

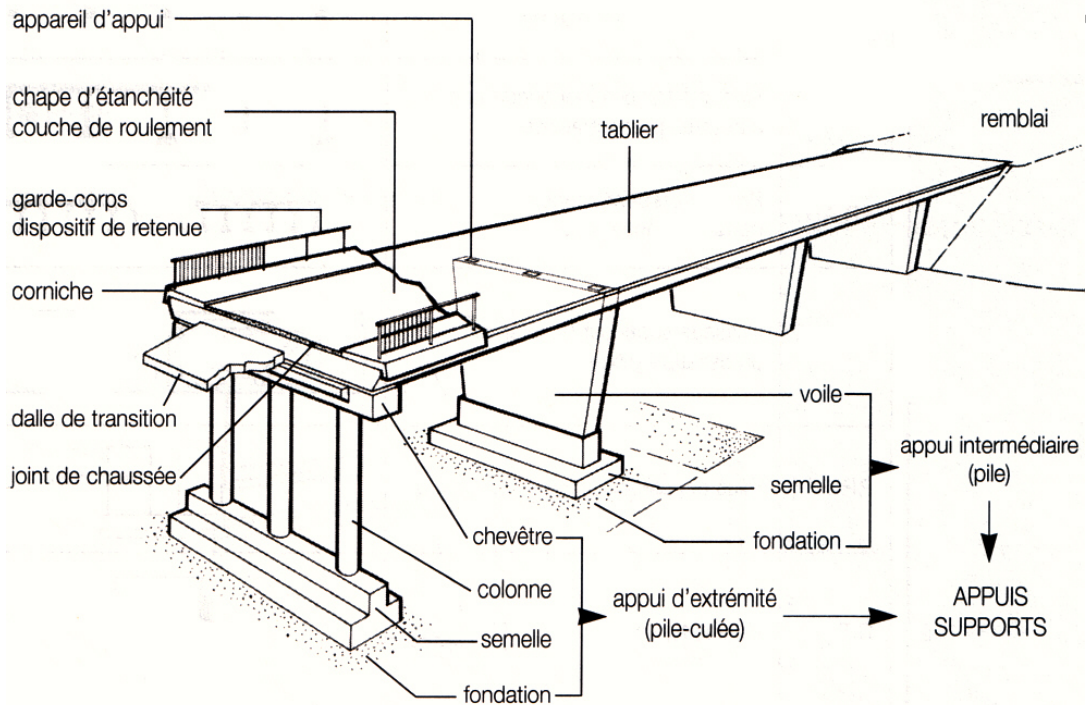
LES PONTS

1 - GENERALITES

1.1 - DEFINITION

Tout ouvrage en élévation construit "in situ" permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation (pont rail, pont route).

1.2 - TERMINOLOGIE



VOCABULAIRE

Voie portée : Partie de la voie de circulation située au-dessus de l'obstacle qui est portée sur le pont.

Tablier : Partie du pont supportant la voie portée et reportant les efforts aux appuis.

Dalle de transition : Assure la continuité de la voie de communication.

Elancement (E) : Rapport de l'épaisseur du tablier sur la largeur du tablier.

Ouverture : Distance horizontale entre nus de pied droit ou pile.

Tirant d'air : Distance entre surface de l'eau et sous face du tablier.

Gabarit : Espace réservé pour le passage (ouverture x tirant d'air).

Travée : Partie comprise entre deux appuis.

Équipements des ponts : Dispositifs destinés à assurer la sécurité et le confort des usagers.

Les appareils d'appuis : Les articulations en béton, les appuis métalliques, élastomère fretté, spéciaux.

Les joints de chaussées.

Les revêtements des tabliers : Les chapes d'étanchéité, la couche de roulement.

Les dispositifs de sécurité : Les trottoirs, les dispositifs de retenue (garde-corps, glissières, barrières, séparateurs).

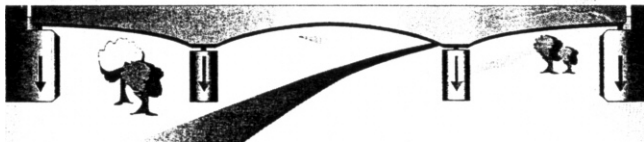
Les évacuations des eaux.

Les corniches.

□ 2 - SAVEZ-VOUS CLASSER VOS PONTS ?

Il n'existe pas de typologie idéale. On pourrait la dresser en fonction des matériaux utilisés pour le tablier ou selon l'usage prévu pour le pont (viaduc routier, pont ferroviaire, aqueduc...). Mais la plus sûre, la plus technique aussi, tient compte des réactions produites par l'ouvrage sur ses appuis.

2.1 - LES PONTS À POUTRES



Il en existe de nombreux modèles. Les matériaux utilisés sont le bois, l'acier ou le béton armé, car ils résistent bien à la flexion, contrairement à la pierre. Le plus simple de ces ponts se compose d'une seule travée, appelée poutre.

Lorsque la distance du franchissement augmente, il y a lieu de recourir à des appuis intermédiaires : le tablier peut alors être constitué de travées juxtaposées.

Sur les ponts à poutres ne sont pratiquement exercées que des forces verticales (\downarrow) : poids de la superstructure, charges liées au trafic et actions des appuis. Les forces horizontales, créées par le freinage des véhicules ou par les effets du vent sont nettement moins importantes.

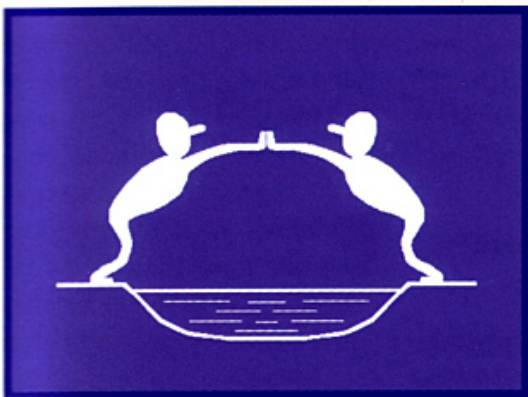
2.2 - LES PONTS EN ARC



nos ponts modernes, ils ne sont en tout cas jamais en bois, matériau trop fragile.

Lorsque la brèche à franchir est large et profonde, la technique de la poutre est insuffisante, c'est pourquoi il faut recourir à la voûte ou arc. En pierre, comme les vieux ponts romains, en acier ou en béton armé, comme

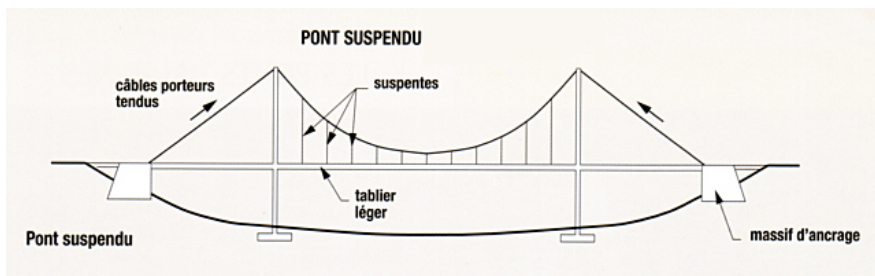
Un arc fonctionne mécaniquement, comme le montre la figure ci-contre, en reportant les charges par "poussée" aux fondations.



On distingue les ponts en arc encastré et ceux en arc articulé. Les premiers ont cette particularité d'exercer sur leurs culées des réactions qui tendent à les écarter (\rightarrow) (voir ci-dessus). Les seconds présentent soit deux articulations (forme générale des grands ponts métalliques ou en béton armé), soit trois articulations, comme le pont Alexandre III.

Dans le cas des ponts en arc, il y a également lieu de différencier ceux qui ont un tablier supérieur, l'arc supportant la voie proprement dite, de ceux qui ont, un tablier inférieur en descendant le tablier jusqu'au niveau des culées ; la route ou la voie ferrée passe alors complètement sous l'arc auquel elle est suspendue au moyen de câbles d'acier ou de tirants métalliques (Pont de l'Europe). D'autres encore ont un tablier intermédiaire, situé dans la hauteur de l'arc.

2.3 - LES PONTS SUSPENDUS

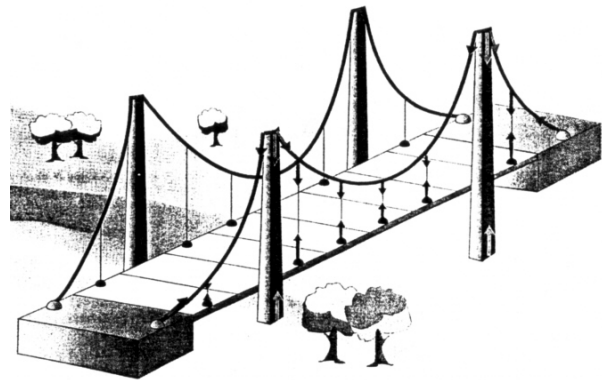


Si l'obstacle à franchir excède les 500 mètres, on peut avoir recours à une suspension du tablier par des câbles en acier à haute résistance, tendus d'une rive à l'autre en prenant

appui sur deux pylônes, comme les cordes d'un violon passant sur un chevalet. Ces câbles sont accrochés à de puissants et profonds massifs d'ancrage fixés dans le sol, de part et d'autre des culées. Ces massifs doivent contrebalancer les efforts de traction des câbles.

Le tablier est relié aux deux grands câbles porteurs, dits «paraboliques», par des câbles rectilignes ou barres métalliques appelés suspentes.

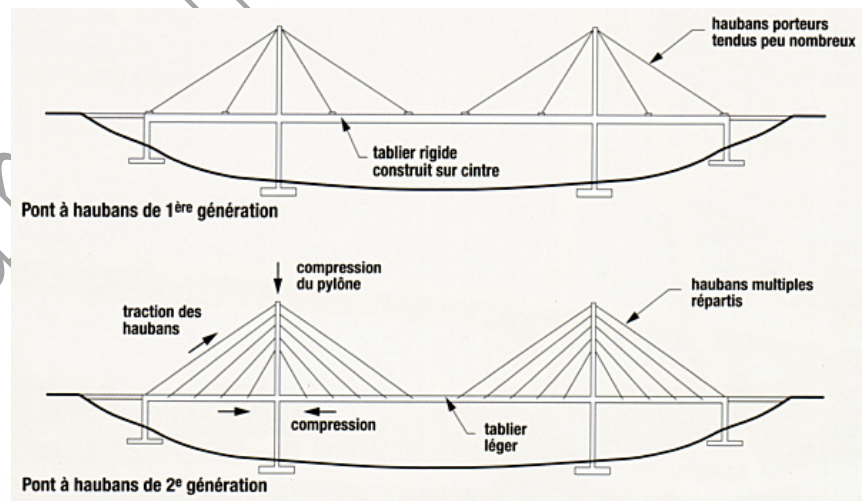
On pourra, sur le schéma ci-dessus, faire un inventaire des forces exercées (\uparrow) en quelques points essentiels du pont. Remarquons par ailleurs que la distance entre le massif d'ancrage et le pylône est environ égale au tiers de la distance séparant les deux pylônes.



2.4 - LES PONTS A HAUBANS

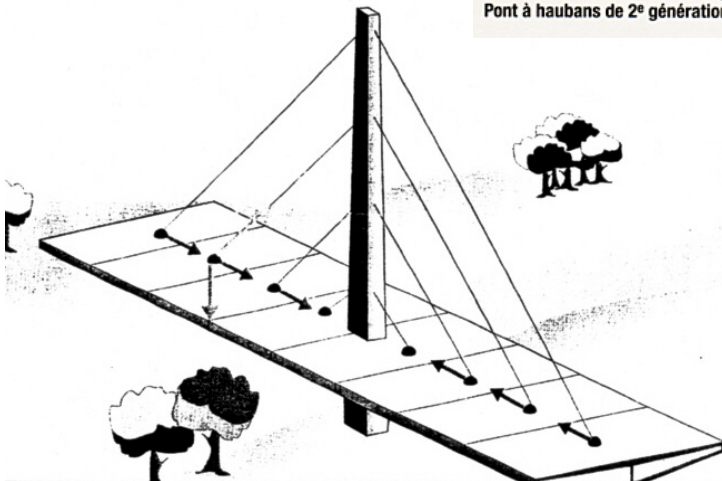
Quand le tablier est supporté en plusieurs points de la travée (c'est à dire sur chaque voussoir) par des câbles d'acier dont l'autre extrémité est raccrochée à un pylône, il s'agit d'un pont à haubans.

Lorsque les haubans sont parallèles entre eux, la configuration est dite en harpe (ci-contre) : un des exemples les plus connus est le



pont de Brotonne sur la Seine. Les forces exercées sur chaque hauban sont de même intensité.

Lorsqu'on veut allonger la portée de tels ponts, il est préférable d'utiliser une configuration de haubans rayonnant en éventail ou en semi-éventail. Les forces de compression dans le tablier sont alors inférieures parce que les haubans sont moins inclinés.



□ 3 - DONNEES PRISES EN COMPTE DANS LA CONCEPTION D'UN PONT

3.1 - DONNEES FONCTIONNELLES

3.1.1 - Relatives à la voie portée :

- *Le profil en long*

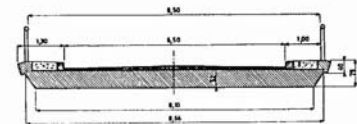
C'est la ligne située sur l'extrados de l'ouvrage (c'est le niveau de la couche de roulement mise en oeuvre) définissant en élévation le tracé en plan.

- *Le tracé en plan*

C'est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée sur un plan de situation.

- *Le profil en travers*

C'est l'ensemble des éléments qui définissent la géométrie et les équipements du pont dans le sens transversal.



3.1.2 - Relatives à l'obstacle franchi :

- *La hauteur libre*

Elle est déterminée par le gabarit d'un véhicule passant sous un ouvrage (ex : route nationale minimum de 4,30 m). Elle est définie par l'intrados.

- *Les ouvertures*

Elles conservent le franchissement des voies routières et sont les ouvertures utiles droites comptées entre les nus intérieurs des appuis de l'ouvrage qui l'encadrent.

- *Les actions*

On prend en compte les chocs de véhicules sur les piles et le tablier du pont.

3.2 - DONNEES NATURELLES

3.2.1 - Géotechniques :

Elles conditionnent le type de fondations des appuis à partir d'une reconnaissance informant sur :

- La nature du terrain naturel,
- La profondeur de la nappe phréatique,
- Le niveau du "bon sol".

3.2.2 - Hydrauliques :

Elles influent sur la conception générale et l'implantation de l'ouvrage. Les principaux renseignements sont :

- PHEC : Plus Haute Eau Connue,
- PHEN : Plus Haute Eau Navigable,
- PBE : Plus Basse Eau (étiage).

3.2.3 - Climatiques :

Elles sont pour la plupart des ouvrages fixées par la réglementation. On prend en compte :

- Le vent,
- La neige,
- La température.

3.2.4 - Sismologiques :

En France les zones de sismicité sont très limitées, elles sont indiquées sur une carte contenue dans les règles parasismiques.

3.3 - DONNEES D'INTEGRATION AU SITE :

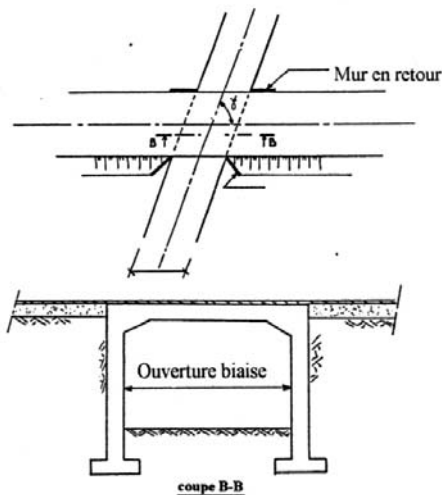
Ces données de plus en plus importante aujourd'hui sont en relation avec les problèmes d'aspect et de nuisance (l'équipement de type anti-vent et antibruit).

4 - LES OUVRAGES D'ART COURANT

4.1 - CLASSIFICATION SUIVANT LA POSITION DU PONT PAR RAPPORT A LA VOIE CONSIDEREE

PS :	Passage Supérieur si le pont est placé au-dessus de la voie principale considérée.
PI :	Passage Inférieur si le pont est placé au-dessous de la voie principale considérée.

4.1.1 - Passage Inférieur : PI



Mur en retour :

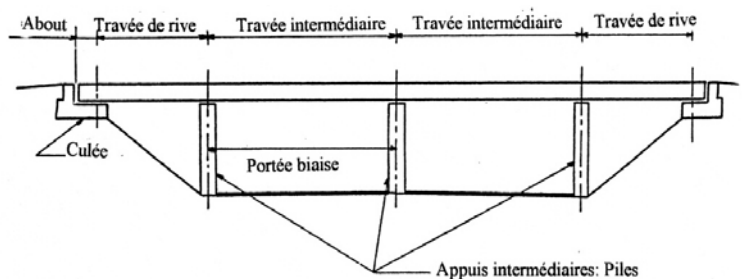
mur parallèle à la voie portée.

Mur en aile :

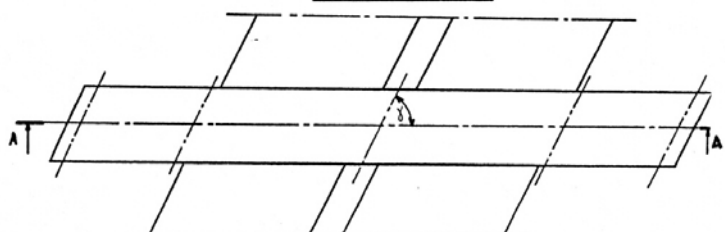
mur non parallèle à la voie portée.

γ Biais :

angle formé par l'axe de la voie portée et l'axe de la voie franchie.



coupe longitudinale A-A












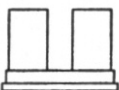



4.1.2 - Passage Supérieur : PS

Portée : C'est la distance biaisée entre l'axe des appuis.

Ouverture : C'est la distance biaisée entre nus d'appuis.

5 - DOSSIERS PILOTES PRINCIPAUX (DOCUMENTATION SETRA)

FAMILLE		DEFINITION	FIGURE
PORTIQUES	PI-CF	Passage inférieur en cadre fermé	
	PI-PO	Passage inférieur en portique ouvert	
	PS-BQ	Passage supérieur à béquilles	
DALLES	PSI-DA	Passage supérieur ou inférieur en dalle armée	
	PSI-DP	Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte	
	PSI-DE	Passage supérieur ou inférieur en dalle élégie	
PONTS A POUTRES	PSI-DN	Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée	
	PSI-BA	Passage supérieur ou inférieur à poutres de béton armé	
	VI-PP	Viaduc à travées indépendantes à poutres précontraintes	
	PR-AD	Poutres précontraintes par adhérence	
	PSI-0M	Passage supérieur ou intérieur en ossature mixte	
	P.P.	Piles et palées	
	C.T.	Culéés types	

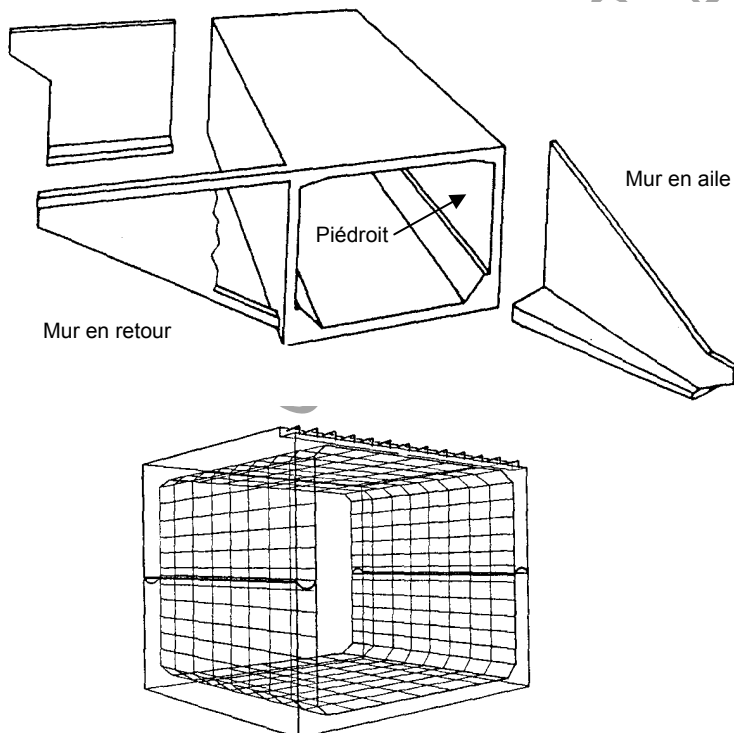
□ 6 - PORTIQUES

6.1 - PASSAGE INFÉRIEUR EN CADRE FERME : PICF

L'ouvrage type PI-CF est un cadre fermé en béton armé reposant sur le sol de fondation par sa face intérieure, il est complété par des murs de soutènement destinés à retenir les terres qui constituent le remblai de la plate-forme.



C'est l'ouvrage le plus utilisé pour le franchissements de voies de faible largeur (ouverture biaisée \leq à 12 m) car en plus de la facilité d'exécution, il allie la simplicité et la robustesse de la structure. Il est utilisé dans le cadre de passage de cours d'eau ou de chemin modeste sous voie auto-routière.



Le seul inconvénient c'est qu'il nécessite une déviation provisoire du cours d'eau lorsque cet ouvrage est utilisé comme franchissement de cours d'eau.

Le cadre s'accommode au sol médiocre et d'une faible profondeur de fondation : la pression sur le sol est de l'ordre de 0,1 MPa.

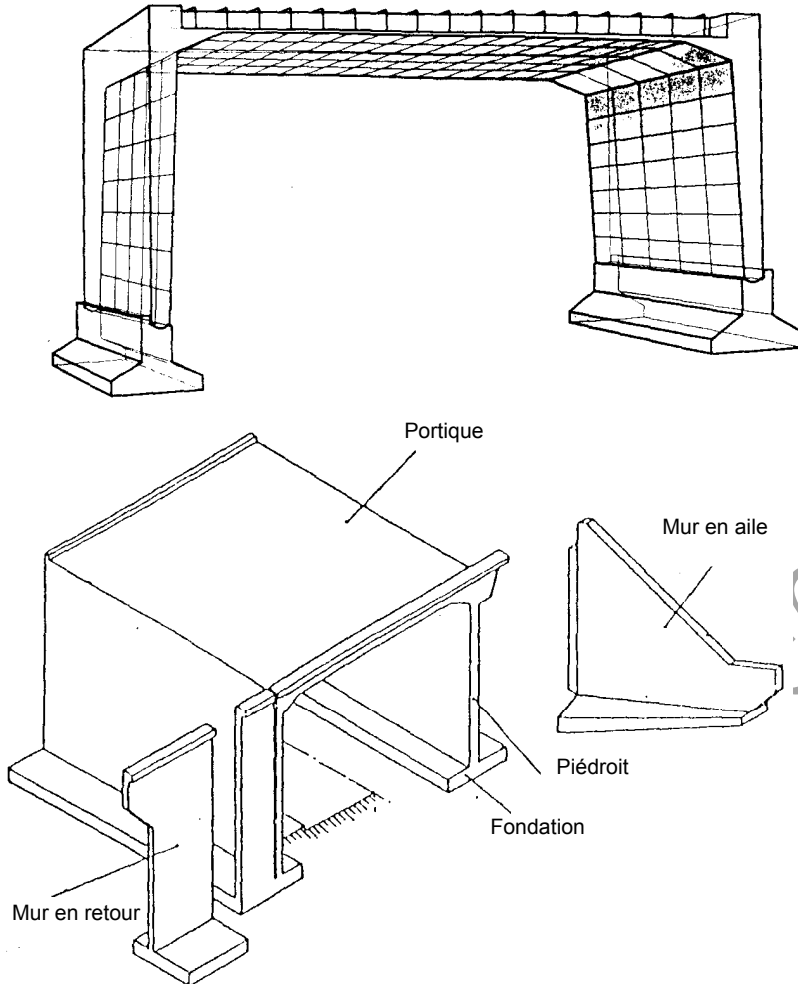
L'épaisseur constante conseillée de la dalle supérieure est de l'ordre de $1/25$ de l'ouverture biaisée (40 cm).

L'angle de biais sera compris entre 100 et 65 grades.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Structure simple et robuste. - Facile d'exécution. - S'accommode des sols médiocres tels que : $0,05 \text{ MPa} < q_u < 0,1 \text{ MPa}$. - Bonne tenue dans le temps. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cher au m^2. - Déviation provisoire du cours d'eau lorsque cet ouvrage est utilisé comme évacuation des eaux.

6.2 - PASSAGE INFÉRIEUR EN PORTIQUE OUVERT : PIPO

L'ouvrage type PI-PO est un portique ouvert en béton armé fondé le plus souvent sur des semelles. Il est complété par des murs de soutènement destinés à retenir les terres qui constituent le remblai de la plate-forme.



Le domaine d'emploi du portique ouvert se situe entre 10 et 20 m. Comme le PICF, il est utilisé dans le cadre de passage de cours d'eau ou de chemin modeste sous voie autoroutière avec, cependant, une portée plus importante (travée de 20 m).

De plus, il ne nécessite pas de déviation provisoire du cours d'eau lorsque cet ouvrage est utilisé comme franchissement de cours d'eau.

Cet ouvrage nécessite un bon sol pour une fondation superficielle de bonne qualité (pression admissible supérieure à 0,3 MPa) ou des fondations sur pieux verticaux ou inclinés. De plus il est très sensible au tassement.

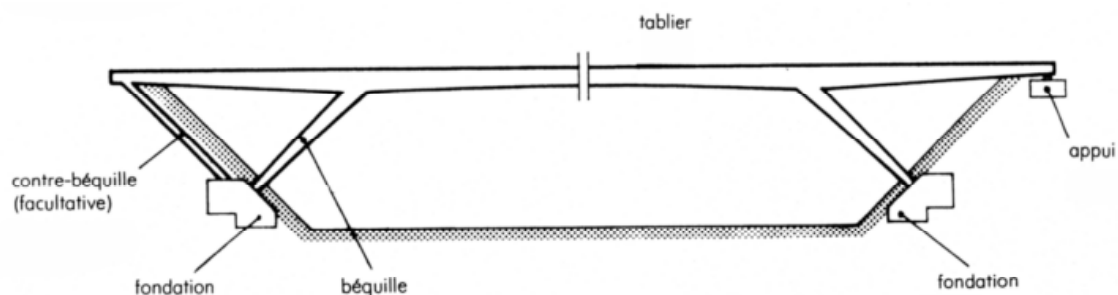
L'épaisseur constante conseillée de la dalle supérieure est de l'ordre de 1/25 de l'ouverture biaise (40 à 80 cm).

L'angle de biais sera compris entre 100 et 65 grades.

Avantages	Inconvénients
- Possibilité de travailler sans déviation provisoire de la voie ou du cours d'eau franchi.	- Cher au m ² .

6.3 - PASSAGE SUPÉRIEUR À BEQUILLES

Le pont à béquilles est une structure avec appuis solidaires, à tablier en béton précontraint.



Ce type de structure permet de franchir des brèches relativement larges sans appuis intermédiaires en dégageant un gabarit important sur une grande largeur, ce qui présente un intérêt esthétique certain. C'est ainsi qu'il peut, par exemple, remplacer avantageusement une solution classique dans le cas d'une route ou d'une autoroute en déblai important, en assurant le meilleur dégagement de la visibilité et en constituant un point fort susceptible de lutter contre la monotonie de la route.

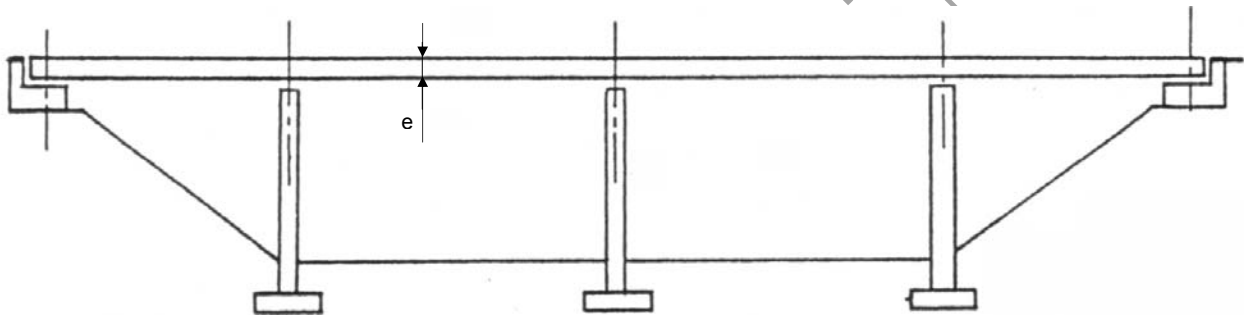
Toutefois cet ouvrage nécessite un bon sol pour une fondation superficielle de bonne qualité.

L'épaisseur de la dalle supérieure varie selon la structure.

L'angle de biais sera compris entre 100 et 65 grades.

6.4 - PONTS DALLES

- a) Passage supérieur ou inférieur en dalle armé : PSI-DA
 b) Passage supérieur ou inférieur en dalle précontrainte : PSI-DP



PSI-DA



PSI-DP



Son domaine d'emploi est le franchissement de routes ou d'autoroutes pour une portée biaise ne dépassant pas 18 m pour une dalle armé et 25 m pour une dalle précontrainte (valeur maximale à ne pas dépasser pour des raisons économiques).

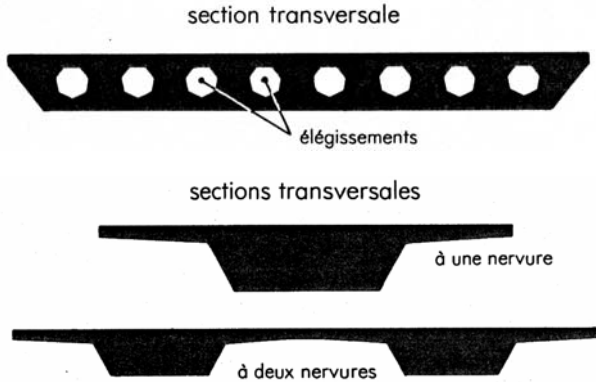
L'épaisseur constante e conseillée de la dalle supérieure varie de $1/22^{\text{ème}}$ pour une travée indépendante à $1/28^{\text{ème}}$ pour une dalle continue d'au moins 3 travées.

Le domaine d'application du programme limite à 6 le nombre de travées et à 65 grades l'angle de biais.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Simplicité des formes permettant la réutilisation des coffrages. - Robustesse de la structure. - Souplesse de l'ouvrage qui encaisse de 4 à 8 cm de tassement différentiel. - Minceur de la dalle (esthétique) de 18 à 25 cm suivant le nombre de travées et le type de dalle). - Faible sensibilité aux chocs (ex : voiture). 	<ul style="list-style-type: none"> - Construction sur étaieage de tours : problème sur les cours d'eau, voie ferrée, chaussée de circulation. - Franchissement limité pour les autoroutes supérieurs à 2 fois deux voies. - Pour la dalle précontrainte : besoin de main d'œuvre qualifiée pour la mise en tension.

- c) **Passage supérieur ou inférieur en dalle élégie : PSI-DE**
 d) **Passage supérieur ou inférieur en dalle nervurée : PSI-DN**

Une structure en dalle élégie est caractérisée par la présence de vides longitudinaux dans la masse du béton, ce qui permet un gain appréciable de poids propre ; il en résulte des longueurs de grandes portées.

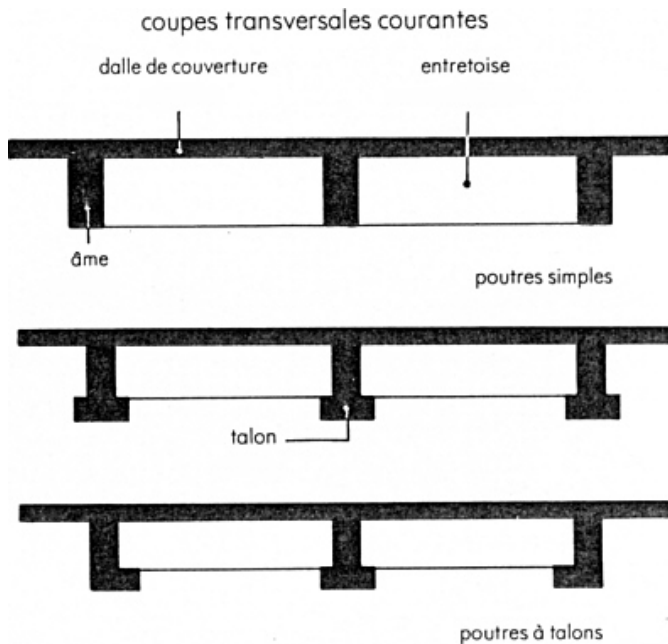


Les évidements dans la dalle sont réalisés à l'aide de réservations en tube carton, par disposition de feillard ou par remplissage de polystyrène. On arrive à un allègement de 25 à 30 % du poids de la dalle.

Une structure en dalle nervurée permet également d'accéder à des longueurs de portées plus importantes par le gain d'inertie des sections.

6.5 - PONTS POUTRES

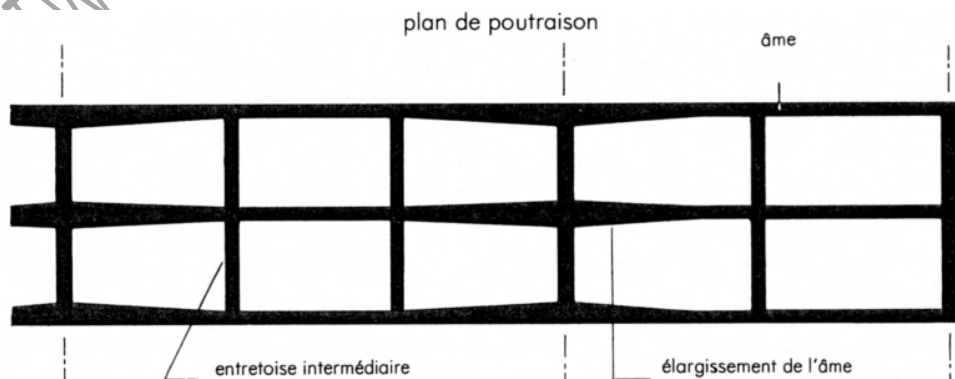
- a) **Passage supérieur ou inférieur à poutre de béton armé : PSI-BA**



Il s'agit de tabliers constitués de poutres en béton armé associées à une dalle de couverture. Les poutres sont entretoisées. Les travées sont indépendantes ou continues.

Son domaine d'emploi est celui des portées moyennes (entre 10 et 20 m) ce qui permet le franchissement de routes ou d'autoroutes avec un tablier continu ; les travées indépendantes sont utilisées lorsque des tassements différentiels sont à craindre. Son emploi se restreint à des cas particuliers et nécessite une main d'œuvre qualifiée.

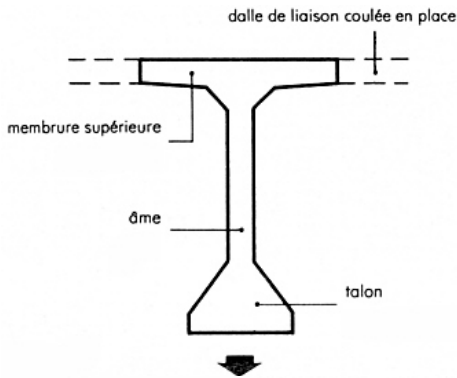
L'épaisseur constante conseillée de la dalle supérieure varie de $1/22^{\text{ème}}$ pour une travée indépendante à $1/28^{\text{ème}}$ pour une dalle continue d'au moins 3 travées.



b) Viaduc à travée indépendantes à poutre précontrainte : VI-PP

Un viaduc permet le franchissement de mont à mont et il est particulièrement adapté au franchissement d'obstacles non courants isolés, constituant des brèches importantes d'obstacles répétitifs et rapprochés (routes, voies ferrées, canaux) pour lesquels une succession d'ouvrages isolés ne serait pas compétitive, ou de zones en terrain dégagé si des remblais ne sont pas réalisables (site tourbeux...).

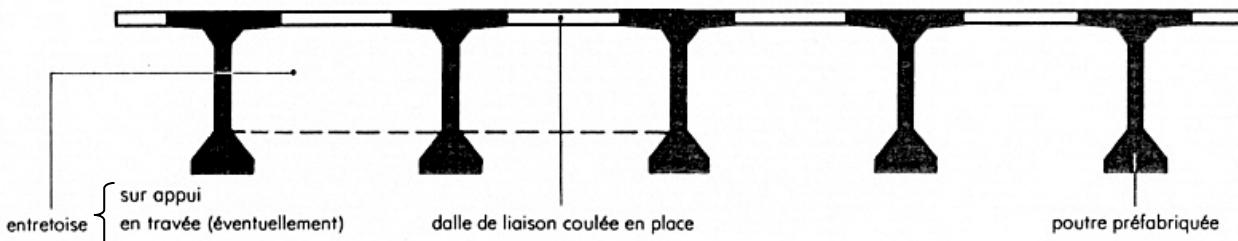
Le tablier de l'ouvrage est formé de travées indépendantes, constituées chacune par un certain nombre de poutres à talon préfabriquées de hauteur constantes, précontraintes par câbles, entretoisées ou non, et reliées entre elles par des dalles en béton armé ou précontraint coulées en place.



Sa portée s'étend de 25 à 45 m, exceptionnellement jusqu'à 50 m. L'élançement économique des poutres est de $1/17^{\text{ème}}$ ce qui nécessite de disposer d'une hauteur de tablier relativement importante.

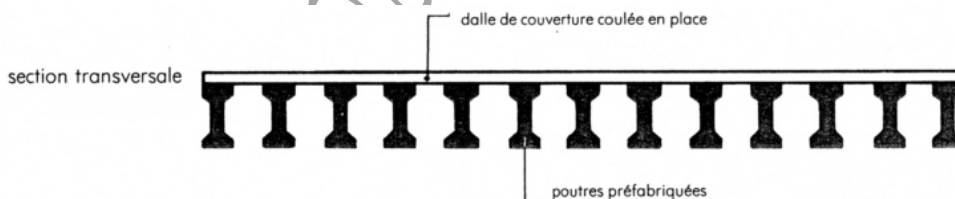
L'angle de biais sera compris entre 100 et 70 grades.

coupes transversales courantes



e) Poutres précontraintes par adhérence : PR-AD

Le tablier de type PR-AD est une travée indépendante réalisée au moyen de poutres précontraintes par fils adhérents, solidarisiées par une dalle de couverture coulée en place sur des coffrages perdus non participants. Les poutres ne sont pas entretoisées, sauf à leurs extrémités où sont réalisés des chaînages d'about.



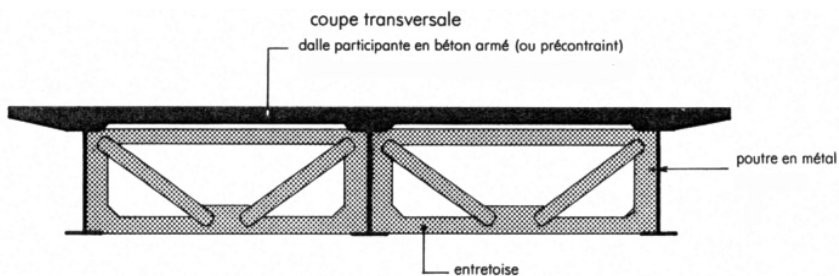
Son domaine d'emploi courant de 10 à 25 m de portée en fait, notamment, une solution classique pour le franchissement de routes dont la circulation ne peut être interrompue, de lignes de chemins de fer électrifiées et de certains cours d'eau.

d) Passage supérieur ou inférieur à ossature mixte : PSI-OM

Ce tablier est une structure composite constituée par des poutres métalliques sous chaussée, solidarisiées, à l'aide de connecteurs, avec une dalle de couverture en béton armé (ou précontraint), de manière à former un ensemble monolithique : les poutres peuvent être de hauteur constante ou variable. Les travées peuvent être indépendantes ou continues. Ces ouvrages sont souvent mis en oeuvre par poussage ou lancement.

Son domaine d'emploi, qui est lié aux avantages que procure l'utilisation de la charpente métallique, est étendu puisque les portées peuvent atteindre 100 m, même si dans une utilisation courante les portées seront comprises entre 35 et 50 m.

L'élançement des poutres seules, qui dépend du nombre de travées, varie de 1/25^{ème} à 1/35^{ème} dans le cas de poutres continues de hauteur constante.



L'utilisation normale du programme conduit à limiter à 6 le nombre de travées. L'angle de biais est compris entre 100 et 60 grades dans le cas d'un ouvrage de faible hauteur (≤ 8 m) ; si l'ouvrage est large, l'incidence du biais doit faire l'objet d'une étude particulière.

6.6 - LES APPUIS DES PONTS : LES CULEES ET LES PILES

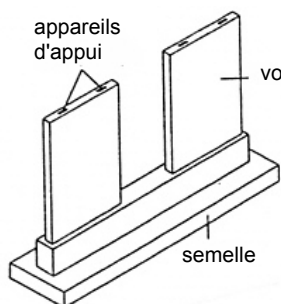
6.6.1 - Les culées

Les culées sont des appuis d'extrémité d'un ouvrage ; en outre elles assurent le soutènement des terres des remblais d'accès. On distingue différents types de culées :

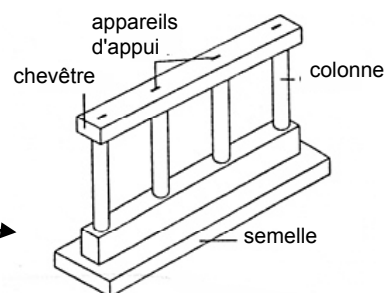
<p>Les culées enterrées (les plus courantes) : Elles sont noyées dans le remblai d'accès à l'ouvrage et assurent essentiellement une fonction porteuse car elles sont peu sollicitées par des efforts horizontaux de poussée des terres.</p>	<p>Les culées remblayées : Elles sont constituées par un ensemble de murs ou de voiles de béton armé et assurent une fonction porteuse et une fonction de soutènement du remblai.</p>
<p>mur en retour muret cache mur garde-grève sommier d'appui voile porteur semelle armée</p>	<p>mur en retour muret cache mur garde-grève mur de front talon de semelle patin de semelle mur en retour</p>

6.6.2 - Les piles

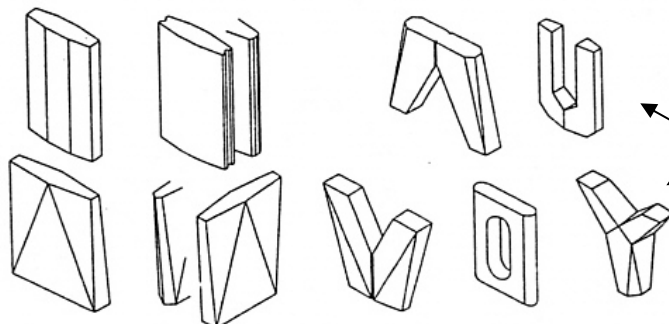
Les piles servent d'appuis intermédiaires au tablier : elles reprennent les efforts exercés par le tablier. Celui-ci peut-être simplement appuyé sur elles, partiellement ou totalement encastré. Les piles reçoivent donc des efforts verticaux dans le premier cas, verticaux et horizontaux dans les cas suivants.



Les piles constituent les appuis intermédiaires des ponts à plusieurs travées continues.



Les piles-culées constituent les appuis d'extrémité, enterrés, complètement ou partiellement, dans les remblais d'accès.



Variantes de piles élaborées.

7 - DOMAINE COURANT DES PONTS

7.1 - LE DOMAINE COURANT DES PONTS TYPES - PREDIMENSIONNEMENT DES TABLIERS

Désignation	Angle de biais minimal en grade (1)	Dimensions transversales (2)		Portées maxi. conseillées				Elancement conseillé					
		Emax en m (3)	D/L mini	1 travée	2 travées ou plus		1 travée	2 travées			3 travées ou plus		
					épaisseur constante	épaisseur variable		épaisseur constante	épaisseur variable		épaisseur constante	épaisseur variable	
									sur appui	en travée		sur appui	en travée
PI-CF	65	-	-	10	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-
PI-P0	65	-	-	20	-	-	1/25	-	-	-	-	-	-
PS-BO	80	selon structure	-	-	-	35	-	-	-	-	-	1/20	1/30
PSI-DA	65	0,2 L	0,5	15	18	-	1/22	1/23	-	-	1/28	-	-
PSI-DP	50	0,2 L	0,5	22	25	-	1/25	1/28	-	-	1/33	-	-
PSI-DE	70	-	-	22	25	35	1/22	1/25	1/20	1/30	1/30	1/24	1/42
PSI-DN	65	0,2 L	0,5	25	35	45	1/22	1/25	1/20	1/30	1/30	1/24	1/42
PSI-BA	65	1,5	-	35	20	-	1/15	-	-	-	1/20	-	-
VI-PP	70	1,5	-	50	-	-	1/17 à 1/22	-	-	-	1/20	-	-
PR-AD	70	-	-	30	-	-	1/20 à 1/22	-	-	-	-	-	-
PSI-0M	60	2	-	80		1/25 à 1/35 (4)							

DOSSIERS PILOTES DU SETRA

N.B. : Si le nombre de travées est supérieur à celui indiqué pour chacun des programmes, une adaptation est nécessaire.
 (1) Les valeurs minimales indiquées pour l'angle de biais correspondent aux possibilités du programme de calcul automatique ; pour des valeurs inférieures, un calcul complémentaire est à prévoir.
 (3) : portée biaise la plus longue.
 (4) hauteur des poutres seule.

7.2 - CHOIX DU TYPE DE PONT

Le paramètre le plus important à considérer est **la portée principale** ; le choix portera sur un ouvrage à une ou plusieurs travées.

Portée	Ouvrages à une seule travée (portée maxi. conseillés)	Ouvrages à plus travée (portée maxi. conseillés)
< 10 m	Pont cadre - Portique : PICF en béton armé ou en maçonnerie armé (blocs pleins)	
de 10 à 25 m	Pont cadre - Portique : PICF (10 m) ; PIPO (20 m) Pont dalle : PSI-DA (15 m) ; PSI-DP (22 m) ; PSI-DE (22 m) ; PSI-DN (25 m)	Pont dalle : PSI-DA (18 m) ; PSI-DP (25 m) ; PSI-DE (25 m) Pont poutre : PSI-BA (20 m)
de 10 à 25 m	Pont poutre : PR-AD (30 m) ; PSI-BA (35 m) ; VI-PP (50 m)	Pont dalle : PSI-DE (35 m) ; PSI-DN (45 m)
de 50 à 100 m	Pont poutre : PSI-OM (80 m) VI-PP (jusqu'à 100 m)	Pont poutre : PSI-OM (80 m)
> à 100 m	Rarement le cas avec une seule travée Pont cadre - Portique : PS-BQ	Pour des portées de plus de 300 m, les ponts à haubans, les ponts suspendus.

www.coursingenierie.com

8 - LES EQUIPEMENTS DES OUVRAGES D'ART

8.1 - LES APPAREILS D'APPUIS

Rôle :

Transmettre des charges aux appuis (culée, pile).

Nature des charges :

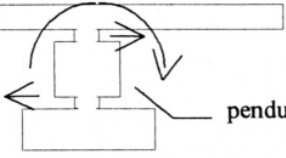
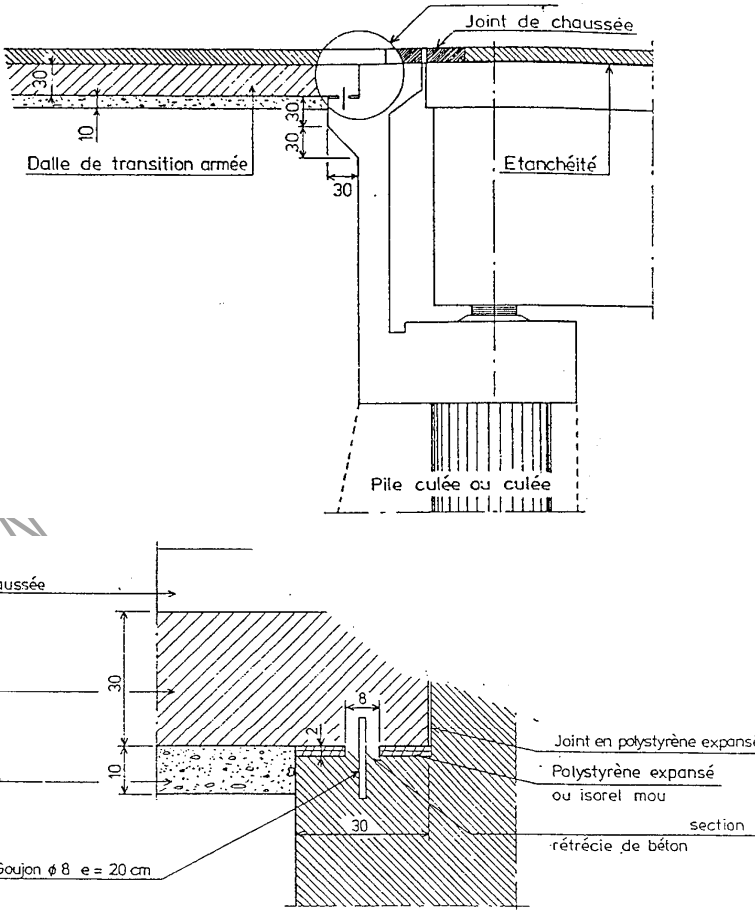
Les charges à transmettre sont essentiellement verticales (permanente + exploitation) et horizontales (forces de freinage).

Types d'appareils d'appuis existants :

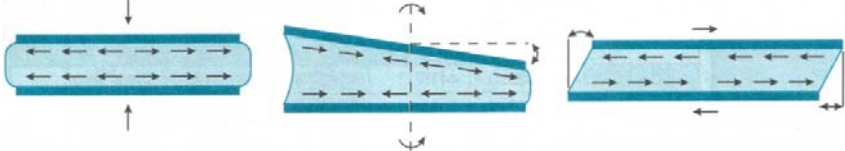
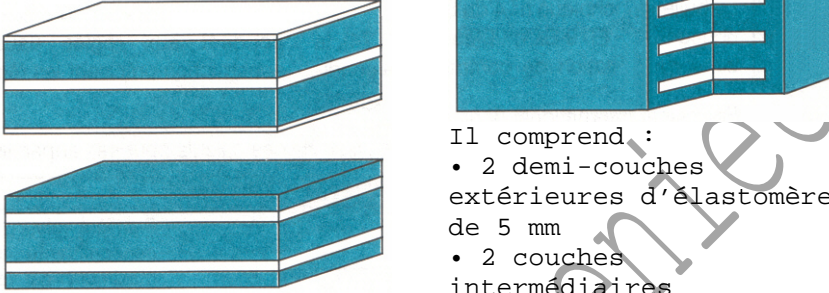
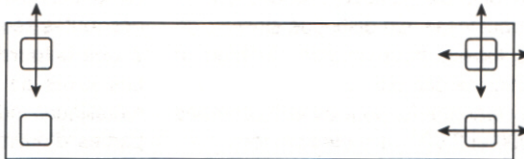
Les articulations en béton (articulations Freyssinet ou articulation par goujon).

Les appareils d'appuis en élastomère fretté.

8.1.1 - Les articulations en béton

Description - Comportement mécanique	Dispositions constructives Commentaires
 <p>Appui Simple :</p> <p>L'amplitude possible du déplacement horizontal sera donnée par la hauteur du pendule.</p>	<p>Presque plus utilisé de nos jours sauf pour la liaison culée dalle de transition.</p>
<p>Articulation :</p> 	<p>Utilisé pour la liaison dalle de transition et pile culée.</p> <p>L'intérêt d'une dalle de transition est d'atténuer les effets d'un tassement du remblai à proximité d'un ouvrage. Elle permet de traiter le problème en permettant de remplacer le rechargement de chaussée par un "léger reprofilage" qui est exécuté à distance de l'ouvrage.</p>

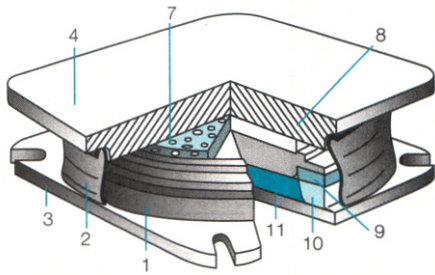
8.1.2 - Les appareils d'appuis en élastomère fretté

Description - Comportement mécanique	Dispositions constructives Commentaires
<p>Sollicitations que doivent supporter les appareils d'appuis</p> <p>Effort normal Rotation Effort et déformation tangentiels</p>  <p>Les appareils d'appui en élastomère fretté réalisent une liaison élastique entre une structure et son support.</p> <p>Appui semi-enrobé Appui enrobé</p>  <p>Il comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 demi-couches extérieures d'élastomère de 5 mm • 2 couches intermédiaires d'élastomère de 10 mm • 3 tôles intermédiaires de 3 mm. <p>Mouvements possibles du tablier</p>  <p>vue en plan d'une travée indépendante</p>	<p>On calcule :</p> <p>La section en fonction de l'effort de compression.</p> <p>Le nombre de couches en fonction de la rotation que l'on veut admettre et la rotation admissible par couche.</p> <p>La hauteur en fonction de la distorsion (effort de déformation tangentiel).</p> <p>Les plots en élastomère fretté ont une durabilité plus grande par rapport aux plots en élastomère.</p> <p>Il existe des plots bidirectionnels ou unidirectionnels. On place un appui fixe pour répartir les variations de longueur de chaque côté.</p>

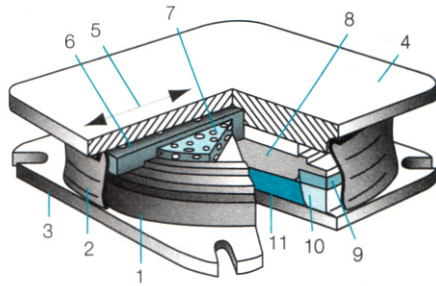
8.1.3 - Exemples

Appareil d'appui métallique (à pot)

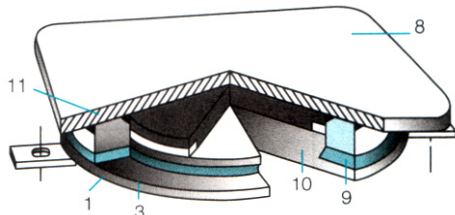
Appareil multidirectionnel « Néotopf »



Appareil unidirectionnel « Néotopf »

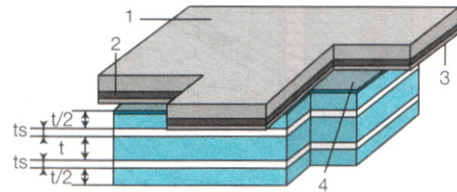


Appui fixe « Néotopf »



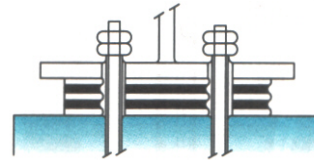
- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. virole du pot | 6. clavette de guidage |
| 2. jupe de protection | 7. feuille de PTFE alvéolée |
| 3. platine inférieure du pot | 8. platine supérieure |
| 4. plaque de glissement | 9. joint de protection |
| 5. direction du déplacement | 10. joint d'étanchéité |
| | 11. élastomère |

Appui glissant



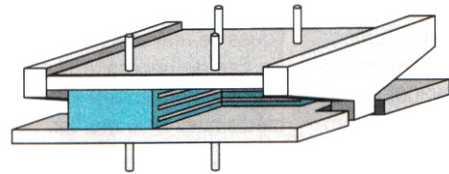
- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. acier doux
ép. 8 ou 12 mm | 3. acier inoxydable
ép. 2 mm |
| 2. élastomère dur
ép. 2 mm | 4. feuille de téflon
ép. 1 mm |

Dispositif anti-soulèvement

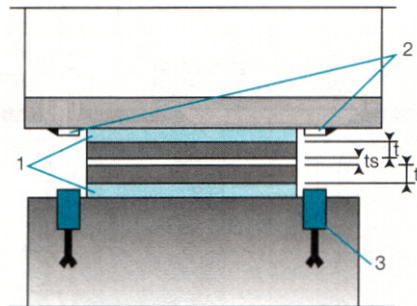


Dispositifs à distorsion limitée ou bloquée

Appareil Hercule



Dispositif anti-acheminement



- | | |
|---------------------------------|--------------------|
| 1. frettes extérieures épaisses | 2. taquets d'arrêt |
| | 3. butées |

8.2 - LES JOINTS DE CHAUSSEE

- Rôle :** Permettre à la dilatation du tablier.
- Nature des charges :** Des variations dimensionnelles dues :
- A la température,
 - Au fluage : relâchement d'une structure dans le temps.
- Des déplacements et des déformations dus :
- Aux charges d'exploitation.

Solutions : Les mouvements du tablier sont assurés par la mise en place d'appareils d'appuis (voir 8-1 Les appareils d'appuis). Pour permettre la dilatation du tablier, on ménage une à deux coupures et on dispose un joint de chaussée. Celui-ci assure la continuité de la circulation au droit d'une coupure du tablier dans les meilleures conditions de confort et de sécurité.

Types de joints : Le choix d'un type de joint de chaussée fait référence à une classification fondée sur la notion de robustesse.

On distingue ainsi :

1 - Les joints légers, pour un trafic inférieur à 1000 véhicules par jour.

2 - Les joints semi-lourds, pour un trafic compris entre 1000 et 3000 véhicules par jour.

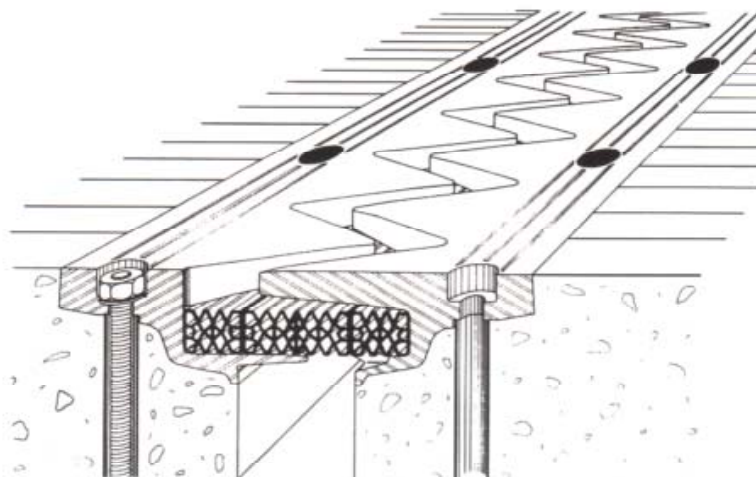
Ces deux type de joints sont réservés aux petits ouvrages situés sur des routes secondaires.

3 - Les joints lourds, pour un trafic journalier supérieur à 3000 véhicules (ou de volume inférieur, mais à fort pourcentage de poids lourds).

Ils se composent de deux éléments métalliques indépendants solidarisés aux deux parties d'ouvrage au moyen de tiges précontraintes.

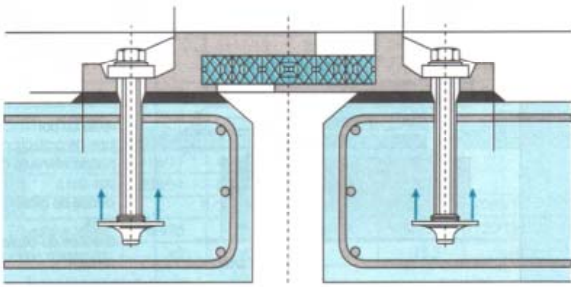
Ils comprennent :

- Les éléments métalliques.
- Les tiges précontraintes et leurs ancrages.
- Un profil élastomère.

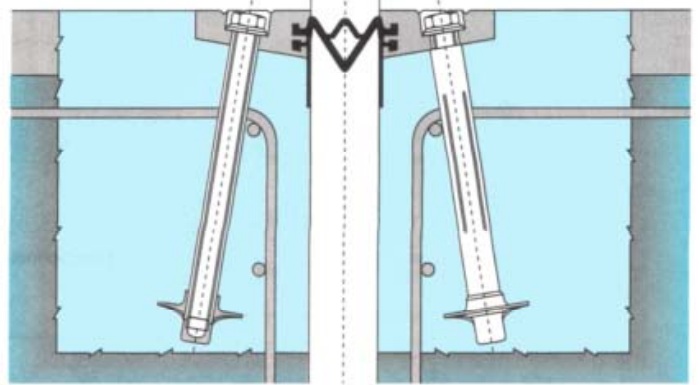


Exemples :

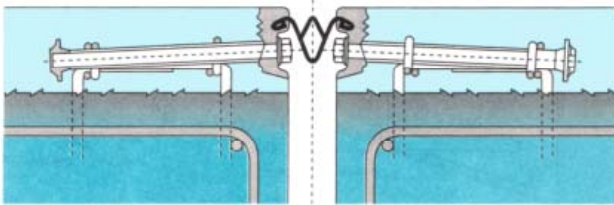
GAMME CIPEC



• **Joint W.** Il est réalisé à partir d'éléments en aluminium coulé de 1 m de longueur, comportant, en partie haute, des dents de forme triangulaire. Sous la denture est prévu le logement d'un profil élastomère qui prévient toute salissure de l'infrastructure. Le réglage des éléments métalliques se réalise à l'aide d'un mortier.



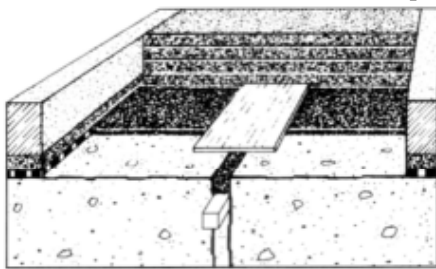
Joint WOSd. Il est particulièrement économique pour trafic lourd et dense. Le joint type WOSd est constitué de deux éléments non corrodables en aluminium filé. Un profil élastomère extrudé est inséré dans deux rainures d'accrochage disposées symétriquement. Cette conception empêche toute pénétration de corps étrangers.



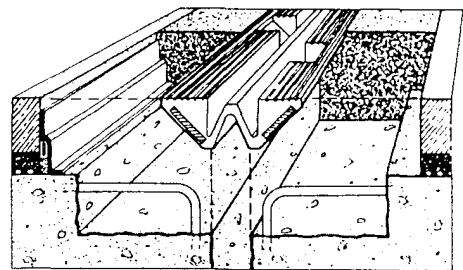
• **Joint WR.** Il se place dans l'épaisseur du revêtement, ce qui constitue un avantage considérable, principalement dans le cas de remplacement de joints existants mais également pour les constructions nouvelles.

• **GAMME FREYSSINET**

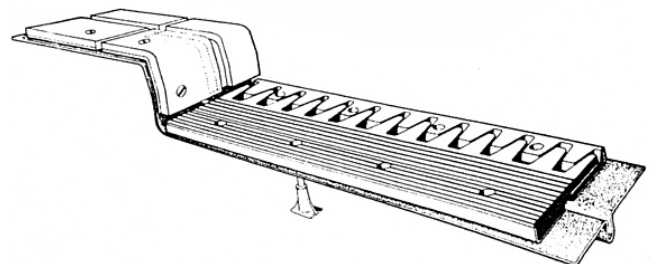
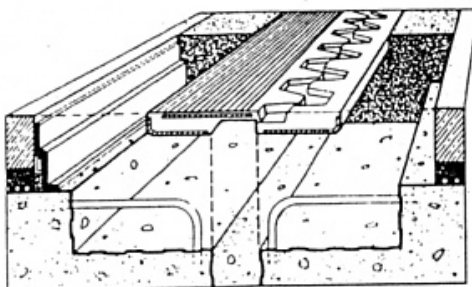
• **Viajoint**



• **Joint N**



• **Joint FT**



8.3 - LES REVETEMENTS DES TABLIERS : LES CHAPES D'ETANCHEITE ET LA COUCHE DE ROULEMENT

8.3.1 - Chapes d'étanchéité

Elles ont pour rôle d'assurer la protection des armatures du béton en évitant les infiltrations des eaux de pluie.

Les étanchéités sont à base de résines synthétiques, d'asphalte coulé ou déposé par l'intermédiaire de feuilles préfabriquées.

Constitution:

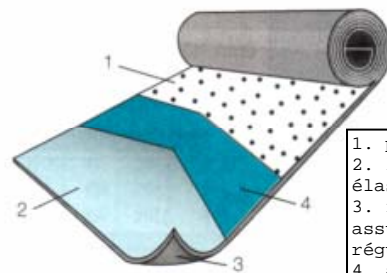
- Asphalte coulé : purs, sablés ou gravillonnés.
- Membranes bitumineuses.
- Membranes synthétiques.

Membranes d'étanchéité.

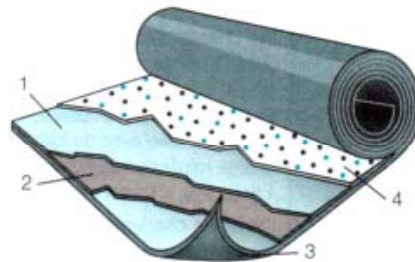
- Mistral C

L'étanchéité des ouvrages d'art est souvent assurée par des « membranes d'étanchéité » réalisées pour la plupart à base de bitume. Les chapes d'étanchéité sont fabriquées en usine. Elles se composent d'une armature, simple ou double (le plus souvent un voile de verre ou un feutre en polyester, parfois les deux) surfacée avec du bitume mélangé à une charge minérale très finement broyée appelée « fines » ou « filer ».

- Teranap 431 TP géomembrane à base d'élastomère-bitume SBS, armé d'un géotextile polyester non tissé et revêtu à la face intérieure d'un film polyester antiracine. La face supérieure est grésée. Teranap 431 TP (géomembrane) assure l'étanchéité de ponts à voûtes en maçonnerie ou en béton.



1. protection silice
2. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
3. film macroperforé assurant une excellente régularité de soudage
4. armature polyester 180 g/m²



1. liant imperméable en élastomère-bitume fillérisé
2. armature en géotextile
3. film polyester en sous-face
4. surfaçage silice

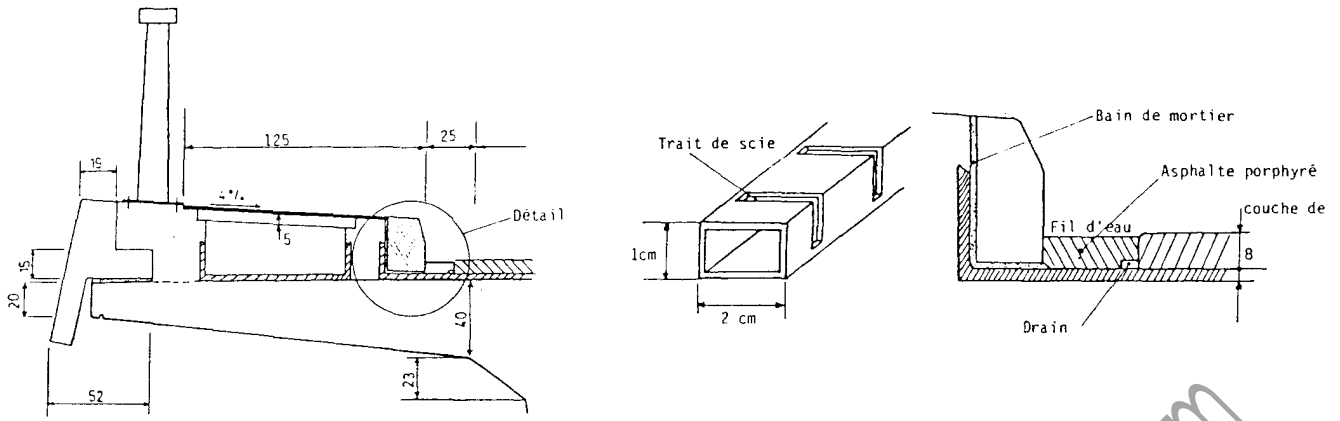
8.3.2 - Couche de roulement

Elle protège de l'agression du trafic. Elle se compose d'un mélange de granulats et de bitume pur.

8.4 - LES DISPOSITIFS DE SECURITE : LES TROTTOIRS ET LES DISPOSITIFS DE RETENUE

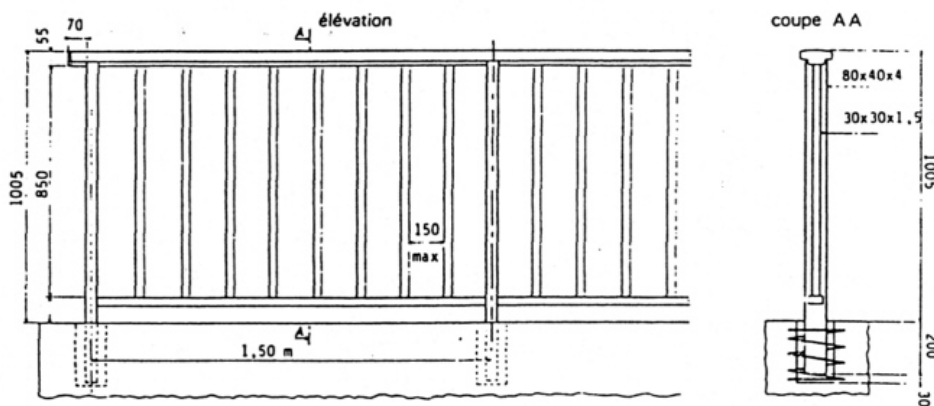
Rôle : Ils assurent la protection des individus.

Les trottoirs : protection des piétons en les isolant de la circulation automobile.



Les dispositifs de retenus :

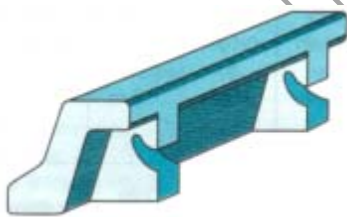
- **Les garde-corps** : ils assurent la retenue des piétons et souvent une fonction esthétique.



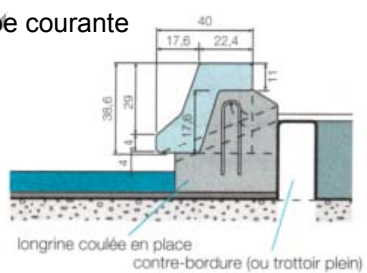
- **Les glissières** : elles retiennent les véhicules légers en agissant au niveau des roues sans toucher la carrosserie (emploi en milieu urbain).

- Glissières rigides
Modèle Autonor

Perspective

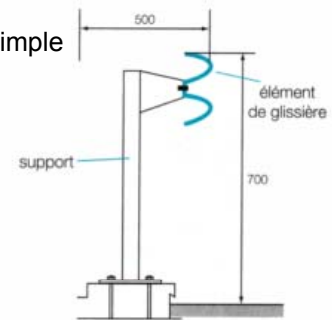


Coupe courante

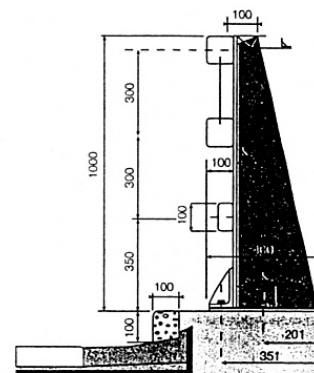
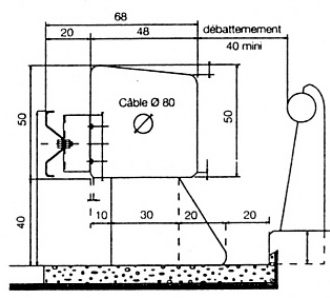
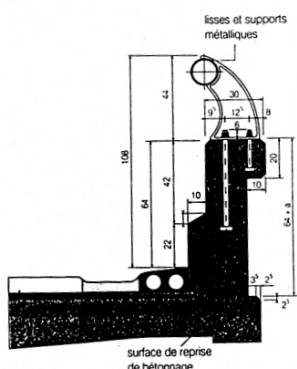


- Glissières souples

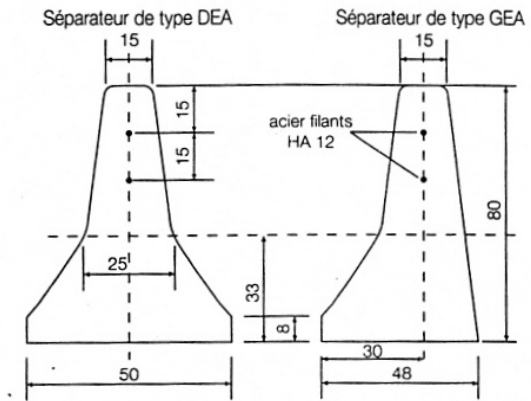
Simple



- **Les barrières** : elles retiennent les véhicules.



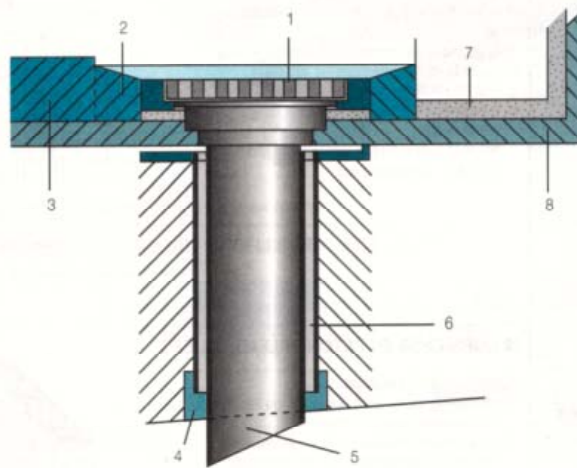
- **Les séparateurs** : ce sont des dispositifs de retenue centraux ou sur les accotements des routes et autoroutes.



8.5 - LES EVACUATIONS DES EAUX

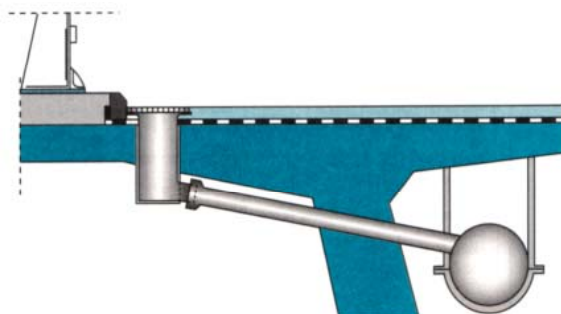
Rôle : Pour la Sécurité des usagers mais également la durabilité de la structure, les eaux sont d'abord recueillies sur un (ou les) côté(s) de la chaussée, puis évacuées par des gargouilles implantées au droit de ce fil d'eau.

Dispositions : Espacement compris entre 20 et 30 m.
 Diamètre ≥ 10 cm.
 Section totale gargouilles : environ $1/10\ 000^{\text{ème}}$ de la surface versante.
 Le recueil de l'eau dans le sens transversal : pente transversale ou une double.
 Pente (valeur courante pente transversale 2,5 %).



1. grille 200 x 200 X 20
2. asphalte coulé porphyré
3. chaussée
4. réservation en polystyrène

5. tube d'acier $\varnothing 100/108$
6. manchon en amiante-ciment $\varnothing 125/139$
7. mortier de pose de la bordure de trottoir
8. étanchéité

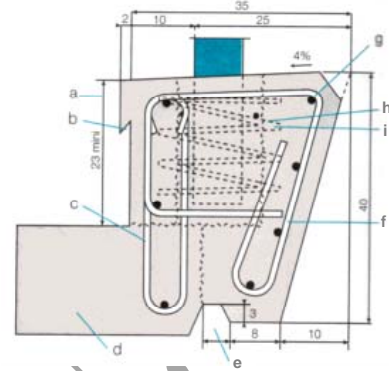


8.6 - LES CORNICHES

Rôle : Elles servent à écarter les eaux de pluie du parement de la structure porteuse du pont. Elles ont une part importante dans l'esthétique.

• CORNICHES EN BÉTON COULÉES EN PLACE

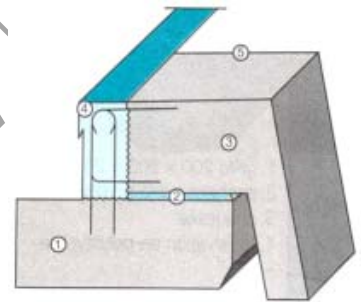
- a. hauteur variable permettant le réglage en altitude.
- b. engravure pour la remontée d'étanchéité.
- c. épingle $\varnothing 10$ FeE 24 (tous les 20 cm).
- d. le ferrailage de la dalle n'est pas représenté.
- e. largeur variable permettant le réglage latéral.
- f. cadre $\varnothing 10$ FeE 24 (tous les 20 cm).
- g. 6 $\varnothing 10$ HA filants.
- h. 2 broches $\varnothing 6$ HA pour la fixation du garde-corps.
- i. hélice $\varnothing 8$, R = 10 cm, pas = 6 cm pour la fixation du garde-corps.



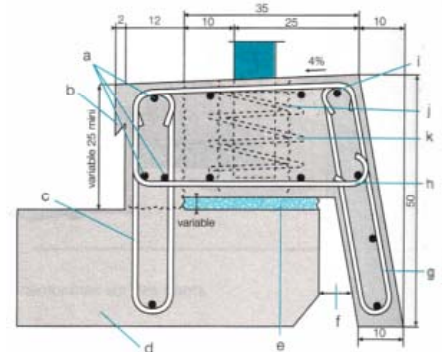
• CORNICHES EN BÉTON PRÉFABRIQUÉES

Succession des opérations :

1. coulage du tablier avec armatures de liaison.
2. mortier de réglage en altitude.
3. positionnement des éléments avec mariage des armatures de liaison, liaison provisoire.
4. coulage de la contre-corniche.
5. calfeutrement des joints.

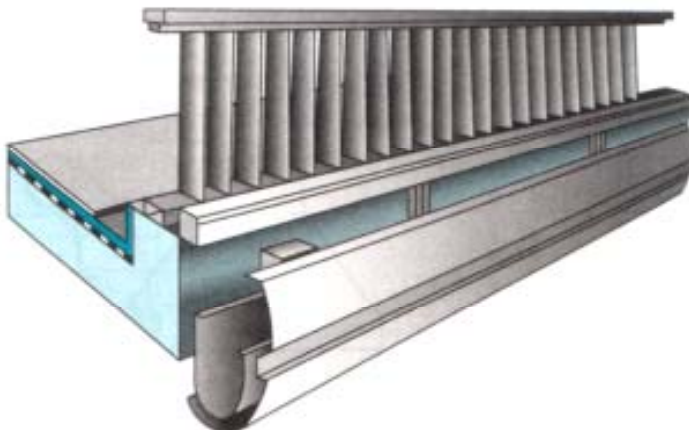


- a. 3 $\varnothing 10$ HA
- b. engravure pour la remontée d'étanchéité
- c. épingle $\varnothing 10$ FeE 24 (tous les 20 cm).
- d. le ferrailage de la dalle n'est pas représenté.
- e. mortier de réglage en altitude.
- f. largeur variable permettant le réglage latéral.
- g. cadre 8 \varnothing FeE24 (tous les 50 cm).
- h. cadre $\varnothing 10$ FeE24 (tous les 20 cm).
- i. 8 $\varnothing 10$ HA filants.
- j. 2 broches $\varnothing 6$ HA pour la fixation du garde-corps.
- k. Hélice $\varnothing 8$, R = 10 cm, pas = 6 cm (pour garde-Corps S8).



• CORNICHES MÉTALLIQUES

barrière normale à barreaudage vertical



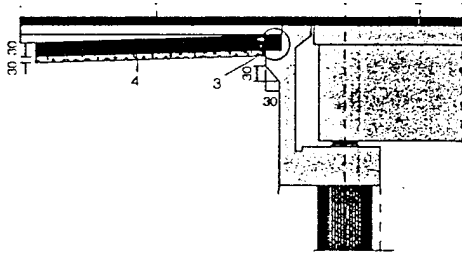
Enrobe drainant 45 mm
 Tapiplast 40 mm
 Brume pur : Mobiplast
 Mortier : Microplast
 corniche en aluminium laqué

N.B. : On voit apparaître des corniches en matériaux composites.

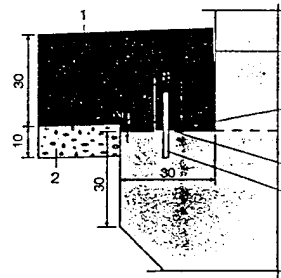
8.7 - LES DALLES DE TRANSITION

L'intérêt d'une dalle de transition est d'atténuer les effets d'un tassement du remblai à proximité d'un ouvrage.

La dalle de transition permet de traiter le problème en permettant de remplacer le rechargement de chaussée par un « léger reprofilage » qui est exécuté à distance de l'ouvrage.



Détail de l'about de la dalle



1. chaussée : épaisseur et nombre de couches identiques sur ouvrage et sur remblai d'accès
2. étanchéité
3. voir détail ci-contre
4. dalle de transition

1. dalle de transition
2. béton de propreté
3. goujon $\varnothing 8$,
 $e = 20$ cm
4. articulation par section rétrécie de béton
5. polystyrène expansé ou isorel mou
6. joint en polystyrène expansé de 1 cm

9 - PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION DES PONTS

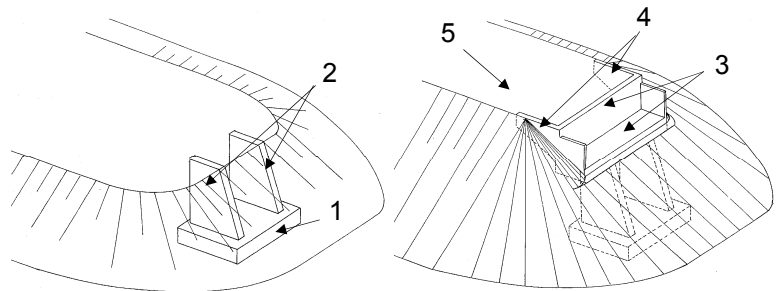
D'après le cours de Laurent GASQUET CD APMBTP N° 4

9.1 - CONSTRUCTION DES APPUIS

Les culées sont généralement totalement (cf. dessins de droite) ou partiellement enterrées.

Phases de réalisation :

- 1) semelles + porteurs verticaux
- 2) premier remblai
- 3) chevêtre + murets garde grève
- 4) murs en retour
- 5) second remblaiement



9.2 - CONSTRUCTION DES PILES

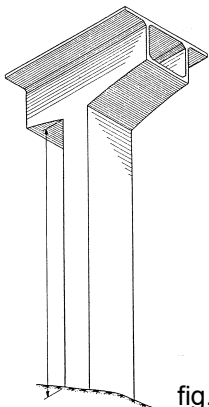


fig. b

Les piles témoignent couramment d'une recherche architecturale (fig. a) le coffrage est dans ces cas très spécifique.

Une autre particularité des piles est leur hauteur qui peut être très importante (fig. b). Par exemple le viaduc de Millau.

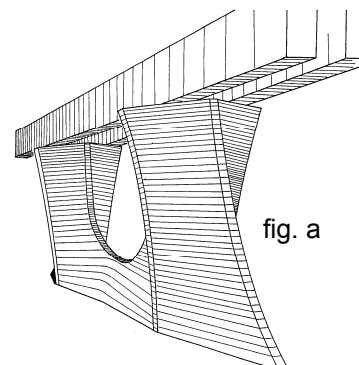
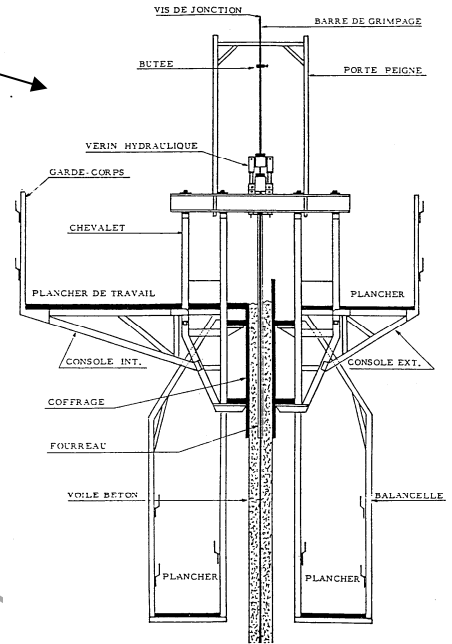
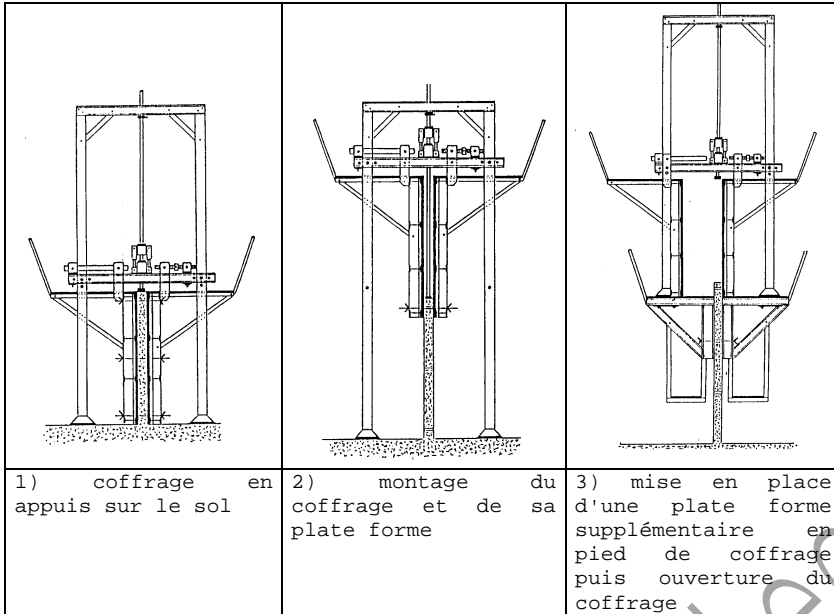


fig. a

Pour leur réalisation on utilise couramment :

- des coffrages glissants,
- des coffrages grimpants.

Principe du coffrage grimpant :



9.3 - CONSTRUCTION DU TABLIER

9.3.1 - Construction sur cintre

Si la brèche à franchir n'est pas trop importante :

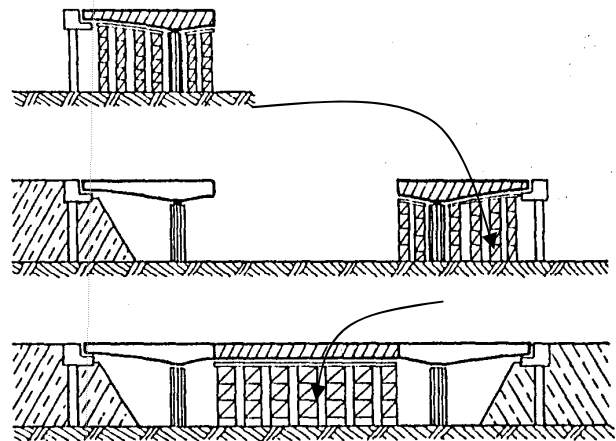
le tablier du pont est coulé dans un coffrage posé sur étaieiment

Le coffrage est appelé cintre car à l'époque où tous les ponts étaient en arc le coffrage était cintré...

Le phasage de la construction est lié au réemploi du matériel.

Portée économique de 10 à 25 m

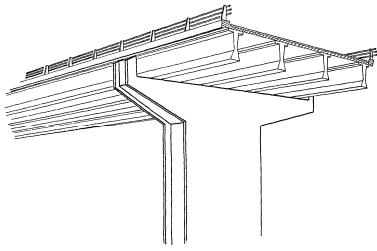
Cas des passages (supérieurs ou inférieurs) d'autoroute



CONSTRUCTION SUR CINTRE D'UN PONT À TROIS TRAVÉES

Avantages	Inconvénients
Matériel simple (tours d'étaieiment, plateaux coffrants). Qualification courante de la main d'œuvre.	Lorsque l'obstacle à franchir est très profond cela nécessite beaucoup de matériel. Dans le cas d'ouvrages longs il faut soit beaucoup de matériel soit peu de matériel mais un phasage long. Problème du maintien de la circulation sous l'ouvrage en construction.

9.3.2 - Pont à poutres préfabriquées



La préfabrication sur la rive apporte une facilité de coffrage et de bétonnage.

Il faut mettre en place les poutres :

- Soit à la grue depuis le sol.
- Soit hissées depuis les piles.
- Soit lancées par un portique (ou poutre) de lancement (figure ci-contre).

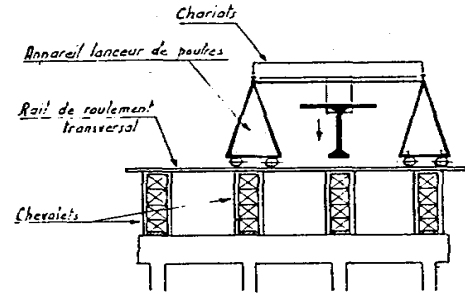


Schéma de principe

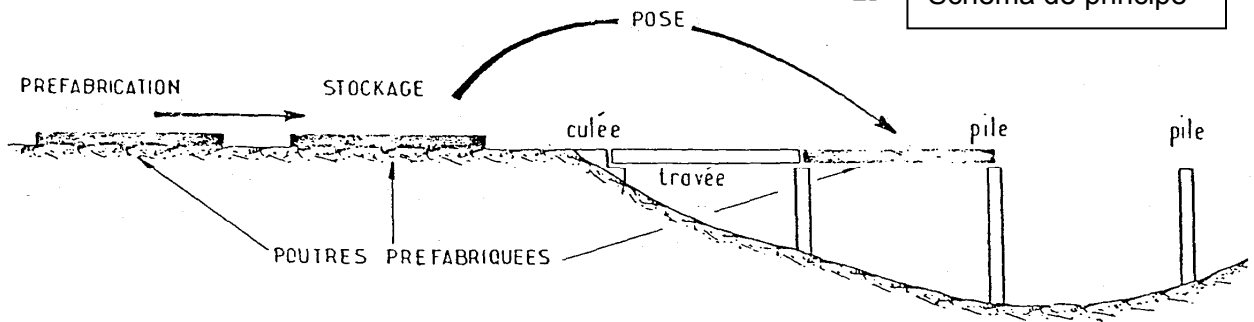
ci-contre).

Le hourdis est coulé sur (ou entre) les poutres.

Portée économique des travées de 30 à 40 m.

Système courant pour les viaducs.

Cinématique de lancement d'une poutre :

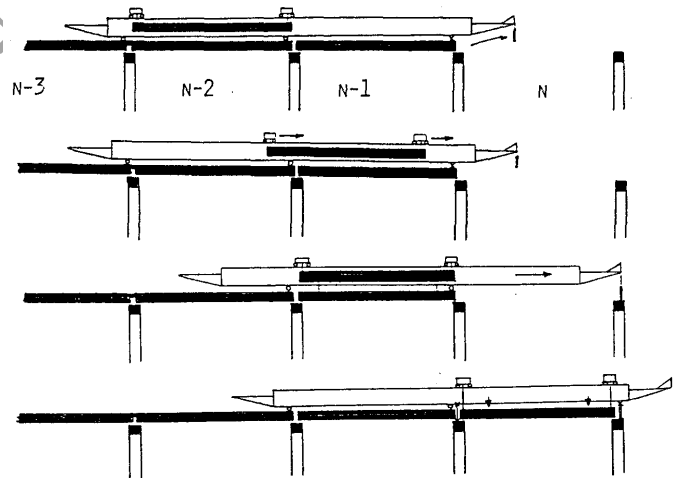


1) la poutre est amenée sur le tablier réalisé jusqu'à la travée N-2 ; elle est prise en charge par le portique.

2) la poutre est translattée au sein du portique jusqu' dans la travée N-1.

3) le portique avance équilibré par la poutre restée sur la travée N-1.

4) le portique prend appui sur la pile isolée.



Avantages	Inconvénients
Hauteur du pont sans influence. Pas d'arrêt de circulation sous l'ouvrage.	Matériel de levage important (surtout le portique). Hauteur uniforme du tablier.
NB : les poutres peuvent être métalliques et noyées dans le béton (structure mixte).	

9.3.3 - Ponts poussés

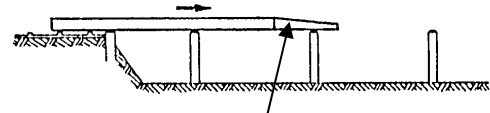
Le pont est réalisé et assemblé sur la rive puis mis en place par poussage.

NB : on parle de poussage que le pont soit poussé ou tiré.

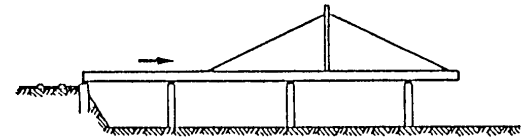
La construction par portion du tablier se fait à l'avancement (au fur et à mesure du poussage) à une ou deux extrémités du pont.

Pour limiter le porte-à-faux, les efforts et les déformations associés on utilise un avant bec, un haubanage ou des appuis provisoires (voir figure ci-contre).

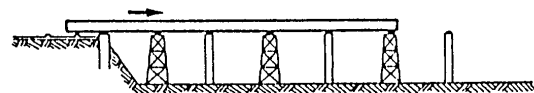
Les efforts de poussage (proportionnels au poids de l'ouvrage) sont appliqués par des vérins ou des treuils à la portion construite qui repose sur des appuis glissants en téflon ou sur des rouleaux.



POUSSAGE AVEC AVANT-BEC



POUSSAGE AVEC MÂT DE HAUBANAGE



POUSSAGE AVEC APPUIS PROVISOIRES

Avantages	Inconvénients
(sauf dans le cas d'appuis provisoires) Hauteur du pont sans influence. Pas d'arrêt de circulation sous l'ouvrage.	Effort de poussage important. Poussage délicat dans le cas de pont courbe. Hauteur du tablier constante préférable.

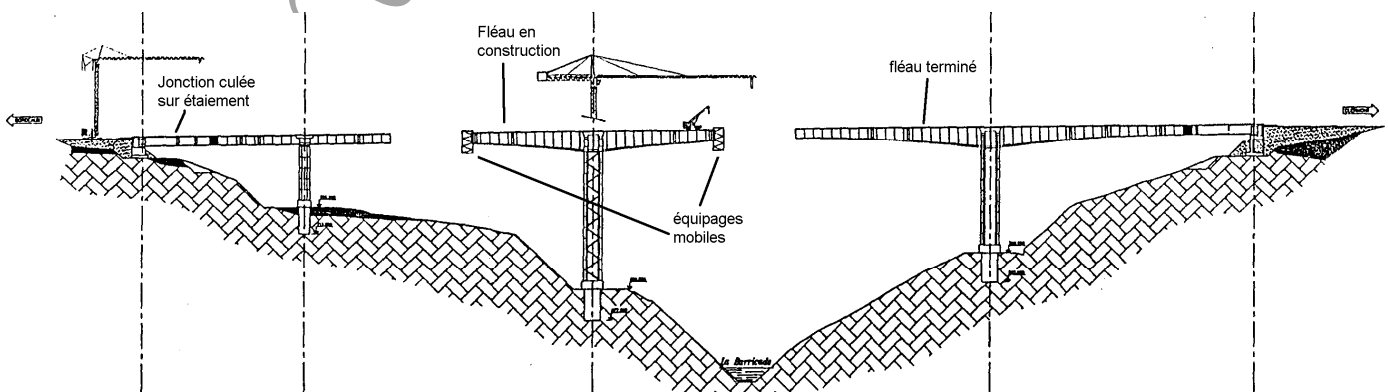
9.3.4 - Construction en encorbellement

Si le pont ne peut être poussé (tablier de hauteur variable, pont courbe...).

Si les travées ont de trop grandes portées pour des poutres.

Si la brèche est trop importante pour un étaielement.

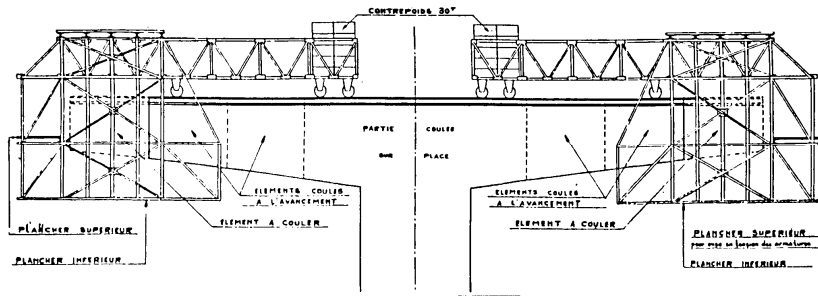
On pourra construire le tablier du pont en encorbellement c'est à dire : construire un fléau à partir d'un appui (pile) constitué de 2 demi travées de part et d'autre de celui-ci.



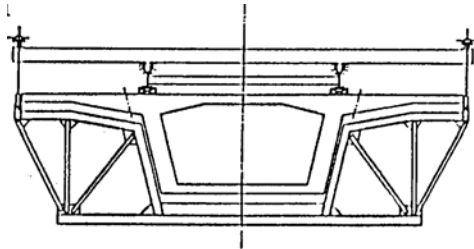
Le pont est réalisé par tranches successives appelées voussoirs.

Les voussoirs sont :

- soit bétonnés en place dans un équipage mobile.



Un équipage mobile est en fait le coffrage déplaçable d'un voussoir, maintenu soit par un lest soit par un ancrage.

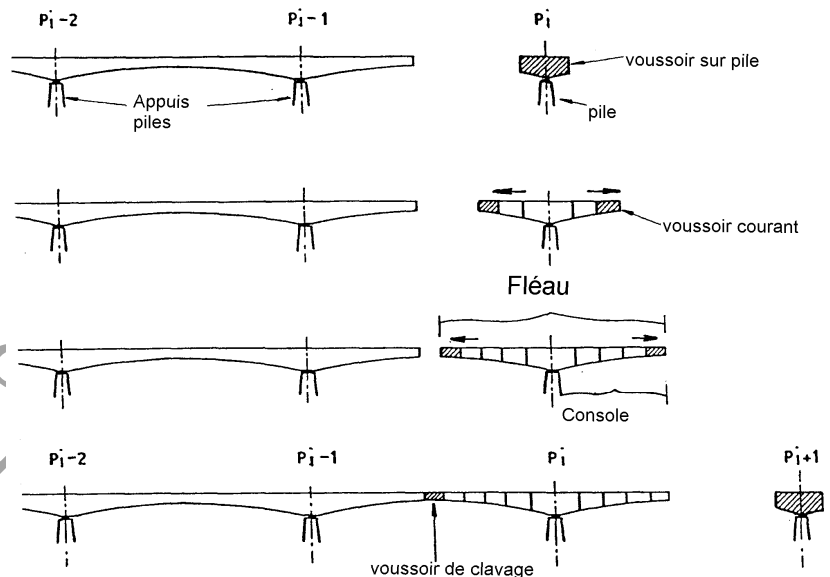


Coupe de principe du coffrage sur un équipage en place.

- soit préfabriqués, mis en place puis solidarisés.

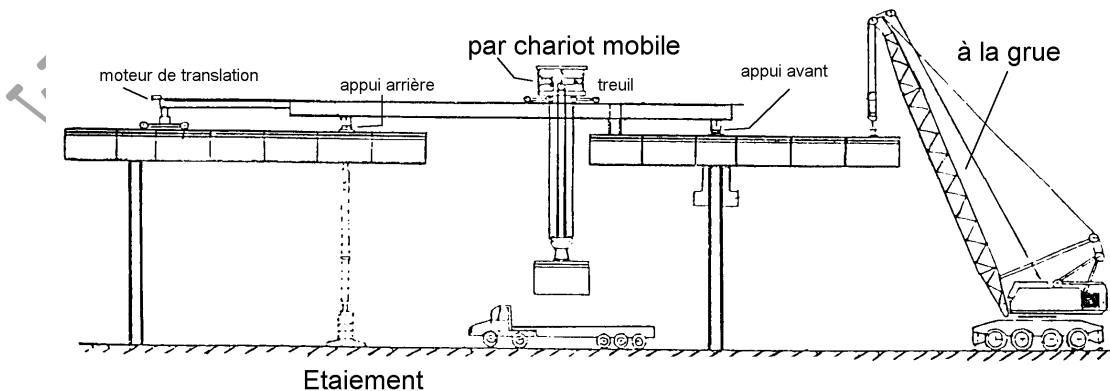
Principe d'avancement :

- 1) réalisation du voussoir sur pile,
- 2) pose symétrique des voussoirs courants,
- 3) réalisation à la jonction de 2 fléau d'un voussoir de clavage.



N.B. : L'avancement symétrique préserve l'équilibre du fléau. Néanmoins un moment de renversement existe en construction : la rotation est empêchée soit par des appuis provisoires, soit par un encastrement du fléau sur la pile.

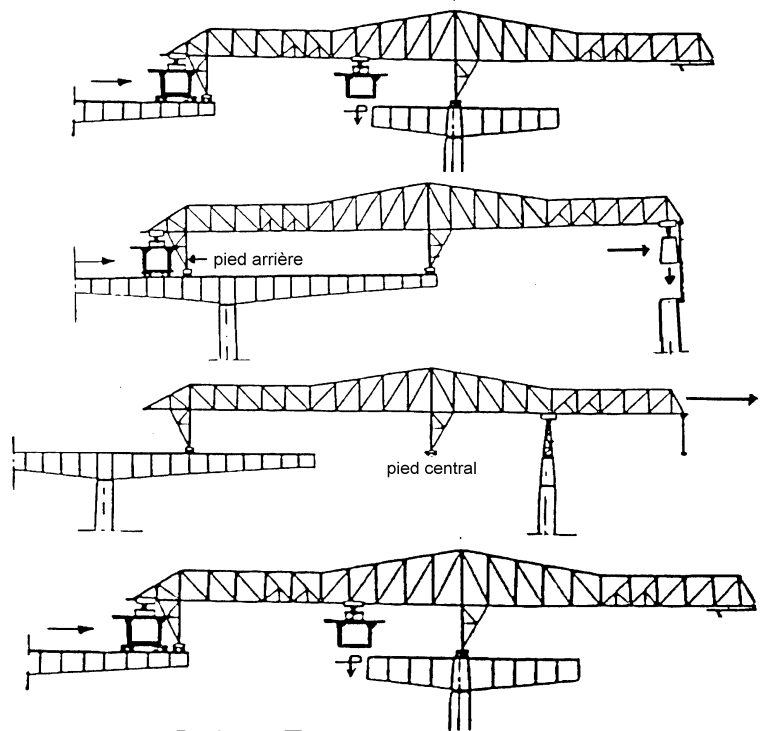
Mise en place de voussoirs préfabriqués



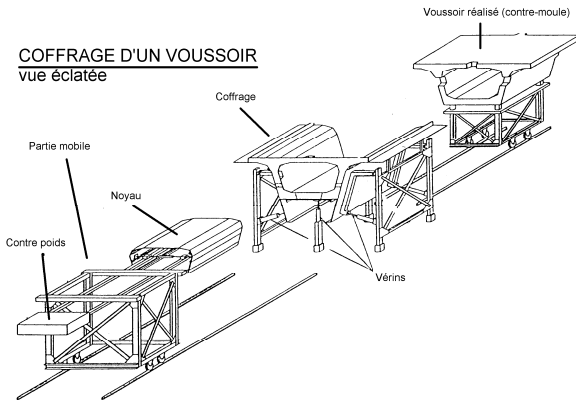
Rq. : sur une étendue d'eau l'approvisionnement des voussoirs peut se faire par barge.

Mise en place de voussoirs préfabriqués par portique de lancement

Les voussoirs préfabriqués sont amenés le long du tablier déjà réalisé, puis pris en charge par le portique de lancement qui les achemine sur le fléau en construction.



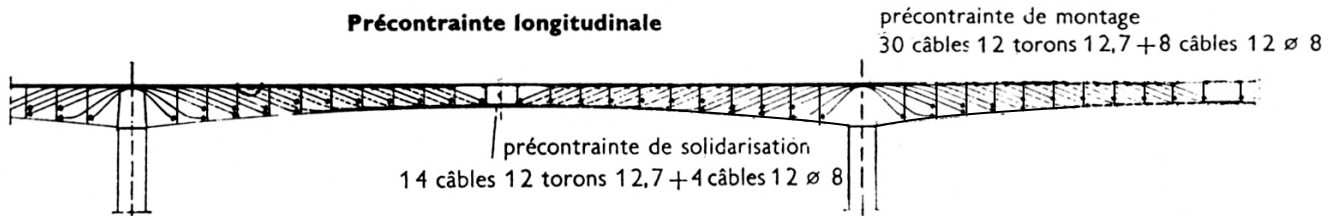
COFFRAGE D'UN VOUSOIR
vue éclatée



Le coffrage est constitué d'un moule inférieur, d'un seul flanc et d'un noyau ; le voussoir est coulé contre le voussoir précédent (pour un meilleur assemblage).

Les voussoirs sont ensuite assemblés à l'aide d'une précontrainte longitudinale.

Précontrainte longitudinale



	Avantages	Inconvénients
Coulage en place	Raccordement aisé des gaines à l'aide de manchons. Continuité du ferrailage passif	Faible avancement des travaux (1 m /jour). Mise en tension des câbles sur un béton jeune. Bétonnage in-situ plus délicat.
Préfabrication	Avancement rapide (10 à 30 m/jour). Meilleur aspect des parements. Mise en tension des câbles sur un béton âgé.	Suppose un nombre important de voussoirs (100 minimum). Place importante pour la préfabrication et le stockage. Absence de ferrailage passif au droit des joints. Difficultés pour raccorder les gaines.