



GALVANISATION À CHAUD

Présentation par:
M. Godfroy St-Pierre
CEBQ, 24 février 2021



But du séminaire technique



- Le but de ce séminaire est d'éduquer les ingénieurs, les architectes ainsi que les autres spécificateurs sur la conception, l'inspection, et les bénéfices de la galvanisation à chaud pour un ensemble de projets à travers l'Amérique du Nord.

Objectifs d'apprentissage



À la fin du séminaire, vous pourrez :

- Comprendre le besoin de communication tout au long du processus de conception;
- Déterminer les meilleures pratiques de conception pour les produits à galvaniser selon les lignes directrices des spécifications de l'ASTM;
- Effectuer les méthodes d'inspection et d'essai appropriées pour l'acier galvanisé à chaud;
- Reconnaître l'importance d'une bonne préparation de la surface pour le succès global d'un système duplex.

Association des Galvaniseurs d'Amérique (AGA)

- Organisation à but non lucratif établi en 1993
 - Sert de voix principale et d'expert dans le domaine de la galvanisation à chaud
- Offre une assistance technique pour les applications innovantes dans le domaine de la galvanisation à chaud
 - Assistance gratuite pour les consultants nord-américains
 - Ressource pour nos membres



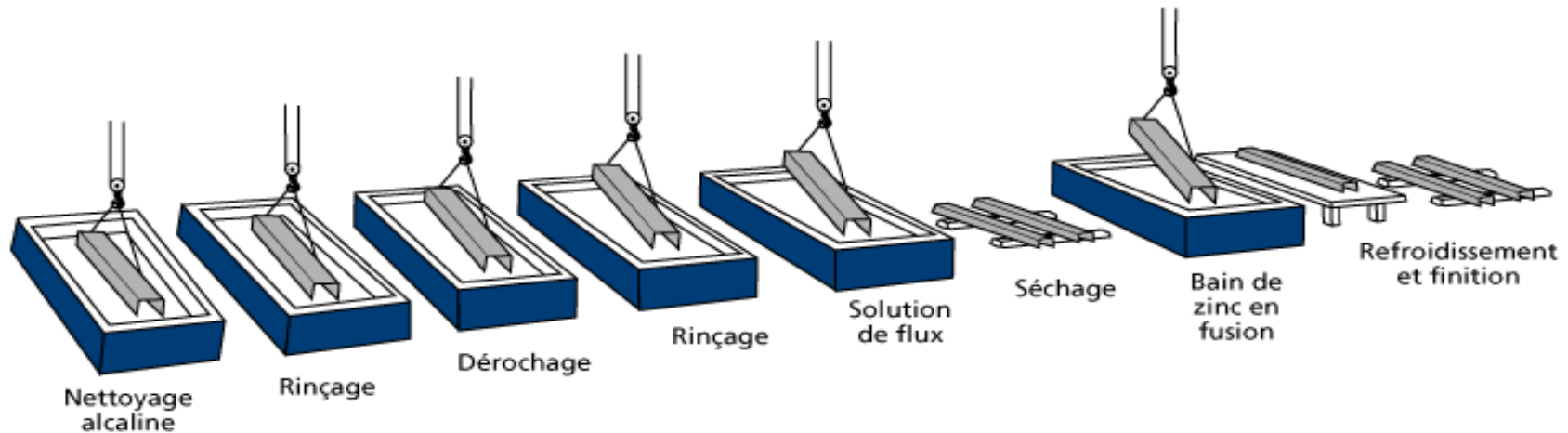


GALVANISATION À CHAUD

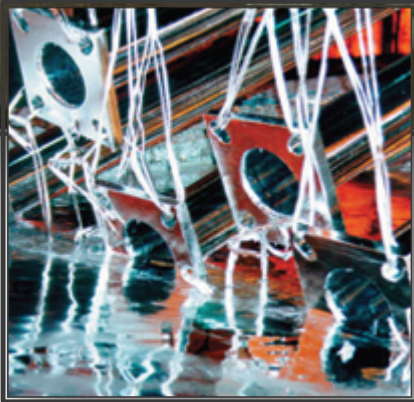
Processus et préparation de la surface

Galvanisation à chaud: processus

PROCESSUS DE GALVANISATION



Galvanisation à chaud: procédé



- Acier immergé dans le bassin de zinc fondu (~830 F)
- Chimie des bassins >98% de zinc pur
 - Jusqu'à 2 % d'additifs (Al, Bi, Ni)
- Le zinc fondu réagit avec le fer dans l'acier pour former un revêtement métallographiquement lié.
- La réaction est complète lorsque l'acier atteint la température du bassin.

Préparation de la surface

Un nettoyage en profondeur est nécessaire, car le zinc ne réagira qu'avec de l'acier propre.

Trois solutions de nettoyage:

- Dégraissage - enlève la saleté, les huiles, les résidus organiques
- Décapage - enlève le tartre et les oxydes
- Fluxage - nettoyage doux, couche protectrice

▷ Les zones impures ne développeront pas de revêtement de zinc.





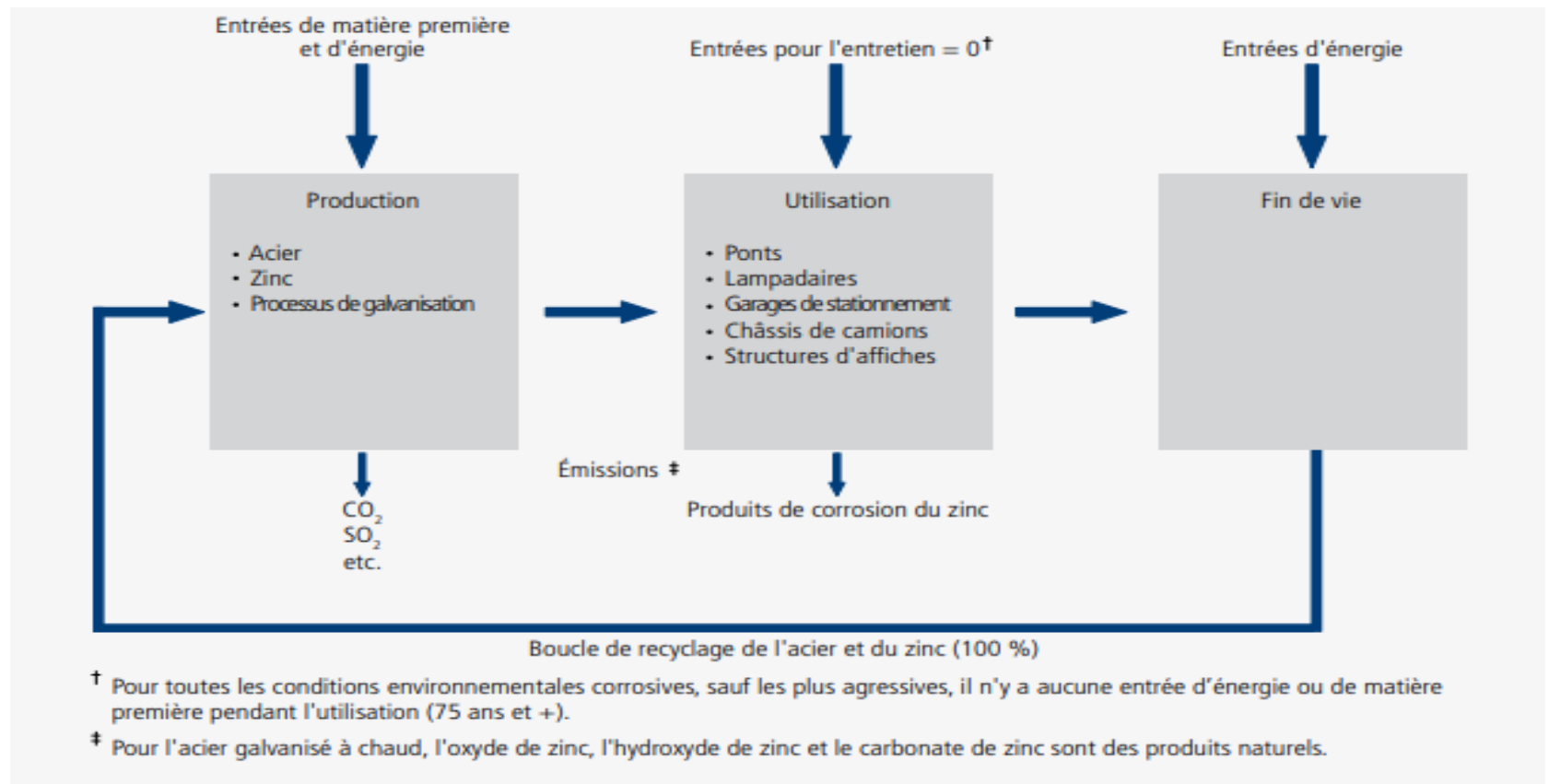
**POURQUOI CHOISIR LA
GALVANISATION À
CHAUD?**

Ressource renouvelable

- Acier + zinc sont 100% recyclables.
 - Plusieurs cycles sans perte de propriétés
 - 90% d'acier de construction provenant de sources recyclées.
 - 30% de l'approvisionnement mondial en zinc provenant de sources recyclées .
- Taux de remise élevé
 - L'acier est le matériau le plus recyclé au monde, 100% est récupéré.
 - Zinc = 80%



Analyse du cycle de vie pour la galvanisation à chaud



Avantages économiques



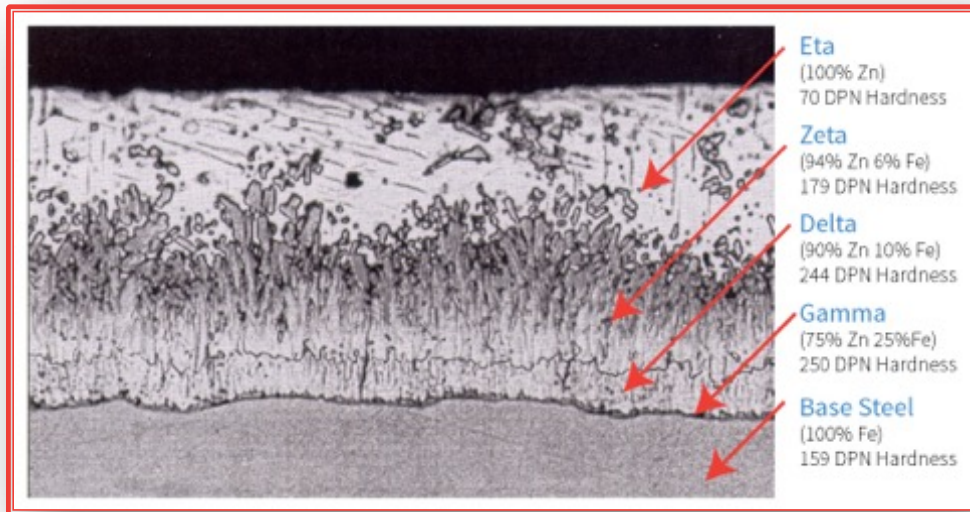
- Coûts-avantages initiaux
 - Coût global du matériel et de l'application
 - Gain de temps dans la construction
- Économies sur le cycle de vie
 - Coût total réparti sur la durée de vie du projet
 - Comprend les coûts d'entretien et la valeur temporelle de l'argent (intérêts/inflation)
 - Souvent, le coût initial du projet devient le coût total du cycle de vie
- L'évaluation du coût du cycle de vie des barres d'armature est compliquée
 - Étude de base (revêtement sur barre, niveau de chlorure)
 - Remplacement du tablier ou défaillances du béton

Durabilité : résistance à l'abrasion, protection uniforme, couverture complète

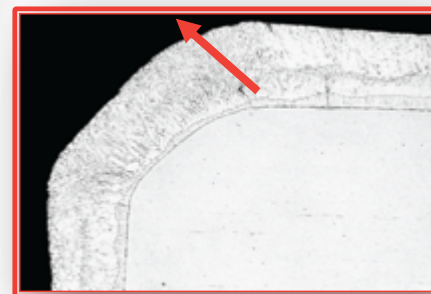
Fils entièrement revêtus



Couverture intérieure



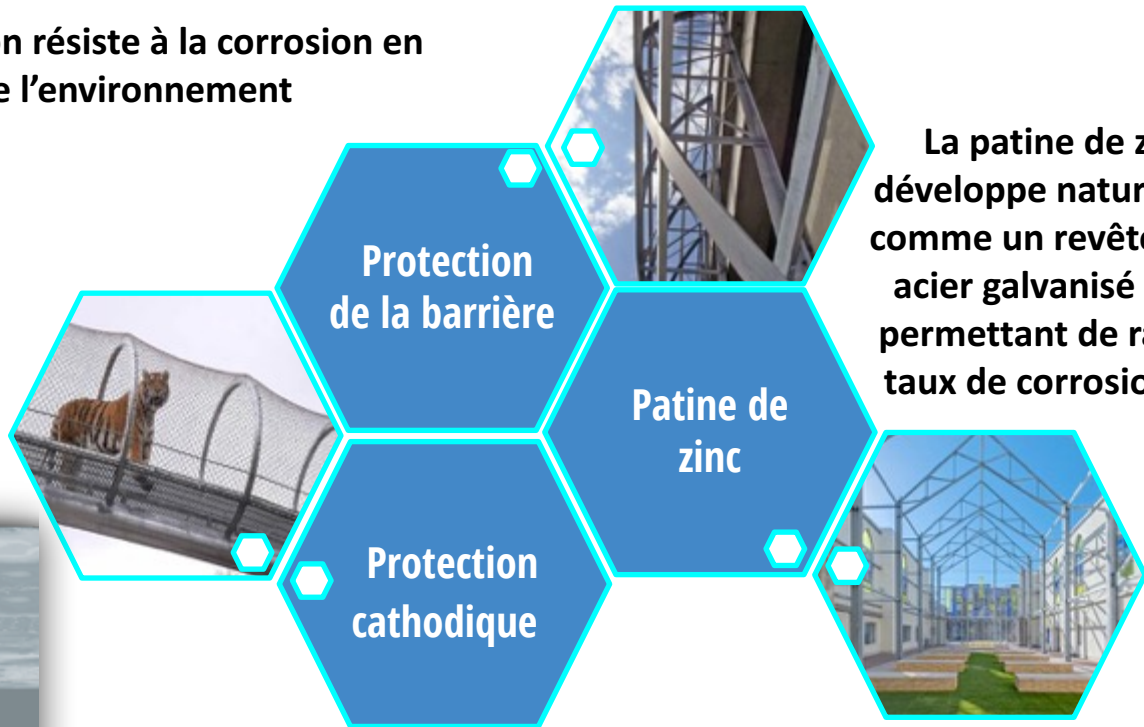
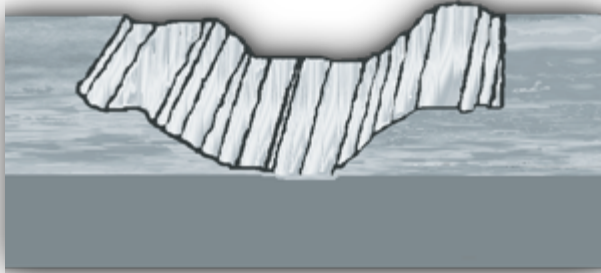
La même épaisseur au
niveau du revêtement de
bord / coin croît
perpendiculairement à la
surface



Protection anticorrosive durable

La barrière de protection résiste à la corrosion en isolant l'acier de l'environnement

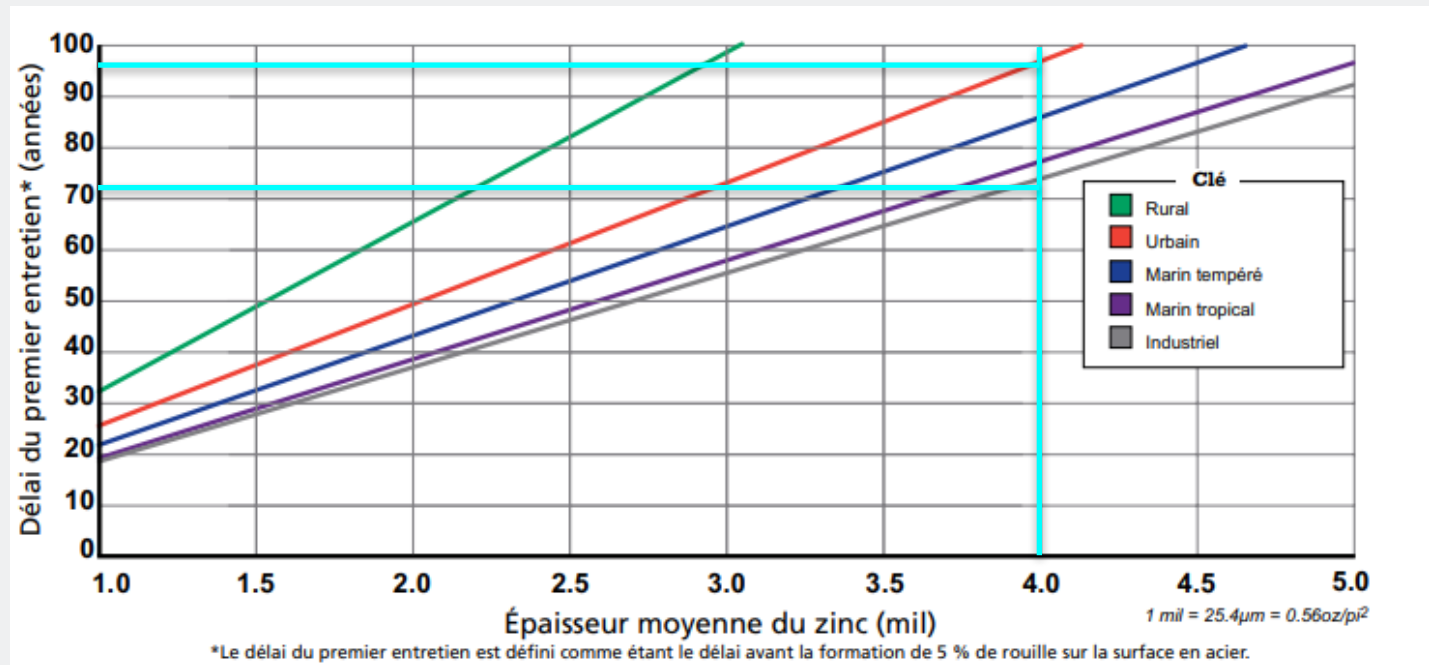
Le zinc est anodique à l'acier et fera des sacrifices pour protéger l'acier sous-jacent jusqu'à ce que tout le zinc environnant soit consommé



La patine de zinc se développe naturellement comme un revêtement en acier galvanisé à chaud permettant de ralentir le taux de corrosion global



Galvanisation en cours d'utilisation: longévité jusqu'au premier entretien





NORMES DE GALVANISATION À CHAUD

STANDARDS ASTM

- Exigences relatives à l'épaisseur, à la finition/à l'apparence du revêtement et à l'adhérence
 - ASTM A123
- Produits sidérurgiques généraux
 - ASTM A153
- Attaches/petites pièces centrifugées ou filetées
 - ASTM A767
- Acier de renforcement (barres d'armature)
- A également des diamètres de pliage

AUTRES STANDARDS DE GALVANISATION

- Organisation canadienne de normalisation
- CSA G164*** (nouvelle version industrie électrique)
- Organisation internationale de normalisation (ISO)
- ISO1461
- American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO)
- AASHTO M111
- AASHTO M232

NORMES PRÉ-GALVANISATION

- ASTM A143
 - Protection contre la fragilisation
- ASTM A384
 - Minimiser la distorsion

ASTM A385

- Pratique pour les revêtements galvanisés de haute qualité
- ASTM A1068
 - Analyse du coût du cycle de vie de l'acier
 - protection contre la corrosion

NORMES POST-GALVANISATION

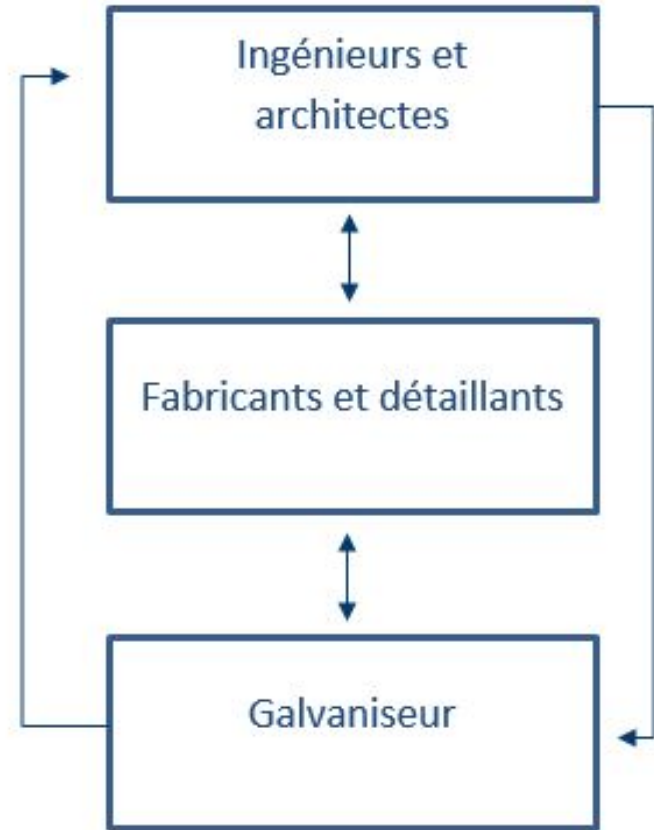
- ASTM A780
 - Retouche et réparation de produits galvanisés
- ASTM D6386
 - Préparation de la surface pour la peinture sur la galvanisation à chaud
- ASTM D7803
 - Préparation de surface pour revêtement en poudre sur la galvanisation à chaud



CONCEPTION & FABRICATION

La communication est la clé

- Chimie de l'acier et état de surface
- Taille et forme
- Température/chaueur du procédé
- Ventilation et drainage
- Soudage
- Pièces/raccords filetés
- Conception/utilisation après galvanisation



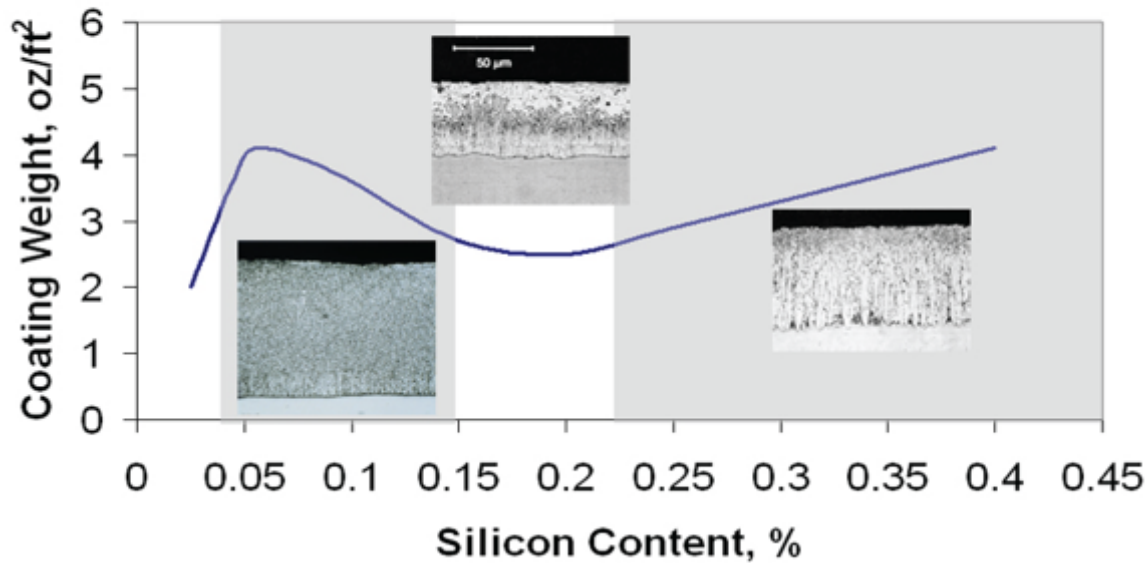
Matériaux appropriés pour la galvanisation à chaud



- Métaux ferreux
 - Acier au carbone
 - Vieillissement de l'acier
 - Acier inoxydable
- Attaches
 - Centrifugé pour éliminer l'excès de zinc
- Castings
 - Le nettoyage/la conception spéciale est important

Chimie de l'acier

Sandelin Curve



- ▷ Chimie de l'acier recommandée pour la galvanisation à chaud (ASTM A385)
- ▷ Silicium 0,04 % ou 0,15 % à 0,22 %
- ▷ Phosphore 0,04 %
- ▷ Carbone 0,25 %
- ▷ Manganèse 1,30 %

Conditions de la surface

- Des conditions de surface variables entraînent des apparences différentes
 - Vieux/nouveau acier
 - Combinaison de matériaux
 - Différentes chimies
 - Aciers rouillés/calaminés vs surfaces neuves/machinées
- Méthodes de fabrication
- Besoins et temps du processus



Grandeur et forme



- Variété de tailles/formes
 - Le bassin moyen mesure 40 pieds
 - Beaucoup de bassins de 50-60 pieds
 - Le poids peut également être un facteur important
- Les ponts roulants/grues transportent l'acier
 - Chaînes, fils, systèmes de rayonnage ou paniers perforés contenant des matériaux
 - Points de levage dans la mesure du possible
- Concevoir les grandes structures en modules ou sous-ensembles et raccorder après la galvanisation.
- Trempage progressif pour pièces surdimensionnées.

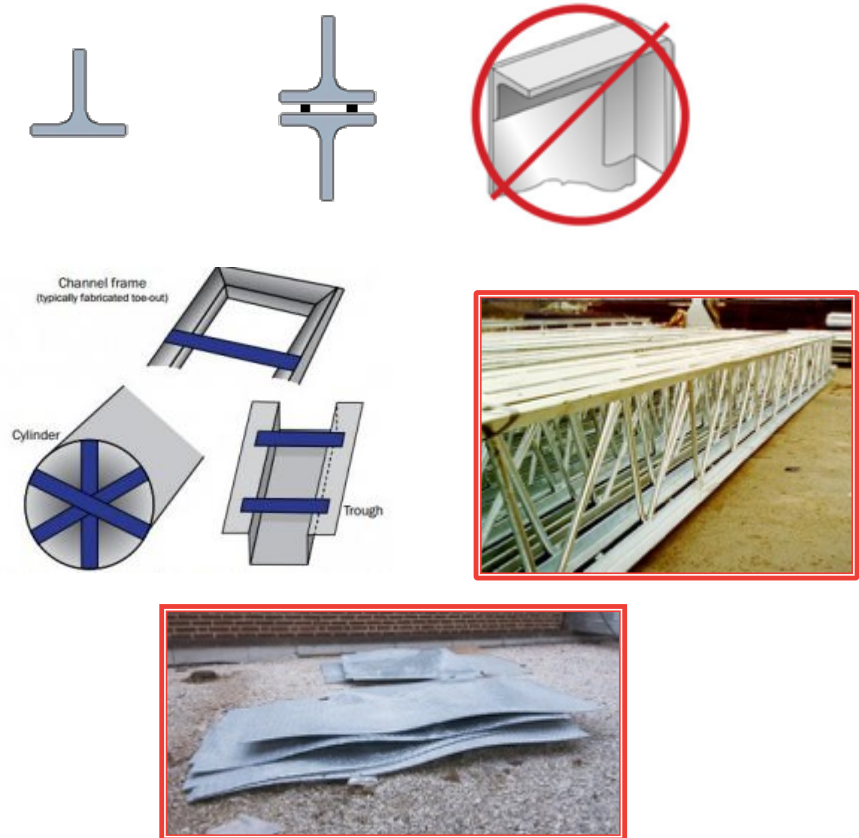
Température du processus et propriété mécanique

- La température de la galvanisation à chaud ne change pas:
 - Chimie de l'acier
 - Résistance à la traction
 - Limite d'élasticité
 - Propriétés de pliage
 - Propriétés d'impact
 - Micro-structure de l'acier
- Le processus de la galvanisation à chaud n'affaiblit pas les aciers à haute résistance.



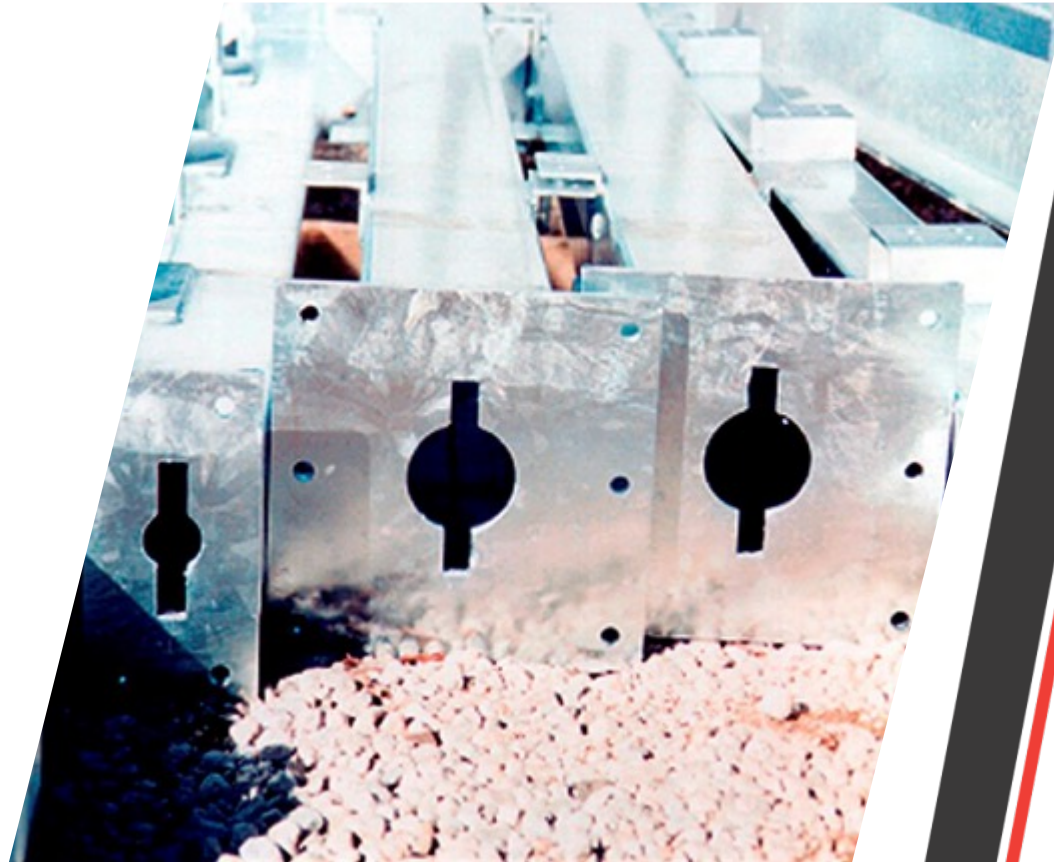
Les meilleures méthodes pour éviter gauchissement/distortion

- Communication entre le galvaniseur, le concepteur et le fabricant au début du processus de conception
 - Suivre les directives de l'ASTM A384
 - Feuilles/plaques >1/4 po
 - Plaque à carreaux/losanges
 - Traitement thermique après travail à froid
- Conception symétrique
- Épaisseur égale/presque égale dans les assemblages
- Joints se chevauchant
- Trempage progressif
- Renforts temporaires (pour les articles à parois minces)



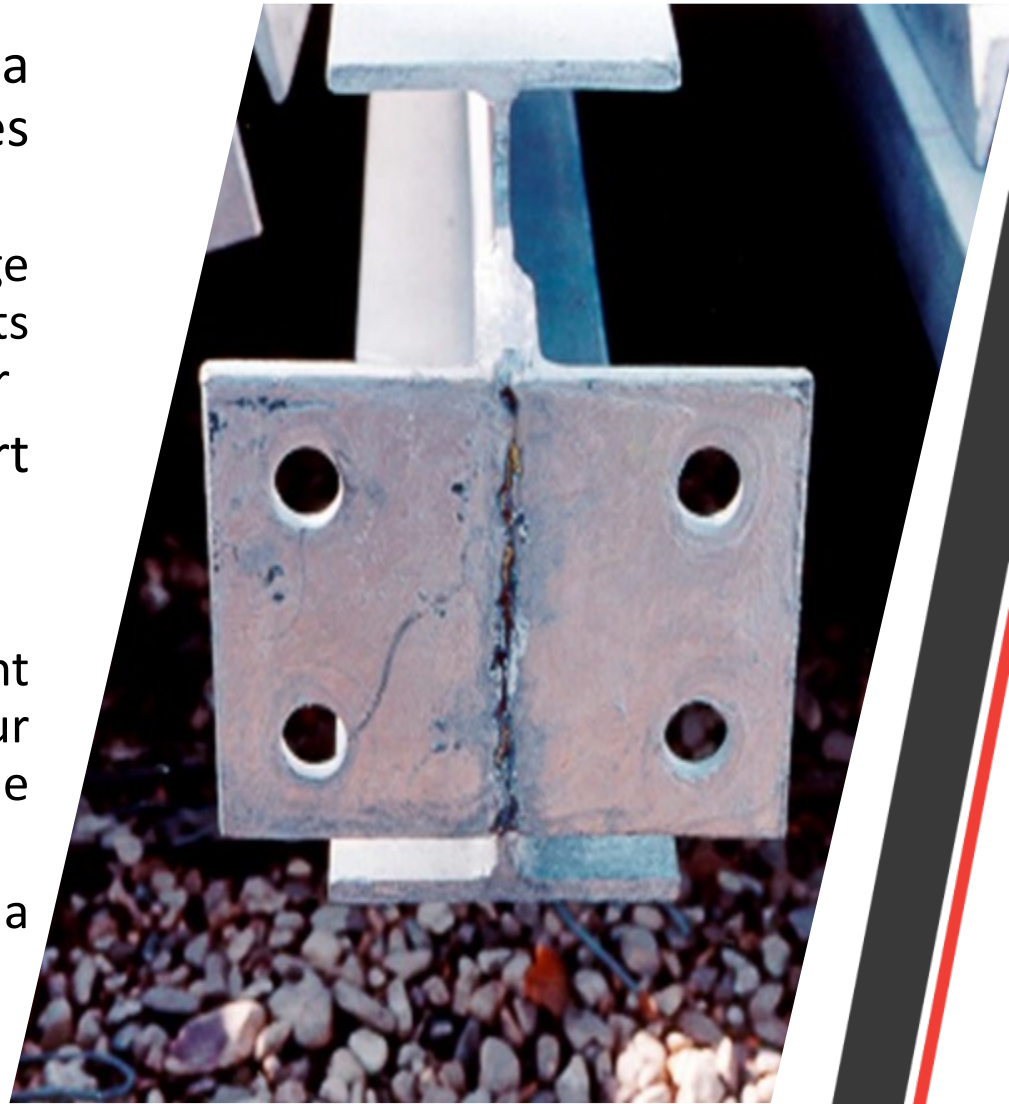
Aération et drainage

- Les solutions de nettoyage et le zinc doivent circuler dans, à travers, et hors des articles pour une galvanisation efficace.
- Les trous de ventilation/de vidange permettent à l'air de s'échapper, d'être immergée et de drainer l'excès de zinc.
- Extrêmement important pour la sécurité du personnel et pour éviter d'endommager la fabrication/l'équipement.
- Référence ASTM A385 pour la conception et le dimensionnement de l'évacuation et du drainage recommandé.



Chevauchement de surface

- La viscosité du zinc empêche la pénétration dans les interstices inférieurs à 3/32 po
 - Les solutions de nettoyage pénètrent dans de plus petits interstices – peuvent se séparer
- Point de soudure avec écart minimum de 3/32 po
- Soudage complet des joints
 - Grand chevauchement nécessitant une ventilation pour prévenir le piégeage de l'humidité
 - Référence ASTM A385 pour la ventilation exigée



Surfaces de chevauchement de ventilation

Zone chevauchée pi ² (cm ²)	Acier ≤ ½ po. (12.75 mm) d'épaisseur		Acier > ½ po (12.75 mm) d'épaisseur	
	<i>Trous d'aération</i>	<i>Zone non soudée</i>	<i>Trous d'aération</i>	<i>Zone non soudée</i>
En-dessous de 16 (103)	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
16 (103) à >64 (413)	Un de 3/8 po (1 cm)	1 po (2.5 cm)	Aucun	Aucun
64 (413) à >400 (2580)	Un de ½ po (1.25 cm)	2 po (5.1 cm)	Un de ½ po (1.25 cm)	2 po (5.1 cm)
>400 (2580) 400 (2580) ch.	Un de ¾ po (1.91 cm)	4 po (10.2 cm)	Un de ¾ po (1.91 cm)	4 po (10.2 cm)

Effet galvanique entre les divers métaux en contact

Table 1: Bi-metallic Effect on Galvanized Steel in Various Applications
(Click to Enlarge)

	Rural or Moderate Environment			Industrial Environment			Marine Environment			Immersion	
	High Zinc / Metal ratio	Equal Zinc / Metal Ratio	Low Zinc / Metal Ratio	High Zinc / Metal ratio	Equal Zinc / Metal Ratio	Low Zinc / Metal Ratio	High Zinc / Metal ratio	Equal Zinc / Metal Ratio	Low Zinc / Metal Ratio	Fresh Water	Sea Water
Magnesium, Magnesium Alloys	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Zinc, Zinc Coatings											
Cadmium, Beryllium											
Aluminum, Aluminum Alloys											
Aluminum-Copper Bronzes											
Carbon Steel, Low-Alloy Steel											
Cast iron											
Lead											
Tin											
Passivated Ferritic Stainless Steel (400s)											
Passivated Austenitic Stainless Steel (300s)											
Weathering Steel										n/a	n/a
Brasses											
Nickel, Cobalt, Monel, Nickel-Copper Alloys											

*Note: metal in row (and not zinc) is the metal which will experience accelerated corrosion.

No impact or very slight impact on long-term corrosion resistance of HDG (or metal in row) which may be tolerable.

Moderate impact on long-term corrosion resistance of HDG. Electrical isolation recommended to maximize service life.

Fairly severe impact on long-term corrosion resistance of HDG. Electrical isolation typically required.

Severe impact on long-term corrosion resistance of HDG. Combining metals is not recommended.

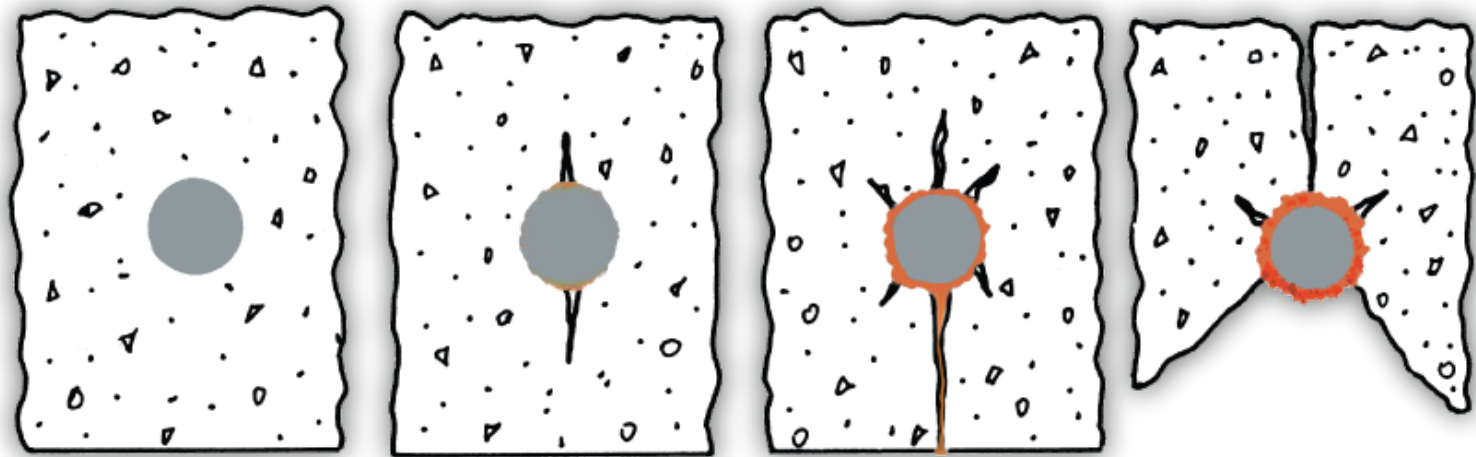
**GALVANISATION
SPÉCIFIQUE AUX BARRES
D'ARMATURE**

Comment la galvanisation à chaud des barres d'armature ralentie la corrosion



- ▷ Protection durable
- ▷ Action cathodique
- ▷ Développement du composé de zinc
- ▷ Seuil de chlorure
- ▷ Migration de sous-produits de zinc
- ▷ Force de liaison au béton

Étapes de corrosion des barres d'armature



Signes visibles de corrosion des barres d'armature

Décoloration



Fissuration



Éclatage



Défaillance complète



Corrosion des barres d'armature

- Initialement – Coloration cosmétique
- Éventuellement – Affaiblissement structurel



Produits d'armature galvanisée



Barres droites

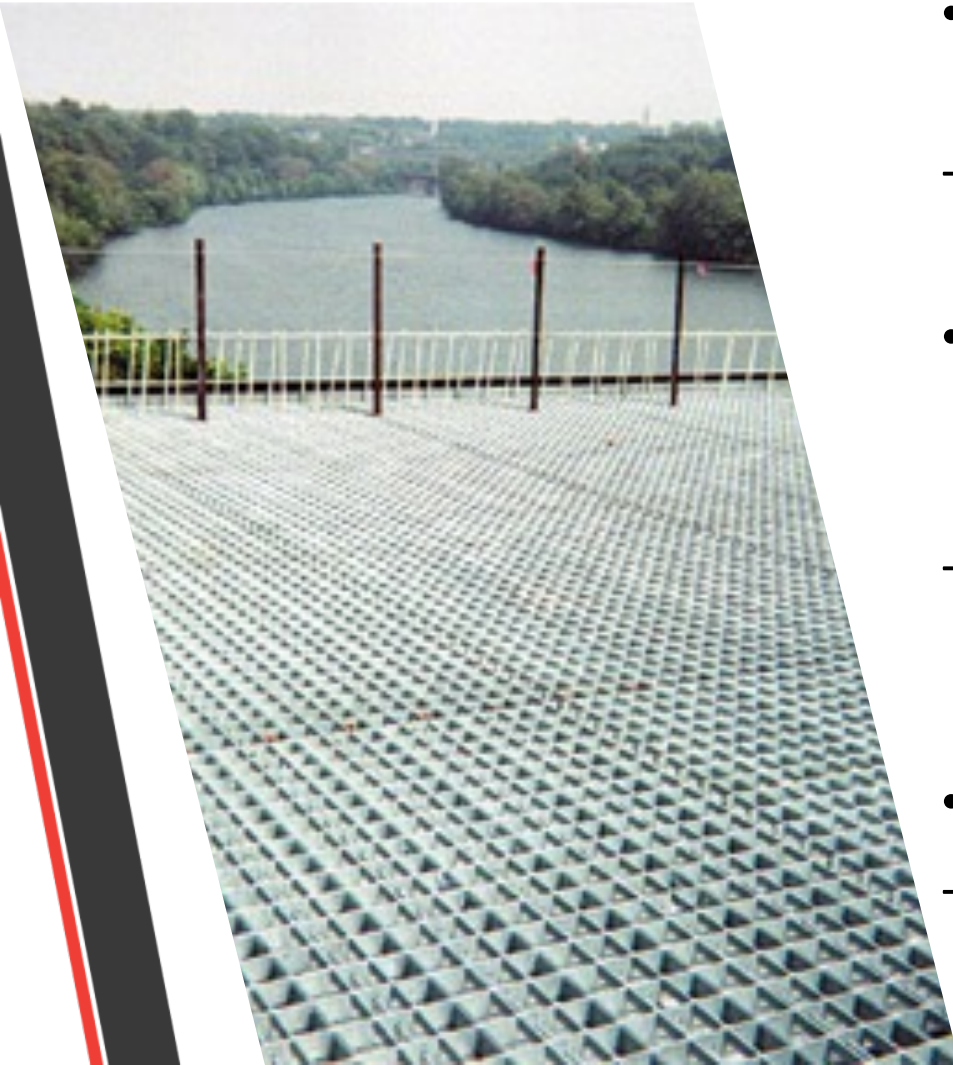


Armature maillée



Étriers et cravates

Zinc dans le béton



- Passivé par la formation d'une couche de cristaux adhérents
 - Hydroxyzincate de calcium (CHZ)
- La réaction commence au contact avec une solution de ciment humide
 - S'arrête une fois que le béton durcit
- Le film de surface stabilise le zinc
 - Deuxième niveau de protection barrière

Comment le zinc protège les barres d'armature



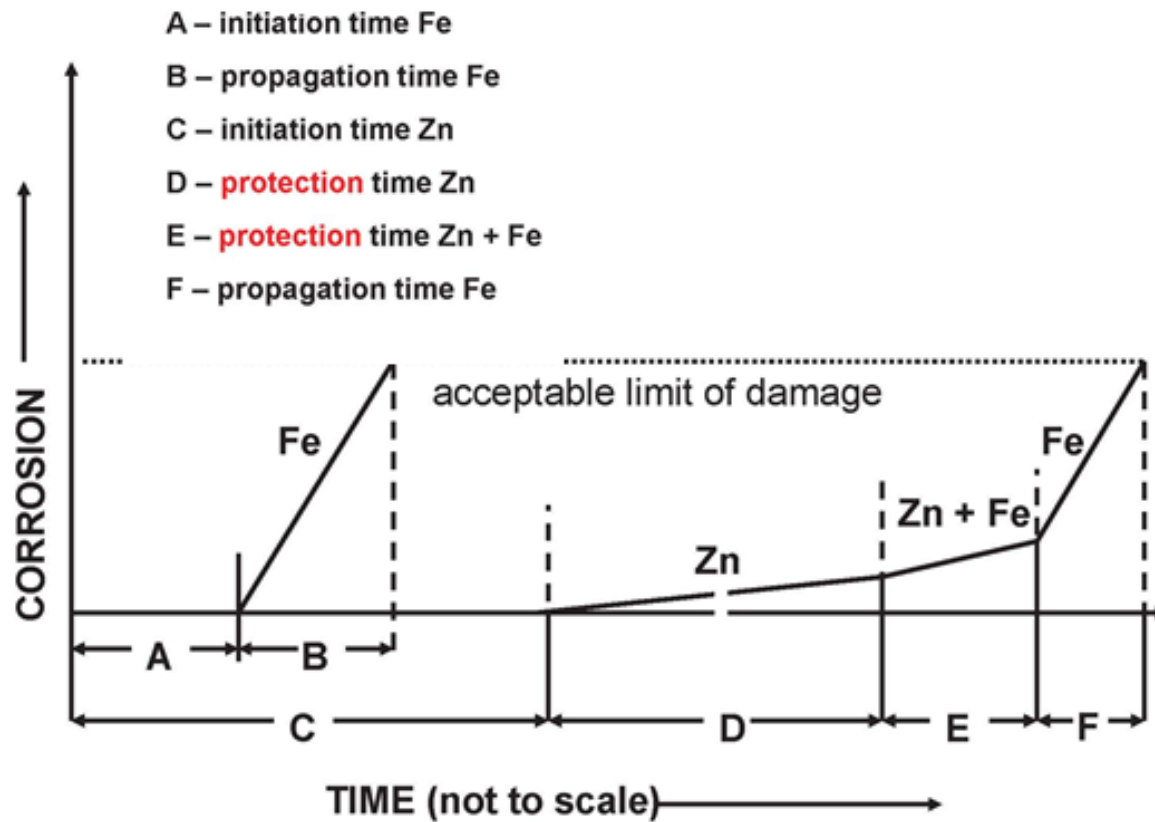
- Produit de réaction de passivation (CHZ)
- Seuil de chlorure élevé (2-4x acier noir)
- Faible tolérance au PH (carbonatation)
- Migration des produits de corrosion
 - Densification de la matrice du béton
 - Génération de stress de l'unité inférieure
 - Bonne adhérence
- Revêtement barrière
- Protection cathodique



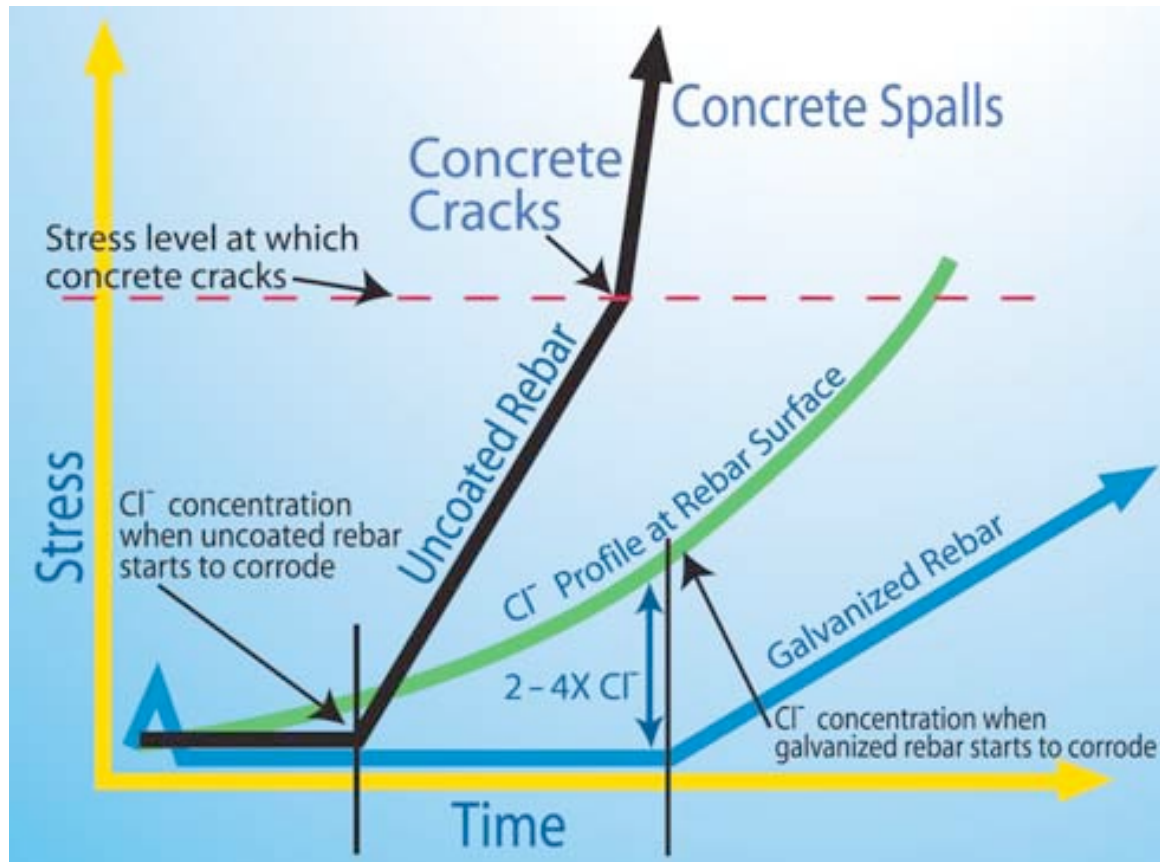
LONGÉVITÉ

Performance dans le béton des barres d'armature
galvanisées

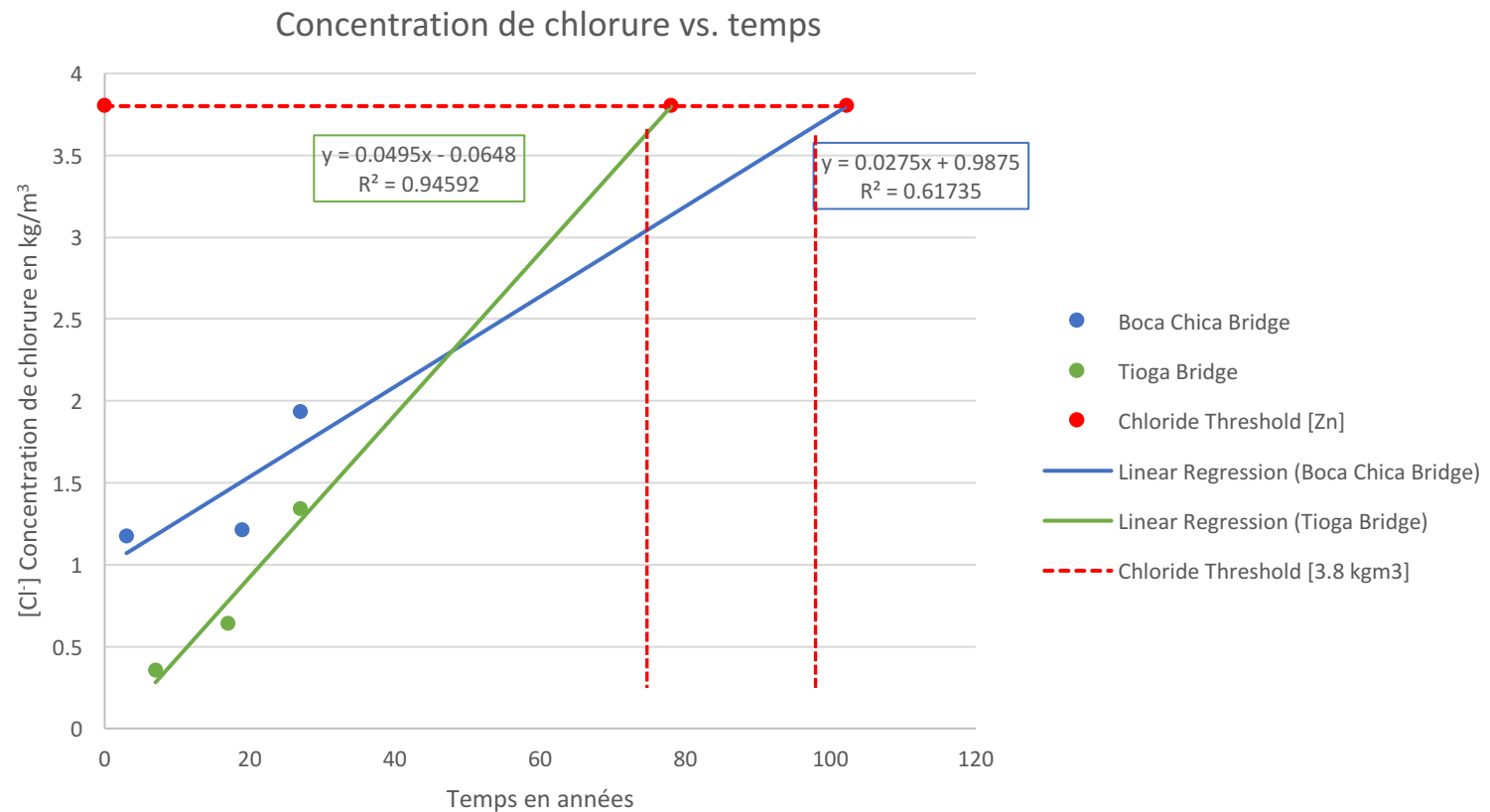
Corrosion de l'armature



Modèle de corrosion



Concentration de chlorure vs. temps

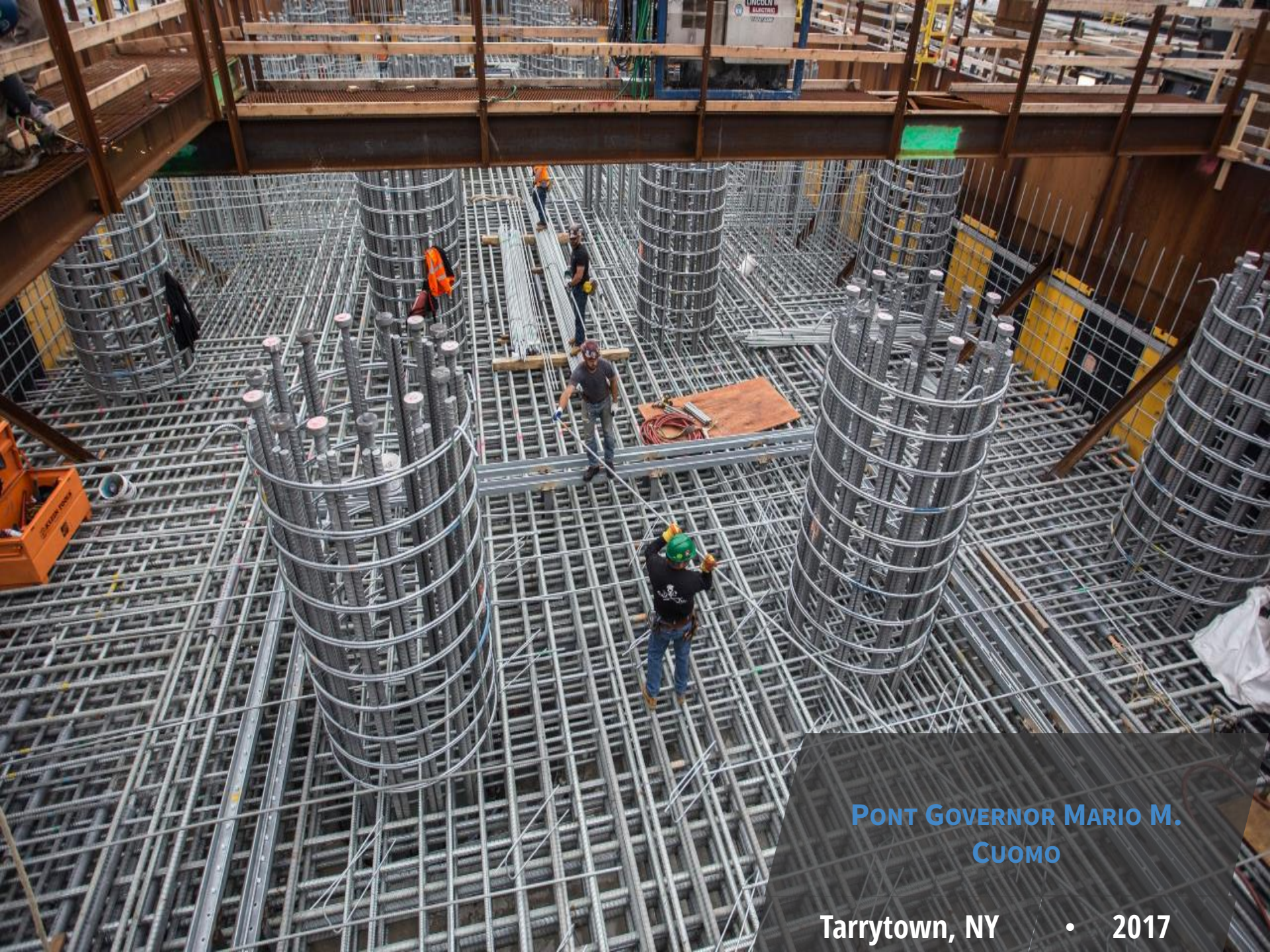


**SURVOL DE PROJETS
D'ARMATURES ET
D'ÉLÉMENTS STRUCTURAUX
GALVANISÉS**



PONT STONEHAM

Stoneham, QC • 2012



PONT GOVERNOR MARIO M.
CUOMO

Tarrytown, NY • 2017



STATIONNEMENT DE
L'UNIVERSITÉ CONCORDIA

Montréal, QC

• 2021

Linteaux d'acier



Linteaux d'acier



Corrosion des linteaux d'acier

Ancrages d'acier





IMMEUBLE CENTRE-VILLE QC

Québec, Qc



**CENTRE CORNELL TECH
BLOOMBERG**

New York City, NY

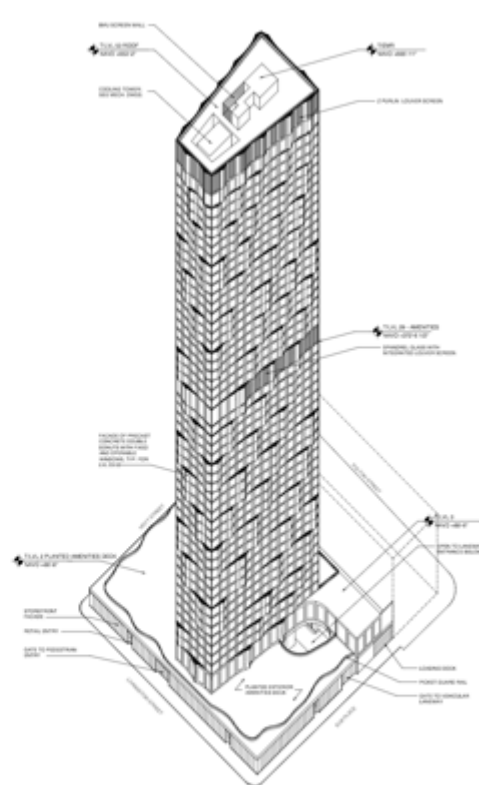


YANKEE STADIUM

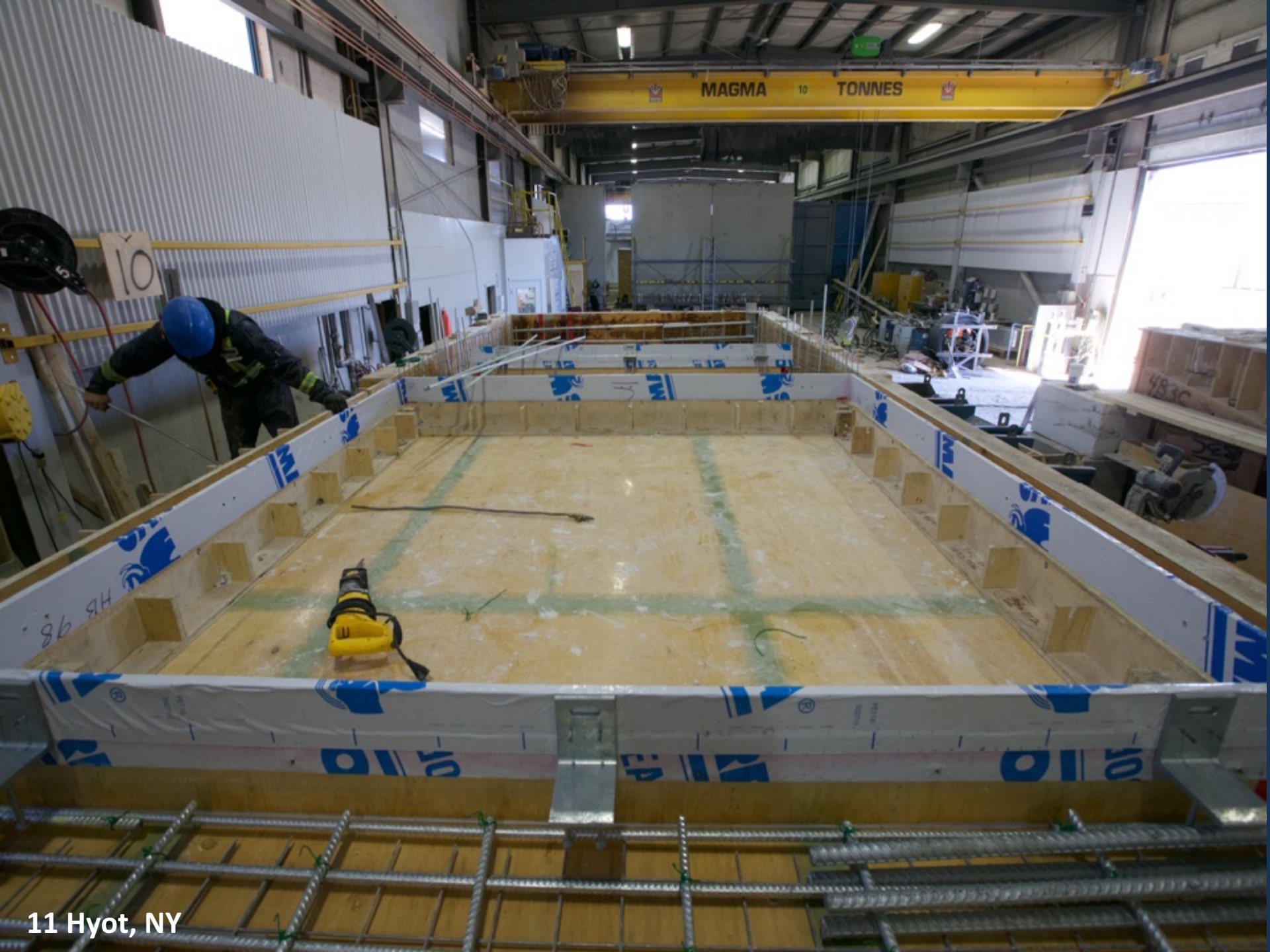
GATE 4

YANKEE STADIUM

The Bronx, NY



① VIEW FROM NORTH-WEST.





30 Park Place, NY





RÉSUMÉ

RESSOURCES AGA

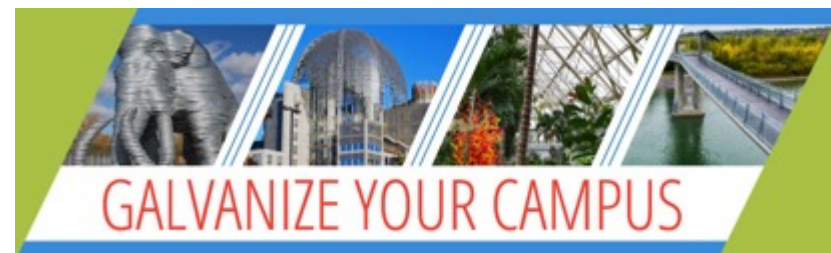
- Localisateur des galvaniseurs/GalvaSource
 - galvanizeit.org/galvanizers
- Assistance technique/ expertise
 - galvanizeit.org
 - aga@galvanizeit.org; 720.554.0900
- Connaissances de Dr. Galv
 - galvanizeit.org/knowledgebase
- Galerie de projets AGA
 - galvanizeit.org/project-gallery
- Infolettres
- Bibliothèque technique



AGA Programme d'intérêt

- Prix d'excellence en galvanisation à chaud
- Programme annuel reconnaissant les utilisations novatrices de l'acier galvanisé à chaud
- Soumettez vos meilleurs projets galvanisés en ligne sur : galvanizeit.org/Easubmissions
- Études sur l'acier galvanisé (ESG)
- Étude de cas/témoignages vidéos de projets galvanisés après 10 ans et plus en service
- galvanizeit.org/GSS

- Galvanisez votre programme de campus
 - Ciblant les nouveaux professionnels
 - Visites du campus
 - Concours de design
 - Galvanisez la bourse annuelle du futur
 - Deux de 2500 \$



QUESTIONS & COMMENTAIRES

- Association des Galvaniseurs d'Amérique
 - www.galvanizeit.org
- Évaluation des séminaires
 - galvanizeit.org/seminar-evaluation
- Contact
 - aga@galvanizeit.org
 - 720.554.0900

