

BOULONS NON-PRÉCONTRAINTS ET PRÉCONTRAINTS DANS LE BÂTIMENT

par E. GREFF

1

1. – INTRODUCTION

La présente analyse a pour but de traiter de la connaissance et des pratiques ayant cours en France en matière de boulonnerie dans la construction métallique.

Dans ce document nous nous proposons de comparer l'environnement normatif aux exigences de Qualité et Sécurité dans le bâtiment et faisons l'état des réponses apportées par la Marque NF ainsi que les garanties complémentaires offertes par un fabricant français.

2. – ENVIRONNEMENT NORMATIF

2,1. – Boulons non précontraints (dits « normaux » ou « ordinaires »)

Il s'agit de boulons impropres au serrage contrôlé pour la construction métallique, donc non utilisables en précontrainte.

Ces boulons sont exclusivement utilisés dans le cas d'efforts de cisaillement, de traction ou d'une combinaison de ces deux sollicitations.

Ils sont généralement de Classes de qualité 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.6, 6.8, 8.8 et 10.9, les trois dernières Classes étant les plus couramment utilisées.

Nota : Il est important de ne pas confondre ces produits avec les boulons à haute résistance aptes à la précontrainte (dénommés « HR 8.8 » et « HR 10.9 »).

E. GREFF – Ingénieur Chef Produit – Société GFD

ASS-REG 1-99**2,11. – Caractéristiques mécaniques**

Les caractéristiques mécaniques minimales des boulons non précontraints, ainsi que les programmes et les méthodes d'essais, sont définis par les normes NF EN 20898-1 pour la vis et NF EN 20898-2 pour l'écrou.

Les caractéristiques mécaniques peuvent être obtenues, soit par écrouissage du métal (Classe 6.8), soit par traitement thermique (Classes 8.8 et 10.9).

Les garanties de performances portent essentiellement sur les caractéristiques suivantes :

- limite d'élasticité, résistance et allongement de la vis, par le biais de l'essai de traction sur vis, avec et sans cale biaise,
- dureté de la vis et de l'écrou,
- charge d'épreuve sur la vis et l'écrou,
- résilience sur les vis de Classes de qualité 8.8 et 10.9; cet essai étant réalisé à température ambiante sur une éprouvette à entaille en U, usinée dans la partie filetée.

2,12. – Caractéristiques dimensionnelles

Les caractéristiques dimensionnelles des boulons non précontraints sont définies dans les normes NF EN 24014 ou NF EN 24017 pour la vis et NF EN 24032 pour l'écrou.

Les caractéristiques particulières concernant les filetages des vis et écrous galvanisés à chaud sont précisées dans les normes ISO 965-4 et ISO 965-5 ainsi que dans la future norme ISO 10684.

2,13. – Caractéristiques de mise en œuvre

Les valeurs de résistance au cisaillement et de résistance à la traction sont calculées en application :

- soit des Règles CM66 (DTU P 22701 et Additif 80), intégrant les normes NF P 22430 (pour les calculs) et NF P 22431 (pour l'exécution),
- soit de l'Eurocode 3 (norme expérimentale P 22311).

Ces valeurs sont différentes suivant l'une ou l'autre méthode utilisée.

2,131. – Résistance au cisaillement

- **NF P 22430 (chapitre 6,32 de la norme)**
 - plan de cisaillement dans la partie filetée

$$V_{As} = (\sigma_{red} \cdot A_s)/1,54$$

ASS-REG 1-99

- plan de cisaillement dans la partie lisse de la tige

$$V_A = (\sigma_{red} \cdot A)/1,54$$

- **P 22311 (tableau 6,53 de la norme)**

- plan de cisaillement dans la partie filetée

Classes de qualité 4.6, 5.6, 6.6, 8.8 (« ductiles »)

$$F_{V,Rd} = (0,6 \cdot f_{ub} \cdot As)/\gamma_{Mb}$$

Classes de qualité 4.8, 5.8, 6.8, 10.9 (« peu ductiles »)

$$F_{V,Rd} = (0,5 \cdot f_{ub} \cdot As)/\gamma_{Mb}$$

- plan de cisaillement dans la partie lisse de la tige (toutes Classes de qualité)

$$F_{V,Rd} = (0,6 \cdot f_{ub} \cdot A)/\gamma_{Mb}$$

Les tableaux ci-après établissent la comparaison entre CM66 et Eurocode 3 pour les boulons de Classes de qualité 6.8 et 8.8.

COMPARAISON ENTRE NF P 22430 ET P 22311

Résistance au cisaillement

Classe	NF P 22430		P 22311	
	σ_{red} N/mm ²	Valeurs de calcul <i>N</i>	f_{ub} N/mm ²	Valeur de calcul <i>N</i>
6.8 filet	410	$\frac{410}{1,54} = 266$	600	$0,5 \times \frac{600}{1,25} = 240$
6.8 fût	410	$\frac{410}{1,54} = 266$	600	$0,6 \times \frac{600}{1,25} = 288$
8.8	550	$\frac{550}{1,54} = 357$	800	$0,6 \times \frac{800}{1,25} = 384$

Remarques : le coefficient partiel de sécurité ($\gamma_{Mb} = 1,25$) est introduit dans les règles de calcul P 22311 (Eurocode 3 – DAN), voir chapitre 2 – bases de calcul – appendice de la norme.

Ce coefficient n'apparaît pas explicitement dans la norme NF P 22430, la valeur de la contrainte σ_{red} ayant été spécifiée de façon à l'intégrer directement.

Il ne doit pas être pris en compte dans les valeurs minimales de résistance au cisaillement à garantir sur le seul boulon.

Pour la Classe 6.8, la norme P 22311 utilise une contrainte de calcul plus faible pour la partie filetée de la vis (formage par écrouissage, sans traitement thermique) que pour la partie lisse de la tige (fût), ceci afin de prendre en compte la ductilité réduite de la partie filetée et son incidence possible sur la résistance au cisaillement dans le cas d'un assemblage multi-boulons.

ASS-REG 1-99**2,132. – Résistance à la traction**

- **NF P 22430 (chapitre 6,31 de la norme)**

$$N = (\sigma_{red} \times As) / 1,25$$

- **P 22311 (tableau 6,53 de la norme)**

$$F_{t,Rd} = (0,9 \times f_{ub} \times As) / \gamma_{Mb} \quad \text{avec} \quad \gamma_{Mb} = 1,5$$

(chapitre 2 – bases de calcul – appendice)

Le tableau ci-après établit la comparaison entre CM66 et Eurocode 3 – DAN pour les boulons de Classes de qualité 6.8 et 8.8 :

COMPARAISON ENTRE NF P 22430 ET P 22311

Résistance à la traction

Classe	NF P 22430		P 22311	
	σ_{red} N/mm ²	Valeurs de calcul <i>N</i>	f_{ub} N/mm ²	Valeur de calcul <i>N</i>
6.8	410	$N = 328 \times As$	600	$F_{t,Rd} = 360 \times As$
8.8	550	$N = 440 \times As$	800	$F_{t,Rd} = 480 \times As$

Remarque : pour des épaisseurs de plats inférieures à $0,7 \times d$, il y a lieu de vérifier la résistance à l'arrachement ($B_{p,Rd}$), suivant la norme expérimentale P 22311-6.

2,133. – Résistance aux efforts combinés**NF P 22430**

$$\sqrt{(N^2 + 2,36 \times (V/2/m)^2)} \leq \sigma_{red} \times As$$

avec

$$N \leq (\sigma_{red} \times As) / 1,25$$

m = nombre de plans de cisaillement

Nota : si le plan de cisaillement passe dans la partie lisse de la tige la section résistante *As* est à remplacer par la section *A*.

P 22311

$$(F_{V,Sd} / F_{V,Rd}) + (F_{t,Sd} / 1,4 \times F_{t,Rd}) \leq 1 \quad \text{et} \quad (F_{t,Sd} / F_{t,Rd}) \leq 1$$

2.2. – Boulons précontraints (dits aussi « boulons à serrage contrôlé »)

Il s'agit de boulons aptes à la mise en œuvre de la précontrainte par serrage contrôlé.

Seules les Classes de qualité 8.8 et 10.9 sont concernées et le marquage spécifique « **HR** » figure impérativement sur chaque élément du boulon (vis, écrou et rondelles).

L'identification « HR » distingue le boulon à haute résistance à serrage contrôlé des boulons normaux de classe de qualité identique.

Sur le plan européen, il existe des projets de norme de produit et d'essai d'aptitude au serrage en préparation. Ces projets de norme font référence aux normes EN 20898-1 et EN 20898-2 pour les caractéristiques mécaniques.

Remarque : Les boulons HR peuvent être utilisés en cisaillement lorsqu'ils sont serrés comme des boulons normaux; les rondelles ne sont alors plus nécessaires.

Dans le cas de la norme NF P 22430, les règles de l'art interdisent la notion de précontrainte contrôlée. L'Eurocode 3 – DAN permet leur utilisation comme boulons normaux, même lorsque serrés par serrage contrôlé.

2.21. – Caractéristiques mécaniques

Les normes NF E 27701 et NF E 27702 définissent les caractéristiques mécaniques minimales ainsi que les programmes et méthodes d'essais. Ces normes traitent, à la fois, de la vis, de l'écrou, de la rondelle et de l'ensemble « boulon ». La norme NF E 27702 est spécifique à l'essai d'aptitude à l'emploi permettant de déterminer le coefficient « K » de rendement du couple de serrage.

Les caractéristiques mécaniques sont impérativement obtenues par traitement thermique (trempe suivie d'un revenu).

Les garanties de performances du produit portent sur les caractéristiques suivantes :

- limite d'élasticité, résistance et allongement de la vis par le biais de l'essai de traction sur vis (avec ou sans cale biaise),
- résilience sur vis; cet essai est réalisé à la température de – 20 °C sur une éprouvette à entaille en V, usinée dans la partie filetée,
- dureté de la vis, de l'écrou et de la rondelle,
- charge d'épreuve sur l'écrou,
- aptitude à l'emploi sur le boulon entier avec détermination du coefficient K de rendement du couple.

2.22. – Caractéristiques dimensionnelles

La norme NF E 27711 définit toutes les caractéristiques des éléments vis, écrou et rondelle, y compris les cotes particulières de filetage dans le cas des boulons galvanisés à chaud.

2.23. – Caractéristiques de mise en œuvre

Les normes NF P 22460, NF P 22462, NF P 22463, NF P 22464, NF P 22466 et NF P 22468 indiquent les modalités de mise en œuvre des boulons à serrage contrôlé. Les valeurs de la précontrainte de calcul sont définies dans les normes NF P 22460 ou P 22311.

ASS-REG 1-99

Les performances d'aptitude à l'emploi sont déterminées suivant les exigences de la norme NF E 27702.

Nota : les mêmes performances mécaniques minimales doivent être garanties tant pour les boulons non-protégés que pour les boulons galvanisés à chaud.

Pour ce qui concerne l'utilisation des rondelles, l'article «4.4 – Pose des boulons» de la norme NF P 22463 fournit les précisions suivantes :

«4,41. – Classe 1 (CM 66 bâtiment)

Rondelle sous écrou :

La rondelle sous écrou est obligatoire (élément tourné).

Rondelle sous la tête de vis :

Quand l'épaisseur de la pièce sous la tête de la vis est inférieure ou égale à la moitié du diamètre du boulon, une rondelle sous tête doit être prévue.

Pour des épaisseurs plus importantes, les rondelles ne sont obligatoires que si la mise en tension se fait par rotation de la tête de vis. »

«4,42. – Classe 2 (ouvrages d'art)

Les boulons sont posés avec deux rondelles, l'une sous la tête de la vis et l'autre sous l'écrou. »

Lors du serrage il est impératif de tenir compte du couple préconisé, ce dernier étant directement lié au lot homogène de boulons.

Ce couple n'est pas connu a priori mais issu des essais réalisés sur le lot concerné. Il est toujours déterminé pour un serrage par rotation de l'écrou.

2,3. – Protection anticorrosion

Les boulons normaux sont généralement protégés contre la corrosion par électrozingage ou par galvanisation à chaud.

Pour ce qui concerne l'efficacité de la protection par électrozingage, se reporter au chapitre **4,1.** – [Remarque].

Lors des opérations d'électrozingage ou de galvanisation à chaud il est nécessaire de prendre des précautions particulières afin d'éviter la fragilisation des vis de Classe de qualité 10.9 par l'hydrogène occlus.

Les normes en vigueur imposent, dans ce cas, une opération de dégazage des produits.

Le Règlement Particulier de la marque NF – Boulons à serrage contrôlé – proscrit l'électrozingage ainsi que la préparation de surface des vis HR 10.9 NF par décapage chimique dans le cas de la galvanisation à chaud. Cette précaution permet d'éviter le risque de la fragilisation par hydrogène du produit.

La protection par électrozingage ne nécessite pas de cotes de filetage ou de taraudage particulières.

ASS-REG 1-99

Il y a néanmoins lieu de tenir compte des risques d'interférence au niveau des tolérances de filetage lorsque les épaisseurs de revêtement avoisinent ou dépassent les 10 microns.

La galvanisation à chaud, dont l'épaisseur varie entre 60 et 100 microns, requiert un aménagement des cotes de filetage avant revêtement afin de permettre l'intégration de la couche de zinc.

Pour ce faire, deux techniques sont possibles :

- le taraudage en sur-cote de l'écrou (AZ ou AX) suivant la norme ISO 965-5.

Dans ce cas, la vis devra répondre à la qualité de filetage h ou g , avant revêtement. Le fabricant devra tenir compte de ce taraudage particulier dès la réalisation de l'ébauche de l'écrou en majorant le diamètre d'alésage.

Pour mémoire, les écarts fondamentaux des positions AZ et AX par rapport à la position h sont calculés comme suit :

$$AZ = 300 \mu\text{m} + 20 \times P$$

$$AX = 20 \mu\text{m} + 220 \times P$$

P étant le pas de filetage

- la minoration du filetage de la vis (az) suivant la norme ISO 965-4. Dans ce cas l'écrou devra répondre à la Classe de qualité de taraudage H ou G , après revêtement.

Le fabricant devra tenir compte de cette minoration lors de l'obtention des caractéristiques mécaniques sous peine de ne pas pouvoir garantir les valeurs minimales de résistance imposées par les normes.

Nota : Les boulons HR à serrage contrôlé sont exclusivement protégés contre la corrosion par galvanisation à chaud. L'adéquation des cotes de filetage et de taraudage est obtenue par le biais du taraudage en sur-cote de l'écrou (6 AZ) suivant la norme NF E 27711.

Les filetage et taraudage des éléments constitutifs des boulons non-précontraints galvanisés à chaud sont réalisés selon la même technique.

Le tableau ci-après renseigne les particularités des cotes de filetage et de taraudage caractérisant les qualités h , g , AZ et AX pour les diamètres de boulons allant de 12 mm à 24 mm.

Diamètre nominal d mm	Pas P mm	Écart fondamental				Épaisseur maximale de revêtement pour les combinaisons de filetage			
		Filetage externe vis h μm	g μm	Taraudage écrou AZ μm	AX μm	h/AZ μm	h/AX μm	g/AZ μm	g/AX μm
12	1,75	0	- 34	+ 335	+ 365	84	91	92	98
14	2	0	- 38	+ 340	+ 420	85	105	95	115
16	2	0	- 38	+ 340	+ 420	85	105	95	115
18	2,5	0	- 42	+ 350	+ 530	88	132	98	142
20	2,5	0	- 42	+ 350	+ 530	88	132	98	142
22	2,5	0	- 42	+ 350	+ 530	88	132	98	142
24	3	0	- 48	+ 360	+ 640	90	160	102	172

ASS-REG 1-99**3. – FAIBLESSES DU SUPPORT NORMATIF****3,1. – Boulons non-précontraints**

Les spécialistes de la construction métallique ont, à maintes reprises, dénoncé l'inadéquation entre les garanties offertes par les normes NF EN 20898-1 et NF EN 20898-2 et celles réellement nécessaires pour une bonne utilisation des produits.

Les normes NF EN 20898-1 et NF EN 20898-2 définissent, séparément, les composants « vis » et « écrou » mais traitent de l'ensemble « boulon » de manière insatisfaisante ou incomplète. Tous les essais sont réalisés à température ambiante (+ 20 °C) alors que les produits peuvent être utilisés dans un intervalle de température allant, de – 20 °C à + 60 °C dans les applications les plus courantes voire même jusqu'à – 50 °C (bâtiments frigorifiques et installations offshore) et + 300 °C (installations d'incinération et chimiques).

Les insuffisances majeures sont les suivantes :

– **garantie de résilience**

Le niveau de résilience est sensible aux variations de la température et chute brutalement dans une zone critique (transition) située entre – 10 °C et – 60 °C pour les matériaux généralement utilisés en boulonnerie.

Il est également tributaire de l'état structural du matériau et du type de traitement thermique.

Les boulons utilisés sur des structures extérieures peuvent subir des variations de température allant jusqu'à – 40 °C alors que la norme NF EN 20898-1 ne fait référence qu'à la température ambiante (+ 20 °C).

De plus, la garantie de résilience ne concerne que les Classes de qualité 8.8 et 10.9.

Hormis les boulons HR, le test imposé est du type KCU (entaille en U), reconnu comme étant moins pertinent que l'essai KCV (entaille en V).

– **garantie de résistance sur boulon entier**

Les normes NF EN 20898-1 et NF EN 20898-2 ne prévoient aucun test sur le boulon entier – vis + écrou – montés, tant pour ce qui concerne la résistance à la traction à charge maximale que pour la résistance au cisaillement.

Les résistances à la traction et au cisaillement sont pourtant les fonctions primordiales des boulons non-précontraints et sont la base de calcul des structures métalliques.

Actuellement, on compte sur l'évaluation de la vis et de l'écrou, séparément, en supposant que l'ensemble, vis + écrou, aura ainsi un comportement suffisant.

Seul un essai sur boulon entier (vis + écrou) permettrait d'en assurer la garantie.

– **garantie de mise en œuvre**

Aucune recommandation précise n'est formalisée quant au serrage des boulons non-précontraints.

La norme E 25030 traite du cas des boulons à usage mécanique et préconise, dans ce cas, un serrage à 85 % de la limite élastique.

Cette norme n'est pas applicable en construction métallique.

3.2. – Boulons précontraints

– garanties d'aptitude à l'emploi

La maîtrise du coefficient moyen de rendement du couple de serrage, «K», n'est pas définie. Les limites de dispersion des valeurs individuelles de K par rapport à la moyenne ne sont pas fixées.

3.3. – Protection anti-corrosion

– garanties sur boulons revêtus

Dans le cas des produits galvanisés à chaud, certaines conjugaisons entre des vis normales ou filetées en sous-cote et des écrous à taraudage normal ou en sur-cote sont incompatibles et présentent même des risques au niveau de la sécurité. La future norme ISO 10684 fournira toutes les précisions nécessaires à ce sujet.

Les traitements anti-corrosion sont souvent réalisés en sous-traitance à l'initiative de l'utilisateur, et ce, sans contrôle à posteriori, faute de moyens.

Réalisés sans précautions et sans connaissance du produit (analyse chimique de l'acier et processus de traitement thermique), ces traitements peuvent conduire à de graves dégradations des performances mécaniques et fonctionnelles des boulons et présenter des risques réels vis à vis de la sécurité.

Nota : il est important de rappeler que le fabricant, dont le sigle figure généralement sur les éléments constitutifs du boulon, ne garantit les produits qu'à l'état auquel il les commercialise.

Toute modification ou altération ultérieure du produit est de la responsabilité du « manipulateur » (revendeur, utilisateur).

Les désordres les plus fréquemment rencontrés sur des boulons « manipulés » à posteriori sont les suivants :

- fragilisation des vis par l'hydrogène du fait de l'absence de précautions lors des opérations de préparation et de traitement de surface,
- prise excessive de zinc et mauvaise adhérence du revêtement en galvanisation à chaud du fait de la méconnaissance de la composition chimique du matériau,
- détérioration des caractéristiques mécaniques de la vis par l'effet de « revenu » provoqué lors de l'immersion dans le bain de zinc dont la température est de l'ordre de 480 °C voire plus,
- dégradation de la ténacité des filets de l'écrou par suite du re-taraudage sur un filet préexistant non-approprié (exemple : re-taraudage 6AZ dans un écrou déjà taraudé 6H).

Dans la plupart des cas, un écrou avec reprise de taraudage cède par arrachement des filets lors de l'essai de traction sur boulon entier, et ce avant même d'avoir atteint les performances minimales à garantir.

Lors d'un tel mode de ruine du boulon, la perte de résistance en traction est brutale, sans être associée à une déformation significative en allongement et striction de la vis.

ASS-REG 1-99

En fait, le mode ruine recherché, à l'état ultime, est une rupture lente accompagnée d'une plastification et d'un allongement de la vis permettant à l'ensemble des éléments de participer à résistance de la structure.

La figure ci-jointe donne un exemple de ces deux modes de ruine.

Puisque, dans la plupart des cas, les produits ne sont plus re-contrôlés après « manipulation », toute garantie de performances devient illusoire.

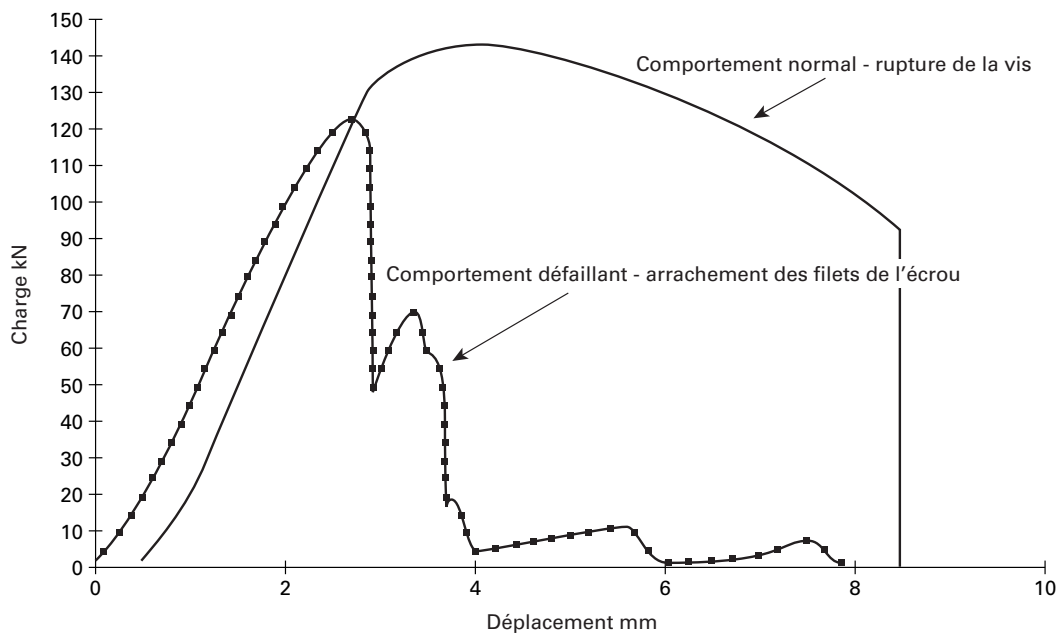


Fig. 1 – Essais de traction sur boulons M 16 galvanisés à chaud

3.4. – Autres éléments

– Lotification et traçabilité

L'arrêté ministériel du 20 janvier 1995, portant mise en application obligatoire des normes, met l'accent sur la réglementation en matière de conformité des produits et des dispositions de répression des fraudes y afférentes.

Cet arrêté fait également référence à la notion de lot de fabrication dans son article 3.

– cas des boulons HR à serrage contrôlé

En ce qui concerne les boulons HR, les exigences de lotification sont définies dans la norme NF E 27701.

Au chapitre 4.2., cette norme donne une définition du lot homogène de fabrication :

« On entend par lot homogène de fabrication un ensemble d'articles de mêmes dimensions (la longueur étant exclue), issus de barres ou de fils provenant d'une même coulée, ayant subi simultanément la même gamme de fabrication, le même traitement thermique et, s'il y a lieu, le même revêtement.

Par convention, on appelle « même traitement thermique » :

- dans le cas d'un four continu, le même cycle de traitement sans modification de réglage,
- dans le cas d'un four discontinu, le même cycle de traitement pour une même charge.

Ces lots doivent être repérés de façon à permettre de retrouver, le cas échéant, leur date de fabrication et les caractéristiques du lot d'acier utilisé (date, conditions de fabrication, etc...) ».

À noter que cette définition n'est pas en accord avec les termes de la norme NF EN ISO/DIS 3269 : 1998 (à paraître) vu l'ancienneté de sa version. Une réactualisation sera réalisée dans le cadre des travaux de normalisation européenne des boulons aptes à la précontrainte.

– cas des boulons non-précontraints

Les modalités de lotification des boulons non-précontraints sont, à ce jour, mal définies voire pas du tout.

Les normes étant en révision ou en cours de diffusion, une définition précise permettra, prochainement, de clarifier ce point.

La norme NF EN ISO/DIS 3269 : 1998, à paraître, définit le lot de fabrication comme suit :

« Quantité d'éléments de fixation de même désignation (y compris le grade, la classe de qualité et les dimensions), fabriqués à partir de barres, de fil ou de produit plat issus d'une même coulée, ayant subi simultanément et sans interruption le même processus de fabrication, le même traitement thermique et, le cas échéant, le même revêtement.

Note : Le lot de fabrication peut être divisé en plusieurs charges pour des besoins de fabrication, puis ces charges peuvent à nouveau être rassemblées dans le même lot de fabrication. »

– garantie décennale

Bien que la boulonnerie ne soit pas soumise à E.P.E.R.S (garantie décennale) du fait de son caractère de produit « standard », il reste néanmoins vrai que des recherches de preuves de conformité aux normes peuvent s'avérer nécessaires dans le temps.

Ces recherches ne sont possibles que dans la mesure où la traçabilité demeure parfaitement connue, notamment la lotification des éléments, vis et écrous.

Or, le numéro de lotissement ne figure que sur l'étiquette de l'emballage et ce dernier est détruit après la mise en œuvre des produits.

De plus, comme énoncé plus haut, la définition de cette lotification est insuffisamment précise, à ce jour.

Pour sauvegarder ces informations, il incombe à l'utilisateur d'archiver la traçabilité par un moyen adapté, lui permettant de retrouver les lots de boulons ainsi que leur positionnement sur la structure.

Les techniques de report de la traçabilité, lorsqu'elles sont appliquées, demeurent très lourdes et contraignantes pour l'utilisateur.

ASS-REG 1-99**4. – LES RÉPONSES DE LA MARQUE NF**

Certification produit, délivrée par l'AFNOR, la **marque NF** est une assurance de QUALITÉ-SÉCURITÉ pour l'utilisateur. Elle est une démarche volontaire de la part du fabricant, soucieux de fournir des produits de qualité vérifiée, homogène et constante.

Elle implique un suivi permanent et rigoureux de la qualité des produits ainsi que la parfaite maîtrise des sous-contractants, sous la surveillance périodique d'organismes externes, mandatés par l'AFNOR.

La **marque NF** figure, en clair, par marquage indélébile, sur chaque élément constitutif du boulon (vis, écrou, rondelles) ainsi que sur l'étiquette d'identification de l'emballage.

L'ensemble des contrôles et essais est réalisé sur chaque lot homogène de boulons, en cours de fabrication et en final, à l'état de livraison.

La **marque NF** est reconnue par les professionnels du Contrôle Technique au travers de la norme NF P 03100.

Les marques NF, qui sont aujourd'hui au nombre de deux, ont été développées par l'AFNOR afin de répondre, au mieux, aux faiblesses de l'environnement normatif en matière de boulonnerie destinée à la construction métallique.

Les caractéristiques des produits certifiés **NF** sont, en tout point, conformes aux normes françaises en vigueur et respectent, de plus, les critères complémentaires de performances et garanties édictés dans les **Règlements Particuliers NF**, leur permettant de répondre aux exigences de QUALITÉ – SÉCURITÉ les plus contraignantes.

Les deux Règlements Particuliers NF couvrent les classes de qualité de boulons couramment utilisés dans la construction métallique :

- Règlement Particulier de la marque NF n° NF 273 – Boulonnerie non-précontrainte destinée à la construction métallique – H6.8 NF et H8.8 NF,
- Règlement Particulier de la marque NF n° NF 070 – Boulonnerie à serrage contrôlé – HR 8.8 NF et HR 10.9 NF.

4.1. – Boulons non-précontraints – Règlement NF 273

Les boulons non-précontraints sont élaborés dans les classes de qualité H6.8 NF et H8.8 NF. Les états de finition retenus sont : électrozingué et galvanisé à chaud.

À noter que, pour l'heure, la finition « brut » n'a pas été retenue, ceci afin d'éliminer tout risque de modification, par manipulation ultérieure, de l'état de finition.

L'absence de la version « brut » ne semble pas gênante dans la construction métallique puisque les utilisateurs ont, de plus en plus, tendance à s'orienter vers l'utilisation de boulons électrozingués et galvanisés à chaud.

Remarques : l'électrozincage est à considérer comme une protection anti-corrosion « court-terme » permettant d'éviter l'oxydation des produits durant les périodes de stockage et de montage sur chantier. Les charpentes reçoivent, en général, une peinture de finition après montage.

ASS-REG 1-99

L'électrozingage présente l'avantage d'une bonne compatibilité avec les produits de mise en peinture, contrairement à la galvanisation à chaud pour laquelle il est nécessaire d'utiliser des peintures appropriées ou bien de procéder à un dérochage préalable.

Les boulons non-précontraints, répondant aux exigences du Règlement Particulier de la marque NF 273, offrent les garanties de caractéristiques mécaniques complémentaires suivantes :

– **garantie de résistance et d'allongement**

Les niveaux différents de résistance et de limite d'élasticité, dans le cas des boulons de Classe de qualité 8.8, selon que les vis sont de diamètre inférieur ou supérieur à 16 mm, sont supprimés pour les boulons H8.8 NF et portés aux valeurs maximales de la norme NF EN 20898-1 pour tous les diamètres, à savoir :

- résistance minimale à la traction portée à **830 N/mm²**,
- limite d'élasticité minimale portée à **660 N/mm²**.

La performance minimale d'allongement des boulons H6.8 NF est portée à **12 %** (au lieu de 8 %), soit une **augmentation de 50 %** par rapport à la valeur fixée par la norme NF EN 20898-1, amenant ainsi cette caractéristique au niveau de la Classe 8.8.

Nota : Il est important de souligner que, compte tenu de la remarque faite en **2,13** concernant la ductilité réduite des boulons de Classe de qualité 6.8 selon norme P 22311, les boulons H6.8 NF sont aptes à satisfaire aux règles de calcul applicables aux autres boulons.

La minoration de la contrainte de calcul n'a plus lieu d'exister pour les boulons H6.8 NF.

La performance minimale d'allongement des boulons H8.8 NF est portée à **14 %** (au lieu de 12 %), soit une **augmentation de 16,7 %** par rapport à la valeur fixée par la norme NF EN 20898-1.

Les valeurs minimales de dureté des écrous H8 NF ont été augmentées par rapport à celles figurant dans la norme NF EN 20898-2, ceci afin de favoriser le mode de ruine du boulon par rupture de la vis.

Ces mêmes écrous (H8 NF) sont également utilisés pour les boulons de classe H6.8 NF, permettant ainsi d'exploiter au maximum les performances particulières de la vis.

– **garantie de résilience**

Les essais de résilience ainsi que les performances minimales sont imposés par le Règlement Particulier de la marque, NF 273.

Chaque lot de matière première est testé lors de sa première mise en œuvre.

Le **lot de matière** est défini comme suit :

- un même fournisseur d'acier,
- une même nuance d'acier,
- une même coulée d'acier,
- un même diamètre de fil machine,
- une période continue de livraison (5 jours calendaires).

ASS-REG 1-99

Les éprouvettes de résilience sont réalisées sur vis à l'état de finition final, notamment dans le cas de la galvanisation à chaud.

Les vis de Classe H6.8 NF sont testées par le biais d'éprouvettes à entaille en U, à température ambiante.

Le niveau minimal de 28 joules d'énergie de résilience est garanti (pour mémoire, la norme NF EN 20898-1 ne donne aucune garantie et n'exige aucun essai).

Les vis de Classe H6.8 NF répondent au critère de la Classe 8.8.

Les vis de Classe H8.8 NF sont testées par le biais d'éprouvettes à entaille en V, à la température de -20°C .

Le niveau minimal de 40 joules d'énergie de résilience est garanti (pour mémoire, la norme NF EN 20898-1 ne garantit que 30 joules, sur entaille en U et à température ambiante).

Les vis de classe H8.8 NF répondent au critère de la Classe HR 8.8.

– **garantie de résistances sur boulon entier**

Deux séries d'« essais conventionnels » sont imposées dans le Règlement Particulier de la marque NF n° 273.

– **résistance à la traction**

L'essai de traction sur boulon entier, vis + écrou montés, est réalisé sur chaque lot de boulons.

Ce test est conduit jusqu'à rupture afin de vérifier le mode de ruine qui doit se produire par rupture de la vis tant que la valeur minimale de charge d'épreuve de l'écrou n'a pas été atteinte.

Pour mémoire, les valeurs minimales de charge d'épreuve des écrous H8 NF sont les suivantes :

- $870 \text{ N/mm}^2 \times A_s$ pour les écrous M8 et M10,
- $880 \text{ N/mm}^2 \times A_s$ pour les écrous M12 à M16,
- $920 \text{ N/mm}^2 \times A_s$ pour les écrous M18 à M20.

La rupture de la vis doit, impérativement, se produire dans la partie filetée ou la partie lisse de la tige ; aucune rupture au raccordement tête/tige ou fût/filet n'est admise.

Pour mémoire, les valeurs minimales de charge en traction à obtenir sont les suivantes :

- $600 \text{ N/mm}^2 \times A_s$ pour les vis de Classe H6.8 NF,
- $830 \text{ N/mm}^2 \times A_s$ pour les vis de Classe H8.8 NF.

Au-delà de la valeur minimale de charge d'épreuve de l'écrou la ruine du boulon peut être de type rupture de la vis ou bien arrachement des filets.

– **résistance au cisaillement**

Les séries de « test conventionnel de simple cisaillement », réalisées sur chaque lot de boulons, permettent de garantir les valeurs de charge minimale en cisaillement, tant dans la partie lisse de la tige que dans la partie filetée.

ASS-REG 1-99

Les valeurs minimales de contrainte de cisaillement à garantir sur les vis lors de ces essais sont les suivantes :

- Classe H6.8 NF, partie lisse de la tige :

$$V_2 = 600 \times 0,6 \times A$$

- Classe H6.8 NF, partie filetée :

$$V_2 = 600 \times 0,6 \times A_s$$

- Classe H8.8 NF, partie lisse de la tige :

$$V_2 = 830 \times 0,6 \times A$$

- Classe H8.8 NF, partie filetée :

$$V_2 = 830 \times 0,6 \times A_s$$

A est la section résistante nominale du fût,

A_s est la section résistante nominale du filetage.

Nota : Par rapport aux exigences de la norme P 22 311, nous constatons que la valeur minimale requise pour la vis H6.8 NF, dans la partie filetée, offre une garantie supplémentaire de sécurité non-négligeable.

- **autres garanties**

Chaque lot de boulons certifiés NF est, de plus, contrôlé conformément aux spécifications des normes en vigueur.

Les essais normalisés effectués sont les suivants :

- essai de traction sur vis avec interposition d'une cale biaise sous la tête afin de vérifier la ténacité de celle-ci ; aucune amorce de fissure ne devant apparaître dans le rayon de raccordement après rupture de la vis. La cale biaise présente une pente de 10 %.

Dans le cas de vis courtes (non-arriables sur la machine de traction) un test de rabattement de tête sur un bloc incliné à 10 degrés est effectué.

- essai de charge d'épreuve sur vis et écrou en utilisant des bagues ou mandrins filetés appropriés.

Les mandrins filetés utilisés sont les mêmes, qu'il s'agisse d'écrous taraudés en qualité 6H ou 6AZ.

Cette pratique permet de garantir le même niveau de performance quel que soit l'état de finition des boulons (y compris les boulons galvanisés à chaud).

- essais de dureté sur vis et écrous.

4.2. – Boulons précontraints

Les boulons à haute résistance à serrage contrôlé sont élaborés dans les Classes de qualité HR 8.8 NF et HR 10.9 NF. Les produits sont disponibles dans les états de finition « brut » et galvanisé à chaud.

ASS-REG 1-99

Les boulons sont conformes aux normes NF E 27701, NF E 27702, NF E 27711 et aux exigences particulières du Règlement Particulier de la marque NF 070.

Les dispositions particulières de la marque NF imposent des niveaux de dispersion du coefficient K très restreints, tant pour ce qui concerne son homogénéité au sein d'un même lot que pour sa continuité d'un lot à l'autre.

Le suivi de cette dispersion est réalisé par le biais de la méthode statistique Bayésienne.

Cette méthode est décrite dans la revue **Construction Métallique n° 4-1994**.

16

4.3. – Protection anti-corrosion**4.31. – Galvanisation à chaud**

Dans l'état actuel des performances des installations de galvanisation à chaud, il est difficile de maîtriser la qualité constante du revêtement sur des vis de diamètre inférieur à 12 mm. De ce fait, les produits certifiés NF ne sont disponibles qu'à partir du diamètre 12 mm en finition « galvanisé à chaud ».

Les vis destinées à être galvanisées à chaud ne sont pas sous-cotées.

Les caractéristiques mécaniques sont, de ce fait, conservées au même niveau qu'à l'état « brut ».

Les écrous destinés à être galvanisés à chaud font l'objet de fabrications spécifiques dont les gammes sont adaptées de manière à éviter tout re-taraudage après revêtement. (Pour exemple, le re-taraudage en qualité 6AZ d'un écrou préalablement taraudé en qualité 6H est néfaste pour les performances de résistance à l'arrachement des filets).

Le taraudage, en sur-cote normalisée, 6AZ, permet d'accepter l'épaisseur du revêtement de zinc (60 à 80 microns) de la vis.

Les éléments constituant les boulons sont contrôlés, lot par lot, tant du point de vue de l'épaisseur du revêtement que de la montabilité de l'ensemble.

Le fabricant, réalisant le pré-montage des boulons, offre la garantie de totale protection des filets de l'écrou contre l'oxydation grâce au zinc présent sur le filetage de la vis.

Il donne aussi la garantie de la totale compatibilité entre le taraudage de l'écrou et le filetage de la vis après revêtement ainsi que la parfaite montabilité.

La préparation de surface des vis de Classe de qualité HR 10.9 NF, avant galvanisation à chaud, est réalisée par décapage mécanique afin d'éliminer tout risque de fragilisation par l'hydrogène.

Le décapage chimique (acide) est proscrit.

4.32. – Electrozingage

L'épaisseur de revêtement (5 à 15 microns) est compatible avec les tolérances de filetage / taraudage normales (6g / 6H).

Seules les Classes de qualité H6.8 NF et H8.8 NF sont concernées car non-sensibles à la fragilisation par l'hydrogène.

Bien que les normes en vigueur admettent l'électrozingage de vis de Classe de qualité 10.9, sous réserve de dégazage, l'expérience montre que la « non-fragilisation » n'est pas garantie.

De ce fait, ces boulons sont exclus de la gamme de produits certifiés NF.

D'autre part, il est important de rappeler que la marque NF interdit la finition électrozinguée pour les boulons HR 10.9 NF.

4.4. – Mise en œuvre

Le pré-montage des boulons permet d'assurer la montabilité vis/écrou et de garantir la compatibilité entre les qualités de taraudage et filetage dans le cas des boulons galvanisés à chaud.

Il permet également de protéger le filet de la vis contre tout choc ultérieur, durant le stockage et les manutentions, et empêche l'oxydation du filet de l'écrou.

Bien que la norme NF P 22463 permette, dans certains cas, l'utilisation d'une seule rondelle lors de la mise en œuvre des boulons HR, il est à noter que la présence de la rondelle sous tête influe favorablement sur les performances du boulon, à savoir :

- suppression de l'effet d'entaille et des concentrations de contraintes au niveau du rayon de raccordement entre le dessous de tête et la tige,
- aplanissement d'éventuelles aspérités au niveau des surfaces de contact,
- répartition homogène des efforts de précontrainte.

La fourniture systématique de deux rondelles par boulon permet d'éviter les aléas inhérents à l'absence de rondelle.

4.5. – Lotification et traçabilité

Du point de vue de la lotification et de la traçabilité, le Règlement Particulier de la marque NF – Boulons à serrage contrôlé, n° NF 070, complète la norme NF E 27701 en précisant que le lot de boulons est composé de vis d'un même lot homogène, d'écrous d'un même lot homogène et de rondelles d'un même lot homogène et que, de plus, le changement de lot de l'un des composants entraîne un nouveau numéro de lotissement de boulons.

Le Règlement Particulier de la marque NF – Boulons non-précontraints, n° NF 273, reprend la définition du lot de fabrication énoncée dans la future norme NF EN ISO/DIS 3269 : 1998 et la complète au titre du lotissement des boulons comme précisé ci-dessus.

La traçabilité doit être impérativement concrétisée par le report du numéro de lotissement sur les emballages, ceci conformément à l'Arrêté Ministériel du 20 janvier 1995.

L'étiquetage prévu est clair et des plus complets. Il reprend les informations suivantes :

- la désignation du produit,

ASS-REG 1-99

- les dimensions et quantité par boîte,
- la Classe de qualité,
- les références de certification NF et AFAQ,
- l'état de finition (brut, électrozingué ou galvanisé),
- le numéro de lotissement – traçabilité,
- les normes de référence.

Les marques NF imposent un archivage détaillé de tous les paramètres qualitatifs, tant pour ce qui concerne les aciers utilisés, le processus de fabrication et les contrôles associés que pour les phases sous-traitées.

La durée d'archivage minimale imposée est de 10 ans.

5. – LA TRAÇABILITÉ TOTALE

La société GFD, fabricant français de boulonnerie destinée à la construction métallique, a récemment entrepris une démarche visant à donner totale satisfaction aux intervenants dans l'acte de construire.

Le concept mis au point répond à l'ensemble des critères et exigences développés dans la présente analyse et y intègre la traçabilité totale, par le biais du report du numéro de lotissement, de manière indélébile sur le produit.

L'AFNOR, très attiré par cette nouveauté, qui présente un grand intérêt pour l'utilisateur, propose d'intégrer celle-ci dans la prochaine révision des Règlements Particuliers (fin 1999).

Nous entrerons ainsi dans le système de la **traçabilité totale**.

La **traçabilité totale** est un atout essentiel pour les utilisateurs œuvrant dans des applications exigeant QUALITÉ et SÉCURITÉ.

L'inscription, en relief ou en creux, du numéro de lotissement, sur la tête de chaque vis, assure, même après montage, la traçabilité totale des boulons, directement et de manière indélébile, sur les assemblages de la structure métallique.

Aucune autre disposition particulière ne sera nécessaire en vue de la conservation de la traçabilité, notamment dans le cadre des garanties décennales.

Nota : Les produits **NF** étant commercialisés sous forme de « boulons » (vis + écrou + rondelles le cas échéant), impérativement conditionnés dans un même emballage, seule la vis nécessite d'être marquée du numéro de lotissement.

À partir de ce **numéro unique**, le fabricant sait rétablir la liaison complète et précise avec les numéros individuels des lots de fabrication des vis, écrous et rondelles.

La référence à un numéro de lotissement unique présente l'avantage, pour l'utilisateur, de n'avoir à tenir compte que d'un seul élément d'identification, tant pour son propre report de traçabilité que pour ses relations avec le fabricant.

Tout risque de confusion entre plusieurs informations est exclu.

Une telle **traçabilité totale** exige, de la part du fabricant, une rigueur extrême dans son organisation interne et une parfaite maîtrise de ses sous-contractants.

En respect des exigences de la marque NF, ce numéro de lotissement constitue une véritable « carte d'identité » des boulons certifiés.

6. – RÉFÉRENCES

NF EN 20898-1 : « Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation » – *Partie 1 : boulons vis et goujons* – AFNOR indice de classement E 25-100-1, décembre 1991.

NF EN 20898-2 : « Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation » – *Partie 2 : écrous avec charges d'épreuves spécifiées « filetage à pas gros »* – AFNOR indice de classement E 25-400-1, mars 1994.

NF EN 24014 : Vis à tête hexagonale partiellement filetées – « Grades A et B » AFNOR, indice de classement E 25-112, mai 1992.

NF EN 24017 : Vis à tête hexagonale entièrement filetées – « Grade A et B » AFNOR, indice de classement E 25-114, juin 1992.

NF EN 24032 : Écrous hexagonaux, style 1 – « Grades A et B » – AFNOR, indice de classement E 25-407, juin 1992.

NF E 27701 : « Boulons à serrage contrôlé destinés à l'exécution des constructions métalliques » – *Spécifications techniques – conditions de commande, de contrôle et de livraison* – AFNOR, octobre 1984.

NF E 27702 : « Boulons à serrage contrôlé destinés à l'exécution des constructions métalliques » – *Essai d'aptitude à l'emploi des boulons* – AFNOR, octobre 1984.

NF E 27711 : « Boulons à serrage contrôlé destinés à l'exécution des constructions métalliques » – *Boulons à tête hexagonale, dimensions et tolérances* – AFNOR, octobre 1982.

P 22311 (ENV 1993-1-1-DAN) : Pré-norme européenne – octobre 1992 – « Eurocode 3 : calcul des structures en acier » – *Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments* – AFNOR, indice de classement P 22-311, décembre 1992.

FD ENV 1090-1 : Pré-norme européenne – février 1995 – « Exécution des structures en acier » – *Partie 1 : règles générales et règles pour les bâtiments* – AFNOR indice de classement P 22-101-1, décembre 1996.

NF P 22430 : « Assemblage par boulons non-précontraints » – *Dispositions constructives et calcul des boulons* – AFNOR, janvier 1982.

NF P 22460 : « Assemblage par boulons à serrage contrôlé » – *Dispositions constructives et vérification des assemblages* – AFNOR, juin 1979.

ISO 965-4 : ISO general-purpose metric screw threads – Tolerances – *Part 4 : Limits of sizes for hot-dip galvanized external threads tapped with tolerance position HorG after galvanizing.*

ISO 965-5 : ISO general-purpose metric screw threads – Tolerances – *Part 5 : Limits of sizes for hot-dip galvanized internal threads to mate with external threads with maximum size of tolerance position h before coating.*

ASS-REG 1-99

Règles CM 66 (DTU P 22701) : « Règles de calcul des constructions en acier » – 11^e édition 1982, éditions EYROLLES et CSTB.

Additif 80 (CM 66) – Revue Construction Métallique N° 1, 1981, CTICM.

AFNOR : Règlement particulier : « Marque NF – Boulons à serrage contrôlé » – NF 070.

AFNOR : Règlement particulier : « Marque NF – Boulons non-précontraints pour la construction métallique » – NF 273.

Arrêté Ministériel du 20 janvier 1995 J.O.

Revue Construction Métallique N° 4 1994 CTICM.

HEXA TECH®, concept de boulonnerie non-précontrainte, H6.8 NF – H8.8 NF et apte à la précontrainte, HR 8.8 NF – HR 10.9 NF, société GFD.