

P R E S C R I P T I O N S
C O N C E R N A N T L E C A L C U L D E S O U V R A G E S M I X T E S
A C I E R - B E T O N

(Ponts routiers de portée moyenne -
Circulaire d - 10 944 du 25 Mars 1966)

I - PREAMBULE :

Les présentes "Prescriptions" s'appliquent aux ponts-routes de portée moyenne (1) dont l'ossature est constituée par des poutres en acier et une dalle en béton armé ou en béton précontraint, solidarisées à leur jonction par des organes dits connecteurs assurant le fonctionnement monolithique de l'ensemble (2). Les ossatures ainsi constituées sont dites en "construction mixte".

Ces "Prescriptions" ne s'appliquent pas aux ouvrages en poutrelles enrobées, ni aux ouvrages dans lesquels il ne serait pas pris des précautions suffisantes pour empêcher toute possibilité de glissement relatif du métal et du béton (3).

2 - REGLEMENTS APPLICABLES :

2.1 - Fascicule 61 (Titres I à VI du Cahier des Prescriptions Communes)
(Annexe II à la circulaire n° 70 du 14 Novembre 1964).

Contrairement à leurs préambules, on appliquera les prescriptions des titres V et VI de ce fascicule, sous réserve des dérogations admises aux articles 3.1, 4.1 et 4.4 ci-après.

2.2 - Surcharges militaires

Une note de la Direction des Routes sera prochainement diffusée en ce qui concerne les surcharges à prendre en compte, et les contraintes limites à accepter dans les diverses catégories de structures.

-
- (1) - Par ponts-routes de portée moyenne on entend ceux dans lesquels la travée la plus longue ne dépasse pas 60 mètres.
 - (2) - Cette définition ne permet pas de considérer qu'une ferme principale puisse être alternativement en construction mixte dans certaines sections et en construction métallique dans d'autres sections; mais elle n'exclut pas que certaines autres pièces des tabliers, telles par exemple que les entretoises, puissent être indépendantes de la dalle.
 - (3) - Ces derniers ouvrages seraient à considérer comme exclusivement métalliques.

2.3 - Circulaire du 12 Août 1965 - "Instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint" dans les ouvrages dépendant du Ministère des Travaux Publics et des Transports.

3 - VALEUR DES COEFFICIENTS D'EQUIVALENCE ACIER-BETON :

3.1 - Ossature mixte - Il ne sera pas fait application du paragraphe 3 de l'article 15 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C. Les dispositions des autres paragraphes de cet article sont modifiées comme suit :

Les coefficients d'équivalence (rapports du module d'élasticité longitudinal de l'acier à celui du béton) seront pris égaux à :

- n = 6 pour l'étude de l'action des charges instantanées (surcharges civiles et militaires, freinage, vent ...)
- n = 15 pour l'étude de l'action du retrait et des variations de température (1)
- n = 18 pour l'étude de l'action des charges de longue durée (supérieure à 24 h) appliquées postérieurement à la solidarisation effective de l'acier et du béton. Ce coefficient tient compte forfaitairement du fluage.

Ces coefficients sont applicables aux armatures longitudinales de la dalle aussi bien qu'à l'ossature métallique, pour le calcul des contraintes de flexion générale définies au paragraphe 4.2 ci-après.

3.2 - Effets locaux dans la dalle : Pour le calcul des contraintes de flexion locale dans la dalle, tant dans le sens longitudinal que transversal, on appliquera intégralement l'article 15 précité, si la dalle est en béton armé, et en particulier on adoptera n = 15.

4 - CONTRAINTES ADMISSIBLES :

4.1 - Pondération des contraintes sous surcharges civiles

4.1.1 - Les contraintes s'exerçant dans le béton précontraint ne seront pas pondérées (2).

4.1.2 - Les contraintes s'exerçant dans le béton armé et dans l'acier seront pondérées suivant les prescriptions des paragraphes 3 et 4

-
- (1) - Dans un but de simplification, il est admis de prendre dans ce cas n = 18 comme dans le cas des charges de longue durée, en majorant de 20 % les raccourcissements fixés par l'article 5.3 ci-après.
 - (2) - Il est rappelé que les commentaires de l'article 9 de l'Instruction provisoire sur l'emploi du béton précontraint indiquent les valeurs à prendre en compte pour le module de déformation du béton.

de l'article 8 du titre V et de l'article 5 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C., mais la notation T désignera ici les contraintes développées par l'action du retrait et des variations d'ensemble ou différentielles de la température. C'est la combinaison des sollicitations la plus défavorable qui devra être prise en compte. Les sollicitations du second genre, définies à l'article 5 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C. ne seront pas prises en considération.

4.1.3 - Les couvertures métalliques ou en tôle générale associée à du béton armé seront justifiées par référence à l'expérience, tant en ce qui concerne la résistance au poinçonnement qu'à la flexion locale.

4.2 - Béton pour béton armé :

Sauf prescriptions contraires du C.P.S., la résistance exigée du béton à la compression, telle qu'elle est définie au C.P.C. fascicule 61, titre VI, article 6, sera, pour les ponts courants d'autoroutes, au moins égale à 300 bars sur cylindre à 28 jours.

4.2.1 - Contraintes normales dans la dalle soumise à la flexion simple en tant que hourdis (flexion locale) ou soumise à la flexion composée sous l'effet combiné des flexions générale et locale.

- maximum - cf. l'article 6, paragraphe 4 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C. le coefficient β étant pris égal à 1; étant entendu que les bétons utilisés seront, soit des bétons courants strictement contrôlés, soit des bétons de qualité, soit même des bétons exceptionnels (1)

- le béton tendu sera supposé fissuré.

4.2.2 - Contraintes normales dans la dalle jouant le rôle de membrure de la poutre mixte (flexion générale seule).

- maximum - cf. l'article 6, paragraphe 4 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C., la qualité du béton devant permettre d'adopter la valeur 1 pour le coefficient β (2).

-
- (1) - Toutefois pour les ponts courants d'autoroutes le C.P.S. pourra dispenser de faire la vérification des contraintes sous l'effet combiné des flexions générale et locale en considérant sous la flexion locale seule une contrainte admissible du béton égale à 150 bars, sous réserve que la portée de la travée la plus longue de l'ouvrage soit inférieure à 50 mètres, que le grand côté des dalles se trouve dans le sens de l'axe longitudinal de l'ouvrage et que la portée du petit côté des dalles ne dépasse pas 4 m.
- (2) - Toutefois, à titre de simplification, pour les ponts courants d'autoroutes, le C.P.S. pourra autoriser de prendre en compte une contrainte admissible de 100 bars.

- minimum -

- à vide : le C.P.S fixe la variation linéaire tenant compte, en tout ou partie, du retrait et des variations de température qui, combinée à l'action des charges permanentes ne doit provoquer aucune traction dans le béton de la dalle, sauf aux appuis extrêmes (1) (2).
- en charge (pour l'effet cumulé des charges et variations linéaires de toutes natures) :
 - a) - la stabilité de la section droite, soumise globalement à l'action des moments extérieurs, des moments hyperstatiques dus à l'action du retrait, et des actions dues aux variations de la température, devra être assurée en supposant que le béton tendu est fissuré, les armatures tendues étant cependant prises en compte dans la section réduite
 - b) - il n'est pas fixé, dans les présentes Prescriptions, de contrainte limite pour la traction du béton (calculée en supposant que celui-ci résiste à la traction). Toutefois les Ingénieurs devront en imposer une dans le C.P.S. dans les cas d'espèce ou ils l'estimeront nécessaire
 - c) - le béton tendu devra être armé dans les conditions précisées en 4.3 (3).

Cooper.
Fr. An

4.2.3 - Contraintes de cisaillement admissible du béton et valeurs admissibles des contraintes d'adhérence du béton aux armatures (en t/m²). Ce seront les valeurs résultant du titre VI du fascicule 61 du C.P.C. (article 19, paragraphe 1.2.1 et 2.2.1; article 21, paragraphe 1.4; articles 23 et 24) la qualité du béton devant permettre d'adopter la valeur 1 pour le coefficient β (4).

4.2.4 - Valeurs admissibles des efforts de liaison des connecteurs au béton : elles seront déterminées, pour les types de connecteurs les plus courants (goujons, ancrages en forme de coude), à partir des résultats d'essais déjà publiés. Les concurrents auront la faculté de présenter d'autres types de connecteurs, mais ils auront en ce cas la charge de rassembler ou constituer les justifications nécessaires, notamment de procéder aux essais préalables indispensables.

-
- (1) - Le respect d'une telle condition implique pour certains types d'ouvrages la nécessité de procéder à une précontrainte ou précompression de certaines zones de la dalle, comme prévu à l'article 7.
 - (2) - Les valeurs à adopter pour cette variation linéaire sont celles fixées à l'article 5.3 ci-dessous.
 - (3) - Dans le cas où les ferraillements ainsi déterminés ne seraient pas réalisables dans de bonnes conditions, il sera nécessaire de procéder à une précontrainte ou précompression des zones de la dalle trop fortement tendues.
 - (4) - Toutefois, à titre de simplification, pour les ponts courants d'autoroutes, le C.P.S pourra autoriser de prendre en compte $\sigma'_b = 7,3$ bars.

4.2 bis - Béton pour béton précontraint :

La résistance du béton à la compression, définie et fixée à l'article 4.2 ci-dessus pour les ponts courants d'autoroutes sera censée correspondre à 300 bars sur cylindres à 28 jours (1).

Une résistance exigée différente pourra être prescrite par le C.P.S, soit pour l'ensemble de la dalle, soit pour les seules zones d'ancrage.

Les contraintes admissibles sont définies dans l'Instruction provisoire relative à l'emploi du béton précontraint, étant précisé qu'il doit être tenu compte des effets de longue durée et qu'il ne doit se produire aucune traction dans le béton, dans tous les cas de charge ou de surcharge (2). Les variations linéaires à prendre en compte dans les calculs de l'ossature mixte seront les mêmes que pour le béton armé.

4.3 - Armatures du béton armé :

La contrainte de traction des armatures que l'on calculera sera celle de l'armature la plus éloignée de l'axe neutre.

De façon à limiter le risque de fissuration du béton jouant le rôle de membrure supérieure de la poutre mixte et susceptible d'être tendu en charge :

- a) - Il sera fait usage de ciment Portland CPA 325 NF.P15 302.
- b) - Il ne sera en principe pas admis de reprise transversale de bétonnage. Cependant, dans le cas où cette prescription conduirait à des difficultés importantes d'exécution, le C.P.S pourra autoriser de telles reprises, mais uniquement dans les zones de béton qui ne peuvent pas être tendues en flexion générale.
- c) - Sous l'effet de la flexion générale seule, dans le calcul direct et global de section défini à l'article 4.2.2, paragraphe a) ci-dessus, le béton tendu étant réputé inexistant, la contrainte de traction des armatures devra rester inférieure, d'une part à $\frac{2}{3} \sigma'$ en

(1) Note du S.S.A.R. : cette phrase qui a eu pour objet à l'origine d'établir une correspondance entre 300 bars sur cylindres à 28 jours (BA) et 400 bars sur cubes à 90 jours (BP) est devenue sans objet depuis que le béton précontraint est défini par la résistance sur cylindre à 28 jours. Il y a lieu de la remplacer par la première phrase de l'article 4.2.

(2) Note du S.S.A.R. : seuls les efforts de flexion générale et de compression seront à considérer ici. Pour flexion locale, voir article 7.1.

d'autre part à la plus grande des deux valeurs admissibles que l'on calculera selon le commentaire de l'article 42 du titre VI, fascicule 61 du C.P.C. La valeur du coefficient k sera fixée par le C.P.S à la troisième ou à la seconde des valeurs numériques données par ce commentaire, en fonction notamment de l'importance de l'ouvrage et de ses conditions d'exploitation.

J. J. J.

Le ferrailage devra être aussi divisé que possible. Un calcul de répartition des efforts par le ferrailage sera spécialement fait pour les zones d'extrémité des poutres.

- d) - La non fragilité de la dalle en béton armé jouant le rôle de membrure supérieure de la poutre mixte sera vérifiée conformément à l'article 13 du titre VI du fascicule 61 du C.P.C.. En l'absence de tôle générale de couverture, ce calcul sera fait en comparant la totalité de la section de béton à la section des armatures seules, à l'exclusion des semelles de l'ossature. En présence d'une tôle générale le calcul sera fait en comparant la moitié supérieure de la section de béton à la section des armatures contenues dans cette moitié.
- e) - Les arrêts des armatures seront répartis de telle sorte que les efforts d'ancrage correspondants soient repris par les connecteurs.

4.4 - Acier des poutres :

Les valeurs admissibles des contraintes dans l'acier des poutres métalliques sont données par le titre V du fascicule 61 du C.P.C.. Toutefois, la contrainte de compression admissible pourra être portée à $3/4 N$ pour les membrures supérieures, à partir du moment où elles seront effectivement connectées sur du béton durci, sous réserve de justifier l'espacement des connecteurs.

5 - CALCULS :

L'intervention du retrait et du fluage entraîne dans le temps des modifications assez importantes dans la répartition des contraintes. Les justifications devront donc être données dans tous les états successifs de la vie de l'ouvrage et spécialement pour :

- a) - les états de montage et les charges permanentes partielles,
- b) - toutes les sollicitations à la mise en service de l'ouvrage,
- c) - toutes les sollicitations à l'achèvement du fluage et du retrait.

5.1 - Calcul des efforts :

5.1.1 - Poutres mixtes :

Les efforts sollicitant les poutres seront calculés en tenant compte de la variation de leur inertie (1).

Sauf dans le cas de poutres très écartées, les moments d'inertie seront calculés en associant toute la largeur de la dalle à l'ensemble des poutres. On pourra tenir compte du ferrailage moyen dans les dalles.

5.1.2 - Hourdis en béton armé ou en béton précontraint :

Les moments fléchissants à prendre en compte pour les dalles seront calculés conformément à l'article 32 paragraphe 2.2 du Titre VI du fascicule 61 du C.P.C ou à l'article 15 - § 2.3 de l'Instruction Provisoire relative à l'emploi du béton précontraint.

La vérification au cisaillement du béton des hourdis sera faite en appliquant la condition de non-poinçonnement sous forces localisées fixée par l'article 32-3 du titre VI, fascicule 61 du C.P.C en appliquant les prescriptions des articles 15-3 et 15-4 de l'Instruction Provisoire relative à l'emploi du béton précontraint. Le tout sous réserve de l'application des dispositions de l'article 4-2 et 4-2bis des présentes prescriptions.

5.1.3 - Entretoises :

Si les entretoises ne peuvent être considérées comme infiniment rigides, il sera justifié de la répartition transversale des efforts entre poutres, entretoises et dalle.

5.2 - Calcul des contraintes, largeur de la dalle participante :

Pour le calcul des contraintes, la largeur du hourdis en béton, qui sera supposée faire partie de la table de compression de la poutre mixte, d'un côté de cette poutre, et mesurée à partir de la file extérieure des connecteurs reliant le hourdis à la poutre d'acier, sera limitée par la plus défavorable des conditions suivantes :

- a) - la même zone de hourdis ne sera pas attribuée à deux poutres différentes,
- b) - la largeur en cause en devra pas dépasser :
 - le dixième de la portée de la travée intéressée,
 - le quart de la distance de la section considérée à l'extrémité de la poutre la plus rapprochée.

(1) - A titre de simplification, et seulement pour le calcul des efforts, on pourra supposer l'inertie constante lorsque les poutres métalliques seront de hauteur constante et que leur inertie variera au maximum dans le rapport de 1 à 2.

Il est rappelé que les sections elles-mêmes sont toujours calculées en tenant compte de leurs caractéristiques réelles.

On ne pourra tenir compte des armatures comprimées que si elles sont ligaturées tous les douze diamètres.

5.3 - Action du retrait et de la température

La liaison entre l'acier et le béton peut empêcher le retrait du béton de s'effectuer librement. De plus, une différence de température peut exister entre les deux matériaux. Il sera tenu compte des contraintes normales et tangentés qui en résultent.

A cet effet, on considérera qu'en France métropolitaine le raccourcissement relatif du béton supposé libre d'effectuer son retrait et de voir modifier sa longueur sous les effets thermiques peut prendre les deux valeurs suivantes :

0 et $3,5 \times 10^{-4}$ pour la moitié Nord et le quart Sud-Ouest de la France
ou $4,5 \times 10^{-4}$ pour le quart Sud-Est de la France.

La valeur supérieure pourra être réduite sans que cette réduction puisse dépasser 1×10^{-4} si le béton a effectué une partie de son retrait avant sa liaison à l'ossature métallique.

Il devra être spécialement tenu compte des réactions hyperstatiques d'appui que peut développer l'action du retrait et des variations d'ensemble et différentielles de la température.

Pour les ouvrages non librement dilatables, il sera fait application à l'ensemble de l'ouvrage des dispositions de l'article 3 du Titre VI du fascicule 61.

Pour le calcul des contraintes de compression, dans le béton, sous l'effet des surcharges, il sera loisible d'admettre qu'au moment de l'application de ces dernières, une partie du retrait a déjà fait son effet. La valeur de la variation linéaire correspondante pourra être prise égale à $1,5 \times 10^{-4}$ pourvu que le retrait, évalué d'après les courbes données dans l'annexe II de l'Instruction Provisoire relative à l'emploi du béton précontraint, ait au moins cette valeur, lors de la mise en service de l'ouvrage.

6 - CONNECTEURS :

6.1 - Règles générales :

Les connecteurs doivent empêcher le glissement relatif des deux matériaux, d'une part, et le soulèvement du béton par rapport à l'acier, d'autre part. Ils doivent jouer ce double rôle, même dans le cas et dans les zones où le béton serait tendu. Il en sera justifié dans la note de calcul.

Le glissement sera évalué en tenant compte :

- du béton comprimé,

- du béton tendu, seulement si sa tension est inférieure à 15 bars (1)
- de toutes les armatures ancrées ou en cours d'ancrage dans la zone considérée quelle que soit la contrainte du béton qui les entoure.

La répartition des connecteurs sera justifiée par rapport à la répartition des efforts de glissement.

Il ne sera pas tenu compte de l'adhérence entre le béton et la poutre en acier à leur surface de contact, non plus que de l'éventuel effet des têtes de rivets.

Les dispositifs constituant de simples butées susceptibles d'empêcher le glissement mais incapables de s'opposer au soulèvement du béton par rapport à l'acier ne seront pas considérés comme des connecteurs suffisants.

Les dispositifs pénétrant dans le béton en forme de coin ou d'étrave sont interdits.

Si les efforts sont susceptibles de changer de sens, les connecteurs devront être à même de fonctionner dans les deux sens.

6.2 - Dispositions supplémentaires particulières aux zones d'extrémité des poutres :

Dans les zones d'extrémité des poutres, les efforts de glissement entre l'acier et le béton dus aux charges appliquées après la liaison acier-béton, au retrait et à la variation de température, seront supposés répartis sur une longueur :

- a) - au moins égale à la largeur maximale prise en compte d'un côté de la poutre d'acier, résultant de l'article 5.2. qui précède,
- b) - limitée supérieurement par la plus petite des abscisses suivantes :
 - 1) - l'abscisse où les poutres métalliques cessent de pouvoir supporter à elles seules les efforts,
 - 2) - l'abscisse à laquelle la compression du béton passe par son premier maximum sous la flexion générale, réduite du triple de la largeur la plus grande prise en compte d'un côté de la poutre d'acier (2).

L'effort dû au retrait et à la variation de température sera calculé en multipliant la section du béton par une contrainte de traction supposée égale à

-
- (1) - La limitation supposée égale à 15 bars du béton a pour conséquence que dans une zone où s'applique cette limitation la contrainte du béton est constante et qu'aucun effort de glissement ne se produit du fait du béton; mais on doit négliger en aucun cas l'effort de glissement dû aux armatures, ni l'effort dû au béton dans les cas de charge où la traction du béton serait inférieure à 15 bars.
 - (2) - Dans le cas où il n'intervient pas d'autre correction géométrique, cette abscisse se situe donc à 1,5 fois la distance entre poutres avant la section où se produit la compression maximale.

30 bars; la section du béton sera dans ce calcul la section participante maximale le long de l'ouvrage. Il sera supposé réparti linéairement sur la longueur d'attache retenue et comparé à l'effort de glissement dû aux forces extérieures. On justifiera séparément les armatures et les connecteurs de la zone considérée en fonction de ces deux sollicitations, sans les cumuler entre elles lorsqu'elles sont de même signe, ni les retrancher l'une de l'autre lorsqu'elles sont de signes opposés (1).

7 - PRECONTRAINTE, PRECOMPRESSION :

Deux modes d'introduction de contraintes permanentes de compression dans le béton peuvent être adoptés :

7.1 - Utilisation d'organes de précontrainte :

Le béton ainsi traité devra être un béton précontraint au sens de l'article 1 de l'Instruction Provisoire relative à l'emploi du béton précontraint, sous réserve de la dérogation suivante :

Dans les hourdis en béton précontraint et sous l'action de la flexion locale seule, on pourra admettre la fissuration du béton pourvu que dans l'hypothèse d'une distribution linéaire des contraintes de compression, et de la fissuration complète du béton tendu, les armatures de précontrainte demeurent entièrement dans les zones comprimées de ce béton sous l'effet de la surcharge B, et que, sous l'effet des surcharges militaires, l'axe de chaque armature de précontrainte demeure dans les zones comprimées du béton.

Le coefficient de frottement entre l'acier et le béton sera pris égal à 0,4. On ne cumulera pas les résistances dues au frottement et à l'adhérence.

7.2 - Utilisation de dispositifs de montage :

Par des actions de dénivellation d'appui dans le cas des poutres continues, ou utilisation d'appuis intermédiaires provisoires, on peut introduire une précompression dans le béton.

Cette précompression sera étudiée et ses effets calculés dans toutes les phases de la construction. Le procédé choisi pour la réaliser sera précisé et analysé. Ses effets seront, en cours d'exécution contrôlés par pesées des réactions d'appuis.

(1) Note du S.S.A.R. - En général, à l'extrémité d'une poutre mixte, l'effort de glissement dû au retrait s'exerce dans le sens opposé à celui dû aux surcharges extérieures. Comme le retrait s'effectue au cours du temps, il faut donc justifier son attache indépendamment des actions dues aux charges extérieures, afin de ne pas obtenir des résultats exagérément optimistes. D'autre part, dans les cas exceptionnels où l'effort dû aux surcharges serait de même signe que celui dû au retrait, l'effort total exercé par le béton sur les connecteurs ne peut excéder celui que permet la résistance du béton à la fissuration.

8. - CHAPE D'ETANCHEITE :

Les présentes prescriptions supposent qu'une chape d'étanchéité a été prévue; le C.P.S., doit donc l'imposer et préciser sa consistance, étant souligné que dans tous les cas, il s'agit d'une chape de qualité.