

Paris, le 2 avril 1975

LE DIRECTEUR DES ROUTES
ET DE LA CIRCULATION ROUTIERE

RIN. 0

Le Directeur des Routes et
de la Circulation Routière

à

- Messieurs les Directeurs Départementaux de l'Équipement;
- Messieurs les Chefs des Services Maritimes (1);
- Messieurs les Chefs de Service de Navigation (1);
- Messieurs les Directeurs des Ports Autonomes de: Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes St-Nazaire, Bordeaux, Marseille, Strasbourg et Paris (1);
- Monsieur le Directeur du Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes;
- Monsieur le Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées;
- Messieurs les Directeurs des Centres d'Études Techniques de l'Équipement.

OBJET: Prescriptions à inclure dans les C.P.S. (ou devis techniques), concernant la conception et le calcul des ponts à poutres caissons construits par encorbellement, et le cas échéant, de certains autres ponts (relevant de la direction des routes et de la circulation routière).

Un certain nombre d'incidents graves ont été constatés au cours des deux dernières années sur les ouvrages en béton précontraint construits par encorbellement, dont plusieurs sont de construction récente.

L'examen approfondi de ces ouvrages, dans le cadre notamment des missions conjointes SETRA-LCPC, ont permis dans une large mesure de déterminer les causes essentielles des désordres constatés. Certaines causes sont liées à la conception et au calcul de l'ouvrage:

- mauvaise évaluation de l'incidence du fluage sur la redistribution des efforts dans la structure

.../...

(1) Pour les ouvrages relevant de la Direction des Routes et de la Circulation Routière

- ignorance des effets dus aux gradients thermiques
- mauvaise évaluation des efforts de diffusion et d'entraînement de la précontrainte, et insuffisance des armatures passives devant assurer la couture de ces efforts
- non prise en compte des effets dus à la poussée au vide
- mauvaises dispositions constructives, par exemple, arrêt de nombreux câbles dans une même section

Des études et des recherches complémentaires sont en cours pour préciser nos connaissances sur les phénomènes en cause. Cependant sans attendre les résultats de ces recherches et les modifications correspondantes à apporter au C.P.C., il est indispensable, pour éviter le retour des principaux désordres constatés, de préciser certaines dispositions constructives et les conditions de calcul des ouvrages concernés. La plupart de ces prescriptions ne font qu'entériner les règles de la bonne construction. Plusieurs de ces précisions ont provisoirement un caractère forfaitaire.

Tel est l'objet du document ci-joint qui définit les prescriptions et précisions à insérer dans les C.P.S., en complément de l'instruction provisoire n° 1 du 12 août 1965 (modifiée par la circulaire du 23 avril 1974) relative à l'emploi du béton précontraint.

Les ouvrages concernés sont essentiellement les ponts construits par encorbellement; cependant certaines dispositions sont valables pour toutes les poutres-caissons, quel que soit leur mode de réalisation. Des commentaires disposés en face du texte donnent toutes indications nécessaires à ce sujet.

Tout renseignement complémentaire pourra vous être fourni par le S.E.T.R.A. (DOA/A) ou les DOA des C.E.T.E. d'Aix-en-Provence, Lyon, Rouen et Bordeaux.

J'insiste pour ce que ces prescriptions soient appliquées de façon stricte.

Je rappelle d'autre part la nécessité de vérifier attentivement les projets d'exécution: notes de calcul et plans. Cette observation de portée très générale prend une importance accrue pour les ouvrages en béton précontraint, importance que je ne saurais trop souligner (1)

Le Directeur des Routes
et de la Circulation Routière

M. FEVE

(1) Les règles de bonne construction jointes à la présente circulaire sont des règles additives à l'Instruction provisoire n° 1 du 13 août 1965 sur la conception et le calcul du béton précon-

traint.

Il ne suffira pas d'insérer dans le C.P.S. (ou le devis technique) la partie "texte" du document en cause, car les "commentaires", bien que n'ayant pas à proprement parler un caractère contractuel, apportent au "texte" un éclairage utile. En conséquence, dans l'article du C.P.S. concernant les justifications de calcul, vous préciserez que l'Instruction de 1965 est complétée par les règles additives de bonne construction jointes en annexe, et dont le "texte" sera rendu contractuel. Les règles additives seront ainsi traitées (texte et commentaires) comme un fascicule du C.P.C.

Si vous désirez avoir recours à l'Instruction n° 2 du 12 août 1973, vous devrez, dès le stade de la préparation du C.P.S. (ou devis technique); puis pour les vérifications effectives, consulter le SETRA.

PRESCRIPTIONS A INCLURE DANS LES C.P.S. (OU DEVIS
TECHNIQUES), CONCERNANT LA CONCEPTION ET LE CALCUL DES PONTS
A POUTRES CAISSONS CONSTRUITS PAR ENCORBELLEMENT, ET LE CAS
ECHEANT, DE CERTAINS AUTRES PONTS (RELEVANT DE LA DIRECTION
DES ROUTES ET DE LA CIRCULATION ROUTIERE)

Prescriptions concernant le calcul des ponts construits par encorbellement et la justification des hourdis des poutres-caissons.

1 - REDISTRIBUTION DES EFFORTS DUE AUX DEFORMATIONS DIFFEREES

1.2.

- a. L'application de la méthode simplifiée aux études d'exécution n'est qu'une première approche ; il convient dans toute la mesure du possible d'utiliser en outre des programmes de calcul à la fois réalistes, rigoureux et d'un maniement opérationnel.
- b. Le C.P.S. doit définir alors les éléments conditionnant l'élaboration d'un programme "scientifique" de calcul. Il peut prévoir un prix pour cette justification complémentaire.

PRESCRIPTIONS CONCERNANT LE CALCUL DES PONTS CONSTRUITS EN ENCORBELLEMENT ET LA JUSTIFICATION DES HOURDIS DES POUTRES-CAISSONS

Les prescriptions et précisions qui suivent constituent des compléments à l'instruction provisoire n° 1 du 12 août 1965 (modifiée par la circulaire du 23 avril 1974) relative à l'emploi du béton précontraint. Tous les calculs sont supposés effectués dans l'hypothèse de l'élasticité linéaire.

1. Redistribution des efforts due aux déformations différées.

1.1. Le calcul des redistributions d'efforts dues aux déformations différées est effectué en admettant les règles simplificatrices énoncées plus bas dans lesquelles on désigne par :

- S₁ Les sollicitations dues au poids propre du tablier calculées compte tenu des phases successives de la construction ; ces sollicitations comprennent les effets hyperstatiques de la précontrainte obtenus lors des mises en tension en phase hyperstatique ;
- S₂ Les sollicitations dues au même poids propre calculées comme si l'ouvrage avait été entièrement coulé sur cintre ; S₂ inclut les effets hyperstatiques de précontrainte dus à l'ensemble des câbles ;
- S_Q L'une ou l'autre des valeurs enveloppes des sollicitations sous l'effet des charges d'exploitation (titre II du fascicule 61) et des charges permanentes autres que celles servant à calculer S₁ et S₂ (il s'agit des superstructures, canalisations, etc.).

Les valeurs enveloppes totales à prendre en compte vis-à-vis des justifications de toute nature sont au moins égales aux valeurs suivantes :

$$S_Q + S_1$$

$$S_Q + \frac{1}{2} (S_1 + S_2)$$

étant entendu qu'il convient de prendre dans chacune de ces expressions la valeur de S_Q la plus défavorable.

1.2. D'autre part, pour les études d'exécution, l'entrepreneur peut être tenu, en plus des justifications visées au paragraphe 1.1 ci-dessus, de fournir des justifications relatives aux redistributions d'efforts suivant une méthode serrant de plus près la réalité, tant pour les lois de comportement des matériaux que pour la méthode de calcul.

c) Aux stades d'avant-projet, la méthode simplifiée sera en général suffisante ; d'ailleurs, à ce stade, l'incertitude sur les modalités réelles d'exécution peut entraver l'application d'une méthode « scientifique » ;

d) Les règles simplifiées ont un caractère forfaitaire tenant compte des mesures de réactions effectuées sur les ouvrages existants et de calculs précis menés dans quelques cas particuliers en application de programmes électroniques, dont certains sont trop complexes pour être opérationnels ;

e) L'attention est attirée sur le fait que les sollicitations données par les règles simplifiées sont des valeurs minimales pouvant être dépassées dans certains cas particuliers. Les ingénieurs devront consulter le S. E. T. R. A. à cet égard ;

f) Les règles simplificatrices ne dispensent pas d'effectuer des calculs plus précis de déformations sous l'effet du fluage afin, en particulier, d'assurer un réglage correct des fléaux lors de la construction.

2. Diffusion de la précontrainte.

Bien que l'instruction provisoire n° 1 soit muette sur ce point important, il va de soi que toute structure doit être dimensionnée pour assurer la diffusion des efforts de précontrainte ; en particulier une densité et une disposition convenables d'armatures de couture font partie des règles observées par les bons constructeurs.

L'application de l'instruction provisoire n° 2 est strictement limitée à la diffusion de la précontrainte.

2.2. Prise en compte de la précontrainte.

Il est loisible d'utiliser toute méthode qui serait considérée comme plus simple, à condition qu'elle enveloppe la règle énoncée, c'est-à-dire qu'elle soit plus défavorable dans tous les cas.

2.3. Justification vis-à-vis de l'effort tranchant.

Il s'agit de « l'effet Résal » dont on tient compte conventionnellement en considérant la composante parallèle à l'effort tranchant des efforts de compression des hourdis seuls, supposés dirigés suivant la fibre moyenne longitudinale de ces hourdis.

2 - DIFFUSION DE LA PRECONTRAINTE

Pour le calcul des efforts dus à la diffusion de la précontrainte, on applique les prescriptions du chapitre VII et de l'annexe IV de la circulaire n°73-153 du 13/8/73 relative à l'emploi du béton précontraint dans les ouvrages relevant du M.E.L. (instruction provisoire n°2). Cette application se fait dans les conditions suivantes.

2.1. Câbles ancrés dans les hourdis

La longueur de la "zone de régularisation" est prise égale à la hauteur de la poutre mesurée au droit des ancrages, augmentée de la distance de l'axe du câble à l'axe de l'âme au niveau du hourdis.

2.2. Prise en compte de la précontrainte

Pour la justification vis-à-vis des moments fléchissants on considère que l'effet de la précontrainte est nul au droit des ancrages et ne s'établit entièrement qu'à l'extrémité de la zone de régularisation. Entre cette extrémité et les ancrages on prend en compte un raccordement linéaire.

2.3. Justification vis-à-vis de l'effort tranchant

Dans les poutres de hauteur variable on tient compte d'une réduction d'effort tranchant due aux efforts de compression s'exerçant sur les hourdis, mais non à ceux s'exerçant sur les âmes.

2.4. Contraintes admissibles vis-à-vis de la diffusion de la pré-contrainte.

Pour le calcul du cisaillement les actions à prendre en compte sont celles de l'instruction provisoire n°1.

3.-. EFFORTS D'ENTRAÎNEMENT EXERCÉS PAR DES CABLES ANCRES DANS UN HOURDIS FAISANT PARTIE D'UNE POUTRE-CAISSON.

La règle donnée ici a un caractère forfaitaire. Elle présente deux aspects :

- un aspect global qui consiste à vérifier l'équilibre de l'ensemble de la section transversale du hourdis comportant plusieurs ancrages également répartis sur toute la largeur ; les armatures passives sont alors prises en compte pour les deux tiers de leur limite élastique.
- un aspect local qui consiste à vérifier l'équilibre du hourdis au voisinage d'un ancrage ; les armatures passives sont alors prises en compte avec leur limite élastique.

La règle s'applique aux ancrages situés dans la partie courante d'un hourdis continu et ne saurait donc s'appliquer aux abouts d'une poutre.

En cas de voussoirs préfabriqués où les armatures ne peuvent pas être continues sur une longueur supérieure à celle d'un voussoir, il est recommandé de disposer les ancrages le plus loin possible des joints.

4.-. GRADIENTS THERMIQUES APPLICABLES AUX POUTRES-CAISSONS

Les termes de courte et longue durée se réfèrent à la plus ou moins grande durée d'application des actions. Le gradient thermique de courte durée (10°C) est ainsi une action peu probable que l'on ne saurait cumuler avec les charges d'exploitation. Par contre le gradient thermique de longue durée (5°C) est une action fréquente (pratiquement journalière) dont la probabilité d'existence est du même ordre de grandeur que celle de la charge permanente.

2.4. Contraintes admissibles vis-à-vis de la diffusion de la précontrainte.

La contrainte maximale de cisaillement (prise égale au double de la contrainte moyenne), éventuellement cumulée avec le cisaillement dû à l'effort tranchant en considérant la combinaison la plus défavorable, est limitée à $1,25 \sigma'_{28}$, σ'_{28} désignant la valeur nominale de la résistance à la traction du béton, telle que définie dans l'instruction provisoire n°1.

Dans l'hypothèse où il existe une précontrainte transversale, la contrainte maximale de cisaillement est limitée conformément à l'article 28 du chapitre VI de l'instruction provisoire n°2, l'ouvrage étant considéré comme étant en genre II et en remplaçant les résistances caractéristiques par les résistances nominales.

3.-. EFFORTS D'ENTRAÎNEMENT EXERCES PAR DES CABLES ANCRES DANS UN HOURDIS FAISANT PARTIE D UNE POUTRE-CAISSON.

Lorsque des câbles sont ancrés dans une même section transversale de hourdis, et que celui-ci est continu de part et d'autre de la ligne des ancrages, on applique la règle suivante :

La moitié de la force maximale développée par les câbles lors de leur mise en tension doit être équilibrée par les matériaux situés derrière la ligne des ancrages ; à cet effet on tient compte :

- des contraintes de compression développées sur le hourdis (dans la même direction que les câbles) par les charges de longue durée à l'exception des contraintes dues aux câbles ancrés.
- des armatures passives (de même direction que les câbles) supposées tendues aux deux tiers de leur limite élastique, à condition qu'elles soient continues de part et d'autre des ancrages sur une longueur au moins égale à la demi-largeur du hourdis (mesurée entre nus intérieurs des âmes du caisson) augmentée d'une longueur de scellement droit.

Au cas où plusieurs séries de câbles seraient arrêtées sur une longueur inférieure ou égale à l'entraxe des âmes du caisson (au niveau du hourdis considéré) on applique la même règle, en supposant l'ensemble de ces câbles ancrés sur une même ligne, et en effectuant la vérification dans la section la plus défavorable (dans la zone en cause).

D'autre part lorsque les efforts d'entraînement dus aux ancrages sont repris par des armatures passives il faut disposer celles-ci le plus près possible des ancrages. Lorsque cela n'est pas parfaitement réalisé les armatures situées au voisinage immédiat d'un ancrage doivent permettre d'équilibrer la moitié de la force maximale développée par le câble, en supposant celles-ci tendues à leur limite élastique.

4.-. GRADIENTS THERMIQUES APPLICABLES AUX POUTRES-CAISSONS

Parmi les actions applicables aux poutres-caissons en béton précontraint, on considère deux gradients thermiques : le premier, dit de courte durée, est cumulable avec le poids propre et les charges permanentes à l'exclusion de toute charge de courte durée. Le second dit de longue durée, doit être cumulé avec le poids propre, les charges permanentes et les charges d'exploitation du titre II du fascicule 61 prises dans leur combinaison la plus défavorable.

Il va sans dire qu'en cas du chauffage d'un tablier des précautions et des règles spéciales doivent intervenir; il est précisé d'ailleurs qu'aucun dispositif de chauffage ne devra être envisagé sans accord de la direction des routes et de la circulation routière.

La répartition linéaire des variations de température est destinée à faciliter les calculs, mais ne prétend pas représenter la réalité du phénomène; les valeurs numériques ont été choisies de telle sorte que les résultats finals du calcul (réaction d'appui) soient conformes aux valeurs mesurées sur des ouvrages en place.

5 - POUSSEE AU VIDE DES CABLES DANS LES HOURDIS COURBES

La poussée au vide s'exerçant sur un hourdis courbe contenant des câbles de précontrainte, résulte de la soustraction de deux termes, l'un provenant de la compression du béton, l'autre de la traction des aciers. Il convient de se placer dans le cas le plus défavorable, notamment lorsque le hourdis est décomprimé.

Cette poussée au vide a pour effet de fléchir le hourdis dans le sens transversal en reportant sur les âmes des sollicitations de flexion composée.

6 - BOSSAGES D'ANCRAGE

Cette règle est évidemment applicable à tous les bossages quelle que soit la structure de l'ouvrage.

7 - CONTINUITÉ DU FERRAILLAGE AU DROIT DES JOINTS

Il s'agit là d'une sécurité supplémentaire, pour des ouvrages dont le béton est soumis, alors qu'il est très jeune à des contraintes élevées ce qui se traduit par des redistributions d'efforts dans le temps particulièrement importantes.

8 - ETRIERS ACTIFS

Il est recommandé d'éviter autant que possible, le recours à des étriers actifs.

Les effets dus aux gradients thermiques sont calculés en admettant conventionnellement une variation de température linéaire sur toute la hauteur du tablier et en prenant en compte le module d'élasticité instantané du béton (désigné par E_i dans le C.P.C.).

Les différences de température correspondant aux gradients thermiques de courte et de longue durée sont respectivement prises égales à 10 et 5°C.

5 - POUSSEE AU VIDE DES CABLES DANS LES HOURDIS COURBES

Conformément au paragraphe 4 de l'article 18 de l'instruction provisoire n° 1 il est tenu compte de la poussée au vide des câbles dans les hourdis courbes, cet effet étant combiné avec le système de charge le plus défavorable.

Le ferrailage du hourdis est dimensionné pour résister à cette poussée, la contrainte admissible dans les aciers étant égale aux 2/3 de leur limite élastique. A la mise en tension des câbles, on admet cependant une contrainte admissible égale à 80 % de la limite élastique. Il est rappelé que l'effet de la poussée au vide peut entraîner des efforts de traction sur les âmes dans lesquelles il convient de disposer des étriers suspentes.

Le ferrailage nécessaire pour résister à la poussée au vide doit être cumulé le cas échéant avec celui nécessaire pour assurer la diffusion de la précontrainte.

6 - BOSSAGES D'ANCRAGE

Les bossages d'arrêt des câbles de précontrainte sont ferrailés de façon à assurer leur couture vis-à-vis du hourdis sur lequel ils viennent en saillie. Le ferrailage doit tenir compte de toutes les sollicitations locales dues au relevage du câble.

7 - CONTINUITÉ DU FERRAILAGE AU DROIT DES JOINTS

Dans les ouvrages coulés sur cintre ou sur équipages mobiles, la totalité des aciers passifs longitudinaux doit être continue au droit des joints de bétonnage.

8 - ETRIERS ACTIFS

En cas d'emploi d'étriers actifs destinés à précontraindre verticalement les âmes, ceux-ci doivent obligatoirement être disposés sous gaines les séparant du béton.