

GUIDE

EXÉCUTION ET MISE EN ŒUVRE DES STRUCTURES MÉTALLIQUES SELON LA NORME NF EN 1090-2

CLASSES D'EXÉCUTION EXC 2-3-4

SEPTEMBRE 2021

● NEUF ● RÉNOVATION



AVANT-PROPOS

Programme PACTE

Le Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Énergétique a pour objectif d'accompagner la montée en compétences des professionnels du bâtiment dans le champ de l'efficacité énergétique dans le but d'améliorer la qualité dans la construction et les travaux de rénovation.

Financé par les Pouvoirs publics, le programme PACTE s'attache depuis 2015 à favoriser le développement de la connaissance, la mise à disposition de référentiels techniques et d'outils pratiques modernes adaptés aux pratiques des professionnels et, à soutenir les territoires dans toutes leurs initiatives dans ce champ.

Les actions menées s'inscrivent dans la continuité des travaux de modernisation des Règles de l'art initiés dans le cadre du programme RAGE.

Les Rapports PACTE

Les Guides PACTE sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter. Ils n'ont pas vocation à se substituer aux textes de références en vigueur (NF, DTU, ATec ou DTA, etc.).

Retrouvez gratuitement la collection sur www.programmepacte.fr

UNE COLLECTION
UNIQUE



SOMMAIRE

01	• Présentation du guide	4
02	• Organisation du projet : Fiches pratiques	6
03	• Traçabilité : Fiches pratiques	14
04	• Opérations de coupage, formage, découpe et perçage : Fiches pratiques	24
05	• Assemblage : Fiches pratiques	42
06	• Soudage : Fiches pratiques	43
07	• Traitement des surfaces : Fiches pratiques	68
08	• Contrôles et vérifications : Fiches pratiques	70
09	• Fixations : Fiches pratiques	74
010	• Préparation du chantier et montage : Fiches pratiques	89
11	• Cas-type d'ouvrage EXC2 : Bâtiment industriel	94
12	• Cas-type d'ouvrage EXC3 et 4 : Centre de commandement pompier avec deux hangars pour véhicules de pompiers	109
13	• Annexe	123
	• Table des matières	128
	• Table des tableaux	134
	• Table des figures	134



VERSION	DATE DE LA PUBLICATION	MODIFICATIONS
1	Septembre 2021	Première version du document



1.1 Objectif du document

L'objectif du présent guide est d'aider les entreprises travaillant dans le domaine de la structure métallique à s'approprier la norme NF EN 1090-2 « Exécution des structures en acier – Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier » (Version 2018 + Complément National).

Cette norme est applicable dans deux cas :

- dans le cas où l'entreprise fabrique et/ou pose une structure métallique pour un projet dont les pièces de marché du projet considéré requièrent l'application de la norme NF EN 1090-2 ;
- dans le cas où l'entreprise fabrique et/ou pose une structure métallique pour un projet dont les pièces de marché du projet considéré ne spécifient pas d'autres référentiels.

NOTE

La norme NF EN 1090-2 s'applique aux structures en acier dans le cas où tout ou partie des produits constitutifs de la structure sont marqués CE suivant la norme harmonisée NF EN 1090-1.

La rédaction du présent guide est spécifiquement orientée à destination des travaux de bâtiment. Les instructions spécifiques de la norme NF EN 1090-2 concernant les ouvrages de génie civil (ponts) ne sont pas détaillées dans le cadre du présent guide.

1.2 Domaine d'application de la norme NF EN 1090-2

La norme NF EN 1090-2 spécifie des exigences pour l'exécution des charpentes en acier considérées en tant que structures ou éléments de structure fabriqués à partir de :

- produits en acier de construction, laminés à chaud jusqu'à la nuance S700 incluse ;
- éléments et plaques formés à froid jusqu'à la nuance S700 incluse (à moins qu'ils relèvent du champ d'application de la NF EN 1090-4) ;
- produits en acier inoxydable, austénitique, austéno-ferritique et ferritique, finis à chaud ou formés à froid ;
- profils creux de construction finis à chaud ou formés à froid, comprenant les produits normalisés, ceux laminés à la demande et ceux fabriqués par soudage.

Pour les éléments produits à partir de composants formés à froid et les profils creux de construction formés à froid qui relèvent du domaine d'application de la norme NF EN 1090-4, les exigences de la NF EN 1090-4 prévalent sur les exigences correspondantes de la norme NF EN 1090-2.

La norme NF EN 1090-2 peut être également utilisée pour les nuances d'acier de construction jusqu'à S960 incluse, sous réserve que les conditions d'exécution soient vérifiées au regard des critères de fiabilité et que toutes les exigences supplémentaires nécessaires soient spécifiées.

La norme NF EN 1090-2 fixe des exigences qui sont, généralement, indépendantes du type et de la forme de la structure en acier (par exemple, bâtiments, ponts, éléments en plaques ou en treillis, ...), y compris pour les structures soumises à la fatigue ou à des actions sismiques. Certaines exigences sont différenciées en termes de classes d'exécution.

La norme NF EN 1090-2 s'applique aux structures calculées selon la partie appropriée de la NF EN 1993. L'exécution des pieux, des palplanches et des micro-pieux calculés selon la NF EN 1993-5 doit être réalisée, respectivement, par référence à la NF EN 12063, à la NF EN 12699 et à la NF EN 14199. La norme NF EN 1090-2 n'est applicable qu'aux liernages, contreventements et assemblages.

La norme NF EN 1090-2 s'applique aux éléments en acier des structures mixtes acier-béton calculées selon la partie appropriée de la NF EN 1994.

La norme NF EN 1090-2 peut être utilisée pour des structures calculées selon d'autres règles de calcul, sous réserve que les conditions d'exécution soient conformes à ces règles et que toutes les exigences supplémentaires nécessaires soient spécifiées.

La norme NF EN 1090-2 contient les exigences relatives au soudage d'aciers d'armature sur des aciers de construction. Elle n'inclut pas d'exigences quant à l'utilisation des aciers d'armature pour des applications de béton armé.

1.3 Contexte normatif français dans lequel s'insère la norme NF EN 1090-2

Les instructions de la norme NF EN 1090-2 s'insèrent dans le contexte normatif français entre le NF DTU 32.1 Partie 1 « Travaux de bâtiment – Charpente en acier, Cahier des clauses techniques types » en amont et le complément national à la norme NF EN 1090-2 en aval.

La Partie 1-1 du NF DTU 32.1 précise les clauses techniques types qui doivent être, pour un projet donné, définies dans le cahier des charges d'exécution du projet. Ces clauses techniques renvoient aux prescriptions de la norme NF EN 1090-2.

Le complément national à la NF EN 1090-2 énonce des prescriptions complétant la norme NF EN 1090-2 sur des points particuliers et fournit des informations complémentaires destinées à faciliter son application en France.

1.4 Présentation du guide

Le présent guide, relatif aux classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4 comporte des fiches pratiques présentées sous forme de tableaux qui rappellent les exigences de la norme.

Le guide comporte trois grandes parties : Une première partie « Tâches transversales », qui définit les modalités d'organisation du projet et de l'entreprise elle-même afin de pouvoir mettre en place le système de management par la qualité nécessaire afin de répondre aux attentes de la norme. La seconde partie « Thème techniques » comporte les fiches techniques proprement dites abordant différents thèmes techniques utiles pour l'exécution d'une structure en acier ; de la gestion des approvisionnements au montage sur chantier. La troisième et dernière partie mentionne quelques cas-types d'ouvrage afin de donner des exemples concrets d'applications.

Il existe un guide spécifique à la classe EXC1 dont le contenu est différent du présent Guide pour des raisons de simplicité.

02

ORGANISATION DU PROJET : FICHES PRATIQUES



FICHE N° 1 – Classe d'exécution du projet.....	7
FICHE N° 2 – Cahier des charges d'exécution.....	8
FICHE N° 3 – Dossier qualité.....	11
FICHE N° 4 – Dossier d'exécution.....	13
FICHE N° 5 – Approvisionnements.....	14
FICHE N° 6 – Traçabilité.....	15
FICHE N° 7 – Aciers de construction.....	16
FICHE N° 8 – Consommables pour le soudage.....	19
FICHE N° 9 – Fixations.....	20
FICHE N° 10 – Formage à chaud.....	24
FICHE N° 11 – Formage à froid.....	27
FICHE N° 12 – Coupage.....	31
FICHE N° 13 – Coupes / Tolérances.....	34
FICHE N° 14 – Perçage / Dimensions.....	35
FICHE N° 15 – Perçage / Tolérances.....	39
FICHE N° 16 – Perçage / Vérifications.....	40
FICHE N° 17 – Assemblage.....	42
FICHE N° 18 – Soudage / Généralités.....	43
FICHE N° 19 – Soudage / DMOS et QMOS.....	47
FICHE N° 20 – Soudage / Qualification du personnel de soudage.....	51
FICHE N° 21 – Soudage / Coordination en soudage.....	52
FICHE N° 22 – Soudage / Préparation.....	54
FICHE N° 23 – Soudage / Exécution.....	56
FICHE N° 24 – Soudage / Dispositions spécifiques.....	60
FICHE N° 25 – Soudage / Soudures en entaille et soudures bouchons.....	61
FICHE N° 26 – Soudage / Critères d'acceptation.....	63
FICHE N° 27 – Soudage / Contrôles.....	64
FICHE N° 28 – Traitement des surfaces.....	68
FICHE N° 29 – Traitement des surfaces / Contrôles.....	70
FICHE N° 30 – Préparation des surfaces / Généralités.....	72
FICHE N° 31 – Fixations / Généralités.....	74
FICHE N° 32 – Assemblages par boulons non précontraints / Préparation.....	77
FICHE N° 33 – Assemblage par boulons précontraints / Généralités.....	80
FICHE N° 34 – Assemblage par boulons précontraints / Méthodes de serrage.....	82
FICHE N° 35 – Chantier / Sécurité.....	89
FICHE N° 36 – Appuis.....	91
FICHE N° 37 – Montage.....	92

FICHE N° 1 – CLASSE D'EXÉCUTION DU PROJET

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 4.1.2

Il existe quatre **classes d'exécution** désignées EXC1 à EXC4. Chaque classe correspond à un ensemble d'exigences en termes de management par la qualité et de traçabilité, sachant que le nombre et la rigueur de ces exigences augmente de EXC1 à EXC4.

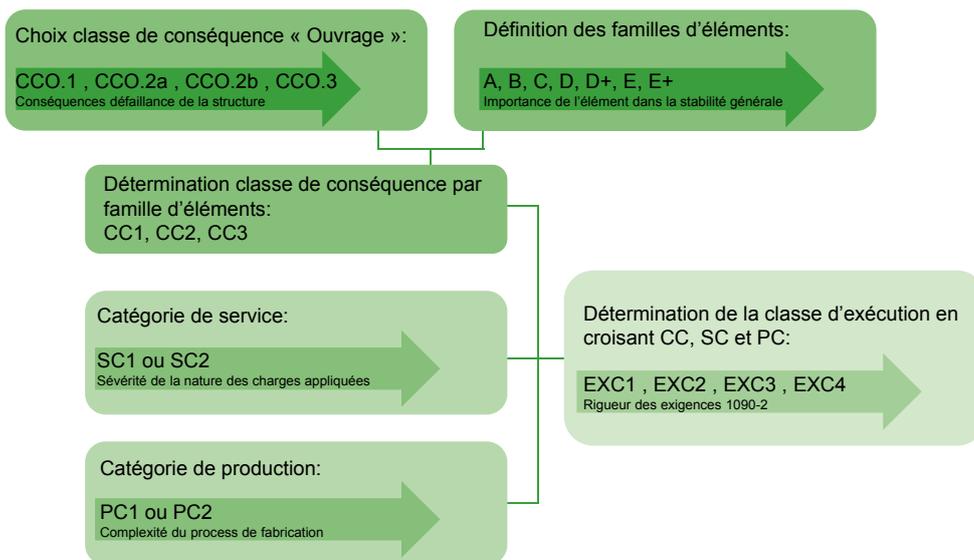
CLASSE DE CONSÉQUENCE		CC1		CC2		CC3	
CATÉGORIE DE SERVICE		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Catégorie de production	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Il est recommandé de se référer au Guide de recommandation du choix de la classe d'exécution BNCM/CNC2M*, qui explique en détail la méthodologie de choix du niveau des différents critères, en particulier la classe de conséquence de l'ouvrage.

RAPPEL

Le choix de la classe d'ouvrage au sens de ces recommandations est du ressort du maître d'ouvrage.

Cheminement aboutissant au choix de la classe d'exécution



* Téléchargeable sur le lien
<https://www.cticm.com/content/uploads/2017/05/bncm-recommandations-classes-dexecution-janvier2015v2.pdf>

FICHE N° 2 – CAHIER DES CHARGES D'EXÉCUTION

Zoom sur ...

NF DTU 32.1 P1-1

Le **cahier des charges d'exécution** (CCE) rassemble les exigences et les informations techniques appropriées pour l'exécution et le contrôle des ouvrages.

Le CCE se compose au minimum des pièces suivantes :

- le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) qui définit les limites de prestations et les interfaces entre les divers intervenants dans le projet, les classes d'exécutions retenues, et récapitule les exigences particulières ayant une incidence sur le niveau minimal de qualité demandé pour l'exécution ;
- le dossier d'études de l'ouvrage (DEO) qui comprend les plans et documents d'études nécessaires et suffisants pour définir et réaliser l'ensemble des travaux d'exécution des ouvrages (y compris les plans de fabrication, de montage des ouvrages et autres notes de calculs).

Le cahier des charges d'exécution doit comporter les éléments listés dans la norme NF EN 1090-2, §4.1 et Annexe C.2.3.3.

Zoom sur ... Le système de sauvegarde

NF EN 1090-2 (Version 2018), C.2.3.4

Le **cahier des charges d'exécution** doit également préciser les dispositions prises pour sauvegarder les documents d'enregistrement à des fins de contrôle et pour leur conservation pendant une période minimale de dix années, ou plus si requis par le projet.

NF EN 1090-2 (Version 2018), C.2.2

Le **cahier des charges d'exécution**, doit comporter une **revue des spécifications**, dont l'objectif est de mettre en évidence les spécifications particulières au projet qui impliquent de la part de l'entreprise de prendre des mesures supplémentaires par rapport à sa pratique usuelle.

Cette **revue des spécifications** liste :

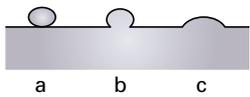
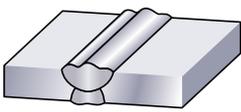
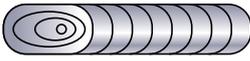
- les exigences relatives à une revue des exigences spécifiées pour le projet afin d'en identifier les conséquences (y compris celles dues au choix des classes d'exécution) susceptibles de nécessiter des mesures supplémentaires ou inhabituelles, au-delà de celles visées par le système de management de la qualité de l'entreprise ;
- les procédures supplémentaires de management de la qualité rendues nécessaires par la revue des exigences spécifiées pour le projet.

NF EN 1090-2 (Version 2018), § 4.1.3

Le **cahier des charges d'exécution** de l'ouvrage comporte les procédures de contrôle, d'essai et de correction nécessaires pour traiter les non-conformités concernant la préparation et le traitement des surfaces.

Il existe trois degrés d'exigences **P1**, **P2** et **P3** concernant la préparation des surfaces avant application de peintures selon la NF EN ISO 8501-3 (la rigueur des exigences augmente de P1 à P3).

Les degrés de préparation (NF EN ISO 8501-3) sont donnés en fonction de la durée de vie prévue de la protection contre la corrosion et de la catégorie de corrosivité.

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		
Caniveaux 	-	Pas de caniveaux étroits et profonds	Pas de caniveaux
Pores 	-	Les pores de surface doivent être suffisamment ouverts pour permettre la préparation de la peinture ou être éliminés	Pas de pores visibles
Cratères de fin de cordon 	-	Pas d'aspérité	Pas de cratère visible
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

NF EN 1090-2 (Version 2018), § 4.1.4, §11.1 et §11.3.2

Le **cahier des charges d'exécution (CCE)** de l'ouvrage comporte les procédures de contrôle, d'essai et de correction nécessaires pour traiter les non-conformités concernant les tolérances géométriques des éléments fabriqués.

Deux types de tolérances géométriques sont définies :

- les **tolérances essentielles** dont dépendent la résistance mécanique et la stabilité de la structure terminée ;
- les **tolérances fonctionnelles** qui répondent à d'autres critères (bonne concordance d'assemblage, aspect...).

En général, des valeurs sont indiquées pour deux classes pour lesquelles la rigueur des exigences augmente de la classe 1 à la classe 2.

Lorsque le choix de la classe n'est pas spécifié, la classe de tolérance 1 s'applique.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §11.2 : Tolérances essentielles

Tolérances essentielles de fabrication	Annexe B.2 de la NF EN 1090-2 (Version 2018)
Tolérances essentielles de montage	Article 11.2.3 de la NF EN 1090-2 (Version 2018)
Incidence des imperfections :	<p>Les valeurs spécifiées sont des écarts autorisés. Lorsque l'écart réel dépasse la valeur autorisée, la valeur mesurée doit être traitée comme une non-conformité conformément à l'Article 12.</p> <p>Dans certains cas, il est possible que l'écart non conforme à une tolérance essentielle puisse être justifié comme conforme au calcul de la structure, si l'écart excessif est explicitement inclus dans un nouveau calcul. Sinon, la non-conformité doit être corrigée.</p>

NF EN 1090-2 (Version 2018), §11.3 : Tolérances fonctionnelles

Les tolérances fonctionnelles exprimées en termes d'écarts géométriques acceptables doivent être conformes aux **valeurs tabulées** ci-dessous (sauf si des critères alternatifs sont précisés dans le CCE) :

Tolérances fonctionnelles de fabrication	Annexe B.2 de la NF EN 1090-2 (Version 2018)
Tolérances fonctionnelles de montage	Annexe B.3 de la NF EN 1090-2 (Version 2018)
Incidence des imperfections :	<p>Les valeurs spécifiées sont des écarts autorisés. Lorsque l'écart réel dépasse la valeur autorisée, la valeur mesurée doit être traitée comme une non-conformité conformément à l'Article 12.</p>

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.3

Le **cahier des charges d'exécution (CCE)** de l'ouvrage comprend les procédures de pré-réception du site conduisant à sa conformité pour le démarrage des travaux de montage.

Les exigences techniques en matière de sécurité des travaux doivent tenir compte des éléments listés au §9.2 de la norme NF EN 1090-2.

FICHE N° 3 – DOSSIER QUALITÉ

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.1

Un **dossier qualité** doit être réalisé pour les classes EXC2, EXC3 et EXC4 comprenant :

- l'organigramme du personnel ;
- les procédures, méthodes et instructions de travail devant être appliquées ;
- un plan de contrôle spécifique aux travaux de charpente ;
- une procédure de traitement des changements et modifications ;
- une procédure de traitement des non-conformités ;
- tous les points d'arrêt ou exigences concernant les contrôles ou essais par tierce personne qui sont spécifiés, et toutes les exigences d'accès correspondantes.

Le Dossier qualité est le fruit du processus de mise en application de la norme NF EN 1090-2 dans l'entreprise. Celui-ci peut être commun aux classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4, à condition de distinguer explicitement dans le document quelles prescriptions s'appliquent à une classe d'exécution en particulier.

Le Dossier Qualité étant le résultat d'un processus continu, il est voué à évoluer dans le temps au fil de la mise en place du système de Management par la Qualité. Il est donc recommandé d'y apposer un cartouche listant et datant les modifications effectuées dans le cadre de chaque révision.

Zoom sur ... L'organigramme du projet

La norme NF EN 1090-2 ne donne pas de précision relative à la mise en place de l'organigramme du projet. Ce document doit récapituler les étapes nécessaires à la réalisation de la structure ainsi que les contrôles nécessaires et identifier clairement les personnes responsables de chacune de ces missions.

Cet organigramme peut être séparé en deux parties : un **organigramme de production en usine** et un **organigramme de mise en œuvre sur chantier**.

Ces organigrammes devront détailler les fonctions, tâches et responsabilités du personnel de production en usine / de mise en œuvre sur chantier et du personnel d'encadrement en les désignant nominativement et en précisant leur rôle dans la coordination, la planification et la réalisation des activités.

Zoom sur ... Le Responsable Qualité

La mise en place du système de Management par la Qualité implique de définir au sein de l'équipe un **Responsable Qualité** qui devra informer et sensibiliser le personnel sur le fonctionnement et la finalité du système qualité.

Cette communication peut être réalisée par exemple au cours d'un point mensuel entre le Responsable Qualité, les responsables Chantier et leur équipe. Il devra définir clairement les objectifs en termes de Management par la Qualité de chaque acteur du projet et suivre leur atteinte ou non.

Le chef de projet et le Responsable Qualité devront organiser périodiquement une réunion de Revue de Direction permettant d'examiner le fonctionnement du système de management de la qualité et d'en évaluer l'efficacité et les possibilités d'amélioration. Chaque réunion qualité devra être préparée et animée par la Direction.

Zoom sur ... La communication avec le maître d'ouvrage

Le dossier qualité précise :

- l'identification de la personne chargée de la communication avec les clients dans des cas particuliers ;
- les moyens à utiliser pour la communication avec les clients ;
- le cas échéant, les voies de communication et les points de contact pour des clients ou des fonctions spécifiques ;
- les enregistrements à conserver relatifs à la communication avec les clients.

FICHE N° 4 – DOSSIER D'EXÉCUTION

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.4

Un dossier d'exécution décrivant l'état de la structure telle que construite doit être établi au cours de l'exécution pour démontrer que les travaux ont été réalisés conformément au cahier des charges d'exécution.

Ce dossier d'exécution comprend les points listés en Annexe C.2.3.3 de la NF EN 1090-2 (Version 2018).

Zoom sur ... Le plan qualité

Il doit être précisé dans le **cahier des charges d'exécution** si un **plan qualité** pour l'exécution des travaux est requis.

Ce **plan qualité**, si requis, comporte 3 parties :

a) un **document d'organisation générale** qui doit aborder les points suivants :

- une revue des exigences du cahier des charges comparées aux capacités d'exécution ;
- l'attribution des tâches et de l'autorité au cours des diverses phases du projet ;
- les principes et modalités d'organisation du contrôle, y compris l'attribution des responsabilités pour chaque tâche de contrôle ;

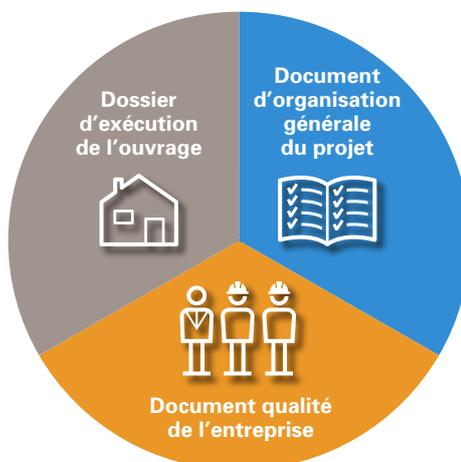
b) le **dossier qualité** / la **documentation qualité** préalable à l'exécution. Ces documents doivent être produits avant tout début d'exécution de la phase de construction à laquelle ils se rapportent ;

c) les documents de suivi d'exécution (**dossier d'exécution**) qui contiennent les enregistrements des contrôles et vérifications réalisés, ou qui démontrent la qualification ou la certification des moyens mis en œuvre.

Concrètement, les trois parties du **plan qualité** doivent répondre aux questions suivantes :

- quelle est la structure à réaliser ?
- quels sont les moyens mis en œuvre par l'entreprise pour réaliser la structure ?
- la structure a-t-elle été réalisée correctement ?

Figure 1 – Contenu d'un Plan qualité (spécifique à un projet)



L'Annexe C de la norme donne une liste du contenu d'un plan qualité recommandé pour l'exécution des structures en acier.

03

TRAÇABILITÉ : FICHES PRATIQUES



FICHE N° 5 – APPROVISIONNEMENTS

Zoom sur ... La gestion documentaire des approvisionnements

Pour toutes les classes d'exécution, la gestion des approvisionnements s'appuie sur deux éléments : le **bon de commande** et les **documents de contrôle** fournis à la livraison.

Les propriétés des produits constitutifs fournis doivent être indiquées dans les documents de contrôle de façon à pouvoir les comparer aux propriétés spécifiées dans le bon de commande. Une liste des propriétés à déclarer (résistance à la traction, allongement, tolérances sur les dimensions, conditions de traitement thermique, classification...) est indiquée au §5.1 de la NF EN 1090-2.

FICHE N° 6 — TRAÇABILITÉ

NF P 22-101-2/CN, Article 3.2

NF EN 1090-2 — §5.2 et §6.2

Il existe trois **niveaux de traçabilité** des produits constitutifs (aciers, fixations mécaniques, consommables de soudage) :

- **traçabilité partielle** (applicable en **EXC2**) : différenciation des nuances et qualités jusqu'à l'incorporation dans les éléments structuraux en cours d'exécution ;
- **traçabilité totale** (applicable en **EXC3** et **EXC4**) : traçabilité par lot à toutes les étapes depuis l'approvisionnement jusqu'à l'incorporation dans l'ouvrage, permettant de remonter au document de contrôle de chacun des composants en œuvre dans l'ouvrage jusqu'à sa réception ;
- **traçabilité totale individuelle** (applicable si spécifiée dans le cahier des charges d'exécution) : traçabilité par élément structural à toutes les étapes de sa fabrication jusqu'à l'incorporation dans l'ouvrage, permettant de remonter au numéro de coulée ou au lot de fabrication de chacun des composants en œuvre.

NOTE

Pour les profilés et tôles en acier, l'exigence de marquage vise la distinction par marquage des nuances et qualités des tôles, profilés, barres et profilés creux en circulation dans l'atelier et sur le site de montage.

La traçabilité est assurée par l'identification des éléments, laquelle peut être réalisée de plusieurs manières (mise en lots, identification par la forme et les dimensions de l'élément ou par utilisation de marques durables). Les exigences à respecter concernant le marquage des éléments sont détaillées au §6.2 de la norme NF EN 1090-2.

FICHE N° 7 — ACIERS DE CONSTRUCTION

NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau 1

NF P 22-101-2/CN

NF EN 10204

Pour les aciers de construction, les documents de contrôle fournis à l'acheteur sont :

PRODUIT CONSTITUTIF	DOCUMENTS DE CONTRÔLE (NF EN 10204)
Acier de construction selon NF EN 10025 de nuance \leq S275 et qualité JR et J0	Relevé de contrôle « type 2.2 » ^{a, b} : Document dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essais basés sur un contrôle non spécifique*
Acier de construction selon NF EN 10025 de nuance $>$ S275 et qualité JR et J0 en classe EXC1	Relevé de contrôle « type 2.2 » ^{a, b}
Acier de construction selon NF EN 10025 de nuance \leq S275 et qualité J2	Certificat de réception « type 3.1 » ^{a, b} : Document dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essais basés sur un contrôle spécifique**. L'unité de contrôle et les essais à réaliser sont définis par la spécification de produit, les règlements officiels et règles correspondantes et/ou par la commande. Le document est validé par le représentant autorisé du contrôle du producteur, indépendant des services de fabrication. Il doit être permis à un producteur de reporter sur son certificat de réception 3.1, les résultats d'essais applicables, obtenus par un contrôle spécifique sur des demi-produits ou des produits approvisionnés qu'il utilise, pour autant que le producteur applique des procédures de traçabilité et puisse fournir les documents de contrôle correspondants sur demande.
Acier de construction selon NF EN 10025 (autres cas)	Certificat de réception « type 3.1 » ^{a, b} :
Acier inoxydable selon NF EN 10088 de limite d'élasticité à 0,2% min \leq 240 MPa	Relevé de contrôle « type 2.2 »
Acier inoxydable selon NF EN 10088 de limite d'élasticité à 0,2% min $>$ 240 MPa	Certificat de réception « type 3.1 »
Aciers moulés selon NF EN 10340 de limite d'élasticité \leq 355 MPa et énergie de rupture en flexion par choc spécifiée à une température d'essai de 20 °C	Relevé de contrôle « type 2.2 »
Aciers moulés selon NF EN 10340 de limite d'élasticité \leq 355 MPa et énergie de rupture en flexion par choc spécifiée à une température inférieure ou égale à 0 °C	Certificat de réception « type 3.1 »
Aciers moulés selon NF EN 10340 de limite d'élasticité minimale spécifiée $>$ 355 MPa	Certificat de réception « type 3.1 »
Aciers non répertoriés dans la NF EN 1090-2 aciers pour appareils à pression selon NF EN 10028	Certificat de réception « type 3.1 »
Aciers non répertoriés dans la NF EN 1090-2 aciers pour structures marines selon NF EN 10225	Certificat de réception « type 3.1 »
Aciers pour profils creux de construction selon NF EN 10210 et NF EN 10219 de nuances \leq S275 et qualité JR et J0	Relevé de contrôle « type 2.2 » ^{a, b}
Aciers pour profils creux de construction selon NF EN 10210 et NF EN 10219 de nuances \leq S275 et qualité J2 et K2	Certificat de réception « type 3.1 » ^{a, b}

PRODUIT CONSTITUTIF	DOCUMENTS DE CONTRÔLE (NF EN 10204)
Aciers pour profils creux de construction selon NF EN 10210 et NF EN 10219 de nuances > S275 et qualité JR et J0 en classe EXC1	Relevé de contrôle « type 2.2 » ^{a, b}
Aciers pour profils creux de construction selon NF EN 10210 et NF EN 10219 pour tous les autres cas	Certificat de réception « type 3.1 » ^{a, b}
<p>a LA NF EN 10025-1 requiert que les éléments inclus dans la formule du CEV soient consignés dans le document de contrôle. Le rapport relatif aux autres éléments ajoutés requis par la NF EN 10025-2 doit inclure Al, Nb et Ti.</p> <p>b Des documents de contrôle de type 3.1 sont nécessaires dans le cas des produits destinés à être galvanisés à chaud afin de garantir leur teneur en Si et P.</p> <p>* Contrôle non spécifique : contrôle réalisé par le producteur conformément à ses propres procédures pour évaluer si les produits définis par la même spécification de produit et élaborés suivant le même procédé de fabrication satisfont aux prescriptions de la commande ou non. Les produits contrôlés ne sont pas nécessairement les produits effectivement livrés.</p> <p>** Contrôle spécifique : contrôle réalisé, avant livraison, conformément à la spécification de produit sur les produits à livrer ou sur des unités de contrôle dont les produits livrés font partie, de manière à vérifier si ces produits sont conformes aux prescriptions de la commande.</p>	

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.3

Classe(s) d'exécution :

EXC2

EXC3

EXC4

Pour les aciers de construction, le **bon de commande** précisera :

- la désignation du produit (type, nuance, qualité) ;
- les conditions techniques de livraison ;
- la classe de tolérance d'épaisseur :
 - en EXC2-3 : Classe A, sauf spécification contraire ;
 - en EXC4 : Classe B.
- les exigences relatives à l'état de surface :
 - pour les aciers au carbone : classe A1 pour les tôles et larges plats ; classe C1 pour les profilés ;
 - pour les aciers inox : tôles et bandes : conformément aux exigences de la NF EN 10088-4 ; barres, fils-machine et profils : conformément aux exigences de la NF EN 10088-5.
- les caractéristiques supplémentaires éventuelles :

Si spécifié, pour les assemblages soudés en croix transmettant des contraintes principales de traction dans l'épaisseur de la tôle, la classe de qualité S1 de la NF EN 10160 relative aux discontinuités internes doit s'appliquer à une bande dont la largeur s'étend à quatre fois l'épaisseur de la tôle de chaque côté du joint envisagé.

Il doit être précisé s'il convient de rechercher l'existence de discontinuités internes dans les zones situées à proximité des diaphragmes ou des raidisseurs transmettant des charges. Dans ce cas, si l'assemblage est réalisé par soudage, la classe de qualité S1 de la NF EN 10160 doit s'appliquer à une bande de semelle ou d'âme dont la largeur s'étend à 25 fois l'épaisseur de la tôle de chaque côté du diaphragme ou du raidisseur.

De plus, les exigences liées aux points suivants doivent être spécifiées, le cas échéant :

- essais effectués sur les produits constitutifs, autres qu'en aciers inoxydables, en vue d'identifier les discontinuités internes ou fissures dans les zones à souder ;
- caractéristiques de déformation améliorées dans le sens perpendiculaire à la surface des produits constitutifs, autres qu'en aciers inoxydables, conformément à la NF EN 10164 ;

- conditions techniques particulières de livraison des aciers inoxydables, par exemple indice de résistance à la corrosion par piqûres (PREN) ou essai de corrosion accéléré. Sauf spécification contraire, le PREN doit être évalué par $(1 \times \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N)$, les éléments étant en pourcentage en masse ;
- conditions de traitement si les produits constitutifs doivent être traités avant la livraison.

NOTE

Ces traitements sont, par exemple, un traitement thermique, un cintrage ou un pliage.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.4

Cas des aciers moulés :

Les aciers moulés doivent être conformes aux exigences de la NF EN 10340. Les conditions techniques de livraison (nuances, qualités et, si nécessaire, états de surface) doivent être spécifiées ainsi que les options autorisées par la norme de produit, y compris les informations nécessaires et les options telles que requises dans la NF EN 1559-1 et la NF EN 1559-2. Sauf spécification contraire, les propriétés des aciers moulés doivent être évaluées par essais.

Sauf spécification contraire, les essais doivent comprendre :

- 1) un contrôle visuel à 100 % ;
- 2) les essais destructifs suivants sur des pièces prises au hasard en cours de production. Le cahier des charges doit spécifier si ces pièces doivent être des échantillons de produits prélevés de manière destructive, des rallonges ou des pièces distinctes coulées en même temps :
 - a) essais de résistance à la traction et d'allongement (une unité par coulée) ;
 - b) essais de flexion par choc (trois unités par coulée) ;
 - c) essai de détermination de la striction (une unité par coulée, le cas échéant) ;
 - d) analyse chimique (une unité par coulée) ;
 - e) examen microscopique de coupes transversales (une unité par coulée).
- 3) les essais non destructifs suivants sur des pièces prises au hasard dans chaque lot de fabrication :
 - a) MT ou PT pour détecter les discontinuités superficielles sur 10 % de chaque lot de fabrication, et ;
 - b) UT ou RT pour détecter les discontinuités internes sur 10 % de chaque lot de fabrication.

Sauf indication contraire, les critères d'acceptation pour les éléments en acier moulé sont :

- SM2 et LM3/AM3 selon la NF EN 1369 pour l'essai par magnétoscopie (MT) ;
- Niveau de sévérité 2 selon la NF EN 12680-1 pour l'essai par ultrasons (UT) ;
- Niveau de sévérité 3 pour l'essai par radiographie (RT).

FICHE N° 8 — CONSOMMABLES POUR LE SOUDAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.5

NF EN 10204

Pour les produits consommables pour le soudage, les documents de contrôle fournis à l'acheteur sont :

PRODUIT CONSTITUTIF	DOCUMENTS DE CONTRÔLE (NF EN 10204)
Produits consommables pour le soudage	Relevé de contrôle « type 2.2 » : Document dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essais basés sur un contrôle non spécifique*
* <i>contrôle non spécifique : contrôle réalisé par le producteur conformément à ses propres procédures pour évaluer si les produits définis par la même spécification de produit et élaborés suivant le même procédé de fabrication satisfont aux prescriptions de la commande ou non. Les produits contrôlés ne sont pas nécessairement les produits effectivement livrés.</i>	

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.5

Pour les produits consommables pour le soudage, le bon de commande précisera :

- la norme de produits appropriée ;
- le type de produits consommables, lequel doit être adapté au procédé de soudage, au matériau à souder et au mode opératoire de soudage :

Pour le soudage d'un acier conforme à la NF EN 10025-5, on doit utiliser des produits consommables permettant de garantir que les soudures finies auront une résistance à la corrosion atmosphérique au moins équivalente à celle du métal de base.

FICHE N° 9 — FIXATIONS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau 1

NF P 22-101-2/CN

NF EN 10204

Pour les fixations mécaniques, les documents de contrôle fournis à l'acheteur sont :

PRODUIT CONSTITUTIF	DOCUMENTS DE CONTRÔLE (NF EN 10204)
Boulons de construction conformes à la NF EN 14399 en utilisation non précontrainte	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 » : Document dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande, qui ne comporte pas de résultats d'essai.
Boulons de construction conformes à la NF EN 15048	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Boulons non précontraints de diamètre 8 à 10mm	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Boulons non précontraints de diamètre supérieur à 36mm	Certificat de réception « type 3.1 » : Document dans lequel le producteur déclare que les produits livrés sont conformes aux prescriptions de la commande et dans lequel il fournit des résultats d'essais basés sur un contrôle spécifique*. L'unité de contrôle et les essais à réaliser sont définis par la spécification de produit, les règlements officiels et règles correspondantes et/ou par la commande. Le document est validé par le représentant autorisé du contrôle du producteur, indépendant des services de fabrication. Il doit être permis à un producteur de reporter sur son certificat de réception 3.1, les résultats d'essais applicables, obtenus par un contrôle spécifique sur des demi-produits ou des produits approvisionnés qu'il utilise, pour autant que le producteur applique des procédures de traçabilité et puisse fournir les documents de contrôle correspondants sur demande.
Autres produits de boulonnerie de diamètre ≤ 16 mm	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Autres produits de boulonnerie de diamètre > 16 mm	Certificat de réception « type 3.1 »
Tiges filetées selon NF E 25-136 de diamètre ≤ 20 mm	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Tiges filetées selon NF E 25-136 de diamètre > 20 mm	Certificat de réception « type 3.1 »
Rondelles pour application non précontrainte	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Rivets à chaud	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Vis autotaraudeuses et autoperceuses et rivets aveugles	Attestation de conformité à la commande « type 2.1 »
Goujons pour soudage à l'arc	Certificat de réception « type 3.1 »
Câbles à haute résistance	Certificat de réception « type 3.1 »
Appareils d'appuis structuraux	Certificat de réception « type 3.1 »

* *contrôle spécifique : contrôle réalisé, avant livraison, conformément à la spécification de produit sur les produits à livrer ou sur des unités de contrôle dont les produits livrés font partie, de manière à vérifier si ces produits sont conformes aux prescriptions de la commande.*
NB : Des documents de contrôle type 3.2 sont également adaptés lorsque le tableau ci-dessus fait référence à des documents de contrôle de type 3.1. Pour les boulons et autres fixations, des documents de contrôle conformes à la NF EN ISO 16228 peuvent être fournis au lieu de documents conformes à la NF EN 10204.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.6

Pour les fixations mécaniques, le **bon de commande** précisera :

Pour les boulons de construction destinés à des applications non précontraintes :

Les boulons de construction en acier au carbone ou allié et en acier inoxydable destinés à des applications non précontraintes doivent être conformes aux exigences des normes de la série EN 15048.

Les boulons conformes à la NF EN 14399 peuvent aussi être utilisés pour des applications non précontraintes.

Les classes de qualité des vis et des écrous, ainsi que, si nécessaire, leur revêtement éventuel, doivent être spécifiés ainsi que toutes les options requises autorisées par la norme de produit.

Les conditions techniques de livraison doivent être spécifiées pour :

- a) les boulons en acier au carbone ou allié dont le diamètre est supérieur à ceux spécifiés dans la NF EN ISO 898-1 et la NF EN ISO 898-2 ;
- b) les boulons en acier inoxydable austénitique ou austéno-ferritique dont le diamètre est supérieur à ceux spécifiés dans la NF EN ISO 3506-1 et la NF EN ISO 3506-2 ;
- c) les boulons à résistance améliorée contre la corrosion (voir 5.6.6).

Sauf spécification contraire, les fixations conformes à la NF EN ISO 898-1 et à la NF EN ISO 898-2 ne doivent pas être utilisées pour assembler des aciers inoxydables conformes aux EN 10088-4 et EN 10088-5. Si des kits d'isolation doivent être utilisés, tous les détails concernant leur utilisation doivent être spécifiés.

Les axes d'articulation doivent respecter la classe de tolérance h 13 conformément à la NF EN ISO 286-2 (b 11 s'ils sont revêtus).

NOTE

Ces valeurs sont identiques à celles applicables aux boulons ajustés conformes à la NF EN 14399-8.

Pour les boulons de construction aptes à la précontrainte :

Les boulons de construction à haute résistance aptes à la précontrainte comprennent les boulons du système HR, du système HV et les boulons HRC. Ils doivent être conformes aux exigences d'essais de la NF EN 14399-2 et de la norme européenne appropriée du ci-dessous.

Les classes de qualité des vis et des écrous, ainsi que, si nécessaire, le revêtement éventuel, doivent être spécifiés ainsi que toutes les options requises autorisées par la norme de produit.

Normes de produit pour les boulons de construction à haute résistance aptes à la précontrainte

BOULONS	RONDELLES
NF EN 14399-3	
NF EN 14399-4	
NF EN 14399-7	NF EN 14399-5
NF EN 14399-8	NF EN 14399-6
NF EN 14399-10	

Sauf spécification contraire, les boulons en acier inoxydable ne doivent pas être utilisés dans les applications précontraintes. S'ils sont utilisés dans ce type d'application, ils doivent être traités comme des fixations particulières (voir 5.6.11).

Pour les rondelles indicatrices de précontrainte :

Les rondelles indicatrices de précontrainte, ainsi que les rondelles associées HN/HB sous l'écrou et sous la tête de la vis, doivent être conformes à la NF EN 14399-9.

Les rondelles indicatrices de précontrainte ne doivent pas être utilisées avec les aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique, ni avec les aciers inoxydables.

Pour les boulons en acier à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique :

Les boulons à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique doivent être fabriqués à partir d'un matériau à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique dont la composition chimique doit être spécifiée.

NOTE

Les fixations Grade A type 3 conformes à la norme ASTM A325 peuvent convenir.

Leurs caractéristiques mécaniques, performances et conditions techniques de livraison doivent être conformes aux exigences de la NF EN 14399-1 ou de la NF EN 15048-1 selon le cas.

Pour les boulons d'ancrage :

Les boulons d'ancrage doivent avoir des caractéristiques mécaniques conformes à la NF EN ISO 898-1 ou être fabriqués à partir d'un acier laminé à chaud conforme aux NF EN 10025-2 à NF EN 10025-4.

Si cela est précisé, il est permis d'utiliser des aciers pour béton armé. Dans ce cas, ils doivent être conformes à la NF EN 10080 et la nuance d'acier doit être spécifiée.

NOTE

La NF EN 13670 spécifie les exigences relatives aux aciers d'armature utilisés comme boulons d'ancrage ou ancrages.

Pour les dispositifs de blocage :

Si requis, les dispositifs destinés à prévenir efficacement le desserrage des boulons concernés par les chocs, les vibrations importantes ou les chargements cycliques, doivent être spécifiés.

Sauf spécification contraire, pour prévenir le relâchement, les écrous autofreinés conformes aux NF EN ISO 7040, NF EN ISO 7042, NF EN ISO 7719 et NF EN ISO 10511, et les exigences de performance données dans la NF EN ISO 2320 peuvent être utilisées.

Pour les rondelles :

■ Rondelles plates

Les rondelles fournies en tant que composant d'un boulon doivent être conformes à la norme de produit applicable à ce boulon.

Les rondelles fournies séparément peuvent être utilisées dans les applications non précontraintes et doivent être conformes à la NF EN ISO 7089, la NF EN ISO 7090, la NF EN ISO 7091, la NF EN ISO 7092, la NF EN ISO 7093-1 ou la NF EN ISO 7094 pour l'acier au carbone, à la NF EN ISO 7089, la NF EN ISO 7090, la NF EN ISO 7092 ou la NF EN ISO 7093-1 pour les aciers inoxydables.

■ Cales obliques

Les cales obliques doivent satisfaire aux exigences de dureté et aux autres exigences spécifiées pour les rondelles plates, exceptées les dimensions applicables à la forme qui doivent être spécifiées.

Pour les plaquettes :

Les plaquettes doivent respecter le jeu nominal mentionné au Tableau 11 de la NF EN 1090-2 et présenter des dimensions qui assurent un recouvrement de l'élément connecté au moins égal à celui d'une rondelle plate standard lorsque celle-ci est utilisée avec des trous ronds normaux.

Pour les rivets à chaud :

Les rivets à chaud doivent être conformes à la norme de produit applicable, qui doit être spécifiée.

Pour les fixations particulières :

Les fixations particulières sont des fixations qui ne sont pas couvertes dans des Normes Européennes ou internationales. Elles doivent être spécifiées, ainsi que tous les essais nécessaires.

NOTE

Pour l'utilisation de fixations particulières, voir §8.8 de la norme NF EN 1090-2.

Les boulons injectés de résine doivent être considérés comme des fixations particulières.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.6**Livraison et identification**

Les fixations de type « boulons de construction destinés à des applications non précontraintes », « boulons de construction aptes à la précontrainte » et « indicateurs directs de précontrainte » doivent être livrées et identifiées conformément aux exigences de la norme de produit pertinente.

Les fixations de type « boulons résistants à la pression atmosphérique », « boulons d'ancrage », « dispositifs de blocage », « rondelles », « rivets à chaud » et « éléments de fixation pour éléments minces » doivent être livrées et identifiées comme suit :

- a) elles doivent être livrées dans un emballage approprié durable et étiqueté afin que le contenu soit facilement identifiable ;
- b) l'étiquetage et les documents d'accompagnement doivent être conformes aux exigences de la norme de produit et il convient qu'ils comportent les informations suivantes sous une forme lisible et durable :
 - l'identification du fabricant et, s'il y a lieu, les numéros de lot ;
 - le type de fixation et le matériau et, si nécessaire, son assemblage ;
 - le revêtement de protection ;
- c) le marquage des fixations doit être conforme aux exigences de la norme de produit.

04

OPÉRATIONS DE COUPAGE, FORMAGE, DÉCOUPE ET PERÇAGE : FICHES PRATIQUES



FICHE N° 10 – FORMAGE À CHAUD

NF EN 1090-2 (Version 2018), § 6.5

Le formage peut être réalisé par différentes méthodes (pliage, pressage, forgeage...) à chaud ou à froid, à condition que les propriétés du matériau ne soient pas réduites en dessous des limites spécifiées.

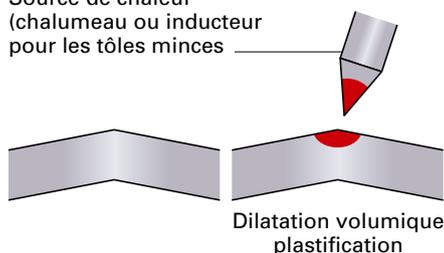
Si, après formage, l'élément présente des fissures, un arrachement lamellaire ou des revêtements de surface endommagés, il doit être considéré comme non conforme.

Zoom sur ... Le formage à chaud

Le **formage à chaud** de l'acier recouvre les techniques de **forgeage** et de **chaude de retrait** :

- Le forgeage consiste à appliquer un effort sur l'acier préalablement chauffé afin de lui donner la forme voulue.
- La chaude de retrait est une méthode qui consiste à chauffer rapidement une zone localisée d'une pièce à corriger pour la redresser. Le chauffage étant très rapide, l'acier n'a pas le temps de se dilater. En revanche, au refroidissement, l'acier se contracte et la pièce se redresse.

Source de chaleur
(chalumeau ou inducteur
pour les tôles minces)



Chaude en ligne



Chaude ponctuelle



Chaude circulaire



Chaude en coin
(ou triangulaire)



NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 6.5.2

Le formage à chaud [$T > 580^{\circ}\text{C}$] doit être réalisé conformément aux exigences de la norme de produit applicable et aux recommandations du fabricant de l'acier

Plages de températures nécessaires pour le formage à chaud en fonction de l'acier utilisé

TEMPÉRATURE (°C)	580	600	650	750	960
Acier utilisé		Nuances d'acier jusqu'à S355 inclus			Nuances d'acier S450 brut de délamination (+AR) ou laminage normalisant (+N) ; S420 et S460*
Couleur de l'acier	BRUN ROUGE	ROUGE FONCÉ	ROUGE CERISE		ORANGE

* Le formage à chaud doit être suivi d'un refroidissement à température ambiante. Il convient que la vitesse de refroidissement soit adaptée pour éviter un durcissement ainsi qu'un grossissement excessif des grains. Si cela est impossible, un traitement ultérieur de normalisation doit être réalisé.

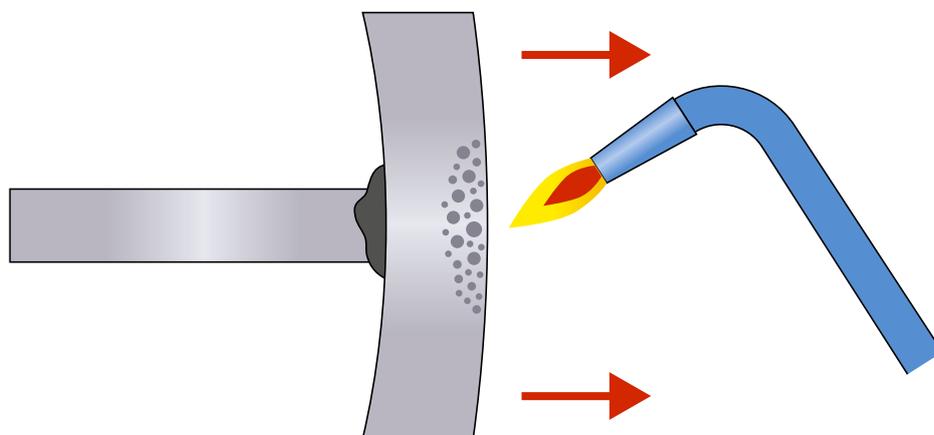
Sauf spécification contraire, le formage à chaud des aciers inoxydables n'est pas autorisé.

D'autres cas où le formage à chaud est déconseillé sont détaillés au §6.5.2.

Par ailleurs, il conviendra de se rapporter au §6.5.3.1 de la norme NF EN 1090-2 concernant les aciers de nuance supérieure à S355 et au §6.5.3.2 de la norme NF EN 1090-2 pour le formage à chaud des aciers inoxydables si celui-ci est spécifié.

Zoom sur ... Les chaudes de retrait au chalumeau

Liste d'éléments à spécifier dans le mode opératoire pour chaudes de retrait au chalumeau :



Les paramètres à déterminer sont pour le chauffage au chalumeau sont :

- type de buse (débit nominal, buse mono ou multi-dards) ;
- débits de gaz (C2F12, O2) ;
- pressions des gaz ;
- distances buse/pièce et dard/pièce ;
- les dimensions de la zone chauffée et le temps de l'opération pour les chaudes ponctuelles et en coin ;
- la vitesse d'avance, la largeur et la fréquence du balayage pour les chaudes en ligne ou circulaire.

Zoom sur ... La mesure de la température

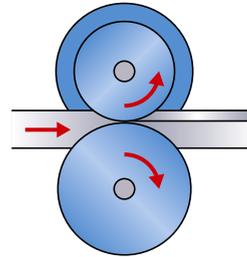
Un choix judicieux des filtres de protection oculaire installés sur une monture avec obturation latérale de la luminosité ambiante permet à l'opérateur d'observer l'apparition de la couleur juste sur la surface qui vient de subir l'impact de la flamme. Cela suppose un petit déplacement ponctuel du chalumeau.

Une surveillance de la température de la chaude à l'aide d'un pyromètre optique infrarouge adapté peut également être effectuée.

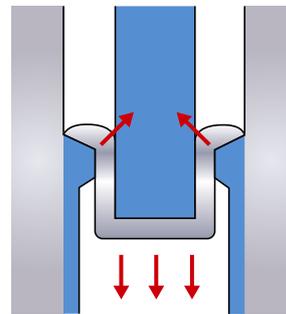
FICHE N° 11 – FORMAGE À FROID

Zoom sur ... Le formage à froid

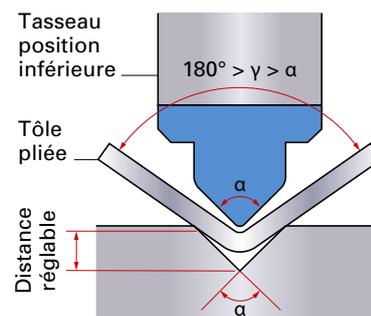
Le formage à froid de l'acier recouvre les techniques de profilage, pressage et pliage :



Le **profilage** consiste à réaliser un profilé métallique à partir d'une bande de métal en faisant passer cette dernière entre des têtes de profilages (appelées « galets ») qui vont la déformer jusqu'à lui donner la forme voulue.



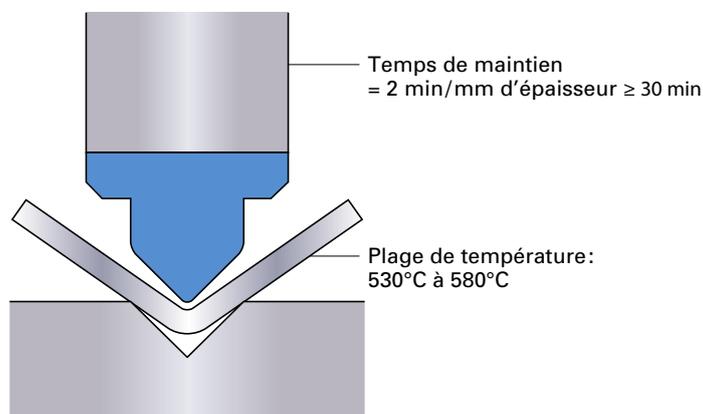
Le **pressage** consiste à emboutir une tôle plane à l'aide d'une presse comportant une matrice supérieure et une matrice inférieure épousant la forme voulue.



Le **pliage** consiste à déformer une plaque d'acier à l'aide du presse plieuse comportant une matrice en V et un poinçon.

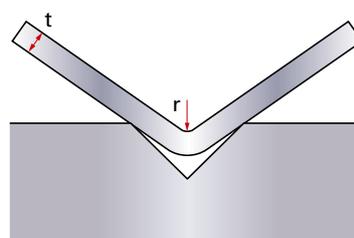
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 6.5.4

Le formage à froid consiste en une déformation plastique du matériau qui génère des contraintes résiduelles dans l'élément métallique. Pour minimiser celles-ci et éviter une déformation ultérieure de l'élément, il est possible de soumettre le matériau à un **traitement thermique** de relaxation des contraintes. Ce traitement thermique devra respecter les préconisations suivantes :



Valable pour tous procédés de formage à froid

- a) Pour les aciers au carbone ou alliés de nuances supérieures à S355, les deux conditions suivantes doivent être satisfaites :
 - i) plage de température : 530°C à 580°C ;
 - ii) temps de maintien : 2 min/mm d'épaisseur du matériau, avec une durée minimale de 30 minutes.
- b) S'il est prévu de réaliser un traitement thermique de relaxation des contraintes sur des nuances d'acier S420 à S700 à des températures plus élevées que 580°C ou pendant des durées excédant une heure, les valeurs minimales requises pour les caractéristiques mécaniques doivent être convenues à l'avance avec le fabricant du produit.



- c) Pour les aciers inoxydables recuits jusqu'à une épaisseur de 3 mm, les rayons intérieurs de pliage r minimaux devant être formés doivent généralement être de :
 - i) $r = 0$ pour les nuances austénitiques ;
 - ii) $r = t$ pour les nuances austéno-ferritiques et ferritiques ; où t est l'épaisseur du matériau ou le diamètre des fils-machine.
- d) Pour les autres aciers inoxydables et les autres épaisseurs, les rayons intérieurs de pliage r minimaux devant être formés doivent généralement être de :

$$r = (4,2 - A5/10).t$$

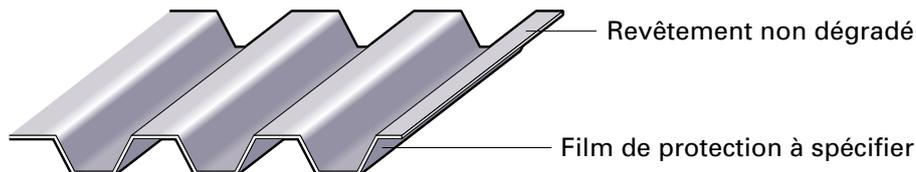
où :

t est l'épaisseur de la tôle ou le diamètre des fils-machine ;

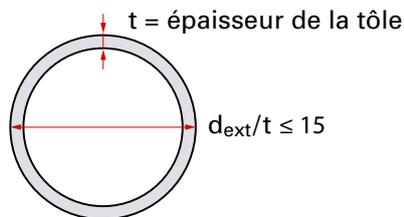
et

A5 est l'allongement minimal à la rupture, en pourcentage, selon la norme de référence applicable à l'état recuit ou écroui du matériau (voir normes de la série NF EN 10088). La valeur de A5 est limitée à 42. Si la valeur A5 est plus faible dans la direction transversale, c'est cette valeur (la plus faible) qui doit être utilisée dans la formule.

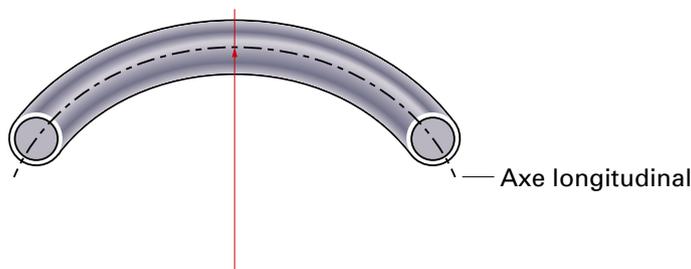
- e) Les profils formés à froid peuvent être formés par croquage, cintrage léger ou gaufrage, en fonction des matériaux utilisés.



- f) Pour les éléments et tôles formés à froid utilisés comme éléments structuraux, le formage à froid doit satisfaire aux deux conditions suivantes :
- i) les revêtements de surface et la précision du profil ne doivent pas être dégradés ;
 - ii) il doit être spécifié si les produits constitutifs nécessitent l'application de films de protection avant formage (Voir également EN 508-1 et à l'EN 508-3).
- g) Le cintrage par formage à froid des éléments en profil creux peut être utilisé à condition que la dureté et la géométrie du produit constitutif après cintrage soient vérifiées (Le cintrage par formage à froid peut entraîner une modification des caractéristiques du profil – concavité, ovalisation et amincissement des parois- ainsi qu'un écrouissage.
- h) Sauf spécification contraire, le cintrage par formage à froid des profils creux circulaires doit être conforme aux trois conditions suivantes :

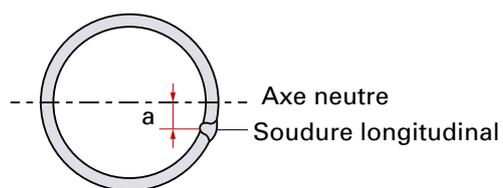


- i) le rapport du diamètre extérieur du profil à son épaisseur de paroi ne doit pas être supérieur à 15 ;



Rayon de courbure > Max (1,5d_{ext}, d_{ext}+100 mm)
avec d_{ext} : diamètre extérieur

- ii) le rayon de courbure (mesuré à l'axe longitudinal du tube) ne doit pas être inférieur à la plus grande des deux valeurs suivantes, 1,5d ou d + 100 mm, où d est le diamètre extérieur du profil creux ;



a: la plus faible possible

- iii) la soudure longitudinale de la section transversale doit être positionnée à proximité de l'axe neutre afin de réduire les contraintes de flexion au droit de cette soudure.

FICHE N° 12 – COUPAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018), § 6.4.1

Il existe différentes opérations de coupage :

- les opérations de coupage mécanique par cisaillement (cisailage, poinçonnage...);
- les opérations de coupage mécanique par arrachement de matière (sciage, tronçonnage...);
- le coupage par jet d'eau;
- le coupage thermique (oxycoupage...).

Le procédé de coupage pour les produits revêtus doit être choisi de manière à minimiser les dommages occasionnés au revêtement.

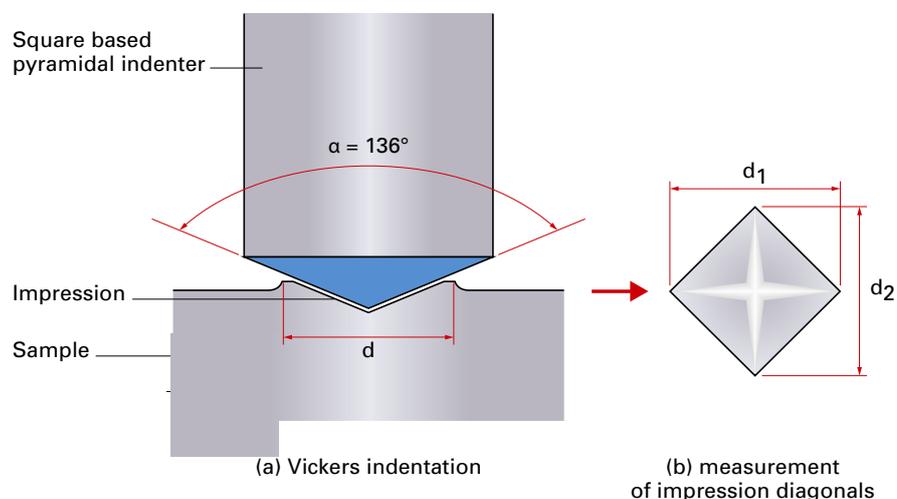
Les bavures susceptibles de provoquer des blessures ou d'empêcher l'alignement ou la pose correcte des profils ou tôles doivent être éliminées.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.4

Il convient de n'utiliser le coupage thermique manuel que lorsque l'utilisation d'un procédé mécanique n'est pas réalisable en pratique.

La dureté de l'acier doit être vérifiée avant l'opération d'oxycoupage (§6.4.4).

Pour les nuances d'acier au carbone \geq S460, la dureté des chants libres (vérifiée par essais Vickers conformément à la norme NF EN ISO 6507) ne doit généralement pas être supérieure à 450 (HV10).



Pour limiter la dureté des surfaces de coupe, un préchauffage du matériau peut être appliqué.

→ Des exigences spécifiques pour les surfaces sur lesquelles une peinture doit être appliquée après coupage sont détaillées au §10.3 de la norme NF EN 1090-2.

→ Des exigences spécifiques pour les chants libres devant être galvanisées à chaud après coupage sont détaillées dans la norme NF EN ISO 14713-2.

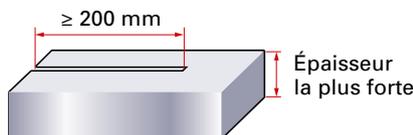
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 6.4.3

Le coupage thermique peut être manuel ou automatisé.

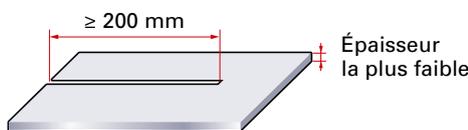
Dans le cas d'un procédé automatisé, celui-ci doit être vérifié annuelle de la manière suivante :

Les quatre échantillons décrits ci-après sont découpés dans le produit constitutif par le procédé.

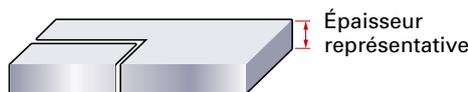
a) une coupe droite dans le produit constitutif présentant la plus forte épaisseur ;



b) une coupe droite dans le produit constitutif présentant la plus faible épaisseur ;



c) un angle saillant dans une épaisseur représentative ;



d) un arc de cercle dans une épaisseur représentative.



Un contrôle est effectué sur les échantillons a) et b) sur la longueur de coupe de 200 mm, et comparées à la qualité requise pour la surface de coupe.

L'échantillon c) [angle saillant] et l'échantillon d) [arc de cercle] sont contrôlés visuellement pour vérifier que leurs bords présentent une qualité équivalente à celle des échantillons droits.

L'objectif de ces contrôles est de vérifier que les chants coupés sont exempts d'irrégularités importantes ou de scories.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.3

NF EN ISO 9013

Les exigences de qualité des surfaces de coupe qui sont destinées à rester libres (c.a.d exemptes de soudure) doivent généralement être conformes au tableau ci-dessous :

CLASSES D'EXÉCUTION	TOLÉRANCE DE PERPENDICULARITÉ OU D'ANGULARITÉ, U	HAUTEUR MOYENNE DU PROFIL, R ₂₅
EXC2	1.2 + 0.035a	0.8 + 0.02a
EXC3 et 4	0.8 + 0.02a	0.8 + 0.02a

a = épaisseur de coupe

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.2

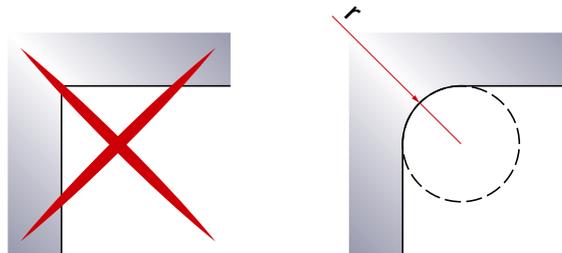
Les défauts significatifs doivent être éliminés de la surface libre par meulage ou usinage.

Après un coupage de type cisailage ou grignotage, la profondeur minimale de meulage ou d'usinage doit être de 0,5 mm.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.7

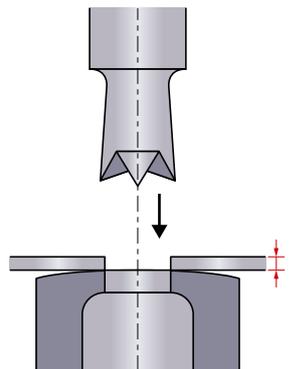
Découpes dans les angles :

Les angles rentrants et les grugeages doivent être arrondis avec un rayon minimal r de 5 mm.



Découpes par poinçonnage :

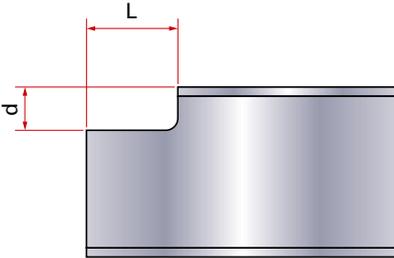
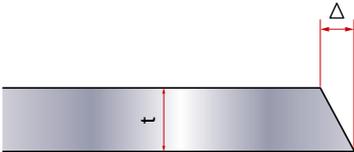
Sauf spécification contraire, les découpes obtenues par poinçonnage sont autorisées. Dans ce cas et pour des plaques d'épaisseur t supérieure à 16 mm, les parties déformées des matériaux doivent être éliminées par meulage.



FICHE N° 13 – COUPES / TOLÉRANCES

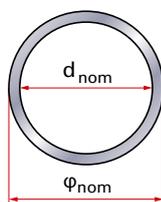
NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau B

Tolérances de coupe

CRITÈRE	PARAMÈTRE	TOLÉRANCES ESSENTIELLES		TOLÉRANCES FONCTIONNELLES		
		ÉCART AUTORISÉ Δ		ÉCART AUTORISÉ Δ		
		CLASSES 1 ET 2		CLASSE 1	CLASSE 2	
Grugeages : 	Écart Δ de la profondeur et de la longueur du grugeage : profondeur d longueur L	Pas d'exigence		$-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 3 \text{ mm}$	$-\Delta = 0 \text{ mm}$ $+\Delta \leq 2 \text{ mm}$	
Longueur des éléments :	Longueur de coupe mesurée sur l'axe central (ou sur l'angle pour une cornière) :	Pas de tolérance essentielle spécifiée.		$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
Équerrage des chants de coupe :		Écart Δ d'un chant de coupe par rapport à 90° :	Pas de tolérance essentielle spécifiée.		$\Delta = \pm 0,05t$	$\Delta = \pm 0,05t$

FICHE N° 14 – PERÇAGE / DIMENSIONS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des trous ronds :



d_{nom} :
diamètre nominal
du boulon ou l'axe
d'articulation

φ_{nom} :
diamètre nominal
du trou

Définition du jeu nominal:
 $\varphi_{nom} - d_{nom}$

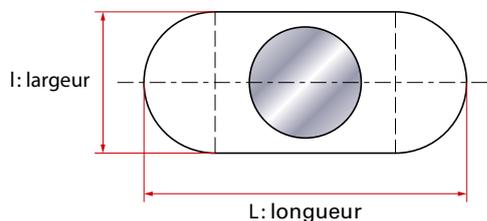
Jeux nominaux :

d_{nom} (mm)	TROU ROND NORMAL	TROU SURDIMENSIONNÉ
	φ_{nom} (mm)	φ_{nom} (mm)
8	9	11
10	11	13
12	13 ^{a)b)}	15
14	15 ^{a)b)}	17
16	18	20
18	20	22
20	22	24
22	24	26
24	26	30
27	30	35
30	33	38
33	36	41
36	39	44

a) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés du revêtement.

b) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés de 1 mm en respectant la clause 3.6.1(5) de la NF EN 1993-1-8 ou en présence de boulons à tête fraisée.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des trous oblongs :



d_{nom} :
diamètre nominal
du boulon ou l'axe
d'articulation

Définition du jeu nominal (en mm):

- ⊖ sur la longueur = $L - d_{nom}$
- ⊖ sur la largeur = $l - d_{nom}$

Jeux nominaux :

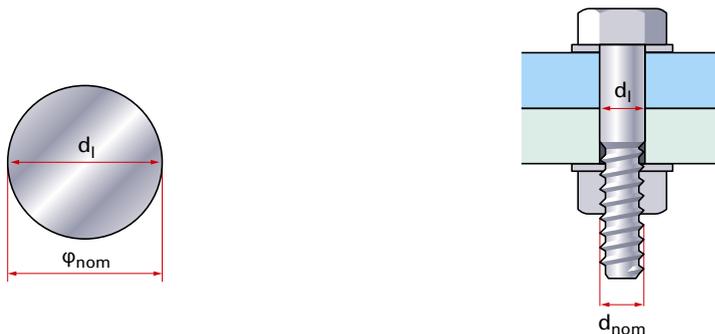
d _{nom} (mm)	TROU OBLONG COURT		TROU OBLONG LONG	
	LARGEUR (mm)	LONGUEUR (mm)	LARGEUR (mm)	LONGUEUR (mm)
12	13 ^{a)b)}	16	13 ^{a)b)}	30
14	15 ^{a)b)}	18	15 ^{a)b)}	35
16	18	22	18	40
18	20	24	20	45
20	22	26	22	50
22	24	28	24	55
24	26	32	26	60
27	30	37	30	67,5
30	33	40	33	75
33	36	43	36	82,5
36	39	46	39	90

a) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés du revêtement.

b) Le diamètre ou la largeur peuvent être augmentés de 1 mm en respectant la clause 3.6.1(5) de la NF EN 1993-1-8 ou en présence de boulons à tête fraisée.

Les trous oblongs destinés à recevoir des boulons de diamètre 8 ou 10 mm ne sont pas visés par la norme NF EN 1090-2 ni par son complément national.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des boulons ajustés :



φ_{nom} : diamètre nominal du trou (en mm)

d₁ : diamètre de la partie lisse du boulon (en mm)

d_{nom} : diamètre nominal de la tige filetée (en mm)

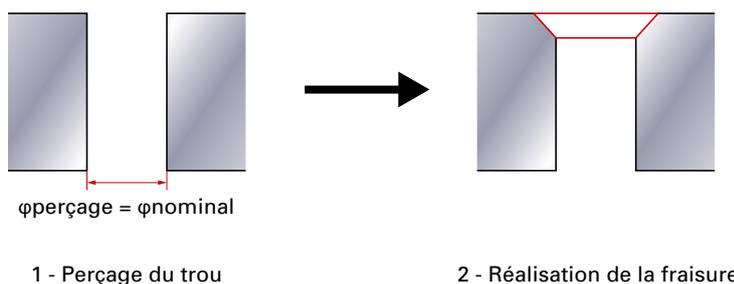
Le diamètre nominal du trou doit être égal au diamètre de la partie lisse de la tige de la vis.

$$\varphi_{nom} = d_1$$

NOTE :

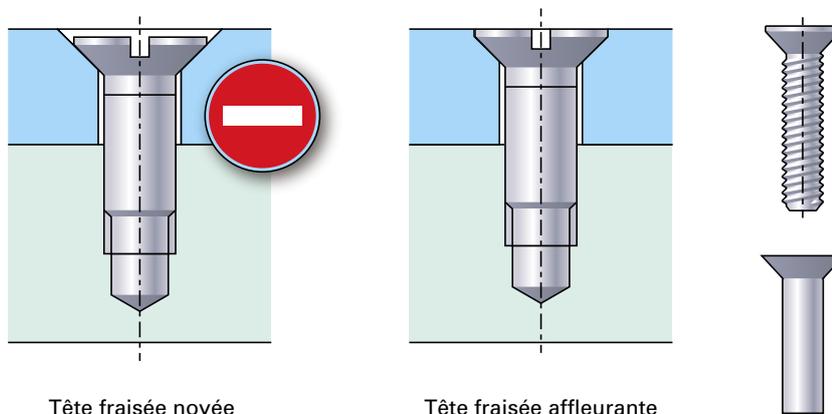
Pour les boulons ajustés conformes à la NF EN 14399-8, le diamètre nominal de la partie lisse de la tige est supérieur de 1 mm au diamètre nominal de la partie filetée.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article: 6.6.1 – Cas des vis ou rivets à tête fraisée :

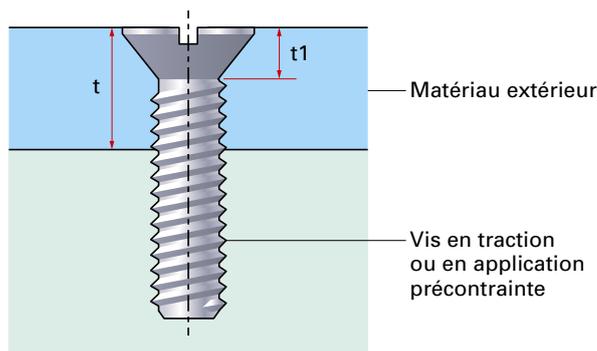


Pour les vis ou rivets à tête fraisée, les dimensions nominales de la fraisure et les tolérances sur ces dimensions doivent être telles que, après mise en place, la vis ou le rivet affleure la face externe du plat extérieur.

Si la fraisure est pratiquée au travers de plusieurs épaisseurs, les éléments doivent être maintenus fermement joints pendant l'opération de fraisage.



Lorsque des vis à tête fraisée sont utilisées en traction ou dans des applications précontraintes, la profondeur nominale de la fraisure doit être inférieure d'au moins 2 mm à l'épaisseur nominale du plat extérieur.



$$t1 \leq t - 2 \text{ mm}$$

avec:

t1: profondeur nominale de la fraisure

t: épaisseur du matériau extérieur

NOTE :

Ces 2 mm sont destinés à pallier les tolérances défavorables.

Rivets à chaud :

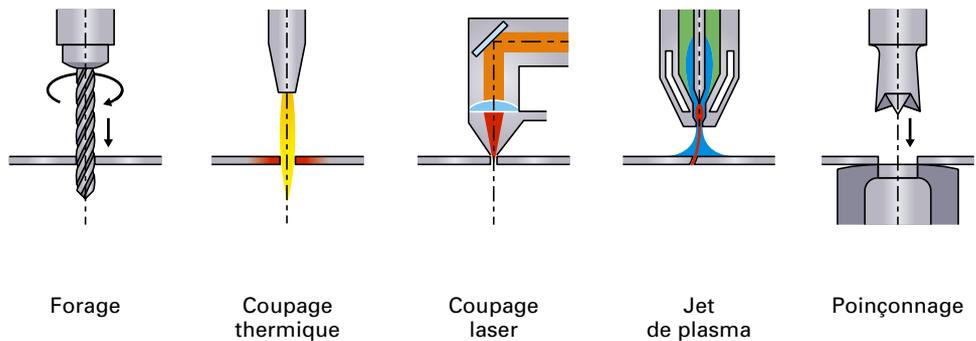
Pour les rivets à chaud, les jeux nominaux en mm pour le perçage des trous doivent être tels que :

CLASSE D'EXÉCUTION	DIAMÈTRE NOMINAL DU RIVET	
	d ≤ 14	d > 14
EXC2	1	2
EXC3 et 4	1	1

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1

Les trous peuvent être obtenus par tout procédé tel que forage, poinçonnage, coupage laser ou coupage thermique (voir §6.6.1 de la norme NF EN 1090-2) ; à condition que celui-ci laisse un trou fini tel que :

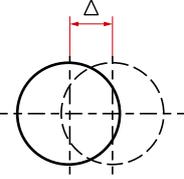
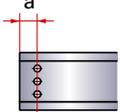
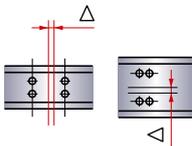
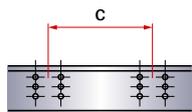
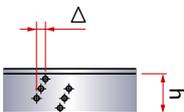
- a) les exigences sur la surface de coupe (telles que décrites dans cette fiche) soient respectées ;
- b) les trous destinés à être alignés pour permettre le passage d'une fixation ou d'un axe d'articulation coïncident correctement les uns avec les autres.



FICHE N° 15 – PERÇAGE / TOLÉRANCES

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe B

Tolérances de perçage

CRITÈRE	PARAMÈTRE	TOLÉRANCES ESSENTIELLES		TOLÉRANCES FONCTIONNELLES	
		ÉCART AUTORISÉ Δ		ÉCART AUTORISÉ Δ	
		CLASSES 1 ET 2		CLASSE 1	CLASSE 2
Position des trous pour fixations: 	Écart Δ de l'axe d'un trou isolé par rapport à sa position prévue au sein d'un groupe de trous :	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
Position des trous pour fixations: 	Écart Δ de distance a entre un trou isolé de diamètre d_0 et l'extrémité de coupe : si $a < 3 d_0$ si $a \geq 3 d_0$	$-\Delta = 0$ $\Delta = \pm 3 \text{ mm}$	$-\Delta = 0$ $+\Delta = 3 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 3 \text{ mm}$	$-\Delta = 0$ $+\Delta = 2 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	
Position du groupe de trous : 	Écart Δ d'un groupe de trous par rapport à sa position prévue :	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
Espacement des groupes de trous : 	Écart Δ de l'espacement c entre les centres des groupes de trous : cas général : lorsqu'une pièce unique est raccordée par deux groupes de fixations :	Pas d'exigence	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
Vrillage d'un groupe de trous : 	Vrillage Δ : si $h \leq 1000 \text{ mm}$ si $h > 1000 \text{ mm}$	Pas d'exigence	$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 4 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$ $\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	

FICHE N° 16 – PERÇAGE / VÉRIFICATIONS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles : 6.6.2 et 6.6.3 – Cas du poinçonnage :

Le perçage par poinçonnage est généralement autorisé à condition que l'épaisseur de l'élément à percer soit inférieure à 1,4 fois le diamètre du trou à percer.

Si la finition brute de poinçonnage est refusée (ce qui est généralement le cas pour les assemblage soumis à un chargement cyclique, ou si la classe de qualité des fixations est supérieure à 8.8), il convient de poinçonner l'élément à un diamètre d'au moins 2mm de la dimension finale visée pour le trou, puis de faire la finition par alésage ou forage.

L'aptitude du procédé de poinçonnage utilisé pour le perçage doit être vérifiée **chaque année** comme suit :

- Réalisation d'un nombre représentatif d'échantillons de perçage couvrant la gamme des diamètres de trous, des épaisseurs des éléments à percer et des nuances d'acier visés (voir exemple ci-dessous) ;
- Vérification des dimensions des trous aux deux extrémités (de chaque trou) à l'aide de calibres entre/n'entre pas ou par toute autre méthode adaptée

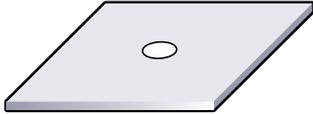
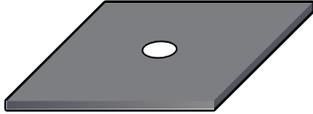
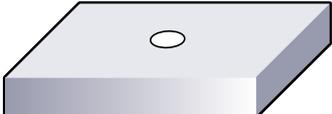
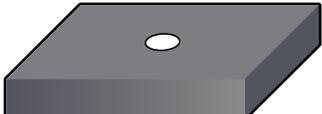
Les diamètres des trous doivent satisfaire aux tolérances suivantes :

- trous pour boulons et axes d'articulation ajustés : classe H11 selon la NF EN ISO 286-2 ;
- autres trous : $\pm 0,5$ mm.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.3 – Echantillonnage représentatif :

On peut proposer 8 échantillons comme indiqué ci-dessous.

DIAMÈTRE DU TROU	EPAISSEUR DE LA TÔLE	NUANCES D'ACIER	EPROUVETTES
Min	Min	Min	
		Max	
	Max	Min	
		Max	

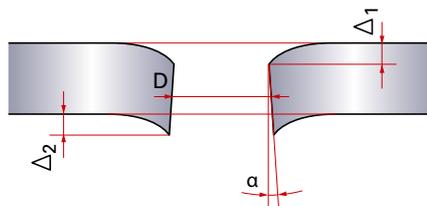
DIAMÈTRE DU TROU	EPAISSEUR DE LA TÔLE	NUANCES D'ACIER	EPROUVETTES
Max	Min	Min	
		Max	
	Max	Min	
		Max	

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.3

Si le procédé n'est pas conforme, il ne doit généralement pas être utilisé avant correction.

Cependant, une utilisation est envisageable sur une gamme limitée de produits constitutifs et de dimensions de trous présentant des résultats conformes.

$$D = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$$



Légende:

α Angle de dépouille

Δ_1, Δ_2 Bavures

D Diamètre nominal

Les trous formés par poinçonnage ou coupage thermique doivent également respecter les exigences suivantes :

a) $\alpha \leq 4^\circ$ (c'est-à-dire 7 %) ;

b) $\max(\Delta_1, \Delta_2) \leq \max(D/10, 2\text{mm})$;

c) au niveau des éclisses/couvre-joints, les trous effectués dans des surfaces en contact doivent être poinçonnés dans la même direction pour tous les éléments.



FICHE N° 17 – ASSEMBLAGE

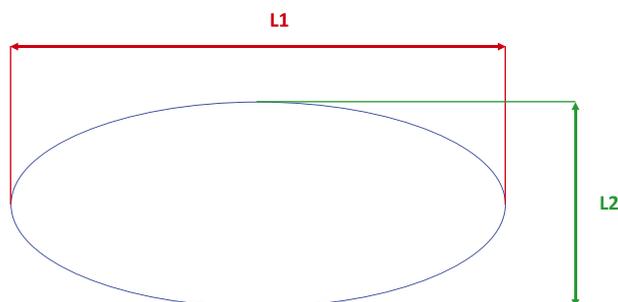
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.9

Une attention particulière doit être accordée au risque de corrosion galvanique en cas de contact entre matériaux métalliques différents.

En particulier, toute contamination de l'acier inoxydable par contact avec l'acier de construction doit être évitée.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 6.9 et Tableau B.8

L'alignement des trous par brochage, autres que ceux destinés à des boulons ou à des axes d'articulation ajustés, doit être réalisé de manière à ce que leur ovalisation respecte le critère ci-dessous :



$$\text{EXC2} : \Delta = L1 - L2 = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\text{EXC3 et 4} : \Delta = L1 - L2 = \pm 0.5 \text{ mm}$$

Lorsque l'ovalisation dépasse cette valeur, les trous doivent être corrigés par alésage.

Les trous dont l'ovalisation n'est pas autorisée doivent être identifiés et ne pas être utilisés pour l'alignement (par exemple pour les boulons ajustés).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 6.9 et 6.10

Le contrôle préalable de la concordance du positionnement des points d'assemblage peut être réalisé suivant trois méthodes :

- utilisation de gabarits ;
- mesurages précis dans les trois dimensions des points de connexion ;
- montage à blanc (assemblage d'une partie suffisante des éléments de la structure pour vérifier la faisabilité de l'assemblage).

En pratique, la méthode du montage à blanc sera réservée aux cas où l'utilisation de gabarits ou le mesurage est impossible.

Lors de l'assemblage, un soin particulier doit être apporté au respect des tolérances spécifiées.



FICHE N° 18 – SOUDAGE / GÉNÉRALITÉS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.3

NF EN ISO 4063

Les procédés de soudage pouvant être utilisés sont :

111	<i>soudage manuel à l'arc (soudage à l'arc avec électrode enrobée)</i>	
114	<i>soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur</i>	
121	<i>soudage à l'arc sous flux avec un fil-électrode</i>	
122	<i>soudage à l'arc sous flux avec électrode en feuilard</i>	
123	<i>soudage à l'arc sous flux avec fils-électrodes multiples</i>	
124	<i>soudage à l'arc sous flux avec addition de poudre métallique</i>	
125	<i>soudage à l'arc sous flux avec fil fourré</i>	
131	<i>soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible ; soudage MIG</i>	
135	<i>soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible ; soudage MAG</i>	

136	<i>soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fourré</i>	
137	<i>soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fourré</i>	
141	<i>soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène ; soudage TIG</i>	<p>Électrode en tungstène (infusible) Buse gaz Baguette de métal d'apport Atmosphère inerte Arc Sens du soudage Bain de fusion</p>
21	<i>soudage par résistance par points</i>	<p>Électrode Sens de l'effort Noyau Électrode Sens de l'effort</p>
22	<i>soudage à la molette</i>	
23	<i>soudage par bossages</i>	
24	<i>soudage par étincelage</i>	
42	<i>soudage par friction</i>	
52	<i>soudage laser</i>	<p>10 000 V Miroir Renvoi Faisceau focalisation Mélanges Hélium-Azote-CO₂ (ou rubis) (P=10 Torr) Refroidissement Gaz de protection</p>
783	<i>soudage à l'arc des goujons par fusion et forgeage avec bague en céramique ou gaz de protection</i>	
784	<i>soudage à l'arc des goujons avec cycle court</i>	

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.1

En classe **EXC2**, le soudage doit être réalisé conformément aux exigences de **qualité normale** décrites dans la norme NF EN ISO 3834-3.

En classes **EXC3 et EXC4**, le soudage doit être réalisé conformément aux exigences de **qualité complète** décrites dans la norme NF EN ISO 3834-2.

Le soudage d'acier d'armature sur un acier de construction doit être réalisé conformément aux instructions données dans la NF EN ISO 17660.

Le soudage à l'arc des aciers ferritiques et des aciers inoxydables doit être réalisé conformément aux exigences et aux instructions des EN 1011-1, EN 1011-2, EN 1011-3, selon le cas.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.2

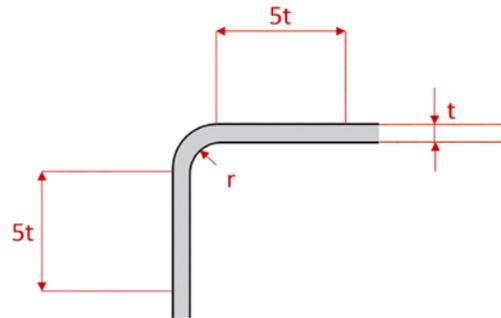
Un programme de soudage doit être fourni dans le cadre du plan qualité de la production. Ce document comprend :

- a) les descriptifs de modes opératoires de soudage (DMOS) ;
- b) les mesures à prendre pour éviter toute déformation pendant et après soudage ;
- c) la séquence de soudage avec les restrictions éventuelles ou les emplacements acceptables pour les positions de départ et d'arrêt, y compris les positions intermédiaires de départ et d'arrêt ;
- d) les exigences concernant les vérifications intermédiaires ;
- e) tout retournement d'éléments à effectuer au cours du processus de soudage, en relation avec la séquence de soudage ;
- f) les détails des maintiens à effectuer ;
- g) les mesures à prendre pour éviter l'arrachement lamellaire ;
- h) les mesures pour réguler l'énergie de soudage afin d'éviter une dureté locale dans les soudures de petites dimensions ;
- i) l'équipement spécial concernant les produits consommables pour le soudage ;
- j) la forme du cordon et le fini des soudures pour les aciers inoxydables ;
- k) les exigences concernant les critères d'acceptation des soudures ;
- l) le plan de contrôle et d'essais ;
- m) les exigences concernant l'identification des soudures ;
- n) les exigences en vue du traitement des surfaces.

Zoom sur ... Le soudage dans les zones formées à froid

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.2.2

NF EN 1993-1-8, Clause 4.14



Le soudage peut être effectué dans une plage de longueur égale à $5t$ de part et d'autre d'une zone formée à froid, à condition que l'une des conditions suivantes soit satisfaite :

- les zones formées à froid sont normalisées après formage à froid mais avant soudage ;
- le rapport r/t satisfait la valeur appropriée prise dans le tableau ci-dessous :

r/t	DÉFORMATION DUE AU FORMAGE À FROID (%)	ÉPAISSEUR MAXIMUM		
		EN GÉNÉRAL		ACIER CALMÉ TOTALEMENT À L'ALUMINIUM (AL \geq 0.02 %)
		CHARGEMENT STATIQUE PRÉDOMINANT	FATIGUE PRÉDOMINANTE	
≥ 25	≤ 2	quelconque	quelconque	quelconque
≥ 10	≤ 5	quelconque	16	quelconque
≥ 3	≤ 14	24	12	24
≥ 2	≤ 20	12	10	12
≥ 1.5	≤ 25	8	8	10
≥ 1	≤ 33	4	4	6

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.2

Les consommables pour le soudage doivent être stockés conformément aux instructions du fabricant.

Si des signes de dégradation sont constatés (traces de rouille, salissures, écaillage ou fissures des revêtements des électrodes...), les produits concernés doivent être mis au rebut.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.3

La zone de travail doit être protégée des intempéries.

Les surfaces à souder doivent être sèches et exemptes de condensation.

Si la température de l'élément à souder est inférieure à 5°C , un chauffage approprié est généralement nécessaire.

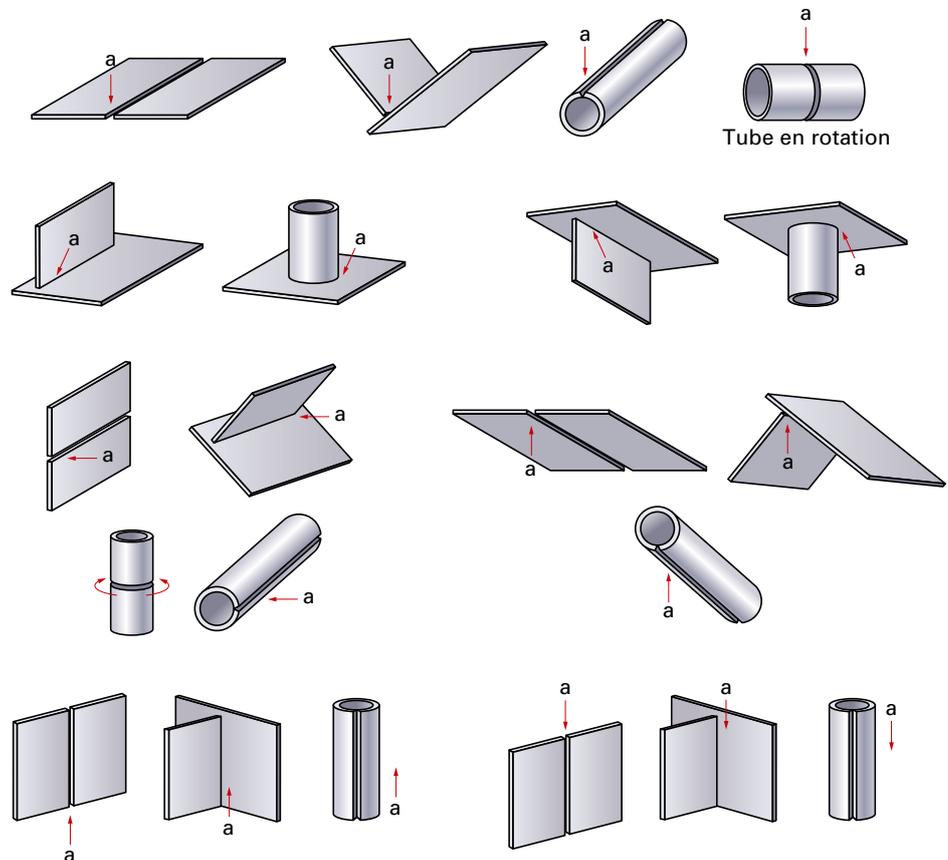
FICHE N° 19 – SOUDAGE / DMOS ET QMOS

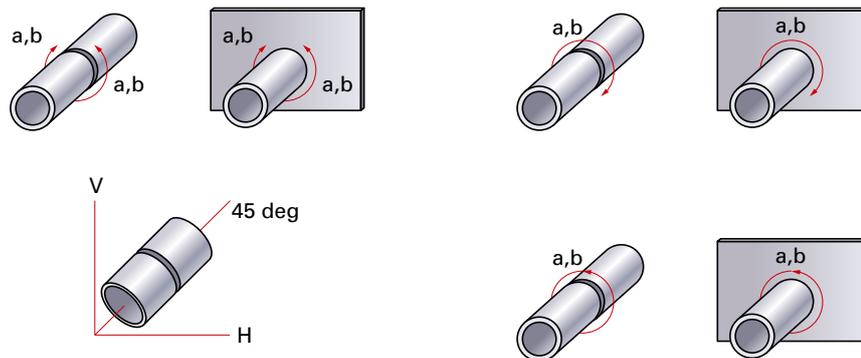
Zoom sur ... Le DMOS

NF EN ISO 15609

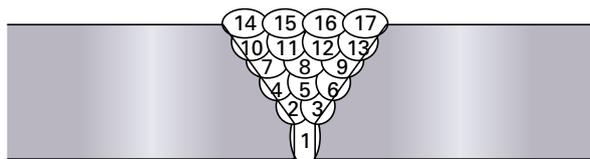
L'objectif du DMOS est de renseigner toutes les informations nécessaires pour réaliser de manière répétitive une soudure, à savoir :

- ce que l'on doit souder (matériau de base, type de produit, dimensions, type d'assemblage...);
- avec quoi on doit souder (procédé, métal d'apport, gaz, support envers ou non...);
- comment on doit souder :
 - préparation éventuelle des bords ;
 - paramètres électriques : type de courant utilisé (continu, alternatif, pulsé, polarité dans le cas de courant continu) et plage d'intensité « I » ;
 - températures avant, pendant et après soudage : température de préchauffage éventuel, température entre passes (maximale et, si nécessaire, minimale), température de maintien de préchauffage (température minimale maintenue dans la zone fondue si le soudage est interrompu), température de post-chauffage (gamme de température et temps de maintien) ;
 - traitement thermique éventuel après soudage : Durée minimale et gamme de températures du traitement thermique ;
 - position de soudage ;





- Séquence des passes : le nombre de passes, leur position et leur ordre :



De plus, la NF EN 1090-2 précise également que le DMOS doit indiquer :

- la zone de départ et d'arrêt de la soudure dans les structures en treillis ;
- la méthode à utiliser pour traiter les endroits où le type de soudure passe d'une soudure d'angle à une soudure bout à bout sur le périmètre du joint ;
- dans le cas d'un soudage mécanisé ou automatique : les plages de vitesse d'avance et plages de vitesses de dévidage du fil ou du feuillard.

NOTE 1

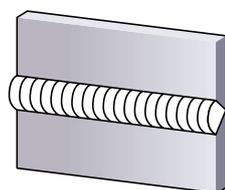
Le matériau de base est défini par :

- son groupe d'appartenance suivant la norme FD CEN ISO/TR 15608 ;
- son épaisseur ou sa gamme d'épaisseur ;
- son diamètre ou sa gamme de diamètre pour les produits tubulaires.

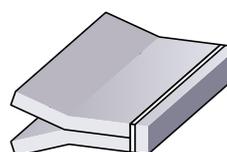
NOTE 2

Le type d'assemblage est défini par :

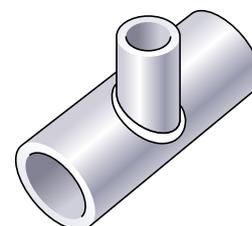
- la géométrie des produits (tube et/ou plaque) ;
- la configuration de l'assemblage :



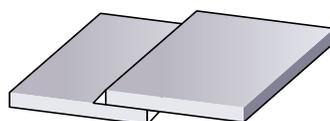
Assemblage bout à bout



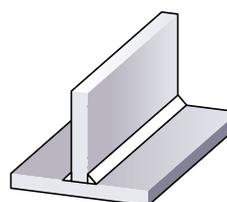
Assemblage sur chant



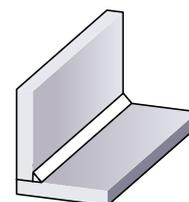
Piquage



Assemblage à recouvrement



Assemblage en T

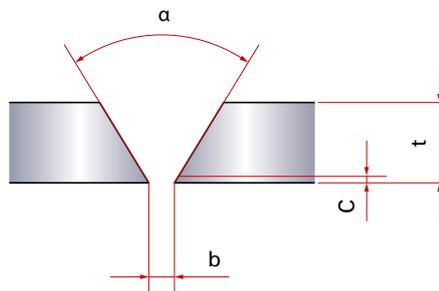


Assemblage d'angle

NOTE 3

La préparation des bords est définie par :

- le type de chanfrein : en V ou à bords droits ;
- la méthode de chanfreinage : oxycoupage ou usinage ;



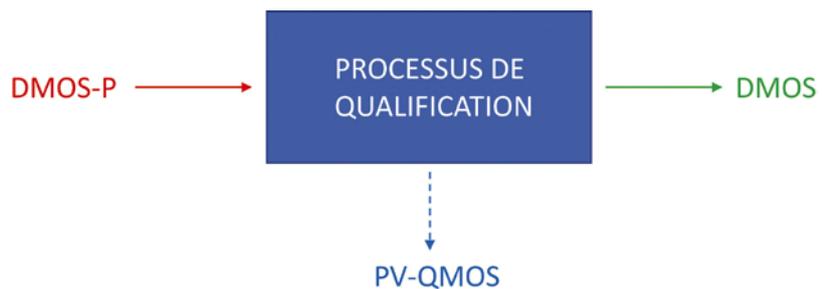
Détail de préparation pour un chanfrein en V é
(les tolérances doivent être précisées)

- Le détail des préparations préalables au soudage.

Zoom sur ... Le QMOS

NF EN ISO 15614-1

Une entreprise souhaite réaliser une opération de soudure en série avec un niveau de qualité constant. Elle réalise alors un Descriptif du Mode Opérateur de Soudure Préliminaire (**DMOS-P**). Des essais de soudure sont alors réalisés suivant ce DMOS-P et soumis à des essais sous la houlette d'un organisme habilité. A l'issue de ce processus de qualification sanctionné par un procès-verbal de qualification du mode opératoire de soudage (**PV-QMOS**), le DMOS-P est transformé en Descriptif du mode Opérateur de Soudure (**DMOS**) validé.



Les éléments ci-dessous doivent figurer au QMOS.

- dimensions des assemblages de qualification ;
- description des contrôles et essais non destructifs de qualification (contrôle visuel, contrôle micrographique, contrôle par radiographie ou ultrason...) ;
- contrôles et essais destructifs de qualification (traction en croix, flexion par choc, pliage, dureté, macrographie...).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4

Classe d'exécution : EXC 2

En EXC2, le soudage doit être réalisé sur la base de DMOS qualifiés par expérience.

Qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14

MÉTHODE DE QUALIFICATION	NORMES APPLICABLES EN EXC2
Qualification sur la base de l'expérience de soudage	NF EN ISO 15611
Produits consommables pour le soudage soumis à essais	NF EN ISO 15610

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4

Classe d'exécution : EXC 3 et EXC 4

En EXC3 et EXC4, le soudage doit être réalisé sur la base de DMOS qualifiés par une épreuve de qualification du mode opératoire de soudage.

Qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14

MÉTHODE DE QUALIFICATION	NORMES APPLICABLES EN EXC3 ET 4
Épreuve de qualification d'un mode opératoire de soudage	NF EN ISO 15614-1 (niveau 2) NF EN ISO 17660-1 / -2 (Ne doit être utilisé que pour les joints entre acier d'armatures et autres éléments en acier)
Qualification sur la base d'un assemblage soudé de pré-production	NF EN ISO 15613 NF EN ISO 17660-1 / -2 (Ne doit être utilisé que pour les joints entre acier d'armatures et autres éléments en acier)
Qualification par référence à un mode opératoire de soudage standard	Si autorisé par le cahier des charges d'exécution

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.1.3

Qualification des modes opératoires de soudages pour les autres procédés de soudage

PROCÉDÉS DE SOUDAGE (SELON LA NF EN ISO 4063)	DESCRIPTIF DU MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE (DMOS)	QUALIFICATION DU MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE	PROCÉDÉS DE SOUDAGE (SELON LA NF EN ISO 4063)
NUMÉRO DE RÉFÉRENCE	NOMENCLATURE		
21	Soudage par points	NF EN ISO 15609-5	NF EN ISO 15614-12
22	Soudage à la molette		
23	Soudage par bossages		
24	Soudage par étincelage	NF EN ISO 15609-5	NF EN ISO 15614-13
42	Soudage par friction	NF EN ISO 15620	NF EN ISO 15620
52	Soudage laser	NF EN ISO 15609-4	NF EN ISO 15614-11
783	Soudage à l'arc des goujons par fusion et forgeage avec bague en céramique ou gaz de protection	NF EN ISO 14555	NF EN ISO 14555 a
784	Soudage à l'arc des goujons avec cycle court		
786	Soudage à l'arc des goujons par décharge de condensateur avec amorçage par contact		

FICHE N° 20 – SOUDAGE / QUALIFICATION DU PERSONNEL DE SOUDAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.2 – Qualification du personnel de soudage :

Les **soudeurs** doivent être qualifiés conformément à la NF EN ISO 9606-1.

Les **opérateurs soudeurs** conformément à la NF EN ISO 14732.

Les procès-verbaux de toutes les épreuves de qualification des soudeurs et opérateurs soudeurs doivent être tenus à disposition.

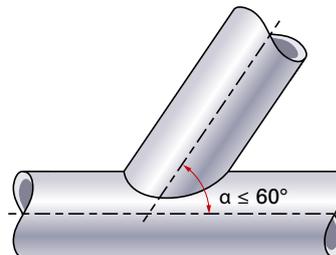
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.2

La méthode de qualification des soudeurs ressemble à celle du mode opératoire de soudage :

- le soudeur réalise des assemblages soudés définis dans le DMOS-P en présence d'un examinateur ;
- ces assemblages font l'objet des essais non destructifs (visuel, radiographie ou ultrason) ou/et destructifs (essai de traction, essai de pliage, essai de dureté, essai de flexion par choc, examen macrographique) ;
- le soudeur est qualifié si les résultats obtenus sont conformes à la norme de qualification.

NOTE :

Les soudeurs doivent être qualifiés pour réaliser le soudage de nœuds en profils creux dont les angles sont inférieurs à 60°, tels que définis dans la NF EN 1993-1-8.



FICHE N° 21 – SOUDAGE / COORDINATION EN SOUDAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018) – Article : 7.4.3

Pour les classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4, une **coordination en soudage** doit être assurée pendant l'exécution des processus de soudage par des coordinateurs en soudage convenablement qualifiés et expérimentés pour les opérations qu'ils supervisent.

Le **coordinateur en soudage** est responsable du processus de qualification des soudeurs/opérateurs soudeurs. Les coordinateurs en soudage peuvent agir en tant qu'examineurs. Lorsque la qualification est assurée par des examinateurs/organismes d'examen externes, il convient de respecter les procédures de la NF EN ISO 17024 ou de la NF EN ISO 17020.

Les connaissances techniques de base, spécifiques et complètes des coordinateurs en soudage sont spécifiées dans la norme NF EN ISO 14731.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.3 et Tableau 14

NF EN ISO 14731

Connaissances techniques des coordinateurs en soudage – Aciers de construction au carbone

EXC	ACIERS (GROUPE D'ACIERS)	NORMES DE RÉFÉRENCE	ÉPAISSEUR (mm)		
			T ≤ 25 ^a	25 ≤ T ≤ 50 ^b	T > 50
EXC2	S235 à S355	NF EN 10025-2, NF EN 10025-3, NF EN 10025-4, NF EN 10025-5, NF EN 10149-2, NF EN 10149-3, NF EN 10210-1, NF EN 10219-1	Connaissances de base	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes ^c
	S420 à S700	NF EN 10025-3, NF EN 10025-4, NF EN 10025-6, NF EN 10149-2, NF EN 10149-3, NF EN 10210-1, NF EN 10219-1	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes ^d	Connaissances complètes
EXC3	S235 à S355	NF EN 10025-2, NF EN 10025-3, NF EN 10025-4, NF EN 10025-5, NF EN 10149-2, NF EN 10149-3, NF EN 10210-1, NF EN 10219-1	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes	Connaissances complètes
	S420 à S700	NF EN 10025-3, NF EN 10025-4, NF EN 10025-6, NF EN 10149-2, NF EN 10149-3, NF EN 10210-1, NF EN 10219-1	Connaissances complètes	Connaissances complètes	Connaissances complètes
EXC4	Tous	Toutes	Connaissances complètes	Connaissances complètes	Connaissances complètes

^a Platines de pied de poteaux et platines d'about ≤ 50 mm.

^b Platines de pied de poteaux et platines d'about ≤ 75 mm.

^c Pour les aciers de nuance jusqu'à S275 inclus, le niveau S suffit.

^d Pour les aciers dans les états de livraison N, NL, M and ML, le niveau S suffit.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.3 et Tableau 15

NF EN ISO 14731

Connaissances techniques des coordinateurs en soudage – Aciers inoxydables

EXC	ACIERS (GROUPE D'ACIERS)	NORMES DE RÉFÉRENCE	ÉPAISSEUR (mm)		
			T ≤ 25	25 ≤ T ≤ 50	T > 50
EXC2	Austénitiques ; Ferritiques	NF EN 10088-4:2009, Tableau 3 NF EN 10088-5:2009, Tableau 4 NF EN 10296-2:2005, Tableau 1 NF EN 10297-2:2005, Tableau 2	Connaissances de base	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes
	Austéno- ferritiques	NF EN 10088-4:2009, Tableau 4 NF EN 10088-5:2009, Tableau 5 NF EN 10296-2:2005, Tableau 1 NF EN 10297-2:2005, Tableau 3	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes	Connaissances complètes
EXC3	Austénitiques ; Ferritiques	NF EN 10088-4:2009, Tableau 3 NF EN 10088-5:2009, Tableau 4 NF EN 10296-2:2005, Tableau 1 NF EN 10297-2:2005, Tableau 2	Connaissances spécifiques	Connaissances complètes	Connaissances complètes
	Austéno- ferritiques	NF EN 10088-4:2009, Tableau 4 NF EN 10088-5:2009, Tableau 5 NF EN 10296-2:2005, Tableau 1 NF EN 10297-2:2005, Tableau 3	Connaissances complètes	Connaissances complètes	Connaissances complètes
EXC4	Tous	Toutes	Connaissances complètes	Connaissances complètes	Connaissances complètes

FICHE N° 22 — SOUDAGE / PRÉPARATION

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1

Généralités :

Toutes les surfaces à souder doivent être sèches et exemptes de toute substance susceptible d'altérer la qualité des soudures ou de perturber les opérations de soudage (rouille, matériau organique ou zinc).

Les surfaces à souder doivent impérativement être exemptes de peinture, sauf si les essais de QMOS aient été réalisés en utilisant ces peintures primaires.

Préparation des joints :

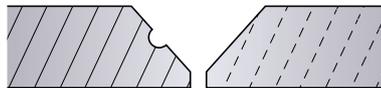
- ✓ la préparation des joints doit être adaptée au procédé de soudage choisi ;
 - ✓ le DMOS doit préciser les tolérances pour les préparations des joints et leur concordance ;
 - ✓ lorsque des trous de souris sont nécessaires pour assurer l'accessibilité, ils doivent avoir un rayon minimal de 40 mm, sauf spécification contraire ;
 - ✓ pour les nuances d'acier supérieures à S460, les zones de coupe doivent être décalaminées par meulage et l'absence de fissures doit être vérifiée par un contrôle visuel, par ressuage ou par magnétoscopie.
- Les fissures visibles au droit des joints doivent être éliminées par meulage.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1

Correction des défauts visibles :

Il est possible de corriger des défauts visibles au niveau du joint par rechargement à condition de suivre un mode opératoire qualifié.

La zone concernée doit ensuite être meulée.



Présence d'entaille ou autre défaut de grande dimension



Correction du défaut par rechargement (Le procédé de rechargement doit être qualifié)

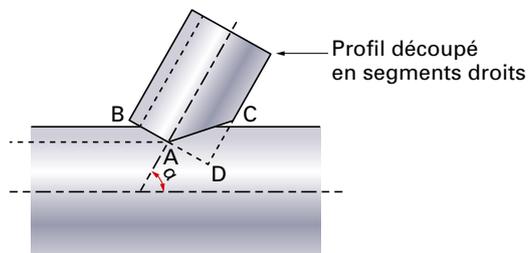


Surfaces lissées et égalisées à la meule

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1.2

Assemblage par soudure de profils creux circulaires :

La découpe des barres en profils creux circulaires destinées à être assemblées par soudures en angle peut être réalisée en segments droits au lieu de découpes en gueule de loup. Dans ce cas, l'ajustement de la géométrie du joint doit être conforme aux exigences du DMOS.



NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 7.5.4

Les éléments à souder doivent être positionnés conformément aux tolérances requises pour l'assemblage final et maintenus en position par tout dispositif adapté ou par pointage pendant le soudage.

L'assemblage et son maintien en position doit être réalisé de manière à ce que les joints à souder soient aisément accessibles pour le soudeur.

FICHE N° 23 – SOUDAGE / EXÉCUTION

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.7

Les soudures de pointage doivent être réalisées selon le DMOS.

Les préconisations suivantes doivent généralement être appliquées :

- longueur minimale du point de soudure l telle que :

$$l \geq \max(4e ; 50 \text{ mm})$$

où :

l est la longueur du point de soudure ;

e est l'épaisseur de la partie la plus épaisse de l'assemblage ;

- toutes les soudures de pointage qui ne sont pas incorporées dans les soudures finales doivent être éliminées ;
- les soudures de pointage devant être incorporées dans la soudure finale doivent présenter une géométrie adaptée et être réalisées par des soudeurs qualifiés ;
- les soudures de pointage doivent être exemptes de défauts d'exécution et doivent être soigneusement nettoyées avant le soudage final ;
- les soudures de pointage présentant des défauts inacceptables, comme les fissures, doivent être éliminées.

NF EN 1090-2 (Version 2018) – Article(s) : 7.5.8.2

Soudures d'angle pour l'assemblage des éléments :

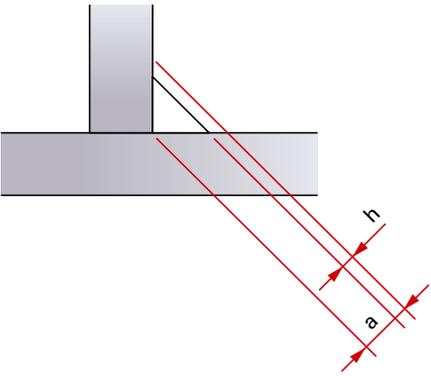
- la longueur minimale d'une passe de soudure d'angle, en excluant les retours d'extrémité, doit être d'au moins quatre fois la dimension de la base du cordon ;
- une soudure d'angle discontinue ne doit pas être mise en œuvre lorsqu'un phénomène de capillarité interne est susceptible de donner lieu à la formation de poches de rouille. Aux extrémités, les soudures d'angle doivent s'étendre jusqu'à l'extrémité de l'élément assemblé ;
- dans les assemblages à recouvrement, la longueur minimale de recouvrement ne doit pas être inférieure à quatre fois l'épaisseur de l'élément assemblé le plus mince ;
- le soudage par soudure d'angle d'un seul côté ne doit pas être utilisé si les éléments ne sont pas maintenus de manière à empêcher l'ouverture du joint ;
- si l'extrémité d'un élément n'est assemblée que par des soudures d'angle longitudinales, la longueur de chaque soudure L_{we} ne doit pas être inférieure à 75 % de la distance transversale b qui les sépare.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.8

Classe d'exécution : EXC2

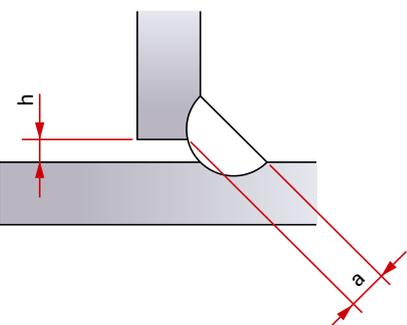
Dimensions acceptables de l'épaisseur de gorge et/ou de la base du cordon pour les soudures terminées en EXC2 :

- pour les soudures d'angles à **forte pénétration** ou à **pénétration partielle**, l'épaisseur de gorge d'une soudure d'angle terminée doit être supérieure ou égale à l'épaisseur de gorge a_{nom} spécifiée par le DMOS ;
- pour les soudures d'angle classiques : en cas de gorge insuffisante (défaut 5213 au sens de la norme NF EN ISO 5817), le défaut devra rester dans les limites définies dans le tableau ci-après pour que la soudure soit acceptable.

	EPAISSEUR DU MATÉRIAU T(mm)	LIMITES DES DÉFAUTS POUR LES NIVEAUX DE QUALITÉ
		C (EXC2)
	0.5 à 3	$h < 0.2 \text{ mm}$
	> 3	$h \leq \min (0.3 \text{ mm} + 0.1a ; 1 \text{ mm})$

NOTE :

Dans le cas spécifique d'un **mauvais assemblage en soudure d'angle** (défaut 617 au sens de la norme NF EN ISO 5817), si le jeu dépasse la limite indiquée dans le tableau ci-après, il peut être compensé par une augmentation de la gorge $a = a_{nom} + 0.7h'$ où a_{nom} est la gorge nominale spécifiée par le DMOS.

	EPAISSEUR DU MATÉRIAU T(mm)	LIMITES DES DÉFAUTS POUR LES NIVEAUX DE QUALITÉ
		C (EXC2)
	0.5 à 3	$h' \leq 0.3 \text{ mm} + 0.1a$
	> 3	$h' \leq \min (0.5 \text{ mm} + 0.2a ; 3 \text{ mm})$

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.8

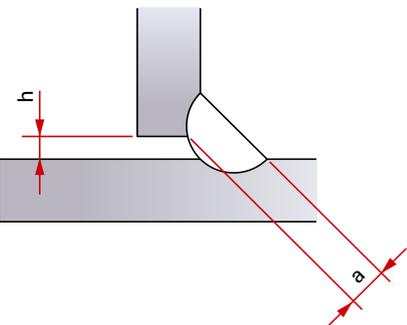
Classe d'exécution : EXC3 et EXC4

Dimensions acceptables de l'épaisseur de gorge et/ou de la base du cordon pour les soudures terminées En EXC3 et 4 :

L'épaisseur de gorge d'une soudure d'angle terminée doit être supérieure ou égale à l'épaisseur de gorge a_{nom} spécifiée par le DMOS.

NOTE :

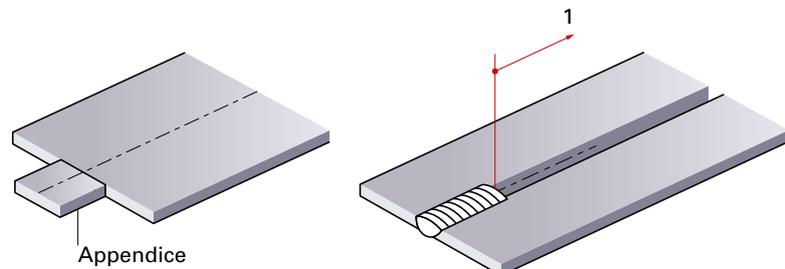
Dans le cas spécifique d'un **mauvais assemblage en soudure d'angle** (défaut 617 au sens de la norme NF EN ISO 5817), si le jeu dépasse la limite indiquée dans le tableau ci-après, il peut être compensé par une augmentation de la gorge $a = a_{nom} + 0.7h'$ où a_{nom} est la gorge nominale spécifiée par le DMOS.

	EPAISSEUR DU MATÉRIAU T(mm)	LIMITES DES DÉFAUTS POUR LES NIVEAUX DE QUALITÉ	
		B (EXC3)	B+ (EXC4)
	0.5 à 3	$h' \leq 0.2 \text{ mm} + 0.1a$	$h' \leq 0.3 \text{ mm} + 0.1a$
	> 3	$h' \leq \min (0.5 \text{ mm} + 0.2a ; 2 \text{ mm})$	Les soudures transversales doivent être contrôlées en totalité. Léger réajustage à la racine seulement acceptable localement. $h' \leq \min (0.3 \text{ mm} + 0.1a ; 1 \text{ mm})$

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9

Les soudures en bout doivent être réalisées de manière à obtenir une gorge égale à l'épaisseur jusqu'aux extrémités.

Si spécifié, la pose d'appendices en début ou en fin de cordon doit être utilisée pour les soudures longitudinales en bout à pleine pénétration ou pour les soudures en bout (transversales ou longitudinales) à pénétration partielle. La soudabilité de ces appendices ne doit pas être inférieure à celle du métal de base.



1 : sens du soudage

Après achèvement des soudures, tous les appendices ou dispositifs supplémentaires éventuels doivent être retirés sans endommager le métal de base et la surface concernée doit ensuite être soigneusement meulée. Les zones concernées doivent faire l'objet d'un contrôle visuel et, pour les nuances d'acier \geq S355, doivent faire l'objet de contrôles non destructifs.

Sauf spécification contraire, le burinage et le gougeage ne sont pas autorisés sur les nuances d'acier \geq S460 ou sur les éléments soumis à la fatigue.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2

Les soudures à pleine pénétration exécutées d'un seul côté peuvent être réalisées avec ou sans support envers, métallique ou non métallique.

Par exemple :

	Soudure à pleine pénétration à bords chanfreinés exécutée sans support envers
	Soudure à bords droits exécutée avec une seule passe et sans support envers
	Soudure à pleine pénétration à bords chanfreinés exécutée avec support envers non permanent
	Soudure à pleine pénétration à bords chanfreinés exécutée avec support envers permanent

Dans le cas de l'utilisation d'un support envers permanent en acier :

- les exigences relatives à son utilisation doivent figurer dans le DMOS ;
- le support envers en acier doit présenter une valeur de carbone équivalent (CEV) ne dépassant pas 0,43 % ou être du même matériau que le métal de base le plus soudable de l'assemblage à souder ;
- les supports envers doivent être liés étroitement au métal de base et il convient qu'ils soient continus sur toute la longueur du joint.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2

Sauf spécification contraire, l'arasage par meulage de soudures bout à bout des assemblages entre profils creux exécutées sans support envers n'est pas autorisé.

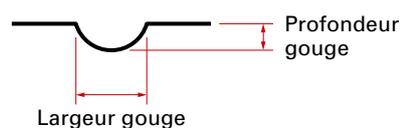
Si les soudures sont totalement exécutées avec support envers, elles peuvent être arasées à la surface du profil du métal de base.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2**Classe d'exécution : EXC3 et EXC4**

Pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4, le support envers permanent doit être rendu continu par des soudures bout à bout à pleine pénétration.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2

Le gougeage avant reprise envers doit être effectué sur une profondeur suffisante pour éliminer les défauts de soudure inacceptables dans le métal soudé.



Le gougeage avant reprise envers doit produire un sillon en forme de U dont les bords doivent être facilement accessibles pour le soudage.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.16

- En cas d'amorçage d'arc accidentel en dehors de la soudure, la surface de l'acier doit être légèrement meulée et visuellement contrôlée. Pour les nuances d'acier \geq S460, un essai par ressuage ou par magnétoscopie doit être réalisé en plus du contrôle visuel.
- Pour les nuances d'acier \geq S460, les projections de soudure doivent être éliminées.
- Les défauts visibles tels que les fissures, cavités et autres défauts non autorisés, doivent être éliminés de chaque passe avant le dépôt de la passe suivante.
- La totalité du laitier doit être éliminée après chaque passe. Les jonctions entre la soudure et le métal de base doivent faire l'objet d'une attention particulière.

FICHE N° 24 – SOUDAGE / DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.7

Aciers inoxydables : Le coordinateur en soudage doit s'assurer que les techniques et consommables de soudage envisagés sont compatibles avec l'acier inoxydable utilisé.

Une attention particulière doit être apportée aux problématiques de corrosion galvanique.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.10 et Tableau 6

Les soudures sur aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique doivent être exécutées en utilisant des consommables de soudage compatibles.

De façon alternative, des produits consommables au C-Mn peuvent être utilisés pour les passes de remplissage d'une soudure en bout ou d'angle, à condition que les passes terminales soient exécutées en utilisant des produits consommables adéquats.

FICHE N° 25 — SOUDAGE / SOUDURES EN ENTAILLE ET SOUDURES BOUCHONS

NF EN 1090-2 (Version 2018) Article : 7.5.13

NF EN 1011-2, Article B.4

Les trous destinés aux soudures en entaille et aux soudures bouchon doivent être dimensionnés de manière à ménager un accès approprié pour le soudage.

Les dimensions adaptées sont les suivantes :

1) largeur : au moins 8 mm de plus que l'épaisseur de la pièce contenant le trou ;

Figure 2 – Soudure en entaille ronde

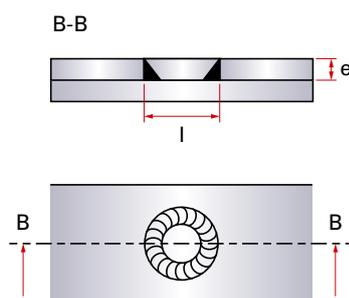
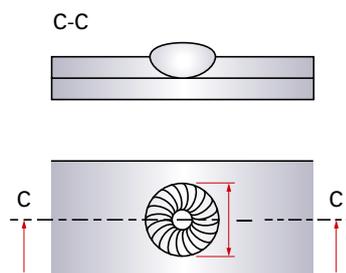


Figure 3 – Soudure en bouchon ronde



$I \geq e + 8 \text{ mm}$ (Disposition constructive minimale de la norme NF EN 1090-2)

! Pour garantir une bonne soudabilité, la préconisation ci-dessus peut s'avérer insuffisante. Il est recommandé d'utiliser à la place la préconisation de la norme NF EN 1011-2 : $I \geq \max(3e ; 25 \text{ mm})$

- 2) longueur minimale de trou oblong : le minimum de 70 mm et de cinq fois l'épaisseur de tôle.

Figure 4 – Soudure en entaille oblongue

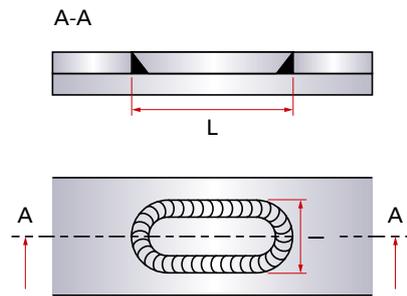
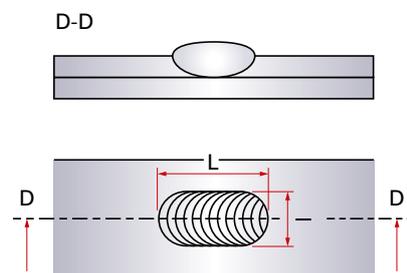


Figure 5 – Soudure en bouchon oblongue



$$L \geq \min (70 \text{ mm}, 5e)$$

Les soudures bouchon ne doivent être réalisées que sur des soudures en entaille après avoir vérifié que la soudure d'angle dans l'entaille est satisfaisante. Sauf spécification contraire, les soudures bouchon sans soudure en entaille préalable ne sont pas autorisées.

FICHE N° 26 — SOUDAGE / CRITÈRES D'ACCEPTATION

Zoom sur ... Les niveaux de qualité selon la NF EN ISO 5817

La Norme EN ISO 5817 fixe trois niveaux de qualité : élémentaire (niveau D), normal (niveau C) et sévère (niveau B). Plus le niveau de qualité requis est important, plus les tolérances sont serrées.

Les critères d'acceptation minimaux relatifs aux défauts des soudures sont évalués comme indiqué ci-dessous, à l'exception de « Défaut de raccordement » (505) et « Micro manque de fusion » (401) qui n'ont pas à être pris en compte.

- EXC2 : Niveau C ;
- EXC3 : Niveau B sauf niveau de qualité D pour « Débordement » (506), « Amorçage accidentel » (601) et « Retassure ouverte de cratère » (2025) et niveau de qualité B pour « Gorge insuffisante » (5213) ;
- EXC4 : Niveau B+, qui est le niveau B avec des critères spécifiques pour des soudures identifiées.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.6

Les soudures dans les assemblages calculés conformément à la NF EN 1993-1-8 nécessitent généralement le niveau de qualité défini pour EXC2.

FICHE N° 27 — SOUDAGE / CONTRÔLES

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.1

Un programme de contrôle et d'essais listant les contrôles et essais à effectuer avant, pendant et après le soudage doit être établi conformément à la norme NF EN ISO 3834.

Ce programme doit comprendre les éléments suivants :

- essais de type ;
- contrôles de base ;
- contrôles propres au projet ;
- identification des assemblages nécessitant un contrôle spécifique lorsque des difficultés sont susceptibles d'être rencontrées pour obtenir l'ajustement spécifié.

Les méthodes d'**essais non destructifs (END)** doivent être choisies conformément à la NF EN ISO 17635 comme base du programme de contrôles et d'essais requis par le programme de soudage.

Les END, à l'exception du contrôle visuel, doivent être réalisés par un personnel qualifié conformément à la NF EN ISO 9712.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2 – Délais d'attente avant contrôle après soudage :

En général, les END supplémentaires d'une soudure ne doivent pas être effectués tant que le délai minimal après soudage indiqué au tableau ci-dessous ne s'est pas écoulé.

Délais après soudage (heures)^b avant contrôle

SI L'APPORT DE CHALEUR EST RÉALISÉ SELON LA MÉTHODE A DE LA NF EN 1011-2 : 2001 ANNEXE C			
DIMENSION DE LA SOUDURE (mm) ^a	APPORT DE CHALEUR Q (kJ/mm)	S275 À S460	SUPÉRIEUR À S460
a ou s ≤ 6	Tous	Temps de refroidissement seulement	24
6 < a ou s ≤ 12	≤ 3	8	24
	> 3	16	40
a ou s > 12	≤ 3	16	40
	> 3	24	48
SI L'APPORT DE CHALEUR EST RÉALISÉ SELON LA MÉTHODE B DE LA NF EN 1011-2 : 2001 ANNEXE C			
DIMENSION DE LA SOUDURE (mm) ^b	S275 À S690	SUPÉRIEUR À S690	DIMENSION DE LA SOUDURE (mm) ^b
a ou s ≤ 20	Temps de refroidissement seulement	24	a ou s ≤ 20
a ou s > 20	24	48	a ou s > 20

^a Le délai entre l'achèvement de la soudure et le début des END doit être mentionné dans le rapport d'essais END. Dans le cas « temps de refroidissement seulement », cela doit durer jusqu'à ce que la soudure soit suffisamment refroidie pour que l'END puisse être réalisé

^b La dimension s'applique à la gorge nominale « a » d'une soudure d'angle ou à l'épaisseur nominale « s » du matériau d'une soudure à pleine pénétration. Pour les soudures en bout à pénétration partielle à 1 cordon, le critère déterminant est la hauteur de gorge de soudure nominale a, mais pour les paires de soudures en bout à pénétration partielle soudées simultanément, il s'agit de la somme des gorges de soudure nominales « a ».

Il convient que les délais indiqués dans ce tableau soient également respectés s'il est spécifié que le métal de base adjacent à une zone soudée doit faire l'objet d'un contrôle vis-à-vis de l'arrachement lamellaire après soudage.

- pour les soudures nécessitant un préchauffage, ces périodes peuvent être raccourcies si l'assemblage soudé est soumis à un post-chauffage ;
- lorsqu'une soudure devient inaccessible en raison de travaux ultérieurs, elle doit être contrôlée préalablement à l'exécution de ces travaux ;
- toute soudure située dans une zone où une déformation inacceptable a été réparée doit faire l'objet d'un nouveau contrôle.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2.2 – Essais de type :

Pour les cinq premiers assemblages réalisés conformément à un DMOS préparé selon la partie appropriée de la NF EN ISO 15609 à partir d'une nouvelle QMOS ou d'une QMOS nouvellement introduite par le constructeur, les exigences suivantes doivent être satisfaites :

- a) le niveau de qualité B est requis pour la preuve du DMOS dans les conditions de production ;
- b) la longueur minimale à contrôler est de 900 mm.

Si le contrôle donne des résultats non conformes, une investigation doit être réalisée afin d'en trouver la raison. Il convient de procéder selon les lignes directrices données dans l'Annexe C de la NF EN ISO 17635.

NOTE :

Le but du contrôle décrit ci-dessus est d'établir qu'un DMOS permet de produire une qualité conforme lorsqu'il est mis en œuvre en production.

NF EN 1090-2, Article : 12.4.2.3 – Contrôles et essais de base :

Toutes les soudures doivent être contrôlées visuellement sur la totalité de leur longueur.

Lorsque des défauts en surface sont détectés visuellement, un essai par ressuage ou par magnétoscopie doit être effectué sur la soudure contrôlée.

L'étendue des END supplémentaires est celle spécifiée dans le tableau ci-après.

Etendue des Essais Non Destructifs supplémentaires

TYPE DE SOUDURE	SOUDURES D'ATELIER ET DE CHANTIER	
	EXC2	EXC3
Soudures transversales à pleine pénétration et soudures à pénétration partielle dans les assemblages en bout :	10 %	20 %
Soudures transversales à pleine pénétration et soudures à pénétration partielle :		
- dans les assemblages en croix :	10 %	20 %
- dans les assemblages en T :	5 %	10 %
Soudures d'angle transversales :		
avec $a > 12$ mm ou $t > 30$ mm	5 %	10 %
avec $a \leq 12$ mm et $t \leq 30$ mm	0 %	5 %
Soudures longitudinales à pleine pénétration entre l'âme et la semelle supérieure des poutres de ponts roulants	10 %	20 %
Autres soudures longitudinales, soudures de raidisseurs et soudures spécifiées comme étant en compression dans le cahier des charges d'exécution	0 %	5 %

Les méthodes à utiliser pour les END supplémentaires doivent être choisies par le personnel de coordination en soudage habilité parmi les suivantes : essais par ressuage (PT) ; essais par magnétoscopie (MT), essais par ultrasons (UT) et essais par radiographie (RT).

Une fois que les essais de type ont permis d'établir que le DMOS permet de produire une qualité conforme, l'étendue requise d'END supplémentaires doit être conforme au tableau ci-dessus pour les assemblages suivants soudés conformément au même DMOS, ces assemblages étant traités comme un seul lot de contrôle continu. Les pourcentages s'appliquent à l'étendue d'END supplémentaires traitée comme la quantité cumulée au sein de chaque lot de contrôle.

Sauf spécification contraire, l'étendue des contrôles en pourcentage (p %) selon le tableau ci-dessus est définie comme une partie d'un lot de contrôle selon les règles suivantes :

- a) chaque soudure du lot de contrôle doit être contrôlée sur une longueur d'au moins p % de la longueur individuelle. La zone à contrôler doit être choisie au hasard ;
- b) si la longueur totale de toutes les soudures d'un lot de contrôle est inférieure à 900 mm, au moins une soudure doit être contrôlée sur toute sa longueur, sans tenir compte de p % ;
- c) si un lot de contrôle est constitué de plusieurs soudures identiques ayant chacune une longueur inférieure à 900 mm, des soudures choisies au hasard cumulant une longueur totale minimale de p % de la longueur totale de toutes les soudures du lot de contrôle doivent être contrôlées sur toute leur longueur.

Pour un contrôle de base selon le tableau ci-dessus, un échantillonnage d'assemblages doit être réalisé en faisant varier le type d'assemblage, la nuance et qualité des produits constitutifs, le matériel de soudage et les soudeurs conformément aux configurations envisagées pour le projet.

Le contrôle des soudures de production est basée sur une période glissante annuelle. Au-delà, en cas de résultats satisfaisants, l'étendue des END supplémentaires de base dans cet atelier peut être réduite en deçà des pourcentages cités dans le tableau ci-dessus, à la discrétion du personnel de coordination en soudage habilité, à condition qu'un programme trimestriel d'audit de la production par essais soit mis en œuvre et documenté.

Si le contrôle donne des résultats non conformes, une investigation doit être réalisée afin d'en trouver la raison. Il convient de suivre les lignes directrices données dans l'Annexe C de la NF EN ISO 17635 : 2010.

NF EN 1090-2, Article : 12.4.2.4 – Contrôles et essais propres au projet :

Pour les classes d'exécution **EXC2 et EXC3**, le **cahier des charges d'exécution** peut identifier des exigences relatives à des essais de production et des assemblages spécifiques à contrôler ainsi que l'étendue des essais.

Pour la classe d'exécution **EXC4**, le **cahier des charges d'exécution** doit identifier les assemblages spécifiques à contrôler ainsi que l'étendue des essais qui doit être, au minimum, celle spécifiée pour la classe d'exécution EXC3.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2.5 – Contrôle visuel des soudures :

Le contrôle visuel doit être effectué après achèvement du soudage dans une zone donnée, et avant tout autre END.

Il doit comprendre :

- a) la vérification de l'existence et l'emplacement de toutes les soudures ;
- b) le contrôle des soudures conformément à la NF EN ISO 17637 ;
- c) la détection des amorçages intempestifs et des projections de soudure.

Le contrôle de la forme et de la surface des soudures de nœuds soudés en profils creux doit porter particulièrement sur les endroits suivants :

- a) pour les profilés circulaires : les pieds et talons d'arçon et les deux positions à mi-flanc ;
- b) pour les profilés carrés ou rectangulaires : les quatre coins.

Si requis (classes EXC3 et EXC4) les essais de production relatifs au soudage doivent être effectués conformément au §12.4.2.5 de la norme NF EN 1090-2.

NOTE :

Pour l'entretien des matériels et équipements de mesure, il convient de prévoir :

- en classe EXC2, une procédure d'entretien et d'étalonnage périodique avec enregistrement recommandé ;
- en classes EXC3 et EXC4, une procédure d'entretien et de vérification périodique à partir de matériels étalonnés avec enregistrement obligatoire.



FICHE N° 28 – TRAITEMENT DES SURFACES

NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 10, 12.6 et Annexe F – Information sur l’ambiguïté des titres relatifs aux traitements des surfaces dans la norme NF EN 1090-2 :

L’article 10 de la norme NF EN 1090-2 intitulé « Traitement des surfaces » spécifie les exigences pour rendre les surfaces en acier présentant des imperfections, y compris les surfaces soudées et usinées, aptes à l’application de peintures et produits assimilés, ou à l’application de revêtements métalliques par projection thermique ou par galvanisation à chaud.

L’article 10 ne détaille donc pas les exigences relatives aux systèmes de protection contre la corrosion, qui sont spécifiées dans l’annexe F.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F

Spécification de performance :

Les exigences pour la protection contre la corrosion peuvent être données en termes de spécification de performance, celle-ci concernant la durée de vie prévue de la protection contre la corrosion ainsi que la catégorie de corrosivité du projet.

Exigences prescriptives :

Le cahier des charges d’exécution doit définir les exigences prescriptives en détaillant les points suivants indiqués en Annexe F de la norme NF EN 1090-2.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.1

L’application de peinture doit être réalisée conformément aux instructions du fabricant du produit concerné.

Si deux couches ou plus doivent être appliquées, une teinte différente doit être utilisée pour chaque couche (Voir norme NF EN ISO 12944-7).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.2

La métallisation par projection thermique doit être effectuée au zinc, à l’aluminium ou avec un alliage zinc/aluminium 85/15 et conformément à la NF EN ISO 2063.

Les surfaces ayant reçu une métallisation par projection thermique doivent être traitées avec un produit de colmatage approprié avant recouvrement de peinture (Voir Annexe F.6.2 de la norme NF EN 1090-2)

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.3

La galvanisation à chaud doit être effectuée conformément à la NF EN ISO 1461 et les exigences relatives à la qualification du mode opératoire de soudage ainsi qu'au contrôle, à la vérification ou à la qualification de la préparation à effectuer avant un recouvrement de peinture ultérieur doivent être spécifiées.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.4

Sauf spécification contraire, les éléments galvanisés doivent être soumis à un contrôle après galvanisation à chaud, en raison du risque de fragilisation induite par le métal en fusion (FIMF).

Les résultats des contrôles doivent être consignés.

Si une fissuration a été identifiée, l'élément concerné ainsi que tous les éléments similaires (forme, matériaux, détails de soudures) doivent être placés en quarantaine comme produits non conformes.

FICHE N° 29 – TRAITEMENT DES SURFACES / CONTRÔLES

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7

- Les contrôles et les vérifications doivent être effectués conformément au **plan qualité**, si celui-ci est requis.
- Le **cahier des charges d'exécution** doit spécifier toutes les exigences relatives à des contrôles ou essais supplémentaires.
- Les contrôles et vérifications, y compris les vérifications de routine, doivent être enregistrés dans le **dossier d'exécution**.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.2

Les vérifications de routine doivent inclure la vérification de la propreté, la mesure d'épaisseur du revêtement ainsi qu'un contrôle visuel conformément à l'EN ISO 12944-7.

Zoom sur ... Les classes de corrosivité

NF EN 1090-2 (Version 2018)

NF EN ISO 12944-2

NF EN ISO 9223

On distingue six catégories de corrosivité atmosphérique et 4 catégories de corrosivité pour les structures immergées ou enterrées :

CATÉGORIE DE CORROSIVITÉ ATMOSPHÉRIQUE :	EXEMPLE D'ENVIRONNEMENTS TYPES	
	EXTÉRIEUR	INTÉRIEUR
C1 (Très faible)	NA	Bâtiments chauffés à atmosphère propre (bureaux, magasins, écoles, hôtels...)
C2 (Faible)	Atmosphères avec un faible niveau de pollution (zones rurales)	Bâtiments non chauffés où la condensation peut se produire (entrepôts, salles de sport...)
C3 (Moyenne)	Atmosphères urbaines et industrielles ; zones côtières à faible salinité	Enceintes de fabrication avec une humidité élevée et une certaine pollution de l'air (industrie alimentaire, blanchisserie, brasseries, laiteries...)
C4 (Élevée)	Zones industrielles et zones côtières à salinité modérée	Usines chimiques, piscines, chantiers navals côtiers...
C5 (Très élevée)	Zones industrielles avec une humidité élevée et une atmosphère agressive, zones côtières à salinité élevée	Bâtiments ou zones avec une condensation quasi-permanente et une pollution élevée

STRUCTURES IMMERGÉES OU ENTERRÉES :	ENVIRONNEMENT	EXEMPLE DE STRUCTURES
Im1	Eau douce	Installations de rivières, centrales hydroélectriques...
Im2	Eau de mer ou eau saumâtre	Structures immergées sans protection cathodique
Im3	Sol	Réservoirs enterrés, pieux en acier, tuyaux en acier...
Im4	Eau de mer ou eau saumâtre	Structures immergées avec protection cathodique

Zoom sur ... Les surfaces de référence

NF EN ISO 12944-7

Une **surface de référence** est une partie définie de la structure sur laquelle le système de peinture a été appliqué conformément à la spécification et approuvé par toutes les parties concernées.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.3

Le cahier des charges d'exécution doit définir toutes les **surfaces de référence** à utiliser pour établir le critère minimum acceptable pour les travaux.

FICHE N° 30 — PRÉPARATION DES SURFACES / GÉNÉRALITÉS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.2

- les surfaces sur lesquelles doivent être appliqués des peintures et produits assimilés doivent être préparées selon les méthodes décrites dans les normes de la série NF EN ISO 8504 ;
- le degré de préparation (au sens de la norme NF EN ISO 8501-3) doit généralement être conforme au tableau ci-dessous. Pour mémoire :

P1 = Préparation légère → aucune préparation ou une préparation minimale requise avant application de la peinture ;

P2 = Préparation soignée → la plupart des imperfections sont corrigées ;

P3 = Préparation très soignée → le subjectile est net de toute imperfection visible importante

DURÉE DE VIE PRÉVUE DE LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION A	CATÉGORIE DE CORROSIVITÉ ^a	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

^a La durée de vie prévue de la protection contre la corrosion et la catégorie de corrosivité sont référencées dans la NF EN ISO 12944.

NOTE

Si la durée de vie prévue de la protection de corrosion et de la catégorie de corrosivité ne sont pas spécifiées, P1 doit généralement s'appliquer.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.7

Les surfaces en contact avec du béton, y compris les sous faces d'appui, doivent recevoir le même revêtement de protection (à l'exclusion de toute couche de finition esthétique) que le reste de la structure sur au moins les premiers 50 mm de la partie noyée.

Les surfaces restantes sont grenillées, brossées pour éliminer la calamine non adhérente et nettoyées pour éliminer la poussière, l'huile et la graisse. Immédiatement avant bétonnage, un nettoyage pour éliminer la rouille, la poussière etc. doit être effectuée.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.8

Surfaces inaccessibles :

- dans les assemblages résistant au glissement, les surfaces de contact doivent être préparées de manière à produire le coefficient de frottement requis ;
- les autres assemblages précontraints ne doivent pas être réalisés avec un excès de peinture sur les surfaces de contact. Au maximum, les surfaces de contact et les surfaces sous les rondelles doivent être traitées avec une couche primaire et une couche intermédiaire, sauf spécification contraire ;
- sauf spécification contraire, les assemblages boulonnés, y compris la périphérie de ces assemblages, doivent être traités avec le système de protection contre la corrosion, complet, spécifié pour le reste de la structure.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.6**Galvanisation à chaud :**

Une attention particulière doit être portée aux espaces clos fermés, les poches de gaz qu'ils contiennent pourraient gonfler et déformer la pièce voire provoquer une explosion :

- ne pas obturer les profils fermés avant galvanisation à chaud ;
- prévoir des trous d'évacuation dans le cas des surfaces plaquées l'une sur l'autre et attachées par soudure.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.6**Espaces clos obturés par soudage :**

Les soudures destinées à assurer l'étanchéité doivent être contrôlées visuellement. Cependant, l'attention est attirée sur le fait que des défauts de soudure non détectables par contrôle visuel peuvent permettre à l'eau de s'introduire dans l'espace obturé.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.9

Si un traitement de protection complémentaire est requis après coupage ou soudage pour les chants et/ou surfaces adjacentes, il doit être spécifié.

Cas des pièces galvanisées à chaud : Si le revêtement a été endommagé par le soudage, les zones concernées doivent être nettoyées, préparées et traitées à l'aide d'un primaire riche en zinc et d'une peinture donnant un niveau de protection équivalent à celui de la galvanisation à chaud pour une même classe de corrosivité (cf NF EN ISO 1461).

NF EN 1090-2, Article 10.10

La méthode de nettoyage, adaptée à la nuance du matériau, à la finition de surface, à la fonction de l'élément et au risque de corrosion, doit être spécifiée.

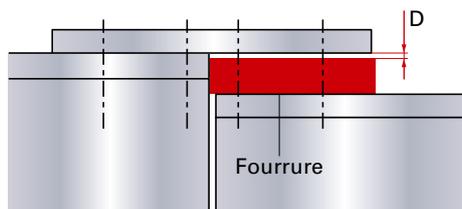


FICHE N° 31 – FIXATIONS / GÉNÉRALITÉS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.1

Gestion de la différence d'épaisseur des éléments d'un assemblage (§8.1)

- les éléments faisant partie d'un même assemblage doivent avoir une épaisseur similaire (la différence d'épaisseur des éléments d'un même assemblage D doit être ≤ 2 mm) ;



- l'utilisation de fourrures métalliques peut être nécessaire pour que la différence d'épaisseur respecte le critère précité. Dans ce cas, l'épaisseur doit être ≥ 1 mm ;
- l'épaisseur des fourrures doit être choisie de manière à limiter le nombre de fourrures à 3 au maximum.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2

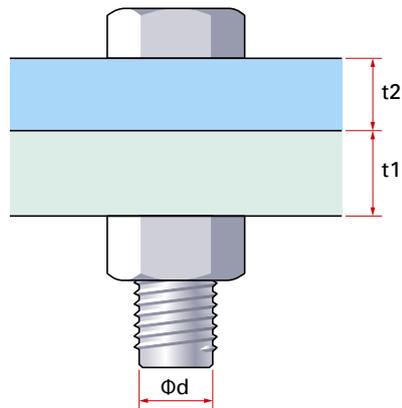
Boulons :

On rappelle qu'un boulon est constitué d'une vis avec un écrou et une (des) rondelle(s) si nécessaire.

Sauf spécification contraire (écrous spéciaux à souder, goujons à souder...), **les vis et écrous ne doivent pas être soudés.**

a) Vis :

Le diamètre nominal de la boulonnerie de construction métallique doit être au moins M12, sauf spécification contraire



Φ_d : diamètre nominal de la vis

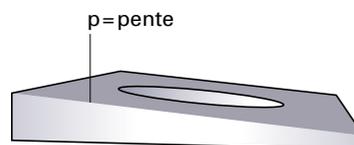
$\Phi_d \geq 12 \text{ mm}$

b) Ecrous :

- les écrous doivent tourner librement sur le filetage de la vis, ce qui est facilement vérifié au moment de la mise en œuvre manuelle des boulons ;
- tout boulon dont l'écrou ne tourne pas librement doit être mis au rebut ;
- si un outil électrique est utilisé, l'un ou l'autre des deux contrôles suivants peut être utilisé :
 - pour chaque nouveau lot d'ensemble de boulons, leur compatibilité peut être vérifiée par un assemblage à la main avant l'installation ;
 - pour les boulons montés mais avant leur serrage, il est permis de vérifier manuellement la libre rotation sur un échantillon d'écrous après desserrage initial.

c) Rondelles :

- les dimensions et les nuances d'acier des plaquettes doivent être spécifiées. L'épaisseur des plaquettes ne doit pas être inférieure à 4 mm ;
- des rondelles biaises doivent être utilisées si la surface du produit constitutif est inclinée par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe de la vis d'un angle de plus de :



1/20 (3°) pour les vis de diamètre $d \leq 20 \text{ mm}$

1/30 (2°) pour les vis de diamètre $d > 20 \text{ mm}$

Zoom sur ... Les grands types d'assemblages boulonnés

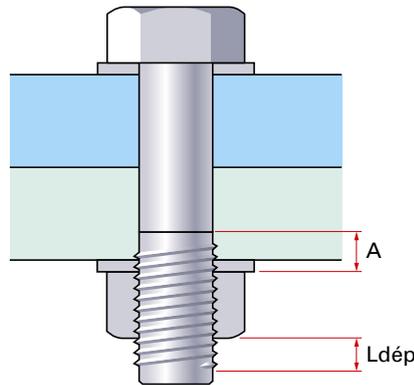
Les **boulons non précontraints** sont serrés avec une clé ordinaire. Les efforts de glissement sont repris par cisaillement de la tige. Rien n'est imposé sur le coefficient de frottement des surfaces composant l'assemblage.

Les **boulons précontraints** doivent être serrés à la clé dynamométrique ou à l'aide d'une visseuse spécifique. Ces boulons étant serrés fortement, les efforts de glissement sont repris par adhérence entre les pièces à assembler. Ces boulons ne travaillent donc qu'en traction. Des conditions sont imposées sur le coefficient de frottement des surfaces composant l'assemblage.

FICHE N° 32 — ASSEMBLAGES PAR BOULONS NON PRÉCONTRAINS / PRÉPARATION

NF EN 1090-2 (Version 2018), 8.2.2 — Points spécifiques relatifs à l'utilisation des boulons non précontraints

- la longueur des vis doit être choisie de manière à satisfaire les exigences ci-après :



$L_{\text{dép}}$ = longueur de dépassement

$L_{\text{dép}} \geq 1 \text{ pas de vis}$

Δ = distance libre entre la surface portante de l'écrou et la partie lisse de la tige

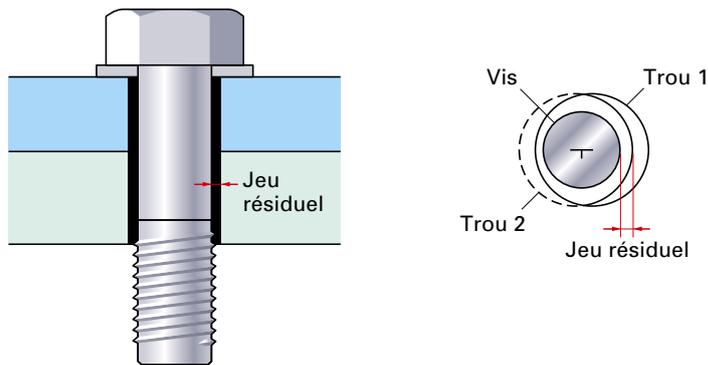
$\Delta \geq 1 \text{ pas de vis}$

- la **longueur de dépassement** $L_{\text{dép}}$ doit être au moins égale à la longueur d'un pas de filetage mesurée entre la face extérieure de l'écrou ou du dispositif de blocage additionnel et l'extrémité de la vis, et ce, pour les assemblages précontraints et non précontraints ;
- s'il est prévu que l'assemblage utilise la capacité de résistance au cisaillement de la partie lisse des vis, les dimensions des vis doivent être spécifiées pour tenir compte des tolérances relatives à la longueur de la partie non filetée ;
- pour les boulons non précontraints, au moins un filet complet (outre l'amorce de filetage) doit rester libre entre **la surface portante de l'écrou et la partie lisse de la tige**.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.3

Préconisations de serrage des boulons non précontraints (§8.3 de la 1090-2)

- les éléments à assembler doivent être en contact ferme les uns avec les autres ;
- des fourrures peuvent être utilisées pour ajuster l'assemblage ;
- pour les éléments d'épaisseur supérieure à :
 $t \geq 4 \text{ mm}$ pour les plaques et tôles
 ou
 $t \geq 8 \text{ mm}$ pour les profils :
 → Un jeu résiduel $\leq 4 \text{ mm}$ peut être laissés en rive à condition que le contact soit assuré dans la partie centrale de l'assemblage.



- chaque boulon doit être au moins **serré jusqu'au refus**, en veillant à éviter tout sur-serrage particulièrement pour les boulons courts et les boulons M12 ;
- le serrage doit être effectué boulon par boulon dans un groupe, en commençant par la partie la plus rigide de l'assemblage et en se déplaçant progressivement vers la partie la moins rigide ;
- pour obtenir un **serrage uniforme jusqu'au refus** des boulons, plusieurs cycles de serrage peuvent s'avérer nécessaires.

Le « **serrage jusqu'au refus** » est le serrage obtenu par l'effort d'un opérateur seul utilisant une clé de dimension normale sans rallonge, et peut être fixé comme le point où une clé à chocs commence à frapper.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2.4

- pour les boulons non précontraints dans des trous normaux : L'usage de rondelles n'est pas exigé (sauf spécifications contraires) ;
- pour les boulons précontraints :
 - pour les boulons 8.8, une rondelle doit être placée sous la tête de vis ou sous l'écrou, selon l'élément qui tourne au serrage ;
 - pour les boulons 10.9 utilisés avec des nuances d'acier S235, des rondelles doivent être utilisées à la fois sous la tête de vis et sous l'écrou ;
 - pour les boulons 10.9 utilisés avec des nuances d'acier supérieures, une rondelle doit être placée sous la tête de vis ou sous l'écrou, selon l'élément qui tourne au serrage.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 12.5.1, 8.3 et 9.6.5.3 – Contrôle global du serrage des assemblages boulonnés

En plus des vérifications déjà mentionnées dans la présente fiche, il convient également de procéder aux contrôles ci-après :

- les assemblages doivent être contrôlés visuellement après boulonnage complet et alignement local de la structure :
 - les assemblages identifiés comme ne possédant pas la totalité de leurs boulons au cours des vérifications de détail, doivent être contrôlés en termes de concordance après mise en place des boulons manquants ;
 - si la non-conformité est due à des différences d'épaisseurs de plats > 2 mm, l'assemblage doit être refait ;
 - si la non-conformité est due à des différences d'épaisseurs de plats ≤ 2 mm, les non-conformités peuvent être corrigées en réajustant l'alignement local de l'élément.
- les assemblages corrigés doivent être à nouveau contrôlés après correction.

Exemple de plan de contrôle du serrage

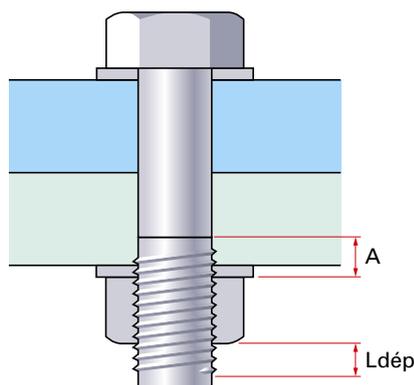
OPÉRATION/POINT DE CONTRÔLE	MOYEN	CRITÈRE/PHOTOS	FRÉQUENCE	SI NON OK
Contrôle de la libre rotation de l'écrou	Manuel	L'écrou doit tourner librement sur la vis Contrôle sur chaque lot	À chaque nouveau lot d'écrous ou de vis	Changement de pièces
Alignement des pièces assemblées	Visuel	//	À chaque assemblage	Reprise de l'assemblage
Comptabilité vis-écrou	Visuel	Concordance de marquage vis-écrou Marquage écrou doit être visible après serrage	À chaque assemblage	Changement de pièces
Serrage	A la clé	Serrage à refus ; Eviter le sur-serrage des boulons M12 et les boulons courts ;	À chaque assemblage	Sur-serrage : changement de pièces. Sous-serrage : reprise du serrage.
Boulons manquants	Visuel	Tous les boulons doivent être posés ;		Mettre en place les boulons manquants et refaire le contrôle
Différence d'épaisseur	Visuel	$D < 2 \text{ mm}$	À chaque assemblage	Reprise de l'assemblage.
Jeu résiduel	Visuel	Jeu inférieur à 4 mm pour les éléments épais ($t \geq 4 \text{ mm}$ pour les plaques et les tôles, et $t \geq 8 \text{ mm}$ pour les profils)	À chaque assemblage pour les boulons de rive	Changement de pièces.

FICHE N° 33 — ASSEMBLAGE PAR BOULONS PRÉCONTRAINS / GÉNÉRALITÉS

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2.2

Les boulons précontraints ne nécessitent généralement pas de dispositifs de blocage supplémentaires.

La longueur des vis doit être choisie de manière à satisfaire, après serrage, aux exigences suivantes concernant le dépassement de l'extrémité de la vis au-delà de la face de l'écrou et la longueur du filetage.



$L_{dép}$ = longueur de dépassement

$L_{dép} \geq 1$ filet complet

Δ = distance libre entre la surface portante de l'écrou et la partie lisse de la tige

- Pour les boulons relevant de la NF EN 14399-4 et de la NF EN 14399-8 :
 $\Delta \geq 2$ filets complets

- Pour les boulons relevant de NF EN 14399-3, NF EN 14399-7 et NF EN 14399-10 : $\Delta \geq 4$ filets complets

La longueur de dépassement $L_{dép}$ doit être au moins égale à la longueur d'un pas de filetage mesurée entre la face extérieure de l'écrou ou du dispositif de blocage additionnel et l'extrémité de la vis, et ce, pour les assemblages précontraints et non précontraints.

S'il est prévu que l'assemblage utilise la capacité de résistance au cisaillement de la partie lisse des vis, les dimensions des vis doivent être spécifiées pour tenir compte des tolérances relatives à la longueur de la partie non filetée.

Pour les boulons précontraints relevant des différentes parties de la NF EN 14399, les longueurs de serrage doivent être sélectionnées selon les normes de produits applicables.

Les longueurs de serrage nominales tabulées dans la NF EN 14399 le sont en considérant qu'entre la surface portante de l'écrou et la partie lisse de la tige, pour les boulons relevant de la NF EN 14399-4 et de la NF EN 14399-8, au moins deux filets complets et, pour les boulons relevant des EN 14399-3, EN 14399-7 et EN 14399-10 au moins quatre filets complets, doivent rester libres.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.4

Sans essai, les coefficients de frottement μ ci-dessous [Classes définies au §G.6 de la norme NF EN 1090-2 (Version 2018)] sont applicables :

- surfaces grenillées ou sablées, débarrassées de toute rouille non adhérente, exemptes de piqûres :
 - $\mu = 0,50$ (Classe A)
- surfaces revêtues par galvanisation à chaud selon EN ISO 1461, suivi d'un grenillage léger (balayage) et revêtues d'une peinture au silicate de zinc inorganique d'une épaisseur nominale de 60 μm :
 - $\mu = 0,40$ (Classe B)
- surfaces grenillées ou sablées :
 - a) revêtues d'une peinture au silicate de zinc inorganique d'une épaisseur nominale de 60 μm ;
 - b) métallisées par projection d'aluminium, de zinc ou d'une combinaison des deux jusqu'à une épaisseur nominale ne dépassant pas 80 μm :
 - $\mu = 0,40$ (Classe B)
- surfaces revêtues par galvanisation à chaud selon EN ISO 1461, suivi d'un grenillage léger (balayage):
 - $\mu = 0,35$ (Classe C)
- surfaces nettoyées à la brosse métallique ou au chalumeau, débarrassées de toute rouille non adhérente :
 - $\mu = 0,30$ (Classe C)
- surfaces brutes de laminage :
 - $\mu = 0,20$ (Classe D)

Les essais de caractérisation du coefficient de frottement sont décrits dans l'Annexe G de la norme NF EN 1090-2.

FICHE N° 34 — ASSEMBLAGE PAR BOULONS PRÉCONTRAINS / MÉTHODES DE SERRAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5

Force de précontrainte minimale nominale :

$$F_{p,C} = 0.7 f_{ub} \cdot A_s$$

où :

f_{ub} est la résistance nominale ultime du matériau de la vis

A_s est la section résistante de la vis

Ce niveau de précontrainte doit être utilisé pour tous les assemblages précontraints résistant par glissement et pour tous les autres assemblages précontraints à moins qu'un niveau de précontrainte inférieur n'ait été spécifié.

Valeurs de la force de précontrainte minimale nominale $F_{p,C}$

CLASSE DE QUALITÉ	DIAMÈTRE DU BOULON EN mm									
	12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
8.8	47	65	88	108	137	170	198	257	314	458
10.9	59	81	110	134	172	212	247	321	393	572

NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau 16 — Ajustement admissible de la longueur de serrage des boulons non précontraints :

- en plus du nombre minimum de rondelle(s) spécifiées, jusqu'à trois rondelles supplémentaires ou deux rondelles et une plaquette ou une rondelle et une plaquette ou une plaquette peuvent être utilisées ;
- l'épaisseur totale de la combinaison rondelles+plaquettes ne doit pas dépasser 12 mm.

La méthode de serrage la plus utilisée en France est la méthode du couple avec des boulons HR. Cependant, d'autres méthodes de serrage (méthode combinée, méthode HRC, méthode par indicateur direct de précontrainte) peuvent être utilisées (voir §8.5 de la 1090-2).

Zoom sur ... Classe k et facteur k des boulons

NF EN 14399-1

NF EN 14399-2

La **classe k** exprime de manière concise l'aptitude des boulons à être serrés par la méthode de serrage au couple ou par la méthode combinée, au moyen du **facteur k**.

Ce **facteur k** doit être déterminé par des essais d'aptitude à l'emploi pour la mise en précontrainte des boulons, conformément à la norme 14399-2, qui doivent être réalisés par le fournisseur de boulons.

Le **facteur k**, coefficient de rendement du couple, est déterminé comme suit :

$$k_i = \frac{M_{pi}}{F_{p,C} \cdot d}$$

$F_{p,C}$ = force de précontrainte exigée (en kN) ;

M_{pi} = valeur individuelle du couple appliqué (en Nm) ;

d = diamètre nominal de la vis.

Le fabricant des boulons doit indiquer les méthodes adaptées de serrage en fonction de la **classe k** déclarée. Les informations nécessaires concernant au moins une méthode de serrage appropriée doivent figurer sur l'étiquette ou l'emballage.

Informations que le fournisseur de boulons doit fournir pour les états de calibrage de classe K_0 , K_1 et K_2

K_0	Pas de prescription pour le facteur k
K_1	Plage de valeurs d'essai individuelles k_i ($0,10 \leq k_i \leq 0,16$)
K_2	Valeur d'essai moyenne k_m : $0,10 \leq k_m \leq 0,23$ Coefficient de variation V_k du facteur k : (avec $V_k \leq 0,06$)

k_i : valeurs individuelles du coefficient k
 k_m : valeur moyenne du coefficient k
 V_k : coefficient de variation des valeurs du coefficient k pour la précontrainte $F_{p,C}$

La classe k (état de calibrage tel que livré) du boulon doit être conforme au tableau ci-dessous quelle que soit la méthode utilisée :

MÉTHODE DE SERRAGE	CLASSES K
Méthode du couple	K2
Méthode combinée	K2 ou K1
Méthode HRC	K0 avec écrou HRD seulement ou K2
Méthode par indicateur direct de précontrainte (DTI)	K2, K1 ou K0

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.2 – Valeurs de référence du couple :

Pour la **méthode du couple** et la **première phase de serrage de la méthode combinée**, les valeurs de référence du couple $M_{r,i}$ à utiliser pour une force de précontrainte nominale minimale $F_{p,C}$ sont déterminées pour chaque type de combinaison vis-écrou, selon l'une des options suivantes :

- a) valeurs fondées sur la classe k déclarée par le fabricant de l'élément de fixation conformément aux parties concernées de la NF EN 14399 :

Classe K2	$M_{r,2} = k_m * d * F_{p,C}$
Classe K1	$M_{r,1} = 0,125 * d * F_{p,C}$

- b) valeurs déterminées conformément à l'Annexe H :

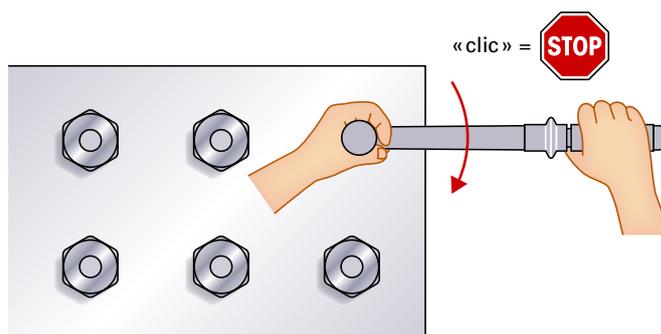
$$M_{r,test} = M_m$$

avec M_m déterminé conformément à la procédure appropriée à la méthode de serrage utilisée.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.3 – Méthode du couple :

Les boulons doivent être serrés à l'aide d'une clé dynamométrique offrant une plage de fonctionnement appropriée.

Le couple de serrage doit être appliqué de manière continue et sans à-coups. Le serrage par la méthode du couple comprend au moins les deux phases suivantes :



Première phase de serrage :

La clé doit être réglée sur une valeur de couple d'environ $0,75 M_{r,i}$ avec $M_{r,i} = M_{r,2}$ ou $M_{r,test}$. → Cette première phase doit être achevée pour tous les boulons d'un même assemblage avant d'entamer la seconde phase

Seconde phase de serrage :

La clé doit être réglée sur une valeur de couple de $1,10 M_{r,i}$ avec : $M_{r,i} = M_{r,2}$ ou $M_{r,test}$

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.4 – Méthode combinée :

Le serrage par la méthode combinée comprend deux phases :

Première phase de serrage (à l'aide d'une clé dynamométrique offrant une plage de fonctionnement appropriée) :

La clé doit être réglée sur une valeur de couple d'environ $0,75 M_{r,i}$

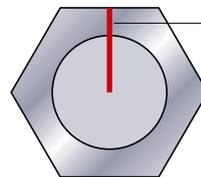
avec $M_{r,i} = M_{r,2}$ ou $M_{r,1}$ ou $M_{r,test}$.

Cette première phase doit être achevée pour tous les boulons d'un même assemblage avant d'entamer la seconde phase.

Sauf spécification contraire quand on utilise $M_{r,1}$, par simplification, on peut utiliser :

$0,75 M_{r,1} = 0,094 * d * F_{p,C}$ tel qu'indiqué dans le tableau suivant :

COUPLE $0,75 M_{r,1}$ EN [Nm] POUR LA PREMIÈRE PHASE DE LA MÉTHODE COMBINÉE										
CLASSE DE QUALITÉ	DIAMÈTRE DU BOULON EN mm									
	12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
8.8	53	85	132	182	258	351	446	652	886	1548
10.9	67	106	165	227	322	439	557	815	1107	1935



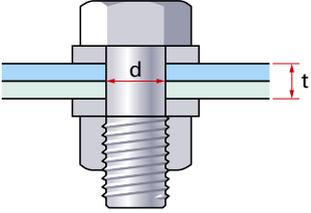
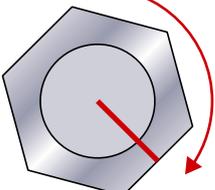
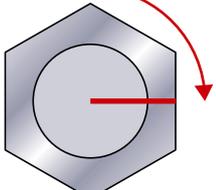
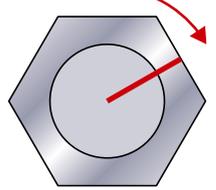
Marquage de la position de l'écrou par rapport au filet après la fin de la phase 1

La position de l'écrou par rapport à la tige de la vis doit être repérée à la fin de la première phase, en utilisant un marqueur ou une marque de peinture, de manière à pouvoir facilement déterminer la rotation finale de l'écrou par rapport à la tige dans la seconde phase.

Seconde phase de serrage :

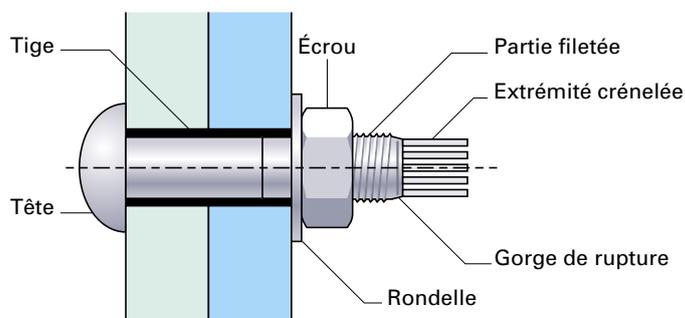
Une rotation spécifiée est appliquée à la partie du boulon qui tourne.

Sauf spécification contraire, la rotation supplémentaire doit être conforme aux valeurs du tableau suivant :

ROTATION SUPPLÉMENTAIRE POUR LA SECONDE PHASE DE LA MÉTHODE COMBINÉE (BOULONS 8.8 ET 10.9)			
 <p>d: diamètre nominal de la vis t: épaisseur des éléments assemblés</p>	Rotation supplémentaire à appliquer, au cours de la seconde phase de serrage		
	Fraction de tour: 1/3	Fraction de tour: 1/4	Fraction de tour: 1/6
			
	$6d \leq t < 10d$	$2d \leq t < 6d$	$t < 2d$
	Degrés	Fraction de tour	
$t < 2d$	60	1/6	
$2d \leq t < 6d$	90	1/4	
$6d \leq t \leq 10d$	120	1/3	

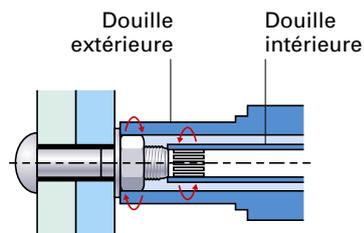
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.5 – Méthode HRC :

Les boulons HRC doivent être serrés à l'aide d'une visseuse spécifique équipée de deux douilles coaxiales qui réagissent par couple antagoniste. La douille extérieure qui se prend sur l'écrou tourne dans le sens horaire. La douille intérieure qui s'engage sur l'extrémité cannelée de la vis tourne dans le sens antihoraire.



Le niveau requis de précontrainte spécifiée est contrôlé par la vis HRC elle-même, au moyen des caractéristiques géométriques et des caractéristiques mécaniques en torsion ainsi qu'aux conditions de lubrification. L'équipement ne nécessite pas de calibrage.

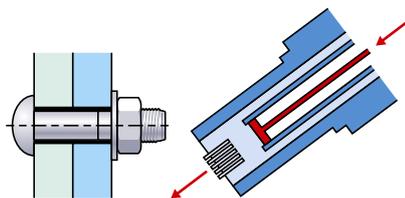
Afin de s'assurer que les précontraintes dans les boulons définitivement posés dans les assemblages répondent à l'exigence de précontrainte minimale spécifiée, le processus d'installation des boulons comporte généralement deux phases de serrage, toutes deux réalisées avec la visseuse spécifique.



Première phase de serrage :

La première phase est terminée au plus tard lorsque la douille extérieure de la visseuse arrête de tourner. Si spécifié, cette première phase est répétée aussi souvent que nécessaire.

Cette première phase doit être achevée pour tous les boulons d'un même assemblage avant d'entamer la seconde phase.

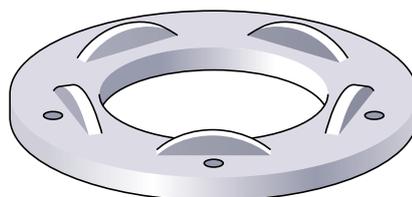


Seconde phase de serrage :

La seconde phase de serrage est terminée lorsque l'extrémité cannelée du boulon se cisaille au droit de la gorge de rupture.

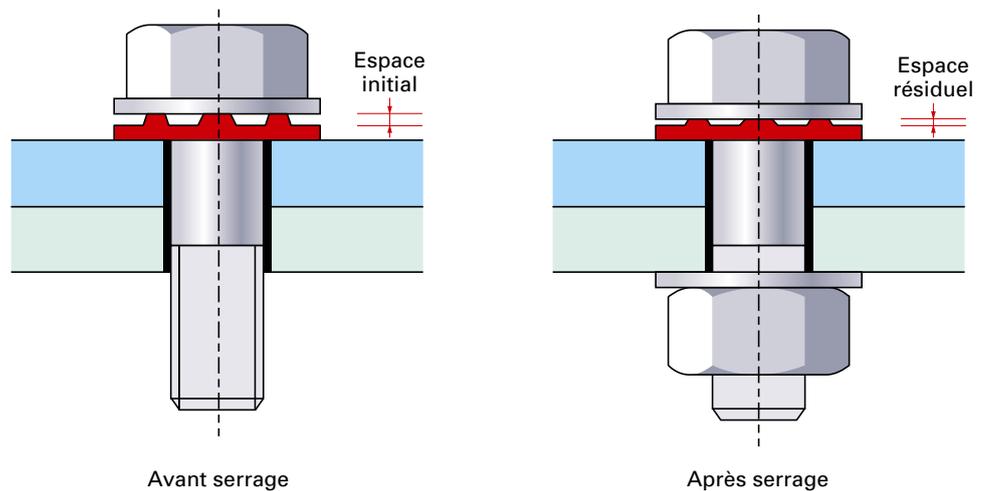
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.5 – Méthode par indicateur direct de précontrainte :

Cette méthode repose sur l'utilisation de rondelles indicatrices de précontrainte, qui doivent être montées comme spécifié dans la NF EN 14399-9 (généralement sous la tête du boulon ou sous l'écrou)



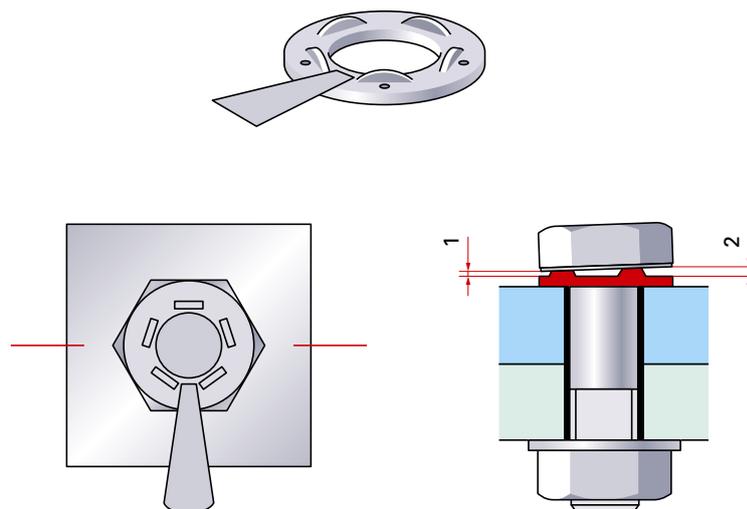
Première phase :

La première phase de serrage pour atteindre l'état « serré au refus » de la fixation doit correspondre au moment où une première déformation des protubérances des rondelles indicatrices de précontrainte apparaît. Cette première phase doit être achevée pour tous les boulons d'un même assemblage avant d'entamer la seconde phase.

**Seconde phase :**

La seconde phase du serrage doit être conforme à la NF EN 14399-9. Les valeurs d'interstices mesurés sur la rondelle indicatrice peuvent être moyennées pour établir l'acceptabilité du boulon.

L'interstice de l'indicateur doit être contrôlé avec un calibre « n'entre pas » comme outil de contrôle. Le calibre d'épaisseur doit être pointé au centre de la vis comme dans la figure ci-contre.

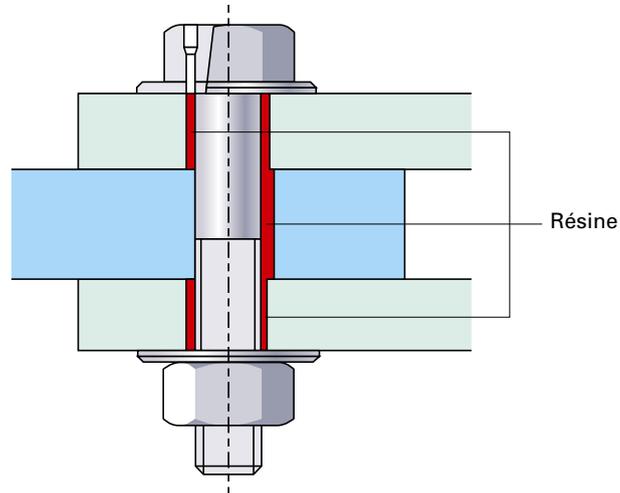
**NF EN 1090-2 (Version 2018), §12.5.2**

- pour les assemblages résistant par frottement : Les surfaces de frottement doivent être vérifiées visuellement juste avant assemblage (pas de souillure : trace d'huile, de salissures...). Les bavures éventuelles doivent être éliminées ;
- tous les assemblages doivent être vérifiés visuellement avant application de la précontrainte. Les non-conformités éventuelles (différences d'épaisseurs de plats, défaut d'alignement...) doivent être corrigées et un nouveau contrôle visuel doit être réalisé après correction ;
pour les classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4, le mode opératoire de serrage doit être vérifié.
- pendant et après serrage, les exigences de contrôle correspondant aux différentes méthodes de serrage sont données dans les §12.5.2.4 à 12.5.2.7 de la norme NF EN 1090-2 (Version 2018).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe H

Afin que la force minimale de précontrainte requise soit obtenue de façon fiable avec les méthodes de serrage définies dans la norme NF EN 1090-2 (Version 2018), les paramètres nécessaires doivent être déterminés par un essai de serrage tel que décrit dans l'Annexe H de la norme NF EN 1090-2 (Version 2018).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe J – Boulons injectés de résine :



Les boulons injectés peuvent être utilisés comme boulons non précontraints ou précontraints, selon ce qui est spécifié. Le remplissage de l'interstice entre le boulon et la paroi du trou s'effectue en injectant de la résine à travers un orifice dans la tête du boulon comme illustré à la figure ci-contre.

Après injection et polymérisation complète de la résine, l'assemblage devient résistant au glissement.

- les boulons sont serrés avant de commencer l'opération d'injection ;
- il convient que la température de la résine se situe entre 15 °C et 25 °C ;
- par temps très froid, il convient de préchauffer la résine et, si nécessaire, les éléments en acier ;
- si la température est trop élevée, on peut utiliser de la pâte à modeler pour obturer l'orifice dans la tête et la gorge dans la rondelle immédiatement après l'injection ;
- il convient que l'assemblage soit exempt d'humidité lors de l'injection ;
- il convient que le temps de polymérisation soit tel que la résine polymérise avant le chargement de la structure ;
- le chauffage après injection est admis afin de réduire si nécessaire le temps de polymérisation.

DIMENSIONS DES TROUS

Diamètre nominal du boulon	$d_{nom} < 27 \text{ mm}$	$d_{nom} \geq 27 \text{ mm}$
Jeu nominal admissible dans le cas d'un trou rond normal)	2 mm	3 mm

10

PRÉPARATION DU CHANTIER ET MONTAGE : FICHES PRATIQUES



FICHE N° 35 – CHANTIER / SÉCURITÉ

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.2 – Sécurité sur chantier

Le montage ne doit pas commencer avant que le site prévu pour la construction soit conforme aux **exigences techniques en matière de sécurité des travaux** portant sur les conditions spécifiques au site de chantier et susceptibles d'affecter la sécurité de celui-ci. On peut notamment citer les points listés au §9.2 de la norme NF EN 1090-2.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §6.3 et 9.6.3 – Mesures relatives à la manutention et au stockage sur chantier

- les produits constitutifs doivent être manutentionnés et stockés dans des conditions conformes aux recommandations du fabricant ;
- tout élément métallique endommagé au cours du déchargement, du transport, du stockage ou du montage doit être remis en conformité ;
- les éléments métalliques stockés sur chantier doivent être conservés au sec avant leur utilisation et doivent être convenablement emballés et identifiés.

Les mesures préventives relatives à la manutention et au stockage spécifiées dans le tableau ci-après doivent s'appliquer selon le cas :

Levage	
1	Protéger les éléments contre les dommages au droit des points de levage
2	Éviter le levage en un seul point d'éléments longs par l'utilisation de palonniers, si nécessaire
3	Regrouper les éléments légers particulièrement sensibles aux dommages sur les rives, à la torsion et à la déformation quand ils sont manipulés individuellement. Prendre soin d'éviter toute détérioration localisée là où les éléments sont en contact les uns avec les autres, aux rives non renforcées, au niveau des points de levage ou d'autres zones non renforcées qui supportent une part significative du poids total du fardeau.
Stockage	
4	Empiler les éléments fabriqués, stockés avant transport ou montage, en les isolant du sol pour qu'ils restent propres
5	Prévoir les supports nécessaires pour éviter les déformations permanentes
6	Stocker, les tôles nervurées et autres produits fournis avec des surfaces décoratives préfinies, conformément aux exigences des normes applicables
Protection contre la corrosion	
7	Éviter l'accumulation d'eau Prendre des précautions pour éviter la pénétration d'humidité dans les fardeaux de profilés ayant un revêtement primaire métallique.
8	NOTE : En cas de stockage prolongé à l'air libre sur le chantier, il convient d'ouvrir les fardeaux de profilés et de séparer les profilés pour éviter l'apparition de rouille noire ou blanche.

Aciers inoxydables	
9	Manipuler et stocker les aciers inoxydables de façon à garantir l'absence de contamination par les supports ou dispositifs de manutention, etc. Stocker tous les aciers inoxydables avec précaution de façon à protéger les surfaces des détériorations ou contaminations
10	Si nécessaire, utiliser un film de protection ou autre revêtement, à laisser en place aussi longtemps que possible
11	Éviter le stockage en milieu salin humide
12	Protéger les râteliers de stockage par des tasseaux ou doublages appropriés en bois, en caoutchouc ou en matière plastique pour éviter tout frottement avec des surfaces en acier au carbone, contenant du cuivre, du plomb, etc.
13	Interdire l'utilisation de marqueurs contenant des chlorures ou sulfure NOTE : Une alternative consiste à utiliser un film de protection et à apposer les marquages sur ce film uniquement.
14	Protéger l'acier inoxydable de tout contact direct avec le mouflage de levage ou les équipements de manutention en acier au carbone, comme les chaînes, les crochets, les sangles et les galets, ou les fourches de chariots élévateurs, par l'utilisation de matériaux isolants, de contreplaqué léger ou de ventouses. Utiliser les outils de montage appropriés pour éviter toute contamination de surface
15	Éviter tout contact avec des produits chimiques, notamment colorants, colles, bandes adhésives, quantités excessives d'huile et de graisse. NOTE : Si leur utilisation est nécessaire, leur aptitude à l'emploi doit être vérifiée avec le fabricant de ces produits.
16	Utiliser des zones de fabrication séparées pour l'acier au carbone et l'acier inoxydable afin d'éviter la contamination par l'acier au carbone. Utiliser des outils distincts exclusivement pour l'acier inoxydable, meules et brosses métalliques en particulier. Utiliser des brosses métalliques et de la paille de fer en acier inoxydable, de préférence austénitique
Transport	
17	Prendre les mesures particulières nécessaires pour la protection des éléments fabriqués pendant leur transport

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.4 – Mesures de l'ouvrage sur chantier :

Sauf spécification contraire, les mesures de l'ouvrage sur chantier doivent être effectuées conformément à l'ISO 4463-1.

La température de référence pour l'implantation et les mesures de la structure en acier doit être spécifiée.

FICHE N° 36 — APPUIS

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5

L'état et l'emplacement des appuis doivent être contrôlés avant montage.

Implantation des appuis :

Le montage ne doit pas commencer tant que la conformité des appuis aux critères du §11.2 de la norme NF EN 1090-2 (Version 2018) n'a pas été vérifiée. Le levé de conformité utilisé pour vérifier l'implantation des appuis doit être consigné.

Maintien du bon état des appuis :

Les appuis doivent être conservés dans un état équivalent à celui dans lequel ils étaient au début du montage. En particulier :

- les zones d'appui requérant une protection contre les taches de rouille doivent être identifiées et protégées ;
- un dispositif de compensation du tassement des appuis peut être utilisé si nécessaire.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.4

Les dispositifs d'appuis utilisés comme calages provisoires sous les plaques d'appui doivent présenter une surface plane côté plaque et être dimensionnés pour éviter l'écrasement local du support en béton ou en maçonnerie.

Si les calages sont destinés à être scellés ultérieurement, ils doivent être positionnés de telle manière à ce qu'un enrobage minimum de 25 mm puisse être assuré à l'aide du produit de scellement.

Lorsque les calages sont laissés en place après scellement, ils doivent être constitués de matériaux possédant la même durabilité que celle de la structure.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.5

Les espaces vides situés entre les platines métalliques d'appui et les fondations en béton peuvent être scellés avec un coulis à base de ciment, un coulis spécial ou un béton fin (pour les espaces vides d'une épaisseur de 50 mm et plus).

Avant remplissage, l'espace libre sous la plaque d'appui en acier doit être exempt de liquides, glace, gravats et autres souillures.

Ce matériau de scellement, utilisé conformément aux recommandations du fabricant, doit être injecté sous une pression adéquate pour remplir totalement l'espace libre. Des trous d'évent doivent être prévus si nécessaires.

Les réservations pour poteaux à scellement direct doivent être remplies de béton de résistance à la compression caractéristique au moins égale à celle du béton de fondation adjacent.

La partie scellée du poteau doit, dans un premier temps, être noyée dans le béton sur une longueur suffisante pour assurer la stabilité dans l'état provisoire et, dans un second temps, maintenue sans déplacement suffisamment longtemps pour lui permettre d'acquérir au moins la moitié de sa résistance caractéristique à la compression, avant enlèvement des étais et cales provisoires éventuels.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.6

Les dispositifs d'ancrage dans les parties en béton doivent être mis en place conformément à leurs spécifications.

FICHE N° 37 — MONTAGE

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.1

Les plans de montage doivent :

- comprendre des vues en plan et en élévation avec inscription lisible des repères de montage pour tous les éléments ;
- faire apparaître l'emplacement des trames, les positions des appareils d'appui, l'assemblage des éléments ainsi que les tolérances ;
- montrer l'implantation et l'orientation de la structure en acier par rapport aux appuis ;
- préciser les détails nécessaires à la liaison des pièces en acier ou des tiges d'ancrage aux fondations, la méthode de réglage par calage et les exigences relatives au scellement ainsi que les détails de la liaison de la structure et des appareils d'appui sur leurs supports ;
- montrer les détails et la disposition de tous éléments métalliques ou autres constructions provisoires nécessaires au montage, afin de garantir la stabilité de l'ouvrage et la sécurité du personnel ;
- mentionner le poids de tous les éléments ou ensembles de plus de 5 tonnes ainsi que le centre de gravité de toutes les pièces irrégulières de grandes dimensions.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.1

La méthode de montage servant de base au projet doit prendre en compte les points suivants :

- les emplacements et les types d'assemblages sur chantier ;
- les valeurs maximales de dimensions, poids et position des éléments ;
- la séquence de montage ;
- l'hypothèse de stabilité de la structure partiellement montée, y compris les exigences éventuelles de contreventement ou d'étaiyage provisoire ;
- l'étaiyage ou les autres mesures pour l'exécution du bétonnage par phases des structures mixtes ;
- les conditions de dépose des contreventements ou étaiyages provisoires, ou les exigences éventuelles concernant le détensionnement ou la mise en charge de la structure ;
- les conditions susceptibles d'engendrer un risque pour la sécurité au cours de la construction ;
- la planification et la méthode de réglage puis de scellement des ancrages ou appareils d'appui sur les fondations ;
- les contre-flèches et préréglages requis par rapport à ceux réalisés lors de la fabrication ;
- l'utilisation de tôles d'acier nervurées pour assurer la stabilité ;
- l'utilisation de tôles d'acier nervurées pour procurer un maintien latéral ;
- le transport d'éléments, y compris les accessoires de fixation pour le levage, le retournement ou le tirage ;
- les positions et conditions de mise sur appuis et de vérinage ;
- les hypothèses de stabilité des appareils d'appui ;
- les déformations de la structure partiellement montée ;
- les tassements d'appuis attendus ;
- les positions et charges particulières engendrées par les engins de levage, les matériels stockés, les contrepoids, etc., pendant les diverses phases de construction ;

- les instructions relatives à la livraison, au stockage, au levage, à la fixation et à la mise en tension des haubans ;
- les détails relatifs à tous les ouvrages et fixations provisoires sur des ouvrages permanents, ainsi que les instructions relatives à leur dépose.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.2

La méthode de montage du constructeur peut être différente de la méthode de montage servant de base au projet, à condition d'en constituer une alternative sûre, ce qui doit être justifié par une étude conforme aux règles de calcul en vigueur.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.4

Un montage à blanc doit être envisagé pour :

- confirmer la concordance entre éléments ;
- valider une méthodologie de montage qui nécessite une évaluation préalable ;
- vérifier la durée des opérations lorsque les conditions de chantier imposent une limitation du temps de l'intervention.

NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.5.2

- tous les contreventements et systèmes de maintien provisoires doivent être laissés en place jusqu'à ce que l'état d'avancement du montage permette de les retirer en toute sécurité ;
- les dispositifs d'ancrage provisoire doivent être protégés contre un relâchement involontaire ;
- seuls les vérins pouvant être verrouillés en charge en toutes positions doivent être utilisés (à moins de prendre d'autres mesures de sécurité).

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 9.6.5.3

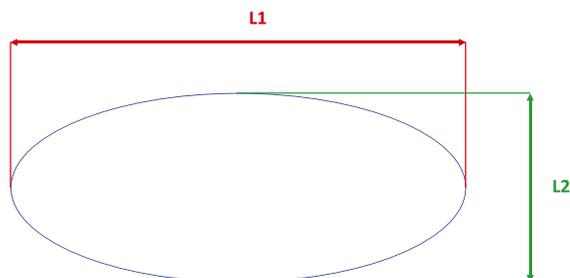
Pour les assemblages **avec boulons non précontraints** (dans le cas d'un élément d'épaisseur ≥ 4 mm pour les plaques et tôle et d'épaisseur ≥ 8 mm pour les profils) ; des jeux résiduels n'excédant pas 4 mm peuvent être laissés en rive à condition que le contact soit assuré dans la partie centrale de l'assemblage.

Pour les assemblages **avec boulons précontraints**, avant l'application de la précontrainte, (dans le cas d'un élément d'épaisseur ≥ 4 mm pour les plaques et tôle et d'épaisseur ≥ 8 mm pour les profils) ; des jeux résiduels n'excédant pas 2 mm peuvent être laissés en rive à condition que le contact soit assuré dans la partie centrale de l'assemblage.

NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 9.6.5.3 et 6.9 – Brochage :

Sauf spécification contraire, le brochage peut être utilisé pour aligner les assemblages.

L'ovalisation des trous prévus pour les boulons assurant la transmission des efforts doit respecter le critère ci-dessous :



$$\text{EXC2} : \Delta = L1 - L2 = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\text{EXC3 et 4} : \Delta = L1 - L2 = \pm 0,5 \text{ mm}$$

Lorsque ce critère est dépassé, les trous doivent être corrigés par alésage.

11

CAS-TYPE D'OUVRAGE EXC2 : BÂTIMENT INDUSTRIEL



11.1 Contexte

11.1.1 Finalité du cas-type

L'objectif de ce cas-type est de donner un exemple d'application de la norme NF EN 1090-2 à un ouvrage de classe d'exécution EXC2.

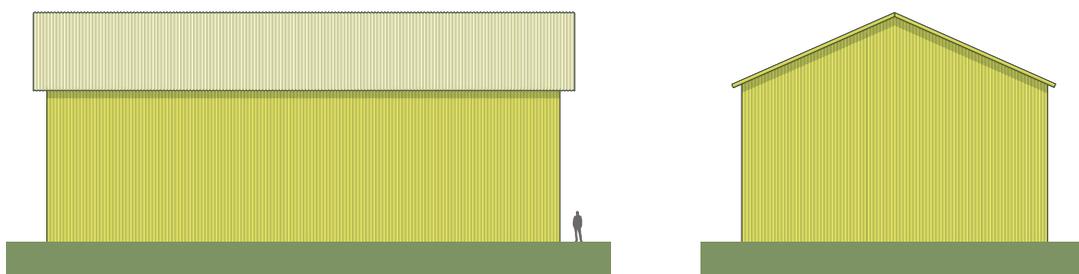
Dans une première partie sont rappelées les grandes lignes de l'organisation documentaire nécessaires pour répondre à un tel projet dans le respect des prescriptions de la norme NF EN 1090-2.

La seconde partie se concentrera sur des exemples représentatifs de fiches de contrôle réalisées pour chaque étape de l'exécution de la structure ; de l'approvisionnement jusqu'au montage.

11.1.2 Présentation du projet

Le projet en question est une charpente de bâtiment industriel. La couverture ainsi que le bardage sont réalisés en bac aciers. Le bâtiment fait 30 m de long pour 20 m de large. La hauteur sous couverture est de 4 m.

Figure 6 – Charpente industrielle



11.2 Organisation du projet

11.2.1 Cahier des charges d'exécution

Le cahier des charges d'exécution comporte toutes les informations nécessaires concernant l'exécution des travaux, les degrés de préparation des surfaces en vue d'une protection contre la corrosion, les classes de tolérances géométriques et les exigences techniques concernant la sécurité des travaux

et, bien sûr, les classes d'exécution de l'ouvrage (Il est recommandé de se référer au Guide de recommandation du choix de la classe d'exécution BNCM/CNC2M pour plus d'information).

Tableau 1 Choix de la classe d'exécution

OUVRAGE DE CATÉGORIE DE SERVICE : SC1*	ÉLÉMENTS NON SOUDÉS PC1	ÉLÉMENTS SOUDÉS PC2
Famille A – Éléments secondaires ne participant pas à la stabilité générale (ex : montants de bardage) CC1	EXC1	EXC2
Famille C – Éléments de plancher (ex : solives) CC2	EXC2	EXC2
Famille E – Éléments courants de structure principale (ex : poutres et poteaux de portiques) CC2	EXC2	EXC2

La défaillance de ce bâtiment aurait des conséquences faibles en termes de sécurité des personnes et impact économique, sociétal ou environnemental, il lui est donc attribué une classe de conséquence CCO.2a.

** Le bâtiment est situé en zone de sismicité 1. Les véhicules circulent dans le parking à une vitesse restreinte, donc les actions sont de caractère statique. Les risques liés à l'exploitation de la structure sont donc limités ; il lui a donc été attribué une catégorie de service SC1.*

11.2.2 Plan qualité

En EXC2, la norme NF EN 1090-2 impose de réaliser un plan qualité, lequel comporte trois volets : un document d'organisation générale spécifique au projet, le dossier qualité de l'entreprise et le dossier d'exécution du chantier.

11.2.2.1 DOCUMENT D'ORGANISATION GÉNÉRALE

Le document d'organisation générale est spécifique au projet et a pour objectif de passer en revue les exigences du cahier des charges et à mettre en avant les ressources mobilisées par l'entreprise pour y répondre.

11.2.2.2 ORGANISATION DE L'ÉQUIPE PROJET

ORGANISATION DE L'ÉQUIPE PROJET				
Nom du projet	Parking aérien		Date :	XX/XX/XXXX
ETAPES	OPÉRATIONS	RESPONSABLE DE L'OPÉRATION	NOM DU RESPONSABLE	VÉRIFICATION
Etudes	Recueil des données de base	Chargé d'affaire	M. A.	Chargé d'affaire M.A
	Calculs et justification	Calculateur	M. B	
	Plans d'exécution	Dessinateur	M. C.	
	Relevés sur site	Chef de chantier	M. D	
	Validation externe	Responsable BE	Mme. E.	
	Nomenclature d'achat	Dessinateur	M. C.	
	Dessins de débit*	Dessinateur	M. C.	
	Plans de montage	Dessinateur	M. C.	
Approvisionnement	Achat	Responsable achats	Mme. F	Responsable achats Mme. F
	Réception des certificats matière	Responsable achats	Mme. F	
	Contrôle des approvisionnements	Chef d'atelier	M. G	
	Gestion des stocks	Chef d'atelier	M. G	
	Choix des fournisseurs	Responsable achats	Mme. F	
	Choix des sous-traitants	Responsable BE	Mme. E.	

ETAPES	OPÉRATIONS	RESPONSABLE DE L'OPÉRATION	NOM DU RESPONSABLE	VÉRIFICATION
Fabrication	Définition des modes opératoires	Responsable fabrication	Mme. H	Chef d'atelier M. G
	Validation des modes opératoires	Chef d'atelier	M. G	
	Gestion des qualifications des soudeurs	Chef d'atelier	M. G	
	Entretien/Maintenance du matériel	Chef d'atelier	M. G	
	Ordre de fabrication	Chargé d'affaire	M. A.	
	Lancement de fabrication	Chef d'atelier	M. G	
	Coupage	Opérateur	M. I	
	Perçage	Opérateur	M. I	
	Assemblage	Soudeur	M. J	
	Soudage	Soudeur	M. J	
	Contrôles dimensionnels	Chef d'atelier	M. G	
	Contrôles soudage	Soudeur	M. J	
	Traitement de surfaces	Opérateur	Mme. K	
Expédition	Colisage	Opérateur	M. L	Chargé d'affaire M.A
	Stockage	Chef d'atelier	M. G	
	Chargement	Chef d'atelier	M. G	
	Livraison	Transporteur	Mme. M	
Montage	Réception des pièces sur chantier / contrôle de la livraison	Chef de chantier	M. N	Conducteur de travaux M.S
	Stockage sur chantier	Chef de chantier	M. N	
	Réception des plans de montage	Chef de chantier	M. N	
	Montage	Monteur	M. O	
		Monteur	M. P	
		Monteur	M. Q	
		Monteur	M. R	
	Gestion des équipements de sécurité	Chef de chantier	M. N	
Entretien du matériel	Chef de chantier	M. N		
Contrôles de montage / Vérification des tolérances de pose	Chef de chantier	M. N		
Réception des ouvrages	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s	Responsable BE	Mme. E.	Chargé d'affaire M.A
	Certificat de réception	Conducteur de travaux	M. S	

* Les dessins de débit comportent le numéro de référence de la pièce ou de la série de pièces concernées ainsi que les tolérances à vérifier.

Revue des exigences du cahier des charges

CHECKLIST – VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ DU CAHIER DES CHARGES AUX EXIGENCES DE LA NORME NF EN 1090-2			
Visa du Chargé d'affaire	M. A	Date d'établissement de la check-list	XX/XX/XXXX
Item		OUI	NON APPLICABLE
ARTICLE 4.2 – DOSSIER DU CONSTRUCTEUR			
Points d'arrêt ou exigences concernant les contrôles ou essais tierce partie, et toutes les exigences d'accès correspondantes		x	<input type="checkbox"/>
ARTICLE 5 – PRODUITS CONSTITUTIFS			
Propriétés des produits constitutifs non couverts par les normes répertoriées		<input type="checkbox"/>	x
Nuances, qualités et, si nécessaire, masses de revêtement et finitions des produits en acier		x	<input type="checkbox"/>
Exigences complémentaires relatives à des restrictions particulières concernant les imperfections de surface ou la réparation des défauts superficiels par meulage conformément aux différentes parties de la NF EN 10163, ou aux EN 10088-4 et EN 10088-5 pour l'acier inoxydable. Exigences relatives aux états de surface pour les autres produits		x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives aux points suivants : - essais sur produits constitutifs ; - caractéristiques de déformation améliorées dans le sens perpendiculaire à la surface ; - conditions techniques particulières de livraison des aciers inoxydables ; - conditions de traitement.		x	<input type="checkbox"/>
Nuances, symboles additionnels et états de surface des aciers moulés		<input type="checkbox"/>	x
Classes de qualité des vis et écrous, et revêtement pour les boulons de construction destinés à des applications non précontraintes Conditions techniques de livraison pour certains boulons Détails complets pour l'utilisation de kits d'isolation		x	<input type="checkbox"/>
Classes de qualité des vis et écrous, et revêtement pour les boulons de construction aptes à la précontrainte		x	<input type="checkbox"/>
Composition chimique des boulons à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique		<input type="checkbox"/>	x
Nuance des aciers d'armature		x	<input type="checkbox"/>
Dimensions des cales obliques		<input type="checkbox"/>	x
Spécification pour les rivets à chaud		<input type="checkbox"/>	x
Fixations particulières non normalisées dans des normes CEN ou ISO, ainsi que tous les essais nécessaires		<input type="checkbox"/>	x
Matériaux de scellement à utiliser		x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au type et aux caractéristiques des joints de dilatation		x	<input type="checkbox"/>
Valeur de résistance à la traction et classe de revêtement des fils Désignation et classe des torons Charge minimale de rupture et diamètre des câbles en acier et exigences relatives à la protection contre la corrosion		<input type="checkbox"/>	x
ARTICLE 6 – PRÉPARATION ET ASSEMBLAGE			
Zones dans lesquelles la méthode de marquage n'affecte pas la durée de vie à la fatigue Zones dans lesquelles les marques d'identification ne sont pas autorisées ou ne doivent pas être visibles une fois l'exécution terminée		<input type="checkbox"/>	x
Propriétés exigées après formage à chaud ou à froid		x	<input type="checkbox"/>
Position de mesure de la température et des échantillons d'essai de la zone chauffée		x	<input type="checkbox"/>
Dimensions particulières pour les joints de mouvement Diamètre nominal du trou pour les rivets à chaud Dimensions de la fraisure		x	<input type="checkbox"/>
Exigences particulières relatives aux assemblages des éléments provisoires, y compris celles liées à la fatigue		x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à la nécessité de réaliser un montage à blanc et à son étendue		x	<input type="checkbox"/>

ARTICLE 7 – SOUDAGE		
Zones de départ et d'arrêt et méthodes à utiliser pour le soudage d'assemblages de profils creux	x	<input type="checkbox"/>
Zones où le soudage de fixations provisoires n'est pas autorisé Restrictions à l'utilisation de fixations provisoires pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4	<input type="checkbox"/>	x
Emplacement des soudures bout à bout destinées à adapter par raboutage des longueurs disponibles de produits constitutifs	x	<input type="checkbox"/>
Dimensions des trous destinés aux soudures en entaille et aux soudures bouchon	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à d'autres types de soudures	x	<input type="checkbox"/>
Si un contrôle visuel des amorçages d'arc doit être complété par un essai par ressuage ou par magnétoscopie dans le cas d'aciers de nuance \leq S460, Exigences relatives au meulage et à l'arasage de la surface des soudures finies	x	<input type="checkbox"/>
Qualité des soudures identifiées pour la classe d'exécution EXC4	<input type="checkbox"/>	x
Critères d'acceptation en termes de catégorie de détails pour les emplacements d'assemblages soudés soumis à la fatigue Application des exigences d'exécution données dans les Tableaux 8.1 à 8.8 de la NF EN 1993-1-9: 2005 Application des exigences d'exécution données dans l'Annexe C de la NF EN 1993-2: 2006	<input type="checkbox"/>	x
Exigences relatives au soudage de différents types d'aciers inoxydables entre eux ou à d'autres aciers, comme, par exemple, les aciers au carbone	x	<input type="checkbox"/>
ARTICLE 8 – FIXATIONS MÉCANIQUES		
Dimensions des vis dans un assemblage utilisant la capacité de résistance au cisaillement de la partie lisse des vis	x	<input type="checkbox"/>
Si les rondelles, lorsqu'elles sont requises, doivent être placées sous l'écrou ou sous la tête de vis, selon l'élément qui tourne au serrage, ou sous les deux Dimensions et nuance d'acier des plaquettes additionnelles	x	<input type="checkbox"/>
Exigences concernant les surfaces de contact dans les assemblages résistant au glissement pour les aciers inoxydables Aire et classe requises pour les surfaces de contact dans les assemblages précontraints	x	<input type="checkbox"/>
Exigences et tous essais requis pour l'utilisation de fixations particulières et de méthodes de fixation particulières Exigences relatives à l'utilisation de boulons injectés de résine	x	<input type="checkbox"/>
ARTICLE 9 – MONTAGE		
Contre-flèches et prééglages requis par rapport aux valeurs réalisées lors de la fabrication	x	<input type="checkbox"/>
Température de référence pour l'implantation et les mesures de la structure en acier	x	<input type="checkbox"/>
Méthode de jointolement des bords d'une plaque d'appui si aucun remplissage n'est nécessaire	x	<input type="checkbox"/>
ARTICLE 10 – TRAITEMENT DES SURFACES		
Exigences pour tenir compte de l'application d'un système de revêtement particulier	<input type="checkbox"/>	x
Si nécessaire, modes opératoires permettant de garantir un aspect visuel acceptable, après vieillissement, de la surface des aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique non revêtus Exigences relatives au traitement de surface en cas de contact entre aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique et autres aciers	<input type="checkbox"/>	x
Système de traitement interne, si les espaces clos doivent être obturés par soudage ou s'ils doivent recevoir un traitement de protection interne	<input type="checkbox"/>	x
Méthode pour assurer l'étanchéité des parois d'espaces clos étanches pénétrées par des fixations	<input type="checkbox"/>	x
Méthodes et étendue des réparations de produits constitutifs préalablement revêtus, après coupage ou soudage	x	<input type="checkbox"/>
Méthode, niveau et ampleur du nettoyage des aciers inoxydables	x	<input type="checkbox"/>

ARTICLE 11 – TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES		
Informations complémentaires liées aux tolérances particulières si ces tolérances sont spécifiées	x	<input type="checkbox"/>
Tolérances particulières pour les coques sur appuis continus	x	<input type="checkbox"/>
Classe de tolérance applicable à chaque élément ou parties d'une structure	x	<input type="checkbox"/>
ARTICLE 12 – CONTRÔLE, ESSAIS ET RÉPARATIONS		
Emplacement et fréquence des mesures du programme de contrôles et d'essais	x	<input type="checkbox"/>
Étendue des END supplémentaires pour chaque soudure EXC4 identifiée	<input type="checkbox"/>	x
En classe d'exécution EXC4, assemblages spécifiques à contrôler et étendue des essais	<input type="checkbox"/>	x
Exigences concernant la vérification de l'installation d'un système d'isolement	<input type="checkbox"/>	x
Exigences relatives aux contrôles et aux essais des boulons précontraints utilisés pour des assemblages en acier inoxydable	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au contrôle d'assemblages utilisant des fixations particulières ou des méthodes de fixation particulières	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au contrôle du montage à blanc	x	<input type="checkbox"/>
ANNEXE C – LISTE DE CONTRÔLE DU CONTENU D'UN PLAN QUALITÉ		
Exigences pour la tenue à disposition des documents enregistrés pendant plus de dix ans	x	<input type="checkbox"/>
ANNEXE F – PROTECTION CONTRE LA CORROSION		
Spécification de performance relative à la protection contre la corrosion	x	<input type="checkbox"/>
Exigences prescriptives relatives à la protection contre la corrosion	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives aux surfaces de frottement et classe de traitement ou essais requis	x	<input type="checkbox"/>
Étendue des surfaces concernées par les boulons précontraints dans les assemblages ne résistant pas par frottement	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à la qualification du mode opératoire du procédé de galvanisation si une galvanisation à chaud d'éléments formés à froid après fabrication est spécifiée	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au contrôle, à la vérification ou à la qualification de la préparation à effectuer sur des éléments galvanisés à chaud, préalablement à un recouvrement de peinture ultérieur,	x	<input type="checkbox"/>
Surfaces de référence pour les systèmes de protection contre la corrosion dans les catégories de corrosivité C3 à C5 et Im1 à Im3	<input type="checkbox"/>	x
Eléments qui ne nécessitent pas de contrôle après galvanisation	x	<input type="checkbox"/>
Eléments ou emplacements spécifiques qui doivent être soumis à un END complémentaire ainsi que l'étendue et la méthode à utiliser	x	<input type="checkbox"/>

Principes et modalités d'organisation du contrôle

ETAPE	TYPE DE CONTRÔLE	VALEUR CIBLE	FRÉQUENCE	RESPONSABLE DE L'OPÉRATION	NOM DU RESPONSABLE	DOCUMENT DE CONTRÔLE
Etudes	Conformité du cahier des charges d'exécution	NF EN 1090-2 Annexe A1	Au début du projet	Chargé d'affaire	M. A.	Checklist – Vérification de la conformité du cahier des charges aux exigences de la NF EN 1090-2
	Visa sur les notes de calcul d'exécution	Voir cahier des charges	Après chaque mise à jour	Responsable BE	Mme. E.	NA (Visa du responsable sur le cartouche du document)
	Visa sur les plans d'exécution	Voir cahier des charges	Après chaque mise à jour	Responsable BE	Mme. E.	NA (Visa du responsable sur le cartouche du document)
Approvisionnement	Conformité des approvisionnements à la commande	Commande	A chaque livraison	Responsable achats	Mme. F	Document de contrôle de la conformité des produits livrés

Fabrication	Conformité de la soudure	DMOS	Voir DMOS	Soudeur	M. J	Document de contrôle de la conformité de la soudure au DMOS
	Conformité du coupage	Dessin de débit	Voir cahier des charges	Opérateur	M. I	Document de contrôle de l'opération de coupage
	Conformité du perçage	Dessin de débit	Voir cahier des charges	Opérateur	M. I	Document de contrôle de l'opération de perçage
	Conformité de l'assemblage	Dessin d'assemblage	Voir cahier des charges	Soudeur	M. J	Document de contrôle de l'opération d'assemblage
	Dimensions de l'élément	Dessin de débit et d'assemblage	Voir cahier des charges	Chef d'atelier	M. G	Document de contrôle dimensionnel
	Conformité du traitement de surface	Voir cahier des charges	Voir cahier des charges	Opérateur	Mme. K	Document de contrôle du traitement de surface
Expédition	Conformité du bon de livraison	Plans d'exécution	A chaque livraison	Chargé d'affaire	M. A.	NA (Visa du responsable sur le bon de livraison)
Montage	Réception du site de montage	Voir cahier des charges	Au début du projet	Conducteur de travaux	M.S	Check-list de réception du site de montage
	Réception des éléments constitutifs de la structure en acier	Bon de livraison	A chaque livraison	Chef de chantier	M. N	Check-list de réception des éléments sur site
	Réalisation sur site d'assemblages soudés	Plans d'exécution	A chaque livraison	Chef de chantier	M. N	Check-list d'exécution d'assemblages soudés
	Réalisation sur site d'assemblages boulonnés non précontraints	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de mise en œuvre de boulons non précontraints
	Réalisation sur site d'assemblages boulonnés précontraints	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de mise en œuvre de boulons précontraints
	Vérification du respect des tolérances de montage	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de vérification du respect des tolérances de montage
Réception des ouvrages	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s	Voir cahier des charges	Après l'opération	Responsable BE	Mme. E.	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s
	Certificat de réception	Voir cahier des charges	Après l'opération	Conducteur de travaux	M. S	Certificat de réception

11.2.2.3 DOSSIER QUALITÉ DU CONSTRUCTEUR

Le dossier qualité est spécifique à l'entreprise. Il peut être commun à toutes les classes d'exécution.

Ce dossier devra, a minima, préciser l'organigramme de l'entreprise, le processus de fabrication, les procédures d'entretien et d'étalonnage des machines, les procédures de contrôle ainsi que les documents utilisés.

11.2.2.4 DOSSIER D'EXÉCUTION SPÉCIFIQUE AU PROJET

Le dossier d'exécution contient tous les enregistrements des contrôles et vérifications réalisés au cours de l'exécution.

11.3 Organisation du contrôle et de la traçabilité

11.3.1 Contrôle et traçabilité à l'étape de l'approvisionnement

11.3.1.1 CONTRÔLE DE L'APPROVISIONNEMENT EN PRODUITS DE BASE

Exemple de bon de commande

Société XXXX			Bon de commande		
Adresse ...			Date commande ...		
Téléphone ...			N° Bon de commande ...		
Email ...			N° Affaire ...		
SIRET ...					
Caractéristiques Techniques :					
<ul style="list-style-type: none"> • Profilés IPE suivant EN 10025-1 et 2 • Etat de surface : Classe C1 suivant EN 10163-3 • Autres caractéristiques : N/A 					
Aciers conforme au Règlement des Produits de la Construction avec marquage CE obligatoire et certificat de conformité CE à nous transmettre.					
Options :					
<ul style="list-style-type: none"> • N/A 					
Date limite de livraison			XX/XX/XXXX		
Lieu de livraison			XXXX		
Conditions de règlement			XXXX		
Désignation	Quantité	Longueur	Poids	Prix unitaire	Prix total
IPE 240 S355	X	X	X	X	X
Contrôles :					
Conformité du document de contrôle avec le bon de commande				Visa du fournisseur :	
Conformité de la livraison avec le bon de commande				Visa du responsable des achats :	

Documents accompagnant les produits de base à réception

- Un document de contrôle conforme à la norme NF EN 10168 est établi par le fournisseur. Dans ce document, le fournisseur indique que les produits livrés sont conformes aux caractéristiques indiquées dans le bon de commande. Ce document récapitule également les essais et résultats d'essais relatifs aux produits livrés.
- Les produits relevant d'une norme harmonisée sont accompagnés d'un marquage CE.

11.3.1.2 MARQUAGE DES PRODUITS DE BASE

La norme NF EN 1090-2 n'impose pas de prescriptions concernant la traçabilité en EXC1. Cependant, dans le cas de notre projet, deux classes d'exécution (EXC1 et EXC2) sont applicables. Il est donc nécessaire d'assurer la traçabilité des produits, de leur approvisionnement jusqu'à leur incorporation dans l'assemblage.

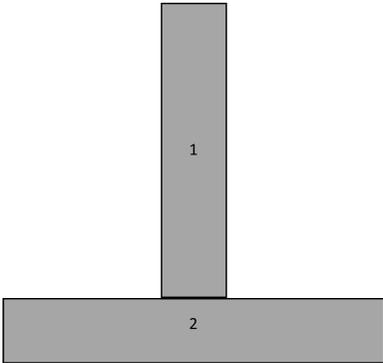
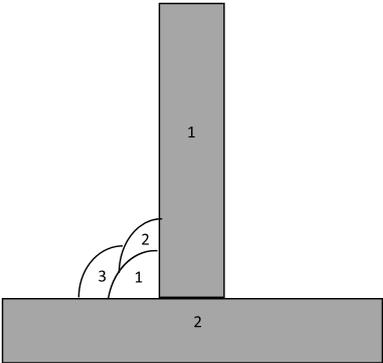
A livraison, les produits de base sont marqués individuellement, avec leur désignation, la référence du fournisseur et, le cas échéant, le marquage CE.

11.3.2 Contrôle et traçabilité à l'étape de la fabrication

11.3.2.1 CONTRÔLE DE SOUDAGE

Les cornières sont soudées aux arbalétriers des fermes en vue de l'assemblage sur chantier avec les pannes. Cette soudure est réalisée à l'aide de deux cordons de soudure situés aux deux extrémités de l'aile de la cornière en contact avec l'arbalétrier. L'exemple ci-dessous se rapporte au cordon de soudure situé en angle.

Descriptif du mode opératoire de soudage (exemple)

DMOS				RÉFÉRENCE :	
Métal de base 1		Métal de base 2		N° du procédé :	
Nuance :		Nuance :		Épaisseur de métal déposé	
Norme :		Norme :			
Épaisseur :		Épaisseur :		Support :	Oui/Non
Type d'assemblage :				Repère de la soudure :	
Schéma de l'assemblage					
Préparation de l'assemblage			Aspect des couches de soudure		
					
N° des passes		1	2	3	
Position de soudage					
Métal d'apport	Groupe				
	Désignation normalisée / désignation commerciale				
	Type				
	Marque				
	Diamètre (mm) et polarité				
Protection gazeuse ou flux	Désignation normalisée / désignation commerciale				
	Type de matériel				
	Nombre de fils				
Réglage du poste de soudure	Type de courant+polarité				
	Intensité I (ampères)				
	Tension U (Volts)				
	Vitesse de fil (cm/min) ± 10%				
	Vitesse d'avance V(cm/min) ± 10%				
Apport de chaleur Q (kJ/mm)					
Température de préchauffage (°C) mini					
Température entre passes (°C) mini/maxi					
Nettoyage entre passes					
Gougeage					
Post chauffage : durée et température					

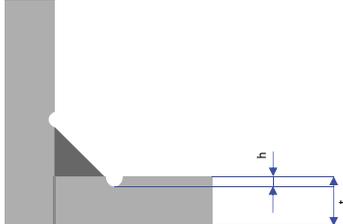
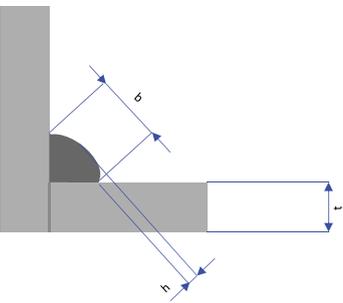
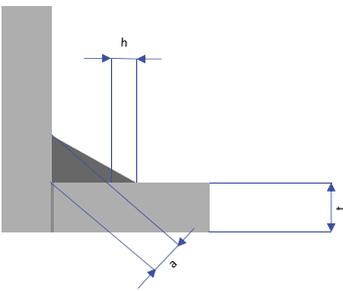
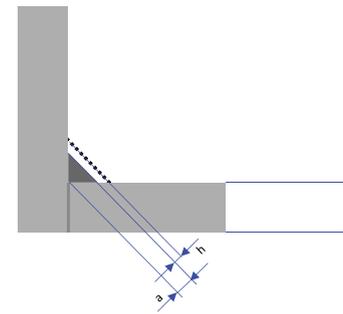
Qualification du mode opératoire de soudage (exemple)

En EXC2, les DMOS utilisés doivent suivre un processus de qualification, formalisé par l'obtention d'un procès-verbal de qualification du mode opératoire de soudage (PV-QMOS) délivré par un organisme habilité.

[Nom de l'organisme habilité]	
PV de Qualification de Mode Opératoire de Soudage	
N°XXXXX	
Fabricant :	
Lieu du soudage :	
Date de soudage :	
DMOS-P :	
Norme de référence :	
Réalisé par :	
Réalisé en présence de :	
<i>[Nom de l'organisme habilité] certifie que les assemblages de qualification ont été préparés, soudés et contrôlés de façon satisfaisante, conformément aux exigences des documents référencés ci-dessus.</i>	
PV établi le XX/XX/XXXX	
[Nom de l'organisme habilité]	[Nom du fabricant]
Représenté par :	Représenté par :
XXXX	YYYY
Signature :	Signature :

Contrôle de soudage (exemple)

Un exemple de fiche de contrôle de soudage est représenté ci-dessous. On rappelle qu'en classe EXC1, les contrôles visuels sont suffisants. Cependant, en classe EXC2 (ce qui est le cas pour l'assemblage ci-dessus), il faut également prévoir des Contrôles Non Destructifs (CND).

FICHE DE CONTRÔLE DE SOUDAGE					
1 – Contrôles visuels					
Défauts (NF EN ISO 5817)			Critères limites	Valeur de contrôle	OK ?
100	Fissures		Non autorisé		
104	Fissures de cratère		Non autorisé		
2017	Piqûres/trous		Non autorisé		
401	Collage		Non autorisé		
601	Coup d'arc ou amorçage accidentel		Non autorisé		
5011	Caniveau continu		$h \leq 0,2t$ et $h \leq 1$ mm		
5012	Morsure, caniveau discontinu				
503	Convexité excessive		$h \leq (1 + 0,25b)$ et $h \leq 5$ mm		
512	Défaut de symétrie		$h \leq (2 + 0,2a)$		
5213	Gorge insuffisante		$h \leq (0,3 + 0,1a)$ et $h \leq 2$ mm		
2 – Contrôles non destructifs (CND)					
Moyen	% Contrôlé	Localisation	Référence	Valeur de contrôle	OK ?
Ressuage					
Radio					
Ultrasons					
Magnéto					
Fiche remplie par :			Date :		

11.3.2.2 CONTRÔLE DU COUPAGE

Les pannes de la charpente sont constituées de profilés en I qui doivent être découpé pour se conformer aux dessins de débit. La découpe est réalisée à l'aide d'une machine de découpe plasma dans l'atelier.

Validation du procédé de coupage (Exemple)

La norme NF EN 1090-2 précise que les procédés de coupage doivent être validés avant coupage pour chaque lot de pièces. Pour des raisons de traçabilité, cette validation est documentée.

Fiche de validation du procédé de découpe						
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE			
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY			
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx			
Paramètres de réglage :		Valeur :		Ecart maximal :		
Pression oxygène de chauffage						
Pression de gaz de carburant						
Pression d'oxygène de coupe						
Vitesse de coupe						
Hauteur de coupe :						
Température de préchauffage :						
Instruments de mesure :		Référence :		Date étalonnage :		
Classe d'exécution visée	Exigence	Critère (a=épaisseur de coupe)	Echantillon 1 : coupe droite dans le produit constitutif de plus forte épaisseur	Echantillon 2 : coupe droite dans le produit constitutif de plus faible épaisseur	Echantillon 3 : Angle vif dans une épaisseur représentative	Echantillon 4 : Arc de cercle dans une épaisseur représentative
EXC2	Perpendicularité/ Angularité	$1.2 + 0.035a$	✓	✓	✓	✓
EXC2	Hauteur moyenne Rz5	$0.8 + 0.02a$	✓	✓	✓	✓

Contrôle de routine de la découpe (Exemple)

Fiche de contrôle de la découpe			
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx
N° Fiche de validation correspondante :			
Paramètres de réglage :		Valeur :	Ecart < écart maximal ?
Pression oxygène de chauffage			
Pression de gaz de carburant			
Pression d'oxygène de coupe			
Vitesse de coupe			
Hauteur de coupe :			
Température de préchauffage :			
Instruments de mesure :		Référence :	Date étalonnage :
Classe d'exécution visée	Critère	Ecart autorisé (Par défaut : Classe 1)	Valeur mesurée :
EXC2	Longueur de l'élément	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
EXC2	Equerrage des extrémités	$\Delta = \pm D/1000$	
EXC2	Grugeages	Profondeur d : $0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$	
		Longueur L $0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$	
EXC2	Équerrage des chants de coupe	Ecart Δ d'un chant de coupe par rapport à 90° : $\Delta = \pm 0.1t$	

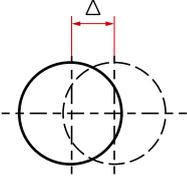
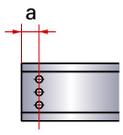
11.3.2.3 CONTRÔLE DE PERÇAGE

Les pannes de la charpente doivent être pré-perçées en vue de leur assemblage avec les cornières. Le perçage est réalisé à l'aide d'une machine de perçage par jet de plasma dans l'atelier.

Validation du procédé de perçage (Exemple)

Fiche de validation du procédé de perçage												
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE									
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY									
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx									
Paramètres de réglage :		Valeur :	Ecart maximal :									
Pression oxygène de chauffage												
Pression de gaz de carburant												
Pression d'oxygène de coupe												
Vitesse de coupe												
Hauteur de coupe :												
Température de préchauffage :												
Instruments de mesure :		Référence :	Date étalonnage :									
Classe d'exécution visée	Caractéristique dimensionnelle	Critère d_{min} = diamètre à l'entrée du trou d_{max} = diamètre à la sortie du trou	Tolérances	Echantillons : Les 8 échantillons doivent couvrir l'intégralité de la gamme des diamètres de trous, des épaisseurs de produits constitutifs et des nuances d'acier traités								
				1	2	3	4	5	6	7	8	
EXC2	Diamètre moyen du trou	$D = (d_{max} + d_{min})/2$	$D = D_{nominal} \pm 0.5 \text{ mm}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EXC2	Angle de dépouille	α	$A < 4^\circ (7 \%)$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EXC2	Bavures	Δ_1 et Δ_2	$\text{Max} (\Delta_1 \text{ ou } \Delta_2) \leq D/10$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Contrôle de routine du perçage (Exemple)

Fiche de contrôle du perçage				
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE	
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY	
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx	
N° Fiche de validation correspondante :				
Paramètres de réglage :		Valeur :	Ecart < écart maximal ?	
Pression oxygène de chauffage				
Pression de gaz de carburant				
Pression d'oxygène de coupe				
Vitesse de coupe				
Hauteur de coupe :				
Température de préchauffage :				
Instruments de mesure :		Référence :	Date étalonnage :	
Classe d'exécution visée	Dimension	Critère	Ecart autorisé (Par défaut : Classe 1)	Valeur mesurée :
EXC2	Position des trous pour fixations		$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	
EXC2	Position des trous pour fixations		$0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$	

11.3.3 Traçabilité à l'étape de l'expédition

Les assemblages/éléments sont identifiés individuellement par une marque poinçonnée conforme à la référence du dessin d'assemblage/de débit. Les éléments d'assemblage standardisés sont livrés avec leurs emballages et accompagnés des consignes de mise en œuvre et de serrage correspondant.

11.3.4 Contrôle à l'étape du montage

Les documents de contrôle relatifs à l'étape du montage sont détaillés dans l'ouvrage de la FFB intitulé « **Guide d'application de la norme NF EN 1090-2 à l'usage des entreprises de montage-levage** », édition de Janvier 2018 téléchargeable sur le lien suivant : http://adherent.montage-levage.org/files/union_du_montage_levage_adherents/Guide-FFB-montage-levage-version-VF-2.pdf.

12

CAS-TYPE D'OUVRAGE EXC3 ET 4 : CENTRE DE COMMANDEMENT POMPIER AVEC DEUX HANGARS POUR VÉHICULES DE POMPIERS



12.1 Contexte

12.1.1 Finalité du cas-type

L'objectif de ce cas-type est de donner un exemple d'application de la norme NF EN 1090-2 à un ouvrage de classe d'exécution EXC3/EXC4.

Dans une première partie sont rappelées les grandes lignes de l'organisation documentaire nécessaires pour répondre à un tel projet dans le respect des prescriptions de la norme NF EN 1090-2.

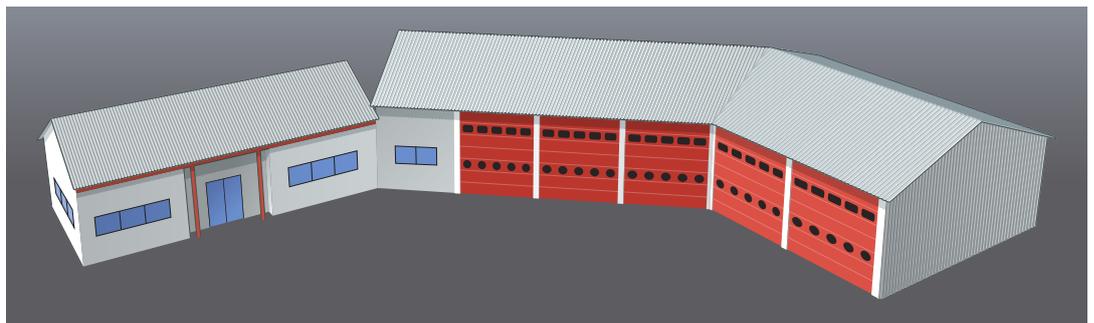
La seconde partie se concentrera sur des exemples représentatifs de fiches de contrôle réalisées pour chaque étape de l'exécution de la charpente ; de l'approvisionnement jusqu'au montage.

12.1.2 Présentation du projet

Le projet en question est un centre de commandement pompier avec deux hangars pour véhicules de pompiers à simple rez-de-chaussée. La couverture et le bardage sont réalisés en bac aciers. La hauteur sous couverture est de 5 m.

Le centre de commandement fait une longueur de 20 m pour une largeur de 4 m. Le premier hangar a pour longueur 22 m et pour largeur 5 m. Le second hangar a pour longueur 7 m et pour largeur 5 m.

Figure 7 – Centre de commandement et hangars Pompiers



12.2 Organisation du projet

12.2.1 Cahier des charges d'exécution

Le cahier des charges d'exécution comporte toutes les informations nécessaires concernant l'exécution des travaux, les degrés de préparation des surfaces en vue d'une protection contre la corrosion, les classes de tolérances géométriques et les exigences techniques concernant la sécurité des travaux et, bien sûr, les classes d'exécution de l'ouvrage (Il est recommandé de se référer au **Guide de recommandation du choix de la classe d'exécution BNCM/CNC2M** pour plus d'information).

Tableau 2 Choix de la classe d'exécution

OUVRAGE DE CATÉGORIE DE SERVICE : SC2*	ELÉMENTS NON SOUDÉS PC1	ELÉMENTS SOUDÉS PC2
Famille A – Eléments secondaires ne participant pas à la stabilité générale (ex : montants de bardage) CC1	EXC2	EXC2
Famille C – Eléments de plancher (ex : solives) CC2	EXC3	EXC3
Famille E – Eléments courants de structure principale (ex : poutres et poteaux de portiques) CC3	EXC3	EXC4

Ce hangar pour pompier est indispensable à la sécurité civile (Catégorie d'importance IV au sens de l'arrête du 22 octobre 2010 modifié), il lui est donc attribué une classe de conséquence CC03.
* Le hangar est situé en zone de sismicité 5 ; il lui a donc été attribué une catégorie de service SC2.

12.2.2 Plan qualité

Dans la mesure où ce projet comporte des éléments de classe d'exécution supérieures à EXC1, la norme NF EN 1090-2 impose à l'entreprise de réaliser un plan qualité, lequel comporte trois volets : un document d'organisation générale spécifique au projet, le dossier qualité de l'entreprise et le dossier d'exécution du chantier.

12.2.2.1 DOCUMENT D'ORGANISATION GÉNÉRALE

Le document d'organisation générale est spécifique au projet et a pour objectif de passer en revue les exigences du cahier des charges et à mettre en avant les ressources mobilisées par l'entreprise pour y répondre.

12.2.2.2 ORGANISATION DE L'ÉQUIPE PROJET

ORGANISATION DE L'ÉQUIPE PROJET				
Nom du projet	Parking aérien		Date :	XX/XX/XXXX
Étapes	Opérations	Responsable de l'opération	Nom du responsable	Vérification
Etudes	Recueil des données de base	Chargé d'affaire	M. A.	Chargé d'affaire M.A
	Calculs et justification	Calculateur	M. B	
	Plans d'exécution	Dessinateur	M. C.	
	Relevés sur site	Chef de chantier	M. D	
	Validation externe	Responsable BE	Mme. E.	
	Nomenclature d'achat	Dessinateur	M. C.	
	Dessins de débit*	Dessinateur	M. C.	
	Plans de montage	Dessinateur	M. C.	
Approvisionnement	Achat	Responsable achats	Mme. F	Responsable achats Mme. F
	Réception des certificats matière	Responsable achats	Mme. F	
	Contrôle des approvisionnements	Chef d'atelier	M. G	
	Gestion des stocks	Chef d'atelier	M. G	
	Choix des fournisseurs	Responsable achats	Mme. F	
	Choix des sous-traitants	Responsable BE	Mme. E.	
Fabrication	Définition des modes opératoires	Responsable fabrication	Mme. H	Chef d'atelier M. G
	Validation des modes opératoires	Chef d'atelier	M. G	
	Gestion des qualifications des soudeurs	Chef d'atelier	M. G	
	Entretien/Maintenance du matériel	Chef d'atelier	M. G	
	Ordre de fabrication	Chargé d'affaire	M. A.	
	Lancement de fabrication	Chef d'atelier	M. G	
	Coupage	Opérateur	M. I	
	Perçage	Opérateur	M. I	
	Assemblage	Soudeur	M. J	
	Soudage	Soudeur	M. J	
	Contrôles dimensionnels	Chef d'atelier	M. G	
	Contrôles soudage	Soudeur	M. J	
	Traitement de surfaces	Opérateur	Mme. K	
Expédition	Colisage	Opérateur	M. L	Chargé d'affaire M.A
	Stockage	Chef d'atelier	M. G	
	Chargement	Chef d'atelier	M. G	
	Livraison	Transporteur	Mme. M	
Montage	Réception des pièces sur chantier / contrôle de la livraison	Chef de chantier	M. N	Conducteur de travaux M.S
	Stockage sur chantier	Chef de chantier	M. N	
	Réception des plans de montage	Chef de chantier	M. N	
	Montage	Monteur	M. O	
		Monteur	M. P	
		Monteur	M. Q	
		Monteur	M. R	
	Gestion des équipements de sécurité	Chef de chantier	M. N	
Entretien du matériel	Chef de chantier	M. N		
Contrôles de montage / Vérification des tolérances de pose	Chef de chantier	M. N		
Réception des ouvrages	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s	Responsable BE	Mme. E.	Chargé d'affaire M.A
	Certificat de réception	Conducteur de travaux	M. S	

* Les dessins de débit comportent le numéro de référence de la pièce ou de la série de pièces concernées ainsi que les tolérances à vérifier.

Revue des exigences du cahier des charges

CHECKLIST – VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ DU CAHIER DES CHARGES AUX EXIGENCES DE LA NORME NF EN 1090-2			
Visa du Chargé d'affaire	M. A	Date d'établissement de la check-list	XX/XX/XXXX
Item	OUI	NON APPLICABLE	
Article 4.2 – Dossier du constructeur			
Points d'arrêt ou exigences concernant les contrôles ou essais tierce partie, et toutes les exigences d'accès correspondantes	x	<input type="checkbox"/>	
Article 5 – Produits constitutifs			
Propriétés des produits constitutifs non couverts par les normes répertoriées	<input type="checkbox"/>	x	
Nuances, qualités et, si nécessaire, masses de revêtement et finitions des produits en acier	x	<input type="checkbox"/>	
Exigences complémentaires relatives à des restrictions particulières concernant les imperfections de surface ou la réparation des défauts superficiels par meulage conformément aux différentes parties de la NF EN 10163, ou aux EN 10088-4 et EN 10088-5 pour l'acier inoxydable. Exigences relatives aux états de surface pour les autres produits	x	<input type="checkbox"/>	
Exigences relatives aux points suivants : - essais sur produits constitutifs ; - caractéristiques de déformation améliorées dans le sens perpendiculaire à la surface ; - conditions techniques particulières de livraison des aciers inoxydables ; - conditions de traitement.	x	<input type="checkbox"/>	
Nuances, symboles additionnels et états de surface des aciers moulés	<input type="checkbox"/>	x	
Classes de qualité des vis et écrous, et revêtement pour les boulons de construction destinés à des applications non précontraintes Conditions techniques de livraison pour certains boulons Détails complets pour l'utilisation de kits d'isolation	x	<input type="checkbox"/>	
Classes de qualité des vis et écrous, et revêtement pour les boulons de construction aptes à la précontrainte	x	<input type="checkbox"/>	
Composition chimique des boulons à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique	<input type="checkbox"/>	x	
Nuance des aciers d'armature	x	<input type="checkbox"/>	
Dimensions des cales obliques	<input type="checkbox"/>	x	
Spécification pour les rivets à chaud	<input type="checkbox"/>	x	
Fixations particulières non normalisées dans des normes CEN ou ISO, ainsi que tous les essais nécessaires	<input type="checkbox"/>	x	
Matériaux de scellement à utiliser	x	<input type="checkbox"/>	
Exigences relatives au type et aux caractéristiques des joints de dilatation	x	<input type="checkbox"/>	
Valeur de résistance à la traction et classe de revêtement des fils Désignation et classe des torons Charge minimale de rupture et diamètre des câbles en acier et exigences relatives à la protection contre la corrosion	<input type="checkbox"/>	x	
Article 6 – Préparation et assemblage			
Zones dans lesquelles la méthode de marquage n'affecte pas la durée de vie à la fatigue Zones dans lesquelles les marques d'identification ne sont pas autorisées ou ne doivent pas être visibles une fois l'exécution terminée	<input type="checkbox"/>	x	
Propriétés exigées après formage à chaud ou à froid	x	<input type="checkbox"/>	
Position de mesure de la température et des échantillons d'essai de la zone chauffée	x	<input type="checkbox"/>	
Dimensions particulières pour les joints de mouvement Diamètre nominal du trou pour les rivets à chaud Dimensions de la fraisure	x	<input type="checkbox"/>	
Exigences particulières relatives aux assemblages des éléments provisoires, y compris celles liées à la fatigue	x	<input type="checkbox"/>	
Exigences relatives à la nécessité de réaliser un montage à blanc et à son étendue	x	<input type="checkbox"/>	

Article 7 – Soudage		
Zones de départ et d'arrêt et méthodes à utiliser pour le soudage d'assemblages de profils creux	x	<input type="checkbox"/>
Zones où le soudage de fixations provisoires n'est pas autorisé	x	<input type="checkbox"/>
Restrictions à l'utilisation de fixations provisoires pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4		
Emplacement des soudures bout à bout destinées à adapter par rabotage des longueurs disponibles de produits constitutifs	x	<input type="checkbox"/>
Dimensions des trous destinés aux soudures en entaille et aux soudures bouchon	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à d'autres types de soudures	x	<input type="checkbox"/>
Si un contrôle visuel des amorçages d'arc doit être complété par un essai par ressuage ou par magnétoscopie dans le cas d'aciers de nuance $\leq S460$, Exigences relatives au meulage et à l'arasage de la surface des soudures finies	x	<input type="checkbox"/>
Qualité des soudures identifiées pour la classe d'exécution EXC4	<input type="checkbox"/>	x
Critères d'acceptation en termes de catégorie de détails pour les emplacements d'assemblages soudés soumis à la fatigue		
Application des exigences d'exécution données dans les Tableaux 8.1 à 8.8 de la NF EN 1993-1-9: 2005	<input type="checkbox"/>	x
Application des exigences d'exécution données dans l'Annexe C de la NF EN 1993-2: 2006		
Exigences relatives au soudage de différents types d'aciers inoxydables entre eux ou à d'autres aciers, comme, par exemple, les aciers au carbone	x	<input type="checkbox"/>
Article 8 – Fixations mécaniques		
Dimensions des vis dans un assemblage utilisant la capacité de résistance au cisaillement de la partie lisse des vis	x	<input type="checkbox"/>
Si les rondelles, lorsqu'elles sont requises, doivent être placées sous l'écrou ou sous la tête de vis, selon l'élément qui tourne au serrage, ou sous les deux	x	<input type="checkbox"/>
Dimensions et nuance d'acier des plaquettes additionnelles		
Exigences concernant les surfaces de contact dans les assemblages résistant au glissement pour les aciers inoxydables	x	<input type="checkbox"/>
Aire et classe requises pour les surfaces de contact dans les assemblages précontraints		
Exigences et tous essais requis pour l'utilisation de fixations particulières et de méthodes de fixation particulières	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à l'utilisation de boulons injectés de résine		
Article 9 – Montage		
Contre-flèches et prééclages requis par rapport aux valeurs réalisées lors de la fabrication	x	<input type="checkbox"/>
Température de référence pour l'implantation et les mesures de la structure en acier	x	<input type="checkbox"/>
Méthode de jointolement des bords d'une plaque d'appui si aucun remplissage n'est nécessaire	x	<input type="checkbox"/>
Article 10 – Traitement des surfaces		
Exigences pour tenir compte de l'application d'un système de revêtement particulier	<input type="checkbox"/>	x
Si nécessaire, modes opératoires permettant de garantir un aspect visuel acceptable, après vieillissement, de la surface des aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique non revêtus	<input type="checkbox"/>	x
Exigences relatives au traitement de surface en cas de contact entre aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique et autres aciers		
Système de traitement interne, si les espaces clos doivent être obturés par soudage ou s'ils doivent recevoir un traitement de protection interne	<input type="checkbox"/>	x
Méthode pour assurer l'étanchéité des parois d'espaces clos étanches pénétrées par des fixations	<input type="checkbox"/>	x
Méthodes et étendue des réparations de produits constitutifs préalablement revêtus, après coupage ou soudage	x	<input type="checkbox"/>
Méthode, niveau et ampleur du nettoyage des aciers inoxydables	x	<input type="checkbox"/>
Article 11 – Tolérances géométriques		
Informations complémentaires liées aux tolérances particulières si ces tolérances sont spécifiées	x	<input type="checkbox"/>
Tolérances particulières pour les coques sur appuis continus	x	<input type="checkbox"/>
Classe de tolérance applicable à chaque élément ou parties d'une structure	x	<input type="checkbox"/>

Article 12 – Contrôle, essais et réparations		
Emplacement et fréquence des mesures du programme de contrôles et d'essais	x	<input type="checkbox"/>
Étendue des END supplémentaires pour chaque soudure EXC4 identifiée	<input type="checkbox"/>	x
En classe d'exécution EXC4, assemblages spécifiques à contrôler et étendue des essais	x	<input type="checkbox"/>
Exigences concernant la vérification de l'installation d'un système d'isolement	<input type="checkbox"/>	x
Exigences relatives aux contrôles et aux essais des boulons précontraints utilisés pour des assemblages en acier inoxydable	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au contrôle d'assemblages utilisant des fixations particulières ou des méthodes de fixation particulières	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives au contrôle du montage à blanc	x	<input type="checkbox"/>
Annexe C – Liste de contrôle du contenu d'un plan qualité		
Exigences pour la tenue à disposition des documents enregistrés pendant plus de dix ans	x	<input type="checkbox"/>
Annexe F – Protection contre la corrosion		
Spécification de performance relative à la protection contre la corrosion	x	<input type="checkbox"/>
Exigences prescriptives relatives à la protection contre la corrosion	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives aux surfaces de frottement et classe de traitement ou essais requis	x	<input type="checkbox"/>
Étendue des surfaces concernées par les boulons précontraints dans les assemblages ne résistant pas par frottement	x	<input type="checkbox"/>
Exigences relatives à la qualification du mode opératoire du procédé de galvanisation si une galvanisation à chaud d'éléments formés à froid après fabrication est spécifiée Exigences relatives au contrôle, à la vérification ou à la qualification de la préparation à effectuer sur des éléments galvanisés à chaud, préalablement à un recouvrement de peinture ultérieur,	x	<input type="checkbox"/>
Surfaces de référence pour les systèmes de protection contre la corrosion dans les catégories de corrosivité C3 à C5 et Im1 à Im3	<input type="checkbox"/>	x
Éléments qui ne nécessitent pas de contrôle après galvanisation Éléments ou emplacements spécifiques qui doivent être soumis à un END complémentaire ainsi que l'étendue et la méthode à utiliser	x	<input type="checkbox"/>

Principes et modalités d'organisation du contrôle

ETAPE	TYPE DE CONTRÔLE	VALEUR CIBLE	FRÉQUENCE	RESPONSABLE DE L'OPÉRATION	NOM DU RESPONSABLE	DOCUMENT DE CONTRÔLE
Études	Conformité du cahier des charges d'exécution	NF EN 1090-2 Annexe A1	Au début du projet	Chargé d'affaire	M. A.	Checklist – Vérification de la conformité du cahier des charges aux exigences de la NF EN 1090-2
	Visa sur les notes de calcul d'exécution	Voir cahier des charges	Après chaque mise à jour	Responsable BE	Mme. E.	NA (Visa du responsable sur le cartouche du document)
	Visa sur les plans d'exécution	Voir cahier des charges	Après chaque mise à jour	Responsable BE	Mme. E.	NA (Visa du responsable sur le cartouche du document)
Approvisionnement	Conformité des approvisionnements à la commande	Commande	A chaque livraison	Responsable achats	Mme. F	Document de contrôle de la conformité des produits livrés

Fabrication	Conformité de la soudure	DMOS	Voir DMOS	Soudeur	M. J	Document de contrôle de la conformité de la soudure au DMOS
	Conformité du coupage	Dessin de débit	Voir cahier des charges	Opérateur	M. I	Document de contrôle de l'opération de coupage
	Conformité du perçage	Dessin de débit	Voir cahier des charges	Opérateur	M. I	Document de contrôle de l'opération de perçage
	Conformité de l'assemblage	Dessin d'assemblage	Voir cahier des charges	Soudeur	M. J	Document de contrôle de l'opération d'assemblage
	Dimensions de l'élément	Dessin de débit et d'assemblage	Voir cahier des charges	Chef d'atelier	M. G	Document de contrôle dimensionnel
	Conformité du traitement de surface	Voir cahier des charges	Voir cahier des charges	Opérateur	Mme. K	Document de contrôle du traitement de surface
Expédition	Conformité du bon de livraison	Plans d'exécution	A chaque livraison	Chargé d'affaire	M. A.	NA (Visa du responsable sur le bon de livraison)
Montage	Réception du site de montage	Voir cahier des charges	Au début du projet	Conducteur de travaux	M.S	Check-list de réception du site de montage
	Réception des éléments constitutifs de la structure en acier	Bon de livraison	A chaque livraison	Chef de chantier	M. N	Check-list de réception des éléments sur site
	Réalisation sur site d'assemblages soudés	Plans d'exécution	A chaque livraison	Chef de chantier	M. N	Check-list d'exécution d'assemblages soudés
	Réalisation sur site d'assemblages boulonnés non précontraints	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de mise en œuvre de boulons non précontraints
	Réalisation sur site d'assemblages boulonnés précontraints	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de mise en œuvre de boulons précontraints
	Vérification du respect des tolérances de montage	Plans d'exécution	Voir cahier des charges	Chef de chantier	M. N	Check-list de vérification du respect des tolérances de montage
Réception des ouvrages	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s	Voir cahier des charges	Après l'opération	Responsable BE	Mme. E.	Dossier des Ouvrages Exécuté (DOE)s
	Certificat de réception	Voir cahier des charges	Après l'opération	Conducteur de travaux	M. S	Certificat de réception

12.2.2.3 DOSSIER QUALITÉ DU CONSTRUCTEUR

Le dossier qualité est spécifique à l'entreprise. Il peut être commun à toutes les classes d'exécution.

Ce dossier devra, a minima, préciser l'organigramme de l'entreprise, le processus de fabrication, les procédures d'entretien et d'étalonnage des machines, les procédures de contrôle ainsi que les documents utilisés.

12.2.2.4 DOSSIER D'EXÉCUTION SPÉCIFIQUE AU PROJET

Le dossier d'exécution contient tous les enregistrements des contrôles et vérifications réalisés au cours de l'exécution.

12.3 Organisation du contrôle et de la traçabilité

12.3.1 Contrôle et traçabilité à l'étape de l'approvisionnement

12.3.1.1 CONTRÔLE DE L'APPROVISIONNEMENT EN PRODUITS DE BASE

Exemple de bon de commande

Société XXXX		Bon de commande			
Adresse ...		Date commande ...			
Téléphone ...		N° Bon de commande ...			
Email ...		N° Affaire ...			
SIRET ...					
Caractéristiques Techniques :					
<ul style="list-style-type: none"> • Profilés IPE suivant EN 10025-1 et 2 ; EN 10034 ; NF A 45-205 • Acier apte à la galvanisation suivant NF A 35-503 • Etat de surface : Classe C1 suivant EN 10163-3 • Autres caractéristiques : N/A 					
Aciers conforme au Règlement des Produits de la Construction avec marquage CE obligatoire et certificat de conformité CE à nous transmettre.					
Options :					
<ul style="list-style-type: none"> • N/A 					
Date limite de livraison		XX/XX/XXXX			
Lieu de livraison		XXXX			
Conditions de règlement		XXXX			
Désignation	Quantité	Longueur	Poids	Prix unitaire	Prix total
IPE 240 S355	X	X	X	X	X
Contrôles :					
Conformité du document de contrôle avec le bon de commande				Visa du fournisseur :	
Conformité de la livraison avec le bon de commande				Visa du responsable des achats :	

Documents accompagnant les produits de base à réception

- un document de contrôle conforme à la norme NF EN 10168 est établi par le fournisseur. Dans ce document, le fournisseur indique que les produits livrés sont conformes aux caractéristiques indiquées dans le bon de commande. Ce document récapitule également les essais et résultats d'essais relatifs aux produits livrés ;
- les produits relevant d'une norme harmonisée sont accompagnés d'un marquage CE.

12.3.1.2 MARQUAGE DES PRODUITS DE BASE

Ce projet comporte des éléments de classes d'exécution EXC3 et EXC4, la norme NF EN 1090-2 impose donc une traçabilité totale depuis l'approvisionnement jusqu'à la mise en place sur chantier.

A livraison, les produits de base sont marqués individuellement, avec leur désignation, la référence du fournisseur et, le cas échéant, le marquage CE.

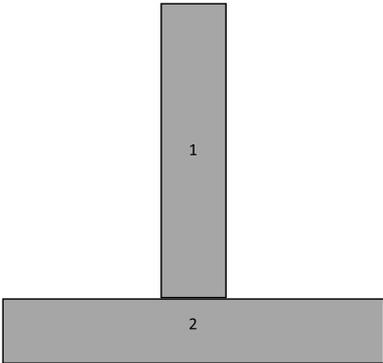
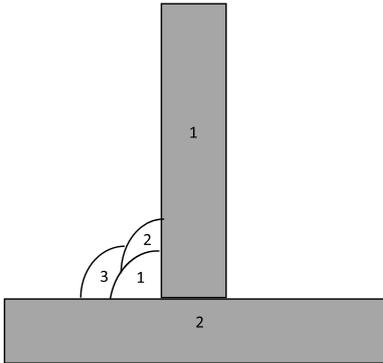
Après mise en place sur chantier, le marquage sur les éléments doit être visible et permettre de remonter jusqu'au bon de livraison des produits de base.

12.3.2 Contrôle et traçabilité à l'étape de la fabrication

12.3.2.1 CONTRÔLE DE SOUDAGE

Les cornières sont soudées aux arbalétriers des fermes en vue de l'assemblage sur chantier avec les pannes. Cette soudure est réalisée à l'aide de deux cordons de soudure situés aux deux extrémités de l'aile de la cornière en contact avec l'arbalétrier. L'exemple ci-dessous se rapporte au cordon de soudure situé en angle.

Descriptif du mode opératoire de soudage (exemple)

DMOS		RÉFÉRENCE :	
Métal de base 1		Métal de base 2	
Nuance :		Nuance :	
Norme :		Norme :	
Epaisseur :		Epaisseur :	
Type d'assemblage :		N° du procédé :	
		Epaisseur de métal déposé	
		Support : Oui/Non	
		Repère de la soudure :	
Schéma de l'assemblage			
Préparation de l'assemblage		Aspect des couches de soudure	
			
N° des passes	1	2	3
Position de soudage			
Métal d'apport	Groupe		
	Désignation normalisée / désignation commerciale		
	Type		
	Marque		
	Diamètre (mm) et polarité		
Protection gazeuse ou flux	Désignation normalisée / désignation commerciale		
	Type de matériel		
	Nombre de fils		
Réglage du poste de soudure	Type de courant+polarité		
	Intensité I (ampères)		
	Tension U (Volts)		
	Vitesse de fil (cm/min) ± 10%		
	Vitesse d'avance V(cm/min) ± 10%		
Apport de chaleur Q (kJ/mm)			
Température de préchauffage (°C) mini			
Température entre passes (°C) mini/maxi			
Nettoyage entre passes			
Gougeage			
Post chauffage : durée et température			

Qualification du mode opératoire de soudage (exemple)

En EXC3 et 4, les DMOS utilisés doivent suivre un processus de qualification, formalisé par l'obtention d'un procès-verbal de qualification du mode opératoire de soudage (PV-QMOS) délivré par un organisme habilité.

[Nom de l'organisme habilité]	
PV de Qualification de Mode Opératoire de Soudage	
N°XXXXX	
Fabricant :	
Lieu du soudage :	
Date de soudage :	
DMOS-P :	
Norme de référence :	
Réalisé par :	
Réalisé en présence de :	
<i>[Nom de l'organisme habilité] certifie que les assemblages de qualification ont été préparés, soudés et contrôlés de façon satisfaisante, conformément aux exigences des documents référencés ci-dessus.</i>	
PV établi le XX/XX/XXXX	
[Nom de l'organisme habilité]	[Nom du fabricant]
Représenté par :	Représenté par :
XXXX	YYYY
Signature :	Signature :

Contrôle de soudage (exemple)

Un exemple de fiche de contrôle de soudage est représenté ci-dessous. En classe EXC3 et 4 (l'assemblage ci-dessus étant EXC4), il faut également prévoir des Contrôles Non Destructifs (CND).

FICHE DE CONTRÔLE DE SOUDAGE			
1 – Contrôles visuels			
Défauts (NF EN ISO 5817)		Critères limites	Valeur de contrôle OK ?
100	Fissures	Non autorisé	
104	Fissures de cratère	Non autorisé	
2017	Piqûres/trous	Non autorisé	
401	Collage	Non autorisé	
601	Coup d'arc ou amorçage accidentel	Non autorisé	
5011	Caniveau continu	$h \leq 0,2t$ et $h \leq 1$ mm	
5012	Morsure, caniveau discontinu		
503	Convexité excessive	$h \leq (1 + 0,25b)$ et $h \leq 5$ mm	
512	Défaut de symétrie	$h \leq (2 + 0,2a)$	
5213	Gorge insuffisante	$h \leq (0,3 + 0,1a)$ et $h \leq 2$ mm	

2 – Contrôles non destructifs (CND)					
Moyen	% Contrôlé	Localisation	Référence	Valeur de contrôle	OK ?
Ressuage					
Radio					
Ultrasons					
Magnéto					
Fiche remplie par :			Date :		

12.3.2.2 CONTRÔLE DU COUPAGE

Les pannes de la charpente sont constituées de profilés en I qui doivent être découpé pour se conformer aux dessins de débit. La découpe est réalisée à l'aide d'une machine de découpe plasma dans l'atelier.

Validation du procédé de coupage (Exemple)

La norme NF EN 1090-2 précise que les procédés de coupage doivent être validés avant coupage pour chaque lot de pièces. Pour des raisons de traçabilité, cette validation est documentée.

Fiche de validation du procédé de découpe						
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE			
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY			
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx			
Paramètres de réglage :		Valeur :		Ecart maximal :		
Pression oxygène de chauffage						
Pression de gaz de carburant						
Pression d'oxygène de coupe						
Vitesse de coupe						
Hauteur de coupe :						
Température de préchauffage :						
Instruments de mesure :		Référence :		Date étalonnage :		
Classe d'exécution visée	Exigence	Critère (a = épaisseur de coupe)	Echantillon 1 : coupe droite dans le produit constitutif de plus forte épaisseur	Echantillon 2 : coupe droite dans le produit constitutif de plus faible épaisseur	Echantillon 3 : Angle vif dans une épaisseur représentative	Echantillon 4 : Arc de cercle dans une épaisseur représentative
EXC2	Perpendicularité/Angularité	$1.2 + 0.035a$	✓	✓	✓	✓
EXC2	Hauteur moyenne Rz5	$0.8 + 0.02a$	✓	✓	✓	✓

Contrôle de routine de la découpe (Exemple)

Fiche de contrôle de la découpe			
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx
N° Fiche de validation correspondante :			
Paramètres de réglage :		Valeur :	Ecart < écart maximal ?
Pression oxygène de chauffage			
Pression de gaz de carburant			
Pression d'oxygène de coupe			
Vitesse de coupe			
Hauteur de coupe :			
Température de préchauffage :			
Instruments de mesure :		Référence :	Date étalonnage :
Classe d'exécution visée	Dimension	Ecart autorisé (Par défaut : Classe 1)	Valeur mesurée :
EXC2	Longueur de l'élément	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$	
EXC2	Equerrage des extrémités	$\Delta = \pm D/1000$	
EXC2	Grugeages	Profondeur d : $0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$ Longueur L $0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$	
EXC2	Équerrage des chants de coupe	Ecart Δ d'un chant de coupe par rapport à 90° : $\Delta = \pm 0.1t$	

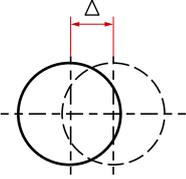
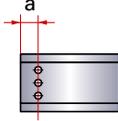
12.3.2.3 CONTRÔLE DE PERÇAGE

Les pannes de la charpente doivent être pré-perçées en vue de leur assemblage avec les cornières. Le perçage est réalisé à l'aide d'une machine de perçage par jet de plasma dans l'atelier.

Validation du procédé de perçage (Exemple)

Fiche de validation du procédé de perçage												
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE									
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY									
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx									
Paramètres de réglage :		Valeur :		Ecart maximal :								
Pression oxygène de chauffage												
Pression de gaz de carburant												
Pression d'oxygène de coupe												
Vitesse de coupe												
Hauteur de coupe :												
Température de préchauffage :												
Instruments de mesure :		Référence :		Date étalonnage :								
Classe d'exécution visée	Caractéristique dimensionnelle	Critère d_{min} = diamètre à l'entrée du trou d_{max} = diamètre à la sortie du trou	Tolérances	Echantillons : Les 8 échantillons doivent couvrir l'intégralité de la gamme des diamètres de trous, des épaisseurs de produits constitutifs et des nuances d'acier traités								
				1	2	3	4	5	6	7	8	
EXC2	Diamètre moyen du trou	$D = (d_{max} + d_{min}) / 2$	$D = D_{nominal} \pm 0.5 \text{ mm}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EXC2	Angle de dépouille	α	$A < 4^\circ (7 \%)$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
EXC2	Bavures	Δ_1 et Δ_2	$\text{Max} (\Delta_1 \text{ ou } \Delta_2) \leq D/10$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Contrôle de routine du perçage (Exemple)

Fiche de contrôle du perçage				
N°	XXXXXX	Référence machine	ABCDE	
Date :	XX/XX/XXXX	Nom et visa du responsable :	YYYY	
Lot concerné :	XX/XX/XXXX	N° dessin de débit	xxxxxxx	
N° Fiche de validation correspondante :				
Paramètres de réglage :		Valeur :	Ecart < écart maximal ?	
Pression oxygène de chauffage				
Pression de gaz de carburant				
Pression d'oxygène de coupe				
Vitesse de coupe				
Hauteur de coupe :				
Température de préchauffage :				
Instruments de mesure :		Référence :	Date étalonnage :	
Classe d'exécution visée	Dimension	Critère	Ecart autorisé (Par défaut : Classe 1)	Valeur mesurée :
EXC2	Position des trous pour fixations		$\Delta = \pm 2 \text{ mm}$	
EXC2	Position des trous pour fixations		$0 \text{ mm} \leq \Delta \leq 3 \text{ mm}$	

12.3.3 Traçabilité à l'étape de l'expédition

Les assemblages/éléments sont identifiés individuellement par une marque poinçonnée conforme à la référence du dessin d'assemblage/de débit. Les éléments d'assemblage standardisés sont livrés avec leurs emballages et accompagnés des consignes de mise en œuvre et de serrage correspondant.

12.3.4 Contrôle à l'étape du montage

Les documents de contrôle relatifs à l'étape du montage sont détaillés dans l'ouvrage de la FFB intitulé « **Guide d'application de la norme NF EN 1090-2 à l'usage des entreprises de montage-levage** », édition de Janvier 2018, téléchargeable sur le lien suivant : http://adherent.montage-levage.org/files/union_du_montage_levage_adherents/Guide-FFB-montage-levage-version-VF-2.pdf.

On rappelle que la norme NF EN 1090-2 impose une traçabilité totale



Exigences supplémentaires de la norme NF EN 1090-2 relatives aux classes d'exécution

Le tableau ci-dessous reprend l'Annexe A.3 de la norme NF EN 1090-2 (Version 2018), qui énumère les exigences spécifiques à chacune des classes d'exécution. Les exigences mentionnées dans la version d'Octobre 2011 de la norme NF EN 1090-2 et supprimées dans la nouvelle version sont indiquées en **bleu**. Les nouveautés de la version 2018 de la norme NF EN 1090-2 sont indiquées en **vert**. Certains paragraphes ne sont pas mentionnés dans le tableau : il s'agit des paragraphes ne comprenant pas de distinction de traitement entre les différentes classes d'exécution.

	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4 – Cahiers des charges et dossier				
4.2 Dossier du constructeur				
4.2.1 Dossier qualité	Pas d'obligation	Oui	Oui	Oui
5 – Produits constitutifs				
5.2 Identification, documents de contrôle et traçabilité				
Documents de contrôle	Voir Tableau 1	Voir Tableau 1	Voir Tableau 1	Voir Tableau 1
Traçabilité	Sans exigence supplémentaire	Oui (par marquage)	Oui (depuis l'approvisionnement jusqu'à la réception)	Oui (depuis l'approvisionnement jusqu'à la réception)
Marquage	Sans exigence supplémentaire	Oui (Si différentes nuances et/ou qualités de produits se trouvent ensemble en circulation, chaque article doit être pourvu d'un marquage identifiant sa nuance)	Oui (Si différentes nuances et/ou qualités de produits se trouvent ensemble en circulation, chaque article doit être pourvu d'un marquage identifiant sa nuance)	Oui (Si différentes nuances et/ou qualités de produits se trouvent ensemble en circulation, chaque article doit être pourvu d'un marquage identifiant sa nuance)
5.3 Aciers de construction				
5.3.2 Tolérances d'épaisseurs	Classe A (NF EN 10029)	Classe A (NF EN 10029)	Classe A (NF EN 10029)	Classe B (NF EN 10029)
5.3.3 États de surface	Plat — Classe A2 (NF EN 10163-2) Long — Classe C1 (NF EN 10163-3)	Plat — Classe A2 (NF EN 10163-2) Long — Classe C1 (NF EN 10163-3)	Conditions plus strictes si spécifié	Conditions plus strictes si spécifié
5.3.4 Caractéristiques particulières	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	Classe de qualité des discontinuités internes S1 pour les assemblages soudés en croix (NF EN 10160)	Classe de qualité des discontinuités internes S1 pour les assemblages soudés en croix (NF EN 10160)

6 – Préparation et assemblage				
6.2 Identification	A toutes les étapes de la fabrication, chaque pièce ou chaque ensemble de pièces similaires doit être identifiable.	A toutes les étapes de la fabrication, chaque pièce ou chaque ensemble de pièces similaires doit être identifiable.	A toutes les étapes de la fabrication, chaque pièce ou chaque ensemble de pièces similaires doit être identifiable. Les éléments terminés doivent être identifiés par rapport aux documents de contrôle.	A toutes les étapes de la fabrication, chaque pièce ou chaque ensemble de pièces similaires doit être identifiable. Les éléments terminés doivent être identifiés par rapport aux documents de contrôle.
6.4 Coupage				
6.4.3 Coupage thermique [PC]	Voir Tableau 9	Voir Tableau 9	Voir Tableau 9	Voir Tableau 9
6.4.4 Dureté des chants	Absence d'irrégularités significatives Si spécifié, dureté conforme au Tableau 10	NF EN ISO 9013 u = plage 4 Rz5 = plage 4 Si spécifié, dureté conforme au Tableau 10	NF EN ISO 9013 u = plage 4 Rz5 = plage 4 Si spécifié, dureté conforme au Tableau 10	NF EN ISO 9013 u = plage 3 Rz5 = plage 3 Si spécifié, dureté conforme au Tableau 10
6.5 Formage				
6.5.3 Chaudes de retrait	Si une déformation doit être corrigée par chaudes de retrait, ceci doit être obtenu par une application localisée de la chaleur, en s'assurant que la température maximale de l'acier et la procédure de refroidissement sont contrôlées.	Si une déformation doit être corrigée par chaudes de retrait, ceci doit être obtenu par une application localisée de la chaleur, en s'assurant que la température maximale de l'acier et la procédure de refroidissement sont contrôlées.	Si une déformation doit être corrigée par chaudes de retrait, ceci doit être obtenu par une application localisée de la chaleur, en s'assurant que la température maximale de l'acier et la procédure de refroidissement sont contrôlées. Un mode opératoire approprié doit être mis au point	Si une déformation doit être corrigée par chaudes de retrait, ceci doit être obtenu par une application localisée de la chaleur, en s'assurant que la température maximale de l'acier et la procédure de refroidissement sont contrôlées. Un mode opératoire approprié doit être mis au point
6.6 Perçage				
6.6.3 Exécution du perçage	Poinçonnage sans alésage autorisé	Poinçonnage sans alésage autorisé	Alésage obligatoire en cas de perçage par poinçonnage si l'épaisseur de la tôle est supérieure à 3mm	Alésage obligatoire en cas de perçage par poinçonnage si l'épaisseur de la tôle est supérieure à 3mm
6.7 Découpes	Une surcoupe dans un angle rentrant est interdite.	Une surcoupe dans un angle rentrant est interdite. Les angles rentrant et les grugeages doivent être arrondis avec un rayon minimal de 5 mm.	Une surcoupe dans un angle rentrant est interdite. Les angles rentrant et les grugeages doivent être arrondis avec un rayon minimal de 5 mm.	Une surcoupe dans un angle rentrant est interdite. Les angles rentrant et les grugeages doivent être arrondis avec un rayon minimal de 10 mm. Les coupes par poinçonnage ne sont pas autorisées.
6.9 Assemblage	L'alignement des trous par brochage doit être réalisé de manière à éviter une ovalisation supérieure à la Classe 1 (NF EN 1090-2, D.2.8, N°6)	L'alignement des trous par brochage doit être réalisé de manière à éviter une ovalisation supérieure à la Classe 1 (NF EN 1090-2, D.2.8, N°6)	L'alignement des trous par brochage doit être réalisé de manière à éviter une ovalisation supérieure à la Classe 2 (NF EN 1090-2, D.2.8, N°6)	L'alignement des trous par brochage doit être réalisé de manière à éviter une ovalisation supérieure à la Classe 2 (NF EN 1090-2, D.2.8, N°6)
7 – Soudage				
7.1 Généralités	NF EN ISO 3834-4 « Exigences de qualité élémentaire »	NF EN ISO 3834-3 « Exigences de qualité normale »	NF EN ISO 3834-2 « Exigences de qualité complète »	NF EN ISO 3834-2 « Exigences de qualité complète »
7.4 Qualification des modes opératoires de soudage et du personnel en soudage				
7.4.1 Qualification des modes opératoires de soudage	Sans exigence supplémentaire	Voir Tableau 12 et Tableau 13 (NF EN 1090-2)	Voir Tableau 12 et Tableau 13 (NF EN 1090-2)	Voir Tableau 12 et Tableau 13 (NF EN 1090-2)

7.4.1.1 Généralités [PC]	Instructions de travail appropriées (s'il est spécifié d'en fournir)	Voir EN ISO 3834-3	Voir EN ISO 3834-2	Voir EN ISO 3834-2
7.4.1.2 Qualification des modes opératoires de soudage [PC]	SE	Voir Tableau 12	Voir Tableau 12	Voir Tableau 12
7.4.2 Qualification des soudeurs et des opérateurs	Soudeurs : Suivant EN 287-1 Opérateurs : Suivant EN 1418	Soudeurs : Suivant EN 287-1 Opérateurs : Suivant EN 1418	Soudeurs : Suivant EN 287-1 Opérateurs : Suivant EN 1418	Soudeurs : Suivant EN 287-1 Opérateurs : Suivant EN 1418
7.4.2.1 Soudeurs et opérateurs soudeurs [PC]	Modalités de prolongation spécifiées	Voir EN ISO 3834-3	Voir EN ISO 3834-2	Voir EN ISO 3834-2
7.4.3 Coordination en soudage	Sans exigence supplémentaire → Supervision suffisante	Une coordination en soudage doit être assurée pendant l'exécution du soudage par un coordinateur en soudage qualifié (Connaissances techniques selon le Tableau 14 ou le Tableau 15 de la NF EN 1090-2)	Une coordination en soudage doit être assurée pendant l'exécution du soudage par un coordinateur en soudage qualifié (Connaissances techniques selon le Tableau 14 ou le Tableau 15 de la NF EN 1090-2)	Une coordination en soudage doit être assurée pendant l'exécution du soudage par un coordinateur en soudage qualifié (Connaissances techniques selon le Tableau 14 ou le Tableau 15 de la NF EN 1090-2)
7.5.1 Préparation des joints	Sans exigence supplémentaire	Les peintures primaires appliquées en usine ne doivent pas être laissées sur les bords à souder à moins de procéder à un essai de qualification.	Les peintures primaires appliquées en usine ne doivent pas être laissées sur les bords à souder à moins de procéder à un essai de qualification.	Les peintures primaires appliquées en usine ne doivent pas être laissées sur les bords à souder à moins de procéder à un essai de qualification.
7.5.1.1 Généralités [PC]	Sans exigence supplémentaire	Peintures primaires appliquées en usine non autorisées à moins de procéder à un essai de qualification	Peintures primaires appliquées en usine non autorisées à moins de procéder à un essai de qualification	Peintures primaires appliquées en usine non autorisées à moins de procéder à un essai de qualification
7.5.6 Fixations provisoires	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	- Utilisation à spécifier - Enlèvement par découpage ou burinage interdits → Des restrictions à l'utilisation peuvent être spécifiées	- Utilisation à spécifier - Enlèvement par découpage ou burinage interdits → Des restrictions à l'utilisation peuvent être spécifiées
7.5.7 Soudures de pointage	Sans exigence supplémentaire	Doivent être réalisées en utilisant un mode opératoire de soudage qualifié	Doivent être réalisées en utilisant un mode opératoire de soudage qualifié	Doivent être réalisées en utilisant un mode opératoire de soudage qualifié
7.5.9 Soudures en bout				
7.5.9.1 Généralités	Sans exigence supplémentaire	Modification importante dans la nouvelle version de la norme NF EN 1090-2 : Sans exigence supplémentaire → « Appendices pour soudures transversales à pleine pénétration (si spécifié) Appendices pour soudures longitudinales en bout à pleine pénétration ou pour soudures en bout à pénétration partielle (si spécifié) »	La pose d'appendices en début ou en fin de cordon doit être utilisée pour assurer une soudure saine jusqu'aux extrémités. → Appendices pour soudures transversales à pleine pénétration Appendices pour soudures longitudinales en bout à pleine pénétration ou pour soudures en bout à pénétration partielle (si spécifié)	La pose d'appendices en début ou en fin de cordon doit être utilisée pour assurer une soudure saine jusqu'aux extrémités. → Appendices pour soudures transversales à pleine pénétration Appendices pour soudures longitudinales en bout à pleine pénétration ou pour soudures en bout à pénétration partielle (si spécifié)

7.5.9.2 Soudures d'un seul côté	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	Le métal du support envers permanent doit être rendu continu par des soudures bout à bout à pleine pénétration.	Le métal du support envers permanent doit être rendu continu par des soudures bout à bout à pleine pénétration.
7.5.17 Exécution du soudage	Les projections de soudure doivent être évitées.	Les projections de soudure doivent être évitées.	Les projections de soudure éventuelles doivent être éliminées.	Les projections de soudure éventuelles doivent être éliminées.
7.6 Critères d'acceptation				
7.6.1 Exigences de routine [PC] [PS pour EXC4]	NF EN ISO 5817 Niveau de qualité D généralement	NF EN ISO 5817 Niveau de qualité C généralement	NF EN ISO 5817 Niveau de qualité B	NF EN ISO 5817 Niveau de qualité B + → NF EN ISO 5817 EXC3 au minimum plus des critères spécifiques pour des soudures identifiées
7.6.2 Exigences relatives à la fatigue [PC]	Non applicable	NF EN ISO 5817 Annexe C (si son utilisation est spécifiée)	NF EN ISO 5817 Annexe C (si son utilisation est spécifiée)	NF EN ISO 5817 Annexe C (si son utilisation est spécifiée)
9 – Montage				
9.6 Montage et travaux sur chantier				
9.6.3 Manutention et stockage sur chantier	Sans exigence supplémentaire	Le mode opératoire de la restauration des éléments endommagés doit être consigné.	Le mode opératoire de la restauration des éléments endommagés doit être consigné.	Le mode opératoire de la restauration des éléments endommagés doit être consigné.
9.6.5.3 Ajustement et alignement	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	La fixation des cales par soudage doit être conforme aux préconisations de l'article 7 (NF EN 1090-2)	La fixation des cales par soudage doit être conforme aux préconisations de l'article 7 (NF EN 1090-2)
12 – Contrôles, essais et réparations				
12.4 Soudage				
12.4.2 Contrôle après soudage				
12.4.2.2 Étendue du contrôle	Contrôle visuel	CND : Voir Tableau 24 (NF EN 1090-2)	CND : Voir Tableau 24 (NF EN 1090-2)	CND : Voir Tableau 24 (NF EN 1090-2)
12.4.2.5 Réparation des soudures	Aucune qualification de mode opératoire de soudage (QMOS) n'est exigée	Selon QMOS	Selon QMOS	Selon QMOS
12.4.4 Essais de production	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	Si spécifié	Si spécifié
12.4.2.3 Contrôle et essais de base [PC]	END : voir Tableau 24	END : voir Tableau 24	END : voir Tableau 24	END : EXC3 du Tableau 24 à considérer comme un minimum
12.4.2.4 Contrôles et essais propres au drojet [PS]	Cf. Tableau A.2	Voir Tableau A.2	Voir. Tableau A.2	Identification d'assemblages à contrôler et étendue des essais
12.4.2.7 Réparation des soudures [PC]	SE	Selon QMOS	Selon QMOS	Selon QMOS
12.5 Fixations mécaniques				
12.5.2 Contrôle et essais des assemblages boulonnés précontraints				
12.5.2 Contrôle des assemblages avec boulons précontraints	Sans exigence supplémentaire	comme suit	comme suit	comme suit
12.5.2.3 Avant serrage	Sans exigence supplémentaire	Vérification du mode opératoire de serrage	Vérification du mode opératoire de serrage	Vérification du mode opératoire de serrage
12.5.2.4 Pendant et après serrage	Sans exigence supplémentaire	5 % 2 ^{nde} phase de serrage Schéma de contrôle séquentiel A	5 % 1 ^{ère} phase de serrage 10 % 2 ^{nde} phase de serrage Schéma de contrôle séquentiel A	5 % 1 ^{ère} phase de serrage 10 % 2 ^{nde} phase de serrage Schéma de contrôle séquentiel B

12.5.2.4 Méthode du couple	Sans exigence supplémentaire	Emplacement du lot de boulons 2 nd e phase de serrage → Voir Tableau 25	Emplacement du lot de boulons Vérification du mode opératoire de serrage 1 ^{ère} phase de serrage 2 nd e phase de serrage → Voir Tableau 25	Emplacement du lot de boulons Vérification du mode opératoire de serrage 1 ^{ère} phase de serrage 2 nd e phase de serrage → Voir Tableau 25
12.5.2.5 Méthode de serrage combinée	SE pour la vérification de la 1 ^{ère} phase de serrage	Contrôle du marquage 2 nd e phase de serrage → SE pour la vérification de la 1 ^{ère} phase de serrage	1 ^{ère} phase de serrage Contrôle du marquage 2 nd e phase de serrage → Vérification de la 1 ^{ère} phase de serrage avant marquage	1 ^{ère} phase de serrage Contrôle du marquage 2 nd e phase de serrage → Vérification de la 1 ^{ère} phase de serrage avant marquage
12.5.2.7 Méthode HRC [PC]	SE	Contrôle de la 1 ^{ère} phase de serrage	Contrôle de la 1 ^{ère} phase de serrage	Contrôle de la 1 ^{ère} phase de serrage
12.5.3.1 Contrôles, essais et réparations des rivets à chaud	Sans exigence supplémentaire	Sonner ; Schéma de contrôle séquentiel A	Sonner ; Schéma de contrôle séquentiel A	Sonner ; Schéma de contrôle séquentiel B
12.7 Montage				
12.7.3.1 Levé de la position géométrique des nœuds d'assemblage	Sans exigence supplémentaire	Sans exigence supplémentaire	Enregistrement du levé	Enregistrement du levé

TABLE DES MATIÈRES

01 • PRÉSENTATION DU GUIDE	4
1.1 Objectif du document	4
1.2 Domaine d'application de la norme NF EN 1090-2	4
1.3 Contexte normatif français dans lequel s'insère la norme NF EN 1090-2	5
1.4 Présentation du guide	5
02 • ORGANISATION DU PROJET : FICHES PRATIQUES	6
FICHE N° 1 – Classe d'exécution du projet	7
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 4.1.2	7
FICHE N° 2 – Cahier des charges d'exécution	8
DTU 32.1 P1	8
NF EN 1090-2 (Version 2018), C.2.3.4	8
NF EN 1090-2 (Version 2018), C.2.2	8
NF EN 1090-2 (Version 2018), § 4.1.3	8
NF EN 1090-2 (Version 2018), § 4.1.4, §11.1 et §11.3.2	9
NF EN 1090-2 (Version 2018), §11.2 : Tolérances essentielles	10
NF EN 1090-2 (Version 2018), §11.3 : Tolérances fonctionnelles	10
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.3	10
FICHE N° 3 – Dossier qualité	11
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.1	11
FICHE N° 4 – Dossier d'exécution	13
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 4.2.4	13
03 • TRAÇABILITÉ : FICHES PRATIQUES	14
FICHE N° 5 – Approvisionnements	14
FICHE N° 6 – Traçabilité	15
NF P 22-101-2/CN, Article 3.2	15
1090-2 – §5.2 et §6.2	15
FICHE N° 7 – Aciers de construction	16
NF EN 1090-2(Version 2018), Tableau 1	16
NF P 22-101-2/CN	16
NF EN 10204	16
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.3	17
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.4	18
FICHE N° 8 – Consommables pour le soudage	19
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.5	19
NF EN 10204	19
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.5	19
FICHE N° 9 – Fixations	20
NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau 1	20
NF P 22-101-2/CN	20
NF EN 10204	20
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.6	21
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 5.6	23

04 • OPÉRATIONS DE COUPAGE, FORMAGE, DÉCOUPE ET PERÇAGE : FICHES PRATIQUES	24
FICHE N° 10 – Formage à chaud	24
NF EN 1090-2 (Version 2018), § 6.5	24
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 6.5.2	25
FICHE N° 11 – Formage à froid	27
NF EN 1090-2+A1 (Version 2018), Article(s) : 6.5.4	28
FICHE N° 12 – Coupage	31
NF EN 1090-2 (Version 2018), § 6.4.1	31
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.4	31
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 6.4.3	32
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.3	32
NF EN ISO 9013	32
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.4.2	33
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.7	33
FICHE N° 13 – Coupes / Tolérances	34
NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau B	34
FICHE N° 14 – Perçage / Dimensions	35
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des trous ronds :	35
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des trous oblongs :	35
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des boulons ajustés :	36
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1 – Cas des vis ou rivets à tête fraisée :	36
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.1	38
FICHE N° 15 – Perçage / Tolérances	39
NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe B	39
FICHE N° 16 – Perçage / Vérifications	40
NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles : 6.6.2 et 6.6.3 – Cas du poinçonnage :	40
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.3 – Echantillonnage représentatif :	40
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.6.3	41
05 • ASSEMBLAGE : FICHES PRATIQUES	42
FICHE N° 17 – Assemblage	42
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 6.9	42
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 6.9 et Tableau B.8	42
NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 6.9 et 6.10	42
06 • SOUDAGE : FICHES PRATIQUES	43
FICHE n° 18 – Soudage / Généralités	43
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.3	43
EN ISO 4063	43
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.1	45
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.2	45
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.2.2	46
EN 1993-1-8, Clause 4.14	46
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.2	46
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.3	46
FICHE n° 19 – Soudage / DMOS et QMOS	47
NF EN ISO 15609	47
EN ISO 15614-1	49
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4	50
Classe d'exécution : EXC 2	50

NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4	50
Classe d'exécution : EXC 3 et EXC 4	50
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4	50
Classe d'exécution : EXC 3 et EXC4	50
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.1.3.	50
FICHE n° 20 – Soudage / Qualification du personnel de soudage	51
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.2 – Qualification du personnel de soudage :	51
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.2	51
FICHE n° 21 – Soudage / Coordination en soudage.	52
NF EN 1090-2 (Version 2018) – Article : 7.4.3	52
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.3 et Tableau 14.	52
EN ISO 14731	52
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.4.3 et Tableau 15.	53
EN ISO 14731	53
FICHE n° 22 – Soudage / Préparation	54
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1	54
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1	54
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.1.2.	55
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article(s) : 7.5.4	55
FICHE n° 23 – Soudage / Exécution	56
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.7	56
NF EN 1090-2 (Version 2018) – Article(s) : 7.5.8.2	56
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.8	56
Classe d'exécution : EXC2	56
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.8	57
Classe d'exécution : EXC3 et EXC4	57
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9	58
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2.	58
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2.	59
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2.	59
Classe d'exécution : EXC3 et EXC4	59
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.9.2.	59
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.16	59
FICHE n° 24 – Soudage / Dispositions spécifiques	60
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.7.	60
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.5.10 et Tableau 6.	60
FICHE n° 25 – Soudage / Soudures en entaille et soudures bouchons	61
NF EN 1090-2 (Version 2018) Article : 7.5.13.	61
NF EN 1011-2, Article B.4	61
FICHE n° 26 – Soudage / Critères d'acceptation	63
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 7.6.	63
FICHE n° 27 – Soudage / Contrôles	64
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.1	64
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2 – Délais d'attente avant contrôle après soudage :	64
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2.2 – Essais de type :	65
NF EN 1090-2, Article : 12.4.2.3 – Contrôles et essais de base :	65
NF EN 1090-2, Article : 12.4.2.4 – Contrôles et essais propres au projet :	66
NF EN 1090-2 (Version 2018), Article : 12.4.2.5 – Contrôle visuel des soudures :	66
07 • TRAITEMENT DES SURFACES : FICHES PRATIQUES	68
FICHE n° 28 – Traitement des surfaces	68

	NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 10, 12.6 et Annexe F – Information sur l'ambiguïté des titres relatifs aux traitements des surfaces dans la norme NF EN 1090-2 :	68
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F	68
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.1	68
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.2	68
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.6.3	69
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.4	69
08 •	CONTRÔLES ET VÉRIFICATIONS : FICHES PRATIQUES	70
	FICHE n° 29 – Traitement des surfaces / Contrôles	70
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7	70
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.2	70
	NF EN 1090-2 (Version 2018)	70
	NF EN ISO 12944-2	70
	NF EN ISO 9223	70
	NF EN ISO 12944-7	71
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe F.7.3	71
	FICHE n° 30 – Préparation des surfaces / Généralités	72
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.2	72
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.7	72
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.8	72
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.6	73
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.6	73
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 10.9	73
	NF EN 1090-2, Article 10.10	73
09 •	FIXATIONS : FICHES PRATIQUES	74
	FICHE n° 31 – Fixations / Généralités	74
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.1	74
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2	74
	FICHE n° 32 – Assemblages par boulons non précontraints / Préparation	77
	NF EN 1090-2 (Version 2018), 8.2.2 – Points spécifiques relatifs à l'utilisation des boulons non précontraints	77
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.3	77
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2.4	78
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 12.5.1, 8.3 et 9.6.5.3 – Contrôle global du serrage des assemblages boulonnés (§12.5.1, §8.3, §9.6.5.3)	78
10 •	FIXATIONS : FICHES PRATIQUES	80
	FICHE n° 33 – Assemblage par boulons précontraints / Généralités	80
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.2.2	80
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.4	81
	FICHE n° 34 – Assemblage par boulons précontraints / Méthodes de serrage	82
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5	82
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Tableau 16 – Ajustement admissible de la longueur de serrage des boulons non précontraints :	82
	NF EN 14399-1	82
	NF EN 14399-2	82
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.2 – Valeurs de référence du couple :	83
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.3 – Méthode du couple :	83
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.4 – Méthode combinée :	84

	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.5 – Méthode HRC :	85
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 8.5.5 – Méthode par indicateur direct de précontrainte :	86
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §12.5.2.	87
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe H.	88
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Annexe J – Boulons injectés de résine :	88
11 •	PRÉPARATION DU CHANTIER ET MONTAGE : FICHES PRATIQUES	89
	FICHE n° 35 – Chantier / Sécurité	89
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.2 – Sécurité sur chantier	89
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §6.3 et 9.6.3 – Mesures relatives à la manutention et au stockage sur chantier	89
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.4 – Mesures de l’ouvrage sur chantier :	90
	FICHE n° 36 – Appuis	91
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5	91
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.4.	91
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.5.	91
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.5.6.	91
	FICHE n° 37 – Montage	92
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.1.	92
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.1.	92
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.2.	93
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.4.	93
	NF EN 1090-2 (Version 2018), §9.6.5.2.	93
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Article 9.6.5.3.	93
	NF EN 1090-2 (Version 2018), Articles 9.6.5.3 et 6.9 – Brochage :	93
12 •	CAS-TYPE D’OUVRAGE EXC2 : BÂTIMENT INDUSTRIEL	94
	11.1 Contexte	94
	11.1.1 Finalité du cas-type	94
	11.1.2 Présentation du projet	94
	11.2 Organisation du projet	94
	11.2.1 Cahier des charges d’exécution	94
	11.2.2 Plan qualité	95
	Revue des exigences du cahier des charges	97
	11.3 Organisation du contrôle et de la traçabilité	101
	11.3.1 Contrôle et traçabilité à l’étape de l’approvisionnement.	101
	Exemple de bon de commande	101
	Documents accompagnant les produits de base à réception	101
	11.3.2 Contrôle et traçabilité à l’étape de la fabrication	102
	Descriptif du mode opératoire de soudage (exemple)	102
	Qualification du mode opératoire de soudage (exemple)	103
	Contrôle de soudage (exemple)	103
	Validation du procédé de coupage (Exemple)	105
	Contrôle de routine de la découpe (Exemple)	106
	Validation du procédé de perçage (Exemple)	107
	Contrôle de routine du perçage (Exemple)	108
	11.3.3 Traçabilité à l’étape de l’expédition.	108
	11.3.4 Contrôle à l’étape du montage	108

13 • CAS-TYPE D'OUVRAGE EXC3 ET 4 : CENTRE DE COMMANDEMENT POMPIER AVEC DEUX HANGARS POUR VÉHICULES DE POMPIERS	109
12.1 Contexte	109
12.1.1 Finalité du cas-type	109
12.1.2 Présentation du projet	109
12.2 Organisation du projet	110
12.2.1 Cahier des charges d'exécution	110
12.2.2 Plan qualité	110
Revue des exigences du cahier des charges	112
Principes et modalités d'organisation du contrôle	114
12.3 Organisation du contrôle et de la traçabilité	116
12.3.1 Contrôle et traçabilité à l'étape de l'approvisionnement	116
Exemple de bon de commande	116
Documents accompagnant les produits de base à réception	116
12.3.2 Contrôle et traçabilité à l'étape de la fabrication	117
Descriptif du mode opératoire de soudage (exemple)	117
Qualification du mode opératoire de soudage (exemple)	118
Contrôle de soudage (exemple)	118
Validation du procédé de coupage (Exemple)	119
Contrôle de routine de la découpe (Exemple)	120
Validation du procédé de perçage (Exemple)	121
Contrôle de routine du perçage (Exemple)	122
12.3.3 Traçabilité à l'étape de l'expédition	122
12.3.4 Contrôle à l'étape du montage	122
ANNEXE	123
Exigences supplémentaires de la norme NF EN 1090-2 relatives aux classes d'exécution	123

TABLE DES TABLEAUX

Normes de produit pour les boulons de construction à haute résistance aptes à la précontrainte	21
Plages de températures nécessaires pour le formage à chaud en fonction de l'acier utilisé	25
Tolérances de coupe	34
Tolérances de perçage	39
Qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14	50
Qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14	50
Qualification des modes opératoires de soudages pour les autres procédés de soudage	50
Connaissances techniques des coordinateurs en soudage – Aciers de construction au carbone	52
Connaissances techniques des coordinateurs en soudage – Aciers inoxydables	53
Délais après soudage (heures) ^b avant contrôle	64
Etendue des Essais Non Destructifs supplémentaires	65
Exemple de plan de contrôle du serrage	79
Valeurs de la force de précontrainte minimale nominale $F_{p,C}$	82
Informations que le fournisseur de boulons doit fournir pour les états de calibrage de classe K_0 , K_1 et K_2	83
Tableau 1 Choix de la classe d'exécution	95
Principes et modalités d'organisation du contrôle	99
Tableau 2 Choix de la classe d'exécution	110

TABLE DES FIGURES

Cheminement aboutissant au choix de la classe d'exécution	7
Figure 1 – Contenu d'un Plan qualité (spécifique à un projet)	13
Figure 2 – Soudure en entaille ronde	61
Figure 3 – Soudure en bouchon ronde	61
Figure 4 – Soudure en entaille oblongue	62
Figure 5 – Soudure en bouchon oblongue	62
Figure 6 – Charpente industrielle	94



Les productions du programme PACTE sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Retrouvez gratuitement la collection sur www.programmepacte.fr

LES PARTENAIRES DU PROGRAMME PACTE

MAÎTRES D'OUVRAGE



ENTREPRISES/ARTISANS



MAÎTRES D'ŒUVRE



CONTRÔLEURS TECHNIQUES



INDUSTRIELS



ASSUREURS



PARTENAIRES PUBLICS



Le Secrétariat Technique du programme PACTE est assuré par l'Agence Qualité Construction.

GUIDE

EXÉCUTION ET MISE EN ŒUVRE DES STRUCTURES MÉTALLIQUES SELON LA NORME NF EN 1090-2

CLASSES D'EXÉCUTION EXC 2-3-4

SEPTEMBRE 2021

La norme NF EN 1090-2, publiée en Juin 2018, fixe les exigences applicables à l'exécution des structures en acier. Quatre classes d'exécution sont prévues : EXC1, EXC2, EXC3 et EXC4, pour lesquelles les exigences en termes de qualité augmentent. Le choix de la classe d'exécution étant réalisé en fonction de la destination de l'ouvrage, de la nature de l'élément considéré et du mode de production des éléments de la structure. Le présent document s'adresse aux entreprises de charpente métallique qui souhaitent mettre en place une organisation compatible avec la norme. L'objectif du présent document est de faciliter l'accès des entreprises aux projets correspondant aux classes d'exécutions EXC 2, EXC 3 et EXC 4 en clarifiant les préconisations spécifiques à ces classes d'exécution.

