

HISTORIQUE DE
LA RÉGLEMENTATION RELATIVE
AUX ÉPREUVES ET SURCHARGES
DES PONTS PRATIQUÉE AU MAROC

Y. BOUCHAQOUR (DAT)

ANALYSE DES RÉGLEMENTS DE SURCHARGES ROUTIÈRES ET DE CALCUL DES OUVRAGES D'ART

La connaissance de la portance et du comportement des ouvrages s'est faite pendant longtemps en laboratoire, par des essais sur modèles à échelle réduite. De nos jours, les recherches se sont orientées sur l'étude de comportement des ouvrages réels, construits et en service, qui possèdent leurs caractéristiques particulières, qui sont soumis à toutes les manifestations climatiques et qui subissent les charges usuelles d'exploitation. Cette nouvelle orientation des recherches vise essentiellement à l'amélioration de la qualité et la durabilité des ouvrages.

Cependant, la vérification des ouvrages anciens est un problème complexe et délicat où tout l'art de l'ingénieur intervient pour limiter au maximum les interventions onéreuses, sans pour autant que la sécurité soit mise en cause. Les questions fondamentales que se posent l'ingénieur vérificateur sont bien celles-ci : Les vieux ouvrages sont-ils toujours aptes aux services qu'on leur demande? quelles sont les règles à suivre pour la vérification?

Pour clarifier ce problème, on se propose d'analyser d'abord les règlements au point de vue des surcharges de calcul et de déterminer ensuite des classes d'ouvrages selon leurs portances.

PRÉSENTATION DES RÉGLEMENTS DE SURCHARGES

Le premier pont à poutres, construit en matériau autre que le bois, est le pont de COALBROOKDALE en Angleterre (1777 - 1780). Depuis, plusieurs ponts métalliques ont été construits et en particulier les ponts suspendus qui ont régné au XIX^e siècle où plus de 500 ponts ont été construits entre la période 1840 et 1850.

Vu que ces ponts n'ont eu qu'une longévité de moins de 15 ans et après la ruine du pont de BASSE CHAÎNE à Angers le 16 Avril 1850 qui a causé la mort de plus de 226 morts, les premiers textes de surcharges et d'épreuves ont vu le jour.

Depuis un défilé de règlements (1858, 1871-1877, 1891) est apparu et qui précisent les charges d'épreuve seulement. Ce n'est qu'après la première guerre mondiale que les règlements ont été étalés aux prescriptions des surcharges de calcul ainsi qu'aux contraintes admissibles.

Pour le Maroc, la plupart des ouvrages construits avant le protectorat sont des ouvrages en maçonnerie d'adobe ou de pisé en se basant sur aucune réglementation.

Pour l'examen de la réglementation concernant les ouvrages marocains, on ne se contente, donc que des règlements postérieurs à 1891 règlement pris pour la conception des ponts de la première ère du protectorat. (ponts suspendus sur Oued CHARRAT et sur Oued YEKEM)

1 - LE REGLEMENT DU 15 JUIN 1869

il s'agit du premier règlement concernant les ponts-routes. Il précise :

a - Les hypothèses de chargement

les ponts routes sont ouvertes à toute voiture autorisée par le règlement du 10 septembre 1852, c'est-à-dire :

charrettes de 11 t à deux roues et tractées par 5 chevaux ;

charrettes de 16 t à quatre roues. Les essieux étant espacés de trois mètres.

Contraintes admissibles pour les matériaux:

pour la fonte 1kg/mm^2

pour fer forgé 6kg/mm^2

b - Les conditions d'épreuves

par chargement par poids mort réparti : 400 kg/m^2 de tablier (trottoir compris).

Cette charge de 400 kg/m^2 peut être modifiée pour les grandes portées ;

par charges roulantes : en chargeant le pont en totalité de charrettes chargées. Ces épreuves devaient être effectuées, même si la disponibilité des équipages posait des problèmes en utilisant des moyens de remplacement (non explicités par le règlement).

D'autre part, il est demandé que l'on vérifie la capacité des ouvrages construits antérieurement à supporter les nouvelles spécifications.

2 - LE REGLEMENT DU 9 JUILLET 1877

Il s'agit en fait plutôt de modification du règlement de 1869, qui avait dû être trop pénalisant.

Ces modifications portent sur :

a - Les hypothèses de chargement

- en raison de circonstances locales, le poids des charrettes peut être diminué sans être inférieur à 6 t (1 essieu) ou 8 t (2 essieux) ;
- La surcharge sur trottoir est ramenée de 400 à 300 kg/m² ;
- Pour les fermes (ou poutres de rives), deux cas de charge sont envisagés (le cas le plus défavorable étant pris en compte dans les calculs) ; soit 300 kg/ m² répartis (au lieu de 400), soit la surcharge amenée par les charrettes chargées comme indiqué ci-dessus. Dans ces deux dernières cas, les contraintes peuvent dépasser 1 kg/mm².

b - Les épreuves :

Elles sont pratiquement inchangées dans leur déroulement, seuls les chargements étant plus faibles comme indiqué.

La seule innovation est la considération de " convois exceptionnels " ou plutôt de chargement supérieur à ceux pris en compte dans les calculs. Dans ce cas, une autorisation du préfet est nécessaire pour le franchissement.

3 - LE REGLEMENT DU 29 AOUT 1891

Intitulé " révision de la circulaire de 1877 ", ce texte qui concerne aussi bien, mais dans des chapitres différents, les ponts pour voies ferrées que pour voies routières, la modifie assez nettement .

a - Les hypothèses de chargement :

- Tombereaux de 6 t attelés de 2 chevaux et 400 kg/m² sur trottoirs ;
- remplacement d'un tombereau par un autre de 11t et 5 chevaux en file ;
- remplacement de tous les tombereaux par des chariots à 2 essieux traînés par 8 chevaux sur 2 files.

En fonction des conditions locales et, en particulier , s'il existe des accès en forte pente, les charges à prendre en compte peuvent être réduites sans

êtres inférieures à 300 kg/m² pour les charges du type A ; la réduction pour les charges du type B étant limitée à 50 %.

De nouvelles conditions de calculs apparaissent :

- effet du vent non combiné avec la présence de véhicule sur le pont (270 kg/m² de surface nette) ;
- vérification de non-flambement des pièces comprimées ;
- calcul des flèches, sous poids permanent et sous surcharges ;
- vérification de la stabilité en cas de lancement (suite à des ruines en cours de lancement).

b - Epreuves

Les conditions d'épreuve correspondent aux conditions déjà énoncées et relatives aux règles de calcul (y compris les réductions de charges prises en compte).

Enfin,

- le passage des convois exceptionnels (eu égard aux hypothèses de calculs qui admettent des minoration de charge) reste soumis à l'autorisation du Préfet ;
- les dispositions à prendre pour faciliter la visite et l'entretien doivent faire l'objet d'une mémoire particulière.

Ce règlement laisse malheureusement sous silence les caractéristiques exigées des matériaux, alors que ces mêmes caractéristiques sont spécifiées dans le même règlement mais pour les ponts-rails uniquement. (A titre d'information, ce sont les suivantes) :

4 - LE REGLEMENT DU 8 JANVIER 1915

Il concerne, comme certains règlements précédents, aussi bien les ponts-rails que les ponts routiers. Vingt-cinq ans environ séparent ce règlement du précédent et cet en plein essor de la construction des ouvrages d'art métalliques.

a - Hypothèses de chargement :

- les calculs doivent être conduits selon les règles de la résistance des matériaux ;

- différents effets secondaires, qui sont englobés dans les coefficients de sécurité n'ont pas à être pris en compte, sauf pour les triangulations des poutres de rive dont les contraintes sont majorées forfaitairement de 10 % ;
 - La vérification au flambement des pièces comprimées, évoquée en 1891, est précisée ;
 - la surcharge sur trottoirs est portée à 560Kg/m² ;
 - Les charges du type B sont celles de véhicules à traction mécanique sous forme de convoi type dont la description n'est d'ailleurs pas notée dans le règlement ;
 - les ponts mixtes font l'objet de quelques règles de calcul différentes, mais il convient une fois de plus de se méfier du vocabulaire qui a évolué : mixte signifiait alors " qui livrait passage à une route et une voie ferrée " ;
- Il est à noter que :
- le fer n'est plus mentionné dans les matériaux à employer ;
 - pour la première fois, un texte réglementaire, en date du 29 octobre 1913, fixe les caractéristiques des matériaux aux valeurs indiquées dans le tableau II.

	limite élastique (kg/mm ²)	Rupture (kg/mm ²)	Allongement à la rupture (%)
Acier moulé	24	50	12
Aciers laminés Tôles, profilés	24	2	25
Rivets	20	28	28

b - Epreuves

Les convois d'épreuve ne sont pas modifiés, les modalités de chargement sont peu différentes.

Le convoi type est désormais composé de véhicules à 2 essieux arrière d'un poids total de 25 t dont 2 x 10 t pour les essieux arrière ayant un encombrement de 10,50 mètres.

5 - LE REGLEMENT DU 10 MAI 1927

La principale innovation de ce texte réside dans les surcharges à prendre en compte dans les calculs, qui commencent à ressembler aux surcharges actuelles.

a - Hypothèse de chargement

La surcharge répartie (par mètre carré) de chaussée A (1) est de la forme $820 - 4L$, si L est inférieure à 80 m, les trottoirs étant chargés à 400 kg/m^2 .

Les surcharges roulantes sont celles des véhicules à traction mécanique de PTAC 16 t, réparties en 4t - 12t sur les essieux et de longueur 10m. Une majoration pour effets dynamiques est introduite.

La largeur des files est portée de 2,25 à 2,50 mètres.

Concernant les calculs et dimensionnement, la seule nouveauté notable nous semble être une précision dans la vérification au flambement en faisant référence (sans les imposer) aux charges critiques d'Euler et aux formules d'Euler et Rankine.

b - Epreuves

Les surcharges par poids mort sont inchangées (400 kg/m^2) ; celles par poids roulant sont égales à celles correspondant au convoi maximal.

6 - LE REGLEMENT DU 29 AOUT 1940

Bien que ne portant que sur la modification d'un seul article du règlement de 1927, cette modification est malgré tout d'importance puisqu'elle porte sur les surcharges réparties sur chaussées et les convois types à prendre en compte.

Les surcharges par mètre carré passent à :

- $1200 \text{ kg/m}^2 - 8L$ si L inférieure à 87,50 m ou 500 kg/m^2 si L est supérieure à 87,50 m pour les surfaces réparties sur chaussée.

- Les surcharges roulantes sont celles des véhicules à traction mécanique de PTC 25 t, répartie sur 3 essieux 5t - 10-10t et de longueur 10.5m. Une majoration pour effets dynamiques est introduite.

7 - LE REGLEMENT DU 5 AVRIL 1958 ET 19 AOÛT 1960

Les modifications qu'il a apportent résident au niveau des surcharges réparties sur chaussées et les convois types à prendre en compte.

La largeur des voies est portée à 3.00 m.

Les surcharges par mètre carré sont :

Chaussée: $250+320e6/(L3+60L2+225e3)$.

Trottoir :

charges généralisées : 450 Kg/m²

Charges compatibles avec les autres surcharges : 150 Kg/m²

Les surcharges roulantes sont caractérisées par 3 types:

Bc: camion de charge égale à 30 t répartie sur 3 essieux 6-12-12

Be: roue de 20 t;

Br : Roue isolée de 10 t.

Une majoration pour effets dynamiques est introduite.

8 - LE REGLEMENT DU 28 DÉCEMBRE 1971 RÉVISÉ LE 8 DÉCEMBRE 1980

Les modifications qu'il a apportent résident au niveau des surcharges réparties sur chaussées et l'introduction des convois exceptionnels. On distingue 3 classes de ponts en fonction de leur largeur.

Les surcharges par mètre carré sont :

Chaussée: $230+ 36000/(L+12)$ avec introduction des coefficients a_1 et a_2 tenant compte de la classe et le nombre de voies chargées.

Trottoir inchangé

Les surcharges roulantes sont caractérisées par 3 types:

Bc: Camion de charge égale à 30 t répartie sur 3 essieux 6-12-12 avec introduction du coefficient majorateur bc tenant compte de la classe et le nombre de voies chargées.

Bt : Roue tandem de 16 t chacune;

Br : Roue isolée de 10 t .

Une majoration pour effets dynamiques est introduite.

Surcharges militaires: 4 types de charges;

Convoi exceptionnel: deux types D et E.

L'examen des règlements successifs permet cependant, en les comparant au règlement actuel, de se faire une idée sur les possibilités de résistance d'un ouvrage.

a - Surcharges de type A(1) : Les surcharges générales, équivalentes aux surcharges du type A (1) actuelles, étaient dans l'ensemble très pessimistes pour les grandes portées (voir figure 2)

b - Surcharges de type B : les surcharges de type B étaient dans l'ensemble représentatives des véhicules circulant réellement sur les routes (Fig.3).

Il y a lieu de noter que si un grand nombre d'ouvrages anciens supportent sans dommage la circulation actuelle ceci peut être expliqué par deux constatations :

- Ce n'est pas parce qu'un ouvrage tient qu'il présente une sécurité suffisante
- Les ouvrages anciens ont été calculés avec des méthodes simplifiées souvent pessimistes, ne représentant pas le fonctionnement réel de la structure.

Suivant la comparaison des règlements, on peut dire que dans les ouvrages anciens, les éléments porteurs principaux étaient sur-dimensionnés et peuvent supporter les surcharges actuelles, par contre les pièces secondaires (dimensionnées en général par les surcharges locales) sont sous-dimensionnées par rapport aux surcharges actuelles.

TABLEAU N°1

TABLEAU N°1

	EPREUVES		Charges Admises	largeur des voies (m)	Calculs de stabilité (L = longueur travée)
	A	B			
1869	400 kg/m ² trottoirs compris pendant 8 h	Chargement total voitures à 2 ou 4 t entraînant poids max. (pendant 8h)	11 t (5 chevaux - 2 roues) 16 t (8 chevaux - 4 roues - L = 3m)	2,5	
1877	300 kg/m ² trottoirs compris pendant 2h	chargement	11 t (5 chevaux 2 roues) 16 t (8 chevaux - 4 roues - L = 3m)	2,5	Maximum de 300 kg/m ² trottoirs compris ou 300 kg/m ² sur trottoir+ char- gement sur chaussée
1891	400 kg/m ² trottoirs compris pendant 2h	id calculs si lombereau 11t + 5 chevaux	7,4 t (2 chevaux - 2 roues - L = 8m) 21,6t (8 chevaux - 4 roues - L = 16m)	2,25	Maximum de 400 kg/m ² trottoirs compris ou 400 kg/m ² sur trottoir+ char- gement sur chaussée
1913	400 kg/m ² trottoirs compris pendant 2h	véhicules à chevaux ou tracteur mécani- que autorisés par code de manière à se rapprocher autant que possible des surcharges de calcul.	7,4 t (2 chevaux - 2 roues - L = 8m) 21,6t (8 chevaux - 4 roues - L = 16m)	2,25	560 kg/m ² sur trottoirs et hors voies circulées + chargement sur voies de 2,25 m. Combinaison des efforts dus au vent, à la température, aux charges permanentes et aux surcharges.
1927	400 kg/m ² trottoirs compris	Idem	14 t (2 essieux de 7 t) + 21,4 t (3 essieux) L=5m	2,5	Type A : trottoirs 400 kg/m ² chaussée 820kg/m ² - 4L si L<80m ; 500kg/m ² si L>80m Type B: véhicules autorisés +majoration dynamique.
1940			25 t (5 + 10 + 10) L = 10,50m	2,5	Type A : trottoirs 400kg/m ² chaussée 1200 kg/m ² - 8L si L>87,50m 500 Kg/m ² Type B : véhicules autorisés
1958 1960		2/3 des charges de conception	-Camion de 30 t -Surcharges militaires 4 ^e et 2 ^e classe	3.00	Type A: 350+ 320000 L ³ +60L+225000
1971 1980 actuel		Idem	-Camion de 30t -Surcharges militaires -Convois exceptionnels	3 classes: 3.50 2.75 2.50	Type A: 230+16000 L+12 Type B: systèmes autorisés

1 - DESCRIPTION DE QUELQUES CODES

Avec l'ouverture de notre pays et les accords internationaux de libre échange, notre pays reçoit ces dernières années des véhicules de transport des pays voisins. Donc il est judicieux de présenter et de comparer les règlements en vigueur dans ces pays et les pays de forte industrialisation automobile comme les Etats Unis et le Japon. Les règlements étrangers des pays voisins sont examinés au point de vue chargement seulement. On a pris les règlements des pays suivants : Allemagne - Espagne - Belgique et USA.

a - Code Allemand

• CLASSES DE PONT :

La norme DIN 1072 prévoit trois classes d'ouvrages d'art :

Classe 60 : comprend les passages supérieurs des autoroutes et des routes principales

Classe 30 : comprend les ouvrages des routes départementales, routes communales, et routes forestières pouvant être utilisées par les poids lourds. Une charge d'essieu de 130 KN est appliquée aux entretoises d'une portée $l = < 2$ m ainsi aux poutres longitudinales d'une portée $= < 7$ m

Classe 12 : comprend les ouvrages des routes de faible circulation, rurales pour la plupart.

• DIVISION DE LA CHAUSSEE:

La chaussée se divise en une voie de circulation principale de 3m, les autres voies étant de largeur normale. La voie principale doit être située à l'emplacement le plus critique par rapport à l'élément considéré de l'ouvrage.

• SYSTEMES DE CHARGEMENT :

- pour la voie principale : un véhicule lourd (Q) et, une charge uniformément répartie (q_1) devant et derrière le véhicule.
- Pour les autres voies : chargement uniformément réparti q_2 (KN/m²)

Les valeurs de Q , q_1 et q_2 sont :

	Charge concentrée (véhicule lourd)				Charge uniformément répartie	
	Charge totale KN	Charge par essieu KN	Charge par roue	Empattement des essieux en m	q_1 (kN/m ²)	q_2 (kN/m ²)
60	600	200	100	-1,50-1,50	5	3
30	300	100	50	-1,50-1,50	5	3
12	120	40/80	20/40	-3,50	4	3

• COEFFICIENT DE MAJORATION DYNAMIQUE

La charge imposée à la voie principale se multiplie par un coefficient k dont la valeur varie entre 1,4 et 1.

$$K = 1,4 - 0,0008 L > 1$$

L = Longueur de l'élément de l'ouvrage (longeron, entretoise, poutre principale) exprimée en mètre.

b - Code Belge

• CLASSES DE PONTS

Trois classes :

Classe A : ouvrages soumis à un trafic normal. Le calcul de ces ouvrages doit tenir compte des chargements actuels.

Classe B : ouvrages soumis à un trafic lourd, comme ci-dessus : on procède en outre à une vérification en prévision d'un chargement exceptionnel (véhicule lourd ou trafic intense)

Classe C : ouvrages soumis à un trafic léger. Les calculs se font en fonction de chargement limité.

• DIVISION DE LA CHAUSSEE

La chaussée se divise en un nombre entier de voies de circulation dont la largeur varie de 2,5 à 4 m.

• SYSTEMES DE CHARGEMENT

Pour la classe A, on considère l'action simultanée :

a - Sur la totalité de la surface de l'ouvrage : d'une charge uniformément répartie de $3,5 \text{ kN/m}^2$ de surface horizontale.

b - Pour chaque voie de circulation : d'une charge unitaire concentrée qui consiste en deux charges d'essieux (en tandem) de 150 kN soit au total 300 kN (Q), l'intervalle entre les essieux étant de $1,5 \text{ m}$. à prescrire une vérification de l'ouvrage sous une charge uniformément répartie de 10 kN/m^2 , cependant qu'une réduction du facteur de sécurité est admise (Classe B).

• COEFFICIENT DE MAJORATION DYNAMIQUE

Ce coefficient a pour valeur (voir également point 4 pour la France)

$$k = 1 + 0,4 + 0,6 \quad 1 + 0,2 L \quad 1 + 4 P/S$$

Où P = la charge permanente

S = Charge active et L = La portée de l'élément considéré. Dans le cas des poutres continues, la valeur de L doit correspondre à la moyenne de toutes les différentes travées.

c - Règlement Espagnol

• GENERALITES

Le code adopte pour norme le véhicule lourd de 600 kN et une charge uniformément répartie de 4 kN/m^2 . Ces charges tiennent compte du coefficient d'impact. Le code s'applique aux ouvrages de portée inférieure à 125 m .

• SYSTEME DE CHARGEMENT :

On considère un véhicule lourd de 600 kN avec une charge uniforme de 4 kN/m^2 (voir figure ci-dessous). Les facteurs de charge et les coefficients de sécurité, utilisés lors du dimensionnement, sont invariables.

d - CODE DES ETATS -UNIS: (normes pour ponts routiers de l'AASHO)

• CLASSIFICATION

On prévoit deux systèmes de chargement, H et HS

• DIVISION DE LA CHAUSSEE

Le chargement de la voie ou camion type a une largeur théorique de $3,048 \text{ m}$ (10 pieds). Ces charges doivent se tenir dans des voies de circulation de $3,658 \text{ m}$

(12pieds) divisant toute la largeur carrossable de l'ouvrage. Leur nombre et leur position transversale sont choisis de telle façon qu'on entraîne des contraintes maximales dans l'élément de structure considéré. La largeur carrossable est la distance entre les bordures. Les voies ne doivent pas être fractionnées. Les chaussées de 6,096 à 7,815m (20 à 24 pieds) doivent être pourvues de deux voies de largeur égale à la moitié de la largeur de la chaussée.

Le chargement de la voie (ou les camions typent de 3,043m (10 pieds) de largeur est positionné au long de sa voie de circulation (utilisée pour le calcul) susceptible de produire la contrainte maximale.

• SYSTEMES DE CHARGEMENT:

Chargement H (fig US1)

Camion à 2 essieux ou charge correspondante de la voie (2 catégories U 20, H15 et H 10).

Chargement US (Fig US 2)

Semi-remorque ou charge correspondante de la voie (2 catégories US 20 et HS 15). Les ouvrages sur le système routier inter-états seront calculés en fonction des normes HS 20 ou d'une norme alternative de chargement militaire à deux essieux espacés de 1,219m (4pieds) chacun et de 24.000 lbs (108 kN). Les ponts sont conçus pour celui qui exerce la plus forte contrainte.

- Le chargement correspondant de la voie est pour les H 20 et HS 20 une charge uniforme de 640 lbs par pied linéaire de voie chargée, soit 9,4 kN/m lin, avec une charge concentrée de :

18.000 lbs = 80 kN pour le moment fléchissant

26.000 lbs = 116 kN pour le dimensionnement ou cisaillement pour les H 15, 75 % de ce chargement est pris en considération et pour les H 10, 50%.

- Réduction de l'intensité de la charge : lorsque le chargement simultané d'un nombre quelconque de voies de circulation produit la contrainte maximale d'un élément quelconque de l'ouvrage, on applique le pourcentage ci-après de contrainte de charge active en prévision de la coïncidence peu probable d'un chargement maximum pour toutes les voies de circulation.

2 - SYNTHESSES DES CODES

a - Classement des ponts

La plupart des pays conçoivent leurs ponts pour une seule catégorie de chargement (Espagne - Belgique). Par contre l'Allemagne, l'Italie et le Japon adoptent le principe de la capacité portante et distingue au moins 3 classes de ponts selon leur itinéraire.

b - Chargement

La plupart des règlements prévoient l'étude de l'action simultanée d'une charge uniformément répartie (q) ainsi que d'une ou plusieurs charges concentrées de files de véhicules (Q).

De manière générale, pour les grandes portées c'est les charges de répartition uniformément qui sont déterminantes pour le dimensionnement des éléments porteurs.

- Coefficient de majoration dynamique:

La plupart des règlements prévoient le coefficient de majoration dynamique en fonction de la portée uniquement.

- Réduction des chargements :

La plupart des règlements appliquent une réduction du chargement en fonction des voies chargées sauf l'Espagne.

c - Comparaison des codes

- Description de la méthode

Un pont sur appui simple, d'une portée variant de 10 à 100m et en deux voies de 3,50 a été adopté à titre de référence. On a tenu compte du coefficient de majoration dynamique.

En tenant compte des contraintes admissibles prévues dans les codes de constructions métalliques : $M = M_{\text{mobile}} \times S \times V$.

CONCLUSION

Il est à remarquer que l'effet de la charge mobile diminue avec l'augmentation de la portée. De l'examen des différents règlements sus-cités, il ressort ce qui suit:

Il y a une nette différence en ce qui concerne :

- le chargement des voies
- le coefficient de réduction
- le coefficient de majoration dynamique.

La plupart des pays préconisent un chargement mixte :charges mobiles et charges réparties.

La charge répartie généralement varie entre 350 Kg/m² et 500 Kg/m²

Les charges mobile sont en général constituées d'un convoi de 60 tonnes en 3 essieux de 20 tonnes espacés de 1.50 m

PROPOSITION DE BASES D'UNE REGLEMENTATION NATIONALE

L'étude du trafic a montré le passage d'un véhicule de 79.2 tonnes. Ce véhicule engendre des effets contraintes pouvant être supérieure à celles admissibles , Les ouvrages français en béton précontraint dont leur justification est rigoureuse et juste à la limite des caractéristiques des matériaux, présentent, en dépit de leur jeune âge, des défaillances très remarquables (fissures et épaufures).

Ceci montre la réglementation française, adoptée au Maroc, préconise des surcharges conventionnelles qui sont trop défavorables pour le calcul à la sécurité des ouvrages.

Ainsi Tous les règlements étrangers préconisent la combinaison de deux systèmes : charges réparties de 350 à 500 kg/m² et des charges mobiles en général 3 essieux de 20 tonnes.

. Charge d'essieux maximale enregistré :

La charge maximale d'essieu enregistrée est de 28.4 T (essieux arrière d'un camion empruntant la RP2).ainsi le poids total du camion le plus chargé est de 79.2 Tonnes.

. Effet du camion de 79.2 T :

C'est une semi- remorque de 79.2 T de charges d'essieu respectives 7.28.20.3 et 23.9 avec un empattement de 4.20 - 3.80 - 1.35.

4.20 . 3.80 . 1.35 .

Les tableaux ci-après donnent les effets de ce convoi.

SYSTEME DE CHARGES PROPOSE

Les bases d'une réglementation nationale sont:

- Surcharges
- Charges réparties : 350 kg/m² pour la première voie et 0.6 pour la deuxième voie
- Charges concentrées : 3 essieux de 20 T espacés de 1.5 m avec deux camions autorisés au maximum Elles sont affectées d'une majoration dynamique de celle bc : $k = 1 + 0,4 + 0,6$
 $1 + 0,2 L \quad 1 + 4 P/S$
- Convois exceptionnels: reste inchangés
- Surcharges militaires. reste inchangés

COMPARAISON DE LA PROPOSITION AVEC LES TEXTES ACTUELS

On se limite, pour faire la comparaison, aux éléments de réduction le Moment de flexion .

Le système proposé offre une sécurité dépassant celle couramment connu soit un coefficient de 1.5 .

RÈGLEMENTS RELATIFS AUX MATÉRIAUX

En ce qui concerne la qualité des matériaux utilisés pour la construction des ouvrages, il faut se rapporter aux règlements correspondants.

Les tableaux qui suivent donnent les caractéristiques des (béton armé, béton précontraint et métal) matériaux suivant les différents règlements, ces informations nécessaires pour l'établissement d'une étude de portance doivent être complétées par des essais au cours des investigation.

OUVRAGES EN BETON ARME

a - Règlements de calcul

b - Matériaux utilisés

TABLEAU N°2

TABLEAU N°2	
Années	Circulaires et décrets
1906	20 Octobre
1934	Série A n° 8 du 19 Juillet
1964	N° 70 du 14 Novembre
1968	Décret n° 68-340 du 4 Avril (Règles CCBA 68)
1970	Circulaire MEL N° 70115 du 27 Octobre (modification)
1979	Décret n° 79-923 du 16 Octobre 1979, fascicule n°2. Titre I, Section 1 (Règles BAEL 80)
1983	Décret n° 90-617 du 12 Juillet 1983 (Règles BAEL 83)
1991	Décret n° 92-71 du 16 Janvier 1992 (Règles BAEL 91)

TABLEAU N°3

TABLEAU N°4 (d'après une notice du Département Ouvrages d'art de la SNCF)

Règlement de calcul de l'ouvrage	BETON				ACIER	
	Période de "	Dosage ou classe du béton	Résistance à la compression à la construction (Kg/cm²)	Méthode de mesure	Nuance et type	Limite d'élasticité (kg/cm²)
1906	1906-1934	300kg/m ³ 350 kg/m ³ 400kg/m ³	160 180 200	sur cube à 90 jours	ronds lisses	2200 à 2400
1934	1934-1953	300kg/m ³ 350kg/m ³ 400kg/m ³	215 235 250 ou 300	sur cubes à 90 jours	adx 24 BA	2 200 2 400
	1954-1960	classe 70 classe 84	225 270	sur cubes à 28 jours	adx 24 BA	2 400 2 400
	1961-1964	classe B 300 classe B 300	300 360	sur cubes à 28 jours	A 42 HA	2400 4 000
	1965-1968	classe B 300 classe B 360	300 360	sur cubes ou cylindres à 28 jours	Fe E 22 Fe E 24	2 200 2 400
1970 y compris 1964 et 1968	après 1968	Classe B3 classe B2	250 300	sur cylindres à 28 jours	Fe E 40	4 200 Ø < 20 mm 4 000 Ø > 20 mm
		classe B1 classe B0	350 400			

(*) **NOTA** : il y a lieu de tenir compte d'un coefficient d'équivalence pour se ramener à la résistance à la compression à 28 jours mesurée sur cylindre de façon à pouvoir appliquer le règlement actuel.

$n_1 = 0.83$ rapport d'équivalence entre les valeurs de résistances mesurées sur cubes et sur cylindres.

Des coefficients supplémentaires peuvent être retenus pour tenir compte de l'interprétation statistique des essais réalisés à l'époque de la construction et des résultats des investigations complémentaires.

c - Mode de justification

• Mode de justification régnant jusqu'à 1946 :

D'après les portefeuilles du béton armé élaborés par Mr FORESTIER publiés en 1921 et utilisés jusqu'au 1960 en se basant sur la circulaire ministérielle du 20 Octobre 1906.

Les ouvrages sont à vérifier à la fatigue comme suit :

- la compression du béton $r = k_y$ doit être inférieure à la contrainte admissible = 44,8 bars pour un béton B300

- la tension des aciers $R = n_k (h-y) < R = 1200$ bars

avec - y = ordonnée de la fibre neutre

- K = coefficient angulaire

M = moment sollicitant

- n = Coefficient d'équivalence = 12. I = moment d'inertie

• Mode de justification régnant de 1946 au 1968 :

Lors de cette période, la résistance des matériaux a connu son apogée, les contraintes des matériaux sont conformément aux règles BA46 :

Béton : ($b = 90$ kg/cm² (bars) contrainte admissible pour un béton (B350)

Acier : Ronds lisses 1300 bars.

- La combinaison des actions est de $G + 1.2 P$

- La vérification à la rupture est exigée:

$M (G+2P) < \min (0.9 M_{ra}, 0.7 M_{rb})$

M_{ra} et M_{rb} sont respectivement les moments résistant de l'acier et du béton.

• Mode de justification depuis 1968 :

Vérification selon les règles CCBA 68 ou BAEL 83.

OUVRAGES EN BETON PRECONTRAINT

a - Règlements de calcul

TABLEAU N°4

TABLEAU N°4	
Années	Circulaires
1953	N° 141 du 26 Octobre
1965	N° 44 du 12 Août (instruction provisoire n°1)
1973	N° 73-153 du 13 Août (IP n°2)
1979	N° 79-121 du 14 décembre 1979 (IP n° 1 modifications et compléments)
1983	Décret n°90-617 du 12 Juillet 1983 (Règles BPEL 83)
1991	Décret n°92-72 du 16 Janvier 1992 (Règles BPEL 91)

b - Matériaux utilisés

1 - Armatures de Précontrainte

A défaut de posséder les caractéristiques exactes des aciers utilisés, on pourra prendre en compte les valeurs suivantes :

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES :

Avant 1955 (Pont Moulay Hassan et Oued Souss)

a/ contraintes

à vide $f = 110$ h bars

avant relaxation $f = 100$ h bars

après relaxation $f = 85$ hbars

b/ module d'élasticité

$E = 19000$ h bars

Entre 1955 et 1967 (date des premiers agréments)

a/ Contraintes

$f_e = 120$ h bars $f_r = 140$ h bars.

Après 1967, On pris les caractéristiques minimales des fils ou torons agréés à la date de la construction et on utilise l'instruction provisoire IP1 du 1965.

b/ Relaxation

Avant 1967 prendre $000 = 10$ %

Après 1967 prendre la valeur maximale des fils ou tourons agréés à la date de construction.

FROTTEMENTS :

Les coefficients de frottements pris en compte dans les notes de calculs étaient souvent très sous évalués, il semble réaliste de prendre en compte les valeurs suivantes en fonction du type de gaine utilisée (généralement repérable par gammagraphie)

- *Gaines en papier goudronné $\mu = 0,25$
(= 0.003)
- *Gaines en feillard $\mu = 0,23$
(= 0,0025)
- *Gaines rigides (type tube chauffage) : $\mu = 0,20$
(= 0,002)

d/ Recul d'Ancrage

Ancrages FREYSSINET

TABLEAU N°5

	12 0 5	12 0 7	12 0 8	12 T 13	12 T 15
Cône béton	7 mm	8 mm	8 mm	12 mm	8 mm
Cône béton+Carbo random	6 mm	7 mm	8 mm	12 mm	8 mm
Cône acier		6 mm	7 mm	12 mm	8 mm

Autres procédés (BBR - SEEE - KA)

Prendre $r = 2$ mm.

2 - Béton :

* Avant 1965:

- en construction $0 < \sigma < 150$ bars
- en service $-7 < \sigma < 150$ bars

*Après 1965 : on utilise l'IP1

- en construction $-13.2 < \sigma < 165$ bars
- en service $-10 < \sigma < 126$ bars

OUVRAGES METALLIQUES

a - Règlements de calcul:

TABLEAU N°6

TABLEAU N°6	
Année	Circulaires et décrets
1891	29 Août (pris pour la conception des ponts suspendus au Maroc)
1915	Série A n° 1 du 8 Janvier
1927	Série A n° 3 du 10 mai
1930	Série A n° 2 du 7 août
1960	n° 65 du 19 août (titre V du fascicule 61 du CPC)
1970	n° 70-18 du 4 Février (modifications et compléments)
1972-1973	Décret ministériel n° 72-667 du 4 juillet 1972 et circulaire n° 73-150 du 7 août 1973 (titre V actuel)
1981	Circulaire 81-63 du 28 juillet (ponts mixtes acier - béton)

TABLEAU N°7

TABLEAU N°7			
Matériaux	Années	Caractéristiques mécaniques	Remarques
Fonte	1779-1900	$50 < R < 100 \text{ MPa}$ $100 < R < 150 \text{ MPa}$ $1\% < a < 8\%$	Caractéristiques mécaniques très médiocres - Matériau fragile, mais résistant bien à la corrosion - non soudable.
Fer	1796-1900	$160 < e < 180 \text{ MPa}$ $220 < r < 250 \text{ MPa}$ $a > 30\%$	Caractéristiques mécaniques faibles mais grand palier plastique - Matériau peu sensible à la corrosion - Pratiquement pas soudable.
Fer puddlé	1800-1914	$180 < e < 300 \text{ MPa}$ $250 < r < 400 \text{ MPa}$ $5\% < a < 25\%$	Forme primitive de l'acier - Matériau hétérogène - Les meilleurs fers puddlés sont voisins des aciers doux actuels ; les plus mauvais ont un faible domaine plastique et une structure feuilletée qui les rend très sensibles à la corrosion - sauf cas particulier non soudable.
Acier A 52 ou E 24	dès 1900	$R = 240 \text{ MPa}$ $R = 420 \text{ MPa}$ $a \approx 30\%$	Suivant leur composition chimique ces aciers sont soudables ou non
Acier A 52 ou E 36	dès 1930	$R = 360 \text{ MPa}$ $R = 520 \text{ MPa}$ $a \approx 25\%$	
Aciers durs et mi-durs (Câbles, barres, boulons)	dès 1980	$700 < R < 1600 \text{ MPa}$ $1000 < R < 2000 \text{ MPa}$ $5\% < a < 20\%$	Matériaux sensibles aux effets d'entaille et à la corrosion fissurante sous tension.