Ouvrage numérisé par la ***bibliothèque Michel Serres, Ecole Centrale de Lyon*** *(Ecully, France)*

Ce document a subi une ***reconnaissance automatique de caractères*** *(OCR). Vous pouvez donc* ***rechercher un mot*** *sur tout son contenu via l'outil de recherche de votre lecteur de fichiers .pdf. Vous pouvez également* ***réaliser un copier-coller*** *de texte (attention : aucune correction n'a été réalisée suite à l'OCR, nous vous conseillons de bien* ***relire le texte copié****)*

ECOLE CENTRALE LYONNAISE 1857
Institut 1880 de l'Université de Lyon
Ecole de physique industrielle

LA RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX SIMPLIFIÉE

LOUIS COMMANDEUR
INGÉNIEUR MÉCANICIEN E.C.L.
BOULEVARD DES BROTTEAUX, 7
LYON

ÉCOLE CENTRALE LYONNAISE
ÉCOLE TECHNIQUE SUPÉRIEURE

CALCUL IMMÉDIAT

1546

DES

FERMES DE CHARPENTE

En Fer et en Bois

NOUVELLE MÉTHODE

PAR

LOUIS DURAND
Ingénieur civil des Mines

DROITS RÉSERVÉS

SAINT-ÉTIENNE
IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE ET LITHOGRAPHIQUE RÉGIS NEYRET
1896

TOUS DROITS RÉSERVÉS

AVANT-PROPOS

Lorsqu'on est chargé de dresser un projet de construction, le temps dont on dispose est généralement très limité; aussi arrive-t-il fréquemment que le rédacteur d'un projet, après avoir perdu un temps précieux à parcourir les auteurs traitant de la question, ne rencontrant que des calculs compliqués et des formules convenant peu pour une solution rapide, finit par se résoudre à puiser dans un album ou recueil quelconque, dans l'espoir d'y trouver un ouvrage à peu près similaire de celui qu'il doit édifier. Il est bien rare que l'on rencontre tout fait, un ouvrage convenant entièrement au cas que l'on doit traiter, et alors, si le rédacteur du projet ne possède pas une instruction technique suffisante pour bien se pénétrer de l'influence des modifications qu'il apporte, il s'expose à des mécomptes de divers genres, dont le moindre est une exagération des dimensions et, par suite, une dépense inutile.

Les questions les plus usuelles de la *résistance des matériaux* demandent, pour être traitées théoriquement, des connaissances que ne possèdent pas à un degré suffisant tous ceux qui peuvent être appelés à faire des applications de cette science, d'où la grande faveur des procédés empiriques : tableaux, barêmes, graphiques, etc., n'exigeant qu'une instruction élémentaire et permettant cependant de résoudre, vite et bien, la plupart des problèmes de la construction courante.

Depuis quelques années, les procédés graphiques ont permis de simplifier singulièrement la pratique de la résistance des matériaux ; la statique graphique a, sur l'analyse mathématique, l'avantage inappréciable de donner l'image exacte de la variation des efforts, d'où l'on déduit ensuite très facilement une distribution rationnelle de la matière. — Certains problèmes dont la solution analytique conduit à des calculs inextricables sont résolus par les procédés graphiques avec la plus grande facilité et surtout avec une rapidité extraordinaire. La statique graphique est attrayante, facile à comprendre et n'exige que la connaissance de quelques principes de mécanique élémentaire : règle du parallélogramme des forces et théorème des moments ; elle peut donc être étudiée avec fruit par tous ceux qui possèdent l'instruction secondaire, mais reste inaccessible à ceux qui n'ont reçu qu'une instruction élémentaire.

Le travail qui forme l'objet de cet ouvrage tient de la méthode analytique et de la méthode graphique : le calcul d'une ferme de charpente étant un problème usuel, nous avons pensé qu'il y avait quelque intérêt à indiquer des solutions simples et vraiment à la portée de tous.

Les lecteurs qui connaîtront la statique graphique penseront de prime abord que notre travail ne peut leur être d'aucune utilité ; il nous suffira de leur rappeler qu'une épure statique exige toujours un certain effort intellectuel, qui sera complètement évité avec nos formules ou avec nos diagrammes. Quant aux lecteurs ne possédant qu'une instruction élémentaire et, par suite, ignorant la statique graphique, nous pensons qu'ils éprouveront une certaine satisfaction en rencontrant une méthode donnant la solution cherchée avec un *minimum* de temps et un effort intellectuel presque nul.

Nos formules font ressortir les rapports harmoniques existant entre les efforts des différents éléments d'une ferme, rapports que la statique graphique elle-même ne mettait pas suffisamment en lumière.

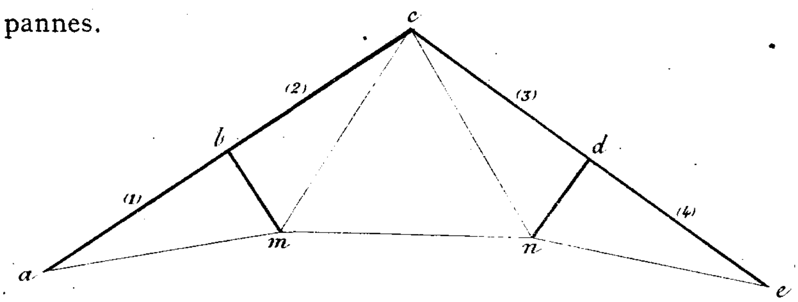
Nos *diagrammes des efforts* ne sont que la traduction graphique des formules ; ils ont l'avantage bien appréciable de permettre à toute personne connaissant l'usage de la règle et du compas de pouvoir déterminer, avec une rapidité surprenante et sans aucun travail intellectuel, tous les efforts d'extension et de compression subis par les divers organes d'une ferme. Dans tous les cas, ces diagrammes constitueront un contrôle sûr des résultats obtenus par le calcul et rendront ainsi toute erreur impossible.

INTRODUCTION

ET

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Dans une ferme de charpente, certains organes travaillent à l'extension, d'autres à la compression (1), et quelquefois, simultanément à la flexion; la présence de ce dernier mode de travail entraîne presque toujours une solution défectueuse; il n'est pas économique et doit être évité le plus possible; on sait que pour atteindre ce but il suffit, dans une ferme de charpente, de faire coïncider les points d'appui des pannes avec les nœuds des fermes (points de rencontre des divers éléments) et de ne pas interposer d'autres pannes.



Ainsi, considérons, par exemple, un Polonceau simple à deux bielles *bm* et *nd*; si on se borne à placer des pannes aux points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, on n'aura que des efforts d'extension et de compression : compression pour les éléments *ab*, *bc*, *cd*, *de*, composant les arbalétriers, et aussi pour les deux bielles *bm*, *nd*; tous les autres éléments *am*, *mc*, *cn*, *ne* et *mn*, appelés tirants, ne travailleront qu'à l'extension. Nous ferons remarquer, en passant, que ces derniers éléments pourraient être constitués par des organes filiformes, tels que des cordes ou des câbles; en effet, il n'est pas nécessaire qu'ils possèdent une rigidité longitudinale, puisque les seules forces qui les sollicitent tendent à éloigner leurs deux extrémités. Les éléments des arbalétriers et les deux bielles *bm* et *nd* travaillent, au contraire, à la compression, c'est-à-dire qu'ils sont sollicités par des forces tendant à rapprocher leurs deux extrémités, d'où l'absolue nécessité de leur donner une structure aussi rigide que possible, eu égard à la quantité de matière employée; aussi choisit-on de préférence, pour ces derniers organes, des fers double **T** à larges ailes pour les arbalétriers et des fers à section cruciforme pour les bielles.

Supposons maintenant que l'on vienne interposer des pannes aux points 1, 2, 3, 4; de ce fait, tous les efforts d'extension et de compression déjà existants subiront un accroissement et il se développera, en outre, des efforts de flexion dans les quatre tronçons des arbalétriers. Pour

(1) Dans tous les profils de ferme qui suivront, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

déterminer les nouvelles sections qui conviendraient, il faudrait, évidemment, tenir compte des nouveaux efforts engendrés. On calculerait séparément le taux du travail de la matière *pour la flexion seule* et on l'ajouterait à celui qu'on aurait trouvé, d'autre part, pour les nouveaux efforts de compression.

Pour une ferme établie suivant la dernière hypothèse, nos formules ne donneraient pas la solution complète de la question (elles n'ont été établies qu'en vue des efforts d'extension et de compression) ; du reste, dans ce cas, la statique graphique elle-même est également impuissante ; après avoir fait une épure pour déterminer les efforts d'extension et de compression, on est obligé de traiter l'arbalétrier à part, de le considérer comme une poutre appuyée ou partiellement encastrée aux points a, b, c, et de déterminer séparément son travail à la flexion.

Il est donc bien entendu que *nous ne considérons que des fermes chargées à leurs nœuds* et ne pouvant, par suite, subir dans chacun de leurs éléments que des efforts d'extension ou de compression ; — nous répétons que ce mode de construction est le plus rationnel, le plus économique et le seul dont les solutions puissent être données directement par nos formules ou par la statique graphique.

Nous nous sommes seulement proposé de donner *en kilogrammes* la valeur de l'effort subi par chacun des éléments ; nous laissons au lecteur le soin de choisir la matière, la forme la plus convenable de la section pour éviter le flambage, de disposer les assemblages, etc., etc.

Ces dernières questions ne sont certainement pas à négliger dans la préparation d'un projet, mais on les trouve traitées dans tous les ouvrages, et n'ayant, quant à présent, rien à proposer de meilleur que ce qui existe, nons n'avons pas cru devoir nous encombrer de simples reproductions; nous nous sommes strictement renfermé dans la question de la *détermination des efforts*, qui est d'importance capitale.

Lorsqu'on connaîtra l'effort subi par un organe, il sera très facile d'en déduire la section : on sait, que pour le fer, on prend généralement, pour les charpentes, 8 Kg pour le taux du travail par millimètre carré, soit F l'effort en kilogrammes ; $\frac{F}{8}$ donnera la section en millimètres carrés (1).

Pour le bois, le taux du travail varie suivant la qualité et la nature du bois mis en œuvre ; il est généralement compris entre 60 et 80 Kg par centimètre carré.

Nous croyons devoir indiquer ici les considérations qui nous ont guidé dans nos recherches.

Dans tout projet de charpente, il y a lieu de considérer la *portée* des fermes, leur *espacement* et la *charge* qu'elles doivent supporter ; cette charge est variable suivant la nature et la composition de la couverture (tuiles de diverses formes, ardoises, zinc, etc.). La *portée* et l'*espacement* sont ce que nous appellerons des *données directes* ; quant à la charge, il appartient au constructeur de la déterminer ; on trouve dans tous les traités spéciaux les charges par mètre carré superficiel pour toutes les couvertures usitées.

Il ne faut pas oublier que ce terme doit comprendre également la surcharge due à la neige,

---

(1) Lorsqu'une pièce travaillera à la compression, il faudra, en outre, se préoccuper de sa résistance au flambage ; la plupart des ouvrages et des aide-mémoire donnent les formules qu'il convient d'appliquer, lorsque ce genre de flexion est à redouter.

la pression du vent et même le poids propre de la ferme, qui se détermine par analogie ou par une étude approximative et préalable.

Nous supposons que le rédacteur du projet ait déjà fait, dans des ouvrages spéciaux, les recherches nécessaires et qu'il ait, finalement, déterminé l'*effort total* par mètre carré superficiel (non projeté) que doit supporter la charpente qu'il veut calculer (1). Etant en possession de ces trois quantités : *espacement*, *portée*, *poids total du mètre carré superficiel*, considérons-les, pour un instant, comme des variables et demandons-nous quelle pourrait être l'influence de chacune d'elles sur l'effort éprouvé par chaque élément d'une ferme ? ou bien, pour parler d'une façon moins abstraite, supposons que nous ayons, par un procédé quelconque, calculé les efforts subis par tous les éléments d'une ferme, avec *un espacement, une portée* et *une charge déterminés* ; qu'adviendra-t-il si nous faisons varier séparément ou simultanément ces trois données ?

Il est très facile de démontrer que l'effort d'un élément quelconque varie proportionnellement à l'une ou l'autre de ces trois quantités et, par suite, à leur produit ; d'où, si nous les désignons par les lettres E, l, p, dans toutes nos formules, *quel que soit le type de la ferme*, l'expression de l'effort F subi par *un organe quelconque* pourra toujours comprendre le produit $E \times l \times p$ combiné avec un coefficient numérique et un certain nombre de fonctions (f_1, f_2, f_3...), qui ne sont autre chose que des expressions trigonométriques ou des fonctions circulaires, de sorte que la formule générale d'un effort quelconque sera :

$$F = (\text{coefficient numérique}) \times E\,l\,p \times \underbrace{(f_1, f_2, f_3 \ldots\ldots)}_{\text{fonctions circulaires ou trigonométriques}}$$

Nous avons trouvé que le nombre des fonctions f pouvait, après avoir fait les transformations nécessaires, être très réduit, 5 au maximum (2) et nous les avons calculées pour toutes les valeurs de l'angle, depuis 0° à 90°, de 30′ en 30′, ce qui, en pratique, est largement suffisant ; cependant, si le lecteur voulait une plus grande approximation, il lui serait loisible de faire l'interpolation proportionnelle (elle ne serait utile que pour le calcul des fermes de très grande portée).

Nous avons pensé qu'il serait inutile et peut-être même nuisible de donner ici les démonstrations de nos formules (3) ; la reproduction de nos calculs serait longue et fastidieuse ; nous avons suffisamment indiqué la voie suivie pour que les lecteurs qui ont quelque pratique de l'analyse mathématique la plus élémentaire et quelques notions de mécanique puissent, s'ils le désirent, les établir eux-mêmes ; quant à ceux dont l'instruction serait insuffisante pour leur permettre de se livrer à cet exercice, la simple vue de nombreux symboles pourrait les décourager et leur faire rejeter, *a priori*, notre travail, avant même d'en avoir connu le côté utilitaire.

Nous avons fait disparaître jusqu'aux désignations habituelles de la trigonométrie, afin de permettre à ceux de nos lecteurs ne possédant qu'une instruction élémentaire de pouvoir se servir avec fruit de nos recherches.

---

(1) Nous donnons, sous le titre *Renseignements pratiques*, deux tableaux dont les données pourront servir pour tous les projets courants.

(2) Ces cinq fonctions sont : $\frac{1}{\textit{sinus}}$, $\frac{1}{\textit{cosinus}}$, $\frac{1}{\textit{sinus. cosinus}}$, *cosinus et tangente.*

(3) Nous avons publié la théorie de notre méthode dans le *Bulletin mensuel de l'Industrie minérale* du mois de janvier 1895 et dans la *Revue métallurgique* du mois de mars 1895.

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

D'après Planat, on peut, pour déterminer p, se baser sur les données suivantes :

NATURE DE LA COUVERTURE	LIMITE de l'inclinaison sur l'horizon	POIDS du mètre superficiel de couverture	POIDS DE LA CHARPENTE par mètre superficiel	
			Sapin	Chêne
Tuiles plates à crochets	45° à 33°	60 kil.	38 kil.	58 —
Tuiles creuses posées à sec	27 à 21	75 à 90 —	35 —	52 —
Tuiles creuses maçonnées	31 à 27	136 —	40 —	60 —
Tuiles mécaniques	45 à 21	45 à 50 —	35 —	55 —
Ardoises	45 à 33	38 —	34 —	50 —
Cuivre en feuilles	21 à 18	14 —	25 —	38 —
Zinc et tôle galvanisée	21 à 18	8k 5	25 —	38 —
Mastic bitumeux	21 à 18	25 kil.	34 —	50 —

Ces poids sont rapportés au mètre superficiel de couverture compté suivant l'inclinaison de celle-ci. (1)

Il faudra, en outre, ajouter de 30 à 40 kilos pour les surcharges accidentelles : neige et pression du vent.

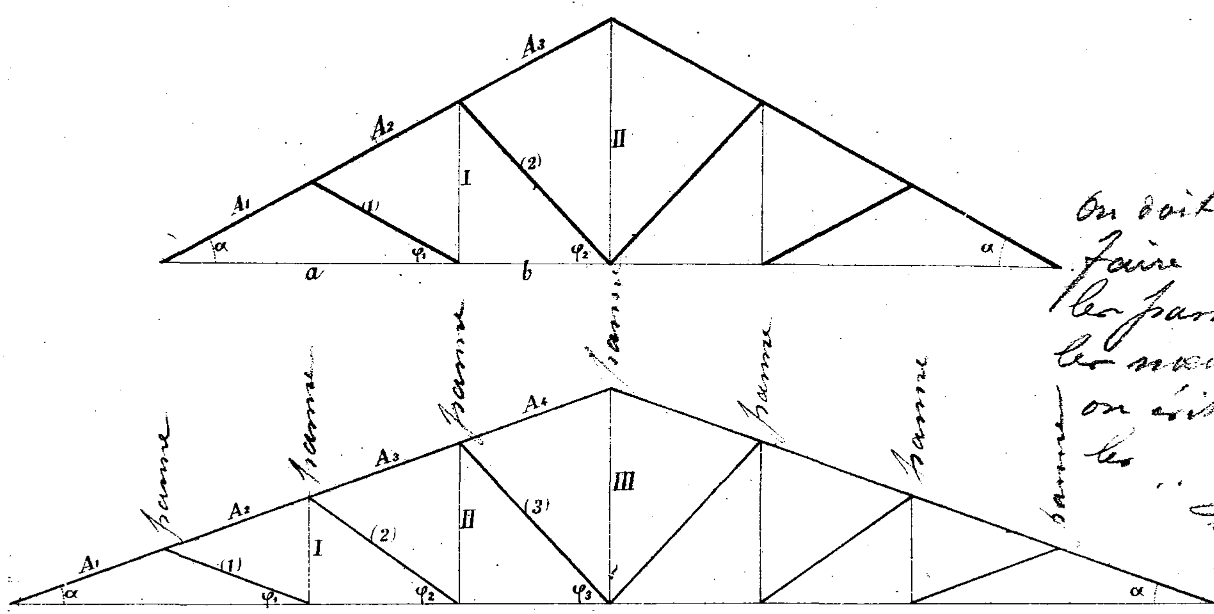
Pour les charpentes métalliques, on peut prendre comme chiffre approché à admettre dans un premier calcul les nombres suivants. (Extrait de l'ouvrage de G. Oslet) :

NATURE DE LA COUVERTURE	POIDS DE LA CHARPENTE à admettre par mètre carré de toiture
Tuiles plates	55 kil.
Tuiles à emboîtement	50 —
Petites ardoises	50 —
Grandes ardoises	50 —
Zinc	40 —

(1) Certains ouvrages donnent P, le poids par mètre carré réel de *surface à couvrir*, c'est-à-dire de surface horizontale, on a : $\frac{p}{P} = \cos \alpha$, α étant l'angle de pente ou inclinaison de l'arbalétrier.

Si donc, on prenait P dans un autre ouvrage, pour en déduire p il faudrait multiplier par $\cos \alpha$. Cette valeur est donnée dans la 4me colonne de nos tables.

SÉRIE A



On doit toujo
faire coin
les pannes avec
les nœuds.
on évitera ainsi
les [illegible] de flexion

Considérons les deux fermes ci-dessus; elles sont de portées différentes, de hauteurs différentes; les angles à la base α sont aussi différents; cependant ces fermes ont un caractère commun : les éléments *I, II* de la première sont verticaux, de même que les éléments *I, II, III* de la seconde; ce qui constitue la différence essentielle entre ces deux fermes, c'est le nombre des éléments de l'arbalétrier : dans la première, nous en avons trois (A_1, A_2, A_3) et dans la deuxième quatre (A_1, A_2, A_3, A_4). On conçoit que l'on puisse établir des fermes du même genre, l'arbalétrier étant divisé en autant de travées que l'on voudra, en conservant toujours aux contrefiches ou étrésillons *(I, II, III....)* *((1), (2), (3)....)* la disposition ci-dessus.

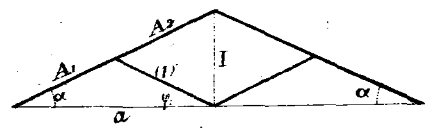
Nous désignerons le nombre d'éléments A_1, A_2, A_3, A_4 ou de travées par *N*. Tous les efforts des fermes du genre ci-dessus dérivent d'une formule générale dans laquelle il suffit de donner à *N* les valeurs *2, 3, 4, 5*, etc.... pour avoir les formules particulières au cas de *2, 3, 4, 5*, etc.... travées. Nous avons appliqué la formule générale pour toute cette série de fermes jusqu'à dix travées d'arbalétrier.

Le lecteur remarquera que la première ferme de cette série, pour $N = 2$, n'est pas autre chose que la ferme dite ordinaire (1).

---

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

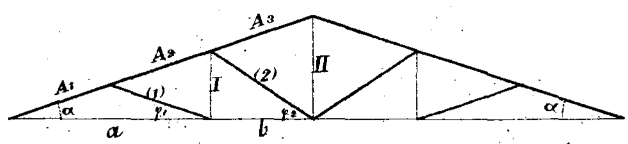
N = 2



FORMULES

$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{8} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{2}{8} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{2}{8} \times$ » d° »			

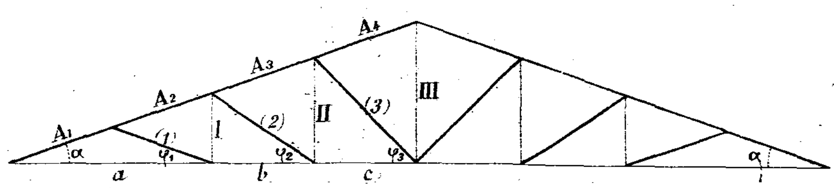
N = 3



FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{4}{12} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{3}{12} \times$ » d° »			

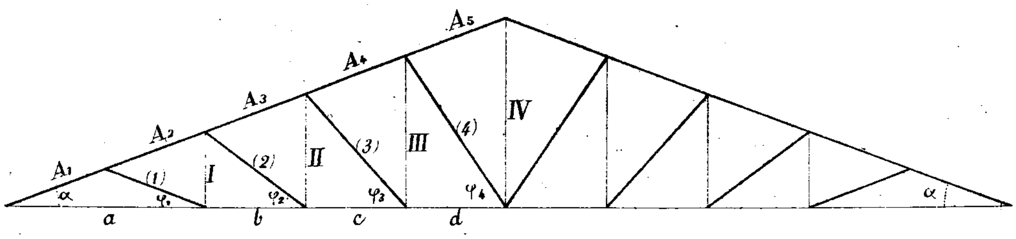
N = 4



FORMULES

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{16} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{16} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$b = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{16} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$c = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{16} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{6}{16} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{4}{16} \times$ » d° »			

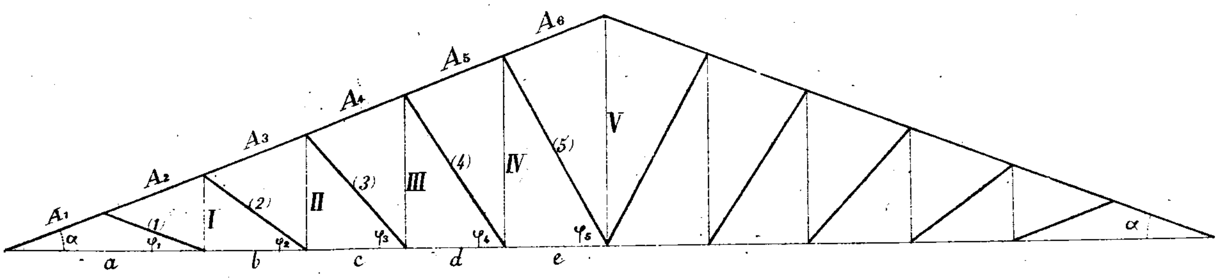
N = 5



FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{20} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{20} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{8}{20} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{5}{20} \times$ » d° »			

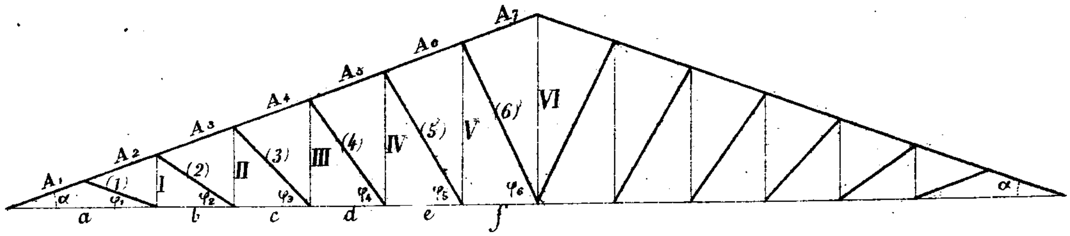
N = 6



FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{24} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{24} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{24} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{10}{24} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{6}{24} \times$ » d° »			

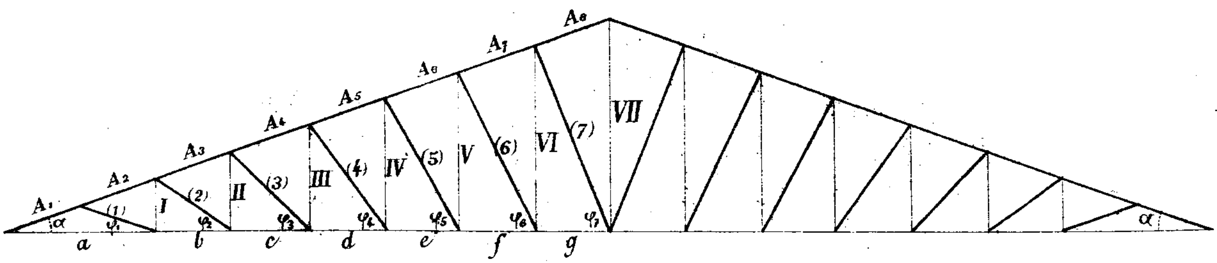
N = 7



FORMULES

$A_1 = \frac{13}{28} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{13}{28} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{28} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{28} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{28} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{28} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{28} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{28} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{28} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{12}{28} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{7}{28} \times$ » d° »			

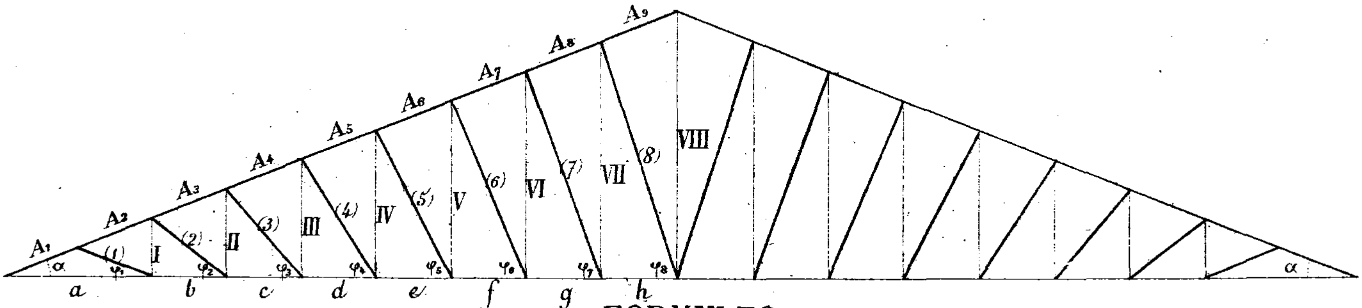
N = 8



FORMULES

$A_1 = \frac{15}{32} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{15}{32} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{32} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{32} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{32} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{32} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{32} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{32} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{32} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{32} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{14}{32} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{8}{32} \times$ » d° »			

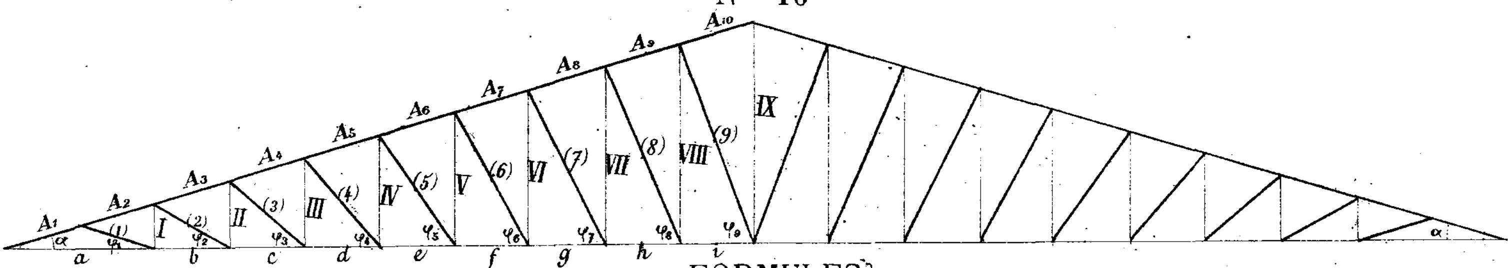
N = 9



FORMULES

$A_1 = \frac{17}{36} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{17}{36} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{36} \times E l p \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{36} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{36} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{36} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{36} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{36} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{36} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{7}{36} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{36} \times$ » K_{φ_8} »	$VIII = \frac{16}{36} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{9}{36} \times$ » d° »			

N = 10



FORMULES

$A_1 = \frac{19}{40} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{19}{40} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{40} \times E l p \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{40} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$b = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{40} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{40} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$c = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{40} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{40} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$d = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{40} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{40} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$e = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{40} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{40} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$f = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{40} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{40} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$g = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{40} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{7}{40} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$h = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{40} \times$ » K_{φ_8} »	$VIII = \frac{8}{40} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$i = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$(9) = \frac{9}{40} \times$ » K_{φ_9} »	$IX = \frac{18}{40} \times$ » d° »
$A_{10} = \frac{10}{40} \times$ » d° »			

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE A

La ferme représentée ci-contre est la ferme dite *ordinaire*, avec une contrefiche partant du milieu de l'arbalétrier et aboutissant à l'extrémité inférieure du poinçon.

FORMULES

Les efforts sont donnés par les formules suivantes :

Effort en kilogrammes dans l'élément $(1) = \frac{1}{8} \times [E \times l \times p] \times S_\alpha$

» » $A_2 = \frac{2}{8} \times [E \times l \times p] \times S_\alpha$

» » $A_1 = \frac{3}{8} \times [E \times l \times p] \times S_\alpha$

» » $a = \frac{3}{8} \times [E \times l \times p] \times K_\alpha$

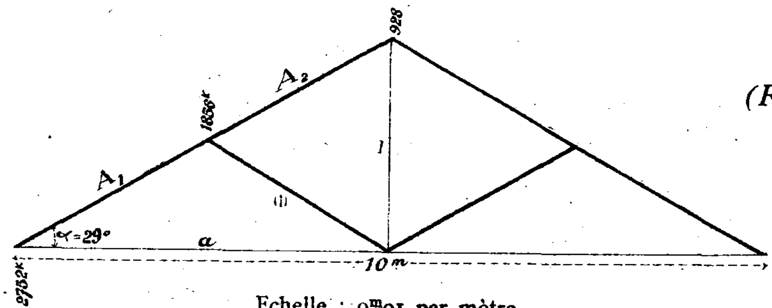
» » $I = \frac{2}{8} \times [E \times l \times p] \times R_\alpha$

Exemple. — Supposons qu'on nous demande les efforts subis par les divers éléments d'une ferme de 10 mètres de portée, chargée à raison de $160^{\text{kil.}}$ tout compris : neige, pression du vent, etc.... On se propose, dans le projet à l'étude, d'espacer les fermes de 4 mètres.

Nous avons donc . E espacement des fermes $= 4^{\text{m}}$
l portée de la ferme $= 10^{\text{m}}$
p poids du mètre carré $= 160^{\text{k}}$ (toiture et toutes surcharges comprises).

Le produit de ces trois données entrant dans toutes les formules, nous le formons une fois pour toutes; nous avons $E \times l \times p = 4 \times 10 \times 160 = 6400$, l'effort $(1) = \frac{1}{8} \times 6400 \times S_\alpha$, il ne reste plus qu'à trouver la valeur de S_α pour avoir la valeur de l'effort (1); pour cela nous mesurons au rapporteur l'angle α formé par l'entrait et l'arbalétrier *(Fig. 1)*, nous trouvons $\alpha = 29°$, nous cherchons dans la table l'angle 29° et sur la même ligne horizontale $S = 2.3584$ soit 2,36, il vient donc $1 = \frac{1}{8} \times 6.400 \times 2{,}36 = 1888$. Les valeurs K_α et R_α sont sur la même ligne horizontale de la table; $K_\alpha = 2.06$ et $R_\alpha = 1.14$; nous n'avons qu'à introduire ces valeurs dans les expressions de a et I pour avoir la valeur de ces efforts.

PROFIL DE LA FERME

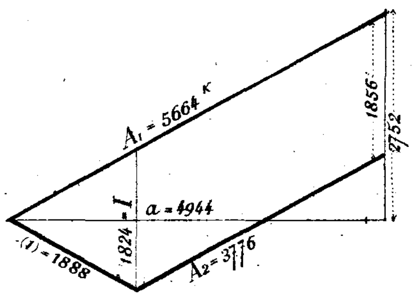


(*Fig.* 1)

Echelle : 0^m01 par mètre

L'épure statique n'est là que pour montrer la concordance avec no méthode

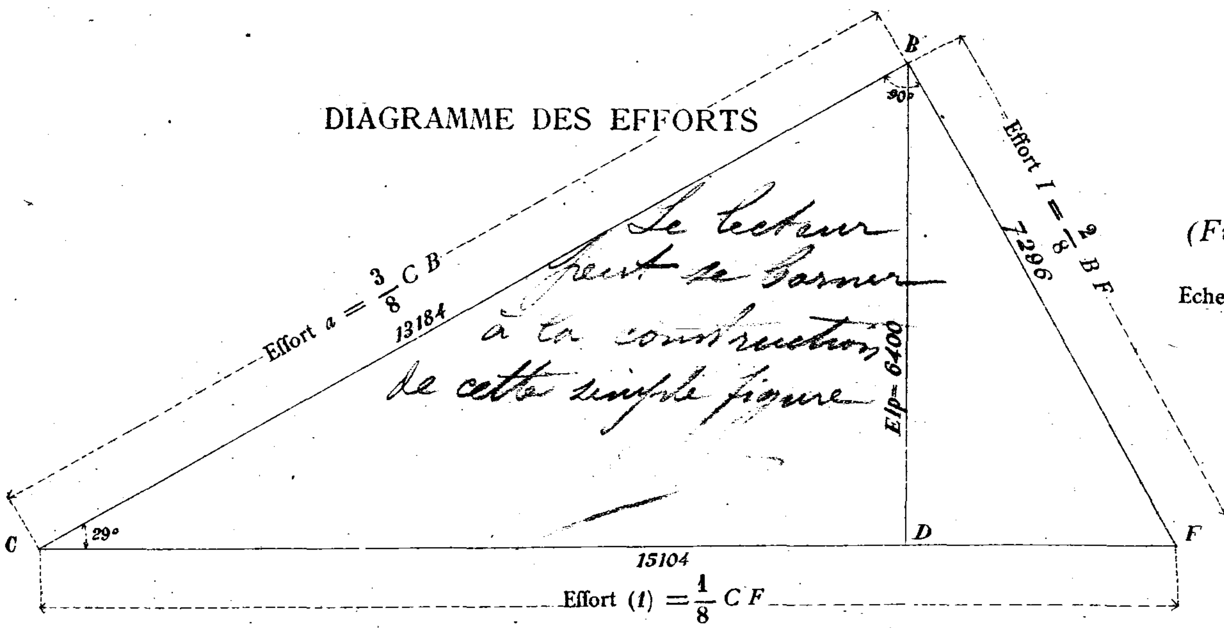
ÉPURE STATIQUE



(*Fig.* 2)

Echelle : 0^m01 pour 1000^k

DIAGRAMME DES EFFORTS



Le lecteur peut se borner à la construction de cette simple figure

(*Fig.* 3)

Echelle $= \frac{1}{1000}$

Effort (1) $= \frac{1}{8}\, C F$

» $A_2 = \frac{2}{8}\, C F$

» $A_1 = \frac{3}{8}\, C F$

Pour ce type de ferme, le *diagramme des efforts* est un triangle rectangle formé comme suit :

Sur une horizontale on mène la perpendiculaire $DB = Elp$, soit pour l'exemple choisi $Elp = 6400$; par le point B ainsi obtenu, on mène une parallèle à l'arbalétrier de la ferme, de sorte que l'angle $BCD = \alpha$; on complète le triangle en menant BF perpendiculaire à BC. Les efforts sont tous des parties aliquotes des côtés BC, CF, BF.

DEUXIEME EXEMPLE DE LA SÉRIE A

Cette ferme fait partie de la série A; les montants *I*, *II*, *III*, etc., sont verticaux; l'arbalétrier étant divisé en 5 parties égales, nous devons appliquer les formules trouvées précédemment pour N = 5. Nous les reproduisons ici :

FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{20} \times E l p \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha$	$I = \frac{1}{20} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{8}{20} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{5}{20} \times$ » d° »			

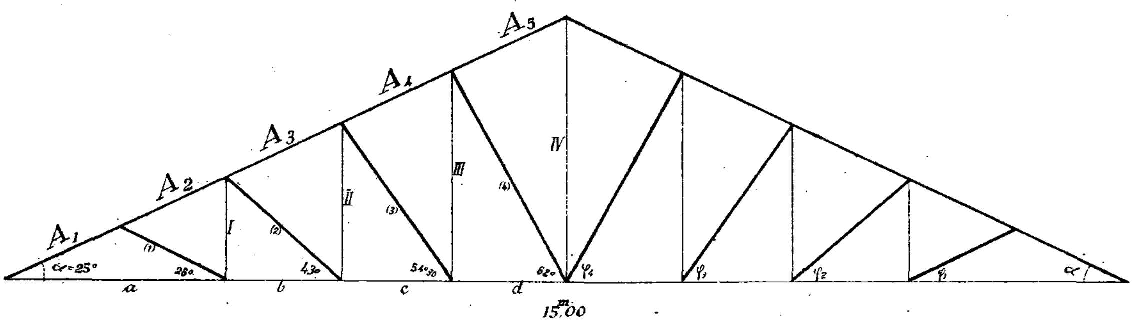
La ferme que nous avons choisie a 15^{m} de portée, d'où $l = 15^{m}$. Nous la supposons chargée à raison de 120^{kil} (toutes surcharges comprises, même le poids de la ferme uniformément réparti), donc $p = 120^{k}$. D'après le projet à l'étude, nous sommes amené à espacer les fermes de 5^{m}, donc $E = 5$. Nous avons donc $E \times l \times p = 5 \times 15 \times 120 = 9000$.

Nous mesurons ensuite au rapporteur les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, nous trouvons les graduations portées sur la figure, ensuite nous cherchons dans la table des constantes l'angle $\alpha = 25°$, en regard nous trouvons $K_\alpha = 2.37$, $R_\alpha = 1.10$, $S \ = 2.61$; nous cherchons ensuite de même pour chacun des angles φ_1, φ_2, etc...' nous trouvons $K\varphi_1 = 2.37$, $K\varphi_2 = 1.47$, $K\varphi_3 = 1.23$, $K\varphi_4 = 1.13$.

Il n'y a donc plus qu'à porter ces valeurs dans les formules ci-dessus et on obtiendra en kilogrammes la valeur de tous les efforts; nous les avons tous calculés et consignés sur l'épure statique pour montrer la concordance de notre méthode avec la statique graphique. Le lecteur remarquera que pour les efforts A_1, A_2, etc..., il conviendra de calculer d'abord A_5, de prendre le cinquième du résultat et ensuite par des additions successives on obtiendra A_4, A_3, A_2, A_1; même remarque pour les efforts *a*, *b*, *c*, *d*, et aussi pour *I*, *II*, *III*, *IV*.

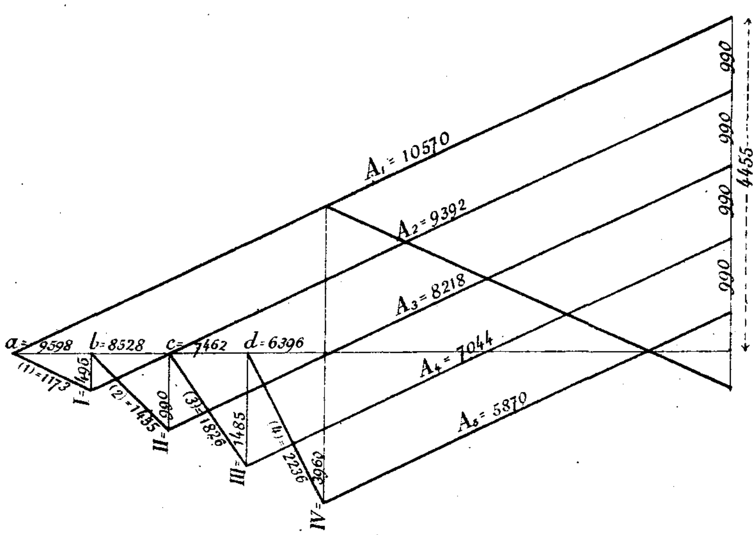
PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1000}$



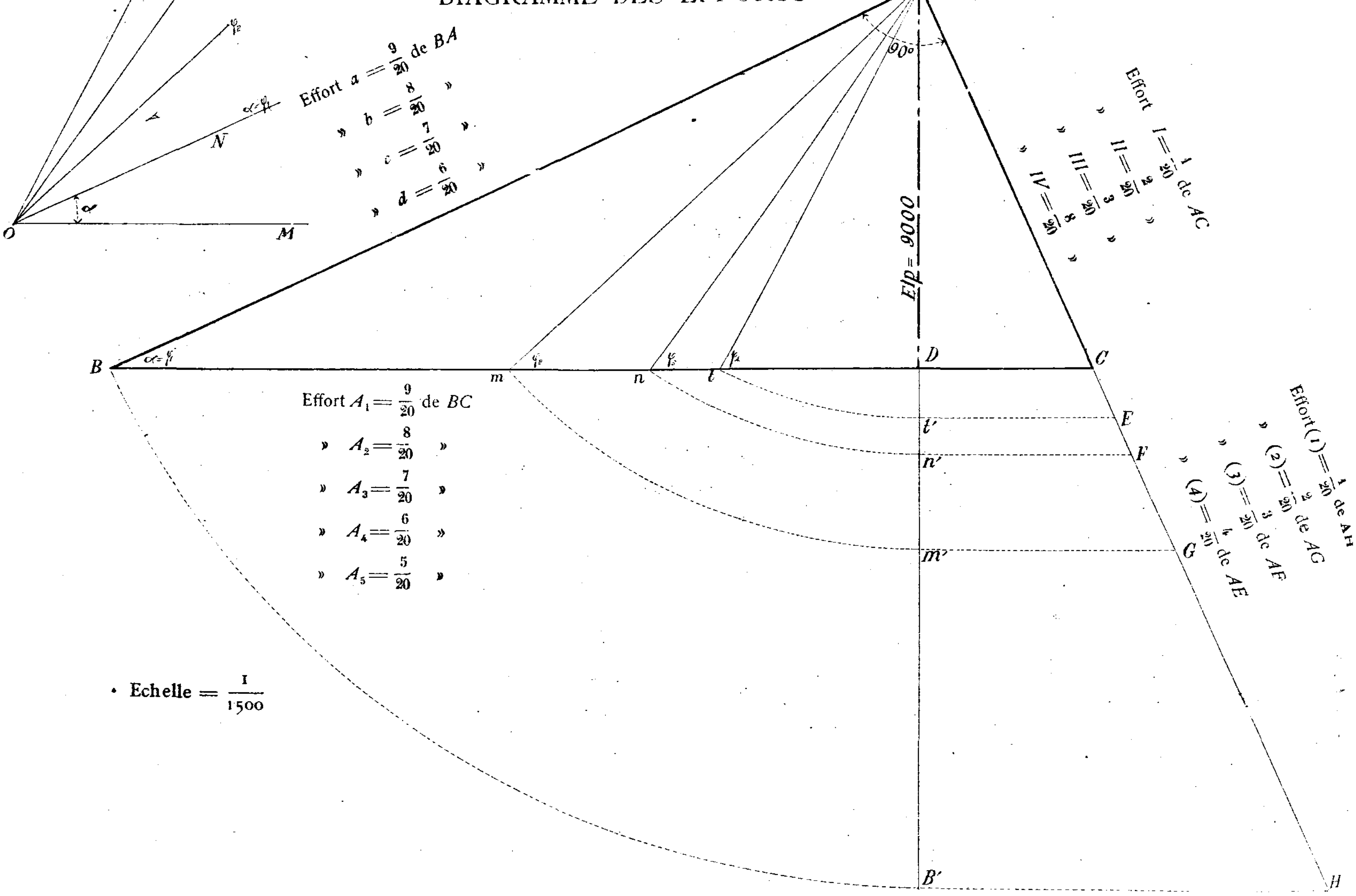
ÉPURE STATIQUE

Echelle : 0^m01 pour 1000^k



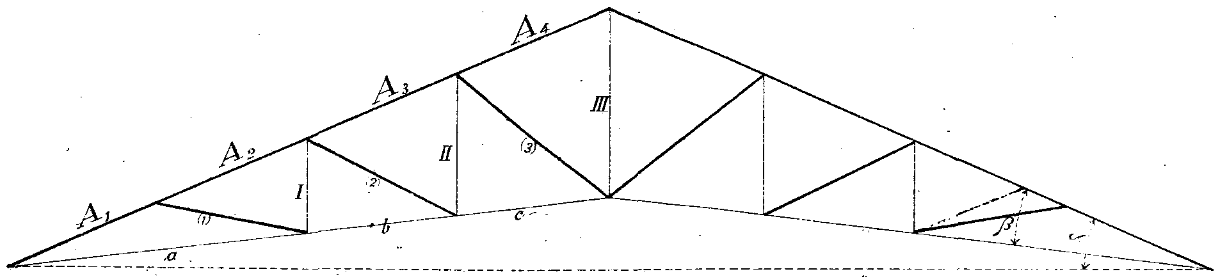
(Voir à la page suivante le diagramme des efforts)

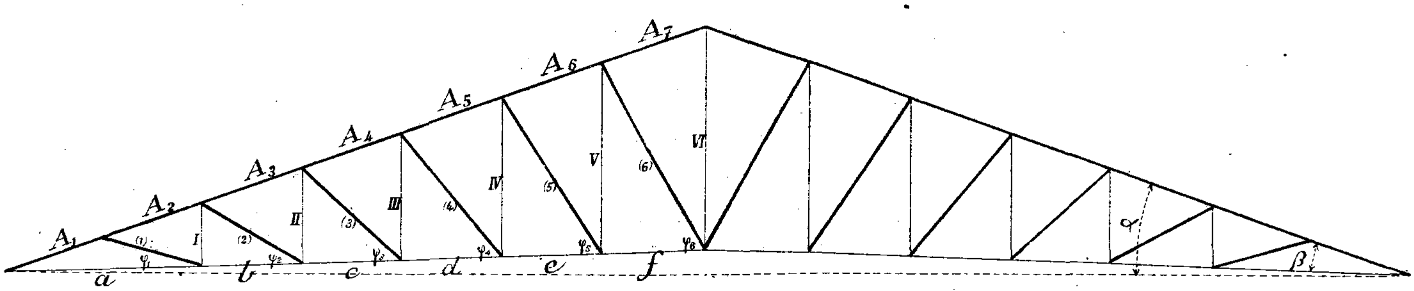
DIAGRAMME DES EFFORTS



Construction du diagramme. — Sur l'horizontale BC en un point quelconque D, élevons à une échelle déterminée la perpendiculaire $DA = E \times l \times p$, c'est-à-dire le produit de l'espacement des fermes, de la portée et de la charge ; dans le cas actuel nous avons $Elp = 5 \times 15 \times 120 = 9000$, puis par le point A nous menons AB avec la même inclinaison que l'arbalétrier de la ferme, c'est-à-dire faisant l'angle α avec l'horizontale ; pour cela on fait cet angle à part, vers le point O, et on mène AB parallèle à ON, puis ensuite nous menons AC perpendiculaire sur BA, nous avons ainsi le triangle ABC qui est rectangle en A. Les côtés AB, AC et BC de ce triangle groupent tous les efforts des organes de notre ferme, sauf ceux des étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), (*4*) ; pour obtenir ces derniers, on mènera Am, An, At comme on a mené AB ; ces droites devront faire avec l'horizontale les angles $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ (on avait par construction $\varphi_1 = \alpha$). On ramène les points B, m, n, t, en B', m', n', t' ; en menant par ces points des horizontales, on obtient les points $EFGH$, les efforts (*1*), (*2*), (*3*), (*4*) sont des parties aliquotes de AE, AF, AG, AH. Cette figure peut être construite sans posséder aucune notion de mécanique ; elle s'appliquera à toutes les fermes de la série **A**.

SÉRIE A'





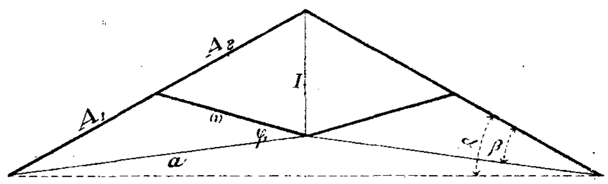
La construction des fermes de cette série ne diffère de celles de la série précédente (Série A) que par la surélévation de l'entrait, les étrésillons *I*, *II*, *III*, etc... sont toujours verticaux.

Comme pour la série précédente, nous avons établi une formule générale dans laquelle entre N le nombre de travées A_1, A_2, A_3, A_4, etc... de l'arbalétrier ; nous avons fait successivement N = 2, 3, 4 jusqu'à 10. Nous insistons sur ce point : les formules ci-après sont absolument générales ; elles s'appliquent quelles que soient la portée, la charge, l'espacement des fermes, la hauteur de la ferme, l'angle à la base et la surélévation de l'entrait (1).

---

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

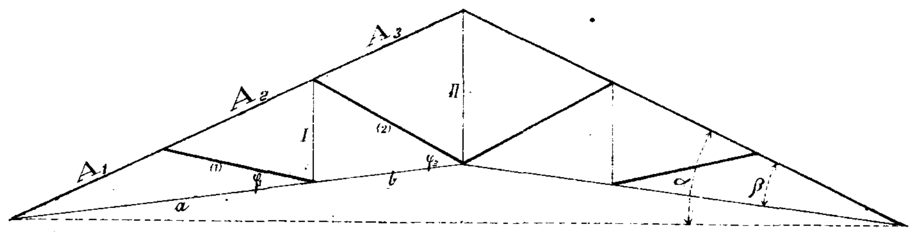
N = 2



FORMULES

$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{8} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{4}{8} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T\alpha - \frac{2}{8} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{2}{8} \times$ » d° »			

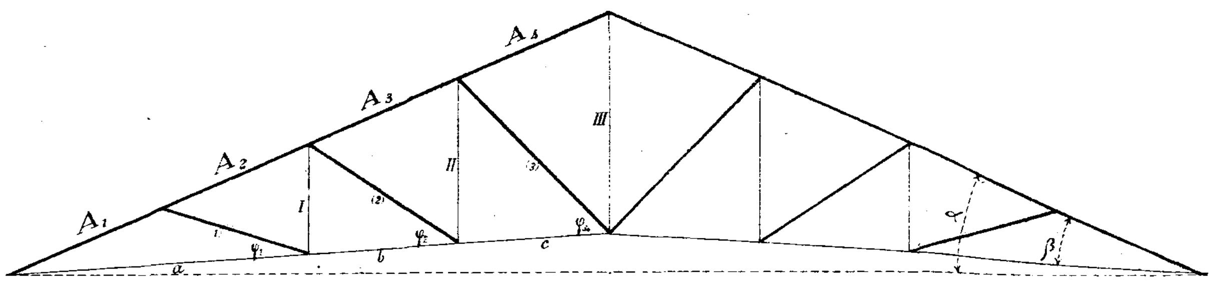
N = 3



FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{6}{12} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T\alpha - \frac{2}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_3 = \frac{3}{12} \times$ » d° »			

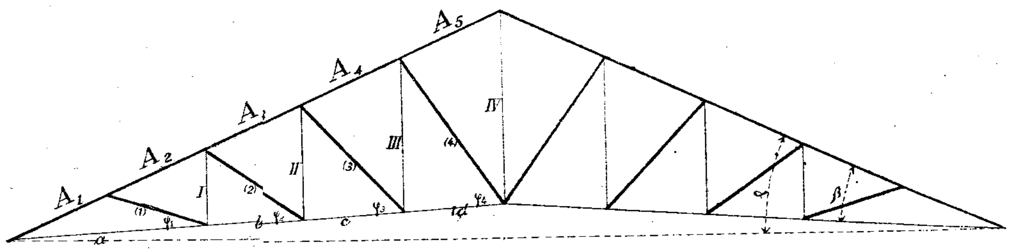
N = 4



FORMULES

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{16} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{16} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$b = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{16} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$c = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{16} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{8}{16} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T\alpha - \frac{2}{16} \times Elp \times R_\alpha$
$A_4 = \frac{4}{16} \times$ » d° »			

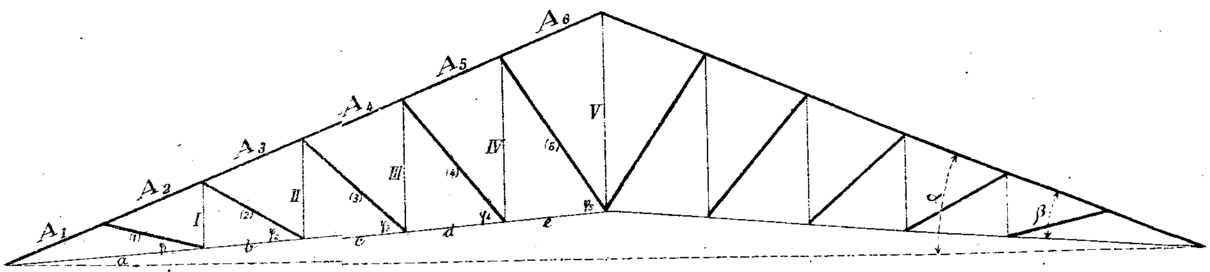
N=5



FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{20} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{20} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{10}{20} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T\alpha - \frac{2}{20} \times Elp \times R_\alpha$
$A_5 = \frac{5}{20} \times$ » d° »			

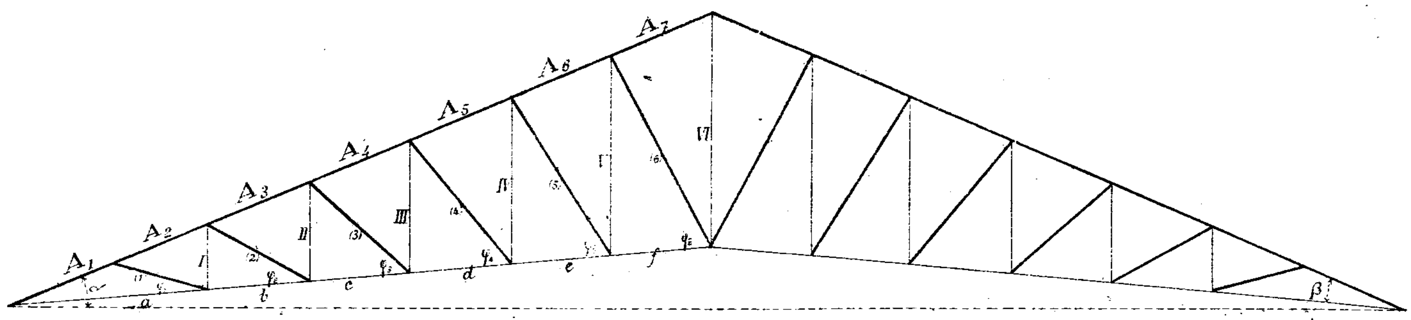
N=6



FORMULES

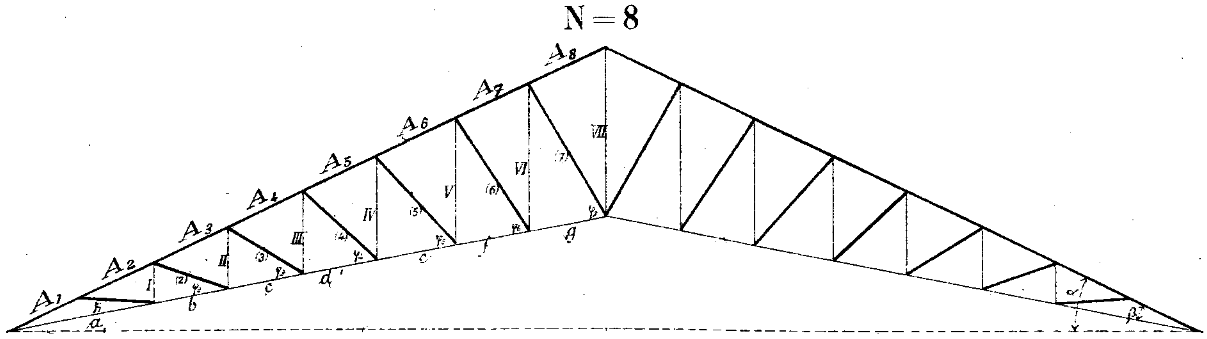
$A_1 = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{24} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{24} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{24} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{12}{24} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T\alpha - \frac{2}{24} \times Elp \times R_\alpha$
$A = \frac{6}{24} \times$ » d° »			

N = 7



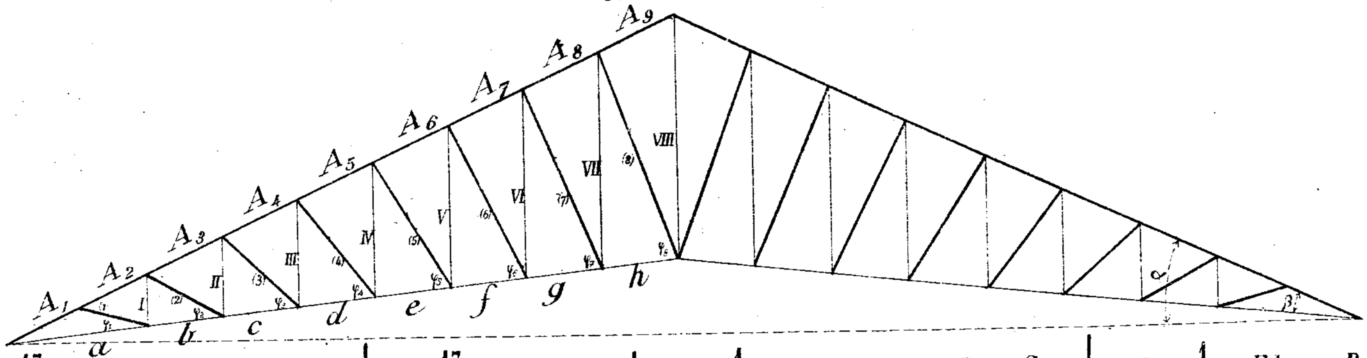
$A_1 = \frac{13}{28} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{13}{28} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{28} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{28} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{28} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{28} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{28} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{28} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{28} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{14}{28} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{28} \times Elp \times R_\alpha$
$A_7 = \frac{7}{28} \times$ » d° »			

N = 8



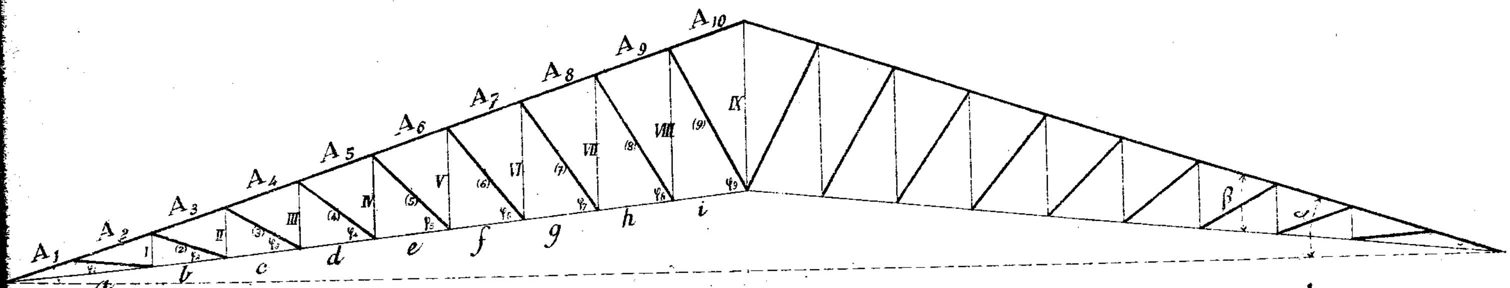
$A_1 = \frac{15}{32} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{15}{32} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{32} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{32} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{32} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{32} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{32} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{32} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{32} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{9}{32} \times$ d° »	$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{32} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{16}{32} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{32} \times Elp \times R_\alpha$
$A_8 = \frac{8}{32} \times$ » d° »			

N = 9



$A_1 = \frac{17}{36} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{17}{36} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{36} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{36} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{36} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{36} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{36} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{36} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{36} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{7}{36} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{36} \times$ » K_{φ_8} »	$VIII = \frac{18}{36} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{36} \times Elp \times$
$A_9 = \frac{9}{36} \times$ » d° »			

N = 10



$A_1 = \frac{19}{40} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{19}{49} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{40} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{40} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$b = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{40} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{40} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$c = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{40} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{40} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$d = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{40} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{40} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$e = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{40} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{5}{40} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$f = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{40} \times$ » K_{φ_6} »	$VI = \frac{6}{40} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$g = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{40} \times$ » K_{φ_7} »	$VII = \frac{7}{40} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$h = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{40} \times$ » K_{φ_8} »	$VIII = \frac{8}{40} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$i = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$(9) = \frac{9}{40} \times$ » K_{φ_9} »	$IX = \frac{20}{40} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{40} \times Elp \times$
$A_{10} = \frac{10}{40} \times$ » d° »			

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE A'

Cette ferme est suffisamment indiquée par la figure ci-contre : l'arbalétrier est divisé en trois parties égales, les éléments *I* et *II* sont verticaux. Le tirant est surélevé. (Voir les formules série A' pour N = 3.)

FORMULES

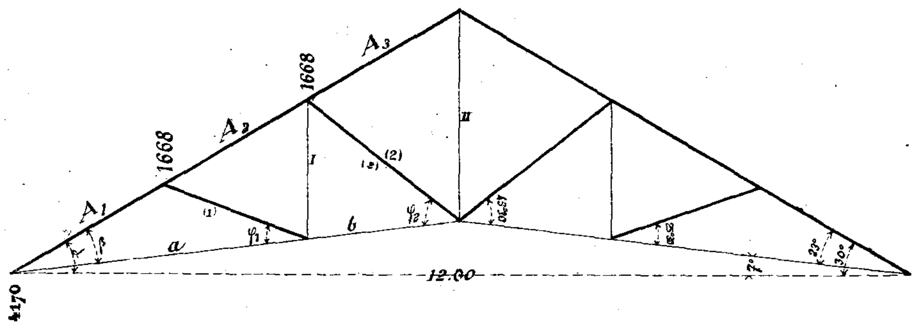
$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{6}{12} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_3 = \frac{3}{12} \times$ » d° »			

Application. — Nous avons appliqué ces formules à une ferme de 12^m de portée, d'où $l = 12^m$, chargée à raison de 180^k (toutes surcharges comprises, même le poids approximatif de la ferme), d'où $p = 180$; nous supposons les fermes espacées de 4^m, donc $E = 4$ et par suite le produit $E \times l \times p = 4 \times 12 \times 180 = 8640$. Comme toujours, nous mesurons au rapporteur les angles α, β, φ_1 et φ_2 nous trouvons $\alpha = 30°$, $\beta = 23°$, $\varphi_1 = 25°\,30'$, $\varphi_2 = 45°\,30'$; nous nous reportons à la table et, sur l'horizontale de chacun des angles ci-dessus, nous trouvons la valeur des constantes relatives à cet angle ; nous avons trouvé $K\beta = 2.559$, $R\alpha = 1.15$, $C(\alpha\text{-}\beta) = 0.99$, $T\alpha = 0{,}577$, $K\varphi_1 = 2.32$ et $K\varphi_2 = 1.40$. Il suffit d'introduire ces valeurs dans les formules et d'effectuer les multiplications pour avoir en kilogrammes la valeur de chaque effort ; nous les avons tous calculés et consignés dans l'épure statique pour montrer la concordance des résultats.

Remarque. — Dans les formules ci-dessus n'entre pas la surélévation du tirant ; elles sont donc indépendantes de cette surélévation et s'appliqueront quelle qu'elle soit. Si on n'y est pas obligé il conviendra de ne surélever que très légèrement, car de ce fait les efforts subissent un accroissement considérable.

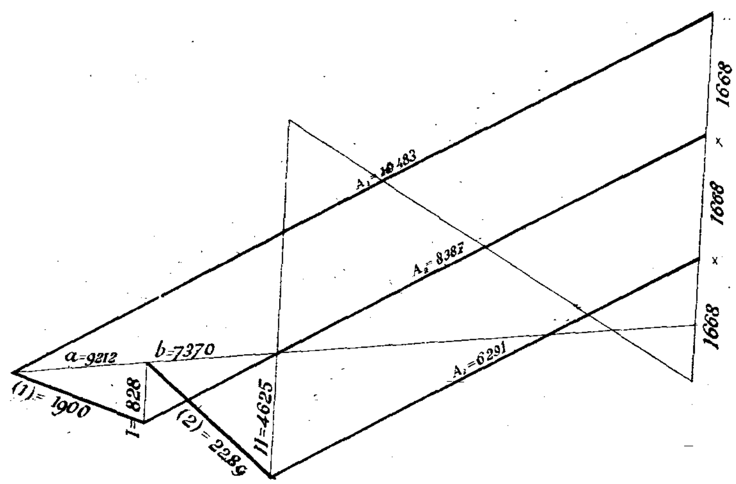
PROFIL DE LA FERME

Echelle = $\frac{1}{1000}$



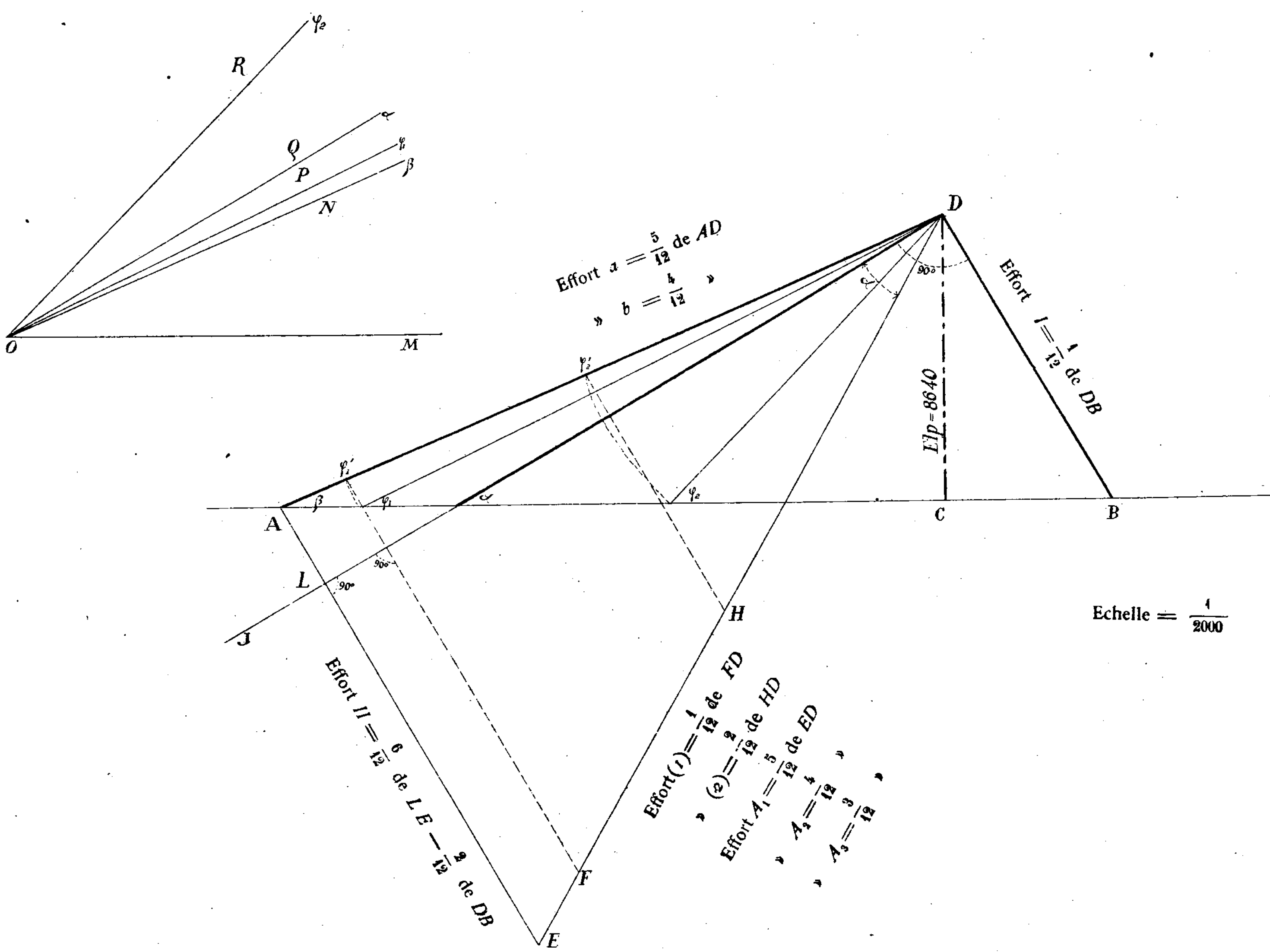
ÉPURE STATIQUE

Echelle = $\frac{1}{1000}$



(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

DIAGRAMME DES EFFORTS



Construction du diagramme. — A l'aide d'un rapporteur et à partir de l'horizontale OM on forme les angles α, β, φ_1, φ_2, ensuite sur le point C de l'horizontale AB on élève une perpendiculaire CD que l'on prend à une échelle déterminée ($\frac{1}{2.000}$ dans le cas actuel) égale au produit $E\,l\,p = 8640$ dans l'exemple choisi. — On a ainsi le point D; par ce point on trace des parallèles aux rayons ON, OP, OQ, OR; ces lignes forment ainsi avec l'horizontale AB les angles β, φ_1, α, φ_2. On prolonge la ligne formant l'angle α (DJ) et du point A on abaisse la perpendiculaire AL que l'on prolonge indéfiniment. On revient ensuite au point D, où l'on trace DE formant avec DJ l'angle α; cette ligne rencontre le prolongement de AL en E. Du point D comme centre on ramène par des arcs de cercle les points φ_1, φ_2, et φ'_1, φ'_2, puis par ces derniers points on mène des parallèles à AE; on obtient ainsi les points F et H. On trace ensuite DB normale sur DL. Tous les efforts des organes de la ferme sont groupés sur cette figure que tout le monde peut construire.

DEUXIÈME EXEMPLE DE LA SÉRIE A'

Ce type de ferme est suffisamment indiqué par la figure que nous donnons à la page suivante : l'entrait est surélevé, les barres en chiffres romains *I*, *II*, *III*, etc., sont verticales. (Ce type fait partie de la Série A', voir les formules pour N = 6).

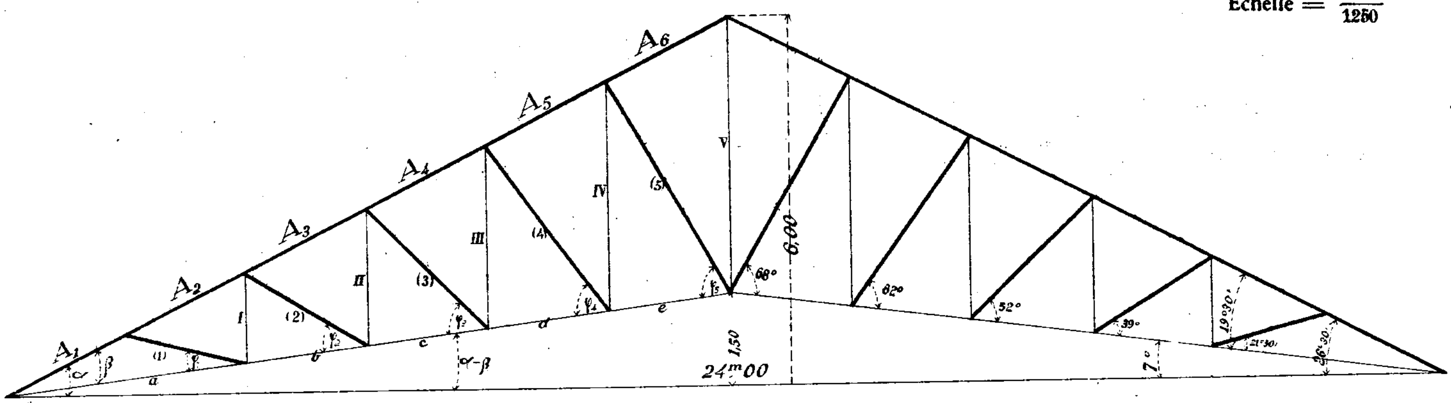
FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$a = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{24} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times R_\alpha \times C_{\alpha-\beta}$	$I = \frac{1}{24} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2} »	$II = \frac{2}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3} »	$III = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4} »	$IV = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{24} \times$ » K_{φ_5} »	$V = \frac{12}{24} \times Elp \times K_\beta \times C_{\alpha-\beta} \times T_\alpha - \frac{2}{24} \times Elp \times R_\alpha$
$A_6 = \frac{6}{24} \times$ » d° »			

Nous avons appliqué les formules à une ferme de 24^m de portée, $l = 24^m$, chargée à raison de 125^k, d'où $p = 125$; nous supposons les fermes espacées de 5^m, d'où $E = 5$; on a donc $E \times l \times p = 5 \times 24 \times 125$ $Elp = 15000$. Calculons l'un des efforts (5) par exemple, l'angle $\varphi_5 = 68°$, $\alpha = 26° 30'$ et $(\alpha\text{-}\beta) = 7°$; en nous reportant à la table, nous trouvons en regard de 68 pour la valeur de K, $K = 1.078$; en regard de 26°30' nous avons $R\,\alpha = 1.117$ et en regard de 7° on a $C = 0{,}992$, d'où $(5) = \frac{5}{24} \times 15000 \times 1.078 \times 1.117 \times 0{,}992$. En effectuant, on trouve la valeur indiquée sur l'épure.

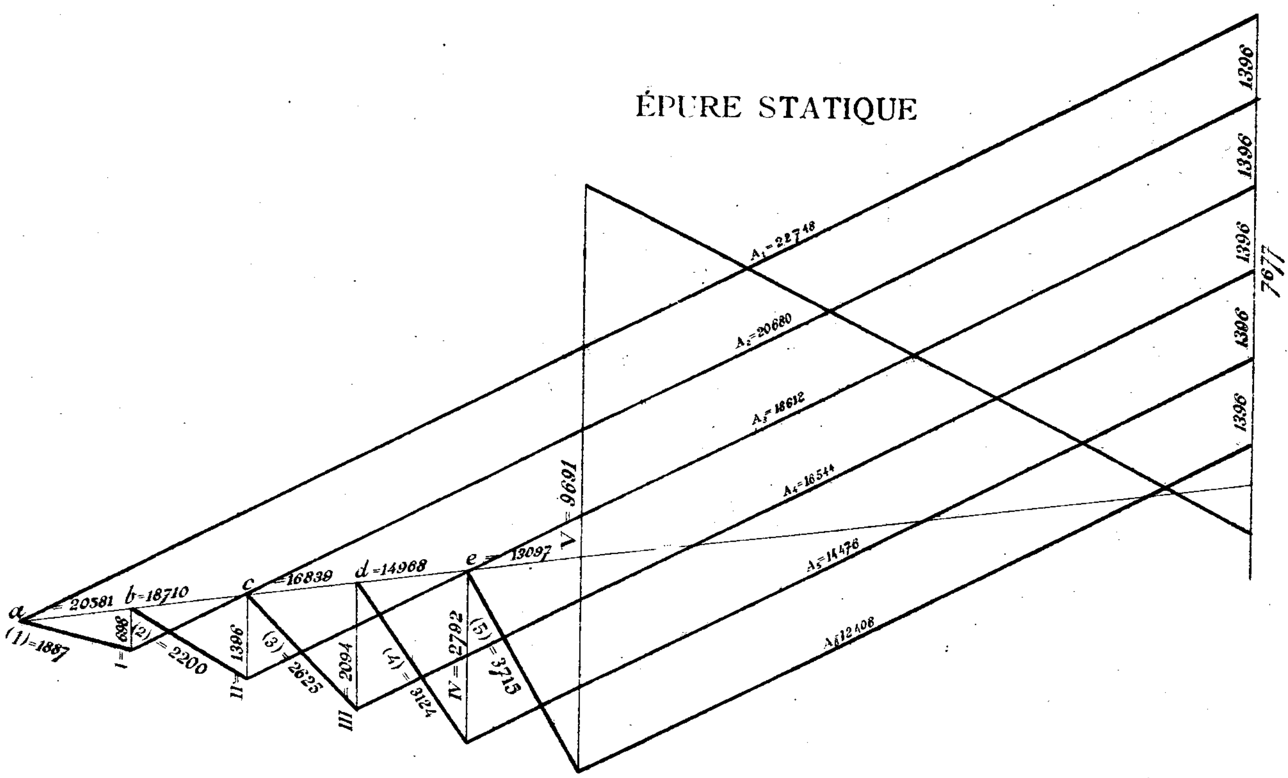
PROFIL DE LA FERME

Echelle = $\frac{1}{1250}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle = $\frac{1}{1250}$



(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

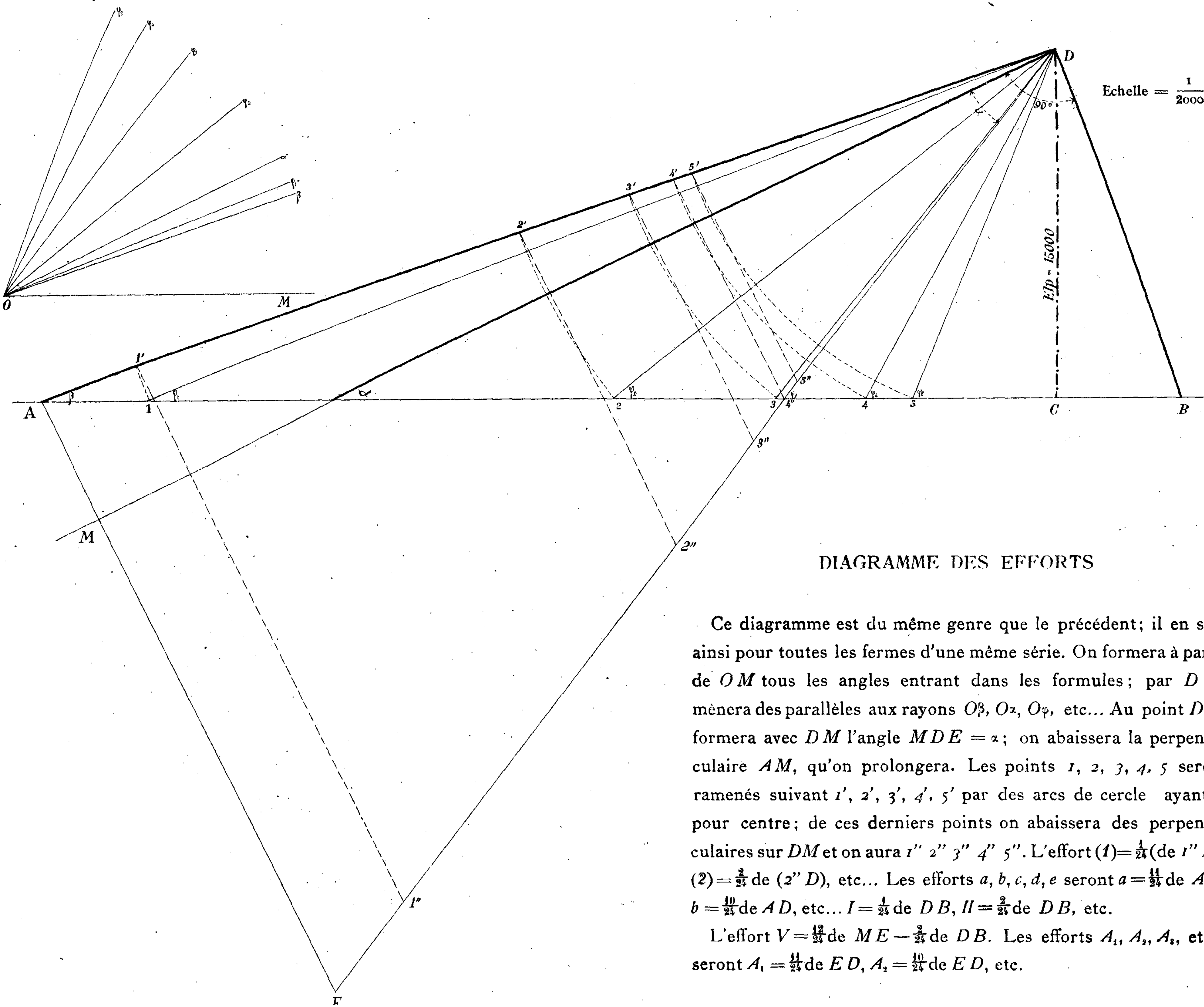
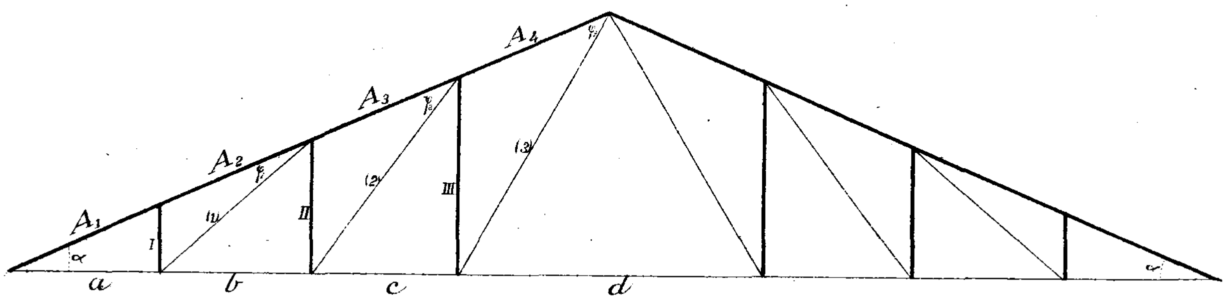


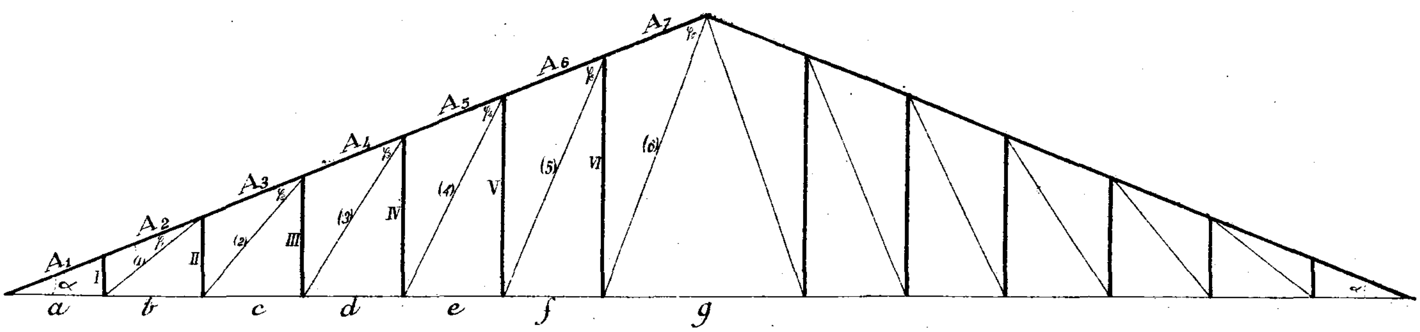
DIAGRAMME DES EFFORTS

Ce diagramme est du même genre que le précédent; il en sera ainsi pour toutes les fermes d'une même série. On formera à partir de OM tous les angles entrant dans les formules; par D on mènera des parallèles aux rayons $O\beta$, $O\alpha$, $O\varphi$, etc... Au point D on formera avec DM l'angle $MDE = \alpha$; on abaissera la perpendiculaire AM, qu'on prolongera. Les points *1*, *2*, *3*, *4*, *5* seront ramenés suivant *1'*, *2'*, *3'*, *4'*, *5'* par des arcs de cercle ayant D pour centre; de ces derniers points on abaissera des perpendiculaires sur DM et on aura *1" 2" 3" 4" 5"*. L'effort (*1*) $= \frac{1}{24}$ (de *1"* D), (2) $= \frac{2}{24}$ de (2" D), etc... Les efforts a, b, c, d, e seront $a = \frac{11}{24}$ de AD, $b = \frac{10}{24}$ de AD, etc... $I = \frac{1}{24}$ de DB, $II = \frac{2}{24}$ de DB, etc.

L'effort $V = \frac{12}{24}$ de $ME - \frac{2}{24}$ de DB. Les efforts A_1, A_2, A_3, etc... seront $A_1 = \frac{11}{24}$ de ED, $A_2 = \frac{10}{24}$ de ED, etc.

SÉRIE B



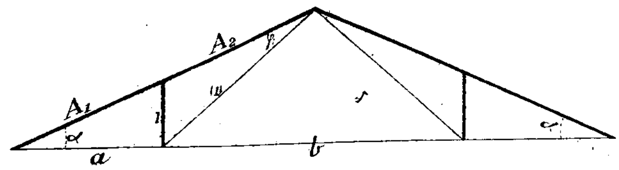


Les deux fermes représentées par les figures ci-dessus sont de construction analogue : les arbalétriers sont, comme toujours, divisés en un certain nombre N de parties égales ; les montants *I, II, III*, etc., sont verticaux et les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), etc... sont inclinés dans le même sens pour les deux *fermes*. Nous avons établi une formule générale donnant les efforts d'une ferme construite comme il vient d'être dit, et dans cette formule nous avons donné à N (nombre de travées de l'arbalétrier) toutes les valeurs, depuis 2 jusqu'à 10. Nous insistons sur ce point : les formules qui vont suivre sont applicables quelle que soit la portée de la ferme, la charge, l'espacement des fermes, la hauteur, l'angle à la base ; elles sont vraies pour toute ferme à montants verticaux et à étrésillons inclinés comme dans les figures ci-dessus.

---

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

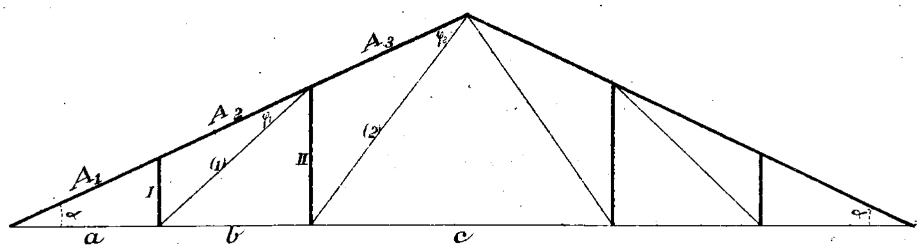
N = 2



FORMULES

$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{8} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{8} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{2}{8} \times$ » d° »		

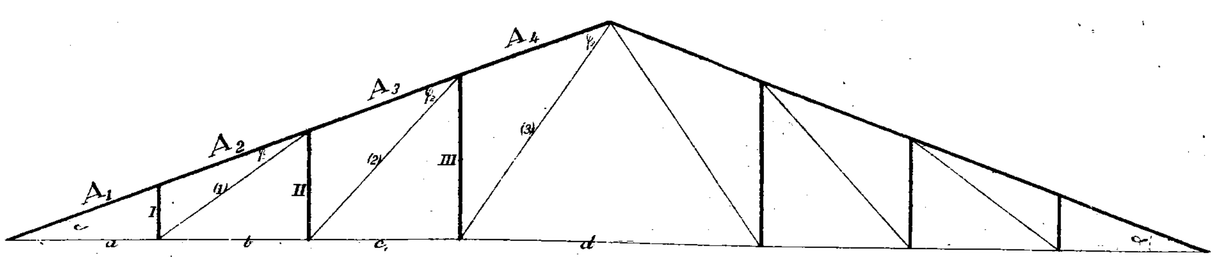
N = 3



FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{12} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{12} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$c = \frac{3}{12} \times$ » d° »		

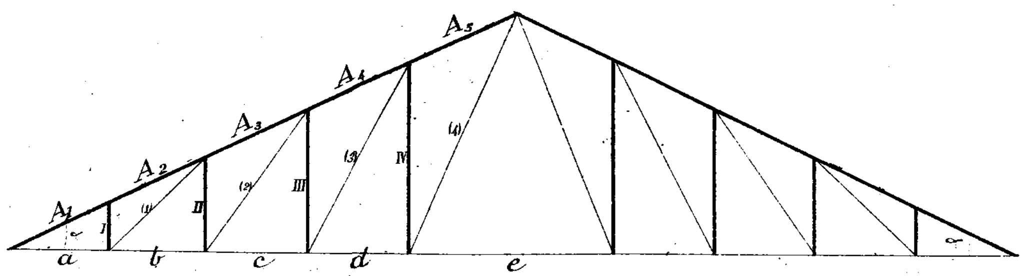
N = 4



FORMULES

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{16} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{16} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{16} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$c = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{16} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{16} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$d = \frac{4}{16} \times$ » d° »		

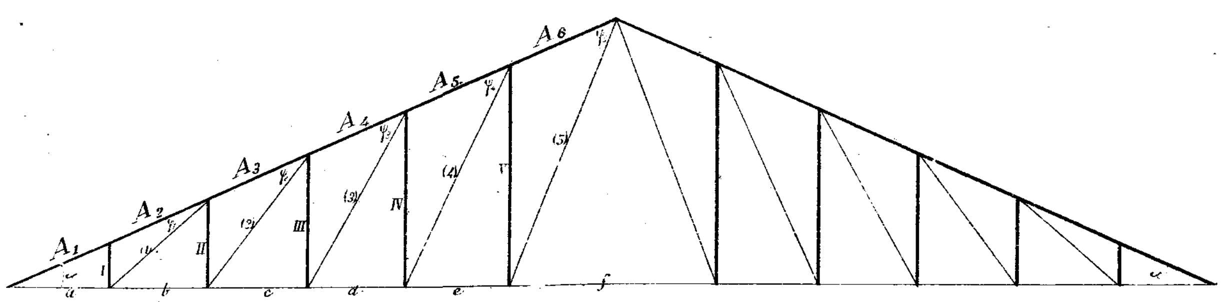
N = 5



FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times S\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{20} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{20} \times E\,l\,p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{20} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$e = \frac{5}{20} \times$ » d° »		

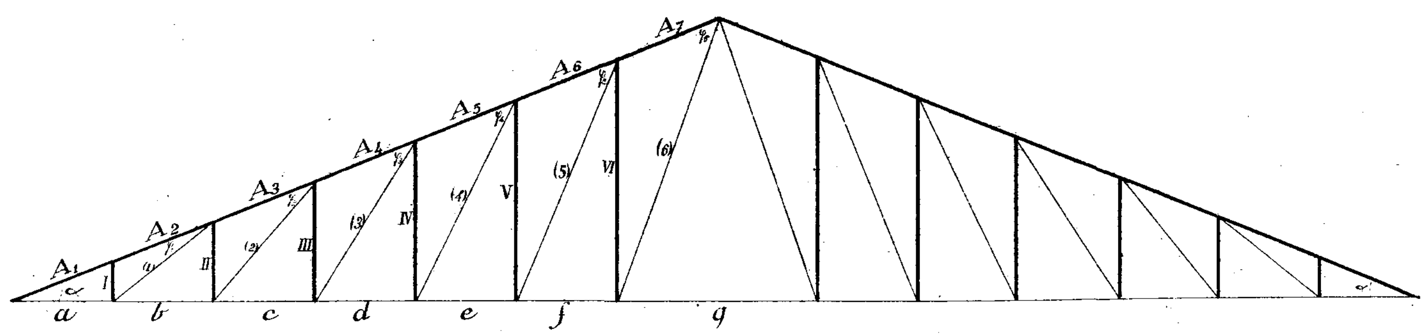
N = 6



FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times S_\alpha$	$a = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{24} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{24} \times E\,l\,p \times R\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{24} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{24} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$f = \frac{6}{24} \times$ » d° »		

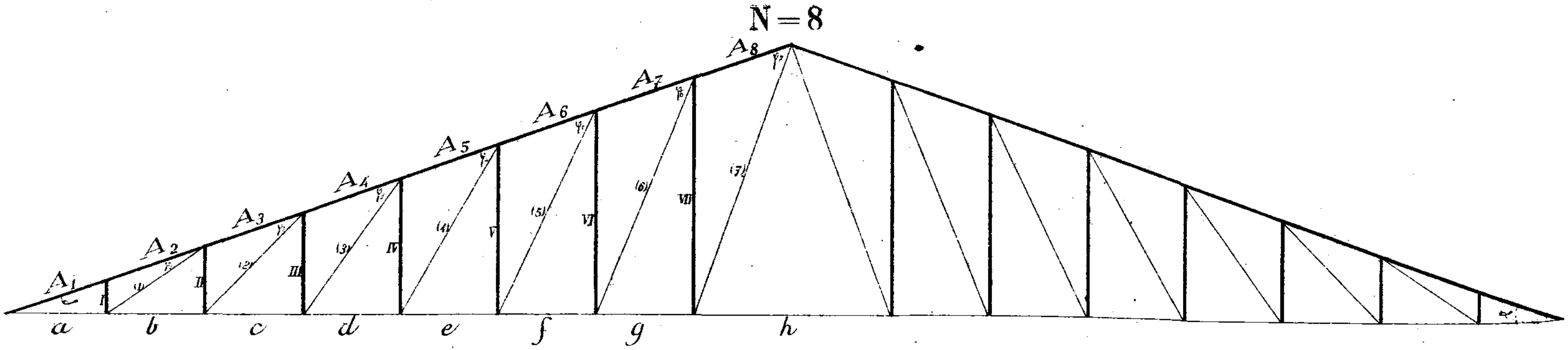
N = 7



FORMULES

$A_1 = \frac{13}{28} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{13}{28} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{28} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{28} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{28} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{28} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{28} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{28} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{28} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{28} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$g = \frac{7}{28} \times$ » d° »		

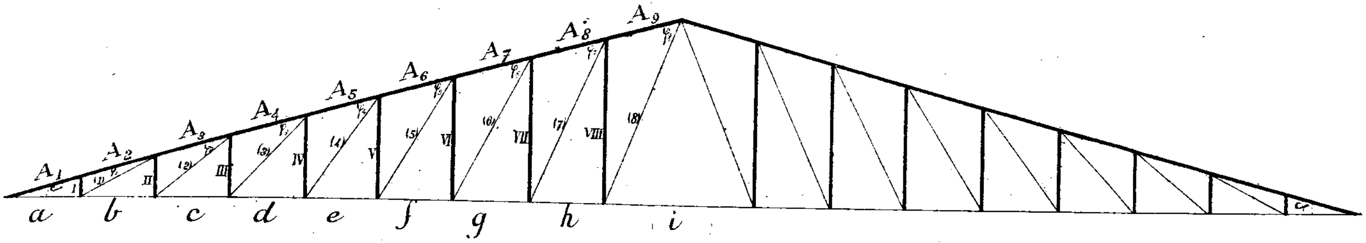
N = 8



FORMULES

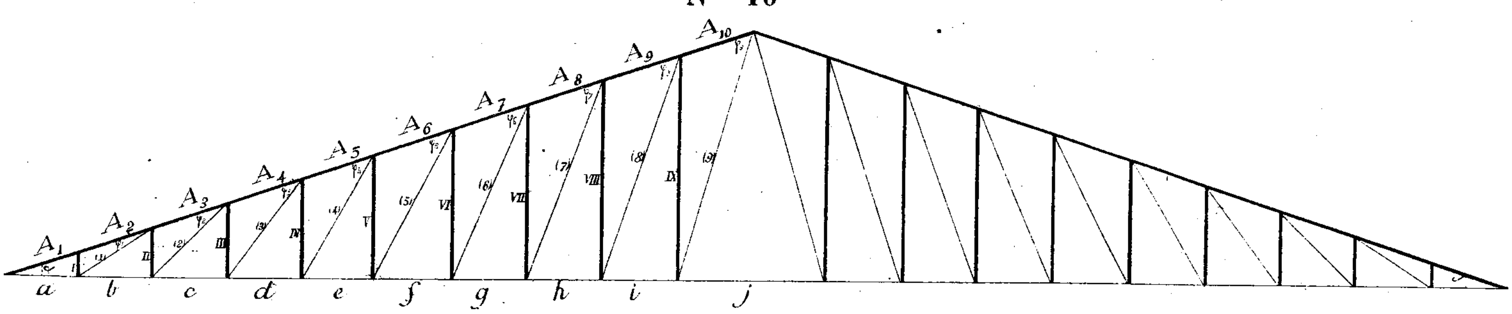
$A_1 = \frac{15}{32} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{15}{32} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{32} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{32} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{32} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{32} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{32} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{32} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{32} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{32} \times$ » K_{φ_7}	$VII = \frac{8}{32} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$h = \frac{8}{32} \times$ » d° »		

N = 9



$A_1 = \frac{17}{36} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{17}{36} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{36} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{36} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{36} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{36} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{36} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{36} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{36} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7}	$VII = \frac{8}{36} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{36} \times$ » K_{φ_8}	$VIII = \frac{9}{36} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$i = \frac{9}{36} \times$ » d° »		

N = 10



$A_1 = \frac{19}{40} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{19}{40} \times Elp \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{40} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{40} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{40} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{40} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$c = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{40} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{40} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$d = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{40} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{40} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$e = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{40} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{40} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$f = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{40} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{40} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$g = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{40} \times$ » K_{φ_7}	$VII = \frac{8}{40} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$h = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{40} \times$ » K_{φ_8}	$VIII = \frac{9}{40} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$i = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$(9) = \frac{9}{40} \times$ » K_{φ_9}	$IX = \frac{10}{40} \times$ » d° »
$A_{10} = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$j = \frac{10}{40} \times$ » d° »		

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE B

Ce type de ferme est suffisamment indiqué par la figure ci-contre : l'arbalétrier est divisé en trois parties égales, les points de division sont projetés sur l'entrait et joints comme l'indique la figure. On peut relier le faitage au point c par un fil de fer de faible diamètre destiné à empêcher la flexion, sous son propre poids, de la partie médiane de l'entrait ; ce fil de fer ne subit théoriquement aucun effort ; aussi l'avons-nous indiqué en pointillé. (Voir les formules de la série B pour N=3.

FORMULES

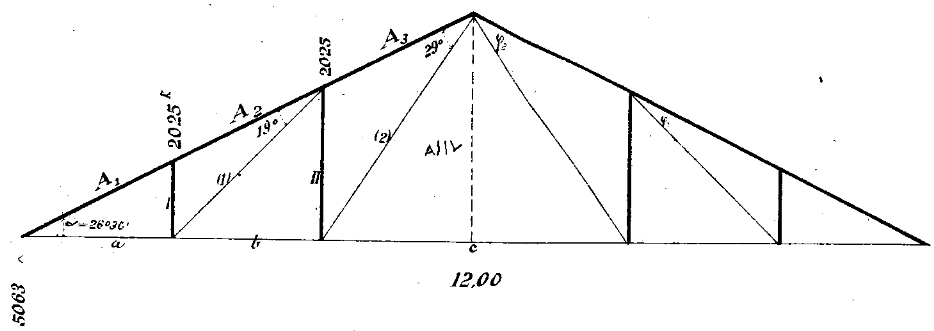
$A_1 = \frac{5}{12} \times E l p \times S_\alpha$	$a = \frac{5}{12} \times E l p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{12} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{12} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{12} \times$ d° »
$A_3 = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$c = \frac{3}{12} \times$ » d° »		

Application. — La ferme que nous avons choisie a 12^m de portée $l = 12^m$; elle est chargée à raison de $150^{kil.}$ le mètre carré, toutes surcharges comprises, $p = 150^k$. L'espacement des fermes est de 6^m, $E = 6$; donc $E l p = 10800 = 6 \times 12 \times 150$. En mesurant au rapporteur les angles α, nous trouvons $\alpha = 26°30'$. $\varphi_1 = 19°$ et $\varphi_2 = 29°$. En nous reportant à la table, nous trouvons $S\alpha = 2.5$. $K\alpha = 2.24$, $R\alpha = 1.117$, $K\varphi_1 = 3.07$, $K\varphi_2 = 2.06$. Il n'y a qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et effectuer les multiplications.

Diagramme des efforts. — On peut éviter tous les calculs avec le diagramme des efforts ; pour construire ce diagramme, sur une horizontale, nous élevons la perpendiculaire $BA = E \times l \times p = 10.800$. nous portons cette valeur à une échelle déterminée, nous avons pris $\frac{1}{200k}$. En un point O on trace OF, OG, OH faisant avec l'horizontale les angles φ_1, α, φ_2, puis par le point A on mène des parallèles à ces lignes ; on a ainsi AE, AC, AF. On mène AD faisant 90° avec AC. On a ainsi tous les efforts groupés sur cette figure.

PROFIL DE LA FERME

Echelle : 0m01 par mètre



ÉPURE STATIQUE

Echelle : 0m01 pour 1000k

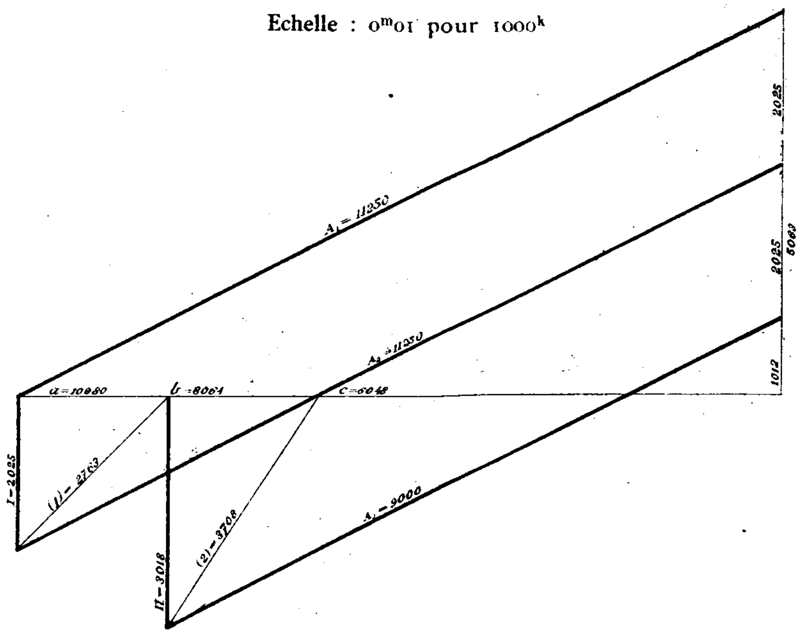
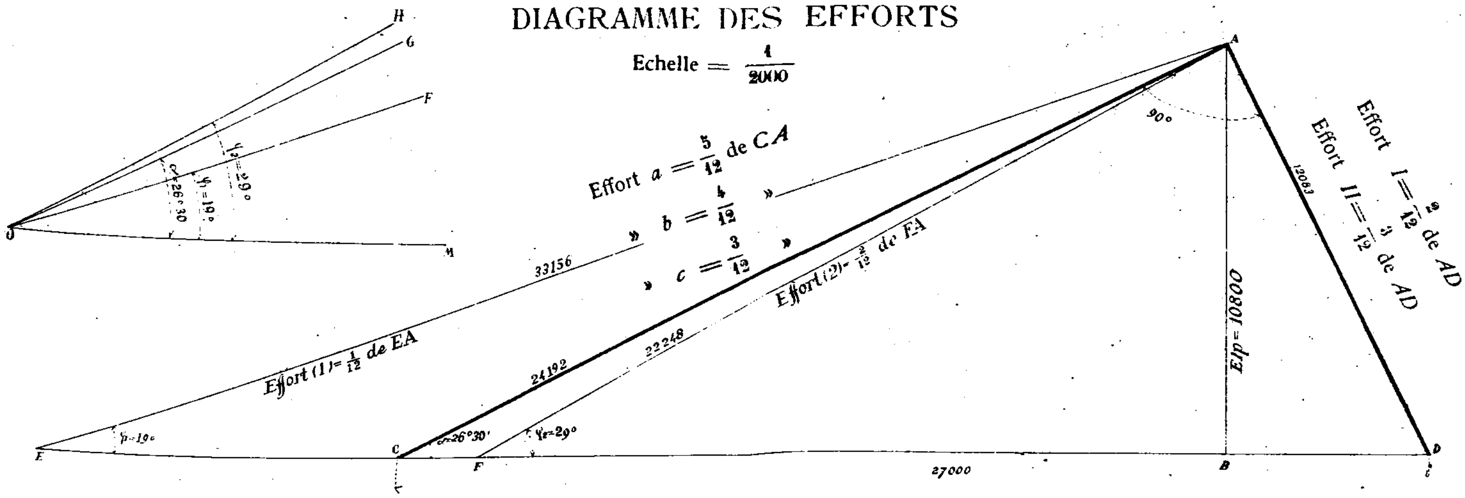


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



Effort $A_1 = \frac{5}{12}$ de CD

$A_2 = A_1$

» $A_3 = \frac{4}{12}$ »

DEUXIÈME EXEMPLE DE LA SÉRIE B

Cette ferme fait partie de la série B ; les contrefiches *I*, *II*, etc. sont verticales, le nombre des travées de l'arbalétrier N = 5. Nous reproduisons ici les formules trouvées pour ce cas.

FORMULES

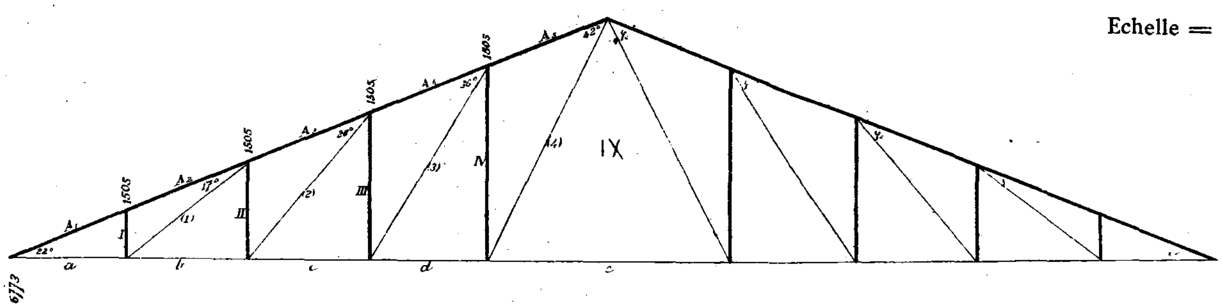
$A_1 = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times S\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$(1) = \frac{1}{20} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{20} \times E\,l\,p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{20} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{6}{20} \times$ » d° »	$e = \frac{5}{20} \times$ » d° »		

Application. — Le bâtiment que nous avons à couvrir a 20^m de largeur ; la ferme a donc 20^m de portée $l = 20$; nous espaçons les fermes de 5^m $E = 5$; nous avons pour le poids par mètre carré de toiture, suivant l'inclinaison et en y comprenant le poids de la couverture, de la charpente, la surcharge de neige, la pression du vent ; en un mot toutes les surcharges comprises, $p = 140^{\text{kil.}}$, $E = 5$, $l = 20$, $p = 140$, d'où $E \times l \times p = 5 \times 20 \times 140 = 14000$. Nous mesurons au rapporteur les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4 et nous trouvons $\alpha = 22°$, $\varphi_1 = 17°$, $\varphi_2 = 28°$, $\varphi_3 = 36°$, $\varphi_4 = 42°$. Nous cherchons dans la table les valeurs de ces angles et, en regard, sur la même ligne horizontale, nous trouvons $K\alpha = 2.67$, $R\alpha = 1.08$, $S\alpha = 2.88$, $K\varphi_1 = 3.42$, $K\varphi_2 = 2.13$, $K\varphi_3 = 1.70$, $K\varphi_4 = 1.49$. Il n'y a plus qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et à effectuer les multiplications pour obtenir en kilogrammes la valeur de tous les efforts. Nous les avons tous calculés et consignés sur l'épure statique pour montrer la concordance des résultats.

Diagramme des efforts. — On peut éviter tous les calculs en construisant le diagramme des efforts que l'on trouvera à la suite, ou bien on peut employer le diagramme comme moyen de contrôle.

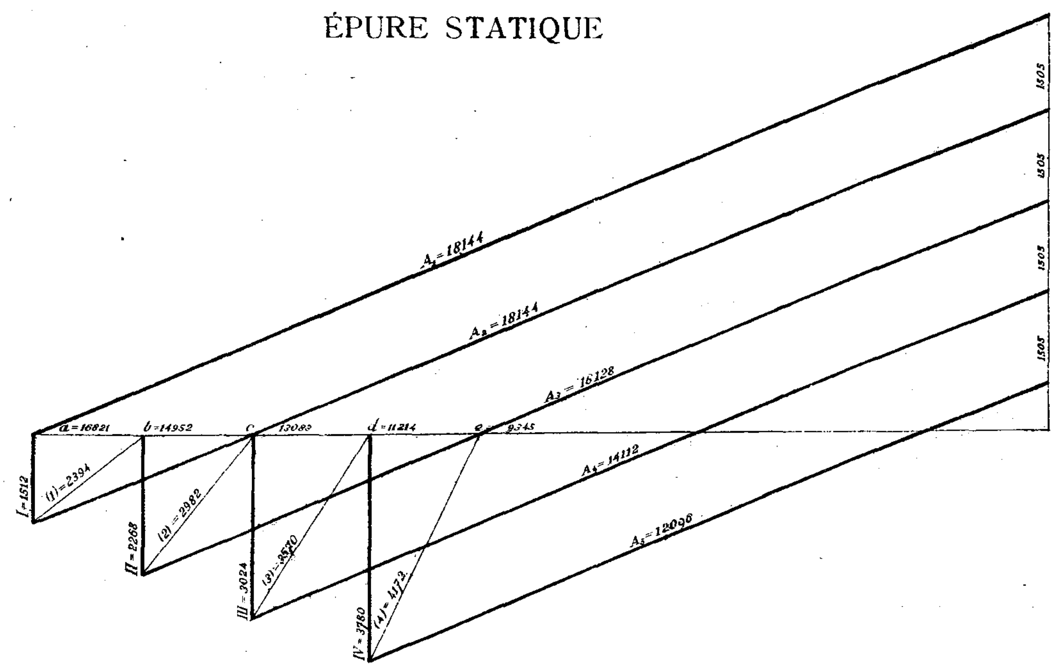
PROFIL DE LA FERME

Echelle = $\frac{1}{1250}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle = $\frac{1}{1250}$



(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

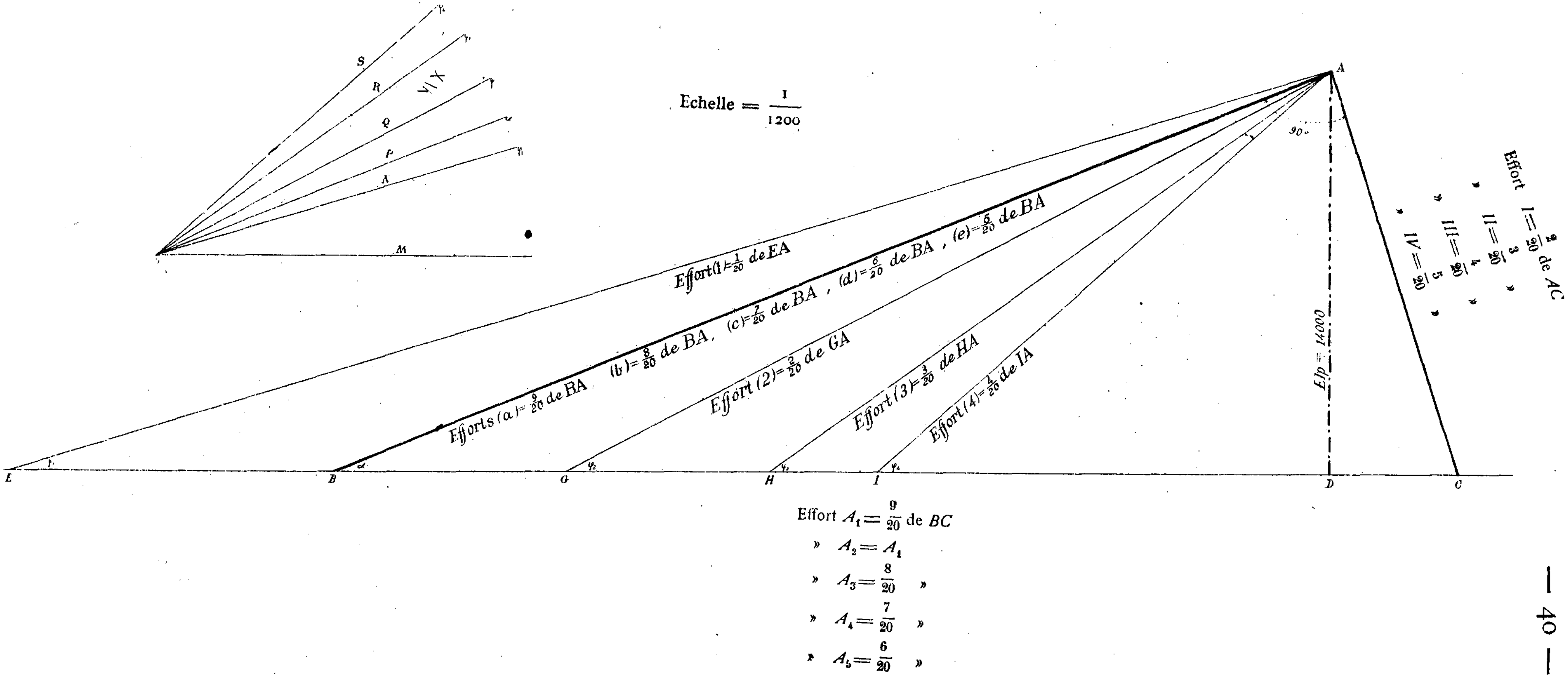
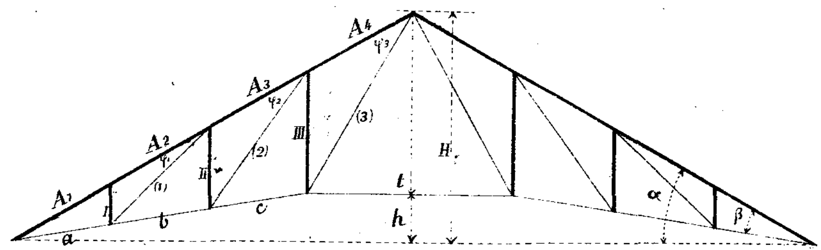
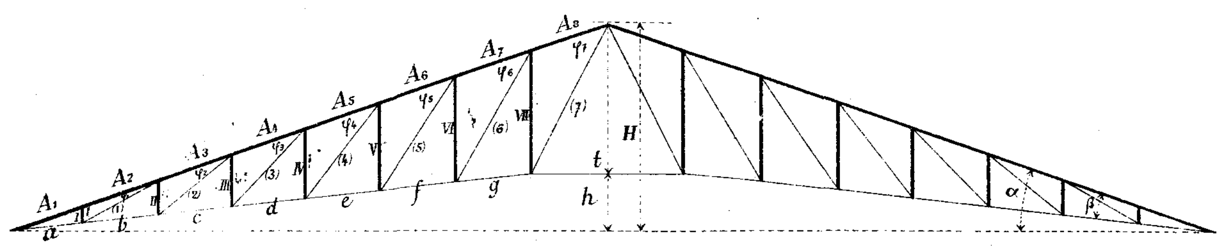


DIAGRAMME DES EFFORTS

Pour construire ce diagramme, à partir de l'horizontale OM, on fera, à l'aide du rapporteur, les angles φ_1, α, φ_2, φ_3, φ_4 ; on tracera ensuite sur une horizontale indéfinie la perpendiculaire DA, que l'on prendra égale au produit $E\,l\,p$ (dans l'exemple actuel $E = 5$, $l = 20^m$, $p = 140$) ; $E\,l\,p = 14000$; par le point A ainsi obtenu on mènera AE, AB, AG, AH, AI respectivement parallèles aux rayons ON, OP, OQ, OR, OS ; on tracera ensuite AC perpendiculaire sur AB, de manière que le triangle ABC soit rectangle en A. Cette figure qui, comme on le voit, est bien simple à construire, groupe tous les efforts de notre ferme. Pour toutes les fermes de la série B, le diagramme sera analogue, les lignes AE, AG, AH, AI seront plus ou moins nombreuses suivant qu'il y aura un plus ou moins grand nombre de travées N de l'arbalétrier et, par suite, d'angles φ_1, φ_2, φ_3, etc.

SÉRIE B'

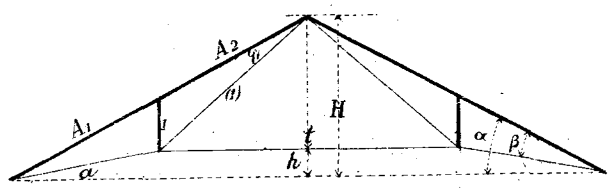




Les deux fermes indiquées par les figures ci-dessus font partie d'une même série : les montants *I*, *II*, *III*, etc... sont verticaux et les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*)... sont inclinés dans le même sens. L'entrait horizontal *t* est surélevé. Ces deux fermes diffèrent par le nombre de travées de l'arbalétrier : celui de la première est décomposé en quatre travées (A_1, A_2, A_3, A_4), tandis que celui de la deuxième comprend huit travées. Nous avons établi une formule générale donnant les efforts de chacun des éléments en fonction de N (nombre de travées de l'arbalétrier) ; dans cette formule, nous avons successivement donné à N toutes les valeurs depuis 2 jusqu'à 10 et nous avons obtenu les formules que nous donnons ci-après ; elles s'appliquent à toutes les fermes du type ci-dessus quelles que soient la portée, l'écartement, la charge par mètre carré, la hauteur de la ferme et aussi la surélévation de l'entrait, c'est-à-dire qu'elles sont absolument générales. — La quantité *n* qui entre dans ces formules est le rapport de *H*, hauteur totale de la ferme à *h* surélévation de l'entrait (1).

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

N = 2



FORMULES

$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$

$A_2 = A_1$

$a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\beta$

$(1) = \frac{1}{8} \times Elp \times K_{\varphi_1} \times \frac{n+1}{n-1}$

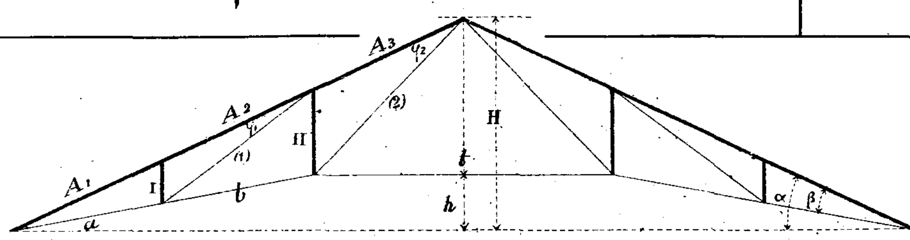
$n = \frac{H}{h}$

$I = \frac{2}{8} \times Elp \times R_\alpha$

$t = \frac{2}{8} \times Elp \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$

$n = \frac{H}{h}$

N = 3



FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$

$A_2 = A_1$

$A_3 = \frac{4}{12} \times$ » d° » d°

$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\beta$

$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »

$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1}$

$(2) = \frac{1}{12} \times$ » $K_{\varphi_2} \times \frac{2n+1}{n-1}$

$n = \frac{H}{h}$

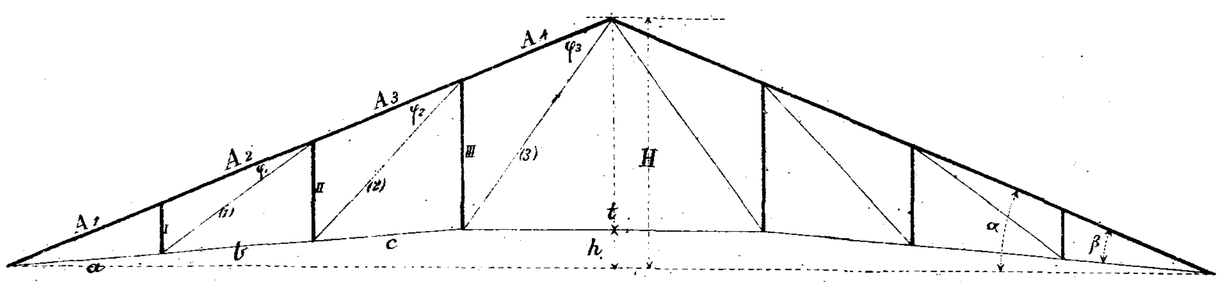
$I = \frac{2}{12} \times Elp \times R_\alpha$

$II = \frac{3}{12} \times$ d° »

$t = \frac{3}{12} \times Elp \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$

$n = \frac{H}{h}$

N = 4



FORMULES

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$

$A_2 = A_1$

$A_3 = \frac{6}{16} \times$ » d° » d°

$A_4 = \frac{5}{16} \times$ » d° » d°

$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\beta$

$b = \frac{6}{16} \times$ » d° »

$c = \frac{5}{16} \times$ » d° »

$(1) = \frac{1}{16} \times Elp \times K_{\varphi_1}$

$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2}

$(3) = \frac{1}{16} \times$ » $K_{\varphi_3} \times \frac{3n+1}{n-1}$

$n = \frac{H}{h}$

$I = \frac{2}{16} \times Elp \times R_\alpha$

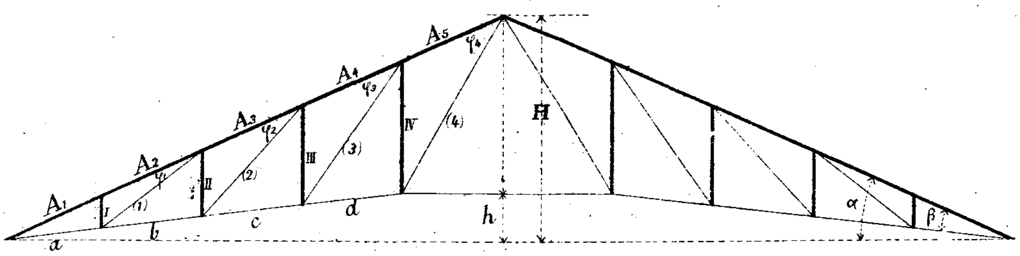
$II = \frac{3}{16} \times$ » d° »

$III = \frac{4}{16} \times$ » d° »

$t = \frac{4}{16} \times Elp \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$

$n = \frac{H}{h}$

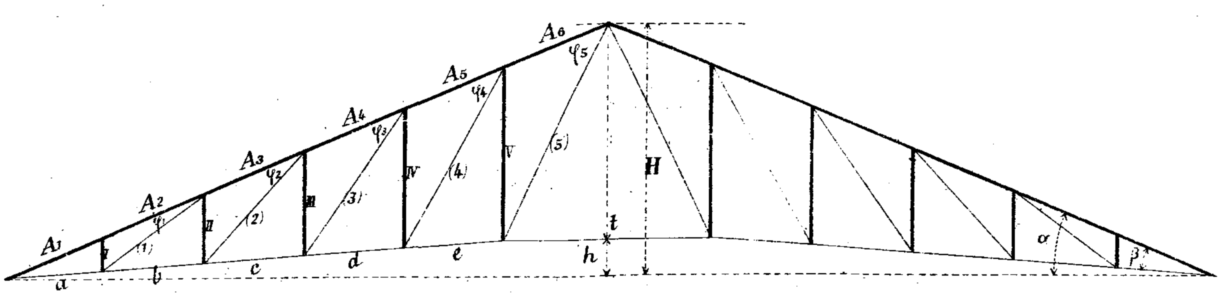
$N = 5$



FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{20} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{20} \times Elp \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{8}{20}$ » d° »	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{20} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° » d°	$c = \frac{7}{20}$ » d° »	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{20} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° » d°	$d = \frac{6}{20}$ » d° »	$(4) = \frac{1}{20} \times$ » $K_{\varphi_4} \times \frac{4n+1}{n-1}$	$IV = \frac{5}{20} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{6}{20} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	$t = \frac{5}{20} \times Elp \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$ $n = \frac{H}{h}$

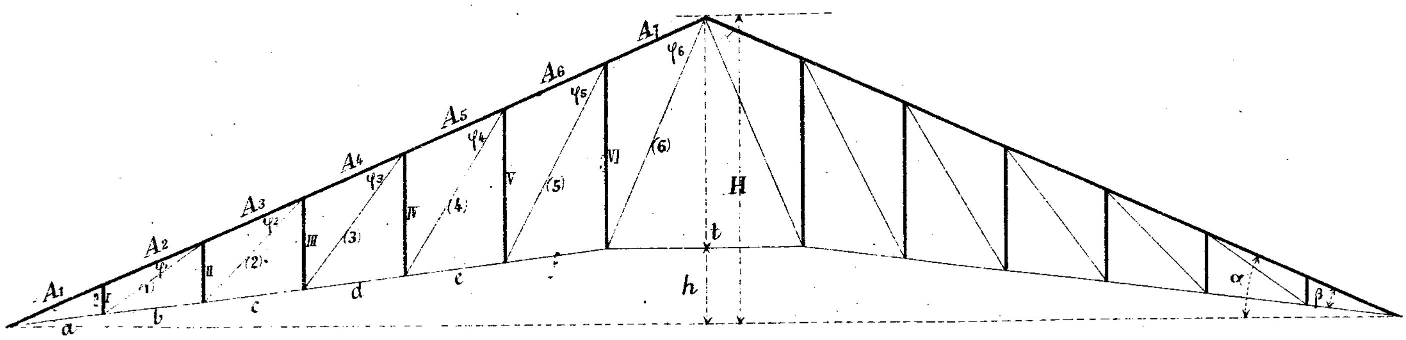
$N = 6$



FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$	$a = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{24} \times Elp \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{24} \times Elp \times R\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{10}{24} \times$ » d° » d°	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{9}{24} \times$ » d° » d°	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{8}{24} \times$ » d° » d°	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{1}{24} \times$ » $K_{\varphi_5} \times \frac{5n+1}{n-1}$	$V = \frac{6}{24} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{7}{24} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	$t = \frac{6}{24} \times Elp \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$ $n = \frac{H}{h}$

N = 7

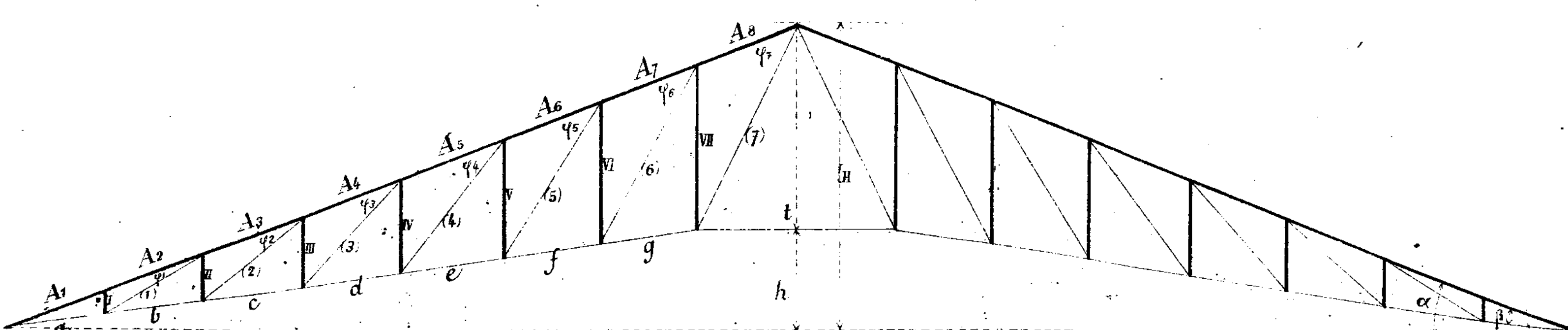


FORMULES

$A_1 = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R\alpha \times C(\alpha\text{-}\beta)$	$a = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{28} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{28} \times E\,l\,p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{28} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{12}{28} \times$ » d° » d°	$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{28} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{11}{28} \times$ » d° » d°	$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{28} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{10}{28} \times$ » d° » d°	$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{28} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{9}{28} \times$ » d° » d°	$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$(6) = \frac{1}{28} \times$ » $K_{\varphi_6} \times \frac{6n+1}{n-1}$	$VI = \frac{7}{28} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{8}{28} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	

$$t = \frac{7}{28} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1} \qquad n = \frac{H}{h}$$

N = 8

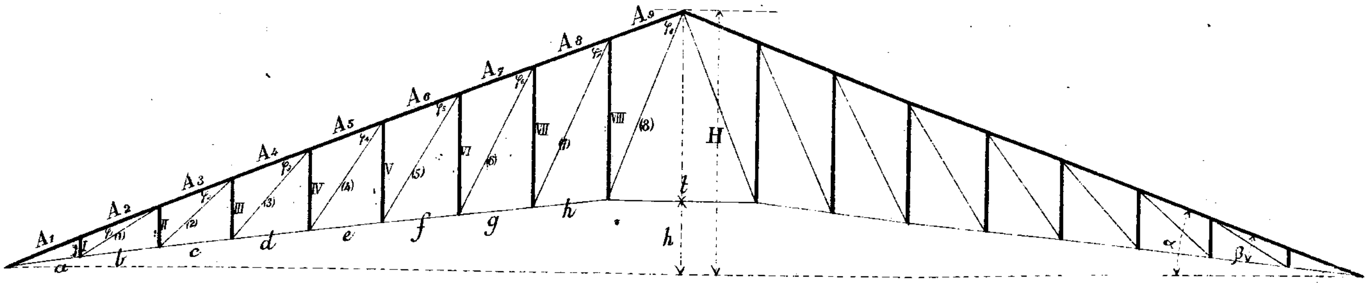


FORMULES

$A_1 = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R\alpha \times C(\alpha\text{-}\beta)$	$a = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{32} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{32} \times E\,l\,p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{32} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{14}{32} \times$ » d° » d°	$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{32} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{13}{32} \times$ » d° » d°	$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{32} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{12}{32} \times$ » d° » d°	$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{32} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{11}{32} \times$ » d° » d°	$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{32} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{10}{32} \times$ » d° » d°	$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$(7) = \frac{1}{32} \times$ » $K_{\varphi_7} \times \frac{7n+1}{n-1}$	$VII = \frac{8}{32} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{9}{32} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	

$$t = \frac{8}{32} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1} \qquad n = \frac{H}{h}$$

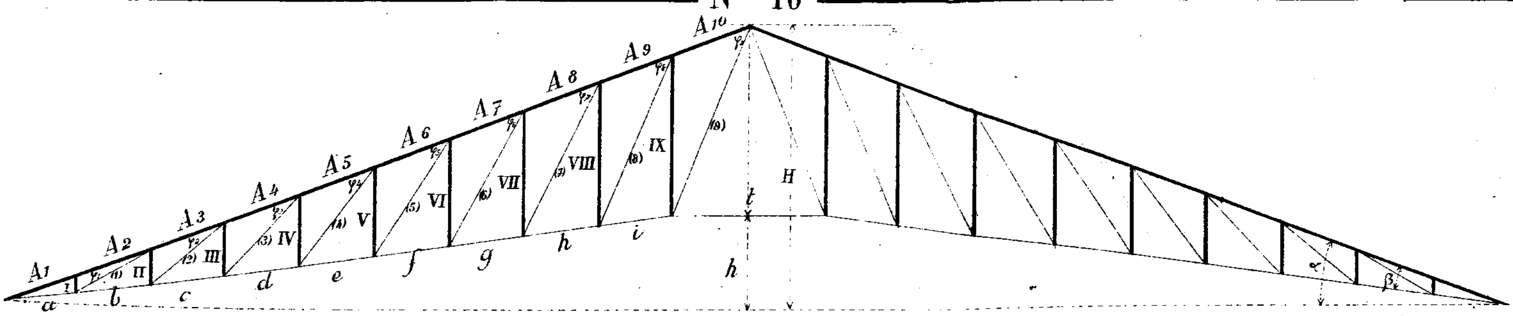
N = 9



$A_1 = \frac{17}{36} \times E l p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$	$a = \frac{17}{36} \times E l p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{36} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{36} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{36} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{16}{36} \times$ » d° » d°	$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{36} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{15}{36} \times$ » d° » d°	$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{36} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{14}{36} \times$ » d° » d°	$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{36} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{13}{36} \times$ » d° » d°	$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{36} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{12}{36} \times$ » d° » d°	$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7}	$VII = \frac{8}{36} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{11}{36} \times$ » d° » d°	$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$(8) = \frac{1}{36} \times$ » $K_{\varphi_8} \times \frac{8n+1}{n-1}$	$VIII = \frac{9}{36} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{10}{36} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	

$$t = \frac{9}{36} \times E l p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1} \qquad n = \frac{H}{h}$$

N = 10



$A_1 = \frac{19}{40} \times E l p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$	$a = \frac{19}{40} \times E l p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{40} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{40} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{40} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{40} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{18}{40} \times$ » d° » d°	$c = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{40} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{40} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{17}{40} \times$ » d° » d°	$d = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{40} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{40} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{16}{40} \times$ » d° » d°	$e = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$(5) = \frac{5}{40} \times$ » K_{φ_5}	$V = \frac{6}{40} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{15}{40} \times$ » d° » d°	$f = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$(6) = \frac{6}{40} \times$ » K_{φ_6}	$VI = \frac{7}{40} \times$ » d° »
$A_7 = \frac{14}{40} \times$ » d° » d°	$g = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$(7) = \frac{7}{40} \times$ » K_{φ_7}	$VII = \frac{8}{40} \times$ » d° »
$A_8 = \frac{13}{40} \times$ » d° » d°	$h = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$(8) = \frac{8}{40} \times$ » K_{φ_8}	$VIII = \frac{9}{40} \times$ » d° »
$A_9 = \frac{12}{40} \times$ » d° » d°	$i = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$(9) = \frac{1}{40} \times$ » $K_{\varphi_9} \times \frac{9n+1}{n-1}$	$IX = \frac{10}{40} \times$ » d° »
$A_{10} = \frac{11}{40} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	

$$t = \frac{10}{40} \times E l p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1} \qquad n = \frac{H}{h}$$

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE B'

Cette ferme fait partie de la série B'.

Dans ce type de ferme, les barres *I*, *II*, sont verticales et le tirant *t* est légèrement surélevé. (Voir les formules de la série B' pour $N=3$.)

FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times E l p \times K_\beta \times R\alpha \times C(\alpha\text{-}\beta)$	$a = \frac{5}{12} \times E l p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{12} \times E l p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{12} \times E l p \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$(2) = \frac{1}{12} \times$ » $K_{\varphi_2} \times \frac{2n+1}{n-1}$	$II = \frac{3}{12} \times$ d° »
$A_3 = \frac{4}{12} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	$t = \frac{3}{12} \times E l p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$
			$n = \frac{H}{h}$

Application. — Nous avons pris une ferme de 12^m de portée, d'où $l=12$, chargée à raison de $150^{kil.}$ tout compris, d'où $p=150$; nous supposons les fermes espacées de 4^m, donc $E=4$, par suite $E \times l \times p = 7200$. Nous mesurons au rapporteur des angles α, β, φ_1, φ_2, nous trouvons $\alpha = 24°30'$, $\beta = 21°$, $\varphi_1 = 16°$ $\varphi_2 = 27°$; en consultant la table, au regard de chacun de ces angles nous trouvons K_β, $= 2.79$, $R\alpha = 1.098$, $C_{(\alpha-\beta)} = 0.998$, $K\varphi_1 = 3.62$, $K\varphi_2 = 2.2$; il ne reste plus à trouver que le nombre *n*, cette quantité n'est autre chose que le rapport de *H* (hauteur totale de la ferme) à *h* (surélévation de l'entrait). Dans l'exemple choisi, on a $H = 2^m75$ et $h = 0^m25$, donc $\frac{H}{h} = \frac{2.75}{0.25} = 11$; nous avons donc pour le calcul de l'effort désigné par (2)

$$\text{Effort } (2) = \frac{1}{12} \times 7.200 \times 2.2 \times \frac{2 \times 11 + 1}{11 - 1}$$
$$\times \frac{23}{10}$$

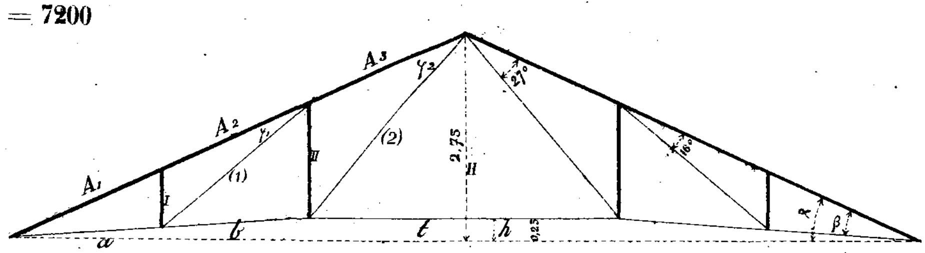
en effectuant, on trouve $(2) = 3035$, nous avons calculé tous les efforts et consigné les résultats sur l'épure pour en faire ressortir la concordance avec nos formules.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

$$\left.\begin{aligned} E &= 4^m \\ l &= 12^m \\ p &= 150 \end{aligned}\right\} E\,l\,p = 7200$$

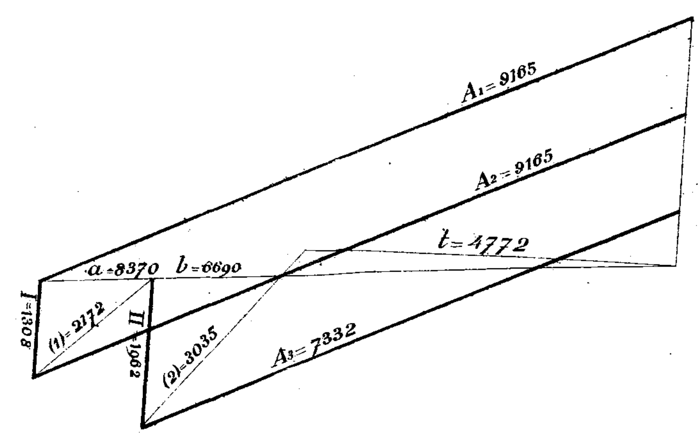
Echelle $= \frac{1}{1000}$



12^m00

$$\left\{\begin{aligned} \alpha &= 24°30' \\ \beta &= 21° \\ \alpha-\beta &= 3°30' \end{aligned}\right.$$

ÉPURE STATIQUE

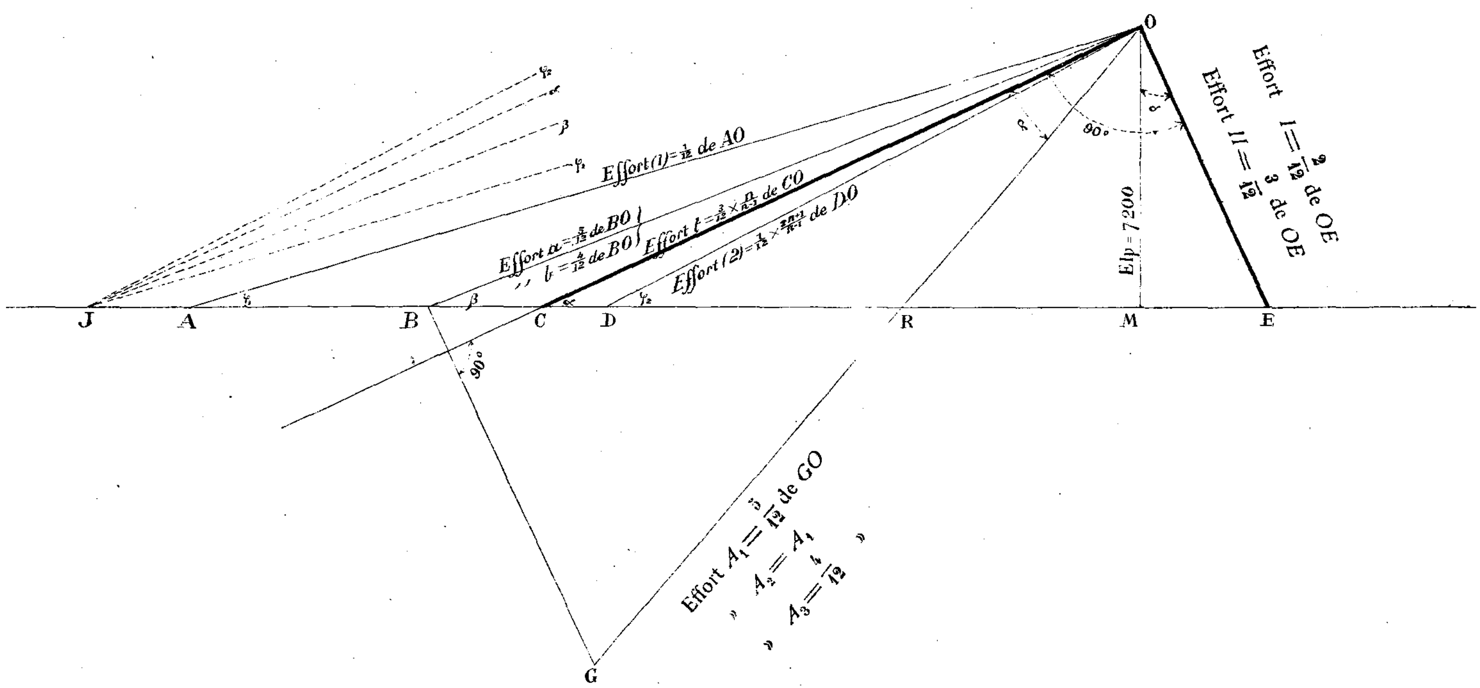


Echelle $= \frac{1}{1000}$

(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



Pour établir ce diagramme, on prendra un point J sur une horizontale ; on appliquera en ce point le centre d'un rapporteur et on marquera les angles φ_1, β, α, φ_2 ; on tracera les rayons $J\varphi_1$, $J\beta$, $J\alpha$, $J\varphi_2$. puis on portera sur une verticale MO, à une échelle déterminée, la valeur du produit $E \times l \times f$ = dans l'exemple choisi 7200 ; par le point O ainsi obtenu, on mènera des parallèles OA, OB, OC, OD aux rayons tracés précédemment ; on aura ainsi reconstitué, à partir des points A, B, C, D, chacun des angles φ_1, β, α et φ_2. Du point B on abaissera une perpendiculaire BG sur OC prolongé ; puis ensuite, du point O et à partir de OC, on formera l'angle α de manière que le triangle ROC soit un triangle isocèle ; le côté OR prolongé coupera en G la perpendiculaire précédente. On tracera ensuite OE de manière que le triangle OCE soit rectangle en O. Les efforts subis par chacun des éléments de la ferme sont tous compris sur la figure ainsi obtenue. Le lecteur pourra, s'il craint la confusion à cause du trop grand nombre de lignes telles que OA, OB, OC, OD, faire plusieurs diagrammes séparés, l'un groupant les efforts qui sont fonctions des angles φ_1, φ_2, l'autre les efforts fonctions de l'angle α, et enfin un troisième qui sera analogue au diagramme trouvé pour les fermes polonceau.

DEUXIÈME EXEMPLE DE LA SÉRIE B'

Ce type de ferme est suffisamment défini par la figure que nous donnons à la page suivante ; il ne devra être employé que dans des cas spéciaux, car, à cause de la surélévation de l'entrait, les efforts deviennent considérables.

FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R\alpha \times C(\alpha\text{-}\beta)$	$a = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$(1) = \frac{1}{24} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$I = \frac{2}{24} \times E\,l\,p \times R\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2}	$II = \frac{3}{24} \times$ » d° »
$A_3 = \frac{10}{24} \times$ d° » d°	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3}	$III = \frac{4}{24} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{9}{24} \times$ » d° » d°	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4}	$IV = \frac{5}{24} \times$ » d° »
$A_5 = \frac{8}{24} \times$ » d° » d°	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$(5) = \frac{1}{24} \times$ » $K_{\varphi_5} \times \frac{5n+1}{n-1}$	$V = \frac{6}{24} \times$ » d° »
$A_6 = \frac{7}{24} \times$ » d° » d°		$n = \frac{H}{h}$	$t = \frac{6}{24} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$
			$n = \frac{H}{h}$

Le nombre n qui entre dans les deux dernières formules est le rapport de H (hauteur totale de la ferme) à h (surélévation de l'entrait t). Dans l'exemple choisi ce rapport $\frac{H}{h} = \frac{7}{3}$

On mesurera, comme toujours, au rapporteur les angles α, β, φ_1 φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 et on cherchera dans la table les valeurs correspondantes des constantes ; on trouve $K\beta = 5.24$, $R\alpha = 1.99$, $C(\alpha\text{-}\beta) = 0.976$, $K\varphi_1 = 6.39$ $K\varphi_2 = 3.42$, $K\varphi_3 = 2.5$, $K\varphi_4 = 2.09$, $K\varphi_5 = 1.83$, $K\alpha = 2.507$.

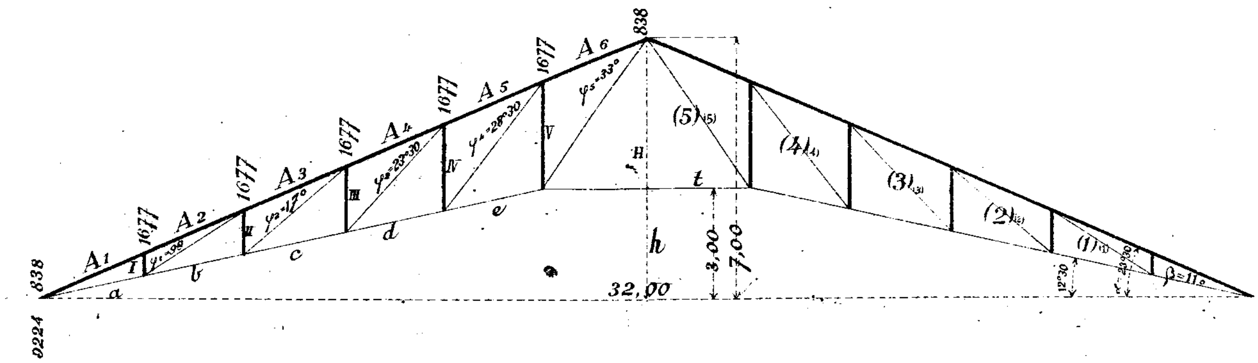
Application. — Nous avons appliqué ces formules à une ferme de 32^{m} de portée, d'où $l = 32$; la charge totale est de $115^{kil.}$ par mètre carré non projeté, d'où $p = 115$; nous supposons que les fermes sont espacées de 5^{m}, donc $E = 5$. Nous formons une fois pour toutes le produit de ces trois données ; nous avons $E \times l \times p = 5 \times 32 \times 115 = 18400$. Calculons l'un des efforts, t par exemple : $t = \frac{6}{24} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$; nous avons dit que $n = \frac{H}{h}$, $H = 7$ et $h = 3$, d'où $n = \frac{7}{3}$; la quantité $K\alpha$ se trouvera dans la table ; sur l'horizontale de l'angle 23°30' on a $K = 2.507$.

$$t = \frac{6}{24} \times 5 \times 32 \times 115 \times 2.5 \times \frac{\frac{7}{3}}{\frac{7}{3} - 1} = 20125$$

Tous les autres efforts ont été calculés et leur valeur est consignée sur l'épure statique.

PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{2000}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{2000}$

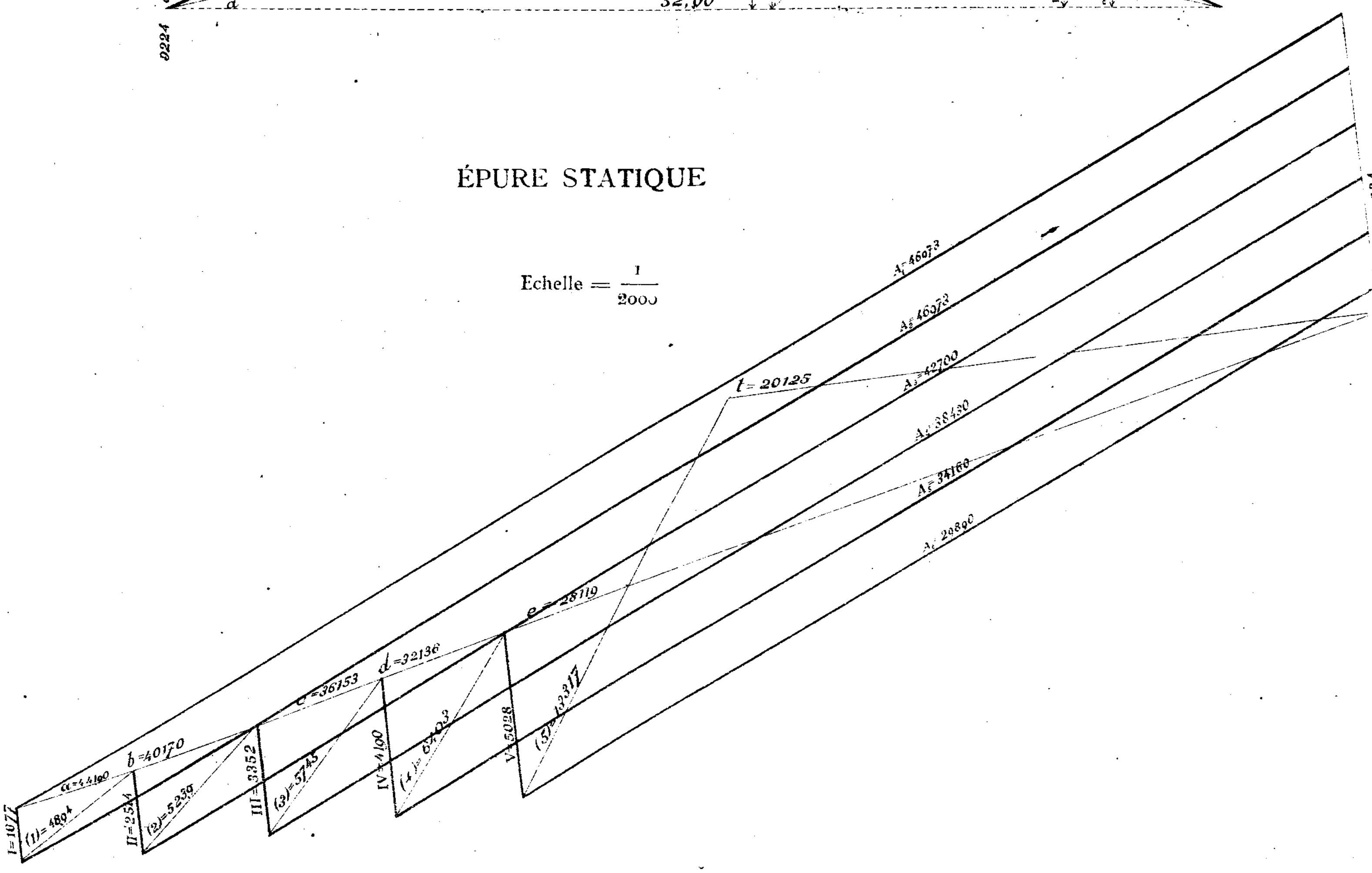
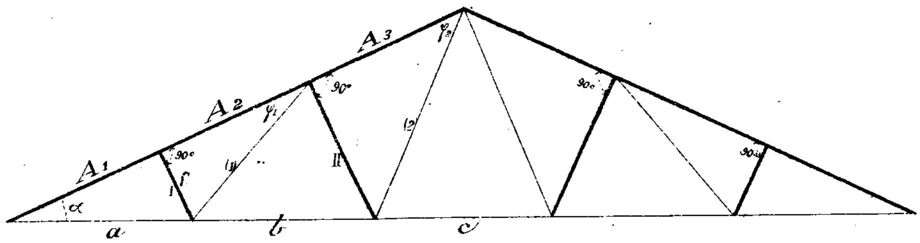
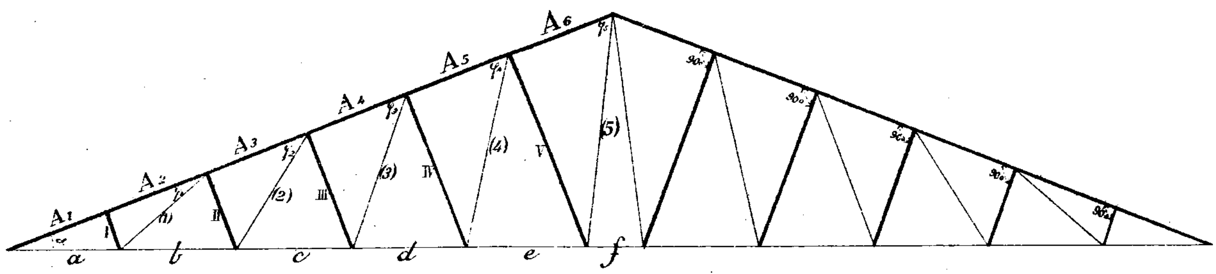


DIAGRAMME DES EFFORTS

Diagramme des efforts. — Nous n'avons pu insérer le diagramme à cause du manque de place ; le lecteur pourra facilement le construire en se guidant sur l'exemple précédent. Les diagrammes pour toutes les fermes d'une même série sont analogues.

SÉRIE C





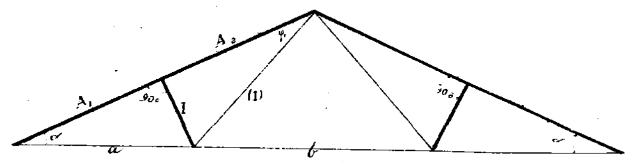
Les deux fermes représentées ci-dessus, malgré leur dissemblance apparente, font partie d'une même série ; ces fermes ont, en effet, un caractère commun ; les contrefiches *I*, *II* de la première sont normales à l'arbalétrier, de même que les contrefiches *I*, *II*, *III*, *IV*, *V* de la seconde. Les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), etc., sont inclinés dans le même sens pour les deux fermes. Nous avons, comme pour les séries précédentes, établi une formule générale, dans laquelle entre le nombre N de travées de l'arbalétrier ; on voit que pour la premère des fermes ci-dessus $N = 3$, tandis que pour la seconde $N = 6$. Nous donnons à la suite les formules particulières pour tous les cas, depuis $N = 2$ jusqu'à $N = 10$.

La première de ces fermes pour $N = 2$ n'est pas autre chose que la ferme polonceau simple, sans surélévation du tirant (1).

---

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

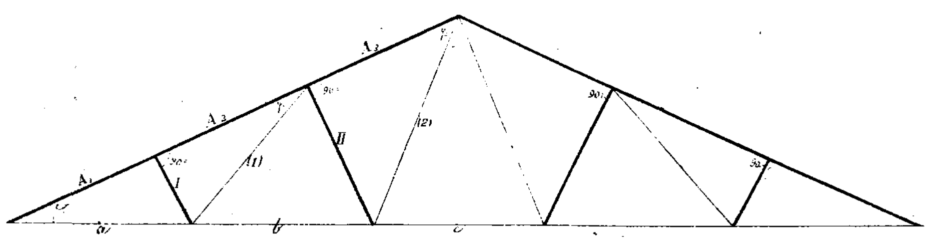
N = 2



FORMULES

$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{8} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{8} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{3}{8} \times$ » d° » $- \frac{2}{8} \times Elp \times T_\alpha$	$b = \frac{2}{8} \times$ » d° »		

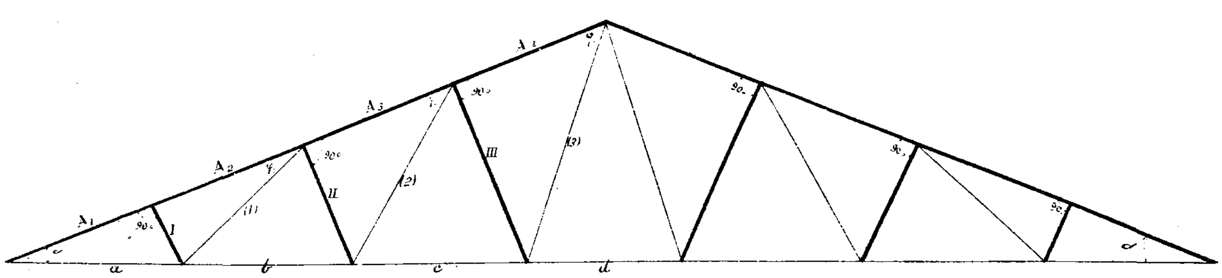
N = 3



FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{12} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{5}{12} \times$ » d° » $- \frac{2}{12} \times Elp \times T_\alpha$	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{12} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{4}{12} \times$ » d° » $- \frac{3}{12} \times$ d°	$c = \frac{3}{12} \times$ » d° »		

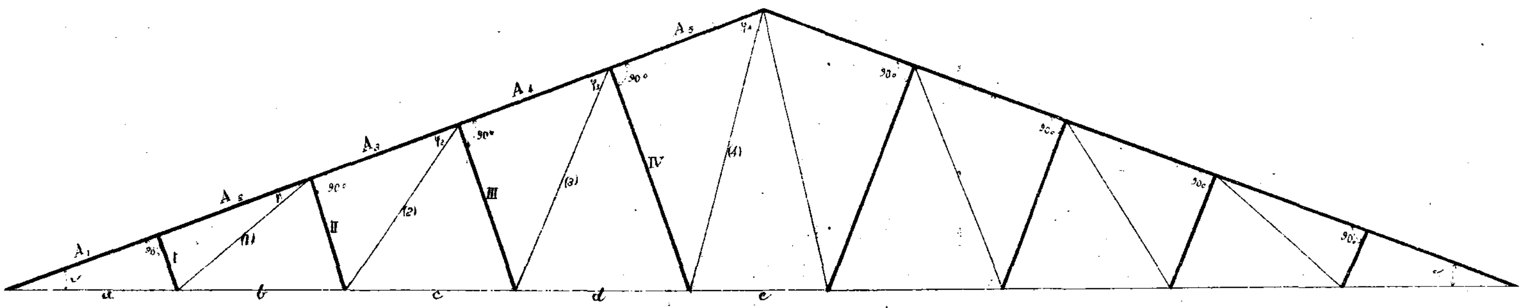
N = 4



FORMULES

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{16} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{16} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{7}{16} \times$ » d° » $- \frac{2}{16} \times Elp \times T_\alpha$	$b = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{16} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{6}{16} \times$ » d° » $- \frac{3}{16} \times$ d°	$c = \frac{5}{16} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{16} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{16} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{5}{16} \times$ » d° » $- \frac{4}{16} \times$ d°	$d = \frac{4}{16} \times$ » d° »		

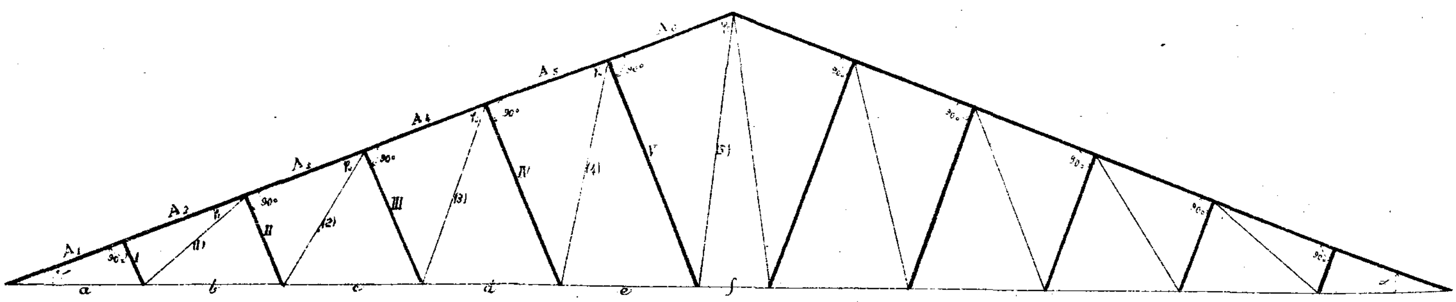
N – 5



FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{20} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{20} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{9}{20} \times$ » d° » $- \frac{2}{20} \times Elp \times T\alpha$	$b = \frac{8}{20}$ » d° »	$II = \frac{3}{20} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° » $- \frac{3}{20} \times$ d°	$c = \frac{7}{20}$ » d° »	$III = \frac{4}{20} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° » $- \frac{4}{20} \times$ d°	$d = \frac{6}{20}$ » d° »	$IV = \frac{5}{20} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{6}{20} \times$ » d° » $- \frac{5}{20} \times$ d°	$e = \frac{5}{20}$ » d° »		

N = 6



FORMULES

$A_1 = \frac{11}{24} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{11}{24} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{24} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{24} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{11}{24} \times$ » d° » $- \frac{2}{24} \times Elp \times T\alpha$	$b = \frac{10}{24} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{24} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{24} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{10}{24} \times$ » d° » $- \frac{3}{24} \times$ d°	$c = \frac{9}{24} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{24} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{24} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{9}{24} \times$ » d° » $- \frac{4}{24} \times$ d°	$d = \frac{8}{24} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{24} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{24} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{8}{24} \times$ » d° » $- \frac{5}{24} \times$ d°	$e = \frac{7}{24} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{24} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{24} \times$ » K_{φ_5}
$A_6 = \frac{7}{24} \times$ » d° » $- \frac{6}{24} \times$ d°	$f = \frac{6}{24} \times$ » d° »		

N = 7

FORMULES

$A_1 = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times S\alpha$	$a = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{28} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{28} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{13}{28} \times$ » d° » $- \frac{2}{28} \times E\,l\,p \times T\alpha$	$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{28} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{12}{28} \times$ » d° » $- \frac{3}{28} \times$ d°	$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{28} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{11}{28} \times$ » d° » $- \frac{4}{28} \times$ d°	$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{28} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{10}{28} \times$ » d° » $- \frac{5}{28} \times$ d°	$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{28} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5}
$A_6 = \frac{9}{28} \times$ » d° » $- \frac{6}{28} \times$ d°	$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{28} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{28} \times$ » K_{φ_6}
$A_7 = \frac{8}{28} \times$ » d° » $- \frac{7}{28} \times$ d°	$g = \frac{7}{28} \times$ » d° »		

N = 8

FORMULES

$A_1 = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times S\alpha$	$a = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{32} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{32} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{15}{32} \times$ » d° » $- \frac{2}{32} \times E\,l\,p \times T\alpha$	$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{32} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{14}{32} \times$ » d° » $- \frac{3}{32} \times$ d°	$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{32} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{13}{32} \times$ » d° » $- \frac{4}{32} \times$ d°	$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{32} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{12}{32} \times$ » d° » $- \frac{5}{32} \times$ d°	$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{32} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5}
$A_6 = \frac{11}{32} \times$ » d° » $- \frac{6}{32} \times$ d°	$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{32} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6}
$A_7 = \frac{10}{32} \times$ » d° » $- \frac{7}{32} \times$ d°	$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$VII = \frac{8}{32} \times$ d°	$(7) = \frac{7}{32} \times$ » K_{φ_7}
$A_8 = \frac{9}{32} \times$ » d° » $- \frac{8}{32} \times$ d°	$h = \frac{8}{32} \times$ » d° »		

N = 9

$A_1 = \frac{17}{36} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{17}{36} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{36} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{36} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{17}{36} \times$ » d° » $-\frac{2}{36} \times Elp \times T\alpha$	$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{36} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{16}{36} \times$ » d° » $-\frac{3}{36} \times$ d°	$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{36} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{15}{36} \times$ » d° » $-\frac{4}{36} \times$ d°	$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{36} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{14}{36} \times$ » d° » $-\frac{5}{36} \times$ d°	$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{36} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5}
$A_6 = \frac{13}{36} \times$ » d° » $-\frac{6}{36} \times$ d°	$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{36} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6}
$A_7 = \frac{12}{36} \times$ » d° » $-\frac{7}{36} \times$ d°	$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$VII = \frac{8}{36} \times$ d°	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7}
$A_8 = \frac{11}{36} \times$ » d° » $-\frac{8}{36} \times$ d°	$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$VIII = \frac{9}{36} \times$ d°	$(8) = \frac{8}{36} \times$ » K_{φ_8}
$A_9 = \frac{10}{36} \times$ » d° » $-\frac{9}{36} \times$ d°	$i = \frac{9}{36} \times$ » d° »		

N = 10

$A_1 = \frac{19}{40} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{19}{40} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{40} \times Elp$	$(1) = \frac{1}{40} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{19}{40} \times$ » d° » $-\frac{2}{40} \times Elp \times T\alpha$	$b = \frac{18}{40} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{40} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{40} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{18}{40} \times$ » d° » $-\frac{3}{40} \times$ d°	$c = \frac{17}{40} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{40} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{40} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{17}{40} \times$ » d° » $-\frac{4}{40} \times$ d°	$d = \frac{16}{40} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{40} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{40} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{16}{40} \times$ » d° » $-\frac{5}{40} \times$ d°	$e = \frac{15}{40} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{40} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{40} \times$ » K_{φ_5}
$A_6 = \frac{15}{40} \times$ » d° » $-\frac{6}{40} \times$ d°	$f = \frac{14}{40} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{40} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{40} \times$ » K_{φ_6}
$A_7 = \frac{14}{40} \times$ » d° » $-\frac{7}{40} \times$ d°	$g = \frac{13}{40} \times$ » d° »	$VII = \frac{8}{40} \times$ d°	$(7) = \frac{7}{40} \times$ » K_{φ_7}
$A_8 = \frac{13}{40} \times$ » d° » $-\frac{8}{40} \times$ d°	$h = \frac{12}{40} \times$ » d° »	$VIII = \frac{9}{40} \times$ d°	$(8) = \frac{8}{40} \times$ » K_{φ_8}
$A_9 = \frac{12}{40} \times$ » d° » $-\frac{9}{40} \times$ d°	$i = \frac{11}{40} \times$ » d° »	$IX = \frac{10}{40} \times$ d°	$(9) = \frac{9}{40} \times$ » K_{φ_9}
$A_{10} = \frac{11}{40} \times$ » d° » $-\frac{10}{40} \times$ d°	$j = \frac{10}{40} \times$ » d° »		

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE C

Cette ferme fait partie de la série C ; les contrefiches *I*, *II*, *III*, sont normales à l'arbalétrier et les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*) sont inclinés comme l'indique la figure. Le nombre des travées à l'arbalétrier A_1, A_2, etc., étant de 5, nous n'avons qu'à appliquer les formules données précédemment pour $N = 5$. Nous les reproduisons ici :

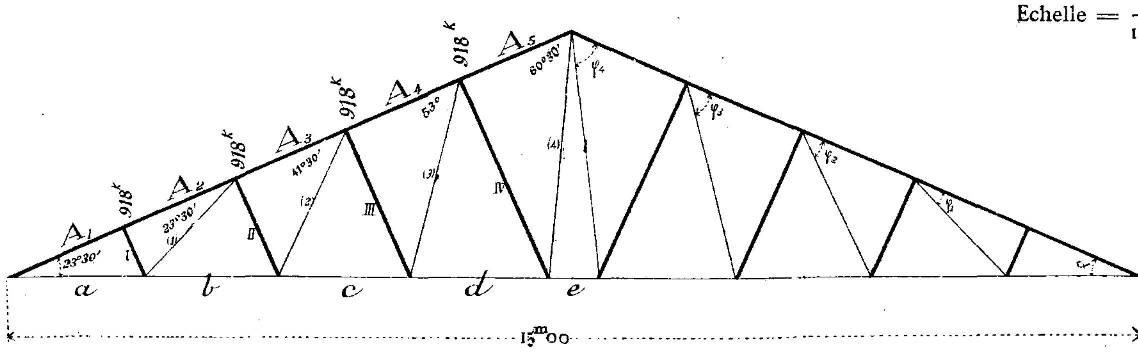
FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{20} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{20} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{9}{20} \times$ » d° » $-\frac{2}{20} \times E\,l\,p \times T\alpha$	$b = \frac{8}{20}$ » d° »	$II = \frac{3}{20} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° » $-\frac{3}{20} \times$ d°	$c = \frac{7}{20}$ » d° »	$III = \frac{4}{20} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° » $-\frac{4}{20} \times$ d°	$d = \frac{6}{20}$ » d° »	$IV = \frac{5}{20} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{6}{20} \times$ » d° » $-\frac{5}{20} \times$ d°	$e = \frac{5}{20}$ » d° »		

Application. — La ferme que nous voulons calculer a 15^m de portée, d'où $l = 15$; les fermes sont espacées de 4^m, d'où $E = 4$; le poids par mètre carré, toutes surcharges comprises, est de $140^{kil.}$, compté suivant l'inclinaison de la toiture, d'où $p = 140$; par suite on a $E \times l \times p = 4 \times 15 \times 140 = 8400$. Nous mesurons ensuite au rapporteur les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, nous trouvons $\alpha = 23°30'$, $\varphi_1 = 23°30$, $\varphi_2 = 41°30'$, $\varphi_3 = 53°$, $\varphi_4 = 60°30'$. En consultant la table des constantes, nous trouvons sur l'horizontale de $23°30'$ les valeurs concernant l'angle α ; on a $K_\alpha = 2.51$, $R_\alpha = 1.09$, $S_\alpha = 2.73$; on trouve de même $K_{\varphi_1} = 2.51$, $K_{\varphi_2} = 1.51$, $K_{\varphi_3} = 1.25$, $K_{\varphi_4} = 1.15$ et $T_\alpha = 0.43$. Il n'y a qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et effectuer les multiplications pour avoir les efforts en kilogrammes.

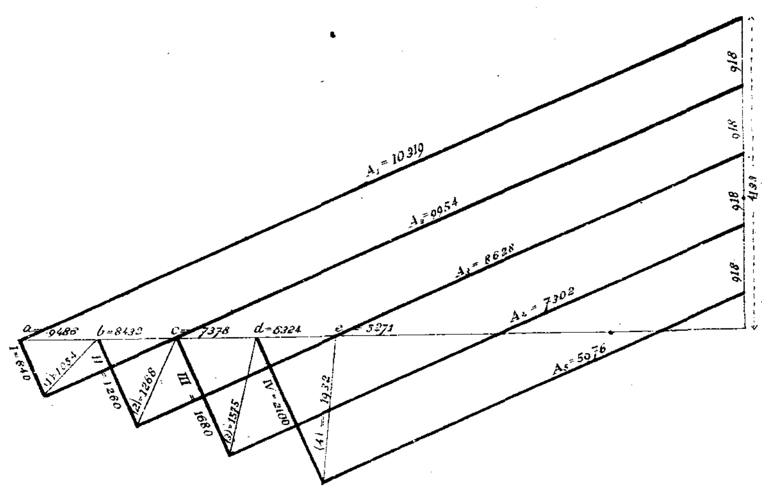
PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1000}$



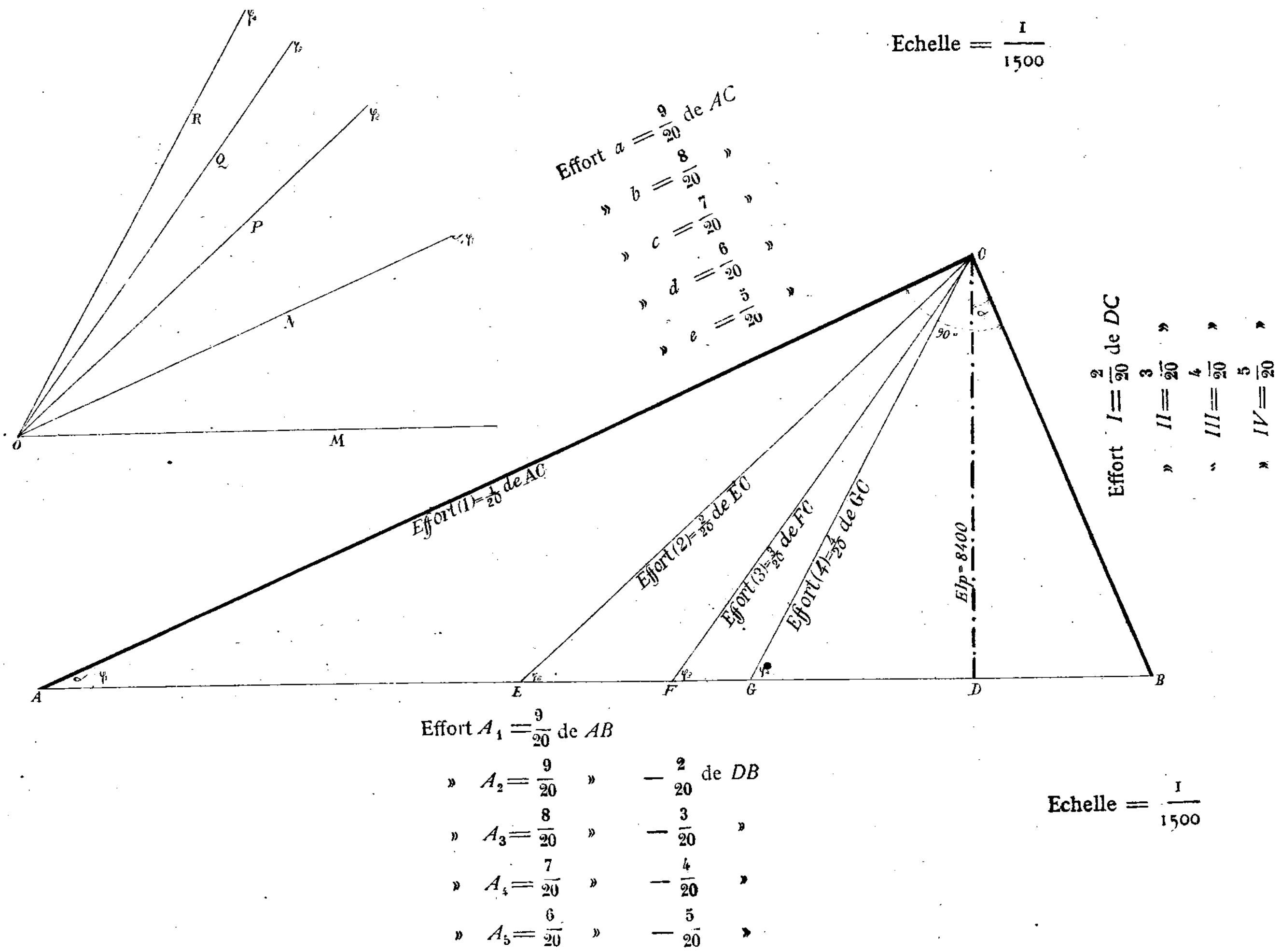
ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$



(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

DIAGRAMME DES EFFORTS



Pour construire ce diagramme, sur une horizontale OM, au point O, on place le centre d'un rapporteur et on fait les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4 (dans cette série de fermes $\alpha = \varphi_1$). On trace les rayons OM, ON, OP, OQ, OR. Ensuite, sur une horizontale indéfinie AB, on élève la perpendiculaire DC égale à Elp ; dans le cas actuel ce produit $= 8.400$. On peut choisir l'échelle à volonté ; nous avons pris $\frac{1}{1500}$; par le point C ainsi obtenu on mène CA, CE, CF, CG respectivement parallèles à ON, OP, OQ, OR ; comme on le voit, ces lignes forment avec l'horizontale les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4.

On complète le diagramme en traçant CB perpendiculaire sur AC, autrement dit le triangle CAB est rectangle en C.

Comme on le voit, cette figure est très simple à construire ; elle servira à la détermination immédiate efforts ou encore au contrôle des efforts obtenus par les formules.

DEUXIÈME EXEMPLE DE LA SÉRIE C

Cette ferme fait partie de la série C ; les contrefiches *I*, *II*, *III*, etc., sont normales à l'arbalétrier ; les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), etc., sont inclinés comme l'indique la figure.

Nous avons pris comme exemple une ferme de 24^m de portée, $l = 24$; nous la supposons chargée à raison de $150^{kil.}$ par mètre carré suivant l'inclinaison de la toiture, cette charge comprenant toutes les surcharges accidentelles et aussi le poids de la ferme, d'où $p = 150^{kil.}$ D'après le projet à l'étude, les fermes doivent être espacées de 3^m, d'ou $E = 3^m$. On a donc $E \times l \times p = 3 \times 24 \times 150 = 10800$.

Pour avoir en kilogrammes la valeur des efforts développés dans chaque élément, nous remarquons que l'arbalétrier est divisé en 6 parties égales ; il faut donc se reporter aux formules précédentes pour le cas $N = 6$.

Il ne reste plus ensuite qu'à mesurer au rapporteur les angles α, φ_1, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 ; nous avons indiqué la graduation trouvée $\alpha = 18°30'$, $\varphi_1 = 18°30'$ (dans cette série de fermes α égale toujours φ_1), $\varphi_2 = 34°$, $\varphi_3 = 45°30$, $\varphi_4 = 54°$, $\varphi_5 = 60°$.

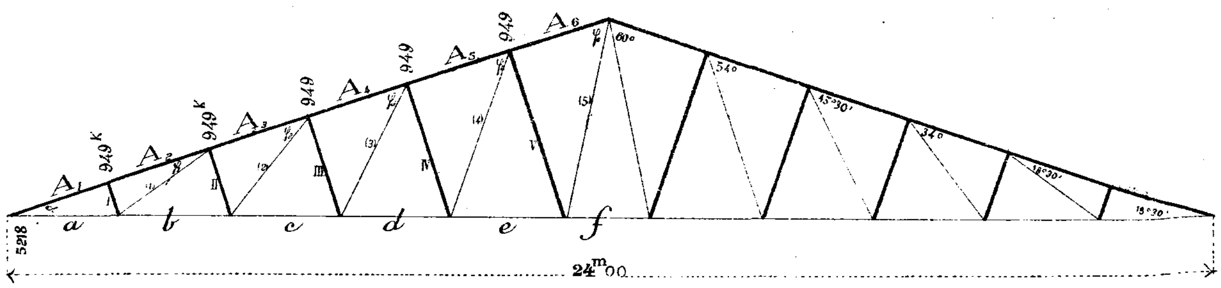
Il y a plus ensuite qu'à se reporter à la table des constantes et on trouvera $K_\alpha = 3.15$, $S_\alpha = 3{,}32$, $T_\alpha = 0.33$, $K_{\varphi_1} = 3.15$, $K_{\varphi_2} = 1.78$, $K_{\varphi_3} = 1.40$, $K_{\varphi_4} = 1.24$, $K_{\varphi_5} — 1.15$.

Il n'y a qu'à introduire ces valeurs dans les formules et à effectuer les calculs, qui se simplifieront beaucoup si on a soin de calculer un vingt-quatrième de chacune des quantités indiquées et de les multiplier ensuite par la série des nombres entiers.

Nous donnons plus loin le diagramme des efforts, qui permettra d'éviter tous ces calculs ou, mieux servira à les contrôler.

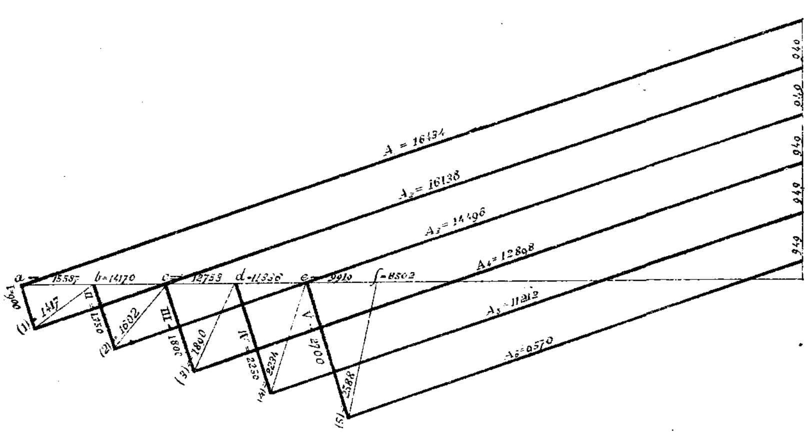
PROFIL DE LA FERME

Echelle = $\frac{1}{1500}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle = $\frac{1}{1500}$



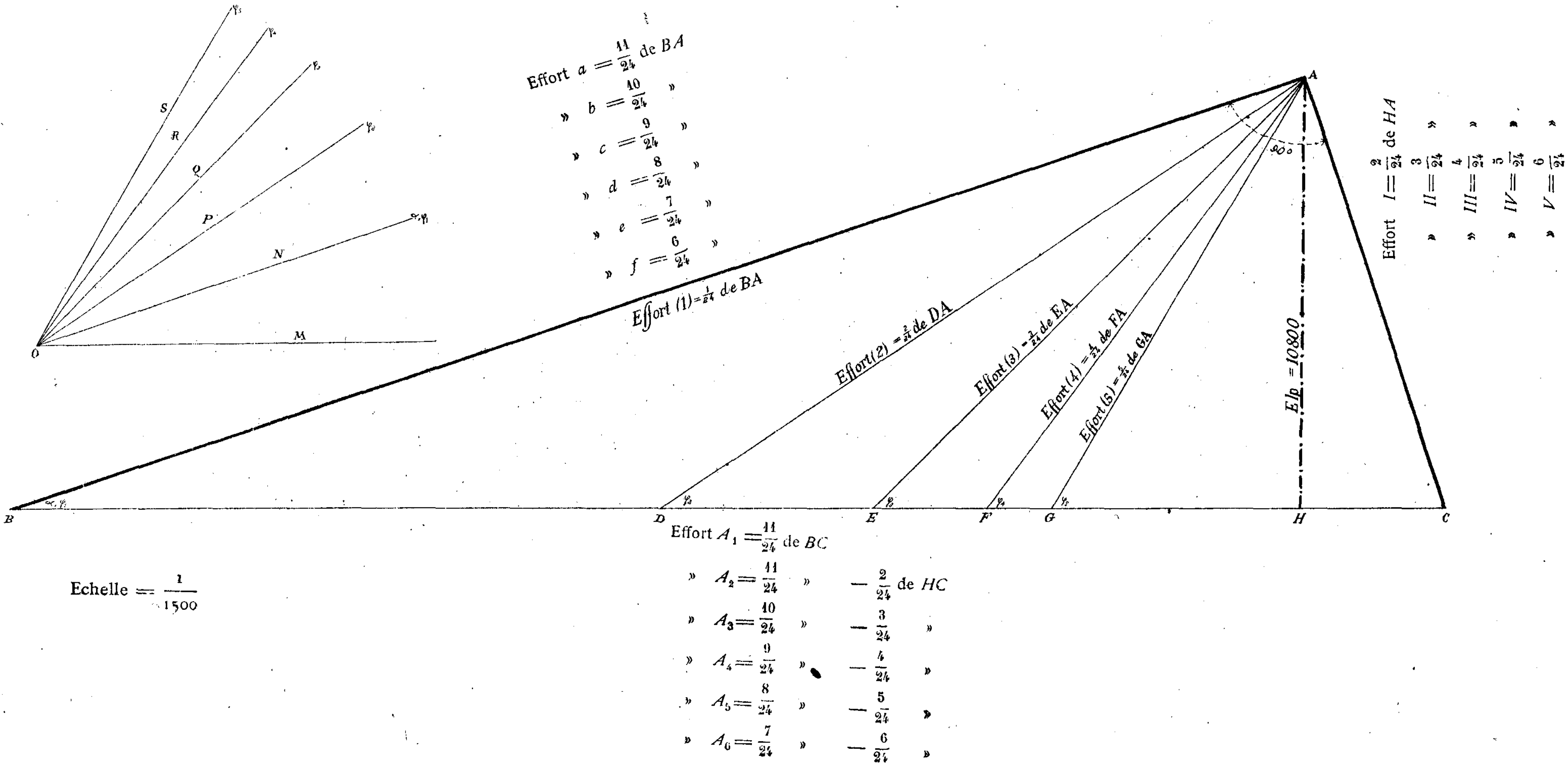
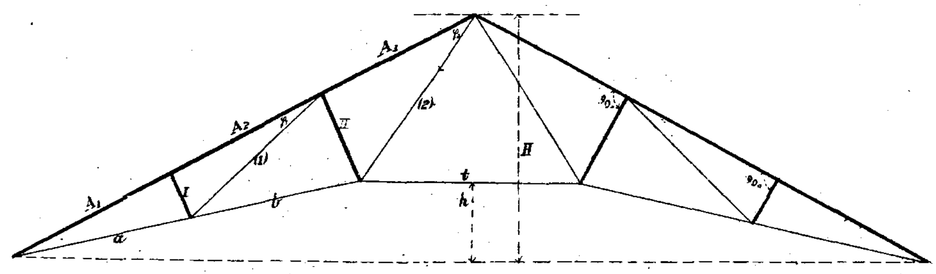


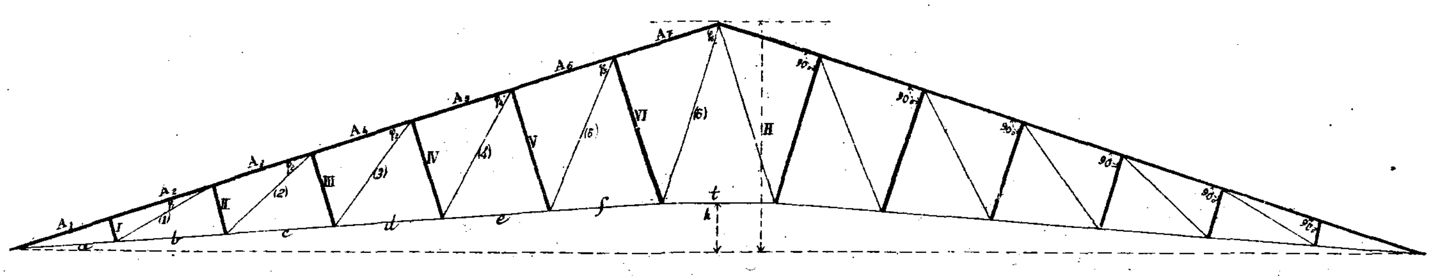
DIAGRAMME DES EFFORTS

Pour construire ce diagramme, à l'aide d'un rapporteur, on forme, à partir de l'horizontale OM, les angle α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 ; on trace les rayons ON, OP, OQ, OR, OS; ensuite, sur une autre horizontale indéfinie BC, on élève en un point quelconque H la perpendiculaire HA égale au produit Elp. Dans l'exemple choisi, $Elp = 10800$; on a ainsi obtenu le point A; par ce point on trace les lignes AB, AD, AE, AF, AG respectivement parallèles aux rayons ON, OP, OQ, OR, OS, de sorte que ces lignes formeront avec l'horizontale BC les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5. On trace ensuite AC perpendiculaire sur AB, de manière que le triangle ABC soit rectangle en A. Tous les efforts de la ferme sont groupés sur cette figure.

On voit combien on pourra déterminer rapidement les efforts ou bien contrôler les résultats obtenus à l'aide des formules.

SÉRIE C'





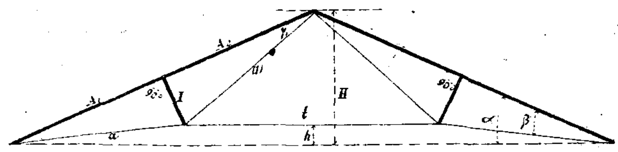
Les deux fermes ci-dessus ont des portées différentes ; il en est de même des hauteurs H ; dans chacune d'elles, l'entrait est surélevé, mais inégalement ; cependant elles ont un caractère commun qui permet de les comprendre dans une même série, c'est-à-dire de trouver l'expression des efforts exercés sur chacun de leurs organes par des formules analogues ; leurs contrefiches *I*, *II*, *III*, etc., sont normales aux arbalétriers et les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), etc., sont inclinés dans le même sens ; dans chacune d'elles, l'entrait t est plus ou moins surélevé. Ces trois conditions suffisent pour les comprendre dans une même série. Les formules que l'on trouvera ci-après dérivent d'une formule générale dans laquelle entre N, le nombre de travées de l'arbalétrier ; l'une des deux fermes ci-dessus est à trois travées, A_1, A_2, A_3, et l'autre à sept travées. Pour que le lecteur n'ait qu'à appliquer directement, nous donnons les formules particulières pour toutes les valeurs de N depuis 2 jusqu'à 10.

Le nombre n qui entre dans l'expression de certains efforts est le rapport de $\frac{H}{h}$ (1).

---

(1) Dans tous les types de ferme, de même que dans toutes les épures statiques, les organes représentés par des gros traits sont ceux qui travaillent à la compression.

N = 2



FORMULES

$$A_1 = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{3}{8} \times \quad » \quad d^\circ \quad » \quad - \frac{2}{8} \times Elp \times T_\alpha$$

$$a = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times K_\beta$$

$$I = \frac{2}{8} \times Elp$$

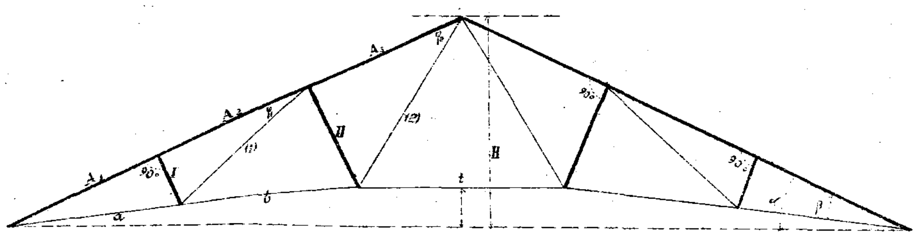
$$(1) = \frac{1}{8} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1} \times \frac{n+1}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

$$t = \frac{2}{8} \times E\,l\,p \times K_\alpha \times \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

N = 3



FORMULES

$$A_1 = \frac{5}{12} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{5}{12} \times \quad » \quad d^\circ \quad » \quad - \frac{2}{12} \times Elp \times T_\alpha$$

$$A_3 = \frac{5}{12} \times \quad » \quad d^\circ \quad » \quad - \left[\frac{4}{12} \times \quad d^\circ \quad + \frac{1}{12} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$a = \frac{5}{12} \times E\,l\,p \times K_\beta$$

$$b = \frac{4}{12} \times \quad » \quad d^\circ \quad »$$

$$I = \frac{2}{12} \times E\,l\,p$$

$$II = \frac{3}{12} \times d^\circ$$

$$(1) = \frac{1}{12} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$$

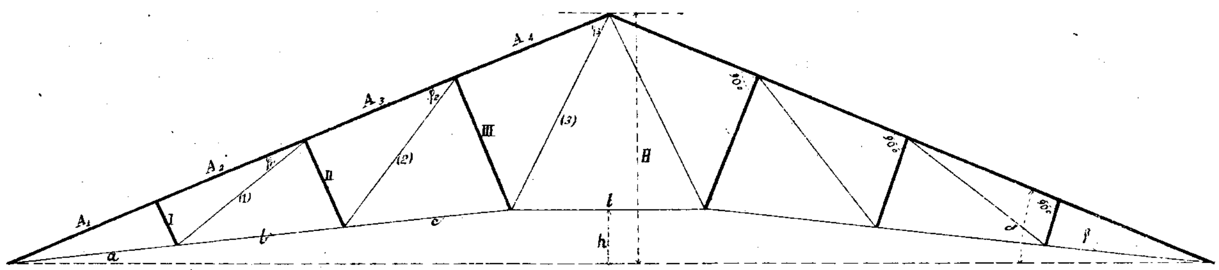
$$(2) = \frac{1}{12} \times \quad » \quad K_{\varphi_2} \times \frac{2n+1}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

$$t = \frac{3}{12} \times E\,l\,p \times K_\alpha \times \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

N = 4



FORMULES

$$A_1 = \frac{7}{16} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{7}{16} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \frac{2}{16} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{7}{16} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{4}{16} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{1}{16} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{7}{16} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{6}{16} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{2}{16} \times \quad » \quad d^o \quad »\right]$$

$$a = \frac{7}{16} \times E\,l\,p \times K_\beta$$

$$b = \frac{6}{16} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$c = \frac{5}{16} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$I = \frac{2}{16} \times E\,l\,p$$

$$II = \frac{3}{16} \times d^o$$

$$III = \frac{4}{16} \times d^o$$

$$(1) = \frac{1}{16} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$$

$$(2) = \frac{2}{16} \times \quad » \quad K_{\varphi_2}$$

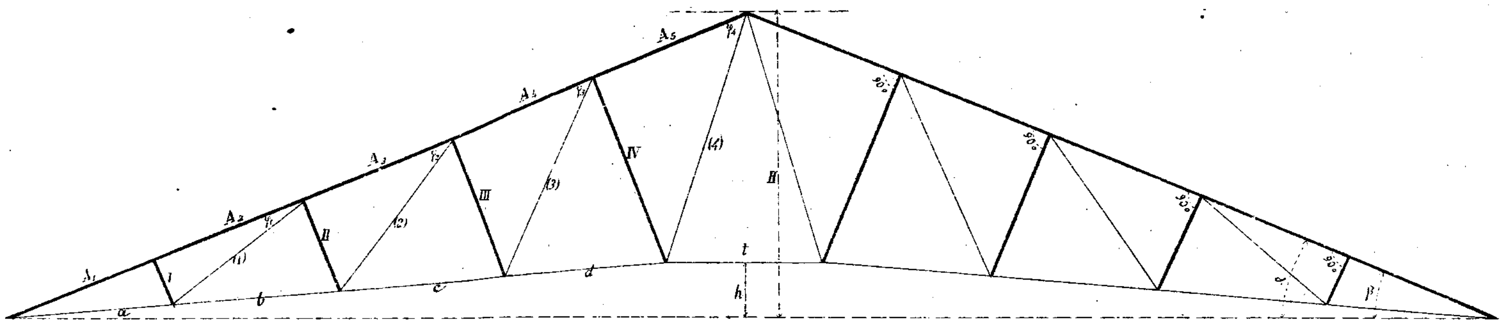
$$(3) = \frac{1}{16} \times \quad » \quad K_{\varphi_3} \times \frac{3n+1}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

$$t = \frac{4}{16} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

N=5



$$A_1 = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{9}{20} \times \text{ » d° » } - \frac{2}{20} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{9}{20} \times \text{ » d° » } - \left[\frac{4}{20} \times \text{ » d° » } + \frac{1}{20} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{9}{20} \times \text{ » d° » } - \left[\frac{6}{20} \times \text{ » d° » } + \frac{2}{20} \times \text{ » d° » }\right]$$

$$A_5 = \frac{9}{20} \times \text{ » d° » } - \left[\frac{8}{20} \times \text{ » d° » } + \frac{3}{20} \times \text{ » d° » }\right]$$

$$a = \frac{9}{20} \times E\,l\,p \times K_\beta \qquad b = \frac{8}{20} \times \text{ » d° » } \qquad c = \frac{7}{20} \times \text{ » d° » } \qquad d = \frac{6}{20} \times \text{ » d° » }$$

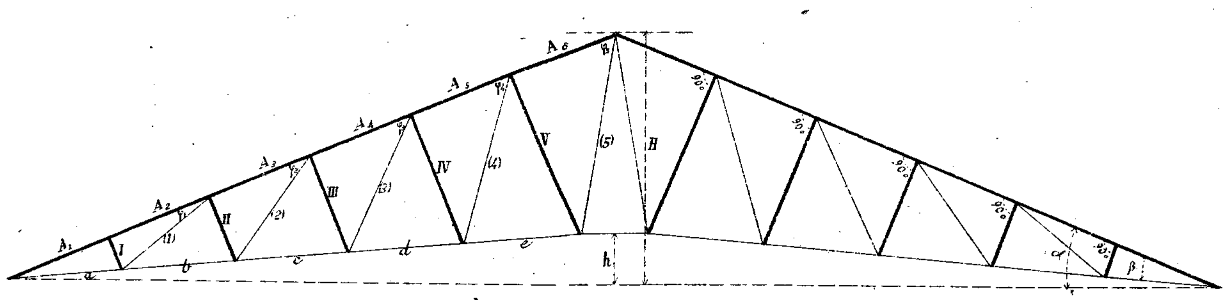
$$I = \frac{2}{20} \times E\,l\,p \qquad II = \frac{3}{20} \times \text{d°} \qquad III = \frac{4}{20} \times \text{d°} \qquad IV = \frac{5}{20} \times \text{d°}$$

$$(1) = \frac{1}{20} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1} \qquad (2) = \frac{2}{20} \times \text{ » } K_{\varphi_2} \qquad (3) = \frac{3}{20} \times \text{ » } K_{\varphi_3} \qquad (4) = \frac{1}{20} \times \text{ » } K_{\varphi_4} \times \frac{4n+1}{n-1}$$

$$t = \frac{5}{20} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

N = 6



$$A_1 = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{11}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \frac{2}{24} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{11}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{4}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{1}{24} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{11}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{6}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{2}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \right]$$

$$A_5 = \frac{11}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{8}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{3}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \right]$$

$$A_6 = \frac{11}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \quad - \left[\frac{10}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » + \frac{4}{24} \times \quad » \quad d^o \quad » \right]$$

$$a = \frac{11}{24} \times E\,l\,p \times K_\beta$$

$$b = \frac{10}{24} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$c = \frac{9}{24} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$d = \frac{8}{24} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$e = \frac{7}{24} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$I = \frac{2}{24} \times E\,l\,p$$

$$II = \frac{3}{24} \times d^o$$

$$III = \frac{4}{24} \times d^o$$

$$IV = \frac{5}{24} \times d^o$$

$$V = \frac{6}{24} \times d^o$$

$$(1) = \frac{1}{24} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$$

$$(2) = \frac{2}{24} \times \quad » \quad K_{\varphi_2}$$

$$(3) = \frac{3}{24} \times \quad » \quad K_{\varphi_3}$$

$$(4) = \frac{4}{24} \times \quad » \quad K_{\varphi_4}$$

$$(5) = \frac{1}{24} \times \quad » \quad K_{\varphi_5} \times \frac{5n+1}{n-1}$$

$$t = \frac{6}{24} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$$

$$n = \frac{H}{h}$$

N=7

$$A_1 = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{13}{23} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \frac{2}{28} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{13}{28} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad -\left[\frac{4}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»} + \frac{1}{28} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{13}{28} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad -\left[\frac{6}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»} + \frac{2}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»}\right]$$

$$A_5 = \frac{13}{28} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad -\left[\frac{8}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»} + \frac{3}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»}\right]$$

$$A_6 = \frac{13}{28} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad -\left[\frac{10}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»} + \frac{4}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»}\right]$$

$$A_7 = \frac{13}{28} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad -\left[\frac{12}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»} + \frac{5}{28} \times \ \text{»} \ \text{d°} \ \text{»}\right]$$

$a = \frac{13}{28} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$I = \frac{2}{28} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{28} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$t = \frac{7}{28} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$
$b = \frac{12}{28} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{28} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{28} \times$ » K_{φ_2}	$n = \frac{H}{h}$
$c = \frac{11}{28} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{28} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{28} \times$ » K_{φ_3}	
$d = \frac{10}{28} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{28} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{28} \times$ » K_{φ_4}	
$e = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{28} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{28} \times$ » K_{φ_5}	
$f = \frac{8}{28} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{28} \times$ d°	$(6) = \frac{1}{28} \times$ » $K_{\varphi_6} \times \frac{6n+1}{n-1}$	

N=8

$$A_1 = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \frac{2}{32} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{4}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{1}{32} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta \right]$$

$$A_4 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{6}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{2}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \right]$$

$$A_5 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{8}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{3}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \right]$$

$$A_6 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{10}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{4}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \right]$$

$$A_7 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{12}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{5}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \right]$$

$$A_8 = \frac{15}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{14}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{6}{32} \times \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \right]$$

$a = \frac{15}{32} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$I = \frac{2}{32} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{32} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$t = \frac{8}{28} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$
$b = \frac{14}{32} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{32} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{32} \times$ » K_{φ_2}	$n = \frac{H}{h}$
$c = \frac{13}{32} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{32} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{32} \times$ » K_{φ_3}	
$d = \frac{12}{32} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{32} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{32} \times$ » K_{φ_4}	
$e = \frac{11}{32} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{32} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{32} \times$ » K_{φ_5}	
$f = \frac{10}{32} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{32} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{32} \times$ » K_{φ_6}	
$g = \frac{9}{32} \times$ » d° »	$VII = \frac{8}{32} \times$ d°	$(7) = \frac{1}{32} \times$ » $K_{\varphi_7} \times \frac{7n+1}{n-1}$	

N=9

$$A_1 = \frac{17}{36} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \frac{2}{36} \times E\,l\,p \times T_\alpha$$

$$A_3 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{4}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{1}{36} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{6}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{2}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$$A_5 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{8}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{3}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$$A_6 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{10}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{4}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$$A_7 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{12}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{5}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$$A_8 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{14}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{6}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$$A_9 = \frac{17}{36} \times \text{»} \quad \text{d}^{o} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{16}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»} + \frac{7}{36} \times \text{»} \ \text{d}^{o} \ \text{»}\right]$$

$a = \frac{17}{36} \times E\,l\,p \times K_\beta$	$I = \frac{2}{36} \times E\,l\,p$	$(1) = \frac{1}{36} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$	$t = \frac{9}{36} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$
$b = \frac{16}{36} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{36} \times$ d°	$(2) = \frac{2}{36} \times$ » K_{φ_2}	$n = \frac{H}{h}$
$c = \frac{15}{36} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{36} \times$ d°	$(3) = \frac{3}{36} \times$ » K_{φ_3}	
$d = \frac{14}{36} \times$ » d° »	$IV = \frac{5}{36} \times$ d°	$(4) = \frac{4}{36} \times$ » K_{φ_4}	
$e = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$V = \frac{6}{36} \times$ d°	$(5) = \frac{5}{36} \times$ » K_{φ_5}	
$f = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$VI = \frac{7}{36} \times$ d°	$(6) = \frac{6}{36} \times$ » K_{φ_6}	
$g = \frac{11}{36} \times$ » d° »	$VII = \frac{8}{36} \times$ d°	$(7) = \frac{7}{36} \times$ » K_{φ_7}	
$h = \frac{10}{36} \times$ » d° »	$VIII = \frac{9}{36} \times$ d°	$(8) = \frac{1}{36} \times$ » $K_{\varphi_8} \times \frac{8n+1}{n-1}$	

N = 10

$$A_1 = \frac{19}{40} \times E\,l\,p \times K_\beta \times R_\alpha \times C_{(\alpha-\beta)}$$

$$A_2 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \frac{2}{40} \times E\,l\,p \times T\alpha$$

$$A_3 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{4}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{1}{40} \times E\,l\,p \times K_\beta \times C_\beta\right]$$

$$A_4 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{6}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{2}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_5 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{8}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{3}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_6 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{10}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{4}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_7 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{12}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{5}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_8 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{14}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{6}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_9 = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{16}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{7}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$A_{10} = \frac{19}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} \quad - \left[\frac{18}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»} + \frac{8}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}\right]$$

$$a = \frac{19}{40} \times E\,l\,p \times K_\beta$$
$$b = \frac{18}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$c = \frac{17}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$d = \frac{16}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$e = \frac{15}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$f = \frac{14}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$g = \frac{13}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$h = \frac{12}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$
$$i = \frac{11}{40} \times \quad \text{»} \quad \text{d°} \quad \text{»}$$

$$I = \frac{2}{40} \times E\,l\,p$$
$$II = \frac{3}{40} \times \text{d°}$$
$$III = \frac{4}{40} \times \text{d°}$$
$$IV = \frac{5}{40} \times \text{d°}$$
$$V = \frac{6}{40} \times \text{d°}$$
$$VI = \frac{7}{40} \times \text{d°}$$
$$VII = \frac{8}{40} \times \text{d°}$$
$$VIII = \frac{9}{40} \times \text{d°}$$
$$IX = \frac{10}{40} \times \text{d°}$$

$$(1) = \frac{1}{40} \times E\,l\,p \times K_{\varphi_1}$$
$$(2) = \frac{2}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_2}$$
$$(3) = \frac{3}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_3}$$
$$(4) = \frac{4}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_4}$$
$$(5) = \frac{5}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_5}$$
$$(6) = \frac{6}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_6}$$
$$(7) = \frac{7}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_7}$$
$$(8) = \frac{8}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_8}$$
$$(9) = \frac{1}{40} \times \quad \text{»} \quad K_{\varphi_9} \times \frac{9n+1}{n-1}$$

$$t = \frac{10}{40} \times E\,l\,p \times K\alpha \times \frac{n}{n-1}$$
$$n = \frac{H}{h}$$

PREMIER EXEMPLE DE LA SÉRIE C'

Cette ferme fait partie de la série C'; les contrefiches *I*, *II*, *III*, etc. sont normales à l'arbalétrier; les étrésillons (*1*), (*2*), (*3*), etc. sont inclinés comme l'indique la figure; l'entrait est surélevé.

Pour déterminer les efforts, nous comptons le nombre de travées A_1, A_2, A_3, etc., de l'arbalétrier; nous en avons six; il faut donc se reporter aux formules précédentes et prendre le cas où $N = 6$. Il est inutile de les reproduire ici.

Comme toujours, on mesurera au rapporteur tous les angles qui entrent dans les formules et on cherchera ensuite les constantes dans la table.

La ferme que nous avons choisie a 24^m de portée, d'où $l = 24$; elle est supposée chargée à raison de $110^{kil.}$ (toutes surcharges comprises); les fermes sont supposées, dans le projet à l'étude, espacées de 3^m, d'où $E = 3$. On a donc $E = 3$, $l = 24$, $p = 110^{kil.}$, d'où $E \times l \times p = 3 \times 24 \times 110 = 7920$.

La hauteur totale H de la ferme est supposée égale à 5^m50, et h, la surélévation de l'entrait, à 1^m50. Dans les expressions des efforts (*5*) et *t* entre la quantité n, qui est le rapport de $\frac{H}{h} = \frac{5.50}{1.50} = 3.666...$ Nous avons choisi à dessein ce rapport incommensurable pour montrer que nos formules sont absolument générales.

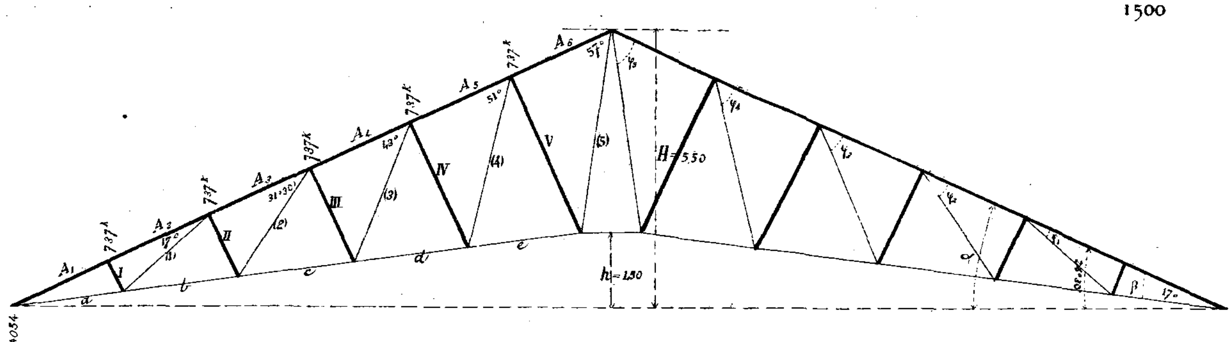
On trouve, dans la table des constantes, $K\alpha = 241$, $K\beta$ ou $K\varphi_1 = 3.42$, $K\varphi_2 = 1.91$, $K\varphi_3 = 1.466$, $K\varphi_4 = 1.287$, $K\varphi_5 = 1.19$, $R\alpha = 1.098$, $C(\alpha\text{-}\beta) = 0{,}99$, $T\alpha = 0{,}455$, $C\beta = 0.956$. Il n'y a qu'à introduire ces valeurs dans les formules et à effectuer les multiplications.

Il est à peine utile de faire remarquer qu'en prenant le vingt-quatrième de chacune des expressions entrant dans les formules, il suffira de calculer un seul des efforts de chaque catégorie; pour avoir les autres, il n'y aura plus qu'à multiplier par la série des nombres entiers.

On pourra contrôler rapidement ces calculs ou bien les éviter complètement en construisant le diagramme des efforts que nous donnons plus loin.

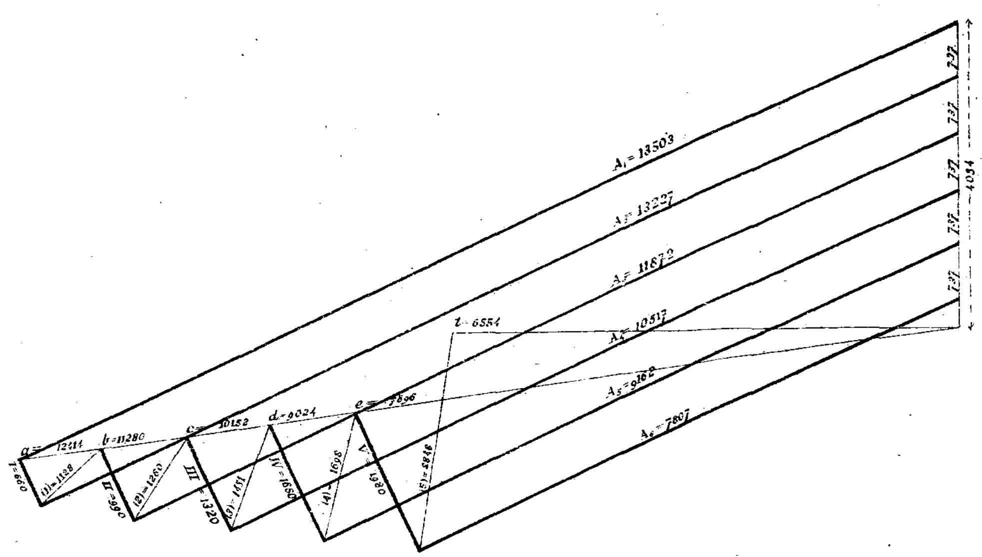
PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1500}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$



(Voir à la page suivante le diagramme des efforts).

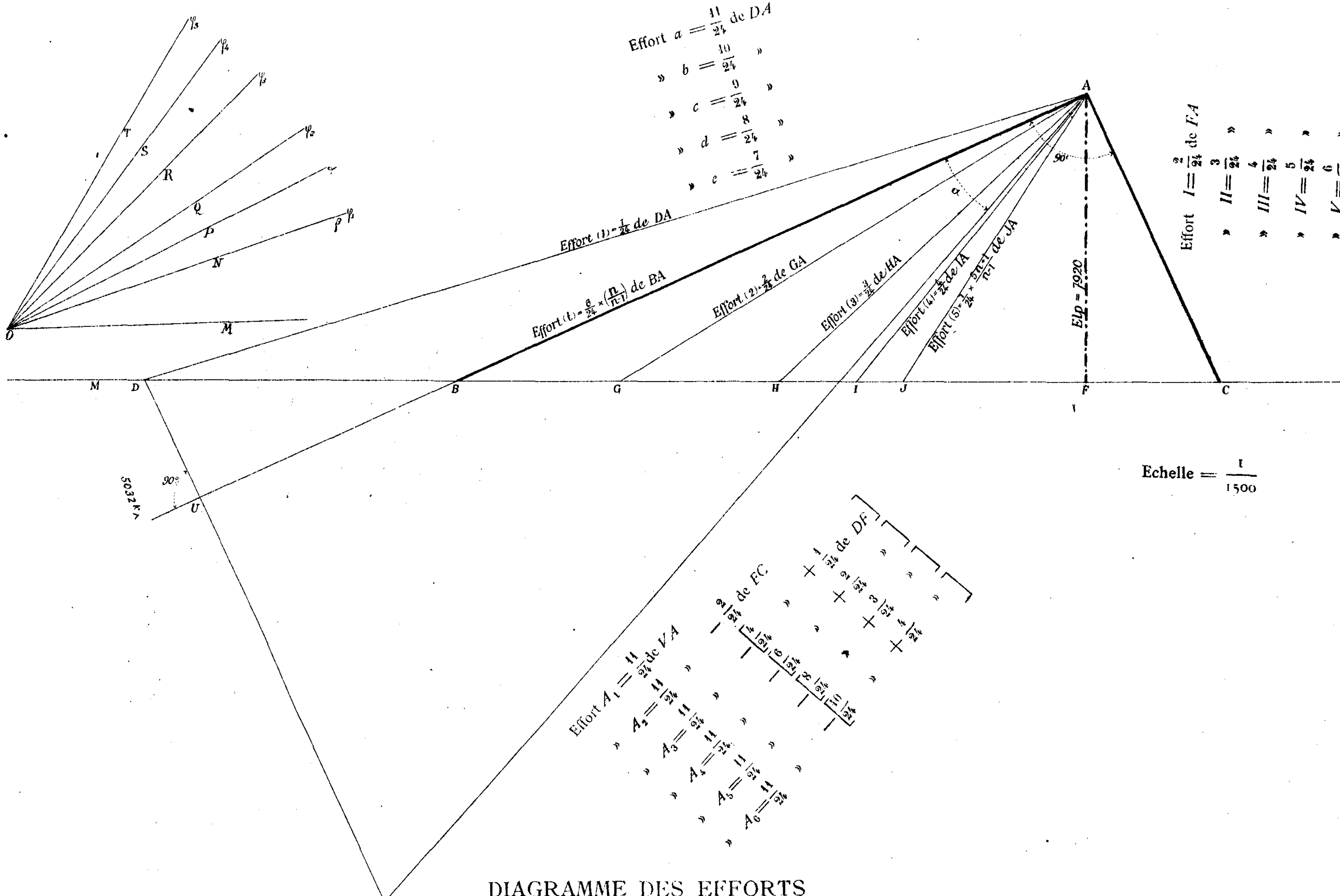


DIAGRAMME DES EFFORTS

Pour construire ce diagramme, à partir de l'horizontale OM, à l'aide d'un rapporteur, on formera les angles β, α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 ; on tracera ON, OP, OQ, OR, OS, OT. Sur une horizontale indéfinie, on mène la perpendiculaire FA égale au produit Elp (égale 7920 dans cet exemple). Par le point A ainsi obtenu on mène une série de lignes AD, AB, AG, AH, AI, AJ respectivement parallèles aux rayons partant du point O ; ces lignes formeront ainsi avec l'horizontale les angles β, α, φ_1, φ_2, φ_3, φ_4, φ_5 ; ensuite on mène AV formant avec AB l'angle α et on prolonge indéfiniment. Du point D on abaisse une perpendiculaire sur le prolongement de AB, en prolongeant on obtient le point V. Cette figure comprend tous les efforts de notre ferme.

DEUXIÈME EXEMPLE DE LA SÉRIE C'

Cette ferme appartient à la série C' ; les contrefiches *I*, *II*, *III* sont normales à l'arbalétrier ; l'entrait est surélevé.

Nous voyons que l'arbalétrier est divisé en quatre travées A_1, A_2, A_3, A_4. Nous nous reportons aux formules précédentes pour le cas N = 4 et nous les appliquons.

La ferme choisie a 16^m de portée, d'où $l = 16$; le poids par mètre carré suivant l'inclinaison de l'arbalétrier est $p = 120$ $^{kil.}$ toutes surcharges comprises, ainsi que le poids de la ferme. Dans le projet à l'étude les fermes doivent être espacées de 5^m, donc $E = 5$. On a $E\,l\,p = 5 \times 16 \times 120 = 9600$.

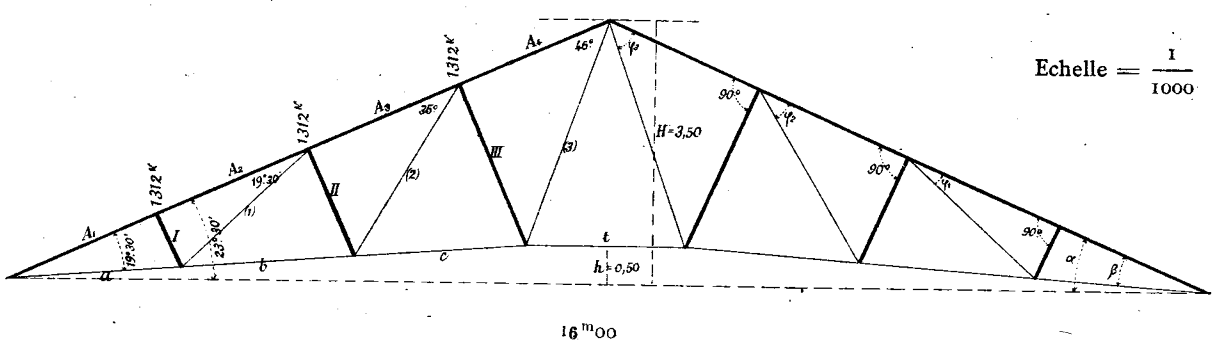
Nous mesurons au rapporteur les angles α, β, φ_1, φ_2, φ_3.

La hauteur de la ferme étant $H = 3.50$ et la surélévation de l'entrait $h = 0.50$, le nombre n qui entre dans l'expression des efforts de t et de (3) est $\frac{H}{h} = \frac{3.50}{0.50} = 7$. $n = 7$. En consultant la table des constantes nous trouvons $K\varphi_1 = 2.996$, $K\varphi_2 = 1.74$, $K\varphi_3 = 1.37$, $K\alpha = 2.508$, $K\beta = 2.996$, $C(\alpha\text{-}\beta) = 0.998$, $T\alpha = 0.43$, $C\beta = 0.94$. Il n'y a plus qu'à introduire ces valeurs dans les formules et à effectuer les calculs. Nous avons consigné les résultats sur l'épure statique.

Nous donnons aussi le diagramme des efforts, figure que tout le monde peut construire sans avoir la moindre notion de mécanique, qui donne immédiatement la valeur de tous les efforts sans aucun calcul. On pourra appliquer indifféremment l'une ou l'autre des deux méthodes ou bien toutes les deux et s'assurer de la concordance des résultats.

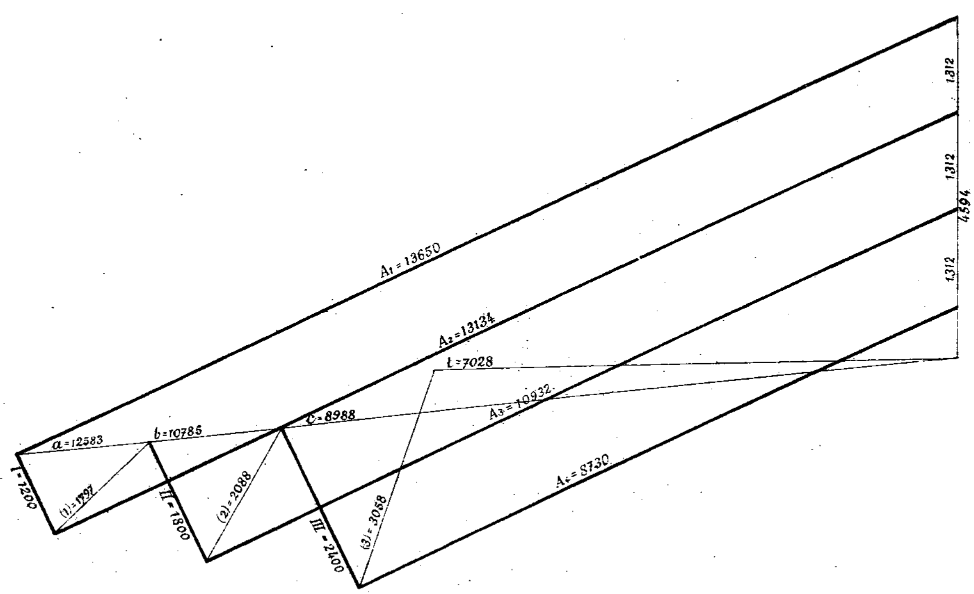
(Voir à la page suivante le profil de la ferme et l'épure statique.)

PROFIL DE LA FERME



Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

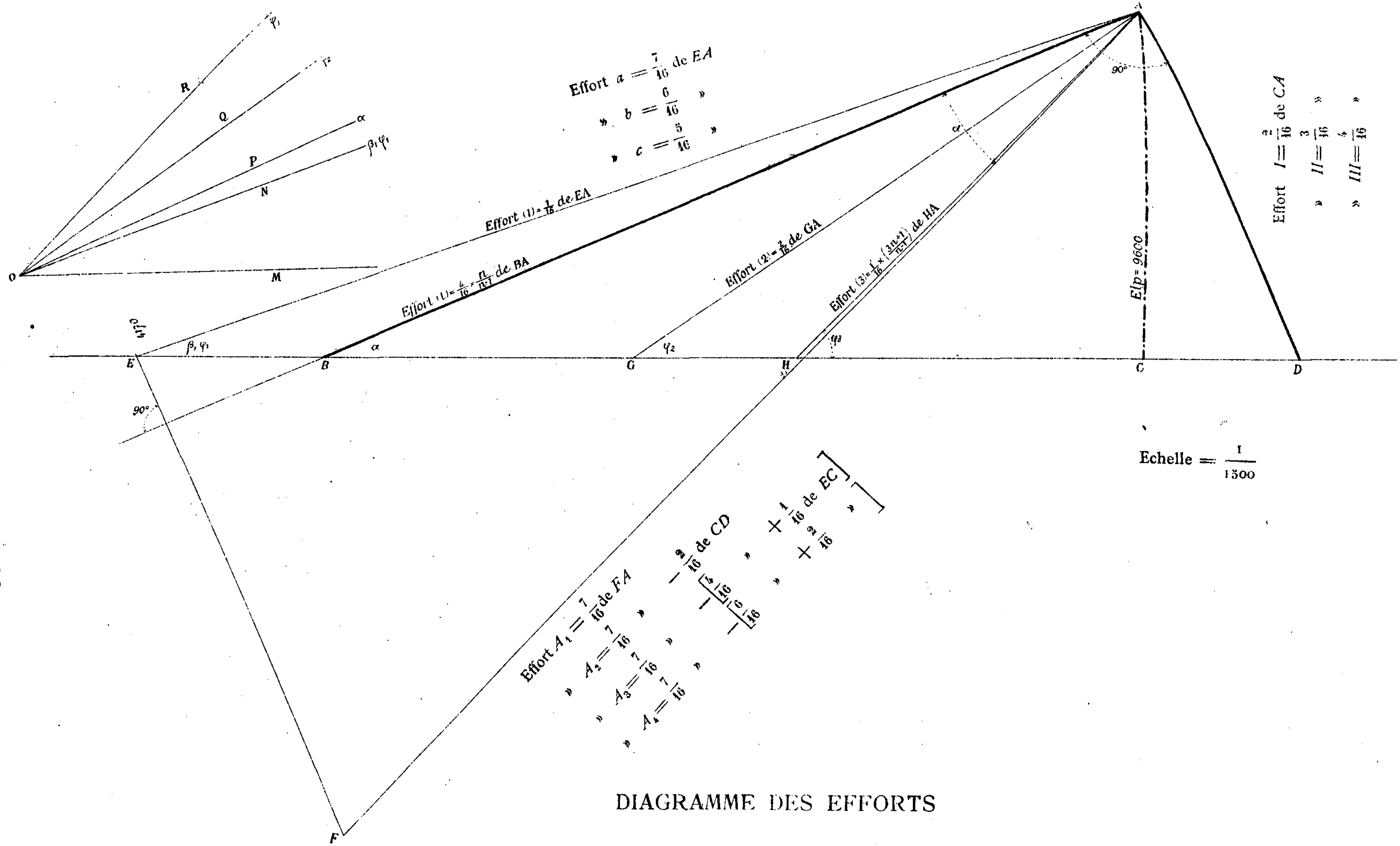


DIAGRAMME DES EFFORTS

Pour construire ce diagramme, à l'aide d'un rapporteur, on formera, à partir de l'horizontale OM, les angles β, α, φ_1, φ_2, φ_3 ; on trace les rayons ON, OP, OQ, OR ; sur une autre horizontale indéfinie ED, on élève la perpendiculaire CA, que l'on prendra égale au produit $Elp = 9.600$ dans l'exemple choisi ; par le point A ainsi obtenu, on mènera AE, AB, AG, AH, respectivement parallèles aux rayons ON, OP, OQ, OR, de sorte que ces lignes formeront avec l'horizontale ED les angles β, φ_1, α, φ_2, φ_3 ; on prolongera AB et du point E on abaissera EF perpendiculaire sur ce prolongement. Pour déterminer F on fera en A avec la ligne AB l'angle α ; on obtiendra ainsi AF.

FERMES DIVERSES

FERME EN BOIS

I

Cette ferme est des plus simples que l'on puisse construire ; le poinçon c a été représenté en pointillé parce qu'il ne subit aucun effort ; il empêchera simplement le faux entrait b de fléchir sous son propre poids ; on peut, si on le désire le prolonger jusqu'à l'entrait a ; il remplira encore le même but pour l'entrait a et il ne subira aucun effort si cet entrait ne supporte aucune charge directe.

FORMULES

$$A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times S_\alpha \qquad a = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\alpha$$

$$A_2 = \frac{1}{8} \times \text{ » d° »} \qquad b = \frac{2}{8} \times \text{ » d° »}$$

Cette ferme convient plus particulièrement pour supporter un plancher : dans ce cas, il faudra ajouter au travail obtenu par l'entrait a le travail dû à la flexion ; on traitera cet entrait comme une pièce chargée uniformément et appuyée à ses deux extrémités ; les autres organes ne sont pas affectés par la charge du plancher.

Application. — Nous prenons une ferme de 12^m de portée $l = 12$, chargée à raison de 160$^{kil.}$ par mètre carré de toiture, en y comprenant toutes les surcharges, ainsi que le poids de la charpente, le tout compté suivant l'inclinaison de la toiture, $p = 160$; les fermes sont supposées espacées de 5^m, donc $E = 5$.

Le produit $Elp = 5 \times 12 \times 160 = 9600$.

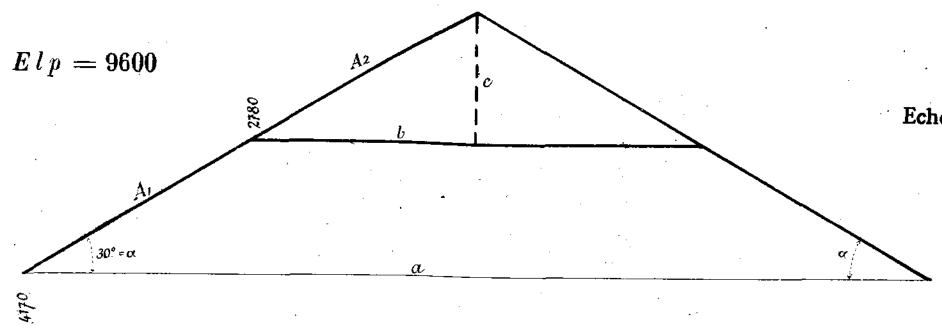
Nous mesurons l'angle α au rapporteur, nous trouvons $\alpha = 30°$; en consultant la table des constantes, nous avons sur l'horizontale de 30° $K\alpha = 2.00$ et $S\alpha = 2.309$; il n'y a plus qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et on obtiendra les efforts en kilogrammes.

Diagramme. — Après avoir fait le produit $Elp = 9600$, on le porte à une échelle déterminée suivant DA sur une perpendiculaire à l'horizontale BC ; par le point A ainsi obtenu on mène une parallèle à l'arbalétrier de gauche de la ferme ; on trace ainsi AB formant l'angle α avec l'horizontale ; on a ainsi le point B ; on trace ensuite AC perpendiculaire sur BA, de manière que le triangle ABC soit rectangle en A ; on a ainsi un triangle groupant tous les efforts de cette ferme.

PROFIL DE LA FERME

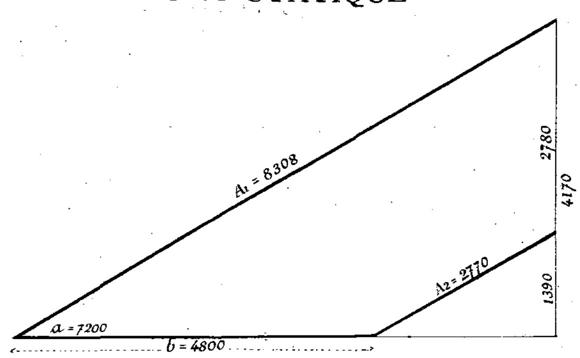
DONNÉES

$$\left.\begin{aligned} E &= 5^m \\ l &= 12^m \\ p &= 160 \end{aligned}\right\} E\,l\,p = 9600$$



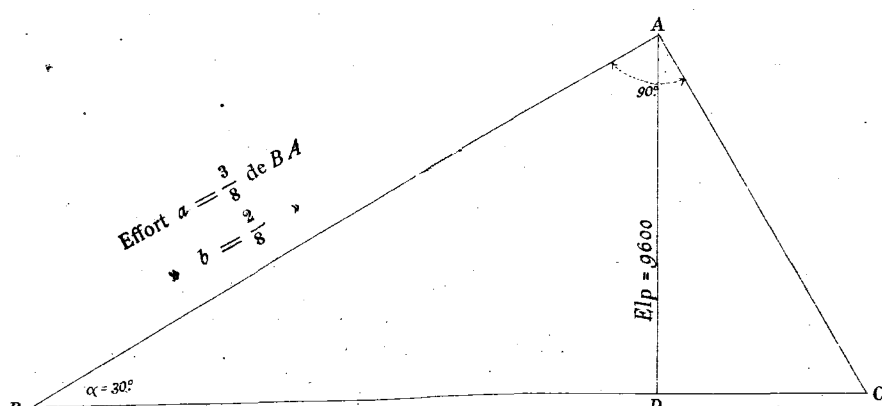
Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS



Echelle $= \frac{1}{2000}$

Effort $A_1 = \frac{3}{8}$ de BC

» $A_2 = \frac{1}{8}$ »

FERME EN BOIS

II

Cette ferme est suffisamment caractérisée par le profil que nous donnons à la page suivante : l'espace entre les deux entraits *a* et *b* est entièrement libre.

FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times E l p \times S_\alpha$ $\qquad$ $a = \frac{5}{12} \times E l p \times K_\alpha$

$A_2 = \frac{3}{12} \times$ » d° » $\qquad$ $b = \frac{2}{12} \times$ » d° »

$A_3 = \frac{2}{12} \times$ » d° » $\qquad$ $f = \frac{2}{12} \times E l p \times R_\alpha$

$A_4 = \frac{1}{12} \times$ » d° »

Si l'entrait *a* supporte un plancher, il faudra déterminer à part le travail dû à la flexion en le considérant comme une pièce chargée uniformément et appuyée à ses deux extrémités. Ce travail devra être ajouté à celui qui est dû à l'effort d'extension.

Les autres organes ne sont pas affectés par la charge du plancher.

Application. — Nous avons appliqué ces formules à une ferme de 12^m de portée, $l = 12$, chargée à raison de 150 kil.,tout compris : poids de la charpente et surcharges diverses, $p = 150$; nous supposons les fermes espacées de 4^m, $E = 4$; donc $E\,l\,p = 4 \times 12 \times 150 = 7200$.

Après avoir mesuré au rapporteur l'angle α et trouvé $\alpha = 34°$, nous consultons la table des constantes et, sur l'horizontale de 34°, nous trouvons $K_\alpha = 1.788$, $R_\alpha = 1.206$ et $S_\alpha = 2.157$; il n'y a plus qu'à porter ces valeurs dans les formules et effectuer. Les résultats sont consignés sur l'épure statique pour montrer la concordance.

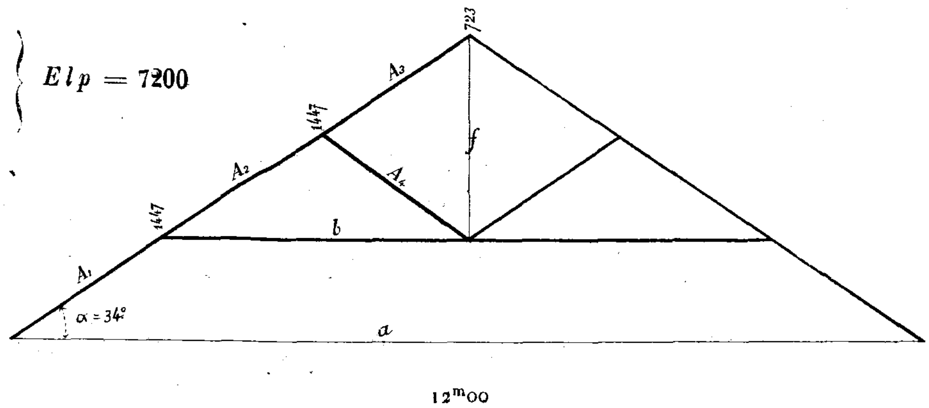
Diagramme des efforts. — On peut éviter tous ces calculs ou, mieux, les contrôler en construisant le diagramme. Nous menons DA perpendiculaire sur BC et égale à $Elp = 7200$; on peut prendre une échelle à volonté, nous avons choisi $\frac{1}{1500}$. On trace AB parallèle à l'arbalétrier de gauche, de sorte que cette ligne forme avec l'horizontale l'angle α. On mène ensuite AC perpendiculaire sur BA, autrement dit le triangle ABC est rectangle en A. Tous les efforts de la ferme sont groupés sur cette simple figure.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

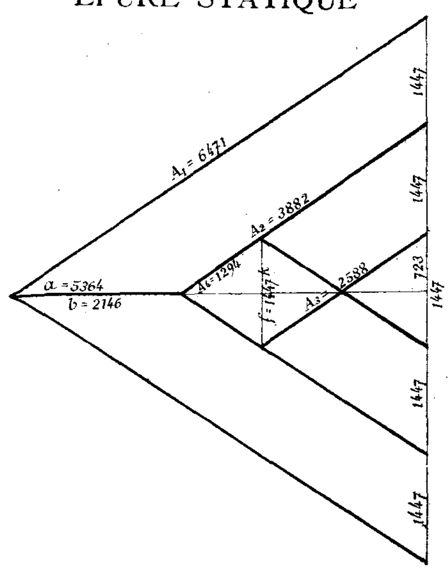
$E = 4^m$
$l = 12^m$
$p = 150$

$\left.\begin{array}{l} E = 4^m \\ l = 12^m \\ p = 150 \end{array}\right\} E\,l\,p = 7200$



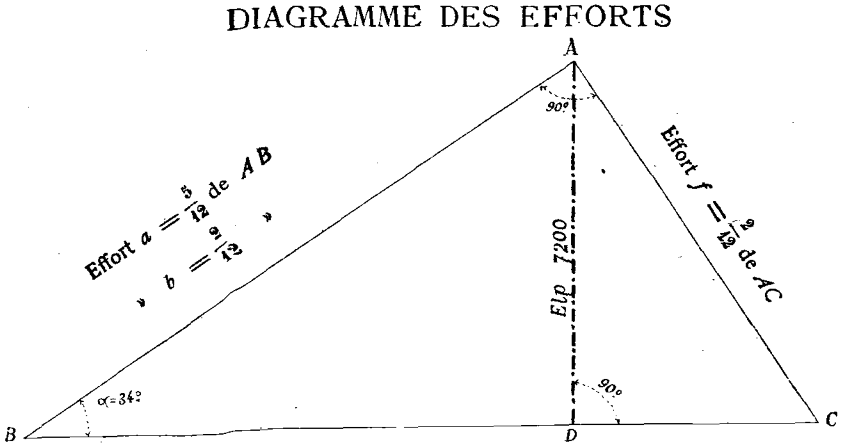
Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS



Echelle $= \frac{1}{1500}$

Effort $A_1 = \frac{5}{12}$ de BC

» $A_2 = \frac{3}{12}$ »

» $A_3 = \frac{2}{12}$ »

» $A_4 = \frac{1}{12}$ »

FERME MIXTE BOIS ET FER

I

Ce type de ferme est suffisamment indiqué par la figure que nous donnons à la page suivante ; l'arbalétrier est formé de trois travées égales, ainsi que l'entrait, de sorte que l'élément $A_4 = A_1 = A_2 = A_3$.

FORMULES

(Pour le cas ou l'entrait ne supporte aucune charge)

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha$

$A_2 = \frac{4}{12} \times$ » d° »

$A_3 = \frac{1}{12} \times$ » d° »

$A_4 = A_3 = \frac{1}{12} \times Elp \times S\alpha$

$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha$

$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »

$c = \frac{3}{12} \times$ » d° »

$T = \frac{1}{12} \times Elp \times R\alpha$

Application. — Supposons une ferme de 14^m de portée, $l = 14$, chargée à raison de $150^{kil.}$ le mètre carré réel de toiture, tout compris : surcharges de toutes sortes et aussi le poids de la charpente, d'où $p = 150^k$; les fermes sont espacées de 5^m. On a donc $E = 5^m$, $l = 14$, $p = 150^k$.

Nous mesurons au rapporteur l'angle α, nous trouvons $\alpha = 29°$; en consultant la table nous trouvons, sur l'horizontale de 29°. $K\alpha = 2.06$, $R\alpha = 1.15$, $S\alpha = 2.36$; en introduisant ces valeurs dans les formules ci-dessus, on aura l'expression numérique en kilogrammes de tous les efforts.

Le lecteur aura, sans doute, déjà remarqué la relation harmonique qui régit les efforts subis par les divers organes de cette ferme ; cette relation, mise en évidence par nos formules, ne s'aperçoit pas au simple examen de l'épure statique.

Diagramme des efforts. — On peut éviter de faire les calculs ci-dessus ou bien les contrôler par le diagramme qui se réduit à un simple triangle rectangle.

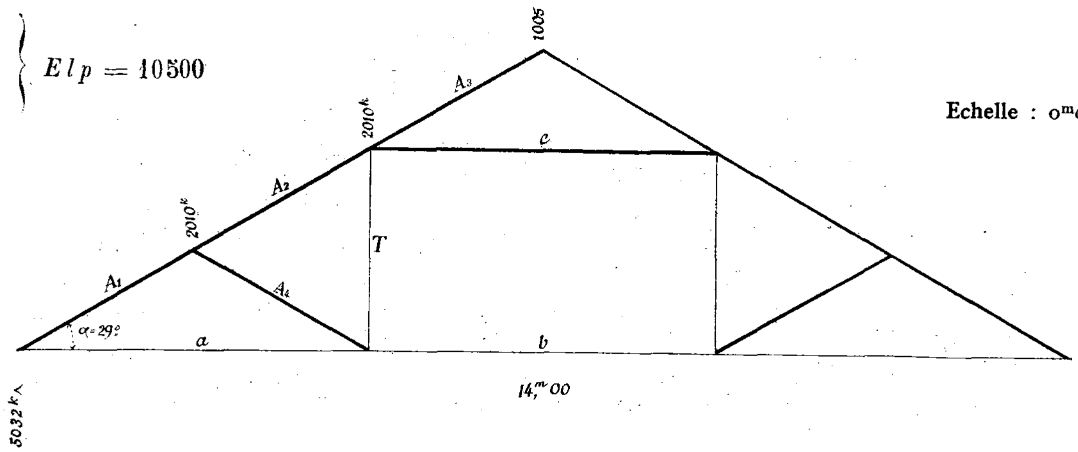
Sur l'horizontale $B\,C$, on porte $D\,A = E \times l \times p = 10500$ dans l'exemple choisi ; on mène $A\,B$ parallèle à l'arbalétrier de la ferme et on complète le triangle rectangle en menant $A\,C$ perpendiculaire sur $A\,B$. Tous les efforts sont des parties aliquotes de ce triangle.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

$E = 5^m$, $l = 14^m$, $p = 150$ $\Big\}$ $Elp = 10500$

Echelle : 0^m01 par mètre



ÉPURE STATIQUE

Echelle : 0^m01 pour 1000^k

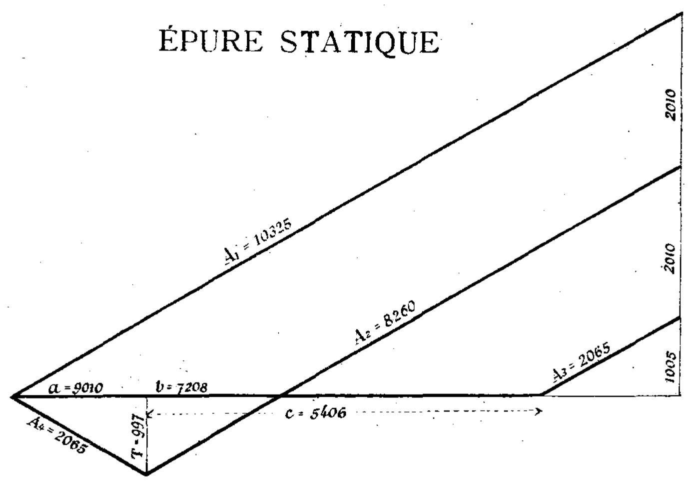
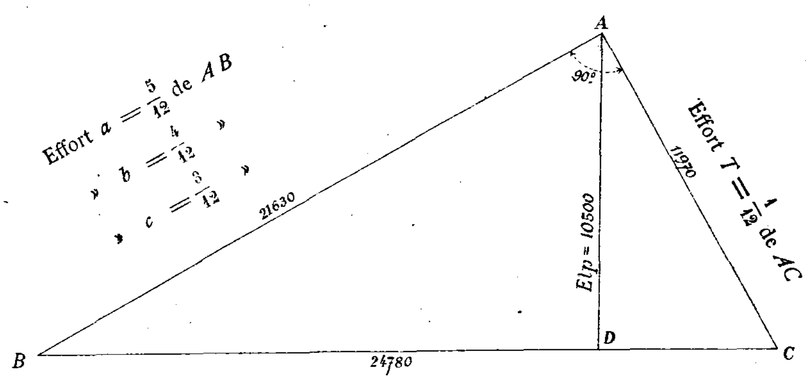


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2500}$



Effort $A_1 = \frac{5}{12}$ de BC

» $A_2 = \frac{4}{12}$ »

» $A_3 = \frac{1}{12}$ »

» $A_4 = A_3 = \frac{1}{12}$ »

FERME PRÉCÉDENTE

SUPPORTANT UN PLANCHER

Reprenons la ferme précédente ; le lecteur remarquera que ce type de ferme réserve un grand espace libre vers le milieu ; on peut donc l'utiliser pour les greniers, magasins, etc...; en un mot, on peut faire supporter un plancher à l'entrait.

Les formules données précédemment ne supposant qu'une toiture, l'entrait ne servait que de tirant pour annuler les poussées horizontales contre les murs ; il ne lui était pas appliqué de charge directe.

Nous avons établi des formules donnant les efforts *supplémentaires* subis par chacun des éléments de cette ferme pour le cas ou elle supporte un plancher chargé. Dans ces formules E désigne toujours l'espacement des fermes, l la portée et q le poids du mètre carré du plancher, y compris la surcharge.

FORMULES COMPLÈTES

(Avec toiture et plancher chargé)

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha + \frac{11}{30} \times Elq \times K_\alpha$

$A_2 = \frac{4}{12} \times$ » d° » $+ \frac{11}{30} \times$ » d°

$A_3 = \frac{1}{12} \times$ » d° » $+0$ (Cet organe ne subit aucun effort du fait du plancher)

$A_4 = A_3$ $+0$ d°

$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha + \frac{11}{30} \times Elq \times K_\alpha \times C_\alpha$

$b = \frac{4}{12} \times$ » d° » $+ \frac{11}{30} \times$ » d° »

$c = \frac{3}{12} \times$ » d° » $+ \frac{11}{30} \times$ » d° »

$T = \frac{1}{12} \times Elp \times R_\alpha + \frac{11}{30} \times Elq$

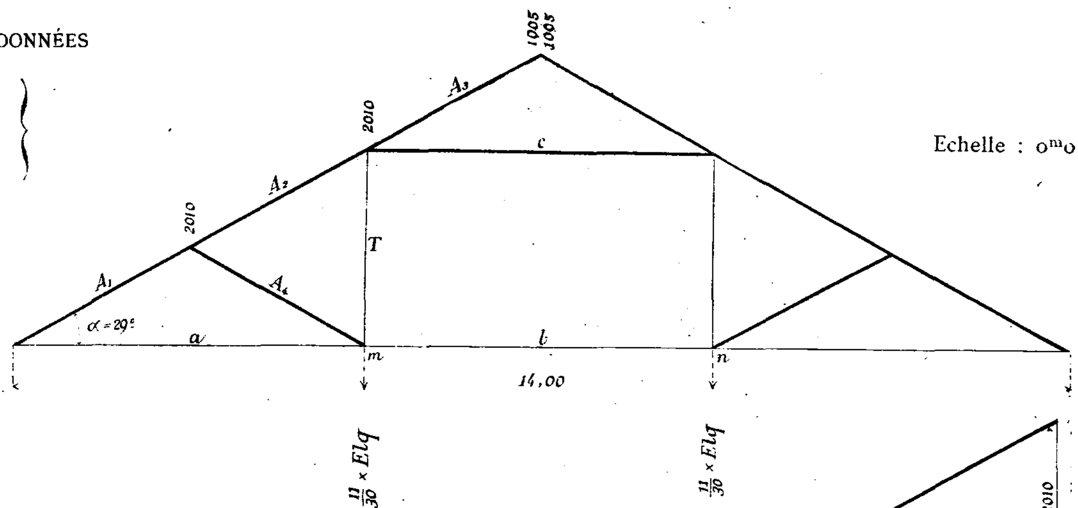
Remarque. — Les premiers termes de ces formules sont la reproduction pure et simple des formules précédentes ; les seconds termes, dans lesquels entre le produit $E\,l\,q$, représentent l'effet du plancher.

Application. — Nous reprenons la ferme précédente avec les mêmes données $E = 5^m$, $l = 14$, et nous supposons le plancher chargé à raison de $200^{kil.}$ le mètre carré. L'angle $\alpha = 29$. — Calculons l'un des efforts, b par exemple. La première partie $\frac{4}{12} \times Elp \times K_\alpha$ a été trouvée égale à $7208^{kil.}$; nous n'avons pas à y revenir ; il n'y a qu'à calculer $\frac{11}{30} \times Elq \times K_\alpha \times C_\alpha$, la table a donné $K_\alpha = 2.06$; en face l'angle $29°$, nous trouvons $C_\alpha = 0.874$, donc $\frac{11}{30} Elq \times K_\alpha \times C_\alpha = \frac{11}{30} \times 5 \times 14 \times 200 \times 2.06 \times 0.874 = 9240^{kil.}$, d'où effort $b = 7208 + 9240^k = 16448^{kil.}$. Tous les autres efforts ont été calculés et portés sur l'épure.

PROFIL DE LA FERME

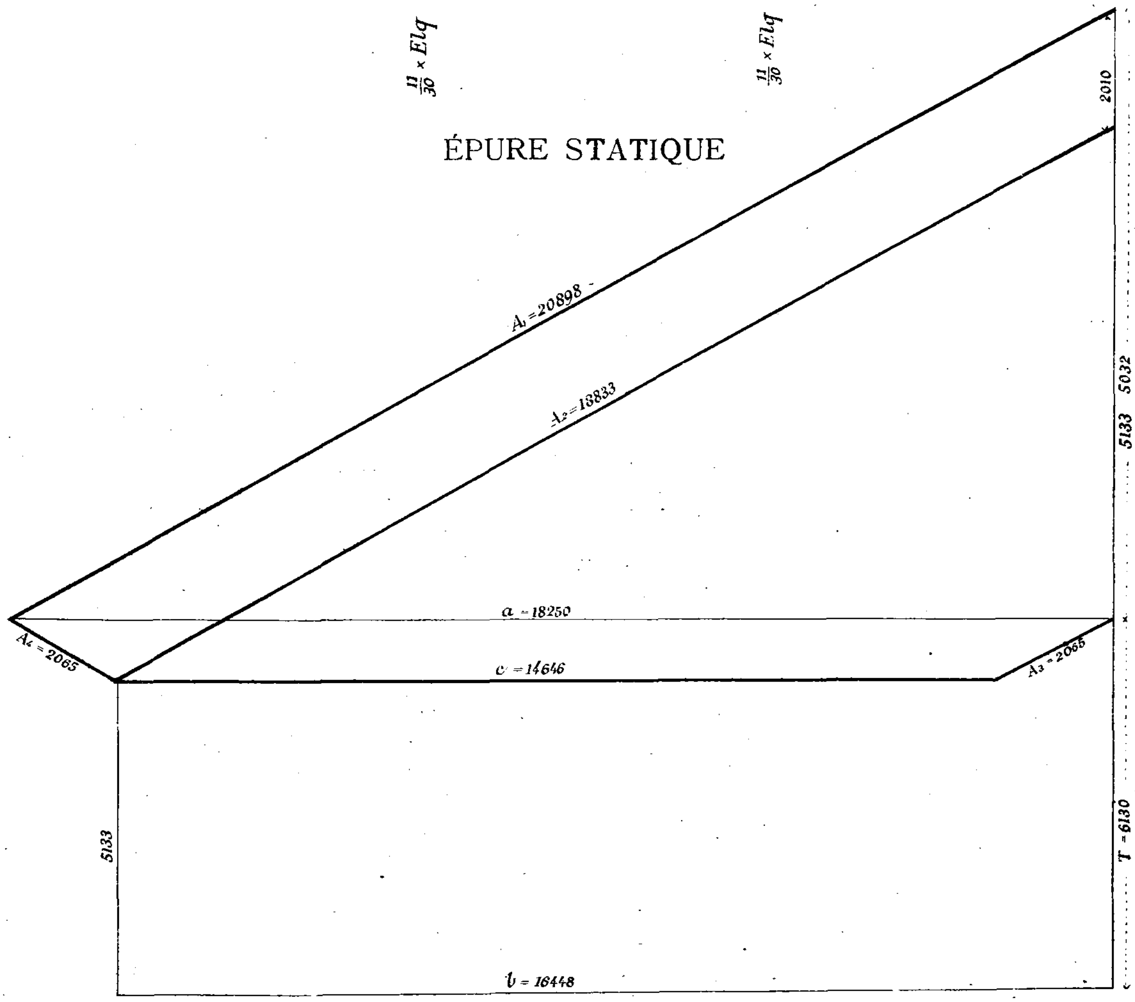
DONNÉES

$E = 5^{m}$
$l = 14^{m}$
$p = 200$



Echelle : 0m01 par mètre

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1250}$

Nota. — Il est bien entendu qu'on devra ajouter pour les organes *a* et *b* les efforts de flexion : si l'entrait est tout d'une pièce, c'est-à-dire s'il forme une poutre continue, on obtiendra très facilement le moment fléchissant en *m* ou en *n*, puisque les réactions en ces points sont $\frac{11}{30} \times E l q$; celles des points extrêmes seront : $\frac{4}{30} \times E l q$. On simplifiera la question en ne prenant que le tiers de l'entrait total et le traitant comme une poutre appuyée à ses deux extrémités et chargée uniformément.

FERME MIXTE BOIS ET FER

II

La figure ci-après montre suffisamment le type de cette ferme : l'arbalétrier est divisé en 4 parties égales et le tirant inférieur en 3 parties ; les deux extrêmes sont égales et chacune d'elles est la moitié de la partie centrale.

FORMULES

(L'entrait ne supportant aucune charge)

$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times S\alpha$	$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K\alpha$
$A_2 = \frac{6}{16} \times$ » d° »	$b = \frac{5}{16} \times$ » d° »
$A_3 = A_2$	$c = \frac{4}{16} \times$ » d° »
$A_4 = \frac{1}{16} \times$ » d° »	$V = \frac{2}{16} \times Elp \times R\alpha$
$A_5 = A_4$	$T = \frac{3}{32} \times Elp \times R\alpha \times S\alpha$

Application. — La ferme que nous avons représentée a une portée de 12^{m}, $l = 12$; nous la supposons chargée de $130^{kil.}$ par mètre carré, tout compris : toiture, neige, pression du vent, etc., $p = 130$; nous supposons les fermes espacées de 5^{m}, d'où $E = 5$. Nous mesurons l'angle α au rapporteur, nous trouvons $\alpha = 30° \, 30'$; il n'y a qu'à chercher cet angle dans la table et sur la même horizontale on trouvera les valeurs de $K\alpha$, $R\alpha$, $S\alpha$, que l'on introduira dans les formules ; pour A_1, par exemple, on aura $A_1 = \frac{7}{16} \times 5 \times 12 \times 130 \times 2.286 = 7801$, etc.

Il est à peine utile de faire remarquer qu'il conviendra de calculer d'abord A_4 et, pour avoir A_3, A_2, A_1 il suffira de multiplier par les nombres 6 et 7. Même remarque pour a, b, c.

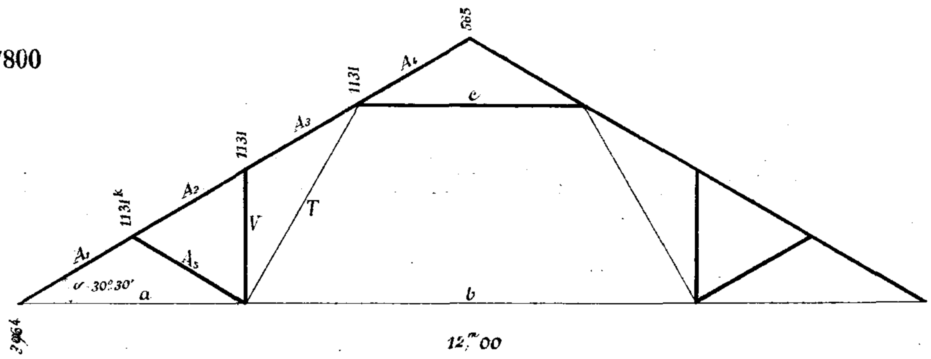
Diagramme des efforts. — On mène la verticale $CA = Elp = 7800$ dans le cas actuel ; par le point A on mène AB parallèle à l'arbalétrier de gauche de la ferme, de sorte que l'angle $ABC = \alpha = 30° \, 30'$; on complète ensuite le triangle rectangle en menant AD perpendiculaire sur BA.

Le triangle ABD groupe tous les efforts de cette ferme, sauf l'effort de l'organe T ; pour avoir ce dernier, on ramène BD sur BE avec un arc de cercle dont le centre est B ; on mène EF parallèle à AD et on obtient BF. L'effort $T = \frac{3}{32}$ de BF.

DONNÉES

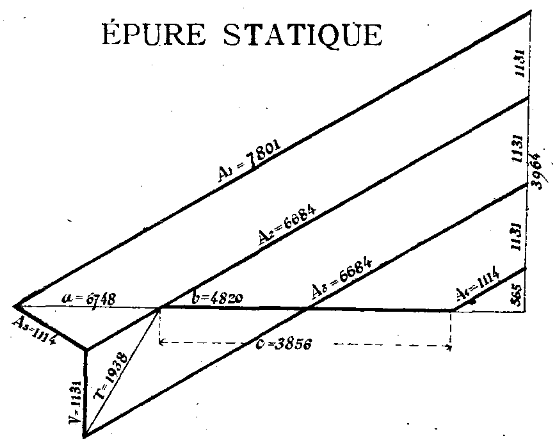
$$\left.\begin{array}{r} E = 5^{m} \\ l = 12^{m} \\ p = 130 \end{array}\right\} Elp = 7800$$

PROFIL DE LA FERME



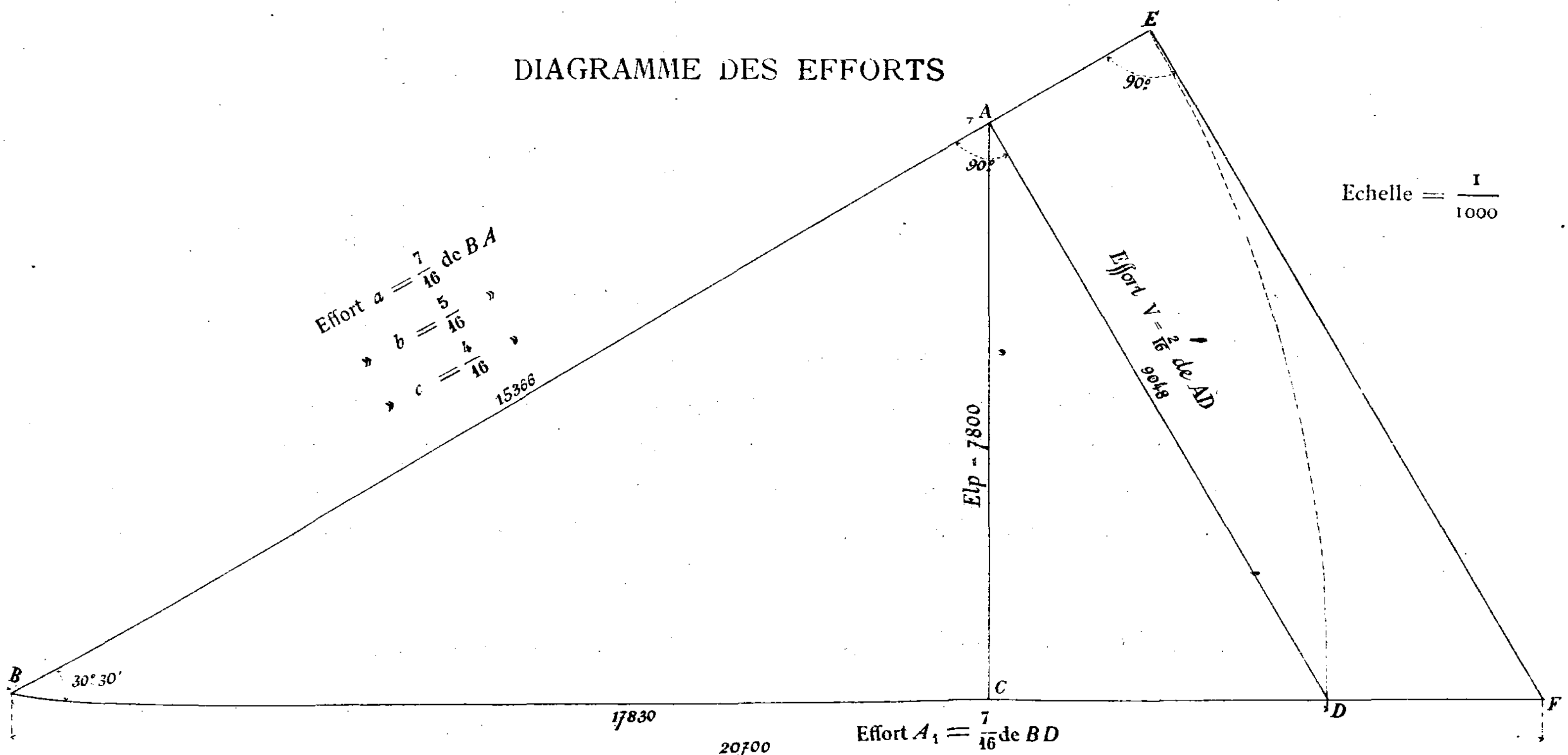
Echelle : 0m01 par mètre

ÉPURE STATIQUE



Echelle : 0m01 pour 1000 kil.

DIAGRAMME DES EFFORTS



Echelle $= \frac{1}{1000}$

Effort $A_1 = \frac{7}{16}$ de BD

» $A_2 = \frac{6}{16}$ »

» $A_3 = A_2 = \frac{6}{16}$ de BD

» $A_4 = \frac{1}{16}$ de $BD = A_5$

Effort $T = \frac{3}{32}$ de BF

FERME PRÉCÉDENTE

SUPPORTANT UN PLANCHER

En combinant ce type de ferme, nous avons cherché à repousser les divers organes intérieurs A_5, V, T, autant que possible vers les extrémités de la ferme, de façon à ménager un grand espace libre dans la partie médiane ; cette ferme conviendrait donc très bien pour des ateliers ou pour toute autre destination dans laquelle l'entrait aurait à supporter une charge. Nous donnons ci-après les formules des efforts d'extension et de compression dans cette hypothèse.

FORMULES COMPLÈTES

(Avec toiture et plancher chargé)

$$A_1 = \frac{7}{16} \times Elp \times S_\alpha + \frac{57}{128} \times Elq \times K\alpha$$

$$A_2 = \frac{6}{16} \times \text{ » d° » } + \frac{57}{128} \times \text{ » d°}$$

$$A_3 = A_2$$

$$A_4 = \frac{1}{16} \times \text{ » d° » } + 0$$ (L'effort subi par cet organe n'est pas accru par la charge du plancher).

$$A_5 = A_4.$$

$$a = \frac{7}{16} \times Elp \times K_\alpha + \frac{57}{128} \times Elq \times K\alpha \times C\alpha$$

$$b = \frac{5}{16} \times \text{ » d° » } + \frac{2}{3} \times \frac{57}{128} \text{ d° »}$$

$$c = \frac{4}{16} \times \text{ » d° » } + \frac{2}{3} \times \frac{57}{128} \text{ d° »}$$

$$V = \frac{2}{16} \times Elp \times R\alpha + 0$$

$$T = \frac{3}{32} \times Elp \times R\alpha \times S\alpha + \frac{1}{2} \times \frac{57}{128} \times Elq \times S\alpha$$

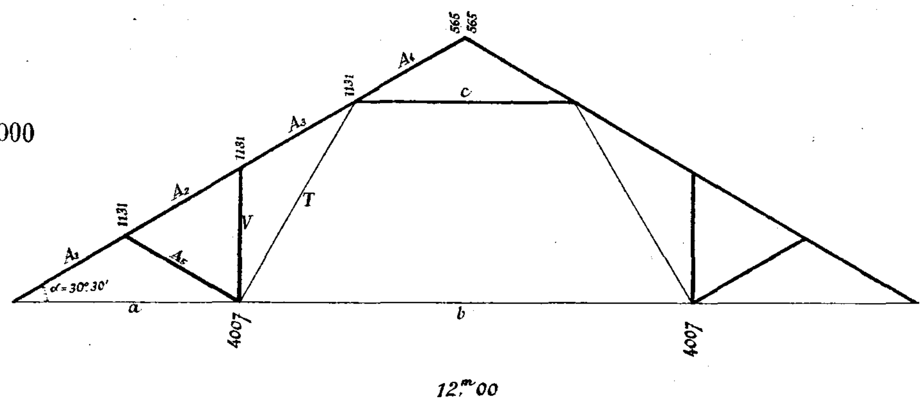
Application. — Nous reprenons la ferme précédente avec les mêmes données, mais nous supposons en outre l'entrait supportant un plancher chargé à raison de $150^{\text{kil.}}$ le mètre carré, d'où $q = 150$. L'angle $\alpha = 30^\circ\ 30'$; nous trouvons dans la table $K\alpha = 1.99$, $S\alpha = 2.286$, $R\alpha = 1.16$, $C\alpha = 0.86$; en introduisant ces valeurs dans les formules et effectuant, on aura tous les efforts en kilogrammes. Dans les formules ci-dessus les premiers termes représentent la partie de l'effort due à la toiture seule et les seconds termes celle qui est due au plancher seul.

Nous avons calculé tous les efforts et consigné les résultats sur l'épure statique. Il restera ensuite à déterminer le travail à la flexion pour l'entrait.

PROFIL DE LA FERME

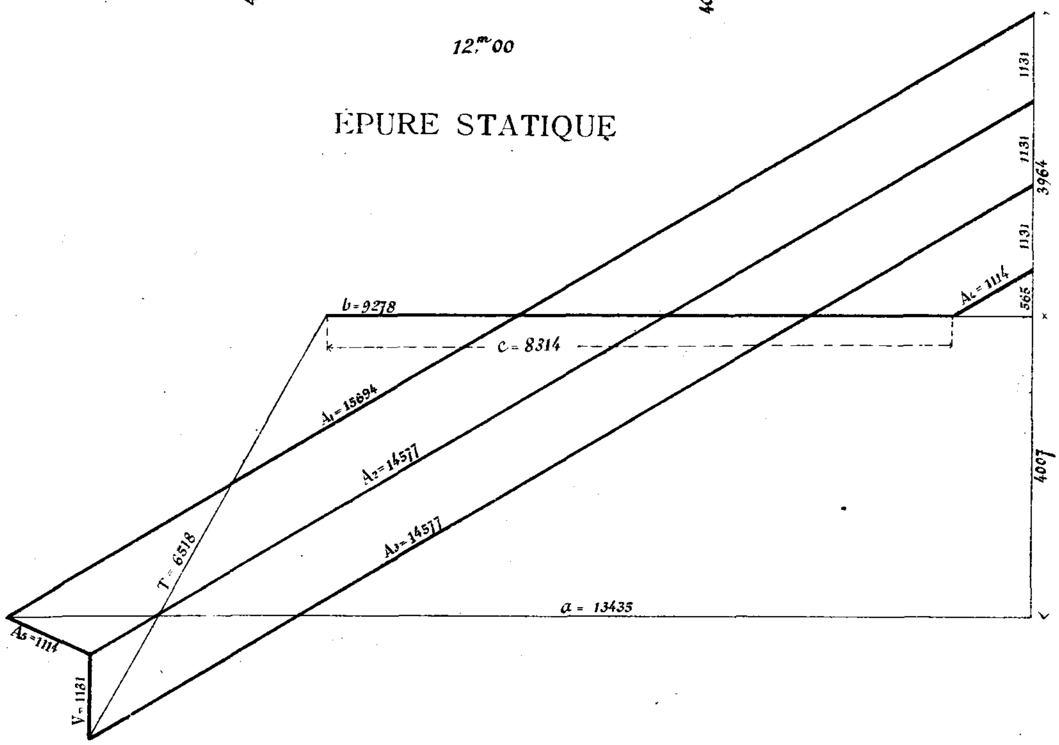
DONNÉES

$$\left.\begin{array}{l} E = 5^{m} \\ l = 12^{m} \\ p = 150 \end{array}\right\} E\,l\,p = 9000$$



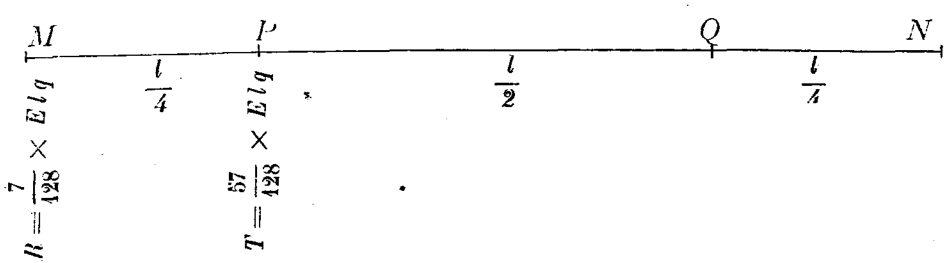
Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

NOTA. — Nous avons dit qu'il faudrait déterminer le travail à la flexion de l'entrait et l'ajouter au travail d'extension, pour cela il est nécessaire de connaître le moment fléchissant maximum.



Nous reproduisons l'entrait et pour toute poutre fractionnée dans les proportions ci-dessus 1. 2, 1. nous donnons les réactions aux points M et P. Le moment fléchissant maximum sera aux points d'attache P et Q sa valeur est : *Moment max.* $= \frac{9}{512}\,(E\,l\,q) \times l$. $(E\,l\,q)$ est la charge totale, l la portée de la ferme.

FERME MIXTE BOIS ET FER

III

Ce type de ferme est composé comme suit : l'arbalétrier est divisé en trois tronçons égaux et l'entrait en trois parties qui sont entre elles comme les nombres *1, 2, 1 ;* cette ferme réserve un grand espace au milieu qui peut être utilisé, mais nous commençons par supposer que l'entrait ne supporte aucune charge.

FORMULES

(L'entrait ne supportant aucune charge)

$A_1 = \frac{15}{36} \times E l p \times S\alpha$	$a = \frac{15}{36} \times E l p \times K\alpha$	$(1) = \frac{4}{36} \times E l p \times K\beta \times R\alpha$
$A_2 = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$b = \frac{12}{36} \times$ » d° »	$(2) = \frac{4}{36} \times E l p \times K\gamma \times R\alpha$
$A_3 = \frac{3}{36} \times$ » d° »	$c = \frac{9}{36} \times$ » d° »	

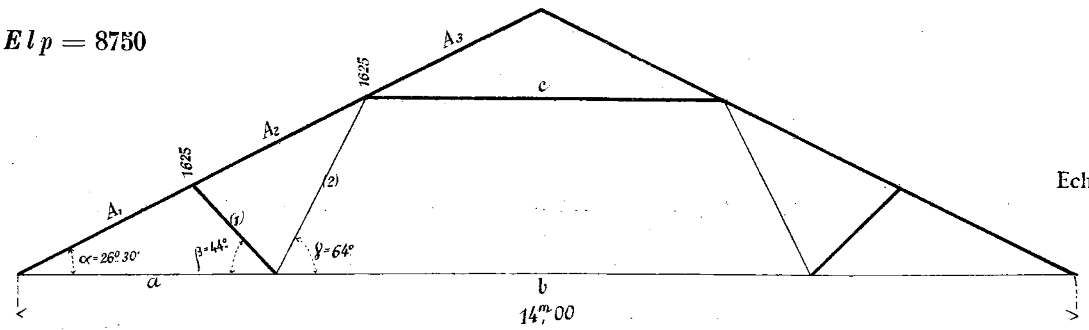
Application.—Nous prenons une ferme de 14^{m} de portée $l = 14^{m}$ chargée à raison de $125^{kil.}$ par mètre carré non projeté, le chiffre de 125 comprenant comme toujours toutes les surcharges et même le poids de la charpente $p = 125^{kil.}$. Nous supposons les fermes espacées de $5^{m} = E$. On a $E l p = 5 \times 14 \times 125 = 8750$. On mesure au rapporteur les angles α, β, γ, nous trouvons $\alpha = 26° 30'$, $\beta = 44°$, $\gamma = 64°$. Nous cherchons ces angles dans la table et sur chacune des horizontales correspondantes nous trouvons les valeurs $S\alpha = 2.5$ $K\alpha = 2.24$, $R\alpha = 1.12$, $K\beta = 1.44$ $K\gamma = 1.11$. En portant ces valeurs dans les formules et effectuant, on aura les efforts en kilogrammes : nous les avons tous calculés et consignés sur l'épure statique.

Diagramme des efforts. — Pour construire le diagramme, nous portons sur une horizontale la verticale $BA = E \times l \times p = 8750$; ensuite en un point quelconque O, nous menons ON, OP, OQ, formant avec OM les angles α, β, γ ; par le point A, nous menons des parallèles à ces droites, nous obtenons AC, AE, AF, du point A comme centre, nous ramenons AE et AF sur la verticale AB prolongée, nous menons ensuite les horizontales GI et HJ et nous avons ainsi terminé le diagramme.

DONNÉES

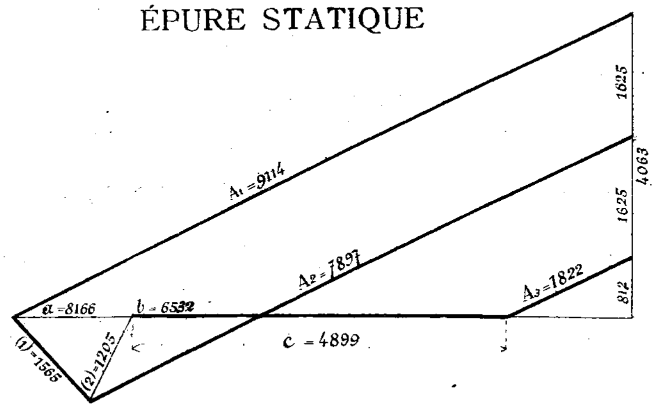
$$\left.\begin{array}{l} E = 5^{m} \\ l = 14^{m} \\ p = 125 \end{array}\right\} \quad E\,l\,p = 8750$$

PROFIL DE LA FERME



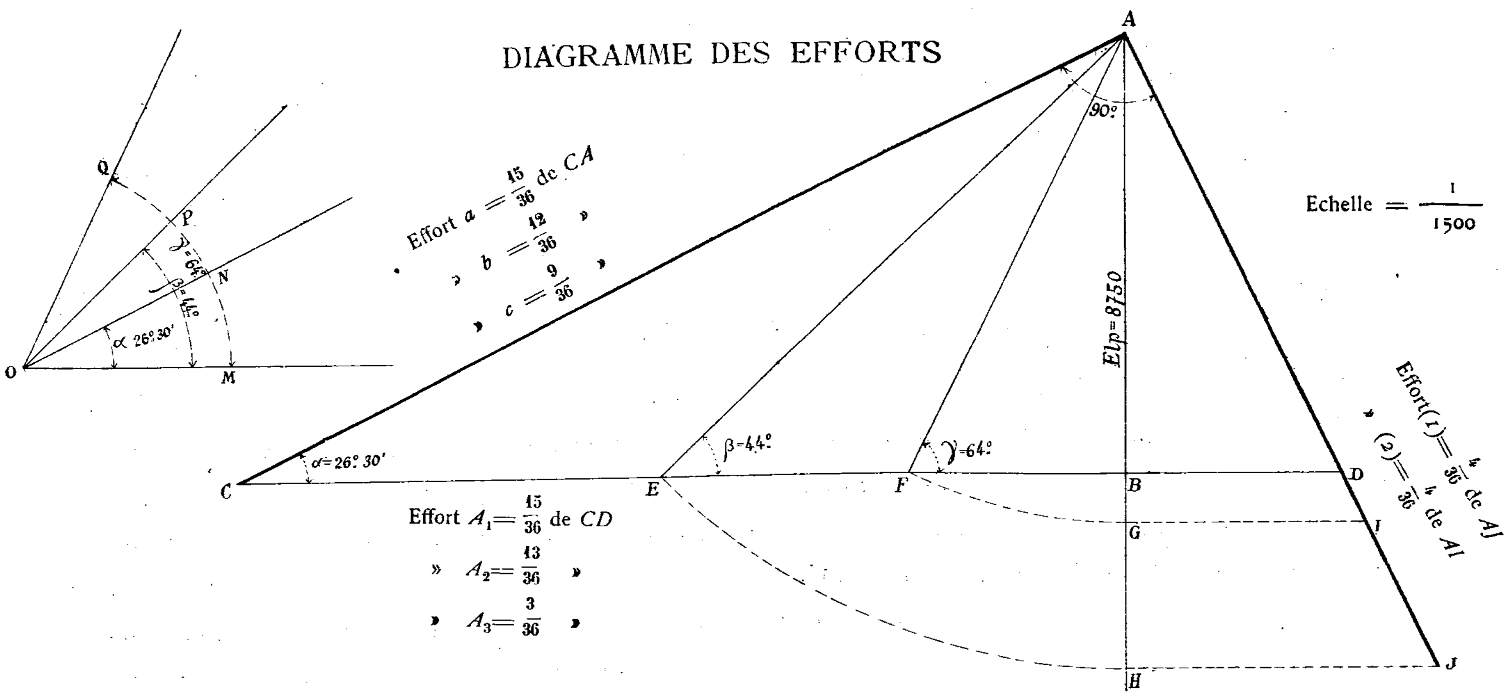
Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS



Effort $a = \frac{15}{36}$ de CA

» $b = \frac{12}{36}$ »

» $c = \frac{9}{36}$ »

Echelle $= \frac{1}{1500}$

Effort $(1) = \frac{4}{36}$ de AJ

» $(2) = \frac{4}{36}$ de AJ

Effort $A_1 = \frac{15}{36}$ de CD

» $A_2 = \frac{13}{36}$ »

» $A_3 = \frac{3}{36}$ »

FERME PRÉCÉDENTE

SUPPORTANT UN PLANCHER

Reprenons une ferme du même type que la précédente, mais en changeant toutes les données et en supposant l'entrait chargé.

Nous allons donner les formules complètes pour ce cas.

Nous désignons par q la charge par mètre carré de plancher.

FORMULES COMPLÈTES

(Plancher chargé)

$$A_1 = \frac{15}{36} \times Elp \times S_\alpha + \frac{57}{128} \times Elp \times K\alpha$$

$$A_2 = \frac{13}{36} \times \text{ » d° » } + \frac{57}{128} \times \text{ » d°}$$

$$A_3 = \frac{3}{36} \times \text{ » d° » } + 0$$

(Cet organe n'est pas affecté par la charge du plancher.)

$$a = \frac{15}{36} \times Elp \times K_\alpha + \frac{57}{128} \times Elq \times K\alpha \times C\alpha$$

$$b = \frac{12}{36} \times \text{ » d° » } + \frac{3}{4} \times \frac{57}{128} \times Elq \times K\alpha \times C\alpha$$

$$c = \frac{9}{36} \times \text{ » d° » } + \frac{3}{4} \times \frac{57}{128} \times \text{ » d° »}$$

$$(1) = \frac{4}{36} \times Elp \times K_\beta \times R\alpha + 0$$

$$(2) = \frac{4}{36} \times Elp \times K\gamma \times R\alpha + \frac{57}{128} \times Elq \times K\gamma$$

Les seconds termes de ces formules sont relatifs à la charge seule du plancher et les premiers à la charge de la toiture.

Application. — Prenons une ferme de 12^{m} de portée, $l = 12$, chargée à raison de 140$^{kil.}$ le mètre carré (suivant l'inclinaison de la toiture et toutes surcharges comprises), donc $p = 140^{kil.}$. Les fermes sont supposées espacées de 4^{m}, d'où $E = 4$, finalement on a $Elp = 4 \times 12 \times 140 = 6720$. Le plancher est supposé chargé à raison de 170$^{kil.}$ le mètre carré, $q = 170$, on a donc $Elq = 4 \times 12 \times 170 = 8160$ et $\frac{57}{128} \times Elq = 3633$. Nous mesurons au rapporteur les angles α, β et γ, nous avons trouvé $\alpha = 30°$, $\beta = 49° 30'$ et $\gamma = 66° 30'$, nous trouvons ensuite dans la table $K\alpha = 2.00$, $S\alpha = 2.31$ $K\beta = 4.32$, $K\gamma = 1.09$, $C\alpha = 0.866$, $R\alpha = 1.15$. Il n'y a plus qu'à porter ces valeurs dans les formules et à effectuer les calculs : nous avons consigné les résultats sur l'épure statique.

DONNÉES

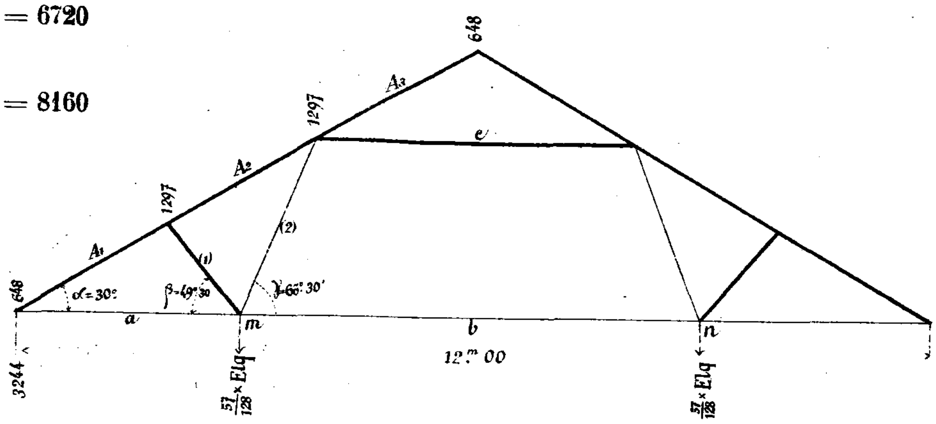
$E = 4^{m}$

$l = 12^{m}$ $\left.\right\}$ $E\,l\,p = 6720$

$p = 140$

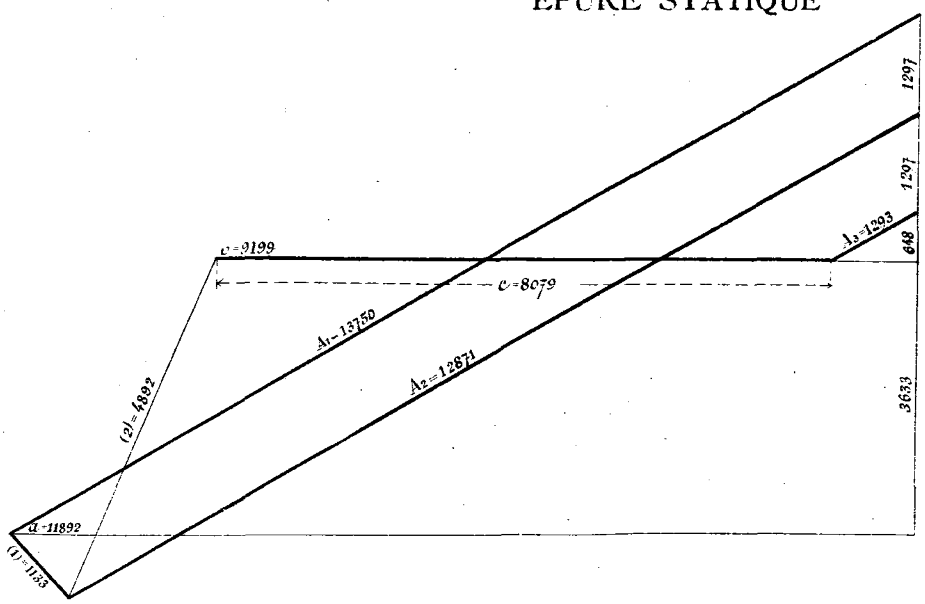
$q = 170$ $\quad E\,l\,q = 8160$

PROFIL DE LA FERME



Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

NOTA. — Pour les oganes *a* et *b*, il faudra chercher à part le travail à la flexion et l'ajouter à celui qui proviendra des efforts d'extension donnés par les formules ; nous donnons les véritables réactions en *m* et *n*; les réactions aux extrémités en résultent par différence ; il est donc bien simple de déterminer les moments fléchissants en *m* et *n* et de traiter la poutre comme une poutre continue à trois travées inégales dans le rapport *1*, *2*, *1* (voir l'exemple précédent). Pour plus de simplicité, on pourra ne s'occuper que du plus grand tronçon *b* et le considérer comme une poutre chargée uniformément et appuyée à ses deux extrémités.

FERME A LA MANSARD

I

Dans cette ferme, l'entrait T supporte le plancher de l'étage ménagé entre T et le tirant a.

FORMULES

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{Effort } T = \frac{1}{2} \times E\,l\,p \times \frac{n-1}{n} \times K_\alpha \times R_\beta \times C_\alpha \\
\quad » \quad C = \frac{1}{2} \times \;» \; \times \frac{n-1}{n} \times K_\alpha \times R_\beta \\
\quad » \quad A_1 = \frac{3}{8} \times \;» \; \times \frac{n-2}{n} \times S_\beta \\
\quad » \quad A_2 = \frac{2}{8} \times \;» \; \times \text{d}^\circ \quad » \\
\quad » \quad I = \frac{1}{8} \times \;» \; \times \text{d}^\circ \quad » \\
\quad » \quad H = \frac{1}{4} \times \;» \; \times \text{d}^\circ \times R_\beta \\
\quad\quad\; a = \frac{3}{8} \times \;» \; \times \text{d}^\circ \times K_\beta - \text{effort } T
\end{array}\right\}$$

Dans toutes ces formules n est le rapport de la portée totale PN à la projection MN de la contrefiche C.

Ces formules sont vraies quel que soit n, entier ou fractionnaire.

Application. — Calculons par exemple une ferme de 10^m50 de portée, $l = 10^m50$, chargée, tout compris, à raison de $150^{kil.}$ suivant l'inclinaison de la toiture, d'où $p = 150$; si nous supposons que, dans le projet à l'étude, les fermes doivent être espacées de 4^m, nous aurons $E = 4$, donc $E \times l \times p = 4 \times 10.50 \times 150 = 6300$.

Nous mesurons au rapporteur les angles α et β et nous trouvons, dans la table des constantes, pour $\alpha = 63°$ et $\beta = 24°$, $K\alpha = 1.12$, $R\beta = 1.09$, $C\alpha = 0.45$, $S\beta = 2.69$ et $K\beta = 246$. Nous avons $n = \frac{PN}{MN} = \frac{10.50}{1.25} = 8.4$ (nous avons pris à dessein un exemple avec n fractionnaire). Il n'y a plus qu'à porter ces valeurs dans les calculs.

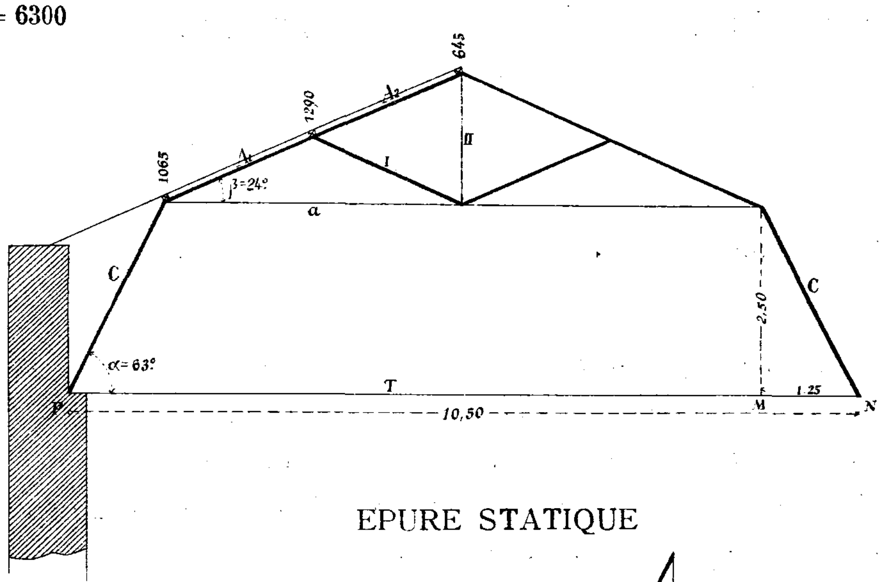
Diagramme des efforts. — A partir du point O de l'horizontale OM nous traçons avec le rapporteur ON et OP formant les angles β et α, ensuite nous menons AF perpendiculaire sur l'horizontale indéfinie BC et nous prenons cette droite égale au produit $Elp = 6300$; nous avons choisi l'échelle $\frac{1}{1500}$. Nous menons AB et AD parallèles à ON et OP ; nous traçons AL perpendiculaire sur AB ; ensuite, du point A comme centre, nous ramenons AD en AG et par le point G nous menons une parallèle à FC ; nous faisons la même opération pour la ligne FD en prenant F comme centre. Nous avons ainsi construit une figure simple groupant tous les efforts de la ferme à la Mansard.

Il ne faudra pas oublier que le tirant T supportant le plancher travaille aussi à la flexion ; il faudra calculer ce dernier effort en le traitant comme une poutre appuyée à ses deux extrémités.

DONNÉES

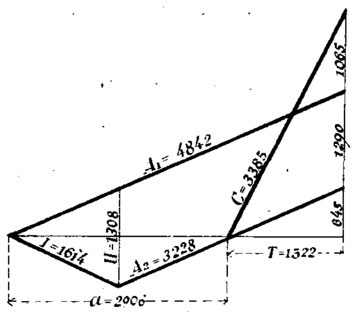
$$\left.\begin{array}{l} E = 4^{m} \\ l = 10^{m}50 \\ p = 150 \end{array}\right\} E\,l\,p = 6300$$

PROFIL DE LA FERME



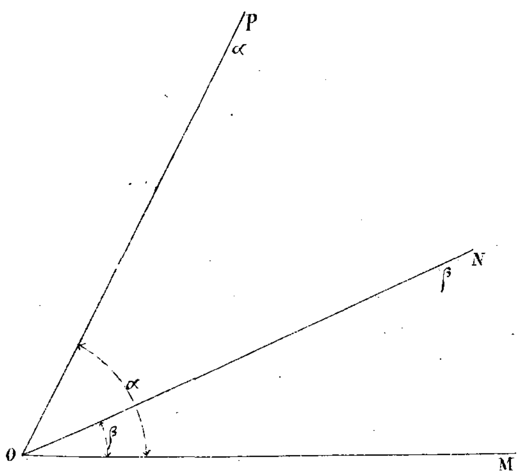
Echelle $= \frac{1}{1000}$

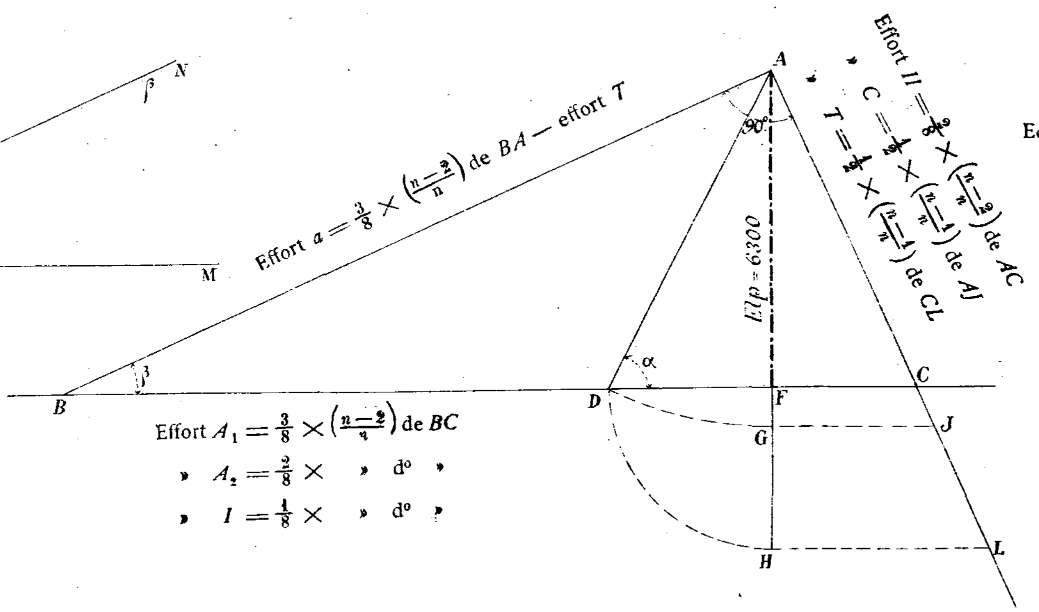
EPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS





Echelle $= \frac{1}{1500}$

FERME A LA MANSARD

II

Nous avons appliqué les formules précédentes à une ferme du même type, mais avec des données entièrement différentes.

La portée de la ferme est, ici, de 14^m, d'où $l = 14$; la charge par mètre carré comptée suivant l'inclinaison de la toiture et toutes surcharges comprises est de $120^{kil.}$, d'où $p = 120$; nous supposons les fermes espacées de 5^m, d'où $E = 5$. On a donc $E\,l\,p = 5 \times 14 \times 120 = 8400$. Le nombre n qui entre dans les formules étant toujours égal au rapport de la portée totale PN à la projection de la contrefiche C, on a donc dans ce cas $PN = 14$ et $MN = 1$, d'où $\frac{PN}{MN} = \frac{14}{1} = 14$, donc $n = 14$.

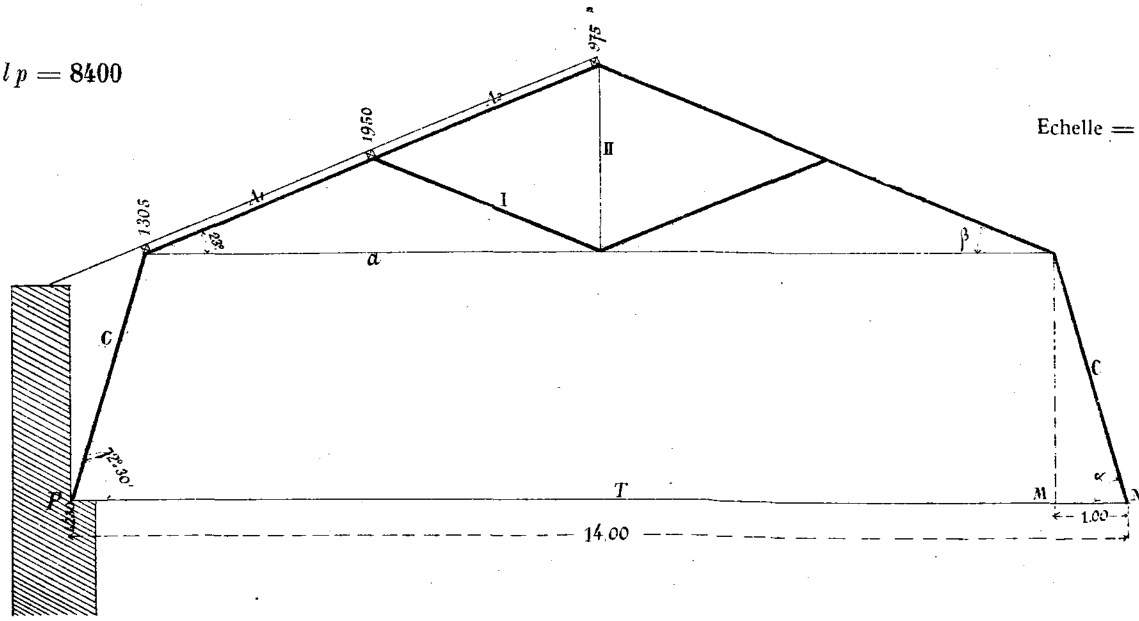
Nous avons trouvé $\alpha = 72°\,30$ et $\beta = 23°$. Il n'y a donc plus qu'à appliquer les formules comme il a été expliqué à l'exemple précédent. Nous avons aussi construit le diagramme des efforts et l'épure statique, afin que le lecteur puisse s'assurer de la concordance des trois procédés, ce qui prouve l'exactitude et la généralité de nos formules et de notre diagramme.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

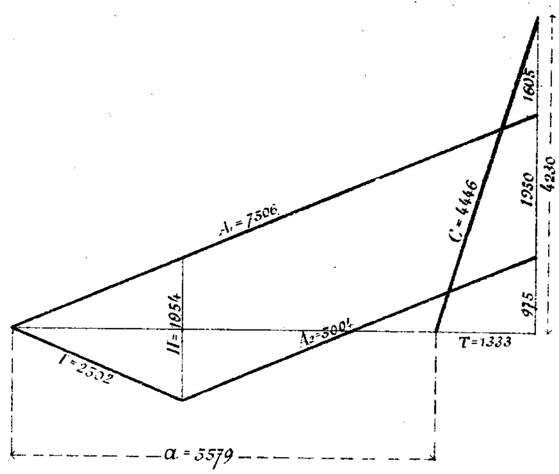
$$\left.\begin{aligned} E &= 5^m \\ l &= 14^m \\ p &= 120 \end{aligned}\right\} \quad E\,l\,p = 8400$$

Echelle $= \frac{1}{1000}$



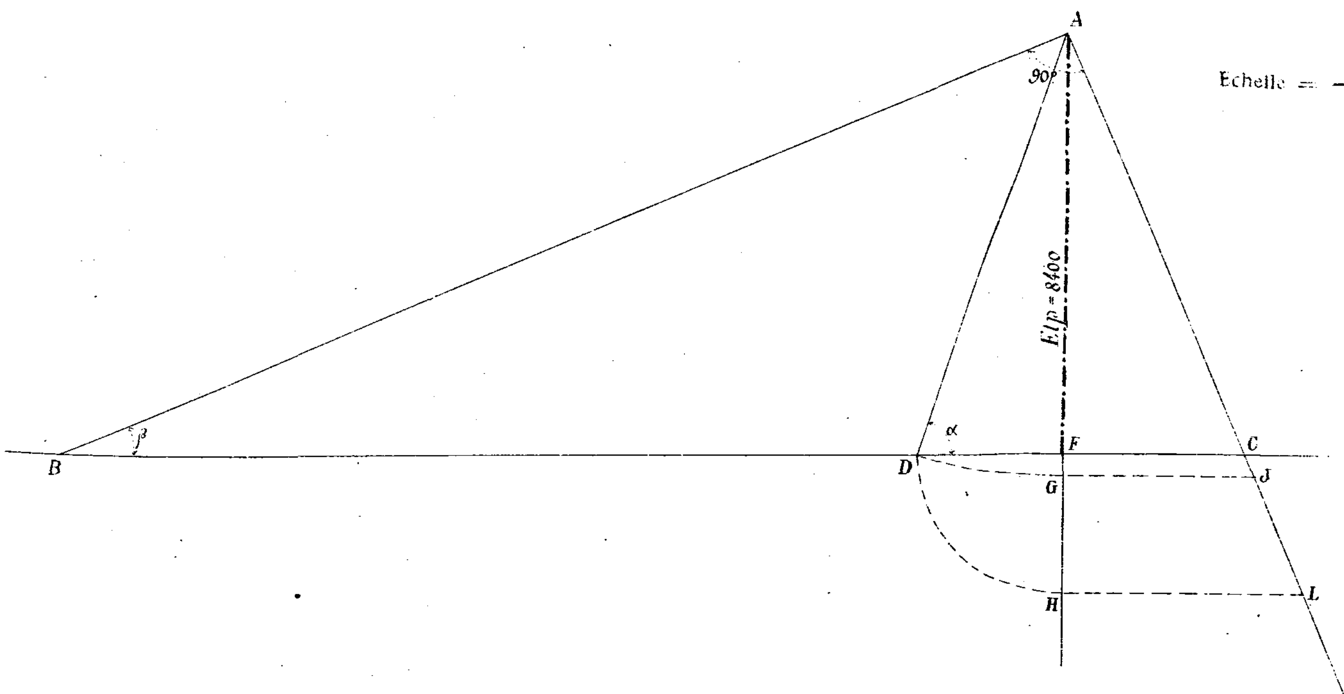
ÉCOLE CENTRALE LYONNAISE
ÉCOLE TECHNIQUE SUPÉRIEURE

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS



Echelle $= \frac{1}{1500}$

POLONCEAU SIMPLE

(UNE SEULE BIELLE SOUS CHAQUE ARBALÉTRIER)

I

Ce type de ferme est bien connu : il consiste en deux fermettes renversées, reliées par le tirant T_3 ; ce tirant est plus ou moins surélevé ; on prend souvent le rapport $\frac{H}{h} = 5$, c'est le rapport que nous avons adopté pour ce premier exemple, mais nous avons établi des formules absolument générales ; dans nos formules, $n = \frac{H}{h}$ quel que soit ce rapport, entier ou fractionnaire.

FORMULES

Effort $A_1 = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times C\alpha \times R(\alpha+\beta) \times K\beta$

» $A_2 = A_1 - \frac{E\,l\,p}{4} \times T(\alpha+\beta)$

» $T_1 = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times K\beta$

» $T_2 = \frac{1}{8} \times E\,l\,p \times K\beta \times \frac{n+1}{n-1}$

» $T_3 = \frac{1}{4} \times E\,l\,p \times K(\alpha+\beta) \times \frac{n}{n-1}$

» $V = \frac{E\,l\,p}{4}$

Application. — Supposons une ferme de 11^{m} de portée, chargée à raison de $180^{kil.}$ le mètre carré, les fermes étant espacées de 5^{m}. $E = 5$, $l = 11$, $p = 180$, $E\,l\,p = 9900$, $\alpha = 10$, $\beta = 17^{\circ}$ et $(\alpha+\beta) = 27^{\circ}$.

Nous reportant à la table, nous trouvons $C\alpha = 0.984$, $R(\alpha+\beta) = 1.1222$, $K\beta = 3.42$ et $K(\alpha+\beta) = 2.2$.

Introduisant ces valeurs dans les formules, nous aurons tous les efforts, sauf pour T_2 et T_3, où il faut fixer la valeur de n ; nous avons dit plus haut que le tirant était surélevé du $\frac{1}{5}$ de la hauteur totale, c'est-à-dire $\frac{H}{h} = 5 = n$.

Calculons T_2, on a :

$$T_2 = \frac{1}{8} \times 9900 \times 3.42 \times \frac{5+1}{5-1}$$

$$\text{ou } T_2 = \frac{1}{8} \times 9900 \times 3.42 \times \frac{6}{4} = 6348$$

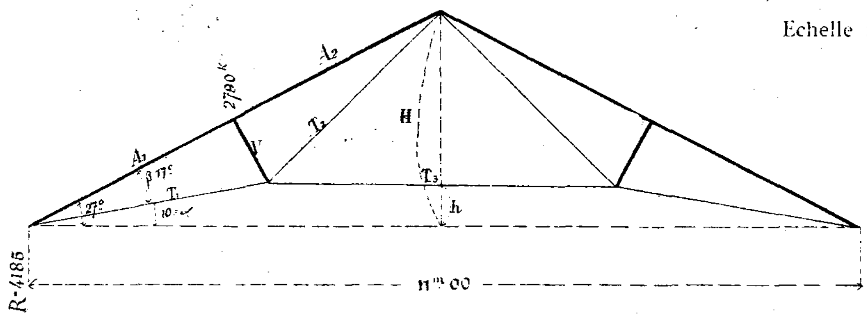
La valeur numérique de tous les autres efforts est indiquée sur l'épure statique.

DONNEES

$$\left.\begin{aligned} E &= 5^{m} \\ l &= 11^{m} \\ p &= 180 \end{aligned}\right\} \quad E\,l\,p = 9900$$

PROFIL DE LA FERME

Echelle : $0^{m}01$ par mètre



ÉPURE STATIQUE

Echelle : $0^{m}01$ par 1000 kil.

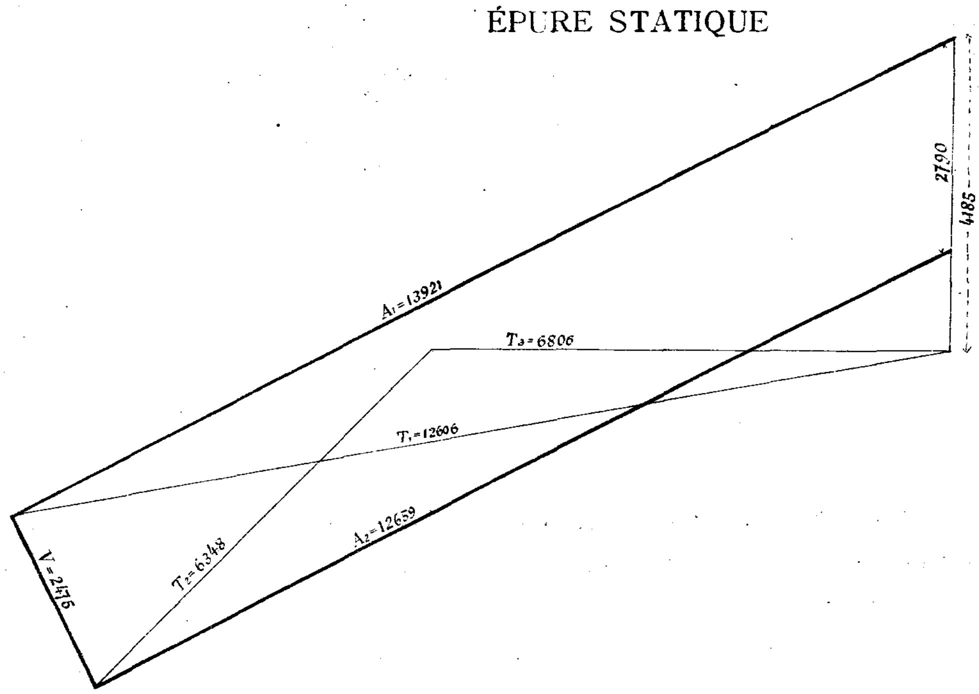
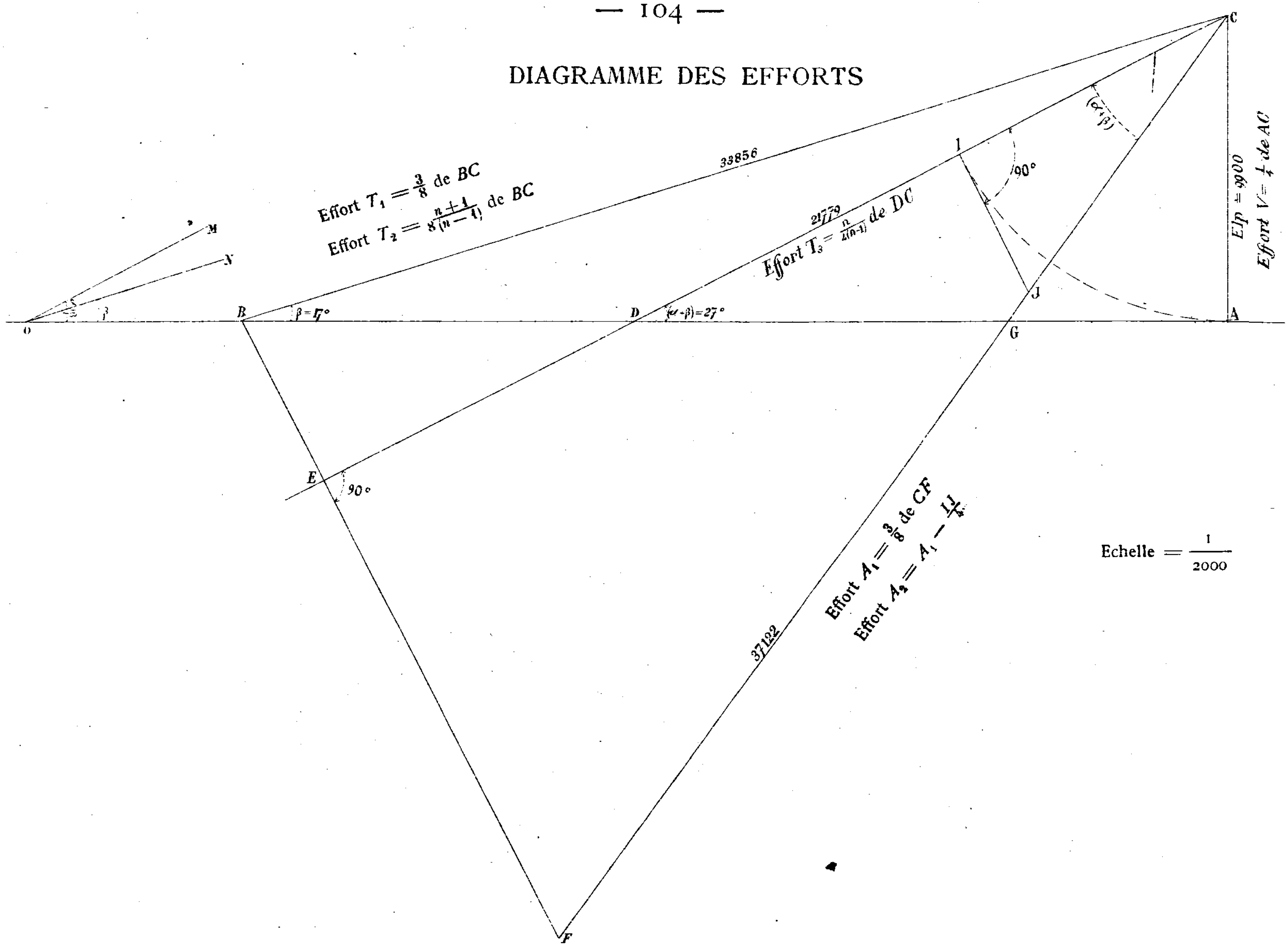


DIAGRAMME DES EFFORTS



Pour construire ce diagramme, on fait en un point quelconque O de l'horizontale les angles β et $(\alpha+\beta)$. On obtient ainsi ON et OM; puis en un autre point quelconque A on élève une perpendiculaire et l'on porte a une échelle déterminée le produit Elp, qui dans le cas actuel $= 9900$: par le point C ainsi obtenu, on mène CB et CD parallèles à ON et OM; on prolonge CD indéfiniment ; du point B on abaisse la perpendiculaire BE, que l'on prolonge aussi indéfiniment ; ensuite on revient au point C et l'on trace CG faisant avec CD un angle $= (\alpha+\beta)$; on prolonge CG : cette ligne coupe le prolongement de BE en F. On trace IJ en ramenant CA avec un arc de cercle et on élève la perpendiculaire sur CD. Cette figure, très simple à construire. groupe tous les efforts du polonceau.

Ainsi dans le cas actuel, en donnant à n la valeur convenue, $n = 5$, on aura pour T_2 par exemple :

$$T_2 = \frac{5+1}{8(5-1)} = \frac{6}{32} \text{ de } BC \qquad T_2 = 6348^{\text{kil.}}$$

POLONCEAU SIMPLE

(UNE SEULE BIELLE SOUS CHAQUE ARBALÉTRIER)

II

FORMULES

$$\text{Effort } A_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times C\alpha \times R(\alpha+\beta) \times K_\beta$$

$$\text{» } A_2 = A_1 - \frac{Elp}{4} \times T(\alpha+\beta)$$

$$\text{» } T_1 = \frac{3}{8} \times Elp \times K_\beta$$

$$\text{» } T_2 = \frac{1}{8} \times Elp \times K_\beta \times \frac{n+1}{n-1}$$

$$\text{» } T_3 = \frac{1}{4} \times Elp \times K(\alpha+\beta) \times \frac{n}{n-1}$$

$$\text{» } V = \frac{Elp}{4}$$

Données. — La ferme a 8^m de portée et chargée à raison de $150^{kil.}$ par mètre carré non projeté, y compris pression du vent, poids de la neige, de la toiture et de la charpente ; les fermes sont espacées de 6^m. Nous avons donc $E = 6^m$, $l = 8^m$, $p = 150^{kil.}$, d'où $Elp = 7200$.

Nous mesurons au rapporteur les angles α et β ; nous trouvons $\alpha = 18^o$ et $\beta = 27^o$, d'où $(\alpha+\beta) = 45^o$. En nous reportant à la table, nous trouvons sur la ligne horizontale de 18^o et dans la colonne C le nombre 0.951, donc $C\alpha = 0.951$; puisque $(\alpha+\beta) = 45^o$, nous nous reportons à l'angle 45^o et, sur la même horizontale, colonne R, nous trouvons le nombre 1.414, donc $R(\alpha+\beta) = 1.414$; on trouvera de même $K\beta = 2.203$, $T(\alpha+\beta) = 1$ et $K(\alpha+\beta) = 1.414$. En introduisant ces valeurs dans les formules ci-dessus et effectuant les multiplications, on aura les valeurs des efforts.

Nous rappelons que $n = \frac{H}{h}$ dans le cas actuel, la hauteur totale $= 4^m00$ et la surélévation de l'entrait est de 1^m00, donc $\frac{H}{h} = \frac{4}{1} = 4$, donc $n = 4$, donc pour T_2 et T_3 nous aurons

$$\frac{n+1}{n-1} = \frac{4+1}{4-1} = \frac{5}{3}$$

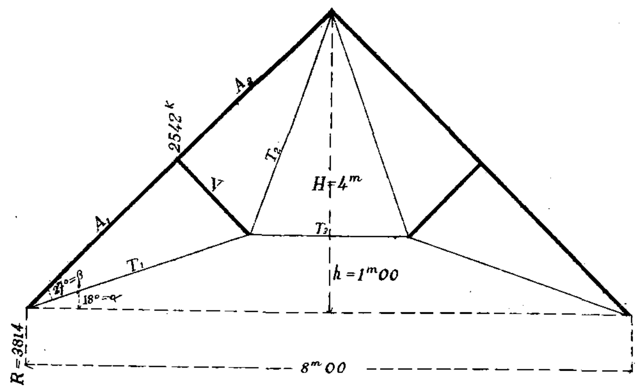
$$\frac{n}{n-1} = \frac{4}{4-1} = \frac{4}{3}$$

On voit que nos formules sont absolument générales, quelle que soit la surélévation de l'entrait ; elles s'appliqueraient aussi au cas où $\frac{H}{h}$ ne serait pas un nombre entier.

DONNÉES

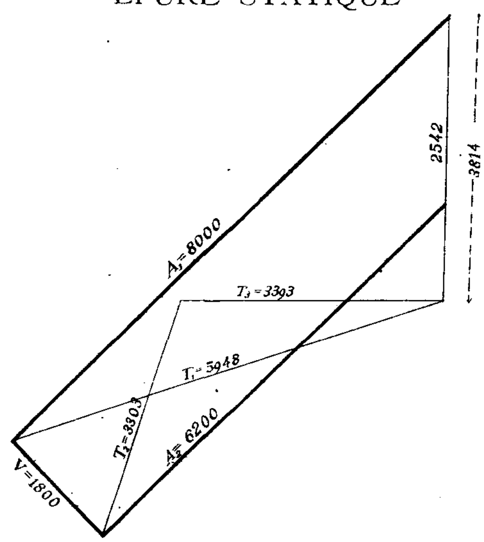
$$\left.\begin{aligned} E &= 6^{m} \\ l &= 8^{m} \\ p &= 150^{k} \end{aligned}\right\} \; E\,l\,p = 7200$$

PROFIL DE LA FERME



Echelle $= \dfrac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



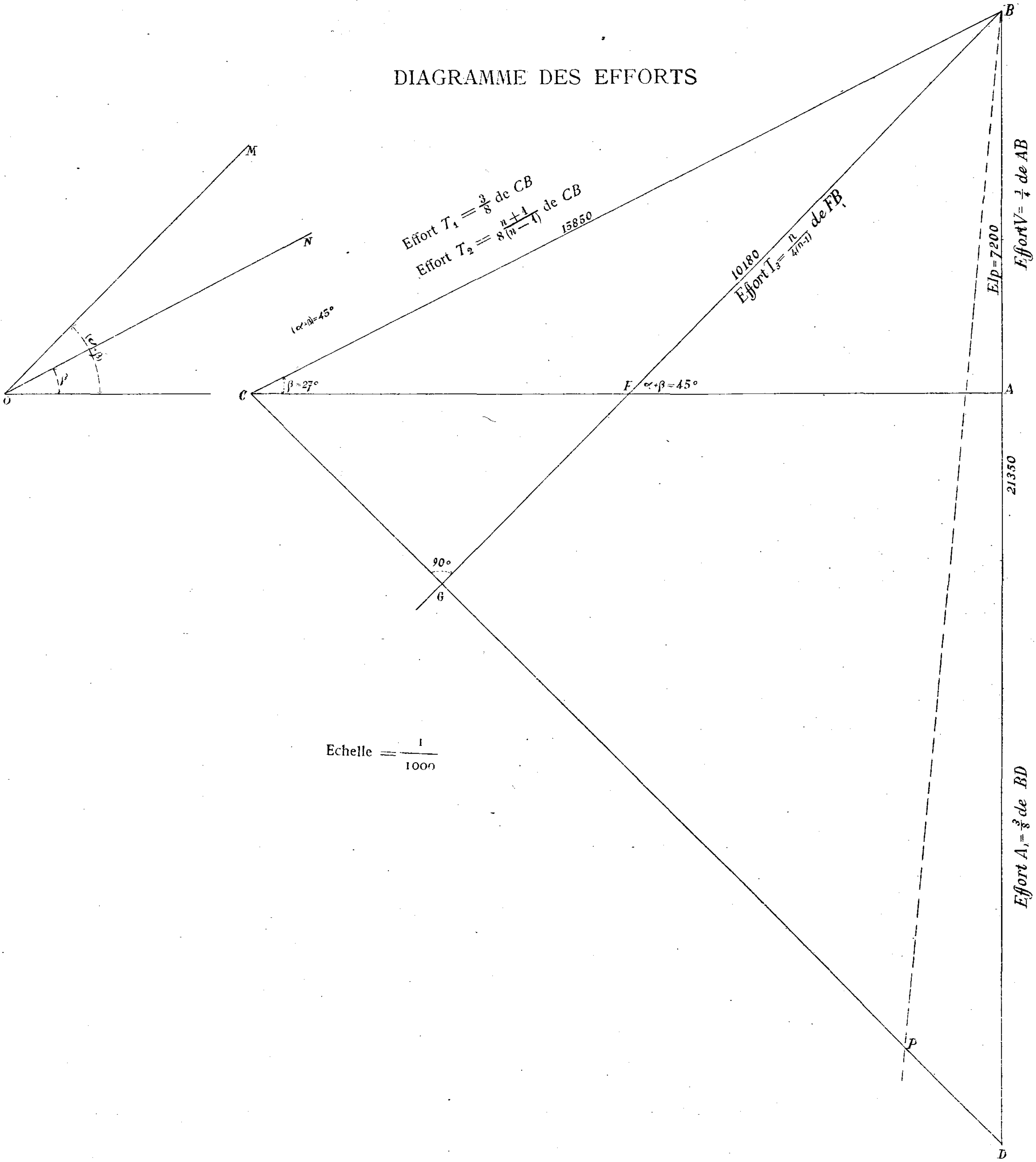
Echelle $= \dfrac{1}{1000}$

Le lecteur pourra s'assurer de la concordance entre les résultats obtenus par nos formules et ceux que donne l'épure statique ci-dessus.

Diagramme des efforts. — Pour le polonceau, nous avons réussi à grouper les efforts sur une figure simple, que tout le monde peut construire sans avoir aucune connaissance de la statique graphique ni des lois de la mécanique (Voir la figure à la page suivante).

Nous formons le produit $E \times l \times p = 7200$ dans le cas actuel, nous portons ce chiffre à une échelle déterminée sur la verticale AB. Nous prenons ensuite un point O quelconque sur l'horizontale et nous formons avec le rapporteur les angles β et $(\alpha + \beta)$; nous traçons OM et ON, par le point B nous menons BC et BF respectivement parallèles à OM et à ON; nous obtenons ainsi les points C et F; nous prolongeons BF et de C nous abaissons la perpendiculaire CGD. La figure ainsi obtenue groupe tous les efforts du polonceau.

DIAGRAMME DES EFFORTS



Dans cet exemple $(\alpha+\beta) = 45°$ et le prolongement de BA donne DB dont les $\frac{3}{8}$ = l'effort A_1 ; le diagramme **général**, c'est-à-dire quels que soient α et β et leur somme, se formerait comme il a été dit précédemment, mais la dernière ligne, au lieu d'être le prolongement de BA, s'obtiendrait en faisant l'angle $FBP = (\alpha+\beta)$ et l'effort A_1 serait les $\frac{3}{8}$ de BP.

POLONCEAU SIMPLE

SANS SURÉLÉVATION DE L'ENTRAIT

Cette ferme est un polonceau simple sans surélévation de l'entrait.

FORMULES

$$\text{Effort } A_1 = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times S\alpha$$

$$» \quad A_2 = A_1 - \frac{E\,l\,p}{4} \times T\alpha$$

$$» \quad T_1 = \frac{3}{8} \times E\,l\,p \times K\alpha$$

$$» \quad T_2 = \frac{1}{8} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$» \quad T_3 = \frac{2}{8} \times \quad » \quad d^o \quad »$$

$$» \quad V = \frac{E\,l\,p}{4}$$

Application. — Nous avons pris comme exemple une ferme de 10^m de portée, chargée à raison de $180^{kil.}$, toutes surcharges comprises ; nous supposons que les fermes sont espacées de 6^m ; nous avons donc $E = 6^m$, $l = 10^m$, $p = 180^{kil.}$. On mesure l'angle α au rapporteur, nous trouvons $\alpha = 22$; nous cherchons cet angle dans la table et, sur la même horizontale, nous trouvons $S\alpha = 2.879$, $T\alpha = 0\ 404$, $K\alpha = 2.67$; en portant ces nombres dans les formules, nous obtiendrons, après avoir effectué les multiplications, la valeur de tous les efforts. Nous les avons tous calculés et inscrits sur l'épure statique.

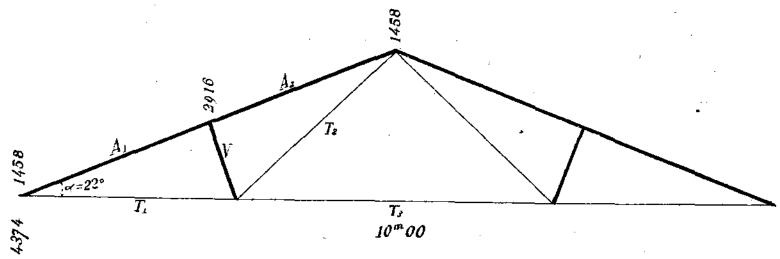
Diagramme des efforts. — Pour ce type de ferme, le diagramme des efforts est un simple triangle rectangle construit en portant sur une verticale BA la valeur du produit $E\,l\,p$ qui, dans le cas actuel, est égal à 10800 ; par le point A ainsi obtenu on mène une parallèle à l'arbalétrier ; on obtient ainsi $A\,C$; puis on mène $A\,D$ faisant avec $A\,C$ un angle droit.

Cette figure groupe tous les efforts des divers organes de la ferme.

DONNÉES

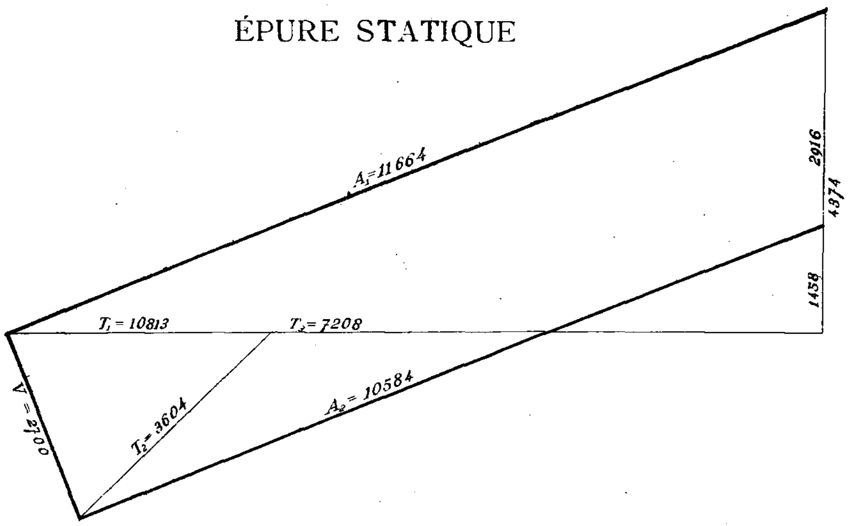
$$\left.\begin{aligned} E &= 6^{m} \\ l &= 10^{m} \\ p &= 180^{k} \end{aligned}\right\} E\,l\,p = 10800$$

PROFIL DE LA FERME



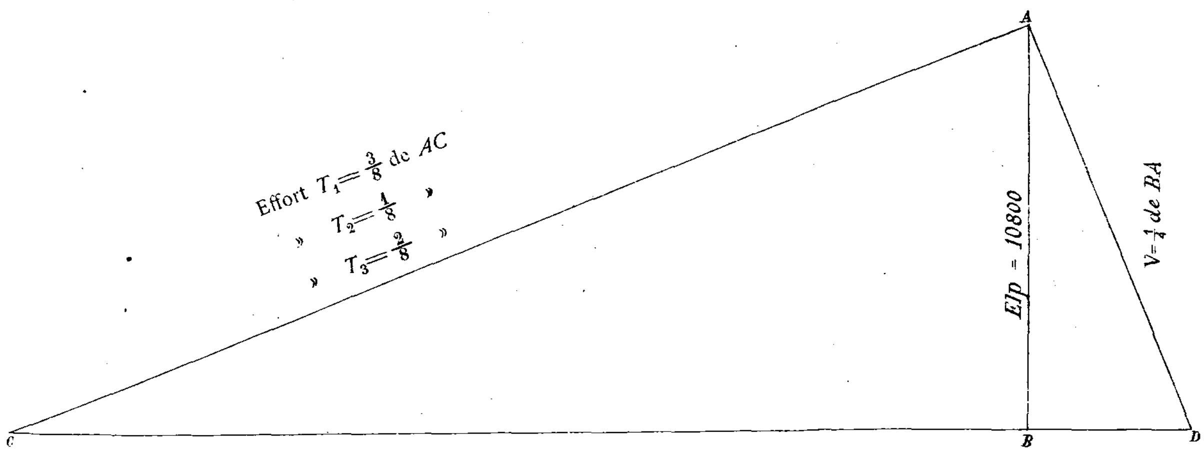
Echelle $= \frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS



Echelle $= \frac{1}{2000}$

Effort $A_1 = \frac{3}{8}$ de CD

» $A_2 = \frac{3}{8}$ de $CD - \frac{1}{4}$ de BD

POLONCEAU DOUBLE

(TROIS BIELLES SOUS CHAQUE ARBALÉTRIER)

I

FORMULES

Effort $A_1 = \frac{7}{16} \times E l p \times C\alpha \times R(\alpha+\beta) \times K_\beta$

» $A_2 = A_1 - \frac{E l p}{8} \times T(\alpha+\beta)$

» $A_3 = A_2 - \frac{E l p}{8} \times$ d°

» $A_4 = A_3 - \frac{E l p}{8} \times$ d°

» $N_1 = \frac{1}{16} \times E l p \times K_\beta$

» $N_2 = N_1$

Effort $T_1 = 7\, N_1$

» $T_2 = 6\, N_1$

» $T_3 = \frac{1}{8} \times E l p \times K_\beta \times \frac{n+1}{n-1}$

» $T_4 = \frac{1}{16} \times$ d° $\times \frac{3n+1}{n-1}$

» $T_5 = \frac{1}{4} \times E l p \times K(\alpha+\beta) \times \frac{n}{n-1}$

» $V_1 = \frac{1}{8} \times E l p$

» $V_2 = 2\, V_1$

» $V_3 = V_1$

La quantité n qui entre dans l'expression de ces trois efforts est le rapport $\frac{H}{h}$

H est la hauteur totale de la ferme, h la surélévation de l'entrait

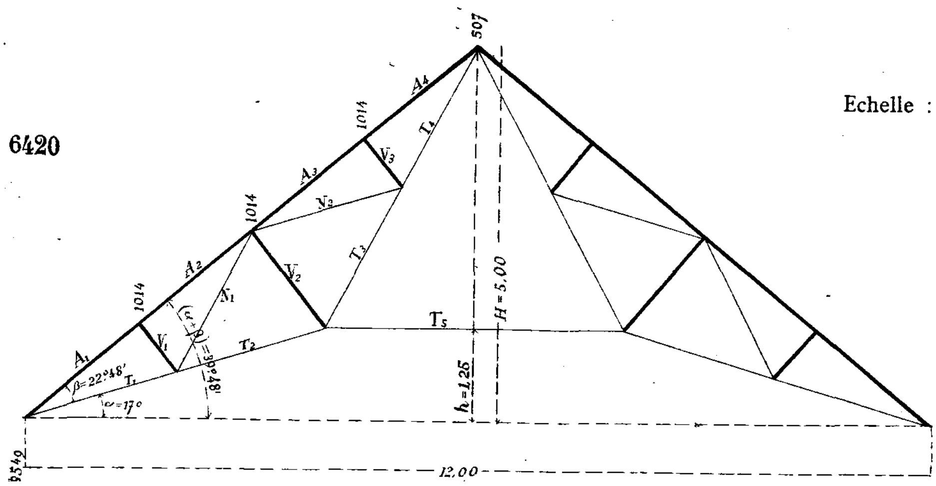
Application. — Supposons une ferme de 12^m de portée, $l = 12^m$, chargée à raison de $130^{kil.}$, $p = 130$; supposons que nous voulons espacer les fermes de 4^m, alors $E = 4$; le produit de ces trois quantités $E l p = 4 \times 12 \times 130 = 6420$; pour ce cas nous avons voulu déterminer l'angle à la base de la ferme rigoureusement; il suffira, dans la pratique, de l'évaluer avec un bon rapporteur; nous avons trouvé $\alpha = 17°$, $\beta = 22°\ 48'$; notre table ne donne les coefficients que pour 22° 30 et 23°; alors nous interpolons proportionnellement et nous trouvons $C\alpha = 0.956$, $R(\alpha+\beta) = 1.301$, $K_\beta = 2.57$, $T(\alpha+\beta) = 0.832$, $K(\alpha+\beta) = 1.562$.

Nous avons déjà vu pour le polonceau simple que n était le rapport de la hauteur H de la ferme à la surélévation de l'entrait h; $n = \frac{H}{h}$; dans le cas actuel $\frac{H}{h} = n = \frac{5}{1{=}25}$. On n'aura qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et on trouvera les valeurs numériques inscrites sur l'épure; on constatera qu'elles concordent avec celles de l'épure et aussi avec celles du diagramme que l'on trouvera plus loin. Il ne faudrait pas s'inquiéter de quelques différences insignifiantes, elles sont inhérentes à tout tracé géométrique; elles ne proviennent que de l'imperfection de ces derniers, qui ont été faits à trop petite échelle.

PROFIL DE LA FERME

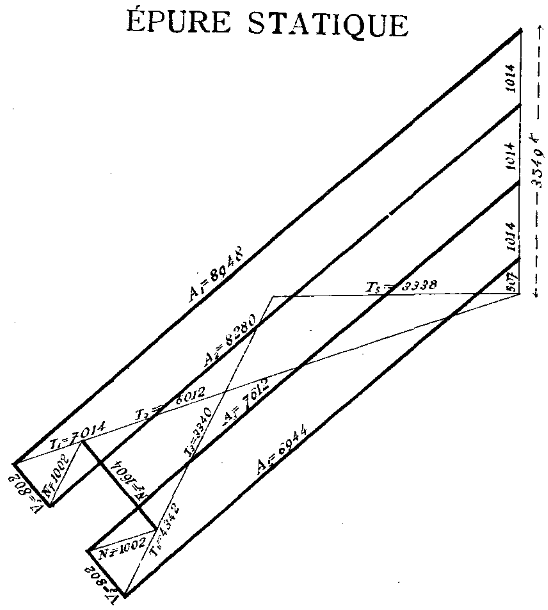
DONNÉES

$$\left.\begin{array}{l} E = 4^{m} \\ l = 12^{m} \\ p = 130^{k} \end{array}\right\} E l p = 6420$$



Echelle : $0^{m}01$ par mètre.

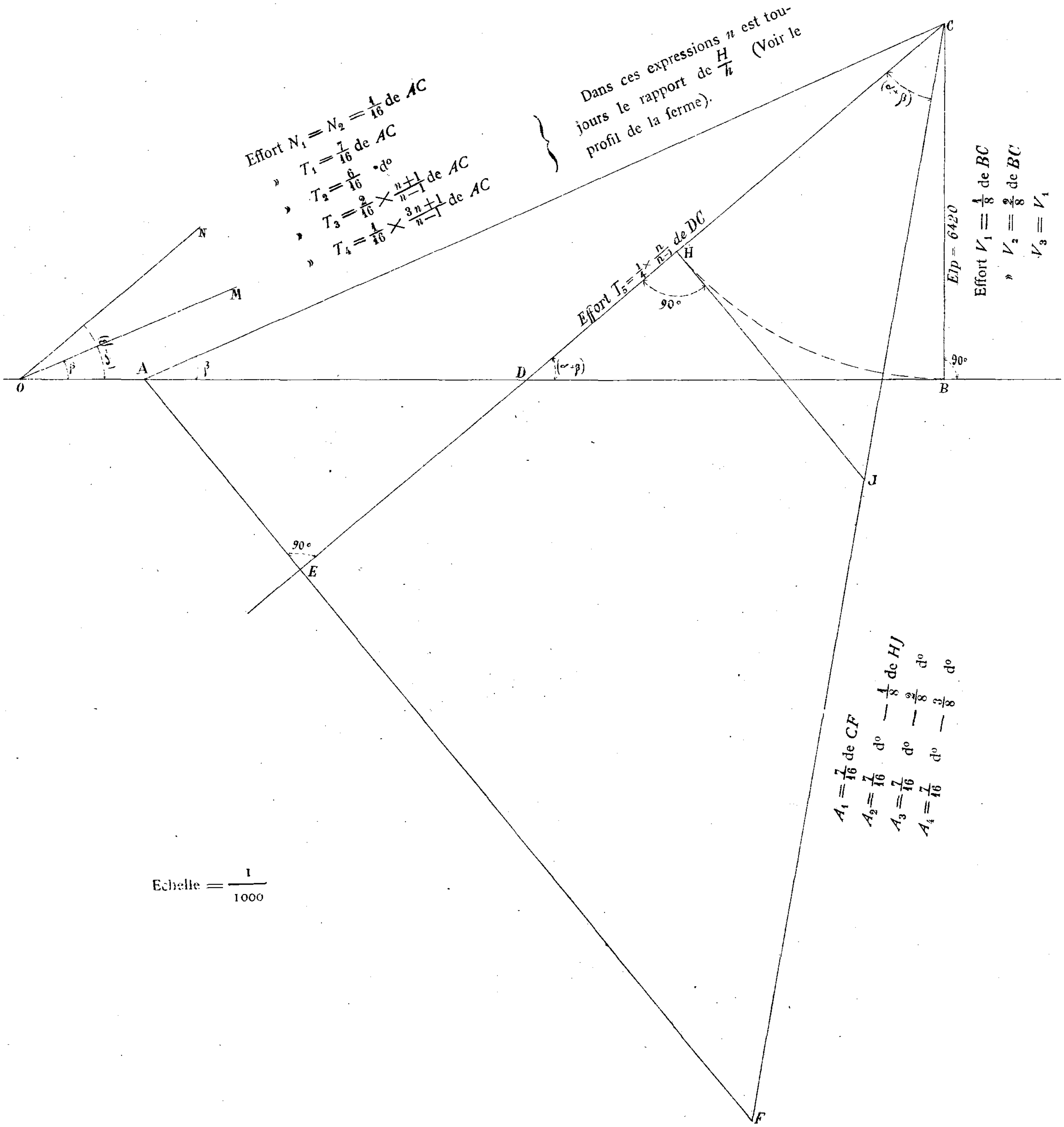
ÉPURE STATIQUE



Echelle : $0^{m}01$ par 1000 kil.

Diagramme des efforts. — Ceux de nos lecteurs qui connaissent la statique graphique voudront bien se rappeler qu'il est impossible de faire l'épure statique ci-dessus du polonceau double sans calculer directement l'effort du tirant T_5, ce calcul n'est pas difficile, il est vrai, mais encore faut-il connaître quelques principes de mécanique. Avec le diagramme que l'on trouvera ci-après, un simple dessinateur sachant uniquement faire un angle, mener une parallèle et une perpendiculaire à des droites déterminées pourra en moins de temps qu'il ne faut pour le dire obtenir une figure qui groupera tous les efforts des éléments du polonceau double. Nous pensons que ce diagramme pourra être utile à une certaine catégorie de lecteurs, celle qui nous intéresse surtout, car encore une fois, c'est pour eux que nous avons travaillé. Nos recherches n'ont aucune prétention à la science, mais bien à la simplification.

DIAGRAMME DES EFFORTS



Pour former ce diagramme, on trace OM et ON faisant avec l'horizontale les angles β et $(\alpha+\beta)$, en un point quelconque B, on élève une perpendiculaire égale au produit Elp ; par le point C, on mène CA et CD parallèles à ON et OM, on prolonge CD, et du point A, on abaisse la perpendiculaire AE que l'on prolonge. On trace ensuite CF en faisant l'angle de cette droite avec $CE = (\alpha+\beta)$. Pour obtenir A_2, A_3, A_4, il faut encore rabattre $CB = Elp$, suivant CH et élever sur CD la perpendiculaire HJ. Tous les efforts du polonceau double sont des parties aliquotes de AC, CD, CF, HJ.

POLONCEAU DOUBLE

(TROIS BIELLES SOUS CHAQUE ARBALÉTRIER)

II

Cette ferme etant très usitée, nous donnons un deuxième exemple en faisant varier toutes les données.

Il n'y a qu'à introduire les nouvelles données dans les formules précédentes. Après avoir mesuré les angles α et β, nous trouvons dans la table $C_\alpha = 0.994$, $K_\beta = 2.855$, $R(\alpha+\beta) = 1.117$, $K(\alpha+\beta) = 2.24$, $T(\alpha+\beta) = 0.498$. — La portée de cette nouvelle ferme $= 16^m$, la charge par mètre carré $= 150^{kil.}$, les fermes sont supposées espacées de 5^m. La hauteur de la ferme est de 4^m et la surélévation de l'entrait de 0^m50, le nombre n qui entre dans les formules précédentes sera donc égal à $\frac{4}{0.50} = 8$.

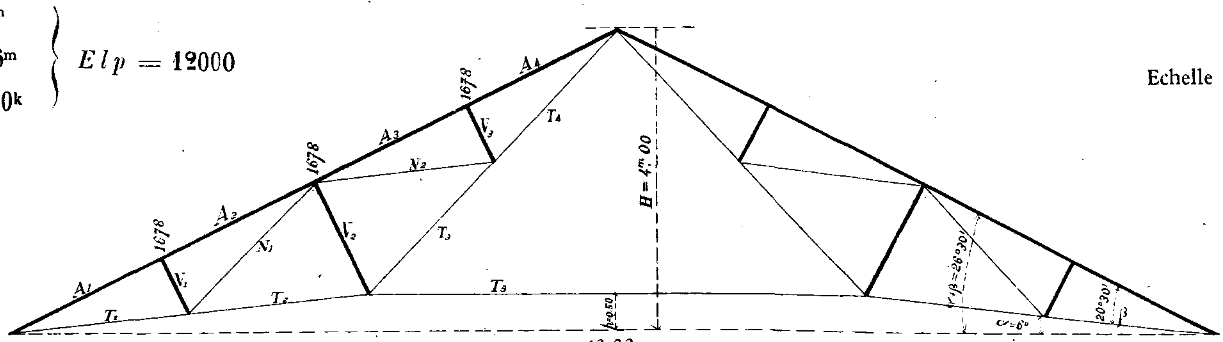
Nous avons consigné la valeur de tous les efforts sur l'épure statique. Le diagramme des efforts se construit comme il est expliqué dans l'exemple précédent.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

$$\left.\begin{array}{r} E = 5^m \\ l = 16^m \\ p = 150^k \end{array}\right\} E\,l\,p = 12000$$

Echelle $= \dfrac{1}{1000}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$

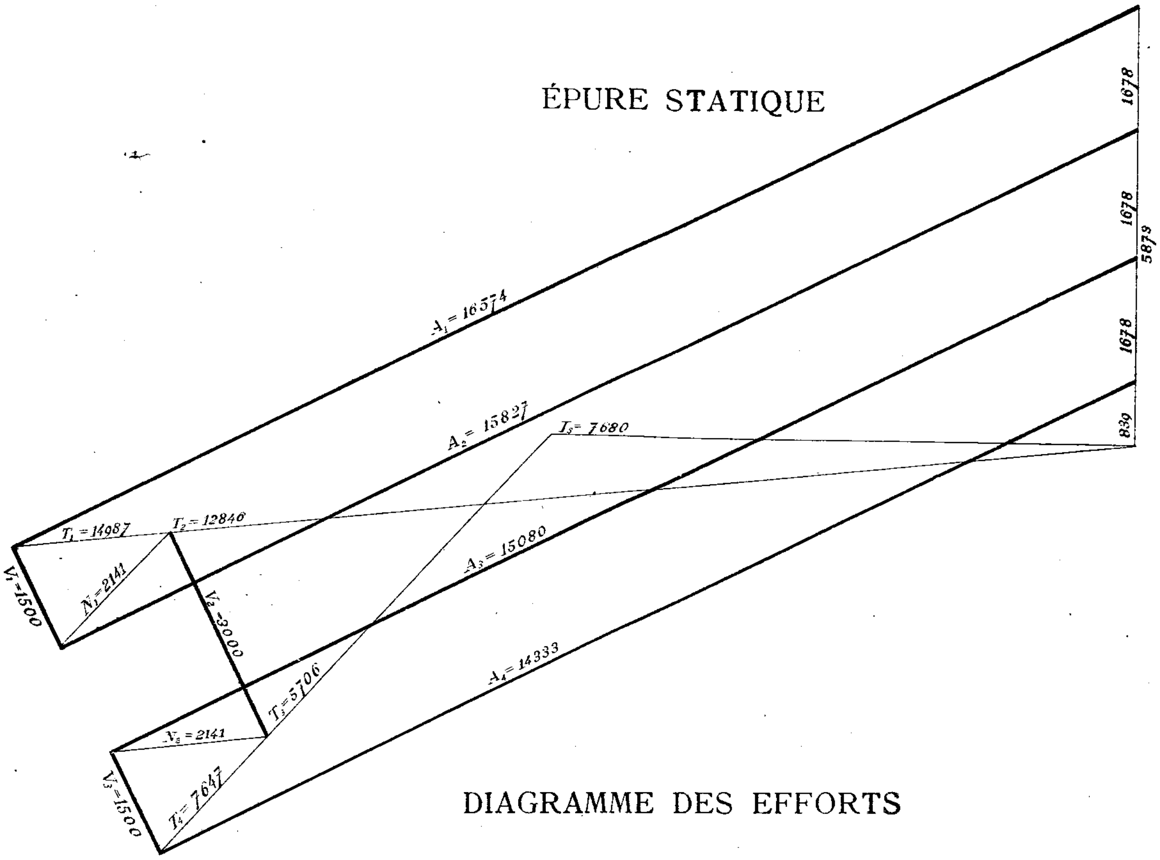
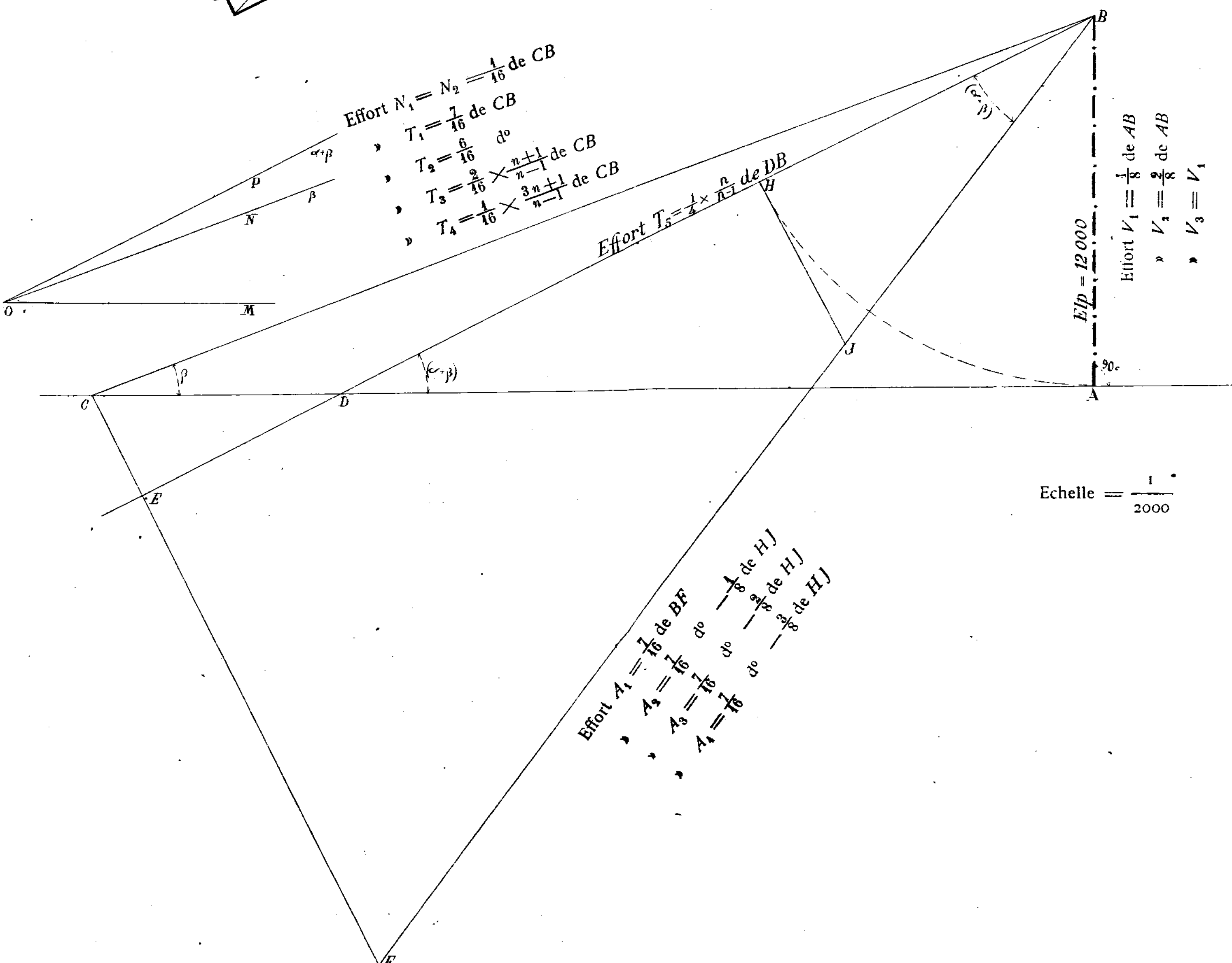


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



POLONCEAU DOUBLE

SANS SURÉLÉVATION DE L'ENTRAIT

FORMULES

Effort $A_1 = \frac{7}{16} \times E\,l\,p \times S_\alpha$

» $A_2 =$ » d° » $- \frac{1}{8} \times E\,l\,p \times T_\alpha$

» $A_3 =$ » d° » $- \frac{2}{8} \times$ » d° »

» $A_4 =$ » d° » $- \frac{3}{8} \times$ » d° »

» $N_1 = \frac{1}{16} \times E\,l\,p \times K_\alpha$

» $N_2 = N_1$

Effort $T_1 = \frac{7}{16} \times E\,l\,p \times K_\alpha$

» $T_2 = \frac{6}{16} \times$ » d° »

» $T_3 = \frac{2}{16} \times$ » d° »

» $T_4 = \frac{3}{16} \times$ » d° »

» $T_5 = \frac{4}{16} \times$ » d° »

» $V_1 = \frac{2}{16} \times E\,l\,p$

» $V_2 = \frac{4}{16}$ d°

» $V_3 = V_1$

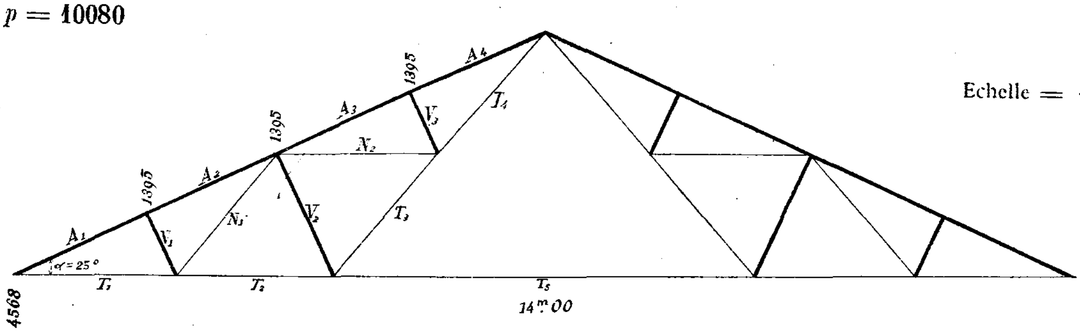
Application. — La ferme à laquelle nous avons appliqué ces formules a 14^m de portée, $l = 14$, elle est chargée à raison de $160^{kil.}$ par mètre carré mesuré suivant la toiture $p = 160^{kil.}$. Ce poids comprend aussi celui de la charpente et toutes les surcharges accidentelles, neige, pression du vent. L'espacement des fermes $E = 4^m,50$. Nous mesurons au rapporteur l'angle $_\alpha$, nous trouvons $_\alpha = 25°$. Nous cherchons dans la table des constantes, on trouve $K_\alpha = 2.366$, $S_\alpha = 2.61$, $T_\alpha = 0.466$.

Il n'y a plus qu'à introduire ces valeurs dans les formules ci-dessus et effectuer pour avoir les efforts exprimés en kilogrammes. Pour cette ferme, le diagramme des efforts est un simple triangle rectangle, il sera utile de le construire pour contrôler les calculs ou bien pour les éviter si l'on est pressé.

DONNÉES

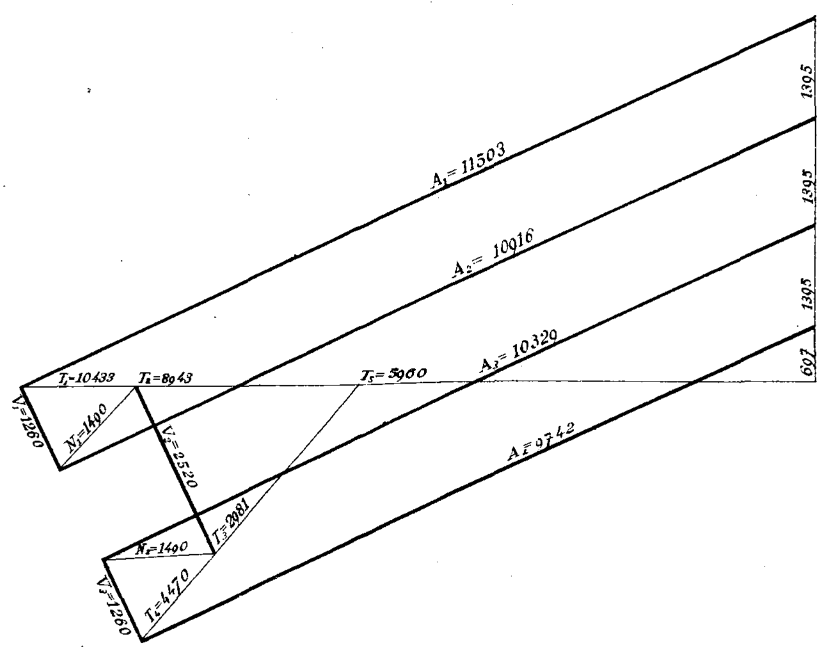
$$\left.\begin{array}{l} E = 4^{m}50 \\ l = 14^{m} \\ p = 160 \end{array}\right\} \quad E\,l\,p = 10080$$

PROFIL DE LA FERME



Echelle $= \frac{1}{1000}$

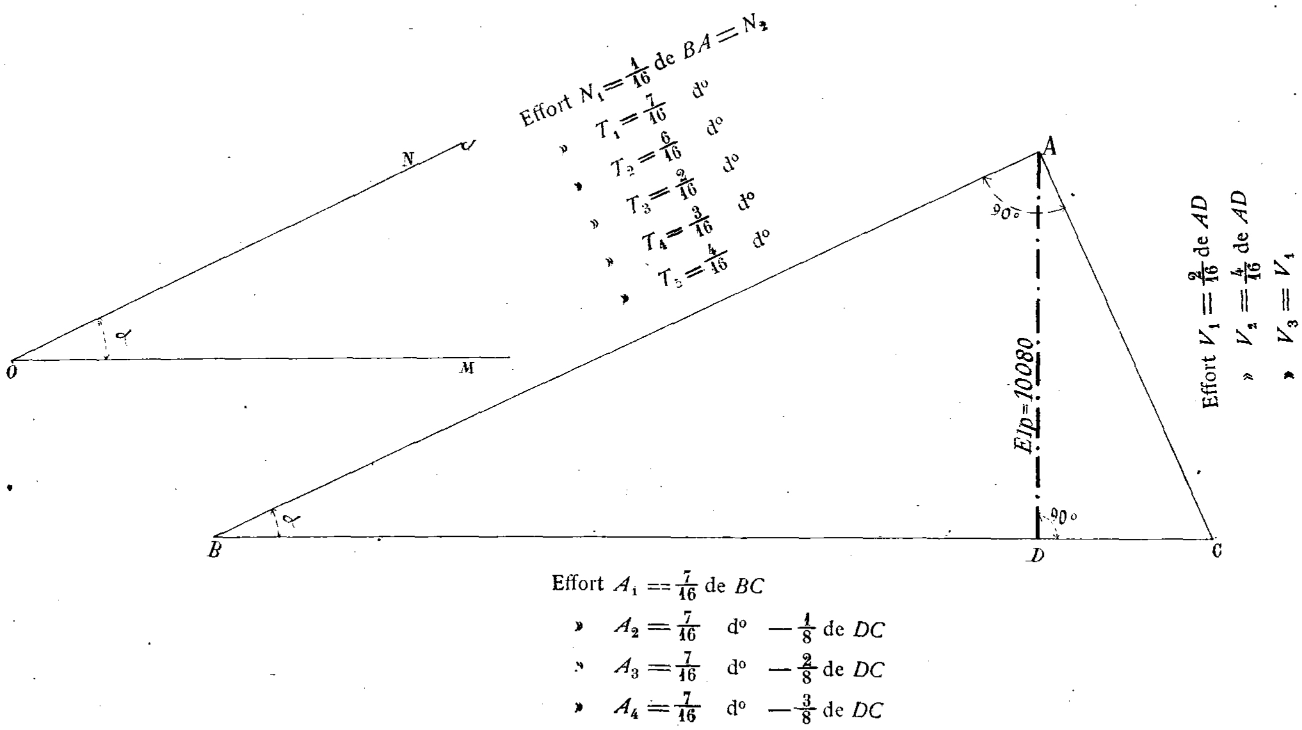
ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1000}$

DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



Pour construire ce diagramme, on forme le produit des trois quantités E, espacement des fermes $= 4^{m}$, l portée de la ferme $= 14$, p poids par mètre carré $= 160^{kil.}$, on a $E\,l\,p = 10.080$, on porte cette quantité à une échelle déterminée suivant $D\,A$ perpendiculaire sur $B\,C$, on a ainsi le point A. Ensuite, en un point quelconque de la feuille, on trace $O\,N$ faisant avec l'horizontale $O\,M$ l'angle α, angle à la base de la ferme, on mène $A\,B$ parallèle à ON, de sorte que cette droite forme avec l'horizontale $B\,C$ l'angle α, puis on trace $A\,C$ faisant avec $B\,A$ un angle droit, de sorte que le triangle $A\,B\,C$ est rectangle en A.

FERME DE GRANDE PORTÉE

MÉNAGEANT UN ESPACE AU MILIEU

Le type de cette ferme est suffisamment indiqué par la figure ci-contre : l'arbalétrier est décomposé en cinq travées égales. Les tirants *a, b, c* sont égaux et *d* comprend la projection des quatre travées d'arbalétrier.

FORMULES (sans plancher)

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{2}{20} \times Elp \times R_\alpha$	$(1) = \frac{2}{20} \times Elp \times K_{\beta_1} \times R_\alpha$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{20} \times$ d°	$(2) = \frac{3}{20} \times$ » $K_{\beta_2} \times$ d°
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$III = \frac{4}{20} \times$ d°	$(3) = \frac{4}{20} \times$ » $K_{\beta_3} \times$ d°
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} =$ » d° »		
$A_5 \times \frac{1}{20} \times$ » d° »	$f = \frac{5}{20} =$ » d° »		

Remarque : Les efforts A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, sont entr'eux comme les nombres entiers *9, 8, 7, 1*, on calculera d'abord l'effort A_5 et en multipliant successivement le résultat obtenu par *7, 8, 9*, on aura les autres efforts. De même les efforts *a, b, c, d* varient comme les nombres *9, 8, 7, 6*, on calculera le $\frac{1}{20}$ de $E\,l\,p \times K_\alpha$ et en multipliant ensuite cette quantité par les nombres *6, 7, 8, 9*, on aura *d, c, b, a*. Même remarque pour les efforts *I, II, III*. On voit combien les calculs seront ainsi abrégés.

Application. — Soit une ferme de 18^m de portée $l = 18^m$, nous supposons que l'on veut espacer les fermes de 4^m d'où $E = 4$ et qu'on les charge à raison de $150^{kil.}$ tout compris (poids par mètre carré réel avec toutes les surchages). Nous avons donc $E\,l\,p = 4 \times 18 \times 150 = 10800$. Nous mesurons ensuite les angles α, β_1, β_2, β_3 avec le rapporteur, nous trouvons $\alpha = 24°$, $\beta_1 = 42°$, $\beta_2 = 54°$, $\beta_3 = 61°$. — En consultant la table, nous trouvons $S_\alpha = 2.69$, $K_\alpha = 2.458$, $R_\alpha = 1.095$, $K_{\beta_1} = 1.494$, $K_{\beta_2} = 1.236$, $K_{\beta_3} = 1.14$. Il n'y a qu'à porter ces valeurs dans les formules et effectuer les calculs, on trouvera les résultats inscrits ci-contre sur l'épure statique.

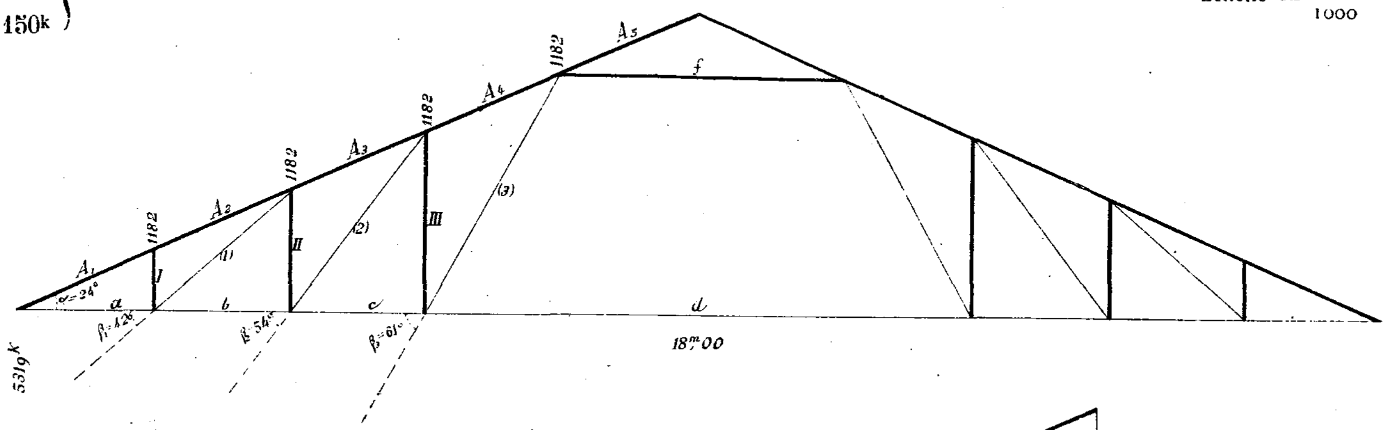
Diagramme des efforts. — Nous portons $CB = E\,l\,p = 10800$; par B nous menons BA parallèle à l'arbalétrier, BI parallèle à *(1)*, BJ et BL parallèles à *(2)* et *(3)*, après avoir comme toujours, mené BD perpendiculaire sur BA, nous ramenons avec une série d'arcs de cercle ayant leur centre au point B, les longueurs BI, BJ, BL sur le prolongement de BC par les points L', J', I' ainsi obtenus, nous menons les droites $L'E$, $J'F$, $I'G$ parallèles à l'horizontale, nous obtenons ainsi BE, BF, BG. Nous avons ainsi le diagramme comprenant tous les efforts.

DONNÉES

$$\left.\begin{aligned} E &= 4^{m} \\ l &= 18^{m} \\ p &= 150^{k} \end{aligned}\right\} \quad E\,l\,p = 10800$$

PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1000}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$

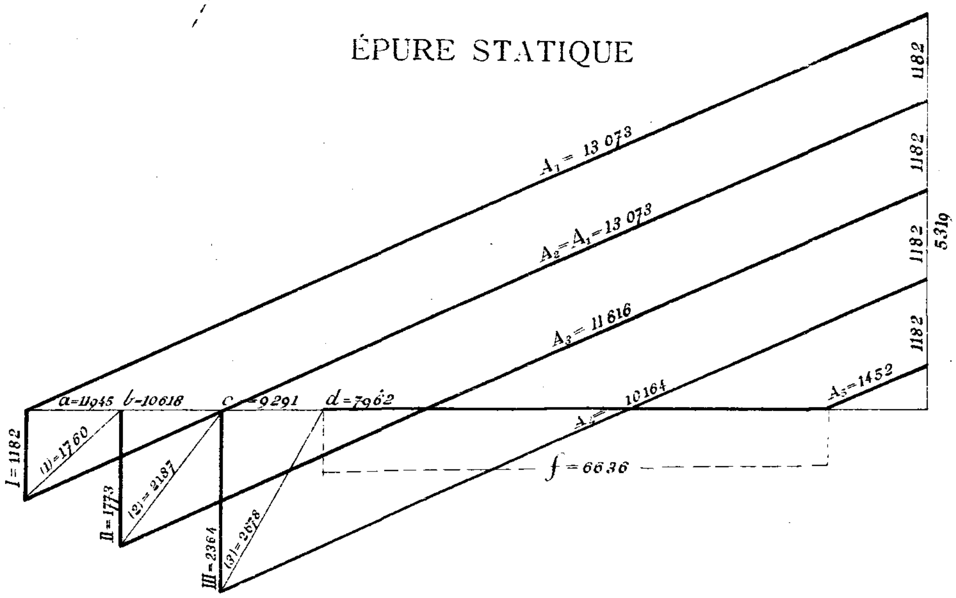
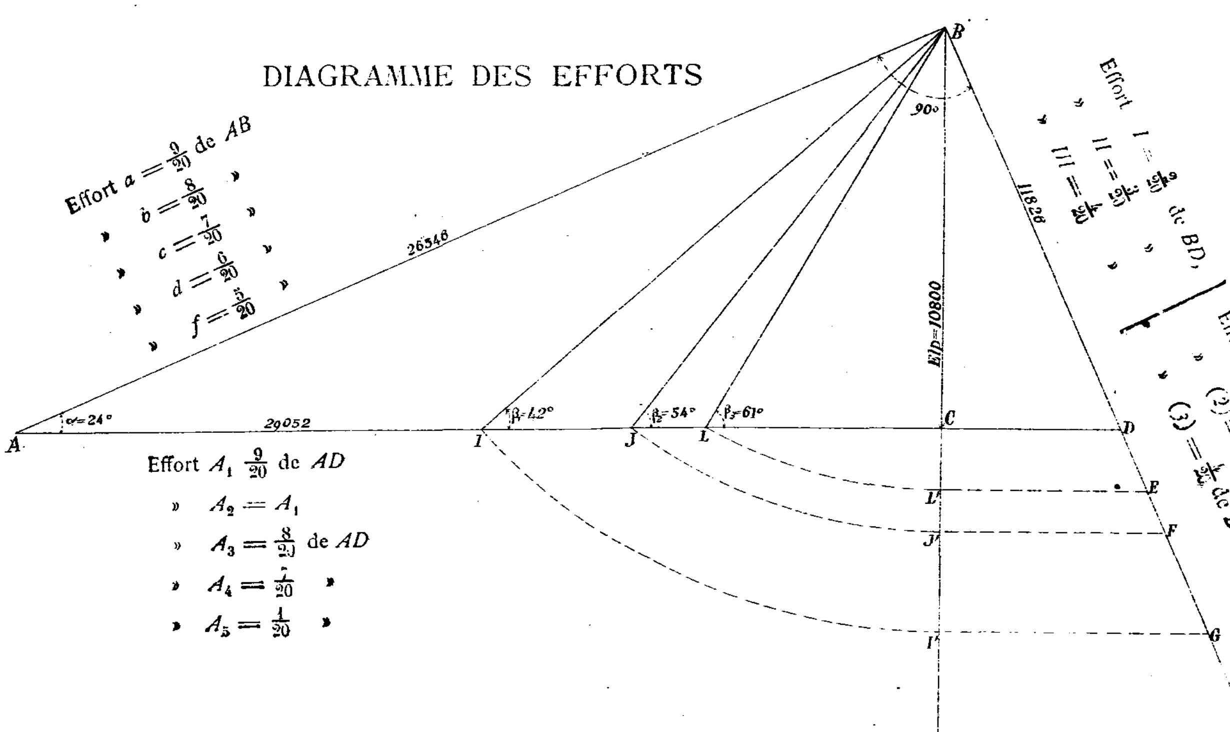


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



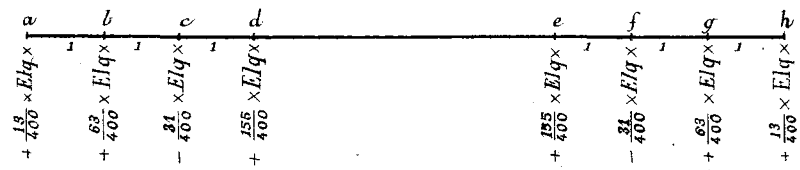
Effort $a = \frac{9}{20}$ de AB
» $b = \frac{8}{20}$ »
» $c = \frac{7}{20}$ »
» $d = \frac{6}{20}$ »
» $f = \frac{5}{20}$ »

Effort A_1 $\frac{9}{20}$ de AD
» $A_2 = A_1$
» $A_3 = \frac{8}{20}$ de AD
» $A_4 = \frac{7}{20}$ »
» $A_5 = \frac{1}{20}$ »

Effort $I = \frac{2}{20}$ de BD,
» $II = \frac{3}{20}$ »
» $III = \frac{4}{20}$ »

Effort $(1) = \frac{2}{20}$ de BG
» $(2) = \frac{3}{20}$ de BF
» $(3) = \frac{4}{20}$ de BE

FORMULES POUR LE PLANCHER SEUL



L'entrait de la ferme précédente est divisé comme la ligne ci-dessus. Nous avons fait une épure statique en appliquant la théorie de la poutre continue et nous avons trouvé les réactions indiquées ; celles des points c et f sont négatives, c'est-à-dire qu'il faudrait charger la poutre de l'entrait de $\frac{31}{400} \times E\,l\,q$ pour que tous les points d'attache de l'entrait restent de niveau ; il s'en suit que ce type de ferme n'est pas très recommandable.

Néanmoins, nous donnons des formules approchées pour le cas d'un plancher chargé, on devra ajouter ces efforts aux précédents.

$A_1 = \frac{9}{20} \times E\,l\,q \times K_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times E l q \times K_\alpha \times C_\alpha$	$(1) = \frac{2}{20} \times E\,l\,q \times K_{\beta_1}$	$I = 0$
$A_2 = A_1$	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$(2) = \frac{3}{20} \times$ » K_{β_2}	$II = \frac{1}{20} \times E\,l\,q$
$A_3 = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$(3) = \frac{7}{20} \times$ » K_{β_3}	$III = \frac{2}{20} \times$ d°
$A_4 = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$d = \frac{21}{80} \times$ » d° »		
$A_5 = 0$	$f = d$		

FERME ANGLAISE

(ARBALÉTRIER EN TROIS TRAVÉES)

Dans cette ferme, les points m, n sont la projection des points milieu des éléments A_2 et A_3.

FORMULES

$A_1 = \frac{5}{12} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{5}{12} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{1}{9} \times Elp \times K_{\beta_1} \times R_\alpha$	$(1) = \frac{1}{12} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{13}{36} \times$ » d° »	$b = \frac{4}{12} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{15} \times$ » K_{β_2} d°	$(2) = \frac{2}{12} \times$ » K_{φ_2}
$A_4 \times \frac{51}{180} \times$ » d° »	$c = \frac{3}{12} \times$ » d° »		

Application. — La ferme choisie a 12^m de portée $l = 12$, le poids par mètre carré de toiture, toutes surcharges comprises, est de $175^{kil.}$ d'où $p = 175$, nous supposons que dans le projet à l'étude on veuille espacer les fermes de 4^m50 d'où $E = 4^m50$ et $E\,l\,p = 4.5 \times 12 \times 175 = 9450$. On mesure au rapporteur les angles α, β_1, β_2 φ_1 φ_2, on cherche dans la table des constantes et on trouve $S_\alpha = 2.83$, $K_\alpha = 2.61$. $R_\alpha = 1.08$, $K_{\beta_1} = 1.555$. $K_{\beta_2} = 1.16$, $K_{\varphi_1} = 1.74$, $K_{\varphi_2} = 1.41$, il n'y a plus qu'à effectuer. Les résultats de ces calculs sont consignés sur l'épure statique.

Diagramme des efforts. — On peut éviter les calculs précédents ou mieux les contrôler à l'aide du diagramme. Avec un rapporteur, à partir de $O\,M$ (fig. 3), on forme les angles α, β_1, β_2, φ_1, φ_2, ensuite on élève $D\,A$ perpendiculaire sur l'horizontale indéfinie $B\,C$; on prend $D\,A$ égale au produit $E\,l\,p = 9450$ dans l'exemple choisi, par le point A on mène des parallèles à tous les rayons émanant du point O, on reforme ainsi sur la base $B\,C$ les angles précités.

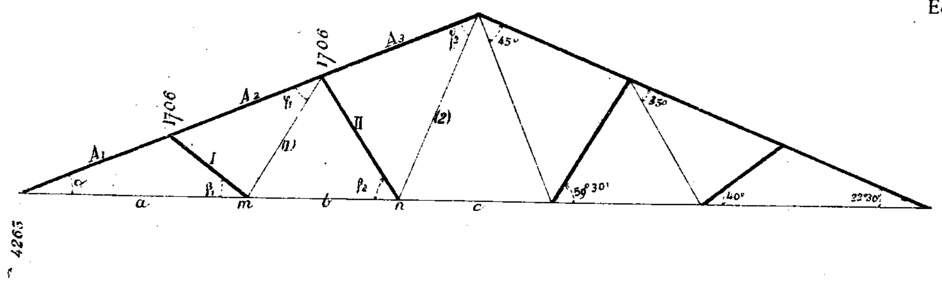
Du point A, avec un compas, on ramène les points F et H, correspondant aux angles β_1 et β_2, en F' et H' ; par ces derniers points, on mène des parallèles à $D\,C$; on obtient ainsi les points I et J. On avait préalablement mené $A\,C$ perpendiculaire sur $A\,B$, de manière à former comme toujours un triangle $B\,A\,C$, rectangle en A.

DONNÉES

$$\left.\begin{array}{l} E = 4^{m}50 \\ l = 12^{m} \\ p = 175 \end{array}\right\} \; E\,l\,p = 9450$$

PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1000}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$

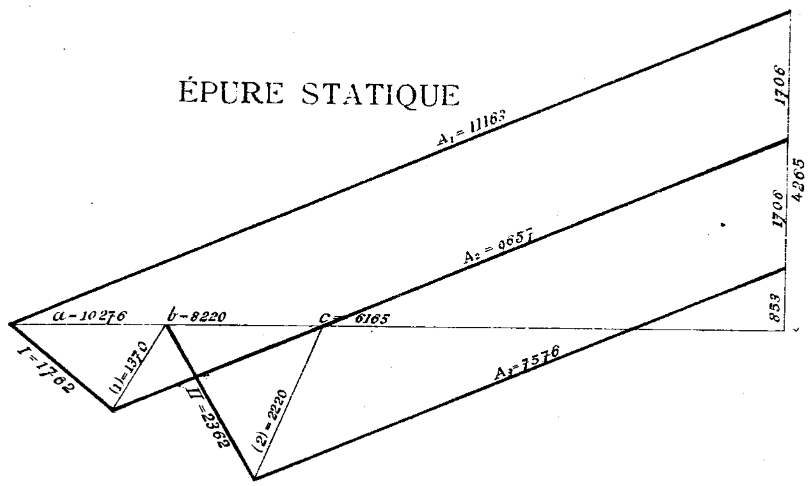
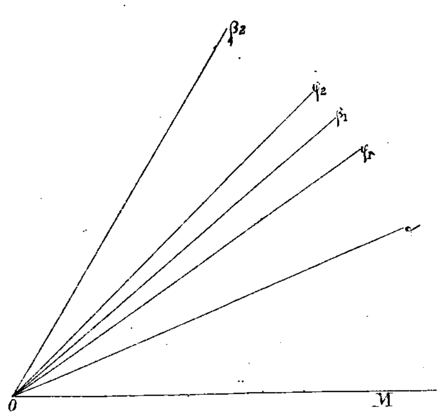
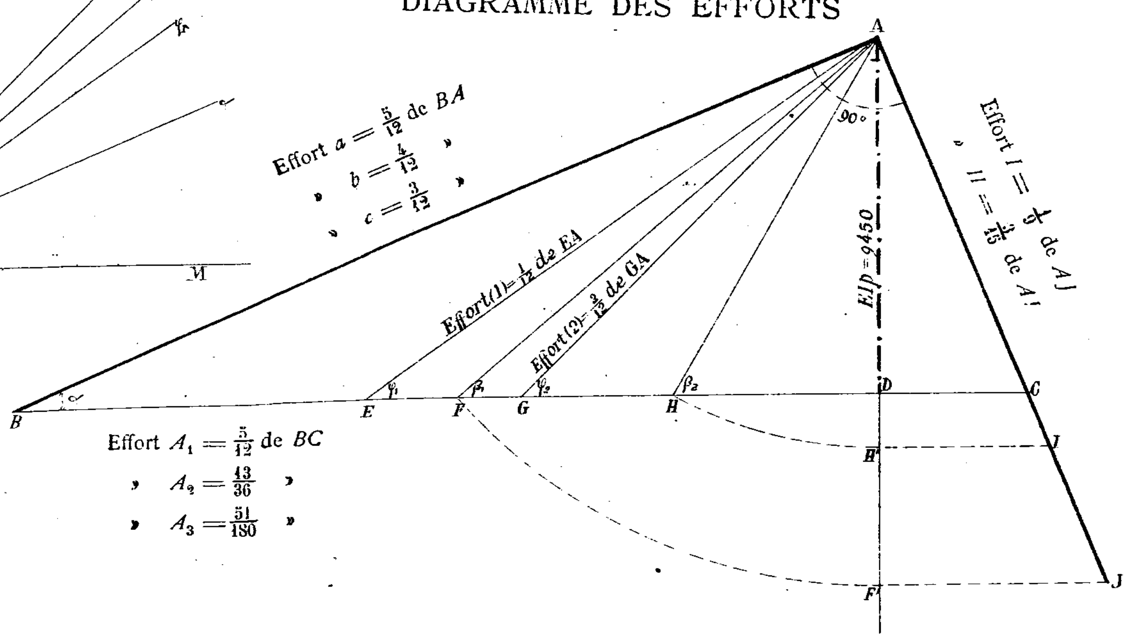


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$





FERME ANGLAISE

(ARBALÉTRIER EN QUATRE TRAVÉES)

Dans ce type de ferme l'arbalétrier est divisé en quatre parties égales et chacun des points de division est joint aux points m, n, p, qui sont la projection des points milieu des éléments A_2, A_3, A_4.

$A_1 = \frac{7}{16} \times E l p\ S_\alpha$	$a = \frac{7}{16} \times E l p \times K_\alpha$	$I = \frac{1}{12} \times E l p \times K_{\beta_1} \times R_\alpha$	$(1) = \frac{1}{16} \times E l p \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{19}{48} \times$ » d° »	$b = \frac{6}{16} \times$ d°	$II = \frac{3}{20} \times$ » K_{β_2} d°	$(2) = \frac{2}{16} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{27}{80} \times$ » d° »	$c = \frac{5}{16} \times$ d°	$III = \frac{3}{14} \times$ » K_{β_3} d°	$(3) = \frac{3}{16} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 \times \frac{31}{112} \times$ » d° »	$d = \frac{4}{16} =$ d°		

Application. — La ferme que nous avons choisie a 16^m de portée, $l = 16$; elle est chargée à raison de $180^{kil.}$ (toutes surcharges comprises) par mètre carré réel de toiture, donc $p = 180$; nous supposons que les fermes sont espacées de 4^m, $E = 4$. Le produit $E\,l\,p$ est donc égal à $4 \times 16 \times 180 = 11520$.

Nous mesurons au rapporteur les angles α, β_1, β_2, β_3, φ_1, φ_2, φ_3, et en consultant la table, en regard des valeurs de chacun de ces angles, nous trouvons la valeur des expressions S_α, K_α, R_α, $K_{\beta 1}$, $K_{\beta 2}$, $K_{\beta 3}$, $K_{\varphi 1}$, $K_{\varphi 2}$, $K_{\varphi 3}$. Nous avons trouvé, en cherchant dans la table, l'angle $\alpha = 29°30'$; pour les valeurs des constantes relatives à cet angle $S_\alpha = 2.333$, $K_\alpha = 2.03$, $R_\alpha = 1.143$. Si nous voulons calculer l'effort A_1 par exemple, nous avons $A_1 = \frac{7}{16} \times E\,l\,p \times S_\alpha = \frac{7}{16} \times 4 \times 16 \times 180 \times 2.233 = 11758$. Nous avons calculé tous les autres efforts et consigné les résultats sur l'épure statique pour montrer qu'il y a concordance, ce qui doit toujours arriver puisque nos formules sont absolument rigoureuses.

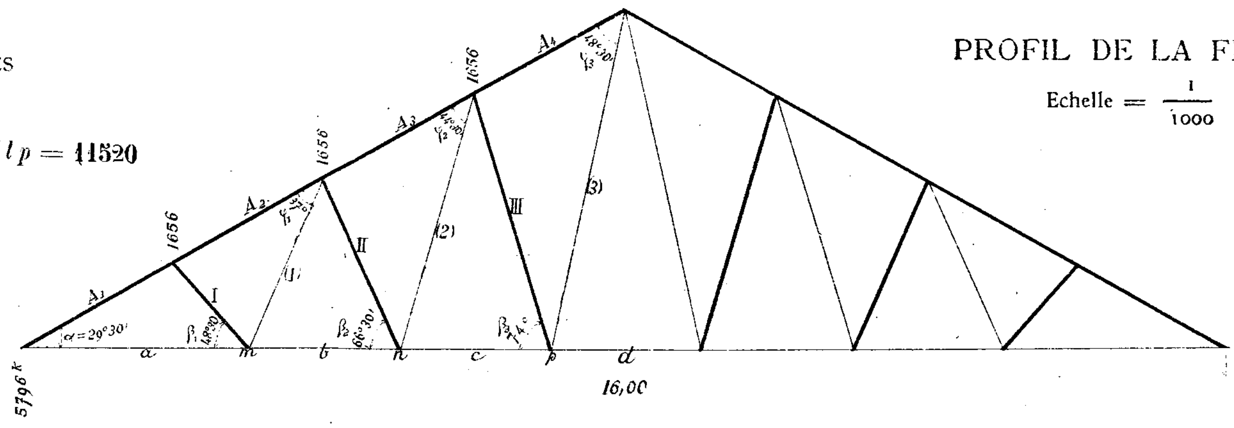
Diagramme des efforts. — Pour construire le diagramme, on prendra un rapporteur dont on fera coïncider l'horizontale avec OM; on formera ainsi les angles α, φ_1, φ_2, φ_3, β_1, β_2, β_3. Après avoir, comme d'habitude, porté sur une verticale $B\,A$ la valeur à une échelle déterminée du produit $E\,l\,p = (11520$ dans l'exemple choisi), on mènera par le point A des parallèles aux lignes O_α, $O_{\varphi 1}$, $O_{\varphi 2}$, etc....., on aura ainsi les lignes AC, AD, AE, AF, AG, AH ; on ramènera, comme l'indique la figure, les points F, G, H correspondant aux angles β_1, β_2, β_3, sur le prolongement de AB ; on obtiendra ainsi les points s, t, v. En menant des horizontales on obtiendra les points J, L, M d'intersection avec la droite AM, qui avait préalablement été tracée en faisant un angle de 90° avec AC.

DONNÉES

$$\left.\begin{aligned} E &= 4^{m} \\ l &= 16^{m} \\ p &= 180^{k} \end{aligned}\right\} \quad E\,l\,p = 11520$$

PROFIL DE LA FERME

Echelle $= \frac{1}{1000}$



ÉPURE STATIQUE

Echelle $= \frac{1}{1000}$

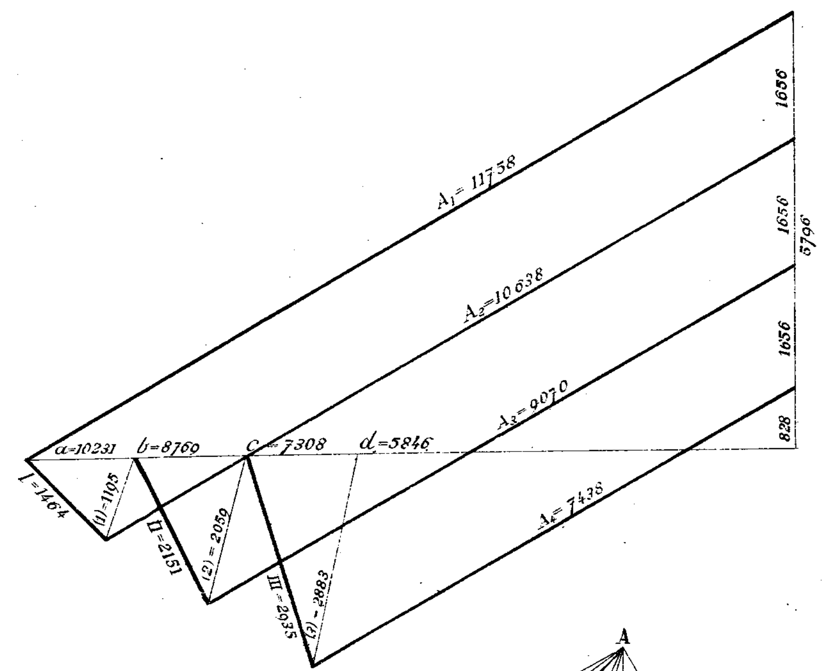
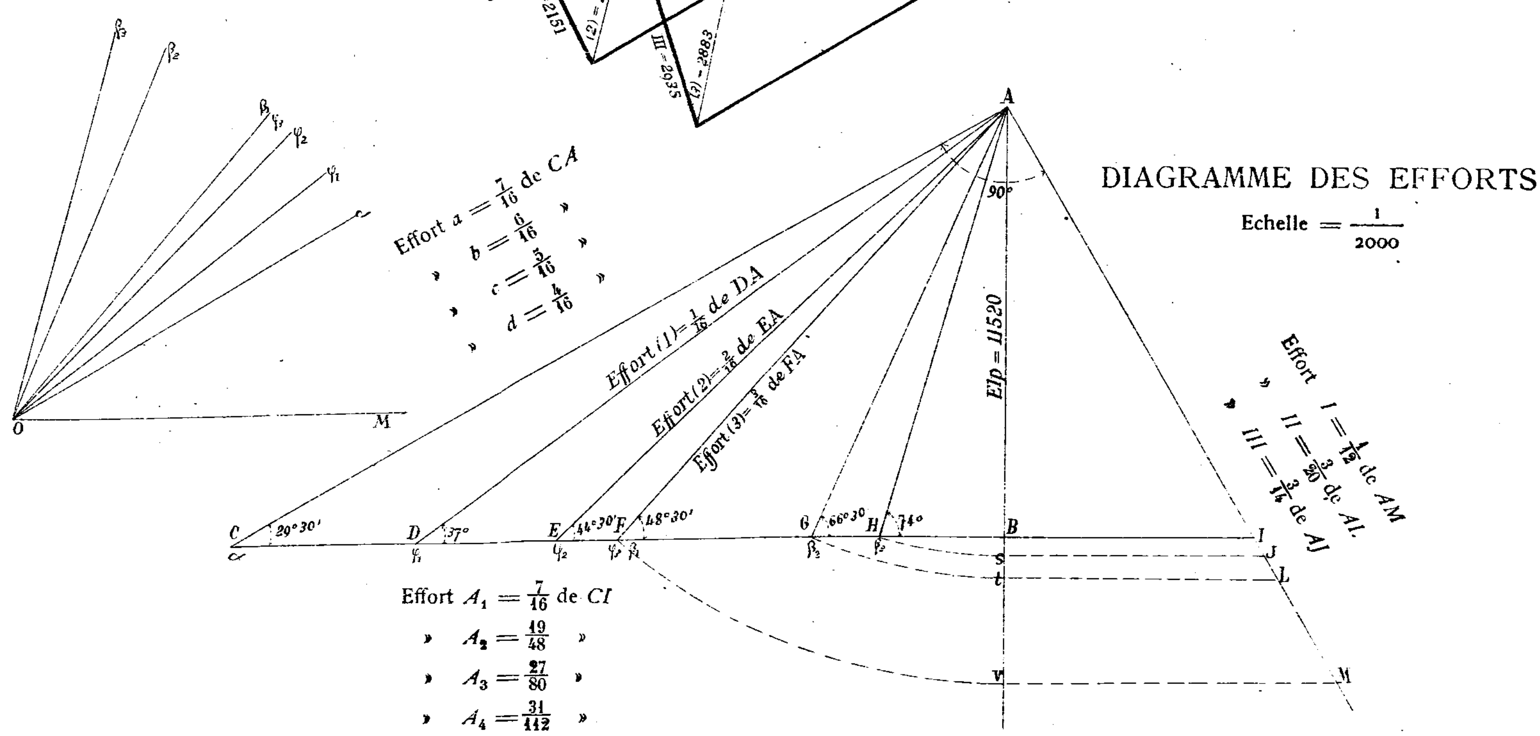


DIAGRAMME DES EFFORTS

Echelle $= \frac{1}{2000}$



Remarque : Les lignes A_{φ_3} et A_{β_1}, se confondent suivant AF ; c'est une coïncidence tout à fait fortuite causée par l'égalité des angles β_1 et φ_3.

FERME ANGLAISE

(ARBALÉTRIER EN CINQ TRAVÉES)

Cette ferme est construite comme suit : L'arbalétrier est, comme toujours, divisé en un certain nombre de parties égales, en cinq dans cet exemple ; puis on prend le milieu de A_2, A_3, A_4, A_5, et on projète les points obtenus sur l'entrait ; on a ainsi les points m, n, p, q, qui sont les points de jonction des contre-fiches I, II, etc., avec les étrésillons (*1*), (*2*), etc. Il résulte de là que les longueurs interceptées sur l'entrait sont égales entre elles, sauf celles des extrémités.

FORMULES

$A_1 = \frac{9}{20} \times Elp \times S_\alpha$	$a = \frac{9}{20} \times Elp \times K_\alpha$	$I = \frac{1}{15} \times Elp \times K_{\beta_1} \times R_\alpha$	$(1) = \frac{1}{20} \times Elp \times K_{\varphi_1}$
$A_2 = \frac{5}{12} \times$ » d° »	$b = \frac{8}{20} \times$ » d° »	$II = \frac{3}{25} \times$ » K_{β_2} d°	$(2) = \frac{2}{20} \times$ » K_{φ_2}
$A_3 = \frac{37}{100} \times$ » d° »	$c = \frac{7}{20} \times$ » d° »	$III = \frac{6}{35} \times$ » K_{β_3} d°	$(3) = \frac{3}{20} \times$ » K_{φ_3}
$A_4 = \frac{9}{28} \times$ » d° »	$d = \frac{6}{20} =$ » d° »	$IV = \frac{10}{45} \times$ » K_{β_4} d°	$(4) = \frac{4}{20} \times$ » K_{φ_4}
$A_5 = \frac{49}{180} \times$ » d° »	$e = \frac{5}{20} =$ » d° »		

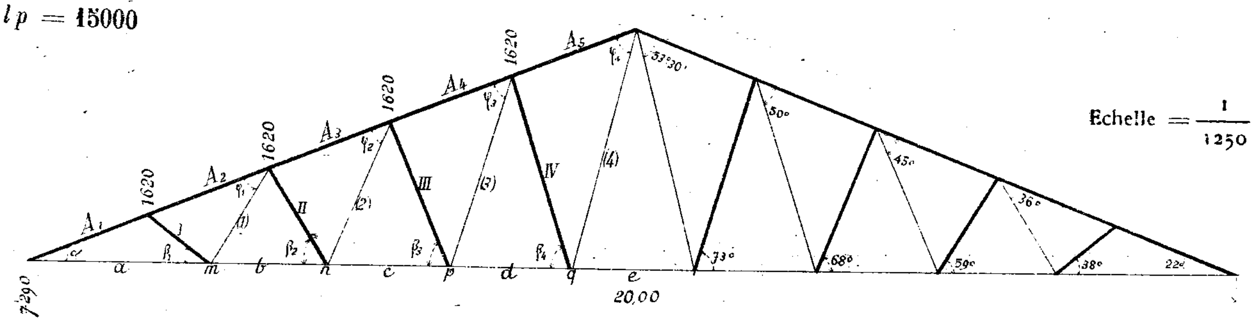
Application. — Appliquons ces formules à une ferme de 20^m de portée, $l = 20$, chargée à raison de $150^{kil.}$ par mètre carré suivant l'inclinaison de la toiture, toutes surcharges comprises, ainsi que le poids de la charpente, les fermes étant supposées espacées de 5^m, d'où $E = 5$. On mesure au rapporteur les angles α, β_1, β_2, β_3, β_4 et φ_1, φ_2, φ_3, φ_4. On cherche ensuite dans la table des constantes et on trouve $S_\alpha = 2.879$, $K_\alpha = 2.669$, $R_\alpha = 1.078$, $K_{\beta_1} = 1.62$, $K_{\beta_2} = 1.166$, $K_{\beta_3} = 1.078$, $K_{\beta_4} = 1.045$, $K_{\varphi_1} = 1.70$, $K_{\varphi_2} = 1.41$, $K_{\varphi_3} = 1.3$, $K_{\varphi_4} = 1.244$.

Il n'y a plus qu'à introduire ces valeurs dans les formules et effectuer. On peut éviter tous ces calculs ou bien les contrôler à l'aide du diagramme que nous donnons ci-après.

PROFIL DE LA FERME

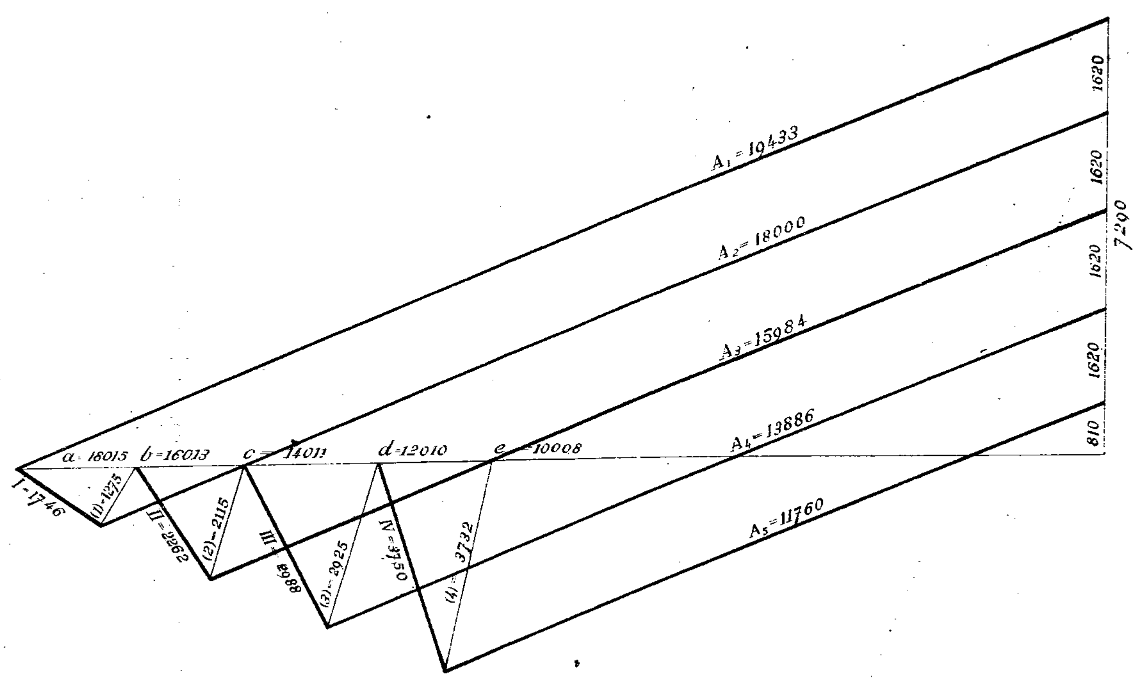
DONNÉES

$E = 5^m$, $l = 20^m$, $p = 150^k$ $\Big\}$ $E\,l\,p = 15000$



Echelle $= \frac{1}{1250}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle $= \frac{1}{1250}$

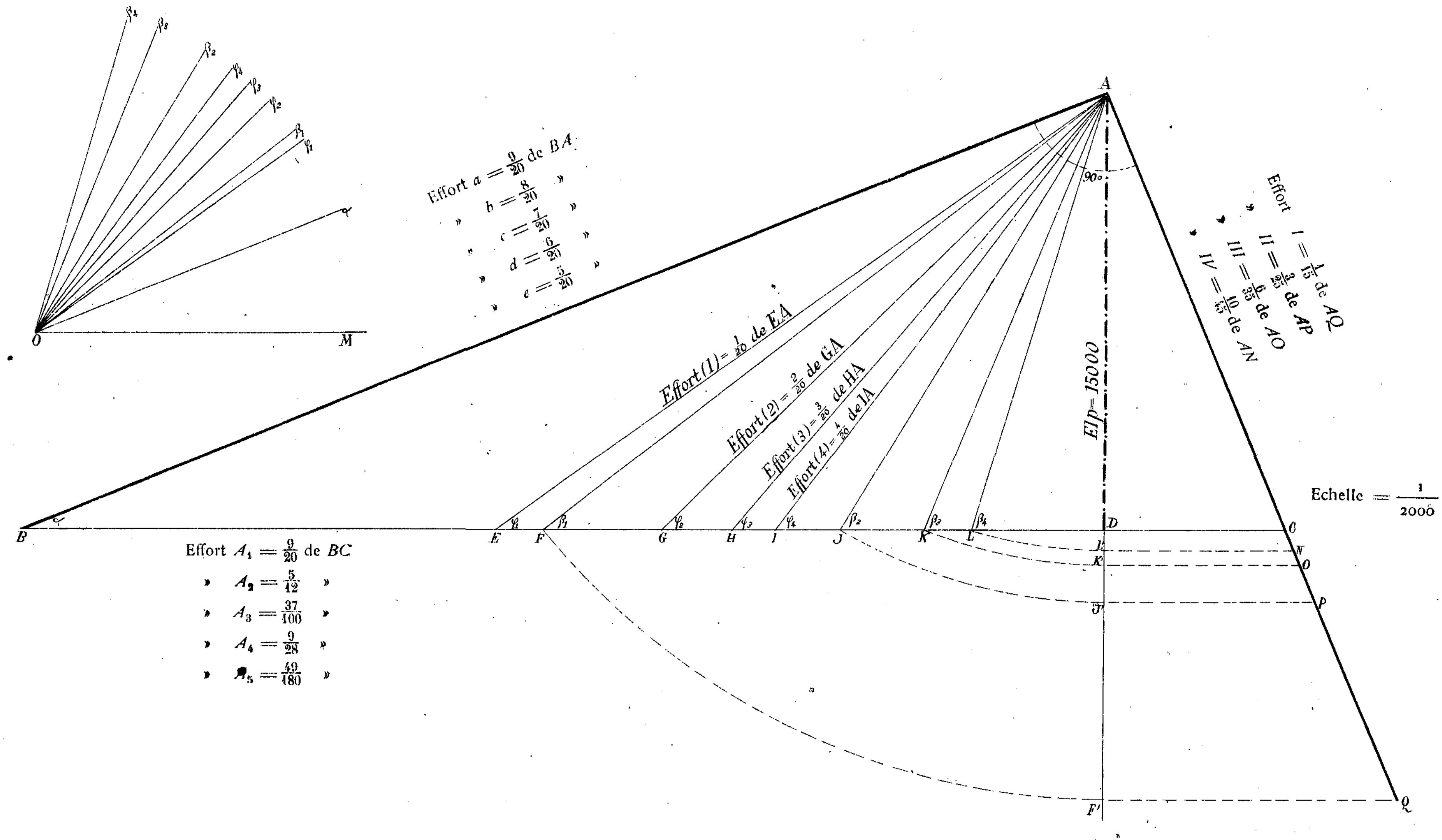


DIAGRAMME DES EFFORTS

Pour construire ce diagramme, à l'aide d'un rapporteur, on forme, à partir de l'horizontale OM les angles α, β_1, β_2, β_3, β_4 et φ_1, φ_2, φ_3, φ_4; ensuite, sur l'horizontale indéfinie BC, on porte DA égale au produit $Elp = 15000$ dans l'exemple choisi; par le point A, on mène des parallèles aux rayons émanant du point O, on voit que ces lignes formeront avec l'horizontale tous les angles précités, ensuite du point A avec un compas, on ramène F, J, K, L correspondant aux angles β_1, β_2, β_3, β_4, en F', J', K', L', on mène par ces points des parallèles à DC et on obtient les points N, O, P, Q.

FERME DE HANGAR

I

Nous avons appliqué notre méthode à une ferme de hangar composée de sept travées d'arbalétrier $A_1 A_2 \ldots\ldots, A_7$). Les formules que nous donnons ci-dessous sont générales ; elles s'appliqueront à toute ferme du type ci-contre quelles que soient la portée, la pente de la toiture, la charge, la surélévation de l'entrait, les seules conditions sont que l'arbalétrier soit fractionné en sept parties égales et que les étrésillons et contrefiches soient disposés comme l'indique le profil de la ferme ci-contre.

FORMULES

$$A_1 = \frac{1}{28} \times Elp \times S_\alpha$$

$$A_2 = \frac{2}{28} \quad \text{» d° »}$$

$$A_3 = \frac{5}{28} \times \frac{1}{5n+1} \times Elp \times R_\alpha \times C_\beta \times K(\alpha\text{-}\beta)$$

$$A_4 = \frac{12}{28} \times \frac{1}{5n+2} \times \quad \text{» d° »}$$

$$A_5 = \frac{17}{28} \times \frac{1}{5n+3} \times \quad \text{» d° »}$$

$$A_6 = \frac{20}{28} \times \frac{1}{5n+4} \times \quad \text{» d° »}$$

$$A_7 = \frac{21}{28} \times \frac{1}{5n+5} \times \quad \text{» d° »}$$

$$a = \frac{1}{28} \times Elp \times K_\alpha$$

$$b = \frac{4}{28} \times \frac{1}{5n} \times Elp \times K(\alpha-\beta)$$

$$c = \frac{5}{28} \times \frac{1}{5n+1} \times \quad \text{» d° »}$$

$$d = \frac{12}{28} \times \frac{1}{5n+2} \times \quad \text{» d° »}$$

$$e = \frac{17}{28} \times \frac{1}{5n+3} \times \quad \text{» d° »}$$

$$f = \frac{20}{28} \times \frac{1}{5n+4} \times \quad \text{» d° »}$$

$$(1) = \frac{1}{28} \times Elp \times S_\alpha$$

$$(2) = \frac{1}{28} \times \frac{45n+4}{5n+1} \times Elp \times R_\alpha \times C_\beta \times K_{\varphi_2}$$

$$(3) = \frac{1}{28} \times \frac{35n+2}{5n+2} \times \quad \text{» d° »} \quad K_{\varphi_3}$$

$$(4) = \frac{1}{28} \times \frac{25n-2}{5n+3} \times \quad \text{» d° »} \quad K_{\varphi_4}$$

$$(5) = \frac{1}{28} \times \frac{15n-8}{5n+4} \times \quad \text{» d° »} \quad K_{\varphi_5}$$

$$(6) = \frac{1}{28} \times \frac{5n-16}{5n+5} \times \quad \text{» d° »} \quad K_{\varphi_6}$$

$$I = \frac{1}{28} \times \frac{55n+4}{5n} \times Elp \times R_\alpha$$

$$II = \frac{1}{28} \times \frac{45n+4}{5n+1} \times \quad \text{» d° »}$$

$$III = \frac{1}{28} \times \frac{35n+2}{5n+2} \times \quad \text{» d° »}$$

$$IV = \frac{1}{28} \times \frac{25n-2}{5n+3} \times \quad \text{» d° »}$$

$$V = \frac{1}{28} \times \frac{15n-8}{5n+4} \times \quad \text{» d° »}$$

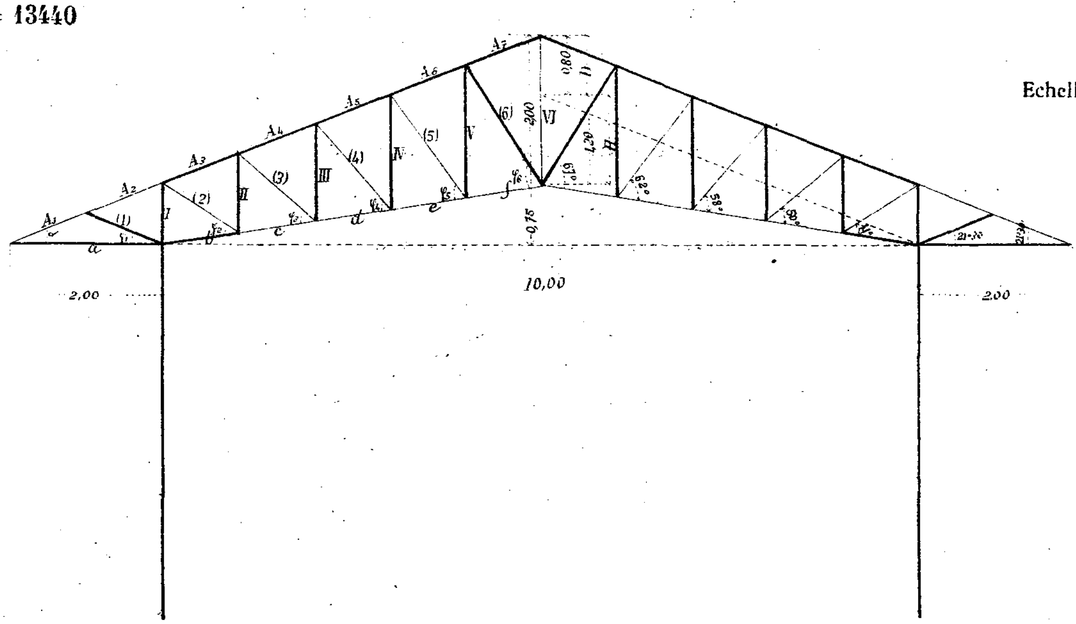
$$VI = \frac{42}{28} \times \frac{1}{5n+5} \times Elp \times T_\alpha \times C_\beta \times K(\alpha-\beta) - \frac{2}{28} \times Elp \times R_\alpha$$

Le nombre n qui entre dans ces formules est le rapport $\frac{D}{H}$ (voir sur le profil de la ferme vers le faîtage). On appliquera ces formules comme d'habitude en mesurant au rapporteur les angles α, β, φ_1, φ_2, φ_3, etc., et en cherchant dans la table les valeurs correspondant à ces angles. Nous les avons appliquées à une ferme de 14^{m} de portée totale chargée à raison de 160$^{kil.}$, les fermes étant supposées espacées de 6^{m}, d'où $E \times l \times p = 6 \times 14 \times 160 = 13440$. Dans l'exemple choisi $n = 0.666$.

DONNÉES

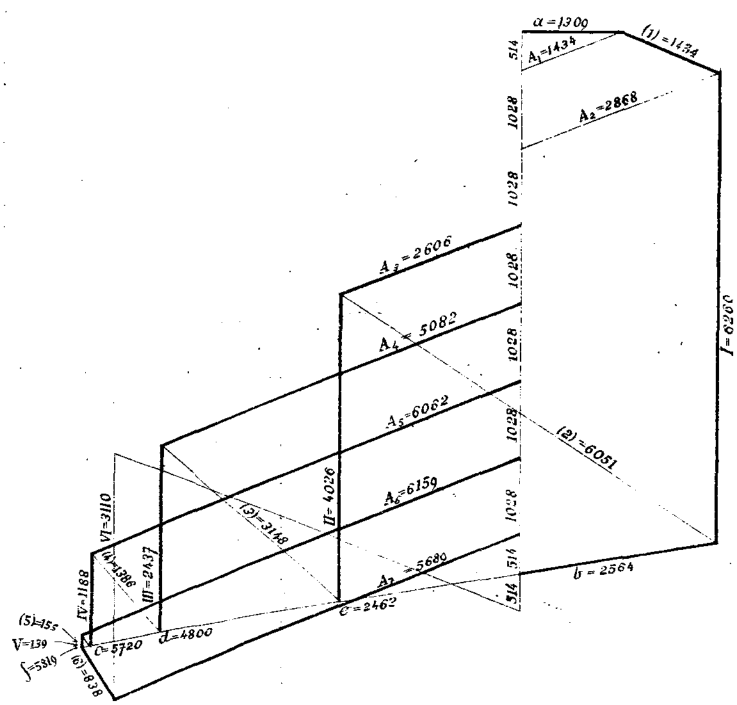
$$\left.\begin{array}{l} E = 6^m \\ l = 14^m \\ p = 160 \end{array}\right\} \quad E\,l\,p = 13440$$

PROFIL DE LA FERME



Echelle = $\frac{1}{1000}$

ÉPURE STATIQUE



Echelle = $\frac{1}{1000}$

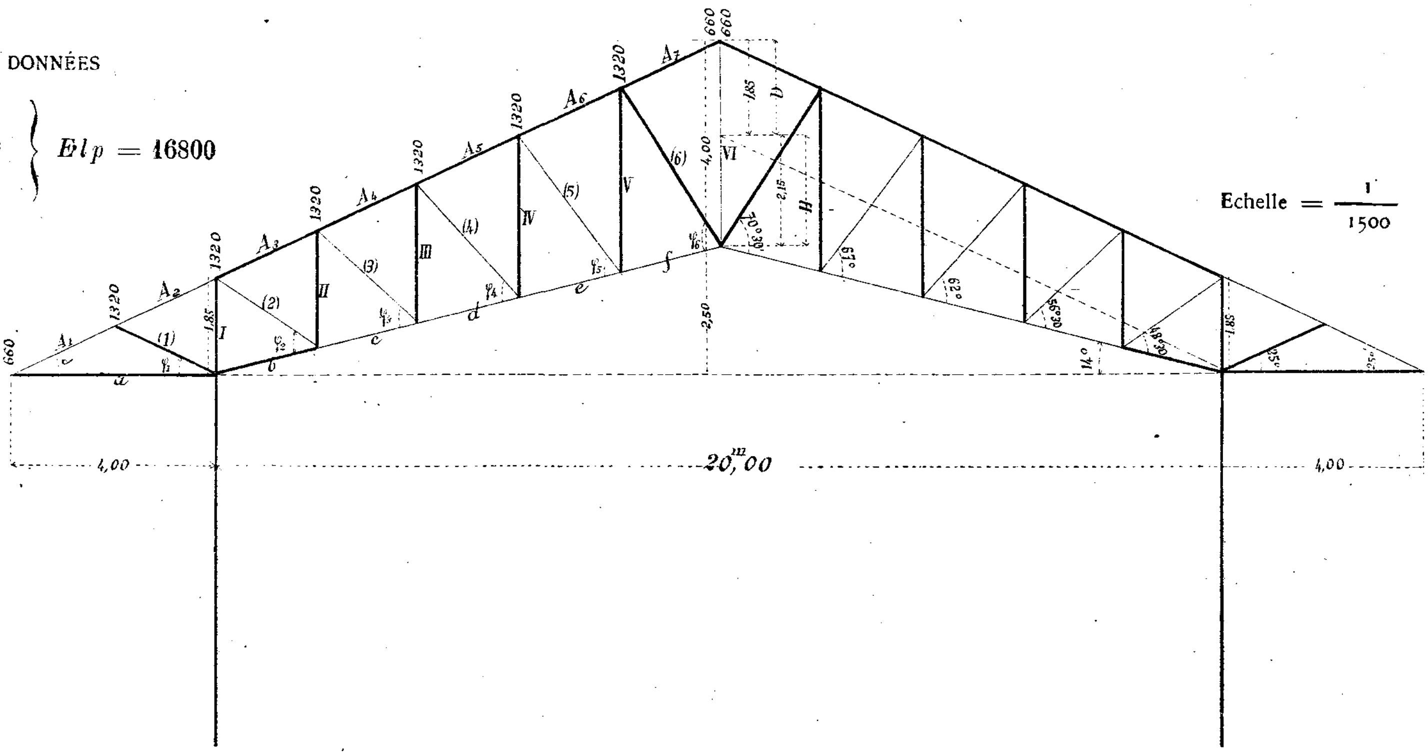
II

La démonstration des formules de l'exemple précédent serait extrêmement longue et fastidieuse, nous n'avons pas jugé utile de la donner ici, aussi avons-nous appliqué ces mêmes formules à un 2[me] exemple dont les données sont totalement différentes de celles du précédent. Nous prenons une ferme de 28[m] de **portée totale** $l = 28$, chargée à raison de 120[kil.] toutes surcharges comprises, $p = 120$, nous supposons les fermes espacées de 5[m], $E = 5$ d'où $E \times l \times p = 5 \times 28 \times 120 = 16800$. Dans cet exemple le nombre $n = \frac{D}{H}$ (voir le profil de la ferme au faîtage) a été choisi différent de celui de l'exemple précédent, nous avons $n = 0.86$. Nous avons consigné les résultats sur l'épure statique afin de montrer la concordance des résultats.

PROFIL DE LA FERME

DONNÉES

$E = 5^m$, $l = 28^m$, $p = 120$ $\Big\}$ $Elp = 16800$



ÉPURE STATIQUE

Echelle = 1/1500

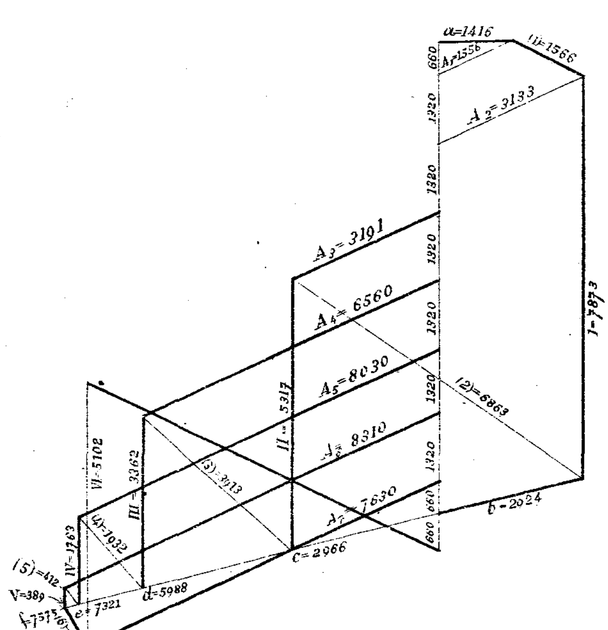


TABLE DES CONSTANTES

TABLE DES CONSTANTES

DEGRÉS	K	R	S	C	T
1°	57.2987	1.0001	57.3044	0.9998	0.0174
30'...	38.2015	1.0003	38.2146	0.9996	0.0261
2°	28.6537	1.0006	28.6712	0.9993	0.0349
30'...	22.9256	1.0009	22.9474	0.9990	0.0436
3°	19.1073	1.0014	19.1334	0.9986	0.0524
30'...	16.3804	1.0019	16.4110	0.9981	0.0611
4°	14.3356	1.0024	14.3706	0.9975	0.0699
30'...	12.7455	1.0031	12.7848	0.9969	0.0787
5°	11.4737	1.0038	11.5176	0.9961	0.0874
30'...	10.4334	1.0046	10.4816	0.9953	0.0962
6°	9.5667	1.0055	9.6194	0.9945	0.1051
30'...	8.8337	1.0065	8.8908	0.9935	0.1139
7°	8.2055	1.0075	8.2674	0.9925	0.1227
30'...	7.6613	1.0086	7.7274	0.9914	0.1316
8°	7.1853	1.0098	7.2560	0.9902	0.1405
30'...	6.7655	1.0111	6.8406	0.9890	0.1494
9°	6.3924	1.0125	6.4720	0.9876	0.1583
30'...	6.0589	1.0139	6.1430	0.9862	0.1673
10°	5.7588	1.0154	5.8476	0.9848	0.1763
30'...	5.4874	1.0170	5.5808	0.9832	0.1853
11°	5.2408	1.0187	5.3390	0.9816	0.1943
30'...	5.0158	1.0205	5.1186	0.9799	0.2034
12°	4.8097	1.0223	4.9172	0.9781	0.2125
30'...	4.6202	1.0243	4.7324	0.9763	0.2216
13°	4.4454	1.0263	4.5624	0.9743	0.2308
30'...	4.2837	1.0284	4.4054	0.9723	0.2400
14°	4.1337	1.0306	4.2602	0.9703	0.2493
30'...	3.9939	1.0329	4.1254	0.9681	0.2586
15°	3.8637	1.0353	4.0000	0.9659	0.2679
30'...	3.7420	1.0377	3.8832	0.9636	0.2773
16°	3.6280	1.0403	3.7742	0.9612	0.2867
30'...	3.5209	1.0430	3.6722	0.9588	0.2962
17°	3.4203	1.0457	3.5766	0.9563	0.3057
30'...	3.3255	1.0485	3.4868	0.9537	0.3153
18°	3.2360	1.0515	3.4026	0.9510	0.3249
30'...	3.1515	1.0545	3.3232	0.9483	0.3346
19°	3.0715	1.0576	3.2486	0.9455	0.3443
30'...	2.9958	1.0608	3.1780	0.9426	0.3541
20°	2.9238	1.0642	3.1114	0.9396	0.3639
30'...	2.8554	1.0676	3.0486	0.9366	0.3738
21°	2.7904	1.0711	2.9890	0.9335	0.3838
30'...	2.7285	1.0748	2.9326	0.9304	0.3939
22°	2.6695	1.0785	2.8790	0.9271	0.4040
30'...	2.6131	1.0824	2.8284	0.9238	0.4142
23°	2.5593	1.0864	2.7804	0.9205	0.4244
30'...	2.5078	1.0904	2.7346	0.9170	0.4348
24°	2.4586	1.0946	2.6912	0.9135	0.4452
30'...	2.4114	1.0989	2.6500	0.9099	0.4557
25°	2.3662	1.1034	2.6108	0.9063	0.4663
30'...	2.3228	1.1079	2.5736	0.9025	0.4769
	$\frac{1}{\textit{sinus}}$	$\frac{1}{\textit{cosinus}}$	$\frac{1}{\textit{sinus . cosinus}}$	*cosinus*	*tangente*

TABLE DES CONSTANTES

DEGRÉS	K	R	S	C	T
26°	2.2812	1.1126	2.5380	0.8987	0.4877
30'...	2.2411	1.1174	2.5042	0.8949	0.4985
27°	2.2027	1.1223	2.4722	0.8910	0.5095
30'...	2.1657	1.1274	2.4416	0.8870	0.5205
28°	2.1301	1.1326	2.4124	0.8829	0.5317
30'...	2.0957	1.1379	2.3848	0.8788	0.5429
29°	2.0627	1.1434	2.3584	0.8746	0.5543
30'...	2.0308	1.1489	2.3332	0.8703	0.5657
30°	2.0000	1.1547	2.3094	0.8660	0.5773
30'...	1.9703	1.1606	2.2868	0.8616	0.5890
31°	1.9416	1.1666	2.2652	0.8571	0.6008
30'...	1.9139	1.1728	2.2446	0.8526	0.6128
32°	1.8871	1.1792	2.2252	0.8480	0.6248
30'...	1.8612	1.1857	2.2068	0.8433	0.6370
33°	1.8361	1.1924	2.1892	0.8386	0.6494
30'...	1.8118	1.1992	2.1728	0.8338	0.6618
34°	1.7883	1.2062	2.1570	0.8290	0.6745
30'...	1.7655	1.2134	2.1422	0.8241	0.6872
35°	1.7434	1.2208	2.1284	0.8191	0.7002
30'...	1.7221	1.2283	2.1152	0.8141	0.7132
36°	1.7013	1.2361	2.1030	0.8090	0.7265
30'...	1.6812	1.2440	2.0914	0.8038	0.7399
37°	1.6616	1.2521	2.0806	0.7986	0.7535
30'...	1.6427	1.2605	2.0706	0.7933	0.7673
38°	1.6243	1.2690	2.0612	0.7880	0.7812
30'...	1.6064	1.2778	2.0526	0.7833	0.7954
39°	1.5890	1.2868	2.0446	0.7771	0.8097
30'...	1.5721	1.2960	2.0374	0.7723	0.8243
40°	1.5557	1.3054	2.0308	0.7660	0.8391
30'...	1.5398	1.3151	2.0250	0.7604	0.8540
41°	1.5243	1.3250	2.0196	0.7547	0.8692
30'...	1.5092	1.3352	2.0150	0.7489	0.8847
42°	1.4945	1.3456	2.0110	0.7431	0.9004
30'...	1.4802	1.3563	2.0076	0.7372	0.9163
43°	1.4663	1.3673	2.0048	0.7313	0.9325
30'...	1.4527	1.3786	2.0028	0.7253	0.9489
44°	1.4395	1.3902	2.0012	0.7193	0.9656
30'...	1.4267	1.4020	2.0002	0.7132	0.9827
45°	1.4142	1.4142	2.0000	0.7071	1.0000
30'...	1.4020	1.4267	2.0002	0.7009	1.0176
46°	1.3902	1.4395	2.0012	0.6946	1.0355
30'...	1.3786	1.4527	2.0028	0.6883	1.0537
47°	1.3673	1.4663	2.0048	0.6820	1.0723
30'...	1.3563	1.4802	2.0076	0.6755	1.0913
48°	1.3456	1.4945	2.0110	0.6691	1.1106
30'...	1.3352	1.5092	2.0150	0.6626	1.1302
49°	1.3250	1.5243	2.0196	0.6560	1.1503
30'...	1.3151	1.5398	2.0250	0.6494	1.1708
50°	1.3054	1.5557	2.0308	0.6427	1.1917
30'...	1.2960	1.5721	2.0374	0.6360	1.2131
	$\frac{1}{\textit{sinus}}$	$\frac{1}{\textit{cosinus}}$	$\frac{1}{\textit{sinus . cosinus}}$	*cosinus*	*tangente*

TABLE DES CONSTANTES

DEGRÉS	K	R	S	C	T
51°	1.2868	1.5890	2.0446	0.6293	1.2349
30’...	1.2778	1.6064	2.0526	0.6225	1.2571
52°	1.2690	1.6243	2.0612	0.6156	1.2799
30’...	1.2605	1.6427	2.0706	0.6087	1.3032
53°	1.2521	1.6616	2.0806	0.6018	1.3270
30’...	1.2440	1.6812	2.0914	0.5948	1.3514
54°	1.2361	1.7013	2.1030	0.5877	1.3763
30’...	1.2283	1.7221	2.1152	0.5807	1.4019
55°	1.2208	1.7434	2.1284	0.5735	1.4281
30’...	1.2134	1.7655	2.1422	0.5664	1.4550
56°	1.2062	1.7883	2.1570	0.5591	1.4825
30’...	1.1992	1.8118	2.1728	0.5519	1.5108
57°	1.1924	1.8361	2.1892	0.5446	1.5398
30’...	1.1857	1.8612	2.2068	0.5373	1.5696
58°	1.1792	1.8871	2.2252	0.5299	1.6003
30’...	1.1728	1.9139	2.2446	0.5225	1.6318
59°	1.1666	1.9416	2.2652	0.5150	1.6642
30’ ...	1.1606	1.9703	2.2868	0.5075	1.6976
60°	1.1547	2.0000	2.3094	0.5000	1.7320
30’...	1.1490	2.0308	2.3332	0.4924	1 7674
61°	1.1434	2.0627	2.3584	0.4848	1.8040
30’ ...	1.1379	2.0957	2.3848	0.4771	1.8417
62°	1.1326	2.1301	2.4124	0.4694	1.8807
30’ ...	1.1274	2.1657	2.4416	0.4617	1.9209
63°	1.1223	2.2027	2.4721	0.4539	1.9626
30’...	1.1174	2.2411	2.5042	0.4462	2.0056
64°	1.1126	2.2812	2.5380	0.4383	2.0503
30’ ...	1.1079	2.3228	2.5736	0.4305	2.0965
65°	1.1034	2.3662	2.6108	0.4226	2.1445
30’ ...	1.0990	2.4114	2.6500	0.4146	2.1943
66°	1.0946	2.4586	2.6912	0.4067	2.2460
30° ...	1.0905	2.5078	2.7346	0.3987	2.2998
67°	1.0864	2.5593	2.7804	0.3907	2.3558
30’ ...	1.0824	2.6131	2.8284	0.3826	2.4142
68°	1.0785	2.6695	2.8790	0.3746	2.4751
30’ ...	1.0748	2.7285	2.9326	0.3665	2.5386
69°	1.0711	2.7904	2.9890	0.3583	2.6051
30’ ...	1.0676	2.8554	3.0486	0.3502	2.6746
70°	1.0642	2.9238	3.1114	0.3420	2.7474
30’...	1.0608	2.9958	3.1780	0.3338	2.8239
71°	1.0576	3.0715	3.2486	0.3255	2.9042
30’...	1.0545	3.1515	3.3232	0.3173	2.9886
72°	1.0515	3 2360	3.4026	0.3090	3.0776
30’...	1.0485	3.3255	3.4868	0.3007	3.1715
73°	1.0457	3.4203	3.5766	0.2923	3.2708
30’...	1.0429	3.5209	3.6722	0.2840	3.3759
74°	1.0403	3.6280	3.7742	0.2756	3.4874
30’...	1 0377	3.7420	3.8832	0.2672	3.6058
75°	1.0353	3.8637	4.0000	0.2588	3.7320
30’...	1.0329	3.9939	4.1254	0.2503	3.8667
	$\frac{1}{\textit{sinus}}$	$\frac{1}{\textit{cosinus}}$	$\frac{1}{\textit{sinus . cosinus}}$	*cosinus*	*tangente*

TABLE DES CONSTANTES

DEGRÉS	K	R	S	C	T
76°	1.0306	4.1337	4.2602	0.2419	4.0107
30' ...	1.0284	4.2837	4.4054	0.2334	4.1653
77°	1.0263	4.4454	4.5624	0.2249	4.3314
30' ...	1.0243	4.6202	4.7324	0.2164	4.5107
78°	1.0223	4.8097	4.9172	0.2079	4.7046
30' ...	1.0205	5.0158	5.1186	0.1993	4 9151
79°	1.0187	5.2408	5.3390	0.1908	5.1445
30' ...	1.0170	5.4874	5.5808	0 1822	5 3955
80°	1.0154	5.7588	5.8476	0.1736	5.6712
30' ...	1.0139	6.0589	6.1430	0.1659	5.9757
81°	1.0125	6.3924	6.4720	0.1564	6.3137
30' ...	1.0111	6.7655	6.8406	0.1478	6.6911
82°	1.0098	7.1853	7.2560	0.1391	7.1153
30' ...	1.0086	7.6613	7.7274	0.1305	7.5957
83°	1.0075	8.2055	8.2674	0.1218	8.1443
30' ...	1.0065	8.8337	8.8908	0.1132	8.7768
84°	1.0055	9.5667	9.6194	0.1045	9.5143
30' ...	1.0046	10.4334	10.4816	0.0958	10.3854
85°	1.0038	11.4737	11.5176	0.0871	11.4300
30' ...	1.0031	12.7455	12.7848	0.0784	12.7062
86°	1.0024	14.3356	14.3706	0.0697	14.3006
30' ...	1.0019	16.3804	16.4110	0.0610	16.3498
87°	1.0014	19.1073	19.1331	0.0523	19.0811
30' ...	1.0009	22.9256	22.9474	0.0436	22.9037
88°	1.0006	28.6537	28.6712	0.0348	28.6362
30' ...	1.0003	38.2015	38.2146	0.0261	38.1884
89°	1.0001	57.2987	57.3044	0.0174	57.2900
	$\frac{1}{\textit{sinus}}$	$\frac{1}{\textit{cosinus}}$	$\frac{1}{\textit{sinus . cosinus}}$	*cosinus*	*tangente*

ÉCOLE CENTRALE LYONNAISE
ÉCOLE TECHNIQUE SUPÉRIEURE

FIN