

ARMATURES INOX – ACIERS AUTOPATINABLES



Cerema Méditerranée

02 mars 2017

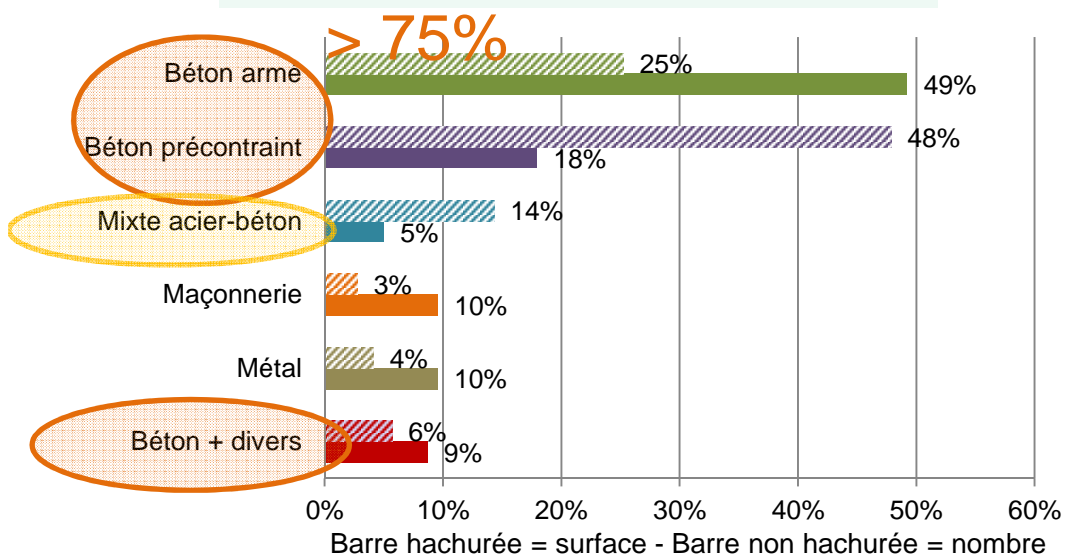
**Journée technique sous l'égide de la CoTITA
« Ouvrages d'Art et enjeux environnementaux »**

Armatures inox

Problématique : corrosion du béton armé

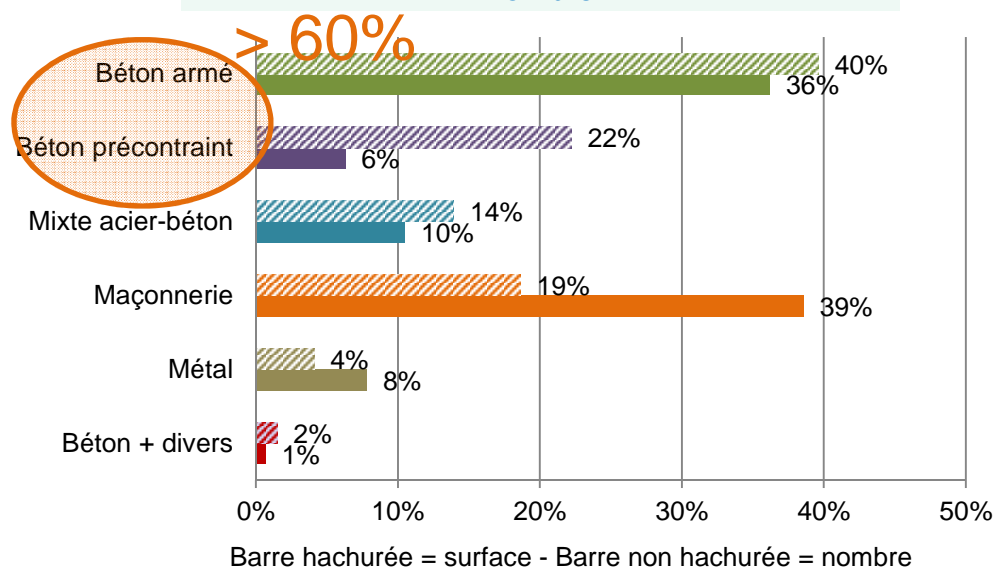
- Patrimoine OA en béton majoritaire en France

Répartition des familles de ponts en surface et en nombre



Patrimoine Etat

Répartition des familles de ponts en surface et en nombre



Patrimoine d'un département

Armatures inox



Armatures inox

Problématique : corrosion du béton armé

- Dégradations apparaissant à +/- long terme



Bowstring en BA de 1923 – Photos CD54



Pont en BA de 1953 – Photos CD54



Intérieur d'un caisson en BP de 1976 – Défauts d'enrobage – Photos CD54



About d'ouvrage – Défauts d'enrobage et d'étanchéité des joints – Photos CD54

Armatures inox

Problématique : corrosion du béton armé

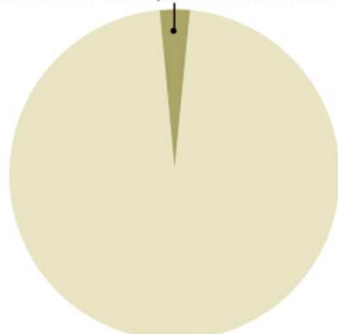
\$1100 Milliards (2016) coûts directs et indirects

- Conséquences

- Coût annuel de la corrosion aux USA estimé à \$276 Milliards (2002), soit 260 Milliards € (soit 3,1% du GDP = PIB)
- Dont \$22,6 Mrd (21,3 € Mrd) pour les infrastructures (ponts, pipelines, voies navigables et ports, réservoirs de stockage de matières dangereuses, aéroports et voies ferrées)

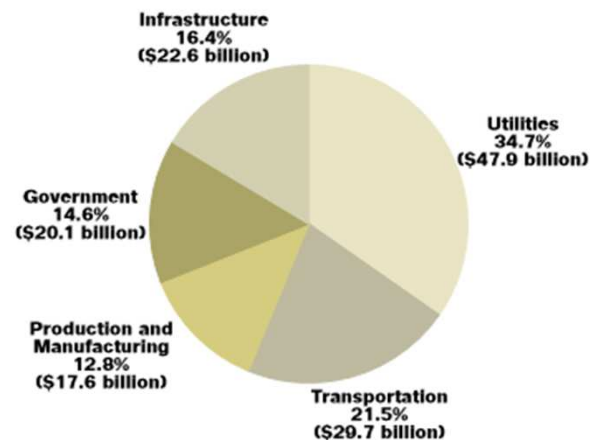
COST OF CORROSION IN INDUSTRY CATEGORIES (\$137.9 BILLION)

Direct Corrosion Costs: \$276 billion (3.1% of U.S. GDP)



1998 U.S. GDP (\$8.79 trillion)

Source : corrosioncost.com



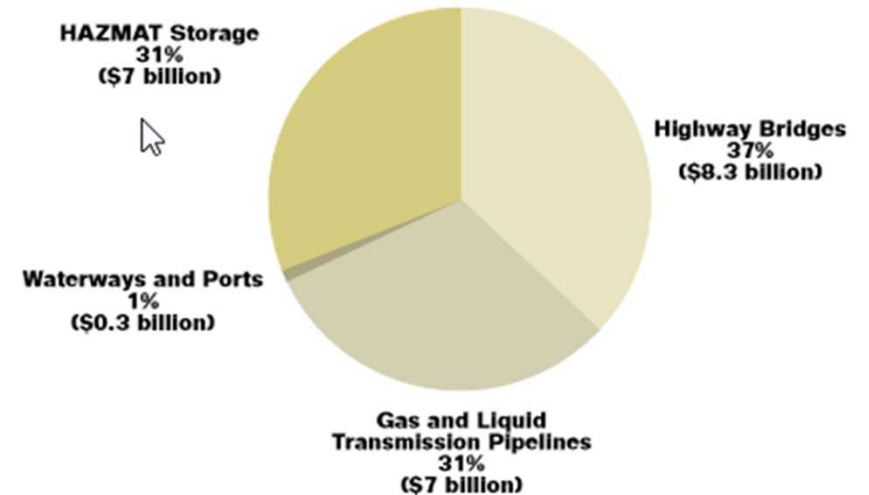
Armatures inox

Problématique : corrosion du béton armé

- Conséquences

- Ponts :

- 37 % des \$22,6 Mrd soit **\$8,3 Mrd** (7,9€ Mrd)
 - \$3,8 Mrd pour remplacer des ponts défectueux dans les 10 prochaines années
 - \$2 Mrd pour maintenance des tabliers en béton
 - \$2 Mrd pour maintenance des appuis en béton
 - \$0,5 Mrd pour maintenance de la protection anticorrosion des ponts métalliques



Source : corrosioncost.com

Armatures inox

Problématique : corrosion du béton armé

Réhabilitation du béton armé dégradé
par la corrosion

- **Conséquences**

- Dégradations des structures
- Guide AFGC de nov 2003 sur la réhabilitation du béton dégradé
- Processus de diagnostics long et pouvant être relativement couteux
- Réparations rarement faites dans les conditions requises et dans le respect absolu des règles de l'art
- Faible retour d'expérience sur certaines d'entre elles
- Faible durabilité des réparations

Novembre 2003

Cout/
acier au
carbone

Armatures inox

Choix initial des armatures

- 1,33
- Armatures revêtues de polymères type époxy (ECR)



Durée de
vie
estimée

30 à 40
ans

- 2
- Armatures galvanisées



50 à 70
ans

- 3 à 5
- Armatures en inox



75 à 100
ans

- 2,5
- Rmq : stainless steel clad rebar (SSC) = armatures revêtues d'inox (épaisseur de l'ordre du mm)



40 à 75
ans

Armatures inox

Choix armature inox

Famille	Module d'Young (MPa)	Masse volumique (kN/m ³)	Coefficient de dilatation entre 20°C et 200°C (10 ⁻⁶ K ⁻¹)
Ferritique	220 000	77	10,5
Austénitique	200 000	79	16,5
Austéno-ferritique	200 000	78	13,0
Acier carbone	200 000	79	10,0

- Béton armé = adhérence entre béton et armature
→ ≈ même coefficient de dilatation entre béton et acier au carbone
- Armatures inox : coefficient de dilatation > celui du béton
→ Incidence dans le cadre des cycles de température?

Armatures inox

Normalisation

- Normes européennes : série EN 10088
- Norme française :
 - XP A35-014:2003 « Aciers pour béton armé - Barres et couronnes lisses, à verrous ou à empreintes en acier inoxydable »
 - 4 classes de nuance (limite conventionnelle d'élasticité à 0,2%) : InE235, InE500, InE650 et InE800
 - Désignation numérique : exemple 1.4429 correspondant à un acier austénitique X2CrNiMo17-13-3
 - Diamètre de 5 à 50 mm

Armatures inox

Choix de la nuance

- Nuances adaptées au génie civil

Structure métallurgique	Nuance EN 10088-1	PREN
Acier au carbone		0
Austénitique	1.4401	> 23
Austénitique	1.4571	> 25
Austénitique	1.4429	> 27
Duplex	1.4362	> 23
Duplex	1.4462	> 30

Armatures inox

Utilisation avec des aciers au carbone

- Pas de risque de corrosion galvanique une fois dans le béton → utilisation sélective

Dimensionnement des structures

- Limite élastique de 500 ou 650 MPa
- Réduction de l'enrobage à $\text{Max}\{30 \text{ mm}; \emptyset\}$, quelle que soit la classe d'exposition
- Possibilité d'augmentation de l'ouverture de fissure de 0,3 à 0,4 mm en ELS fréquent si uniquement critère de corrosion considéré

Armatures inox

Avantages

- Maintenance réduite
- Durabilité élevée
- Coûts de cycles de vie compétitifs

Inconvénients

- Coût initial

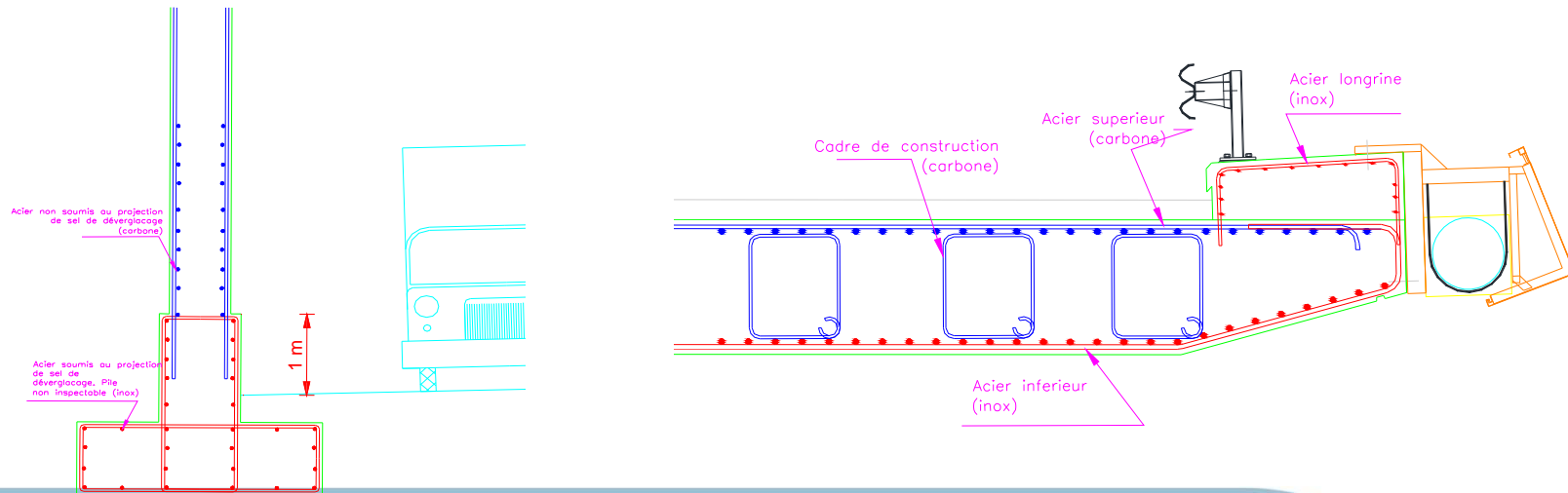


Utilisation sélective dans les zones critiques

Armatures inox

Utilisation sélective

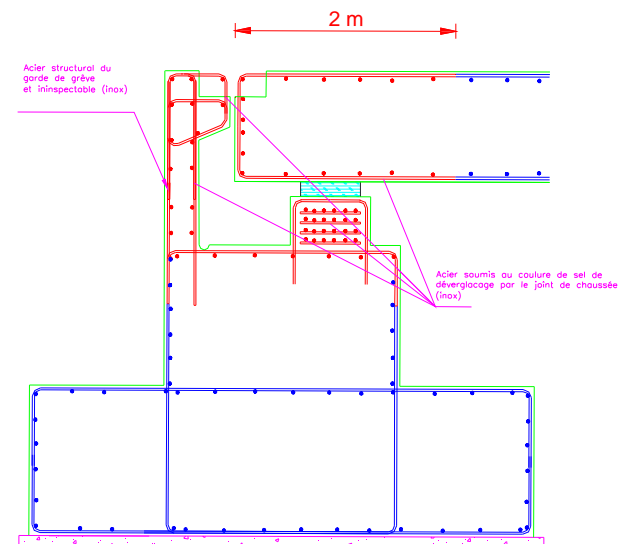
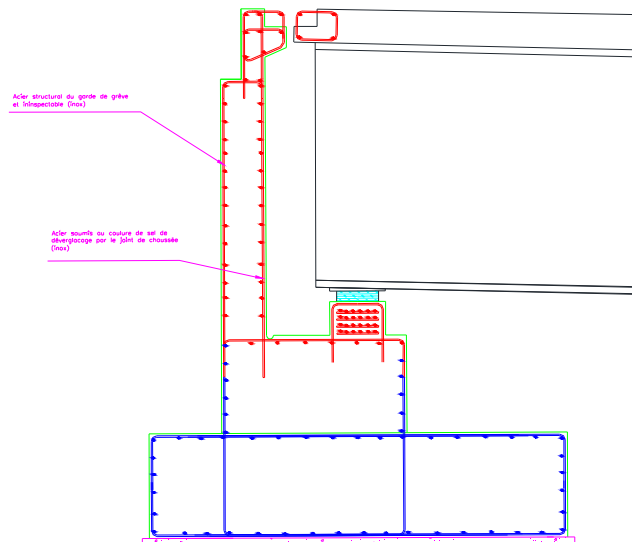
- **Ouvrages en site maritime ou exposés aux sels de déverglaçage :**
 - Longrines de dispositifs de retenue
 - Zones de marnage des piles
 - Pieds de piles exposés aux sels en montagne



Armatures inox

Utilisation sélective

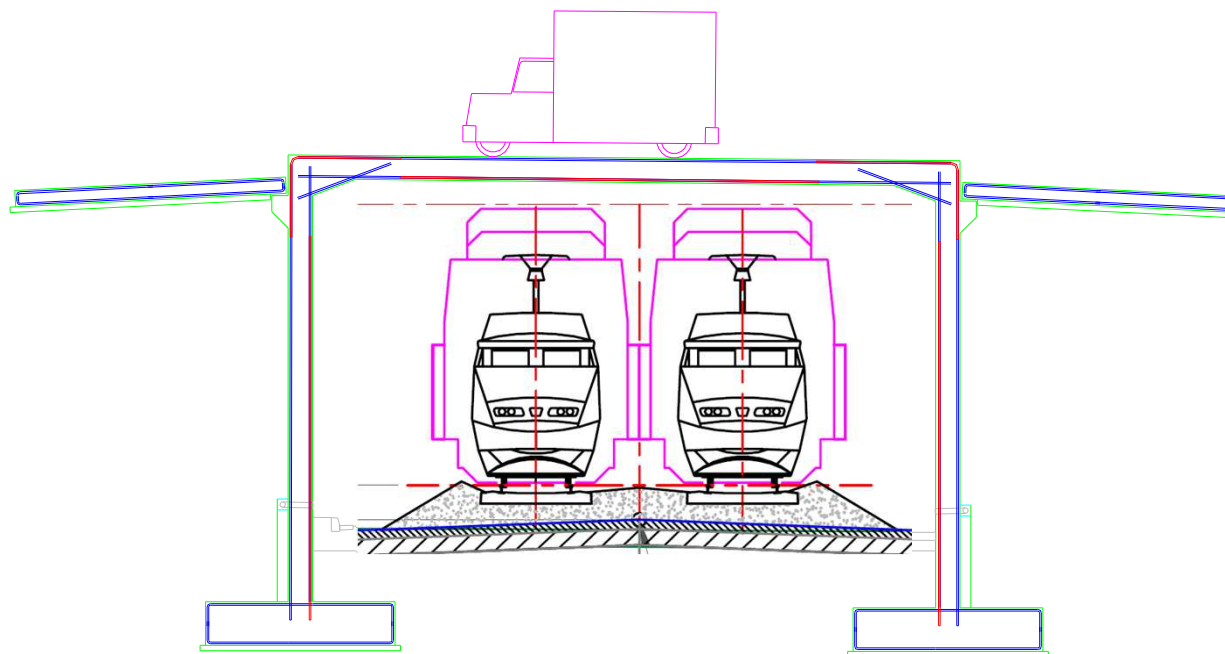
- Parties d'ouvrages difficilement accessibles :
 - Abouts de tablier
 - Petits ouvrages sur cours d'eau



Armatures inox

Utilisation sélective

- **Contraintes d'exploitation**
 - Ouvrages sur axes stratégiques (aéroports, LGV, autoroutes ou routes à fort trafic)



Armatures inox

Guide méthodologique en cours de rédaction

- S'assurer de l'utilisation des armatures en inox dans les ouvrages d'art et d'être une solution efficace aux désordres liés à la corrosion
- Choix sur la nuance de l'acier
- Mise en œuvre
- Configurations type d'utilisation conjointe avec les armatures au carbone
- Évaluations environnementales et économiques sur le cycle de vie
- Proposer des clause types de rédaction de cahier des charges

Acier autopatirable



Acier autopatinable

Définition

- Acier à résistance améliorée à la corrosion : lié à la composition chimique, notamment Cu (0,2 à 0,6%), Cr (0,35 à 0,85%), Ni (0,7%) et P
- Formation d'une couche protectrice = patine, en 2 ou 3 ans avec évolution de la couleur (rouille claire à rouge/brun foncé)



- Formation patine : nécessite alternance humidité/séchage, bonne circulation d'air et pas de stagnation d'eau

Acier autopatinable

Définition

- Norme NF EN 10025-5:2005 (en révision) : S235W et S355W, qualité J0, J2 ou K2
- Apparu aux USA en 1923
- Env 50 OA en France jusque fin 2000 : aucune pathologie grave
- Renouveau depuis 2010 : « développement durable »

Acier autopatinable

Règles d'utilisation

- **Directive de 1985**
 - Méconnue
 - Conservatrice au vu des règlements allemands et britanniques révisés en 1993 et 2001
- **Note d'information Cerema/lfsttar n°2 de 2015**
 - Surveillance
 - Environnements favorables à leur emploi
 - Provision d'épaisseur
 - Dispositions constructives
 - Qualité des aciers utilisés

Acier autopatinable

Note d'information n°2 Cerema :

- Surveillance
 - Référence à l'ITSEOA
 - Note IQOA pour la patine



Note 1



Note 2



Note 2E

Description de la patine	Niveau
Film d'oxyde très fin	1
Grainage inférieur à 5 mm	2
Grainage supérieur à 5 mm	2E

- A partir de 2E : mesures d'épaisseurs résiduelles de l'acier à réaliser et l'acier fait alors l'objet d'une notation IQOA allant de 1 à 3U.

Acier autopatinable

Note d'information n°2 Cerema :

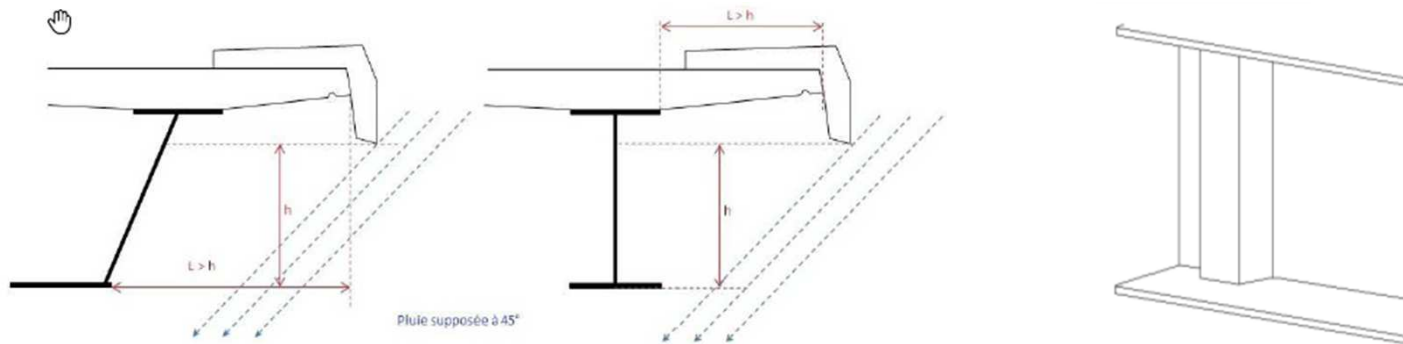
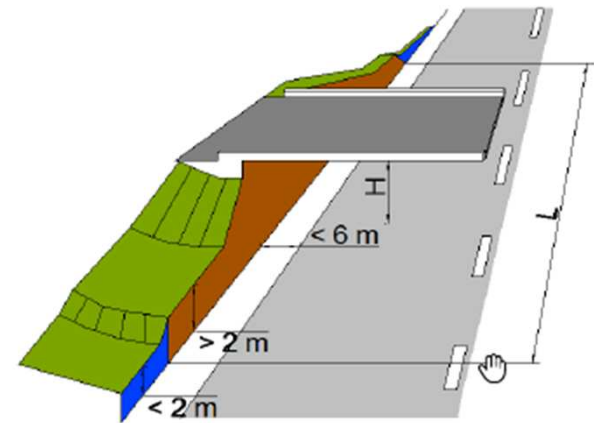
- Provision épaisseur : 1 mm au lieu de 2 mm
- Environnement de l'ouvrage à étudier :
 - DOM-TOM : au cas par cas
 - Proximité de la mer : exclus à – de 2 km (mer du Nord, Manche, Atlantique) et – de 1 km (mer Méditerranée)
 - Au-dessus cours d'eau : tirant d'air 2,5m/niveau moyen
 - Atmosphères urbaines : teneurs en soufre pas suffisantes pour influencer qualité patine
 - Atmosphères industrielles : limite teneur en SO₃ à 2,1mg/100cm²/j ou évaluer le risque avec les constructions existantes à proximité
 - Atmosphères abrasives : interdit

Acier autopatenable

Note d'information n°2 Cerema :

- Dispositions constructives importantes :

- Tirant d'air mini $H > \text{Min}(4,30\text{m} + L/25; 7,50)$ si pont encadré par trémie de longueur L
- Soigner encore + les dispositions pour évacuer l'eau, pour protéger la structure de la pluie directe et éliminer les pièges à eau



Acier autopatinable

Exemples récents

- OA34 Rocade Sud de Strasbourg



Acier autopatinable

Exemples récents

- Contournement Nord de Pontivy, pont au-dessus d'une rivière (en cours de réalisation)
- 123 m de long, 1^{er} pont en acier W en Bretagne



Acier autopatinable

Conclusion

- Solution intéressante si enjeux de maintenance forts (remise en peinture au-dessus de voies très fortement circulées)
- Surcoût de l'acier autopatinable faible : pour des poutrelles laminées, 100€/t qui compense même le coût de 1^{ère} mise en peinture
- Environnement à bien étudier pour vérifier si contexte favorable à son emploi
- Dispositions constructives spécifiques à respecter
- En cas de mauvais développement de la patine : possibilité de mettre en peinture
- Surveillance spécifique
- A venir : un guide + détaillé, prise en compte des conclusions d'essais

menés depuis 2013 au LR de Nancy

Merci de votre attention

Coordonnées :
philippe.jandin@cerema.fr