

Technologie des ponts

SOMMAIRE

1- Terminologie.	3
a) Définition et différentes parties d'un pont.	3
b) Les appuis.	4
1- Les piles.	4
2- Les culées.	4
3- Les piles-culées.	5
4- Le remblai d'accès.	5
c) Nom des vues de représentation.	6
1- Le profil en long ou élévation.	6
2- Le tracé ou vue en plan.	6
3- Le profil en travers ou coupe transversale.	6
4- Perspectives.	7
2- Critères de classification.	7
a) Les ponts cadre.	7
b) Les ponts à poutres.	7
c) Les ponts dalles.	8
d) Les ponts à caisson ou voussoir.	9
e) Les ponts en arc.	9
f) Les ponts à câbles.	10
g) Matériaux constitutifs.	11
3- Analyse fonctionnelle.	11
a) Transmission des efforts verticaux.	11
1- Descente de charge.	11
2- Appareils d'appui.	12
b) Transmission des efforts horizontaux.	13
1- Efforts transversaux.	13
2- Efforts longitudinaux.	13
3- Solutions pour la reprise des efforts horizontaux.	13
c) Continuité du franchissement.	14
1- Dilatation du tablier.	14
2- Tassement du remblai d'accès.	15
d) Etanchéité et drainage.	15
1- Etanchéité.	15
2- Drainage des culées.	17
e) Sécurité.	17
f) Esthétique.	18

4- Modes constructifs	18
a) Réalisation des appuis	19
b) Ponts construits sur cintre	20
c) Ponts construits par pose de poutres préfabriquées	20
d) Ponts construits par cintre autolanceur	22
e) Ponts poussés	22
f) Ponts construits en encorbellement	24
g) Ponts sur cours d'eau	27
1- Tronçon de tablier amené par barge et hissage	27
2- Réalisation des piles dans batardeau	28

Lors de la construction d'une voie de circulation, il arrive toujours un moment où l'on rencontre un obstacle :

- Naturel (brèche, cours d'eau)
- Artificiel (route, voie ferrée, canal)

Pour assurer la continuité de l'ouvrage, 2 solutions :

1. éliminer l'obstacle (remblayer une brèche, détourner un cours d'eau)
2. conserver l'obstacle mais :
 - passer au travers ou au dessous (tunnel)
 - au dessus (pont)
 - contourner (déviation)

La conception des ponts est en constante évolution grâce à l'emploi de matériaux de plus en plus performants, à des moyens de calculs permettant d'établir des modèles de comportement très sophistiqués et à la création de formes originales apportant de nouvelles solutions, pour apporter de nouvelles solutions aux problèmes posés par le franchissement d'obstacles de plus en plus impressionnant.

1- Terminologie.

De façon générale, un pont est un ouvrage en élévation, construit in situ, permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle.

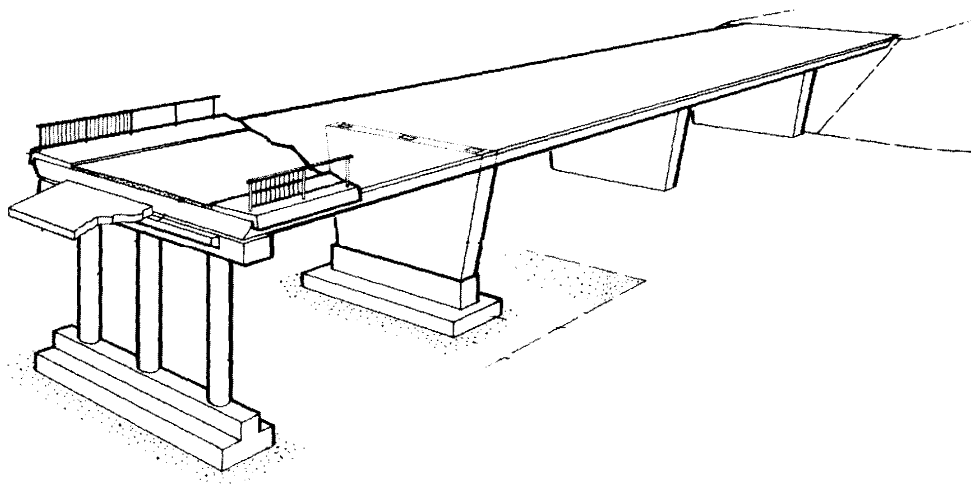
La désignation du pont s'adapte à son utilisation :

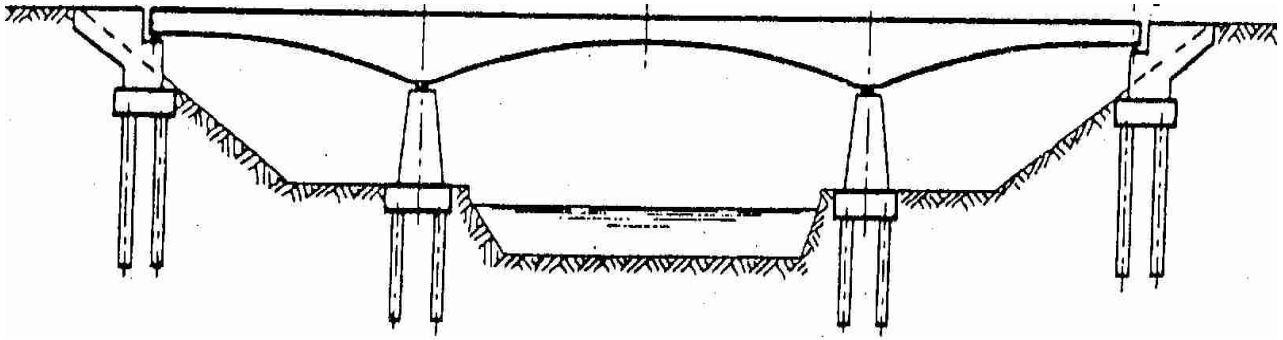
Passage de :	Désignation du pont :
Une route	Pont-route
Une voie piétonne	Passerelle
Une voie ferrée	Pont-rails
Un canal	Pont-canal
Eau d'addiction	Aqueduc

On distingue en outre les différents types d'ouvrages suivants :

- ponceau ou dalot : pont de petites dimensions (quelques mètres)
- viaducs : ouvrage généralement de grande hauteur, ou à nombreuses travées comme les ouvrages d'accès aux grands ponts ; terme plutôt réservé aux franchissements en site terrestre.

a) Définition et différentes parties d'un pont.





b) Les appuis.

Ils transmettent au sol les actions provenant du tablier. Ils sont généralement en béton armé.

1- Les piles.

Elles comportent au minimum 2 parties :

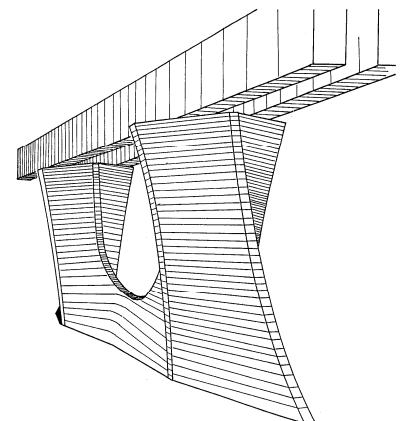
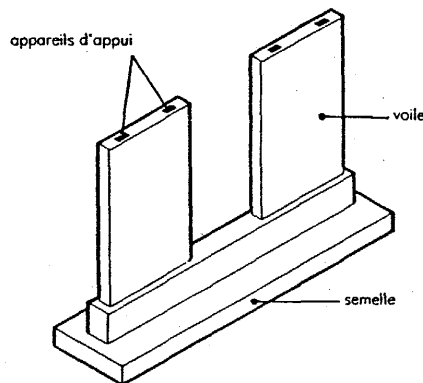
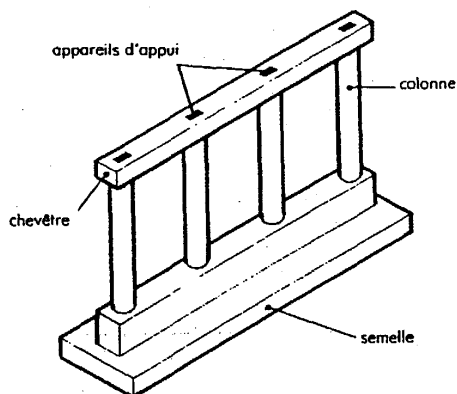
- La superstructure ou fût, reposant éventuellement sur une nervure.
- La fondation

Elle comporte des éléments verticaux qui peuvent être :

- Des voiles -éléments longs, de section allongée-. Ils comportent au moins 2 points d'appui pour supporter le tablier.
- Des colonnes (section circulaire) ou des poteaux (section rectangulaire) - éléments courts, de faible section -. Chaque élément comporte un point d'appui ou bien les éléments sont reliés en tête par un chevêtre sur lequel repose les points d'appui du tablier.

appui constitué de colonnes

appui composé de voiles



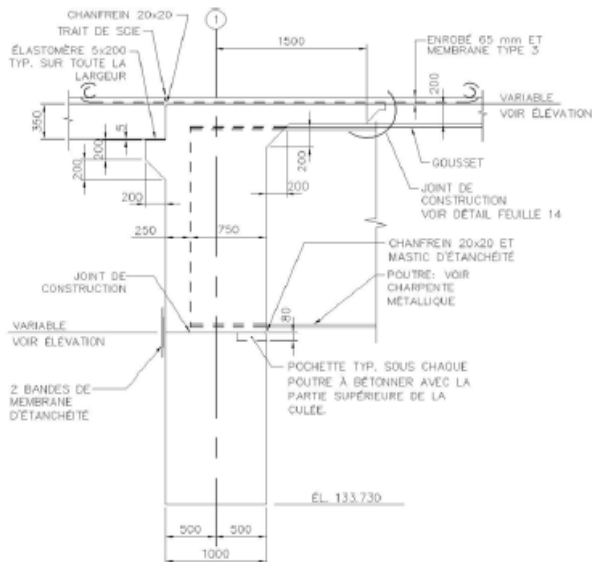
De plus, les piles participent fortement à l'aspect esthétique du pont

2- Les culées.

Appuis d'extrémité, elles assurent le soutènement du remblai d'accès à l'ouvrage.

Les culées comportent 4 parties :

- une fondation
- un mur de front, sur lequel s'appuie le tablier et qui assure la stabilité du remblai d'accès.
- un mur de tête, qui assure le soutènement des remblais latéralement.
- une partie supérieure (chevêtre) sur laquelle s'appuie le tablier.



3- Les piles-culées.

Ce sont des appuis d'extrémité, enterrés dans le remblai d'accès (complètement ou partiellement).

La pile culée n'assure pas la fonction de soutènement du remblai d'accès (sauf en tête de remblai dans certains cas).

Les piles-culées comportent 3 parties :

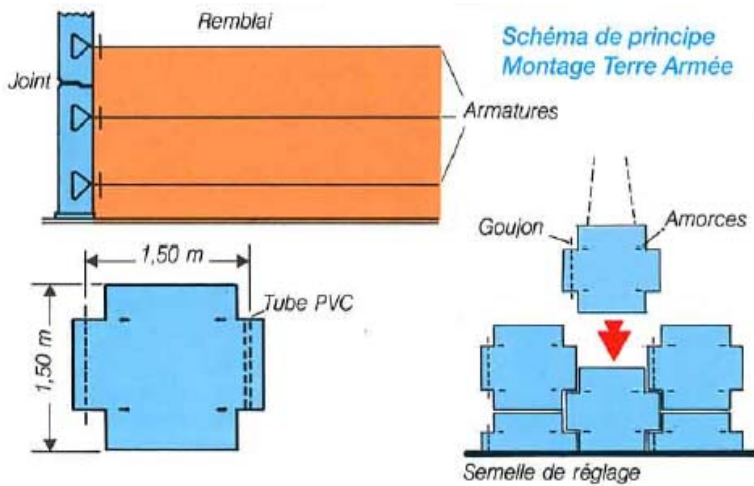
- une fondation
- une partie intermédiaire constituée par des éléments verticaux (voiles, poteaux, colonne)
- une partie supérieure (chevêtre) sur laquelle s'appuie le tablier.

4- Le remblai d'accès.

Le maintien du remblai est ici généralement assuré par le technique de la terre armée (procédé Freyssinet) :

- le remblai est bordé par des écailles auxquelles sont fixées des armatures plates crantées en acier galvanisé (ou en fibres polyester-polyéthylène) qui sont disposées dans le remblai fortement compacté. Le système fonctionne grâce aux frottements importants entre les armatures (réparties tout les 75 cm environ) et le remblai pulvérulent mis en oeuvre par couche de 40 cm environ d'épaisseur. Les écailles sont imbriquées les une dans les autres par boulons centreurs.

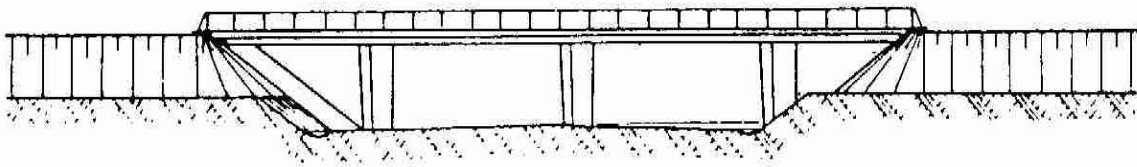




c) Nom des vues de représentation.

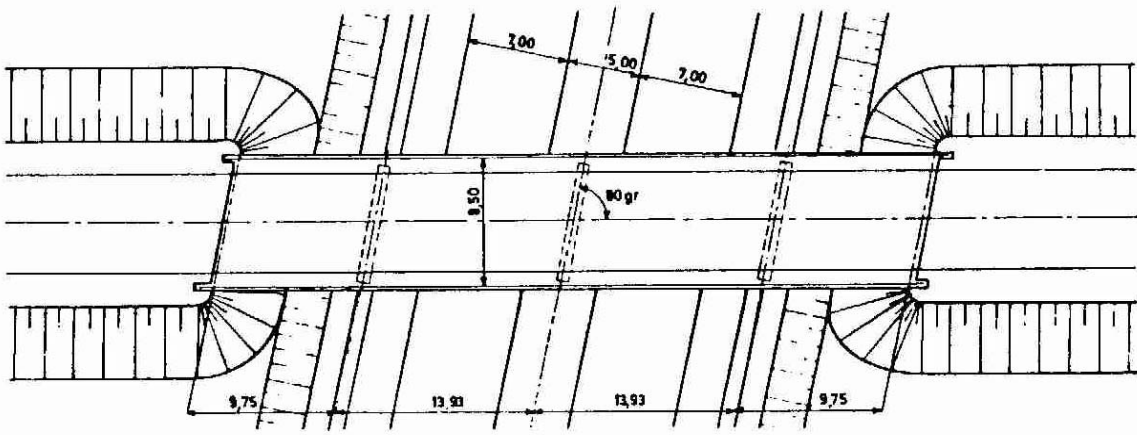
1- Le profil en long ou élévation.

- L'**extrados** doit permettre le raccordement avec le profil en long de la route.
- L'**intrados** doit permettre la circulation éventuelle en dessous.



2- Le tracé ou vue en plan.

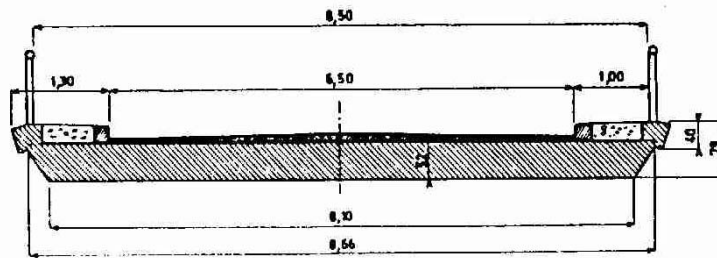
Le tracé d'un pont doit aujourd'hui se raccorder au mieux aux voies de communication qu'il relie.



Ici, il s'agit d'un pont "biais" (les voies n'étant pas orthogonales)

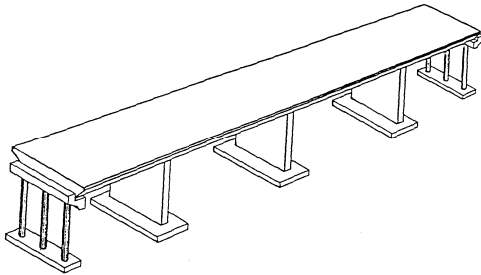
3- Le profil en travers ou coupe transversale.

Il doit être conforme à celui des voies qu'il relie : largeur de la chaussée, nombre de voies, trottoir...

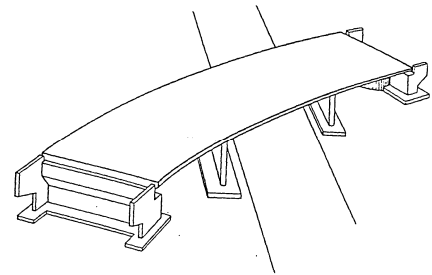


4- Perspectives.

➤ perspective d'un pont droit :



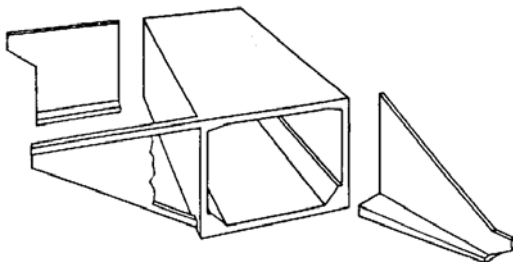
➤ perspective d'un pont courbe :



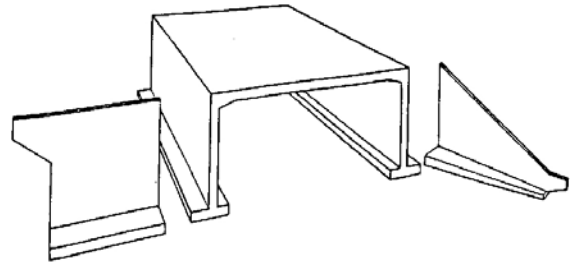
2- Critères de classification.

a) Les ponts cadre.

Ils sont apparus vers les années 1960, lorsque le programme de construction des autoroutes françaises s'accéléra, et que de nouvelles contraintes apparaissent (qualité de tracé engendrant la réalisation de ponts biais ou courbes, sécurité, nouvelles techniques...). Ils sont de deux types :



Passage inférieur à cadre fermé (PICF)

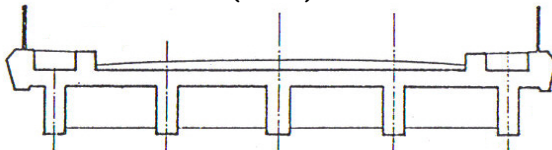


Passage inférieur à portique ouvert (PIPO)

b) Les ponts à poutres.

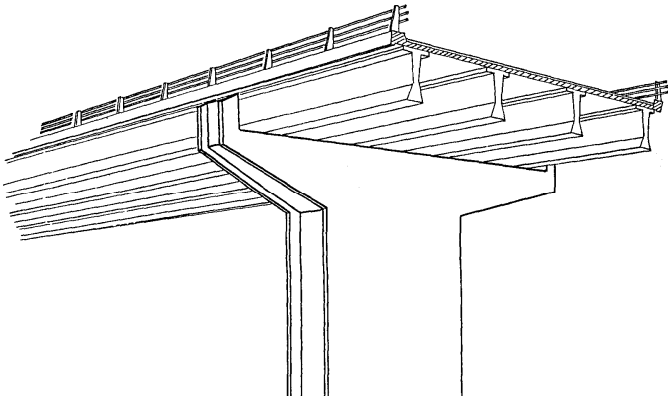
Ouvrages dont la structure reprend les charges par son aptitude à résister à la flexion, les réactions d'appui étant verticales. La section transversale est constante.

Passage supérieur ou inférieur à poutres armées (PSIPA)



Passage supérieur ou inférieur à poutres précontraintes (PSIPP)





c) Les ponts dalles.

Ils sont assimilables aux ponts poutres de part leur fonctionnement mécanique, leur section restant aussi constante.

Ils sont différenciés par la forme de la dalle.

Passage supérieur ou inférieur à dalle armée
(PSIDA)



Passage supérieur ou inférieur à dalle précontrainte à
encorbellement (PSIDP)



Passage supérieur ou inférieur à dalle élégie
(PSIDE)

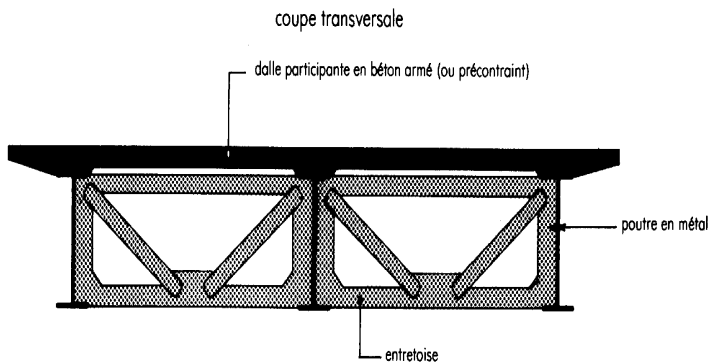


Passage supérieur ou inférieur à dalle nervurée
(PSIDN)



d) Les ponts à caisson ou voussoir.

Le tablier est composé de voussoirs de section continue ou non, en béton armé ou en construction mixte acier-béton.

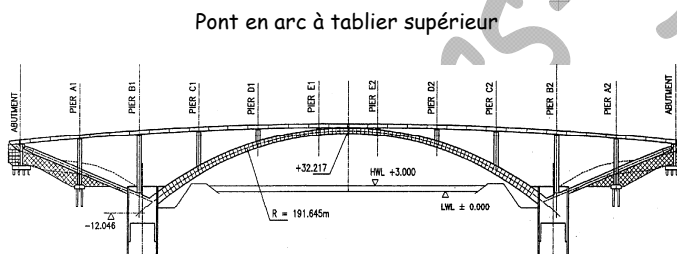


e) Les ponts en arc.

Pour ces ouvrages, la structure fonctionne essentiellement en compression. Les réaction d'appui sont inclinées (la composante horizontale s'appelle la poussée).

Ces structures ne peuvent être envisagées que si elles peuvent prendre appui sur un rocher existant, leur portée peut alors aller jusqu'à 500 m.

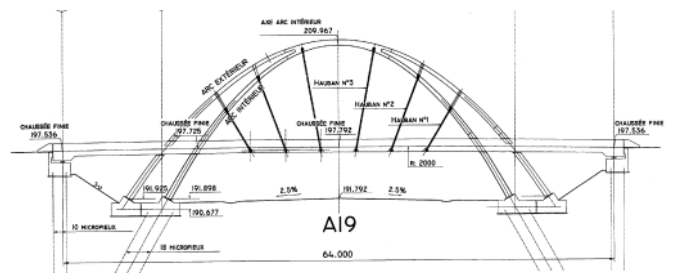
Les ponts à béquilles sont rattachés à la famille des arcs



Pont à béquille (PSIBQ)



Pont en arc à tablier intermédiaire





f) Les ponts à câbles.

Le tablier est alors supporté par des câbles. Ce sont des structures plus ou moins souples adaptées au franchissement des grandes portées.

On distingue deux types d'ouvrages dont le fonctionnement mécanique est très différent :

- les ponts suspendus (portée jusqu'à 2000 m)



- les ponts à haubans (portée jusqu'à 900 m)



g) Matériaux constitutifs.

Type de pont	Matériau constitutif	Structure et portée
Ponts courants	Bois (lamellé-collé)	<u>Passerelle</u> piéton ou cycliste : portée ≤ 20 m
	BA ou BP	<u>Dalle</u> : portée ≤ 30 m : jusqu'à 20 m : en BA de 20 m à 30 m : en BP <u>Poutres</u> : 20 m $\leq$ portée ≤ 60 m : en BP <u>Caissons</u> : 50 m $\leq$ portée ≤ 100 m : en BP
	Métal	80 m $\leq$ portée ≤ 200 m : sans assistance mécanique
Grands ponts	BP, CM, construction mixte (acier + béton)	<u>A haubans</u> : portée jusqu'à 900 m ponts métalliques <u>Suspendu</u> : portée atteignant 2000 m

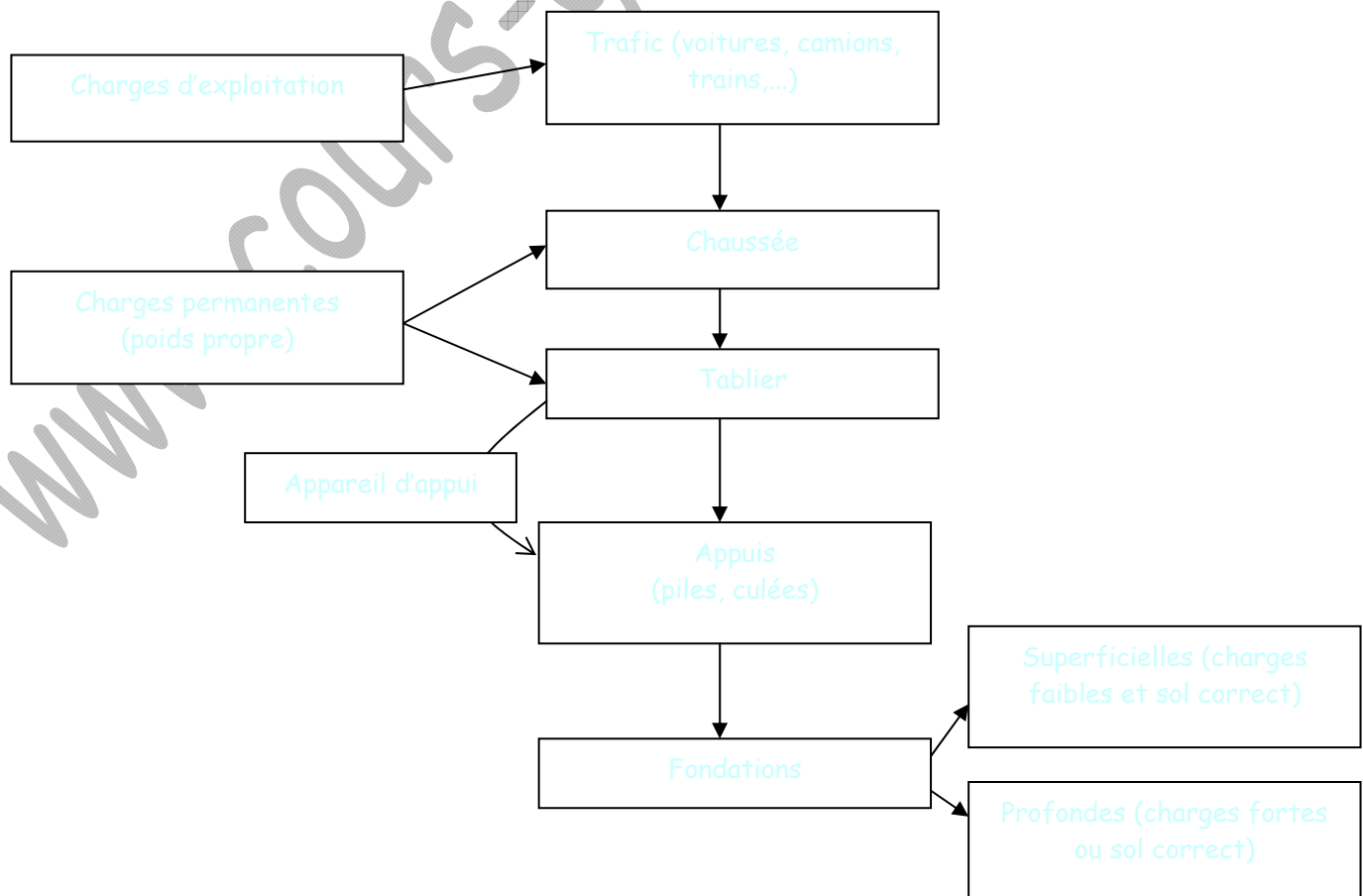
3- Analyse fonctionnelle.

Comme pour le bâtiment, une analyse des fonctions que doit assurer le pont permet de définir les principales caractéristiques de conception et de réalisation de celui-ci, ainsi que de ses équipements.

Les critères à analyser sont évidemment différents, en voici les principaux :

a) Transmission des efforts verticaux.

1- Descente de charge.



2- Appareils d'appui.

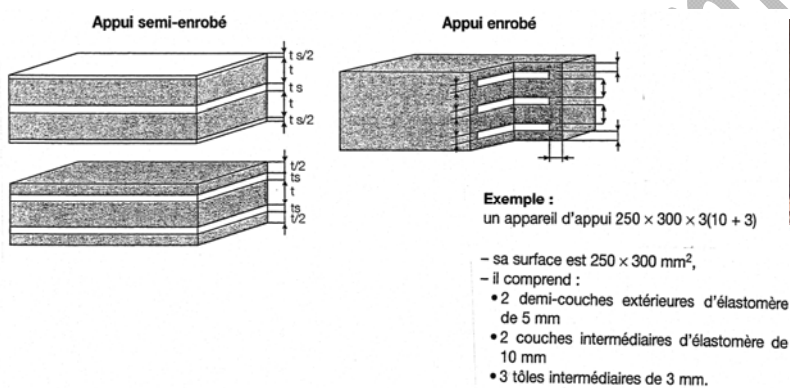
Ils ont pour fonction de transmettre les charges verticales du tablier aux appuis, mais aussi de permettre les mouvements de rotation et les petites déformations horizontales.

On trouve 3 grandes familles d'appareil d'appui :

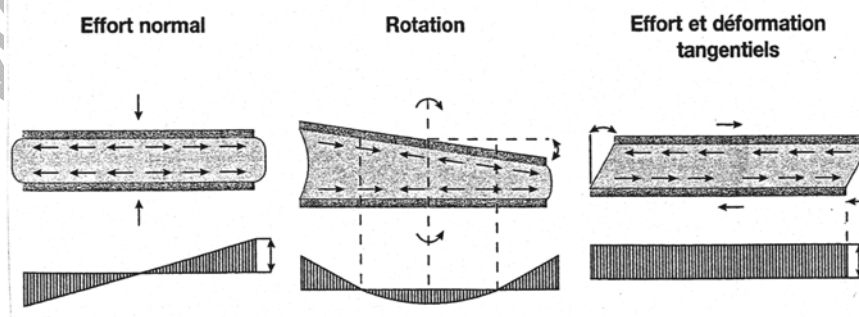
- en acier pour les ponts métalliques



- appareil en élastomère fretté : sandwich de plaques d'acier et de résines élastomères.



• Sollicitations que doivent supporter les appareils d'appui

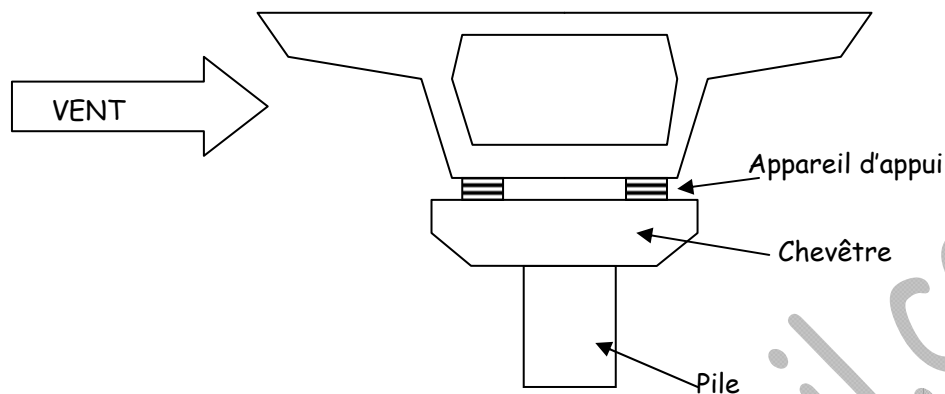


- appareils spéciaux pour grands ponts qui peuvent être fixes, mobiles dans une direction ou dans toutes les directions.

b) Transmission des efforts horizontaux.

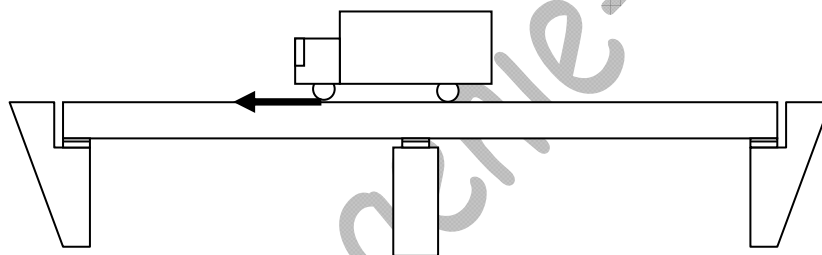
1- Efforts transversaux.

Ils sont principalement dus au vent, et dans une moindre mesure aux efforts centrifuges pour les ponts courbes.



2- Efforts longitudinaux.

Ils sont générés par le freinage des véhicules qui se transmettent par frottement sur la chaussée.



3- Solutions pour la reprise des efforts horizontaux.

Le tablier ne peut évidemment pas se déplacer sous l'effet de ces efforts. Il est donc nécessaire de bloquer ces déplacements potentiels.

Cela peut se faire en verrouillant certains déplacements horizontaux au niveau des appareils d'appuis (tout en laissant la possibilité au tablier de se dilater) ou en créant des butées sur les cotés du tablier.



c) Continuité du franchissement.

1- Dilatation du tablier.

Les matériaux constituant le tablier du pont sont soumis à des variations de températures qui génèrent des dilatations ou des retraits.

Si on empêche le tablier de se dilater (longitudinalement et transversalement), cela induit dans le matériau des contraintes fortes susceptibles de provoquer des fissurations et donc la ruine de l'ouvrage.

Il faut éviter la discontinuité en long due à la dilatation thermique du béton (coefficient de dilatation thermique $\alpha = 2.10^{-4} \text{m/m.}^\circ\text{C}$).

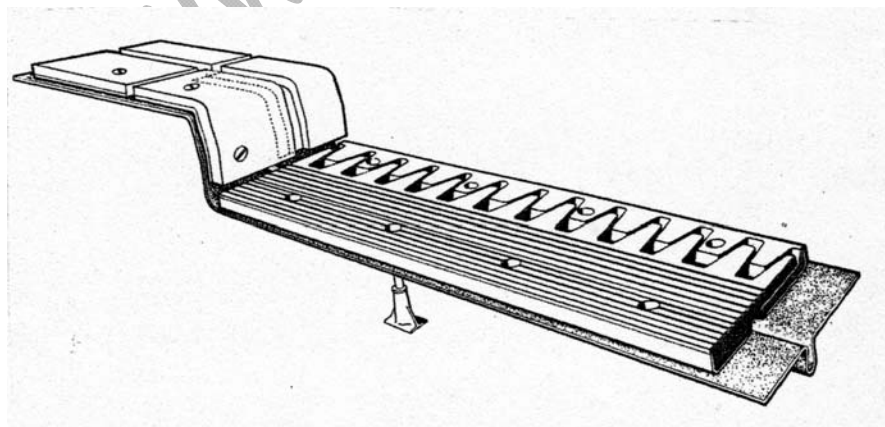
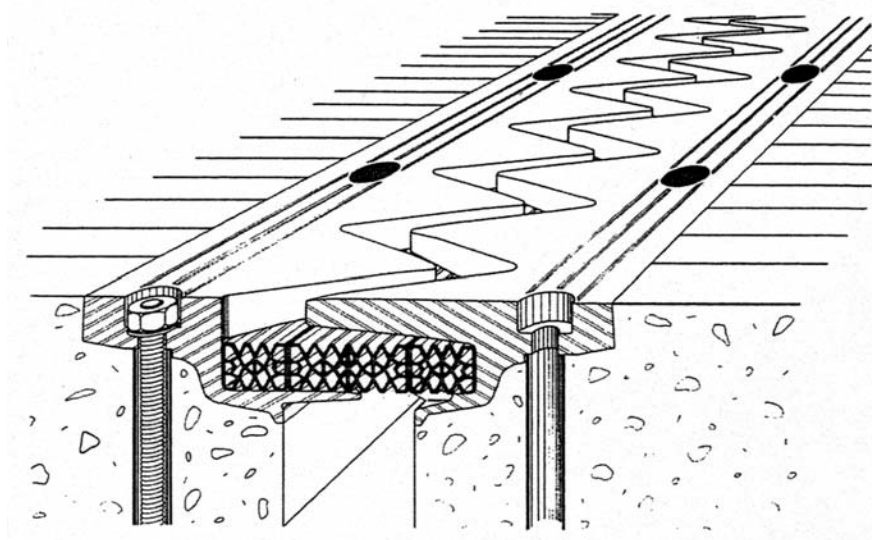
Application numérique :

- Calculer l'allongement d'un tablier en béton de 40 m de long si la température passe de 20 °C à 40°C.

$$\Delta L = 0,16 \text{m}$$

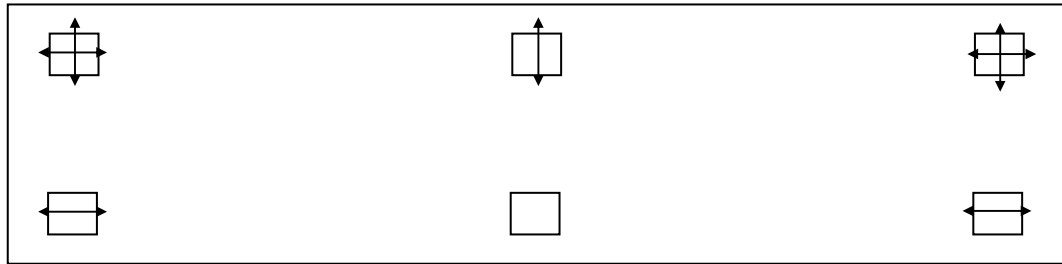
Il est donc nécessaire de laisser ces dilatations de produire librement.

On emploie pour cela des joints de chaussée généralement en forme de peigne. On trouve ces joints obligatoirement aux extrémités des tabliers, quel que soit leur type. Pour les tabliers très longs, des joints intermédiaires sont prévus. La longueur courante d'un tablier continu sans joint est couramment de l'ordre de 500 à 600 m. Elle peut être portée à 900m en recourant à des dispositifs spéciaux.



Il faut de plus que les appareils d'appui puissent soit absorber ces mouvements, soit les laisser libre.

Exemple :

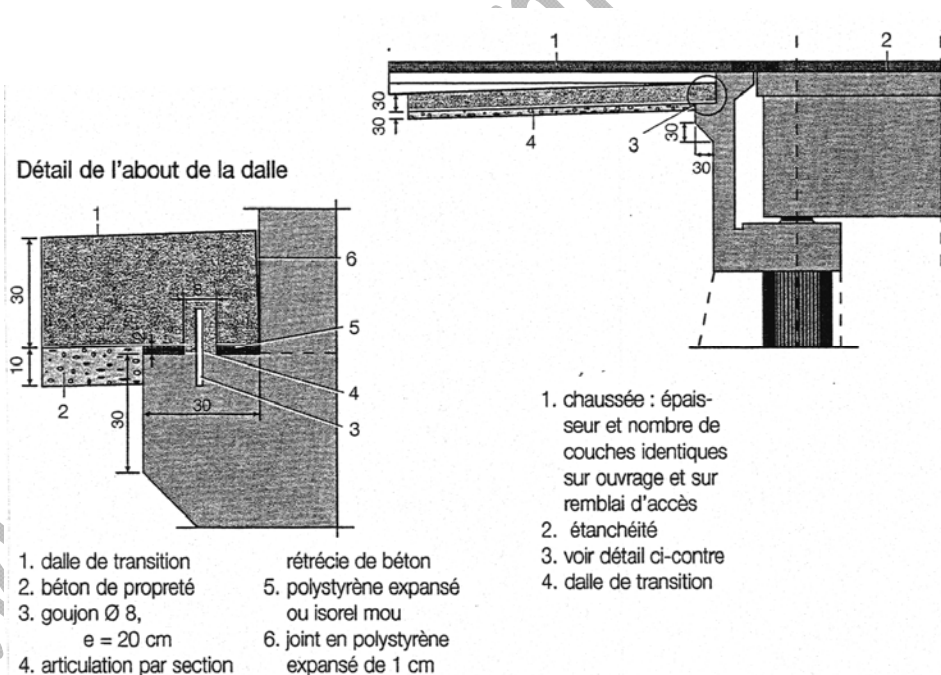


2- Tassement du remblai d'accès.

Aux abords du pont, après quelques années, il se produit un tassement du remblai, ce qui peut entraîner une discontinuité en hauteur (dénivellation) entre le tablier et la route.

Les dalles de transition permettent par leur inclinaison une transition continue entre la partie ayant subi le tassement et le début du pont.

Ce sont des dalles en béton armé, reposant par une de leurs extrémités sur l'ouvrage et par l'autre sur le remblai d'accès.



d) Étanchéité et drainage.

1- Étanchéité.

La pénétration de l'eau à l'intérieur du tablier entraîne des risques de corrosion des armatures en acier et doivent donc être évitées.

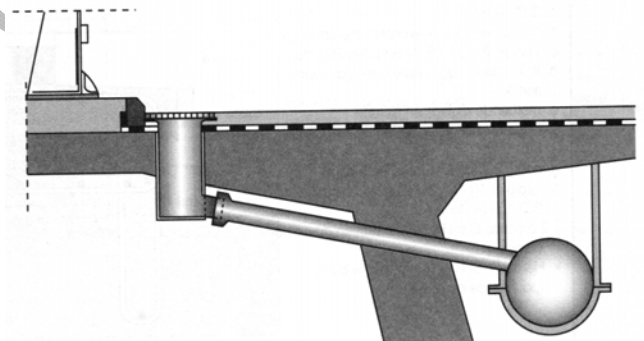
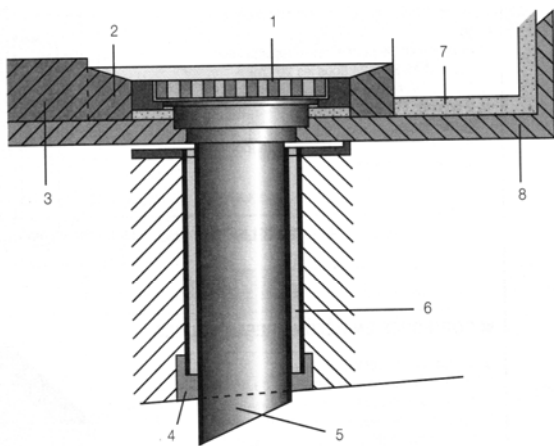
Pour cela, on a recours à une chape d'étanchéité (à base d'asphalte ou de feuilles bituminées) disposée sur la dalle en béton ou un complexe étanche sur les platelages métalliques.



Cette étanchéité est surmontée d'une couche de roulement en béton bitumineux de 4 à 10 cm d'épaisseur servant de couche d'usure.

Il est de plus indispensable de prévoir un système d'évacuation des eaux pluviales pour éviter l'inondation de la chaussée.

Celui-ci est généralement constitué de gargouilles disposées tous les 20 m environ. Elles recueillent l'eau de surface et l'évacue par des chéneaux vers les descentes d'eau situées au niveau des piles ou des culées.



- 1. grille 200 x 200 x 20
- 2. asphalte coulé porphyré
- 3. chaussée
- 4. réservation en polystyrène
- 5. tube d'acier Ø 100/108
- 6. manchon en amiante-ciment Ø 125/139
- 7. mortier de pose de la bordure de trottoir
- 8. étanchéité



2- Drainage des culées.

Le remblai d'accès doit être drainé au niveau de la culée pour éviter que la pression supplémentaire apportée par l'eau ne crée des désordres (fissures, corrosion des armatures, coulures et dégradation d'aspect,...).

Généralement, on dispose un feutre drainant sur la surface de culée en contact avec le remblai, associé à un drain tubulaire pour évacuation vers l'extérieur du remblai.



e) Sécurité.

Les dispositifs de sécurités des usagers comprennent :

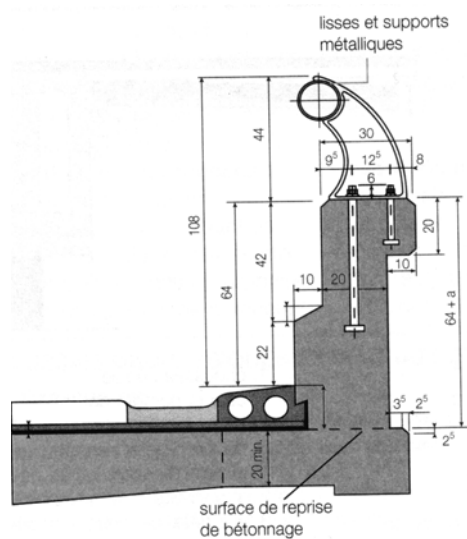
- les gardes corps : protection des piétons



- les glissières destinées à retenir les véhicules légers, généralement des profilés en acier montés sur poteaux qui absorbent les chocs en se déformant



- les barrières destinées à retenir les véhicules lourds, linéaires en béton armé fonctionnant par inertie (masse de 600 kg par mètre)



Il faut aussi assurer la sécurité des ponts en :

- protégeant les piles (par glissières ou barrières)
- en signalant les gabarits de l'intrados
- en signalant les charges maximales supportées

f) Esthétique.

Contrairement au bâtiment, il n'y a pas de style propre à une région en matière de ponts. Avant 1984, il n'y avait pas de règles architecturales définies.

La circulaire du 24 septembre 1984 insiste sur le fait qu'aucune décision architecturale ne doit être prise sans une connaissance approfondie du site : objectif paysager dès le début de la conception.

Cette circulaire est précisée par celle du 5 mai 1994 qui décrit la consistance minimale des études préliminaires vis à vis des problèmes environnementaux

Les architectes et ingénieurs concepteurs doivent avoir à l'esprit que le pont n'a pas de beauté intrinsèque mais doit faire partie de son environnement.

Les règles élémentaires d'esthétisme sont les suivantes :

- rapport des dimensions : donne le caractère à l'ouvrage (robustesse, finesse, ..)
- ne pas fermer l'espace : l'ouvrage doit être aussi transparent que possible et éviter de constituer un obstacle visuel
- bonne ordonnance de la structure : privilégier la continuité des lignes et limiter le nombre de directions dans l'espace
- intégration dans l'environnement : un grand pont peut devenir un élément majeur du site, éclairage et mise en valeur de l'intention structurale, effet de la lumière et des ombres
- aspect des parements : texture et couleur des matériaux, ornement des corniches et garde-corps.

4- Modes constructifs.

Le choix d'un mode constructif dépend énormément du type de pont à réaliser, mais aussi des paramètres environnementaux :

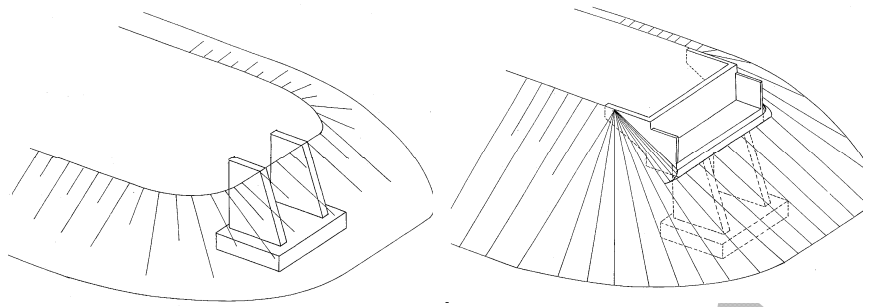
- accès libre sous le pont
- hauteur de la brèche
- nature géologique du sol
- milieu aquatique ou terrestre

a) Réalisation des appuis.

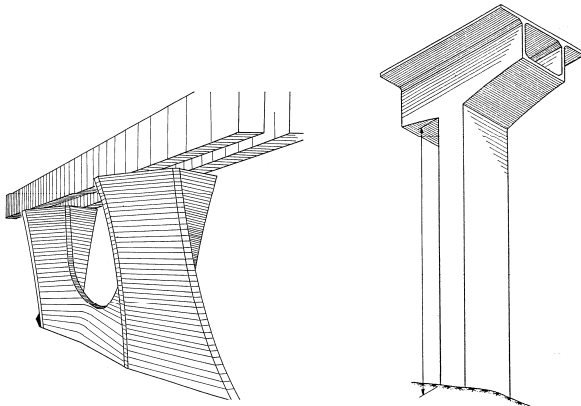
Les culées sont généralement totalement (cf. dessins de droite) ou partiellement enterrées.

Phases de réalisation :

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



Réalisation des piles :

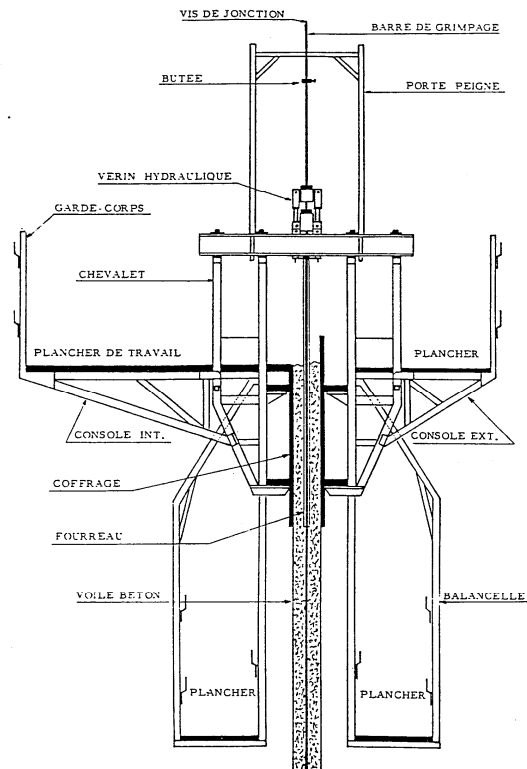


Les piles témoignent couramment d'une recherche architecturale, le coffrage est dans ces cas très spécifique.

Une autre particularité des piles est leur hauteur qui peut être très importante.

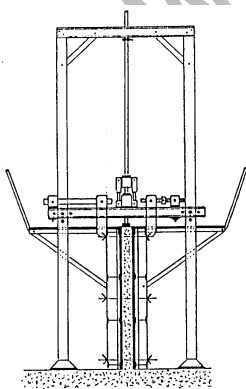
Pour leur réalisation on utilise couramment :

- des coffrages glissants,
- des coffrages grimpants.

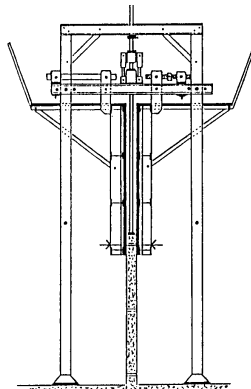


coffrage glissant

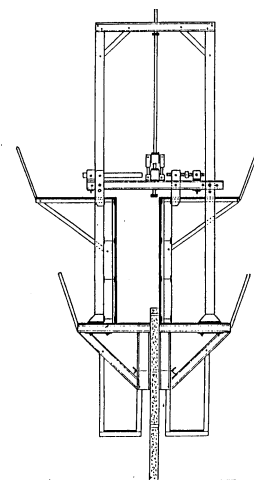
Principe du coffrage grimpant :



1) coffrage en appuis sur le sol



2) montage du coffrage et de sa plate forme



3) mise en place d'une plate forme supplémentaire en pied de coffrage puis ouverture du coffrage

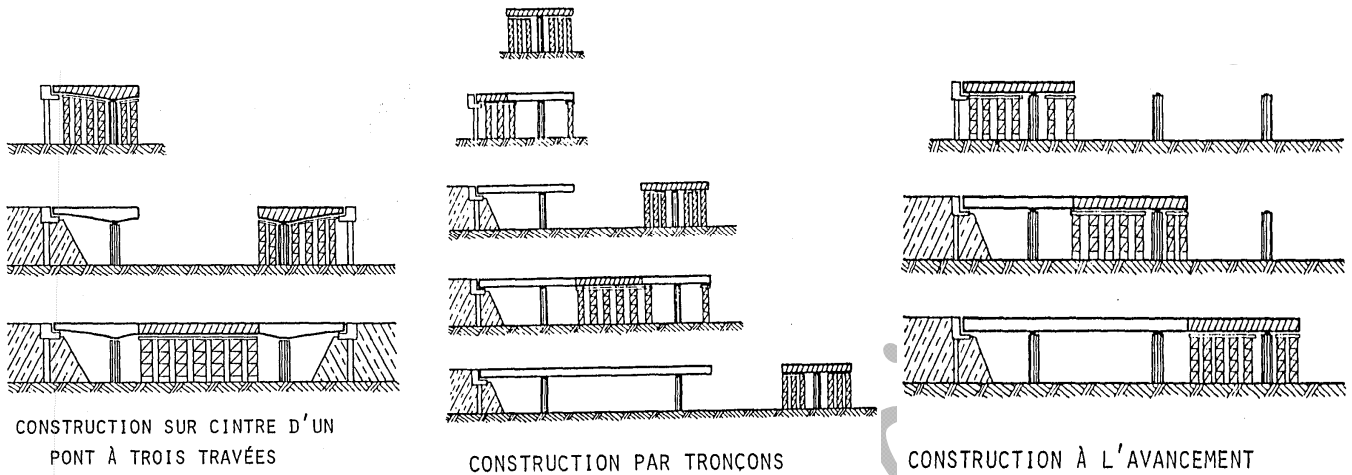
b) Ponts construits sur cintre.

Coffrage réalisé sur tours d'étaieiment.

Cette technique s'apparente à la réalisation des planchers coulés en place.

Possibilité de dégager un gabarit routier au centre de l'étaieiment.

Le phasage de construction peut se faire selon 3 modes.

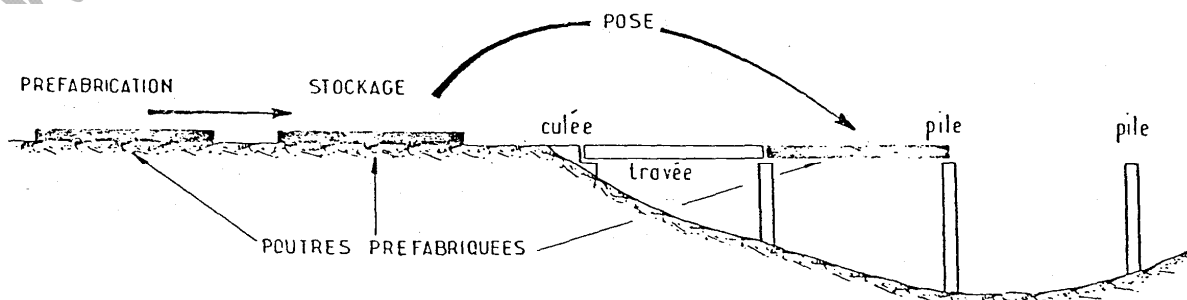


Limite : la hauteur de l'intrados doit être limitée, et le sol doit pouvoir accepter la pose d'étaieiments (pas en cours d'eau, ..)



c) Ponts construits par pose de poutres préfabriquées.

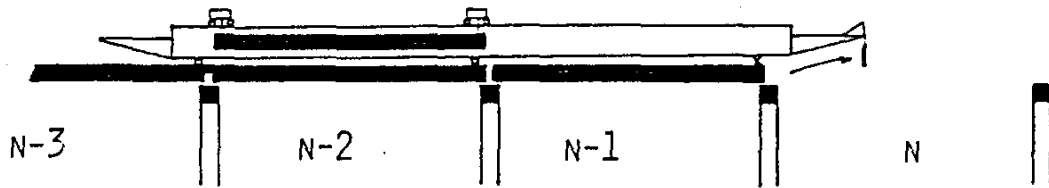
C'est une construction à l'avancement, travées par travées. La préfabrication des poutres se fait souvent sur chantier. La pose se fait par levage traditionnel (grue) soit par poutre de lancement. Sur ou entre les poutres.



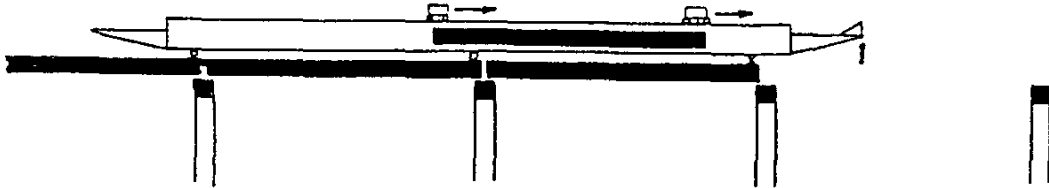
Les poutres sont en béton précontraint ou en acier (ponts mixtes). Le tablier est coulé en place

Exemple de phasage du lancement :

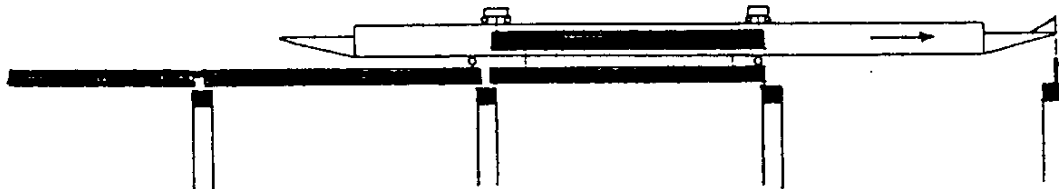
- 1 Blocage du lanceur sur la travée n-1.
Prise en charge de la poutre préfabriquée par chariots roulant sur la partie supérieure du lanceur.



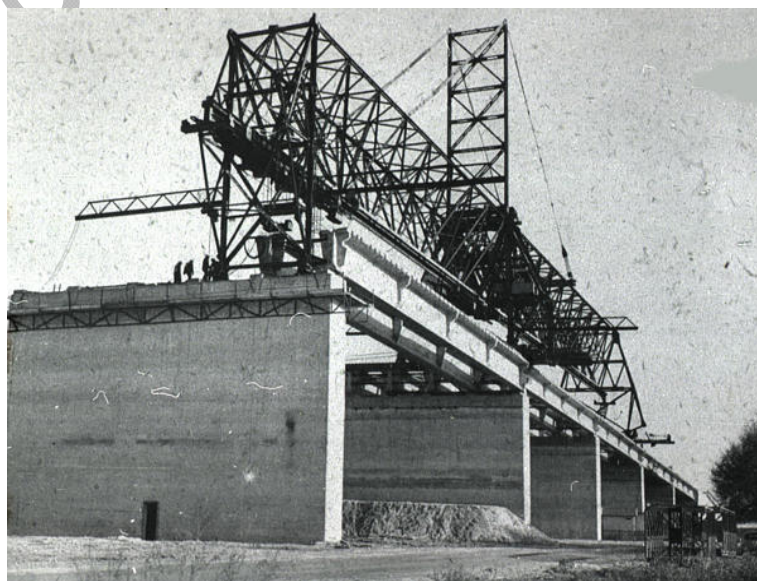
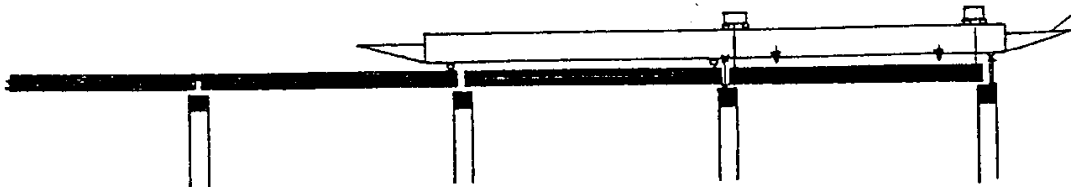
- 2 Avancement des chariots portant la poutre jusqu'à la travée n-1.



- 3 Blocage de la poutre et des chariots sur la travée n-1.
Déblocage et avancement du lanceur (la poutre équilibre le portique). L'avant bec met en place le chevalet sur la pile suivante.



- 4 Blocage du lanceur.
Déblocage et avancement des chariots portant la poutre.
Pose de la poutre sur ses appuis

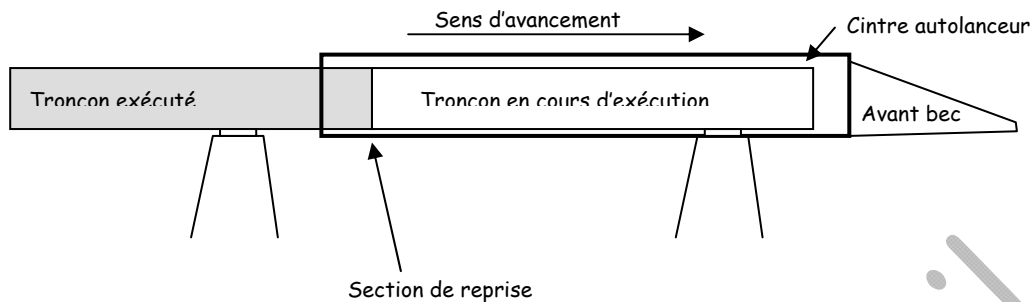


d) Ponts construits par cintre autolanceur.

Le coffrage de toute la travée est porté par une poutre prenant appui sur les piles et sur le tablier déjà construit.

Le déplacement du cintre se fait une fois le mûrissement du béton suffisant.

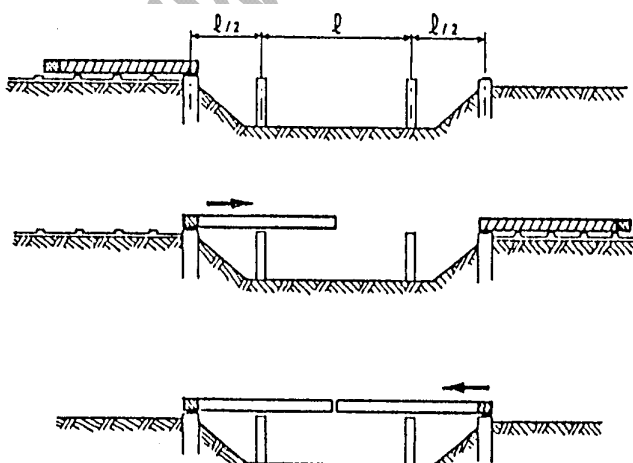
Un avant bec assure l'arrivée du cintre sur la pile suivante.



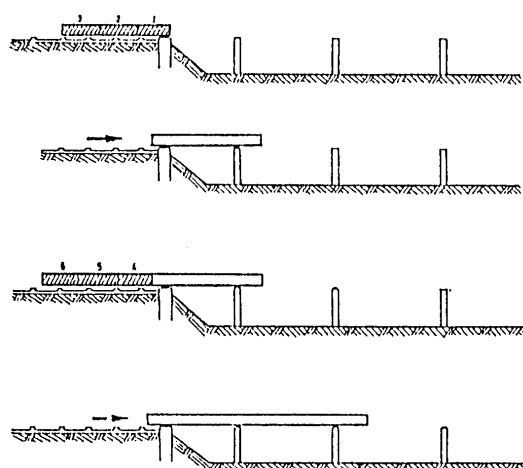
e) Ponts poussés.

Le pont est réalisé et assemblé sur la rive puis mis en place par poussage (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 mesure du poussage) à une ou deux extrémités du pont

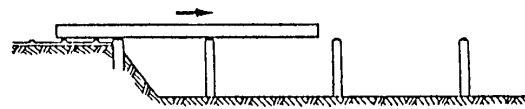


Pont à 3 travées poussé des 2 côtés

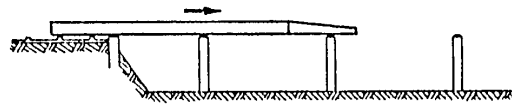


Poussage
d'un
seul
côté

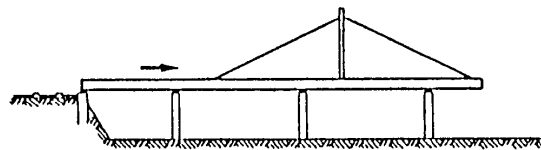
Pour limiter le porte-à-faux, les efforts et les déformations associés on utilise un avant bec, un haubanage ou des appuis provisoires



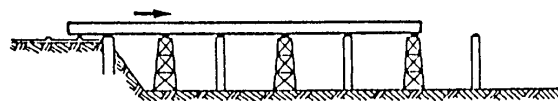
POUSSAGE SIMPLE



POUSSAGE AVEC AVANT-BEC



POUSSAGE AVEC MÂT DE HAUBANAGE



POUSSAGE AVEC APPUIS PROVISOIRES



Avant bec



Vérin de poussage



Appui glissant



Appui roulant



Pont de Millau : haubanage et palées provisoires

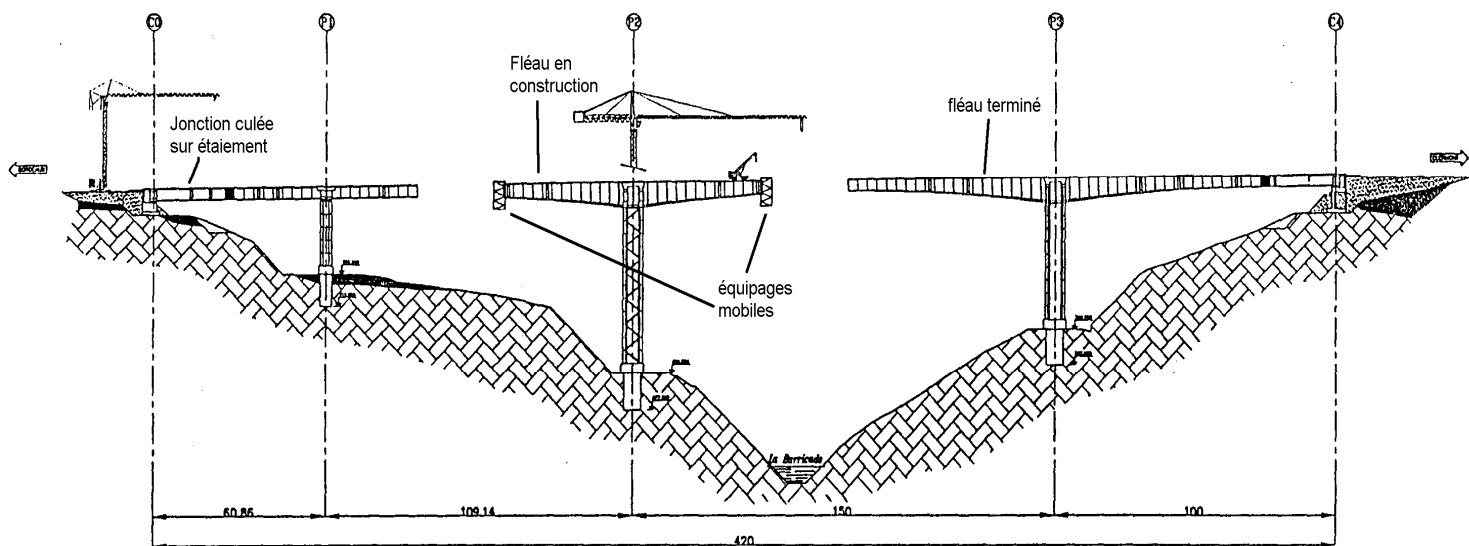
f) Ponts construits en encorbellement.

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 peut 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.

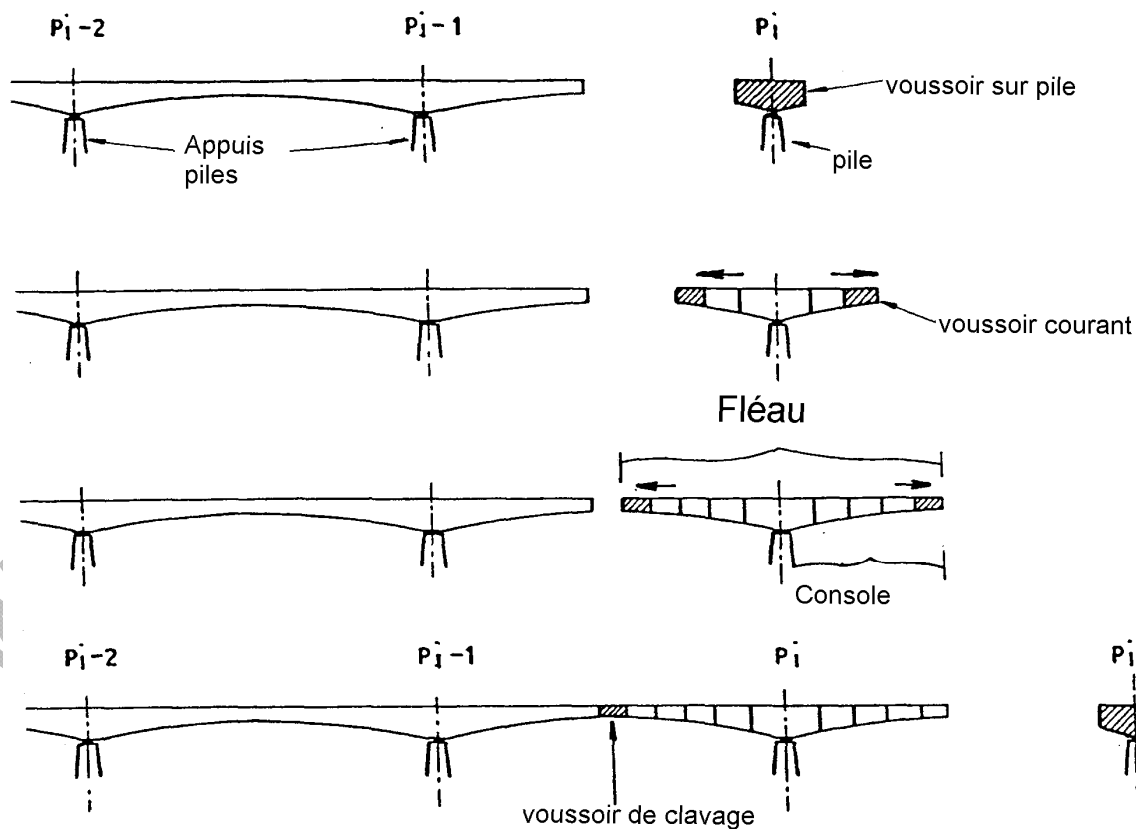
Les voussoirs sont :

- soit bétonnés en place dans un équipement mobile
- soit préfabriqués, mis en place puis solidarisés.



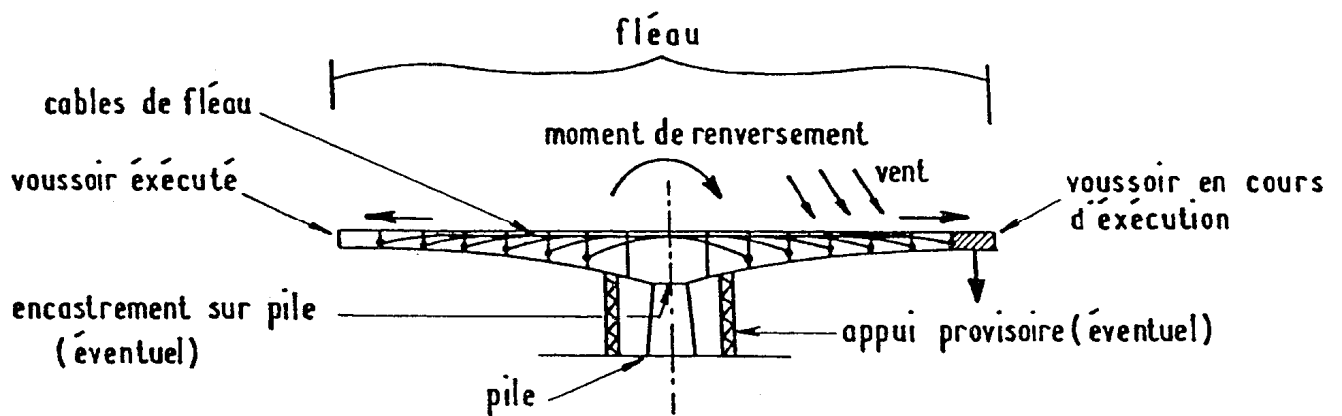
Principe d'avancement :

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



L'avancement symétrique préserve l'équilibre du fléau.

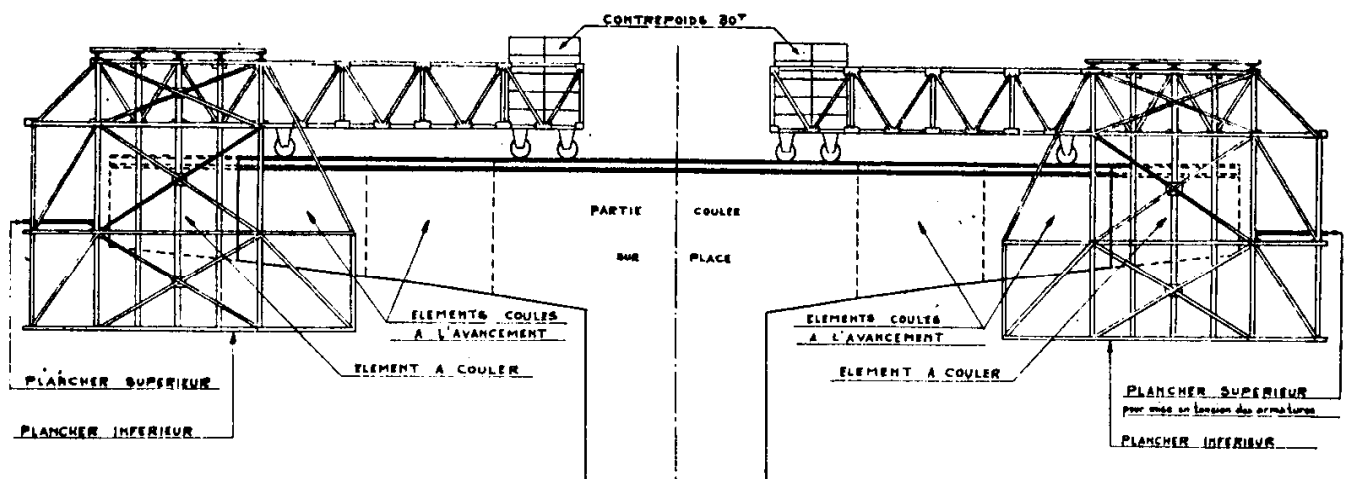
Néanmoins un moment de renversement existe en construction : la rotation est empêchée soit par des appuis provisoires, soit par un encastrement du fléau sur la pile.



La liaison entre les voussoirs se fait par clavetage béton et mise en place de câbles de précontrainte.



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



Exemple d'équipage mobile



g) Ponts sur cours d'eau. Tronçon de tablier amené par barge et hissage.





1- Réalisation des piles dans batardeau.

Dans le cas d'un pont, la meilleure façon d'assécher la surface de travail est de construire un batardeau. Ce batardeau doit être construit de façon à permettre l'aménagement des culées et des fondations du pont. Il est donc possible d'isoler un côté à la fois du cours d'eau.

