

2.4 Les armatures pour béton armé

2.4.1 - Différents types d'armatures

Les armatures sont obtenues à partir d'aciers pour béton armé suite à des opérations de dressage (pour les couronnes uniquement), de coupe, de façonnage et d'assemblage. On distingue deux principaux types d'acier selon leur composition chimique :

- l'acier au carbone ;
- l'acier inox.

Les aciers se présentent sous formes de barres de grande longueur (souvent 12 m) ou de fils en couronnes :

- barres droites lisses : diamètre 5 à 50 mm ;
- barres droites à haute adhérence : diamètre 6 à 50 mm ;
- fils à haute adhérence en couronne : diamètre 5 à 16 mm.

On distingue les armatures « coupées-façonnées », qui sont obtenues par coupe et façonnage des aciers à la demande (en conformité avec les plans d'exécution définis par les bureaux d'études) et les

« armatures assemblées » d'un modèle standard, constituées par assemblage des armatures coupées façonnées sous forme de « cages » ou de « panneaux » et utilisées par des applications courantes (semelles de fondation, poteaux, linteaux, etc.).

Les armatures sont :

- soit assemblées en usine, puis livrées sur le chantier ;
- soit livrées sur chantier coupées, façonnées, puis assemblées sur le site, à proximité de l'ouvrage ou directement en coffrage.

Les armatures sont donc utilisées sur les chantiers et mises en place dans les coffrages :

- soit sous forme de barres (droites ou coupées-façonnées en fonction des formes décrites sur les plans d'exécution) ;
- soit sous forme de treillis soudés (réseaux plans à mailles en général rectangulaires, constitués de fils ou de barres assemblés par soudage et dont la résistance au cisaillement des assemblages est garantie) fabriqués en usine et livrés en panneaux.
- soit sous forme d'armatures pré-assemblées en cages ou en panneaux.

Les jonctions des barres peuvent être assurées par recouvrements, par manchons ou par soudure.

En atelier, l'assemblage est réalisé par soudure (soudage par résistance ou soudage semi-automatique). Il s'agit uniquement de soudures « de montage » dont la fonction est d'assurer le bon positionnement des armatures façonnées entre elles, y compris pendant les transports, les manutentions et la mise en place du béton.

Sur chantier, l'assemblage est effectué soit en atelier « forain » installé à proximité de l'ouvrage, soit directement en coffrage. En général, ces deux solutions coexistent. Il est possible de souder sur site, mais le plus souvent le montage se fait par ligatures avec des fils d'attache en acier.



Le respect de tolérances sur la position des armatures, pour assurer leur enrobage correct ou la reprise des efforts conformément aux calculs, imposent des précautions durant toute la phase de bétonnage et de vibration.

Des cales en béton ou en plastique de divers modèles facilitent la mise en place correcte des armatures et leur maintien, tout en présentant des caractéristiques adaptées à celles du béton.

En général, une structure en béton armé est coffrée et bétonnée en plusieurs phases successives. La continuité du ferrailage entre les parties contiguës de structure au niveau de la reprise de bétonnage est assurée par des « boîtes d'attentes » et des « dispositifs de raboutage ».

Les boîtes d'attentes comportent des armatures façonnées dont une extrémité est repliée à l'intérieur d'un volume creux réalisé sous forme de boîte ou de profilé. L'ensemble ainsi constitué est fixé contre le coffrage à l'intérieur de la partie de structure bétonnée en première phase. Après décoffrage de cette première partie, la boîte est ouverte, en général retirée, et les armatures en attente dépliées. Il est ainsi possible de réaliser un recouvrement avec les armatures de la seconde phase.



Les dispositifs de raboutage permettent d'assurer la continuité des armatures grâce à une pièce intermédiaire appelée manchon ou couples. La liaison entre le manchon et les armatures est le plus souvent réalisée par filetage ou sertissage.

2.4.2 - Désignation des armatures

L'acier pour béton armé est défini par ses caractéristiques de forme, géométriques, mécaniques et technologiques.

Les spécifications concernant les aciers sont détaillées dans les normes NF A 35-015 (barres lisses), NF A 35-016 (barres à haute adhérence, couronnes et treillis soudés à verrous), NF A 35-019 (fils et treillis soudés à empreintes), XP A 35-025 (aciers pour béton galvanisés).

QUELQUES DÉFINITIONS

- > **Cadre, étrier, épingle :** armature transversale assurant une des fonctions suivantes :
 - résistance à des sollicitations tangentes ;
 - coutures de recouvrements ;
 - maintien du flambement de barres comprimées ;
 - maintien d'armatures soumises à une poussée au vide ;
 - frettage.
- > **Ancrage par courbure :** zone d'armature comportant un façonnage destiné à diminuer la longueur d'armature (crosse, équerre, boucles à plat) assurant la transmission des efforts par adhérence entre l'acier et le béton. Un ancrage par courbure est le plus souvent situé à une extrémité d'armature. Il peut cependant se trouver dans une partie intermédiaire, comme par exemple dans le cas des « boucles à plat » utilisées aux appuis des poutres.
- > **Coude :** partie d'armature façonnée ne répondant pas à une des deux définitions précédentes.

Chapitre 2 • Dimensionnement des structures en béton

L'inox pour armatures de béton armé doit être conforme à la norme NF A 35-014 (acier pour béton inox).

Les aciers sont désignés par leur limite d'élasticité garantie R_e en MPa, leur nuance et leur forme (lisse, haute adhérence). Par exemple, un acier HA FeE500-2 désigne un acier à haute adhérence (HA) présentant une limite élastique de 500 MPa et une classe de ductilité 2.

RÉFÉRENCES NORMATIVES

La norme de référence des aciers pour l'armature du béton est la norme NF EN 10080 (Aciers pour l'armature du béton. Acier soudable pour béton armé. Généralités).

Cette norme concerne les aciers soudables pour béton armé sous forme de barres, couronnes, produits déroulés, treillis soudés et treillis raidisseurs. Elle ne contient pas de niveau de performance des produits et doit être utilisée en liaison avec une « spécification de produit ». Cette spécification peut être d'origine européenne (TS 10081, Annexe C de l'Eurocode 2, NF EN 1992-1-1 ou Annexe N de la norme NF EN 13369), ou d'origine nationale (NF A 35-015, NF A 35-016, NF A 35-019 ou NF A 35-014), ou encore être propre à un producteur ou un utilisateur.

La norme de référence pour les armatures du béton est la norme NF A 35-027 (Produits en acier pour le béton armé. Armatures).

Les prescriptions de cette norme concernent l'ensemble des caractéristiques des armatures. Elles ne s'appliquent qu'en absence de spécifications différentes mentionnées sur les plans ou dans les pièces écrites visant les armatures.

2.4.3 - Caractéristiques des aciers

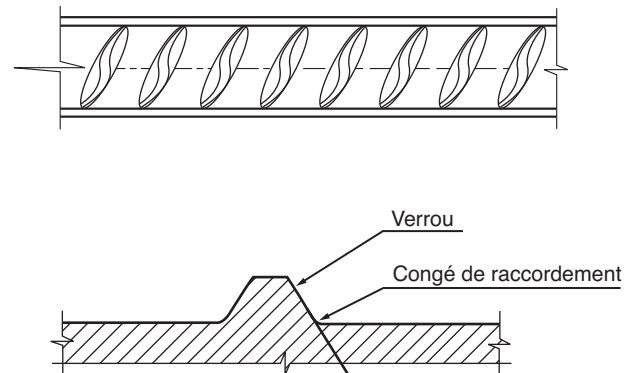
■ Caractéristiques de forme des aciers

On distingue deux types d'aciers pour béton armé en fonction de leur forme et de leur surface.

- **Les aciers lisses** : barres lisses ou fils tréfilés lisses. Elles sont de section circulaire sans aucune gravure.

- **Les aciers à haute adhérence** dont la surface présente des saillies ou des creux. La surface de ces armatures présente des aspérités en saillies inclinées par rapport à l'axe de la barre appelée verrous ou des aspérités en creux appelées empreintes qui sont destinées à favoriser l'adhérence des armatures au sein du béton.

Aciers à verrous



Schémas des armatures à verrous

Aciers à empreintes

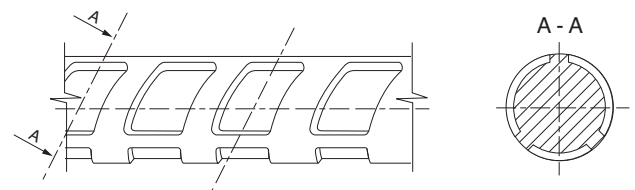


Schéma des armatures à empreintes



■ Caractéristiques géométriques des aciers

Les diamètres prévus par la norme NF EN 10080 sont donnés dans le tableau ci-contre. En France, on se limite en pratique aux diamètres 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 et 16 pour les couronnes et 6, 8, 12, 14, 16, 20, 25, 32, et 40 pour les barres.

Nota

Le diamètre nominal d'une barre ou d'un fil correspond au diamètre d'un cylindre de révolution de même métal ayant la même masse linéique. C'est le diamètre nominal qui est pris en compte pour le dimensionnement.

La masse volumique des aciers au carbone est prise égale à 7850 kg/m³. Pour les aciers inoxydables, la masse volumique dépend de la composition de l'acier. Elle est comprise entre 7700 et 8000 kg/m³.

Tableau 12: diamètres des armatures selon la norme EN 10080

Diamètre nominal en mm	Barres	Couronnes et produits déroulés	Treillis soudés	Section nominale en mm ²	Masse linéique nominale en kg/m
4	-	x	-	12,6	0,999
4,5	-	x	-	15,9	0,125
5	-	x	x	19,6	0,154
5,5	-	x	x	23,8	0,187
6	x	x	x	28,3	0,222
6,5	-	x	x	33,2	0,260
7	-	x	x	38,5	0,302
7,5	-	x	x	44,2	0,347
8	x	x	x	50,3	0,395
8,5	-	x	x	56,7	0,445
9	-	x	x	63,6	0,499
9,5	-	x	x	70,9	0,556
10	x	x	x	78,5	0,617
11	-	x	x	95	0,746
12	x	x	x	113	0,888
14	x	x	x	154	1,21
16	x	x	x	201	1,58
20	x	-	-	314	2,47
25	x	-	-	491	3,85
28	x	-	-	616	4,83
32	x	-	-	804	6,31
40	x	-	-	1257	9,86
50	x	-	-	1963	15,40

2.4.4 - Liaison acier béton adhérence

La résistance d'un élément en béton armé et la maîtrise de la fissuration supposent que l'acier ne puisse pas glisser à l'intérieur du béton, c'est-à-dire qu'il y ait adhérence parfaite entre les deux matériaux.

L'adhérence des armatures est fonction de leur forme, de leur surface (les saillies ou les creux améliorent l'adhérence) et de la résistance du béton.

Le fonctionnement du béton armé suppose une « association » entre l'acier et le béton qui met en jeu l'adhérence des armatures au béton. Pour utiliser pleinement des aciers plus performants, il faut donc aussi que leur adhérence soit améliorée.

On a par conséquent évolué vers des aciers qui sont à la fois à Haute Limite d'Élasticité (HLE) et à Haute Adhérence (HA). La haute adhérence résulte de la création d'aspérités en saillie ou en creux. La haute limite d'élasticité peut être obtenue par différents moyens :

- par écrouissage, par étirage et ou laminage à froid de barres ou fils d'acier doux ;
- par traitement thermique (trempe et autorevenu) de barres ou fils d'acier doux.

L'adhérence est définie par deux coefficients :

- le coefficient de fissuration qui est pris en compte pour les calculs de fissuration du béton ;
- le coefficient de scellement qui permet de dimensionner les ancrages des armatures.

Les valeurs de ces coefficients dépendent du type d'armatures (ronds lisses ou barres HA).



2.4.5 - Propriétés pour le dimensionnement

Les propriétés et les règles à appliquer aux armatures sont définies dans la section 3 (article 3.2 – Acier de béton armé) de la norme NF EN 1992-1-1. Les prescriptions relatives aux aciers se traduisent dans les normes par les caractéristiques spécifiées suivantes :

- soudabilité et composition chimique ;
- caractéristiques mécaniques en traction (f_t) ;
- limite d'élasticité ;
- diamètres, sections, masses linéiques et tolérances ;
- adhérence et géométrie de la surface (verrous ou empreintes) ;
- non fragilité (aptitude au pliage) ;
- dimensions et résistance au cisaillement des assemblages soudés des treillis soudés ;
- résistance à la fatigue (caractéristique optionnelle) ;
- aptitude au redressage après pliage (caractéristique optionnelle) ;
- ductilité.

Soudabilité

Un acier est dit « soudable » s'il est possible de l'assembler par soudure, par des procédés courants, sans altérer ses caractéristiques mécaniques. La soudabilité d'un acier est attestée par sa composition chimique. Les normes pour les aciers au carbone fixent les valeurs qui ne doivent pas être dépassées concernant les teneurs en carbone, soufre, phosphore, azote et cuivre, ainsi qu'une combinaison des teneurs en carbone, manganèse, chrome, molybdène, vanadium, nickel et cuivre appelée carbone équivalent. Les inox utilisés pour les armatures sont soudables.

Des essais permettent de vérifier l'aptitude au soudage qui, en amont, est maîtrisée au niveau de l'aciérie par des exigences relatives à la composition chimique de l'acier. Il est indispensable que les caractéristiques de résistance, d'élasticité et de ductilité soient maintenues au niveau de la soudure.

Adhérence et géométrie de la surface

Les normes imposent à la géométrie de surface des aciers des caractéristiques permettant d'assurer l'adhérence acier/béton. Les exigences portent sur

des valeurs minimales soit de hauteur des verrous, ou de profondeur des empreintes, soit de « surface relative » des verrous f_R , ou des empreintes f_p .

Non fragilité (aptitude au pliage)

L'armature doit s'adapter lors des opérations de façonnage à des formes complexes ce qui implique courbures et pliages ; l'acier doit donc présenter une bonne aptitude au pliage. L'acier est soumis à un pliage, sur un mandrin dont le diamètre est fixé en fonction de celui de l'acier suivi d'un dépliage. L'essai est satisfaisant s'il ne se produit ni cassure ni fissure transversale dans la zone de pliage-dépliage.

Caractéristiques mécaniques en traction

La résistance mécanique d'un acier est déterminée par un essai de traction normalisé, elle est caractérisée par :

- la résistance maximale à la traction : R_m ;
- la limite d'élasticité ou module d'élasticité : R_e ;
- le rapport résistance à la traction/limite d'élasticité : R_m/R_e ;
- l'allongement sous charge maximale : A_{gt} .

Limite d'élasticité R_e

Le diagramme contrainte-déformation des aciers laminés à chaud comporte un palier de ductilité qui met en évidence la limite d'élasticité supérieure découlement R_{eH} qui est aussi la limite d'élasticité R_e .

Le diagramme contrainte-déformation des aciers laminés à froid et des inox ne comporte pas de palier. Dans ce cas, la limite d'élasticité R_e est fixée conventionnellement égale à $R_{p0,2}$ qui est la contrainte correspondant à 0,2 % d'allongement rémanent (ou limite conventionnelle d'élasticité).

Actuellement en France, on utilise des aciers de 500 MPa de limite d'élasticité. La norme NF EN 1992 Partie 1-1 prévoit une plage de limite d'élasticité comprise entre 400 MPa et 600 MPa.

Caractéristiques de ductilité R_m/R_e et A_{gt}

Les normes françaises fixent des valeurs minimales pour le rapport résistance à la traction/limite d'élasticité (R_m/R_e), et pour l'allongement sous charge maximale (A_{gt}).

Chapitre 2 • Dimensionnement des structures en béton

Résistance

La limite d'élasticité f_{yk} et la résistance à la traction f_t sont respectivement définies comme les valeurs caractéristiques de la limite d'élasticité et de la charge maximale en traction directe, divisée par l'aire nominale de la section.

Diagramme contrainte-déformation

Un acier soumis à une contrainte de traction croissante s'allonge de façon linéaire et réversible jusqu'à un point correspondant à sa limite d'élasticité. Au-delà, la déformation non réversible présente une courbe du type ductile (selon le traitement de l'acier).

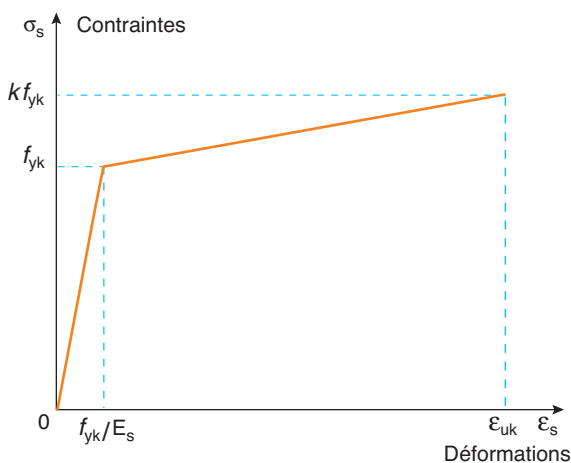


Diagramme contrainte-déformation des aciers de béton armé

Ce diagramme comprend :

- une branche élastique : f_{yk}/E_s ; f_{yk}
- une branche inclinée : ϵ_{uk} , $k f_{yk}$

Avec :

- f_{yk} limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé
- ϵ_{uk} déformation relative de l'acier de béton armé
- k fonction de la classe d'armature

Les propriétés des armatures sont précisées dans l'Annexe C (tableau C1) de la norme NF EN 1992-1-1. Ce tableau distingue 3 classes de ductilité et précise les caractéristiques correspondant à ces trois classes.

Nota

La valeur de calcul du module d'élasticité E_s est égale à 200 GPa.

Nota

La norme NF EN 1992 - Partie 2, prescrit pour les ponts l'emploi d'aciers de classe B ou C. L'Eurocode 8, qui définit les règles de calcul des constructions pour leur résistance aux séismes, impose l'emploi d'aciers de classe de ductilité B et parfois C dans certaines parties des structures assurant la résistance aux séismes. La classe exigée dépend de la classe de ductilité du bâtiment.

Tableau 13 : propriétés des armatures compatibles avec l'Eurocode béton

Forme du produit	Barres et fils redressés			Treillis soudés			Exigence ou valeur du fractile (%)
Classe	A	B	C	A	B	C	-
Limite caractéristique d'élasticité f_{yk} ou $f_{0,2k}$ (MPa)	400 à 600						5,0
Valeur minimale de $k = (f_t / f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0
Valeur caractéristique de la déformation relative sous charge maximale, ϵ_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0

Extrait du tableau C1 de l'Annexe C de la norme NF EN 1992-1-1.



2.4.6 - Certification des aciers et des armatures

Les aciers et les armatures font l'objet de certifications gérées par l'Association Française de Certification des Armatures du Béton (AFCAB) qui couvrent l'ensemble du cycle des armatures depuis la production des aciers jusqu'à la pose des armatures en coffrage. On distingue quatre certifications.

■ Certification NF – Aciers pour béton armé

La certification NF – Aciers pour béton armé, garantit que les produits certifiés :

- sont conformes à leur norme de référence : caractéristiques mécaniques, masse linéique, analyse chimique, caractéristiques géométriques, non fragilité, soudabilité, aptitude au redressage après pliage (optionnelle), résistance au cisaillement des soudures et dimensions des treillis soudés ;
- ont une origine identifiable et sont contrôlés.

Chaque acier certifié est identifiable par une marque de laminage spécifique à chaque producteur et par un étiquetage NF – AFCAB. Il fait l'objet d'un certificat délivré par l'AFCAB qui précise :

- sa dénomination ;
- l'usine productrice ;
- les caractéristiques certifiées ;
- la marque de laminage ;
- les conditions de validité.

La liste des certificats est consultable sur le site www.afcab.org

■ Certification AFCAB – Dispositifs de rabouillage ou d'ancrage des armatures du béton

La certification AFCAB – Dispositif de rabouillage ou d'ancrage des armatures du béton, garantit que les produits certifiés :

- permettent de réaliser des assemblages respectant les critères de la norme NF A 35-020-1 ;
- sont fabriqués conformément à des plans, notices et documents de fabrication présentés lors de l'évaluation initiale ;
- ont une origine identifiable et sont contrôlés.

Chapitre 2 • Dimensionnement des structures en béton

Chaque manchon certifié est identifiable par un étiquetage AFCAB. Il fait l'objet d'un certificat délivré par l'AFCAB qui précise :

- sa dénomination ;
- la société productrice ;
- les caractéristiques certifiées ;
- le marquage ;
- la référence des documents de mise en œuvre ;
- les conditions de validité.

■ Certification NF – Armatures

La Certification NF – Armatures garantit que les produits certifiés :

- sont conformes à la norme NF A 35-027 (aciers de base conformes, non altération des aciers au cours de la fabrication, dimensions et angles conformes, conformité du manchonnage) ;
- sont conformes aux plans, catalogues ou cahiers des charges du client ;
- ont une origine identifiable et sont contrôlés.

Chaque fardeau ou paquet d'armatures comportent une étiquette sur laquelle sont présents :

- le logo de la marque NF ;
- la mention « NF A 35-027 » ;
- la portée du certificat (catégories et opérations couvertes, par exemple : Armatures sur plan coupées façonnées) ;

- le nom de l'usine et de la société titulaire du certificat ;
- le numéro de certificat ;
- pour les armatures sur plans, les indications spécifiées à l'article 9 de la norme NF A 35-027 (nom du client, nom du chantier, numéro du plan, référence de l'armature, etc.) ou pour les armatures sur catalogue, la référence du produit.

Dans le cadre de la certification NF-Armatures, l'AFCAB exige des essais de pliage et de traction pour vérifier les caractéristiques des armatures après soudage. L'AFCAB supervise aussi la qualification des soudeurs.

■ Certification AFCAB – Pose des armatures du béton

Cette certification garantit que les aciers et les armatures posés par l'entreprise certifiée :

- sont conformes à leurs normes de référence ;
- sont posés en respectant les plans, les règles de béton armé, les règles de mise en place des accessoires (notamment les manchons) ;
- sont parachevés sans altération des aciers ;
- sont contrôlés après la pose.