

# Règles BAEL 91 révisées 99

Février 2000

DTU P 18-702

## Règles BAEL 91 révisées 99

# Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites

Fascicule 62, titre 1<sup>er</sup> du CCTG - Travaux section 1 : béton armé

## Sommaire

• Liste des auteurs

• Révisements

• Présentation des BAEL 91

• 2 Principales modifications de la partie A

• Principales modifications de la partie B

- 1 Fissuration du béton armé
- 2 Mise à jour de références aux normes de ciments
- 3 Développement de bétons à hautes performances de résistance caractéristique dépassant 60 MPA
- Première partie règles générales
  - Chapitre A.1 principes et définitions
    - A.1.1 domaine d'application
    - A.1.2 principe des justifications
  - Chapitre A.2 caractères des matériaux
    - A.2.1 béton
    - A.2.2 aciers
  - Chapitre A.3 actions et sollicitations
    - A.3.1 actions
    - A.3.2 calcul des sollicitations
    - A.3.3 sollicitations de calcul
  - Chapitre A.4 justification des pièces prismatiques soumises à des sollicitations normales
    - A.4.1 règles générales pour la justification des sections sous sollicitations normales
    - A.4.2 condition de non-fragilité
    - A.4.3 état limite ultime de résistance
    - A.4.4 état limite ultime de stabilité de forme
    - A.4.5 états limites de service vis-à-vis de la durabilité de la structure
    - A.4.6 calcul des déformations ; état limite de service vis-à-vis des déformations
  - Chapitre A.5 justifications vis-à-vis des sollicitations tangentes
    - A.5.1 justifications des poutres sous sollicitations d'effort tranchant
    - A.5.2 justification des dalles et poutres-dalles sous sollicitations d'effort tranchant
    - A.5.3 actions tangentes exercées sur des éléments autres que les âmes : coutures d'attache

- A.5.4 torsion
- Chapitre A.6 adhérence
  - 
  - A.6.1 adhérence des aciers en barres
  - A.6.2 ancrage et entraînement des treillis soudés
- Chapitre A.7 dispositions constructives diverses
  - 
  - A.7.1 protection des armatures
  - A.7.2 possibilités de bétonnage correct
  - A.7.3 reprises de bétonnage
  - A.7.4 poussées au vide
- Chapitre A.8 dispositions particulières à certains éléments
  - 
  - A.8.1 éléments comprimés
  - A.8.2 dalles sur appuis continus
  - A.8.3 armatures des poutres
  - A.8.4 pressions localisées, frettage, articulations
  - A.8.5 justification par l'expérimentation
- Deuxième partie règles applicables aux ossatures et éléments courants des structures en béton armé
  - 
  - Chapitre B.1 indications sur le choix des matériaux
    - 
    - B.1.1 indications sur le choix des bétons en fonction des résistances à obtenir et des conditions de fabrication
    - B.1.2 aciers
  - Chapitre B.2 domaine d'application
    - 
    - B.2.1 les constructions courantes »
    - B.2.2 les constructions industrielles »
    - B.2.3 les constructions spéciales »
    - B.2.4 les constructions exposées à des agressions particulières »
    - B.2.5 les constructions en situation d'incendie »
    - B.2.6 les constructions en situation de séisme »
    - B.2.7 les constructions en situation de choc »
    - B.2.8 les constructions en situation de explosion »
    - B.2.9 les constructions en situation de feu »
    - B.2.10 les constructions en situation de choc »
    - B.2.11 les constructions en situation de choc »
    - B.2.12 les constructions en situation de choc »
    - B.2.13 les constructions en situation de choc »
    - B.2.14 les constructions en situation de choc »
    - B.2.15 les constructions en situation de choc »
    - B.2.16 les constructions en situation de choc »
    - B.2.17 les constructions en situation de choc »
    - B.2.18 les constructions en situation de choc »
    - B.2.19 les constructions en situation de choc »
    - B.2.20 les constructions en situation de choc »
    - B.2.21 les constructions en situation de choc »
    - B.2.22 les constructions en situation de choc »
    - B.2.23 les constructions en situation de choc »
    - B.2.24 les constructions en situation de choc »
    - B.2.25 les constructions en situation de choc »
    - B.2.26 les constructions en situation de choc »
    - B.2.27 les constructions en situation de choc »
    - B.2.28 les constructions en situation de choc »
    - B.2.29 les constructions en situation de choc »
    - B.2.30 les constructions en situation de choc »
    - B.2.31 les constructions en situation de choc »
    - B.2.32 les constructions en situation de choc »
    - B.2.33 les constructions en situation de choc »
    - B.2.34 les constructions en situation de choc »
    - B.2.35 les constructions en situation de choc »
    - B.2.36 les constructions en situation de choc »
    - B.2.37 les constructions en situation de choc »
    - B.2.38 les constructions en situation de choc »
    - B.2.39 les constructions en situation de choc »
    - B.2.40 les constructions en situation de choc »
    - B.2.41 les constructions en situation de choc »
    - B.2.42 les constructions en situation de choc »
    - B.2.43 les constructions en situation de choc »
    - B.2.44 les constructions en situation de choc »
    - B.2.45 les constructions en situation de choc »
    - B.2.46 les constructions en situation de choc »
    - B.2.47 les constructions en situation de choc »
    - B.2.48 les constructions en situation de choc »
    - B.2.49 les constructions en situation de choc »
    - B.2.50 les constructions en situation de choc »
    - B.2.51 les constructions en situation de choc »
    - B.2.52 les constructions en situation de choc »
    - B.2.53 les constructions en situation de choc »
    - B.2.54 les constructions en situation de choc »
    - B.2.55 les constructions en situation de choc »
    - B.2.56 les constructions en situation de choc »
    - B.2.57 les constructions en situation de choc »
    - B.2.58 les constructions en situation de choc »
    - B.2.59 les constructions en situation de choc »
    - B.2.60 les constructions en situation de choc »
    - B.2.61 les constructions en situation de choc »
    - B.2.62 les constructions en situation de choc »
    - B.2.63 les constructions en situation de choc »
    - B.2.64 les constructions en situation de choc »
    - B.2.65 les constructions en situation de choc »
    - B.2.66 les constructions en situation de choc »
    - B.2.67 les constructions en situation de choc »
    - B.2.68 les constructions en situation de choc »
    - B.2.69 les constructions en situation de choc »
    - B.2.70 les constructions en situation de choc »
    - B.2.71 les constructions en situation de choc »
    - B.2.72 les constructions en situation de choc »
    - B.2.73 les constructions en situation de choc »
    - B.2.74 les constructions en situation de choc »
    - B.2.75 les constructions en situation de choc »
    - B.2.76 les constructions en situation de choc »
    - B.2.77 les constructions en situation de choc »
    - B.2.78 les constructions en situation de choc »
    - B.2.79 les constructions en situation de choc »
    - B.2.80 les constructions en situation de choc »
    - B.2.81 les constructions en situation de choc »
    - B.2.82 les constructions en situation de choc »
    - B.2.83 les constructions en situation de choc »
    - B.2.84 les constructions en situation de choc »
    - B.2.85 les constructions en situation de choc »
    - B.2.86 les constructions en situation de choc »
    - B.2.87 les constructions en situation de choc »
    - B.2.88 les constructions en situation de choc »
    - B.2.89 les constructions en situation de choc »
    - B.2.90 les constructions en situation de choc »
    - B.2.91 les constructions en situation de choc »
    - B.2.92 les constructions en situation de choc »
    - B.2.93 les constructions en situation de choc »
    - B.2.94 les constructions en situation de choc »
    - B.2.95 les constructions en situation de choc »
    - B.2.96 les constructions en situation de choc »
    - B.2.97 les constructions en situation de choc »
    - B.2.98 les constructions en situation de choc »
    - B.2.99 les constructions en situation de choc »
    - B.2.100 les constructions en situation de choc »
  - Chapitre B.3 liaisons entre les divers éléments des constructions
    - 
    - B.3.1 liaisons
    - B.3.2 sollicitations
    - B.3.3 justifications de l'équilibre statique
  - Chapitre B.4 liaisons entre les divers éléments des constructions
  - Chapitre B.5 effets des variations dimensionnelles et des tassements différentiels
    - 
    - B.5.0 généralités
    - B.5.1 dimensions des blocs entre joints
    - B.5.2 effets des variations dimensionnelles dans le sens vertical
    - B.5.3 pourcentages minimaux d'armatures longitudinales dans les éléments exposés
  - Chapitre B.6 planchers et poutres
    - 
    - B.6.1 règles générales
    - B.6.2 cas des charges perpendiculaires à la fibre moyenne
    - B.6.3 état limite d'ouverture des fissures
    - B.6.4 condition de non-fragilité
    - B.6.5 état limite de déformation
    - B.6.6 armatures longitudinales
    - B.6.7 armatures transversales
    - B.6.8 règles particulières à certains éléments
  - Chapitre B.7 dalles sur appuis continus
    - 
    - B.7.0 prescriptions générales
    - B.7.1 détermination des sollicitations
    - B.7.2 dispositions constructives
    - B.7.3 état limite d'ouverture des fissures
    - B.7.4 condition de non-fragilité et section minimale d'armatures
    - B.7.5 état limite de déformation
    - B.7.6 planchers à prédalles
  - Chapitre B.8 poteaux
    - 
    - B.8.0 prescriptions générales



- B.8.1 calcul des sollicitations des poteaux
- B.8.2 combinaisons d'actions à considérer
- B.8.3 longueur de flambement
- B.8.4 justification des poteaux
- B.8.5 justification des poteaux des ossatures de bâtiments
- B.8.6 poteaux préfabriqués
- Chapitre B.9 fondations
- 
- B.9.0 généralités
- B.9.1 dispositions constructives
- B.9.2 combinaisons d'actions à considérer
- B.9.3 méthodes de calcul permettant la justification des organes de fondation
- Annexe C notations
- 
- C.1 principes
- 
- C.1.1 majuscules romaines
- C.1.2 minuscules romaines
- C.1.3 majuscules grecques
- C.1.4 minuscules grecques
- C.1.5 indices
- C.1.6 apostrophe
- C.2 indices
- 
- C.2.1 majuscules romaines
- C.2.2 minuscules romaines et abréviations
- C.3 notations
- 
- C.3.1 notations en majuscules romaines
- C.3.2 notations en minuscules romaines
- C.3.3 notations en majuscules grecques
- C.3.4 notations en minuscules grecques
- C.3.5 notations en indices
- C.3.6 notations en apostrophes
- Annexe D règles transitoires relatives à la définition des valeurs représentatives des actions et des combinaisons d'actions dans les cas courants
- 
- D.1 valeurs représentatives des actions variables courantes dans le domaine des ponts-routes et des bâtiments
- 
- D.1.1 ponts-routes
- D.1.2 bâtiment
- D.2 combinaisons d'actions
- 
- D.2.1 ponts-routes
- D.2.2 bâtiments
- Annexe E.1 méthode de calcul applicable aux planchers à charge d'exploitation modérée, dite « méthode forfaitaire »
- 
- E.1.0 domaine d'application
- E.1.1 principe de la méthode
- E.1.2 conditions d'application de la méthode valeurs des coefficients
- E.1.3 détermination de la longueur des chapeaux et arrêts des barres inférieures de second lit
- Annexe E.2 méthode de calcul applicable aux planchers à charge d'exploitation relativement élevée, dite « méthode caquot »
- 
- E.2.0 domaine d'application
- E.2.1 principe de la méthode
- E.2.2 conditions d'application de la méthode aux poutres à moments d'inertie égaux dans les différentes travées et non solidaires des poteaux
- 
- E.2.2,1 moments d'appuis
- E.2.2,2 moments en travée
- E.2.2,3 efforts tranchants d'appui
- E.2.3 conditions d'application de la méthode aux poutres à moments d'inertie variables d'une travée à l'autre et non solidaires des poteaux
- E.2.4 conditions d'application de la méthode au calcul des poutres continues solidaires des poteaux qui les supportent
- 
- E.2.4,0 principes

- E.2.4,1 travées intermédiaires
- E.2.4,2 travées de rive
- E.2.4,3 simplifications admises
- E.2.4,4 cas d'une seule travée (ossature symétrique et symétriquement chargée)
- E.2.4,5 moments en travée des poutres
- E.2.4,6 efforts tranchants dans les poutres
- E.2.4,7 moments dans les poteaux
- E.2.4,8 efforts tranchants dans les poteaux, efforts normaux dans les poutres
- Annexe E.3 calcul des panneaux de hourdis rectangulaires uniformément chargés articulés sur leur contour
- Annexe E.4 méthode de calcul et dispositions constructives des planchers-champignons et des planchers-dalles
  - E.4.0 dispositions générales définitions domaine d'application
    - E.4.0,1
    - E.4.0,2 piliers
    - E.4.0,3 chapiteaux
    - E.4.0,4 domaine d'application
  - E.4.1 méthode de calcul
    - E.4.1,0 méthodes de calcul
    - E.4.1,1 charges à prendre en compte dans les calculs
    - E.4.1,2 méthode générale de calcul des sollicitations
    - E.4.1,3 méthode approchée de calcul des sollicitations
  - E.4.2 vérification de la résistance de la dalle aux moments fléchissants
    - E.4.2,1 division des panneaux de la dalle en bandes
    - E.4.2,2 répartition des moments fléchissants entre les différentes bandes
    - E.4.2,3 vérification des conditions de résistance
  - E.4.3 vérification des conditions de résistance
  - E.4.4 vérification des conditions de résistance
  - E.4.5 vérification des conditions de résistance
  - E.4.6 conditions de résistance
  - E.4.7 limitation des flèches
  - E.4.8 règles simplifiées spéciales à certains cas de planchers-dalles
    - E.4.8,0 domaine d'application
    - E.4.8,1 méthode de calcul
    - E.4.8,2 vérification aux moments fléchissants
    - E.4.8,3 vérification aux efforts tranchants
    - E.4.8,4 trémies dans la dalle
    - E.4.8,5 épaisseur minimale
- Annexe E.5 méthodes de calcul et dispositions d'armatures des parois fléchies (murs, cloisons ou voiles formant poutres)
  - E.5.0 définition
  - E.5.1 domaine d'application
  - E.5.2 notations
  - E.5.3 épaisseur minimale
  - E.5.4 armatures
    - E.5.4,0 généralités
    - E.5.4,1 armatures principales
    - E.5.4,2 armatures réparties verticales et horizontales
  - E.5.5 cas des charges localisées
    - E.5.5,1 cas où les charges sont appliquées au droit des appuis
    - E.5.5,2 cas où les charges sont appliquées en travée
  - E.5.6 ouvertures dans les voiles porteurs
  - E.5.7 parois fléchies courbes
- Annexe E.6 consoles courtes
  - E.6.0 définition
  - E.6.1 dispositions constructives
    - E.6.1,1



- E.6.1,2
- E.6.1,3
- E.6.1,4
- E.6.2 méthode de calcul
  - 
  - E.6.2,0 remarque liminaire
  - E.6.2,1 notations
  - E.6.2,2 limitation de la contrainte tangente conventionnelle
  - E.6.2,3 armatures supérieures tendues
  - E.6.2,4 armatures réparties
  - E.6.2,5 cas de voiles de très grande hauteur fonctionnant en console
  - E.6.2,6 prise en compte de forces horizontales
  - E.6.2,7 utilisation d'autres méthodes de calcul
- Annexe E.7 état limite ultime de stabilité de forme méthodes simplifiées applicables aux cas les plus courants
  - 
  - E.7.1 introduction
    - 
    - E.7.1,1 objet de l'annexe
    - E.7.1,2 principe des tables
    - E.7.1,3 domaine d'application directe des tables
  - E.7.2 poteaux isostatiques
    - 
    - E.7.2,1 poteau bi-articulé avec des excentricités différentes à ses deux extrémités
    - E.7.2,2 mât soumis à des charges telles que l'effort normal ne soit pas constant
    - E.7.2,3 poteau de section variable
  - E.7.3 structures hyperstatiques
    - E.7.3,1 analyse d'une structure hyperstatique
      - Application aux ossatures
      - Hypothèses de calcul complémentaires
      - États de déformations et d'équilibre
    - E.7.4,1 méthodes des déformations
    - E.7.4,2 méthode des rigidités
- Annexe E.8 méthode de calcul des armatures d'une pièce en béton soumise à des pressions localisées au sens de l'article A.8.4
  - 
  - E.8.0 domaine d'application
  - E.8.1 détermination du niveau de diffusion
  - E.8.2 vérifications à effectuer
    - 
    - E.8.2,1 généralités
    - E.8.2,2 pressions localisées (article A.8.4,1. du BAEL)
    - E.8.2,3 justifications dans les zones de première régularisation (prismes symétriques)
    - E.8.2,4 justification vis-à-vis de l'équilibre général de diffusion pure
- Annexe F modifications apportées aux règles BAEL règles relatives à l'emploi de bétons à hautes performances
  - 
  - modifications relatives à la PARTIE A
  - modifications relatives à la PARTIE B
  - modifications relatives à l'ANNEXE E
  - Liste des documents cités dans les Règles BAEL 91 révisées 99
    - 
    - Normes
    - Autres textes de référence

composition du groupe de travail BAEL-BPEL

Président :

M. R. LACROIX, Professeur honoraire à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Membres :

- MM. P. ACKER, Chef de la division MSOA au LCPC
- L. BERTRAND, Ingénieur du Génie Rural des Eaux et des Forêts, représentant le Ministère de l'Agriculture

- A. BOILEAU, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées à la DAEI
- C. BOIS, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées au LCPC
- J.-C. BONY, Directeur à UNIMETAL (USINOR-SACILOR), représentant le Bureau de Normalisation de la Sidérurgie (BNS)
- C. BOUSQUET, Ingénieur des Travaux Publics au Département des Ouvrages d'Art de la SNCF
- J.-P. BOUTIN, Ingénieur en Chef à la SOCOTEC, représentant le COPREC
- G. CHARDIN, Directeur à la SARET, Président du Syndicat des Procédés Industrialisés de Précontrainte (SPIP)
- R. CHAUSSIN, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées au SETRA, Rapporteur
- A. COIN, Directeur Technique de la SAE
- J.-L. COSTAZ, Chef de la Division Génie Civil du SEPTEN (EDF)
- G. DARPAS, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées à l'Inspection Générale des Ouvrages d'Art, Rapporteur
- J. de SAQUI de SANNES, Directeur Technique de BOUYGUES Bâtiment Ile-de-France
- B. FOURE, Chef du Service d'Etudes des Structures du CEBTP
- A. FUENTES, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
- R. HAROUMI, Ingénieur-Conseil, représentant la Chambre des Ingénieurs-Conseils de France en Génie Civil (CICF)
- W. JALIL, Ingénieur en Chef à la SOCOTEC
- J. MATHEZ, représentant le CSTB
- H. MATHIEU, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Membre de la mission d'Inspection Générale des Ouvrages d'Art
- J. MATHIVAT, Directeur Technique du SNBATI, Ingénieur-Conseil
- J.-P. MEROT, Directeur Scientifique à la SEEE
- J. PERCHAT, Ingénieur à la Fédération Nationale du Bâtiment
- L. PLISKIN, Professeur à l'Ecole Centrale, Directeur Délégué à l'ATILH
- D. POINEAU, Ingénieur Divisionnaire des Travaux Publics de l'Etat au SETRA
- M. REGNIER, Lieutenant-Colonel, Chef du Groupe Génie Civil au Ministère de la Défense
- J. SCHMOL, Conseiller Technique au SNBATI, Rapporteur
- H. THONIER, Directeur des Affaires Techniques à la FNTP
- P. XERCAVINS, Gérant de P.X. Consultants

Sous la direction de :

Yves MAHUT, Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat au SETRA



Décision prise par la Commission Générale de Normalisation du Bâtiment-DTU lors de sa réunion du 12 septembre 1991  
La Commission Générale de Normalisation du Bâtiment - DTU (CGNorBât-DTU) adopte comme Document Technique Unifié les présentes Règles de calcul sous le nom de « Règles BAEL 91 », qui constituent la révision des règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites faisant l'objet du fascicule n° 62, titre I<sup>er</sup>, section I du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG).  
Ces « Règles BAEL 91 » se substituent aux « Règles BAEL 83 ».

#### AVERTISSEMENT 2

Décision prise par la Commission Générale de Normalisation du Bâtiment-DTU lors de sa réunion du 15 septembre 1999  
La Commission Générale de Normalisation du Bâtiment - DTU (CGNorBât-DTU), adopte comme modifications aux présentes Règles de calcul les modifications apportées au fascicule n° 62, titre I<sup>er</sup>, section I du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG).

La présente édition des « Règles BAEL 91 » inclut ces modifications.

## Rapport de présentation du BAEL 91

### 1 Introduction

L'application des règles BAEL 83 s'impose depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1985, date à laquelle les règles précédentes CCBA 68 ont été abrogées après une période de coexistence. L'usage systématique du BAEL 83 a révélé quelques imperfections suffisantes pour motiver une révision, cependant la parution prochaine des eurocodes rendait inopportune une remise en cause profonde des prescriptions en vigueur. Dans ces conditions, les modifications proposées se limitent à un « toilettage » répondant aux buts suivants :

- améliorer et compléter certaines rédactions mal comprises ou considérées comme peu claires, et par conséquent susceptibles d'être interprétées de façon erronée ;
- corriger les articles ayant fait l'objet de critiques, soit en précisant ou modifiant leur domaine d'application, soit en apportant les retouches nécessaires pour obtenir, dans tous les cas visés, des résultats satisfaisants ;
- tenir compte des textes les plus récents, notamment le fascicule 65 du CCTG, le DTU 21 et les règles BPEL 83, y compris les modifications en cours de préparation pour ce dernier document.

## 2 Principales modifications de la partie A

- article A.1.1 domaine d'application
- Le domaine d'application des règles a été étendu aux bétons de résistance à la compression au plus égale à 60 MPa (au lieu de 40 MPa antérieurement). D'autres articles ont été modifiés en conséquence.
- article A.2.1 béton
- Le commentaire donnant les valeurs de  $f_{cj}$  pour  $j < 28$  jours a été modifié pour tenir compte des résultats expérimentaux les plus récents.
- La gamme des valeurs du retrait a été étendue à tous les climats (du plus humide au plus sec) au lieu de se limiter à la France.
- Pour être plus conforme à la réalité, le coefficient de Poisson du béton doit être pris égal à 0 pour le calcul des sollicitations et 0,2 pour celui des déformations.
- article A.4.1,3 largeur des tables de compression des poutres en T
- Le dernier alinéa a été supprimé, ainsi que le commentaire correspondant, étant considéré comme arbitraire et inutile.
- article A.4.3,4 diagrammes déformations-contraintes du béton
- Le coefficient 0,85 a été remplacé par  $0,85/B8$ , en introduisant le coefficient B8 (compris entre 0,85 et 1) dont l'objet est de tenir compte de la durée d'application de la charge.
- article A.4.5,3 état limite d'ouverture des fissures
- Cet article a été largement remanié pour mieux préciser les conditions d'application du texte.
- En outre pour les fissurations préjudiciables ou très préjudiciables les valeurs limites dépendant du coefficient  $\eta$  ont été remplacées par des expressions du type

$$K\sqrt{\eta f_{tj}}$$



- ce qui permet d'avantager, conformément à l'expérience, l'utilisation des bétons haute résistance.
- chapitre A.5 justifications vis-à-vis des sollicitations tangentes
- L'expression des valeurs limites a été modifiée de façon à introduire explicitement le coefficient  $\gamma_b$  qui dépend de la nature de la combinaison d'actions considérée.
- Pour la prise en compte des charges voisines d'un appui (A.5.1,231), les prescriptions ont été alignées sur celles du BPEL.
- Dans la formule de A.5.1,232 le terme soustractif a été borné supérieurement, car il était trop élevé pour les bétons de  $f_{cj} > 45$  MPa.
- article A.5.4 torsion
- Pour la justification du béton des sections pleines, le cumul des contraintes de torsion et d'effort tranchant a été remplacé par une loi moins sévère plus conforme à l'expérience.
- article A.7.1 protection des armatures
- L'enrobage des armatures pour les ouvrages à la mer a été porté de 4 à 5 cm, sauf protection efficace des armatures ou du béton.
- Pour les parois soumises à des actions agressives, ou des intempéries, ou des condensations, ou encore au contact d'un liquide, l'enrobage minimal a été porté à 3 cm. Cette valeur peut toutefois être ramenée à 2 cm lorsque le béton présente une résistance supérieure à 40 MPa.
- article A.8.2,41
- Il a été supprimé et reporté en partie B, car en fait il ne s'appliquait qu'aux bâtiments.
- article A.8.4,1 pressions localisées
- Il a dû être largement remanié pour mieux préciser le domaine d'application, s'aligner sur le BPEL et mieux ajuster les formules (limitation du coefficient K, introduction des conditions de débord).
- En outre, le calcul du ferrailage destiné à assurer la diffusion de l'effort concentré renvoie à une nouvelle annexe E8 qui reprend les principaux résultats du BPEL.

## 3 Principales modifications de la partie B

- article B.1.1 bétons
- Le champ d'application de la partie B des règles a été élargi aux bétons à haute résistance comme pour la partie A.
- article B.2.4 caractéristiques d'exposition
- Il a été repris dans cet article la définition des trois cas de fissuration (peu préjudiciable, préjudiciable et très préjudiciable) qui figurent dans l'article A.4.5,3. de la version 83 du BAEL, ce qui a eu également des répercussions sur la rédaction de l'article

B.6.3. et B.7.3. (état limite d'ouverture des fissures).

- article B.6.4 conditions de non-fragilité
- Cet article reprend les prescriptions du BAEL 83 en précisant mieux les modalités d'application.
- article B.6.5,2 évaluation des flèches
- Le BAEL 83 comportait une erreur que la version 80 ne comportait pas. Elle a été rectifiée.
- article B.6.7 armatures transversales
- Il a été donné une définition plus précise des poutres secondaires, poutrelles et nervures pour lesquelles le BAEL 83 avait admis des dispositions particulières relatives aux armatures transversales et de glissement.
- article B.6.8 poutre supportant des murs
- La définition de ces ouvrages a été précisée et la limite de compression du béton dans les voûtes, dans les zones les plus sollicitées, a été portée de  $f_{c28} / 3$  à  $f_{c28} / 2$ , sauf le cas de fissuration très préjudiciable.
- article B.6.8.5 poutre justifiée par la méthode du treillis
- Cette méthode, qui permet entre autre de justifier des poutres comportant divers trous, trémies et autres réservations, a été introduite.
- article B.7.4 condition de non-fragilité et section minimale d'armatures
- Les pourcentages minimaux des armatures donnés ici sont ceux de l'article A.8.2,41 qui a été supprimé. Le commentaire traite des précautions à prendre lorsque les dalles sont exposées aux phénomènes de variation linéaire contrariée, en attirant spécialement l'attention sur les parkings fortement ventilés.
- Par ailleurs, des précisions sont données concernant la justification des dalles de petites dimensions.

### modification des règles de calcul du béton armé Fascicule 62 titre I<sup>er</sup> du CCTG-Travaux (section I : béton armé)

#### PRESENTATION

Le Fascicule 62 titre I<sup>er</sup>, relatif aux règles de conception et de calcul des ouvrages en béton armé (section I ou BAEL), a été révisé en 1989, révision approuvée par le décret n° 92-72 du 16 janvier 1992.

Ce texte, dit « règles BAEL 91 », introduisait notamment la prise en compte des bétons à hautes performances (BHP), présentant une résistance caractéristique en compression allant jusqu'à 60 mégapascals (60 MPa).

L'expérience acquise depuis conduit la commission de suivi des règles BAEL-BPEL à proposer trois modifications.

#### 1. Modification des formules relatives à l'état limite d'ouverture des fissures

Les formules relatives à l'état limite d'ouverture des fissures pour prendre en compte les effets de la température et de l'humidité relative ont été étudiées pour ne pas apporter de modification sensible pour les ouvrages en béton armé à haute résistance caractéristique (pour le béton de ciment de type civil). Mais ce recadrage a été étudié pour les bétons coulés in situ (c'est-à-dire pour les cas où la résistance caractéristique est inférieure à 60 MPa). Pour ceux-ci, les quantités d'acier prohibitives pour les structures exposées à des ambiances agressives (cas dit « fissuration très préjudiciable »).

Pour des risques moindres de détérioration du fait de la fissuration, sont aussi définis les cas « fissuration préjudiciable » et « fissuration peu préjudiciable ».

De ce fait, des maîtres d'oeuvre ont fait une application biaisée des catégories prévues par le BAEL 91, et classé « fissuration préjudiciable » des cas qui seraient normalement « fissuration très préjudiciable ».

La commission a donc étudié de nouvelles formules qui couvrent mieux l'ensemble des bétons, en vue de faire revenir les utilisateurs à une appréciation normale des facteurs d'environnement et de risques liés à la fissuration. Elle propose de les introduire dans les règles BAEL 91 en modifiant l'article A.4.5.3.

#### 2 Mise à jour de références aux normes de ciments

L'article B.1.1 des règles BAEL 91 fournit actuellement des indications sur le choix des bétons en fonction des résistances à obtenir et des conditions de fabrication en se référant à des normes obsolètes. La commission a estimé qu'il était opportun de retoucher la rédaction de cet article, puisqu'il donne des indications utiles au projeteur, en précisant mieux son objectif et en mettant à jour les références aux normes en vigueur.

#### 3 Développement de bétons à hautes performances de résistance caractéristique dépassant 60 MPA

La commission a analysé l'expérience acquise depuis 1989 sur le comportement de ces bétons et en a tiré des règles de dimensionnement valables pour 40 à 80 MPa de résistance caractéristique. Elle propose d'introduire des règles constituant la nouvelle annexe F aux règles BAEL, contenant des clauses modifiées par rapport aux parties A, B de ces règles et à leur annexe E. Lorsque le marché rendra applicable cette annexe F, les clauses qu'elle contient se substitueront aux clauses homologues des règles BAEL 91.

## Première partie règles générales

### Chapitre A.1 principes et définitions

### A.1 .1 domaine d'application

Les présentes règles de calcul, dites Règles BAEL 91, sont applicables à tous les ouvrages et constructions en béton armé, soumis à des ambiances s'écartant peu des seules influences climatiques, et dont le béton est constitué de granulats naturels normaux, avec un dosage en ciment au moins égal à 300 kg par m de béton mis en oeuvre.

Le dosage ici indiqué n'est bien entendu valable que pour les ciments Portland habituels comportant peu de constituants secondaires.

Sont considérées en béton armé les pièces qui sont encore aptes à jouer leur rôle dans la structure dont elle font partie, lorsque la résistance à la traction par flexion de leur béton constitutif est supposée nulle.

Ceci conduit habituellement à prévoir un pourcentage minimal d'amatures, en application de la règle de non-fragilité qui fait l'objet de l' article A.4.2.

Restent en dehors du domaine des présentes règles :

- les constructions en béton non armé ;
- les constructions en béton constitué de granulats légers ;
- les constructions en béton caverneux ou cellulaire armé ;
- les constructions en béton de résistance caractéristique supérieure à 60 MPa ;
- les éléments armés de profilés laminés et les structures mixtes acier-béton ;
- les éléments soumis en service à des températures s'écartant sensiblement de celles qui résultent des seules influences climatiques.

Les règles du présent document ne s'appliquent pas toutes sans adaptation à des bétons de résistance caractéristique supérieure à 60 MPa.

Ces règles peuvent également concerner certains types d'ouvrages (par exemple le revêtement des canalisations, etc.), certains procédés de construction (par exemple les coffrages glissants), ou encore des constructions non traditionnelles utilisées dans le bâtiment et dont les conditions de calcul sont fixées dans le cadre des procédures ministérielles.

### A.1.2 principe des justifications

Les calculs justificatifs sont conduits suivant la théorie des états limites. Un « état limite » est celui pour lequel une condition requise d'une construction (ou d'un de ses éléments) est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de modification défavorable d'une action.

L'exposé de cette théorie ainsi que les définitions des termes utilisés se trouvent dans les « Directives communes relatives au calcul des constructions de 1979 (D.C. 79) ».

Dans la liste des états limites, ne figure pas l'état limite de fatigue, qui n'a pas été pris en compte dans le cas général. Toutefois, il peut être important de le considérer pour des pièces particulières soumises à des variations d'actions importantes et fréquentes susceptibles de diminuer de façon sensible leur durabilité ou résistance. Lorsqu'il y a lieu de le faire, le CCTP désigne les ouvrages ou parties d'ouvrages devant faire l'objet de vérifications supplémentaires vis-à-vis de l'état limite de fatigue, et il précise les modalités du calcul (niveau des actions, leurs combinaisons, valeurs des coefficients correspondants).

On distingue :

- les « états limites ultimes » qui correspondent à la limite :
  - soit de l'équilibre statique ;
  - soit de la résistance de l'un des matériaux ;
  - soit de la stabilité de forme.
- les états limites de service qui sont définis compte tenu des conditions d'exploitation ou de durabilité.

Il s'agit surtout d'états limites de déformation (instantanée ou différée) et d'ouverture des fissures.

Les chapitres qui suivent donnent les justifications théoriques qu'il convient d'apporter dans les cas les plus généraux. Cependant

la justification d'éléments d'ouvrages peut aussi résulter d'une expérimentation directe scientifiquement conduite et interprétée ; des indications à ce sujet sont données à l' article A.8.5 .

Le recours à l'expérimentation peut notamment être utilisé dans les cas suivants :

- celui de pièces dont la justification échappe aux notions couramment admises, par exemple parce que leurs formes sont particulièrement complexes ou encore que leur fonctionnement mécanique ne relève pas de la longue expérience des constructeurs ;
- celui d'éléments préfabriqués en série.

## Chapitre A.2 caractères des matériaux

### A.2.1 béton

#### A.2.1,1 résistance du béton

Les valeurs caractéristiques du présent article sont introduites dans les calculs compte tenu de coefficients de sécurité spécifiques : voir notamment le  $\gamma_b$  de l'article A.4.3,4 et du chapitre A.5.

##### A.2.1,11

Pour l'établissement des projets, dans les cas courants, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours, dite valeur caractéristique requise (ou spécifiée). Celle-ci, notée  $f_{c28}$ , est choisie a priori, compte tenu des règles locales et des règles de contrôle qui permettent de vérifier qu'elle est atteinte (\*).

Les essais sont ceux pour lesquels la vitesse de dessèchement du béton se comporte ainsi que pour les valeurs les plus élevées de  $f_{c28}$  et les essais sont effectués dans des conditions normales de séchage. Il est alors nécessaire de préciser les modalités de contrôle des essais et après 28 jours les échantillons sont séchés aux mêmes températures que le béton de l'ouvrage.

\* Dans l'attente de la norme correspondante, il convient de se reporter aux règles de contrôle du fascicule 65 du C.C.T.G..

Les modalités du contrôle doivent être fixées compte tenu de l'importance de la structure et des conséquences économiques et humaines d'une défaillance éventuelle.

Pour le choix de la résistance caractéristique requise, on peut s'inspirer des résultats statistiques antérieurs obtenus sur des chantiers comparables.

Lorsque des sollicitations s'exercent sur un béton dont l'âge de j jours (en cours d'exécution) est inférieur à 28, on se réfère à la résistance caractéristique  $f_{cj}$  obtenue au jour considéré.

On peut admettre que pour  $j < 28$  la résistance  $f_{cj}$  des bétons non traités thermiquement suit approximativement les lois suivantes :

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} f_{c28} \quad \text{pour } f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$$

et

$$f_{cj} = \frac{j}{1,40 + 0,95j} f_{c28} \quad \text{pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa}$$

Les bétons à haute résistance contenant des ultra-fines actives peuvent avoir une loi d'évolution intermédiaire entre les deux précédentes. Pour les bétons traités thermiquement, on peut se reporter à l' annexe 6 du BPEL .