



Photo Le Ray.

Pont en bois sur la rivière Mopane - Surinam.

PONTS FORESTIERS EN BOIS⁽¹⁾

(Suite)

par J. ESTÈVE,

*Ingénieur de recherches
au Centre Technique Forestier Tropical.*

SUMMARY

WOODEN FORESTRY BRIDGES

This second article on the subject of wooden forestry bridges deals particularly with the following points :

The various types of foundations, depending on the nature of the soil.

The structural supports, i. e. abutments and intermediate supports, and their construction.

This latter point is especially important, because the length of life of a bridge often depends on how its piers or abutments are built. A forestry bridge rarely becomes unserviceable in respect of its span, but nearly always on account of its abutments.

Practical suggestions facilitating the construction of the various structural elements will be published in our next issue (No. 116, November-December 1967).

(1) La première partie de cette étude a été publiée dans le n° 111, Janvier-Février 1967, p. 33.

RESUMEN

PUENTES FORESTALES DE MADERA

Este segundo artículo, acerca de los « Puentes forestales de madera », examina, en particular :

— los diversos tipos de fundaciones, en función del género de terrenos.

— los soportes de los puentes, es decir, estribos y apoyos intermedios, así como su ejecución.

Este punto presenta suma importancia, ya que la ejecución de un pilar o de un estribo constituye un punto muy importante del cual depende frecuentemente la duración de vida de un puente. Un puente forestal perezce en contados casos por su entramado, pero casi siempre por sus estribos.

Algunas sugerencias prácticas, para facilitar la ejecución de los distintos elementos de los puentes serán publicados en el próximo número (número 116, noviembre-diciembre 1967).

Dans un article déjà paru dans cette Revue, nous avons examiné les 5 premiers points d'une étude sur la mise en œuvre des ponts forestiers en bois.

Ces chapitres concernaient :

— Le choix des essences forestières dont la mise en œuvre est à recommander pour leurs qualités anatomiques, technologiques et de durabilité naturelle.

— La détermination des convois types devant servir à l'étude des surcharges roulantes appliquées aux ouvrages.

— Les critères conditionnant le choix de l'emplacement et des types de ponts.

— La méthode de calcul des poutres de travure réalisées à partir de fûts d'arbres et la présentation des résultats obtenus pour des ponts à une voie de 10 à 17 m de portée.

— Les caractéristiques et les méthodes de calcul des platelages de répartition et d'usure.

Nous nous proposons de poursuivre cette étude en examinant maintenant :

Les divers types de fondations en fonction de la nature des terrains, les supports des ouvrages (culées et appuis intermédiaires) et leur mise en œuvre. Ce point est particulièrement important car de la mise en œuvre d'un support ou d'une culée dépend la durée de vie d'un pont.

— Les suggestions pratiques facilitant la mise en œuvre des divers éléments de l'ouvrage.

Le plan suivi comprend 4 chapitres :

— Les fondations.

— Les supports des ouvrages.

— Suggestions pratiques.

— Conclusion.

LES FONDATIONS

Les fondations constituent la partie de l'ouvrage destinée à reporter sur le sol le poids de cet ouvrage ainsi que les charges qu'il supporte. Les charges transmises aux supports par les travures sont réparties sur le sol par l'intermédiaire des fondations. Les piles et culées (= supports) reposent sur les fondations.

Le problème de la travure d'un ouvrage pour important qu'il soit, se pose souvent en termes simples et peu sujets à de grandes variations. Par contre, le choix et la mise en œuvre des fondations

varient pour chaque ouvrage en fonction du site, du type de pont, du terrain et du trafic. Aussi notre but, dans cette partie de l'étude, n'est-il pas de dicter une formule mais de présenter un certain nombre de solutions parmi lesquelles il faudra choisir en fonction des différents facteurs en présence.

Ce choix est très important, car de mauvaises fondations compromettent la stabilité des culées et par-là même, la stabilité et la vie de l'ensemble de l'ouvrage.

LES SOLS DE FONDATION.

En matière de fondation d'un ouvrage, la première démarche consiste à s'assurer, tout au moins sommairement, des caractéristiques du sol.

Les principales caractéristiques d'un sol de fondation sont :

— la résistance à la compression ;

— la résistance à l'affouillement.

Mise en œuvre d'une culée sur semelle de béton armé - L'armature est en rails et la pierraille du béton est constituée de cailloux de latérite. Au second plan, armature en rails des piliers.

Photo Estève.

Résistance du sol.

Le terrain d'assise ne doit pas céder sous l'action des charges que lui transmet la fondation de l'ouvrage.

Il convient donc de connaître la résistance à la compression c'est-à-dire le taux de travail admissible à la compression, en kg/cm^2 du sol de fondation, afin de fixer la surface minimum à donner à la fondation.

Cette résistance du sol dépend de la nature du terrain.

On appelle terrains *incompressibles* ceux qui peuvent porter des charges très supérieures à celles que leur transmettent les fondations. Ce sont les bancs de rochers, de gravier, de cailloux, d'argile compacte sèche.

En réalité, seules les roches dures sont vraiment incompressibles, aussi on admet qu'un terrain est incompressible si sa résistance multipliée par un coefficient de sécurité, est au moins égale à la plus grande charge transmise par l'ouvrage.

— Les terrains compressibles comprennent les terrains meubles, la terre végétale, les remblais, les sables argileux, les vases compactes.

La résistance de ces terrains peut être appréciée en pratique, par la méthode de la table.

Le procédé employé consiste à mesurer l'enfoncement d'une pièce de bois de 20×20 d'équarissage ou de 25 cm de diamètre, placée verticalement et supportant une plate-forme que l'on charge progressivement.

La plate-forme est guidée aux quatre angles et l'on mesure les enfoncements au niveau à lunettes (fig. 1).

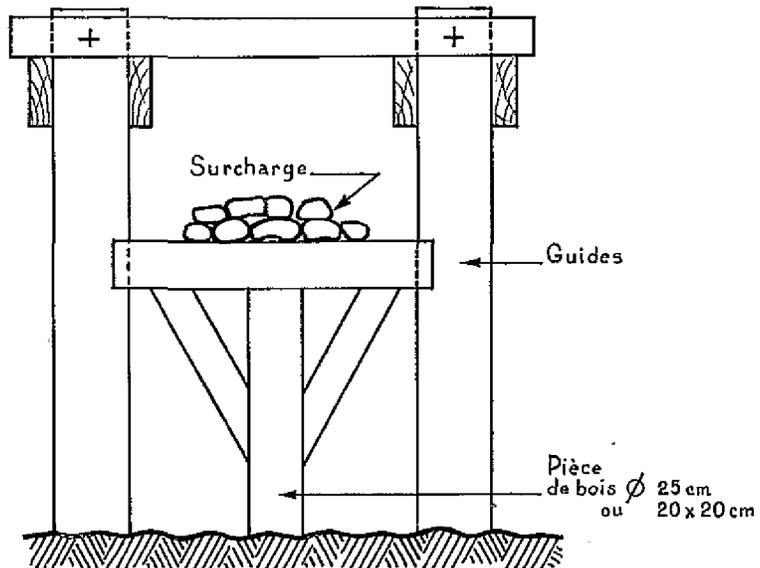


Fig. 1

On arrête l'expérience lorsque l'enfoncement atteint 0,01 m. Le 1/10 du quotient de la charge placée sur la plate-forme par la section de la pièce de bois verticale donne la charge de sécurité du terrain. L'expérience doit être répétée plusieurs

fois en différents points de la fondation future. A défaut d'essais, on peut adopter comme résistances du sol à la compression, les valeurs indicatives données par le tableau 1. (Extrait de « Ponts de circonstance » Ecole d'Application du Génie-1954.)

TABLEAU 1

Nature du terrain	Caractéristiques	Résistance en kg/cm ²
Vases et argiles molles	Sans consistance	< 0,3
Vases et argiles molles	Facilement pétrissables à condition qu'elles ne soient pas sans consistance	0,5
Terre végétale rapportée		1
Terre vierge non humide		2
Sable argileux et aquifère		2
Sable fin et moyen humide	Jusqu'à 1 mm	2 à 3
Argile compacte humide	Difficile à pétrir, mais pouvant se rouler à la main en cylindres de 3 mm de diamètre sans se briser ni s'émietter	3
Sable moyen humide		5
Sable grossier	De 1 à 3 mm	6
Cailloux-graviers		4 à 6
Sol cohérent (glaise, argile marne) à condition qu'il ne puisse être ni noyé, ni desséché	Mi-dur, se brise et s'émiette lorsque l'on essaie de le rouler	5 à 7
Sable humide mêlé de cailloux		6 à 10
Marne-argile ou glaise compacte et sèche	Les mottes se brisent	10
Roche peu fissurée, saine, non désagrégée et de stratification favorable (résistance supérieure à la maçonnerie de fondation)	Disposée en couches régulières de faible résistance	20
	De bonne qualité	35
	Disposée en masse ou colonnes	50 à 100

N. B. — Pour une roche fortement fissurée ou de stratification défavorable, réduire les résistances de moitié.

Inaffouillabilité.

Le terrain d'assise ne doit pas être désagrégé et entraîné par l'action de l'eau : le sol doit être suffisamment inaffouillable. Les roches sont inaffouillables par leur nature même. Les sables et graviers sont inaffouillables lorsque les eaux venant à leur contact, ont perdu leur force vive.

Les affouillements peuvent être provoqués par :

— Un accroissement de la vitesse de l'eau par suite du resserrement du lit de la rivière.

— Un accroissement de la vitesse de l'eau par suite d'obstruction du lit de la rivière par des corps flottants (troncs).

— Un non parallélisme des culées ou des piles et du courant.

La plupart des ouvrages périssent d'ailleurs par affouillement de leurs fondations, ce qui impose de prévoir leur protection contre ce danger.

Les affouillements se produisent généralement en deux endroits :

— *Sous les fondations* : c'est le cas d'un sol perméable constitué par du sable ou du gravier recouvrant un terrain d'assise constitué par du rocher. Il y a nécessité dans ce cas d'étanchéiser le milieu de la fondation par un rideau de palplanches complété par des enrochements amont et aval

(fig. 2). Cette technique assez complexe ne présente que peu d'intérêt pour le forestier.

— *Autour des fondations* : si le terrain est peu ou moyennement affouillable, on complètera la fondation par une parafouille comme montré sur la figure 3, et on placera autour de celle-ci des enrochements. Il faut éviter que ces enrochements reposent eux-mêmes sur un terrain très affouillable, car par les remous qu'ils provoquent, ils favorisent les affouillements autour d'eux. On donne au talus des enrochements une pente de 45°. Le poids des blocs d'enrochement doit être proportionné à la force du courant, c'est-à-dire des blocs d'autant plus gros que le courant est plus fort.

LES REMBLAIS.

Les caractéristiques d'un sol de fondation prennent toute leur importance lorsqu'il s'agit de l'exécution d'un remblai.

Que ce soit pour la construction d'une route ou d'un pont, le rôle du remblai est primordial comme soutien des berges ou comme support des appuis du pont. Il importe donc de veiller particulièrement à sa mise en œuvre.

L'inclinaison d'un remblai s'exprime par la formule :

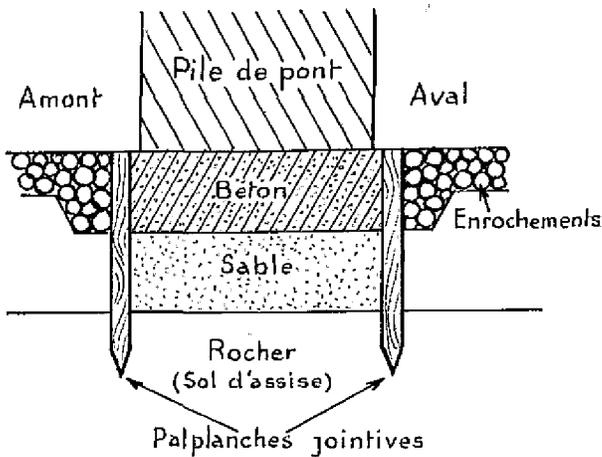
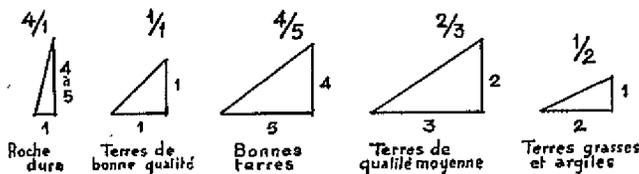


Fig. 2

$$\text{tg } i = \frac{h \text{ hauteur verticale du remblai}}{b \text{ base horizontale}}$$

Cette inclinaison est variable en fonction de la nature du terrain comme l'indiquent les valeurs pratiques du tableau 2.

On peut illustrer ce tableau par les croquis suivants:



TABEAU 2

Inclinaison des talus de déblais

Nature du terrain	Angles de déblais en terrain vierge ou non fraîchement remué				Angles de déblais en terrain fraîchement remué ou rapporté Angle de remblais			
	Terrain				Terrain			
	Sec		Immergé		Sec		Immergé	
	io	tg i	io	tg i	io	tg i	io	tg i
Roche dure	80	5/1	80	5/1	45	1/1	45	1/1
Roche tendre	55	3/2	55	3/2	45	1/1	45	1/1
Débris rocheux-Eboulis-cailloux	45	1/1	40	4/5	45	1/1	40	4/5
Sable argileux	45	1/1	30	1/2	35	2/3	30	1/2
Terre argileuse-Argile Marne	40	4/5	20	1/3	35	2/3	20	1/3
Graviers-gros sable non argileux	35	2/3	30	1/2	35	2/3	30	1/2
Sable fin non argileux	30	1/2	20	1/3	30	1/2	20	1/3

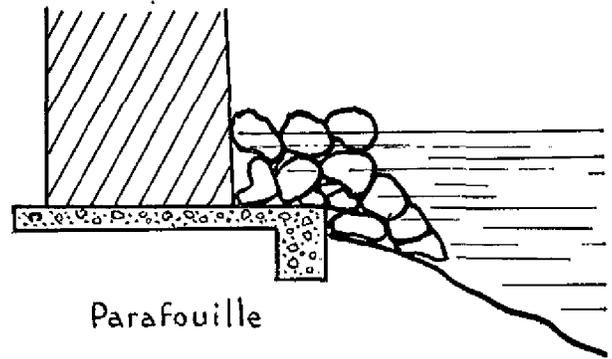


Fig. 3

En règle générale, un remblai exécuté au moyen d'un terrain sans cohésion propre (par exemple : sable) est stable, si son inclinaison est inférieure à l'angle de talus naturel du terrain.

Exécution et tassement des remblais.

Lorsque les remblais sont en terre cohérente, on peut laisser le tassement se faire de lui-même par les intempéries. Il convient seulement de donner à la surface de la plate forme une pente de 2 à 3 % pour rejeter les eaux à l'extérieur.

Ce procédé théoriquement peu recommandable dans une conception purement travaux publics du fait de sa durée et eu égard à la nécessité d'avoir une plate-forme dont la surface soit plane, est celui généralement employé par les forestiers.

Le tassement se fait en pratique par le temps et le roulage des véhicules des transports de terre sur les couches de remblai, suivi du travail d'un rouleau compacteur pour la couche de surface.

L'importance du tassement d'un remblai après exécution dépend beaucoup de la manière dont a été fait le terrassement. Par le choix d'un bon matériel (rouleau à pieds de mouton) on peut rendre

la compacité du remblai plus grande que si on laissait le tassement se faire de lui-même et on évite ainsi que le tassement persiste d'une manière continue. Le tassement mécanique augmente aussi la résistance du remblai au cisaillement.

Pratiquement, les rouleaux compacteurs à pneus employés en exploitation forestière ont une profondeur de travail trop faible pour avoir une influence marquée au-delà d'une dizaine de centimètres. Ils ont pour effet de damer la surface du remblai et de faciliter l'évacuation de l'eau de pluie.

On tient compte du tassement en surélevant les remblais par rapport à leur cote définitive.

TYPES DE FONDATIONS.

Pour la construction des culées et des piles, on utilise deux types de fondations :

— Les fondations directes ou fondations ayant pour but de répartir le poids sur une surface de terrain telle que la pression au sol ne dépasse pas la résistance du sol.

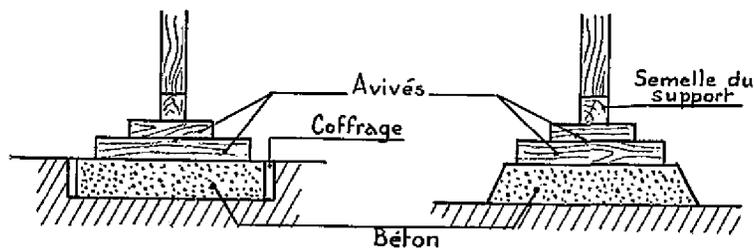
— Les fondations sur pilots qui utilisent la résistance à l'enfoncement de pieux enfoncés dans le sol, et servent en même temps de culées. Cette technique sera traitée au chapitre « Supports des ouvrages » (Voir page 40)

Des fondations directes peuvent être établies dès qu'on se trouve en présence d'un terrain ayant une résistance de 2 kg/cm² sous l'effet des charges statiques.

Les divers types de fondations directes sont :

- les fondations sur lits de bois ;
- les fondations sur lits de laminés ou de rails (pour mémoire) ;
- les fondations sur massifs de maçonnerie ou de béton ;
- Les fondations sur crib.

Les difficultés d'établissement de ces fondations sous l'eau limitent leur emploi aux sites terrestres.



Fondations sur lit de bois

Fig. 4

REMARQUES :

— Dans le cas de remblais établis dans le lit majeur d'une rivière, la base du talus est exposée à l'action de l'eau. On doit alors adoucir la base du talus ou la préserver par des enrochements.

— Les meilleurs remblais sont constitués par les sables, graviers, pierrailles à graviers aigus, contenant peu d'argile.

— Les argiles molles sont à rejeter.

— Dans le cas d'emploi de sable fin, il faut recouvrir rapidement le remblai, après son exécution, au moyen de terre.

— Il faut éviter de remblayer quand il pleut, car on amalgame de l'eau qui compromet la résistance du futur remblai.

Cependant, elles peuvent être employées sans trop de difficultés en eaux mortes et sous faible profondeur. Dans le lit majeur des cours d'eau, elles doivent être soigneusement protégées contre les affouillements en période de crues.

Fondations sur lits de bois (fig. 4).

Elles se composent généralement de madriers ou d'équarris disposés en un ou deux lits et reposant sur une couche de béton d'environ 0,40 m d'épaisseur. Tous les madriers ou équarris sont posés perpendiculairement aux semelles des supports, et s'il y a deux lits, le lit inférieur déborde le lit supérieur.

L'utilisation de faces sciées est nécessaire pour obtenir une bonne surface d'appui.

L'établissement de la fondation comporte d'abord l'enlèvement de la couche superficielle du terrain, en général plus ou moins ameublie et peu résistante. Dès qu'on atteint le terrain solide, on rend sa surface horizontale, on draine soigneusement cette surface et le terrain qui l'avoisine.

On procède ensuite à la mise en place du béton par couches successives de 0,10 m d'épaisseur, légèrement arrosées et damées. Cette couche est retenue par un coffrage et doit déborder de 20 à 25 cm autour des équarris. Elle peut être également laissée à talus coulants. Pour tenir compte du mauvais tassement aux environs du talus, on laisse encore déborder la couche de 20 à 25 cm.

Cette couche de béton sans armature, joue en quelque sorte le rôle de ballast.

On n'établit en général qu'une seule dalle de béton pour un ensemble support + jambes de force + arcs-boutants.

Une fois la couche de béton mise en place et sa surface supérieure bien réglée et bien horizontale, on pose les avivés ou équarris. On les choisira en bois ayant d'excellentes résistances aux attaques de pourriture. Chaque lit doit être posé bien horizontalement au moyen d'un niveau et d'une règle. On place les avivés ou équarris par groupe sous chaque élément de support (montants, jambes de force). Dans certains cas, on rend solidaires les deux lits d'une fondation au moyen de chevilles en bois dur ou de broches.

REMARQUES :

Les forestiers préfèrent en général utiliser des fondations sur de gros équarris de 40 à 50 cm de côté. L'utilisation d'avivés présente en effet l'inconvénient, dans une zone tantôt couverte, tantôt découverte par l'eau, de multiplier les zones d'altération du bois.

Fondations sur lits de rails (pour mémoire).

Les fondations sur lits de bois peuvent être remplacées par des fondations sur lits de rails. Le principe de la fondation est le même. L'armature métallique formée par les rails peut être enrobée dans du béton ce qui solidarise les différents éléments de la fondation.

Fondations sur massifs de maçonnerie ou de béton.

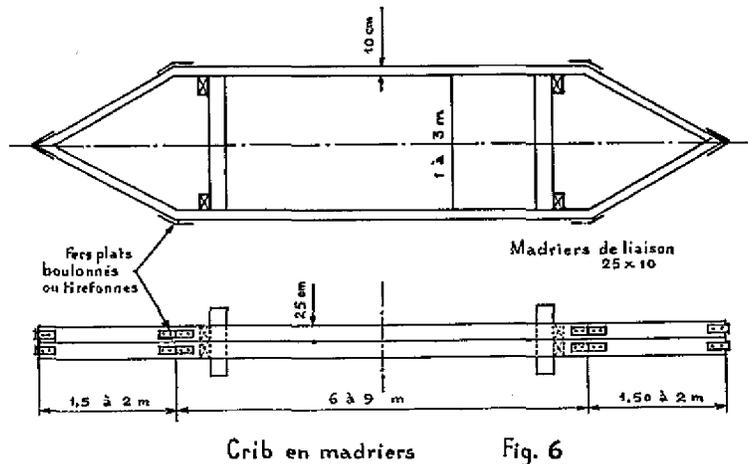
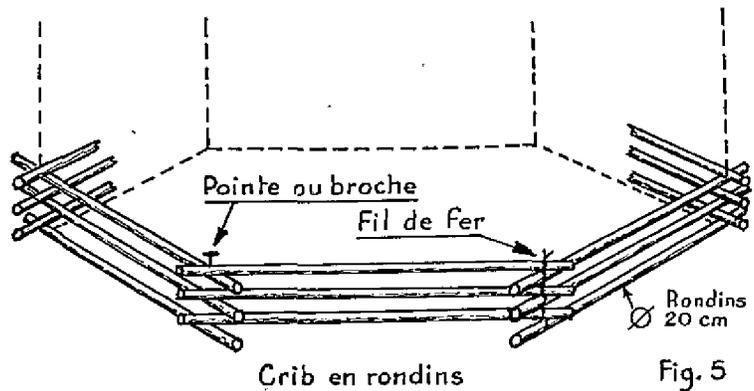
Des massifs de maçonnerie ou de béton peuvent répartir sur le sol des pressions qui leur sont transmises par des supports réalisés en charpente. Ces derniers reposent alors directement sur le massif de fondation.

Ce genre de fondation ne s'emploie que dans le cas d'une surface d'appui assez restreinte, pour le cas, par exemple, de faibles charges ou au contraire de terrains particulièrement résistants en site rocheux. Lorsque la surface d'appui est grande, il faut avoir recours au béton armé, car le béton simple ne supporterait pas les efforts de flexion imposés à la fondation.

Dans le cas de semelles et de poteaux en béton armé, les armatures des semelles doivent être indépendantes de celles des poteaux.

REMARQUE :

La simplicité des coffrages et l'économie de béton sont des facteurs importants pour la mise



en œuvre de ponts forestiers. En présence de fortes surcharges, seule l'économie de béton intervient. Seule la semelle directement en contact avec le sol peut être bétonnée sans coffrage, le reste doit être coffré.

Fondations sur crib.

Le crib est un véritable « container » en bois établi en forme de pile de pont ou de bateau sans fond, rempli de matériaux de blocage qui supporteront les fondations de l'ouvrage.

Il repose sur le fond de lit de la rivière et exige une profondeur d'eau inférieure à 2,50 m en courant faible et à 1 m en courant de 2 m/s.

Ce système de fondation, assez exceptionnel, est employé pour permettre l'emploi d'un chevalet en charpente à la place d'une palée de pilots. Evitant le battage des pilots, il est particulièrement intéressant sur fonds rocheux. Sur fonds meubles, il risque de s'enfoncer sous l'action des charges.

Le crib peut être construit de façon assez rustique à partir de rondins (fig. 5) ou de façon plus élaborée à partir de madriers (fig. 6).

La longueur d'un crib doit être de 6 m pour un pont à simple voie et de 9 à 10 m pour un pont à double voie.

REMARQUES :

Si la hauteur d'eau et le courant ne sont pas trop grands, il peut être avantageux de remplacer

la construction de cribs par la simple mise en place de gabions, c'est-à-dire de caissons en treillage métallique (type Gabions Palvis).

CONDITIONS DE BON ÉTABLISSEMENT DES FONDATIONS.

En conclusion à ce chapitre consacré aux fondations, l'on peut admettre qu'une fondation sera réputée bien établie, lorsqu'elle remplira les conditions suivantes :

— Etre constituée en matériaux suffisamment résistants et assez bien liés entre eux pour former un ensemble qui ne se disloque pas sous les charges.

— Ne pas se tasser, c'est-à-dire ne pas s'enfoncer

dans le sol, ou, du moins ne s'y enfoncer que d'une faible quantité qui soit la même sur toute l'étendue de la fondation.

— Ne pas glisser, c'est-à-dire se déplacer horizontalement.

— Ne pas s'incliner d'un bloc sous l'influence des affouillements ou des infiltrations.

— Ne pas être disloquée par les chocs et les vibrations dus au passage des convois roulants.

LES SUPPORTS DES OUVRAGES

Les supports d'un ouvrage sont de deux types :

— Les culées : organes supportant le tablier du

pont, aux deux extrémités sur les berges.

— Les appuis intermédiaires constitués par les piles.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les culées.

La culée est l'organe qui reporte directement les charges de l'ouvrage sur le sol ou le massif de fondation. Elle nécessite le plus de soin lors de la mise en œuvre de l'ouvrage car c'est sur elle que repose toute la stabilité du futur pont. Suivant la nature du terrain, sa conception peut être différente.

Deux manières d'asseoir les appuis du pont sont généralement possibles : les culées sont, soit descendues au-dessous du fond du lit de la rivière, soit posées en retrait sur la berge.

Dans le premier cas, les difficultés sont grandes et les fondations onéreuses parce que l'argile qui compose souvent le fond du lit est peu résistante, très affouillable, et devient une bouillie argileuse, sans consistance en profondeur. Par contre, le tablier est relativement court, car la distance entre appuis est sensiblement égale à la largeur de la rivière.

Dans le second cas, les culées sont assises un peu en retrait sur les berges, donc le tablier est plus long. Mais les fondations sont peu coûteuses et les culées sont de faible hauteur. Cette dernière solution sera préférable sous réserve que les parois du lit soient protégées contre les affouillements.

Appuis intermédiaires ou piles.

Quel que soit le type de pont dont on envisage la construction, il peut être nécessaire de scinder la portée en faisant reposer chaque travée sur des supports intermédiaires. Ce sera notamment le cas si on ne dispose pas de pièce en bois ayant l'équarrissage suffisant pour permettre le franchissement de la brèche d'une seule portée.

Les supports intermédiaires du pont que constituent les piles sont de même type et exigent les mêmes genres de fondations que les culées.

Les supports intermédiaires peuvent être réalisés soit en site terrestre, soit en site aquatique. Chaque fois qu'il sera possible, on devra les établir en site terrestre pour une plus grande simplicité de mise en œuvre, même s'il est nécessaire pour cela d'allonger la travure.

Rappelons que l'implantation des supports intermédiaires ne s'effectue pas obligatoirement dans l'axe de la dépression, comme on pourrait être tenté de le faire pour obtenir notamment, des travées d'égales longueurs.

Au contraire, dans la plupart des cas, il sera préférable de laisser libre le lit majeur du cours d'eau, soit que, la dépression étant inon-

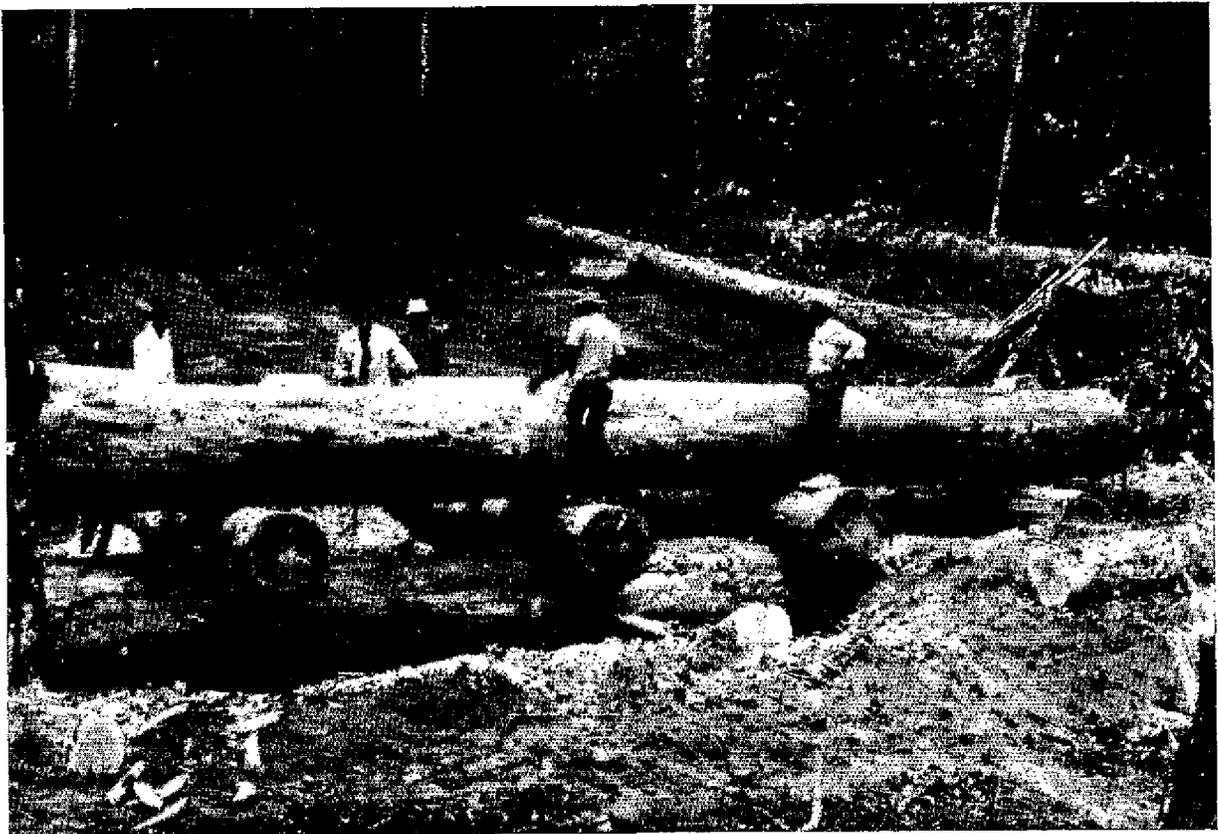


Photo Estève.

Equarissage de la bille supérieure d'une culée.

dable, il faille éviter l'établissement d'un obstacle à l'écoulement de l'eau et au passage des débris divers charriés en temps de crue, soit que la profondeur de la dépression conduite à abandonner la solution d'un support axial en raison de l'importance excessive des travaux que nécessiterait l'établissement d'un semblable support (cf. fig. 8).

Il importe, tout d'abord, après avoir examiné la nature des parois de la dépression et en avoir relevé le profil en travers, de déterminer compte tenu des considérations précédentes, l'emplacement et l'importance des supports intermédiaires.

Les facilités plus ou moins grandes d'exécution et de sécurité des fondations, d'après la nature du

terrain d'assises détermineront le choix d'un type de piles.

Par ailleurs, les calculs des poutres de travure ne sont pas modifiés par la présence d'une pile intermédiaire, car chaque élément de travure reste indépendant et considéré comme une poutre droite sur appuis simples.

Le calcul des supports intermédiaires s'effectue comme le calcul des culées en tenant compte des charges permanentes dues à la moitié du poids des travées supportées et des surcharges mobiles imposées. On recherche la position de ces surcharges mobiles qui donnent la charge maximum sur le support.

Examinons successivement les divers types de culées et de piles.

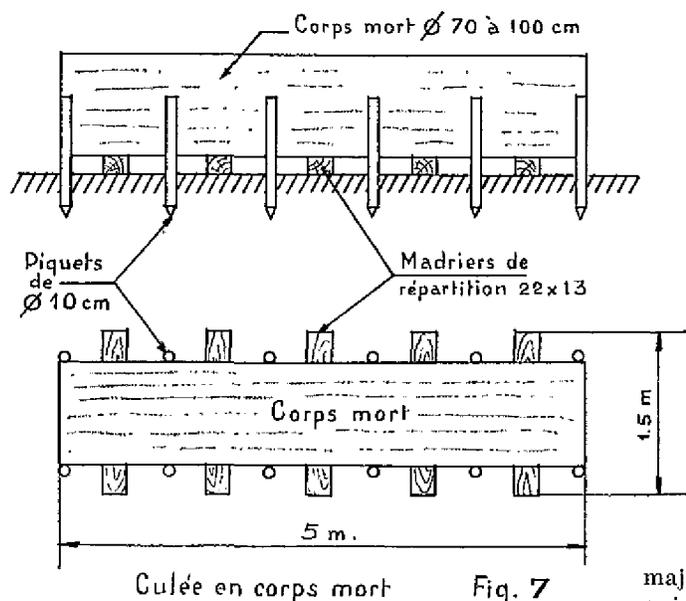
CULÉE EN CORPS MORT.

Le corps mort est constitué par une grume équarrie ou non, de 70 à 100 cm de diamètre, posée à plat sur le terrain solide réglé de niveau.

On l'utilise chaque fois que la rive est suffisam-

ment stable pour que les affaissements ou éboulements ne soient pas à craindre.

Si le terrain est suffisamment résistant, le corps mort peut être posé directement sur le sol. Dans



Culée en corps mort Fig. 7

le cas contraire, on l'établit sur un lit de rondins ou d'avivés dont le but est de répartir l'effort encaissé par le corps mort sur une surface telle que la pression sur le sol soit ramenée à un taux admissible par ce dernier (cf. résistance du sol).

Le corps mort est maintenu en place par des piquets d'environ 10 cm de diamètre, et peut être fixé sur les avivés par brochage (fig. 7).

L'avantage de ce type de culée est sa grande simplicité de mise en œuvre. L'inconvénient

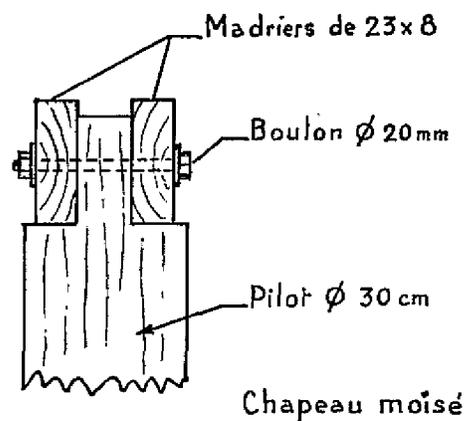


Fig. 8

majeur est son contact direct du bois avec le sol qui favorise les attaques des insectes et des champignons.

Il y aura donc lieu d'employer des essences imputrescibles parfaitement désaubiérées (et ayant reçu si possible un traitement de préservation) surtout pour le lit de répartition.

Il n'y a pas de calcul du corps mort proprement dit. Il suffit de vérifier que le sol résiste aux efforts imposés par le poids du corps mort et la charge totale qu'il supporte, la charge due au poids du véhicule augmentée du poids mort de la moitié de la travée et des platelages.

CULÉES ET PILES SUR PILOTS.

Les pieux ou pilots sont employés dans les cas suivants :

— En site aquatique lorsque le fond n'est pas rocheux et dès que la hauteur d'eau est supérieure à 2,50 m en tout courant et à 1 m en courant 2 m/s.

— En terrains marécageux et en site terrestre, lorsque la résistance du sol est insuffisante pour supporter l'ouvrage par l'intermédiaire d'un autre type de fondation ou de culée (résistance du sol inférieure à 2 kg/cm^2).

Lorsque le terrain d'assise est profondément enfoui sous une couche de terrain compressible, affouillable et hétérogène, les fondations sur pilots constituent un support interposé entre le terrain d'assise et la structure de l'ouvrage.

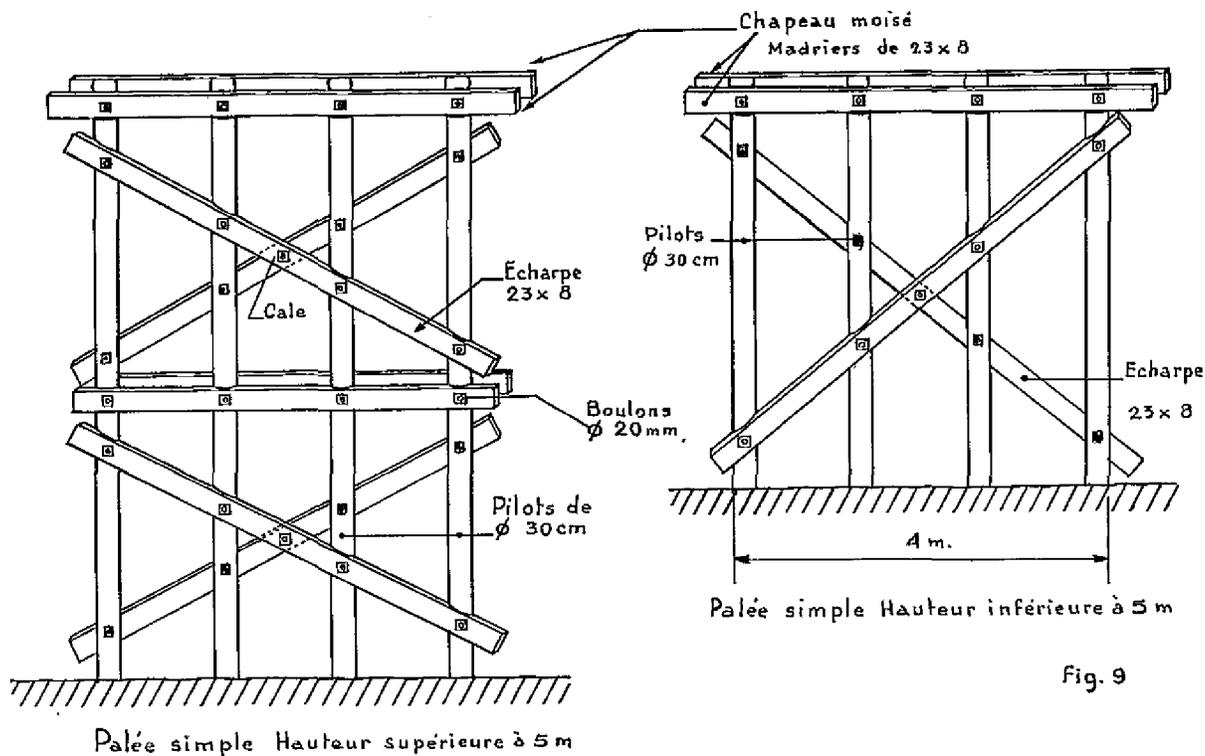
Elles sont par ailleurs employées lorsque les surcharges à transmettre au terrain d'assise sont, soit concentrées, soit réparties irrégulièrement.

Les fondations sur pilots sont les plus solides et peuvent être calculées pour supporter les plus lourdes charges en multipliant le nombre de pilots, par palées, tout en réservant un intervalle minimum

de 40 cm entre pilots consécutifs pour éviter une trop grande compression du sol. Elles peuvent résister aux plus forts courants et aux crues si l'on prend la précaution de les construire avec soin et, si nécessaire, de les protéger contre les affouillements et les corps flottants. Elles n'opposent au courant qu'une faible résistance et ne nécessitent pas d'ancrage. On peut donc les utiliser sur les cours d'eau rapides et torrentueux.

Constitution de la palée de pilots.

La palée est le support élémentaire constitué par une file de pilots perpendiculaire à l'axe du pont. Les pilots d'une même palée sont réunis à la partie supérieure par une pièce spéciale ou *chapeau* sur laquelle prend appui le chevalet ou la travure de l'ouvrage. En général, chaque pilot porte de chaque côté, à sa partie supérieure, une encoche avec épaulement. — Les têtes de pilots sont réunies par deux madriers de 23×8 ou 23×10 moisés, constituant le chapeau. Ils sont appuyés à leur partie inférieure sur les épaulements et fixés sur chaque pilot par un boulon de 20 mm de \varnothing (fig. 8).



Au-delà d'une hauteur de 3 m, les pilots d'une même palée doivent être contreventés transversalement. Si la palée mesure moins de 5 m de hauteur, le contreventement sera réalisé au moyen d'écharpes en croix de St-André.

Ces écharpes sont constituées par des madriers de 23x8 placés à 45° de part et d'autre des pilots et légèrement encastrés dans ces derniers. Ces écharpes sont boulonnées sur chacun des pilots par un boulon de 20 mm de \varnothing . (1).

Pour les hauteurs supérieures à 5 m, on placera deux croix de St-André superposées, séparées par un entrait formé de deux pièces moisées horizontales de 23x8 (fig. 9)

En site aquatique on place au-dessus de l'eau le contreventement normal auquel on ajoute un entrait moisé de 23x8. Si l'emplacement du contreventement se trouve au-

dessous du niveau de l'eau, on peut se contenter lorsque cela est nécessaire de tendre une cinquenne entre la base du pilot amont sur lequel elle est fixée à l'aide d'un collier placé avant le battage et la tête du pilot aval. (fig. 10).

(1) La distance minimum à respecter entre deux boulons consécutifs placés en file ou entre le dernier boulon et l'extrémité d'une pièce est de 6 fois le diamètre de ce boulon.

Gabon - Pont sur la route Banga - Noter la présence d'une murette destinée à protéger la base de la culée contre l'affouillement des eaux.

Photo Le Ray.



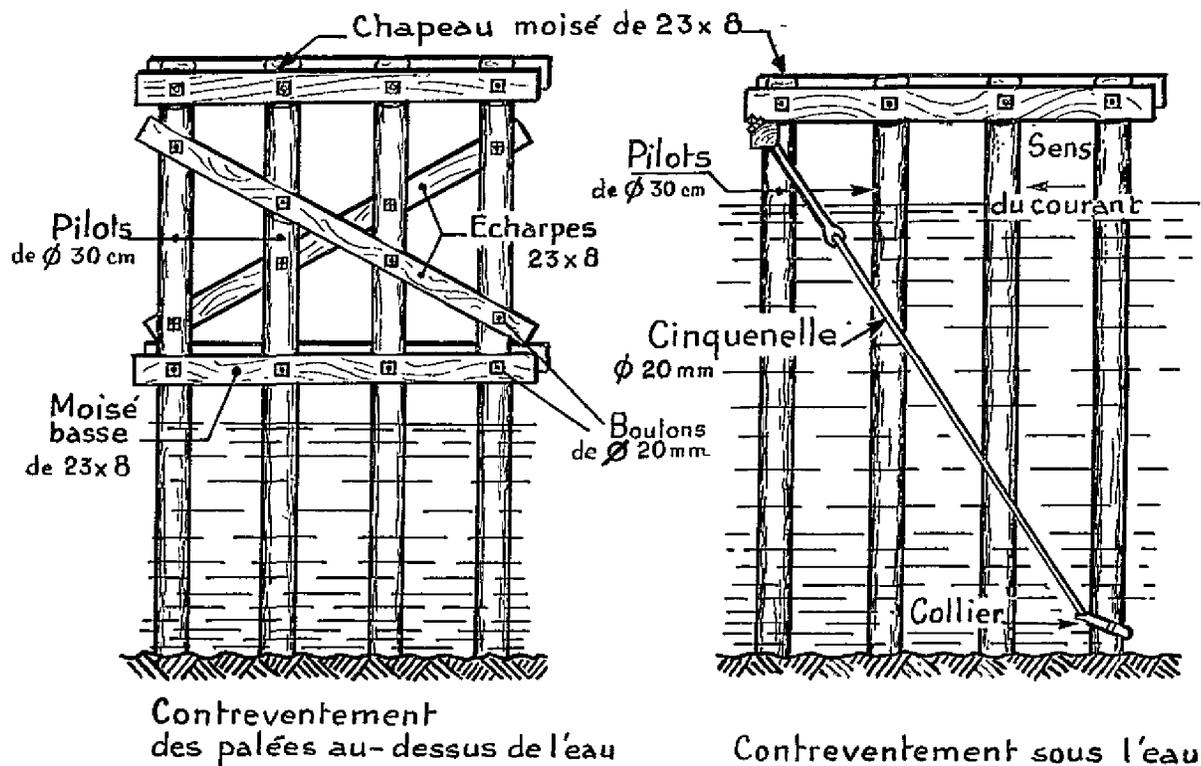


Fig. 10

On peut également contreventer les palées entre elles dans le sens de l'axe du pont mais ce contreventement, d'une efficacité toute relative est à éviter chaque fois qu'il n'est pas absolument nécessaire.

Le plus efficace des contreventements longitudinaux consiste à réaliser des palées multiples formant pile, c'est-à-dire à battre des palées voisines l'une de l'autre. Les palées multiples sont d'ailleurs généralement doubles. Les palées simples sont, alors, reliées par des liens moisés horizontaux placés sous les chapeaux et par des écharpes en croix de St-André de 23×8 . Si la palée a une hauteur supérieure à 5 m, on ajoute des liens à mi-hauteur et on place deux croix de St-André. Chaque ensemble de liens ou d'écharpes est fixé sur deux pilots situés dans un même plan vertical parallèle à l'axe du pont. En cas de nécessité, le contreventement longitudinal peut être renforcé par emploi d'arcs-boutants sur les palées extrêmes de la palée multiple.

On utilise la palée multiple dans les cas suivants :

- Nombre de pilots très important (cas des terrains très compressibles ou cas de pilots de faible diamètre).
- Palée de hauteur supérieure à 7 m.
- Renforcement d'un pont à palées simples.
- Affouillement possible. La palée multiple

constitue un tout, facile à consolider par des enrochements.

NOMBRE ET DISPOSITION DES PILOTS.

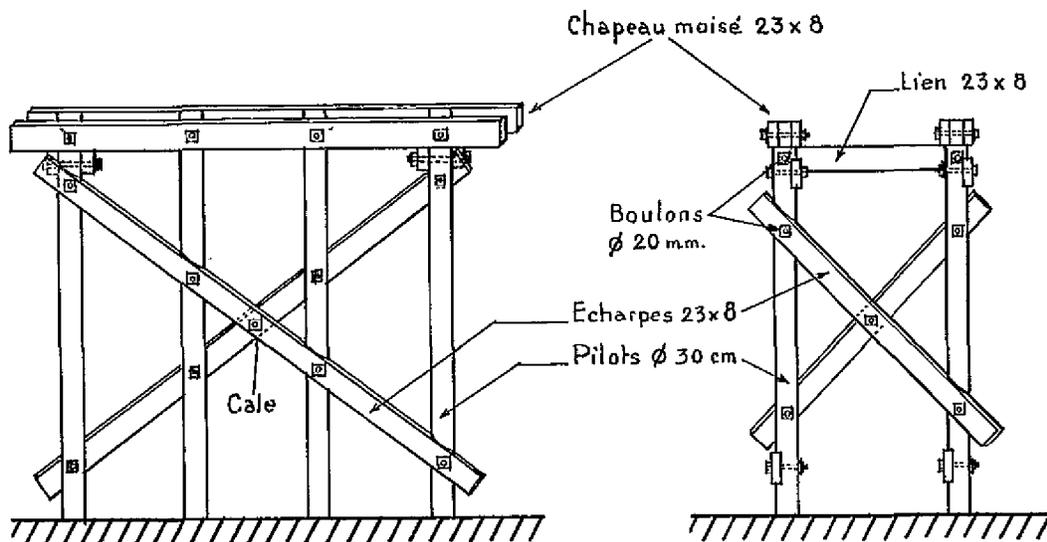
Le nombre de pilots par palée est variable suivant la charge à supporter et la résistance du terrain, mais n'est jamais inférieur à 4.

Dans les glaises molles et les terrains vaseux ou bourbeux de grande épaisseur, les pilots ne résistent à l'enfoncement que par le frottement latéral. Dans ce cas, pour obtenir une résistance suffisante, on augmente le nombre de pilots (voir plus loin).

Un grand nombre de pilots oblige à la réalisation de palées multiples. En effet, l'expérience a montré que la distance entre axes de deux pilots voisins ne doit pas descendre au-dessous d'une certaine limite qui dépend de la nature du terrain et du diamètre des pilots.

Pour les ponts à simple voie, on dispose les pilots extérieurs de façon qu'ils soient à peu près à l'aplomb de la face intérieure des guide-roues fixés sur le platelage du pont. On répartit ensuite les autres pilots en réalisant des intervalles égaux entre eux.

Pour les ponts à double voie, on rapproche les pilots centraux et l'on donne à leur espacement une valeur égale aux $3/4$ des autres espacements. (On conserve des intervalles égaux pour les autres pilots).



Palées multiples. Fig. 11

PROTECTION DES PALÉES.

Les palées résistent très bien au courant et aux crues mais sont très vulnérables aux corps flottants. Il est bon de les protéger par une sorte d'avant-bec, situé à l'avant de la palée, constitué par des pilots battus en forme de triangle isocèle et recouverts de madriers faisant écran. Cette protection évite aux corps flottants de heurter la palée et les dirige vers les espaces libres (fig. 12).

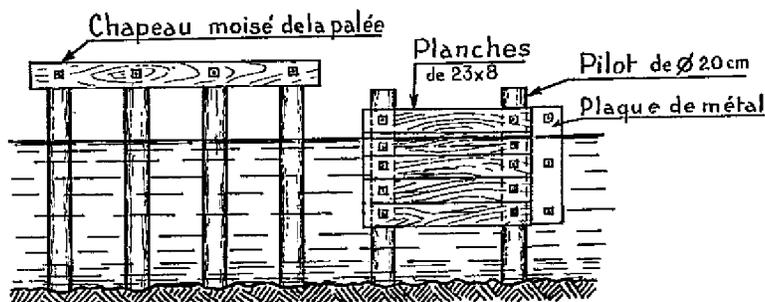


Fig. 12

Calcul des éléments d'une palée.

LES PILOTS.

a) Section des pilots.

La section des montants est calculée par la formule de Rankine dont nous donnons ici une expression simplifiée.

$$F = K \cdot S \cdot R_e$$

dans laquelle :

F est la charge totale, en kilos, que peut supporter le pilot.

K est un coefficient de flambement dépendant de l'élançement du pilot.

L'élançement λ d'un pilot est le rapport entre la longueur du pilot comprise entre le sol et le chapeau et le diamètre du pilot.

Ainsi pour un pilot de longueur 6 m et de diamètre 30 cm, l'élançement sera :

$$\frac{600}{30} = 20$$

Pour un pilot de palée encasté à l'une de ses extrémités, les différentes valeurs du coefficient K

en fonction de l'élançement seront :

Elançement du pilot	Valeurs de K
10	0,44
15	0,26
20	0,16
25	0,11
30	0,08
35	0,06
40	0,05
45	0,04
50	0,03

S est la section du pilot en cm²

R_c est la contrainte admissible du bois en compression de fil sur pièce courte (kg/cm^2).

Différentes valeurs de contrainte en fonction des essences sont données par le tableau 3 :

TABLEAU 3

Contrainte admissible des bois humides en compression axiale sur pièce courte en kg/cm^2

Catégorie	Léger	Mi-lourd	Lourd	Très lourd (1)
Inférieure	25-38	34-47	50-62	62-75
Moyenne	38-50	47-60	62-88	75-100
Supérieure	50-75	60-75	88-100	100-125

Calculons, à titre d'exemple, la force portante d'un pilot de Congotali (*Letestua durissima*) de 30 cm de \varnothing destiné à prendre place dans une palée d'environ 6 m de hauteur. L'élanement de ce pilot est de 20. Le coefficient K est donc égal à 0,16, la section du pilot est égale à πR^2 soit $3,14 \cdot (15)^2 = 706,5 \text{ cm}^2$. Le Congotali est classé dans les bois très lourds. En admettant que l'échantillon employé soit de caractéristiques moyennes, sa contrainte admissible en compression axiale est d'environ 90 kg/cm^2 .

La charge totale que pourra supporter ce pilot est donc :

$$F = K \cdot S \cdot R_c \text{ soit } F = 0,16 \cdot 706,5 \cdot 90, \\ = 10.173 \text{ kg.}$$

Connaissant le poids de la travure de l'ouvrage ainsi que les surcharges roulantes qui s'y appliquent, il est simple de déterminer le nombre de pilots nécessaire à la bonne tenue de la palée.

b) Force portante des pilots.

La force portante d'un pilot ou la surcharge qu'il pourra transmettre au sol est la plus petite des trois quantités suivantes :

- La résistance propre du pilot à la compression.
- La résistance opposée par le sol à l'enfoncement du pilot sous l'action des charges. Celle-ci se compose de deux éléments : la réaction du sol comprimé sous l'extrémité du pilot et l'effort de frottement que le sol exerce sur les parois latérales du pilot.
- La résistance au flambage de la partie libre du pilot.

Deux cas sont à distinguer suivant la nature du terrain :

Cas des terrains incompressibles ou peu compressibles (argile compacte humide, graviers, marne).

(1) Les catégories inférieure, moyenne et supérieure correspondent pour une même essence au choix du bois en fonction de ses caractéristiques mécaniques et de ses défauts (pourriture, contrefil, gerçés...). Les catégories léger, mi-lourd etc... sont fonction du poids du bois à l'état vert.

Le pilot soumis de la part du chapeau à la force $F = \frac{P}{n}$ c'est-à-dire rapport de la charge totale sur la palée au nombre de pilots doit, pour ne pas s'enfoncer, être soumis de la part du sol à une force opposée au moins égale.

Dans les terrains dits incompressibles ou peu compressibles, la réaction du sol sur l'extrémité du pilot est prépondérante, et croît régulièrement à mesure que l'enfoncement du pilot progresse : elle est seule prise en considération pour la détermination de la force portante due à la réaction du sol, le frottement latéral assurant une marge complémentaire de sécurité.

On appellera refus la quantité (longueur) dont un pilot s'enfoncé sous une action de battage bien déterminée. Le refus est lié à la réaction F du sol sur la base du pilot (valeur adoptée, par convention, pour la force portante), par la formule :

$$h = \frac{1}{6} \cdot \frac{P^2 H}{(Q + p) F}$$

où :

- h est le refus sous l'action d'un coup de mouton, en m ;
- P le poids de la masse frappante, en kg ;
- Q le poids total du mouton (masse frappante et bâti) en kg ;
- H la hauteur de chute du mouton, en m ;
- p le poids du pilot, en kg ;
- F la force portante du pilot, en kg ;
- 1/6 Coefficient de sécurité.

On poursuit le battage du pilot jusqu'à ce que son refus devienne inférieur à la valeur calculée par cette formule.

Dans la pratique, le refus se calcule et se mesure pour une volée de coups de mouton (10 par exemple).

Après avoir atteint le refus désiré, il est bon de s'assurer par une ou deux volées supplémentaires qu'il n'est pas dû à une cause fortuite, et continue bien de rester inférieur à la valeur calculée.

Il faut noter que la méthode du refus ne permet pas de connaître à l'avance la fiche, c'est-à-dire la longueur enfoncée dans le sol et donc la longueur requise du pilot. C'est pourquoi il est recommandé de battre quelques pilots d'essai aux emplacements des futures palées pour déterminer la fiche probable des pilots.

Le refus calculé peut conduire à des enfoncements insuffisants. Si des affouillements sont à craindre, il est prudent d'admettre une fiche minimum de 1,50 m à 2 m suivant le terrain.

On peut éventuellement relever jusqu'à 1/3 le coefficient de 1/6 donné par la formule.

Cas des terrains compressibles.

En terrain très compressible (glaises molles, terrains bourbeux), il n'est pratiquement pas possible de parvenir à la force portante précédemment

calculée et la détermination du refus conduirait à la fois à un nombre énorme de pilots et à des fiches inadmissibles.

Néanmoins, le terrain oppose à l'enfoncement des pilots une force due au frottement latéral. Dans ce cas, le nombre et la fiche des pilots sont calculés en se basant sur cette résistance qui est de 500 à 800 kg/m² de surface latérale des pilots.

Si n est le nombre de pilots
 d est le diamètre des pilots en m ;
 f leur fiche en m ;
 Rl la résistance au frottement latéral en kg/m² : 500 à 800 kg/m² on doit avoir :

$$F = n \cdot \pi \cdot d \cdot f \cdot Rl$$

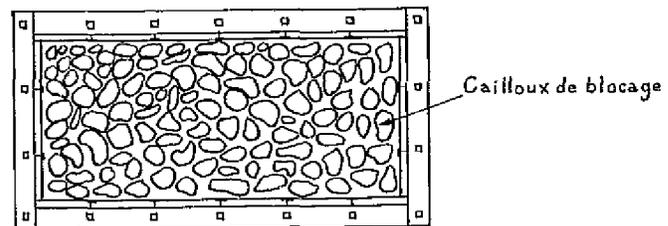
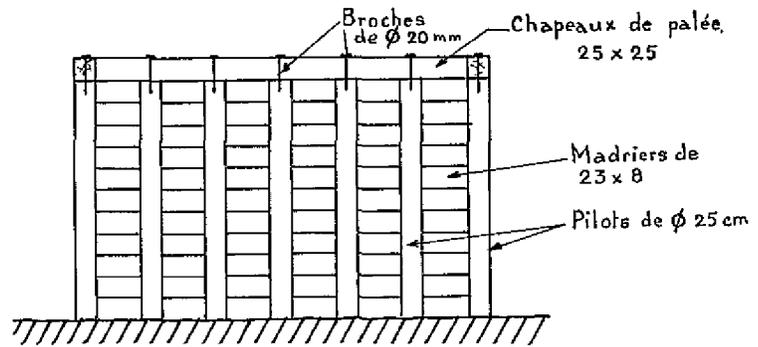
c) Détermination du nombre de pilots.

En terrain incompressible la force portante requise de la part du sol pourra être obtenue avec une fiche raisonnable par la méthode du refus, et c'est la condition de résistance au flambage déterminée par la formule de Rankine qui gouvernera le choix du nombre (et du diamètre) des pilots.

En terrain compressible, connaissant pour les pilots dont on dispose le frottement latéral à attendre de chacun d'eux, on déduit leur nombre nécessaire et il suffit de s'assurer (ce qui sera pratiquement toujours le cas) que la condition de Rankine est satisfaite. Il est à remarquer qu'ici la force portante de la palée est proportionnelle à la somme des diamètres des pilots et non à la somme de leurs sections comme dans le cas de terrains incompressibles. Aussi il y aura avantage à utiliser des pilots de faible diamètre. Ainsi deux pilots de 20 cm, de diamètre assurent, pour un poids de bois mis en œuvre deux fois moindre, la même force portante qu'un pilot de 40.

Cas de fonds vaseux.

Dans certains cas de fonds très vaseux, le frottement latéral du terrain contre le pilot est si faible que le battage d'une palée est insuffisant et que



Fondations sur fonds vaseux Fig. 13

l'on est forcé de recourir à une fondation sur pile enrochée (fig. 13).

Le processus de mise en œuvre d'une telle pile est le suivant :

— On bat des pilots de façon à constituer une enceinte rectangulaire ou en forme de pile. Les pilots sont espacés de 50 à 60 cm et surmontés de bois équarris brochés à plat et formant chapeau.

L'intérieur (côtés et fond) de l'enceinte ainsi constituée est fermée à l'aide de planches ou de madriers fixés sur les pilots.

On remplit ensuite ce caisson de moellons ou de grosses pierres formant blocage.

La partie supérieure est terminée par un plancher posé sur les chapeaux et le blocage.

Une telle pile résiste à l'enfoncement par la surface du fond et par le frottement latéral des pilots.

CULÉES ET PILES EN CHEVALET.

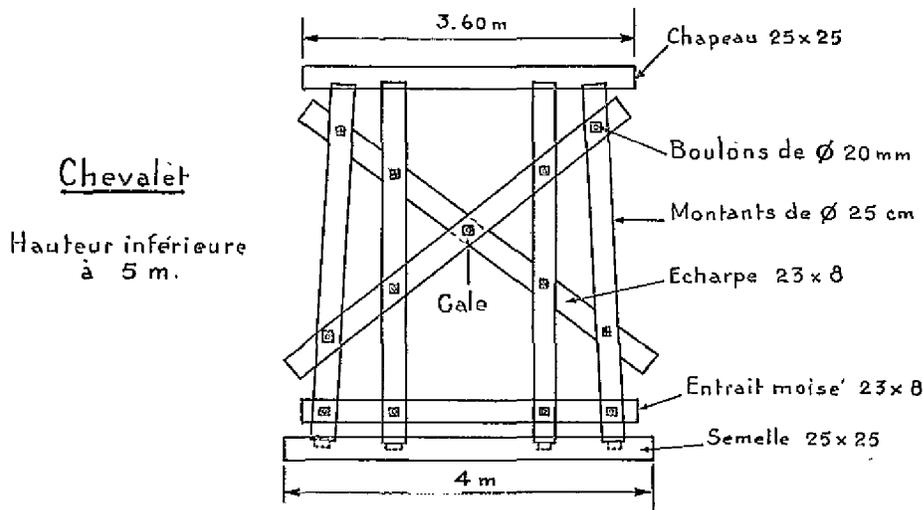
Si l'on ne dispose pas d'une sonnette pour la mise en fiche de pieux ou si la résistance du sol est suffisante, on peut faire reposer des bois comme de simples poteaux sur une semelle continue soit en béton armé soit en madriers reposant au fond d'une fouille sur un lit de béton ou de gravier horizontal fortement damé.

Ce type de culée peut être utilisé sur fondation

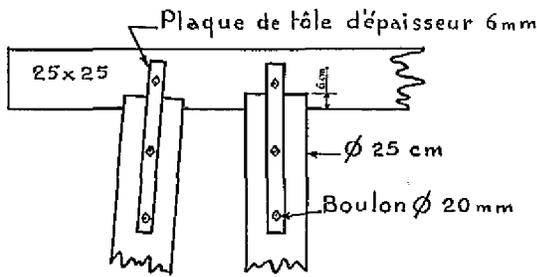
directe, sur crib ou sur palée. Il est souvent préféré des forestiers pour sa plus grande simplicité de mise en œuvre.

a) Description.

Un chevalet est constitué par un certain nombre de pièces verticales, les montants, dont les axes sont situés dans un même plan. Ces montants sont



Détail d'assemblage du chapeau



Détail d'assemblage de la semelle

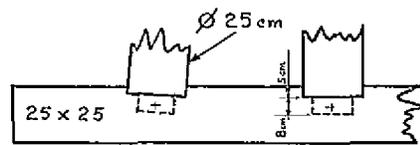


Fig. 14

reliés entre eux à leurs parties inférieure et supérieure par deux pièces horizontales appelées respectivement semelle et chapeau.

Les techniques d'assemblage des éléments du chevalet sont les mêmes que celles des éléments d'une palée de pilots. Le chapeau et la semelle peuvent être composés de pièces moisées fixées sur les pilots ou de pièces massives assemblées par tenon et mortaise.

Les bois entrant dans la construction d'un chevalet sont, soit des bois ronds de 25 à 40 cm de diamètre, soit des équarris de 20 x 20, 25 x 25 ou 30 x 30.

Lorsque sa hauteur dépasse 3 m, un contreventement transversal du chevalet est nécessaire. Le contreventement est assuré par deux pièces moisées généralement de 23 x 8 placées en forme de croix de St-André de part et d'autre des pilots et boulonnées sur ces derniers. (fig. 14)

Si la hauteur est inférieure ou égale à 5 m, on ne place qu'une croix de St-André. Si la hauteur est supérieure à 5 m, on place deux croix de St-André, séparées par une pièce horizontale ou entrait constituée par deux madriers moisés de 23 x 8.

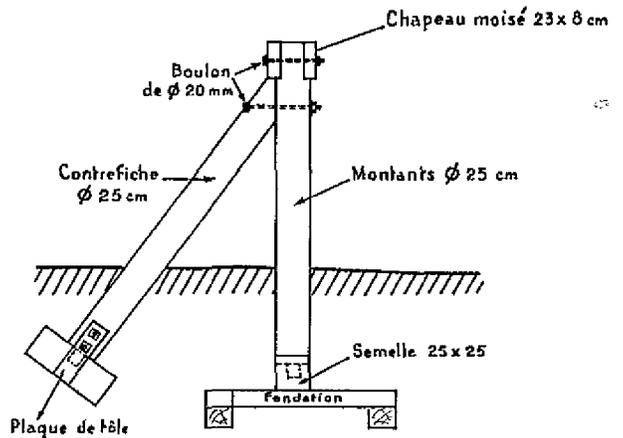
La hauteur maximum d'un chevalet est de 9 m.

Normalement, le chevalet ne comporte pas de contreventement longitudinal. Si les circonstances

le permettent (délais suffisants, matériaux disponibles) ou l'exigent (pont en courbe) on ajoute des contrefiches, même après mise en service du pont (fig. 15).

b) Nombre et disposition des montants.

Le nombre des montants est fonction de leur équarrissage, de la charge à supporter et de la hauteur du chevalet.



Contrefiche Fig. 15



Photo Estève.

Mise en place de billes de culée en corps mort.

Le calcul de la charge totale que peut supporter un montant se fait par la formule de Rankine, nous ne rappellerons donc pas la méthode de calcul puisqu'elle reste la même que pour le calcul des montants d'une palée de pilots (cf « calcul des éléments d'une palée »).

Le tableau 4 extrait de « l'Aide Mémoire des Travaux du Génie » de l'Ecole d'Application du Génie donne empiriquement le nombre de montants nécessaires en fonction du diamètre des montants, de la hauteur du chevalet, de la portée et de la classe de l'ouvrage (Voir pages 50 et 51).

La disposition des montants sous le chapeau est la même que celle des pilots d'une palée. Les axes des montants extrêmes doivent être situés à l'aplomb des guide-roues.

Pour obtenir des supports plus solides sans cependant construire de pile, on peut accoler deux chevalets identiques pour constituer un chevalet double, les montants accolés étant boulonnés entre eux. Le chapeau peut être constitué par les chapeaux des deux chevalets ou bien par un seul bois broché à plat sur les montants.

c) Détermination de la semelle d'un chevalet.

La largeur de la semelle d'un chevalet lorsque celui-ci est établi sur fondation directe, doit être

déterminée de telle sorte que la charge transmise au sol de fondation par centimètre carré ne soit pas supérieure à la charge unitaire que le sol peut supporter.

Il faut donc déterminer au préalable le total des charges qui seront appliquées à la semelle. Pour chaque chevalet, ces charges sont égales au poids (y compris les surcharges roulantes) de la moitié des travées situées de part et d'autre du chevalet, augmenté du poids propre au chevalet.

Ce poids total P divisé par le taux de résistance à la compression du terrain et par la longueur que doit avoir la semelle, donnera la largeur ou empattement à donner à celle-ci.

Si la largeur calculée de la semelle est supérieure à celle des pièces de bois dont on dispose, on constitue cette semelle par autant de madriers juxtaposés qu'il en faut pour obtenir la largeur d'empattement nécessaire. Les poteaux reposent alors sur la semelle par l'intermédiaire d'une pièce transversale qui reporte d'égale façon sur les madriers le poids de l'ouvrage.

— L'épaisseur de la semelle est déterminée en tenant compte des considérations suivantes :

La semelle tend à être rompue par un effort de flexion uniformément réparti dirigé de bas en haut, égal aux charges qui lui sont appliquées. Cet effort

TABLEAU 4

Chevalets

Nombre de montants de ϕ 25 cm

Portée en m .. Classe du pont en fonction de la charge totale	Hauteur..... h \leq 4 m																																
	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0		
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
70 t.....	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	
Hauteur..... 4 m < h \leq 5 m																																	
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
70 t.....	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12	12	12	12	13	13	14	14	15	15	15	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	20	20	
Hauteur..... 5 m < h \leq 6 m																																	
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40 t.....	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
70 t.....	9	10	10	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25	
Hauteur..... 6 m < h \leq 7 m																																	
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40 t.....	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
70 t.....	9	10	10	11	12	12	13	13	14	14	15	15	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25	
Hauteur..... 7 m < h \leq 8 m																																	
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40 t.....	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
70 t.....	11	12	13	13	14	15	16	17	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26	27	27	28	28	29	30	31
Hauteur..... 8 m < h \leq 9 m																																	
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40 t.....	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
70 t.....	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23	24	25	26	27	27	28	28	29	30	31	32	32	33	33	34	34	35	35	36	37	

TABEAU 4 (Suite)

		Chevalets																													
		Nombre de montants de ϕ 30 cm																													
Portée en m ...	Classe du pont en fonction de la charge totale.	Hauteur.....																													
		3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5
		h ≤ 4 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		4 m < h ≤ 5 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		5 m < h ≤ 6 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70 t.....	5	5	5	6	6	6	7	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12
		6 m < h ≤ 7 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70 t.....	5	6	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	12	12	12	13	13	13	14	14
		7 m < h ≤ 8 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
70 t.....	6	7	7	8	8	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	14	14	14	14	14	15
		8 m < h ≤ 9 m																													
9 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
18 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
30 t.....	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40 t.....	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12
70 t.....	7	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	15	15	15	15	16	16	16

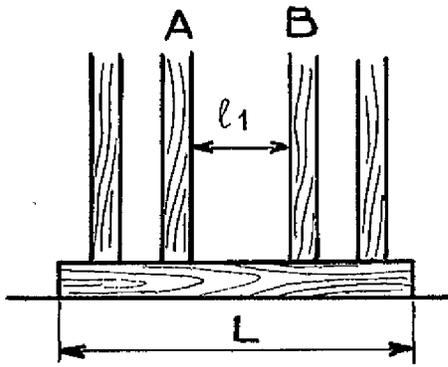


Fig. 16.

représente la réaction aux charges opposée par le sol.

Si le chevalet est composé de plus de deux poteaux, ce qui est toujours le cas, la semelle ne sera déterminée que pour le plus grand intervalle AB (fig. 16). Si L est la longueur de la semelle en cm, et l_1 la longueur de l'intervalle AB en cm, la semelle sera soumise, dans cet intervalle à un effort P_1 en kg égal à :

$$\frac{P_1 l_1}{L}$$

Le moment fléchissant M (Kg/cm) sur la portée AB sera :

$$M = \frac{P_1 l_1}{8}$$

soit

$$M = \frac{P_1 l_1}{L} \times \frac{l_1}{8} = \frac{P_1 l_1^2}{8 L}$$

et la section de la semelle devra être telle que :

$$bh^2 \geq \frac{M}{10}$$

soit

$$bh^2 \geq \frac{P_1 l_1^2}{80 L}$$

Comme la largeur b en cm a été déterminée en fonction de la résistance du sol, la hauteur h en cm, à donner à la semelle s'exprime :

$$h \geq \sqrt{\frac{P_1 l_1^2}{80 b l}}$$

Si la hauteur trouvée est trop élevée, on pourra réduire en augmentant la largeur b de la semelle. Il n'y a là aucun inconvénient, bien au contraire, puisque l'augmentation de la largeur a pour conséquence de réduire la charge unitaire du sol.

Les semelles peuvent être aussi réalisées à l'aide de rondins. On admettra que le diamètre des rondins doit être égal à la largeur qu'il faudrait donner à une semelle en madriers. Ceci équivaut à considérer que la charge de l'ouvrage est répartie sur le sol sur une largeur égale au diamètre du rondin.

Si on ne dispose pas d'un rondin ayant le diamètre nécessaire on juxtaposera deux ou plusieurs rondins, les poteaux s'y appuieront uniformément par l'intermédiaire d'un rondin de répartition.

CULÉES ET PILES EN MAÇONNERIE ET BÉTON.

Culées.

Quoique le forestier préfère utiliser chaque fois qu'il lui est possible la culée en corps mort pour des raisons de simplicité de mise en œuvre, il peut être amené si l'ouvrage est important à exécuter une véritable culée en maçonnerie ou en béton. Ces culées correspondent souvent à un mur de soutènement et le problème principal est d'assurer leur stabilité à la poussée des terres.

De façon à obtenir un coefficient de renversement minimum l'empaltement des culées à la base doit répondre à la condition suivante : la résultante de la poussée des terres et de la charge due au pont majorée du poids de la culée doit passer dans le tiers central de la base AB, étant entendu que la pression sur le sol répartie sur toute la surface de la fondation n'est pas supérieure à la charge que le terrain peut supporter (fig. 17).

- P = Résultante du poids du mur, du poids du remblai reposant sur le radier et du poids du pont.
- Q = Poussée des terres.
- R = Résultante de P et Q.

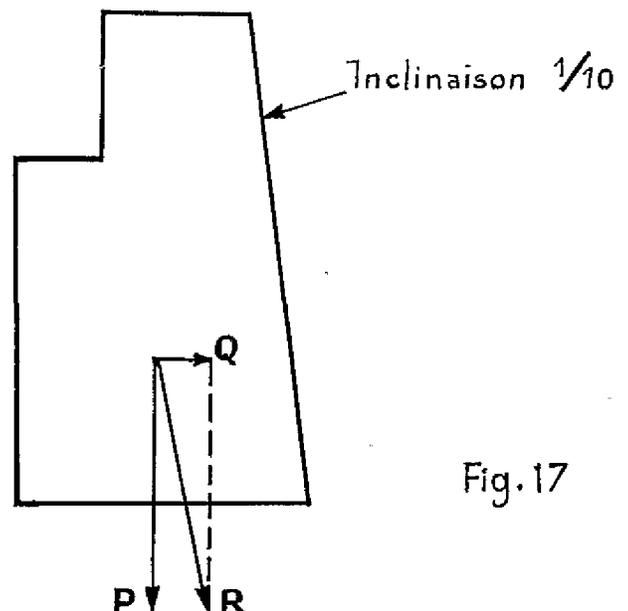


Fig. 17

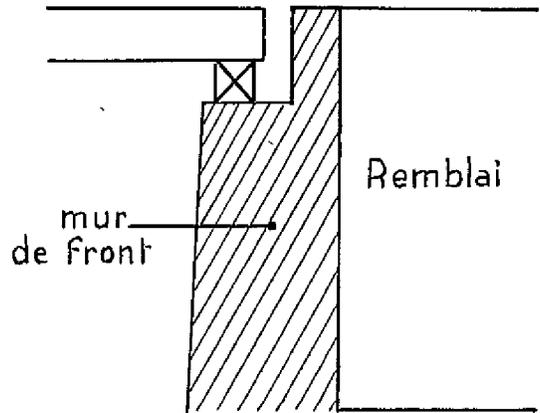
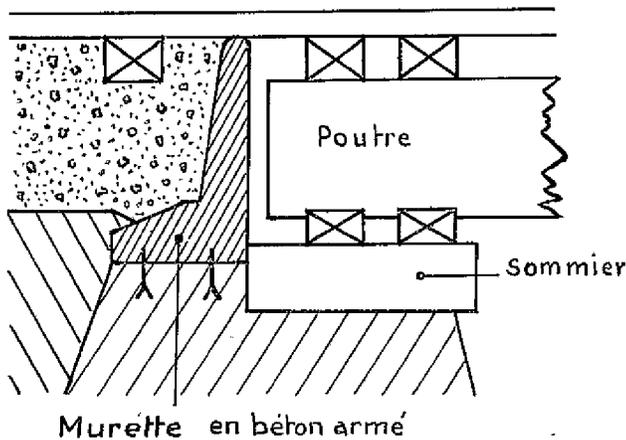


Fig. 18

On peut améliorer cette stabilité par la construction d'un profil à redans, c'est-à-dire en exécutant une série de décrochements successifs dans le mur de culée. Le remblai reposant sur les redans contribuera par son propre poids à la stabilité de la culée.

L'autre mur verra sa stabilité augmenter en lui donnant une inclinaison de 1/10 par exemple.

L'épaisseur de la culée au sommet ne doit jamais être inférieure à 0,50 m. A la base, l'épaisseur pourra être empiriquement déterminée par la formule

$$e_m = 0,5 \text{ m} + 0,35 H_m$$

H étant la hauteur de la culée.

Les schémas 18 montrent la disposition possible d'une culée de pont droit.

Piles en maçonnerie ou béton.

Sur une semelle continue en maçonnerie ou en béton armé, on peut élever un massif de maçonnerie ou béton sur lequel viendront se reposer les travées du pont. Ces piles peuvent être continues ou réduites à des piliers placés à l'aplomb des poutres du pont si l'écartement de celles-ci est trop important pour justifier la construction d'une pile pleine (fig. 19).

Lorsqu'une pile est susceptible d'être baignée par les eaux en temps de crue, on donne à ses extrémités amont et aval, une forme arrondie ou en tiers-point afin de faciliter l'écoulement des filets liquides sous le pont et d'éviter la formation de remous qui sont une cause d'affouillement des fondations. L'épaisseur des piles doit être réduite au strict minimum compatible avec une bonne stabilité pour éviter qu'elles ne constituent un obstacle trop important à l'écoulement.

La stabilité des piles, de même que celle des culées, est améliorée lorsqu'on donne un « fruit » c'est-à-dire une inclinaison sur la verticale, à leurs parements.

La mise en œuvre des culées ou piles en béton

doit être soignée de façon à obtenir la résistance maximum du mélange.

Le dosage d'un béton de résistance moyenne est de 300-350 kg de ciment pour 400 l de sable et 800 l de pierrailles donnant environ 1 m³ de béton. En pratique, le mélange d'un sac de ciment à 3 brouettes de sable assure un bon dosage.

Le mélange ciment-sable doit se faire sur une aire propre et bien dégagée. Lorsque le mélange est homogène, l'eau est versée progressivement sur le tas que l'on brasse jusqu'à obtenir une masse uniformément mouillée dans toutes ses parties. L'absence fréquente de matériel de damage sur les chantiers impose la fabrication d'un béton très plastique. 11 % d'eau assurent un béton fluide pouvant être coulé sans pilonnage.

La compacité d'un béton influe également sur sa résistance. Il y a donc lieu d'employer la pierre la plus grosse possible autant que le permettent les dimensions de l'ouvrage.

Pour du béton armé, le diamètre des plus gros éléments doit être égal à la moitié de la distance qui sépare deux barres d'armature voisines.

Il est nécessaire de mouiller les pierrailles avant de les incorporer au mélange de façon à faciliter l'accrochage de ce dernier sur les aspérités.

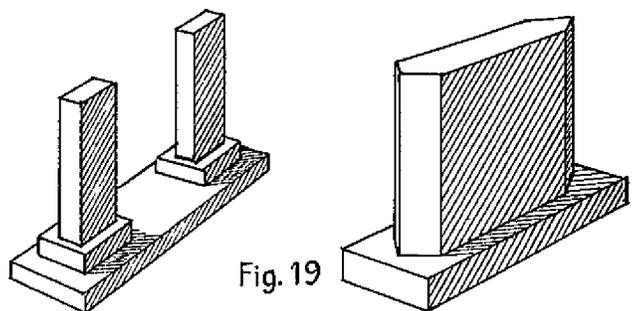


Fig. 19

Piliers en maçonnerie

Après gachage, le béton est introduit dans les coffrages épousant la forme intérieure des éléments à construire. On ne doit préparer à la fois que la quantité de béton susceptible d'être immédiatement mise en œuvre, le regachage d'un béton ne devant jamais être pratiqué.

Les coffrages sont appelés à supporter des poids élevés, afin d'éviter toute déformation, ils doivent être solidement construits et bien étayés.

Il est préférable d'utiliser des planches de coffrage étroites afin de limiter leur déformation sous l'action de l'humidité. Ceci augmente évidemment le nombre de joints, mais l'obturation de ceux-ci est généralement facile à réaliser.

Une température trop élevée et l'exposition au

soleil activent la dessiccation et accélèrent la durée de la prise au détriment de la résistance des ouvrages. Il est donc conseillé d'humidifier les ouvrages pendant la durée de prise du béton. Une méthode pratique consiste à les recouvrir de sacs que l'on arrose pour les maintenir humides.

La durée de prise du béton est très variable en fonction de la qualité du ciment employé, de la proportion d'eau de gachage, de la température... aussi est-il difficile d'indiquer un délai de décoffrage.

On peut cependant admettre :

4 jours pour des poteaux non chargés,
12 jours pour des dalles de portée inférieure à 2 m,
21 jours pour des fonds de poutres ou des grandes dalles.

*La fin de cet article sera publiée
dans le numéro 116, novembre-décembre*

Armature de rails pour la construction d'une pile en béton.

Photo Estève.

