

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

Module 3

Pourquoi utiliser l'acier inoxydable ?

Introduction

Principaux matériaux utilisés en
architecture, bâtiment et
construction

Comparaison des principaux matériaux de construction de bâtiments utilisés aujourd'hui

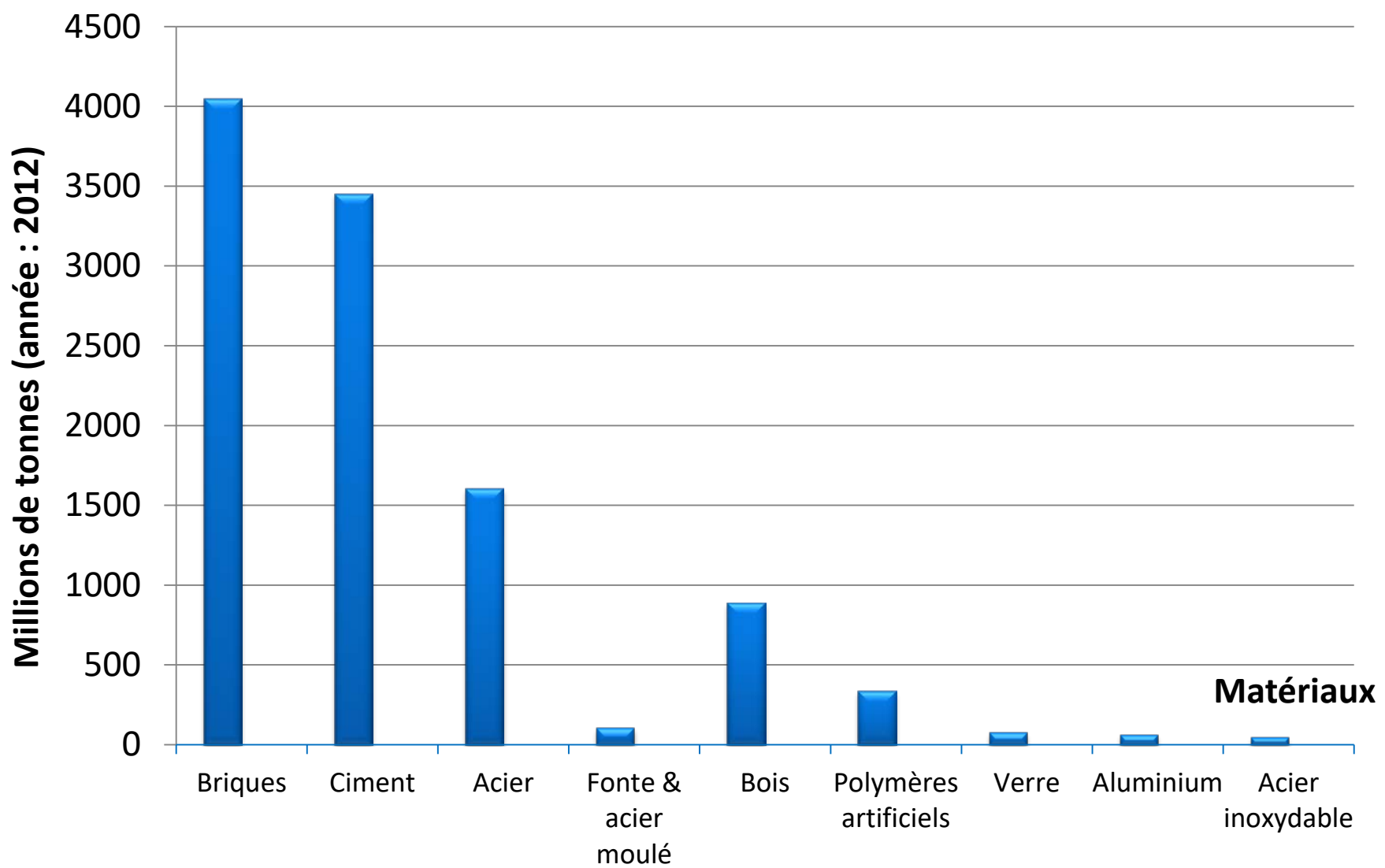
Actualisé !

Pourquoi utiliser l'acier inoxydable ?

Matériaux	Production mondiale (en Millions de tonnes)	Densité moyenne	Remarques
Terre compressée, <i>pisé</i>	Non disponible		Utilisé dans l'habitat traditionnel, principalement en Afrique. Bénéficie d'un intérêt renouvelé pour ses propriétés environnementales.
Briques ²	4050	2,0	Année probable 2016 Dont 87% en Asie.
Ciment ³	3452	2,4**	(pour obtenir le chiffre pour le béton, multiplier par 3 ou 4) ** Densité du béton - Note : chiffres 2015
Acier ^{4a}	1604	7,8	(Production brute d'acier en 2016) Dont 14% dans les infrastructures et pour moitié sous forme de rond à béton. Dont 42% dans le bâtiment ¹²
Fonte et acier moulé ^{4b}	104	7,8	Données de 2016 parmi lesquelles 46 Mt de fonte grise, 25 Mt de fonte ductile, 1 Mt de fonte malléable et 10 Mt d'acier
Bois ⁵	887	0,55	Bois scié + panneaux de bois exclusivement (chiffres 2016) Hors pâte à papier (656). Hors bois énergie (1860) et autres produits de bois.
Polymères artificiels ⁶	335	1,1	Quelques polymères naturels : cellulose, caoutchouc, soie, chitine Chiffres 2016
Verre ⁷	73	2,6	Verre plat uniquement (80% du marché total). Autres marchés significatifs: Automobile, Panneaux Solaires. Pour la production totale de verre, multiplier par 3
Aluminium ⁸	63	2,7	(Production brute d'aluminium de 2017) 24% est utilisé dans le bâtiment ¹⁰
Acier inoxydable ⁹	48	7,8	Chiffres 2017. 17 % sont destinés à la construction ¹¹

Actualisé !

Comparaison entre les matériaux utilisés actuellement : Histogramme



Pourquoi utiliser l'acier inoxydable ?

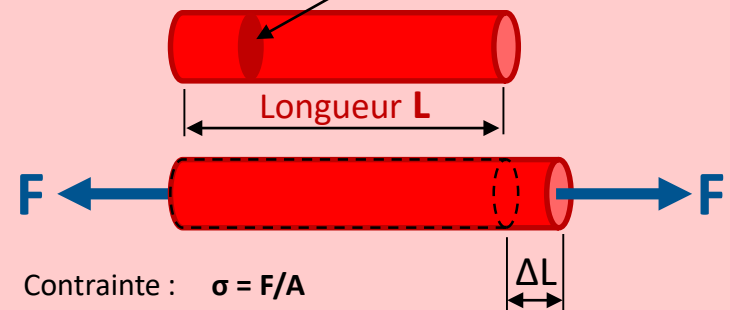
Module d'Young E de différents matériaux¹² (rigidité)

Matériaux	Module de Young E (GPa)
Aciers	~210
Aciers inoxydables	~210
Alliages de cuivre	~130
Alliages de titane	~100
Alliages d'aluminium	~70
Béton	~40
Bois	~10
Plastiques	~4

Les aciers
inoxydables sont
aussi rigides que
l'acier

Rappel :

Aire de la section : A



Contrainte : $\sigma = F/A$

Déformation : $\epsilon = \Delta L/L$

Loi de Hooke : $\sigma = E \epsilon$

Module de Young : $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{Contrainte}}{\text{Déformation}} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$

Ratio résistance/poids pour des métaux utilisés en construction¹³

Les inox offrent un rapport
résistance/poids comparable aux
aciers et aux alliages d'aluminium

Matériaux	Limite d'élasticité f_y (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Masse spécifique (kg/dm ³)	Ratio Résistance (f_y) /Masse spécifique	Allongement à rupture minimum (%)
Acier inoxydable 304 ou 316, recuit	205	515	7,8	26	35
Acier inoxydable 304 ou 316, écroui CP 350	350	-	7,8	45	-
Acier inoxydable 304 ou 316, écroui CP 500	480	-	7,8	62	-
Duplex 2205	500	700/950	7,8	64	20
Acier inoxydable 630, durci par précipitation	800	950/1150	7,8	103	10
Tôle d'acier au carbone courant laminée à chaud	234	317	7,8	30	35
Acier de construction (plaques et barres)	250	400/550	7,8	32	23
Acier micro-allié à haute résistance	380	460	7,8	49	25
Acier de construction 4140 trempé & revenu	750	930/1080	7,8	96	12
Alliage d'aluminium 3003-H14	145	150	2,7	37	40
Alliage d'aluminium 3105-H14	150	170	2,7	38	5
Alliage d'aluminium 5005-H16	170	180	2,7	44	5
Alliage d'aluminium 6061-T6	275	310	2,7	71	12
Alliage d'aluminium 6063-T5	145	185	2,7	37	12
Cuivre	195	250	8,3	23	30

Comparaison simplifiée des caractéristiques de différents matériaux¹⁴

Propriétés		Aciers inoxydables			Cuivre	Aluminium	Acier au carbone	Plastiques
		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
Physiques	Densité	-	-	-	--	+	-	++
	Dilatation linéaire	++	0	0	0	-	+	--
	Conductivité électrique	--	-	-	+++	++	0	---
	Ferromagnétisme	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	NON
Mécaniques	Rigidité (module de Young)	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	Traction	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	Allongement	+	+++	+++	+++	++	0	-- / +++
Autres	Fabrication	++	++	++	+	0	++	-
	Hautes températures	++	++	+++	0	-	+	---
	Basses températures	-	+++	+++	+	0	-	-
	Résistance à la corrosion	+++	+++	++++	++	+	--	+

Symboles : + Avantages - Faiblesses (comparativement aux autres matériaux)

L'acier inoxydable est un
matériau « jeune »

Au cours de l'histoire, de nouveaux matériaux sont apparus. Les aciers inoxydables sont parmi les plus récents*

Matériaux	Période d'apparition	
Terre compressée, <i>pisé</i>		A été utilisée dès l'aube de l'humanité !
Bois ¹⁵		A été utilisé dès l'aube de l'humanité !
Brique ¹⁵	7500 av. J.C. 4500 av. J.C.	Briques de terre cuite/céramiques
Acier ¹⁵	4000 av. J.C. 1858	Atelier de forgerons Procédé Bessemer
Verre artificiel ¹⁵	3500 av. J.C. 100 av. J.C. 1950	Première fabrication de verre Verre transparent Procédé Pilkington (verre flotté)
Aluminium ¹⁵	1825 1886	Oersted découvre l'aluminium Procédé Hall-Héroult (électrolyse)
Béton armé ¹⁵	1850 1885	Mais le ciment est beaucoup plus ancien Procédé par four rotatif
Polymères artificiels ¹⁵	1846 1907 1939	Celluloïd Bakélite Nylon
Acier inoxydable ²	1912-1913 1954 1955	Premiers alliages Procédé AOD (pour Argon-Oxygène-Décarburation) Laminage sur Train à Bandes

* Il existe bien sûr d'autres matériaux plus récents, mais utilisés en quantités peu significatives

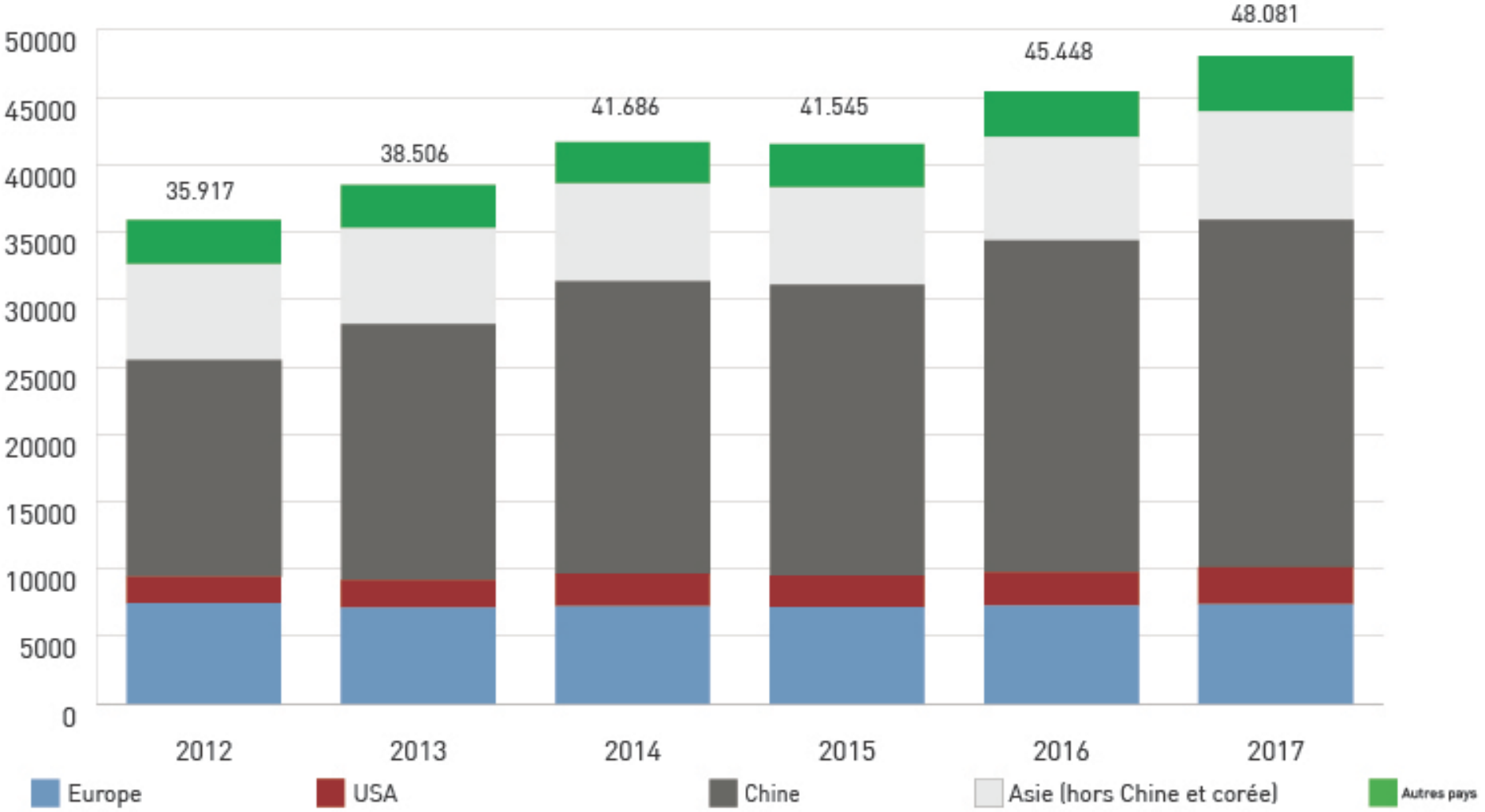
Production mondiale d'acier inoxydable par zones géographiques²

Actualisé

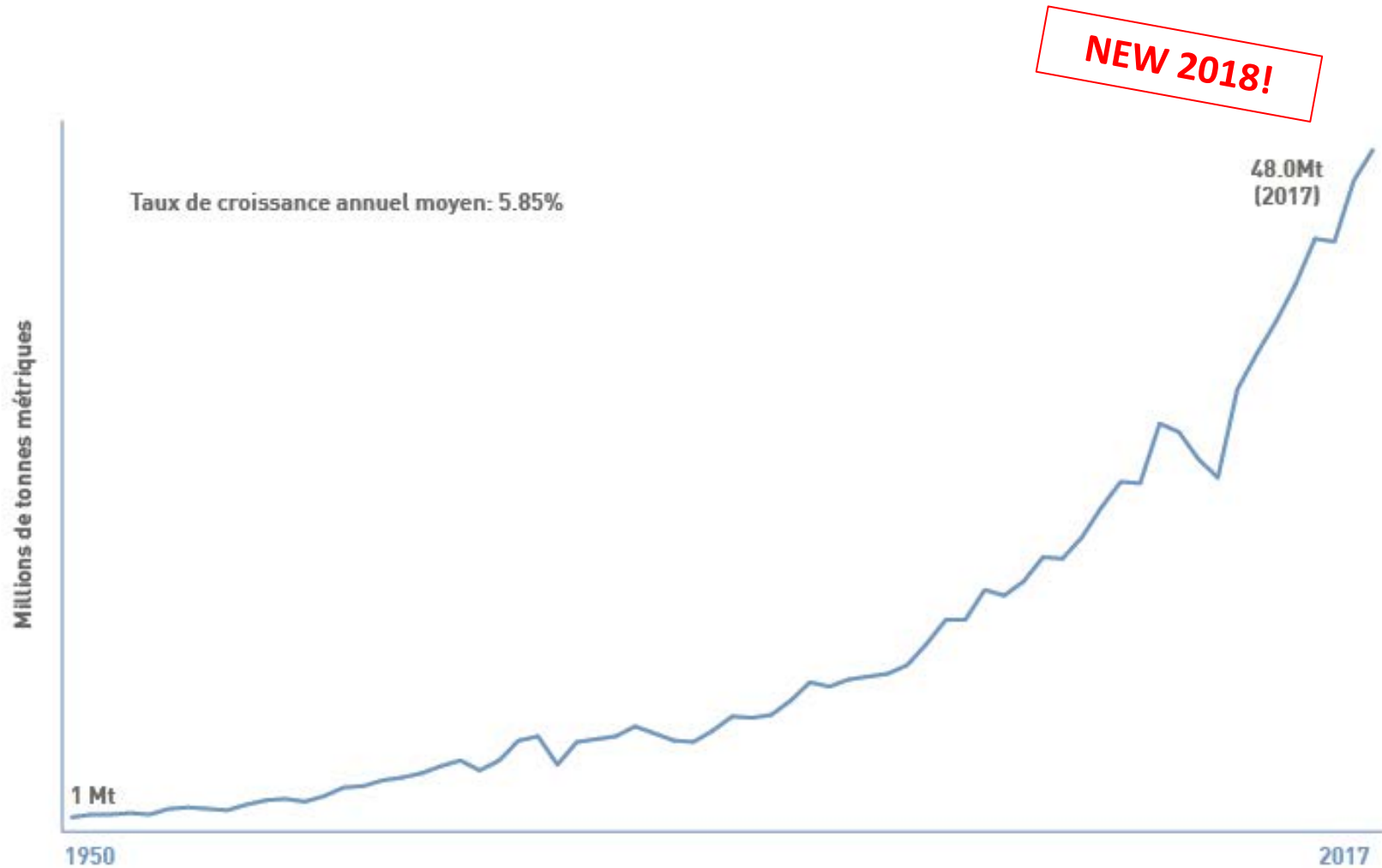
La demande est croissante

ter inoxydable ?

Production brute inox (équivalent brame/lingot) par région en milliers de tonnes métriques
Autres : Brésil, Russie, Afrique du Sud, Corée du Sud, Indonésie



Taux de croissance annuel moyen mondial Production brute d'inox²² (Millions de tonnes métriques)



Pourquoi l'acier inoxydable ?

En raison d'un ensemble de propriétés remarquables

- 1. Résistance à la corrosion** (voir module 5)
 - Dans tous les environnements : de tropical à polaire, en mer ou dans le désert, pollué ou non...
 - Autoréparant contrairement aux revêtements
- 2. Dure éternellement** avec peu ou pas d'entretien
- 3. Large éventail de propriétés mécaniques** selon les différentes familles d'aciers inoxydables (Austénitiques Cr-Ni – Austénitiques Cr-Mn – Ferritiques Cr – Duplex – Martensitiques Cr C) qui sont maintenant intégrées dans les principales normes de construction. Sans oublier une excellente résistance au feu (voir modules 6 et 7B)
- 4. Esthétique** : Grand choix de finitions de surface et de couleurs (voir module 8). Plus résistance aux dégradations dans les espaces publics
- 5. Facile à fabriquer/à assembler** (voir module 9)
- 6. Excellent en Développement Durable** (voir module 11)
 - Possède une grande durée de vie avec entretien minimal ou sans entretien.
 - 100 % recyclable (et recyclé à plus de 85 %) en fin de vie en acier inoxydable sans perte de caractéristiques
- 7. Sain et hygiénique** : Inerte, pas de contaminations, facile à nettoyer et à désinfecter
- 8. Propriétés spécifiques** : magnétique/non magnétique....

Qu'est-ce qui limite l'utilisation des aciers inoxydables ? Le prix

Les aciers inoxydables sont chers : Vrai ? ou Faux ?

Réponse : **Oui** et **Non**

Oui :

Si seul compte le coût initial du matériau (généralement à cause de moyens financiers limités au départ...)

Mais, ensuite, un mauvais choix peut coûter très cher :

- Le prix de l'acier inoxydable ne représente souvent qu'une petite partie du coût total du projet
- Les réparations intempestives et l'entretien peuvent générer des coûts directs et indirects énormes

Non :

si

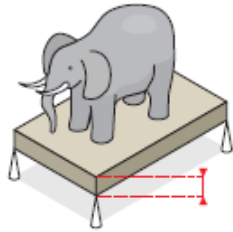
- Le Coût Global de Possession (CGP –LCC en anglais), c'est à dire le coût « réel », est pris en compte, c.à.d. si l'on inclut les coûts d'entretien, la durée de vie de la construction, son coût de remplacement de déconstruction*
- La conception est optimisée : des structures résistante et rigides peuvent être obtenues par les formes complexes de tôles minces, utilisant ainsi très peu de matière.

**Il est dans l'intérêt du client de toujours faire son choix à partir d'une analyse du CGP (LCC).*

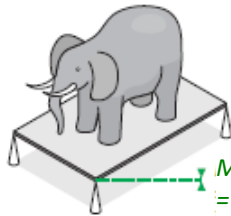
L'acier inoxydable (ainsi que d'autres métaux) nécessite moins de matière¹⁶

FAIRE PLUS AVEC MOINS

En raison de leur grande résistance, les métaux peuvent supporter des charges élevées avec moins de matière ou être utilisés pour renforcer d'autres matériaux



Matériaux non métalliques

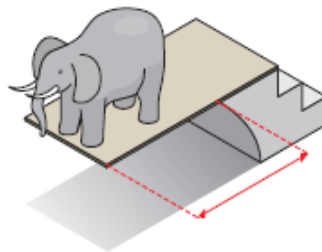


Métaux

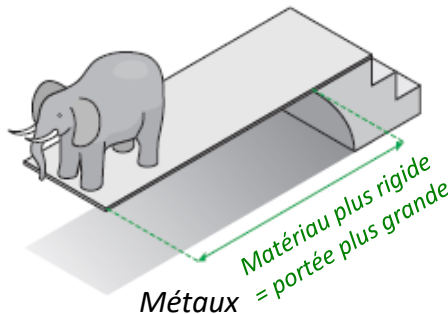
*Moins de matière
= épaisseur
réduite*

DES CONCEPTEURS PLUS LIBRES

Grâce à leur rigidité importante, les métaux permettent de franchir des portées plus grandes offrant ainsi une plus grande liberté de conception



Matériaux non métalliques



Métaux

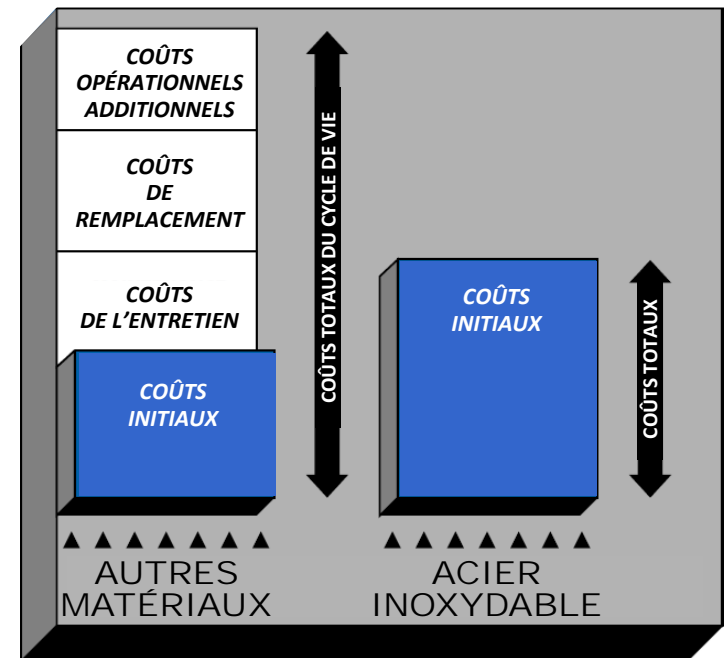
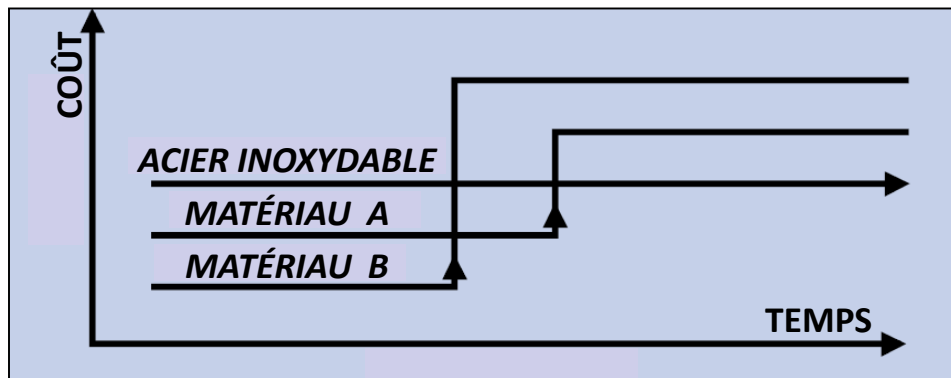
*Matériau plus rigide
= portée plus grande*

Des tôles en acier inoxydable de faible épaisseur : 0,4 mm et 0,6 mm sont couramment utilisées.

Poids : respectivement 3,12 kg et 4,68 kg seulement par m² !





Pourquoi l'acier inoxydable n'est pas cher si l'on prend en compte l'aspect financier du cycle de vie

Le coût de structures réalisées avec d'autres matériaux augmente substantiellement dans le temps alors que celui des structures en acier inoxydable reste habituellement constant.



Le coût de la corrosion dépasse 276 milliards de \$ rien qu'aux USA¹⁷

Comparaison du coût de possession de 2 structures^{18,19}

Structure	Terminée en	Matériau	Hauteur	Entretien
Tour Eiffel – Paris* 	1889 	Fer puddlé	324 m	Tous les 7 ans. Chaque campagne de peinture dure environ 1 an et demi (15 mois). 50 à 60 tonnes de peinture, 25 peintres, 1500 pinceaux, 5000 disques de meulage et 1500 ensembles de vêtements de travail.
Chrysler Building (toiture et entrée) – New York 	1930 (toiture 1929) 	Acier inoxydable austénitique (nuance : 302)	319 m	Deux fois en 1951 puis en 1961 et en 1995. Le produit de nettoyage utilisé en 1961 est inconnu. Un détergent dégraissant et abrasif doux a été utilisé en 1995.

* La tour Eiffel a été construite avant que l'acier inoxydable ne soit inventé... Elle était supposée être une structure temporaire mais le public l'a adorée et adoptée !

Autre exemple :

Comparaison de l'entretien de 2 ponts très connus^{20,21} :

- Le pont du Golden Gate à San Francisco
- Le pont de Stonecutter à Hong Kong



Le pont du Golden Gate (1937), San Francisco

<- Entretien



« une solide équipe de **13 métalliers** de **3 monteurs**, plus **28 peintres**, **5 manœuvres** et **un contremaître** se battent contre le vent, l'air marin et le brouillard, souvent suspendus très haut au-dessus du détroit, pour réparer les effets de la corrosion de l'acier. Les métalliers remplacent l'acier et les rivets corrodés par des boulons à haute résistance, réalisent les petites modifications nécessaires à l'utilisation du pont et assistent les peintres avec leurs échafaudages. Les charpentiers métalliers se chargent également de démonter des plaques et des barres pour permettre aux peintres d'accéder à l'intérieur des pylônes et des traverses. Les peintres préparent toutes les surfaces de l'ouvrage et repeignent toutes les parties corrodées. »²⁰

Le pont de Stonecutter (2009), Hong Kong

<- Entretien



Détails du projet : Pont à haubans d'une longueur de 1 596 m conçu pour résister aux typhons. Le tablier est à 2 × 3 voies pour une portée libre de 1 018 m. Il libère un gabarit de 73,5 m de hauteur.

Matériaux : Plaques d'acier inoxydable EN1.4462 (Duplex) de limite d'élasticité 450 MPa utilisées pour les pylônes du niveau +175 m jusqu'au sommet à +295 m et pour la peau de la partie inférieure.

Pourquoi l'acier inoxydable plutôt que l'acier au carbone : Le pont est conçu pour une durée de vie de 120 ans dans un environnement marin chaud et pollué. Il est conçu pour ne nécessiter aucun entretien.²¹

Références principales (1/2)

1. <http://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>
(b) [http://wiki.answers.com/Q/What is the weight of a red clay brick in Kilograms](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms)
3. <http://www.cembureau.eu/about-cement/key-facts-figures>
(a) <https://www.worldsteel.org/> (b) www.globalcastingmagazine.com
4. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
5. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
6. <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>
7. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
8. [http://worldstainless.org/statistics/crude steel production](http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production)
9. <http://www.withbotheyesopen.com/>
10. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
11. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
12. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf
13. <http://www.aperam.com/>
14. [Wikipedia](#)
15. <http://www.nickelinstitute.org/en/MediaCentre/Publications/MetalsforBuildings.aspx>

Références principales (2/2)

17. <http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>
18. a) <https://www.tou Eiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building b)
http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/TimelessStainlessArchitecture_11023_.pdf
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. <http://www.nickelinstitute.org/~media/Files/NickelUseInSociety/Architecture/Construction%20Case%20Studies/CS-1%20Stonecutters%20Bridge%20HK%20low%20res.ashx>
22. http://www.worldstainless.org/statistics/publications_and_papers

Merci !