

MINISTÈRE
des
TRAVAUX PUBLICS

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DIRECTION
DU PERSONNEL
DE LA COMPTABILITÉ
ET DE L'ADMINISTRATION
GÉNÉRALE

Paris, _____

PERSONNEL

N° BUREAU

Béton armé

Revision des instructions
du 20 octobre 1906

Modification
de certains articles
du
cahier des charges général
du 29 octobre 1913
et du modèle A
de devis particulier

LE MINISTRE

à M

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

Circulaire Série A
N° 8

Imp. N° 19. — Paris, Imp. administrative, Centre, 8, rue de Furstenberg (1418)
en 1927

Depuis plusieurs années déjà, mon Administration s'est préoccupée de reviser les instructions contenues dans la circulaire du 20 octobre 1906 pour l'emploi du béton armé dans les ouvrages dépendant du Ministère des Travaux Publics, en vue de tenir compte de l'expérience acquise dans les chantiers et les laboratoires.

A la fin de 1928, la Chambre syndicale des Constructeurs en ciment armé de France, ayant établi un projet de règlement sur les constructions en béton armé, l'avait soumis au Ministre des Travaux Publics et avait demandé qu'il fût fait état des dispositions dudit projet dans les textes nouveaux sur la matière, alors en cours d'élaboration.

La réforme a fait l'objet de longues études, de la part d'une commission spéciale, puis du Conseil général des Ponts et Chaussées. Ce dernier, après discussion approfondie, et compte tenu des avis et observations du Comité de direction des grands réseaux et de divers groupements professionnels — spécialement de la Chambre syndicale des Constructeurs en ciment armé de France — a adopté un projet d'instructions destinées à remplacer celles du 20 octobre 1906.

Corrélativement, le Conseil général des Ponts et Chaussées a proposé de modifier les articles du cahier des charges général du 29 octobre 1913 qui concernent le béton armé.

Enfin, comme conséquence de la réforme, on a jugé nécessaire une modification de divers articles du modèle A de devis particulier, afin de les mettre en accord avec le texte nouveau du cahier des charges.

J'ai décidé d'adopter les différents textes qui m'ont été présentés par le Conseil général des Ponts et Chaussées. Vous les trouverez ci-après en annexes, sous les numéros I, II et III.

L'annexe I est constituée par les nouvelles instructions sur l'emploi du béton armé dans les ouvrages dépendant du Ministère des Travaux Publics, instructions qui remplacent celles du 20 octobre 1906 modifiées par la circulaire du 10 mai 1927. Elles sont accompagnées de commentaires explicatifs disposés en regard des articles ou paragraphes correspondants. Elles sont suivies de quelques exemples de calculs, tirés d'ailleurs des instructions antérieures, le Conseil ayant estimé que ces exemples pourraient, dans certains cas, être utiles aux Ingénieurs.

L'annexe II comprend l'ensemble des articles du cahier des charges général intéressant le béton armé, tant ceux qui ont été maintenus tels quels, que ceux qui ont été modifiés.

Enfin, l'annexe III comprend le texte des modifications apportées aux articles intéressant le béton armé dans le modèle A de devis particulier. Ces articles concernent :

- Le sable pour mortier et béton;
- Les dispositions spéciales au sable de broyage;
- Les pierrailles;
- Les chaux et ciments;
- Les ouvrages en béton armé.

Tous les documents à consulter sur le béton armé se trouvent ainsi réunis dans un même fascicule.

Je vous prie d'accuser réception de la présente circulaire.

Le Ministre des Travaux publics,

P.-E. FLANDIN.

ANNEXE N° I

A LA CIRCULAIRE SÉRIE A N° 8 DU 19 JUILLET 1934

INSTRUCTIONS

RELATIVES A L'EMPLOI DU BÉTON ARMÉ

DANS LES OUVRAGES

DÉPENDANT DU MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

ET COMMENTAIRES EXPLICATIFS ⁽¹⁾

(Articles 3 et 17 modifiés par la circulaire n° 30 du 5 avril 1958)

(1) Les présentes instructions remplacent celles du 20 octobre 1906.

INSTRUCTIONS

TITRE PREMIER

Nature et qualité des matériaux employés

ARTICLE PREMIER

Armatures.

Dans les cas où les armatures seront en acier doux répondant aux spécifications du cahier des charges général pour les travaux dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées, les limites de fatigue admissibles seront celles qui figurent à l'article 12 du règlement du 10 mai 1927 pour le calcul et les épreuves des ponts métalliques (1).

Dans les cas où les Ingénieurs auront prévu l'emploi de métaux de qualité supérieure ou de types différents, ils devront, compte tenu des dispositions à prendre pour éviter la fissuration du béton tendu, formuler, en ce qui touche les limites de fatigue à admettre, des propositions sur lesquelles l'Administration statuera, étant entendu que l'on pourra prendre, en général, comme limite de fatigue, la moitié de la limite d'élasticité à la condition que le chiffre ainsi obtenu ne dépasse pas le tiers de la limite de rupture.

Exceptionnellement, on pourra prévoir l'emploi de l'acier doux de qualité inférieure à celle qui est prescrite par le cahier des charges général, sans toutefois qu'aucune des caractéristiques soit inférieure de plus de 10 p. 100 à celles du métal défini au premier alinéa du présent article. Dans ce cas, les limites de fatigue admissibles seront abaissées dans le rapport des limites minima exigées pour la résistance à la rupture.

Si des armatures sont constituées par des charpentes assemblées, les limites de fatigue seront calculées sur les sections nettes, trous de rivets déduits*.

(1) Les limites de fatigue admissibles qui figurent à l'article 12 du Règlement du 10 mai 1927 sont :

	EXTENSION OU COMPRESSION	GLISSEMENT OU CRAQUEMENT
1° Charge permanente + surcharge (majorée, s'il y a lieu, des effets dynamiques) + température.	13 kgs.	10 kgs. 4
2° Charge permanente + surcharge (majorée, s'il y a lieu, des effets dynamiques) + température + vent à 150 kgs	14 kgs.	11 kgs. 2
3° Charge permanente + température + vent à 250 kgs.	14 kgs.	11 kgs. 2

N. B. — Les limites de fatigue prévues aux paragraphes 2° et 3° ci-dessus comprennent la majoration visée à l'article 3 du présent règlement.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

TITRE PREMIER

Nature et qualité des matériaux employés

ARTICLE PREMIER

*En général, la justification des limites de fatigue proposées pour les métaux de qualité supérieure ou de types différents de l'acier doux défini au premier alinéa de l'article 1^{er} ci-contre, consistera dans l'énonciation des conditions prescrites par le devis particulier en ce qui touche la limite d'élasticité, la limite de rupture, la fragilité et l'allongement de rupture, observation faite qu'il y aura intérêt à ce que ce dernier allongement soit supérieur à 12 p. 100.

qui
c+d+t
c+d+t+u
c+d+t+w

INSTRUCTIONS

ARTICLE 2

Béton.

Le béton est composé de matières inertes (sable et pierrailles) de ciment et d'eau.

Il doit satisfaire aux conditions du cahier des charges général en vigueur pour les travaux dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées.

Sous réserve des tolérances prévues à l'article 3 ci-après, et de celles qui seraient motivées par l'emploi de certains dispositifs spéciaux d'armatures (art. 11), les limites de fatigue à admettre pour le béton ne devront pas dépasser, savoir :

1° A la compression, les 28/100° de la résistance de rupture à la compression, à l'âge de 90 jours;

2° A la traction, au cisaillement et à l'adhérence les 20/100° de la limite de rupture à la traction au même âge.

En ce qui concerne l'adhérence, le taux de fatigue admis suppose expressément que les barres d'armature correspondantes sont à une distance de la surface libre du béton au moins égale à leur diamètre.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

ARTICLE 2

Conformément aux prescriptions du cahier des charges général, les caractéristiques du béton et les épreuves à lui faire subir au cours des travaux (notamment épreuves à 7, 28, 90 jours) seront complètement définies par le devis particulier de chaque projet.

L'emploi du ciment 20/25 est recommandé pour les ouvrages importants.

On considérera le plus fréquemment des bétons présentant les caractéristiques ci-après :

Dimensions maxima du sable : 5 millimètres; la proportion de grains fins de ce sable qui passent dans une tôle perforée de trous circulaires de 0 mm. 5 de diamètre, restant comprise entre 20 et 35 p. 100.

Dimensions maxima des pierrailles : 25 millimètres; les pierrailles de moins de 5 millimètres étant comptées comme sable.

Quantités : $\left\{ \begin{array}{l} 800 \text{ litres de pierrailles;} \\ 400 \text{ litres de sable;} \\ 300 \text{ kilogr. ou } 350 \text{ kilogr. ou } 400 \text{ kilogr. de ciment } \\ \text{20/25.} \end{array} \right.$

Durée de malaxage mécanique : 2 à 3 minutes.

Plasticité correspondant à un affaissement compris entre 2 et 10 cm (1).

On peut alors compter *a priori* que les résistances minima obtenues à 90 jours seront au moins égales aux chiffres du tableau ci-après, et admettre, en conséquence, dans l'élaboration des projets les taux de fatigue inscrits au même tableau.

DOSAGE CIMENT 20/25	RÉSISTANCE A 90 JOURS		TAUX DE FATIGUE à la compression	TAUX DE FATIGUE à la traction à l'adhérence au cisaillement
	à la COMPRESSION	à la TRACTION		
300 kilogrammes	215 K/cm ²	30 K/cm ²	60 K/cm ²	6 K/cm ²
350 kilogrammes	235 K/cm ²	32,5 K/cm ²	65 K/cm ²	6,5 K/cm ²
400 kilogrammes	250 K/cm ²	35 K/cm ²	70 K/cm ²	7 K/cm ²

Dans le cas où on désirerait rechercher un béton de qualité différente, répondant mieux à la destination proposée, soit pour des ouvrages d'importance secondaire, soit pour des ouvrages importants dont l'exécution doit être particulièrement soignée, il conviendra d'instituer des expériences préalables, ayant pour objet de préciser la composition de ce béton, les conditions de sa fabrication et de son emploi, ainsi que les résistances à en attendre. Les prescriptions à insérer au devis particulier résulteront de ces expériences.

(1) Voir article 105 du cahier des charges général.

INSTRUCTIONS

TITRE II

Préparation des projets

ARTICLE 3

Ponts en béton armé.

(Le premier alinéa est abrogé par la circulaire ministérielle N° 30 du 5 avril 1958).

Les prescriptions relatives aux effets de la température et aux influences diverses à envisager sont celles qui sont imposées aux ouvrages métalliques de même destination par les règlements en vigueur** (1).

Lorsqu'on sera amené à cumuler les effets maxima dus à ces dernières causes, avec ceux qui sont dus aux charges permanentes et aux surcharges, il sera permis de relever de 8 p. 100 les limites de fatigue de l'acier et du béton admises aux articles 1^{er} et 2 (2).

ARTICLE 4

Halles de chemins de fer et combles.

Pour les halles de chemins de fer et les combles de toute espèce, on se référera aux règlements en vigueur pour les halles de chemins de fer.

ARTICLE 5

Ouvrages divers.

Les estacades, les planchers et autres parties des bâtiments, les murs de soutènement, les murs de réservoirs, les conduites sous pression et tous autres ouvrages seront calculés en vue des plus grandes surcharges qu'ils auront à supporter soit en service, soit au cours de la construction.

On tiendra compte, suivant les circonstances locales, de l'action du vent et de l'action de la température*

(1) Alinéa modifié par la circulaire n° 30 du 5 avril 1958.

(2) Cf. la note (1) au bas de la page 4.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

TITRE II

Préparation des projets

ARTICLE 3

**En ce qui concerne la température, il conviendra de justifier la valeur admise dans les calculs pour l'écart maximum de température par rapport à la moyenne. En général, sous le climat de la France, on pourra tabler sur un écart de $\pm 20^\circ$.

La prescription relative aux influences diverses vise principalement les ouvrages exécutés dans des conditions exceptionnelles. Il ne s'agit aucunement des réactions mutuelles des différentes pièces de la construction, ni des efforts secondaires qui peuvent en résulter, notamment dans les poutres triangulées et qui doivent faire l'objet de justifications spéciales dans chaque cas.

ARTICLE 4

ARTICLE 5

*En général, sous le climat de la France, pour les ouvrages à l'air libre et non protégés, on peut tabler sur un écart de température de $\pm 20^\circ$ par rapport à la moyenne.

INSTRUCTIONS

ARTICLE 6

Retrait.

En outre des causes envisagées aux articles précédents et toutes les fois qu'il ne s'agira pas d'un ouvrage librement dilatable dans le sens théorique du mot ou de ceux que l'expérience permet de regarder approximativement comme tels, on devra tenir compte des effets du retrait du béton.

A défaut d'indications plus précises sur la valeur limite du raccourcissement proportionnel imposé par le retrait définitif du béton, on admettra le chiffre de 0,0002.

Toutefois, si des dispositions sont prises, soit pour obtenir un béton à faible retrait, soit pour laisser une partie du retrait s'effectuer avant le clavage de l'ouvrage ou avant sa fixation sur ses appuis, on pourra être autorisé à admettre un chiffre plus faible pour ce raccourcissement.

En outre, lorsqu'on cumulera l'effet du retrait avec les effets maxima dus aux charges, aux surcharges, au vent et à la température, il sera permis de compter un raccourcissement total de 0,0003 seulement, pour l'effet combiné du retrait et de l'abaissement maximum de température.

ARTICLE 7

Principe général des calculs.

Toutes les formes des éléments de l'ouvrage, béton et armatures, seront définies exactement par des dessins, croquis, ou tableau d'exécution.

Les armatures enrobées dans le béton devront être disposées de telle manière que l'ensemble forme un tout bien solidaire et qu'en chaque point, les déformations de deux éléments juxtaposés d'acier et de béton puissent être considérées comme égales.

Cela étant supposé, les calculs de déformation et de résistance seront déduits des principes classiques de la résistance des matériaux ou de principes scientifiques équivalents.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

ARTICLE 6

Le phénomène du retrait du béton armé est encore assez mal connu. Il peut se poursuivre pendant plusieurs années après la prise, avec des arrêts et même des régressions suivants les circonstances atmosphériques et suivant les circonstances des applications des charges.

Sa valeur dépend, dans une certaine mesure, de la composition du béton. La granulométrie des matières inertes a certainement quelque influence en même temps que la nature de la pâte pure de ciment qui les enrobe. La quantité d'eau de gâchage apparaît comme un des facteurs les plus importants, attendu que la rapidité du retrait, ses arrêts, ses régressions, paraissent en rapport étroit avec la facilité plus ou moins grande d'élimination de l'eau non chimiquement combinée avec le ciment. En agissant sur la granulométrie, sur la quantité d'eau de gâchage, ainsi que sur les moyens de mise en œuvre, il n'est pas impossible de diminuer le retrait final d'un béton.

D'un autre côté, il est souvent possible de prendre des dispositions pour qu'une partie importante du retrait d'un ouvrage soit effectuée avant son achèvement, ou avant la liaison de ses différentes parties entre elles, ou avant sa fixation définitive sur ses appuis.

Il y a donc lieu d'encourager les Ingénieurs à rechercher les moyens propres à diminuer les effets du retrait.

Le retrait produit des efforts intérieurs qui sont fonctions du pourcentage des armatures et qui ne sont pas *a priori* négligeables, même dans les ouvrages librement dilatables.

Ces efforts peuvent être assez souvent indifférents et quelquefois favorables, suivant la destination de la pièce. C'est seulement dans un but de simplification qu'on dispense de leur recherche. Mais si certains Ingénieurs parviennent à les analyser et les prennent en compte, ils seront autorisés à corriger ce que peut avoir d'excessif le chiffre de raccourcissement indiqué.

La tolérance inscrite dans le dernier alinéa de l'article s'inspire notamment de cette considération que l'effet maximum du retrait ne se fait sentir qu'au bout d'un temps assez long, après que le ciment a durci.

ARTICLE 7

Les réserves relatives à une solidarisation convenable des divers éléments du béton armé sont essentielles. Elles impliquent, en principe, qu'aucun volume important de béton ne doit demeurer dépourvu d'armatures et que celles-ci doivent être disposées suivant plusieurs directions distinctes.

INSTRUCTIONS

ARTICLE 8

Pièces prismatiques. — Déformations d'ensemble.

Pour rendre applicables à une pièce prismatique en béton armé les règles appliquées aux déformations d'ensemble des poutres formées de matériaux homogènes, on supposera que chacune de ses sections transversales est remplacée par une section homogène fictive, formée de tous les éléments de béton réel auxquels sont ajoutés des éléments fictifs, égaux à ceux des armatures longitudinales, amplifiés dans le rapport $m = \frac{E_a}{E_b}$ des coefficients d'élasticité du métal et du béton et maintenus d'ailleurs à leurs places relatives.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

Si on a satisfait convenablement à ces réserves, les principes de la résistance des matériaux pourront, en général, fournir un ensemble cohérent de déductions logiques, comme pour un matériau unique, grossièrement homogène et doué d'élasticité dans un certain domaine d'application. Dans certaines limites, les déformations locales resteront proportionnelles aux forces appliquées et disparaîtront avec ces forces. Les tensions dans deux éléments juxtaposés de béton et de métal pourront alors être considérées comme proportionnelles à ces déformations et proportionnelles aussi aux coefficients d'élasticité respectifs de ces éléments.

Au delà de ces limites (qui définissent le domaine élastique), les déformations peuvent devenir telles, dans certaines régions, que, tout au moins pour le béton, les principes de la résistance des matériaux tombent en défaut et ne puissent plus, dans ces mêmes régions, servir à autre chose qu'à manifester le sens général des phénomènes. La prudence commande alors de suivre d'autres règles en ce qui concerne l'appréciation des tensions ou des fatigues locales. Toutefois, il arrive que presque toujours l'étendue des régions qui cessent d'être élastiques est d'abord faible par rapport à l'ensemble de celles qui le sont demeurées.

On peut donc, lorsqu'il s'agit uniquement d'apprécier les déformations d'ensemble de la construction, continuer à admettre des règles qui ne sont, en toute rigueur, valables que pour le domaine élastique. En opérant ainsi, on fait une extrapolation qui ne saurait entraîner d'erreurs graves au moins dans des limites suffisantes pour la pratique.

En rappelant les principes de la résistance des matériaux ou des principes équivalents, l'Administration n'entend nullement limiter la liberté des Ingénieurs dans leurs recherches et dans leurs justifications.

ARTICLE 8

L'expérience confirme la règle posée ci-contre, en ce qui concerne les pièces prismatiques, et dans les limites où se maintiennent en pratique les déformations et les efforts. En se bornant aux pièces prismatiques, on peut, d'un autre côté, généraliser l'hypothèse dite de Bernoulli ou de Navier, concernant les déplacements relatifs des points correspondants de deux sections transversales voisines.

Dès lors, en ce qui concerne leurs déformations, toutes les règles usuelles de la résistance des matériaux se trouvent applicables, pourvu que l'on envisage, à la place de la section transversale réelle, une section fictive, considérée comme homogène.

Tous les éléments réels ou fictifs sont alors considérés comme ayant le même coefficient d'élasticité E_b .

INSTRUCTIONS

ARTICLE 9

Fatigues locales des pièces prismatiques.

En ce qui concerne le calcul des fatigues locales des pièces prismatiques, il convient de distinguer plusieurs cas*.

A. Pièces soumises à une compression simple.

Si l'on a déterminé la section « rendue homogène » comme il a été dit ci-dessus, on calculera le taux de fatigue du béton en faisant le quotient de la force de compression par l'aire totale de cette section. Le taux de fatigue dans une armature, rapportée à son aire réelle, sera égal audit quotient multiplié par le coefficient m .

Le tout, sous réserve des dispositions des articles 10 et 11 ci-après.

B. Pièces soumises à une traction simple.

On admettra que les armatures longitudinales supportent seules l'effort total de traction**.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

La seule difficulté est de fixer le coefficient de majoration m , rapport des coefficients d'élasticité des armatures et du béton. On sait que E_s demeure au voisinage de $2,2 \times 10^4$. Mais on est beaucoup moins bien fixé sur la valeur de E_b à prendre en compte. Cela tient à ce qu'elle est assez variable suivant la composition du béton employé, et que, pour un béton déterminé, elle varie avec son âge, les conditions de son emploi, la nature, la grandeur et la durée d'application des efforts supportés.

Les limites extrêmes habituellement envisagées sont $1,5 \times 10^4$ et 4×10^4 .

Les instructions de 1906 admettaient que m était compris entre 8 et 15 et donnaient quelques indications pour le déterminer dans ces limites.

Il ne semble pas y avoir inconvénient à adopter un chiffre unique et à prendre $m=10$, au moins d'une manière courante, pour les bétons ordinaires, à l'âge où ils se trouvent au moment de la mise en service des ouvrages.

Au surplus, ce coefficient étant un simple élément de calcul, il reste toujours loisible aux Ingénieurs de proposer un coefficient m différent de 10, quand ils estiment que ce coefficient n'est pas en rapport avec la qualité du béton employé par eux, ou avec les circonstances en vue desquelles ils effectuent leurs calculs.

ARTICLE 9

*Cet article, comme les suivants, ne vise qu'à la justification des dispositions essentielles d'un ouvrage, supposées préalablement déterminées.

**La règle posée à l'article 9 B est une règle de prudence qui s'explique d'elle-même. Elle ne prétend aucunement à définir le système réel des tensions sur toute la longueur de la pièce, car les sections où le béton se trouve réellement fissuré en totalité sont très exceptionnelles.

Il peut être quelquefois utile d'avoir, pour les sections demeurées saines, une détermination au moins approchée des tensions réelles dans le béton et les armatures. On pourra valablement recourir à un calcul analogue à celui qui a été indiqué au paragraphe A pour la compression, tant que la fatigue trouvée pour le béton restera inférieure à sa limite élastique à la traction, laquelle peut être évaluée entre 20 et 25 kilogrammes par centimètre carré pour les bétons ordinaires visés dans les commentaires de l'article 2. Au delà, il faudrait appliquer la règle de Considère sur l'étirage du béton associé aux armatures.

Il est recommandable, toutes les fois que cela est possible, de prendre des dispositions telles que le béton tendu n'entre pas dans sa phase d'étirage.

INSTRUCTIONS

C. Pièces soumises à une flexion simple ou composée.

a. Effets de l'effort normal et du moment fléchissant.

Si l'application des règles usuelles de la résistance des matériaux à la section « rendue homogène » fait reconnaître qu'il n'y a nulle part de traction dans le béton, on admettra que la distribution réelle des tensions normales à la section est conforme à celle fournie par ces règles.

Dans le cas contraire, on envisagera une section réduite, obtenu par la suppression d'une certaine tranche de béton et on vérifiera que cette section réduite satisfait à la condition précédente***.

b. Effet de l'effort tranchant.

En ce qui concerne l'effort tranchant, on envisagera la section réduite précédente et la répartition des tensions tangentielles en ses différents points sera déduite des règles usuelles de la résistance des matériaux ou de règles équivalentes.

La connaissance simultanée des tensions normales et tangentielles en différents points de la section permettra de poursuivre, s'il y a lieu, la recherche en ces mêmes points des tensions principales et de leurs directions, ainsi que des tensions tangentielles maxima et de leurs directions.

Sauf exceptions justifiées, on devra prévoir un dispositif d'armatures transversales, capable de résister à lui seul aux efforts qu'on peut envisager comme conséquence des fissurations possibles du béton****.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

*** Lorsque l'on se trouve dans le cas visé au second alinéa du paragraphe C-a, il existe une section réduite particulière, telle que, à la limite du béton conservé, il n'y aurait théoriquement ni traction, ni compression. Il peut être commode, dans certains cas simples, de déterminer cette section particulière au moyen de l'équation de condition qui la définit et dont des exemples figurent en annexe aux présentes instructions. Mais dans le cas général, cette équation est compliquée et sa résolution exacte est sans intérêt. Toute section réduite suffisamment approchée, soit par excès, soit par défaut, conduit en pratique sensiblement aux mêmes résultats pour les fatigues des armatures tendues et du béton comprimé. Du reste, les variations de ces fatigues sont alors extrêmement lentes au regard de celle de la section réduite elle-même.

En conséquence, les instructions n'exigent rien en ce qui concerne le travail préalable de recherche d'une section réduite convenable, travail qui peut être conduit, au gré de chacun, par l'un quelconque des moyens à sa disposition : précédents, tableaux, abaques, etc.

La seule chose qui soit demandée et qui, seule, importe, c'est de vérifier directement, par les procédés les plus usuels, que la section réduite admise satisfait bien à la condition de sécurité imposée et ne comporte aucune traction dans le béton pris en compte.

**** En prescrivant que dans les calculs de répartition de l'effort tranchant, on prendra en compte la section réduite au lieu de la section entière, on néglige ce fait que le maximum correspondant à la section entière est un peu plus élevé que celui correspondant à la section réduite. On a voulu ainsi simplifier un peu les calculs, les rendre en outre cohérents avec ceux qui concernent les tensions normales et enfin ne pas réformer sans nécessité réelle des habitudes acquises.

On ne saurait trop insister sur l'utilité d'un dispositif d'armatures transversales qui soit capable à lui seul de résister aux efforts de traction ou de cisaillement qui se produisent comme conséquences de l'effort tranchant dans la masse du béton, particulièrement au voisinage de la fibre neutre, ou à la naissance des tables horizontales ou des hourdis.

On ne doit admettre d'exception à cette règle qu'en cas d'impossibilité pratique, comme cela arrive pour les hourdis minces. Dans ce cas, il est d'ailleurs généralement possible de satisfaire largement aux conditions limites de fatigue de l'article 2.

Enfin, il est bien entendu que le dispositif des armatures transversales peut être agencé de diverses manières et que, pour atteindre le but poursuivi, on fera état, dans la mesure convenable, des éléments de la construction qui sont considérés comme devant demeurer sains, même après que des fissures seraient apparues dans les directions présumées dangereuses.

INSTRUCTIONS

c. Adhérence des armatures et du béton.

Il est nécessaire également de vérifier les efforts d'adhérence qui s'exercent suivant la surface de contact des armatures principales tendues et du béton en les calculant sur la même section réduite que précédemment. Cette vérification se fera d'après les mêmes principes****

ARTICLE 10

Flambement.

Pour les pièces comprimées, on s'assurera qu'elles ne sont pas exposées à flamber. Toutefois, on pourra s'en dispenser pour les pièces dont l'élanement (rapport de la hauteur à la plus faible dimension transversale) est inférieur à 20 et dont la fatigue à la compression ne dépasse pas la limite définie à l'article 2*.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

Ces armatures devront chevaucher les armatures principales de la partie tendue et être solidement ancrées dans la zone du béton comprimé.

Si l'on a recours à des étriers normaux à l'axe longitudinal de la pièce, leur espacement ne devra pas dépasser $\frac{4}{5}$ ^{me} de la hauteur de cette pièce. Il est recommandable, dans ce cas, de prendre des dispositions telles que les efforts de traction et de cisaillement du béton, calculés indépendamment des armatures transversales, ne dépassent pas 2,5 fois les limites permises à l'article 2.

****En ce qui concerne l'adhérence, il est souvent possible de réaliser une bonne solidarité des armatures avec une masse de béton située au delà de la zone des décollements à craindre, soit en assurant la continuité de ces armatures lorsqu'ils s'agit de poutres à plusieurs travées, soit en munissant l'extrémité des armatures de crochets satisfaisant aux conditions de l'article 15 ci-après et intéressant en outre une masse de béton aussi grande que possible. S'il en est ainsi, on pourra majorer la limite de fatigue définie à l'article 2 et la multiplier par un coefficient variable suivant les dispositions prises et limité à un maximum qui peut être fixé à 2,5 dans le cas de barres continues, et à 2 dans les autres cas.

ARTICLE 10

*On peut faire usage de la règle Rankine qui, dans les circonstances ordinaires, se traduit par l'inégalité suivante :

$$\frac{N}{S} \left(1 + \frac{Kl^2}{10.000 r^2} \right) \leq R_0$$

N est l'effort de compression, l est la longueur de la pièce;

r est le rayon de giration minimum de la section transversale, R₀ est la limite de fatigue admise pour le béton et K est un coefficient numérique qui dépend des conditions auxquelles la pièce est soumise à ses extrémités et qui a les valeurs ci-après :

K = 1 (pièce articulée aux 2 bouts);

K = 1/4 (pièce encastrée aux deux bouts);

K = 1/2 (pièce encastrée à 1 bout, articulée à l'autre);

K = 4 (pièce encastrée à 1 bout, libre à l'autre).

On pourra prendre des valeurs intermédiaires pour tenir compte de l'imperfection des encastremets.

Si la pièce est soumise, en même temps qu'à l'effort de compression N, à un moment fléchissant M non négligeable, on généralisera la règle de Rankine, en ajoutant au premier membre de l'inégalité ci-dessus, le terme $\frac{Mh}{I}$ qui représente la fatigue maxima à la flexion.

INSTRUCTIONS

Dans les pièces comprimées, des liaisons efficaces, espacées au maximum de douze fois le diamètre des armatures longitudinales, seront réalisées entre ces armatures**.

ARTICLE 11

Frettage.

Lorsque le béton sera fretté, c'est-à-dire lorsqu'il comportera des armatures spéciales disposées de manière à s'opposer plus ou moins à son gonflement sous l'influence de la compression longitudinale qu'il supporte, on admettra pour le béton une majoration de sa résistance à la compression.

Cette majoration tiendra compte à la fois du volume et des formes de ces armatures spéciales.

En aucun cas, la nouvelle limite de fatigue admise ne devra dépasser les soixante centièmes (0,60) de la résistance à la rupture à la compression telle qu'elle est définie à l'article 2.

ARTICLE 12

Distances minima des armatures entre elles et aux parois des coffrages

Les distances des armatures principales entre elles et aux parois des coffrages seront suffisantes pour permettre l'accès facile autour de chacune d'elles des plus gros éléments employés dans la constitution du béton, ainsi que le remplissage de tous les vides.

Les distances des armatures aux parois ne descendront pas au-dessous de 35 mm. s'il s'agit d'ouvrages à la mer, ou de 20 mm. s'il s'agit d'autres ouvrages.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

**On ne considérera pas comme efficaces de simples liaisons exécutées au moyen de fils d'un diamètre inférieur à 3 millimètres.

ARTICLE 11

On pourra admettre que les armatures transversales et les frettages multiplient la résistance à l'écrasement d'un prisme de béton par un coefficient de la forme :

$$1 + m' \frac{V'}{V}$$

V' étant le volume des armatures transversales ou des frettages, V le volume du béton pour une même longueur du prisme et m' un coefficient variable d'après les dispositions adoptées.

Ce coefficient m' doit d'abord tenir compte de l'espacement e des frettages, ou des groupes d'armatures transversales. On peut admettre qu'il n'y a plus de frettage efficace lorsque le rapport de cet espacement e , à la plus petite dimension transversale b de la pièce, est supérieur à 1/2.

En conséquence, une formule de la forme :

$$m' = \mu \left(1 - 2 \frac{e}{b} \right) \text{ paraît appropriée.}$$

Quant au coefficient μ , on le prendra égal à 55 dans le cas de frettages hélicoïdaux continus, dans le cas de frettages circulaires formant des anneaux complets, ou bien encore dans le cas d'un quadrillage de deux nappes de barres repliées et formant dans chacune de ces nappes une suite d'épingles à cheveux alternées (e représente dans ce cas la distance de deux nappes de même orientation).

On prendra $\mu = 30$ dans le cas de frettages rectangulaires fermés, pourvu que le rapport de la plus grande dimension à la plus petite n'exécède pas 1,5.

ARTICLE 12

Ces prescriptions ne s'appliquent pas aux croisements d'armatures principales ayant des directions différentes, ni aux croisements des armatures principales avec les armatures transversales (ou étriers), ni aux distances de ces dernières avec les coffrages.

En général, lorsqu'il s'agit d'armatures principales isolées, ces prescriptions exigent que les distances des armatures entre elles et aux parois des coffrages soient au moins égales au diamètre des plus gros éléments du béton augmenté de 5 millimètres.

Il est rappelé que le taux de fatigue admis pour l'adhérence à l'article 2 suppose d'autre part que les armatures sont à une distance de la surface libre du béton au moins égale à leur diamètre.

INSTRUCTIONS

ARTICLE 13

Courbure des armatures.

Le rayon de courbure intérieur des crochets placés à l'extrémité des armatures ne devra pas descendre au-dessous de deux fois le diamètre de ces armatures. En dehors de ce cas, les armatures pliées ou cintrées seront tracées avec des rayons de courbure intérieure au moins égaux à dix fois leur diamètre. En outre, elles seront maintenues par des ancrages, ou par des frettages spéciaux, aux points où les réactions latérales correspondant à leur courbure tendraient à chasser vers l'extérieur le béton qui les entoure.

ARTICLE 14

Nervure associée à un hourdis.

La largeur du hourdis à prendre en compte de chaque côté de la nervure ne doit pas dépasser la moitié de l'intervalle existant entre deux poutres parallèles, ni le sixième de la portée de la poutre.

ARTICLE 15

Règles relatives aux dalles et hourdis de forme rectangulaire.

Les dalles et hourdis de forme rectangulaire doivent être munis de deux séries d'armatures orthogonales.

Les armatures secondaires, ou armatures de répartition, disposées dans le sens de la plus grande portée, doivent en général avoir par mètre courant une section totale au moins égale à la moitié de la section par mètre courant des armatures principales disposées dans le sens de la plus faible portée.

La distance d'axe en axe des armatures ne doit pas dépasser le double de l'épaisseur de la dalle en ce qui concerne les armatures principales, ou le triple de cette même épaisseur en ce qui concerne les armatures secondaires.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

Lorsque certaines nécessités constructives conduiront à s'écarter des règles ainsi tracées, et conduiront notamment à prévoir la réunion de certaines armatures en paquets avec contact des unes aux autres, les Ingénieurs devront faire des propositions spéciales pour le taux d'adhérence à admettre pour chaque paquet, en réduisant d'ailleurs pour chacun des paquets la surface de contact utile à la surface convexe minima qui peut lui être circonscrite.

ARTICLE 13

ARTICLE 14

Les deux règles ci-contre sont inspirées de celles qui étaient formulées dans les précédentes instructions.

On conserve sans changement celle qui était basée sur la considération de la portée de la poutre. On admet, d'autre part, que pour des poutres suffisamment rapprochées tout le hourdis intermédiaire puisse être intéressé dans la flexion.

On abandonne enfin toute limitation basée sur la considération de l'épaisseur du hourdis, étant donné que les règles à suivre pour l'effort tranchant et le cisaillement à la jonction du hourdis et de la nervure conduiront automatiquement à une limitation efficace.

ARTICLE 15

Dans les conditions indiquées ci-contre, on pourra admettre pour le calcul des moments fléchissants et des efforts tranchants les règles applicables aux dalles d'épaisseur constante et formées d'un matériau homogène.

Les inégalités de constitution des sections n'interviendront que pour le calcul des fatigues locales.

Dans les mêmes conditions, on pourra admettre que toute charge localisée agissant à la surface de la dalle sur un petit rectangle de dimensions données équivaut à une charge uniformément répartie agissant sur le plan moyen de la dalle et suivant un rectangle dont les dimensions seront celles du précédent, augmentées de l'épaisseur de la dalle.

Si la charge est transmise à la surface de la dalle par l'intermédiaire d'un remblai, d'un ballast, ou d'une couche de béton, on pourra admettre, en outre, que les dimensions du rectangle d'application sont augmentées de deux fois l'épaisseur de la couche repartitrice intermédiaire.

INSTRUCTIONS

TITRE III

Mode d'exécution et épreuves des ouvrages

ARTICLE 16

Mode d'exécution des ouvrages.

Le béton armé sera exécuté conformément aux prescriptions du cahier des charges général pour les travaux dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées.

ARTICLE 17

Epreuves des ouvrages.

(Le premier alinéa est abrogé par la circulaire ministérielle N° 30 du 5 avril 1958).

Les combles seront éprouvés de la manière prescrite par les règlements en vigueur sur les halles de chemin de fer.

Les planchers seront soumis à une épreuve consistant à appliquer les charges et surcharges prévues soit à la totalité du plancher, soit au moins à une travée entière.

COMMENTAIRES EXPLICATIFS

TITRE III

Mode d'exécution et épreuves des ouvrages

ARTICLE 16

Il convient de rappeler à nouveau que le béton armé ne vaut que par la perfection de son exécution. Les accidents survenus sont, en général, dus à la médiocre qualité des matériaux ou à leur mauvais emploi. Il importe donc d'exercer une surveillance toute spéciale sur la provenance, la qualité des matériaux, leur dosage, celui de l'eau employée à la confection du béton, le damage, le bourrage du béton le long des armatures, le solide arrimage de celles-ci, etc.

Il est indiqué, en particulier, qu'il faut veiller avec le plus grand soin à l'étude et à l'exécution des surfaces de reprises du béton, à travers lesquelles la transmission des efforts de cisaillement doit être assurée par les armatures générales et au besoin par des barres spéciales.

ARTICLE 17

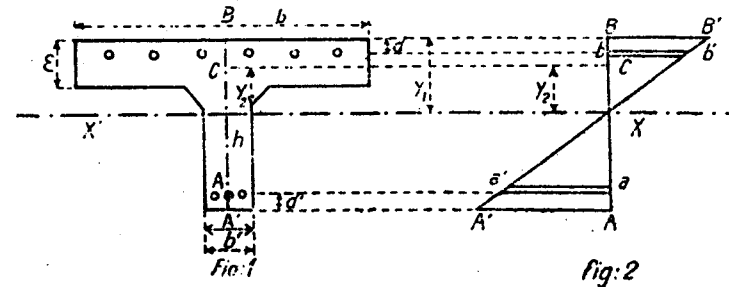
Pour les ouvrages de quelque importance, il est recommandé d'employer des appareils enregistreurs pour la constatation des flèches.

EXEMPLES DE CALCULS
POUR
L'APPLICATION DES NOUVELLES INSTRUCTIONS
RELATIVES
A L'EMPLOI DU BÉTON ARMÉ

CALCUL D'UNE NERVURE ASSOCIÉE A UN HOURDIS

Effets de l'effort normal et du moment fléchissant.

Soit un hourdis (fig. 1) assimilé à un simple T, dont la hauteur est h , la largeur d'aile b , la largeur de la nervure b' , l'épaisseur d'aile ϵ et dont l'armature du côté de la compression à une section totale ω , sa distance moyenne au parement comprimé étant d , et celle du côté de l'exten-



sion, une section ω' , à une distance moyenne d' du parement tendu. Si la première n'existait pas, on ferait $\omega = d$.

Soit y_1 , la distance inconnue de l'axe neutre $X'X$ au parement com-

primé B. Sur la figure 2 la section du hourdis est projetée suivant la droite AB. Les ordonnées de la droite XB' représentent les compressions du béton et, au facteur m près, l'ordonnée bb' représente la compression de l'armature comprimée et aa' représente la tension de l'armature tendue. Soit K le coefficient angulaire de la droite B'XA' ou la tangente trigonométrique de l'angle B'XB.

a. *Flexion simple.* — S'il s'agit de la flexion simple $N=0$, en écrivant que les forces élastiques se réduisent au couple de flexion M , c'est-à-dire que leur somme est nulle et que la somme de leurs moments relativement à n'importe quel point, par exemple au point B est égale à M , on obtient pour déterminer la distance $XB = y_1$ de l'axe neutre à la face comprimée, l'équation du second degré :

$$(1) \quad 0 = \frac{b'y_1^2}{2} + (b-b')\varepsilon\left(y_1 - \frac{\varepsilon}{2}\right) + m\omega(y_1-d) - m\omega'(h-d'-y_1)$$

puis, pour déterminer le coefficient angulaire K :

$$(2) \quad \frac{M}{K} = \frac{b'y_1^3}{6} + (b-b')\varepsilon^2\left(\frac{y_1}{2} - \frac{\varepsilon}{3}\right) + m\omega(y_1-d)d - m\omega'(h-d'-y_1)(h-d'),$$

où le second membre est connu, ainsi que M .

Ces formules supposent implicitement que l'axe neutre tombe dans la nervure. S'il tombe dans le hourdis, il suffit dans les formules précédentes de faire $b' = b$, ce qui donne :

$$(3) \quad 0 = \frac{by_1^2}{2} + m\omega(y_1-d) - m\omega'(h-d'-y_1);$$

$$(4) \quad \frac{M}{K} = \frac{by_1^3}{6} + m\omega(y_1-d)d - m\omega'(h-d'-y_1)(h-d').$$

Pour savoir où tombera la fibre neutre et, par conséquent, si c'est la formule (1) ou celle (3) qui déterminera la position de la fibre neutre, il suffit, dans le second membre de (1) de remplacer y_1 par ε , ce qui donne :

$$\frac{b\varepsilon^2}{2} + m\omega(\varepsilon-d) - m\omega'(h-d'-\varepsilon).$$

Si la valeur numérique de cette expression est positive, l'axe neutre

tombe dans le hourdis et se détermine par la formule (3). C'est l'inverse si cette valeur numérique est négative.

Les formules (3) et (4) s'appliquent aussi à une section rectangulaire de base b et de hauteur h .

Quand on a déterminé les deux inconnues y_1 et K , on aura pour la compression maximum R_b du béton :

$$(5) \quad R_b = Ky_1$$

pour la compression R_a et l'extension R'_a des armatures :

$$(6) \quad \begin{cases} R_a = mK(y_1 - d); \\ R'_a = mK(h - d' - y_1). \end{cases}$$

b. *Flexion composée.* — On connaît dans ce cas la compression N et la position du centre de pression C , point d'application de la résultante des forces extérieures. Désignons par c la distance de ce point à la face comprimée, cette distance étant comptée positivement si C tombe dans la section, négativement dans le cas contraire. Il paraît plus commode ici de déterminer la position de la fibre neutre par sa distance $XC = y_2$ au centre de pression C que par sa distance y_1 au parement comprimé. On écrira que la résultante des forces élastiques coïncide avec N . Donc, la somme des moments des forces élastiques par rapport au point C est nulle, ce qui donne une équation du troisième degré servant à déterminer y_2 , c'est-à-dire la position de l'axe neutre X'XC. Cette équation, dans le cas où cette axe tombe dans la nervure, est la suivante :

$$(7) \quad \frac{b'y_2^3}{6} - b\left[\frac{c^2}{2}y_2 + \frac{c^3}{3}\right] + (b-b')\left[\frac{(-c+\varepsilon)^2}{2}y_2 - \frac{(-c+\varepsilon)^3}{3}\right] + m\omega(y_2+c-d)(-c+d) - m\omega'(h-d'-c-y_2)(h-d'-c) = 0.$$

On voit que cette équation est de la forme :

$$(8) \quad y_2^3 + py_2 + q = 0,$$

les coefficients numériquement connus p et q ayant les expressions suivantes :

$$(9) \quad \begin{cases} p = -\frac{3b}{b'}c^2 + 3\left(\frac{b}{b'} - 1\right)(c - \varepsilon)^2 - \frac{6m\omega}{b'}(c - d) + \frac{6m\omega'}{b'}(h - d' - c); \\ q = -\frac{2b}{b'}c^3 + 2\left(\frac{b}{b'} - 1\right)(c - \varepsilon)^2 - \frac{6m\omega}{b'}(c - d)^2 - \frac{6m\omega'}{b'}(h - d' - c)^2. \end{cases}$$

Le terme en y_2^2 manque, ce qui facilite la résolution de l'équation et justifie l'emploi fait de l'inconnue y_2 .

Quand y_2 a été trouvée, on obtient l'inconnue auxiliaire K immédiatement par l'équation :

$$(10) \quad \frac{N}{K} = \frac{b'y_2^2}{2} + bc\left(y_2 + \frac{c}{2}\right) + (b - b')\left[(-c + \varepsilon)y_2 - \frac{(-c + \varepsilon)^2}{2}\right] + m\omega[y_2 + c - d] - m\omega'[h - d' - c - y_2],$$

où le second membre est connu, ainsi que N .

Ces formules supposent que l'axe neutre tombe dans la nervure. S'il tombe dans le hourdis, comme aussi dans le cas d'une section rectangulaire de base b et de hauteur h , il suffit d'y faire $b' = b$, ce qui donne :

$$(11) \quad p = -3c^2 - \frac{6m\omega}{b}(c - d) + \frac{6m\omega'}{b}(h - d' - c);$$

$$(12) \quad q = -2c^3 - \frac{6m\omega}{b}(c - d)^2 - \frac{6m\omega'}{b}(h - d' - c)^2.$$

Enfin, dans le cas d'un hourdis, pour savoir si l'axe neutre tombe dans la nervure ou dans le hourdis, il suffira de vérifier si le premier membre de l'équation (8) a, ou non, des signes contraires, aux deux extrémités de la nervure.

Quand les inconnues y_2 et K sont déterminées, on tirera de la première :

$$(13) \quad y_1 = y_2 + c,$$

pour la distance de l'axe neutre au parement comprimé, et alors la compression R_c du béton, la compression R_a et la tension R_t des armatures par unité de surface, se déterminent par les formules (5) et (6).