

# Contrôle d'exécution

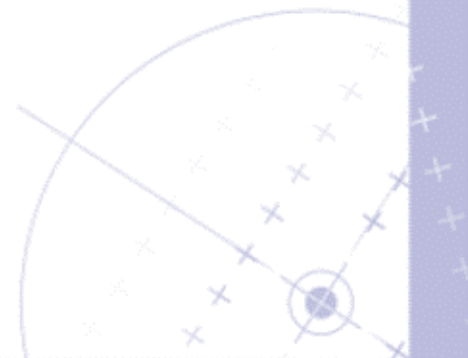
## Rappels de Béton Armé et principes de ferrailage

Formation DIR – Juin 2007

Xavier HERVAIS

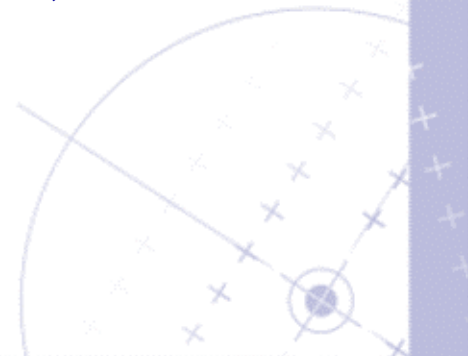


# Rappels de Béton Armé



## Pourquoi cette association?

- Le béton présente des résistances à la compression élevées mais sa résistance à la traction est faible
- L'acier présente une très bonne résistance à la traction (inconvénients : corrosion et déformation importante avant rupture)
- Pour compenser la faible résistance en traction du béton, on associe les deux matériaux → Béton Armé



- Les armatures de béton armé:

- les treillis soudés:

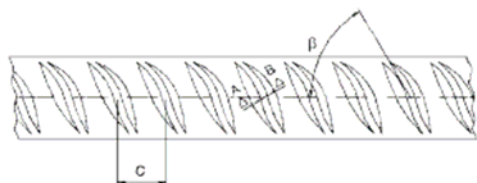
quand les armatures sont soudées entre elles sous forme de quadrillage, on parle de panneau de treillis soudés (rars en OA) et si utilisé  $\varnothing \leq 10\text{mm}$



les barres : 2 types d'armatures sont disponibles sur le marché ;  
les ronds lisses (RL ou aciers doux) et les armatures à haute adhérence (HA *cf. figures ci dessous*)

Les diamètres normalisés d'armatures courantes sont:

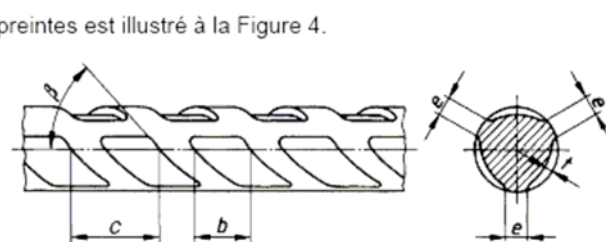
6 – 8 – 10 – 12 – 14 – 16 – 20 – 25 – 32 – 40 [mm]



NOTE La figure illustre un exemple avec deux séries de verrous.

Figure 3 — Géométrie des verrous

Un exemple d'acier à empreintes est illustré à la Figure 4.



NOTE La figure illustre un exemple avec trois séries d'empreintes.

Figure 4 — Géométrie des empreintes

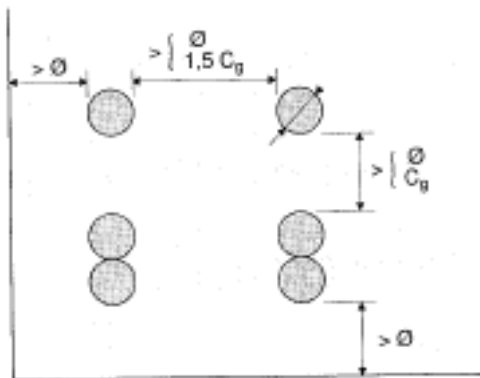


- Les armatures HA qualité soudable en barres < 12m avec nuances suivantes :

Nuances	$f_e$	Utilisation
$f_e E500$	$f_e = 500 MPa$	courante
$f_e E400$	$f_e = 400 MPa$	moins fréquent

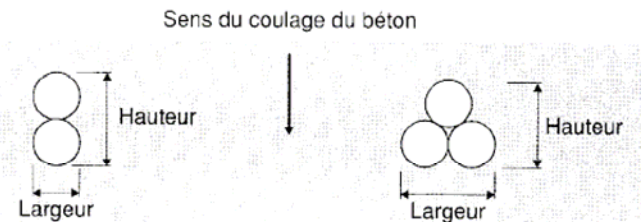
- Pour les aciers ronds lisses, on trouve des aciers  $f_e E235$  utilisés dans les zones de pliages dépliages fréquents + frettages (tendent à disparaître)

## Règles principales d'assemblage



### ■ c) Paquets de barres ►►[BAEL 91/A.7.2.1]◄◄

La hauteur d'un paquet de barres doit être au plus égale au double de sa largeur. Pour les paquets de deux et trois barres, on adoptera les dispositions de la figure 94.



## Tableau des sections d'aciers

### Sections nominales et poids des armatures

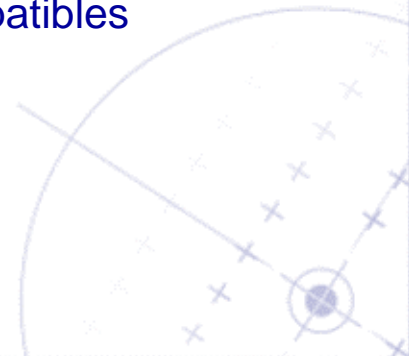
φ nominal des barres  (en mm)	φ ext des aciers HA  (en mm)	SECTION NOMINALES EN CM <sup>2</sup>										Poids d'une barre  au ml  (en kg)
		Nombre de barres										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	6	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	0,154
6	7	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	0,222
8	10	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	0,365
10	12	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	0,617
12	15	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	0,888
14	17	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39	1,208
16	19	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	1,575
20	24	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42	2,466
25	30	4,91	9,82	14,73	19,64	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09	3,853
32	38	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	6,313
40	47,5	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,10	125,66	9,855



- Maîtrise de la fissuration selon BAEL
  - Dispositions constructives ad-hoc (diamètre maximal, densité minimale...)
  - Contrôle de l'ouverture des fissures ( $< 0.3\text{mm}$ ) en trois classes
    - Fissuration peu préjudiciable (cas courant)
    - Fissuration préjudiciable : parements exposés aux embruns
    - Fissuration très préjudiciable : parements immergés
  
- Maîtrise de la fissuration selon EC2
  - Disp. Constructives + limites d'ouverture des fissures
  - Conditions minimales suivant environnement du parement

## Dispositions constructives pour la maîtrise de la fissuration

- Fissuration peu préjudiciable
  - Utiliser les gros diamètres dans les pièces suffisamment épaisses :
    - ✓ Diamètre max 32mm (exceptionnellement 40mm)
    - ✓ Diamètre max barres < Épaisseur/10 (dalles)
    - ✓ Diamètre max étriers < Hauteur/35 (poutres)
  - Éviter les (trop) petits diamètres pour les pièces exposées aux intempéries
  - Privilégier les petits diamètres pour les pièces soumises à de la fissuration de retrait
  - Prévoir le plus grand nombre de barres compatibles avec la mise en place du béton



- Fissuration préjudiciable
  - Diamètre des armatures les plus proches des parois  $\geq 6\text{mm}$
  - Pour les dalles et voiles  $\leq 40\text{ cm}$ : écartement des armatures d'une même nappe  $\leq (25\text{cm} ; 2h)$
  
- + Fissuration très préjudiciable
  - Diamètre des armatures les plus proches des parois  $\geq 8\text{mm}$
  - Pour les dalles et voiles  $\leq 40\text{cm}$  : écartement des armatures d'une même nappe  $\leq \min (20\text{cm} ; 1.5h)$
  - Section d'armatures « de peau » de  $5\text{ cm}^2/\text{ml}$  pour les poutres
  - Si diamètre des barres tendues  $\geq 20\text{mm}$ , écartement minimal =  $3 \times$  diamètre

## Exemples de façonnages élémentaires

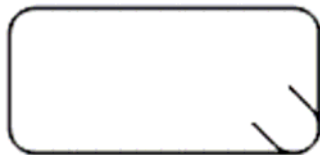


Figure 1 — Exemple de cadre



Figure 2 — Exemple d'étrier



Figure 3 — Exemple d'épingle



Figure 4 — Exemple d'ancrage

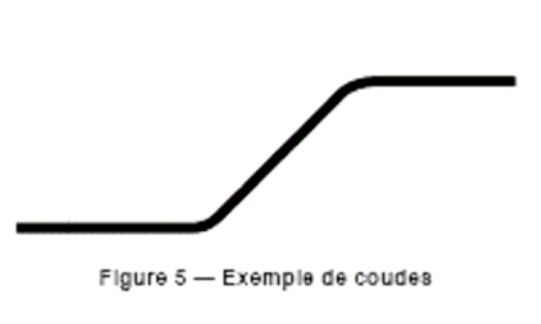


Figure 5 — Exemple de coudes

- Scellement droit et recouvrement des barres

Les armatures ne seront efficaces que s'il y a une liaison mécanique significative entre l'armature et le béton → on définit donc  $l_s$  = longueur de scellement

BAEL 91:

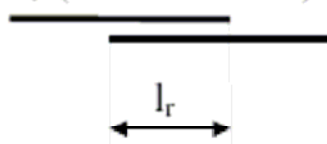
$$l_s = \frac{f_e \Phi}{4 \bar{\tau}_s}$$

avec  $\bar{\tau}_s = 0.6 \psi_s^2 f_{t28}$

et  $\psi_s = 1$  pour RL et 1.5 pour HA

En pratique on applique:

	RL	HA	
		400	500
$l_s$ (scellement)	$50 \Phi$	$40 \Phi$	$50 \Phi$
$l_r$ (recouvrement)	$l_s$ en traction et $0.6 * l_s$ en compression		



- Scellement droit et recouvrement des barres (à l'Eurocode 2 Chapitre 8) :

à titre indicatif le calcul du recouvrement se fait ainsi

### 8.7.3 Longueur de recouvrement

(1) La longueur de recouvrement de calcul vaut :

$$l_0 = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad \dots (8.10)$$

où :

$l_{b,rqd}$  est calculé au moyen de l'Expression (8.3)

$$l_{0,min} > \max\{0,3 a_6 l_{b,rqd} ; 15 \phi ; 200 \text{ mm}\} \quad \dots (8.11)$$

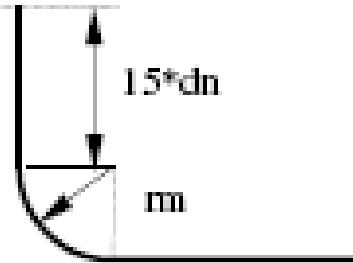
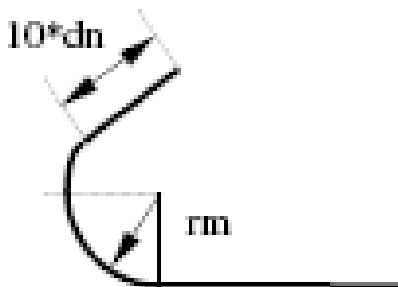
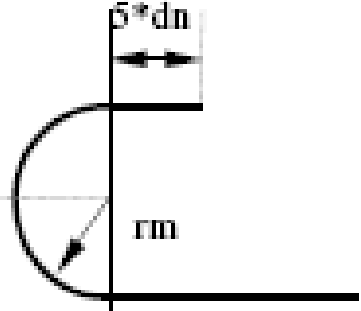
Les valeurs de  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  et  $a_5$  peuvent être prises dans le Tableau 8.2 ; il convient toutefois, pour le calcul de  $a_3$ , de prendre  $\sum A_{st,min} = 1,0 A_s (\sigma_{sd}/f_{yd})$ , avec  $A_s$  = aire de la section d'une des barres comportant un recouvrement.

$a_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$ , limité à l'intervalle défini par les valeurs 1 et 1,5, avec  $\rho_1$ , proportion de barres avec recouvrement dont l'axe se situe à moins de  $0,65 l_0$  de l'axe du recouvrement considéré (voir Figure 8.8). Le Tableau 8.3 donne des valeurs de  $a_6$ .

Tableau 8.3 : Valeurs du coefficient  $a_6$

$\rho_1$	< 25 %	33 %	50 %	> 50 %
$a_6$	1	1,15	1,4	1,5
NOTE les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation.				

- Ancrages des barres

Equerre normalisée (EN)	Retour normalisé (RN)	Crochet normalisé (CN)
		

où  $dn$  est le diamètre nominal de l'acier et  $rm$  est le rayon de cintrage.

Indiqués dans les nomenclatures de plans (EN, RN, CN)

- Les diamètres de mandrins (norme NF A 35-027)

Tableau 1 — Diamètres intérieurs de cintrage minimaux pour les aciers à haute adhérence

Dimensions en millimètres

Diamètre nominal de l'acier	5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	32	40
Cadres, étriers, épingles ou assimilés, y compris leur ancrage d'extrémité	20	25	30	30	40	40	50	70	100	150	200	Sans objet	
Ancrages	50	70	70	70	100	100	100	150	150	200	250	300	400
Coudes	Sans objet	100	100	100	150	150	200	200	250	300	400	500	500

Tableau 2 — Diamètres intérieurs de cintrage minimaux pour les ronds lisses de nuance FeE235

Dimensions en millimètres

Diamètre nominal de l'acier	5,5 et 6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
Cadres, étriers, épingles ou assimilés, y compris leur ancrage d'extrémité	20	30	30	40	50	50	70	100	Sans objet	
Ancrages	30	40	50	70	70	100	100	150	200	200



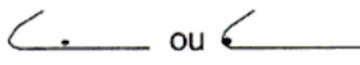
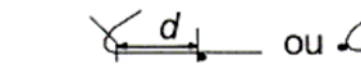
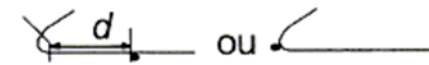
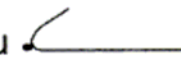
- Les diamètres de mandrins (Eurocode - équivalence)

Tableau 8.1N : Diamètre minimal du mandrin afin d'éviter les dommages aux armatures

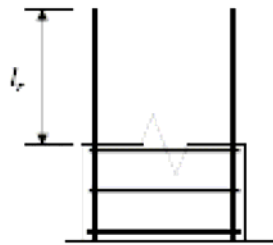
a) barres et fils

Diamètre de la barre	Diamètre minimal du mandrin dans le cas des coudes, crochets ou boucles (voir Figure 8.1)
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	$4 \phi$
$\phi > 16 \text{ mm}$	$7 \phi$

b) assemblages soudés (barres et treillis) pliés après soudage

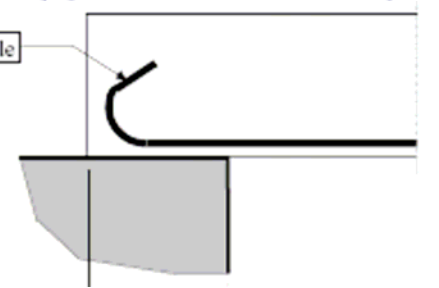
Diamètre minimal du mandrin	
 ou 	 ou 
$5 \phi$	$d \geq 3 \phi$ : $5 \phi$ $d < 3 \phi$ ou soudure dans la partie courbe : $20 \phi$
NOTE Dans le cas de soudures situées dans la partie courbe, le diamètre du mandrin peut être réduit à $5 \phi$ lorsque le soudage est effectué conformément à l'EN ISO 17660 Annexe B.	

- Exemples



Reprise de bétonnage - les armatures en attente d'une longueur  $l_r$

RN : par exemple



Ancrage d'armature principale par retour normalisé

Il y a d'autres possibilités visant à réduire les longueurs de recouvrement:

- scellement chimique
- coupleurs (manchons)
- soudage des aciers

- Exemple: Utilisation exceptionnelle de « manchons » de raboutage

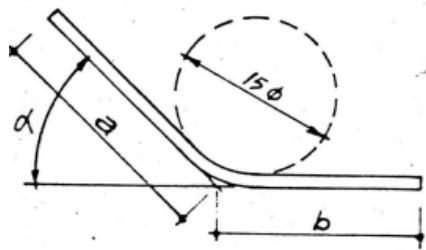


- ✓ Très coûteux
- ✓ Doivent être homologués
- ✓ Réservés à zones d'accès difficile ou si dangerosité pour le chantier (barres en attente)
- ✓ + avis et contrôle BET + Laboratoire

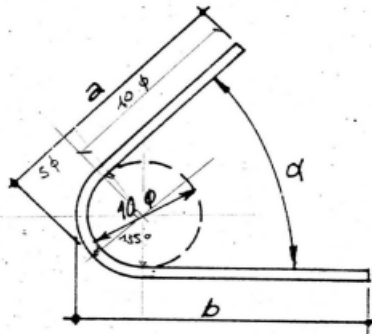


- Cotations des armatures

*Coter sur l'épure*



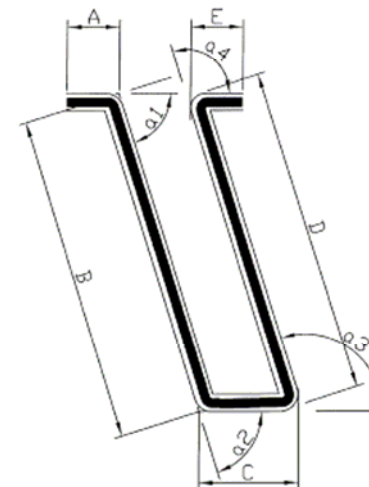
*Coter l'encombrement*



		MANDRINS DE CINTRAGE										
		Diamètres	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
HA	Crosses (Type 1)	70	70	100	100	150	150	180	250	300	400	
	Cadres (Type 2)	30	30	40	50	70	100	180	250	300	400	
DX	Crosses (Type 1)	30	40	50	70	70	100	100	150	200	200	
	Cadres (Type 2)	20	30	30	40	50	50	100	150	200	200	

COTATION DES ACIERS

- LES COTES DONNEES SONT DES DIMENSIONS EXTERIEURES EXPRIMEES EN MM.
- LES ANGLES DONNES SONT DES ANGLES DE CINTRAGE EXPRIMES EN DEGRES.



- Exemple de précisions sur les plans

- Cotations des armatures

La longueur développée correspond à la longueur de barre à couper pour qu'une fois façonnée l'armature ait la forme et les dimensions indiquées sur le plan de ferrailage.

Diam.	cotation de l'encombrement						Cotation de l'épure	
	cadres, épingles, étriers ou assimilés			ancrages normalisés			coudes	
	2*(A+B)+...	2*A+...	A+...	A+...	A+...	A+...	A+B+...	A+B+...
	cadre	étrier	épingle	Retour (RN)	Equerre (EN)	Crochet (CN)	30°	60°
5	+95	+113	+100	+85	+88	+82		
6	+115	+138	+122	+109	+108	+109	-3	-10
8	+148	+175	+156	+129	+138	+121	-3	-12
10	+189	+226	+199	+170	+176	+164	-4	-16
12	+226	+278	+244	+190	+205	+76	-5	-20
14	+274	+357	+309	+245	+249	+240	-6	-24
16	+329	+466	+396	+265	+279	+251	-7	-25
20	+428	+654	+549	+340	+352	+328	-8	-31
25	+544	+855	+713	+425	+440	+410	-11	-40
32				+530	+557	+503	-13	-51
40				+680	+704	+655	-16	-57

Exemple de tableau facilitant le calcul de longueurs développées (façonnages courants)

Rep. Barre	Dia.	Nb. d'elem	Nb de barres	Nb. total	Long	Code Forme	Type mandr.	Dimensions	Schema	Rev.
	mm				mm			mm - α		
201	HA12	1	1	1	2330	9.99	2	A=219 B=423 C=553 D=446 E=554 F=219 α1=135° α2=89° α3=91° α4=91° α5=135°		
202	HA16	1	1	1	1830	5.20	2	A=350 B=400		
203	HA14	1	1	1	860	9.99	2	A=122 B=230 C=130 D=230 E=130 F=122 α1=135° α2=90° α3=90° α4=90° α5=135°		
204	HA6	1	1	1	500	1.05	2	A=246 B=246 α1=156°		
211	HA12	1	1	1	2220	9.99	2	A=159 B=555 C=422 D=555 E=448 F=167 α1=135° α2=89° α3=89° α4=91° α5=135°		
212	HA12	1	1	1	1330	4.22	2	A=130 B=426 C=325 D=426 E=130		
213	HA12	1	2	2	1460	5.20	2	A=426 B=190		
214	HA12	1	1	1	1670	9.99	2	A=159 B=550 C=169 D=549 E=170 F=159 α1=135° α2=91° α3=89° α4=91° α5=135°		
215	HA6	1	1	1	500	1.05	2	A=246 B=246 α1=163°		
216	HA14	1	1	1	6460	2.04	2	A=360 B=170 C=3204		
217	HA10	1	1	1	1160	5.20	2	A=325 B=160		

POIDS D'ACIER

Nombre d'éléments: 1

Diamètre	Acier HA			Longueur totale (m)	Poids unitaire (kg/m)	Poids total (kg)
	Longueur totale (m)	Poids unitaire (kg/m)	Poids total (kg)			
6	1.0	0.222	0.22			
8	0.0	0.395	0.00			
10	3.9	0.617	2.43			
12	17.8	0.888	15.83			
14	7.3	1.208	8.84			
16	1.8	1.578	2.89			
20	0.0	2.466	0.00			
25	0.0	3.853	0.00			
32	0.0	6.313	0.00			
40	0.0	9.864	0.00			

Diamètre moyen (mm) :	12.4
Longueur façonnée : (m)	32
Longueur non façonnée : (m)	0
Longueur totale : (m)	32
Poids façonné : (kg)	30
Poids non façonné : (kg)	0
Poids total : (kg)	30

Total général pour un élément (kg)	30
Total général pour tous les éléments (kg)	30

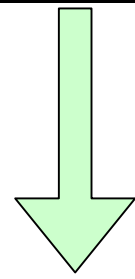
- [Renseignements sur les plans de ferrailage \(plan+nomenclature\)](#)

Rep. Barre	Dia.	Nb. d'éléments	Nb. de barres	Nb. total	Long.	Code Forme	Type mandr.	Dimensions	Schéma	Rev.
					mm			mm - α		
201	HA12	1	1	1	2330	9.99	2	A=219 B=423 C=553 D=446 E=554 F=219 α1=135° α2=89° α3=91° α4=91° α5=135°		
202	HA16	1	1	1	1830	5.20	2	A=350 B=400		
203	HA14	1	1	1	860	9.99	2	A=122 B=230 C=130 D=230 E=130 F=122 α1=135° α2=90° α3=90° α4=90° α5=135°		
204	HA6	1	1	1	500	1.05	2	A=246 B=246 α1=156°		
211	HA12	1	1	1	2220	9.99	2	A=159 B=555 C=422 D=555 E=448 F=162 α1=135° α2=89° α3=89° α4=91° α5=135°		
212	HA12	1	1	1	1330	4.22	2	A=130 B=426 C=325 D=426 E=130		
213	HA12	1	2	2	1460	5.20	2	A=426 B=190		
214	HA12	1	1	1	1670	9.99	2	A=159 B=550 C=169 D=549 E=170 F=159 α1=135° α2=91° α3=89° α4=91° α5=135°		
215	HA6	1	1	1	500	1.05	2	A=246 B=246 α1=163°		
216	HA14	1	1	1	6460	2.04	2	A=3160 B=170 C=3204		
217	HA10	1	1	1	1160	5.20	2	A=325 B=160		

pour compl

cadres, épingles, étriers ou assimilés

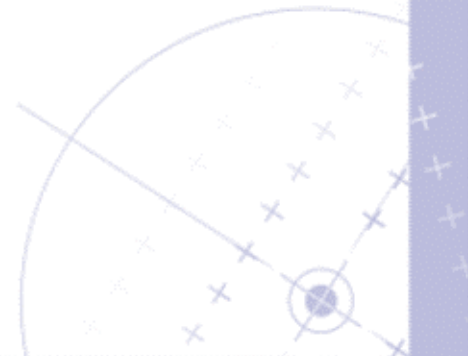
Diam.	2*(A+B)+... cadre	A+... étrier	A+... épingle
5	+95	+113	+100
6	+115	+138	+122
8	+148	+175	+156
10	+189	+226	+199
12	+226	+278	+244
14	+274	+357	+309
16	+329	+466	+396
20	+428	+654	+549
25	+544	+855	+713
32			
40			



- $L_d = 2*(325+160)+189 = 1159$



# Principes de ferrailage



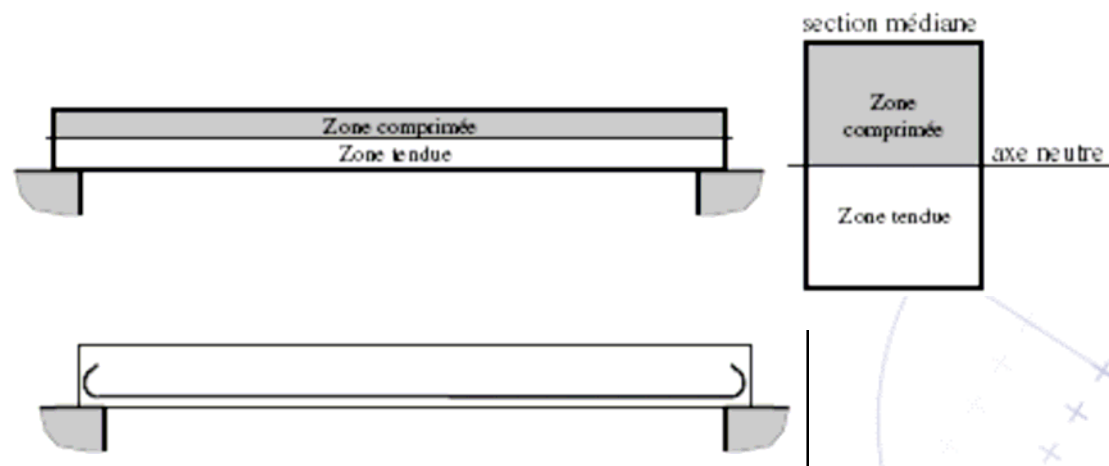


- Les armatures ont des fonctions différentes → nécessaire de différencier les armatures principales, des armatures complémentaires.

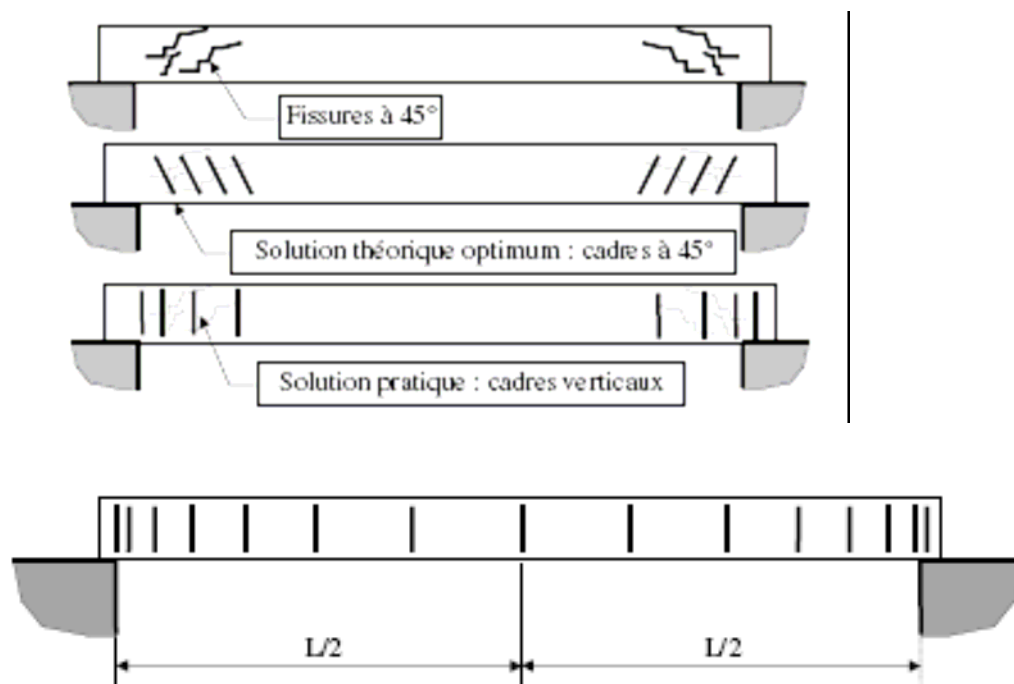
Les armatures principales sont soit:

- dans les zones de béton tendues
- soit soumises à un cisaillement

Exemple: armatures principales tendues

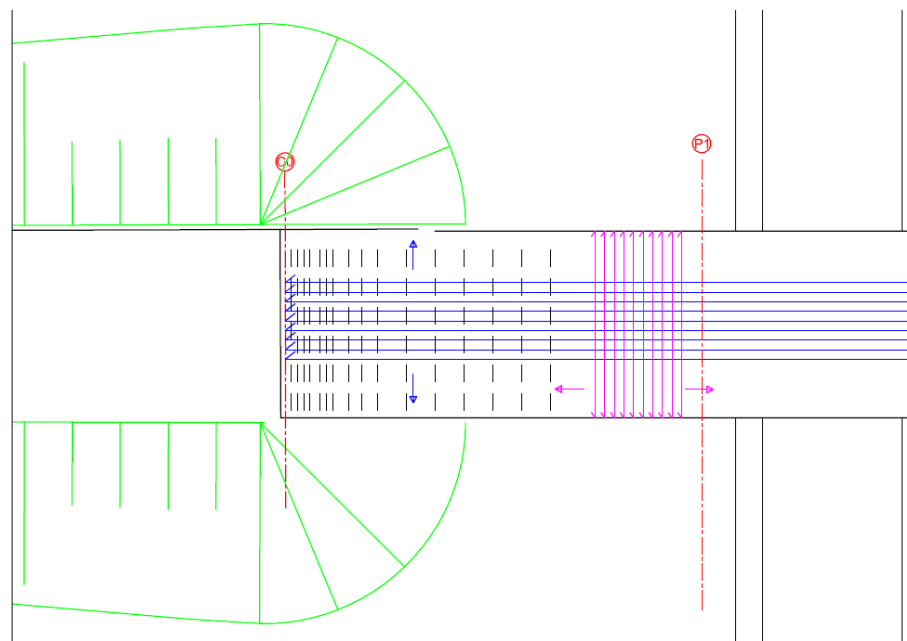


Exemple: armatures principales de cisaillement



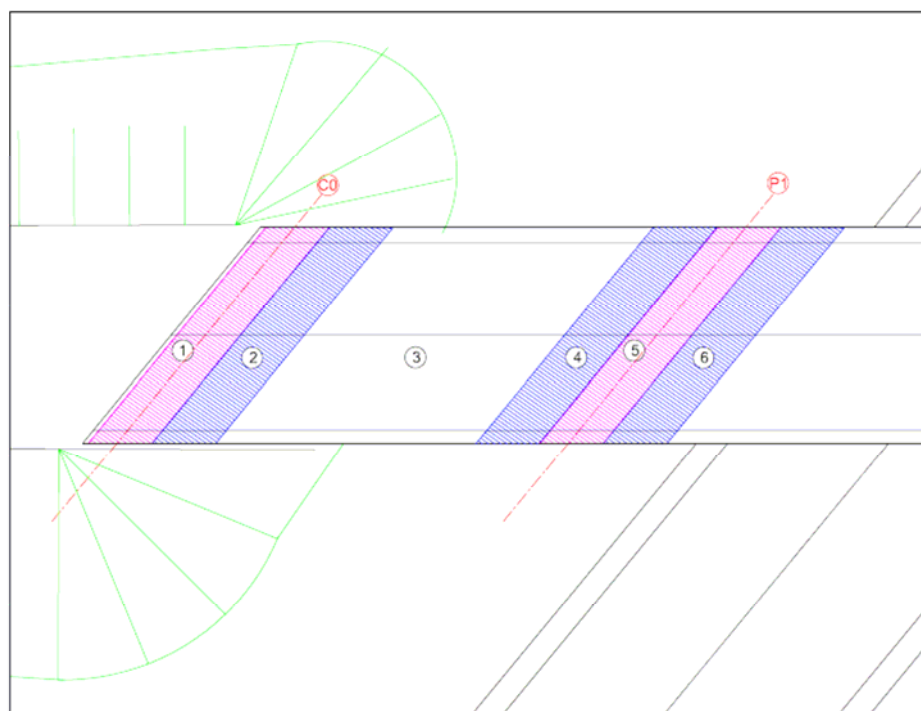
- Applications aux Ouvrages d'Arts

Les aciers principaux sont ceux qui reprennent les efforts de flexions (aciers longitudinaux et transversaux) ainsi que ceux qui reprennent les efforts tranchants (cadres et étriers).



- Applications aux Ouvrages d'Arts

Attention aux zones dites de « chevêtre intégré » (zones d'about + zones situées au niveau des piles)!!! Ces parties de dalles sont situées de part et d'autre des lignes d'appuis → densification des aciers dans ces zones.



Les armatures complémentaires qui permettent à l'association acier-béton de fonctionner correctement.  
Mise en place liée à:

-Dispositions particulières à certains éléments (cf. BAEL 91 ou EC2)

Armatures de non fragilité

Les % minimums d'armatures

Les armatures de peau

-Dispositions constructives particulières à certains éléments (cf. BAEL 91 ou EC2)

contrainte d'enrobage

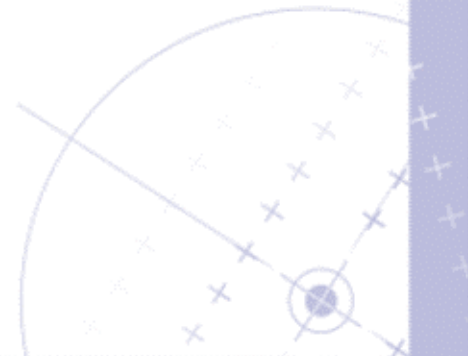
reprise de bétonnage

poussée au vide

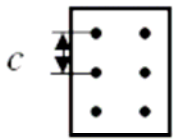
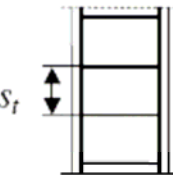
zone non ferrillées

aciers de coutures

mise en oeuvre



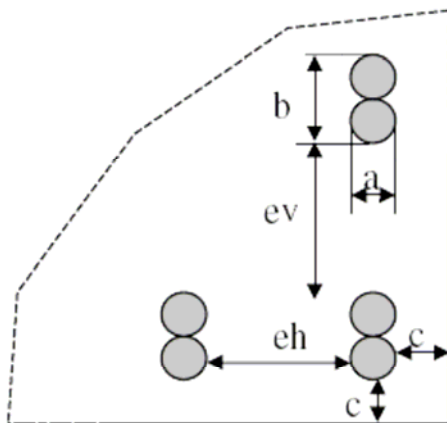
- Dispositions constructives
- Exemple pour les poteaux % armatures mini+ disp. constructives

armatures	% minimum d'armatures	distance maxi entre armatures	croquis
longitudinales $A_l$	$A_l \geq 4 \text{ cm}^2/\text{m}$ de parement et $0,2\% \leq \frac{A_l}{B} \leq 5\%$ avec $B$ la section de béton.	$c \leq \min \begin{cases} a + 10 \text{ cm} \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$	
transversales $A_t$	$\phi_{A_t} \geq \frac{\phi_{A_l}}{3}$	$s_t \leq \min \begin{cases} 15 \cdot \phi_{A_t} \\ 40 \text{ cm} \\ a + 10 \text{ cm} \end{cases}$	

où  $a$  est la plus petite dimension de la section droite.

- Exemple pour les poutres

Nécessaire pour un bétonnage correct :



$$b < 2a$$

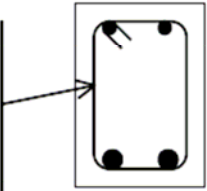
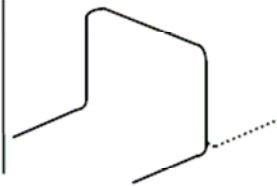
$$c > a$$

$$eh > \max.[a ; 1.5C_g]$$

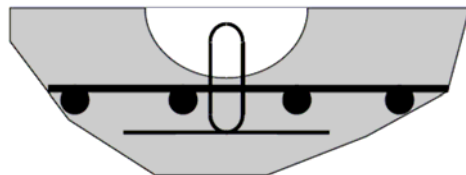
$$ev > \max.[a ; C_g]$$

$C_g$  : diamètre du plus gros granulats utilisé.

- Armatures de manutention et montage

Cadres, étriers ou épingles	Chaises
<p>Les cadres permettent ici un maintien correct (distance entre armatures et enrobage constants) des armatures supérieures lors du bétonnage.</p> 	<p>Les chaises permettent un écartement correct de deux nappes de ferrailage (inf. et sup.) d'un plancher par exemple. Densité usuelle 1 chaise/m<sup>2</sup>.</p> <p>Vue isométrique</p> 

- Fixations des élingues
- De façon à manutentionner les éléments préfabriqués, il est nécessaire de pouvoir les élinguer. Il existe plusieurs façons de fixer les élingues :
  - par douille de fixation scellés (voir documentation),
  - par crochet de levage, généralement en acier façonné doux





- Mise en place de grandes cages d'armatures (pieux, poteaux poutres...)

Ouvrages	Instabilités	Solutions
Poutre		
Voiles ou poteaux		

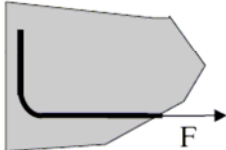
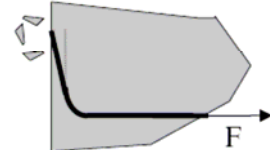
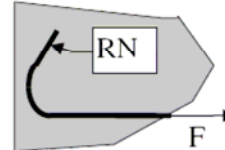
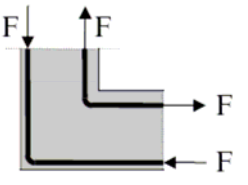
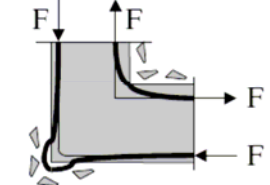
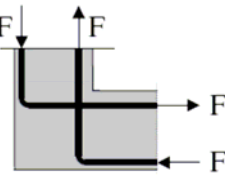
Raidisseurs de cages

- Exemples de dispositions

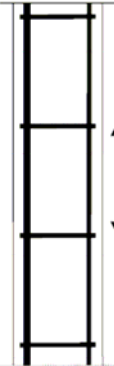
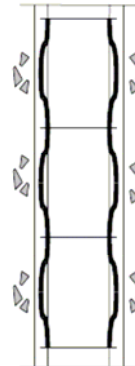
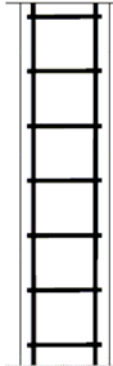
Principes	Mauvais	Correct
la symétrie :		
la répartition :		
armatures d'angle :		
	<p><u>Remarque</u> : les armatures transversales ne sont ici pas tracées</p>	

- La poussée au vide : résulte de la déformation des ouvrages, l'acier ayant tendance à pousser le béton vers le « vide »

- Par tension compression dans les aciers

Exemple	Ferraillage incorrect	Problème	Solution
Retour parallèle à une paroi			
Angle de mur			

- Par flambement des aciers

Ferraillage incorrect	Problème	Solution
 $st > st_{maxi}$		 $st < st_{maxi}$

- Autres dispositions constructives
  - Préférer cales béton aux cales plastiques (risques de corrosion ou en fibro-ciment (risque de rupture)



Plastique (à éviter)

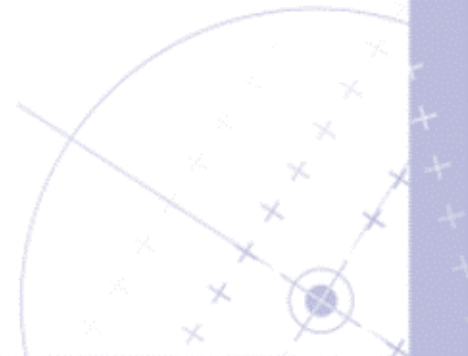


Fibro ciment (à éviter)



Béton (préférable)

- Listes non exhaustive des documents traitant de la terminologie, de la conception et de la surveillance des ouvrages d'art

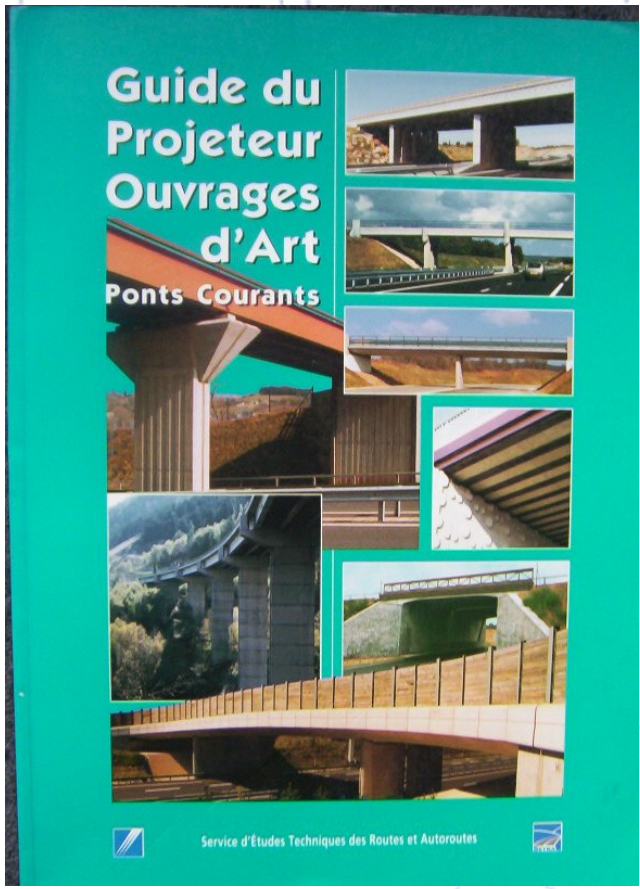


pour comprendre le présent et construire l'avenir

**Sétra** service d'études techniques des routes et autoroutes

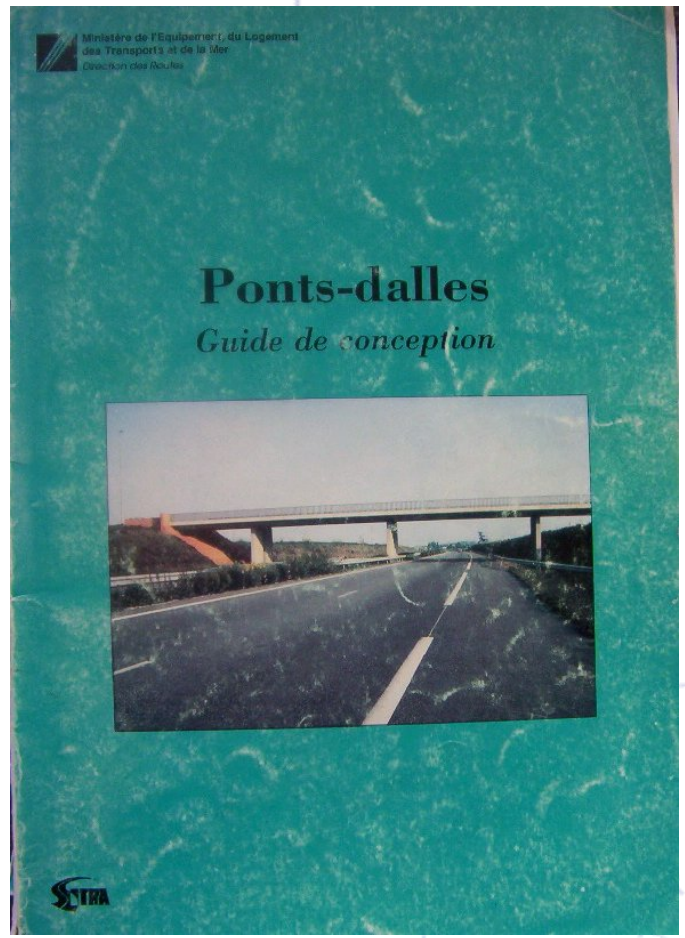
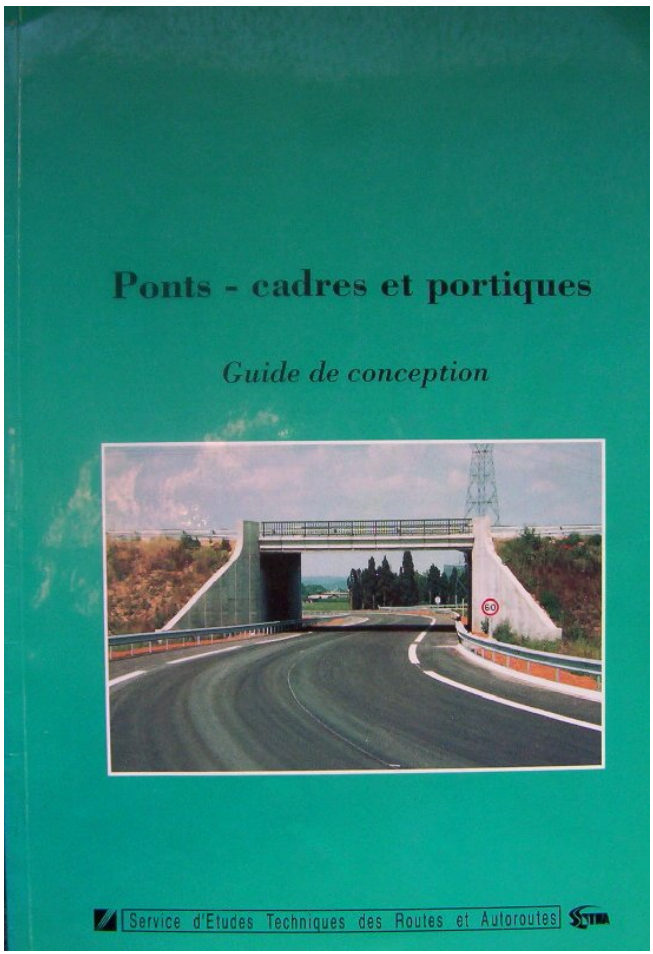
JANVIER 2005

Répertoire  
**Textes et documents techniques essentiels ouvrages d'art**  
Mise à jour janvier 2005





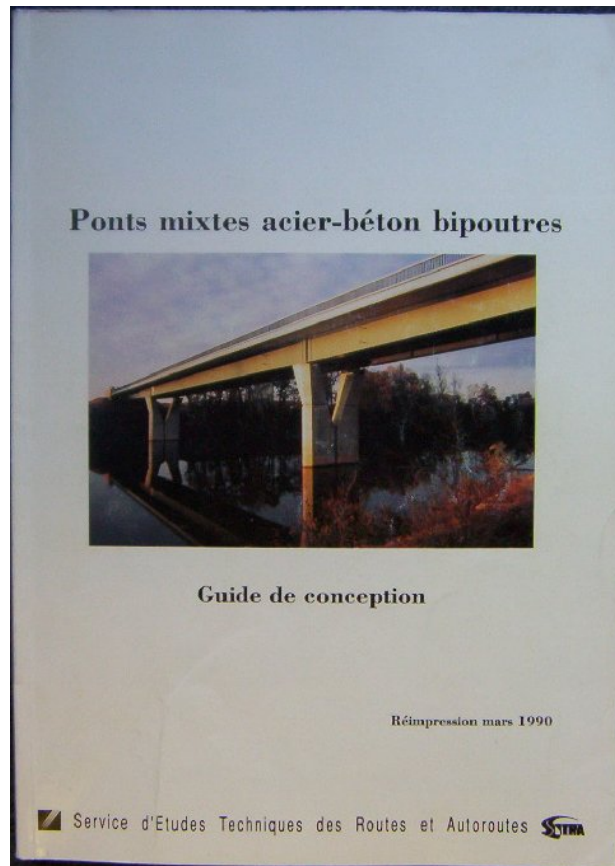
pour comprendre le présent et construire l'avenir



CeTe

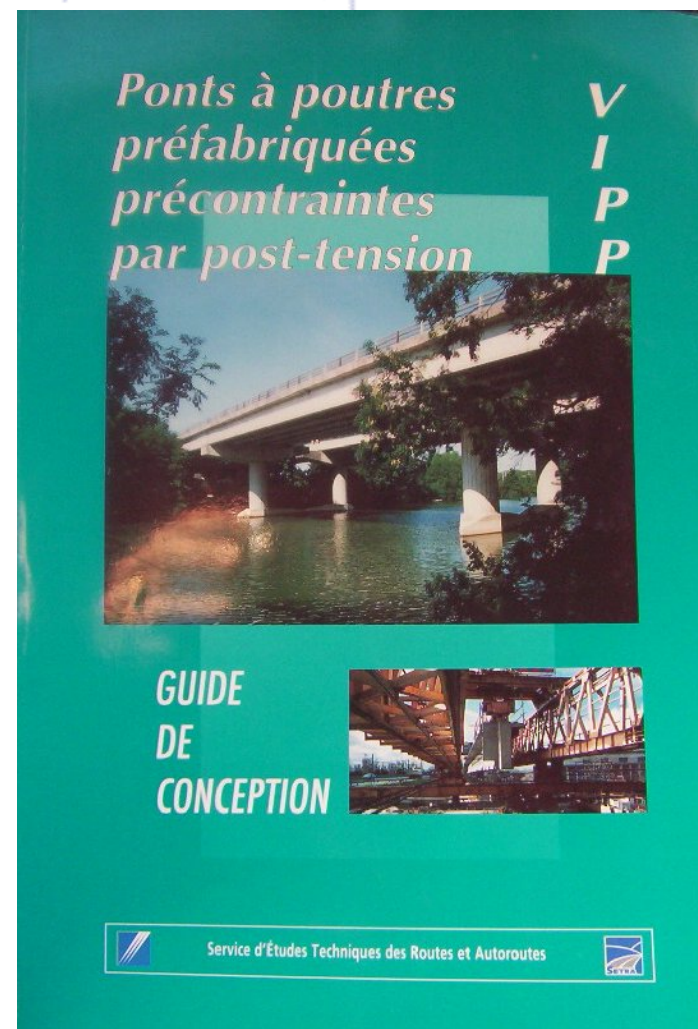
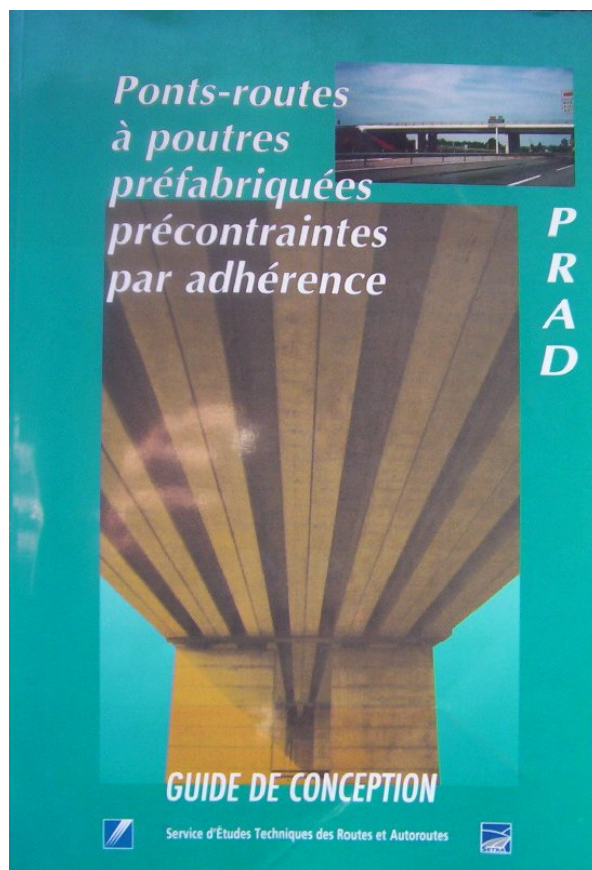
Nord Picardie

pour comprendre le présent et construire l'avenir



19/06/2007





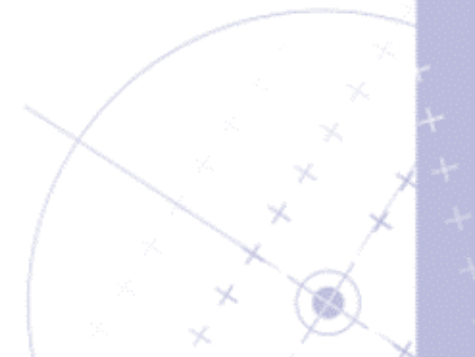
**CeTe**

Nord Picardie

pour comprendre le présent et construire l'avenir



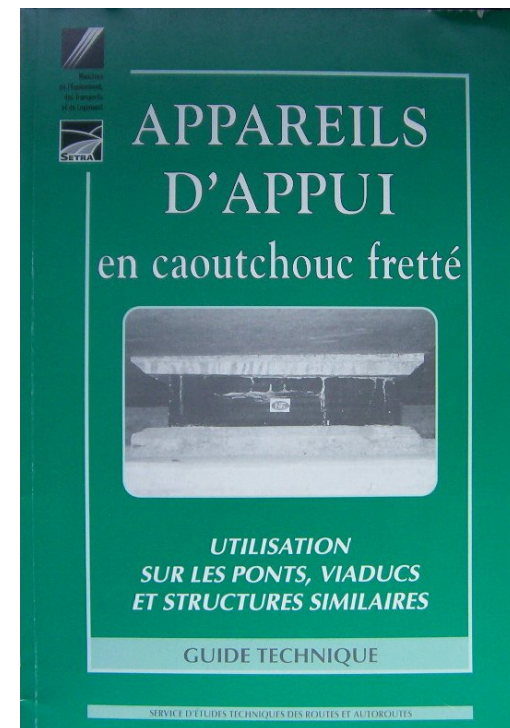
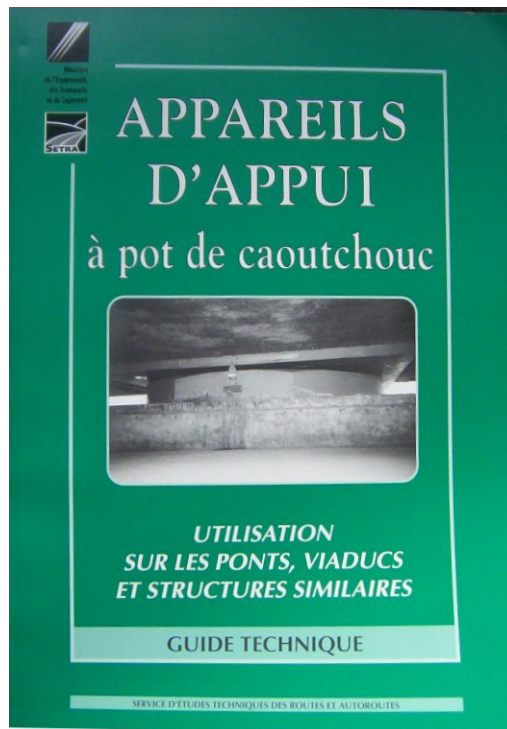
19/06/2007



**CeTe**

Nord Picardie

pour comprendre le présent et construire l'avenir



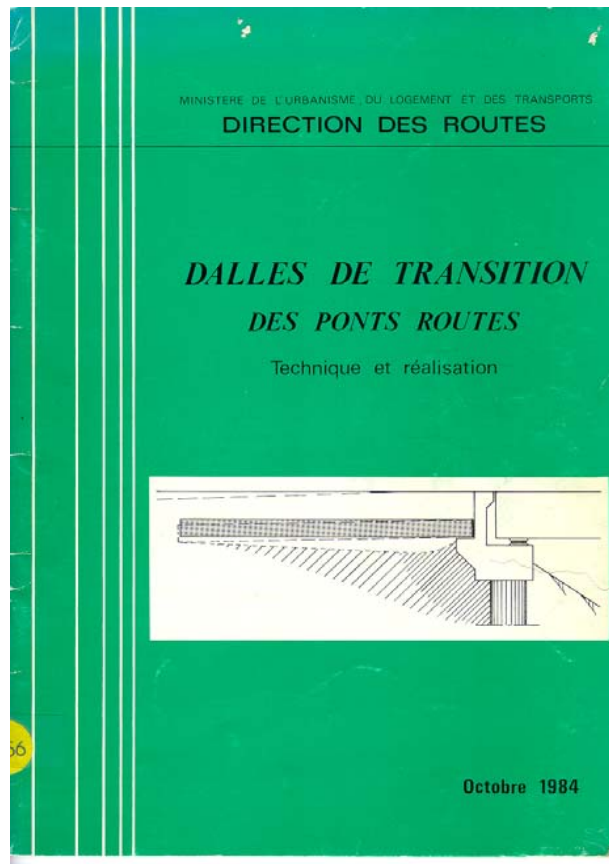
19/06/2007



**CeTe**

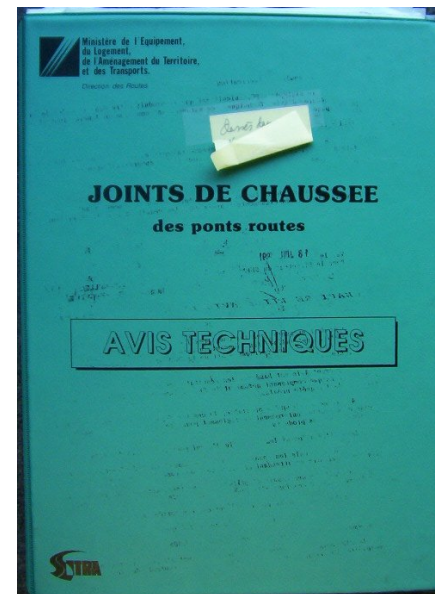
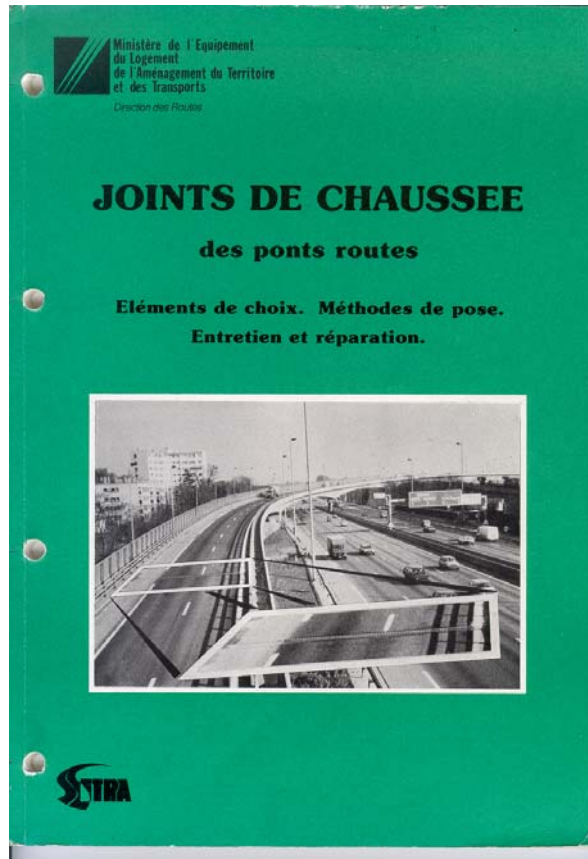
Nord Picardie

pour comprendre le présent et construire l'avenir



19/06/2007

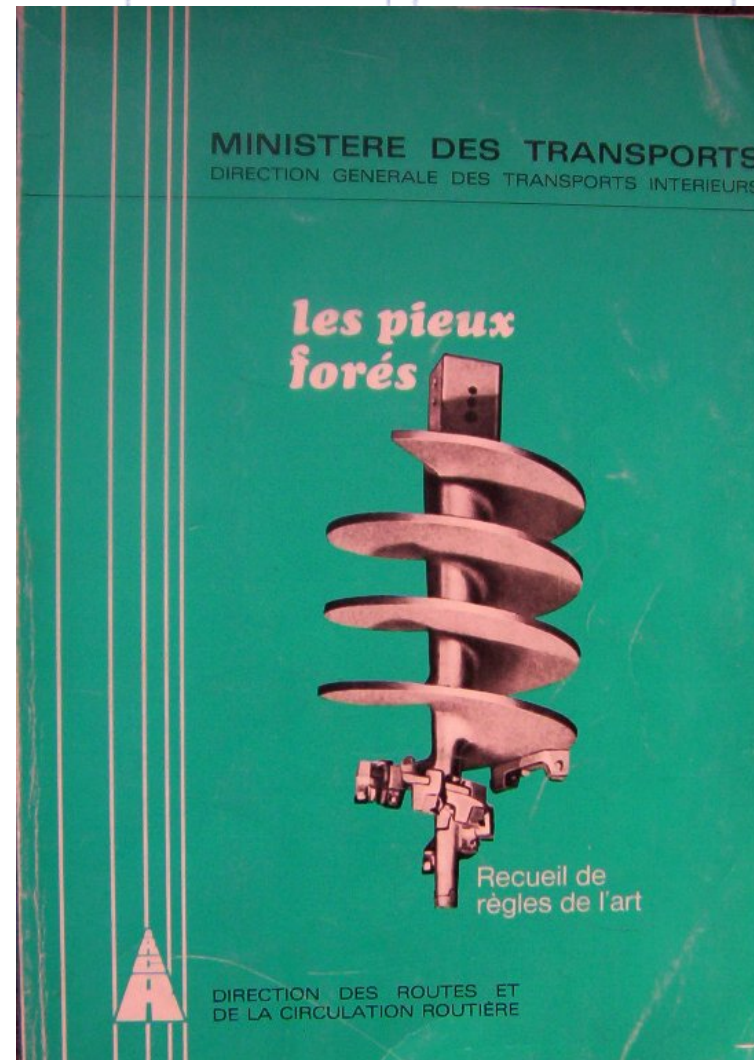
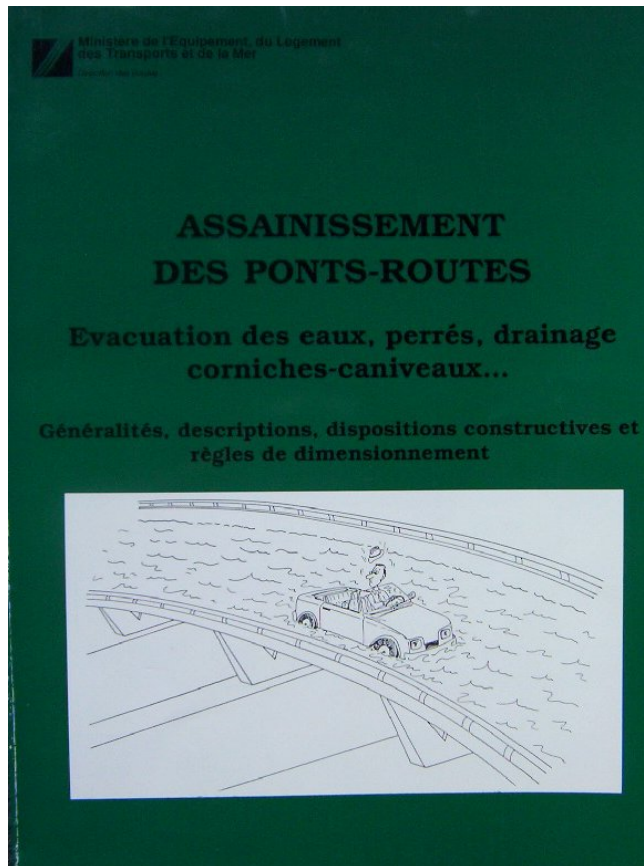
pour comprendre le présent et construire l'avenir



**CeTe**

Nord Picardie

pour comprendre le présent et construire l'avenir



19/06/2007