingService_12012_.pdf
10. http://worldstainless.org/applications_protection_environment_and_human_health/water -

Nouveau!

2. Les ponts

Nouveau!

Beaucoup de ponts sont en mauvais état

- Beaucoup d'entre eux ont été construits après la 2^{ème} guerre mondiale
- Pour une durée de vie n'excédant guère 60 ans
- La circulation a été plus dense que prévu
- On a fréquemment lésiné sur ou reporté les dépenses d'entretien

Nouveau!

Les ponts s'écroulent rarement, heureusement!



Cette catastrophe a déclenché des évaluations de l'état des ponts dans de nombreux pays

- Le pont autoroutier Morandi à Gênes a été inauguré le 4/09/1967.
- C'est un pont à travées multiples, partiellement suspendu, en béton précontraint.
- Le 14/8/2018 le pilier ouest s'écroule par mauvais temps, entraînant une partie du tablier et les véhicules avec, tuant 43 personnes.

Nouveau!

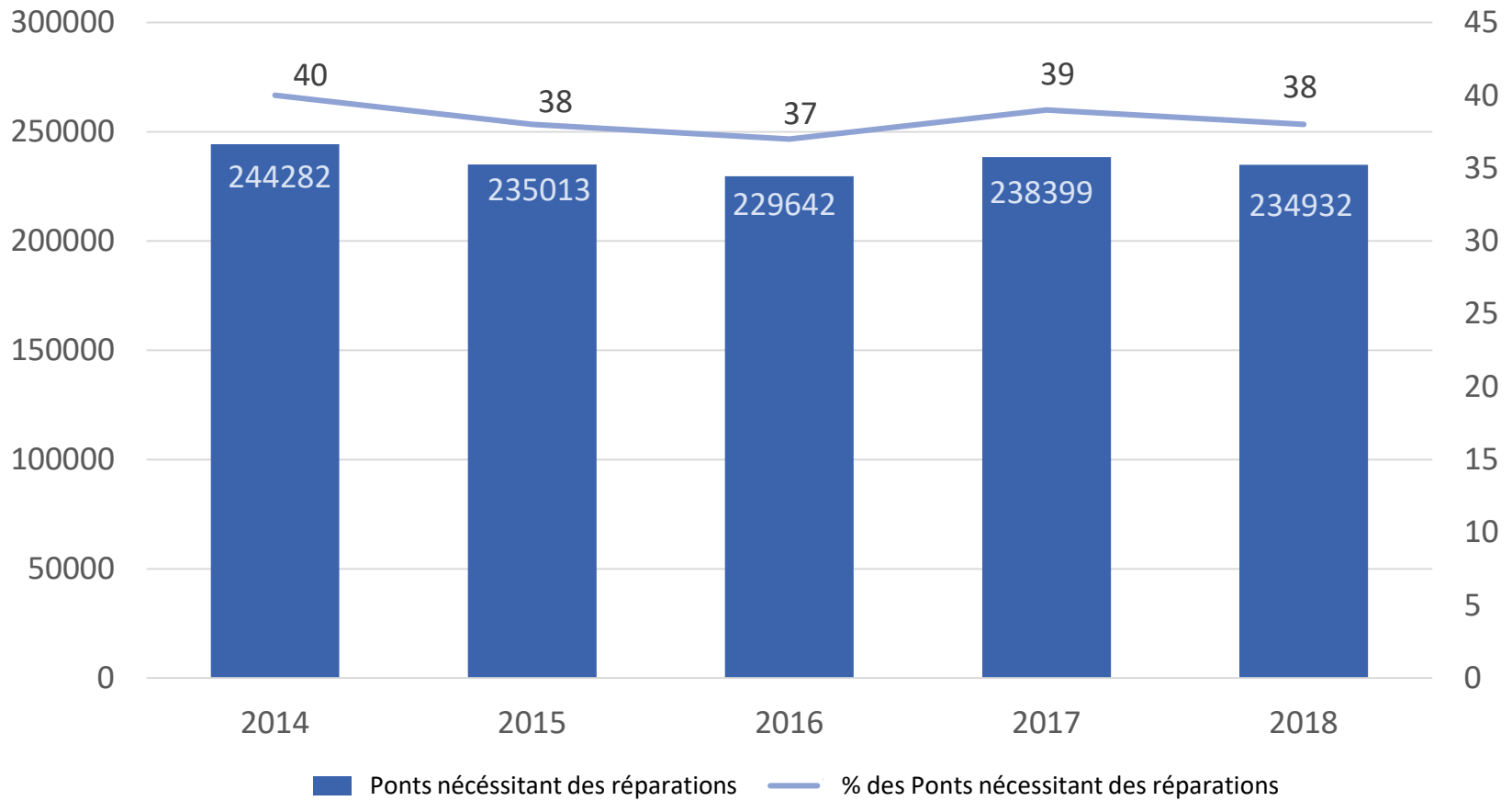
Etat des ponts dans l'Union Européenne

- Pas de rapport global disponible
- Situation qui varie d'un pays à l'autre
- Allemagne: 12.5% des ponts autoroutiers sont en bon état, 12.4% en mauvais état
- France: un rapport récent a conclu que un pont sur trois est en mauvais état
- etc...

Situation aux USA

Nombre de ponts qu'il faudrait remplacer ou réparer

Nouveau!



Nouveau!

L'acier inoxydable dans les ponts

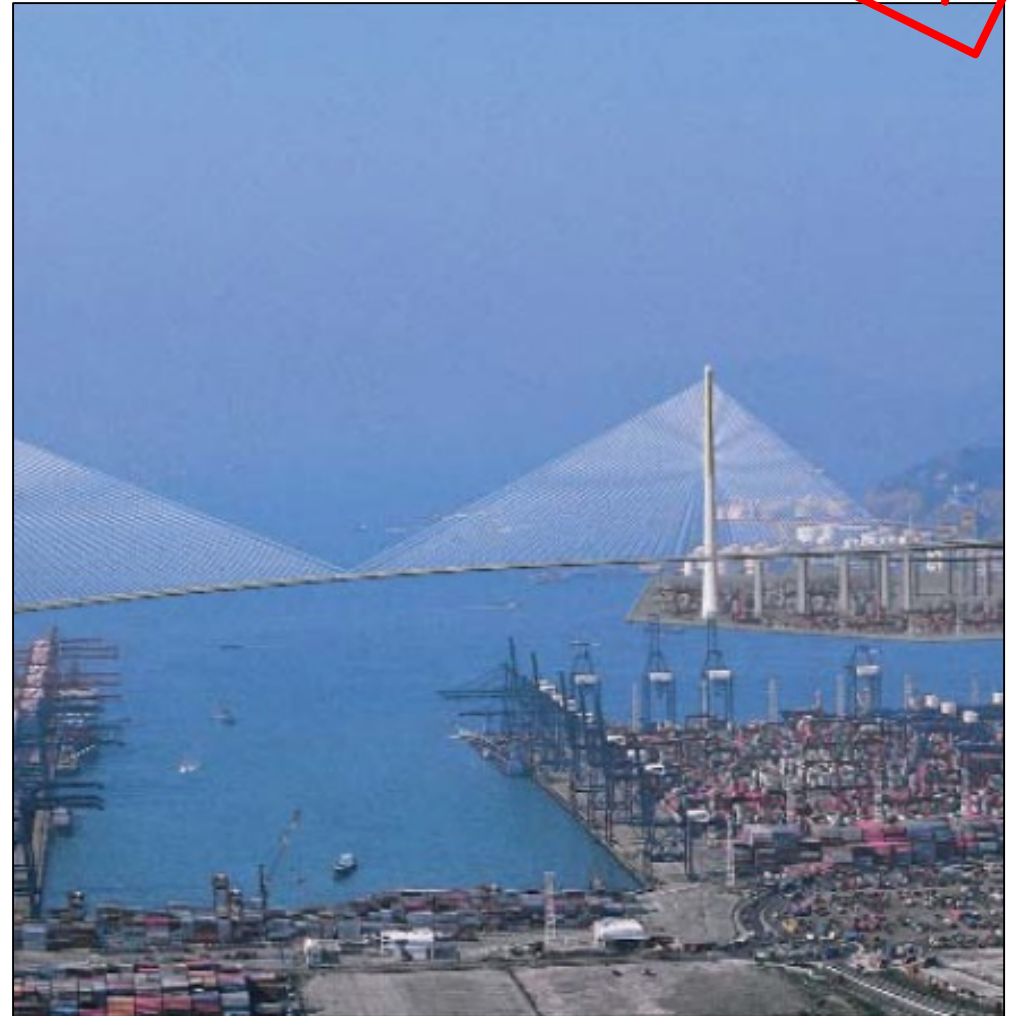
Quelques exemples

Stonecutter's (2009) Hong Kong

Ce pont célèbre situé en zone urbaine a été conçu pour une durée de vie de 120 ans dans des conditions difficiles: une circulation intense, un climat tropical, de la pollution urbaine, du brouillard salin, du vent, des typhons, des chocs accidentels causes par des navires et enfin des impacts sismiques.

Lors de son inauguration ce fut le premier pont à haubans d'une portée dépassant 1km.

L'acier inoxydable austéno-ferritique UNS S32205 (EN1.4462) a été utilisé comme "peau" autour du béton pour la partie supérieure des pylônes, pour l'ancrage des cables et pour le renforcement du béton des fondations et de la partie inférieure des pylônes.



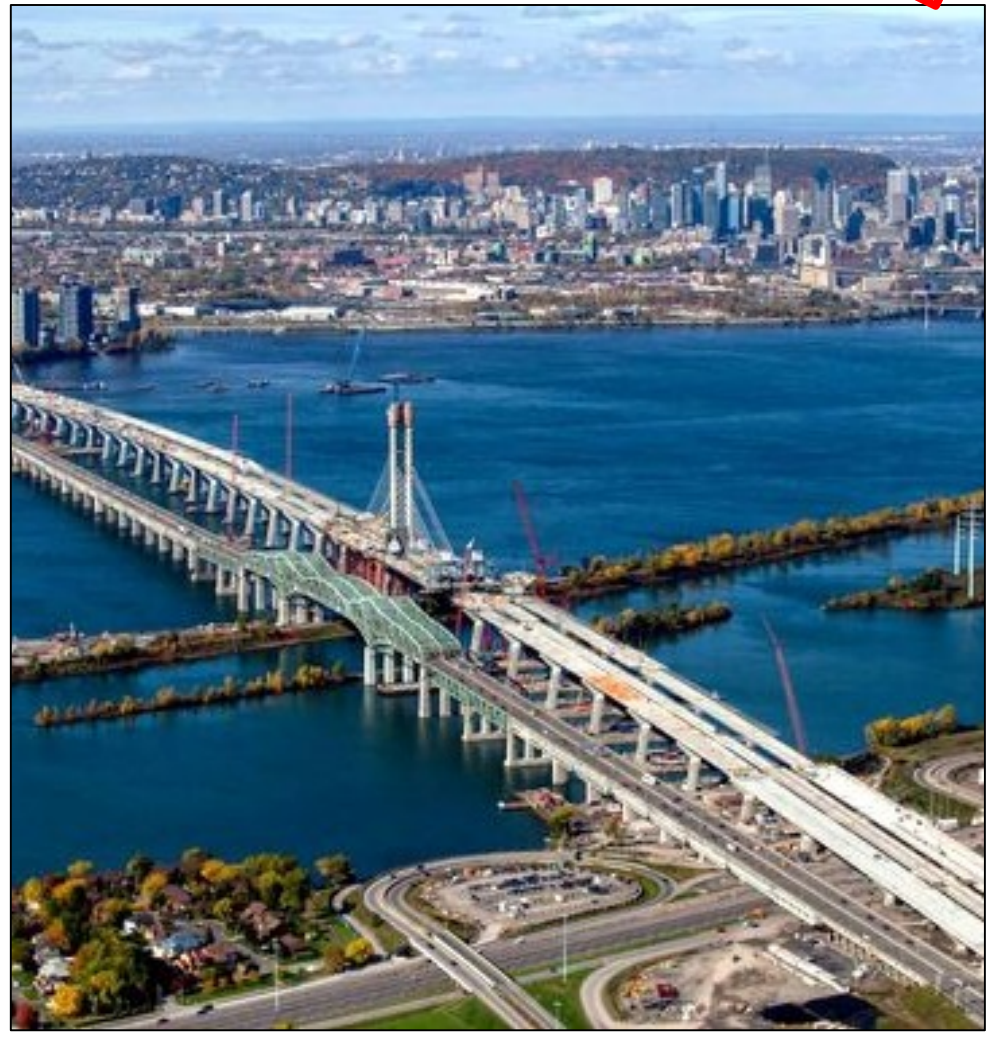
Nouveau!

Champlain (2019), Montreal

Nouveau!

Le nouveau pont de 3,4km qui enjambe le fleuve St Laurent et la voie maritime remplace l'ancien qui, corrodé, menacait de s'effondrer. Il a été conçu pour résister à des cycles gel/dégel et à des températures de -25 à +30°C. C'est un pont à la fois autoroutier (plus de 50 millions de véhicules par an), ferroviaire (pour un train de banlieue), et pour cyclistes et flâneurs car il prévoit même des espaces pour admirer le paysage.

Plus de 15000T d'inox austéno-ferritique S32305 (EN1.4362) ont été utilisées dans les zones critiques de la structure. L'ancien pont date de 1962 et l'a pas pu être conservé malgré des réparations coûteuses. Le nouveau pont a coûté 4200 Millions CAD, plus 400 Millions CAD pour la déconstruction de l'ancien pont.

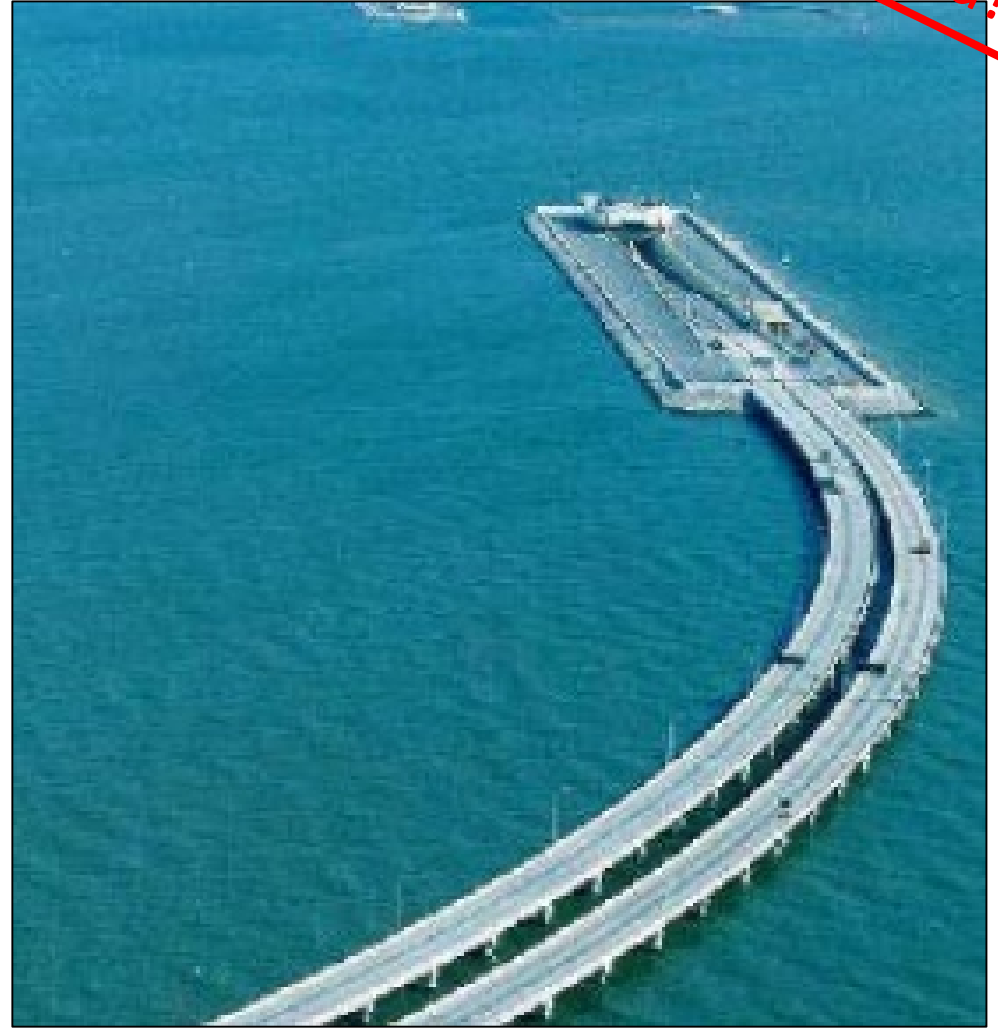


Hong Kong, Zhuhai, Macau (2018)

Le pont fait partie d'un ensemble de 50km de long constitué de trois ponts à haubans, d'un tunnel sous marin de 6,7km et de trois îles artificielles.

Sa construction a duré 9 ans et il a coûté 20 milliards de dollars.

Il a été conçu pour durer 100 ans et dans ce but 10 000T d'inox ont été utilisés.



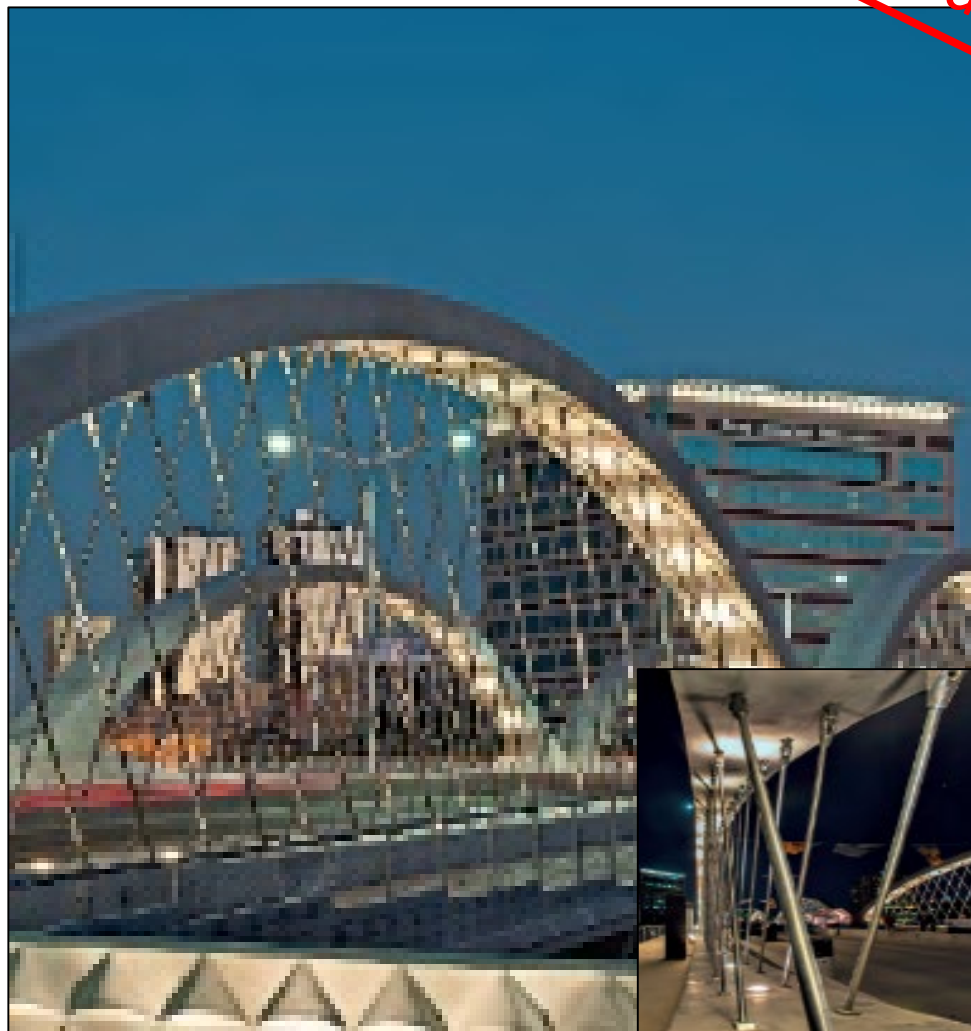
Nouveau!

Fort Worth, Texas (2013)

C'est le premier pont au monde à arches "bow string" utilisant des éléments préfabriqués (12 au total).

La conception est également très innovante car les tirants qui connectent les arches au tablier sont inclinés ce qui accroît la stabilité et la performance de la structure.

L'acier inox austéno-ferritique S32205 (EN1.4462) utilisé pour les tirants a permis une conception efficace, élégante et durable.



Nouveau!

Nouveau!

Cala Galdana, Menorca (2005)

Ce pont en inox remplace un pont en béton armé d'acier au carbone.

L'acier inox duplex S32205 (EN1.4462) a été choisi pour son excellente résistance à la corrosion et ses caractéristiques mécaniques.

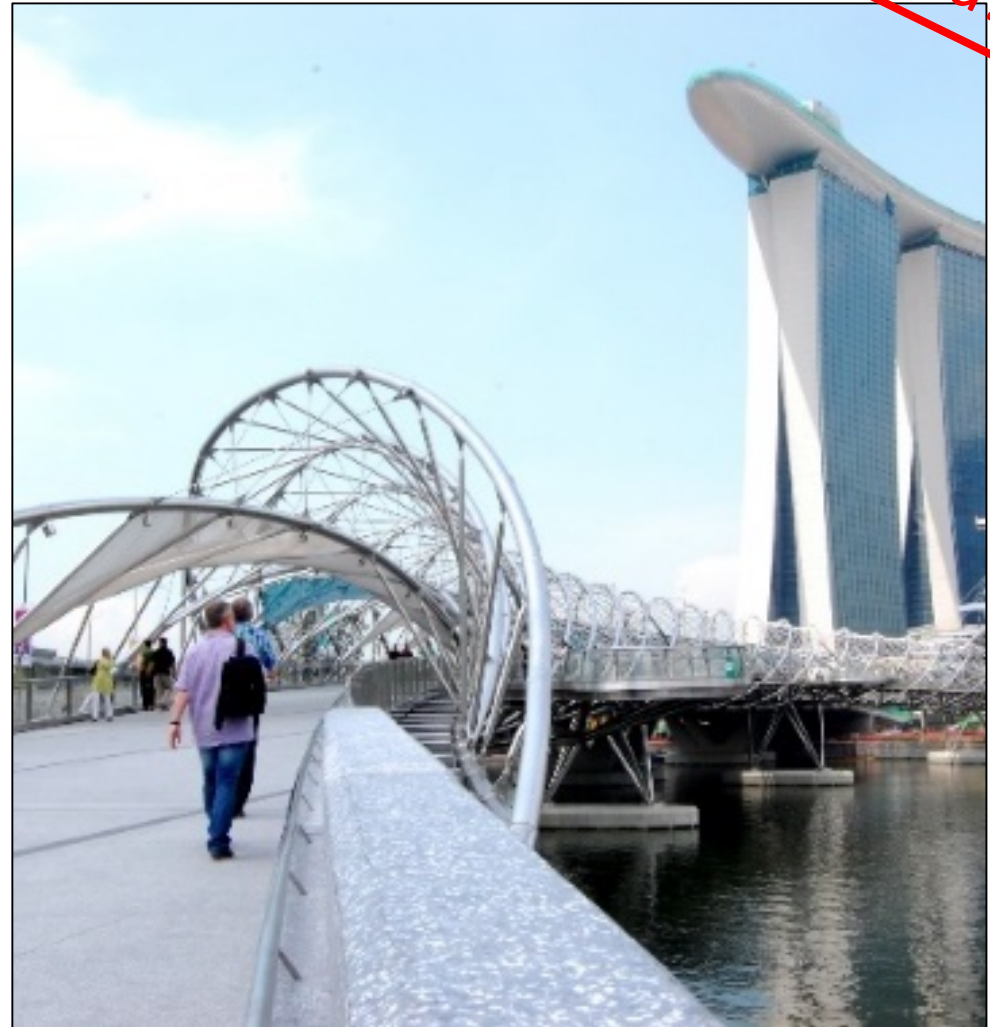
La limite élastique $R_{p_{0,2}}$ minimale imposée était de 460MPa, pour une valeur mesurée de 535MPa, alors que la valeur minimale pour l'acier carbone n'était que de 355MPa.



Helix, Singapore

La structure unique en double hélice de cette passerelle de 280m de long est constituée de tubes et de plaques en inox duplex S32205 (EN1.4462). Cette nuance a été choisie pour ses hautes caractéristiques mécaniques et sa résistance à la corrosion dans un climat tropical maritime. Le coût de possession (LCC) de cette passerelle inox sera inférieur à celui d'une passerelle en acier au carbone.

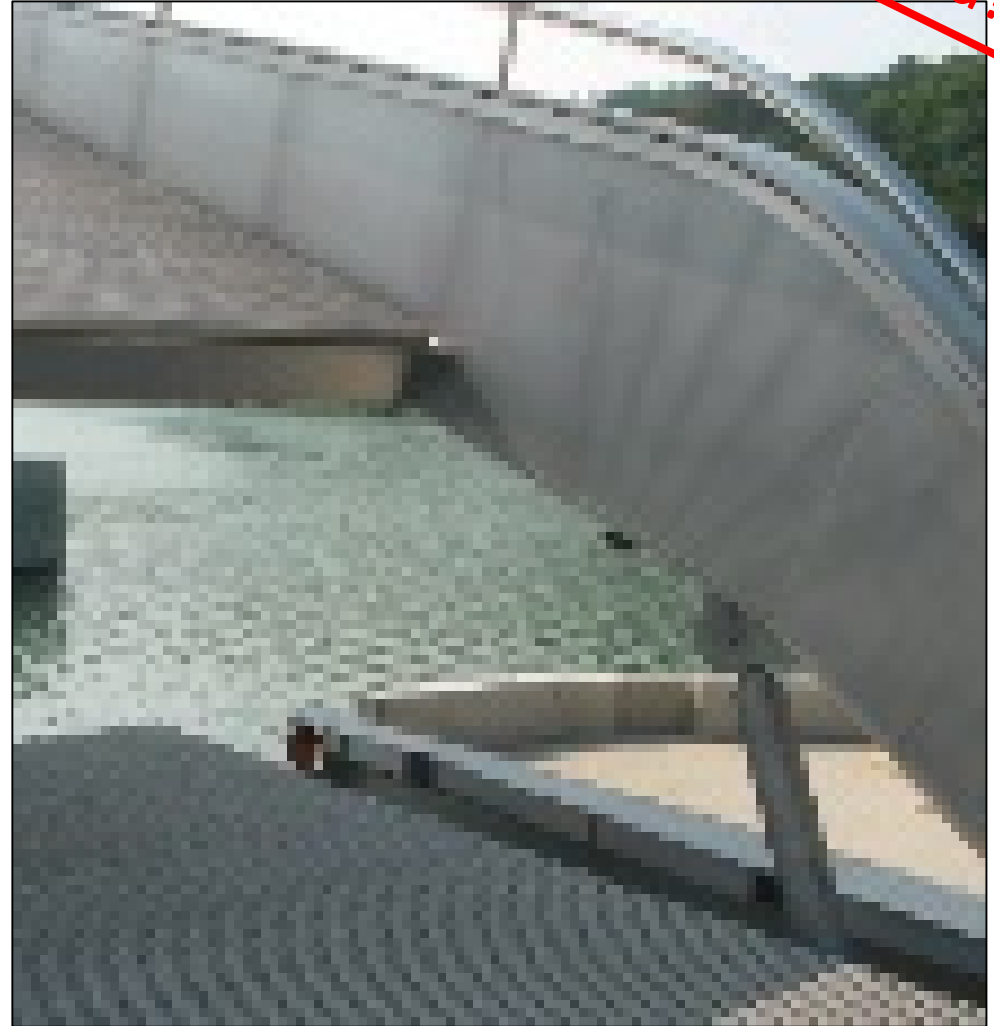
L'état de surface de l'inox ajoute à l'esthétique exceptionnelle de cette passerelle, et tout particulièrement lorsqu'elle est illuminée la nuit.



Nouveau!

Lyon, France

Cette passerelle piétons ouvrante est située dans un quartier qui vient d'être rénové et proche du nouveau Musée des Confluences. Elle permet le passage des navires qui accostent aux docks. Construite en inox duplex, ce pont est élégant, esthétique et ne nécessite aucun entretien.



Nouveau!

Trumpf, Ditzingen, Allemagne

Cette passerelle qui enjambe la voie de grande circulation Gerlinger Strasse connecte deux sites de la société TRUMPF à Ditzingen, Allemagne. Elle est faite de tôle mince, à haute résistance mécanique et à la corrosion en acier inox duplex (EN1.4462) découpé avec la technologie laser de TRUMPF. La forme très originale de cette passerelle est remarquable. L'inox duplex n'est pas réservé à des réalisations de prestige.



Nouveau!

San Diego Harbor, California

Cette structure de 168m de long est magnifique. Le tablier en courbe est suspendu par des haubans à un seul pylône incliné, une conception à la fois très simple et très élégante. L'inox duplex S31803 et l'inox austénitique 317L ont été utilisés pour les pièces de structure, les garde-corps, les cables et les connecteurs. Cette passerelle, située dans un environnement maritime, est prévue pour durer plus de 100 ans.



Nouveau!

Progreso Pier, Mexique

A gauche, ce qui reste d'une jetée construite en 1970.

L'environnement maritime a corrodé les armatures en acier au carbone et la structure d'est effondrée.

A droite, la jetée adjacente construite entre 1937 et 1941 avec des armatures en inox AISI304 (EN 1.4301). Elle n'a eu besoin d'aucun entretien et reste en parfait état.



Nouveau!

Nouveau!

Références sur l'état des ponts existants

1. <https://www.theguardian.com/world/2018/aug/16/bridges-across-europe-are-in-a-dangerous-state-warn-experts>
2. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/keeping-european-bridges-safe>
3. <https://www.thelocal.de/20180815/bridge-collapse-cannot-be-ruled-out-in-germany-says-expert>
4. https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Ingenieurbau/Statistik/statistik-node.html
5. https://www.lemonde.fr/securite-routiere/article/2018/08/15/un-pont-sur-trois-a-besoin-de-reparations-sur-les-routes-nationales-francaises-selon-un-rapport_5342799_1655513.html
6. <https://edition.cnn.com/2019/04/02/us/deficient-bridge-report-2019-trnd/index.html>
7. <https://artbabridgereport.org/>
8. <https://www.infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges/>

A red rectangular stamp with a white border and the word "Nouveau!" written in white, slanted upwards to the right.

Références de ponts utilisant l'acier inoxydable

1. IMO A web publication “Stainless steel in Vehicular, rail and pedestrian bridges” (March 2018) <https://www.imoa.info/stainless-solutions/archive/37/Vehicular-rail-and-pedestrian-bridges.php>
2. C Houska “More on duplex stainless steel and bridges “, The construction specifier, (May015) <https://www.constructionspecifier.com/duplex-bridges/>
3. EU Publication report “Application of duplex stainless steel for welded bridge construction in an aggressive environment”, (march 2009), ISBN 978-92-79-09948-9 <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ec2748d4-3269-43cd-9a34-3a0e1fba4e23/language-en/format-PDF/source-79161265>
4. Euro Inox publication « Pedestrian bridges in stainless steel » ISBN 2 87997 084 9 <https://www.bssa.org.uk/cms/File/Euro%20Inox%20Publications/Pedestrian%20Bridges.pdf>
5. N. Baddoo and A. Kosmač “Sustainable Duplex Sainless Steel bridges” Euro Inox publication [www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable Duplex Stainless Steel Bridges.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Sustainable_Duplex_Stainless_Steel_Bridges.pdf)
6. “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June2012) <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

Nouveau!

Références de ponts utilisant l'acier inoxydable

7. K F. Hansen, L. Lauge and S. Kite: “Stonecuttes bridge –Detailed design” (January 2004) DOI: 10.2749/222137804796291719
https://www.researchgate.net/publication/233611421_Stonecutters_Bridge_-_Detailed_Design/link/59ce24d3aca272b0ec1a4b34/download
8. Steel Construction Institute publication : “Stonecutters bridge Towers”(2010)
www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Stonecutters_Bridge_Case_Study-2.pdf
9. G. Gedge: “Use of duplex stainless steel plate for durable bridge construction” (January 2007) DOI: 10.2749/222137807796119771
https://www.researchgate.net/publication/233632633_Use_of_Duplex_Stainless_Steel_Plate_for_Durable_Bridge_Construction
10. Champlain bridge, Montreal Nickel Institute magazine, Vol. 34, N°2, (2019)
<https://www.nickelinstitute.org/nickel-magazine/nickel-magazine-vol34-no2-2019/?lang=English&p=6>
11. Champlain bridge, Montreal Stainless Steel World online, 05 January 2016
<http://www.stainless-steel-world.net/news/58262/nas-to-supply-stainless-steel-bar.html>
12. Hong-Kong Macau bridge ISSF Publication: “Stainless steel in Infrastructure”
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Infrastructure_English.pdf

Nouveau!

Références de ponts utilisant l'acier inoxydable

13. Hong-Kong Macau bridge
https://en.wikipedia.org/wiki/Hong_Kong%E2%80%93Zhuhai%E2%80%93Macau_Bridge
14. IMOA publication “Innovative bridge at Ft Worth, Texas” Moly-Review 1/2018
<https://www.imoa.info/molybdenum-media-centre/downloads/>
15. Steel Construction Institute publication: “Cala Galdana Bridge” (2010)
http://www.worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications
16. Railways Bridges in India <https://www.apnnews.com/pamban-to-become-indias-first-railway-bridge-to-use-stainless-steel-structurals/>
17. Steel Construction Institute publication: “Helix Pedestrian Bridge” (2011)
http://worldstainless.org/architecture_building_and_construction_applications/structural_applications
18. ISSF Publication: Bascule pedestrian bridge in “Stainless steel as an architectural material”
http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_as_an_Architectural_Material.pdf
19. Trumpf bridge <https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2018/case-pedestrian-bridge-at-trumpf-headquarters>
20. IMOA Publication “San Diego’s new harbor bridge sails onto the skyline” MolyReview, (June 2012) <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/pedestrian-bridges.php>

Nouveau!

3. Infrastructures Côtières

37% de la population mondiale vit à moins de 100km
d'une côte

Nouveau!

Changement climatique et côtes

Quelques unes des conséquences::

- Le niveau des océans monte d'environ 3mm/an...sans retour! Des terres sont déjà/vont être submergées
- Des événements météo extrêmes deviennent plus fréquents (ouragans classe 5, super typhons...). Ils augmentent fortement les dommages
- Des changements majeurs dans les écosystèmes, essentiellement des destructions, sont en cours
- Les populations et les activités humaines sont menacées, induisant un énorme coût économique et humain.

Inondations (Sud Est de la France)

Nouveau!



Erosion côtière (lieu non spécifié)

Nouveau!



Nouveau!

Options d'adaptation côtière

- Repli organisé (c.a.d. structures mobiles, protections arrière contre les inondations, système d'alerte inondations...)
- Adaptation(c.a.d. déplacement des réservoirs, du traitement de l'eau, gestion des dunes....)
- Protection par technologies “douces” (type bancs de sable, mangroves, récifs naturels...) ou “dures” (digues, épis, renforts...)

Source: www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf

<https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>

Nouveau!

Quelques ouvrages qui utilisent l'acier inoxydable

Mur de front de mer, Cromer, UK

Cromer, North Norfolk, est une belle station balnéaire datant de l'époque victorienne.

Elle est protégée par un mur de béton en front de mer et par des épis en bois..

A la suite d'une forte tempête en 2013, des réparations importantes et coûteuses ont été entreprises, non seulement pour remettre en état mais aussi pour anticiper 100ans de montée du niveau de la mer.

Pour ce faire, 300 T of d'acier inox duplex S32304 (EN1.4362) ont été utilisées.



Nouveau!

Digue, Bayonne, France

Nouveau!

Cette digue construite dans les années soixante abrite l'entrée du port de Bayonne. Côté mer, des blocs de béton de 40T dissipent l'énergie des vagues . Une plate-forme centrale supporte une grue qui remplace ces blocs au fur et à mesure de leur usure. La plateforme qui commençait à se fissurer a été refaite en béton armé d'acier inox austéno-ferritique à haute résistance S32205 (EN1.4462). La très haute limite d'élasticité de l'acier, 750MPa, a permis de limiter à 130T seulement la quantité d'armatures nécessaires.



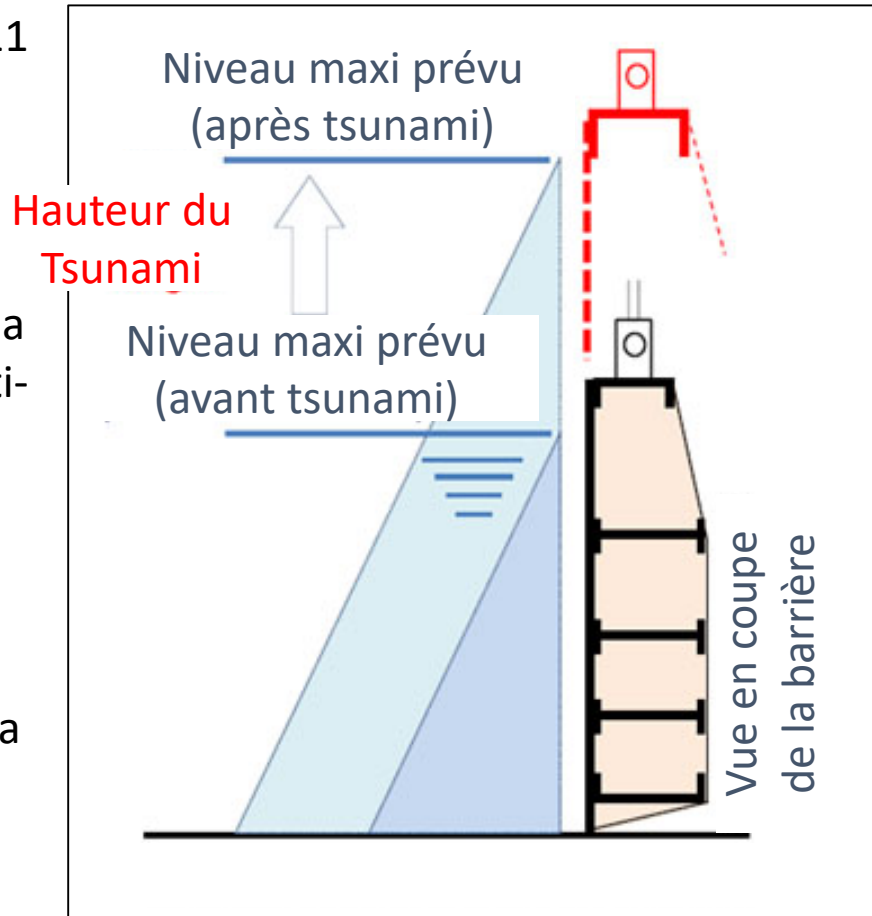
Reconstruction résiliente après catastrophes au Japon

Nouveau!

Le grand séisme à l'est du Japon de Mars 2011 a fait environ 16000 victimes, 90% d'entre elles causées par le tsunami qui fut exceptionnellement important.

Suite à ce séisme, le gouvernement japonais a revu la hauteur exigée pour les barrières anti-tsunami, qui passe de 5m à 8m.

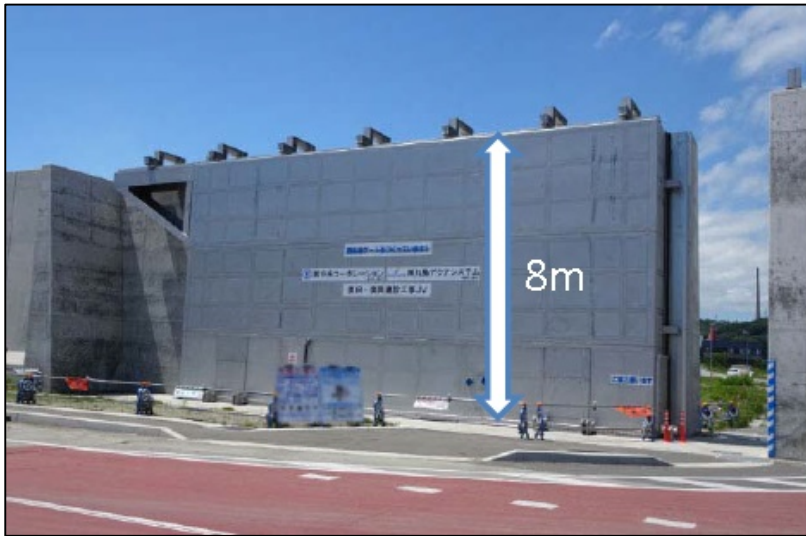
Pour résister à une pression d'eau plus forte, les barrières doivent être plus résistantes. NIPPON STEEL Stainless Steel Corporation a proposé d'utiliser un acier inox austéno-ferritique économique ("lean duplex") dont la haute résistance mécanique a permis une réduction de poids et une conception plus simple.



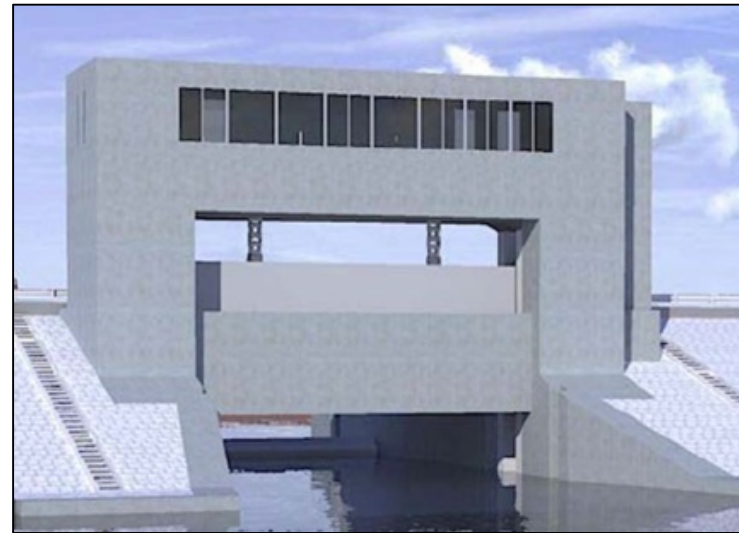
Source: NIPPON STEEL Stainless Steel Corporation

Exemples

Nouveau!



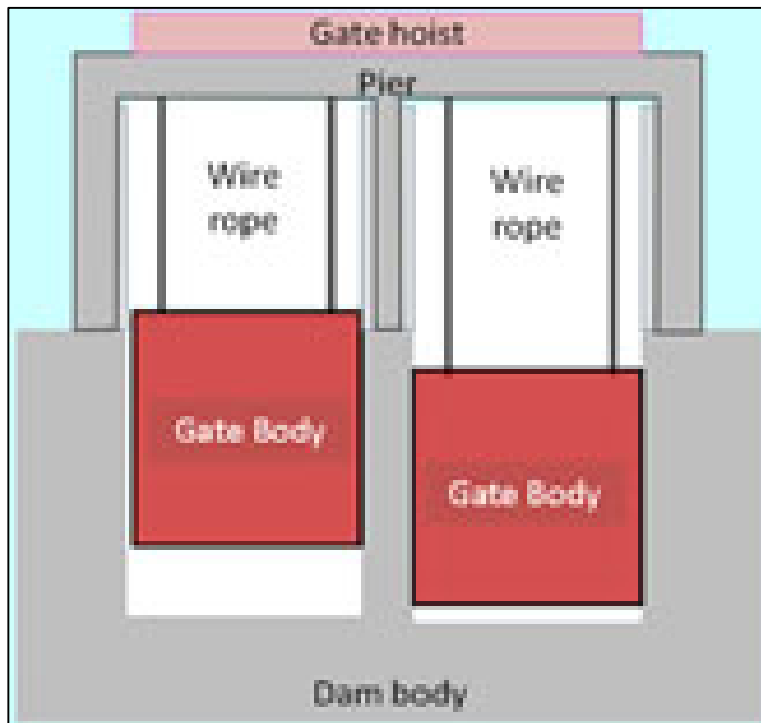
Hauteur: 8.2 m x Largeur 15 m



Hauteur: 6.2 m x Largeur 15 m

Nouveau!

Gain de poids des barrières obtenu en utilisant des aciers inox austéno-ferritiques « éco »



	Acier Carbone (SM490)	Inox standard (SUS 304)	Duplex eco (NSSC2120)
Poids (T)	16.1	14.7	12.1

Comparatif de solutions
7m x 7.8m = 54.6m²)



25% de réduction de poids

Source: Electric power civil engineering (2016.9)

Quelques grand projets au Japon

Nouveau!

Les aciers inox austéno-ferritiques sont utilisés dans plus de 50 barrières notamment dans le cadre du programme de reconstruction post-séisme



Kanogawa Dam (SUS821L1)



Kotonoura Gate (SUS316LN)
Hikata Gate (SUS323L)



Kosode Gate (SUS821L1)



Koishihama Gate (SUS821L1)



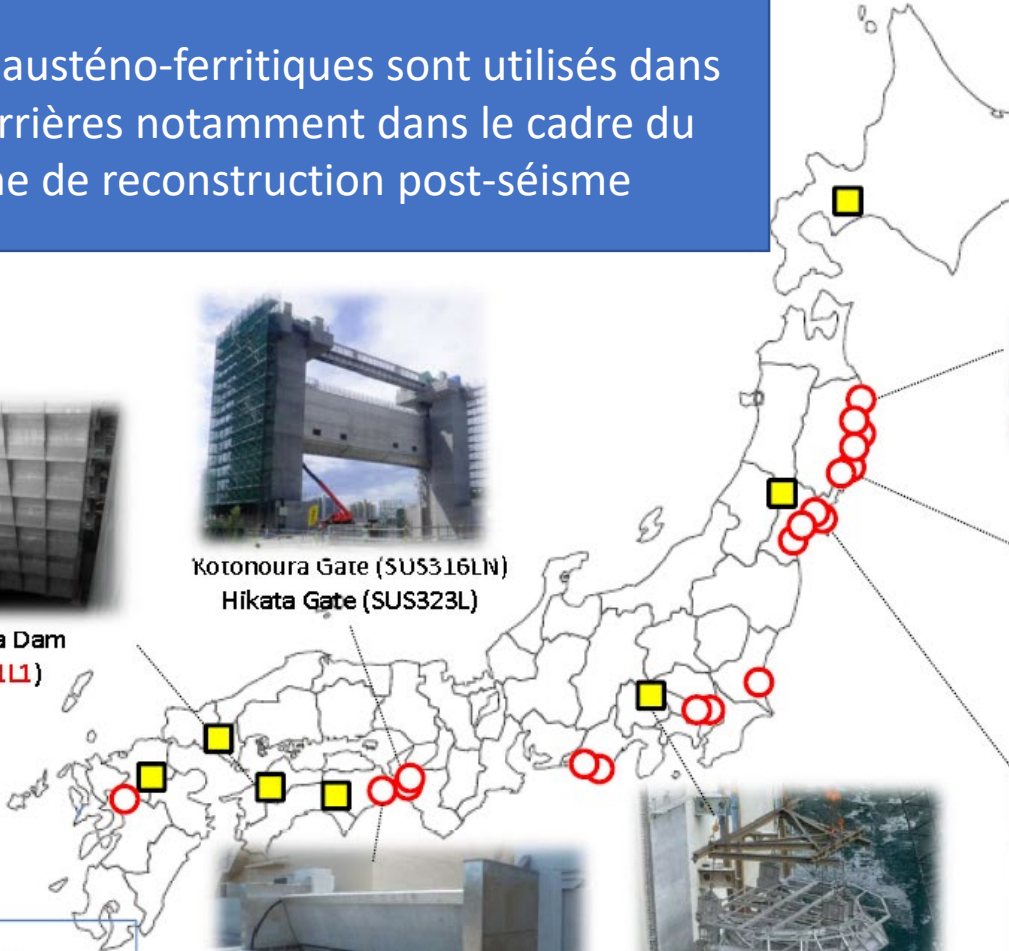
neo Rise (SUS821L1)



Futase Dam (SUS821L1)



Tsukihama Gate (SUS323L)



- : DAM
- : Water Gate

Barrière de Kamihirai, Japon

Nouveau!



Vue de la barrière en cours de construction

Mont Saint Michel, France

Nouveau!



Nouveau!

Mont Saint Michel, France

- Le Mont Saint Michel, avec son cloître et la statue de l'ange au sommet est l'une des attractions touristiques les plus visitées.
- Lentement, l'envasement rattachait l'île au continent, changeant le paysage.
- Un barrage fonctionnant comme un système de chasse d'eau a été construit pour retenir l'eau de la rivière qui se jette dans la baie et la relâcher à marée basse, emportant des sédiments vers la mer deux fois par jour. Les 8 écluses du barrage utilisent 36 T d'acier inox austéno- ferritique S32205 (EN 1.4462) choisi pour sa résistance à la corrosion et à l'abrasion
- Le Mont Saint Michel redevient une île.

Monaco s'agrandit sur la mer

TL Principauté de Monaco, sur la mer Méditerranée, agrandit son petit territoire (2km²) sur la mer pour y construire 600 000m² de surfaces de plancher pour un coût estimé à 2 milliards d'Euros.

Les défis techniques sont énormes: installation d'un batardeau, construction des murs de béton remplissage de l'espace ainsi délimité et préparation du sol pour la construction d'immeubles résidentiels, réduction de l'impact sur la vie marine, etc....

Plus de 4000MT d'armatures inox austeno ferritique S32304 (EN1.4362) seront utilisées dans les murs de béton pour assurer leur durabilité et l'absence de corrosion pour au moins un siècle,



Références

Nouveau!

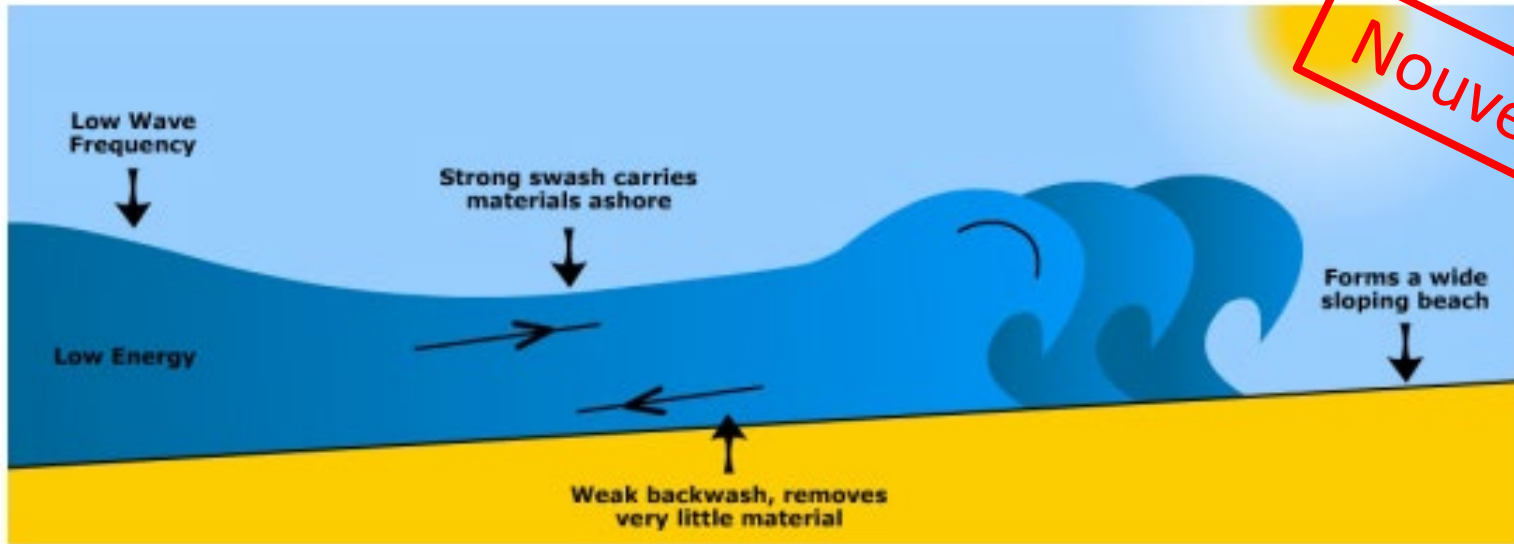
1. <https://www.ipcc.ch/>
2. www.unfccc.int/resource/docs/tp/tp0199.pdf
3. <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/biodiversite/isr-rse/le-changement-climatique-grignote-nos-cotes-et-menace-plus-d-un-million-de-francais-147571.html>
4. <https://www.cerema.fr/fr/actualites/adapter-documents-conception-entretien-exploitation>
5. <https://www.cerema.fr/fr/evenements/territoires-littoraux-transition-face-au-changement>
6. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management>
7. Sea Wall at Cromer <http://www.stainlesssteelrebar.org/applications/coastal-protection-at-cromer-uk/>
8. Bayonne breakwater <http://stainlesssteelrebar.org/applications/bayonne-breakwater/>
9. <https://www.constructioncayola.com/batiment/article/2008/11/20/23050/l-inox-pour-resister-atlantique>
10. Tsunami-proof floodgates Japan (NSSC presentation)

Références

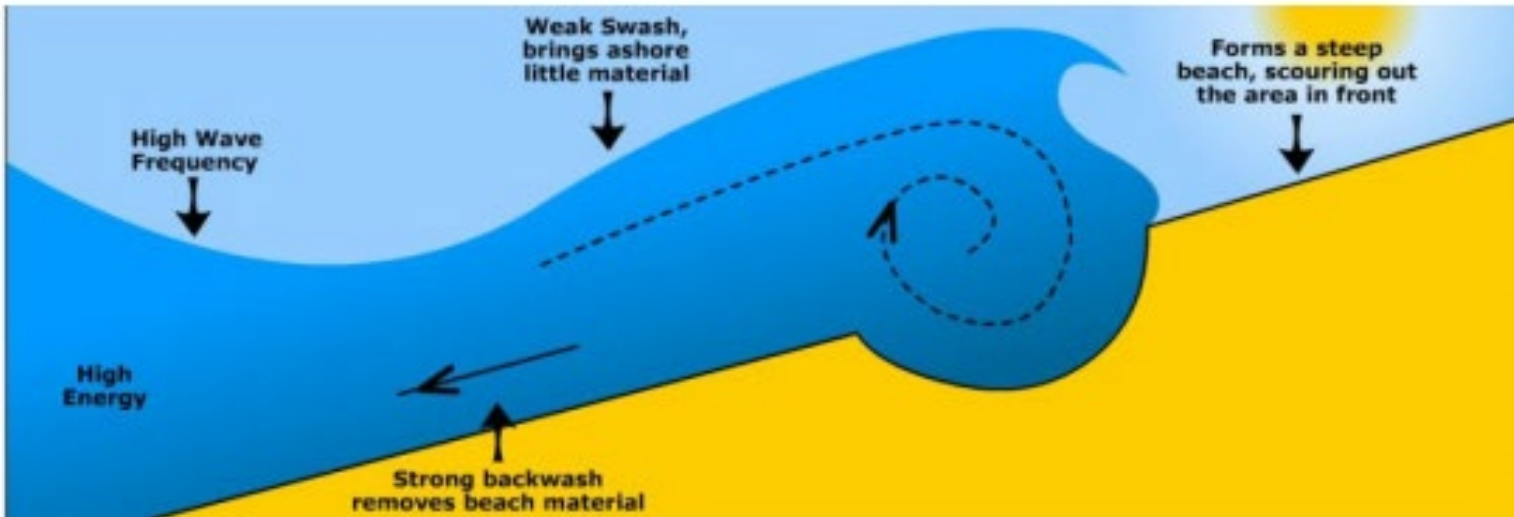
Nouveau!

11. Sluices Mt St Michel
<https://www.nickelinstitute.org/en/NickelMagazine/MagazineHome/AllArchives/2015/Volume30-3/InUseMontStMichel.aspx?selected=year>
https://europe.arcelormittal.com/europeprojectgallery/foi_montsaintmichel
12. Tammeroski floodgate
<http://www.pratiwisteel.com/news/view/20110708090600/Outokumpu-Duplex-Stainless-Steel-For-Sluice-And-Flood-Gates-Structures-In-Finland.html>
<https://www.pontek.fi/in-english>
13. Monaco
<https://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/Extension-en-mer-de-Monaco.pdf>
14. Gårda Dämme floodgate, Göteborg
<https://www.outokumpu.com/en/choose-stainless/2016/floodgates-to-fight-rising-sea-levels>
15. <https://coastal-environments.weebly.com/landforms-and-processes.html>

Les vagues construisent et détruisent les côtes¹



Constructive Waves



Destructive Waves