

MEMO 04/260 Rév. 0

Avril 2004

L.-J. HOLLEBECQ

APPORT D'EXPERIENCE DE L'AF CAB POUR LA REDACTION DE CAHIERS DES CHARGES POUR LES ARMATURES DU BETON

Texte

Commentaires

Préambule

Conformément au décret n°84-74 du 26/01/1984 relatif au statut de la normalisation, modifié par les décrets n°90-653 du 18/07/1990 et n°93-1235 du 15/11/1993, lorsqu'il est fait référence à des normes françaises non issues de normes européennes, des normes étrangères en vigueur dans un état membre de l'Union Européenne ou de l'Espace Economique Européen peuvent être applicables sous réserve qu'elles soient reconnues équivalentes. Les mêmes principes s'appliquent lorsqu'il est fait référence à la marque d'un organisme certificateur agréé français ou à un agrément technique français.

La preuve de l'équivalence est à la charge du titulaire du marché. Lorsque des modalités de réception par lots sont prévues dans les normes françaises de référence, ces modalités de réception par lots doivent être appliquées pour attester de l'équivalence des produits.

1 – Dessins d'armatures

Les plans d'armatures doivent être établis conformément aux règles de calcul de la norme NF P 18-702 (Règles BAEL 91).

Les dessins d'armatures sont cotés pour toutes les données géométriques relatives aux armatures et à leurs calages (position, tracé, diamètre, longueur).

Ils portent la mention explicite ou à défaut, des indications permettant leur détermination sur le chantier :

- de la nuance et de la catégorie des aciers (cf. notamment le cas des ouvrages construits en zone sismique et les ouvrages pour lesquels une résistance au feu est demandée),
- de l'enrobage minimal nécessaire,
- des tolérances particulières ou générales,
- des diamètres de façonnage,
- de la position et de la longueur des recouvrements,
- des dispositions à prendre au droit des reprises de bétonnage (position des armatures en attente),
- de la présence éventuelle et de la position des soudures destinées à transmettre un effort avec référence aux méthodes d'exécution,
- de la présence éventuelle et de la position de dispositifs de rabotage ou

Ce paragraphe n'est applicable que pour les marchés publics.

La procédure de réception par lots peut être utilisée tant pour l'attestation d'équivalence de la norme que pour l'attestation d'équivalence de la marque d'un organisme certificateur.

Il est fondamental d'éviter toute confusion sur la nature de l'armature. Les nuances d'acier doivent donc être désignées de façon précise.

L'attention est attirée sur le fait que l'enrobage doit être assuré pour toutes les armatures, qu'elles soient principales ou secondaires.

Des dimensions et des tolérances de dimensions sont prévues dans les normes de référence (cf. § 2). L'indication de la fonction de l'armature (ancrage, coude, ...) est souvent nécessaire pour déduire les prescriptions à appliquer lors de la fabrication.

Les détails des parties où le ferrailage est dense a pour objet de faire la preuve de la possibilité de disposer les armatures selon l'agencement prévu, et de mettre en place le béton compte-tenu du granulats le plus gros. L'attention est attirée sur le fait que le diamètre d'encombrement des armatures est supérieur à leur diamètre nominal.

d'ancrage des armatures du béton et de leur enrobage,

- la position et les dimensions des cheminées de bétonnage et de vibration,
- la disposition, la forme et la nature des dispositifs de calage,
- en cas de préfabrication, la position et la nature des organes de levage.

Il convient de ne pas grouper dans une même section des jonctions d'armatures (assemblages par recouvrement, par soudage transmettant un effort, par dispositif de rabouillage ou d'ancrage des armatures du béton).

Les parties où le ferrailage est dense sont représentées par des détails cotés à grande échelle, où les armatures sont reportées avec leurs vrais diamètres d'encombrement et rayons de courbure.

Les dessins d'armatures portent les références aux dessins de coffrage à consulter et reproduisent les indications de ces derniers qui intéressent directement le tracé et la position des armatures.

Des tableaux récapitulatifs des armatures utilisées (nomenclatures) donnent pour chacune un numéro de repérage, sa nature, son diamètre, le croquis du tracé avec le diamètre du mandrin de cintrage, la longueur développée, le poids nominal estimé et le nombre d'armatures semblables. Ces tableaux figurent sur les plans ou leur sont annexés.

2 – Fournitures

2.1 – Normes de référence

Les aciers pour béton armé doivent être conformes à l'une des normes de référence suivantes :

XP A 35-014 : Aciers pour béton armé – Barres, fils machines et fils lisses à verrous ou à empreintes en acier inoxydable.

NF A 35-015 : Armatures pour béton armé - Ronds lisses soudables.

NF A 35-016 : Armatures pour béton armé - Barres et couronnes soudables à verrous de nuance FeE500 - Treillis soudés constitués de ces armatures.

NF A 35-017 : Armatures pour béton armé - Barres et fils machine non-soudables à verrous.

NF A 35-019-1 : Armatures pour béton armé - Armatures constituées de fils soudables à empreintes - Partie 1 : Barres et couronnes.

NF A 35-019-2 : Armatures pour béton armé - Armatures constituées de fils soudables à empreintes - Partie 2 : Treillis soudés.

NF A 35-024 : Aciers pour béton - Treillis soudés constitués de fils de diamètre inférieur à 5 mm.

XP A 35-025 : Produits en acier - Barres et couronnes pour béton armé galvanisées à chaud – Fils destinés à la fabrication d'armatures pour béton armé galvanisés à chaud.

XP A 35-031 : Armatures pour béton armé - Barres soudables à verrous de diamètre supérieur à 40 mm.

Les aciers destinés à réaliser des attentes et à être dépliés après la première phase du bétonnage, doivent :

- soit être constituées d'aciers relevant de la norme NF A 35-015,
- soit relever de la norme NF A 35-016 ou de la norme NF A 35-019-1 et bénéficier de l'attestation d'aptitude au redressage après pliage (cf. certificat NF – Aciers pour béton armé) ou faire l'objet d'essais de convenance pour l'aptitude au redressage après pliage.

Les armatures peuvent être livrées :

- soit sous forme de "grandes longueurs" et destinées à être posées en l'état ou coupées à longueur et façonnées sur chantier. Les normes applicables sont les normes d'aciers pour béton armé.
- soit préfabriquées sous forme coupée, façonnée ou pré-assemblée par soudage ou par ligature. Les normes applicables sont alors les normes d'armatures.

Les aciers relevant de la norme NF A 35-017 ne sont pas soudables. Il convient de ne les utiliser que lorsque qu'aucun soudage n'est prévu pour l'ouvrage.

L'attestation d'aptitude au pliage-redressage consiste à vérifier que l'acier plié en utilisant les mandrins de façonnage prévus pour les attentes et redressé une fois présente des caractéristiques mécaniques qui restent conformes aux spécifications de la norme de référence.

Lorsqu'il y a risque de confusion sur le chantier, il est interdit d'utiliser dans un même ouvrage des aciers de caractéristiques différentes.

Les armatures livrées coupées, façonnées, et si nécessaire assemblées ou munies de dispositifs spéciaux doivent être conformes à la norme suivante :

NF A 35-027 : Produits en acier pour béton armé – Armatures

Les dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton doivent être conformes à la norme suivante :

NF A 35-020-1 : Produits en acier - Dispositifs de rabotage ou d'ancrage d'armatures à haute adhérence pour le béton. Partie 1 : Prescriptions relatives aux performances mécaniques.

Les aciers utilisés pour le montage doivent être conformes soit à l'une des normes d'aciers citées ci-dessus, soit à la norme suivante :

NF A 35-021 : Aciers pour béton - Fils soudables utilisés pour la fabrication d'armatures pour béton.

2.2 – Contrôle des fournitures

2.2.1 – Généralités

Les fournitures peuvent être contrôlées, au choix du titulaire du marché :

- soit par la vérification qu'elle bénéficie du droit d'usage d'une marque de certification adaptée,
- soit au moyen d'un contrôle de réception par lots.

Pour chaque type de fournitures et chaque type de contrôle, les modalités de vérification sont détaillées ci-après.

Lorsque la procédure de réception par lots est appliquée, le titulaire du marché supporte les coûts occasionnés par cette procédure.

2.2.2 – Aciers pour béton armé

2.2.2.1 – Contrôle au moyen de la certification

Les aciers relevant des normes XP A 35-014, NF A 35-016, NF A 35-017, NF A 35-019-1, NF A 35-019-2, NF A 35-024, XP A 35-025 ou XP A 35-031 doivent être certifiées NF – Aciers pour béton armé.

Le titulaire du marché doit vérifier que l'ensemble des aciers livrés portent la marque NF – Aciers pour béton armé sur les étiquettes, et produit au maître d'œuvre une copie de l'ensemble des certificats des aciers utilisés dans l'ouvrage.

2.2.2.2 – Réception par lots

Les aciers relevant des normes NF A 35-015, pour lesquels aucune procédure de certification n'existe ou les aciers relevant des normes XP A 35-014, NF A 35-016, NF A 35-017, NF A 35-019-1, NF A 35-019-2, NF A 35-024, XP A 35-025 ou XP A 35-031 qui ne sont pas certifiés NF – Aciers pour béton armé, doivent faire l'objet d'une réception par lots

Le titulaire du marché est alors responsable de la vérification de la conformité de l'acier et fournit au maître d'œuvre pour chaque lot une copie du certificat de contrôle de type 3.1.B (cf. norme NF EN 10204).

Il convient de prendre soin de vérifier que le droit d'usage de la marque NF porte effectivement sur la totalité des diamètres concernés.

La norme NF EN 10021 spécifie les conditions générales techniques de livraison des produits en acier définis par la norme NF EN 10079. La teneur et la quantité des essais à effectuer sont fixées dans la norme de référence de l'acier. La forme du certificat est fixée dans la norme NF EN 10204.

Pour les aciers, les caractéristiques concernées sont, selon le cas, les caractéristiques mécaniques, les caractéristiques géométriques, les caractéristiques technologiques et l'analyse chimique.

2.2.3 – Dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton

2.2.3.1 – Contrôle au moyen de la certification

Les dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton relevant de la norme NF A 35-020-1 doivent être certifiés AFCAB – Dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton.

Le titulaire du marché doit vérifier que l'ensemble des dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton livrés portent la marque AFCAB – Dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton, et produit au maître d'œuvre une copie de l'ensemble des certificats des dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton utilisés dans l'ouvrage.

Il convient de prendre soin de vérifier que le droit d'usage porte effectivement sur le type concerné et la totalité des diamètres concernés. Ces informations sont normalement marquées individuellement sur chaque coupleur selon une séquence précisée dans le certificat AFCAB.

2.2.3.2 – Réception par lots

Les dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton relevant de la norme NF A 35-020-1 qui ne sont pas certifiés AFCAB – Dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton, doivent faire l'objet d'une réception par lots.

Le titulaire du marché est alors responsable de la vérification de la conformité des dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton et fournit au maître d'œuvre pour chaque lot une copie du certificat de contrôle de type 3.1.B (cf. norme NF EN 10204).

La teneur et la quantité des essais à effectuer sont fixées dans la norme NF A 35-020-1. La forme du certificat est fixée dans la norme NF EN 10204.

Pour les dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton, les caractéristiques concernées sont, les caractéristiques mécaniques et les allongements rémanents mesurés sur assemblages.

2.2.4 – Armatures

2.2.4.1 – Contrôle au moyen de la certification

Les armatures doivent être conformes à la norme NF A 35-027 et doivent être certifiées NF – Armatures.

Le titulaire du marché doit vérifier que l'ensemble des armatures livrées porte la marque NF – Armatures sur les étiquettes, et produit au maître d'œuvre une copie de l'ensemble des certificats des armatures utilisées dans l'ouvrage.

Le droit d'usage de la marque distingue les armatures sur plan, les armatures sur catalogue et les armatures spéciales (notamment galvanisées ou munies de dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton), pour différentes opérations de fabrication : dressage, coupe, façonnage, assemblage par soudage (procédé de soudage précisé), formage après soudage, adjonction de dispositifs spéciaux. Il convient de prendre soin de vérifier que le droit d'usage porte effectivement sur la catégorie, les opérations et les procédés de soudage concernés.

La teneur et la quantité des essais à effectuer sont fixées dans la norme NF A 35-027. La forme du certificat est fixée dans la norme NF EN 10204.

Pour les armatures, les caractéristiques concernées sont l'origine des aciers et des dispositifs de raboutage ou d'ancrage des armatures du béton, la conformité aux plans, les diamètres, dimensions et angles, les quantités, les caractéristiques géométriques et mécaniques des parties dressées, les caractéristiques mécaniques des parties soudées.

2.2.4.2 – Réception par lots

Les armatures relevant de la norme NF A 35-027 qui ne sont pas certifiées NF – Armatures, doivent faire l'objet d'une réception par lots (cf. norme NF EN 10021 associée à la norme de référence NF A 35-027).

Le titulaire du marché est alors responsable de la vérification de la conformité de l'armature et fournit au maître d'œuvre pour chaque lot une copie du certificat de contrôle de type 3.1.B (cf. norme NF EN 10204).

2.3 – Stockage et manutention

Les fournitures réputées conformes doivent être manipulées et stockées avec des moyens de manutention et dans des conditions qui évitent leur détérioration, assurent leur propreté, leur protection contre les intempéries, empêchent les confusions (notamment d'armatures) et les pertes.

3 – Fabrication et mise en place sur site

3.1 – Sous-traitance

Les éventuels sous-traitants chargés des opérations de fabrication ou de mise en place sur site doivent être soumis à l'agrément préalable du maître d'œuvre.

Le titulaire du marché doit répercuter auprès du sous-traitant l'ensemble des spécifications techniques du marché, et tenir à la disposition du maître d'œuvre la partie technique de sa commande au sous-traitant.

3.2 – Modifications des plans

Les modifications des plans, qu'elles soient proposées pour pallier une impossibilité de fabrication ou pour faciliter la fabrication ou la pose doivent être soumises au responsable des études d'exécution pour accord.

3.3 – Dressage des armatures

Le dressage d'aciers à partir de couronnes sur le chantier n'est autorisé que si les machines et le personnel adéquat sont à disposition sur le site. L'autorisation du Maître d'œuvre est requise.

Le dressage des aciers nécessite, pour être réalisé correctement, de disposer de machines adéquates et de contrôles nécessitant des matériels qui ne sont normalement pas présents sur les chantiers.

3.4 – Coupe, façonnage

La coupe doit être exécutée mécaniquement.

Le façonnage doit être exécuté à vitesse constante et suffisamment modérée pour éviter toute détérioration de l'acier. Le chauffage des armatures en vue de faciliter leur façonnage est interdit. Si la température est comprise entre -5°C et 5°C , la vitesse de façonnage doit être réduite. Si la température est inférieure à -5°C , le façonnage est interdit.

L'utilisation de mandrins ce cintrage trop petits, la vitesse excessive ou le chauffage des armatures risquent de modifier leurs caractéristiques mécaniques et les rendre inaptés à l'emploi sans qu'un examen visuel puisse le détecter.

Les diamètres de façonnage et les tolérances sur dimensions de coupe et façonnage sont prescrits dans la norme NF A 35-027.

Le façonnage dans le coffrage entraîne des risques de non-conformité aux dessins d'exécution et de blessures aux parois de coffrage.

Le façonnage dans les coffrages n'est admis que pour la fermeture des cadres et étriers constitués d'aciers dont le diamètre est inférieur ou égal à 8 mm.

Le fascicule de documentation FD A 35-029 prévoit que la qualification est prononcée par l'entreprise responsable du soudeur. Les qualifications sont prononcées pour :

3.5 – Soudage sur site

Le soudage des armatures, qu'il ait pour fonction la transmission des efforts ou le simple maintien des armatures, doit être exécuté par des soudeurs qualifiés conformément aux spécifications du fascicule de documentation FD A 35-029.

Le titulaire du marché met à disposition du maître d'œuvre les copies des P.V. des qualifications des soudeurs. Il est responsable de l'adéquation des qualifications des soudeurs aux assemblages par soudage à réaliser.

Les tolérances sur les dimensions des ensembles soudés sont prescrites dans la norme NF A 35-027.

- *un procédé de soudage défini,*
- *une gamme de couples de diamètres définie,*
- *une fonction de l'assemblage définie (montage ou transmission d'effort)*
- *une position relative des armatures définie (bout à bout, recouvrement, croix)*
- *une ambiance définie (atelier ou chantier)*

3.6 – Mise en place des armatures avant bétonnage

Le positionnement des armatures doit permettre d'assurer les tolérances prévues lors des études d'exécution.

Sauf prescription particulière du marché pour tenir compte de risques tels qu'incendie ou milieux agressifs, les tolérances suivantes sont respectées :

- les tolérances en moins sur l'enrobage sont nulles
- pour une pièce de hauteur (ou d'épaisseur) h , dans la direction où l'écart de l'armature diminue la résistance, la tolérance est de 5 mm pour $h < 250$ mm et de $h/50$ lorsque h est compris entre 250 mm et 1000 mm
- pour les armatures parallèles dont l'espacement est au plus égal à 100 mm, la tolérance sur cet espacement est fixée à 10 mm,
- dans les autres cas, l'écart toléré est de 20 mm dans toutes les directions.

Lorsque des armatures munies de dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton sont mises en place, la procédure de mise en place établie par le fabricant de dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton doit être disponible et appliquée sur le chantier.

Les armatures doivent être maintenues par arrimage et calages suffisants pour qu'elles ne puissent subir lors de leur mise en place dans le coffrage, du coulage et de la mise en place du béton, des déplacements ou des déformations supérieures aux tolérances admises.

Toutes les chutes de fil de ligature doivent être éliminées avant le bétonnage. Les ligatures ne doivent pas empiéter sur la zone d'enrobage.

Les cales doivent être stables et ne pas altérer la résistance mécanique de la structure ni sa durabilité (risques de corrosion) ni la qualité de ses parements. Les cales métalliques au contact des coffrages sont interdites. Les cales en béton ou en mortier doivent présenter des caractéristiques analogues à celles du béton de structure, notamment pour ce qui concerne l'aspect des parements. Elles doivent être compatibles avec le bon fonctionnement ultérieur de l'ouvrage, notamment en ce qui concerne la protection des armatures contre la corrosion et, le cas échéant, la résistance au feu.

Au moment de la mise en place du béton, les armatures doivent être propres et sans souillure susceptible de nuire à l'adhérence du béton (absence de plaques de rouille, de calamine non adhérente, de traces de terre ou de graisse).

3.7 – Armatures en attente

Les armatures en attente doivent être façonnées et équipées pour éviter les risques graves pour la sécurité des personnes. Les dispositions adoptées sont portées sur les dessins d'exécution.

Le redressage des armatures en attente doit :

- n'être exécuté qu'une seule fois, après vérification que l'acier est apte au redressage après pliage (cf. certificat NF-Aciers pour béton armé de l'acier ou essais de convenance),
- être réalisé à l'aide d'un outillage adapté qui permet d'éviter l'effet de baïonnette et de défauts d'orientation (angle) de l'armature redressée.

L'enrobage est défini comme la distance de l'axe de l'armature à la paroi la plus proche, diminuée du rayon nominal de cette armature et après enlèvement éventuel de matière postérieure à la mise en place du béton.

Pour protéger les personnes des dangers des armatures en attente, il est possible, dans le respect des règles du béton armé :

- *de modifier la nature ou la forme des armatures*
- *de ceinturer les attentes dans leurs parties hautes par un cadre solidement fixé ou de mettre en place un acier de répartition proche de l'extrémité de l'armature*
- *de remonter le niveau de recouvrement des armatures verticales en attente*

3.8 – Contrôle des armatures posées

3.8.1 – Généralités

Les armatures posées peuvent être contrôlées, au choix du titulaire du marché :

- soit par la vérification qu'elles bénéficient de la marque de certification adaptée (NF – Armatures),
- soit au moyen d'un contrôle de réception par lots.

Pour chaque type de fournitures et chaque type de contrôle, les modalités de vérification sont détaillées ci-après.

Lorsque la procédure de réception par lots est appliquée, le titulaire du marché supporte les coûts occasionnés par cette procédure.

3.8.2 – Modalités de contrôle

3.8.2.1 – Contrôle au moyen de la certification

Lorsque l'entreprise titulaire ou son sous-traitant en charge de la pose des armatures est certifiée AFCAB – Pose des armatures du béton, l'ensemble des prescriptions de ce § 3 sont réputées satisfaites à l'issue du contrôle interne prévu dans le Règlement de certification.

Le titulaire du marché doit garantir que l'ensemble des aciers sont posés par des entreprises de pose titulaires du droit d'usage de la marque, et produit au maître d'œuvre une copie de l'ensemble des certificats des entreprises de pose intervenant sur l'ouvrage.

3.8.2.2 – Réception par lots

Lorsque l'entreprise en charge de la fabrication et de la mise en place des armatures sur site n'est pas bénéficiaire du droit d'usage de la marque AFCAB – Pose des armatures du béton, le titulaire du marché fournit au maître d'œuvre une copie du PAQ de pose, lequel indique les dispositions prises par l'entreprise de pose pour assurer l'origine et la conformité aux spécifications du § 2 des aciers, des armatures et des dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton, la conformité aux plans de ferrailage des armatures posées et de leur positionnement, les épaisseurs d'enrobage, les règles de mise en place des dispositifs de rabotage ou d'ancrage des armatures du béton.

Le titulaire du marché est alors responsable de la vérification de la conformité de la fabrication et de la mise en place des armatures sur site.

Pour chaque lot d'armatures posées, il fournit au maître d'œuvre avant le bétonnage une copie d'un certificat de contrôle incluant à minima :

- l'identification du lot d'armatures posées,
- les résultats du contrôle de la pose prévus au § 3 ci-dessus,
- la provenance des armatures constitutives (aciers et armatures) et la copie des certificats NF – Aciers pour béton armé et NF – Armatures des armatures posées ou le certificat de contrôle de réception par lot correspondant (cf. § 2.2).

On entend par entreprise de pose, le titulaire du marché ou son sous-traitant en charge des opérations de fabrication et de mise en place sur site

La conformité des armatures aux spécifications du § 2 ci-dessus n'est garantie par la certification AFCAB – Pose des armatures du béton que si leur approvisionnement est confié à l'entreprise de pose bénéficiaire du certificat. Il convient donc de vérifier le cas échéant auprès du titulaire du marché que tel est bien le cas. Sinon, les conditions de contrôle prévues au § 2.2.2 s'appliquent.

4 – Contrôle

4.1 Généralités

Le maître d'œuvre se réserve la possibilité d'effectuer des contrôles à tout moment.

Le titulaire du marché met le maître d'œuvre en mesure de s'assurer du bon déroulement de la fabrication et de la mise en place des armatures, avec un délai suffisant pour lui permettre d'assurer un contrôle extérieur.

Des modalités de contrôle différentes peuvent être mises en place selon que les prestations bénéficient du droit d'usage d'une marque appropriée ou non.

4.2 – Contrôles de fournitures ou d'armatures posées titulaires du droit d'usage d'une marque de certification appropriée

Le contrôleur vérifie que le droit de la marque porte effectivement sur les fournitures relatives à l'ouvrage.

Si des non-conformités aux spécifications techniques de ce cahier des charges ou en cas de doute relatif à un éventuel usage abusif de la marque, le contrôleur peut, en plus d'imposer les actions correctives nécessaires, contacter ou déposer une réclamation auprès de l'organisme certificateur.

4.3 – Contrôles de fournitures ou d'armatures posées non titulaires du droit d'usage d'une marque de certification appropriée

Le contrôleur vérifie autant que de besoin, tant sur documents que sur site que les spécifications de ce cahier des charges sont effectivement remplies.

4.4 – Traitement des non-conformités

Les produits approvisionnés, les armatures en cours de parachèvement sur site, en cours de pose ou posées reconnues non conformes peuvent être :

- soit modifiées pour être remises en conformité avec les plans (par exemple, ajout de barres en cas de diamètres insuffisants, ajustement d'armatures en cas d'armatures mal positionnées),
- soit démontées et remplacées, avec récupération éventuelle d'armatures ou de parties d'armatures saines et non soudées (par exemple dans le cas de défaut de positionnement, d'erreur de montage, longueurs trop faibles, mandrins de façonnage incorrects, soudage incorrect, armatures détériorées lors de la mise en place, ...),