Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

NLMK Clabecq

02/2015

INTRODUCTION GÉNÉRALE

*L'acier résistant à l'abrasion produit par NLMK Clabecq est identifié sous le nom de **Quard®**. Il est disponible en 400 HB, 450 HB et 500 HB. La dureté supérieure 550 HB est aujourd'hui à l'étude.*

*L'acier à hautes limites élastiques produit par NLMK Clabecq est identifié sous le nom de **Quend®**. La gamme comprend le Quend 700, avec une limite élastique Re = 700 MPa, et est complétée par le Quend 900 et le Quend 960 et sera suivie par le Quend 1100.*

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

DÉCOUPE

NLMK Clabecq

1. Introduction

*La découpe des plaques **Quard®** et **Quend®** peut s'effectuer à l'aide de n'importe quelle méthode de découpe conventionnelle, tant à froid que par découpe thermique.*

La découpe à froid consiste à recourir au cisaillement, au sciage, au meulage abrasif et à la découpe au jet d'eau. Ce manuel aborde les méthodes de découpe thermique suivantes : oxycoupage, découpe au plasma et découpe au laser.

La découpe de plaques Quard et Quend est sensiblement identique à celle des qualités d'acier conventionnelles. Lorsque vous découpez des tôles de fortes épaisseurs, certains aspects néanmoins doivent être pris en compte.

Ce manuel vous permet de mieux appréhender la mise en œuvre des aciers Quard et Quend afin d'éviter certains problèmes lors de la découpe thermique.

2. Fissures au niveau des bords de découpe

Lors de la découpe d'aciers trempés et revenus de fortes épaisseurs, et/ou ayant un taux de carbone équivalent élevé, des fissures peuvent apparaître sur la tranche et se propager. Ces fissures sont causées par les mêmes raisons que les fissures à froid pendant la soudure à savoir :

- **Présence d'hydrogène dans l'acier ;**
- **Contraintes résiduelles sur les bords de découpe ;**
- **Taux de carbone équivalent élevé.**

Les fissures de bords de coupe sur des aciers trempés et revenus suivent un procédé de fissuration différée, autrement dit, des fissures peuvent survenir, mais ne devenir visibles que plusieurs jours voire semaines après la coupe.

Il est possible d'éviter l'apparition des fissures de bords de coupe en prenant en compte soigneusement les aspects suivants :

- **Méthode de découpe ;**
- **Respect de l'exigence de préchauffage ;**
- **Vitesse de découpe ;**
- **Vitesse de refroidissement/phase postchauffage.**

Lors d'une découpe thermique, la zone découpée est exposée à une variation thermique importante, évoluant de la température ambiante jusqu'à la zone de fusion de l'acier auprès de la coupe. Cette zone affectée thermiquement (ZAT), est très restreinte : en effet, elle ne s'étend que sur quelques millimètres. Le procédé de découpe peut avoir une incidence importante sur les propriétés mécaniques de la ZAT, il est donc important d'en tenir compte avant de définir le mode de découpe.

Les procédés de découpe à froid ne créent pas de ZAT et n'affectent donc pas les propriétés mécaniques de l'acier.

3. Préchauffage

Le meilleur moyen d'éviter les problèmes de fissures au niveau des bords de coupe consiste à procéder à un préchauffage. Le préchauffage est principalement appliqué pour l'oxycoupage étant donné que cette méthode génère les zones thermiquement affectées les plus importantes. La nécessité d'un préchauffage et la température à laquelle il devra être réalisé dépendent de la qualité de l'acier et de l'épaisseur de la plaque. Le tableau 1 présente l'exigence de préchauffage des plaques Quard.

Tableau 1. Recommandations de préchauffage lors de l'oxycoupage du Quard.

Qualité d'acier	Épaisseur de plaque, mm	Température de préchauffage, °C
Quard 400	≥50	100-125
Quard 450	≥40	100-125
Quard 500	≥25	100-150

Remarque: dans la plage des épaisseurs inférieures ou égales à 50 mm, les plaques Quend ne nécessitent pas de préchauffage avant découpe thermique.

Au démarrage du processus de découpe thermique, la température ambiante doit être au moins égale à 0°C.

Après découpe, il est nécessaire de laisser refroidir les tôles à température ambiante. N'accélérez jamais le refroidissement des pièces. Une vitesse de refroidissement lente réduit le risque d'apparition de fissures.

4. Vitesse de coupe

S'il est impossible de réaliser un préchauffage, il existe une autre possibilité pour réduire le risque d'apparition de fissures au niveau des bords. En effet, en réduisant la vitesse de coupe, la chaleur générée fait office de préchauffage. Cette méthode n'est pas aussi performante et fiable que la méthode par préchauffage qui reste à privilégier. Pour réduire encore plus le risque d'apparition de fissures de bord de découpe, il est possible de combiner un préchauffage et une réduction de la vitesse de découpe. L'option consistant à réduire la vitesse de coupe doit être appliquée à partir de la même épaisseur de plaque que celle pour laquelle le préchauffage est recommandé (voir Tableau 1). La vitesse limite à utiliser doit être égale à 50% de la vitesse appliquée normalement*.

*Dans le cas d'une vitesse normale, nous nous référons à la vitesse recommandée par le fournisseur d'équipement de découpe.

5. Niveaux de dureté du bord de coupe

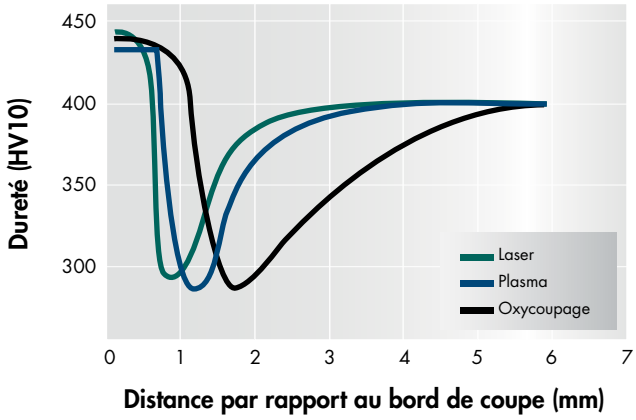
Selon la méthode de coupe utilisée, l'apport calorique ajouté et accumulé dans l'acier varie. Plus la chaleur transmise à la plaque est importante, plus la zone affectée est vaste. C'est l'oxycoupage qui génère la ZAT la plus importante. À l'opposé, c'est la découpe au laser qui occasionne la zone la plus restreinte.

Quelle que soit la méthode de découpe thermique, la dureté superficielle est plus importante, puis atteint sa valeur minimale entre 1 et 3 mm de profondeur.

On comprendra aisément que la variation de dureté génère une certaine contrainte dans la ZAT, susceptible d'encourager l'apparition de microfissures (en particulier en présence d'hydrogène).

Un autre effet de la dureté élevée du bord de coupe apparaît lors des opérations de fraisage réalisées sur le bord de coupe. Pour empêcher que l'outil de découpe s'use trop, il est important de procéder un usinage suffisamment profond pour ne pas être en contact avec la zone de dureté superficielle.

Figure 1. Valeur de dureté en fonction des procédés de découpes thermiques.



6. Refroidissement lent et postchauffage

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le refroidissement des pièces découpées thermiquement doit toujours être réalisé lentement.
Pour ralentir davantage la vitesse de refroidissement, il est recommandé d'empiler les pièces découpées (encore chaudes) et de recouvrir les pièces d'un matériau isolant.

Au besoin, un postchauffage de la pièce découpée peut être réalisé. La température utilisée doit être comprise entre 100 et 200°C et le temps de chauffage doit correspondre à cinq minutes par mm d'épaisseur de tôle. Le postchauffage sera optimal s'il est réalisé dans un four de traitement thermique. Cependant, il peut également être effectué à l'aide de brûleurs.

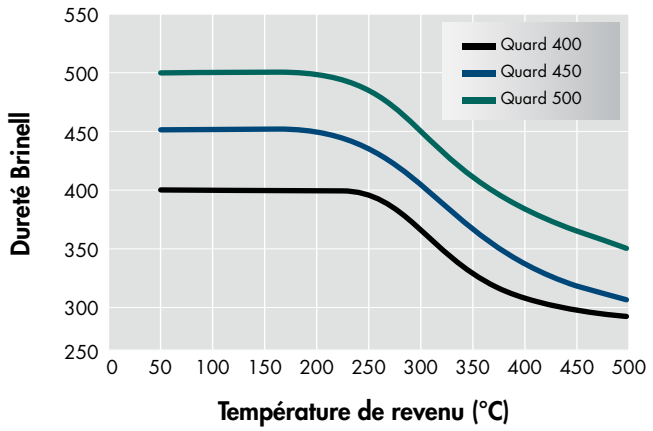
En appliquant un refroidissement lent ou un postchauffage, les contraintes résiduelles dans la zone de coupe sont réduites. Parallèlement, vous prolongez le délai de diffusion de l'hydrogène hors de la zone de découpe. Ces actions empêchent l'apparition de fissures sous hydrogène.

7. Découpe de petites pièces en QUARD

Lors de la découpe de pièces de petites tailles, la chaleur générée au cours du processus de découpe s'accumule au sein de l'acier. Plus la pièce est petite et / ou plus l'épaisseur de la plaque est grande, plus le risque de revenu de l'acier est important.

La résistance thermique du Quard est indiquée à la figure 2 qui illustre le rapport dureté / température de revenu.

Figure 2. Résistance au revenu / Quard.



Pour conserver la dureté et par conséquent la résistance à l'usure des petits composants découpés, il est important de limiter la valeur de température des aciers lors de la coupe.

Pour réduire autant que possible le cumul de chaleur lors de la découpe de petits composants, vous pouvez :

- sélectionner la méthode de découpe qui convient, par exemple découpe au laser ou découpe abrasive au jet d'eau, ce qui permet de réduire la chaleur générée ;
- réaliser une découpe au plasma ou un oxycoupage sous l'eau à l'aide d'une table de découpe à l'eau. Ainsi, l'eau évacue efficacement la chaleur hors de la plaque.*

*La découpe immergée se distingue des principes énoncés à propos du refroidissement lent. Lors d'une découpe sous l'eau, la zone thermiquement affectée est plus restreinte que lors d'une découpe à l'air libre. Par conséquent, l'effet néfaste de la ZAT peut être limité. Lors d'une découpe immergée, la vitesse de découpe est réduite d'environ 30 à 50% par rapport à une découpe normale à l'air libre. Cela correspond à la recommandation qui consiste à appliquer de faibles vitesses de découpe pour éviter l'apparition de fissures au niveau des bords.

8. Découpe au laser

Tant le **Quard** que le **Quend** conviennent à la découpe au laser.

Quard et Quend peuvent être livrés en version grenaillée-prépeinte ou en version noire. Selon l'état de la surface, les performances en matière de découpe au laser peuvent varier légèrement.

Le primaire utilisé chez NLMK Clabecq est de type silicate avec basse teneur en zinc. Il a été conçu de manière à limiter l'impact négatif sur les performances de la découpe au laser.

Afin d'obtenir une meilleure qualité de découpe laser d'une plaque prépeinte, la vitesse d'avance peut être réduite de 5 à 10%.

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

FORMAGE À FROID

NLMK Clabecq

1. Introduction

***Quard®**, acier résistant à l'abrasion, et **Quend®**, acier à haute limite d'élasticité, ont été conçus pour garantir des performances optimales en matière de formage à froid. Nos exigences en matière de pureté de l'acier, de tolérance d'épaisseur, d'état de surface, et enfin des faibles contraintes résiduelles sont propices à un pliage précis et sûr.*

Dans le cas des plaques d'épaisseur inférieure ou égale à 8 mm, une attention particulière a été portée à la conception des qualités d'acier Quard et Quend afin de garantir des performances de pliage exceptionnelles.

Les aciers Quard et Quend se démarquent de la concurrence par leur faibles tolérances d'épaisseur et l'excellente planéité, qui leur confère un formage à froid de haute qualité.

Aspect de surface excellent	**Augmentation de la protection contre les fissures :** Réduction des points de départ de fissures le long de la ligne de pliage
Tolérances sur épaisseur serrées	**Reproductibilité améliorée :** Assure un retour élastique constant lors du pliage
Planéité	**Reproductibilité améliorée :** Améliore la tolérance de forme lors du pliage

2. Pliage

Le formage à froid des plaques implique une déformation plastique ou un étirement de la surface de la plaque sur le côté de tension extérieure du pli. Le rayon de pliage minimum est déterminé par la capacité de l'acier à se déformer sans dépasser les limites de ductibilité.

Les principaux facteurs déterminant l'aptitude à la déformation de l'acier ou la capacité de déformation plastique sans rupture ont été répertoriés aux points A à E ci-dessous:

A. Type d'acier:

L'acier à faible résistance est généralement plus ductile que l'acier à résistance élevée. Il est par conséquent en mesure d'être plié à un rayon plus petit. En règle générale, une faible teneur en carbone est essentielle à une malléabilité satisfaisante. Ainsi, le fait de pouvoir utiliser une composition chimique faiblement chargée afin de fabriquer un acier trempé & revenu à haute résistance bénéficie à la capacité de formage à froid. Plus la résistance et la robustesse de l'acier sont importantes, plus le retour élastique est important. Plus la force de pliage est élevée, plus le rayon d'outil requis est important.

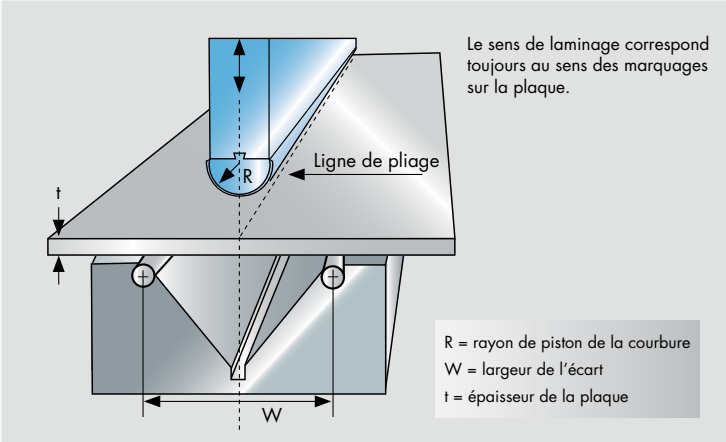
B. Sens de laminage:

Les propriétés de l'acier varient en fonction du sens de laminage utilisé pour la production des tôles. Dans le sens transversal, la microstructure est orientée de manière plus favorable. Ainsi, la ductilité, de même que les propriétés de pliage, sont améliorées si la ligne de pliage est orientée dans le sens transversal du laminage.

C. État du bord et de la surface des plaques :

Une mauvaise qualité de l'état de surface ou des bords de tôles peut être l'origine de la création de fissures. Pour cette raison, avant le pliage, certains éléments doivent être pris en considération : meulage et / ou élimination des coins / angles saillants et éclats sur les bords cisaillés, entailles, formation de dépôt sur les bords découpés thermiquement, éraflures et écailles de calamine désolidarisées le long de la ligne de pliage. Positionnez toujours la surface de la plaque et / ou les bords de la qualité la plus médiocre du côté intérieur du pliage.

Machine de pliage.



D. Friction :

Pour réduire la friction entre les bords de la matrice et la plaque, il est recommandé d'utiliser des matrices à rouleaux. Il est possible de réduire encore la friction en pulvérisant des lubrifiants dans les zones de contact situées entre les bords de la matrice et la plaque.

La largeur de l'ouverture du vé de pliage doit être adaptée afin de convenir au mieux à l'opération de pliage.
En augmentant la largeur d'ouverture de la matrice, le retour élastique augmente et la force de pliage se réduit.

E. Outil de pliage:

Lors du pliage d'aciers trempés et revenus, le rayon de l'outil de pliage doit être identique ou légèrement inférieur au rayon final demandé.

Le rayon de l'outil doit être choisi de manière à se conformer précisément au rapport minimal R/t indiqué dans les recommandations de pliage Quard et Quend des tableaux 1 et 2.

Pour garantir un contact correct entre la plaque et la lame de pliage pendant toute l'opération de formage, le rayon de l'outil de pliage doit être de 180°.

Attention

Lors du formage à froid d'un acier trempé et revenu à haute résistance, des forces très puissantes sont en action. Face au risque de rupture de la plaque ou de la presse, le personnel travaillant à proximité de la machine doit toujours suivre les instructions de sécurité, à savoir ne pas se tenir trop près ou en face de la machine pendant le pliage.

3. Recommandations de pliage

A. Rayon de pliage:

Rayon de pliage minimal recommandé, R (mm), lors d'un pliage à un angle de 90° dans le sens transversal et longitudinal par rapport au sens de laminage.

Tableau 1. Acier Quard résistant à l'abrasion.

Épaisseur de plaque, mm		Direction de pliage/sens de laminage	Rayon de pliage, R (mm)		
≤ t <			Quard 400	Quard 450	Quard 500
-	8	Transversal/ longitudinal	2.5 x t 3.0 x t	3.5 x t 4.0 x t	3.5 x t 4.5 x t
8	20	Transversal/ longitudinal	3.0 x t 4.0 x t	4.0 x t 5.0 x t	4.5 x t 5.0 x t
20	-	Transversal/ longitudinal	4.5 x t 5.0 x t	5.0 x t 6.0 x t	6.0 x t 7.0 x t

Tableau 2. Acier Quend à haute limite d'élasticité.

Épaisseur de plaque, mm		Direction de pliage/ sens de laminage	Rayon de pliage, R (mm)	
≤ t <			Quend 700	Quend 900 Quend 960
-	8	Transversal/ longitudinal	1.5 x t 2.0 x t	2.5 x t 3.0 x t
8	20	Transversal/ longitudinal	2.0 x t 3.0 x t	3.0 x t 4.0 x t
20	-	Transversal/ longitudinal	3.0 x t 4.0 x t	4.0 x t 5.0 x t

B. Longueur de l'écart du V:

La longueur de l'écart du V minimale recommandée (ratio W/t) lors du pliage de Quard et Quend, devrait être compris selon les tableaux suivants.

Tableau 3. Acier Quard résistant à l'abrasion.

Épaisseur de plaque, mm		Direction de pliage/sens de laminage	Longueur de l'écart du V (W/t)		
≤ t <			Quard 400	Quard 450	Quard 500
-	8	Transversal/ longitudinal	8 10	10 10	10 12
8	20	Transversal/ longitudinal	10 10	10 12	12 14
20	-	Transversal/ longitudinal	12 12	12 14	16 18

Tableau 4. Acier Quend à haute limite d'élasticité.

Épaisseur de plaque, mm		Direction de pliage/ sens de laminage	Longueur de l'écart du V (W/t)	
≤ t <			Quend 700	Quend 900 Quend 960
-	8	Transversal/ longitudinal	8 9	9 10
8	20	Transversal/ longitudinal	8 9	9 10
20	-	Transversal/ longitudinal	9 10	10 12

C. Retour élastique :

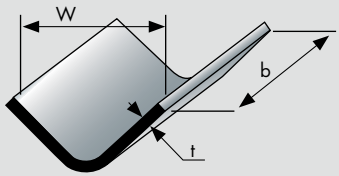
Retour élastique estimé lors d'un pliage à 90°	
Qualité d'acier	**Retour élastique standard**
Quard 400	8-12°
Quard 450	10-14°
Quard 500	12-18°
Quend 700	6-10°
Quend 900 / 960	8-12°

Le retour élastique augmente avec :

- **Augmentation de la dureté et de la résistance de la plaque ;**
- **Augmentation de la largeur de la matrice ;**
- **Augmentation du rayon de l'outil de pliage.**

4. Calcul de la force de pliage

Énergie nécessaire au pliage.



$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{W}$$

R_m = résistance à la traction, (MPa)
t = épaisseur de plaque, (mm)
C = constante (1,5)
b = longueur à plier (mm)
W = largeur de la rainure en V (mm)

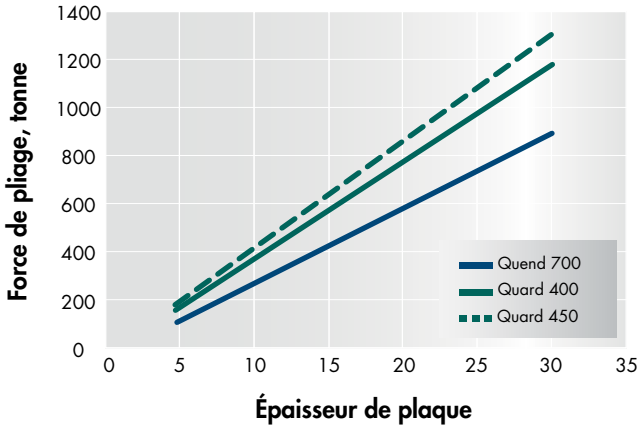
Exemple:
Quard 400:
R_m: 1250 MPa;
épaisseur de plaque (t) = 10 mm
longueur de pliage (b) = 2500 mm
Largeur de matrice (W) : 120 (W = 12 x t).

Calcul de la force de pliage:

$$F\ (\text{Newton}) = 1.5 \times \frac{(1250 \times 2500 \times 10^2)}{120}$$

F = 3906250 Newton / 10000
= 391 tonnes, (voir graphique)

Force de pliage requise lors du pliage de plaques Quard 400, 450 et Quend 700 d'une longueur de 2 500 mm indiquée selon l'épaisseur de plaque.



Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

SOUDAGE

NLMK Clabecq

1. Introduction

***Quard®**, acier résistant à l'abrasion, et **Quend®**, acier de construction à haute limite d'élasticité, allient des performances d'exception et une excellente soudabilité. Le Quard et le Quend reposent sur une composition d'acier faiblement alliée, ce qui garanti un faible carbone équivalent. Le soudage du Quard et du Quend peut être réalisé avec toutes les qualités d'acier soudables à l'aide de n'importe quelle méthode de soudage conventionnelle, tant manuelle qu'automatique.*

La soudabilité du Quard et Quend est identique aux aciers standard. Cependant il peut être demandé de prêter une attention particulière pour la réalisation de soudure de haute qualité.

- *Nécessité d'un préchauffage avant soudage*
- *Apport de chaleur à la soudure*
- *Sélection de l'électrode.*

2. Préchauffage

Les aciers trempés et revenus de fortes épaisseurs doivent être préchauffés avant mise en œuvre de la soudure afin d'éviter le risque de criques après soudure.

Le besoin de préchauffage avant soudure ainsi que ses caractéristiques dépendent de plusieurs facteurs :

- **La valeur du carbone équivalent ;**
- **Les contraintes mécaniques appliquées sur la soudure ;**
- **Le type d'électrode utilisé.**

Le carbone équivalent est identifié par les valeurs Cev et Cet, et sont issus de 2 formules de calculs utilisant les propriétés chimiques inscrites sur le certificat matière. La valeur de CEV est la plus communément utilisée, en revanche la valeur CET est mieux adaptée aux aciers trempés et revenus. Ces 2 valeurs sont indiquées sur toutes les documentations relatives à la soudabilité des aciers.

Quelle que soit la valeur du carbone équivalent utilisé, la règle générale est la suivante : plus il est élevé, plus il est nécessaire de prêter attention au préchauffage.

$$CEV(IIW) = C + Mn/6 + [Mo+Cr+V]/5 + [Ni+Cu]/15 \ (\%)$$

$$CET = C + [Mn+Mo]/10 + [Cr+Cu]/20 + Ni/40 \ (\%)$$

Remarque :
Lorsque vous comparez les carbone équivalents de plusieurs qualités d'acier, veillez à comparer le même type d'équivalent. Lors du calcul du carbone équivalent d'une plaque Quard ou Quend, utilisez toujours la composition de coulée indiquée sur le certificat du produit et non l'analyse maximale de la fiche technique.

3. Fissuration sous hydrogène / Fissuration à froid

Il est important de suivre les recommandations de préchauffage lors de la soudure de tôles **Quard** et **Quend** de fortes épaisseurs. Faute de quoi des fissures pourraient apparaître 48 h après le soudage.

Ce phénomène peut être levé totalement si les recommandations de préchauffage, et les recommandations fournies à la sélection des consommables sont respectées.

Les fissurations sous hydrogène surviennent principalement en raison de l'un ou de plusieurs des facteurs ci-dessous :

- **Carbone équivalent trop élevé ;**
- **Contraintes mécaniques trop élevées dans la soudure ;**
- **Teneur d'hydrogène trop élevée dans la soudure.**

Le principal objectif du préchauffage est de ralentir la vitesse de refroidissement de la zone thermiquement affectée et du métal de la soudure de manière à ce que l'hydrogène puisse se diffuser lentement hors de l'acier. Le préchauffage est particulièrement important lors de la première passe de soudure ainsi que lors du pointage, compte tenu de la température initiale de la tôle.

4. Comment éviter les fissurations sous hydrogène

En sélectionnant les aciers **Quard** et **Quend** vous optez pour des aciers faiblement alliés garantissant un faible carbone équivalent en rapport avec la dureté / résistance mécanique procurant une excellente soudabilité.

Les contraintes appliquées dans la soudure peuvent être éliminées par une conception optimisée et par la sélection du produit d'apport de l'électrode appropriée.

Outre la sélection d'un produit d'apport présentant la résistance nécessaire, la teneur en hydrogène du métal soudé doit demeurer faible. Utilisez toujours des électrodes présentant une teneur en hydrogène dans le métal soudé de max. 5 ml / 100 g. La teneur standard en hydrogène du métal soudé est toujours indiquée sur l'emballage par le fournisseur.

Pour obtenir une qualité de soudure satisfaisante avec du Quard et du Quend, il est recommandé de maintenir les normes de propretés de soudage nécessaires (absence de rouille, huile, graisse et humidité).

5. Températures de préchauffage recommandées

Les exigences en matière de préchauffage sont fonction de :

- **La valeur du carbone équivalent ;**
- **L'épaisseur des tôles ;**
- **La teneur en hydrogène dans le cordon de soudure ;**
- **La température de soudage.**

Les exigences minimales recommandées en matière de préchauffage sont indiquées par rapport à l'épaisseur de la tôle. La méthode de test sur laquelle reposent les recommandations de préchauffage se nomme le test Tekken.

Tableau 1. Soudage avec un apport thermique de ≥ 1,7 kJ / mm. Teneur d'hydrogène du dépôt de métal de la soudure : ≤ 5 ml / 100 g de métal de soudure.

Épaisseur de la tôle, en mm

	3	10	20	30	40	50	60
Quard 400			75		100		150*
Quard 450			75	125	150		175
Quard 500		100 125	150	175	200*		200*
Quend 700				100	125		150
Quend 900/960		100	125	125*	150*		150*

*Températures de préchauffage calculées au préalable.
Produits en cours de développement en 2015.

REMARQUE IMPORTANTE !!!

- **Si un préchauffage est nécessaire, il doit être réalisé pendant le pointage et l'assemblage des pièces à souder.**
- **Lors du pointage, la longueur des cordons doit être de 50 mm minimum.**
- **Si la valeur du carbone équivalent du consommable est supérieure à celle de l'acier, la température de préchauffage doit être majorée de 25°C par rapport au tableau 1 & 2.**
- **Si la température ambiante et / ou celle des tôles est inférieure à +5°C, la température de préchauffage doit être majorée de 25°C, par rapport aux tableaux 1 & 2.**

6. Température de soudage recommandée pour chaque cordon de soudure

Dans le cas de soudure en passes multiples, la chaleur générée s'accumule et augmente la température de la zone soudée. Cette augmentation de température peut affecter les propriétés mécaniques de la zone affectée thermiquement. Il est donc recommandé de respecter les températures maximales du cordon de soudure entre chaque passe, comme décrit dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2. Température entre les passes maximale recommandée.

Qualité	Temp. entre les passes
Quard 400 / 450	225°C
Quend 700 / 900 / 960	325°C

7. Apport thermique recommandé

L'apport thermique est généré par la température appliquée à chaque cordon de soudure.

Plus l'apport thermique est élevé, plus la chaleur à transférer depuis la soudure vers l'acier est importante.

Calcul de la valeur d'apport thermique lors du soudage.

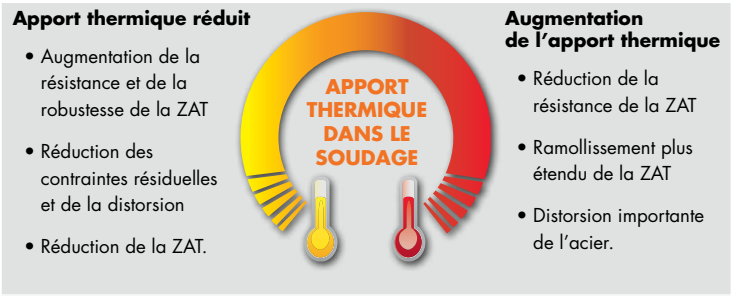
$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000}$$

Q = Apport thermique (KJ / mm)
U = Tension (V)
I = Courant (A)
v = Vitesse de soudage (mm / min.)
k = Efficacité thermique

Efficacité thermique	k
MMA	0,8
MAG, tous types	0,8
SAW	1,0
TIG	0,6

Les caractéristiques mécaniques des aciers Quard et Quend sont obtenues par un traitement thermique de trempe et revenu. Si la zone affectée thermiquement est soumise à des températures trop élevées, cela peut réduire les propriétés mécaniques.

Effet de l'apport thermique au niveau des propriétés mécaniques de soudure.



Les exigences de productivités tendent à vouloir faire augmenter la valeur d'apport thermique. Si cet apport est trop élevé, il peut avoir un impact négatif sur la résistance de la soudure, la pénétration, la résistance aux impacts, la distorsion de la soudure et l'extension de la zone affectée thermiquement.

L'exposition thermique de la ZAT est créée par la combinaison de l'apport thermique avec la valeur de température entre chaque passe. Des restrictions en matière d'apport thermique maximal ont été suggérées (figures 1 et 2) afin d'éviter de compromettre les propriétés de la zone affectée thermiquement.

Figure 1. Apport thermique max. / min. recommandé lors du soudage de plaques Quard 400 / 450. (La valeur minimale fait référence aux méthodes de soudage conventionnelles).

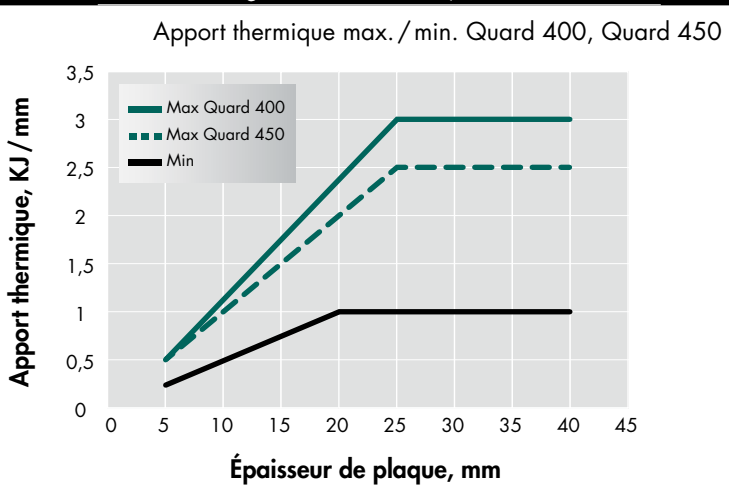
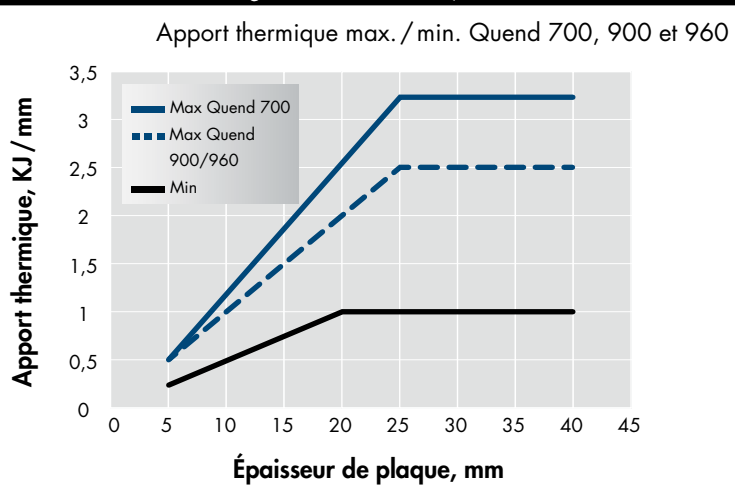


Figure 2. Apport thermique max. / min. recommandé lors du soudage de plaques Quend 700 / 900 / 960. (La valeur minimale fait référence aux méthodes de soudage conventionnelles).



Recommandé Δt8 / 5

Qualité d'acier	Délai de refroidissement, de 800°C à 500°C
Quend 700	5-25 s.
Quend 900 / 960	5-15 s.

8. Sélection des produits d'apport

Les produits d'apport utilisés pour souder les aciers **Quard** & **Quend** doivent être composés de consommable ferritiques faiblement voire non alliés. Selon la méthode de soudage à utiliser, le produit d'apport peut être de type fil plein (GMAW) ou combinaison avec un flux (comme pour le soudage MMA, SAW ou FCAW). Dans le cas d'un système de flux, il est recommandé d'utiliser un flux de base. En effet, généralement, un flux de base génère un dépôt de soudure plus propre et produit une résistance aux impacts du métal plus élevée tout en étant moins soumis au prélèvement d'hydrogène.

Pour minimiser le risque d'apparition de fissures d'hydrogène, la soudure doit être réalisée à l'aide de produits d'apport à faible taux d'hydrogène, présentant une teneur d'hydrogène du dépôt de métal de soudure de max. 5 ml / 100 g de métal de soudure.

Lors de la soudure d'aciers Quard , les produits d'apport à utiliser doivent présenter une limite d'élasticité de max. 500 MPa. Le fait d'utiliser des produits d'apport présentant une limite supérieure augmente le niveau de contrainte dans la soudure et le risque d'apparition de fissures à froid. En utilisant un produit d'apport à limite élastique restreinte, la soudure est en mesure de se libérer des contraintes, même si elle est exposée à des conditions de soudages sévères.

Lors du soudage d'aciers de construction Quend, les exigences de la norme de construction applicable doivent être respectées en ce qui concerne la résistance transversale de la soudure. Dans ce cas, des consommables présentant une limite d'élasticité équivalente ou légèrement supérieure doivent être sélectionnés. Autrement dit, la résistance du métal de la soudure doit être identique ou légèrement supérieure à celle du métal parent. Il est facile de trouver des produits d'apport de ce type pour Quend 700. En revanche, pour Quend 960- 1100, seuls quelques fabricants d'électrodes sont en mesure de fournir ces consommables haute résistance.

Les tableaux 3 à 5 répertorient les produits d'apport recommandés pour un soudage sur du Quard et du Quend, en fonction de la méthode de soudure choisie. Les désignations des classes AWS et EN ont également été indiquées dans ces tableaux, représentant le niveau de résistance, la robustesse et la composition des consommables recommandés.

Désignation des méthodes de soudure:	
MMA	Soudage à l'arc métal manuel
MAG / GMAW	Soudage au gaz actif – Soudage à l'arc métal à gaz
MIG	Soudage au gaz inerte
FCAW	Soudage à l'arc à cordon de flux
SAW	Soudage à l'arc immergé

Tableau 3. Consommables ferritiques convenant au soudage de plaques Quard 400 / 450 / 500.

	MMA Arc manuel	**GMAW** Arc au gaz	**FCAW** Arc à cordon de flux	**SAW** Arc immergé
Classe EN	EN ISO 2560 E4X	EN 440 G4X	EN 758 T4X	EN 756 S4X
Classe AWS	A5.5 E70	A5.28 ER70S	A5.29 E7XT	A5.23 F7
ESAB	OK 48.00	OK Autrod 12.51	OK Tubrod 14.11	12.22 + 10.71
Oerlikon	Tenacito 70	Carbofil 1 (a)	Fluxofil 31/41	L-70 / OP121TT
Bohler	FOX EV47, EV48	EMK& , NiCu-1G	Kb 52-FD	EMS2 / BB22

Tableau 4. Consommables ferritiques convenant au soudage de plaques Quend 700.

	MMA Arc manuel	**GMAW** Arc au gaz	**FCAW** Arc à cordon de flux	**SAW** Arc immergé
Classe EN	EN 757 E69	EN 12534 G69	EN ISO 18276 T69	EN 14295 S69
Classe AWS	A5.5 E110	A5.28 ER110-S	A5.29 E11XT	A5.23 F11
ESAB	OK 75.75	OK Autrod 13.29	OK Tubrod 14.03	13.43 + 10.62
Oerlikon	Tenacito 100	Carbofil NiMoCr	Fluxofil 42	–
Bohler	FOX EV85	Union NiCrMo	Union MV NiMoCr	–

Tableau 5. Consommables ferritiques convenant au soudage de plaques Quend 900 / 960.

	MMA Arc manuel	**GMAW** Arc au gaz	**FCAW** Arc à cordon de flux	**SAW** Arc immergé
Classe EN	EN 757 E89	EN 12534 G 89	EN ISO 18276 T89	EN 14295 S89
Classe AWS	N/A	N/A	N/A	N/A
ESAB	OK 75.78	–	Coreweld 89	–
Bohler	–	Union X90 / X96	–	–

Lorsque vous sélectionnez des produits d'apport pour le soudage de plaques Quend 900 et Quend 960, veuillez contacter l'assistance technique de NLMK Clabecq.

9. Consommables austénitiques

Les consommables austénitiques (acier inoxydable) peuvent être utilisés pour le soudage sur Quard et sur Quend. Le principal avantage lié à l'utilisation de produits d'apport austénitiques est de pouvoir souder des tôles Quard et Quend de fortes épaisseurs. Les produits d'apport austénitiques sont beaucoup plus chères que les produits d'apport ferritiques. Cependant, si le préchauffage est impossible, les consommables austénitiques constituent une option. Les produits d'apport austénitiques recommandés pour le soudage de Quard doivent être conformes à la classification AWS 307 (ou 309) indiquée dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6. Consommables austénitiques convenant au soudage de plaques Quard 400 / 450 / 500.

	MMA Arc manuel	**GMAW** Arc au gaz	**FCAW** Arc à cordon de flux	**SAW** Arc immergé
Classe EN	EN 1600 E18 8	EN 12072 G18 8	EN I2073 T18 8	EN 12072 S18 8
Classe AWS	A5.4 E307	A5.9 ER307	A5.9 EC307	A5.9 ER307
ESAB	OK 16.45	OK Autrod 16.95	OK Tubrod 14.71	16.97 + 10.93

10. Amélioration de la résistance à l'usure des soudures

Lors du soudage de plaques Quard résistantes à l'abrasion, la soudure doit être positionnée dans des zones à faibles contraintes avec peu ou pas d'exposition à l'abrasion et à l'abri des chocs et impacts. Si la soudure se situe dans des zones exposée à une abrasion importante, la résistance de la soudure peut être améliorée à l'aide de consommables durs. Ces consommables durs sont généralement appliqués sur le ou les derniers cordons de soudures superficiels. Les électrodes dures sont généralement très riches en chrome (3-13% Cr). C'est la raison pour laquelle l'équivalent carbone du métal de la soudure dépasse toujours l'équivalent du matériau parent. Il est par conséquent important de respecter les recommandations du fournisseur du produit d'apport dur en appliquant les paramètres de préchauffage et de soudage qui conviennent.

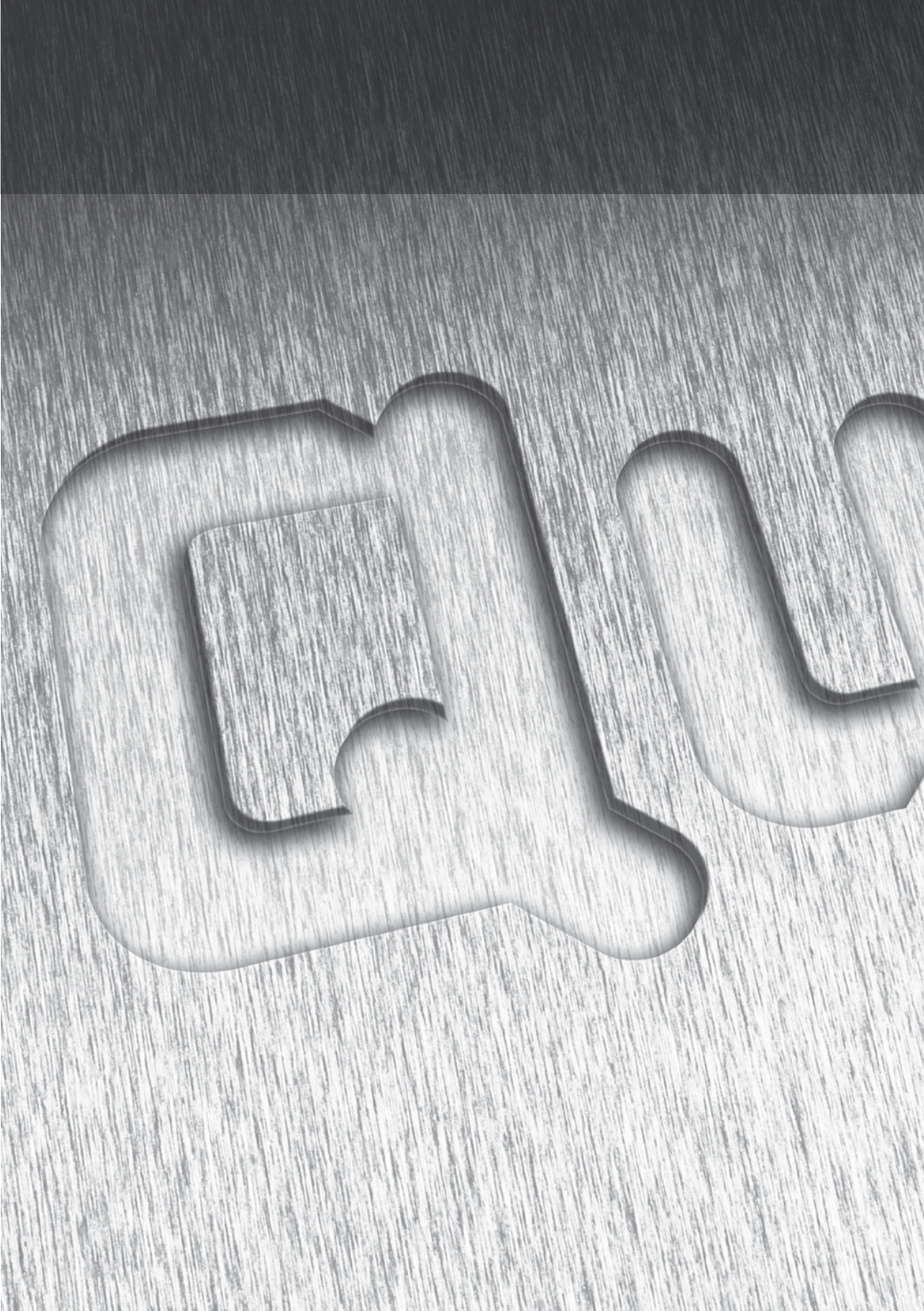
11. Soudage laser de plaques Quard et Quend

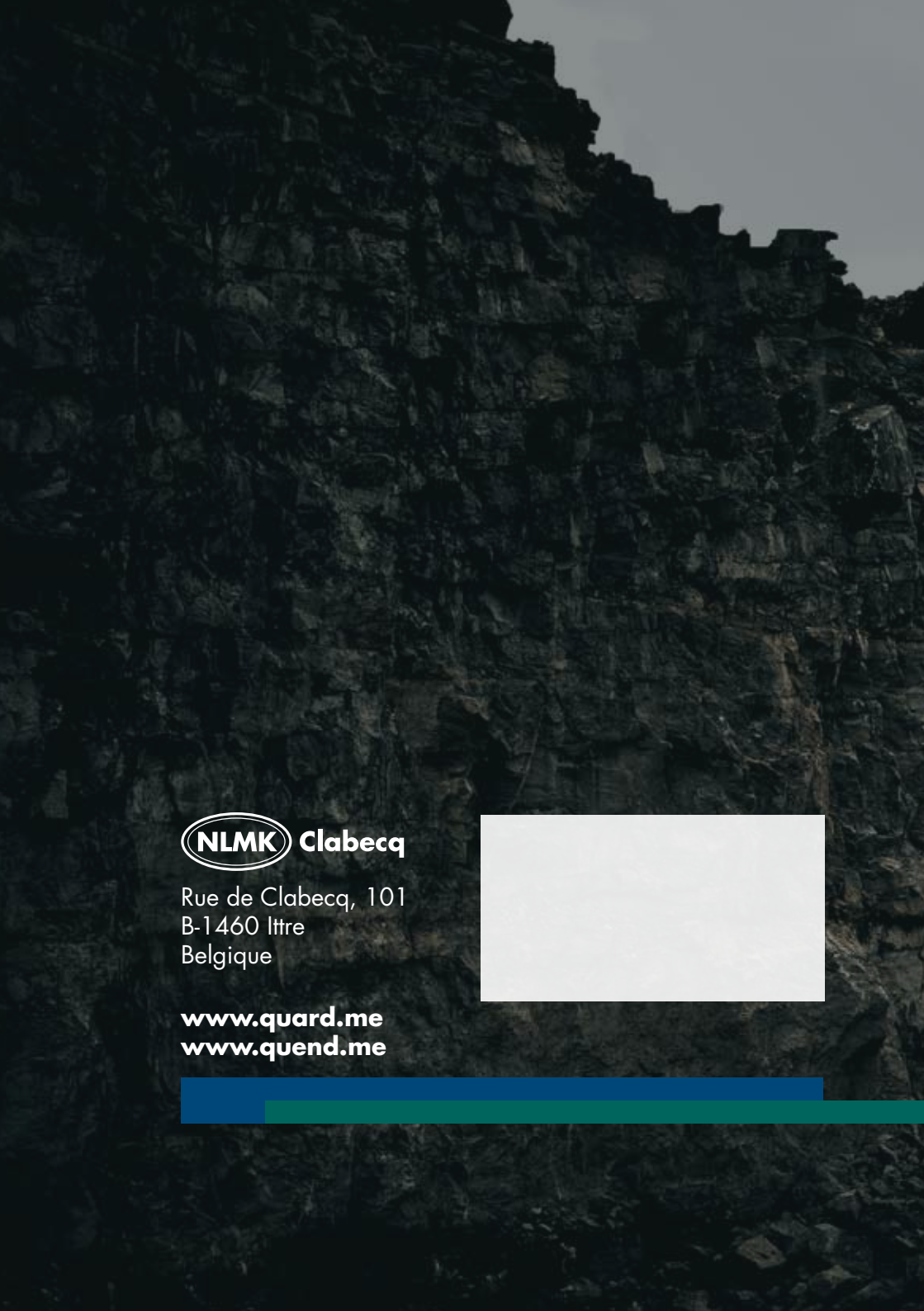
Le soudage laser peut être utilisé lors de la soudure des aciers Quard & Quend, avec ou sans ajout de consommables. Pour assurer la résistance et la robustesse de la soudure, il est recommandé d'accompagner le soudage laser d'un consommable. Le procédé de soudage laser hybride permet de réaliser des soudures conférant de très bonnes propriétés mécaniques. Pour plus d'informations concernant le soudage laser de plaques Quard et Quend, contactez nos experts en soudure de l'assistance technique de NLMK Clabecq.

NOTES:

NOTES:

NOTES:





NLMK Clabecq

Rue de Clabecq, 101
B-1460 Ittre
Belgique

www.quard.me
www.quend.me