



LES RENCONTRES
DE LA PEINTURE
ANTICORROSION

CONSTRUCTION ET PROTECTION ANTICORROSION : CONCILIER LES APPROCHES POUR LA CONFORMITÉ DE SURFACE

Jean-Yves JOINEAU
CEREMA



TECHNIQUES,
ÉCONOMIE & ENVIRONNEMENT
PERSPECTIVES 2023





Sommaire

- ▮ Problématique et contexte
- ▮ Normes de construction et de contrôle
- ▮ Normes d'application de peinture
- ▮ Incohérences entre les critères d'acceptation des deux approches

Contexte

- La construction d'ensembles mécano-soudés et la protection anticorrosion sont souvent effectuées par deux types d'entreprises, aux références normatives différentes
- L'écart entre ces deux approches peut être mis en évidence par une comparaison entre :
 - les critères d'acceptation et les exigences en construction
 - les degrés de préparation avant application d'un complexe anticorrosion.





Problématique de chaque approche

Les normes de construction et de contrôle :

- ▮ sont basées sur la capacité d'un assemblage à résister à une charge ou à un effort ;
- ▮ n'abordent que très peu la pérennité liée à la corrosion ;
- ▮ les tolérances sont donc essentiellement mécaniques.

A contrario, les normes relatives à l'application de peinture :

- ▮ abordent le sujet protection mais pas le côté fonctionnement ;
- ▮ typiquement la norme ISO 8501-3 ne parle pas de qualité mécanique de la soudure mais d'aspect de surface appropriée pour la mise en peinture, d'où une différence notable.

On est donc sur 2 niveaux bien distincts vis-à-vis de la structure.

Synoptique synthétique des normes de construction et de contrôle sur le niveau d'acceptation des défauts de surface

norme française

NF EN 1090-2
Juin 2018

Indice de classement : P 22-101-2

ICS : 91.080.10 ; 91.080.13

Exécution des structures en acier et des structures en aluminium — Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier

E : Execution of steel structures and aluminium structures — Part 2: Technical requirements for steel structures
D : Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

NF EN ISO 1090-2 :
définit la classe d'exécution

norme française

NF EN ISO 17635
18 Février 2017

Indice de classement : A 89-500

ICS : 25.160.40 ; 77.040.20

Contrôle non destructif des assemblages soudés — Règles générales pour les matériaux métalliques

E : Non-destructive testing of welds — General rules for metallic materials
D : Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe

NF EN ISO 17635 :
pour les CND, fait le lien
entre niveau de qualité et
niveau d'acceptation des défauts
selon les différents types d'essai

Autres normes pour
d'autres types d'essai
(ex : ressuage, ...)

Exemple d'essai :
la magnétoscopie

norme française

NF EN ISO 5817
19 Avril 2014

Indice de classement : A 89-231

ICS : 25.160.40

Soudage — Assemblages en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) — Niveaux de qualité par rapport aux défauts

E : Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections
D : Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten

NF EN ISO 5817 :
définit un niveau de qualité
et les limites des défauts

norme française

NF EN ISO 23278
24 Juillet 2015

Indice de classement : A 89-551

ICS : 25.160.40 ; 77.040.20

Contrôle non destructif des assemblages soudés — Contrôle par magnétoscopie — Niveaux d'acceptation

E : Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing — Acceptance levels
D : Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetspulverprüfung — Zulässigkeitsgrenzen

NF EN ISO 23278 :
définit les niveaux d'acceptation
des défauts en magnétoscopie

Les normes de construction : la norme NF EN 1090-2 et la protection anticorrosion

- Cette norme NF EN ISO 1090-2 fixe les **exigences** applicables à l'**exécution des structures en acier**
- 2 parties y traitent de façon **succincte** de la protection anticorrosion : le chapitre 10 et l'annexe F
- Cette norme renvoie aux normes NF EN ISO 12944 et NF EN ISO 8501-3
- Le degré de préparation est spécifié dans le tableau 22 ci-contre, **devenu caduque** à ce jour avec la **version 2017** de la norme NF EN ISO 12944

Tableau 22 : degré de préparation

Durée de vie prévue de la protection contre la corrosion (classe de durabilité) (*)	Catégorie de corrosivité (*)	Degré de préparation
> 15 ans	C1	P1
	C2 à C3	P2
	Au-dessus de C3	P2 ou P3 tel que spécifié
5 ans à 15 ans	C1 à C3	P1
	Au-dessus de C3	P2
< 5 ans	C1 à C4	P1
	C5 - Im	P2

(*) La durée de vie prévue de la protection contre la corrosion et la catégorie de corrosivité sont référencés dans l'EN ISO 12944

Extrait NF EN ISO 12944-3 de 2017 : 5.5 Imperfections de surface

Avant la préparation de surface, le subjectile doit être conforme aux degrés de préparation de l'ISO 8501-3 (par exemple soudures, arêtes, trous).

Le degré de préparation doit être P3 en cas de durabilités élevée et très élevée pour C4 (durabilité Haute) et plus, ainsi qu'en catégories d'immersion (Im).

Les normes de construction : NF EN 1090-2*

- Pour fixer les exigences applicables à l'exécution des structures en acier cette norme définit **4 classes d'exécution** de rigueur croissante dans les exigences : EXC1, EXC2, EXC3 et EXC4

Classe de conséquence		CC1		CC2		CC3	
Catégorie de service		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Catégorie de production	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

- La classe d'exécution est fixée en fonction des conséquences d'une défaillance de l'ouvrage (CC), de la fonction de l'élément considéré (SC) et du mode de production des éléments de la structure (PC).
- Exemple : les hangars agricoles sont en classe EXC1, les rampes et escaliers industriels en classe EXC2, les tribunes de stade en classe EXC3 ou EXC4.
- Le Fascicule 66 indique une classe **EXC3 a minima** pour les **éléments structurels des ouvrages d'art**.

*NF EN 1090-2 « Exécution des structures en acier – Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier » (Version 2018 + Complément National).

Les normes de contrôle : la norme NF EN ISO 5817*

- Pour les différentes classes d'exécution de la norme NF EN ISO 1090-2, les critères d'acceptation relatifs aux défauts des soudures sont évalués par référence à cette norme NF EN ISO 5817.
- Cette norme fixe 3 niveaux de qualité de D à B, exigeant des tolérances de défaut progressivement plus serrées :
 - > élémentaire (D),
 - > normal (C).
 - > sévère (B)
- Suivant la classe d'exécution retenue, le niveau de qualité qui s'applique est :
 - > EXC2 : niveau C sauf quelques exceptions normal (C).
 - > **EXC3 : niveau B**
 - > EXC4 : niveau B avec des exigences supplémentaires pour des soudures spécifiques



*NF EN ISO 5817 « Soudage – Assemblage en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) – Niveaux de qualité par rapport aux défauts »

Les normes de contrôle : la norme NF EN ISO 17635* (END)

- Définit les lignes directrices pour le choix des méthodes d'Essai Non Destructif des assemblages soudés (magnétoscopie, ressuage, ...) et l'évaluation des résultats
- Fait le lien entre le niveau de qualité (B, C ou D) de la norme NF EN ISO 5817, défini selon la classe d'exécution EXC, et le niveau d'acceptation de la norme spécifique à chaque type d'END réalisé.



Exemple pour un type de contrôle : la magnétoscopie
Pour ce contrôle, la norme applicable est l'ISO 23278

Niveaux de qualité conformément à l'ISO 5817	Niveaux d'acceptation conformément à l'ISO 23278
B	2X
C	2X
D	3X



*NF EN ISO 17635 « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Règles générales pour les matériaux métalliques »

Les normes de contrôle : exemple de la magnétoscopie - norme NF EN ISO 23278*

Pour l'exemple précédent de la magnétoscopie, critères d'acceptation des défauts

Type d'indication	Niveau d'acceptation (*)		
	1	2	3
Linéaire L = longueur de l'indication	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Indication non linéaire D = dimension du grand axe	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

(*) Les niveaux d'acceptation 2 et 3 peuvent être spécifiés avec un suffixe « X » qui signifie que toutes les indications linéaires détectées doivent être évaluées suivant le niveau 1. Toutefois la probabilité d'indications plus petites que celles correspondant au niveau d'acceptation d'origine peut être faible.

- Classe d'exécution EXC3 (requis en génie civil)
 - > induit un niveau de qualité B
 - > il en découle un niveau d'acceptation 2X
- Indication linéaire : par exemple fissure
- Indication non linéaire : par exemple soufflure



*NF EN ISO 23278 « Contrôle non destructif des assemblages soudés – Contrôle par magnétoscopie – Niveaux d'acceptation »

Synoptique synthétique des normes de construction et de contrôle sur le niveau d'acceptation des défauts de surface

norme française

NF EN 1090-2
Juin 2018

Indice de classement : P 22-101-2

ICS : 91.080.10 ; 91.080.13

Exécution des structures en acier et des structures en aluminium — Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier

E : Execution of steel structures and aluminium structures — Part 2: Technical requirements for steel structures
D : Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

NF EN ISO 1090-2 :
définit la classe d'exécution

ex : EXC3

norme française

NF EN ISO 17635
18 Février 2017

Indice de classement : A 89-500

ICS : 25.160.40 ; 77.040.20

Contrôle non destructif des assemblages soudés — Règles générales pour les matériaux métalliques

E : Non-destructive testing of welds — General rules for metallic materials
D : Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe

NF EN ISO 17635 :
pour les CND, fait le lien
entre niveau de qualité et
niveau d'acceptation des défauts
selon les différents types d'essai

ex : B ⇒ 2X

Autres normes pour
d'autres types d'essai
(ex : ressuage, ...)

Exemple d'essai :
la magnétoscopie

norme française

NF EN ISO 5817
19 Avril 2014

Indice de classement : A 89-231

ICS : 25.160.40

Soudage — Assemblages en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) — Niveaux de qualité par rapport aux défauts

E : Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections
D : Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten

NF EN ISO 5817 :
définit un niveau de qualité
et les limites des défauts

ex : B

norme française

NF EN ISO 23278
24 Juillet 2015

Indice de classement : A 89-551

ICS : 25.160.40 ; 77.040.20

Contrôle non destructif des assemblages soudés — Contrôle par magnétoscopie — Niveaux d'acceptation

E : Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing — Acceptance levels
D : Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetspulverprüfung — Zulässigkeitsgrenzen

NF EN ISO 23278 :
définit les niveaux d'acceptation
des défauts en magnétoscopie

ex : 2X

Les normes d'application de peinture : norme NF EN ISO 8501-3*

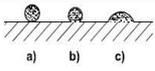
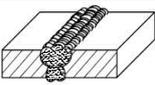
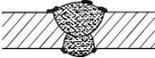
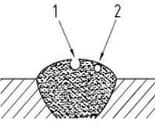
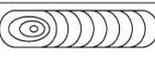
Définit trois degrés d'exigences concernant la préparation des surfaces avant application de peintures : **P1, P2 et P3**, de rigueur croissante en exigences.

Les degrés de préparation requis sont fixés en fonction :

- de la classe de durabilité (durée de vie prévue de la protection contre la corrosion)
- de la catégorie de corrosivité.

Le degré P3 (requis en durabilité et corrosivité élevées) peut faire l'objet d'appréciations différentes entre constructeurs et applicateurs, voire contrôleurs.

Imperfections et degrés de préparation

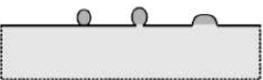
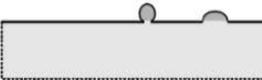
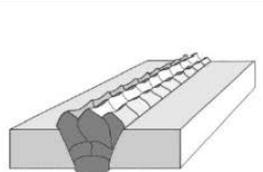
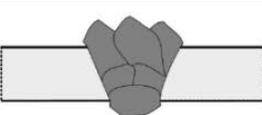
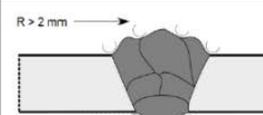
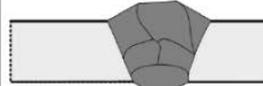
Type d'imperfection		Degrés de préparation		
Description	Illustration	P1	P2	P3
1 Soudures				
1.1 Projections de soudure		La surface doit être dépourvue de toute projection de soudure non adhérente [voir a)]	La surface doit être dépourvue de toute projection non adhérente ou légèrement adhérente [voir a) et b)] Les projections montrées en c) peuvent subsister	La surface doit être dépourvue de toute projection de soudure
1.2 Vague de soudure/profil de la soudure		Aucune préparation	La surface doit être traitée (par meulage par exemple) pour éliminer les protils irréguliers et les aspérités	La surface doit être entièrement traitée, c'est-à-dire être complètement lisse
1.3 Scories		La surface doit être dépourvue de scories	La surface doit être dépourvue de scories	La surface doit être dépourvue de scories
1.4 Caniveaux		Aucune préparation	La surface doit être dépourvue de caniveaux étroits et profonds	La surface doit être dépourvue de caniveaux
1.5 Cratères de fin de cordon	 Légende 1 visible 2 invisible (pourrait être mise à jour par la projection d'abrasifs)	Aucune préparation	Les pores de surface doivent être suffisamment ouverts pour permettre la pénétration de la peinture ou être éliminés	La surface doit être dépourvue de pores visibles
1.6 Cratères de fin de cordon		Aucune préparation	Les cratères de fin de cordon doivent être dépourvus d'aspérités	La surface doit être dépourvue de cratères de fin de cordon visibles

*NF EN ISO 8501-3 « Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés – Evaluation visuelle de la propreté d'un subjectile – Partie 3 : degrés de préparation des soudures, arêtes et autres zones présentant des imperfections »

Les normes d'application de peinture : norme NF EN ISO 8501-3*

Une nouvelle version est en cours de validation avec : des critères plus simples, mieux illustrés, des photos et un réplica explicatif...

Table 1 — Imperfections and preparation grades

Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
1 Welds				
1.1 Welding spatter		 Surface shall be free of all loose welding spatter.	 Surface shall be free of all loose and lightly adhering welding spatter.	 Surface shall be free of all welding spatter.
1.2 Weld ripple/profile		 No preparation	 The weld shall be dressed to remove sharp-edged profiles	  The weld shall be fully dressed, i.e. the weld surface shall be smooth and the transition between weld and base metal shall be smooth.
1.3 Welding slag		 Surface shall be free from welding slag	 Surface shall be free from welding slag	 Surface shall be free from welding slag



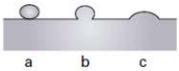
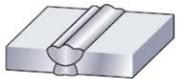
Incohérences entre les critères d'acceptation en construction et en application de peinture

Les incohérences entre les approches des deux groupes de normes concernent 5 aspects des structures fabriquées

-  Projections de soudure
-  Caniveaux
-  Pores et soufflures
-  Arêtes
-  Interstices

Incohérence n°1 – les projections

Extrait de la norme NF EN ISO 8501-3

TYPE D'IMPERFECTION	DEGRÉ DE PRÉPARATION		
	P1	P2	P3
Soudures			
Projection de soudure 	Aucune projection de soudure non-adhérente (a)	Aucune projection de soudure non-adhérente ou légèrement adhérente (a ou b)	Aucune projection de soudure (a, b ou c)
Vague de soudure 	Aucune préparation particulière	Pas d'aspérité	Surface lisse
Scories 	Pas de scories		

NF EN 1090-2 (version 2018), Article 7.5.16 : pour les nuances d'acier \geq S460, les projections de soudure doivent être éliminées.

L'utilisation de l'acier S460 est assez rare et réservée souvent à des éléments particuliers.

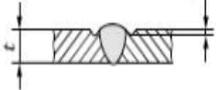
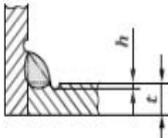
Dans le cadre des ouvrages d'art, l'acier habituellement utilisé est l'acier de construction de limite élastique 355 MPa soit S355, donc les projections de soudure ne sont pas nécessairement exclues

Incohérence n°2 – les caniveaux

TYPE D'IMPERFECTION	DEGRÉ DE PRÉPARATION		
	P1	P2	P3
Soudures			
Caniveaux 		Pas de caniveaux étroits et profonds	Pas de caniveaux

Extrait de la norme NF EN ISO 8501-3

Pas de tolérance

N°	Référence ISO 6520-1	Désignation du défaut	Remarques	t mm	Limites des défauts pour les niveaux de qualité		
					D	C	B
1.7	5011	Caniveau continu	Transition douce exigée. N'est pas considéré comme défaut systématique 	0,5 à 3	Défauts courts: $h \leq 0,2 t$	Défauts courts: $h \leq 0,1 t$	Non autorisé
	5012	Morsure; caniveau discontinu 		> 3	$h \leq 0,2 t$, mais max. 1 mm	$h \leq 0,1 t$, mais max. 0,5 mm	

Extrait de la norme NF EN ISO 5817

Tolérance pour les épaisseurs de plus de 3 mm (ce qui est le cas en Génie Civil)

Incohérence n°3 – pores et soufflure

TYPE D'IMPERFECTION	DEGRÉ DE PRÉPARATION		
	P1	P2	P3
Soudures			
Pores 	-	Les pores de surface doivent être suffisamment ouverts pour permettre la préparation de la peinture ou être éliminés	Pas de pores visibles

Extrait de la norme NF EN ISO 8501-3

Pas de tolérance

N°	Référence ISO 6520-1	Désignation du défaut	Remarques	t mm	Limites des défauts pour les niveaux de qualité		
					D	C	B
			b) Dimension maximale d'une soufflure isolée pour — soudures bout à bout — soudures d'angle	≥ 0,5	$d \leq 0,4 s$, mais max. 5 mm $d \leq 0,4 a$, mais max. 5 mm	$d \leq 0,3 s$, mais max. 4 mm $d \leq 0,3 a$, mais max. 4 mm	$d \leq 0,2 s$, mais max. 3 mm $d \leq 0,2 a$, mais max. 3 mm

Extrait de la norme NF EN ISO 5817

En contrôle visuel, les pores sont autorisés jusqu'à 3 mm

Tableau 1 — Niveaux d'acceptation des indications des défauts

Dimensions en millimètres

Type d'indication	Niveau d'acceptation ^a		
	1	2	3
Indication non linéaire d = dimension du grand axe	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

Extrait de la norme NF EN ISO 23278
En contrôle par magnétoscopie, les pores sont autorisés jusqu'à 3 mm

Incohérence n°4 – les arêtes

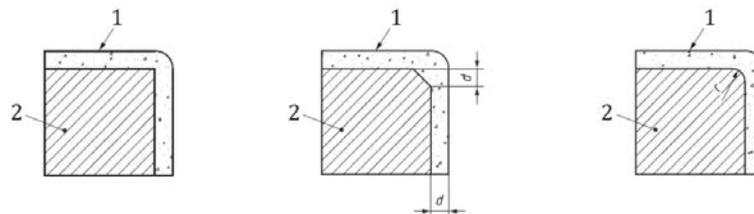
- Les arêtes vives **ne constituent pas** un critère des normes de construction ou de contrôle des assemblages soudés (aucune mention des arêtes dans ces normes)
- Il en ressort la nécessité de **sensibiliser les charpentiers métalliques** à traiter ces zones avant expédition vers l'atelier de peinture.

Extrait de la norme NF EN ISO 8501-3

TYPE D'IMPERFECTION	DEGRÉ DE PRÉPARATION		
	P1	P2	P3
	Arêtes		
Arêtes laminées	-	-	Arêtes arrondies selon un rayon minimal de 2 mm
Arêtes réalisées par poinçonnage, cisaillement, sciage ou perçage	- Aucune partie de l'arête ne doit être vive - Pas de bavures		Arêtes arrondies selon un rayon minimal de 2 mm

Normes de construction et de contrôle :
le sujet n'y est pas du tout abordé

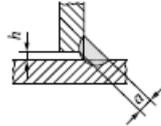
Extrait de la norme NF EN ISO 12944-3



a) Arête vive, mauvais b) Arête chanfreinée, mieux c) Bord arrondi ≥ 2 mm, bon

Incohérence n°5 – les interstices

N°	Référence ISO 6520-1	Désignation du défaut	Remarques	t mm	Limites des défauts pour les niveaux de qualité		
					D	C	B
3.2	617	Mauvais assemblage en soudure d'angle	Jeu entre les parties à assembler. Les jeux dépassant la limite appropriée peuvent dans certains cas être compensés par une augmentation correspondante de la hauteur du cordon.	0,5 à 3 > 3	$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$	$h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$ $h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$, mais max. 2 mm

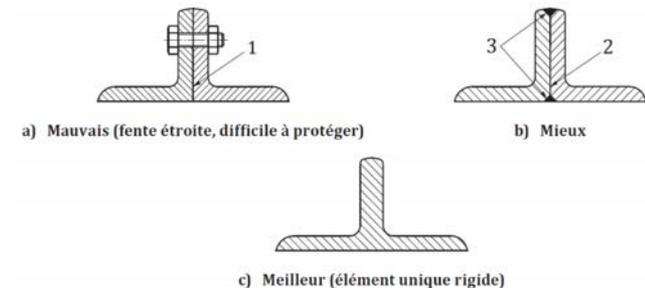


Extrait de la norme NF EN ISO 5817 :

Interstice autorisé jusqu'à 2 mm

C'est la norme NF EN ISO 12944-3 Chapitre 5.3 qui traite du point :

- Les vides étroits, les crevasses et les joints par recouvrement sont autant de points sensibles à la corrosion (...).
- Il convient d'éviter ce type de corrosion en procédant à un **colmatage** (...).
- Dans les environnements les plus corrosifs, il convient de **combler l'espace concerné** par des soudures de remplissage(...).



Attention, pour que le métier de chacun soit bien réalisé :

➤ Faire attention aux interprétations !

Une soudure lisse, préconisée au degré P3 pour l'application de peinture, n'est pas une soudure plane.

Une soudure peut être plane et non lisse - et inversement.

➤ Les méthodes utilisées pour obtenir les degrés de préparation ne doivent pas porter atteinte à l'intégrité du sujet acier ou des zones soudées.

➤ Par exemple, un meulage excessif peut entraîner la formation de zones affectées thermiquement sur un sujet d'acier

➤ L'élimination de défauts par meulage peut laisser des aspérités correspondant au profil de meulage.

➤ Il est également impératif que la préparation des surfaces ne portent pas atteinte au design et aux caractéristiques mécaniques des pièces (ne pas réduire la hauteur de gorge par exemple)





Pour avoir des approches cohérentes entre constructeur et applicateur

- Anticiper et prendre en compte la protection anticorrosion **dès la conception**
- Dans le cadre de la révision du Fascicule 56, il va être indiqué que le traitement des arêtes vives et des imperfections superficielles est de la **responsabilité du constructeur métallique**.
 - Cette prescription est déjà inscrite dans d'autres spécifications
- Dans certaines configurations, il est essentiel de préparer les pièces avant soudage
 - Cela permet d'éviter des problèmes ultérieurs d'accessibilité, par exemple pour traiter les arêtes



LES RENCONTRES
DE LA PEINTURE
ANTICORROSION

Jean-Yves JOINEAU
CEREMA

TECHNIQUES,
ÉCONOMIE & ENVIRONNEMENT
PERSPECTIVES 2023

