

Photo Chaffaux.

Pont sur la Nzéné, aux environs de Libreville.

PONTS FORESTIERS EN BOIS

par J. ESTEVE,

*Ingénieur de Recherches
au Centre Technique Forestier Tropical.*

RESUMEN

PUNTES FORESTALES DE MADERA

Son tres los factores que contribuyen a incrementar la importancia de una adecuada realización de los puentes forestales en las carreteras de explotación :

— el aumento continuo del Peso Total Rodante, desde 15 toneladas para los GMC, hasta 40 50 toneladas para algunos vehículos actuales,

— el aumento de la velocidad de circulación, debido a la mejora de las técnicas viales,

— la progresión de las explotaciones en las zonas más quebradas y desiguales.

Los puentes forestales deben corresponder a los siguientes imperativos :

— realización rápida,

— construcción posible por parte de empresas no especializadas,

— utilización máxima de la madera, en forma de rollos, maderas es cuadradas o piezas serradas,

— duración correspondiente a un plazo de utilización de 10 a 20 años, con toda seguridad.

En este primer artículo, se examinan sucesivamente cinco puntos, a saber :

— la selección de las especies forestales a recomendar por sus cualidades anatómicas, tecnológicas y de duración natural,

— la determinación de los cuatro convoyes tipo que han de servir para el estudio de las cargas rodantes aplicadas a los

puentes,

— los diversos criterios que condicionan la ubicación y el tipo de puente,

— el método general de cálculo del diámetro de las vigas de estructura y los resultados obtenidos para puentes de una vía, con 10 a 17 metros de luz,

— las características y el método de cálculo de los entablados de distribución y de desgaste de los puentes.

TIMBER BRIDGES IN FORESTRY WORKINGS

Three factors contribute to the importance of proper building of bridges on roads through forestry workings :
 — Continuous increase of the total weight borne, from 15 tons for GMC's up to 40 or 50 tons for some machines now in use.
 — Increase in speed of vehicles, resulting from improvement in roadbuilding techniques.
 — Penetration of workings into more tortuous zones.

Forest bridges must meet the following requirements :

- They must be quickly built.
- A non-specialized contractor must be able to build them.
- Maximum use must be made of wood in the form of billets, scantlings or sawn timber.
- They must be depended upon to withstand 10 to 20 years of use.

In this first article, five points are successively examined :

- The choice of timber species recommended for their anatomical and technological qualities and their natural durability.
- The determination of the four typical convoys to be used for the study of loads applied to the structures.
- Various criteria affecting the siting and type of bridge.
- General method of calculating the diameter of the cross-beams and results obtained for single-lane bridges with a span of 10 to 17 metres.
- Characteristics and method of calculation of the planking and wear of the structures.

L'exploitation forestière est pour une très grande part un problème de transports : transport du pied de l'arbre à une route, transport sur cette route, transport par eau ou par rail. La route a pris au cours des années passées une part croissante dans les soucis des exploitants, du fait de l'augmentation des distances de roulage et parce que les voies doivent supporter un trafic de plus en plus lourd pendant le plus grand nombre de jours possible par an.

Nous nous proposons ici de parler du type d'ouvrage qui préoccupe toujours le constructeur de routes en raison des soins que nécessite sa réalisation. A mesure que le réseau routier forestier se perfectionne, la nécessité apparaît, en effet, de construire des ponts mettant en œuvre une technique plus élaborée.

Plusieurs facteurs agissent dans ce sens :

- augmentation continue du poids total roulant qui a évolué de 15 t pour les véhicules du type G. M. C. provenant des surplus militaires à plus de 50 t pour les grumiers actuels les plus lourds ;
- accès des exploitations à des zones de topographie tourmentée ;
- équipement des chantiers qui permet le franchissement de rivières plus larges.

Les ponts forestiers que nous décrivons ici sont construits en bois pour leur plus grande partie, au moyen des matériaux trouvés en forêt. Leur conception n'a pas seulement été envisagée sous l'angle travaux de Génie civil, mais aussi en tenant compte des conditions particulières qui s'imposent à l'exploitant forestier en zone tropicale, c'est-à-dire :

- nécessité d'une réalisation rapide par le chantier forestier lui-même ;
- utilisation maximum du bois sous forme de troncs, d'équarris, de sciages ;
- durée optimum en toute sécurité : 10 à 20 ans.

L'étude qu'on va lire comporte les points suivants :

- 1° Essences forestières à recommander.
- 2° Convois-types.
- 3° Choix de l'emplacement et du type de pont.
- 4° Poutres de travure.
- 5° Platelages de répartition et d'usure.
- 6° Fondations et culées.
- 7° Piles intermédiaires.
- 8° Suggestions pratiques.
- 9° Conclusion.

Nous ne parlerons ici que des paragraphes 1 à 5, réservant les 4 derniers pour un numéro ultérieur de cette revue.

**CHOIX DES ESSENCES FORESTIÈRES A RECOMMANDER
 POUR LA CONSTRUCTION DES PONTS FORESTIERS**

La première question qui se pose lors de la construction de ponts en bois est : avec quelle essence le faire ? Cette question se pose pour les poutres, les platelages, comme pour les piles et culées.

Faut-il rappeler que toutes les essences ne sauraient convenir ? Seules quelques-unes peuvent être utilisées en toute sécurité pour la construction des ouvrages, soit en raison de leur durabilité naturelle, soit en raison de leurs caractéristiques mécaniques.

Les bois à recommander doivent présenter des

caractères anatomiques, technologiques et de durabilité naturelle suffisants. Cela permet de les classer de deux façons :

a) en prenant en considération les critères anatomiques et de durabilité naturelle. Deux listes ont été établies dans ce sens :

— Liste 1 : espèces présentant les meilleures caractéristiques pour la mise en œuvre dans des ponts.

LISTE 1

Espèces présentant les meilleures caractéristiques pour la mise en œuvre dans des ponts.

Nom commercial	Nom Scientifique	Pays où ces espèces existent (1)
Adoum	<i>Cylicodiscus gabonensis</i>	Cam. Ga. R. C. A.
Azobé	<i>Lophira alata</i>	Cam. Ga. Co. C. I.
Bilinga	<i>Nauclea trillesii</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Congotali	<i>Letestua durissima</i>	Co. Ga.
Douka Makoré	<i>Tieghemeia sp. p.</i>	C. I. Cam. Ga. Co.
Doussié	<i>Azelia sp. p.</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Eyoum	<i>Diatium sp.</i>	Cam. Ga. Co.
Mubala ou Ovata	<i>Pentaclethra macrophylla</i>	C. I. Co. Ga.
Mukulungu	<i>Autranelia congolensis</i>	Cam. Co. Ga. R. C. A.
Oboto	<i>Mammea africana</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Padouk	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Cam. Ga. Co. R. C. A.
Tali	<i>Erythrophleum guineense</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.

LISTE 2

Espèces venant au second rang, du point de vue des caractéristiques convenant pour la mise en œuvre dans des ponts.

Abalé	<i>Combretodendron africanum</i>	C. I. Ga. Cam. Co. R. C. A.
Abeum	<i>Gilbertiodendron sp. p.</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Aboga	<i>Manilkara foulloyana</i>	Ga. Cam. R. C. A.
Adzacon	<i>Lecontodoxa heitzana</i>	Ga.
Apomé	<i>Cynometra ananla</i>	C. I.
Bubinga	<i>Guibourlia lessmannii</i>	Cam. Ga. Co. R. C. A.
Evino	<i>Vitex pachyphyllum</i>	Cam. Ga. Co.
Iroko	<i>Chlorophora excelsa</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Izombé	<i>Testulea gabonensis</i>	Cam. Ga.
Kotlibé	<i>Nesogordonia sp. p.</i>	C. I. Cam. Ga. Co. R. C. A.
Mtama	<i>Calpocalyx heitzii</i>	Ga.
Moabi	<i>Baillonella tovisperma</i>	Cam. Ga. Co.
Ozouga	<i>Sacoglottis gabonensis</i>	C. I. Cam. Ga. Co.

(1) Cam = Cameroun ; C. I. = Côte d'Ivoire ; Ga. = Gabon ; Co = Congo Brazza ; R. C. A. = République Centrafricaine

Cascades sur la rivière Adoughe — Gabon.

Photo J. Estève.



— Liste 2 : espèces qui peuvent suppléer à la rareté ou à l'absence dans une région donnée des espèces de la liste 1, c'est-à-dire des essences les plus appropriées.

Toutes ces essences seront utilisées sans traitement de préservation.

b) Si on considère les caractéristiques mécaniques qui interviendront dans les calculs, le classement des essences diffère légèrement : le tableau 1 donne pour une série d'essais effectués au C. T. F. T., le module d'élasticité apparent et la résistance moyenne en flexion statique à 12 % d'humidité, des différentes essences. Ces résultats, donnés à titre indicatif, ne sont valables que pour les essais concernés, car les résistances des bois sont très variables pour une même essence suivant l'échantillon et la provenance.

TABLEAU 1
Caractéristiques mécaniques
Flexion statique à 12 % d'humidité

Module d'élasticité apparent en kg/cm ²	Résistance moyenne à la rupture en kg/cm ²
Azobé..... 207.000	2.690
Ovala 200.000	2.310
Congotali 193.000	2.671
Adoum..... 180.000	1.586
Ozouga 179.000	2.373
Aboga 179.000	2.335

Eyoum.....	176.000	2.375
Tali	164.000	1.810
Doussié	159.000	1.800
Moabl.....	154.000	2.225
Bubinga	154.000	1.715
Mukulungu	151.000	2.030
Apome	150.000	1.908
Abeum	146.000	1.857
Adzacon	145.000	2.097
Oboto.....	144.000	1.777
Padouk	130.000	1.458
Miama	139.000	1.690
Makoré	127.000	1.684
Abalé	121.000	1.545
Izombé	121.000	1.767
Bilinga	113.000	1.170
Kotibé	113.000	1.869
Iroko	105.000	1.299
Douka	103.000	1.411
Evino	100.000	1.025

Tous ces bois sont destinés à l'établissement de la travure, c'est-à-dire aux poutres longitudinales de l'ouvrage. Ils pourront être utilisés en débités pour la construction des platelages et des chemins de roulement. On choisira des billes aussi droites que possible, non fendues, sans défauts apparents tels que pourriture extérieure, cœur pourri, roulure de pied, gros nœuds, bosses, etc... Les grumes à fibre vissée peuvent être utilisées sans inconvénients.

Les grumes devront être entièrement désaubiées. Nous ne tiendrons d'ailleurs jamais compte de l'aubier pour le calcul des diamètres.

CONVOIS-TYPES POUR L'ÉTUDE DES SURCHARGES ROULANTES

Pour déterminer les efforts qui s'appliquent sur un pont, on suppose que ce pont est parcouru par des convois-types qui jouent le rôle d'exemples concrets types de charges (ou surcharges) supportées par les ponts.

Les Travaux Publics utilisent en France, pour l'étude et le calcul des surcharges imposées aux ponts-routes, un convoi-type constitué par deux camions accolés à trois essieux à roues simples. Le poids total de l'ensemble est de 30 t ; le poids de chacun des essieux arrière est de 12 t, le poids de l'essieu avant 6 t. La longueur du convoi est de 10,5 m et sa largeur de 2,5 m.

L'emploi de ce convoi-type a été écarté dans cette étude pour les raisons suivantes :

— ce convoi fictif n'est que peu ou pas représentatif du parc grumier actuellement en service,

— le cas de surcharges accolées indispensables pour le calcul de grands ouvrages ne correspond pas au cas des ponts forestiers de portée limitée et à voie unique. Un tel cas ne pourrait se rencontrer que si un véhicule en panne au milieu du pont était poussé

par un autre grumier ou par un tracteur à chenilles, hypothèse fort peu probable.

Les surcharges roulantes imposées aux ouvrages seront donc représentées par des véhicules à 2, 3, 4 et 5 essieux, considérés isolément avec des charges et des largeurs hors tout nettement modifiées par rapport au convoi-type européen. Ces surcharges correspondent à l'un des quatre cas ci-dessous.

Nous avons voulu effectuer les calculs en les basant sur des véhicules de série supportant pour chaque type des charges utiles parmi les plus élevées qu'on puisse rencontrer en pratique sur les routes forestières. Il sera possible de rapprocher chaque cas particulier de l'un de ceux exposés ci-dessous. (Fig. 1).

1. Engin deux essieux de poids total roulant 43,5 tonnes.

Exemple : Letourneau Modèle C. « Tournahauler » (Fig. 1).



Photo C. Lepître.

*Vue générale d'un pont forestier de deux portées de 15 m.
La travure est constituée par des équarris de Bilinga - Côte-d'Ivoire.*

Il s'agit d'un véhicule hors code à deux essieux ne pouvant donc circuler que sur routes privées. Il est de moins en moins utilisé. Ce véhicule s'est surtout répandu au Gabon.

Cependant son agressivité à l'égard des ouvrages due aux fortes charges par essieu, nous a poussé à l'inclure dans cette étude.

Les caractéristiques de ce véhicule sont les suivantes :

Longueur hors tout... 12,30 m
Distance entre essieux... 9 m
Largeur hors tout 3,55 m

La répartition du poids est telle que :

Essieu avant 19.000 kg
Essieu arrière 24.500 kg
Poids total roulant... 43.500 kg

2. Véhicule 5 essieux de poids total roulant 51 tonnes

(Fig. 2).

Ce véhicule également hors code et relativement peu repré-

senté dans les parcs de véhicules grumiers actuels, se devait de figurer dans cette étude, en raison de l'influence de son important poids total roulant, sur les ouvrages.

Il est représenté en pratique par des tracteurs 6 x 4 équipés de remorques à deux essieux, par exemple, Willeme W 6, Berliet GBO et GLM 12 6 x 4.

Les caractéristiques de ce véhicule sont les suivantes :

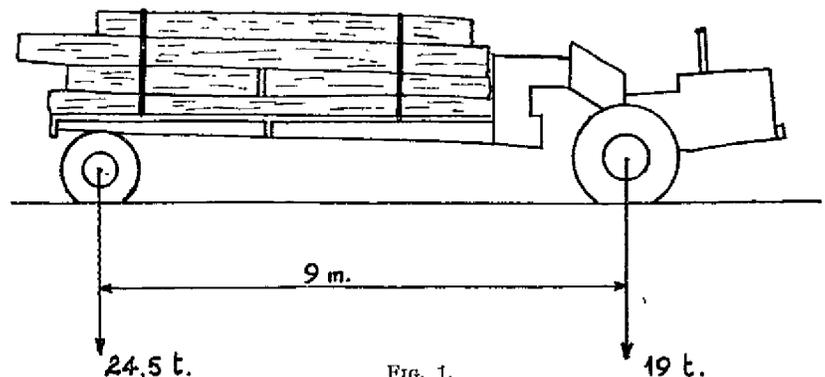


FIG. 1.

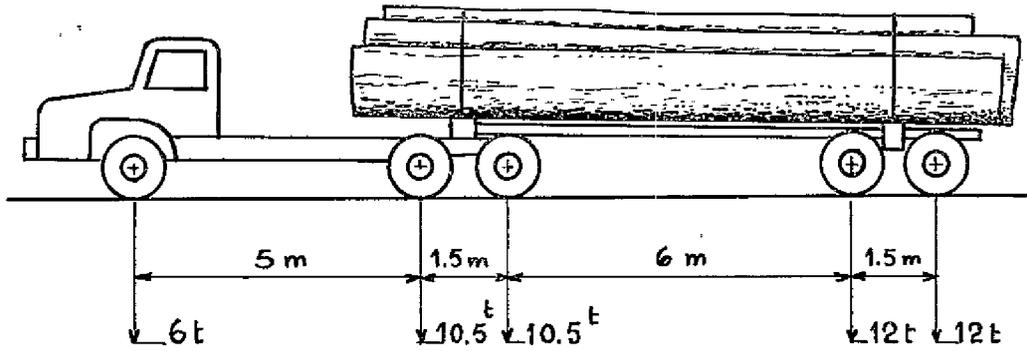


FIG. 2.

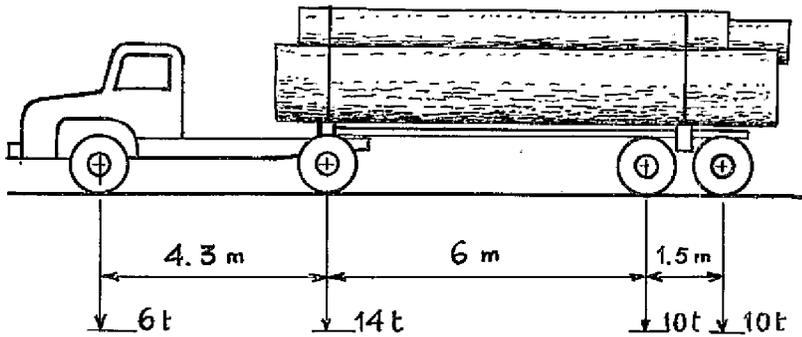


FIG. 3.

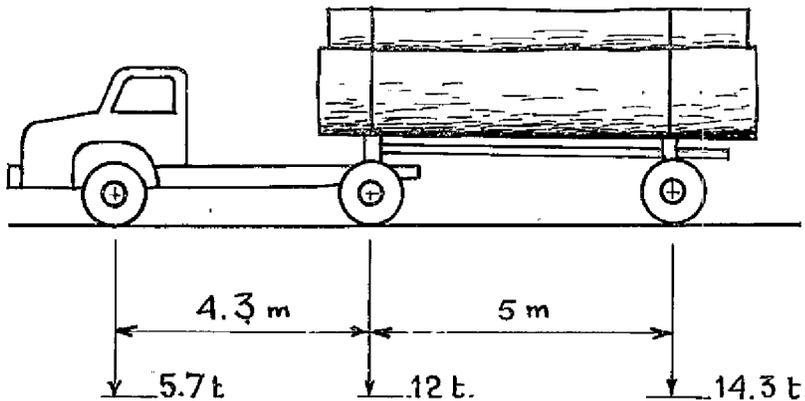


FIG. 4.

Longueur hors tout : 16 m.
 Distance totale entre essieux : 14 m.
 Largeur hors tout au niveau des essieux : 2,5 m
 ou 2,80 m avec une monte 1.400 × 20.

La répartition du poids entre les essieux est telle que :

Essieu avant	6.000 kg
Essieux arrière tracteur ...	21.000 kg également répartis
Essieux arrière remorque ..	24.000 kg également répartis
Poids total roulant	51.000 kg.

3. Véhicule 4 essieux de poids total roulant 40 tonnes

(Fig. 3).

Ce véhicule constitue un train grumier classique, composé d'un tracteur 4 × 2 ou 4 × 4 et équipé d'une remorque à 2 essieux. Il est supposé ici supporter l'une des charges les plus fortes qu'on puisse lui faire transporter.

On peut en prendre pour exemple le GLM 4 × 2 Berliet, le Mercedes 334 (ou 1920), etc.

Les caractéristiques de ce véhicule sont les suivantes :

Longueur hors tout : 14 m.

Distance totale entre essieux : 11,8 m.

Largeur hors-tout au niveau des essieux : 2,5 m ou 2,80 m en cas de monte 1.400 × 20.

La répartition du poids entre les essieux est telle que :

Essieu avant	6.000 kg
Essieu arrière tracteur	14.000 kg
Essieu arrière remorque	20.000 kg
Poids total roulant	40.000 kg

4. Véhicule 3 essieux de poids total roulant 32 tonnes

(Fig. 4).

Ce type de véhicule qui a été très répandu est de moins en moins utilisé maintenant en raison de sa charge utile insuffisante. Il est composé d'un

tracteur 4 × 2 ou 4 × 4 et d'une remorque à 1 essieu. Utilisé au maximum de ses possibilités, son poids total roulant avoisine 32 tonnes.

Exemple de ce type de train routier : GLM 10 4 × 2 Berliet, Magirus Jupiter, etc.

Les caractéristiques de ce véhicule sont les suivantes :

Longueur hors tout : 11 m

Distance totale entre essieux : 9,3 m

Largeur hors tout au niveau des essieux : 2,5 m ou 2,80 m en cas de monte 1400 × 20

La répartition du poids entre les essieux est telle que :

Essieu avant	5.700 Kg
Essieu arrière tracteur	12.000 Kg
Essieu arrière remorque	14.300 Kg
Poids total roulant	32.000 Kg

La récapitulation de la répartition du poids total roulant pour chacun des 4 véhicules choisis comme surcharges peut être résumée par le tableau 2.

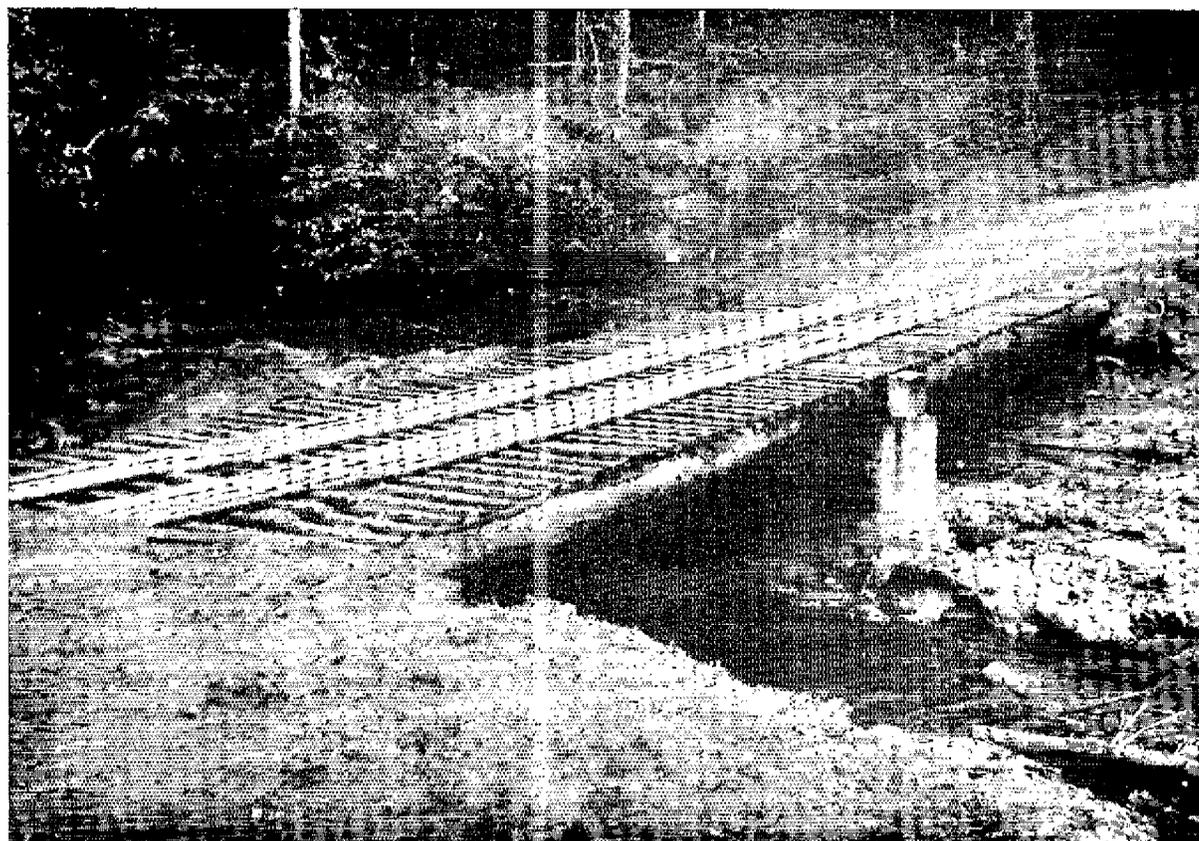
TABLEAU 2

Paragraphes	1	4	3	2
Type	véhicule 2 essieux	véhicule 3 essieux	véhicule 4 essieux	véhicule 5 essieux
charges				
Essieu avant tracteur	19.000 Kg	5.700 Kg	6.000 Kg	6.000 Kg
Essieux arrière tracteur	24.500 Kg	12.000 Kg	14.000 Kg	21.000 Kg
Essieux arrière remorque	—	14.300 Kg	20.000 Kg	24.000 Kg
P. T. R.	43.500 Kg	32.000 Kg	40.000 Kg	51.000 Kg

Note : Les cas envisagés ci-dessus correspondent aux charges maximales sur chaque type de train grumier. Si on considère des charges plus proches de la moyenne, on peut admettre que :

Pont avec culées en corps mort et pile béton. L'inclinaison de la piste à l'entrée de l'ouvrage risque de provoquer de fortes surcharges dynamiques sur les poutres de travure lors du passage des camions.

Photo J. Estève.



— Un train 4 essieux de 35 t. P. T. R. aboutirait à des contraintes comprises entre celles des véhicules types 3 et 4.

— Un train 5 essieux de 41 t. P. T. R. aboutirait à des contraintes comprises entre celles des véhicules 2 et 3.

CHOIX DE L'EMPLACEMENT ET DU TYPE DE PONT

Avant de commencer toute étude et tout calcul pour un pont particulier, il est logique et indispensable de définir l'emplacement du futur ouvrage.

Les caractéristiques de cet emplacement imposeront d'ailleurs très souvent les caractéristiques de l'ouvrage à édifier.

1. — CHOIX DE L'EMPLACEMENT D'UN PONT

Sauf dans l'hypothèse du point de passage obligé, le franchissement d'un cours d'eau impose un choix au forestier, choix dont peut dépendre la bonne marche future de l'exploitation.

En règle générale, l'emplacement d'un pont ne doit pas être commandé par l'existence de routes à raccorder, c'est le tracé des raccordements à réaliser qui doit dépendre du choix du point de franchissement.

L'objet d'un pont est de permettre à une route ou une piste de franchir en tous temps un cours d'eau permanent ou saisonnier ou un bas-fonds inondable. Il doit avoir son tablier au-dessus du niveau des plus hautes eaux connues.

Avant de construire un pont au-dessus d'un cours d'eau il faudra étudier le régime de ce dernier (détermination de sa vitesse, de sa section, de son débit), pour les divers états caractérisés par la position de la ligne d'eau.

La connaissance du niveau des eaux en temps de crue aux différents points du lit permettra de déterminer la largeur du lit majeur du cours d'eau et par conséquent la longueur du pont. La hauteur des plus hautes crues et leur vitesse devront être déterminées avec toute la précision possible. Les observations faites au voisinage du fleuve sur les berges et sur les arbres permettront de connaître la cote atteinte par les eaux dans les deux ou trois dernières années. L'enquête auprès des habitants de la région, en particulier les plus âgés ou ceux que leur profession amène à vivre auprès du cours d'eau, pourra donner des indications (malheureusement souvent inexactes). Quant aux vitesses elles pourront être déduites de la vitesse d'affouillement des berges. Il faudra, en outre, tenir compte de la nécessité de placer la travure à au moins un mètre au-dessus du niveau des plus hautes eaux ceci pour que l'ouvrage ne soit pas un obstacle au passage des troncs d'arbre et débris divers en temps de crue (Fig. 5).

Le régime de la rivière étant déterminé, d'autres facteurs influenceront le choix de l'emplacement :

— longueur minimum de l'ouvrage. On choisira l'emplacement correspondant à une longueur minimum de l'ouvrage, s'il est possible de l'établir sans piles intermédiaires. Si l'on est contraint d'envisager des appuis intermédiaires, il est préférable de rechercher un passage où le courant est le moins violent en temps de crue et la profondeur de l'eau minimum. Le pont sera évi-

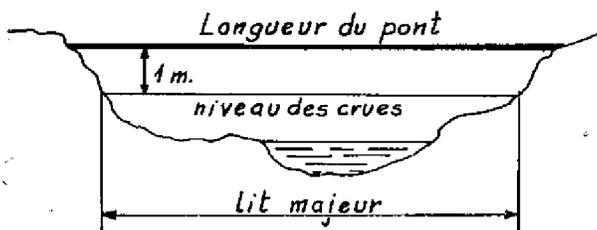


FIG. 5.

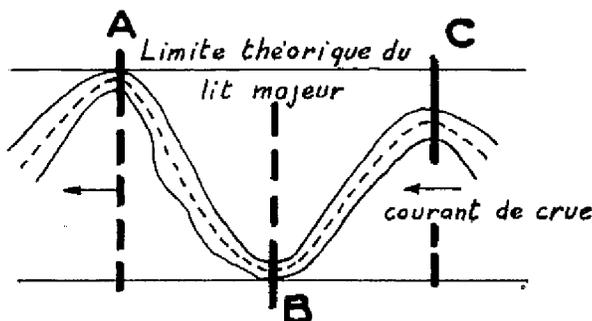


FIG. 6. — Les points A, B, C, sont les points de franchissement permettant un tracé de l'ouvrage perpendiculaire au courant.

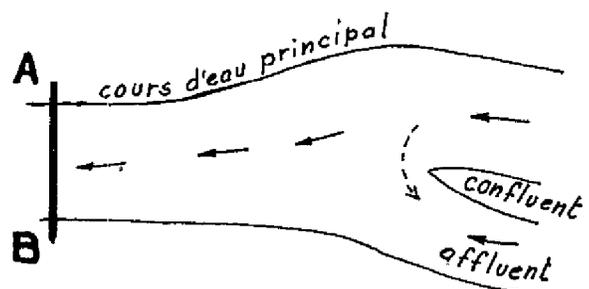


FIG. 7. — Le franchissement du cours d'eau doit se faire en A, B situé en aval du confluent.

demment plus long, mais on y gagnera en sécurité, les risques d'affouillement des piles intermédiaires étant minimes.

Fondations sûres établies de façon économique. Ceci suppose un terrain d'assise, solide et inaffouillable. La réalisation de cette condition va de pair avec une connaissance préalable du sol ayant pour but de connaître la nature des différentes couches de terrain rencontrées à la verticale de l'emplacement où l'on projette d'édifier le pont. Elle permettra en toute connaissance de cause de fixer son choix parmi les différentes couches rencontrées pour y établir les fondations. La nature du terrain sera déterminée par des sondages en puits à ciel ouvert ou tubés à l'emplacement des appuis.

— **tracé de l'ouvrage perpendiculaire au courant.** L'axe du pont doit être à la fois perpendiculaire aux eaux avant débordement et aux eaux en crue ; les emplacements satisfaisant à cette condition, si la rivière a un cours sinueux, sont ceux où le lit est parallèle à l'axe de la vallée, c'est-à-dire le sommet des courbes (Fig. 6).

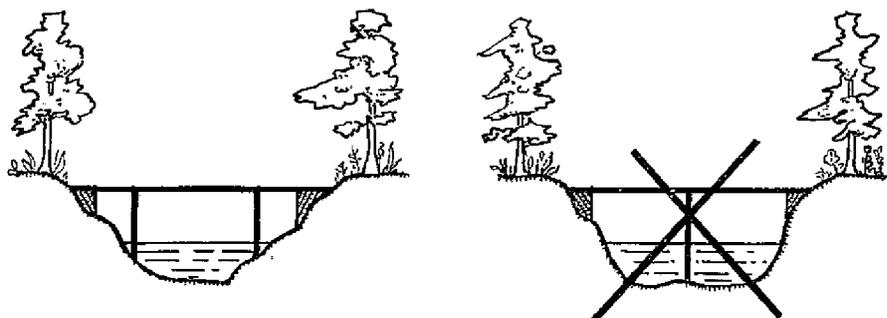


FIG. 8. — *Implantation des supports intermédiaires d'un ouvrage.*

Bonne implantation.

Implantation à rejeter.

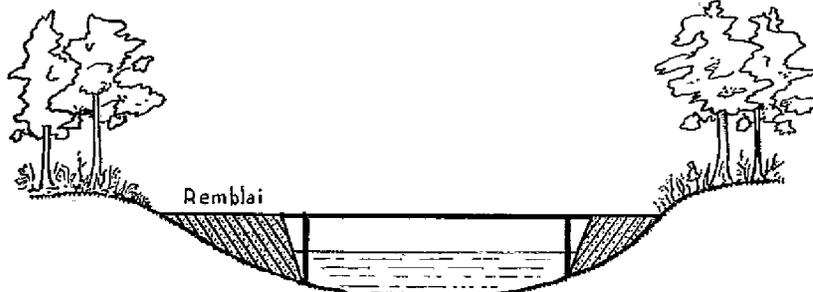


FIG. 9. — *Diminution de l'importance d'un ouvrage par remblaiement d'une partie du lit du marigot.*

— **Choix d'un emplacement où le courant est aussi peu variable que possible.** Cet emplacement doit être recherché dans un lit fixe où les eaux sont concentrées et le courant jamais inversé. En cas de confluence, le pont doit toujours être situé en aval du confluent (Fig. 7).

— **Emplacement tel que les raccordements aux routes existantes ou en projet n'entraîneront pas de sujétions trop onéreuses.**

2. — CHOIX D'UN TYPE DE PONT

Parmi les solutions variées dont on dispose, le choix du type de pont à construire dépend d'un certain nombre de conditions plus ou moins importantes :

— des matériaux et du personnel dont on dispose,

— de la nature du trafic à assurer (poids, longueur, largeur des convois). Il est d'ailleurs prudent de prévoir le pont pour une surcharge supérieure au poids des véhicules admis à circuler sur la piste.

— de la densité de ce trafic,

— de la situation des lieux. En effet, l'escarpement éventuel des berges et la nature du terrain peuvent imposer un type de pont,

— de l'importance du cours d'eau à franchir, de la violence de ses crues et de l'importance des matériaux transportés. Dans le doute, il faut s'astreindre à réduire le nombre des supports intermédiaires pour laisser à l'eau le plus grand débouché

possible et éviter l'accumulation d'obstacles dans le lit majeur du cours d'eau.

Le lit d'étiage sera autant que possible franchi d'une seule portée si la largeur n'est pas supérieure à 17 m. Si l'on est conduit à prévoir des supports intermédiaires, il faut éviter d'implanter ceux-ci au milieu du lit : il est préférable d'adopter une répartition des travées qui laisse le plus grand débouché dans l'axe du cours d'eau, à la condition toutefois que le support intermédiaire supplémentaire ne constitue pas un obstacle sérieux à l'écoulement de l'eau en temps de crue, dans le lit majeur (Fig. 8).

S'il s'agit de franchir un marigot permanent ou saisonnier où l'eau est stagnante, on pourra prévoir des supports intermédiaires, s'ils doivent faciliter l'établissement du pont, sans se soucier de l'obstacle que constituent ces supports pour la circulation de l'eau.

TABLEAU 3

Données	Niveau de l'ouvrage	A déterminer		Charge	Piles	Culées	Platelage	Portée et type de pont
		Chaussée	Longueur					
Bassin de la rivière.....			*					*
Niveau des hautes eaux.....	*		*		*	*		*
Débit de la rivière.....			*					*
Profil de la vallée.....			*					*
Sondages.....					*	*		*
Trafic.....	*	*		*			*	*
Topographie.....	*	*		*				*
Particularités.....	*	*	*	*	*	*	*	*

On pourra même dans certains cas, envisager le remblaiement d'une partie du lit du marigot sur le tracé de la piste, pour réduire l'importance du pont (Fig. 9, p. 41).

Dans ce cas, les culées du pont seront, soit construites en maçonnerie et fondées dans le lit à sec du marigot, soit constituées par des palées de pieux, de telle sorte que si un affaissement du remblai survient à la suite des pluies, les appuis demeurent stables.

Le tableau ci-dessus, tableau 3, comporte en ligne, les divers éléments du pont à déterminer ou à cal-

culer, en fonction des facteurs situés en colonne, influençant le choix du type d'ouvrage.

Il permet, lors de l'étude d'un pont, de s'assurer qu'aucun de ces facteurs n'aura été oublié.

A titre d'exemple, nous voyons que le niveau de l'ouvrage à construire dépendra :

- du niveau des plus hautes eaux,
- du trafic prévu,
- de la topographie du point de franchissement,
- des particularités de ce point de franchissement.

CALCUL DES POUTRES DE TRAVURE

Les ouvrages calculés dans cette étude sont des ponts forestiers à une voie de circulation, de largeur 4 m, à travure composée de 4 poutres légèrement équarries. Les calculs ont été menés en fonction des facteurs suivants :

— *Portée de l'ouvrage :*

Nous n'avons étudié que les portées de 10 à 17 m. Il est apparu que les portées plus longues conduisent à des diamètres de poutres qu'il est très rare de trouver dans de telles longueurs.

— *Essences choisies :*

Trois essences types présentant des caractéristiques mécaniques très différentes ont permis de poursuivre l'exécution des calculs : l'une est représentative des essences présentant de bonnes caractéristiques, c'est le Congotali ; une autre des caractéristiques les moins bonnes, c'est l'Iroko, enfin une espèce représente les bois de caractéristiques moyennes, c'est l'Abeum.

En se reportant au tableau 1, on peut voir que toutes les essences présentent des caractéristiques intermédiaires ou au moins égales à l'une des trois espèces ci-dessus.

Rappelons les données techniques de ces trois essences types :

Le Congotali (*Letestua durissima*), essence à coefficient d'élasticité élevé. La densité de cette essence est 1,09 à 12 % d'humidité, soit environ 1,23 à 50 % d'humidité.

L'Abeum (*Gilbertiodendron brachystegioïdes*), essence à coefficient d'élasticité moyen. La densité de cette essence est 0,8 à 12 % d'humidité, soit environ 0,92 à 50 % d'humidité.

L'Iroko (*Chlorophora excelsa*) essence à coefficient d'élasticité faible. La densité de cette essence est 0,75 à 12 % d'humidité, soit environ 0,88 à 50 % d'humidité.

Les caractéristiques mécaniques de ces 3 essences pour une série d'essais sont résumées dans le tableau 4.

TABLEAU 4

Essences	Densité moyenne à 12 % d'humidité	Résistance moyenne à la compression de fil à 12 % d'humidité en Kg/cm ² (C)	Résistance moyenne à la flexion statique à 12 % d'humidité en Kg/cm ² (R)	Module d'élasticité apparent à 12 % d'humidité en Kg/cm ² (E)
Congotali.....	1,09	928	2.671	193.000
Abeum.....	0,84	729	1.857	146.000
Iroko.....	0,70	433	1.299	105.000

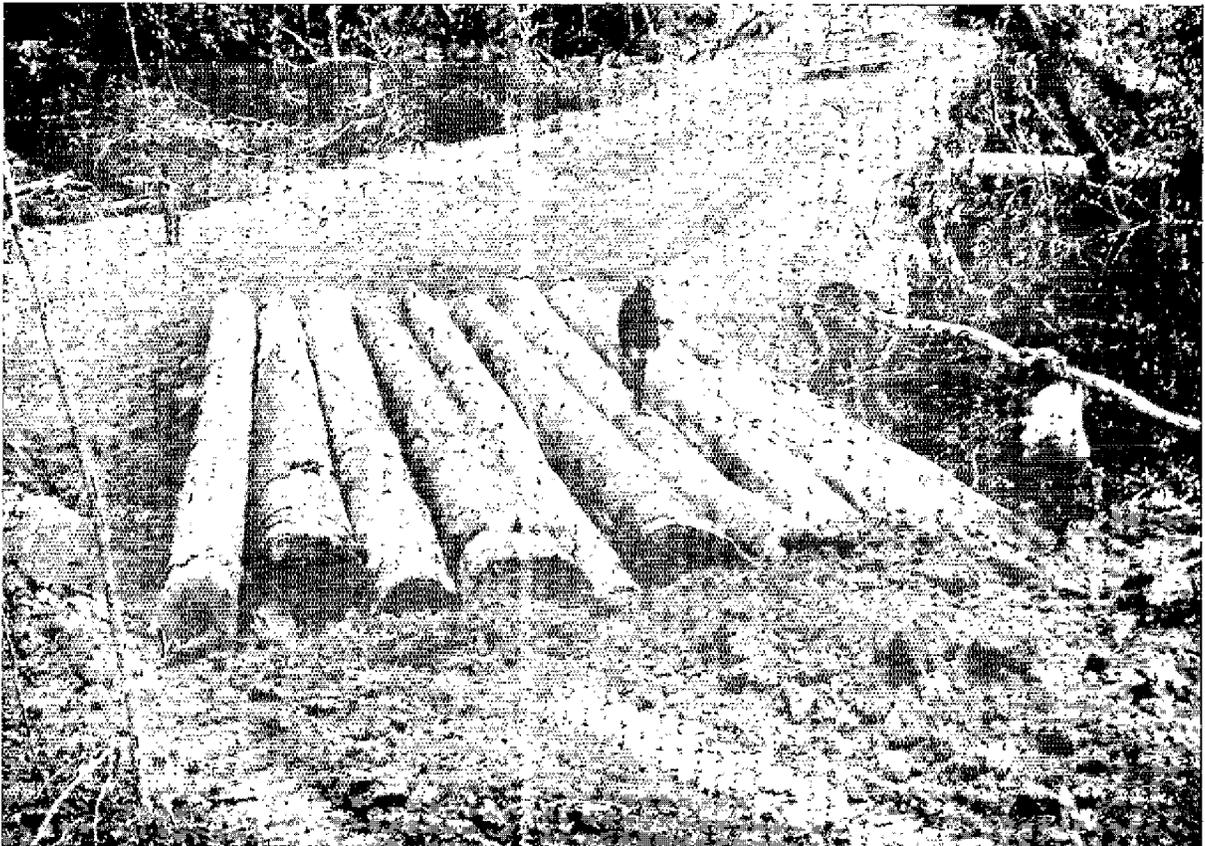


Photo J. Estève.

Travure achevée d'un pont de 17 m avec culées en corps mort — Gabon.

— *Trains grumiers.*

Rappelons que quatre types de trains grumiers représentatifs du parc des exploitants et précédemment définis p. 36 et 37, ont été admis comme surcharges mobiles. Ce sont :

Cas 1. — Un train grumier à 2 essieux d'un poids total roulant de 43,5 t.

Cas 2. — Un train grumier à 5 essieux d'un poids total roulant de 51 t.

Cas 3. — Un train grumier à 4 essieux d'un poids total roulant de 40 t.

Cas 4. — Un train grumier à 3 essieux d'un poids total roulant de 32 t.

1. — EFFORTS EXERCÉS SUR LES OUVRAGES

Les poutres de travure d'un ouvrage sont soumises à deux séries d'efforts :

- les efforts permanents dus au poids du pont ;
- les efforts dus aux surcharges mobiles que sont les camions.

L'action des véhicules est multiple. Ces derniers agissent :

- par leur poids, force verticale s'exerçant sur le pont,
- par des effets dynamiques dus à l'application brusque des charges, des chocs et des vibrations.

Les effets dynamiques verticaux sont représentés par un coefficient appliqué au poids du véhicule.

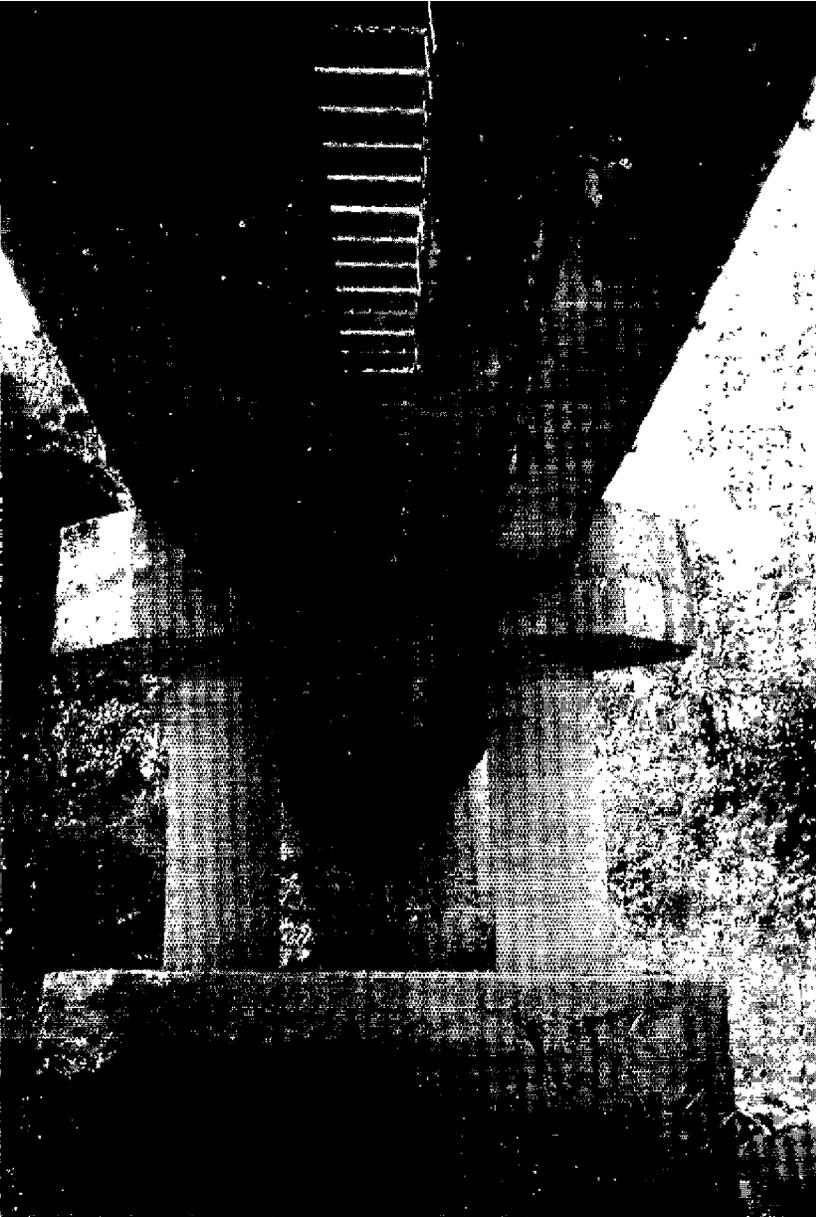
Ce coefficient empirique ou coefficient de majoration dynamique est pris le plus souvent égal à 1,4 (1).

Les effets dynamiques horizontaux dus aux coups de frein, dérapages, qui sont très difficiles à apprécier ne seront pas calculés. On admet qu'il n'est pas nécessaire d'en tenir compte dans les calculs car, d'une façon générale, la vitesse des véhicules à l'entrée des ouvrages est relativement limitée.

En partant des différentes charges, on déduit les dimensions des poutres de travure.

Le diamètre calculé sera toujours un diamètre

(1) D'après « Ponts de Circonstance », Ecole d'Application du Génie 1954.



Vue de dessous de la travure et de la pile intermédiaire d'un pont forestier — Côte d'Ivoire.

Photo C. Lepitre.

minimum mesuré sous aubier (1) à mi-longueur de la bille. Le diamètre au milieu de la bille est celui qui importe car le moment fléchissant est maximum au milieu, donc la poutre subit la plus grande fatigue en cet endroit. D'autre part, le défilement des bois est tel qu'il n'y a pas de problème au fin bout (et à plus forte raison au gros bout).

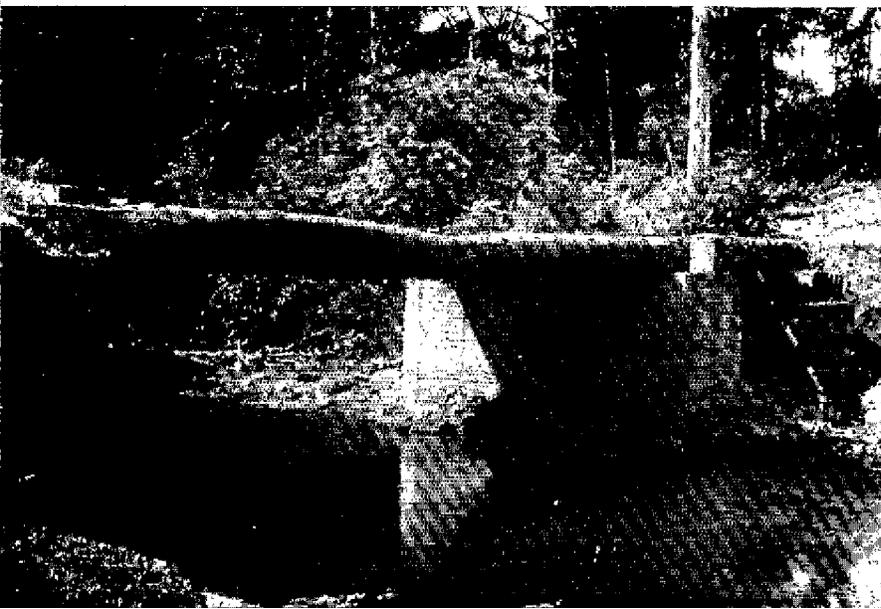
2. -- MÉTHODE DE CALCUL DES POUTRES

La méthode de calcul employée est un procédé par approches successives. On part d'un diamètre pouvant être considéré comme valable et on vérifie si la contrainte de flexion et si les flèches dues au poids mort et aux surcharges roulantes sont telles que ce diamètre soit admissible. Dans le cas contraire, l'on recommence les calculs avec un diamètre plus gros jusqu'à obtention du diamètre nécessaire.

Tous les calculs seront exécutés sur une poutre et l'on admet que les charges sont également réparties entre 4 poutres de travure (deux par chemin de roulement). (Cette hypothèse de répartition est très proche de la réalité lorsque la liaison entre les divers éléments de l'ouvrage est bonne. Elle est également valable pour les ponts à 5, 6 poutres ou plus).

La marche des calculs pour un ouvrage d'une portée donnée et pour un train routier donné est la suivante :

- a) Calcul des charges permanentes dues au poids mort du pont.
- b) Calcul des moments fléchissants maximaux.
- c) Vérification de la contrainte de flexion.
- d) Calcul de la flèche des poutres de travure.



a) Calcul des charges permanentes dues au poids du pont.

Les charges permanentes du pont sont égales à la somme des poids des poutres de travure, du platelage de répartition, du platelage d'usure, et des accessoires tels que boulons, tire-fonds, ferrures... Pour une essence et

(1) Pour les essences à aubier différencié et attaquable.

Pont avec culées et pile en béton sur la rivière Adughe. La portée est de 19 m entre la culée de gauche et la pile intermédiaire — Gabon.

Photo J. Estève.

un diamètre des poutres donnés, il est simple de calculer les charges réparties en tonne par mètre linéaire de portée, par les formules simples :

— *Poutres de travure* : on a par poutre et par mètre linéaire

$$P_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot d}{4}$$

où P_1 = poids d'une poutre en tonnes,
 D = diamètre de la poutre en mètres,
 d = densité de l'essence à l'état vert.

Soit $4 P_1$ dans le cas de quatre poutres.

— *Platelage* :

$$P_2 = l \cdot h \cdot d$$

où P_2 = poids du platelage en tonnes par mètre linéaire,

h = l'épaisseur du platelage en mètres,
 d = densité de l'essence à l'état vert,
 l = largeur du platelage en mètres ; soit 5 m pour un pont de 4 m de voie.

— *Accessoires* :

La charge P_3 répartie au mètre linéaire de portée, des « divers », est admise forfaitairement égale à 250 kg.

— *Total* :

La charge totale P au mètre linéaire répartie sur l'ensemble de la travure est donc égale à :

$$P = 4 P_1 + P_2 + P_3 .$$

Soit, toujours dans le cas de 4 poutres, $\frac{P}{4}$ par poutre (P s'exprime en kg par mètre de portée).

b) Calcul des moments fléchissants maximaux.

Le moment fléchissant maximal auquel est soumis l'ouvrage est égal à la somme du moment fléchissant maximal dû aux charges permanentes et du moment fléchissant maximal dû aux surcharges roulantes.

Moment fléchissant dû aux charges permanentes
 = MF_1 .

Il se calcule par la formule :

$$MF_1 = \frac{P}{4} \times \frac{l^2}{8}$$

où $\frac{P}{4}$ = charge de la poutre au mètre linéaire en kilos.

l = longueur de la poutre de travure en mètres.

Moment fléchissant dû aux surcharges roulantes = MF_2 .

Lorsque les charges sont mobiles, il convient tout d'abord de rechercher la position la plus défavorable de ces charges donnant le plus grand moment fléchissant.

A cet effet, on construit le polygone des forces et le polygone funiculaire des charges constituant le train grumier, puis l'on déplace graphiquement la poutre de longueur donnée sous les charges, sans modifier la position de celle-ci. Les charges constituant le train routier peuvent se ramener à une résultante unique ; le plus grand moment fléchissant se produira quand le milieu de la poutre se trouve à

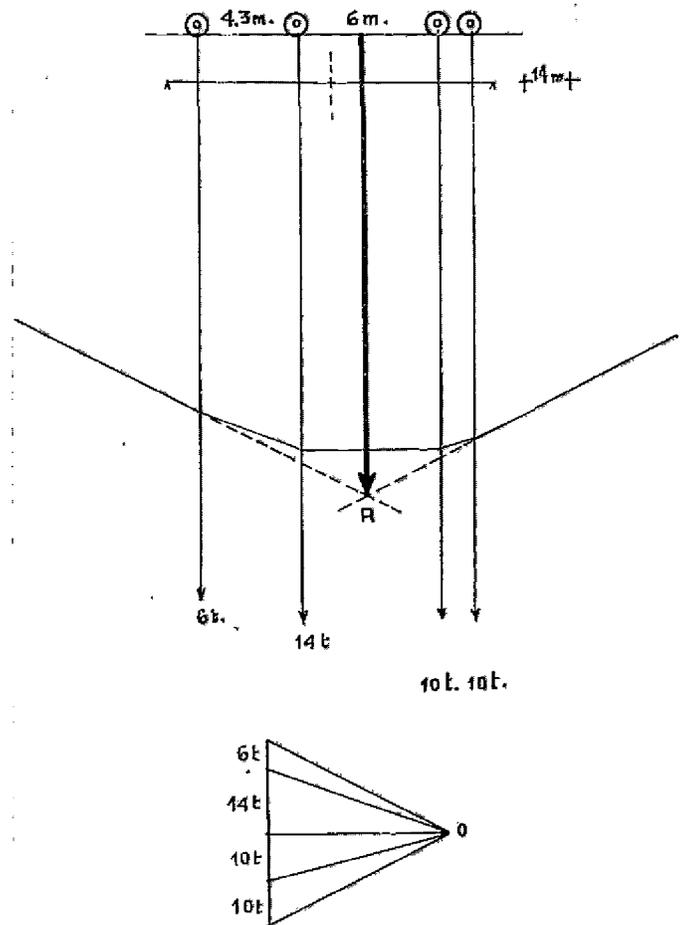


Fig. 10.

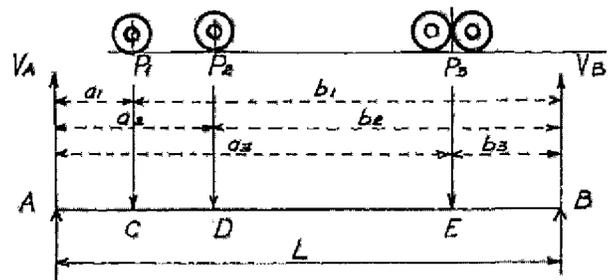


Fig. 11.

égale distance de cette résultante et de la charge individuelle la plus proche. Il est évident que seules les charges se trouvant effectivement sur la poutre sont à prendre en considération.

Pour un train grumier 4 essieux circulant sur un pont de 14 m, la disposition des forces sera telle que montrée figure 10.

La position la plus défavorable une fois déterminée, on peut calculer le moment fléchissant maximum se produisant sous la charge désignée.

Reportons-nous à la figure 11. La position la plus défavorable se situera en D sous la charge P_2 . Le moment fléchissant en D est obtenu de la façon suivante :

On détermine d'abord les réactions d'appui, c'est-à-dire la somme des efforts tranchants sur chaque appui, résultant de chaque charge.

La réaction V_A de l'appui de gauche A est égale à :

$$V_A = \frac{P_1 b_1 + P_2 b_2 + P_3 b_3}{L}$$

où P = poids de la charge considérée en kg,

b_1, b_2, b_3 = distances de l'appui de droite à la charge considérée, en mètres.

On calcule ensuite le moment de la réaction d'appui par rapport au point d'application de chaque charge sur la poutre et on retranche de ce moment celui des forces situées entre l'appui et le point d'application de la charge sous laquelle se produit le plus grand moment fléchissant.

En D, le moment fléchissant MF_r dû aux surcharges roulantes sera :

$$MF_r = V_A \cdot a_2 - P_1 (a_2 - a_1)$$

Si les circonstances avaient voulu que le moment maximal soit sous C ou D, on aurait eu :

$$\text{Pour C : } MF_r = V_A \cdot a_1$$

Pour E :

$$MF_r = V_A \cdot a_3 - P_1 (a_3 - a_1) - P_2 (a_3 - a_2)$$

Pour tenir compte des effets dynamiques verticaux, on se contente de majorer le moment calculé par le coefficient empirique de majoration dynamique, soit 1,4.

Pour chaque poutre de travure le moment fléchissant maximal dû aux surcharges roulantes est donc :

$$MF_2 = \frac{MF_r}{4} \cdot 1,4$$

Moment fléchissant maximal total.

Il découle des calculs précédents que :

$$MF = MF_1 + MF_2$$

c) Vérification de la contrainte de flexion.

Les moments fléchissants auxquels sera soumise la travure étant déterminés, il est nécessaire de vérifier si la contrainte de flexion créée par ces moments reste inférieure à la contrainte d'utilisation admise pour l'essence constituant les poutres.

On admet que la contrainte d'utilisation d'un bois est égale au 1/4 ou au 1/5 de la contrainte de rupture en flexion statique. Pour obtenir une plus grande marge de sécurité, puisque les bois sont mis en œuvre à l'état vert, on ne compte leur résis-

tance mécanique à la flexion que pour les 2/3 de la résistance à 12 % d'humidité.

La contrainte nous est donnée par la formule :

$$n = \frac{MF}{\frac{I}{V}}$$

où n = contrainte de flexion en kg/cm² ; n doit rester inférieure à la contrainte d'utilisation.

MF = moment fléchissant maximum total en kg cm.

I = module résistant.

$\frac{I}{V}$

On sait que pour une section circulaire :

$$\frac{I}{V} = \frac{\pi D^3}{32} = 0,0982 D^3$$

d) Calcul de la flèche des poutres de travure.

La flèche totale prise par les poutres de travure est égale à la flèche prise sous l'action des charges permanentes, à laquelle s'ajoute la flèche prise sous l'action des charges roulantes. Cette flèche totale doit toujours rester inférieure au 1/300^e de la portée.

On a : $F = f_1 + f_2 < 1/300$ en mètres,

où $f_1 = \frac{5 pl^4}{384 EI}$ en mètres.

où p = charges permanentes au mètre linéaire, en kg.

l = longueur de la poutre en mètres.

E = module d'élasticité de l'essence en kg/cm²

I = moment d'inertie ; I = 0,0491 D⁴ pour une section circulaire.

On peut considérer que la flèche prise par les poutres de travure sous l'action des charges roulantes est égale à la flèche prise sous l'action d'une charge concentrée égale au poids de tous les essieux, appliquée au point d'application de la résultante de ces charges. Ainsi, dans l'exemple cité figure 10, le point d'application de la charge concentrée déterminant la flèche sous l'action des charges roulantes se situera en R.

f_2 se calcule comme suit :

$$f_2 = \frac{P a^2 b}{3 E I l} \sqrt{\frac{(a + 2b)^3}{3 a}}$$

avec P = charge due au poids des essieux sur la poutre, en tonnes

a = distance de la résultante des charges à l'appui de gauche en cm

b = distance de la résultante des charges à l'appui de droite en cm

l = portée de l'ouvrage en mètres

E = module d'élasticité de l'essence en kg/cm²

I = moment d'inertie en cm² × cm² : 0,0491 D⁴ pour une section circulaire.

3. — RÉSULTATS

Tous calculs exécutés, on obtient les diamètres suivants au milieu des poutres de travure en fonction de la portée de l'ouvrage et du type de tracteur grumier. Les résultats obtenus

n'ayant pas laissé apparaître de différences significatives entre le Congotali et l'Abeum ces deux essences ont été groupées dans les tableaux ci-après :

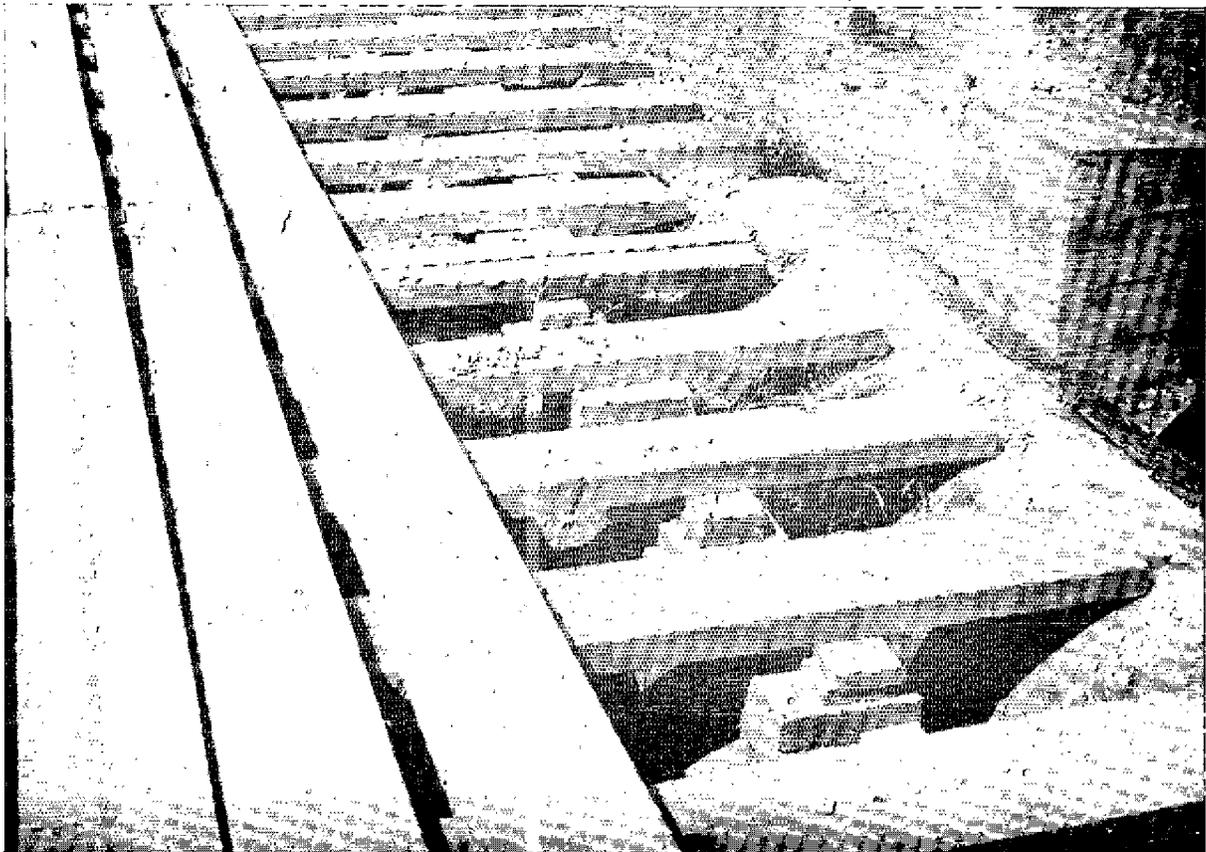


Photo J. Estève.

Platelages de répartition et d'usure en avivés. Les différences de niveau entre poutres de travure expliquent la présence de cales qui risquent de se déplacer à la longue. Le platelage d'usure placé suivant l'axe du pont a tendance à se redresser sous le passage des camions.

Cas 1. — Tracteur 2 essieux de P. T. R. : 43,5 T.

TABLEAU 5

Portée entre appuis en mètres									
Essence	10	11	12	13	14	15	16	17	
Congotali	60 cm	63	66	70	73	79	81	85	
Abeum									
Iroko	65 cm	68	71	75	78	84	86	90	

Cas 2. — Tracteur 5 essieux de P. T. R. : 51 T.

TABLEAU 6

Portée entre appuis en mètres									
Essence	10	11	12	13	14	15	16	17	
Congotali	58 cm	62	66	70	74	78	81	85	
Abeum									
Iroko	63 cm	67	71	75	79	84	86	90	

Cas 3. — Tracteur 4 essieux de P. T. R. : 40 T.

TABLEAU 7

Portée entre appuis en mètres									
Essence	10	11	12	13	14	15	16	17	
Congotali	56 cm	60	64	66	70	74	78	82	
Abeum									
Iroko	61 cm	65	69	71	75	79	83	87	

Cas 4. — Tracteur 3 essieux de P. T. R. : 32 T.

TABLEAU 8

Portée entre appuis en mètres									
Essence	10	11	12	13	14	15	16	17	
Congotali	54 cm	58	62	66	70	74	78	81	
Abeum									
Iroko	59 cm	63	67	71	75	79	83	86	

4. - - OBSERVATIONS

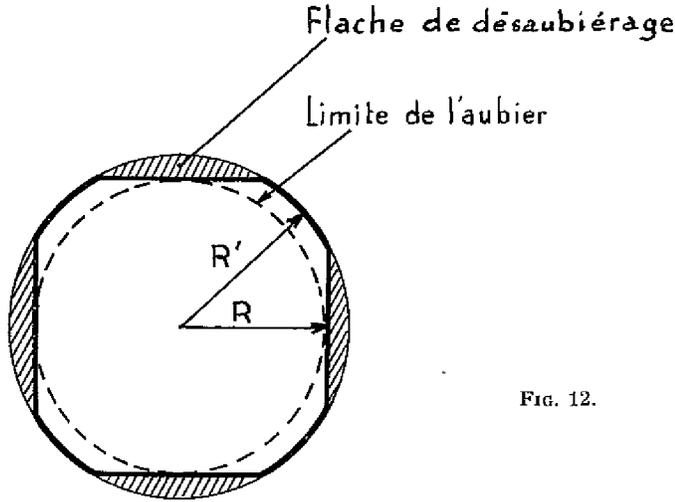


Fig. 12.

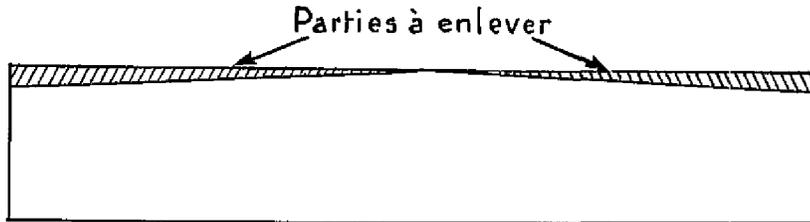


Fig. 13. -- Contreflèche d'une poutre de travure.

La lecture des tableaux précédents invite à noter les observations suivantes :

Les diamètres calculés sont des diamètres minimaux mesurés au milieu de la portée, de billes purgées d'aubier.

Les calculs ont été effectués en prenant le module résistant I d'une section circulaire, ce qui ne se produira probablement jamais.

En pratique, il arrivera souvent que le désaubiérage se réduise à un équarissage tel que celui indiqué figure 12.

Les flèches de désaubiérage donneront à la bille une section grossièrement octogonale de Rayon R' supérieur au rayon R calculé sous aubier (voir fig. 12) et par conséquent un I légèrement plus fort. Les flèches de désaubiérage n'ont donc aucune influence sur la résistance des poutres de travure.

Pour chaque essence, le diamètre calculé dépend essentiellement du module d'élasticité propre à chaque bois. Pour limiter les flèches trop importantes des poutres de travure, il convient, soit d'augmenter le diamètre de ces dernières, soit de leur donner une contreflèche. Cette contreflèche peut être obtenue de deux manières :

— en utilisant si possible des billes ayant une légère flèche naturelle et en les plaçant concavité vers le bas,

— en équarissant le dessus des billes de façon à obtenir un profil conforme à la figure 13.

Il est préférable de ne pas utiliser les essences à faible module d'élasticité pour les poutres d'ouvrage à grande portée.

— le diamètre minimal nécessaire est une fonction croissante de la portée de l'ouvrage. Dans la pratique on peut admettre une augmentation de diamètre d'environ 4 cm par mètre de portée supplémentaire.

PLATELAGES DE RÉPARTITION ET D'USURE

Si le rôle des poutres de travure est de supporter les efforts transmis par les véhicules, le rôle des platelages consiste essentiellement à répartir de manière aussi homogène que possible ces efforts sur l'ensemble du pont.

Deux aspects très importants du platelage sont :

— la résistance à la pourriture car il y a toujours de l'humidité séjournant entre platelage et poutres et entre les deux platelages.

— la résistance au fendage sous les vibrations.

Un choix sérieux des essences et une bonne mise en œuvre permettent de pallier ces inconvénients.

Les ouvrages comportent 2 platelages superposés, platelage de répartition et platelage d'usure.

— le platelage de répartition, placé perpendiculairement aux poutres de travure répartit les efforts entre ces dernières.

Ce platelage est constitué par des madriers de 22×13 cm ou 22×14 non jointifs. Il est très important de laisser un espace de 2 cm environ entre les madriers pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie ou de ruissellement.

— le platelage d'usure, doit protéger le platelage de répartition et encaisser l'usure due au passage des véhicules. Ce platelage est souvent composé de demi-madriers de 20×5 cm placés soit parallèlement à l'axe du pont, soit à 45° . Cette seconde disposition paraît préférable car dans le

premier cas, les planches ont tendance à se redresser et à se fendre aux extrémités sous le passage des charges.

Les dimensions des madriers de platelage ne se calculent pas. Il suffit de faire varier légèrement l'épaisseur en fonction de l'écartement des poutres de travure. Par souci de rigueur, nous avons toutefois déterminé une méthode de calcul suivant les différents convois.

Le détail de ces calculs simples serait fastidieux et sans grand intérêt, aussi nous bornerons-nous au seul cas du train routier à 4 essieux qui illustrera la méthode.

— calcul du platelage de répartition d'un pont forestier sous l'action d'un train grumier 4 essieux de 40 tonnes de poids total roulant.

Prenons l'exemple de la monte de pneus suivante :
 1.400 × 20 simples sur l'essieu avant
 1.400 × 20 jumelés sur l'essieu arrière du tracteur
 1.400 × 20 simples sur la remorque.

Nous choisissons ce type de monte parce qu'elle s'est répandue au Gabon sur 4 essieux. Avec des pneus 1.200 × 20, peu de choses seraient changées dans le calcul du pont.

La largeur d'un pneu (1.400 × 20) est de 38 cm. Avec un pneu de jumelage la largeur des 2 pneus est de 80,4 cm. Deux poutres voisines de la travure ont un diamètre de 65 cm et sont espacées entre elles de 5 cm (1). En tenant compte de la largeur du méplat nécessaire à la fixation du platelage, nous pouvons assimiler la portion du madrier de platelage située sous l'essieu à une poutre recevant une charge uniformément répartie sur toute sa longueur (Fig. 14).

Le calcul est effectué dans le cas de l'essieu le plus chargé (14 t.), c'est-à-dire l'essieu arrière du tracteur. On se place dans le cas où le jumelage du côté considéré, supporte 60 % de la charge de l'essieu. En effet, les charges se répartissent toujours inégalement entre les jumelages droits et gauches.

$$\text{On a : } \frac{14.000 \times 60}{100} = 8.400 \text{ kg.}$$

Le moment fléchissant maximum auquel est soumis le madrier de platelage est donné par la formule :

$$MF = \frac{Pl}{8}$$

où P = charge en kg

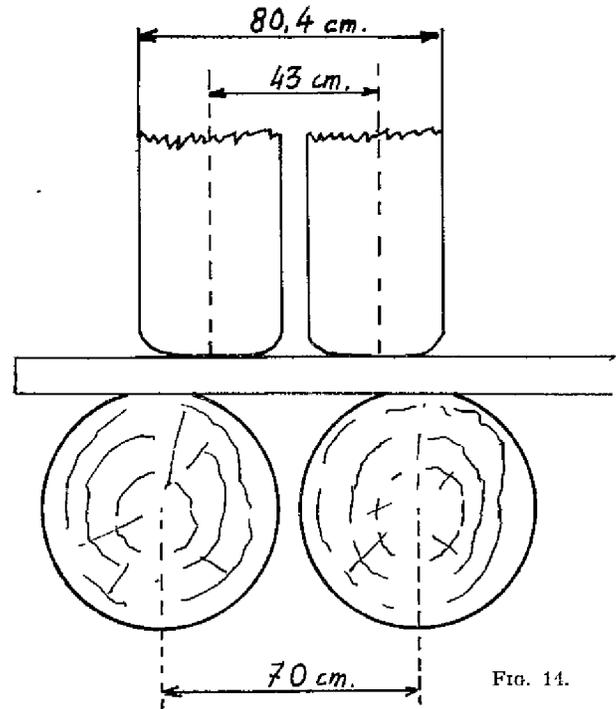


Fig. 14.

l = longueur en cm du madrier considéré, soumise à la charge.

La contrainte en flexion est :

$$n = \frac{MF}{I} \text{ avec } \frac{I}{V} = \frac{bh^2}{6}$$

où n = contrainte admissible en flexion soit 120 kg/cm²

b = largeur du madrier en cm

h = épaisseur du madrier en cm.

En fixant une valeur de b a priori, on calcule h.

Pour b = 22 cm, on a :

$$h^2 = \frac{84.000 \times 6}{120 \times 22} = 190 \text{ cm}^2$$

ce qui donne 13 cm < h < 14 cm.

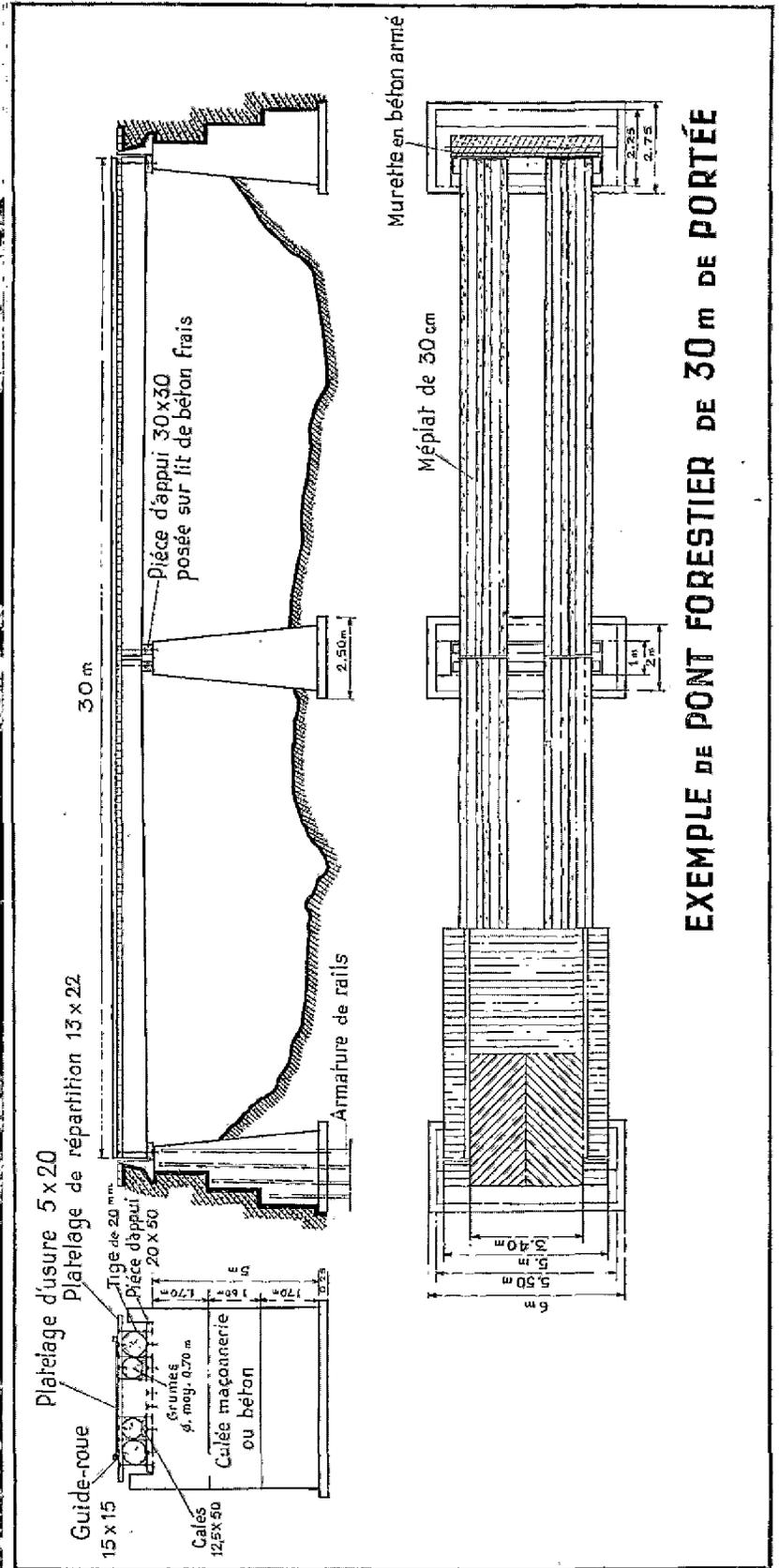
Cette épaisseur a été calculée en supposant que la charge de l'essieu du tracteur ne s'applique que sur un seul madrier. Or, en pratique, elle se répartit sur plusieurs madriers à la fois, l'écartement de ceux-ci étant très faible, le calcul nous fixe donc une marge de sécurité totalement satisfaisante.

REMARQUE IMPORTANTE

On rencontre assez souvent un platelage constitué par une couche de gaulettes de 2 ou 3 cm de diamètre

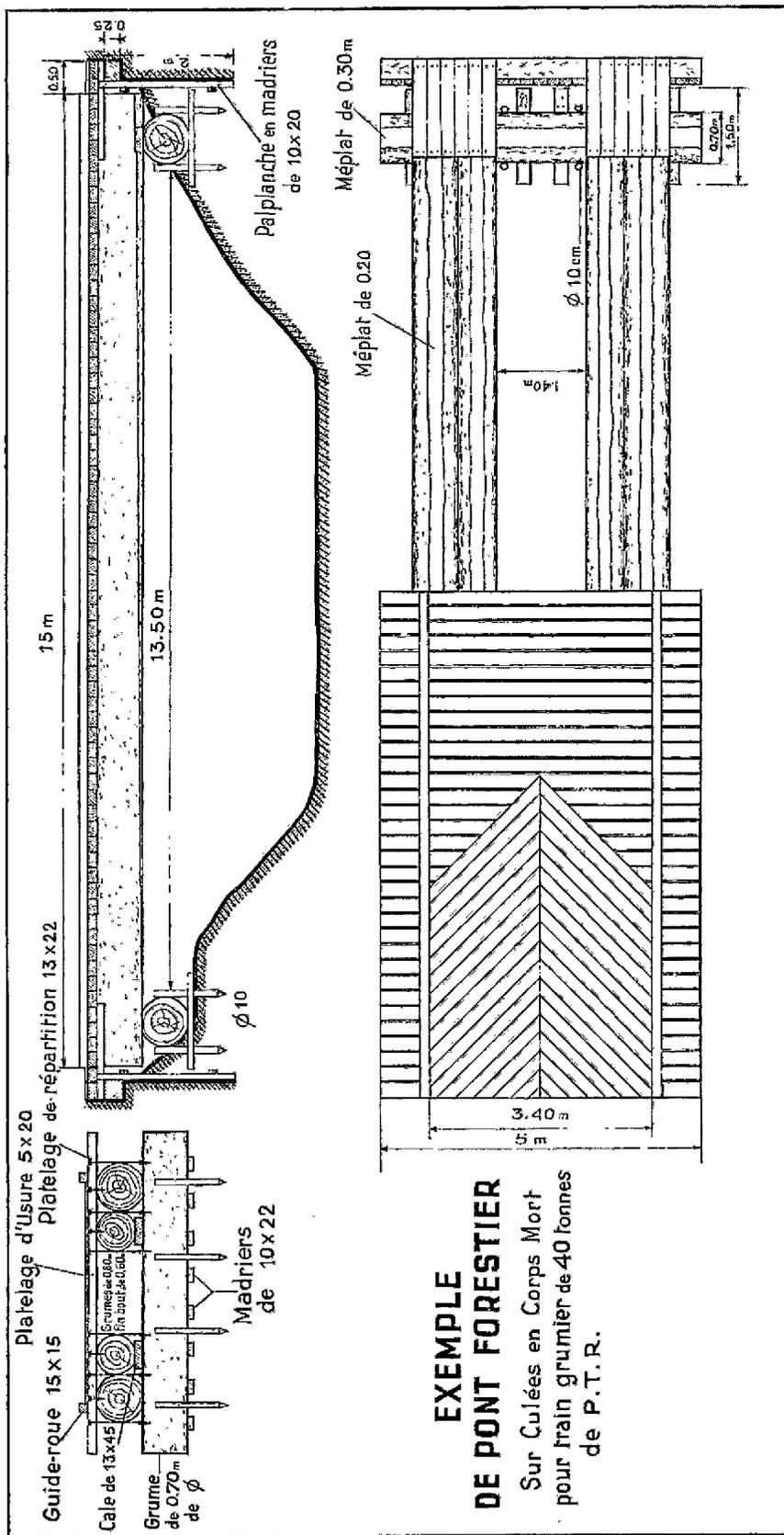
(1) Il est en effet conseillé d'espacer légèrement les poutres de travure de manière à permettre une meilleure évacuation des eaux et des débris pouvant se trouver sur le pont.

que l'on recouvre de latérite. Cette solution est à déconseiller. Si cette pratique courante se justifie du point de vue prix de revient pour des ponts de faible portée, elle est à condamner du point de vue technique pour deux raisons :



Acajou près de Yapa.

Photo P. Sarlin.



Plantation de Limba en layon. Mboku Nsitu — Congo, 1961.

Photo J. Groulez.

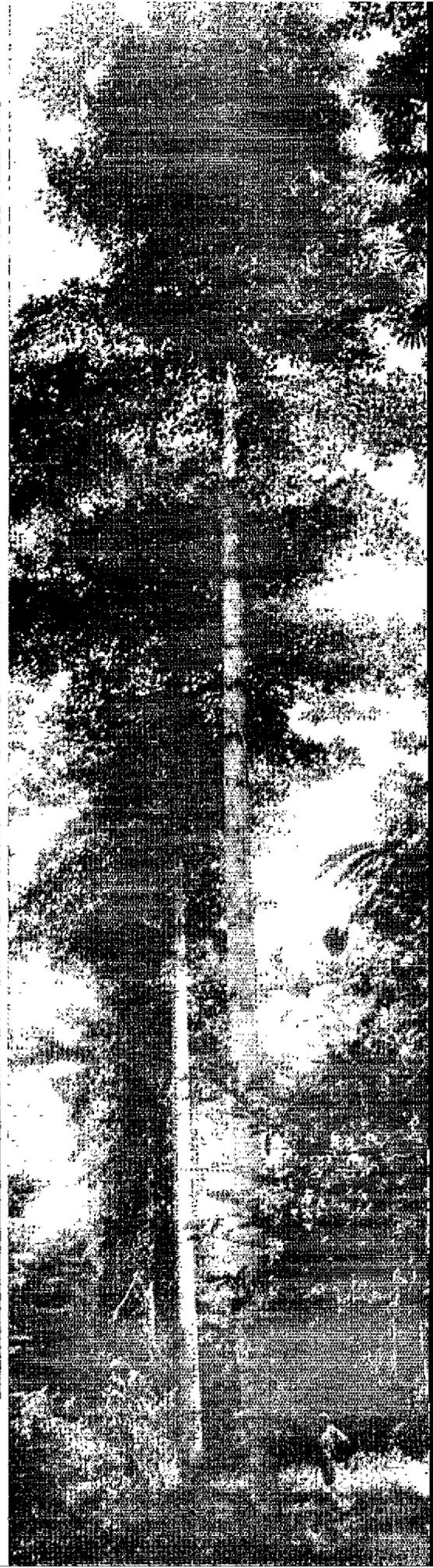




Photo J. Estève.

Pont de 17 m avec culées en corps mort et platelage de gaudettes recouvertes de latérite. Le nombre élevé de poutres de travure permet à l'ouvrage de supporter la lourde surcharge causée par la couche de latérite (cf. photo p. 43).

1) l'épaisseur moyenne de la couche de latérite nécessaire varie entre 30 et 50 cm. En admettant une densité moyenne de la latérite de 2,3, la surcharge permanente supplémentaire imposée à l'ouvrage par rapport à un platelage en avivés, est respectivement de 2,8 t et 4,6 t au mètre linéaire, soit 25 t et 53 t, sur l'ensemble de la portée d'un pont de 15 m.

Rapportée au calcul de la flèche, cette surcharge provoque une augmentation de la flèche permanente de 1,5 à 2,5 cm.

2) cette couche de latérite conserve l'humidité et constitue un milieu favorable à la pourriture des bois. Cette technique est donc très préjudiciable à la fois à la solidité et à la durée de la vie de l'ouvrage.

* * *

Dans un prochain numéro, nous présenterons la suite de cette étude concernant la construction des fondations et culées des piles intermédiaires ainsi que des suggestions pratiques de mise en œuvre.