

Fabrication et pose en coffrage des armatures

3.1 Armatures sur plans

3.2 Armatures sur catalogue

3.3 Armatures spéciales

3.4 Armatures en acier inoxydable

3.5 Pose en coffrage

Le cycle des armatures englobe toutes les opérations qui, partant des aciers en barres ou en couronnes, se terminent lorsque les armatures ont été mises en place dans le coffrage et contrôlées avant bétonnage.

Il existe plusieurs processus aboutissant à ce résultat. Tout d'abord, les aciers en couronnes doivent être dressés et leur caractère de continuité conduit à l'utilisation de machines différentes de celles adoptées pour les aciers en barres. Ensuite, plusieurs choix sont possibles dans la répartition des opérations entre l'atelier d'armature et le chantier. Enfin, les moyens de production mis en œuvre varient suivant la « catégorie » des armatures.

La norme NF A 35-027 définit **trois catégories d'armatures** :

- armatures sur plans ;
- armatures sur catalogue ;
- armatures spéciales.

3.1 Armatures sur plans

3.1.1 - Définition

Les armatures sur plans sont fabriquées à partir de plans fournis par le client. Cette catégorie correspond aux armatures des structures en béton armé d'ouvrages de génie civil ou de grands bâtiments. Chacune de ces structures fait l'objet d'une étude spécifique qui comporte en particulier l'établissement de plans d'armatures.

3.1.2 - Cycle de production

La figure n° 6 présente les divers processus de production des armatures sur plans habituellement utilisés.

Dans le cas des « armatures sur plans » la fabrication proprement dite est le plus souvent précédée d'un travail de préparation très important.

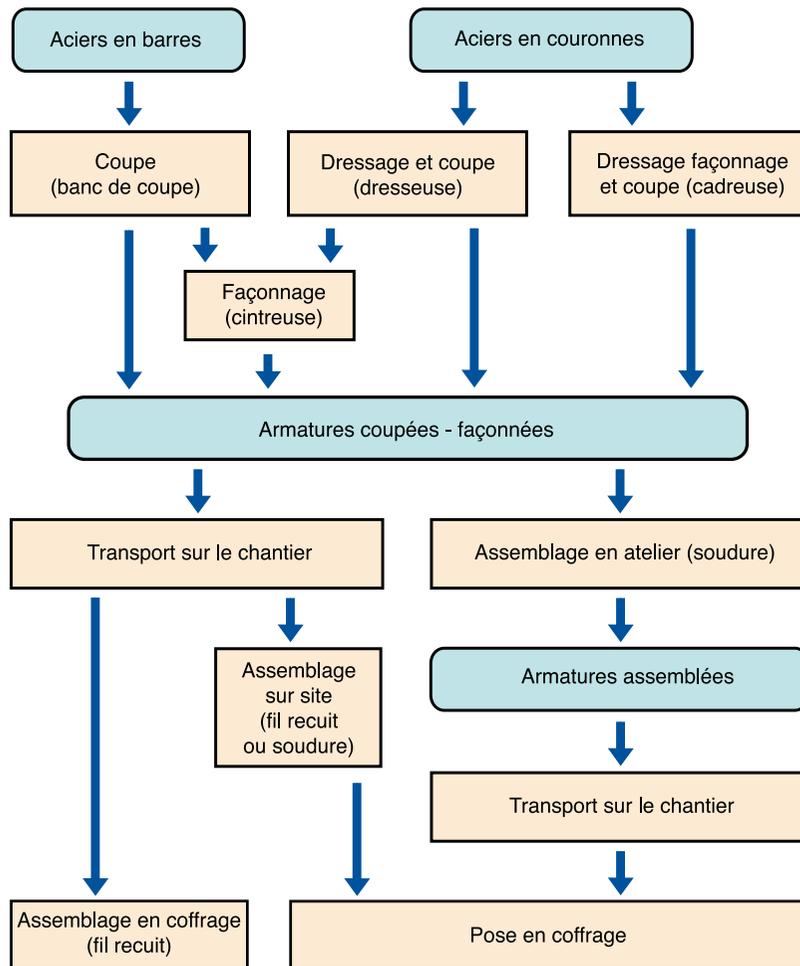


Figure n° 6 : cycle des armatures sur plans.

3.1.2.1 - Préparation de la fabrication – analyse des plans

Cette phase de préparation peut prendre différentes formes en fonction du contenu de la commande d'armatures.

Le **premier cas** est celui d'une commande d'armatures coupées-façonnées à un armaturier chargé uniquement de la fabrication. En général ce type de commande émane d'une entreprise spécialisée dans la pose sur chantier, titulaire d'un marché complet de fourniture et pose des armatures. Ce « poseur » effectue en général un travail préalable avec le bureau d'études afin que la conception du ferrailage tienne compte du processus de mise en coffrage qu'elle a adopté.

L'atelier de fabrication reçoit de son client des listes (ou nomenclatures) d'armatures. Ces documents ne donnent aucune indication sur la destination ou la fonction de chaque armature coupée-façonnée.

Rep. Barre	Dia	Nb d'elem.	Nb de barres	Nb. total	Long	Code Forme	Type mandr.	Dimensions	Schéma	Rev
	mm				mm			mm		
1	HA12	1	4	4	3 110	0.00	0	A = 3 112		
2	HA12	1	312	312	2 620	5.20	2	A = 480 B = 715		
3	HA20	1	108	108	2 730	1.04	1	A = 1 837 B = 960		
4	HA12	1	42	42	1 900	9.99	2	A = 600 B = 742 C = 600 $\alpha 1 = 84^\circ$ $\alpha 2 = 98^\circ$		

Figure n° 7 : exemple de liste ou nomenclature d'armatures.

L'armaturier est alors un simple exécutant. Il n'intervient auprès du bureau d'études que si certaines armatures prévues présentent des difficultés ou impossibilités de fabrication. Parfois les nomenclatures sont utilisées directement pour la fabrication. Le plus souvent, elles sont transcrites sous forme d'ordres de fabrication manuscrits ou informatisés, qui constituent des plans d'atelier. Ces documents de production sont en général édités en plusieurs exemplaires. L'un des exemplaires constitue l'étiquette d'identification qui restera attachée à l'armature jusqu'à sa pose en coffrage.

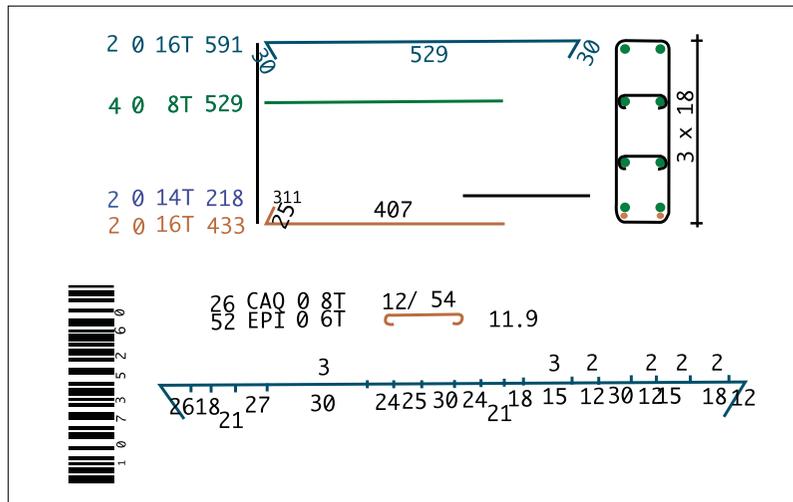


Figure n° 8 : exemple d'ordre de fabrication.

Le **deuxième cas** concerne la commande d'armatures à livrer assemblées dans toute la mesure du possible. Ce type de commande peut être passé par une société spécialisée dans la pose des armatures ou par une entreprise de gros œuvre en maçonnerie ou en béton armé.

L'armaturier dispose alors de plans complets de ferrailage et de coffrage. Cependant, ces plans ne constituent pas des « plans d'atelier » utilisables pour la fabrication.

Le travail de préparation, assuré par des techniciens appelés « décortiqueurs », peut être plus ou moins élaboré. Son objet principal est d'établir les documents de production à partir des plans des bureaux d'études. Ce travail peut aussi donner lieu à une analyse détaillée des plans qui permettra :

- de s'assurer que les armatures figurant sur les plans sont conformes aux prescriptions normatives ;
- qu'elles sont définies sans ambiguïté ;
- qu'elles sont réalisables et que leur pose en coffrage ne présentera pas de difficulté insurmontable ;
- de proposer éventuellement les modifications nécessaires ou souhaitables qui devront, avant toute mise en œuvre, être validées par le bureau d'études.

Cette prestation n'est pas due contractuellement par les armaturiers car les marchés qui leur sont sous traités par les entreprises de gros œuvre ne comprennent théoriquement qu'un travail d'exécution : fabrication et (ou) pose en coffrage des armatures.

Cependant, son impact sur l'amélioration de la qualité est incontestable, parfois considérable et très apprécié. C'est pourquoi elle fait partie des obligations imposées par l'AFCAB aux armaturiers certifiés.

Le **troisième cas** est celui où la fabrication et la pose sont assurées par une même société. La préparation se fait alors en commun entre l'atelier et le service pose de cette société suivant les principes décrits dans le deuxième cas, ci-dessus.

3.1.2.2 - Dressage

La recherche d'une diminution des chutes d'acier et d'une meilleure productivité a conduit à un développement des aciers livrés en couronnes plutôt qu'en barres. Limité à l'origine aux petits diamètres, ce conditionnement existe aujourd'hui jusqu'au diamètre 20 mm. Cette opération est réalisée dans une dresseuse. Le principe consiste à faire passer le fil dans une « chicane » constituée de cadres tournants ou de galets. Certaines machines (dresseuses) effectuent uniquement le dressage et la coupe en barres droites, d'autres (cadreuses) réalisent le façonnage directement après cette opération.



Dresseuse.



Cadreuse-dresseuse.

3.1.2.3 - Coupe

C'est une opération simple qui s'effectue, soit directement sur les barres avec des cisailles mécaniques, soit sur les dresseuses dans le cas des fils livrés en couronnes. Dans les cadreuses, la coupe est effectuée en fin de façonnage.



Cisaille.

3.1.2.4 - Façonnage

Le façonnage est réalisé à froid.

Dans le cas des fils, le façonnage s'effectue directement après le dressage dans des cadreuses. Les formes sont programmées par l'opérateur à partir des documents de production (nomenclatures, étiquettes ou bons de fabrication selon le cas, comme précisé au paragraphe 3.1.2.1).

Les barres coupées sont façonnées sur des cintreuses. Les armatures comportant deux pliages sont assez fréquentes. De ce fait beaucoup de cintreuses sont équipées de deux têtes de façonnage pouvant fonctionner simultanément.

Toutes ces machines comportent une gamme de mandrins de cintrage correspondant aux diamètres susceptibles d'être prévus sur les plans.

Il existe aussi des machines qui façonnent par une succession de plis de petite amplitude. Ceci permet des programmations plus complexes comme par exemple des formes non circulaires ou non planes.



Cintreuse
trois galets.



Cintreuse
à deux têtes.

Chapitre 3 • Fabrication et pose en coffrage des armatures

Pour le façonnage des armatures avec des rayons très élevés, (par exemple les cerces de réservoirs circulaires ou armatures d'arcs ou de voûtes) on utilise des cintreuses à trois galets ou on façonne par une succession de plis.

3.1.2.5 - Assemblage

L'assemblage des armatures coupées façonnées (appelé couramment montage) est réalisé soit en usine, soit sur chantier soit, le plus souvent, de façon mixte. L'assemblage en usine, très développé en France, est plus rapide et plus économique mais peut entraîner des coûts de transport plus élevés. Les choix sont effectués en fonction du volume des cages à transporter, de la distance entre atelier et chantier et du processus de pose en coffrage.

En atelier, l'assemblage est réalisé par soudure. Il s'agit le plus souvent uniquement de soudures « de montage » dont la fonction est d'assurer le bon positionnement et le maintien des armatures façonnées y compris pendant leurs transports, leurs manutentions et la mise en place du béton.

On réalise parfois des soudures « résistantes » permettant d'assurer la continuité mécanique d'une armature. On utilise alors un des procédés avec apport de métal.

Les procédés de soudage essentiellement utilisés par les armaturiers sont les suivants.

• Soudage par résistance

C'est un soudage sans métal d'apport par passage d'un courant électrique de forte intensité combiné à un effet de pression entre les pièces à assembler. Ce procédé est sensible aux réglages mais il procure une bonne productivité. Il convient donc bien aux productions en série en usine (armatures sur catalogue, panneaux et treillis soudés).



Soudage par résistance.

Machine à souder les panneaux.



Soudage semi-automatique.

Machine à souder les armatures de pieux de fondation.



Chapitre 3 • Fabrication et pose en coffrage des armatures



Poteau en cours de montage.

• Soudage semi-automatique « MAG »

C'est un soudage à l'arc sous flux gazeux avec fil électrode fusible. Le fil conditionné sous forme de bobine, à la fois électrode et métal d'apport, est amené de façon automatique et continue par un dévidoir et des galets d'entraînement à la torche. L'arc électrique se produit entre les armatures et le fil fusible. Le gaz permet de protéger la soudure contre l'oxydation par l'atmosphère ambiante. Ce procédé est moins exigeant pour le réglage des paramètres de soudage. Il est bien adapté à l'assemblage en atelier des armatures sur plans.

• Soudage au fil fourré

Dans ce procédé, le fil est tubulaire et contient une poudre qui produit le gaz de protection. Ce procédé est encore plus tolérant sur les réglages et surtout sur les conditions ambiantes. Il est essentiellement utilisé sur chantier.

Pour l'assemblage manuel des armatures sur plans les plus courantes (poutres, poteaux...) on utilise souvent des tréteaux sur lesquels on pose les armatures longitudinales. Les cadres sont ensuite engagés sur celles-ci, soit par la fermeture des cadres, soit par une extrémité des armatures longitudinales. Les autres formes peuvent nécessiter des dispositifs particuliers.

Il existe aussi des machines plus ou moins automatisées permettant de réaliser des cages dans lesquelles les cadres sont assemblés sur des armatures filantes de montage. Les armatures longitudinales sont ensuite introduites dans ces cages.

Par ailleurs, certaines machines sont très spécialisées. C'est en particulier le cas des machines qui produisent des cages d'armatures de pieux de fondation en enroulant et soudant sur des barres filantes des spires issues directement de couronnes.

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. L'entrepreneur assurant la pose choisit au cas par cas celle qu'il estime la plus pratique. Il est possible de souder sur site, mais le plus souvent, le montage se fait par ligatures avec des fils d'attache en acier recuit.

D'une façon générale, en tenant compte dans la conception des armatures, des techniques de montage de l'armaturier, le bureau d'études peut diminuer de façon significative les temps et donc les coûts d'assemblage.

3.2 Armatures sur catalogue

3.2.1 - Définition

Les armatures sur catalogue sont conçues sous la responsabilité du fabricant et décrites dans un catalogue. La norme NF A 35-027 spécifie que celui-ci doit être approuvé par un bureau de contrôle technique.

3.2.2 - Cycle de production

3.2.2.1 - Préparation de la fabrication

La préparation est effectuée lors de l'étude du catalogue. Chaque référence est définie par une fiche de fabrication et fait l'objet d'instructions relatives à l'étiquetage et au conditionnement.

Le plus souvent l'armaturier n'a aucune information sur l'ouvrage dans lequel les armatures qu'il livre seront intégrées. Quand il reçoit une commande spécifique, elle se présente sous la forme d'une nomenclature indiquant les nombres de chacun des produits du catalogue désignés par leur référence sans préciser leur composition. Cette nomenclature est parfois accompagnée d'un plan de pose sur lequel est simplement repérée la position de chaque armature.

3.2.2.2 - Fabrication des armatures sur catalogue

Les armatures sur catalogue se différencient des armatures sur plans par plusieurs caractéristiques : leurs formes et dimensions sont répétitives et une grande partie d'entre elles se présente sous la forme de cages de longueur 6 m, avec des cadres rectangulaires régulièrement espacés. Certains producteurs proposent aussi des gammes de poutres, de chevêtres, et autres produits répondant aux besoins pour les constructions courantes. Ces caractéristiques ont permis de développer des outils de production spécifiques. Dans les divers processus existants, une partie ou la totalité des phases de la fabrication est automatisée. Certaines machines intègrent dans un seul ensemble la totalité des opérations de dressage, coupe, façonnage et assemblage. Elles produisent des armatures assemblées directement à partir de fils en couronne.

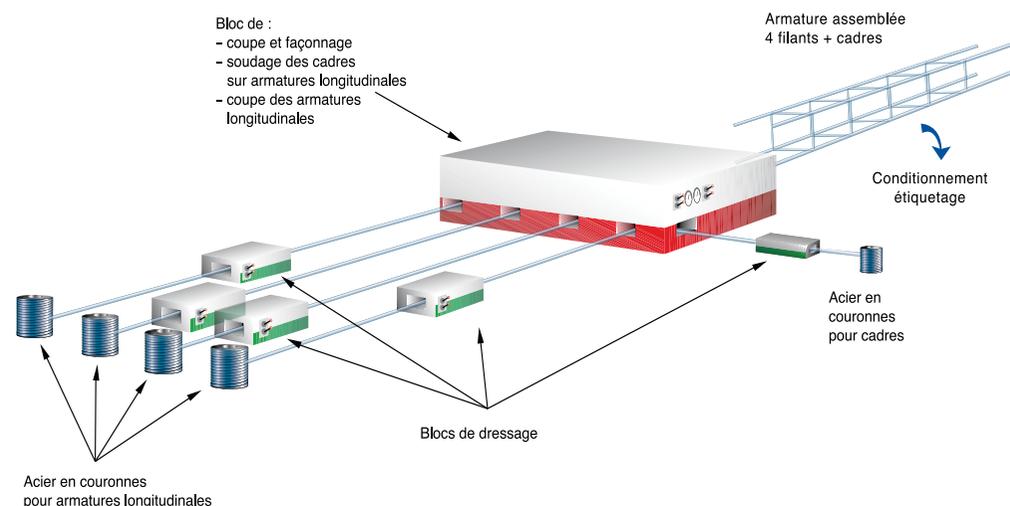


Figure n° 9 : armatures sur catalogue schéma de principe d'une machine automatique



Plieuse.

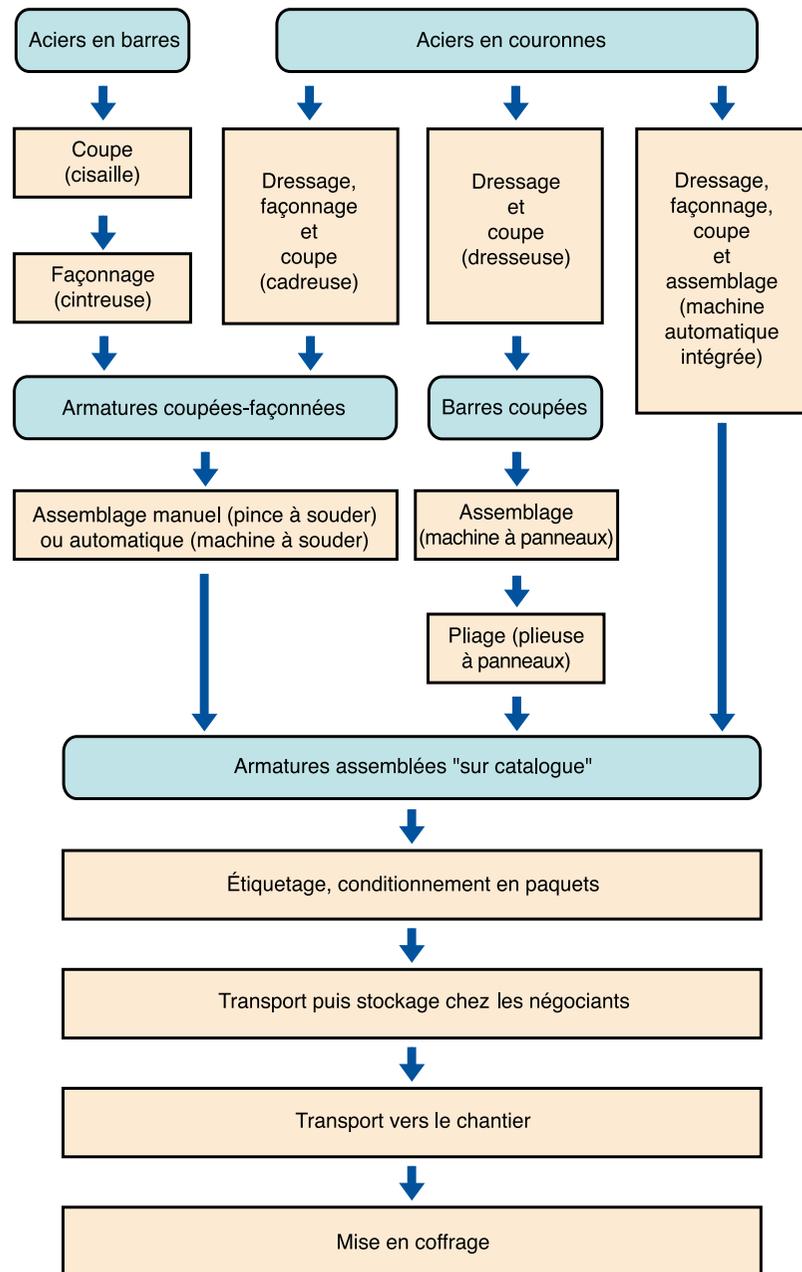


Figure n° 10: cycle des armatures sur catalogue.

3.3 Armatures spéciales

3.3.1 - Définition

La norme NF A 35-027 ne donne pas des armatures spéciales une définition précise et exhaustive.

On peut considérer qu'entrent dans cette catégorie tous les dispositifs structuraux utilisés dans le béton, mettant en œuvre des armatures « classiques » associées à d'autres éléments.

Les principales « armatures spéciales » sont les suivantes :

3.3.2 - Dispositifs de rabotage et d'ancrage (DRAAB)

Les dispositifs de rabotage permettent d'assurer la continuité mécanique des armatures grâce à un élément intermédiaire appelé manchon.

La liaison entre le manchon et les armatures est réalisée suivant différents procédés :

- filetage conique avec enlèvement de matière ;
- refoulement à froid et filetage cylindrique ;
- soudage par friction ;
- vissage sur reliefs de barres spécifiques ;
- vissage de vis à têtes fusibles ;
- écroutage et filetage par roulage ;
- sertissage.

Les dispositifs d'ancrage sont des pièces en forme de platines fixées à l'extrémité d'une barre d'armature. Ils permettent de transmettre au béton l'effort sollicitant la barre. Ils apportent une solution lorsque l'encombrement des ancrages par adhérence et courbure est incompatible avec les dimensions du béton ou la densité du ferrailage.

La liaison entre l'armature et l'ancrage utilise les mêmes technologies que les rabotages. La justification de la transmission des efforts entre l'ancrage et le béton

relève de la norme NF EN 1992-1 (pressions localisées, systèmes tirants et bielles).

La fabrication des manchons eux-mêmes relève de l'industrie mécanique. Les procédés et la fabrication de ces manchons font l'objet d'une certification spécifique de l'AFCAB.

L'armaturier assure la préparation des armatures (coupe, filetage, façonnage éventuel).

La mise en œuvre fait partie des opérations de pose en coffrage. Chaque procédé correspond à des procédures spécifiques qui doivent être scrupuleusement respectées.



Rabouages et ancrages.

Exemples de procédés de raboutage.

3.3.3 - Boîtes d'attentes

On désigne par boîtes d'attentes des dispositifs qui comportent des armatures façonnées dont une extrémité est repliée à l'intérieur d'un volume creux réalisé sous forme de boîte ou de profilé appelés « support ». 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, retirée totalement ou en partie,

et les armatures en attente sont dépliées. Il est ainsi possible de réaliser un recouvrement avec les armatures de la seconde phase.



Boîte d'attente à support amovible.
Dégagement des armatures.

Chapitre 3 • Fabrication et pose en coffrage des armatures

Il existe de nombreux procédés qui sont classés en deux catégories.

- Les boîtes à support amovible. Ce sont les boîtes pour lesquelles l'ensemble du support est retiré après décoffrage de la première phase de bétonnage où seules les armatures en attente subsistent dans le béton. Le support peut alors être constitué de divers matériaux : bois, matière plastique...



Boîte d'attente à support amovible.

Boîte d'attente à support incorporé.



- Les boîtes à support incorporé. Ce sont les boîtes pour lesquelles une partie du support est abandonnée dans le béton. Le matériau constitutif de cette partie doit être compatible avec le béton. C'est en général de l'acier.

Les boîtes d'attente font l'objet d'une certification spécifique de l'AFCAB.

3.3.4 - Goujons de dilatation

Les goujons de dilatation sont des dispositifs qui ont pour but d'assurer la transmission de charges au passage d'un joint de dilatation tout en permettant les variations d'épaisseur de ce joint.

Les goujons eux-mêmes sont des dispositifs mécaniques et non des armatures. En revanche ces procédés utilisent en général des armatures au voisinage des goujons afin de répartir dans le béton les contraintes localisées dues aux goujons.

Les procédés sont variés mais tous demandent une grande précision de mise en œuvre. Ils relèvent d'avis techniques du CSTB dans lesquels on trouve l'ensemble des prescriptions les concernant.

3.3.5 - Rupteurs thermiques

Les rupteurs thermiques sont utilisés essentiellement pour éviter les ponts thermiques entre les éléments de structure en béton intérieurs des bâtiments et les parties extérieures telles que balcons, loggias ou têtes de refends. Ils comportent une partie isolante parfois traversée par des armatures. Les parties d'armatures non enrobées dans le béton ne sont pas protégées de la corrosion on utilise donc des armatures en acier inoxydable. Si une résistance au feu est requise, elle nécessite une protection adaptée. Ces mêmes parties ne relèvent pas du béton armé mais du calcul des structures métalliques (Eurocode 3). Ces dispositifs relèvent aussi d'avis techniques.

3.4 Armatures en acier inoxydable

Les aciers constitutifs de ces armatures relèvent de la norme XP A 35-014 : Aciers pour béton armé. Barres, fils machines et fils lisses en acier inoxydable.

La norme NF EN 1992 -1-1 et son Annexe Nationale citent l'emploi de ces aciers en particulier pour diminuer les enrobages. Il faut alors vérifier et prendre en compte leurs caractéristiques propres (soudabilité, adhérence, dilatation thermique, compatibilité avec d'autres aciers).

Leur production et leur utilisation dépassent le cadre de cet ouvrage. On trouvera toutes les informations nécessaires dans le document T81 de la collection CiMbéton « Béton armé d'inox – Le choix de la durée ».

3.5 Pose en coffrage

La pose en coffrage des armatures est réalisée soit à partir d'armatures coupées façonnées soit à partir d'armatures assemblées (voir figure n° 6).

Dans le premier cas elle inclut l'assemblage qui a été décrit au paragraphe 3.1.2.5.

Quelle que soit la méthode adoptée, le bureau d'études joue encore ici un rôle primordial. En prenant en compte le processus de pose le concepteur de l'armature est en mesure de faciliter cette opération. Inversement, une armature parfaitement calculée peut s'avérer très difficile voire impossible à mettre en place si le processus de pose a été ignoré.



Pose d'armature sur chantier.

Pour une armature conforme

4.1 Contexte normatif

4.2 Caractéristiques certifiées des aciers

4.3 Conformité des armatures

4.4 Certifications gérées par l'AFCAB

La conformité finale de l'armature au sein de l'ouvrage est conditionnée par :

- la conformité des sections d'armature et des dispositions constructives ;
- la conformité des matériaux utilisés ;
- la conformité de la fabrication de l'armature ;
- la conformité de la pose en coffrage.

Du point de vue des responsabilités, chacun de ces quatre points incombe à des intervenants différents. Le premier concerne les bureaux d'étude, le deuxième les fabricants d'aciers, le troisième les armaturiers et le quatrième les entreprises assurant la pose, (appelées souvent « poseurs »), qui peuvent être spécialisées dans cette activité ou sont parfois également armaturiers ou entreprises générales.

Au plan pratique, le calcul est bien le domaine exclusif des bureaux d'étude, mais la conception (choix des formes et de la disposition des armatures) doit prendre en compte les moyens et les méthodes de fabrication et de pose en coffrage que seules les entreprises connaissent et maîtrisent.

D'ailleurs, les règles de certification de l'AFCAB, imposent aux armaturiers d'analyser les plans qu'ils reçoivent, de signaler les dispositions qui leur paraissent non-conformes ou impossibles à réaliser. Dans tous les cas l'armaturier peut proposer des solutions alternatives. Cette démarche nécessite la maîtrise des règles de l'art relatives à la conception des armatures et elle apporte un complément souvent indispensable au travail des bureaux d'études.

Ce chapitre traite de tous les aspects de la conformité des armatures à l'exception du calcul proprement dit.

4.1 Contexte normatif

Réaliser une armature « conforme » implique naturellement de se référer à des normes et à des textes réglementaires. Un nouveau contexte normatif et réglementaire a été mis en place pendant ces dernières années. En ce qui concerne les aciers, il s'agit essentiellement de normes européennes. Pour les armatures, il s'agit des Eurocodes. Ces textes européens ont été complétés ou accompagnés par des textes français.

Les Eurocodes sont des normes européennes de conception et de calcul pour les bâtiments et les ouvrages de génie civil. Ces normes ont pour objet d'harmoniser les règles de conception et de calcul au sein des différents états de la communauté

européenne et de contribuer à la création du marché unique de la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

Les Eurocodes forment un ensemble cohérent et homogène de 59 normes :

- faisant appel à une approche unique, semi-probabiliste avec des méthodes de dimensionnement selon des états limites (Etats Limites Ultimes, Etats Limites de Service) ;
 - appliquées aux différents matériaux (béton, acier, mixte, bois, maçonnerie, aluminium) et aux divers types de constructions.
- Ils harmonisent les « codes de calcul » des différents états membres et remplacent les règles antérieures en vigueur dans chacun de ces états.

Dans chaque pays, l'Annexe Nationale à chaque Eurocode précise les conditions d'application de la norme européenne. Elle permet de tenir compte des particularités géographiques, géologiques ou climatiques ainsi que des niveaux de protection spécifiques à chaque pays. Les Eurocodes prévoient que certains paramètres soient déterminés au niveau national. L'Annexe Nationale contient en particulier les informations nécessaires sur ces paramètres. Souvent, (et c'est le cas de l'Eurocode 2) des corrigendum sont ensuite établis et validés par des experts nationaux.

De plus, un document « Recommandations professionnelles » a été rédigé par la Commission française de l'Eurocode 2, BNSR CF EC2, dite commission miroir. Il reprend certaines dispositions des règles BAEL non contradictoires avec la norme NF EN 1992-1-1 (Eurocode 2). Ce document n'a pas un statut de norme mais il permet de conserver certaines habitudes qui ont fait leurs preuves et très utile en pratique. Les réponses validées aux questions posées par des membres de la profession sont régulièrement publiées sur internet, en particulier sur les sites de l'EGF.BTP (www.egfbtp.com), de l'UMGO (www.umgo.ffbatiment.fr/) et du SETRA (www.setra.equipement.gouv.fr/) Enfin, Le « Guide pour l'application de l'Eurocode 2 – Partie 1-1 » (septembre 2011) rédigé par Henry Thonier (EGF.BTP), donne des commentaires et précisions très utiles aux concepteurs.

La mise en application des nouveaux référentiels ne fera pas oublier instantanément les anciens. Les modifications qui sont intervenues seront donc mises en relief.

4.1.1 - Aciers

Au moment de la rédaction de cet ouvrage, les normes en vigueur contenant des prescriptions relatives aux aciers sont les suivantes.

- **NF EN 10080** : Aciers pour l'armature du béton. Acier soudable pour béton armé. Généralités. Septembre 2005.

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

Cette norme 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 la norme NF EN 1992-1-1 ou Annexe N de la norme NF EN 13369), ou d'origine nationale (NF A 35-015, NF A 35-024, NF A35-080-1et 2) ou encore être propre à un producteur ou un utilisateur.

- **NF A 35-080-1** : Aciers pour le béton armé. Aciers soudables. Partie 1 : barres et couronnes.
- **NF A 35-080-2** : Aciers pour béton armé. Aciers soudables. Partie 2 : treillis soudés.

Ces deux normes d'octobre 2010 spécifient toutes les prescriptions relatives aux barres, couronnes et treillis soudés en application de la norme NF EN 10080. Ce sont donc les normes françaises fondamentales concernant ces produits.

D'autres normes ont un champ d'application plus limité.

- **XP A 35-014*** : Aciers pour béton armé. Barres, fils machines et fils lisses en acier inoxydable.
- **NF A 35-015** : Armatures pour béton armé. Ronds lisses soudables.
- **NF A 35-017*** : Armatures pour béton armé Barres et fils machine non soudables à verrous.
- **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
- **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.
- **NF A 35-028** : Aciers pour béton. Treillis raidisseurs
- **NF A 35-030*** : Produits sidérurgiques. Barres crénelées à haute adhérence pour poteaux en béton armé supports de lignes aériennes.

Les textes relatifs aux armatures que nous allons citer à l'article suivant contiennent aussi parfois des spécifications concernant les aciers, mais il s'agit très généralement de références aux normes citées ci-dessus.

* Les normes XP A 35-014, NF A 35-017, NF A 35-020-1, NF A 35-024 et XP A 35-025, NF A 35-030 ne concernent pas les aciers pour béton armé soudables et ne relèvent donc pas de la norme NF EN 10080.

4.1.2 - Armatures

4.1.2.1 - Normes Eurocodes

Pour le béton armé, la principale norme porte la référence NF EN 1992-1-1. Elle est accompagnée de recommandations professionnelles qui sont nécessaires à son application. D'autres Normes Eurocodes concernant le béton armé ont aussi été publiées. L'ensemble comprend donc les normes ci-dessous.

- NF EN 1992-1-1 : Calcul des structures en béton. Règles générales pour les bâtiments, octobre 2005.
- NF EN 1992-1-1/NA : Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1, mars 2007.
- Corrigendum C1 intégré dans la version de l'EN 1992-1-1, 2^e tirage juin 2009.
- Le Corrigendum C2 EN 1992-1-1 : 2004/AC, publié en septembre 2012.
- Recommandations professionnelles pour l'application de la norme NF EN 1992-1-1, validé par la Commission BNSR CF EC2, mars 2007.
- Recommandations professionnelles concernant les dalles à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes validées par la Commission BNSR CF EC2, octobre 2010.
- NF EN 1992-1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu, octobre 2005
- NF EN 1992-1-2/NA : Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-2, mars 2007
- Le Corrigendum C1EN 1992-1-2 : 2004/AC, 2008 est en cours de finalisation.
- NF EN 1992-2 : Ponts en béton – Calcul et dispositions constructives, mai 2006
- NF EN 1992-2/NA : Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-2, mars 2007
- Le Corrigendum C1 EN 1992-2 : 2005/AC, 2008 est en cours de finalisation.
- NF EN 1992-3 : Silos et réservoirs, décembre 2006.
- NF EN 1992-3/NA : Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-3, mars 2007.
- NF EN 1998-1 : Eurocode 8. Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, septembre 2005.
- Corrigendum C1 EN 1998-1 : 2004/AC, 2009 intégré, octobre 2010.
- NF EN 1998-2 : Ponts, décembre 2006.
- Corrigendum C1 EN 1998-2 : 2005/AC, 2010 intégré, février 2010.
- L'amendement A1 NF EN 1998-2 : 2005/prA1, version française est en cours de validation.
- Amendement A2 NF EN 1998-2 : 2005/fprA2 Enquête publique close en février 2011.
- NF EN 1998-3 : Evaluation et renforcement des bâtiments, décembre 2006.
- Corrigendum C1 EN 1998-3 : 2005/AC, 2010 intégré, octobre 2010.
- NF EN 1998-4 : Silos, réservoirs et canalisations, mars 2007.
- NF EN 1998-5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques, septembre 2005.
- NF EN 1998-5/NA : Annexe Nationale de la norme NF EN 1998-5, octobre 2007.
- NF EN 1998-6 : Tours, mâts et cheminées, décembre 2005.

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

4.1.2.2 - Autres textes relatifs aux armatures

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

Au moment de la rédaction du présent texte la dernière édition de cette norme date de novembre 2009. Une révision est envisagée. Les prescriptions de cette norme concernent l'ensemble des caractéristiques des armatures. Elle s'applique en l'absence de spécifications différentes mentionnées sur les plans ou dans les pièces écrites.

- **NF EN 13670** : Exécution des ouvrages en béton.

Au moment de la rédaction du présent texte cette norme est finalisée. Elle sera accompagnée d'une Annexe Nationale. Il s'agit d'une norme européenne cohérente avec les Eurocodes. Elle comprend en particulier un article 6 « Armatures de béton armé » et une Annexe D « Guide pour les armatures de béton armé ». L'article 1.3 de la norme NF EN 1992-1-1 mentionne d'ailleurs parmi ses hypothèses : « Les exigences d'exécution et de mise en œuvre données dans l'EN 13670 sont satisfaites ».

- **Fascicule 65** : Exécution des ouvrages de génie civil en béton. CCTG des marchés publics de travaux.

Ce fascicule traite des armatures dans son chapitre 6 et son annexe F. Au moment de la rédaction du présent texte sa mise en cohérence avec la norme NF EN 13670 est en cours.

- **NF EN ISO 17660-1** : Soudage des aciers d'armatures – Assemblages transmettant des efforts.

- **NF EN ISO 17660-2** : Soudage des aciers d'armatures – Assemblages non transmettant.

- **NF EN 1996-1-1/A1** : Eurocode 6 – Calcul des ouvrages en maçonnerie - Partie 1-1 : Règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée - Partie 1-1 : règles générales pour ouvrages en maçonnerie armée et non armée.

Au moment de la rédaction du présent texte cette norme est encore à l'état de projet Pr NF EN 1996-1-1/A1 – janvier 2011.

Cette norme contient des prescriptions complémentaires à la norme NF EN 1992-1-1 pour les utilisations spécifiques des armatures dans le cas d'ouvrages en maçonnerie.

- **NF DTU 20.1** : Travaux de bâtiment – Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs – Partie 1-1 : cahier des clauses techniques types – Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux – Partie 2 : cahier des clauses administratives spéciales types – Partie 3 : guide pour le choix des types de murs de façades en fonction du site – Partie 4 : règles de calcul et dispositions constructives minimales. Octobre 2008.

Cette norme DTU prescrit les dispositions constructives minimales concernant les ouvrages en maçonnerie et notamment celles relatives aux chaînages.

- **Règles PS MI - norme NF P 06-01** : Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés – mars 1995. Ces règles restent utilisables pour certains bâtiments neufs répondant à un certain nombre de critères, notamment géométriques, dans certaines zones de sismicité (voir Annexe 2).

- **Guide AFPS** : « Construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles » CP-MI Antilles Ce guide est utilisable pour des bâtiments simples, sous certaines conditions stipulées dans le guide (voir Annexe 2).

- **NF EN ISO 3766** : Dessins de construction – Représentation simplifiée des armatures de béton (indice de classement : P02-015), décembre 2004.

4.2 Caractéristiques certifiées des aciers

Les prescriptions relatives aux aciers se traduisent dans les normes par les caractéristiques spécifiées suivantes :

- soudabilité et composition chimique ;
- caractéristiques mécaniques en traction ;
- 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) ;
- marquage.

Ces caractéristiques figurent dans les certificats délivrés par l'AFcab disponibles sur le site www.afcab.com

4.2.1 - Soudabilité et composition chimique

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 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.

4.2.2 - Caractéristiques mécaniques en traction

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 d'écoulement R_{eH} qui est aussi la limite apparente d'élasticité R_e .

Le diagramme contrainte-déformation des aciers laminés à froid ne comporte pas de palier. Dans ce cas, la limite apparente d'élasticité R_e est fixée conventionnellement égale à la contrainte correspondant à 0,2 % d'allongement rémanent.

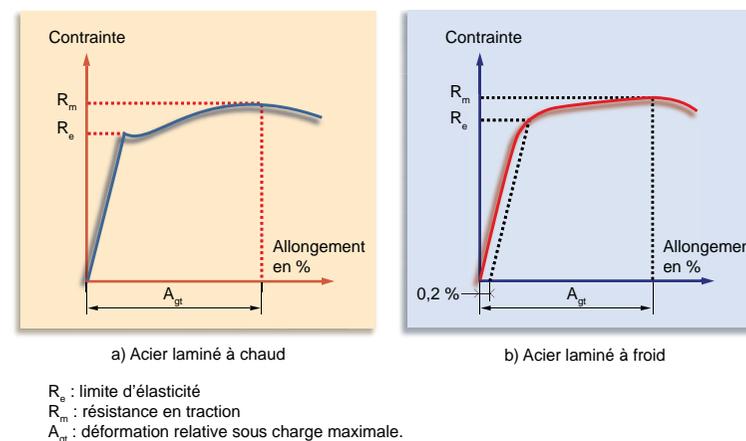


Figure n° 11 : diagrammes des contraintes-déformations types d'aciers pour béton armé.

Les normes NF A 35-080-1 et NF A 35-080-2 spécifient des « nuances » correspondant à des limites d'élasticité de 450 MPa et 500 MPa.

Actuellement en France, on utilise des aciers de limite d'élasticité 500 MPa. La norme NF EN 1992-1-1 précise au paragraphe 3.2.2.3 que les règles de dimensionnement et les dispositions constructives sont utilisables avec des aciers 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}).

Elles distinguent trois « classes » d'aciers (A, B et C) qui correspondent à des caractéristiques de ductilité différentes.

Le tableau ci-dessous reproduit le tableau 3 de la norme NF A 35-080-1. Celui de la norme NF A 35-080-2 est analogue. Il étend simplement les nota au diamètre 5,5 mm.

Nuance d'acier	Limite apparente d'élasticité R_e en MPa	Rapport $R_{e,act.}/R_{e,nom. max.}$	Rapport R_m/R_e		Allongement sous charge maximale
			min.	max.	
B500A	500	1,30	1,05 ^{a)}	–	2,5 ^{b)}
B500B	500	1,30	1,08 ^{c)}	–	5,0 ^{d)}
B450B	450	1,30	1,08 ^{c)}	–	5,0 ^{d)}
B450C	450	1,25	1,15	1,35	7,5

a) 1,03 pour le diamètre 5 mm.
 b) 2,0 % pour le diamètre 5 mm.
 c) 1,05 pour le diamètre 5 mm.
 d) 4,0 % pour le diamètre 5 mm

Il appartient aux maîtres d'œuvre de préciser leur choix dans le cas où la nature des ouvrages ou leurs conditions d'exploitation nécessitent l'emploi d'un acier de classe de ductilité spécifique.

La norme NF EN 1992-1-1 prescrit pour les ponts l'emploi d'aciers de classe de ductilité B ou C.

La norme NF EN 1998-1, qui définit les règles de calcul des constructions pour leur résistance aux séismes, impose à son article 5.3.2 l'emploi d'aciers de classe de ductilité B et parfois C dans les éléments sismiques primaires, c'est-à-dire ceux qui font partie du système structural résistant aux actions sismiques. La classe d'acier exigée dépend de la classe de ductilité du bâtiment. Dans tous les cas la classe de ductilité de l'acier adoptée par le bureau d'études doit figurer clairement sur les plans et être scrupuleusement respectée.

4.2.3 - Diamètres, sections, masses linéiques et tolérances

Compte tenu de la présence des reliefs (verrous ou empreintes), la section d'un acier à haute adhérence n'est pas tout à fait circulaire. Les normes fixent cependant des « diamètres nominaux : d » qui correspondent à des « sections nominales : A_n » (aire du cercle ayant le même diamètre nominal) et à des « masses linéiques nominales » calculées sur la base d'une masse volumique de 7,85 kg/dm³. La valeur de la masse linéique est assortie d'une tolérance.

Les diamètres prévus par la norme NF EN 10080 sont donnés dans le tableau n° 2. Les diamètres utilisés dans chaque pays sont actuellement différents. En France, on se limite en pratique aux diamètres 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14 et 16 pour les couronnes et 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, et 40 pour les barres.

Diamètre nominal du produit, d en mm	Nuance d'acier				Section nominale, A_n en mm ²	Masse linéique nominale, en kg/m
	B500A	B500B	B450B	B450C		
5 (C)	x	x	x	x	19,6	0,154
6 (B,C)	x	x	x	x	28,3	0,222
7 (C)	x	x	x	x	38,5	0,302
8 (B,C)	x	x	x	x	50,3	0,395
9 (C)	x	x	x	x	63,6	0,499
10 (B,C)	x	x	x	x	78,5	0,617
12 (B,C)	x	x	x	x	113	0,888
14 (B,C)	x	x	x	x	154	1,21
16 (B,C)	x	x	x	x	201	1,58
20 (B,C)		x	x	x	314	2,47
25 (B)		x	x	x	491	3,85
32 (B)		x	x	x	804	6,31
40 (B)		x	x	x	1 257	9,86
50 (B)			x	x	1 963	15,4
56 (B)			x	x	2 463	19,3

- Les diamètres en caractère « gras » sont ceux pratiquement utilisés en France.
- (B) : diamètres disponibles en barres.
- (C) : diamètres disponibles en couronnes.

4.2.4 - Adhérence et géométrie de la surface

La norme NF EN 1992 -1-1 ne cite que les aciers à verrous, mais l'Annexe Nationale française indique que les aciers à empreintes (produits essentiellement en France) sont également conformes.

Les normes imposent à la géométrie de surface des aciers des caractéristiques permettant d'assurer une adhérence convenable (voir figures n° 1 et 2 dans le chapitre 2). Les exigences portent sur des valeurs minimales soit de hauteur des verrous, ou de profondeur des empreintes, soit des « surfaces relatives » des verrous f_R , ou des empreintes f_p dont le mode de calcul est donné par la norme NF EN ISO 15630-1. Essais sur barres et couronnes.

Nota

f_R et f_p sont des coefficients sans dimension qui correspondent au rapport entre la surface totale projetée des reliefs présents sur une certaine longueur d'acier sur un plan perpendiculaire à son axe et la surface développée du cylindre de même longueur et ayant pour diamètre le diamètre nominal de l'acier. La figure 12 montre l'exemple du calcul de f_p .

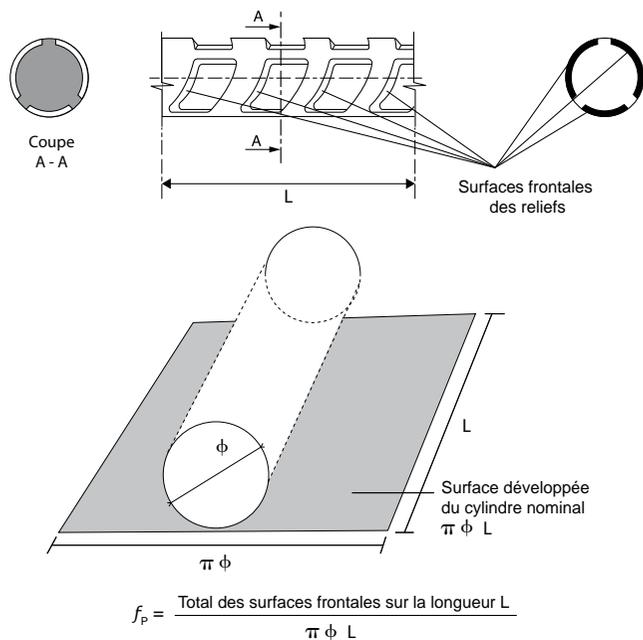


Figure n° 12 : calcul de f_p .

4.2.5 - Non fragilité (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.

4.2.6 - Dimensions et résistance au cisaillement des assemblages soudés des treillis soudés et des treillis raidisseurs

Les dimensions des treillis soudés et des treillis raidisseurs font partie des caractéristiques certifiées. Pour les treillis soudés il s'agit des longueurs, largeurs, espacements des fils, longueur des abouts, et diamètres relatifs des fils. Pour les treillis raidisseurs il s'agit des longueurs, hauteurs, largeurs et des pas des diagonales.

La résistance des assemblages soudés au cisaillement étant spécifiée, il est possible de les prendre en compte dans les calculs, notamment pour ceux mettant en jeu l'ancrage ou les recouvrements des treillis soudés.

4.2.7 - Résistance à la fatigue

Cette caractéristique n'est exigée que de façon exceptionnelle. Elle se contrôle à partir d'un essai de traction ondulée.

4.2.8 - Aptitude au redressage après pliage

Cette caractéristique optionnelle peut faire l'objet d'une attestation sur demande du producteur d'acier. Elle concerne les aciers de diamètre au plus égal à 16 mm.

Les règles de certification de la marque NF – Aciers pour béton armé définissent la procédure de vérification de l'aptitude au redressage après pliage. Cette procédure comporte un pliage sur un mandrin de diamètre de l'ordre de 4 diamètres de l'acier suivi d'un dépliage avec vérification du désalignement résiduel (ou « baïonnette ») et d'un essai de traction.

4.2.9 - Marquage

Les aciers comportent un marquage permettant d'identifier d'une part leur provenance et d'autre part leur nuance. Les prescriptions à ce sujet sont détaillées en Annexe 3.

4.3 Conformité des armatures

Chaque opération du cycle de production des armatures décrite au chapitre précédent fait l'objet de prescriptions.

4.3.1 - Dressage

La norme NF EN 1992-1-1 précise explicitement en 3.2.1 (2) que « les exigences relatives aux propriétés des aciers de béton armé visent le matériau en place dans le béton durci ». Cette prescription signifie en particulier que le dressage ne doit pas altérer les caractéristiques spécifiées de l'acier. Si le dressage n'est pas effectué correctement, les caractéristiques suivantes peuvent être affectées :

- la hauteur des reliefs peut se trouver diminuée par écrasement ou abrasion au passage dans les galets ou les cadres tournants ; les paramètres après dressage doivent être au moins égaux à 90 % des paramètres correspondants avant dressage ;
- la ductilité peut être diminuée car le « chicanage » entraîne un écrouissage de l'acier susceptible de provoquer une réduction de l'allongement sous charge maximale A_{gt} et (ou) du rapport R_m/R_e ;
- dans les machines à cadres tournants comportant un arrêt de l'avancement du fil au moment de la coupe une détérioration localisée est aussi susceptible de se produire.

Le dressage est donc une opération qui nécessite attention et compétence de la part des armaturiers.

4.3.2 - Coupe

En matière de coupe, la caractéristique à respecter est la longueur des barres qui, en l'absence d'autres prescriptions, fait l'objet de tolérances dimensionnelles dans la norme NF A 35-027. Les tolérances sont différentes selon que les barres sont utilisées en recouvrement ou non. Le bureau d'étude doit donc préciser s'il s'agit ou non de barres en recouvrement. Cette indication peut apparaître sur les plans, mais elle doit aussi figurer sur les listes d'armatures qui sont parfois le seul document communiqué à l'armaturier.

Tableau N° 3 : tolérances sur les dimensions des armatures coupées à longueur selon la norme NF A 35-027 (novembre 2009)

Longueur de l'élément L (en m)	Armatures dont la longueur est conditionnée par des barres coupées (mm)	Armatures utilisées par recouvrement ou coupe à longueur (mm) : chainages, semelles...
$L \leq 2$	- 20 + 10	± 50
$2 < L \leq 4$	- 40 + 10	
$4 < L$	- 50 + 10	

4.3.3 - Façonnage

4.3.3.1 - Diamètres de cintrage

- L'article 8.3 (3) de la norme NF EN 1992-1-1 fixe les valeurs minimales des diamètres intérieurs de cintrage permettant de satisfaire à deux exigences différentes :
- ne pas endommager l'armature elle-même lors du cintrage ;
 - ne pas endommager le béton lors de la mise en charge de l'armature.

La première condition est liée uniquement aux caractéristiques mécaniques de l'acier et en particulier à sa ductilité. La seconde a pour but de limiter les contraintes qui apparaissent dans le béton au contact d'une armature cintrée, sollicitée en traction, en particulier à l'intérieur de la courbure. Elle nécessite donc une vérification par le calcul qui fait intervenir l'effort sollicitant l'armature, les caractéristiques mécaniques du béton et la distance du centre de courbure au parement béton le plus proche.

• **Première condition : ne pas endommager l'armature.** Dans tous les cas, quels que soient la fonction de l'armature et l'angle de façonnage, les diamètres de mandrins de façonnage doivent respecter les valeurs figurant dans le tableau 8.1 N de la norme NF EN 1992-1-1 et qui sont reprises sur la figure 13.

Barres et fils	Diamètre de la barre	Diamètre minimal du mandrin pour tous les façonnages	
		$\phi \leq 16 \text{ mm}$	$\phi_m \geq 4 \phi$
$> 16 \text{ mm}$	$\phi_m \geq 7 \phi$		

Assemblages soudés (barres et treillis) pliés après soudage	Diamètre minimal du mandrin	
	$\phi_m \geq 5 \phi$	$d \geq 3\phi$ $\phi_m \geq 5 \phi$ $d < 3 \phi$ ou soudure dans la partie courbe $\phi_m \geq 20 \phi$
Note : dans le cas des soudures situées dans la partie courbe, le diamètre du mandrin peut être réduit à 5ϕ lorsque le soudage est effectué conformément à l'EN ISO 17660 Annexe B.		

Figure n° 13 : diamètre minimal ϕ_m du mandrin pour éviter le dommage aux armatures.

• **Seconde condition : ne pas endommager le béton.**

Les diamètres de mandrins doivent en général faire l'objet d'une justification par le calcul vis-à-vis de la rupture du béton.

Cette justification n'est pas nécessaire si l'une des conditions ci-après est remplie :

- l'ancrage nécessaire de la barre ne dépasse pas 5ϕ au-delà de l'extrémité de la partie courbe ;
- **ou bien** la barre n'est pas disposée près de la surface (plan de flexion proche du parement) et il existe une barre transversale de diamètre $\geq \phi$ à l'intérieur de la partie courbe.

Le texte initial de la norme NF EN 1992-1-1 comporte le mot « et » à la place de « ou bien ». C'est le corrigendum N° 2 qui a introduit cette modification importante.

Il n'est également pas nécessaire d'effectuer cette vérification pour toutes les armatures d'effort tranchant et les autres armatures transversales.

D'autre part, la Commission EC2 française a précisé que « lorsqu'une armature à ancrer est insérée à l'intérieur d'autres armatures (par exemple, soit issues de la poutre soit par ajout de cadres dans le poteau, dans le cas d'une poutre arrivant dans un poteau), elle n'est pas considérée comme disposée près de la surface. »

En dehors des cas cités ci-dessus, le diamètre minimal de façonnage résulte d'un calcul ou d'une vérification suivant l'expression (8.1) de la norme NF EN 1992-1-1. Cette prescription et ses conséquences pratiques sont détaillées en Annexe 4.

Comme on pouvait le craindre, grâce au calcul informatisé, on a vu apparaître sur les plans des diamètres de façonnages correspondant au millimètre près aux valeurs minimales données par l'expression (8.1).

Ces armatures sont probablement tout à fait conformes mais ne tiennent aucun compte des contraintes d'exécution.

L'annexe D de la norme NF EN 13670 recommande d'utiliser les mandrins de diamètre choisis parmi les valeurs 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 320, 400, 500, 630. Utiliser cette liste de diamètres préférentiels constituerait déjà une amélioration mais elle ne correspond pas exactement aux mandrins dont les armaturiers français sont équipés. C'est pourquoi l'Annexe Nationale de cette même norme a indiqué que l'utilisation des diamètres de mandrins (en mm) de 30, 70, 150, 300 et 800 est également recommandée.

Les prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 portent sur les diamètres de mandrins. Dans le cas où le façonnage est réalisé sans mandrin, il faut appliquer ces prescriptions aux diamètres intérieurs de façonnage.

Jusqu'à sa version de novembre 2009, la norme NF A 35-027 spécifiait des diamètres de façonnage minimaux « forfaitaires » et différents selon la fonction de l'armature (ancrages, coudes, cadres...). Ces prescriptions, ancrées dans les habitudes et très généralement reprises sur les plans, étant contraires à la norme NF EN 1992-1-1 elles ne sont plus applicables.

Les bureaux d'études doivent donc spécifier les mandrins de cintrages de toutes les armatures autres que les armatures transversales. Les armaturiers ne peuvent plus utiliser des valeurs forfaitaires comme ils le faisaient dans le cas courant où ces indications faisaient défaut sur les plans.

4.3.3.2 - Redressement des armatures pliées

Le redressement des armatures pliées est un cas de façonnage très particulier car d'une part il s'exécute généralement sur le chantier et d'autre part, il s'applique à une zone d'armature qui a précédemment subi un pliage.

La norme NF EN 13 670 admet le dépliage d'aciers ne bénéficiant pas de l'aptitude au redressement après pliage, mais exige dans ce cas des diamètres de façonnage pénalisants voire réducteurs en pratique. Cette aptitude est donc de fait exigée et elle autorise des diamètres de façonnage de 4 diamètres pour les armatures de diamètre au plus égal à 16 mm et 7 diamètres pour les armatures de diamètre supérieur à 16 mm. Le redressement doit être effectué avec un outil spécifique et suivant une procédure établie. Le Fascicule 65 impose l'aptitude au redressement après pliage et spécifie que cette opération ne doit avoir lieu qu'une seule fois.

Le cas des boîtes d'attentes correspond à des prescriptions particulières qui seront détaillées en 4.3.6.

4.3.3.3 - Longueur des parties droites.

La norme NF A 35-027 fixe les valeurs minimales des longueurs droites qui sont justifiées par des exigences pratiques d'exécution et de sécurité sur certaines machines de façonnage.

Ces règles restent applicables car elles ne sont pas contraires aux normes Eurocodes mais elles ne sont pas toujours justifiées compte tenu de l'évolution des matériels.

4.3.3.4 - Ancrages des cadres et étriers

La norme NF EN 1992-1-1 préconise un certain nombre d'ancrages pour la fermeture des cadres et étriers. Leur utilisation permet d'assurer la continuité complète de ces armatures. C'est pourquoi la position de ces fermetures n'est pas imposée. Il est possible d'adopter celle qui facilite le mieux l'exécution, en particulier la mise en place des armatures longitudinales.

La figure N° 14 montre les ancrages des cadres préconisés respectivement par les règles BAEL 91 et par la norme NF EN 1992-1-1 et met en évidence les changements apportés.

Angle de pliage	Prescriptions des règles BAEL 91	Prescription de la norme NF EN 1992-1-1
90°		
135°		
150°		
180°		

Figure n° 14: armatures transversales. Comparaison d'ancrages conformes aux règles BAEL 91 et à la norme NF EN 1992-1-1.

Par rapport aux règles BAEL 91, la norme NF EN 1992-1-1 permet de diminuer de 5 diamètres les longueurs droites après courbure pour tous les ancrages d'angles compris entre 90° inclus et 180° exclus. Il devient donc possible d'ancrer les étriers avec des crochets à 135° ou 150° avec une longueur droite après courbure de 5 diamètres ce qui facilite la mise en place des armatures longitudinales.

La fermeture avec deux crochets pliés à plus de 135° ne permet pas la mise en place d'une armature longitudinale dans l'angle.

La fermeture avec deux coudes à 90°, avec une longueur droite après courbure de 10 diamètres est la plus commode pour la mise en place des armatures longitudinales. C'est la solution la plus utilisée dans la plupart des autres pays. En dehors du cas des constructions devant résister aux séismes et relevant de l'Eurocode 8, elle devrait donc s'utiliser également en France.

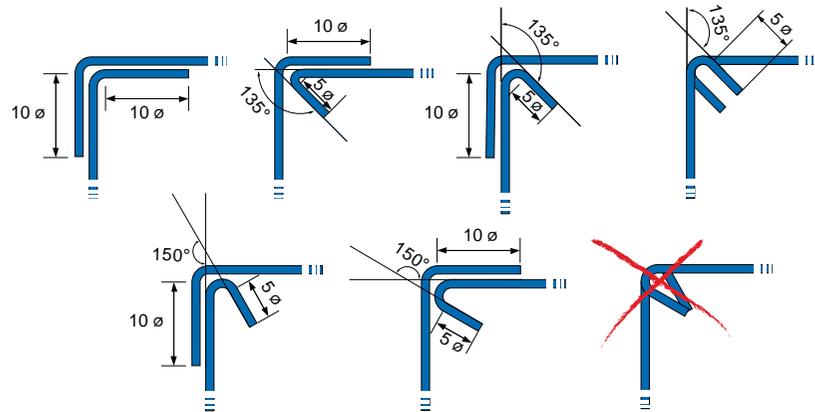


Figure n° 15: armatures transversales. Exemples de combinaisons d'ancrages conformes à la norme NF EN 1992-1-1.

4.3.3.5 - Cadres de confinement des constructions devant résister aux séismes et relevant de la norme NF EN 1998-1

La norme NF EN 1998-1 définit, dans les éléments des structures devant résister aux séismes, des « zones critiques » dans lesquelles doivent être disposées des armatures « de confinement ».

Elle prescrit à son article 5.6.1 : « Pour les armatures de confinement utilisées en tant qu'armatures transversales dans les poutres, les poteaux ou les murs, on doit utiliser des cadres fermés avec des extrémités coudées à 135° et ayant des retours de longueur 10 diamètres ».

Cette exigence ne concerne que les armatures de confinement et donc uniquement les « zones critiques » de la structure. Cependant, ces zones ne sont pas identifiées sur les plans, et l'armaturier est amené à adopter ces fermetures pour l'ensemble de la construction. De plus s'il livre des armatures dans des zones de séismicité 3, 4 ou 5 il généralisera vraisemblablement cette solution à l'ensemble de sa production pour éviter les risques d'erreurs.

De ce fait, le double crochet à 135°, avec une longueur droite après courbure de 10 diamètres, déjà préconisé par les règles BAEL, devrait rester aussi utilisé malgré les inconvénients pratiques qu'il présente pour la mise en place des armatures longitudinales.

Il faut remarquer que les règles PS MI ne formulent pas la même exigence ce qui permet d'utiliser les fermetures à 90°, avec une longueur droite après courbure de 10 diamètres pour les armatures exclusivement destinées aux bâtiments relevant de ces règles, en particulier les armatures sur catalogue.

4.3.3.6 - Tracé général des armatures d'effort tranchant selon la norme NF EN 1992-1-1

La norme NF EN 1992-1-1 traite ce sujet au paragraphe 9.2.2. Elle prescrit :

- Il convient que les armatures d'effort tranchant forment un angle compris entre 45° et 90° avec l'axe longitudinal de l'élément structural.
- Les armatures d'effort tranchant peuvent être composées d'une combinaison de : cadres, étriers ou épingles entourant les armatures longitudinales tendues et la zone comprimée, barres relevées, cadres ouverts, échelles, épingles... façonnés sans entourer les armatures longitudinales mais correctement ancrés dans les zones comprimées et tendues.

Cette prescription laisse beaucoup de possibilités de choix aux concepteurs.

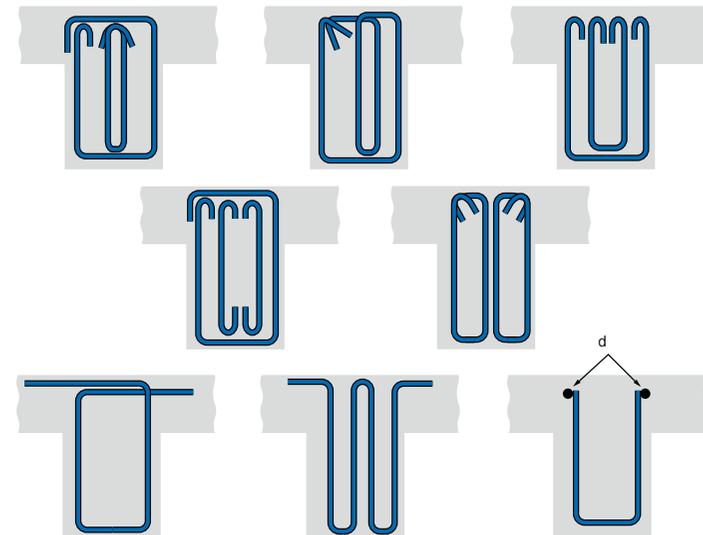


Figure n° 16: armatures transversales de poutres fléchies. Exemples de dispositions conformes à la norme NF EN 1992-1-1.

Comme indiqué au paragraphe 4.3.3.5, dans les constructions devant résister aux séismes et relevant de la norme NF EN 1998-1, les cadres de confinement doivent être fermés avec des extrémités coudées à 135° avec des retours de longueur 10 diamètres.

4.3.3.7 - Tracé des armatures transversales des poteaux selon la norme NF EN 1992-1-1

La norme NF EN 1992-1-1 prescrit à son article 9.5.3 de maintenir les barres verticales placées dans les angles et celles placées à moins de 150 mm d'une barre tenue avec des cadres convenablement ancrés.

Dans le cas des constructions devant résister aux séismes et relevant de la norme NF EN 1998-1, les prescriptions de l'article 5.6.1 explicitées au paragraphe 4.3.3.5 pour les poutres s'appliquent aussi aux poteaux.

4.3.3.8 - Tracé des armatures transversales de torsion selon la norme NF EN 1992-1-1

La norme NF EN 1992-1-1 prescrit à son article 9.2.3 que les cadres de pièces soumises à la torsion soient fermés et ancrés au moyen de recouvrements ou de crochets.

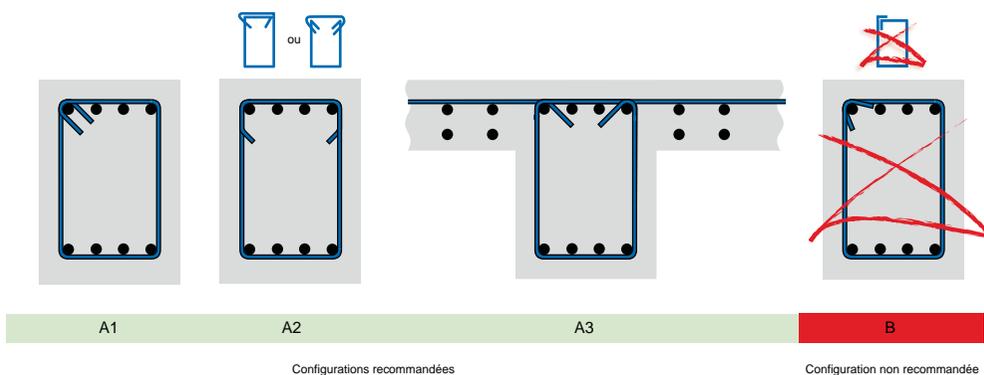


Figure n° 17 : armatures transversales de torsion. Configurations recommandées par la norme NF EN 1992-1-1.

4.3.3.9 - Armatures façonnées proches des parements Poussée au vide

Les armatures proches des parements risquent, lors de leur mise en charge, de générer des poussées susceptibles de faire éclater le béton d'enrobage. La norme NF EN 1992-1-1 ne reprend pas les prescriptions des règles BAEL à ce sujet. On peut cependant considérer qu'il est « de bonne construction » de tenir compte de

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

ce risque. Les bureaux d'études sont essentiellement concernés, mais les armateurs doivent aussi s'en préoccuper dans les cas suivants :

- adjonction de barres de montage;
- proposition de modification de ferrailage pour des raisons de commodité d'exécution.

La figure 18 montre les armatures tendues de poutre brisée comme par exemple les limons d'escaliers pouvant donner lieu à une poussée au vide.

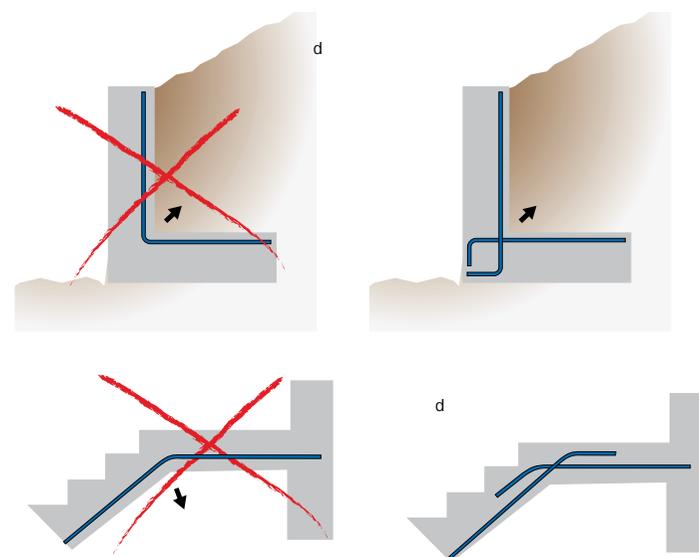


Figure n° 18 : exemples de poussée au vide d'armatures tendues et solution alternative.

La figure n° 19 représente schématiquement un ferrailage de console comportant deux lits de barres de façonnages identiques. Leur superposition nécessite un décalage inacceptable du lit inférieur. Ceci peut inciter l'armateur à modifier le lit supérieur en augmentant son rayon de cintrage et en réduisant de 135° à 90° l'angle de pliage. Il peut en résulter une poussée au vide.

Il existe d'autres façons tout à fait correctes de résoudre ce problème, telles que la mise en place d'épingles complémentaires, ou le remplacement des crosses par des boucles à plat.

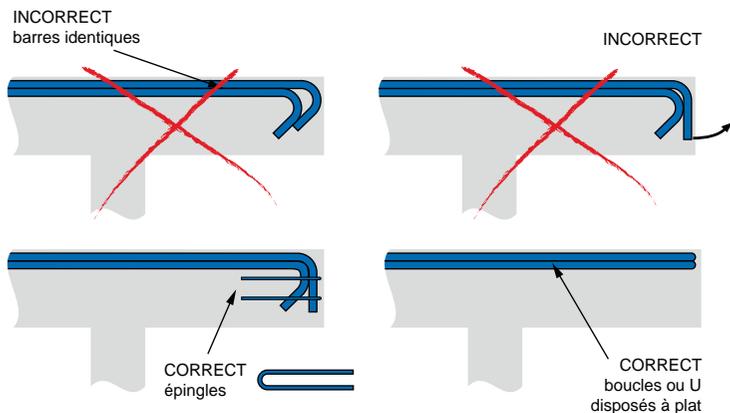


Figure n° 19 : exemple de poussée au vide d'ancrage et solution alternative.

4.3.3.10 - Conditions générales de façonnage

L'article 5.2 de la norme NF A 35-027 interdit de façonner à une température inférieure à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, et exige des précautions entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, telles qu'une réduction de la vitesse de cintrage. Dans tous les cas, le chauffage des armatures est interdit.

La norme NF EN 13670 contient des prescriptions identiques.

Le façonnage des armatures en place est exceptionnel. Il est cependant souvent adopté dans les ponts-cadres et les portiques.

Ces ponts cadres ou portiques comportent en général des armatures coudées assurant l'encastrement de la dalle dans les piédroits. Si ces barres sont livrées sur le chantier façonnées suivant leur forme définitive, la mise en place du coffrage et du ferrailage de la traverse devient très difficile, et parfois impossible. Ces armatures sont alors livrées droites et façonnées sur place lorsque la traverse est coffrée et ferrillée. Les entreprises de pose d'armatures utilisent pour cette opération des cintreuses portatives. L'exigence essentielle est le respect des diamètres de mandrins de cintrage prévus.

Le guide de conception du SETRA (Service d'Études sur les Transport, les Routes et leurs Aménagements) l'admet explicitement.

C'est d'ailleurs plutôt pour la fermeture des cadres sur chantier que le risque de non-conformité est important.

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

Cette pratique est cependant admise par le Fascicule 65 sous réserve d'emploi d'un matériel spécifique et du respect d'une procédure particulière soumise au visa du maître d'œuvre. En fait, il n'existe pas, à notre connaissance de cintreuse portative permettant un façonnage correct dans cette configuration.

Pour faciliter la mise en place des armatures longitudinales grâce à des cadres ouverts, il est préférable de prévoir des cadres en deux parties comme le montre la figure n° 20B.

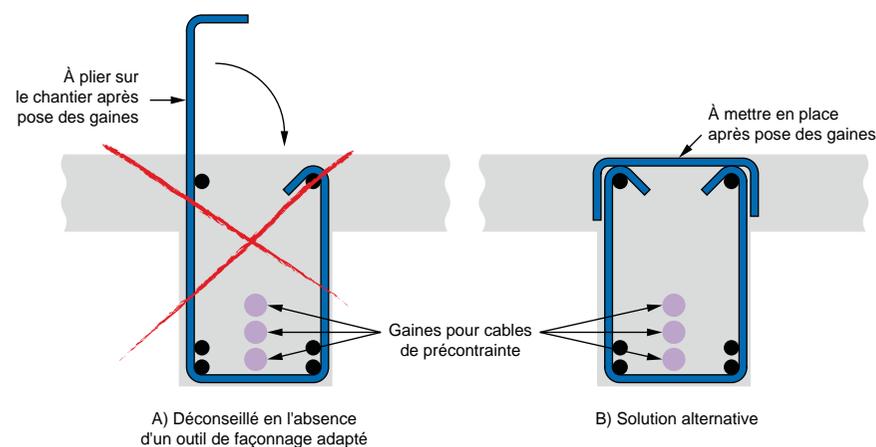


Figure n° 20A

Figure n° 20B

Figure n° 20 : exemple de façonnage d'armatures dans le coffrage, cadres à fermer sur le chantier et solution alternative.

4.3.3.11 - Tolérances de façonnage

Les tolérances de façonnage sont fixées par les articles 4.6.3 et 4.6.4 de la norme NF A 35-027 que l'armaturier doit respecter et qui sont rappelées sur la figure n° 21.

Cette norme fixe aussi des tolérances sur les angles de façonnage des ancrages (figure N° 22).

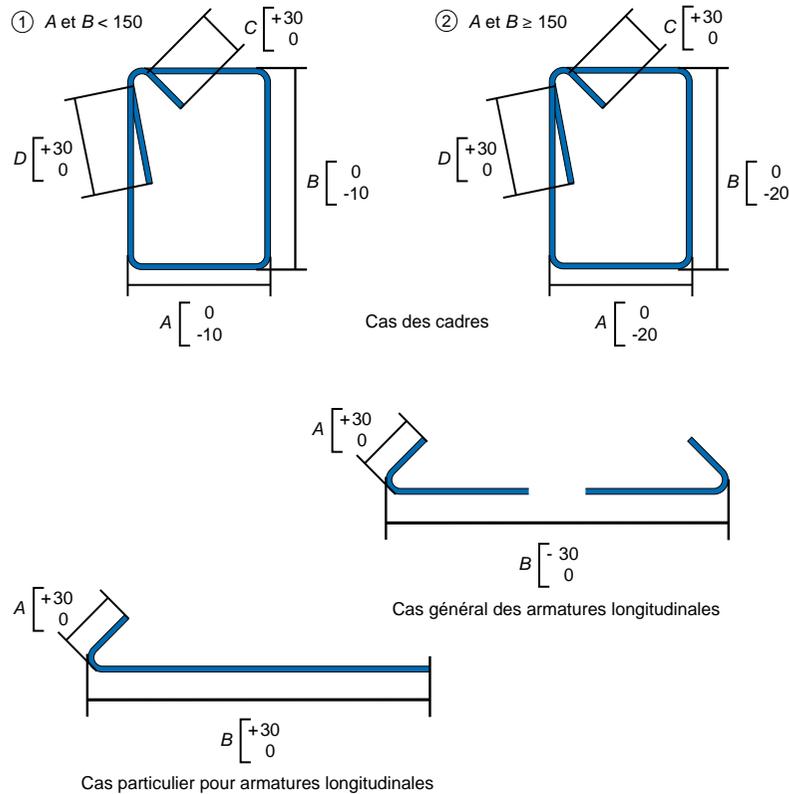


Figure n° 21 : norme NF A 35-027 - tolérances sur les dimensions des armatures façonnées.

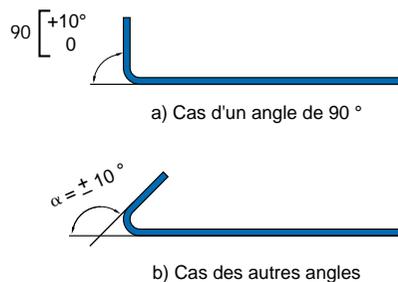


Figure n° 22 : norme NF A 35-027 - tolérances sur les angles des armatures façonnées.

Pour les diamètres de cintrage, les valeurs spécifiées (voir 4.3.3.1), sont des valeurs minimales. Aucun écart en moins n'est donc accepté.

La norme NF EN 1992-1-1 concerne le calcul et non l'exécution. Elle ne contient donc pas de prescription pour les tolérances de façonnage. Les valeurs fixées par la norme NF A 35-027 restent donc applicables.

4.3.4 - Assemblage

4.3.4.1 - Rigidité

Quel que soit le mode d'assemblage, l'article 4.7 de la norme NF A 35-027 demande qu'il confère aux cages d'armatures une rigidité suffisante pour supporter le transport, la pose en coffrage et le bétonnage. Le nombre et la répartition des points d'attache ou de soudure entre armatures coupées-façonnées est optimisé au cas par cas par l'armaturier.

4.3.4.2 - Assemblage par soudure

Les prescriptions applicables aux assemblages soudés suivant la fonction qu'ils assurent sont données par la norme NF A 35-027 au paragraphe 4.4 et par les normes NF EN ISO 17660-1 Soudage des aciers d'armatures – Assemblages transmettant des efforts et NF EN ISO 17660-2 Soudage des aciers d'armatures – Assemblages non transmettant. Lorsque les soudures doivent transmettre des efforts, des règles particulières doivent être respectées et les opérateurs réalisant les soudures doivent être qualifiés. Dans le cas courant, les soudures ont uniquement une fonction de montage. Il faut néanmoins s'assurer par des essais de traction sur assemblages soudés que les armatures ne sont pas affectées par le soudage (réduction de section, perte d'allongement sous force maximale...). C'est aussi pourquoi les normes imposent en particulier que le petit diamètre à assembler soit supérieur à 40 % du gros diamètre dans le cas de soudure par résistance. Le couple 6-16 mm est cependant admis.

La spécification de portée très générale de la norme NF EN 1992-1-1 a été citée à propos du dressage: « les exigences relatives aux propriétés des aciers de béton armé visent le matériau en place dans le béton durci ». Cette exigence inclut en particulier l'absence d'altération des caractéristiques des aciers lors des opérations de soudage.

4.3.4.3 - Tolérances dimensionnelles sur les armatures assemblées

Les tolérances dimensionnelles sur les armatures assemblées sont aussi fixées par la norme NF A 35-027 aussi bien pour les positions respectives des armatures, que pour les dimensions d'ensemble.

Caractéristique	Type d'armature*	Écart en moins (en mm)	Écart en plus (en mm)	
Position relative élémentaire	Cadre, étriers, épingles (C)	- 10	+ 10	
	Éléments d'armatures autres que cadres, étriers et épingles (A)	- 30	+ 30	
Position relative cumulée	Cadres, étriers et épingles (4 x C, B)	- 20**	+ 20**	
Largeur / Hauteur	Dimension nominale < 150 mm	- 10	+ 5	
	Dimension nominale ≥ 150 mm	- 20	+ 5	
Longueur	Armatures dont la longueur est conditionnée par des barres coupées	$L \leq 2$ m	- 20	+ 10
		2 m < $L \leq 4$ m	- 40	+ 10
		4 m < L	- 50	+ 10
	Armatures dont la longueur est conditionnée par des barres façonnées (L)	- 30	+ 10	
	Armatures utilisées par recouvrement ou coupe à longueur (par exemple chaînages, semelles filantes)	- 50	+ 50	

* La cote correspondante sur la figure est indiquée entre parenthèses.

** Dans le cas des armatures utilisées par recouvrement ou coupe à la longueur, les tolérances sur les abouts (voir figure ci-dessous, cote B) sont portées de ± 20 mm à ± 50 mm.

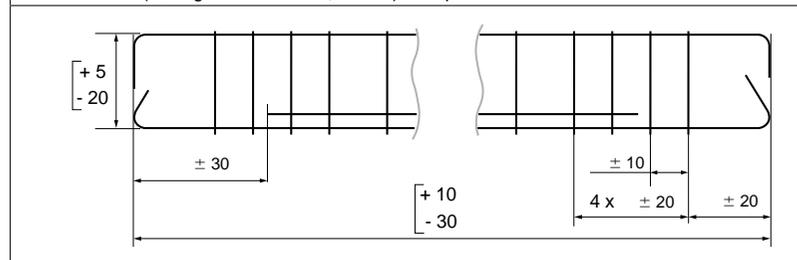


Figure n° 23 : norme NF A 35 027 - tolérances sur les caractéristiques dimensionnelles des armatures assemblées.

Bien entendu, dans certains cas particuliers, des tolérances plus sévères peuvent être souhaitées. Le maître d'œuvre doit alors s'assurer qu'elles sont réalisables, et les préciser explicitement dans les pièces écrites du marché. Des dispositions particulières de production pourront alors être adoptées (gabarits, contrôle spécifique...)

4.3.5 - Pose en coffrage et position finale des armatures

Si la pose est réalisée à partir d'armatures coupées façonnées, toutes les règles énoncées au paragraphe 4.3.4 au sujet du montage doivent évidemment être respectées. Le travail sur site plutôt qu'en atelier nécessite une compétence et une attention particulières.

Dans tous les cas, les armatures ne peuvent être convenablement mises en place que si elles ont été conçues et fabriquées de façon satisfaisante. La position des armatures après bétonnage implique aussi les entrepreneurs chargés des coffrages et du bétonnage.

Les normes et autres textes réglementaires formulent des prescriptions qui portent d'une part sur les enrobages et d'autre part sur les positions des armatures non concernées par l'enrobage.

4.3.5.1 - Enrobage

La norme NF EN 1992-1-1 définit l'enrobage comme la distance entre l'armature (épingles, étriers et cadres compris, ainsi que les armatures de peau, le cas échéant) la plus proche de la surface du béton et cette dernière.

L'enrobage des armatures doit être suffisant pour garantir :

- la protection de l'acier contre la corrosion (durabilité) ;
- la bonne transmission des efforts d'adhérence ;
- une résistance au feu convenable.

Dans des conditions normales, les armatures enrobées dans un béton compact et non fissuré sont protégées naturellement par un phénomène de passivation généré par l'action de la chaux, libérée par les silicates de calcium contenus dans le ciment, sur l'oxyde de fer. La présence de chaux maintient la basicité du milieu entourant les armatures. Les armatures sont protégées tant que le pH de ce milieu est compris entre 9 et 13,5. Deux principaux phénomènes peuvent dans certaines conditions détruire cette protection :

- la carbonatation du béton d'enrobage par absorption du gaz carbonique contenu dans l'atmosphère ;
- la pénétration des ions chlorures jusqu'aux armatures.

La carbonatation n'est pas nuisible au béton, mais elle entraîne une neutralisation (chute du pH de la solution interstitielle) du milieu entourant les armatures qui

peuvent alors s'oxyder. La progression de la carbonatation se fait depuis l'extérieur de l'ouvrage en contact avec l'air ambiant, vers l'intérieur. La vitesse du processus dépend de la teneur en dioxyde de carbone, de la porosité du béton et de l'humidité relative de l'air.

L'action des chlorures est spécifique à certains environnements tels que la présence de sels de déverglaçage et surtout les proximités de bords de mer. Les ions chlorure peuvent migrer depuis la paroi exposée vers les armatures et « dépasser » l'acier. Ils pénètrent dans le béton par capillarité avec une vitesse fonction de la porosité du béton.

Lorsque la corrosion a débuté, elle produit un gonflement des armatures qui entraîne un éclatement du béton d'enrobage. La protection de l'acier disparaît et le phénomène s'accélère.

La durabilité du béton armé nécessite donc que les armatures soient convenablement protégées, ce qui impose en particulier que la distance entre les armatures et le parement exposé le plus proche (enrobage) soit suffisante. L'armature doit donc :

- être fabriquée de façon à permettre de respecter ces distances ;
- être posée en coffrage en les respectant effectivement, sans écart en moins.

La norme NF EN 1992-1-1 traite ce sujet dans sa section 4 « Durabilité et enrobage des armatures ».

La valeur minimale d'enrobage préconisée dépend de plusieurs paramètres qui sont pris en compte de façon extrêmement détaillée :

- la composition du béton ;
- la durée d'utilisation du projet (fixée par le maître d'ouvrage) traduite par la notion de classe structurale ;
- les conditions d'environnement traduites par des classes d'exposition ;
- la classe de résistance du béton ;
- l'utilisation d'acier inoxydable ;
- la présence de protections complémentaires éventuelles ;
- la régularité du parement ;
- les risques d'abrasion du béton ;
- la régularité de la surface contre laquelle le béton est coulé ;
- les conditions de surveillance et de contrôle de l'exécution.

Dans un même ouvrage certains de ces paramètres, dont en particulier les classes d'exposition, peuvent ne pas être les mêmes pour différentes parties de la structure, voire pour les différents parements d'une même pièce. L'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1 prescrit que « lorsqu'un élément de structure est concerné par plusieurs classes d'exposition, on retiendra l'exigence la plus élevée ». On trouvera en Annexe N° 5 le détail du processus de détermination de l'enrobage tel qu'il résulte de la norme NF EN 1992-1-1, après prise en compte des précisions et compléments formulés dans son Annexe Nationale. Une innovation importante réside dans la prise en compte des tolérances d'exécution.

Pour prendre en compte ces tolérances, l'enrobage minimal C_{\min} doit être majoré d'une « marge de sécurité » ΔC_{dev} . On obtient ainsi l'enrobage « nominal » C_{nom} .

$$C_{\text{nom}} = C_{\min} + \Delta C_{\text{dev}}$$

La marge recommandée est de 10 mm. Elle peut être réduite à 0 lorsqu'un système d'assurance qualité incluant des mesures d'enrobage des armatures est mis en place. Les contrôles imposés par les Règles de certification AFCAB « Pose » répondent à cette exigence.

C'est l'enrobage nominal qui doit être indiqué sur les plans. Il constitue la référence pour la fabrication et pour la pose des armatures.

Compte tenu de la grande variété des cas prévus par la norme NF EN 1992-1-1 l'enrobage nominal peut varier de 10 mm à 55 mm. Dans un souci d'optimisation des structures les bureaux d'études peuvent donc prévoir des enrobages différents pour les diverses parties d'un même ouvrage ou d'un bâtiment. Les armateurs doivent être vigilants sur ce point.

L'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1 en 4.4.1.2 (5) recommande de ne pas dépasser $C_{\text{nom}} = 50$ mm pour éviter des problèmes de fissuration. Elle recommande pour cela d'utiliser les possibilités de réduction de $C_{\text{min,dur}}$ énumérées au paragraphe 4 de l'Annexe 5 et de ΔC_{dev} indiquées ci-dessus.

Le nouveau fascicule 65 ainsi que la norme NF EN 13670-1 reprennent les prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1. Le nouvel ensemble des textes concernant l'enrobage est donc totalement cohérent.

Les prescriptions relatives au comportement du béton armé au feu se trouvent dans la norme NF EN 1992-2. Elles sont basées en particulier sur la réduction de la résistance caractéristique de l'acier de béton armé en fonction de la température et donc de la distance entre les armatures et le parement exposé au feu. Les courbes de résistance caractéristique en fonction de la température sont différentes pour les aciers laminés à chaud ou laminés à froid, mais dans tous les cas le respect des enrobages spécifiés aux plans est fondamental.

La norme NF A 35-027 ne traite pas de l'enrobage, car celui-ci ne dépend pas de la seule armature. En revanche, elle ne tolère aucune marge « en plus » sur les dimensions des armatures coupées, façonnées ou assemblées quand elles mettent en jeu l'enrobage.

4.3.5.2 - Maîtrise de la fissuration

Un enrobage convenable n'est pas la seule condition pour assurer la protection des armatures contre la corrosion. Il faut aussi limiter la fissuration du béton. La norme NF EN 1992-1-1 formule aux articles 7.3.3 et 7.3.4 les prescriptions visant à maîtriser la fissuration. Elles consistent à respecter, au choix, un diamètre maximal ou un espacement maximal des barres. Les valeurs limites dépendent de divers facteurs dont, en particulier, la contrainte de l'acier et les classes d'exposition de la partie d'ouvrage concernée. Comme indiqué plus haut, l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1 recommande en 4.4.1.2 (5) de ne pas dépasser $C_{nom} = 50$ mm.

4.3.5.3 - Position des armatures non concernées par l'enrobage

La norme NF EN 13670 ne contient aucune prescription au sujet des tolérances de pose des armatures autres que celles relatives à l'enrobage.

Pour les ouvrages de génie civil, le fascicule 65 version 2008 spécifie : « Sauf prescriptions particulières du marché pour tenir compte de risques tels qu'incendie ou milieux agressifs, les tolérances suivantes sont à respecter :

- en aucun cas, l'enrobage ne peut être inférieur à C_{min} ;
- la tolérance $\Delta_{(plus)}$ dans la direction h (hauteur ou épaisseur de l'élément), où l'écart de l'armature diminue la résistance, est prise égale à :

- pour $h \leq 150$ mm $\Delta_{(plus)} = 10$ mm
- pour $h = 400$ mm $\Delta_{(plus)} = 15$ mm
- pour $h \geq 2500$ mm $\Delta_{(plus)} = 20$ mm

avec une interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires.

- 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 ».

Cas particulier des ancrages et recouvrements

Dans la norme NF EN 1992-1-1 le calcul des ancrages et des recouvrements est traité à l'article 8.7. Il prend en compte un nombre important de paramètres : enrobage, conditions d'adhérence, distances entre armatures, proportion de barres se recouvrant... Le détail des prescriptions correspondantes sort du cadre de cet ouvrage. En revanche les bureaux d'études seront amenés à faire figurer sur leurs plans certains détails parfois inhabituels qui font partie de leurs hypothèses de calcul. Il est impératif de respecter ces dispositions. Les habitudes passées qui permettraient certaines adaptations en utilisant quelques règles forfaitaires doivent être abandonnées car elles peuvent dans certains cas entraîner de graves non-conformités.

4.3.5.4 - Possibilité de bétonnage correct

La norme NF EN 1992-1-1 traite aux articles 8.2 et 8.9 des exigences relatives à la possibilité de bétonnage correct. Ces prescriptions sont représentées sur la figure n° 24.

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

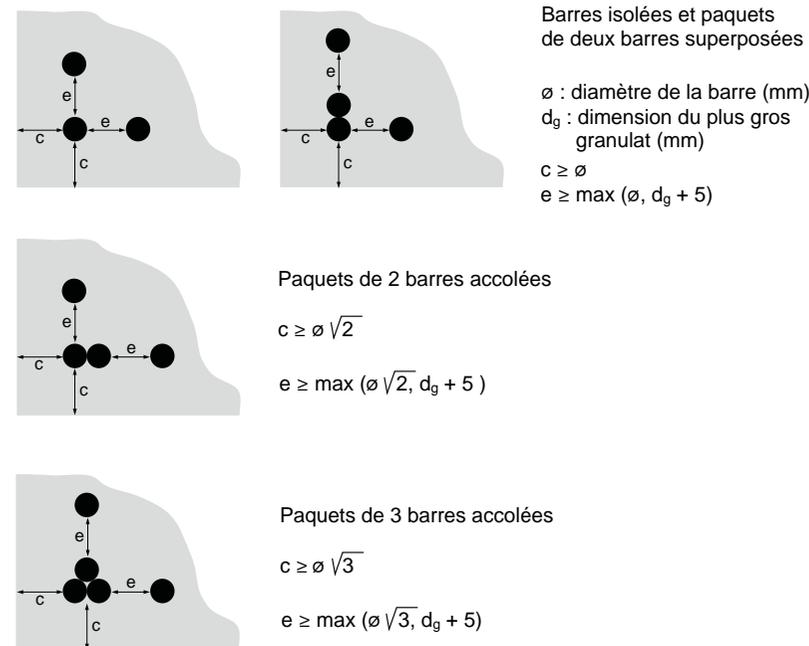


Figure n° 24 : distances minimales des armatures aux coffrages, et entre elles, (en mm) permettant la transmission des forces d'adhérence et un bétonnage correct suivant la norme NF EN 1992-1-1.

La norme prescrit également : « lorsque les barres sont placées en lits horizontaux distincts, il convient de superposer les barres de chaque lit en files verticales en ménageant entre ces files un espace suffisant pour permettre le passage des aiguilles vibrantes et assurer un bon compactage du béton ». Cette condition semble difficile à respecter à la lettre, mais elle fixe l'objectif à atteindre.

L'emploi de paquets de barres fait l'objet de l'article 8.9 de la norme. Les règles des barres isolées sont applicables en remplaçant le diamètre de la barre par un diamètre fictif qui dépend du nombre de barres du paquet. Ces problèmes ne sont pas toujours bien traités par les logiciels de dessin d'armatures.

L'Annexe Nationale de la norme NF EN 1992-1-1 en 4.4.1.2 (5) complète à juste titre la norme en attirant l'attention sur les difficultés de bétonnages auxquelles risque de conduire un enrobage « C_{nom} » inférieur à la dimension nominale du plus gros granulat.

L'armaturier peut difficilement signaler les dispositions qui lui semblent anormales, car il ne dispose pas de toutes les informations nécessaires, telles que la formulation du béton (dimension maximale des granulats), les caractéristiques du béton à l'état frais (consistance) et les conditions de bétonnage.

4.3.6 - Boîtes d'attentes

Le principe des boîtes d'attentes ainsi que les diverses catégories de supports ont été décrits au paragraphe 3.3.3.

Les attentes ne doivent bien entendu être réalisées qu'à partir d'aciers bénéficiant de l'aptitude au redressage après pliage. Bien qu'elles soient très utilisées, la fabrication des boîtes d'attentes ne fait l'objet d'aucune norme en dehors de celles qui visent les armatures qu'elles contiennent, au même titre que toutes les armatures. Elles ne sont pas non plus couvertes par des avis techniques du CSTB.

L'AFCAB a établi des règles de certification pour ces produits. Outre les exigences visant la qualité des produits, ces règles demandent aux producteurs de fournir aux utilisateurs une notice comportant des recommandations d'emploi depuis la pose des boîtes jusqu'au dépliage des attentes ainsi que des recommandations pour le calcul. L'utilisation de boîtes bénéficiant d'un certificat AFCAB ne dispense pas d'une préconisation par un bureau d'études. Celui-ci pourra s'appuyer sur la notice établie par le fabricant pour le choix des modèles, le calcul et la mise en œuvre. Les caractéristiques à calculer ou justifier sont évidemment les sections d'acier mais aussi les dimensions permettant d'assurer les enrobages, les ancrages et les longueurs à déplier en tenant compte d'un recouvrement de la totalité des attentes dans la même section (norme NF EN 1992-1-1 art. 8.7.3). Le modèle de boîte à utiliser dans chaque cas doit être défini par le bureau d'études et non pas choisi en fonction d'habitudes voire de disponibilité dans un stock.

La mise en œuvre des boîtes d'attentes comporte aussi plusieurs aspects spécifiques. En particulier, leur emploi en attentes pour planchers en dalle pleine traditionnelle ou avec prédalles s'est beaucoup développé, parfois sans être parfaitement maîtrisé.

Pour lever les inquiétudes relatives à la qualité du dépliage des attentes une enquête a été menée en 2008, par la FIB, auprès des entreprises. Elle a permis de déterminer les tolérances en altitude des boîtes réellement respectées lors de leur pose. Il a été retenu deux classes de tolérance de positionnement en altitude :

- tolérance courante de base $\pm 2,5$ cm ;
- tolérance fine $\pm 1,5$ cm.

On peut d'ailleurs penser que la classe de tolérance fine peut éventuellement être retenue pour des chantiers avec prédalles qui sont un peu plus industrialisés avec

une organisation qualité en général plus évoluée. Le niveau d'organisation de qualité des chantiers avec dalles traditionnelles est beaucoup plus disparate ce qui incite plutôt à retenir la classe de tolérance courante.

La figure n° 25 explique pourquoi la tolérance de positionnement en altitude des boîtes d'attentes qui doit être adoptée est plus élevée que pour d'autres armatures. La figure n° 26 montre quelles peuvent être les conséquences d'un écart de niveau excessif compte tenu de la largeur de boucle des attentes choisie. La figure n° 27 indique le calcul de la largeur de boucle en fonction de la tolérance de positionnement en altitude des boîtes et de l'enrobage exigé dans le cas d'une dalle traditionnelle.

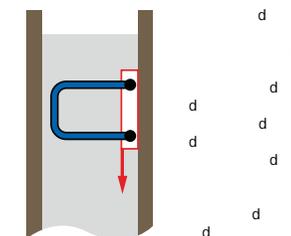


Figure n° 25 : bétonnage d'un mur avec boîtes d'attentes.

Avec les notations des figures n° 26 et n° 27, pour une épaisseur de dalle « h » et un enrobage « c », la tolérance courante $\pm 2,5$ cm conduit à une largeur « l » telle que : $l \leq h - 2c - 5$ en centimètres.

Par exemple avec $h = 18$ et $c = 2$: $l \leq 9$ cm

Dans le cas de prédalles le brin inférieur peut être en contact avec la prédalle

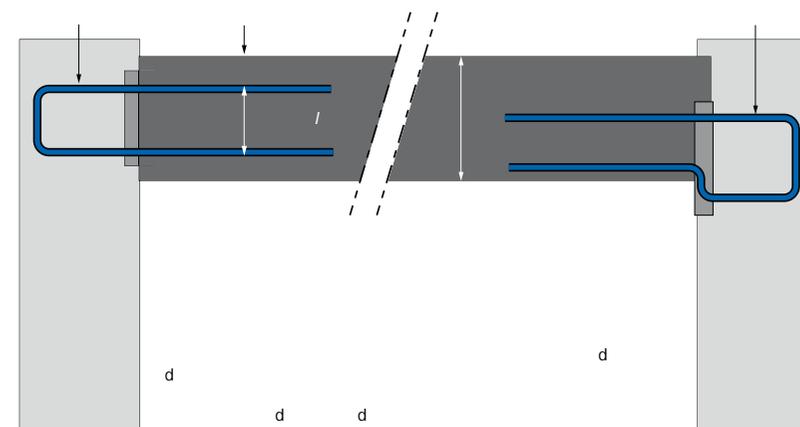


Figure n° 26 : boîtes d'attentes - conséquences d'un écart de niveau avec largeur de boucle excessive.

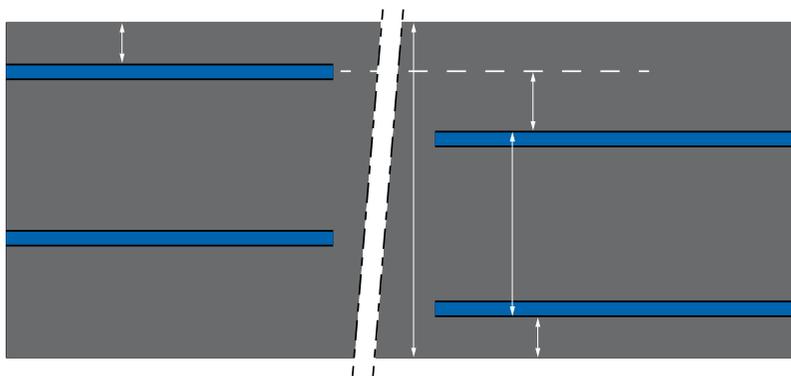


Figure n° 27 : calcul de la largeur de boucle suivant la tolérance de niveau de pose des boîtes et l'enrobage (dalle traditionnelle).

Dans le cas d'utilisation combinée avec des prédalles suspendues les charges doivent être « relevées » par les suspentes puis transmises à l'appui par les attentes ce qui correspond à un calcul particulier. De plus, le croisement des suspentes et des attentes nécessite des dispositions convenables pour ne pas détériorer les armatures par des pliages et dépliages répétés.

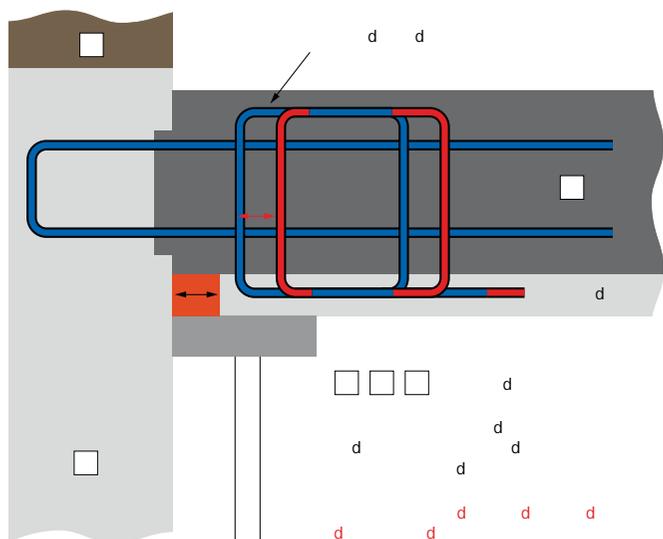


Figure n° 28 : boîtes d'attentes et prédalles suspendues.

Le groupe français de suivi de l'Eurocode 2 a été sollicité pour mettre au point les méthodes de conception et de calcul des dalles à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes.

Suite aux travaux d'un groupe d'experts, des « **Recommandations professionnelles concernant les dalles à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes** » ont été publiées en novembre 2009. Ce texte a été validé par la commission BNSR CF EC2 le 14 octobre 2010. Il a donc le même statut que les « Recommandations professionnelles pour l'application de la norme NF EN 1992-1-1 » de mars 2007.

Pour répondre aux besoins pratiques un certain nombre d'industriels et entreprises du secteur se sont réunis et ont rédigé un projet de « **Règles professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes** » (édition du 4 avril 2011, CERIB, FIB, EGF.BTP, UMGO).

Ce document ne constitue en rien de nouvelles règles. Il est articulé en deux parties. La première contient des solutions d'attentes courantes (largeurs de boucles compatibles avec les tolérances de pose, capacités résistantes des attentes selon la longueur des brins dépliés).

La seconde précise et complète les recommandations professionnelles en détaillant les conditions d'application des méthodes de conception et de réalisation, afin de faciliter le travail des différents intervenants sur les chantiers (entreprises, bureaux d'études structures, bureaux de contrôle, préfabricants).

Il existe aussi un « **Guide de mise en œuvre des planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes** » (édition du 2 février 2011 – CERIB, FIB, EGF.BTP, UMGO). Ce sujet est donc maintenant bien documenté.

Le dépliage des attentes qui avait été à l'origine de certaines préoccupations est en fait facilement réalisable si la boîte est bien conçue, convenablement choisie et correctement mise en œuvre. Il doit être réalisé suivant les préconisations du fabricant des boîtes d'attente.

4.3.7 - Armatures manchonnées

Les manchons eux-mêmes relèvent de la norme NF A 35-020-1 : Produits en acier. Dispositifs de rabotage ou d'ancrage d'armatures à haute adhérence pour le béton (DRAAB).

Chaque procédé de manchonnage d'armatures fait l'objet de consignes de mise en œuvre spécifiques, établies par le concepteur ou le fabricant. Leur validité est attestée par la certification AFCAB, et elles doivent être scrupuleusement respectées, aussi bien lors de la préparation des barres que lors de leur mise en place.

4.3.8 - Goujons de dilatation

Les goujons de dilatation ne font l'objet d'aucune norme en dehors de celles qui visent les armatures qui les accompagnent, au même titre que toutes les armatures.

Les procédés sont variés. Ils relèvent d'avis techniques du CSTB dans lesquels on trouve l'ensemble des prescriptions les concernant. Tous demandent une grande précision de mise en œuvre aussi bien pour assurer le libre mouvement des goujons que pour répartir correctement dans le béton les charges concentrées appliquées.

Leur calcul relève des règles de charpente métallique pour les goujons eux-mêmes et du béton armé pour les armatures.

4.3.9 - Rupteurs thermiques

Ces dispositifs relèvent aussi d'avis techniques. Dans la traversée de l'isolant, le fonctionnement des armatures ne peut pas être celui du béton armé. Il relève des règles de charpente métallique et non de cet ouvrage. Les dispositions figurant dans l'avis technique doivent être scrupuleusement respectées et la mise en œuvre doit être particulièrement soignée.

4.3.10 - Adaptations et modifications

Il arrive assez fréquemment que l'entreprise souhaite remplacer les armatures prévues aux plans du bureau d'études en utilisant des produits « sur catalogue ». C'est en particulier le cas pour des boîtes d'attentes ou des chaînages dont l'entreprise dispose parfois en stock dans son dépôt.

Chapitre 4 • Pour une armature conforme

Les contraintes de délais ou la réticence du bureau d'études à modifier leurs plans ne doivent pas inciter l'entreprise à se passer de l'avis de celui-ci. Les adaptations, qui en résulteraient, risqueraient d'être approximatives et dans tous les cas potentiellement dangereuses.

Il en est de même si l'armaturier relève des anomalies ou rencontre des difficultés d'exécution. Il ne doit en aucun cas prendre seul la décision de modifier l'armature prévue sur les plans. En revanche, il doit les signaler au bureau d'études en indiquant les solutions alternatives que son expertise lui permet de proposer.

La mise en application de la norme NF EN 1992-1-1 renforce cette nécessité. Les spécifications de cette norme prennent en compte de nombreux paramètres en particulier au sujet des ancrages, des enrobages et des recouvrements. Les habitudes passées peuvent maintenant dans certains cas conduire à des non-conformités. Cette évolution rend encore plus nécessaire le travail en commun entre le bureau d'études l'entreprise et l'armaturier en amont de l'exécution.

Toutes les armatures doivent impérativement être prescrites ou tout au moins validées par le bureau d'études avant exécution.

4.4 Certifications gérées par l'AFCAB

Les certifications gérées par l'AFCAB couvrent l'ensemble du cycle des armatures depuis la production des aciers jusqu'à la pose des armatures en coffrage. On distingue quatre certifications.

4.4.1 - Certification NF – Aciers pour béton armé

La certification NF - Aciers pour béton armé, gérée par l'AFCAB, 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.

L'annexe 3 détaille les dispositions relatives aux marques de laminage.

Les certificats sont consultables sur www.afcab.org

4.4.2 - 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...) 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.

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

La certification AFCAB-Dispositifs de rabouillage ou d'ancrage des armatures du béton garantit que les produits certifiés :

- permettent de réaliser des liaisons respectant les critères de la norme NF A 35-020-1 ;
- sont fabriqués conformément à des plans et sont contrôlés ;
- font l'objet d'instructions de mise en œuvre appropriées.

4.4.4 - Certification AFCAB – Boîtes d'attentes pour béton armé.

La certification AFCAB – Boîtes d'attente pour le béton armé permet d'attester que ces produits visés par le certificat sont conçus et fabriqués de manière à :

- permettre d'assurer effectivement la continuité du ferrailage de part et d'autre d'une reprise de bétonnage en respectant les exigences des règles de calcul et de conception du béton armé en vigueur ;
- ce que les armatures qu'ils contiennent sont conformes aux plans, catalogues et/ou aux pièces écrites de la commande, présentent dans leurs parties droites des caractéristiques géométriques, mécaniques et technologiques conformes aux spécifications des aciers pour béton armé avec lesquels elles sont fabriquées, présentent des caractéristiques conformes à la norme NF A 35-027, résultent d'une fabrication dont la qualité est contrôlée suivant les dispositions des présentes Règles et ont une origine identifiable ;
- ne pas altérer par leur présence les autres qualités du béton armé (résistance, durabilité...).

4.4.5 - Certification AFCAB – Pose des armatures du béton

La certification AFCAB – Pose des armatures du béton 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.

Pour les ouvrages de génie civil faisant l'objet d'un marché public de travaux, le Fascicule 65 :

- impose d'utiliser des aciers et des dispositifs de rabouillage certifiés ;
- conseille fortement de choisir un atelier d'armatures bénéficiant de la certification NF – Armatures. Dans ce cas, ces produits ayant été contrôlés dans le cadre de la certification, ils ne feront l'objet que d'une vérification d'identification et d'aspect ;
- impose dans le cas d'autres provenances, une réception des armatures par lots suivant les règles très contraignantes définies par la norme NF A 35-027 ;
- conseille fortement de recourir à des entreprises de pose bénéficiant de la certification AFCAB – Pose des armatures du béton ;
- impose aux maîtres d'œuvre, dans le cas contraire, une acceptation sur la base des critères du règlement de certification et du contrôle de la pose des armatures du béton de l'AFCAB.

Dans tous les cas, les garanties apportées par les certifications de l'AFCAB sont un gage de qualité pour les entreprises, les maîtres d'œuvre, et les donneurs d'ordre. Elles sont de ce fait souvent imposées par les cahiers des charges des marchés. Quand elles ne sont pas imposées, elles constituent toujours un critère important dans le jugement des offres.



Pour une armature parfaitement définie

5.1 Cartouche de plan d'armatures

5.2 Repères et nombre d'armatures

5.3 Dimensions et angles de façonnage des armatures

5.4 Choix des mandrins de façonnage

5.5 Fermetures des cadres

5.6 Positions relatives des barres entre elles

5.7 Enrobage

5.8 Réservations

5.9 Armatures de formes « spéciales »

5.10 Produits sur catalogue

Le chapitre précédent a été consacré à l'inventaire et à l'analyse des prescriptions qui s'imposent à tous. L'application de certaines d'entre elles nécessite de connaître la destination de l'ouvrage, ses conditions d'exposition aux intempéries, aux actions agressives et au feu, ainsi que la fonction de chaque armature.

Il est donc fondamental que l'armaturier dispose toujours de plans définissant complètement et sans ambiguïté les armatures qu'il doit exécuter. Pourtant, on constate malheureusement qu'il n'en est pas toujours ainsi et que certaines précisions font souvent défaut sur les plans.

Cette situation semble due au fait que l'armature par elle-même n'est pas un ouvrage ; elle n'est qu'un des composants du béton armé. Il n'existe donc pas de marché d'armature signé directement avec le maître d'ouvrage. L'armaturier est un sous-traitant de l'entreprise titulaire du lot « gros œuvre ». Cette entreprise lui confie l'exécution et éventuellement la pose des armatures. Le bureau d'études peut être désigné par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, ou par l'entreprise de gros œuvre, mais il n'a jamais de lien contractuel avec l'armaturier.

Il arrive souvent que la mission du bureau d'études ne comporte pas explicitement la fourniture de plans d'armatures détaillés incluant des cahiers de ferrailage.

C'est en particulier le cas des études de bâtiments publics relevant de la loi « MOP » (Maîtrise d'Ouvrage Publique). Le texte de cette loi énonce les définitions des différentes missions de maîtrise d'œuvre. Ces définitions n'ont pas été jugées suffisamment précises par les organisations professionnelles des bureaux d'études qui ont donc établi et publié un document (Décomposition des tâches de maîtrise d'œuvre) donnant le contenu des diverses missions. Celle confiée aux bureaux d'études intégrés à des équipes de maîtrise d'œuvre est en général la mission « plans d'exécution » et non la mission « plans d'atelier et de chantier ». Selon le document précité, les plans d'exécution sont « des plans à l'échelle 1/50 sur lesquels les seules précisions exigées sont : nature d'acier, sections d'armatures, implantation générale », alors que ce sont les plans d'atelier et de chantier qui doivent comporter les « nomenclatures, façonnages, calepinage, quantités à commander ». Ceci conduit les bureaux d'étude à inclure dans leurs plans des « NOTA » tels que celui reproduit dans l'encart ci-après.

En pratique, ces plans sont transmis tels quels par l'entrepreneur de gros œuvre à l'armaturier, alors qu'ils ne comportent pas toutes les précisions nécessaires à la définition et à la réalisation des armatures. Lorsque l'armaturier s'adresse au bureau d'études pour les obtenir, celui-ci répond parfois que sa mission se limite à l'établissement des plans qui ont déjà été communiqués. L'exemple des missions relevant de la loi MOP est particulier. Cependant, quel que soit le cadre juridique des marchés, la prestation sous-traitée aux armaturiers n'inclut jamais une mission

REPRODUCTION D'UN NOTA FIGURANT SUR UN PLAN DE BÂTIMENT RELEVANT DE LA LOI MOP

- > Les carnets d'armatures ne constituent pas des plans de coffrage. Pour toutes les cotes et les détails, il conviendra de se reporter aux plans de coffrage pour vérification.
- > L'entreprise de gros œuvre se doit de vérifier et d'établir, dans le cadre de ses « Plans Atelier Chantier » (PAC), l'ensemble des indications relatives aux linéaires, longueurs des éléments (aciers), ainsi que toutes quantités à commander et autres calepinages ou nomenclatures.
- > Les détails de façonnage des aciers de ce carnet ne sont en rien exhaustifs. L'entreprise pourra, selon sa méthodologie, prévoir ou adapter (par elle-même) d'autres détails de façonnage des aciers. Elle vérifiera aussi les croisements entre les armatures des différents éléments (poteau-poutres par exemple) qu'elle adaptera (par elle-même) si elle le juge nécessaire. Toute modification fera l'objet d'un plan de détail qui devra être validé par le bureau d'études et le bureau de contrôle, avant toute exécution sur chantier.

d'établissement de plans d'atelier ou de modification des plans d'armatures qu'il reçoit du bureau d'étude. Le règlement de l'AFCAB a partiellement pris en compte cette difficulté. Il demande aux armaturiers de signaler au bureau d'études les non-conformités qu'il relève sur les plans en regard :

- des incompatibilités de dimensionnement (par exemple, poutre de longueur 4 m, dessinée avec 25 cadres à espacement 20 cm, ou cote d'armature supérieure à celle du coffrage) ;
- des règles de façonnage ;
- des dimensions de retour de crosses et d'ancrages.

L'armaturier doit alors faire des propositions au bureau d'études qui reste le seul décideur en la matière.

D'une façon générale, la définition complète d'un ensemble d'armatures doit comporter les précisions suivantes :

- la ou les nuances d'acier(s) constitutifs ;
- un repère permettant d'identifier chaque armature ;
- le nombre de chaque armature coupée façonnée et le nombre d'éléments d'armatures assemblées correspondant à chaque repère ;
- les dimensions et les angles des armatures coupées façonnées ;
- les diamètres des mandrins de façonnage ;
- les positions relatives des armatures entre elles et par rapport au coffrage.

L'apparition de nouvelles nuances d'acier et la mise en application de la norme NF EN 1992-1-1 en matière de façonnage rendent ces précisions indispensables.

5.1 Cartouche de plan d'armatures

Certaines spécifications ne concernent qu'une armature ou un ensemble, mais d'autres peuvent être regroupées car elles s'appliquent à toutes les armatures figurant sur un plan donné. Les cartouches des plans pourraient donc mentionner les caractéristiques à adopter « par défaut » sauf mention spéciale :

- nuance d'acier ;
- diamètres de cintrage ;
- ancrages de fermeture des cadres ;
- enrobage nominal.

Les autres renseignements nécessaires peuvent être mentionnés pour chaque armature.

Nota

Comme indiqué au chapitre 4, la norme NF EN 1992-1-1 prescrit explicitement de mentionner sur les plans l'enrobage nominal. Cette précision n'est donc pas un souhait mais une exigence.

5.2 Repères et nombre d'armatures

Lorsque l'armaturier travaille à partir de listes ou nomenclatures d'armatures (voir figure n° 7) il ne rencontre aucun problème à ce sujet. En revanche, s'il reçoit uniquement des plans de ferrailage, il arrive que certaines armatures ne comportent pas d'indication de repère et de nombre. Par exemple les chaînages sont prévus sous la forme globale : « Chaînage 4 diamètres 10, recouvrements 40 cm, cadres 15 x 15 diamètre 6, espacement 30 sur tous les murs ». C'est donc alors l'armaturier qui doit calculer le nombre de pièces et en choisir la longueur. Ce travail nécessite de disposer des plans de coffrage, ce qui n'est pas toujours le cas, mais surtout, en tout état de cause, ce travail incombe normalement au bureau d'études.

5.3 Dimensions et angles de façonnage des armatures

Pour la plupart des armatures, les cotes sont bien précisées par les plans. La lacune la plus fréquente concerne les façonnages comportant des angles autres que 90° ou 180° et en particulier les ancrages d'extrémité. Pour définir une armature pliée à un angle différent de 90° ou 180° telle que celle représentée sur la figure n° 29, il faut donner par exemple la cote A et deux des trois cotes B, C, ou D. La longueur développée peut remplacer une des cotes. On peut aussi donner les cotes A, B, et un angle.

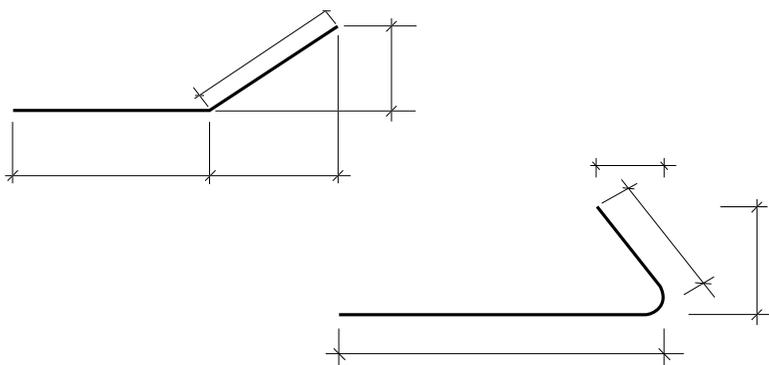


Figure n° 29 : cotation d'une armature à un seul pliage.

5.3.1 - Cas particulier des ancrages

Les ancrages d'extrémité par courbure sont très utilisés. En France, l'ancrage par « retour à 135° » est depuis longtemps le plus répandu. La norme NF A 35-027 le cite d'ailleurs comme un des trois ancrages par courbure courants avec l'équerre et le crochet à 180°. De ce fait, il est tacitement admis en France de choisir « par défaut », un angle de 135°, quand le dessin représente un angle aigu, et que seule la cote B est indiquée. En outre, la cote B n'est pas toujours précisée et dans ce cas, on adopte, également par défaut, la cote obtenue avec une longueur droite de dix diamètres après la courbure, qui est la longueur minimale fixée par la norme NF A 35-027 pour les fermetures de cadres. Cette pratique concerne en particulier

les ancrages de fermetures des cadres. Les longueurs développées figurant sur les plans sont d'ailleurs en général calculées avec cette hypothèse.

Le manque d'information fréquemment constaté sur les plans dans la définition des ancrages a été pris en compte dans la norme NF A 35-027. Afin d'éviter aux armaturiers de devoir en permanence questionner les bureaux d'étude ou effectuer des choix qui ne relèvent pas de leur compétence, cette norme fixe à son article 4.6.1, un mode de calcul des longueurs droites après courbure dans le cas où le plan ne les précise pas, mais où l'angle de façonnage est défini. Ces longueurs « par défaut d'indication » ne sont pas contraires à la norme NF EN 1992-1-1 et devraient continuer à être utilisées.

Ancrage par courbure

Lorsque les longueurs rectilignes, après courbure d'un ancrage par courbure, ne sont pas mentionnées sur le plan, les longueurs rectilignes minimales après courbures (L_r) à respecter sont données par la formule suivante :

$$L_r \geq (25 - \alpha/9) d$$

dans laquelle, α représente l'angle de cintrage exprimé en degrés et d le diamètre nominal de l'acier. Cette formule n'est valide que pour les angles de cintrage compris entre 90° et 180°.

L_r et d sont exprimés dans la même unité.

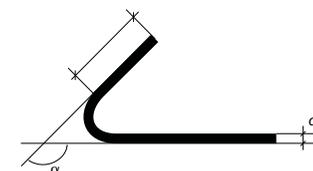


Figure n° 30 : norme NF A 35-027 ancrage par courbure - longueur minimale à respecter lorsque le plan ne la précise pas.

Le chapitre 4 a présenté les changements relatifs aux ancrages des armatures transversales apportés par la norme NF EN 1992-1-1 (voir les figures n° 13 et 14). En dehors du cas particulier des armatures transversales, la norme NF EN 1992-1-1 demande que les ancrages soient déterminés par le calcul, en combinant les angles, les diamètres de mandrins et les longueurs droites. La mise en application de la norme NF EN 1992-1-1 rend donc impérative pour les bureaux d'études la nécessité de préciser les cotes, les diamètres de mandrins et les angles des armatures figurant sur leurs plans, y compris pour les ancrages.

Les plans comportent aussi quelquefois des armatures façonnées dont rien ne précise l'angle de façonnage, à moins de consulter les plans de coffrage, alors que l'armaturier n'en dispose pas toujours. Il est pourtant évident qu'un pliage approximatif risque d'entraîner des difficultés à la mise en coffrage et des défauts d'enrobage. Si le diamètre de l'acier est important, une anomalie ne pourra pas être corrigée sur place.

5.3.2 - Armatures « variables »

Un autre cas où des précisions font souvent défaut est celui des armatures « variables ». Ce terme désigne des groupes d'armatures ayant toutes la même forme mais avec une ou plusieurs cote(s) différente(s).

La figure n° 31A en illustre un exemple caractéristique. Elle représente le premier lit de la nappe inférieure du ferrillage d'une dalle de portée variable. Pour obtenir, par exemple, les longueurs de coupe et les cotes de façonnage des dix armatures différentes du repère 1, l'armaturier devra effectuer le calcul des longueurs de coupe et de façonnage en progression régulière à partir de la cote variant de 600 à 700 cm en progression arithmétique. Dans cet exemple, il est possible d'éviter d'avoir recours à des longueurs variables en utilisant des armatures « en tiroir » et en jouant sur les recouvrements (figure n° 31B).

Figure n° 31 A

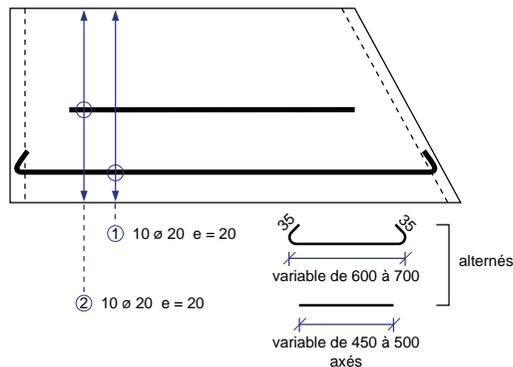


Figure n° 31 B

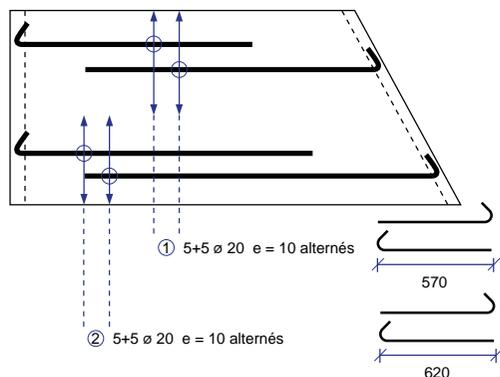


Figure n° 31 : exemple d'armatures « variables » et de solution alternative.

Les armatures « variables » se rencontrent souvent sur des plans de poutres dont la section varie progressivement sur leur longueur. On peut sans doute comprendre que, dans ce cas le projeteur soit réticent à indiquer les cotes exactes de chaque cadre, si son programme informatique de dessin d'armatures ne comporte pas cette fonction. Cependant, il est évident que ces cotes sont nécessaires pour la fabrication. C'est bien au bureau d'études qu'il incombe de fournir ces éléments, d'autant plus qu'il possède certainement des moyens de calcul plus performants que ceux de l'armaturier, et que les dimensions inexactes ou approximatives entraîneront des difficultés de mise en œuvre et des défauts d'enrobage.

Sur les machines du type cadreuses, il est en général possible de programmer le façonnage de séries de cadres dont les dimensions varient en progression arithmétique.

En revanche, ce n'est pas le cas pour les cadreuses sur lesquelles les armatures de gros diamètre sont façonnées. Chaque dimension différente nécessite alors le même travail de préparation et de réglage de machine qu'il corresponde à cent pièces ou à une seule. Dans certains cas, il n'est pas possible de procéder différemment. Cependant, on pourrait souvent adopter d'autres solutions en constituant des groupes d'armatures identiques et en jouant sur les longueurs de recouvrements (voir figure n° 31 B). Dans d'autres cas on pourra uniformiser les cotes d'encombrement tout en respectant les prescriptions normatives notamment celles visant les enrobages.

5.4 Choix des mandrins de façonnage

Le tableau 1 de la norme NF A 35-027 qui prescrit les diamètres minimaux de façonnage suivant la fonction de l'armature (cadres, ancrages, ou coudes), n'est plus applicable car contraire à la norme NF EN 1992-1-1. Comme nous l'avons vu au chapitre 4 la norme NF EN 1992-1-1 demande le plus souvent de calculer le diamètre nécessaire pour éviter l'écrasement du béton.

Comme on pouvait le craindre, grâce au calcul informatisé, on a vu apparaître sur les plans des diamètres de façonnages correspondant au millimètre près aux valeurs minimales données par l'expression (8.1) de la norme NF EN 1992-1-1.

Ces armatures sont probablement tout à fait conformes mais ne tiennent aucun compte des contraintes d'exécution.

Fort heureusement, l'annexe D de la norme NF EN 13 670 recommande d'utiliser les mandrins de diamètres choisis parmi les valeurs (en mm) 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 320, 400, 500, 630. Ces valeurs ne correspondent pas exactement à celles utilisées en France et équipant les machines. C'est pourquoi l'Annexe Nationale élargit cette liste aux diamètres 30, 70, 150, 300 et 800.

Il est aussi possible que l'expérience conduite à établir des valeurs forfaitaires analogues à celles de la norme NF A 35-027, afin d'éviter des calculs trop lourds et simplifier l'exécution. Bien entendu, la nécessité de préciser sur les plans les diamètres de mandrins à utiliser reste d'autant plus impérative.

5.5 Fermetures des cadres

En toute rigueur, les plans pourraient préciser dans quel angle du cadre doit être réalisée la fermeture et quels sont les ancrages préconisés parmi les diverses solutions possibles présentées au chapitre 4.

Cependant, en dehors de cas particuliers rencontrés, par exemple dans les constructions parasismiques, ces indications ne sont pas données. En effet un cadre fermé en utilisant l'un quelconque des ancrages conformes à ceux prescrits par les règles doit être considéré comme parfaitement continu. C'est, semble-t-il, le seul cas où l'absence de précision sur les plans est souhaitable. Sauf raison particulière, il est préférable de laisser l'armaturier choisir parmi les solutions celle qui convient le mieux du point de vue de l'exécution et en particulier pour la mise en place des armatures longitudinales.

Une cotation convenable, complétée par une indication précise des diamètres de façonnage permet de définir complètement chaque armature élémentaire. Il reste maintenant à s'assurer de la position de ces différentes armatures entre elles et de l'ensemble par rapport au coffrage.

5.6 Positions relatives des barres entre elles

5.6.1 - Lits de barres superposés

Il arrive fréquemment dans les poutres comportant plus de deux lits d'armatures que l'espacement entre ces lits ne soit pas coté. Les armaturiers savent qu'ils ne doivent pas accoler plus de deux lits sauf indication contraire explicite, mais c'est au bureau d'études de préciser ceux qui peuvent être accolés et ceux qui doivent être séparés. Il lui appartient aussi de préciser les écartements en fonction des hypothèses de calcul qu'il a adoptées. Rappelons que la stabilité au feu peut nécessiter des positions d'armatures très spécifiques qui n'ont rien à voir avec celles adoptées dans le calcul des structures aux températures normales d'utilisation.

5.6.2 - Barres d'ancrages façonnées contiguës

Comme indiqué en 4.3.3 et en Annexe 4, la distance entre barres façonnées est un paramètre décisif pour le calcul des diamètres admissibles de façonnage. Il est donc évident que cette distance doit être cotée sur les plans sans ambiguïté.

5.6.3 - Barres « flottantes »

Lorsqu'il est prévu des armatures telles que des barres relevées, ou des suspentes, il arrive fréquemment que leur position ne soit pas précisée sur les plans d'armatures. Seul le plan de coffrage que l'atelier d'armatures ne possède pas toujours, permet de définir la position correcte de ces armatures.

5.7 Enrobage

Dans un même ouvrage l'enrobage nominal exigé par la norme NF EN 1992-1-1 peut être très différent selon les parties de la structure. Il n'est donc pas certain qu'un enrobage « général » puisse être mentionné dans le cartouche.

Le plus souvent on pourra indiquer: « Enrobage x cm, sauf mention contraire » et préciser pour certaines pièces les enrobages particuliers éventuellement exigés.

5.8 Réservations

On rencontre parfois sur les plans, des armatures qui traversent des réservations, sans qu'il soit possible de savoir s'il s'agit d'un choix délibéré (réservation provisoire à bétonner en seconde phase), ou d'une erreur à rectifier. Un nota sur le plan précisant ce point éviterait de se poser la question.

5.9 Armatures de formes « spéciales »

Certains ouvrages comportent des armatures de formes très particulières. C'est par exemple le cas lorsque la géométrie des coffrages est complexe pour des raisons architecturales, et que des armatures doivent être placées aussi près du parement que les règles d'enrobage le permettent.

La plupart des outils de façonnage ne permettent pas de réaliser des courbes telles que des ellipses ou des hyperboles. Il faut alors que la forme de l'armature soit définie par une succession de parties droites et d'arcs de cercles la moins compliquée possible.

Même dans ces conditions le bureau d'études doit s'assurer auprès de l'armaturier de la faisabilité des armatures qu'il détermine.



5.10 Produits sur catalogue

Lorsque le bureau d'études préconise l'emploi d'un produit sur catalogue (armature, boîte d'attentes...), l'indication de sa référence exacte le définit parfaitement et dispense d'une description complète.

Par contre, s'il ne peut (ou ne veut) pas prescrire un produit déterminé, il doit préciser toutes les caractéristiques à respecter. Par exemple la seule indication « Boîtes d'attentes $\phi 8$, $e = 20$ » est insuffisante. Les dimensions de boucles et la longueur à déplier sont des caractéristiques essentielles qui doivent impérativement figurer sur les plans.



Pour une armature plus simple, ou tout au moins réalisable

6.1 Fermeture des cadres

6.2 Choix de la forme des armatures transversales des poutres

6.3 Ancrages par crosses sur plusieurs lits

6.4 Jonction entre chaînages de murs perpendiculaires

6.5 Appui intermédiaire de poutre sur poteau

6.6 Appui intermédiaire d'une poutre sur une autre poutre

6.7 Poutre s'appuyant sur deux poutres porteuses

6.8 Cas des ferrillages conformes à l'Eurocode 8

C'est une évidence: il ne suffit pas que les armatures soient conformes et définies, il faut aussi qu'elles soient réalisables telles qu'elles sont représentées sur les plans. Il est bien entendu moins indispensable, mais néanmoins très souhaitable, de rechercher une conception qui permette une exécution plus facile.

Nous avons vu au chapitre 3 que l'armature peut être:

- soit assemblée en usine, puis livrée sur le chantier. Dans ce cas, seuls quelques éléments ne sont pas montés, quand l'armaturier estime que la pose s'en trouvera facilitée;
- soit livrée au chantier coupée, façonnée, puis assemblée sur le site, à proximité de l'ouvrage ou directement en coffrage.

Lorsqu'il s'agit d'armatures coupées façonnées exécutées à partir de listes d'armatures, l'atelier n'a aucune indication sur la disposition de l'ensemble. C'est l'entreprise assurant la pose en coffrage qui risque de rencontrer les difficultés de mise en place. Il lui appartient donc de communiquer ses instructions à l'armaturier.

Dans le cas d'armatures assemblées et exécutées à partir de plans complets (plans de ferrillage et plans de coffrage), le choix des pièces assemblées et des éléments laissés non montés est déterminant pour la facilité et éventuellement pour la possibilité de mise en place sur le chantier.

Ce choix fait pleinement partie du « métier » de l'armaturier, mais, en théorie, son intervention ne devrait pas aller au-delà. En fait, lors de l'étude du montage et des conditions de pose, il arrive assez fréquemment de constater que l'armature prévue n'est pas réalisable sans modification.

Lorsque l'armaturier décèle ce type de problème lors de l'analyse des plans il doit le signaler au bureau d'études. Ce dernier conserve dans tous les cas le pouvoir de décision. L'armaturier peut uniquement exposer les difficultés qu'il rencontre et formuler des propositions qui permettraient de les résoudre.

Les cas trop évidents de dimensions d'armatures manifestement incompatibles entre elles, ou avec celles du coffrage, ou du nombre de pièces erroné ne seront pas développés ici, mais on peut citer quelques exemples moins visibles, et cependant courants ou représentatifs, qui peuvent être rencontrés à deux stades de l'exécution:

- lors du montage d'éléments d'armatures dans une cage prévue assemblée en usine ou sur site,
- lors de la pose de cages assemblées s'interpénétrant avec d'autres armatures.

6.1 Fermeture des cadres

Les cadres sont presque toujours figurés sur les plans par des schémas tels que ceux de la figure n° 32.

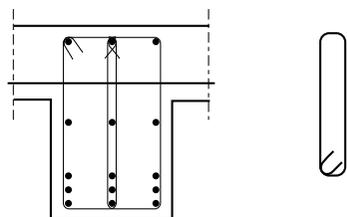


Figure n° 32 : fermeture des cadres, exemples de représentation courante.

Il est certain que, dans la plupart des cas, cette représentation est « symbolique ». Elle ne signifie pas forcément que le bureau d'études impose une fermeture par crochet à 135°. Il s'agit d'une habitude de dessin qui a maintenant été intégrée dans la plupart des logiciels de dessin d'armatures, et qui semble avoir plusieurs origines :

- il est exigé sur certains chantiers que les cadres soient fermés de cette manière (cette exigence est abusive, puisque la norme NF EN 1992-1-1 considère les autres fermetures comme équivalentes);
- la norme NF EN 1998 impose de prévoir ainsi les fermetures dans certaines parties des ouvrages devant résister aux séismes. Il n'est pas pour autant nécessaire d'appliquer cette disposition pour les constructions courantes. Si l'objectif est d'améliorer la sécurité de ces bâtiments au-delà de ce que les règles imposent, bien d'autres dispositions seraient à retenir avant de penser à la fermeture des cadres.

Pour les constructions devant résister aux séismes, il serait au contraire souhaitable d'appliquer les règles PS MI chaque fois que cela est autorisé.

Beaucoup d'armaturiers français ont donc choisi de réaliser systématiquement les cadres avec des fermetures par crochets à 135° suivis d'une longueur droite de dix diamètres. Ils préfèrent éviter ainsi des refus de leurs clients. Par ailleurs, les longueurs développées figurant sur les plans sont en général calculées avec cette hypothèse, alors que les ancrages à 90° exigeraient une longueur légèrement supérieure.

Ce type d'ancrage n'est pratiquement jamais utilisé dans les autres pays mais reste de loin le plus courant en France. Cette particularité nationale, est actuellement à l'origine de fréquentes difficultés de montage des armatures. Les quelques exemples suivants illustrent ces difficultés et proposent des solutions alternatives permettant au contraire de faciliter l'assemblage.

Ces solutions, prennent en compte les modifications apportées par la norme NF EN 1992-1-1.

Exemple 1 : mise en place des barres longitudinales

Le mode de fabrication le plus courant consiste à produire d'une part les cadres sur des machines automatiques, d'autre part les barres longitudinales, façonnées ou non, sur des machines différentes, puis à assembler les cages à l'aide de soudures en atelier ou de ligatures sur chantier.

Quelle que soit la technique utilisée pour positionner les armatures longitudinales dans les cadres, la figure n° 33 montre que cette opération sera difficile pour les barres situées dans l'angle comportant la fermeture. Dans le cas de cadres étroits et de barres de gros diamètre, on peut même arriver à une impossibilité.

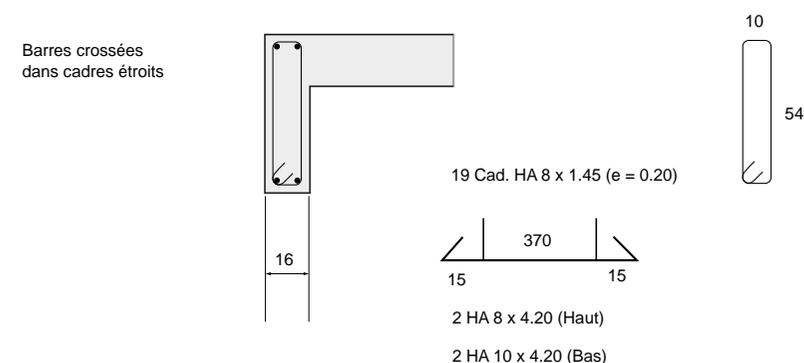


Figure n° 33 : fermeture des cadres, difficulté de mise en place des armatures longitudinales.

La difficulté disparaît complètement si on utilise une fermeture avec deux ancrages à 90° (avec longueur droite de dix diamètres comme le prescrit la norme NF EN 1992-1-1). La solution avec un ancrage à 90° et un à 150° (avec longueur droite de 5 diamètres) est aussi acceptable.

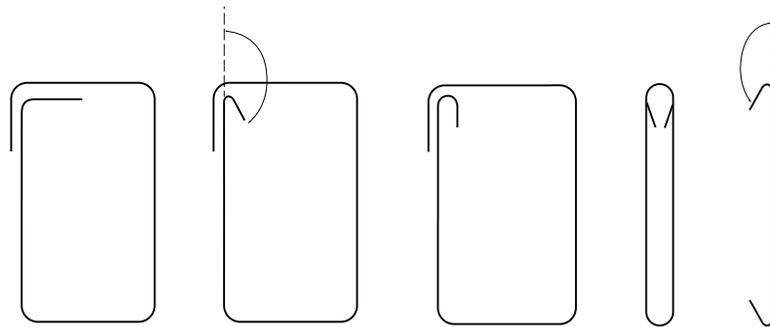


Figure n° 34: fermeture des cadres, modes de fermeture facilitant la mise en place des armatures longitudinales.

Exemple 2: lits de barres superposées dans une poutre

Dans le cas de lits superposés de gros diamètre, les crochets obligent à décaler les barres avec une perte sensible de hauteur utile par rapport aux hypothèses de calcul. Pour des poutres de faible hauteur l'écart relatif devient important et peut être très préjudiciable au bon comportement structural de la poutre.

Ici encore les modes de fermeture représentés sur la figure n° 34 suppriment ce défaut.

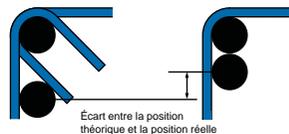


Figure n° 35: fermeture des cadres, difficulté de mise en place de barres superposées.

Exemple 3: cadres étroits

Pour des cadres étroits tels que ceux représentés sur la figure n° 36, l'adoption de fermetures à 90° conduisait fréquemment à des impossibilités compte tenu de la longueur droite de quinze diamètres exigée par les règles BAEL (figure n° 36 C). Cette difficulté se présente maintenant moins souvent grâce à la réduction de cette longueur à dix diamètres par la norme NF EN 1992-1-1. En cas de nécessité, on pourra adopter un crochet à 90° pour un des deux brins et un crochet à 150° pour l'autre (figure 36 B). On peut aussi réaliser une seconde équerre sur le brin horizontal (figure 36 E).

Chapitre 6 • Pour une armature plus simple, ou tout au moins réalisable

L'utilisation d'ancrages à 135° rend difficile ou impossible la mise en place des armatures longitudinales. Avec des longueurs droites après courbure de 10 diamètres éventuellement exigées par l'Eurocode 8, le problème est aggravé et les extrémités des ancrages sortent de l'emprise du cadre, créant ainsi des risques d'enrobage insuffisant (figure 36-d).

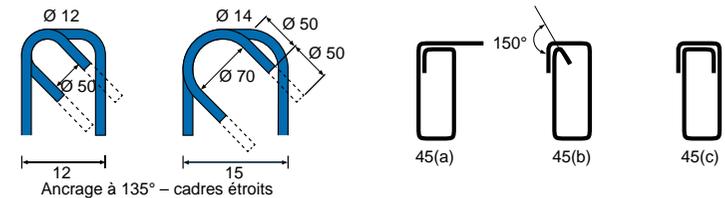


Figure n° 36 A

Figure n° 36 B

Figure n° 36 C

Figure n° 36 D

Figure n° 36 E

Figure n° 36: fermeture des cadres étroits.

Ces difficultés, alliées à une petite recherche d'économie, conduisent d'ailleurs certains fabricants à raccourcir la longueur droite après courbure au mépris des exigences prescrites.

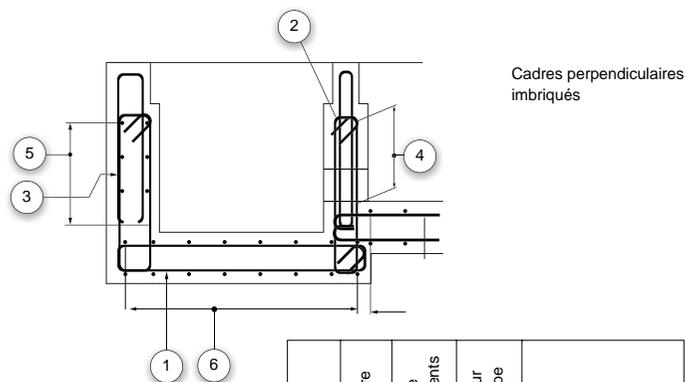
Exemple 4: imbrication de cadres perpendiculaires

Dans cet exemple, il ne s'agit pas de placer des barres longitudinales mais d'engager les cadres 5 dans les cadres 3 placés dans des plans perpendiculaires (figure n° 37). Dans la zone des crochets de fermeture, la tâche apparaît pour le moins ardue.

Dans ce cas, la faisabilité du montage nécessite l'adoption d'ancrages à 90°.

Lorsqu'un armaturier reçoit des plans comportant des dispositions telles que celles que nous avons présentées à titre « d'exemples à ne pas suivre », la préparation de la production se trouve bloquée, puisqu'il n'est pas habilité à modifier les plans sans l'accord du bureau d'études. Il ne peut que proposer d'adopter des fermetures autres que les crochets à 135° causes du problème.

Pour éviter ce blocage, il suffirait de convenir entre bureaux d'études et armaturiers de la règle suivante: « Sauf indication contraire, conformément à la norme NF EN 1992-1-1, les cadres seront fermés par des ancres à 90° avec une longueur droite de 10 diamètres après la courbure, et les épingles seront ancrées par des crochets à 150° avec une longueur droite à 5 diamètres après la courbure. » Cette mention pourrait figurer dans le cartouche des plans.



repère	diamètre	nombre d'éléments	longueur de coupe	schéma
M=1 14 HA	16 $e=0,20$	16	3,46	0,17 1,42
M=1 14 HA	16 $e=0,20$	16	2,48	0,15 0,95
M=1 14 HA	3 x 1 $e=0,20$	3 x 1	2,58	0,20 0,95
M=1 12 HA	4 x 1 $e=0,20$	4 x 1	6,28	0,12 2,90
M=1 14 HA	4 x 1 $e=0,20$	4 x 1	6,42	0,17 2,90
M=1 14 HA	8 $e=0,20$	8	6,48	0,20 2,90

Figure n° 37: fermeture des cadres. Difficulté de montage des cadres imbriqués.

6.2 Choix de la forme des armatures transversales des poutres

La forme choisie pour les armatures transversales par les bureaux d'études français (ou par les logiciels qu'ils utilisent) comporte presque toujours un cadre fermé et un ou plusieurs étriers comme représenté sur la figure 38A. En examinant des plans dessinés dans d'autres pays, on rencontre en général des formes très différentes telles que celles des figures n° 38B ou 38C.

Chapitre 6 • Pour une armature plus simple, ou tout au moins réalisable

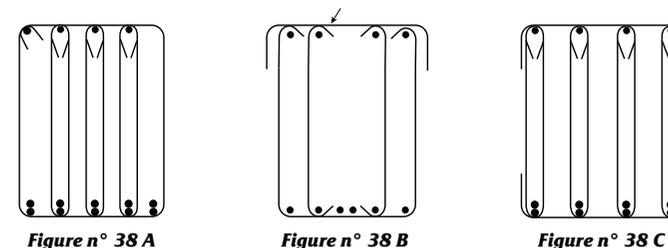


Figure n° 38: formes diverses d'armatures transversales.

La norme NF EN 1992-1-1 traite ce sujet au paragraphe 9.2.2. Elle prescrit :

- il convient que les armatures d'effort tranchant forment un angle compris entre 45° et 90° avec l'axe longitudinal de l'élément structural ;
- les armatures d'effort tranchant peuvent être composées d'une combinaison de : cadres, étriers ou épingles entourant les armatures longitudinales tendues et la zone comprimée, barres relevées, cadres ouverts, échelles, épingles... façonnés sans entourer les armatures longitudinales mais correctement ancrés dans les zones comprimées et tendues.

Cette prescription laisse beaucoup de possibilités de choix aux concepteurs. Il ne faut pas en conclure qu'il faille complètement changer nos habitudes. En revanche il est intéressant de tenir compte des avis des armaturiers et de comparer les avantages et les inconvénients des diverses solutions.

- Forme 38 A :
 - elle assure une bonne rigidité de la cage assemblée ;
 - l'introduction des barres longitudinales dans les étriers n'est pas toujours facile.
- Forme 38 B :
 - dans le cas des poutres « en T », la présence des armatures de la dalle permet de se dispenser de l'épingle E, si les cadres ouverts sont assez rigides ;
 - la mise en place des barres longitudinales est facilitée à la fois par le cadre ouvert et par le remplacement des étriers par des épingles.
- Forme 38 C :
 - dans une poutre de grande section cette forme peut faciliter l'assemblage en usine de chaque file séparée et diminuer les volumes des cages d'armatures pour le transport.

En fait, le choix doit s'effectuer en concertation entre le bureau d'études, l'armaturier et l'entreprise assurant la pose en coffrage des armatures.

6.3 Ancrages par crosses sur plusieurs lits

La représentation reproduite sur la figure n° 39 est très fréquente. Si, comme le prévoit le plan, on réalise des façonnages identiques pour les deux lits, il n'est matériellement pas possible de les superposer. Il est physiquement possible de les accoler, mais cette disposition est déconseillée par la norme NF EN 1992-1-1 car elle est nuisible à la bonne mise en place du béton. En inclinant le plan d'une des crosses, on ne résout le problème que dans le cas de crosses de petit diamètre. Il existe d'autres solutions.

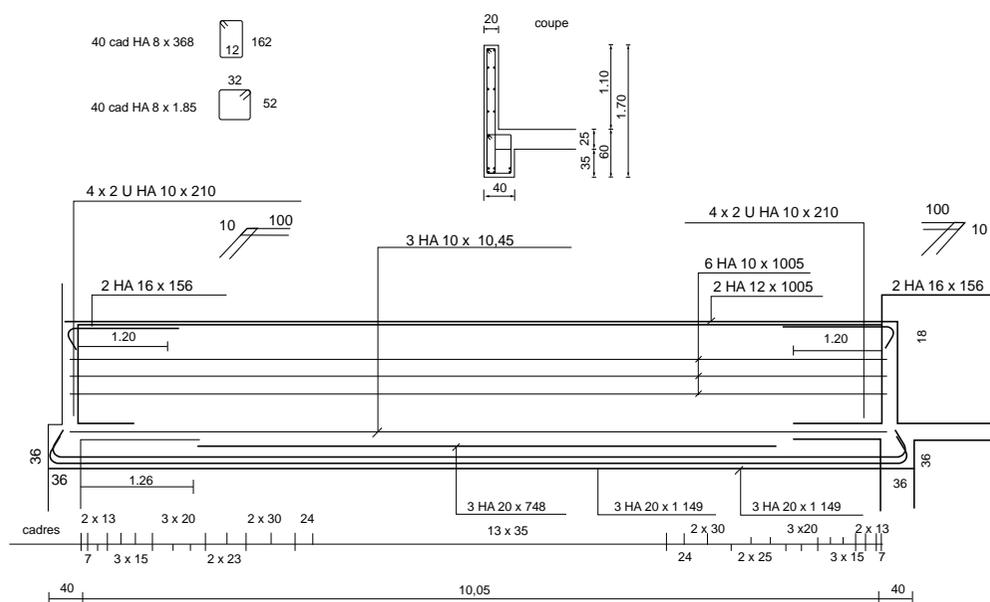


Figure n° 39: barres crossées sur plusieurs lits difficultés de respect du plan.

Une première solution consiste à modifier le façonnage des ancrages :

- utiliser pour les armatures du lit inférieur un mandrin de façonnage d'un diamètre supérieur au minimum résultant du calcul ;
- adopter des angles de façonnage différents pour chacun des deux lits d'armatures (figure n° 40).

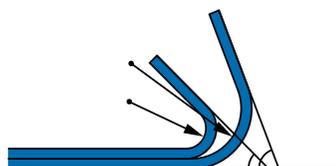


Figure n° 40: barres crossées sur plusieurs lits, solution acceptable.

Cette solution modifie les conditions d'ancrage sur appui. L'armaturier ne peut donc pas l'adopter sans l'accord du bureau d'études.

Une seconde solution consiste à prévoir sur les plans d'autres ancrages que les habituelles crosses à 135°. En particulier des armatures en forme de « U » indépendantes peuvent être disposées en adoptant un recouvrement convenable (en général 50 diamètres) avec des barres inférieures droites. Suivant la largeur de la poutre, on peut les façonner, avec deux plis ou avec un seul sur un mandrin de plus gros diamètre comme le montre la figure n° 41.

Ces armatures d'ancrage présentent plusieurs avantages :

- leur ancrage est « total » ;
- elles peuvent être très précisément réglées à la position convenable ;
- elles sont en général éloignées des parements du béton ce qui permet alors d'utiliser sans autre justification les diamètres de façonnage de 4 diamètres ou 7 diamètres ;
- elles peuvent être superposées, en respectant les mêmes règles que pour les barres longitudinales.

La « boucle normale » est d'ailleurs une des méthodes d'ancrage citées par la norme NF EN 1992-1-1 à l'article 8.4.1.

Il faut, en revanche, s'assurer que leur mise en place n'est pas gênée par la présence éventuelle de barres verticales.

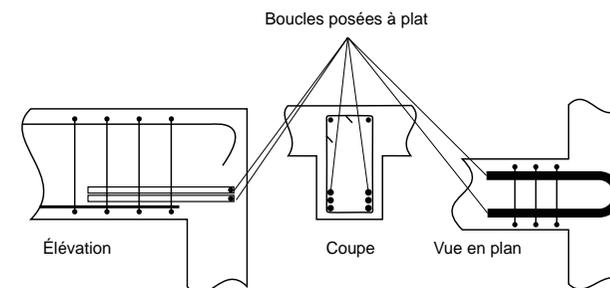


Figure n° 41: ancrage d'appui de poutre utilisation de « boucles à plat ».

6.4 Jonction entre chaînages de murs perpendiculaires

La solution la plus utilisée pour assurer la continuité des armatures longitudinales dans les angles de bâtiments est celle des équerres de liaison comportant des recouvrements droits avec les chaînages courants. L'introduction de ces équerres dans les cadres des éléments assemblés sera difficile. Le poseur sera tenté de les placer hors des cadres, au risque de ne pas respecter les enrobages prévus.

Ici encore, les boucles en U sont beaucoup plus commodes, et elles évitent la poussée au vide que peuvent provoquer des équerres mal positionnées. Autre avantage : deux U remplacent trois équerres dans le cas d'un angle, et quatre dans le cas d'un refend. Enfin, les zones façonnées sont en général éloignées des parements du béton ce qui permet d'utiliser sans autre justification les diamètres de façonnage de 4 diamètres ou 7 diamètres.

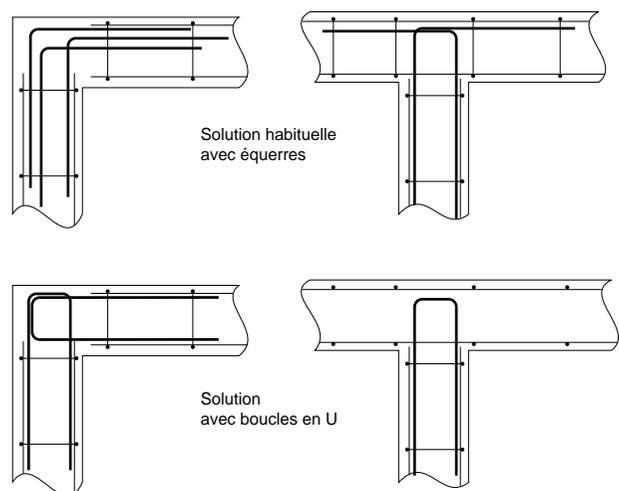


Figure n° 42 : liaisons d'angles de chaînages, solutions avec équerres et avec boucles à plat.

6.5 Appui intermédiaire de poutre sur poteau

En général, les poteaux et les poutres font l'objet de plans distincts. C'est pourquoi la compatibilité des ferrillages des poutres avec ceux des poteaux sur lesquels elles reposent n'est pas toujours vérifiée. Il arrive souvent qu'en respectant les positions figurant sur les plans, les barres supérieures de la poutre entrent en collision avec les armatures du poteau (voir figure n° 43A).

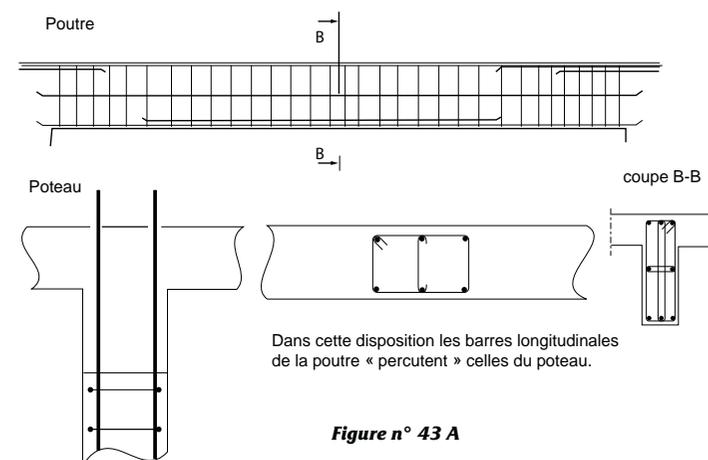


Figure n° 43 A

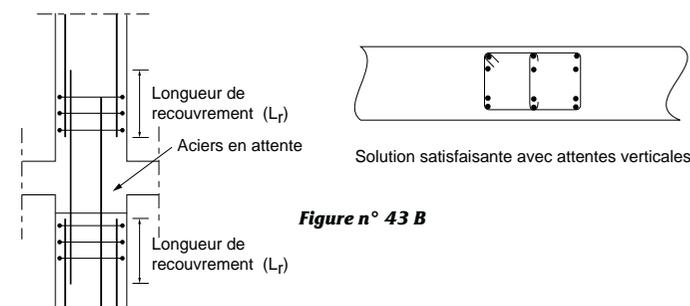


Figure n° 43 B

Figure n° 43 : appui de poutre sur poteau, difficultés de mise en œuvre, solution alternative.

C'est en particulier le cas lorsque la largeur de la poutre est la même que celle du poteau ce qui est assez courant. Bien entendu le problème du recouvrement des armatures du poteau des deux niveaux superposés se pose également à cet endroit. Il semble donc, que la meilleure solution soit de disposer des attentes verticales, ce qui permet de résoudre en même temps les deux difficultés (voir figure n° 43B).

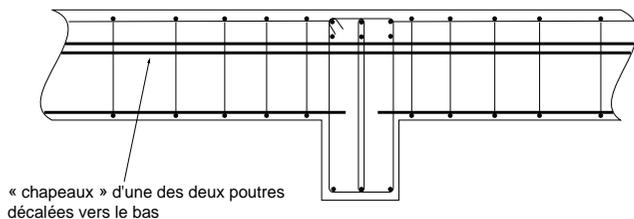
6.6 Appui intermédiaire d'une poutre sur une autre poutre

Dans ce cas, ce sont les armatures longitudinales des deux poutres qui risquent de se rencontrer. La poutre portée comporte toujours des barres supérieures, et la poutre porteuse peut en comporter aussi au moins dans certaines zones. Le problème est particulièrement délicat quand on se trouve en présence d'armatures de gros diamètre et parfois sur plusieurs lits.

Si aucune disposition particulière n'est prévue, c'est l'entreprise qui pose en coffrage qui choisira de faire passer l'armature d'une des deux poutres au-dessus de l'autre suivant son inspiration et parfois hors des cadres. Il peut ainsi arriver que l'écart entre la position réelle et la position théorique des barres dépasse largement les tolérances admises ou que l'enrobage ne soit pas respecté (voir figure n° 44).

Pour bien faire, il faut que le bureau d'études choisisse lui-même une position d'armature réalisable, en tienne compte dans ses calculs, et la représente de façon explicite sur les plans.

Si les poutres sont de même hauteur, le problème se pose aussi pour les armatures inférieures. On peut dans ce cas prévoir un léger dévoiement des barres inférieures, ou encore la mise en place de « clés » avec recouvrements.



« chapeaux » d'une des deux poutres décalées vers le bas

Figure n° 44 : appui d'une poutre sur une autre poutre, incidence sur la position des armatures.

6.7 Poutre s'appuyant sur deux poutres porteuses

Dans le cas de cages de poutres posées assemblées, on peut rencontrer des difficultés si chaque poutre a été étudiée séparément sans se soucier de l'ensemble.

La pose de la cage d'armature de la poutre C, faisant suite à celle des poutres A et B, demandera une manutention délicate pour introduire les ancrages aux appuis.

La solution est connue sous le nom de « tirettes » c'est-à-dire de crosses non assemblées et livrées simplement attachées en position rentrée dans la cage. Leur section et leur longueur doivent être calculées pour transmettre l'effort tranchant par recouvrement avec les barres inférieures. La pose de la cage C s'effectue alors sans problème et on glisse ensuite les tirettes dans la position prévue au plan.

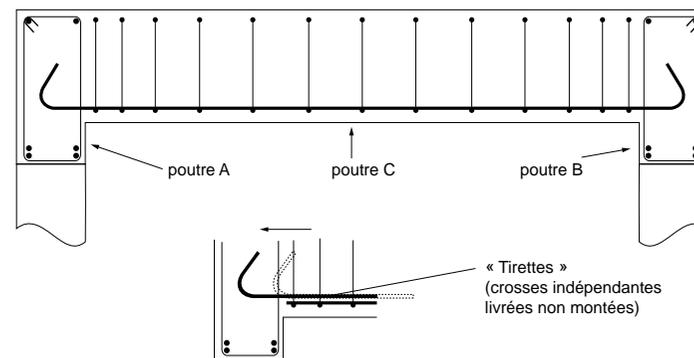


Figure n° 45 : appui d'une poutre sur deux autres poutres - difficultés de mise en œuvre - solution alternative.

6.8 Cas des ferraillements conformes à l'Eurocode 8

L'Annexe 2 détaille les cas d'application des règles Eurocode 8 et des règles PS MI. La carte de délimitation des zones de sismicité du territoire français figurant dans le Décret n° 2010-1 255 du 22 octobre 2010 entraîne l'obligation d'utiliser les règles parasismiques beaucoup plus fréquemment que par le passé.

D'une part, l'étude à réaliser par le bureau d'études est beaucoup plus complexe, et d'autre part pour les armaturiers, le ferraillement comporte des difficultés d'exécution particulières.

Nous avons exposé au paragraphe 4.3.3.5 l'obligation de façonner les cadres de confinement avec des fermetures par crochets à 135° avec retours de longueur 10 diamètres. Cette disposition aggrave les difficultés signalées en 6.1 pour les fermetures à 135° avec retours de longueur 5 diamètres et écarte toute solution alternative.

Par ailleurs, certaines prescriptions relatives au diamètre et aux espacements des cadres de confinement dans les poutres risque d'inciter à l'utilisation du diamètre 6 mm pour ces armatures, et donc à augmenter le nombre de cadres et le nombre de soudures par ailleurs plus délicates à réaliser.

Le seul point sur lequel l'armaturier conserve une possibilité de rendre le montage moins difficile est le choix de l'angle dans lequel il placera la fermeture.

Il doit évidemment écarter toute « adaptation » synonyme de non-conformité.

Il serait normal que les armaturiers, comme les bureaux d'études tiennent compte des difficultés particulières correspondant à l'application des règles Eurocode 8 dans leurs propositions financières.

Les chapitres 5 et 6 ont permis de présenter quelques exemples des dispositions les plus fréquentes. Dans certains bâtiments et surtout en génie civil, on rencontre de nombreux autres cas plus ou moins complexes, tous particuliers. L'expertise de l'armaturier fabricant ou poseur est alors fondamentale pour trouver les meilleures solutions aux difficultés potentielles de mise en œuvre des armatures.

Elle permet une véritable **ingénierie de l'armature**.

Ce travail ne peut s'effectuer qu'en coordination avec la conception des coffrages et la définition des phases de bétonnage, et bien entendu l'étude de béton armé.

Le bureau d'études doit non seulement s'assurer des possibilités de réalisation des armatures qu'il conçoit. Il lui appartient aussi d'en simplifier la fabrication et la pose en coffrage. Pour cela, il doit savoir en particulier si les armatures sont assemblées en usine et transportées sous forme de cages, ou au contraire assemblées sur site. Un contact avec l'armaturier est donc nécessaire en amont du chantier. Cette pratique est assez généralisée pour les ouvrages de génie civil, mais reste exceptionnelle pour les bâtiments. Pourtant, ceux-ci présentent parfois des difficultés importantes. C'est la complexité et non la taille des ouvrages qui doit imposer un travail en commun, par ailleurs utile dans tous les cas.



Les logiciels de conception de ferraillement ne résolvent pas toujours très bien ce type de problème. Quand la difficulté est « interne » à une pièce, certains logiciels proposent au projeteur une ou plusieurs solutions. C'est à lui d'utiliser sa compétence pour effectuer le bon choix. Il doit toujours rester critique vis-à-vis des dispositions de ferraillement adoptées « par défaut ». Quand il s'agit d'une incompatibilité entre ferraillements de deux pièces, seule une intervention « manuelle » permet en général, pour l'instant, d'effectuer les adaptations nécessaires. C'est toujours le cas pour les ouvrages complexes. Les outils informatiques offrent certainement des possibilités de développement en particulier pour alerter le projeteur des risques de difficultés de ferraillement et des points sur lesquels un arbitrage entre plusieurs solutions est nécessaire.

Pour une optimisation globale de l'armature

7.1 Études d'optimisation globale

7.2 Importance de la conception du ferrailage

7.3 Évolutions depuis les origines du béton armé

7.4 Comparaison des habitudes de divers pays

7.5 Choix des espacements des armatures transversales

7.6 Nombre de repères différents

7.7 Diamètre des mandrins de façonnage

7.8 Exemple

Dans le chapitre précédent des dispositions qui rendent plus commodes l'assemblage et la pose des armatures ont été présentées. Ces dispositions permettent à la fois de diminuer les coûts d'exécution et d'améliorer la qualité des armatures posées. Il s'agit de détails importants, mais ponctuels.

On peut aller plus loin en recherchant d'une façon plus générale une optimisation technique et économique des armatures. L'essentiel du coût de l'armature se trouve dans la matière première. Les gains correspondants ont été largement exploités depuis longtemps. L'informatisation a permis de franchir une étape supplémentaire en introduisant dans les programmes le « poids minimal » comme critère de choix unique ou prépondérant entre les divers ferrailages possibles. De leur côté, les armaturiers ont su améliorer leur productivité grâce à des matériels de dressage, de coupe, de façonnage et d'assemblage par soudure plus performants.

En revanche, il subsiste certainement des « gisements d'économie » dans une conception des armatures qui permettrait de diminuer sensiblement les temps d'exécution, quitte à consommer un peu plus d'acier. Ces temps d'exécution dépendent évidemment de l'organisation et des moyens de production de chaque armaturier.

On peut cependant noter que :

- le temps nécessaire pour couper ou façonner une armature n'est pas proportionnel à sa section. Par exemple sur certaines machines, il ne faut pas plus de temps pour réaliser un cadre de diamètre 10 mm que le même cadre en diamètre 6 mm ;
- le temps d'assemblage dépend très peu du diamètre des armatures à assembler.

On peut aussi formuler quelques observations générales.

7.1 Études d'optimisation globale

Peu de recherches ont eu lieu dans ce sens. Ceci est probablement dû à la situation de sous traitant des armaturiers, qui les prive de tout lien contractuel direct avec les bureaux d'étude. Les armaturiers sont aussi partiellement responsables de cette situation pour n'avoir pas su adopter des barèmes de prix de vente modulés en tenant compte de leurs coûts de production. Les prix de revient réels d'armatures très différentes sont ainsi occultés par les « prix moyens à la tonne ».

7.2 Importance de la conception du ferrailage

Les paramètres déterminants pour les temps d'exécution des armatures sont les suivants :

- nombre de barres à couper ;
- nombre d'armatures à façonner ;
- nombre d'armatures correspondant à des « repères » différents (diamètres, dimensions, formes, etc.) ;
- nombre de « plis » ou façonnages à effectuer ;
- nombre de points d'assemblage ;
- complexité des façonnages ;
- complexité d'assemblage ;
- complexité de la pose.

C'est au stade de la conception que ces paramètres sont totalement définis.

7.3 Évolutions depuis les origines du béton armé

Lorsqu'on compare des plans des années trente avec ceux d'aujourd'hui, on note peu de différences visibles dans la forme des armatures, depuis l'abandon des cadres en feuillards. Ces différences se limitent en fait au remplacement des crochets à 180°, chers aux pionniers du béton armé, par les ancrages à 135° et à l'abandon quasi général des « barres bateaux ».

Est-il bien normal que si peu de chose ait changé malgré l'évolution des caractéristiques des aciers, des techniques de production et des méthodes de calcul ?

7.4 Comparaison des habitudes de divers pays

Si l'on compare des plans établis selon les règles et habitudes françaises avec ceux d'autres pays, plusieurs différences sont frappantes.

7.4.1 - Diamètres des aciers utilisés

Les diamètres des aciers utilisés en France sont en général beaucoup plus faibles que dans les autres pays. Tout se passe comme si le passage des aciers de limite d'élasticité 235 MPa à 400 MPa puis à 500 MPa s'était traduit uniquement par la diminution des diamètres, et non par celui du nombre de barres. L'origine de cette pratique se trouve probablement dans les règles BAEL qui recommandaient de prévoir le plus grand nombre de barres compatibles avec une mise en place correcte du béton afin de limiter la fissuration. En fait rien ne justifie cette habitude. On n'enregistre pas plus de sinistres dans les pays où l'on ignore l'emploi du diamètre 6 mm, et où, pour certains d'entre eux, le diamètre 8 mm n'est que rarement utilisé.

La rigidité des aciers de plus gros diamètre permet un meilleur respect des dimensions des armatures et des enrobages. On constate en effet souvent que les désordres dus à un enrobage insuffisant concernent des armatures de faible diamètre qui se sont déformées lors des manutentions ou de la pose en coffrage.

L'augmentation des diamètres constitue manifestement un facteur d'amélioration de la qualité dans un domaine très sensible.

La seule raison pour laquelle ce type de disposition est privilégié en France, est que les faibles diamètres permettent d'approcher au plus près les sections de calcul. On croit alors avoir obtenu la solution la plus économique. En fait, l'acier est d'autant plus cher à la tonne que son diamètre est faible, et surtout, cette façon de faire multiplie le nombre de barres à façonner et à assembler, et augmente donc le coût de production.

L'adoption de diamètres plus élevés à la fois pour les armatures longitudinales et transversales, (tout en respectant, bien entendu les exigences normatives) doit permettre des économies malgré les suppléments de poids d'armatures qu'elle entraînerait.

7.4.2 - Utilisation des étriers

On constate aussi en France un usage systématique des étriers dès que les poutres comportent plus de deux files de barres longitudinales. Rien n'impose cette disposition. Dans le cas où plusieurs lits d'armatures sont prévus, des étriers sont nécessaires au maintien des barres, mais il suffit pour cela d'en prévoir un petit nombre largement espacé.

En adoptant le plus souvent possible des cadres sans étrier, l'introduction des armatures longitudinales se trouve facilitée. De plus, le nombre d'armatures façonnées et le nombre de points d'assemblage sont ainsi diminués.

Lorsqu'un seul cadre est insuffisant, il est préférable de prévoir des épingles plutôt que des étriers ce qui rend aussi le montage plus commode.

7.4.3 - Fermetures des cadres

Les problèmes liés aux fermetures des armatures transversales ont été présentés au chapitre précédent. La proposition qui a été formulée dans ce chapitre est rappelée ci-dessous. Elle consiste à convenir d'un accord entre bureaux d'études et armaturiers comportant les clauses suivantes qui respectent les prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 et se rapprochent des habitudes de nombreux pays.

- sauf indication contraire figurant explicitement sur le plan :
 - les cadres sont exécutés avec deux fermetures à 90° suivies d'une longueur droite de 10 diamètres ;
 - les épingles sont ancrées par des crochets à 150° suivis de longueurs droites de 5 diamètres ;
 - les étriers sont munis d'ancrages à 180° suivis de longueurs droites de 5 diamètres.
- les crochets à 135° ne sont réalisés que si les plans le spécifient explicitement.
- les cadres ayant uniquement une fonction de montage sont signalés sur les plans par la mention « fermeture libre ». Ces cadres ne sont pas soumis aux règles techniques applicables aux armatures.

Chapitre 7 • Pour une optimisation globale de l'armature

Pour les constructions devant résister aux séismes, il serait souhaitable que les bureaux d'études se réfèrent aux règles PS MI chaque fois que cela est possible.

Malgré le poids des habitudes, les normes européennes devraient favoriser une uniformisation des dispositions des ferraillages qui pour la France devrait se traduire par leur simplification.

7.5 Choix des espacements des armatures transversales

Les logiciels de calcul sont actuellement conçus de façon à proposer des espacements d'armatures transversales conduisant à des sections aussi proches que possible de celles obtenues par le calcul. On obtient ainsi des valeurs d'espacements quelconques et variables un peu analogues à celles des anciennes « séries de Caquot » (la figure n° 8 en montre un exemple).

Cette façon de procéder oblige les armaturiers à effectuer un tracé spécifique pour chaque poutre. En fait, le calcul impose uniquement la section d'armature transversale à prévoir sur une longueur de poutre égale à son « bras de levier ». Il est possible de systématiser des espacements multiples de cinq ou dix centimètres, ce qui permet l'emploi de gabarits très simples et réutilisables pour le positionnement des cadres.

7.6 Nombre de repères différents

En matière de nombre de repères, l'informatique apporte également au projeteur des facilités dont les conséquences sont nuisibles à la productivité de l'armaturier. Elle permet en effet de multiplier le nombre d'armatures avec des cotes différentes de quelques centimètres là où des séries seraient possibles sans aucun inconvénient. Un cas typique est celui des cadres ou barres « variables » citées au

paragraphe 5.3.2. En acceptant un léger supplément de poids et des recouvrements variables, on peut simplifier le ferrailage et diminuer le nombre d'armatures différentes.

La même observation peut être faite pour les ensembles montés (poutres ou poteaux par exemple), pour lesquels une standardisation est parfois possible.

7.7 Diamètres des mandrins de façonnage

Ce sujet a été traité dans les chapitres 5 et 6. L'application de la norme NF EN 1992-1-1 risque d'entraîner l'apparition sur les plans d'un nombre excessif de diamètres de mandrins issus directement du calcul.

Une solution consiste à utiliser la liste de diamètres préférentiels recommandée par la norme NFEN 13670 et son Annexe Nationale (voir 4.3.3.1) les logiciels de dessin d'armatures utilisant systématiquement le diamètre de cette liste immédiatement supérieur à la valeur minimale calculée.

De plus, si l'habitude de ne pas préciser les diamètres de mandrins sur les plans perdure, il pourrait être convenu entre bureaux d'études et armaturiers d'un diamètre de mandrin pour chaque diamètre d'acier qui serait utilisé « par défaut ».

L'emploi de mandrins de diamètres différents serait réservé aux cas où ils seraient exigés et explicitement spécifiés sur les plans par le bureau d'études.

7.8 Exemple

À titre d'exemple, on trouvera ci-dessous deux solutions de ferrailage d'une même poutre uniformément chargée qui ont été dessinées par le même logiciel.

Bien entendu elles satisfont toutes deux aux exigences normatives. Leurs spécificités sont les suivantes :

- solution « de base » : c'est la solution proposée par l'ordinateur sur la base des habitudes en vigueur ;
- variante ; dans cette solution, le projeteur a imposé :
 - des diamètres plus gros pour les armatures longitudinales et transversales ;

Chapitre 7 • Pour une optimisation globale de l'armature

- des cadres sans étriers. On peut noter que le maintien des barres de la file centrale nécessite quelques épingles verticales de montage que le logiciel ne permet pas de dessiner ;
- la suppression d'une des deux épingles horizontales et des filants associés (repères 8 et 9) qui se justifie compte tenu de la meilleure rigidité des cadres ;
- des espacements de cadres multiples de 5 cm, proches de ceux de la solution précédente. Dans le cas présent, cette répartition a dû être effectuée « à la main », le logiciel permettant seulement de vérifier qu'elle est satisfaisante ;
- des espacements de 40 cm dans la partie centrale de la poutre où la norme NF EN 1992-1-1 autorise un espacement égal à 75 % de la hauteur utile.

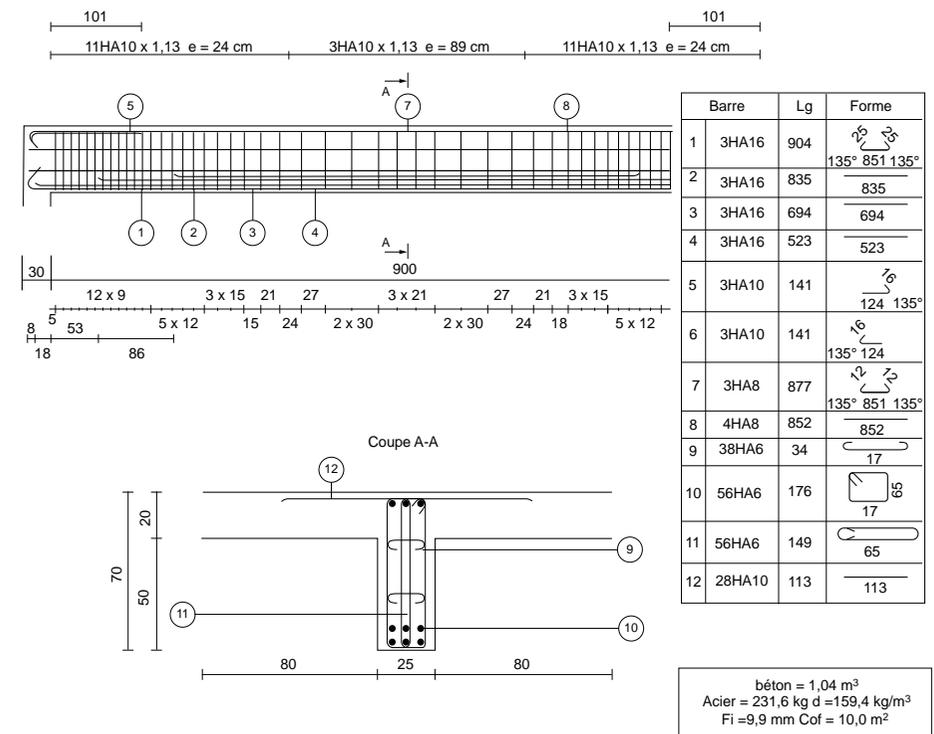


Figure n° 46A: ferrailage de poutre, exemple de sortie d'ordinateur, solution de base.

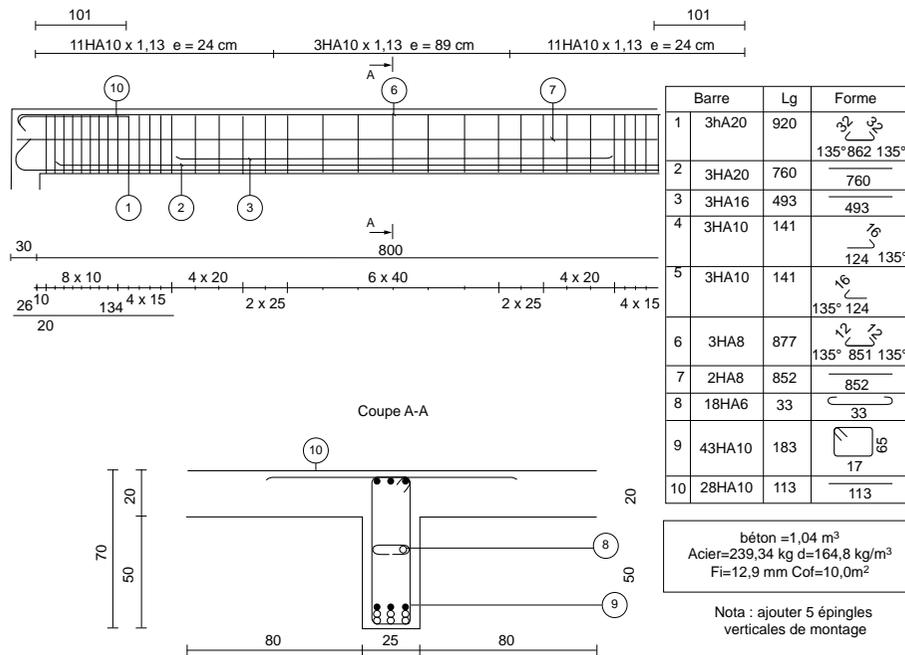


Figure n° 46B : ferrailage de poutre, exemple de sortie d'ordinateur, variante.

En analysant les principaux paramètres ayant une incidence sur le coût de production de la cage de poutre assemblée, on constate que la variante présente les écarts suivants par rapport à la solution de base :

- nombre de barres à couper : – 87, soit une diminution de 50 % ;
- nombre d'armatures à façonner : – 82, soit une diminution de 51 % ;
- nombre minimum de points de soudure : – 148, soit une diminution de 43 % ;
- diamètre moyen Fi : + 3 mm ;
- possibilité d'utiliser un gabarit pour positionner les cadres ;
- poids d'acier : + 8 kg, sur un total de 232 kg, soit une augmentation de 3,8 %.

Chaque armaturier dispose d'éléments de coût de production qui lui sont propres (coût matière première, coût main-d'œuvre, coût machine, etc.). Il lui appartient à partir de ces éléments, de tirer les conclusions qui découlent de ces comparaisons pour son cas particulier.

Il est aussi probable que certains ingénieurs de bureaux d'études n'accepteront pas l'une ou l'autre des modifications effectuées entre la solution de base et la variante. Rappelons que dans tous les cas la conception de l'armature reste de leur responsabilité.

La diminution substantielle de tous les paramètres influant sur le temps de production mérite d'être prise en considération. Cependant, même si la variante paraît globalement intéressante, on peut se demander comment elle pourrait être proposée, puisqu'elle nécessite un poids d'acier plus élevé.

La conclusion qui suit est consacrée à l'analyse des causes de blocage et à la recherche de moyens permettant de les surmonter.

Conclusion

Les observations, questions ou propositions formulées au chapitre 7 s'adressent à tous ceux qui interviennent dans la conception et la réalisation des armatures.

Certaines difficultés qui ont leur origine dans les textes normatifs ont été relevées. La mise en application de la norme NF EN 1992-1-1 devrait en éliminer mais risque d'en générer d'autres. Si la pratique en montre la nécessité, il reste possible d'adopter des conventions entre bureaux d'études et armaturiers.

En dehors de cet aspect normatif, les acteurs les plus concernés sont manifestement les bureaux d'études chargés d'établir les plans d'exécution. Même si leurs missions ne sont pas toujours assez précises, on ne peut pas contester qu'il leur incombe de concevoir des armatures conformes, parfaitement définies et réalisables par les armaturiers. Ce guide doit les aider à mieux communiquer avec ceux qui exécuteront les ferrallages qu'ils conçoivent.

Cependant, pour viser l'objectif d'une véritable optimisation, certains changements plus fondamentaux sont nécessaires. Le « nœud du problème » se situe dans la façon de traiter les contrats d'études d'exécution et les marchés de sous-traitance des armatures.

Aujourd'hui, pour les entreprises, ces deux sujets sont totalement distincts. D'une part, elles confient à un bureau une mission d'étude des ouvrages en béton armé. Les exigences fixées concernant les armatures, sont la conformité technique ainsi que l'économie en poids d'acier (ou tout au moins le respect des quantités prévues). D'autre part, elles sous-traitent les prestations d'exécution et éventuellement de pose des armatures sur la base d'un prix d'armatures à la tonne. Ce prix est parfois modulé suivant le diamètre moyen. Souvent, il s'agit au contraire d'un prix à la tonne « tout confondu ».

Dès lors, toute évolution est impossible. En effet :

- pour l'entreprise le coût du poste armature est figé ; l'optimisation ne peut plus l'intéresser ;
- pour le bureau d'études, prendre en compte les problèmes de façonnage, d'assemblage et de pose correspond à un travail supplémentaire non rémunéré ; seules sa conscience professionnelle et ses bonnes relations avec les armaturiers peuvent l'inciter à le faire ;
- pour l'armaturier, alors cantonné dans un rôle d'exécutant, les possibilités d'influencer réellement la conception sont évidemment restreintes ;
- le concepteur de logiciel s'attache à répondre aux demandes de ses clients ; aucune demande d'optimisation n'étant formulée, il ne s'y intéresse pas.

Cette situation regrettable a sans doute des origines multiples dans lesquelles tous les intervenants ont une part de responsabilité, et elle doit évoluer.

Pour cela, il faut nécessairement structurer la relation entre bureau d'études et armaturier afin qu'ils puissent, par exemple, proposer ensemble aux entreprises la prise en charge conjointe des études d'exécution et de la fourniture avec pose éventuelle des armatures. Cette association pourra prendre différentes formes juridiques et contractuelles à définir. Dans tous les cas, elle impliquera des changements notables.

Dans cette association, le bureau d'études reste bien entendu seul compétent et décideur en matière de conformité mais, dans les limites que celle-ci impose. Il doit accepter de prendre en compte les propositions de l'armaturier pour la conception de l'armature. Il doit intégrer dans ses honoraires le surcoût correspondant à ces nouvelles contraintes. On peut d'ailleurs penser qu'après un certain temps de collaboration ces contraintes seront pour l'essentiel intégrées. Le surcoût deviendra alors négligeable.

L'armaturier pourra alors exploiter pleinement son savoir-faire conduisant à une conception qui réduira les coûts de main-d'œuvre tout en favorisant la qualité. Il sera donc en mesure de traiter son marché sur la base d'un prix à la tonne diminué en conséquence.

Les outils permettant cette mise en commun des compétences des bureaux d'étude et de celles des armaturiers sont maintenant largement répandus.

En premier lieu, les logiciels de dessins d'armatures permettent facilement de comparer diverses solutions. On peut ainsi mesurer l'incidence sur le poids d'acier de dispositions permettant un meilleur rendement. Les nomenclatures comportent les nombres de pièces. Elles pourraient aussi indiquer le nombre de points d'assemblage.

Chaque armaturier pourrait, en fonction de ses moyens de production, valoriser les divers paramètres de coût. Des choix de principes de ferrailage différents de ceux actuellement favorisés pourraient être introduits sans difficulté.

Internet permet l'échange des fichiers à distance et des allers-retours entre bureaux d'études et armaturiers. Il est donc possible d'optimiser les dessins de ferrailage avant qu'ils ne soient figés et diffusés sous forme de plans sur papier.

Cette évolution doit permettre une économie obtenue sur le coût des armatures, supérieure au surcoût des études. C'est évidemment la condition pour que les entreprises acceptent cette nouvelle démarche et que les donneurs d'ordre y soient favorables.

Quelques chantiers expérimentaux organisés sur ce principe, soigneusement suivis et analysés permettraient de vérifier l'intérêt de cette façon de travailler.

Les initiatives pourront venir de l'une quelconque des catégories d'acteurs. Dans tous les cas, l'AFCAB, acteur essentiel en matière de qualité des armatures, souhaite bien entendu vivement y être associée.

Annexes

Annexe 1 – Origines de l'obligation de se conformer aux Eurocodes

Annexe 2 – Application des règles Eurocode 8 et PS MI

Annexe 3 – Marques de laminage des aciers

Annexe 4 – Diamètre admissible de façonnage suivant l'expression 8.1 de la norme NF EN 1992-1-1 Calcul et conséquences

Annexe 5 – Processus de détermination de l'enrobage nominal suivant la norme NF EN 1992-1-1 complétée par son Annexe Nationale

Annexe 6 – Index

Annexe 7 – Bibliographie

9.1 Annexe 1 Origines de l'obligation de se conformer aux Eurocodes

L'application des textes normatifs peut s'imposer de plusieurs façons.

9.1.1 - Marchés publics

La base est le Code des marchés publics. L'article 6 de ce texte prescrit de définir les spécifications techniques soit en terme de performances (solution très rare), soit par référence à des normes ou autres documents équivalents.

L'arrêté du 28 août 2006 précise que ces normes ou autres documents équivalents doivent être choisis suivant un ordre de préférence qui place en premier rang les normes nationales transposant les normes européennes.

En pratique dès 2009 plusieurs notes du Ministère de l'économie de l'industrie et de l'emploi ont fait des recommandations dans ce sens. La référence, dans les marchés publics, aux normes françaises transposant les Eurocodes est donc générale.

9.1.2 - Marchés privés

Il n'y a pas de cadre réglementaire général.

La Norme NF P 03-001 « Marchés privés - Cahiers types-CCAG applicable aux travaux de bâtiment faisant l'objet d'un marché privé » prévoit l'application des normes françaises.

Si le marché se réfère à cette norme le respect de ces normes devient une obligation contractuelle.

Dans les autres cas, il faut se référer au contrat signé.

9.2 Annexe 2

Application des règles Eurocode 8 et PS MI

Le document « La nouvelle RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE applicable aux bâtiments dont le permis de construire est déposé à partir du 1^{er} mai 2011 » édité par le Ministère de l'Équipement en janvier 2011 contient tous les détails sur ce sujet. Les principaux points sont résumés ci-dessous :

L'arrêté du 22 octobre 2010 pris en application du Code de l'environnement et les décrets 2010-1254 et 2010-1255 du même jour imposent l'application de l'Eurocode 8 depuis le 1^{er} mai 2011.

- Période transitoire : pour les « catégories d'importance » de bâtiments II, III et IV dont le permis de construire est déposé avant le 31 octobre 2012, les règles PS 92 restent applicables avec des valeurs d'accélération modifiées.
- Pour les « catégories d'importance II » de bâtiments, les règles simplifiées PS MI « Construction parasismique des maisons individuelles et bâtiments assimilés » peuvent être utilisées.
- L'arrêté définit quatre « catégories d'importance » de bâtiments et cinq « zones de séismicité » suivant lesquelles les exigences varient.
- Le zonage sismique est communal alors qu'il était cantonal dans les règles PS 92.

9.1.3 - Tous types de marchés cas des textes d'application obligatoire

Certaines normes sont rendues d'application obligatoire par arrêté. Ce sont souvent des normes concernant la sécurité et, pour le béton armé, c'est le cas pour :

- La norme NF EN 1992-1-2 : Règles générales - Calcul du comportement au feu et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-2/NA.

L'arrêté du 14 mars 2011 impose l'application de ces textes avec une période transitoire de trois ans pendant laquelle il est encore possible d'utiliser l'ancienne norme « NF P 92-701 : Méthode de prévision par le calcul du comportement au feu des structures en béton ».

- la norme NF EN 1998-1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments (Eurocode 8).

L'arrêté du 22 octobre 2010 a été pris en application du Code de l'environnement et des décrets 2010-1254 et 2010-1255 du même jour. Voir Annexe 2. L'application de l'Eurocode 8 impose celle de l'Eurocode 2.

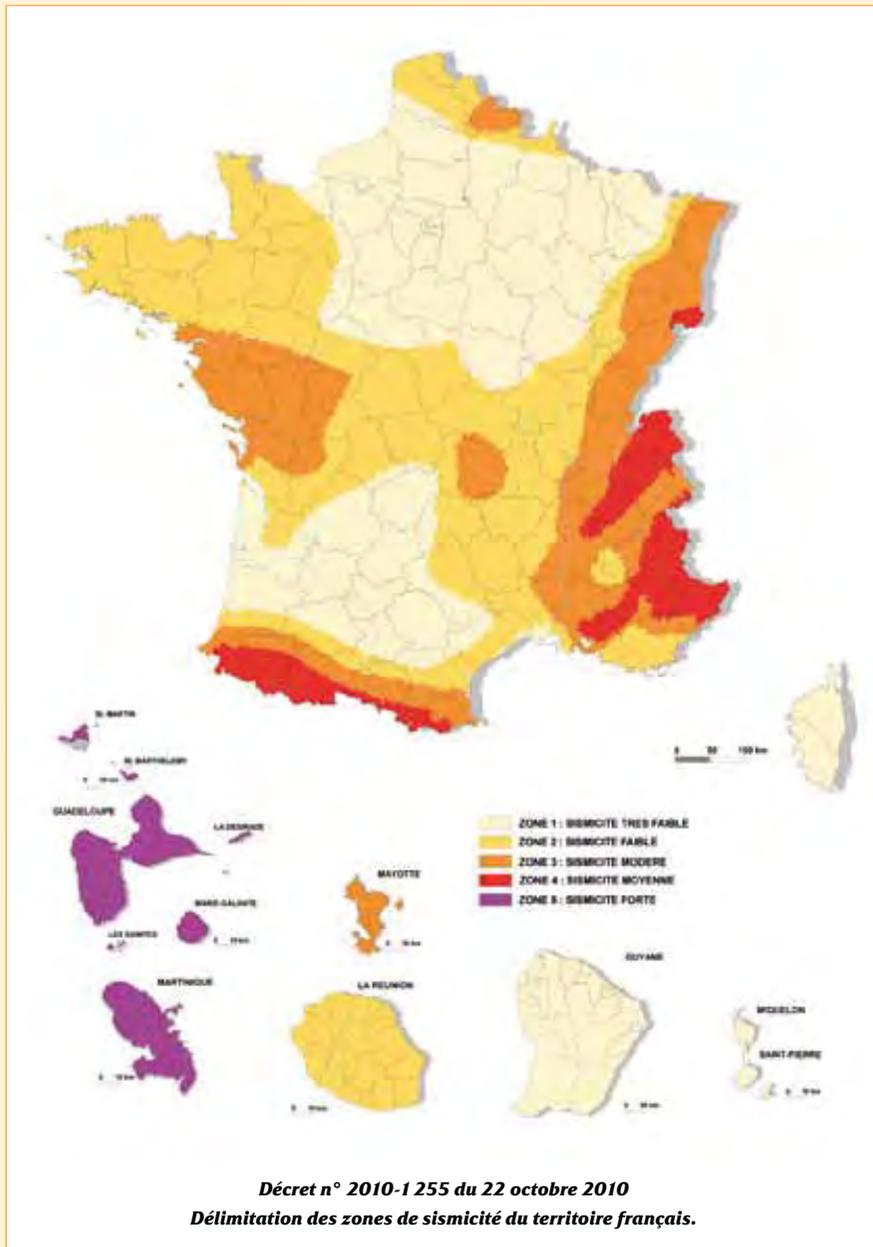


Figure n° 47 : zonage sismique de la France.

Tableau 4 : exigences selon les zones et les catégories d'importance des bâtiments

Zone 1 : aléa très faible	Aucune exigence	
Zone 2 : aléa faible	Bâtiments de catégories I et II	Aucune exigence
	Bâtiments scolaires simples	PS MI ou Eurocode 8 selon critères essentiellement géométriques et consistance du sol
	Bâtiments de catégories III et IV	Eurocode 8
Zone 3 : aléa modéré et zone 4 : aléa moyen	Bâtiments de catégories I	Aucune exigence
	Bâtiments de catégories II	PS MI ou Eurocode 8 selon critères essentiellement géométriques
	Bâtiments de catégories III et IV	Eurocode 8
Zone 5 : aléa fort	Bâtiments de catégories I	Aucune exigence
	Bâtiments de catégories II	CP-MI (Antilles)
	Bâtiments de catégories III et IV	Eurocode 8

Remarque : les accélérations de calcul augmentent avec la catégorie des bâtiments.

Exemples de catégories d'importance de bâtiments

Catégorie I : Bâtiments sans séjour humain de longue durée

Catégorie II : Maisons individuelles, bâtiments de moins de 28 m de hauteur, bâtiments établissements industriels ou commerciaux recevant moins de 300 personnes...

Catégorie III : établissements scolaires, bâtiments de plus de 28 m de hauteur, bâtiments établissements industriels ou commerciaux recevant plus de 300 personnes, la plupart des établissements sanitaires...

Catégorie IV : bâtiments concernant la défense, les secours, les télécommunications, l'eau potable...

9.3 Annexe 3

Marques de laminage des aciers

La norme NF EN 10080 prescrit un marquage des aciers permettant d'identifier le producteur et la classe technique. La norme française NF A 35-080-1 la modifie et la complète. La synthèse de ces dispositions est détaillée ci-dessous.

9.3.1 - Aciers à verrous

9.3.1.1 - Identification du producteur

Une marque repérant le producteur est apposée sur l'acier à intervalles maximum de 1,5 m.

Cette marque peut utiliser quatre méthodes au choix du producteur :

1. des verrous renforcés ;
2. des verrous manquants ;
3. des chiffres marqués ;
4. des points en relief ou en creux entre des verrous normaux.

La marque comporte les indications suivantes :

- Un symbole « 0 » pour marquer le début de la séquence constitué de la façon suivante pour chacune des quatre méthodes :
 - méthode 1 ci-dessus : deux verrous renforcés consécutifs ;
 - méthode 2 ci-dessus : deux verrous manquants ;
 - méthode 3 ci-dessus : un X ou un 0 ;
 - méthode 4 ci-dessus : deux marques entre une paire de verrous normaux.
- Un nombre entre 1 et 9 pour marquer le pays d'origine :
 - méthode 1 ci-dessus : nombre de verrous normaux entre deux verrous renforcés ;
 - méthode 2 ci-dessus : nombre de verrous entre des verrous manquants ;
 - méthode 3 ci-dessus : un nombre ;
 - méthode 4 ci-dessus : nombre de verrous normaux entre des points en relief ou en creux.

- Un nombre entre 1 et 99 sauf multiples de 10 pour marquer l'usine d'origine. Suivant le même principe que pour le pays d'origine.

En fait, la norme n'explique pas les marquages d'identification du pays et de l'usine productrice pour les quatre méthodes utilisées, mais donne un exemple qui permet d'en comprendre le principe et de l'adapter à tous les cas.

Tableau 5 : Identification du pays d'origine

Pays	Code
Allemagne, Autriche, Pologne, République Tchèque, Slovaquie	1
Belgique, Luxembourg, Pays-Bas, Suisse	2
France, Hongrie	3
Italie, Malte, Slovénie	4
Irlande, Islande, Royaume-Uni	5
Danemark, Estonie, Finlande, Lettonie, Lituanie, Norvège, Suède	6
Espagne, Portugal	7
Chypre, Grèce	8
Autre Pays	9



Figure n° 48 : exemple de marque d'identification du producteur (méthode 1 : nombre de verrous normaux entre deux verrous renforcés).

9.3.1.2 - Identification de la classe technique (ou nuance)

La classe technique peut être identifiée de deux façons.

• Identification par la disposition des verrous

Les aciers de nuance B500A et B500B peuvent être identifiés par la disposition des verrous.

- Aciers B500A avec trois séries de verrous (figure n° 49 A):
 - trois séries avec espacements et angles égaux ;
 - une série avec inclinaison opposée à celle des 2 autres ;
- Aciers B500A avec quatre séries de verrous (figure n° 49 B):
 - quatre séries avec espacements, angles et inclinaison identiques
- Aciers B500B avec deux séries de verrous (figure n° 49 C):
 - une série avec mêmes angles et inclinaison ;
 - une série avec angles alternés d'angles différents et d'inclinaison opposée à celle de la première série.
- Aciers B500B avec trois séries de verrous (figure n° 49 D):
 - même angle, direction et inclinaison pour les trois séries.
- Aciers B500B avec quatre séries de verrous (figure n° 49 E):
 - même angle d'inclinaison pour les trois séries, mais deux séries dans une direction et deux dans la direction opposée.

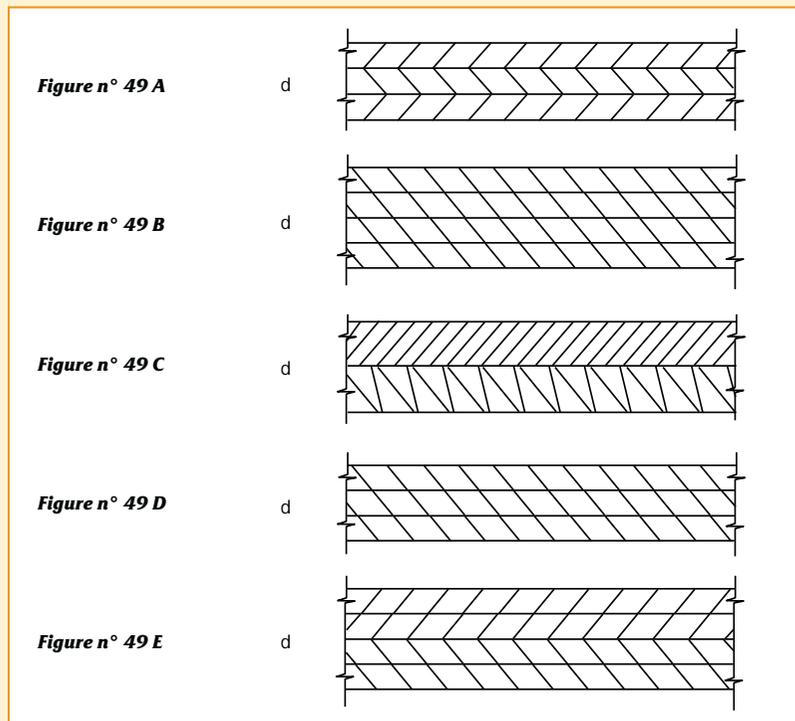


Figure n° 49 : aciers à verrous B500A et B500B. Identification de la nuance d'acier par la disposition des verrous (vues développées).

• Identification par marque de laminage

Les aciers de toutes nuances peuvent être identifiés par une marque constituée par un code numérique. Ce marquage est le seul utilisable pour les nuances B450B et B450C. Cette marque doit être apposée tous les mètres environ sur un champ différent de celui de la marque d'identification du producteur. La méthode de marquage est celle utilisée pour l'identification du producteur.

Tableau 6 : identification de la nuance d'acier par marque de laminage	
Nuance d'acier	Code nuance
B500A	1
B500B	2
B450B	3
B450C	4

Exemple : avec la méthode de marquage 1 à l'aide de verrous renforcés, la nuance B500B sera identifiée par 2 verrous normaux encadrés par des verrous renforcés.

Pour les aciers de nuance B500A et B500B si une marque de laminage est apposée, celle-ci prévaut sur l'identification qui pourrait ressortir de la disposition des verrous.

9.3.2 - Aciers à empreintes

9.3.2.1 - Identification du producteur

Une marque repérant le producteur est apposée sur l'acier à intervalle maximum de 1,5 m.

Cette marque peut utiliser quatre méthodes au choix du producteur :

1. des reliefs entre empreintes élargis ;
2. des reliefs entre empreintes manquants ;
3. des chiffres marqués ;
4. des points en relief ou en creux entre des reliefs entre empreintes normaux.

Nota

Ce sont donc les « reliefs entre empreintes » qui sont utilisés. Dans la suite du texte, ils seront désignés par le terme « reliefs ».

La marque comporte les indications suivantes.

- Un symbole « 0 » pour marquer le début de la séquence constitué de la façon suivante :
 - méthode 1 ci-dessus : deux reliefs élargis consécutifs ;
 - méthode 2 ci-dessus : deux reliefs manquants ;
 - méthode 3 ci-dessus : un X ou un 0 ;
 - méthode 4 ci-dessus : deux marques entre une paire de reliefs normaux.
- Un nombre entre 1 et 9 pour marquer le pays d'origine.
 - méthode 1 ci-dessus : nombre de reliefs normaux entre deux reliefs élargis ;
 - méthode 2 ci-dessus : nombre de reliefs entre des reliefs manquants ;
 - méthode 3 ci-dessus : un nombre ;
 - méthode 4 ci-dessus : nombre de reliefs entre des marques en relief ou en creux.
- Un nombre entre 1 et 99 sauf multiples de 10 pour marquer l'usine d'origine. Suivant le même principe que pour le pays d'origine.

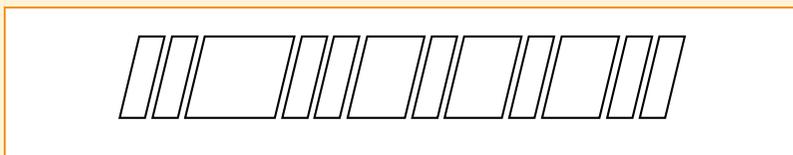


Figure n° 50 : exemple de marque d'identification du producteur (méthode 2 : nombre de reliefs entre reliefs manquants).

9.3.2.2 - Identification de la classe technique (ou nuance)

La classe technique peut être identifiée de deux façons.

• Identification par la disposition des empreintes

Les aciers de nuance B500A et B500B peuvent être identifiés par la disposition des empreintes.

- Aciers B500A avec trois séries d'empreintes (figure 50-a) : inclinaison d'une série opposée à celle des 2 autres.
- Aciers B500A avec quatre séries d'empreintes (figure 50-b) : même direction pour les quatre séries.
- Aciers B500B avec trois séries d'empreintes (figure 50-c) : même direction pour les trois séries.
- Aciers B500B avec quatre séries d'empreintes (figure 50-d) : même angle d'inclinaison pour les quatre séries, mais deux séries dans une direction et deux dans la direction opposée.

Figure n° 50 A

d

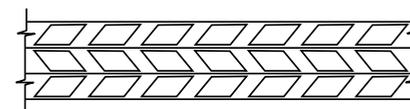


Figure n° 50 B

d

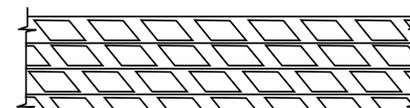


Figure n° 50 C

d

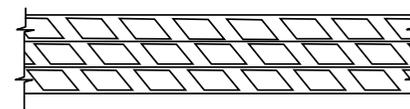


Figure n° 50 D

d

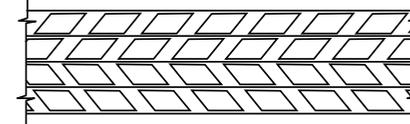


Figure n° 51 : aciers à empreintes B500A et B500B. Identification de la nuance d'acier par la disposition des empreintes (vues développées).

• Identification par marque de laminage

Les dispositions indiquées au paragraphe 9.3.1.2 « Identification par marque de laminage » sont applicables.

Exemple : avec la méthode 2, à l'aide de reliefs manquants, la nuance B500B sera identifiée par 2 reliefs entre des reliefs manquants.

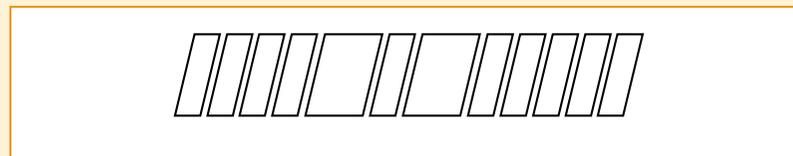


Figure n° 52 : identification de la nuance B500B avec la méthode 2 (deux reliefs entre reliefs manquants).

MÉTHODE PRATIQUE DE VÉRIFICATION DE LA CLASSE (OU NUANCE) D'UN ACIER

La vérification de la classe d'un acier fait partie des opérations de contrôle en atelier ou sur chantier.

La recherche sur l'acier des éléments d'identification de la classe peut s'avérer difficile. En effet, on ignore si le producteur a choisi l'identification par la disposition des verrous (ou des reliefs) ou par une marque de laminage.

L'identification du producteur est plus facile. On pourra donc en pratique, procéder de la manière suivante en utilisant le site www.afcab.com :

- relever sur l'acier la marque de laminage (3 ou 4 chiffres) identifiant son producteur;
- sur le site www.afcab.com, aller à « certificats, ...aciers, ...recherche par critères », cliquer sur cette marque. Le numéro du (ou des) certificat(s) correspondant(s) apparaît;
- s'il y en a un seul, sa classe figure sur le certificat;
- s'il y en a plusieurs, rechercher sur l'acier le marquage et la disposition des verrous ou reliefs et les comparer avec les indications figurant sur chacun des certificats (verrous ou empreintes, méthode de marquage...)

9.4 Annexe 4 Diamètre admissible de façonnage suivant l'expression 8.1 de la norme NF EN 1992-1-1 Calcul et conséquences

À l'exception du cas des armatures transversales, les diamètres de mandrins doivent en général faire l'objet d'une justification par le calcul vis-à-vis de la rupture du béton.

À son article 8.3 la norme NF EN 1992-1-1 amendée par son corrigendum N° 2 indique que la justification du diamètre du mandrin vis-à-vis de la rupture du béton n'est pas nécessaire si l'une des conditions ci-après est remplie :

- l'ancrage nécessaire de la barre ne dépasse pas 5Φ au-delà de l'extrémité de la partie courbe ;
- ou bien la barre n'est pas disposée près de la surface (plan de flexion proche du parement) et il existe une barre transversale de diamètre $\geq \Phi$ à l'intérieur de la partie courbe.

Dans le cas contraire, il convient d'augmenter le diamètre du mandrin Φ_m comme indiqué par l'expression (8.1) :

$$\Phi_m \geq F_{bt} ((1/a_b) + 1/(2\Phi)) / f_{cd}$$

où :

F_{bt} est l'effort de traction dû aux charges ultimes dans une barre ou un groupe de barres en contact à l'origine de la partie courbe.

a_b pour une barre donnée (ou groupe de barres en contact), est la moitié de l'entraxe entre les barres (ou groupes de barres) perpendiculairement au plan de la courbure.

Φ est le diamètre de l'armature.

F_{cd} est la valeur de calcul de la résistance en compression du béton.

Pour une barre ou un groupe de barres proches du parement de l'élément, il convient de prendre pour a_b l'enrobage majoré de $\Phi/2$.

Il convient de limiter f_{cd} à la valeur de résistance correspondant à la classe de béton C55/67.

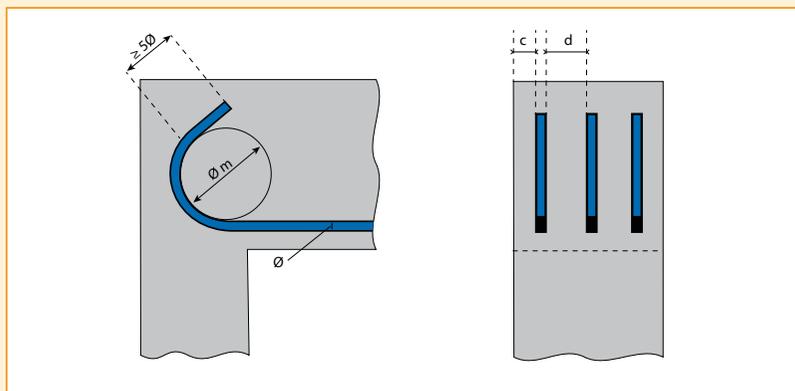


Figure n° 53 : crosses d'ancrage d'appui de poutre. Diamètres de façonnage.

Exemple

En utilisant des unités plus pratiques que celles du système international.

Barres, $\Phi = 20$ mm ;

Enrobage, $c = 38$ mm ;

Distance entre barres, $d = 60$ mm ;

$f_{cd} = 25/1,5 = 16,7$ MPa ;

$\sigma_s = 435$ MPa ;

$F_{bt} = 0,136$ MN

On obtient $a_b = 48$ mm, pour une barre proche du parement

et $a_b = 30$ mm pour une barre intérieure

$\Phi_m = 373$ mm soit 19Φ pour une barre proche du parement et

$\Phi_m = 475$ mm soit 24Φ pour une barre intérieure

Cette exigence peut poser des problèmes d'encombrement.

Les solutions possibles sont :

- augmenter la section pour réduire la contrainte ou (et) adopter un diamètre de barres inférieur. On pourra ainsi diminuer Φ_m ou même ramener la longueur de l'ancrage nécessaire au-delà de l'extrémité de la partie courbe au-dessous de 5Φ ;
- remplacer les crosses par des boucles à plat. Avec une barre verticale dans les boucles. On peut alors en général façonner les boucles sur des diamètres de 7Φ pour le $\Phi = 20$ mm et même de 4Φ en passant à $\Phi = 16$ mm.

9.5 Annexe 5

Processus de détermination de l'enrobage nominal suivant la norme NF EN 1992-1-1 complétée par son Annexe Nationale

Cette annexe présente le processus de détermination de l'enrobage nominal suivant la norme NF EN 1992-1-1 complétée par son Annexe Nationale.

Les 7 étapes du processus sont les suivantes.

1 - Détermination des classes d'exposition

Les classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage sont déterminées en fonction des conditions d'environnement du projet dont elles constituent des données de base. Elles peuvent être différentes pour les diverses parties d'un même ouvrage. Elles sont définies par le tableau 4.1 (F) à l'article 4.2 (2) de l'Annexe Nationale. Elles doivent être spécifiées dans les pièces techniques du marché.

2 - Choix de la classe structurale

L'EN 1990 – Bases de calcul des structures, définit 6 classes structurales. Chaque classe correspond à une durée d'utilisation de projet. La classe à utiliser pour les bâtiments et ouvrages de génie civil courants est S4 (durée d'utilisation de projet de 50 ans) pour des bétons conformes aux tableaux NA.F.1 ou NA.F.2 de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 206-1. La classe structurale des ponts est S6.

Les possibilités d'adoption d'une classe structurale différente en fonction de choix particuliers pour le projet sont données par le tableau 4.3 N (F) à l'article 4.4.1.2 (5) de l'Annexe Nationale.

3 - Détermination de l'enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité « $C_{\min, \text{dur}}$ »

À partir des classes d'exposition de chaque partie d'ouvrage et de la classe structurale du projet, le tableau 4.4 N à l'article 4.4.1.2 (5) de la norme NF EN 1992-1-1 permet de déterminer l'enrobage minimal vis-à-vis de la durabilité « $C_{\min, \text{dur}}$ ».

L'Annexe Nationale prescrit à l'article 4.4.1.2 (5) note que « lorsqu'un élément de structure est concerné par plusieurs classes d'exposition, on retiendra l'exigence la plus élevée ».

Il semblerait que la formulation à retenir soit plutôt : « lorsqu'un parement de béton est concerné par plusieurs classes d'exposition, on retiendra l'exigence la plus élevée ».

4 - Prise en compte des réductions et (ou) des augmentations éventuelles de « $C_{\min, \text{dur}}$ »

• L'article 4.4.1.2 (7) de l'Annexe Nationale précise ensuite que l'enrobage « $C_{\min, \text{dur}}$ » peut-être réduit d'une valeur « $\Delta C_{\text{dur, st}}$ » fixée par les documents particuliers du marché, dans le cas d'utilisation d'armatures en acier dont la résistance à la corrosion est éprouvée (par exemple armatures inox). Ce choix engage le maître d'œuvre.

• L'article 4.4.1.2 (8) de l'Annexe Nationale précise ensuite que l'enrobage « $C_{\min, \text{dur}}$ » peut-être réduit d'une valeur « $\Delta C_{\text{dur, add}}$ » fixée par les documents particuliers du marché, dans le cas de mise en place d'un revêtement adhérent assurant une protection complémentaire justifiée vis-à-vis des agents agressifs. Ce choix engage le maître d'œuvre.

• Inversement, la norme NF EN 1992-1-1 donne en 4.4.1.2 (11) et 4.4.1.2 (13) les valeurs d'augmentation de l'enrobage minimal à adopter dans les cas suivants :
– parements irréguliers ;
– abrasion du béton.

5 - Détermination de l'enrobage minimal vis-à-vis de l'adhérence « $C_{\min, b}$ »

L'enrobage minimal vis-à-vis de l'adhérence « $C_{\min, b}$ » est donné par le tableau 4.2 à l'article 4.4.1.2 (3) de la norme NF EN 1992-1-1.

6 - Détermination de l'enrobage minimal « C_{\min} »

L'enrobage minimal C_{\min} est déterminé par la formule donnée dans l'article 4.4.1.2 de la norme NF EN 1992-1-1 :

$$C_{\min} = \max \{ C_{\min, b}; C_{\min, \text{dur}} + \Delta C_{\text{dur, } \gamma} - \Delta C_{\text{dur, st}} - \Delta C_{\text{dur, add}}; 10 \text{ mm} \}$$

7 - Prise en compte des tolérances d'exécution. Détermination de l'enrobage nominal « C_{nom} »

L'enrobage nominal « C_{nom} » s'obtient en majorant l'enrobage minimal « C_{\min} » de la tolérance pour exécution « ΔC_{dev} ».

L'Annexe Nationale en 4.4.1.3 (3) prescrit la valeur $\Delta C_{\text{dev}} = 10$ mm sauf justification particulière.

Le même article définit les possibilités de réduire la valeur de « ΔC_{dev} » dans les cas où un contrôle de qualité inclut des mesures d'enrobage des armatures.

Dans l'article 4.4.1.3 (4) la norme NF EN 1992-1-1 prescrit de majorer l'enrobage minimal dans le cas d'un béton coulé au contact de surfaces irrégulières (sol ou béton de propreté par exemple) et l'Annexe Nationale donne les valeurs de l'enrobage minimal à adopter dans ces cas.

L'Annexe Nationale en 4.4.1.2 (5) recommande de ne pas dépasser $C_{\text{nom}} = 50$ mm pour éviter des problèmes de fissuration. Elle recommande pour cela d'utiliser les possibilités de réduction de $C_{\min, \text{dur}}$ énumérées au paragraphe 4 et de ΔC_{dev} indiquées ci-dessus².

Enfin, en l'absence de prescription à ce sujet dans la norme NF EN 1992-1-1, son Annexe Nationale attire à juste titre l'attention en 4.4.1.2 (5) sur les difficultés de bétonnages auxquelles risque de conduire un enrobage « C_{nom} » inférieur à la dimension nominale du plus gros granulat.

2. Il est aussi possible d'utiliser un béton de classe de résistance plus élevée.

9.6 Index

- A** Acier : 10 - 15 - 41 - 45 - 76- 129
Adhérence : 16 - 45 - 49 - 69
AFCAB : 3 - 76
Ancrage – par courbure : 52 - 63 - 85 - 88 - 101 - 136
– des cadres : 55 - 63 - 89 - 95
– dispositif d' : 34 - 42 - 75 - 78
Armature : 11 - 13 - 43 - 51 - 77 - 93
– coupée-façonnée : 63
– assemblée : 65
– sur plans : 22
– sur catalogue : 31
– spéciale : 34
– transversale : 55 - 114 - 135
Armaturier : 11
Assemblage : 28- 64
- B** Boîte d'attente : 35 - 43 - 71 - 78
- C** Cadre : 55 - 63 - 89 - 95 - 113
Cadreuse : 26 - 88
Certification : 68 - 76
Champ : 131
Cintrage : voir façonnage
Classe – de ductilité (acier) : 47 - 130 - 133
– d'exposition : 67 - 138- 143
– structurale : 67 - 138
Coefficient de forme : 49
Confinement : 57 - 107
Couronne : 10 - 17 - 42 - 48
Crosses : 61 - 101 - 136
- D** Décortiqueur : 25
Diamètres – aciers 48 - 112
– façonnage : voir mandrin
DRAAB : voir raboutage
Dressage; dresseuse : 26 - 51
Ductilité : 46 - 130 - 133
- E** Ecrouissage : 17 - 51
Élasticité : voir limite
Empreinte : 16 - 49 - 132

- Enrobage : 66 - 91 - 137
Étrier : 55 - 65 - 99 - 113
Eurocode : 4 - 41 - 107 - 124 - 126
- F** Façonnage : 27 - 52 - 61 - 85 - 115 - 136
Fatigue : 45 - 50
Fermeture : 56 - 89 - 95
- G** Goujons : 36 - 75
- I** Inoxydable (acier) : 37 - 42 - 67- 138
- L** Laminage (à froid, à chaud) : 17 - 129
Limite (d'élasticité) : 17 - 46
- M** Manchon : 34 - 75
Mandrin : 27 - 52 - 62 - 64 - 88 - 115 - 136
Marquage : 51 - 129
- N** Nuance : 46 - 130
- O** Optimisation : 109
- P** Panneau assemblé : 10 - 29
Pliage : 33 - 45 - 50
Plieuse : 32
Pose; Poseur : 24 - 38 - 40 - 66 - 68 - 71 - 79 - 94 - 100
Préparation : 24 - 31
PS-MI : 45 - 57 - 95 - 107 - 126
- R** Redressage : 50 - 55 - 71 - 77
Rupteur thermique : 37 - 76
- S** Séisme : 47 - 57 - 95 - 107 - 126
Soudabilité : 45 - 77
Soudage : 28 - 44 - 64
- T** Tolérances : 48 - 52 - 63 - 65 - 68 - 73 - 140
Traction : 45
Treillis raidisseur : 10 - 42 - 50
Treillis soudé : 10 - 17 - 19 - 42 - 50
- V** Verrou : 16 - 42 - 49 - 129

9.7 Bibliographie

Cette bibliographie complète la liste des textes figurant à l'article 4.1. Elle ne comprend que des documents diffusés à titre gratuit et en général disponibles « en ligne » sur internet.

Collection technique CIMbéton

Béton armé d'inox - Le choix de la durée, T81, Cimbéton

« Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages d'art en béton »
Solutions Béton, Ouvrage d'Art, 2010-1

« Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages maritimes
et fluviaux en béton » Solutions Béton, Ouvrage d'Art, 2010-2

« Guide pour le choix des classes d'exposition pour les travaux souterrains »
Solutions Béton, Ouvrage d'Art, 2010-3

« Guide pour le choix des classes d'exposition des ouvrages divers de génie civil »
Solutions Béton, Ouvrage d'Art, 2010-4

Documents EGF.BTP

Guide pour l'application de l'Eurocode 2 - Partie 1-1 et annexes

*Règles professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec
boîtes d'attentes*

*Recommandations professionnelles concernant les dalles à prédalles
suspendues*

Les dalles à prédalles suspendues - Guide de pose

Configurations courantes pour planchers à prédalles suspendues

Plan Séisme

Plaquette : « La nouvelle réglementation parasismique applicable aux bâtiments »

Crédit photographique :
AGIBAT, AMSA, ARMASUD-REUNION, BARTEC,
BLB CONSTRUCTIONS, CAUMES-ARMATURES,
DEXTRA, FORNACE MANNA, GERMAIN
ARMATURES, GROUPE FIMUREX, PRESIDER,
SNAAM, TECHNOBAT, tous droits réservés.

Couverture : David Lozach
Illustrations : D. Lozach et E. Vallecillo
Maquette et réalisation : Amprincipe
R.C.S. Paris 9 389 103 805
Impression : Imprimerie Chirat

Édition septembre 2012



28, rue de Liège – 75008 Paris
Tél. : 01 44 90 88 80 – Fax : 01 44 90 00 57
E-mail : info@afcab.org
Internet : www.afcab.org

CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr