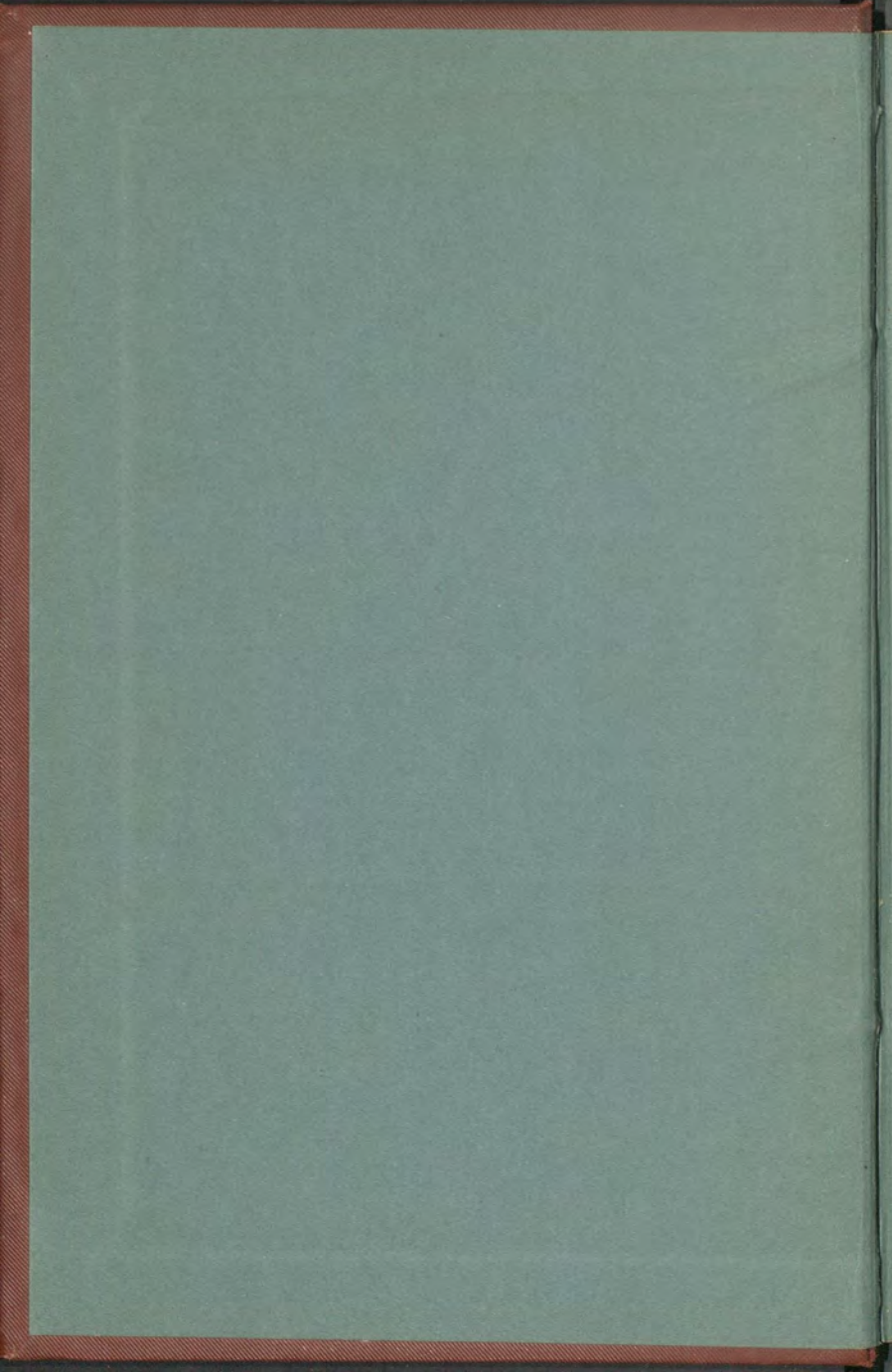


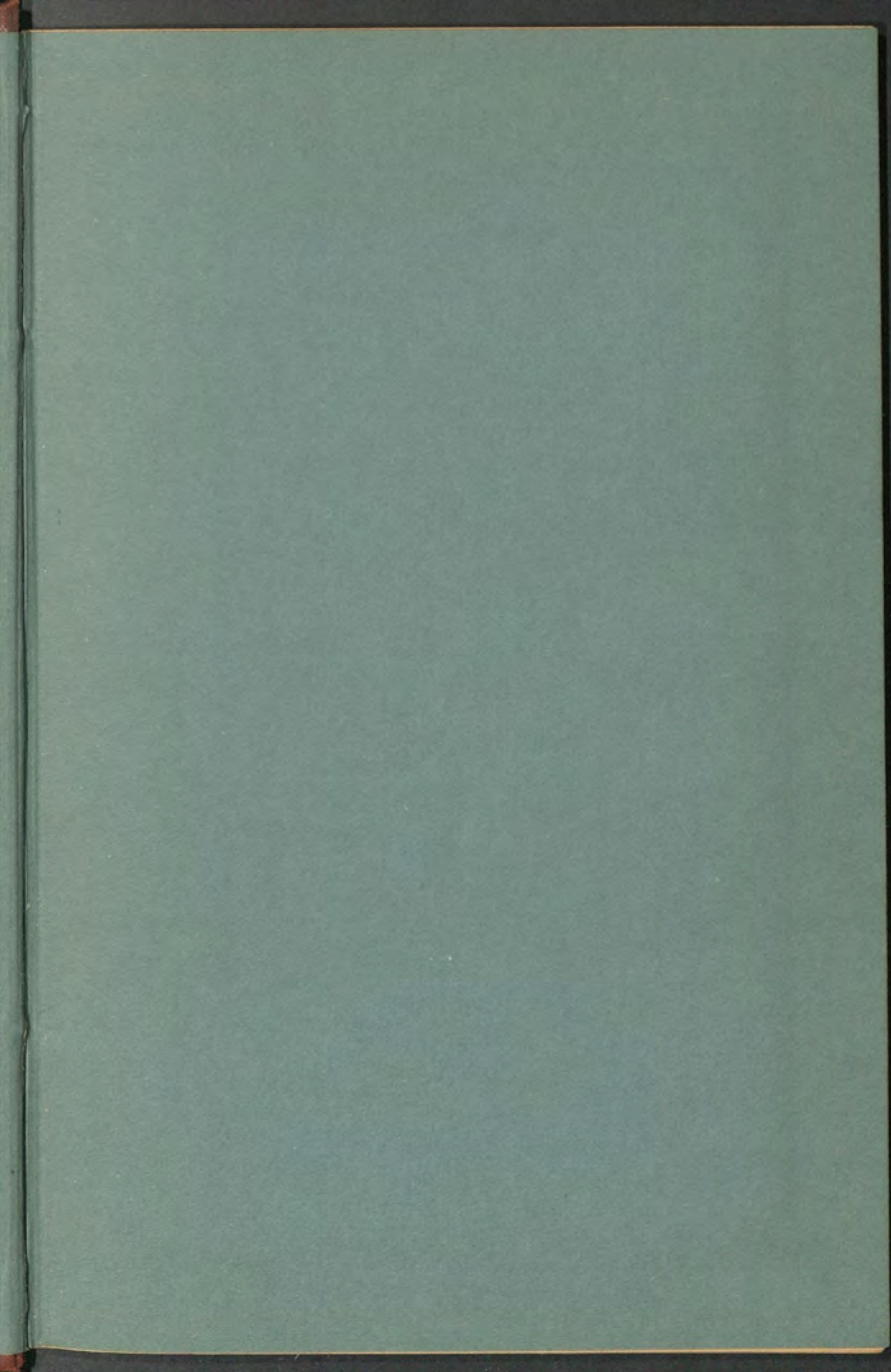
CARNET
DU
CONDUCTEUR
DE
TRAVAUX

1886
VAS
Car

VASSELON
—
CARNET
DU
CONDUCTEUR
DE TRAVAUX

ERNARD TIGNOL, ÉDITEUR
53^{BIS} QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS





1886 VAS Carz

CARNET
DU
CONDUCTEUR DE TRAVAUX



BIBLIOTECA

PARIS. — SOC. D'IMP. PAUL DUPONT, 4, RUE DU BOULOI (Cl.).

CARNET
DU
CONDUCTEUR DE TRAVAUX

RECUEIL

DE

FORMULES, TABLES, RENSEIGNEMENTS PRATIQUES
ET DOCUMENTS CONCERNANT LA CONSTRUCTION

à l'usage

DES INGÉNIEURS, CONDUCTEURS, AGENTS VOYERS,
ADJOINTS D'UN GÉNIE, DE L'ARTILLERIE ET DES MINES, ARCHITECTES,
VÉRIFICATEURS, MÉCANICIENS, CONSTRUCTEURS,
ENTREPRENEURS, INDUSTRIELS, ÉLÈVES DES ÉCOLES, ETC.

OUVRAGE

Contenant plus de 3000 formules et 350 figures explicatives
intercalées dans le texte.

PAR

F. VASSELON

INGÉNIEUR CIVIL

SEPTIÈME ÉDITION

PARIS

CHEZ L'AUTEUR

71, RUE SAINTE-ANNE, 71

1886

Réserve de tous droits.

PRIX

Prix broché	6 fr. » c.
— reliure toile anglaise gaufrée avec poche, caoutchouc, porte-crayon	6 75
— reliure mouton avec poche, caoutchouc, porte-crayon	7 25

Envoi *franco* par la poste contre mandat ou timbres-poste.

EXPLICATION DES SIGNES

+ Plus

— Moins

± Plus ou moins

= Égal à

× Multiplié par

$a \times b$ ou ab , a multiplié par b

$a : b$ ou $\frac{a}{b}$, a divisé par b

a^2 a élevé au carré, ou puissance 2^{me} de a

\sqrt{a} Racine carrée de a , ou puissance $\frac{1}{2}$ de a

∞ Infini

π Rapport du diamètre à la circonférence = 3,14159

$a - (b - c)^2$ La parenthèse indique que les quantités qu'elle renferme ne doivent former qu'un seul nombre, avant d'effectuer les opérations indiquées hors du signe.

< Plus petit que

> Plus grand que

EXTRAIT
DE LETTRES ADRESSÉES A L'AUTEUR
AU SUJET DU
CARNET DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX

SUR LE RAPPORT FAVORABLE QUI LUI ÉTAIT ADRESSÉ LE 31 JUILLET DERNIER, PAR M. BARON, INGÉNIEUR EN CHEF, PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES, M. LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS A ÉCRIT A L'AUTEUR LA LETTRE SUIVANTE :

Versailles, le 1^{er} octobre 1875.

MONSIEUR,

L'Administration a décidé que le livre que vous avez publié sous le titre de « *Carnet du Conducteur de Travaux* » serait examiné au point de vue pratique, dans différents services des Ponts et Chaussées.

Je vous prie de faire parvenir au Ministre dix exemplaires de cette publication.

Pour le Ministre et par autorisation :

Le Conseiller d'État, Secrétaire Général, De Bourenulle.

Laval, le 18 octobre 1875.

M. l'Ingénieur en chef m'informe que votre ouvrage lui a paru excellent et essentiellement pratique, et qu'il lui semblerait fort utile que ses agents en fussent tous pourvus ; il serait donc d'avis d'en acquérir trente exemplaires.

Je suis heureux, en attendant, de vous donner connaissance de l'appréciation flatteuse de votre ouvrage par un homme aussi compétent que M. l'Ingénieur en chef Marchal.

Pour le préfet de la Mayenne : *Le Secrétaire Général délégué.*

Cet ouvrage, après examen, paraissant pouvoir être utile aux agents de mon service, je vous prie de vouloir bien m'en adresser quarante exemplaires, reliure forme portefeuille.

Billard, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Alger (15 novembre 1872).

J'ai parcouru votre travail avec un très-grand intérêt, et je suis convaincu qu'il peut être fort utile aux personnes qui s'occupent de travaux.

Letourneur, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Bone (28 novembre 1872).

Votre Carnet est un livre précieux ; je m'en sers tous les jours pour mes recherches théoriques.

A. Gaudin, Calculateur au Bureau des Longitudes (21 septembre 1872).

Je me sers souvent de votre Carnet, et je puis vous dire que vous avez rendu un véritable service aux gens de notre métier en le publiant. Il résume des renseignements qui font l'objet de plusieurs ouvrages, et que l'on trouve réunis chez vous.

Sébillotte, Conducteur des Ponts et Chaussées à Marseille (9 mars 1875).

Vous avez rendu un grand service aux constructeurs, car on trouve dans votre ouvrage un grand nombre de renseignements précieux.

Chambon, Conducteur des Ponts et Chaussées à Valence (11 mars 1873).

Je considère comme très-précieuse pour moi la possession de votre formulaire

Biélawski, Conducteur des Ponts et Chaussées à Vic-le-Comte (5 août 1873).

C'est vraiment un recueil intéressant, plein de renseignements précieux.

Andrieu, Conducteur des Ponts et Chaussées à Agen (9 août 1873).

Votre ouvrage est bon, il contient beaucoup de renseignements usuels très-utiles.

Martino, Conducteur des Ponts et Chaussées à St-Amans-Soult (26 septembre 1873)

Votre ouvrage est aussi complet que possible.

Fouret, Architecte à Arras (13 novembre 1872).

Votre ouvrage est bien ce que j'en attendais.

Bellot, Employé aux chemins de fer du Midi (7 janvier 1873).

Je suis convaincu de la grande utilité de cet ouvrage excellent et de la nécessité où se trouvent tous ceux qui s'occupent de sciences et de travaux de se le procurer.

Massaroli, Ingénieur civil à Saint-Omer (18 avril 1873).

L'examen que j'ai fait du Carnet m'a porté à penser qu'il pourrait être très-utilement donné aux Agents Voyers du département.

Fouché, Agent Voyer en chef honoraire à Rouen (18 janvier 1873).

Cet ouvrage, car c'est un recueil sous un nom modeste, répond bien à la préface dont vous l'avez précédé.

Bessinais, Agent Voyer à Rennes (9 janvier 1873).

Votre Carnet m'a satisfait, et je le crois d'un grand secours dans la pratique, en ce qu'il indique des formules simples et d'une application facile. Il est appelé à obtenir une grande économie de temps dans les diverses opérations, et est d'un format portatif.

Pitard, Agent Voyer à Mirambeau (5 février 1873).

Nous sommes très-satisfaits de votre Carnet, qui renferme tous les éléments nécessaires aux constructions, et qui est d'une clarté que l'on ne rencontre pas dans les aide-mémoire volumineux relatifs aux travaux.

**Duvivier dit Sage, }
Warlot, } Gardes du Génie à Orléansville (16 avril 1873).
Lhoué, }**

Cet ouvrage, par la diversité et le grand nombre de renseignements qu'il renferme, serait d'une grande utilité pour les agents voyers.

Le Préfet du Var (23 octobre 1873).

Cet ouvrage pouvant être utilement employé dans le service vicinal de la Seine, j'autorise l'acquisition, par M. l'agent voyer en chef, de quinze exemplaires.

Le Préfet de la Seine, Ferdinand Duval (Paris, le 8 novembre 1873).

Ce livre est excellent, et, pour moi, j'en donnerai les meilleurs renseignements.

E. Bernier, *Agent voyer, à Saint-Malo* (13 novembre 1873).

La multiplicité des matières, dans un ouvrage aussi exigü, le rend infiniment précieux. C'est un excellent aide-mémoire.

Domaine, *Conducteur des Ponts et Chaussées, à Rochemaure*.

(1^{er} décembre 1873.)

Je suis autorisé à vous prendre trente-deux exemplaires du *Carnet du Conducteur de travaux*.

L'Agent voyer en chef de la Drôme, Poinçot (Valence, le 17 décembre 1873).

Suivant les ordres de M. Lancelin, ingénieur en chef, adjoint au Directeur de la Compagnie des chemins de fer du Midi, je vous prie de m'adresser cinq exemplaires de votre *Carnet*.

L'Ingénieur, Secrétaire général, Ed. Charme (Paris, le 30 décembre 1873).

Votre ouvrage est appelé à rendre de nombreux et utiles services.

Boyer, Architecte, à Hyères (15 janvier 1874).

En maintes occasions, votre *Carnet du Conducteur de travaux* m'a rendu de véritables services en m'évitant des recherches longues et souvent impossibles. Aussi, je vous remercie d'un ouvrage qui est de la plus grande utilité pour ceux qui s'occupent de travaux.

Permettez-moi aussi, Monsieur, de vous remercier de l'heureuse combinaison, grâce à laquelle vous avez mis un ouvrage aussi indispensable, à la portée des petites bourses.

H. Herpin, Architecte, à Saint-Pierre-du-Vouvray (5 février 1874).

Ce *Carnet* est bien ce qu'il me fallait.

Brossard, Agent voyer, à Semur (12 septembre 1874).

Cet ouvrage est pour moi d'un emploi journalier et m'est indispensable.

Jide, Agent voyer, au Thillot (18 octobre 1874).

Votre ouvrage est on ne peut plus utile et devrait se trouver entre les mains de tous ceux qui s'occupent de travaux.

Moroni, Agent voyer, à Anizy-le-Château (19 novembre 1874).

Cet ouvrage renferme bien des renseignements utiles.

Bonningre, Agent voyer, à Arbois (9 juin 1876).

Votre *Carnet* est le véritable *vade mecum* de la construction. Je m'en sers tous les jours avec fruit. Il est clair, net, précis et peu volumineux ; c'est ce qui m'engage à le renouveler.

Dupuy, ancien Agent voyer, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Taïti.
(Oust, le 22 novembre 1876.)

J'ai trouvé dans votre *Carnet* des renseignements très précieux, sans exiger de moi de longues recherches.

Gueylard, Conducteur des Ponts et Chaussées, à Bergerac (28 juillet 1877).

Veuillez avoir l'obligeance de nous faire parvenir votre *Carnet du Conducteur de travaux*, dont on dit tant de bien.

L. Mortreux et A. Bellin, Entrepreneurs, à Douai (29 octobre 1877).

Votre ouvrage me paraît fort utile.

E. Joulain, *Gérant de la grande fonderie de Niort* (30 octobre 1877).

Ayant prêté le *Carnet*, que je vous ai acheté en 1873, à un de mes collègues, il a reconnu l'utilité de votre ouvrage, où il a trouvé de très bons renseignements pour la construction, et il m'a chargé de lui en faire venir un exemplaire de votre dernière édition.

J. Durour, *Conducteur, Entrepreneur, à Tarbes* (31 octobre 1877).

Après un examen très satisfaisant que j'ai fait de votre *Carnet*, avec une personne de ma connaissance, cette dernière me prie de lui en faire venir un exemplaire.

A. Prost, *adjoint du Génie, au fort de Montperché* (22 novembre 1877).

Je viens d'être autorisé par M. le Préfet, à vous demander pour les agents du service vicinal de la Creuse, trente exemplaires de votre *Carnet*.

Darfeuil, *Agent voyer en chef, à Guéret* (20 novembre 1877).

Je suis très satisfait de votre *Carnet*.

Eug. Bellanger, *Chef de district au chemin de fer du Nord.*

(Villers-Cotterets, le 6 janvier 1878.)

Je suis très satisfait de votre *Carnet du Conducteur de travaux*, et c'est avec le plus grand plaisir que je vous en envoie le montant.

A. Alloy-Lambert, *Entrepreneur, à Bourbourg* (20 janvier 1878).

Ayant eu souvent l'occasion d'apprécier le mérite de votre *Carnet du Conducteur de travaux*, qui condense avec méthode et clarté, en un petit nombre de pages, la presque totalité des renseignements nécessaires aux agents voyers, je vous prie de m'adresser un exemplaire de votre quatrième édition.

Abran, *Agent voyer, à Selongey* (21 janvier 1878).

Je vous serais bien obligé de m'envoyer votre *Carnet du Conducteur de travaux*, dont j'ai déjà eu l'occasion de me servir, et sur lequel se trouvent beaucoup de renseignements dont j'ai besoin journellement.

Émile Barochon, *chef de district, à Marcilly* (2 mars 1878).

Je fais depuis six mois usage de votre *Carnet*, utile pour tout et à tous instants. Je ne m'en sépare jamais, même en voyage.

Comte d'Estampes (Charny, le 15 octobre 1878).

C'est un travail très condensé qui avait déjà attiré mon attention, et qu'il me sera souvent commode et utile de consulter.

Bernard, *Ingénieur en chef du service de la navigation de la Seine.*

(Paris, le 5 septembre 1883.)

Votre recueil est précieux, il a des droits aux plus grands éloges, il est simple, clair, méthodique et d'un emploi facile dans la pratique des travaux.

E. Beaubois, *Agent voyer, à Mehun-s-Yèvre (Cher)*

(le 26 octobre 1885).



INTRODUCTION.

Comme l'indique son titre, cet ouvrage a été préparé pour être le *vade mecum* de tous ceux qui s'occupent de travaux : Ingénieurs, Conducteurs des Ponts et Chaussées, Agents-Voyers, Gardes du Génie, de l'Artillerie et des Mines, Architectes, Conducteurs de travaux particuliers, Entrepreneurs, Vérificateurs, etc.

Pour répondre aux besoins de ces diverses professions, l'auteur a recherché un programme suffisamment étendu et en rapport avec les connaissances spéciales de chacune d'elles. Le programme d'examen au grade de Conducteur des Ponts et Chaussées lui a paru former un ensemble assez complet, il l'a commenté et rendu plus pratique, en y ajoutant des renseignements qui en augmentent encore l'utilité.

Le Carnet du Conducteur de travaux se divise donc comme suit :

Arithmétique et Algèbre. — Géométrie (lignes et mesure de l'espace). — Tracé des courbes. — Trigonométrie. — Surfaces planes. — Surfaces et Volumes des solides. — Levé des plans et Nivellement. — Mécanique. — Résistance des matériaux. — Hydraulique, Hydrostatique et Hydrodynamique. — Dynamique, — Documents divers. — Comptes d'entreprises. — Analyses de prix, etc., etc.

ARITHMÉTIQUE

Système métrique des

INDICATION et nature DES MESURES.	UNITÉS	RAPPORT QU'ELLES ONT ENTRE ELLES.	MUL- VALEURS EN	
			DÉCA.	HECTO.
LONGUEURS. . .	Mètre . . .	Dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.	décamètre 10 mètres	hectomètre 100 mètres
SURFACES. . . .	Mètre carré	Carré de 1 mètre de côté.	décam. carré 100 m q	hectom. carré 10 000 m q
	Are.	Carré de 10 mètres de côté et de 100 mètres carrés de superficie.	10 ares	hectare 100 ares
SOLIDITÉ. . . .	Mètre cube.	Cube de 1 mètre de côté.	décam. cube 1 000 m c	hectom. cube 1 000 000 m c
BOIS DE CHAUFFAGE.	Stère. . . .	Mètre cube.	décastère 10 stères	100 stères
CAPACITÉ. . . .	Litre. . . .	Contenance de 1 décimètre cube.	décalitre 10 litres	hectolitre 100 litres
POIDS.	Gramme. . .	Poids de 1 centimètre cube d'eau distillée à 4 degrés au-dessus de zéro.	décagramme 10 grammes	hectogramme 100 grammes
MONNAIES. . . .	Franc. . . .	Pièce de monnaie du poids de 5 grammes au titre 9/10 de fin et 1/10 d'alliage.	10 francs	100 francs.

ET ALGÈBRE

poids et mesures

-TIPLES FONCTION DE L'UNITÉ.		SOUS-MULTIPLES VALEURS EN FONCTION DE L'UNITÉ.		
KILO.	MYRIA.	DÉCI.	CENTI.	MILLI.
kilomètre 1 000 mètres	myriamètre 10 000 mètres	décimètre 0 ^m , 1	centimètre 0 ^m , 01	millimètre 0 ^m , 001
kilomètre carré 1 000 000 m q	myriamètre carré 100 000 000 m q	décim. carré 0 ^m q, 01	centim. carré 0 ^m q, 0001	millimètre carré 0 ^m q, 000001
1 000 ares	10 000 ares	0 ^s , 1	centiare ou mètre carré 0 ^s , 01	0 ^s , 001
kilomètre cube 1 000 000 000 m c	myriamètre cube 1 000 000 000 000 m c	décim. cube 0 ^m c, 001	centim. cube 0 ^m c, 000 001	millimètre cube 0 ^m c, 000 000 001
1 000 stères	10 000 stères.	décistère 0 st , 1	centistère 0 st , 01	millistère 0 st , 001
kilolitre 1 000 litres	myrialitre 10 000 litres	décilitre 0 ^l , 1	centilitre 0 ^l , 01	millilitre 0 ^l , 001
kilogramme 1 000 grammes	myriagramme 10 000 grammes	décigramme 0 ^{gr} , 1	centigramme 0 ^{gr} , 01	milligramme 0 ^{gr} , 001
1 000 francs	10 000 francs	décime 0 ^{fr} , 1	centime 0 ^{fr} , 01	millime 0 ^{fr} , 001

Valeur, poids et diamètre des monnaies françaises

Ce système monétaire est commun à la Belgique, la Suisse et l'Italie.

OR				ARGENT.				CUIVRE.			
VALEUR.	POIDS.	DIAMÈTRE en millimètres.	TOLÉRANCE en millièmes du poids.	VALEUR.	POIDS.	DIAMÈTRE en millimètres.	TOLÉRANCE en millièmes du poids.	VALEUR.	POIDS.	DIAMÈTRE en millimètres.	TOLÉRANCE en millièmes du poids.
fr.	grammes.	mill.	mill.	fr. c.	grammes.	mill.	mill.	fr. c.	grammes.	mill.	mill.
100	52,23800	35	4	5	25	37	5	0,10	10	30	40
50	16,42900	28	2	2	10	27	5	0,05	5	25	10
40	12,90522	26	2	1	5	25	5	0,02	2	20	15
20	6,45161	21	2	0,50	2,50	18	7	0,01	1	15	15
10	5,22580	19	2,5	0,20	1	15	10				
5	1,64290	17	3								

Conversion des mesures étrangères en mesures françaises

LONGUEURS.		ANGLETERRE (suite).	m. lin.
ALLEMAGNE.			
Pied (fuss) d'Augsbourg.	m. lin.	Pied (feet) (12 inches).	0,5047945
— de Berlin.	0,296168	Yard (3 feet)	0,9145854
Aune (elle) —	0,6669	Fathom (2 yards)	1,828767
Pied (fuss) de Brême.	0,289197	Perch (5 1/2 yards)	5,029109
Aune (elle) —	0,5784	Furlong (220 yards)	201,16426
Pied (fuss) de Carlsruhe.	0,50	Mille (8 furlongs)	1609,51408
— de Francfort.	0,284610	DANEMARK.	
— de Hambourg.	0,287618	Pied (fed)	0,515621
Aune (elle) —	0,5730	Aune (elle)	0,6277
Pied (fuss) de Hanovre.	0,291995	Perche (10 feds)	3,15621
Aune (elle) —	0,5840	ESPAGNE.	
Pied (fuss) de Munich..	0,291837	Pied de Madrid.	0,282655
Aune (elle) —	0,8350	Vare de Castille	0,847965
Pied (fuss) de Nuremberg	0,505795	HOLLANDE.	
Aune (elle) —	0,6564	Pied d'Amsterdam.	0,285056
Pied (fuss) d'Oldenbourg	0,296446	Aune.	0,6905
— de Stuttgart.	0,286490	Pied d'Anvers	0,285588
Aune (elle) —	0,6145	Aune d'Anvers pour soie	0,6945
Pied (fuss) de Vienne..	0,516105	— p. laine.	0,6844
Aune (elle) —	0,7792		
ANGLETERRE.			
Pouce (inch)	0,0253995		

PORTUGAL.			ANGLÈTERRE (suite).	
	m. lin.			litre.
Palme	0,21859	Châdron (12 sacks) . .	15,085160	
Pied	0,3586	Bushel (8 gallons) . .	56,547664	
Vare (5 palmes)	1,0929			
RUSSIE.		AUTRICHE.		
Pied (12 verchocks) . .	0,504788	Tonne (3,8 pieds cubes)	120,	
Archine (1/5 sagène) . .	0,711172	PRUSSE.		
Sagène (7 pieds)	2,135516	Tonne (71/9 pieds cubes)	225,	
Verste (500 sagènes) . .	1066,758	RUSSIE.		
SUÈDE.		Kruska	1,2289	
Pied (fod)	0,296858	Garnetz	3,277	
Aune (2 fods)	0,5937	Védro (10 kruskas) . .	12,289	
SUISSE.		Tchetvérick (1/8 tchet-		
Pied de Bâle	0,504557	vers)	26,2175	
— de Berne	0,295238	Tchetver (8 tchetvé-		
Aune de —	0,5425	ricks)	209,740	
Pied de Lausanne	0,50	Tonne (40 védros) . . .	491,56	
— de Lucerne	0,515854	SUISSE.		
— de Genève	0,4849	Pot	1,50	
Aune de —	1,1457	—		
Pied de Neufchâtel	0,500025	POIDS.		
Aune de —	1,1111	—		
Pied de Zurich	0,501579	ANGLÈTERRE.		
Aune de —	0,6001		kilog.	
TURQUIE.		Livre troy	0,375096	
Petit pick	0,647874	Livre (avoir-du-poids) . .	0,453445	
Grand pick	0,669079	Tonne	1013,649	
—		AUTRICHE.		
SUPERFICIE.		Livre	0,560	
—		ESPAGNE.		
ANGLÈTERRE.		Livre	0,460	
	m. sup.	PRUSSE.		
Yard carré	0,856097	Livre	0,467	
Rod (perch carrée) . . .	25,291959	RUSSIE.		
Rood (1210 yards carrés)	1011,6775	Livre	0,6578	
Acre (4840 yards carrés)	4046,7100	Poud	16,372	
—		Berkowetz (10 pouds) . .	165,72	
CAPACITÉ ET VOLUMES		TURQUIE.		
—		Rottel	0,6578	
ANGLÈTERRE.		—		
	litre.			
Pint (1/8 gallon)	0,567952			
Sack	1,090450			
Gallon	4,545458			
Peck (2 gallons)	9,086916			

MONNAIES.		ÉTATS-UNIS (suite).	
		val. au pair.	val. au pair.
		fr.	fr.
ALLEMAGNE ET PRUSSE.			Dollar (argent) 5,54
	Kreutzer (cuivre) 0,056		Demi-aigle (or) 25,91
	Florin (argent) 2,145		Aigle (or) 51,82
	Thaler (argent) 5,75	GRÈCE.	
	Ducat (or) 11,85		Drachme (argent) 0,90
	Frédéric (or) 20,78		Ecu (argent) 4,47
ANGLETERRE.			Othon (or) 17,90
	Penny (cuivre) 0,10	HOLLANDE.	
	Shilling (argent) 1,16		Florin 2,14
	Couronne (5 shillings) (argent) 5,81		Ducat (argent) 6,41
	Livre sterling (souverain) (or) 25,21		Ducat (or) 11,78
	Guinée (21 shillings) 26,47		Ryder (or) 31,40
AUTRICHE.		MEXIQUE.	
	Kreutzer (cuivre) 0,04		Piastre (argent) 5,41
	Florin (argent) 2,59		Quadruple (or) 81,20
	Couronne (argent) 5,53	PORTUGAL.	
	Rixdaler (argent) 5,19		Teston (argent) 0,51
	Ducat (or) 11,81		Cruzade (argent) 2,94
	Souverain (or) 17,58		1/10 couronne (or) 5,60
DANEMARK.			1/2 couronne (or) 28,00
	Ecu courant (argent) 2,48		Couronne (or) 56,00
	Rixdaler (double écu) (argent) 4,96	RUSSIE.	
	Ducat (or) 9,47		Copeck (cuivre) 0,04
	Frédéric (or) 20,52		Solot (argent) 1,00
ESPAGNE.			Rouble (argent) 4,00
	Maravédi (cuivre) 0,008		Ducat (or) 11,59
	Ochavo (cuivre) 0,016		Impériale 41,29
	Réal (cuivre) 0,26	SUEDE.	
	Piastre (argent) 5,40		Skilling (cuivre) 0,045
	Ecu d'or (or) 10,80		Species (argent) 5,66
	Pistole (2 écus) (or) 21,60		Ducat (or) 11,70
	Double d'Isabelle (or) 25,84	TURQUIE.	
	Double (or) 40,75		Irnilick (cuivre) 0,06
	Quadruple (or) 81,51		Piastre (argent) 0,22
ÉTATS-UNIS.			Altelek (argent) 1,11
	Cent (cuivre) 0,055		Memdonyé (argent) 5,96
	Dime (cuivre) 0,55		50 piastres (argent) 11,54
	Demi-dollar (argent) 2,67		100 piastres (argent) 22,68

Nota. — BELGIQUE, ITALIE, SUISSE (système métrique français).

Racines de quelques fractions

FRACTIONS		RACINES CORRESPONDANTES			
ORDINAIRES	DÉCIMALES	CARRÉES	CUBIQUES	QUATRIÈMES	CINQUIÈMES
1/9	0,111111	0,333333	0,481838	0,377350	0,644594
1/8	0,125	0,353535	0,499900	0,594604	0,639735
1/7	0,142857	0,377964	0,522758	0,614788	0,667611
1/6	0,166666	0,408248	0,550521	0,658945	0,698827
1/5	0,20	0,447214	0,584804	0,668740	0,724779
2/9	0,222222	0,471404	0,605707	0,686389	0,740214
1/4	0,25	0,500000	0,629960	0,707107	0,757858
2/7	0,285714	0,534522	0,658654	0,751110	0,778570
1/3	0,333333	0,577530	0,693561	0,759856	0,802742
5/8	0,375	0,612372	0,721125	0,782542	0,821876
2/5	0,40	0,652435	0,736806	0,795270	0,852535
3/7	0,428571	0,654634	0,755947	0,809107	0,844121
4/9	0,444444	0,666667	0,765145	0,816496	0,850285
1/2	0,50	0,707107	0,793700	0,840896	0,870531
5/9	0,555555	0,743556	0,822071	0,865540	0,889089
4/7	0,571428	0,753929	0,829826	0,869442	0,894115
3/5	0,60	0,774396	0,845455	0,880112	0,902880
5/8	0,625	0,790569	0,854988	0,889140	0,910282
2/3	0,666666	0,816496	0,875580	0,903602	0,922108
5/7	0,714285	0,845154	0,895905	0,919525	0,954920
5/4	0,75	0,866025	0,908360	0,950605	0,944087
7/9	0,777777	0,881917	0,919641	0,959104	0,950979
4/5	0,80	0,894427	0,928518	0,945742	0,956332
5/6	0,855555	0,912874	0,941056	0,955445	0,964192
6/7	0,857142	0,925820	0,949914	0,962195	0,969640
7/8	0,875	0,935414	0,956465	0,967168	0,975647
8/9	0,888888	0,942829	0,961499	0,970984	0,976718
3/2	1,50	1,224744	1,144714	1,106682	1,084474

Fractions périodiques

1° SIMPLÉS. Soit : 0, *abede*, *abede*, *abede*,

On aura
$$x = \frac{abede}{99999}$$

2° MIXTES. Soit : 0, *pqrst*, *abede*, *abede*,

On aura
$$x = \frac{99999\ pqrst + abede}{99999000} = \frac{pqrst\ abede - pqrst}{99999000}$$

Équidifférences

Soit : *a* . *b* ; *c* . *d* ou *a* - *b* = *c* - *d*

Propriété fondamentale : *a* + *d* = *b* + *c*

Autres propriétés : On peut augmenter les deux antécédents ou les diminuer, augmenter les deux conséquents ou les diminuer, augmenter les deux premiers termes ou les deux derniers, ou les diminuer d'un même nombre, sans que l'équidifférence cesse d'exister. On peut également intervertir l'ordre des deux extrêmes, celui des moyens, ou mettre les moyens à la place des extrêmes, sans troubler l'équidifférence.

Proportions

Soit $a : b :: c : d$ ou $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$

Propriété fondamentale : $ad = bc$

Autres propriétés : $a \pm b : b :: c \pm d : d$; $a \pm c : b \pm d :: a : b :: c : d$

$$a^n : b^n :: c^n : d^n :: \sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} :: \sqrt[n]{c} : \sqrt[n]{d}.$$

On peut multiplier ou diviser les deux premiers termes ou les deux derniers, ou les deux antécédents, ou les deux conséquents, par un même nombre, sans altérer la proportion.

Si l'on a un nombre quelconque de proportions, et qu'on les multiplie ou divise par ordre, les produits résultant seront en proportion.

Les fractions qui ont un même numérateur sont en raison inverse de leurs dénominateurs. Ainsi : $\frac{a}{b} : \frac{a}{d} :: d : b$.

Formules des intérêts

C, Capital.	On a : $100 : IT :: C : R$, d'où $C = \frac{100 R}{IT}$
I, Taux de l'intérêt.	$I = \frac{100 R}{CT}$
T, Temps.	$T = \frac{100 R}{IC}$
R, Rente.	$R = \frac{CIT}{100}$

Formules des escomptes en dedans

On a : $100 + IT : 100 :: C : E$ et $100 + IT : IT :: C : e$

I, Taux pour 100.	$I = \frac{100 (C - E)}{TE} = \frac{100 e}{T (C - e)}$
T, Temps.	$T = \frac{100 (C - E)}{IE} = \frac{100 e}{I (C - e)}$
E, Somme escomptée,	$E = \frac{100 C}{100 + IT} \dots\dots\dots$
e, Escompte.	$e \dots\dots\dots = \frac{CIT}{100 + IT}$
C, Capital.	$C = \frac{E (100 + IT)}{100} = \frac{e (100 + IT)}{IT}$

Annuités

x , Somme à payer chaque année.	$x = \frac{cq^t(q-1)}{(q^t-1)}$
t , Temps.	$t = \frac{\log. x - \log. \left(x - \frac{ci}{100}\right)}{\log. \left(1 + \frac{1}{100} i\right)}$
c , Capital.	$c = \frac{x (q^t - 1)}{q^t (q - 1)}$
q , Taux	$q = \left(1 + \frac{i}{100}\right)$

Ce qui fait voir que l'annuité s'obtient en multipliant le capital évalué à la fin de la dernière année par l'intérêt de 1 franc pour un an, et en divisant le produit par l'excès sur l'unité de la valeur que prend 1 franc prêté pendant tout le temps.

Intérêts composés

1, Capital primitif.

$$a = \frac{A}{\left(\frac{100+i}{100}\right)^t} = \frac{A}{(1+r)^t}$$

A, Capital définitif.

$$A = a \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t = a(1+r)^t$$

r , Intérêt de 1 franc pendant un an = $\frac{i}{100}$; $t = \frac{\log. A - \log. a}{\log. (1+r)}$

Si l'on a un certain nombre d'années plus une fraction, 1 franc rapportant r en un an rapportera mr en une fraction d'année m , et on aura :

$$A = a(1+r)^t(1+mr)$$

Tables d'intérêt et d'escompte

NOMBRE D'ANNÉES t .	VALEURS DIVERSES de 1 franc plus ses intérêts composés au taux de 5 p. 100 $\left(\frac{105}{100}\right)^t$	RENTES ANNUELLES pour l'amortissement d'un capital de 1000 francs à 5 p. 100 dans un nombre donné d'années.	VALEURS ACTUELLES d'un capital de 1000 francs qui n'est réalisable que dans un nombre donné d'années $\left(\frac{1000}{(1.05)^t}\right)$	VALEURS ACTUELLES d'une rente annuelle de 1000 francs payable pendant un certain nombre d'années.
1	1,050 000	1 050,0000	952,5810	952,5810
2	1,102 500	557,8050	907,0295	1 859,4105
3	1,157 625	567,2114	865,8578	2 735,2485
4	1,215 606	282,0106	822,7023	3 545,9468
5	1,276 282	250,9784	785,3262	4 529,4750
6	1,340 096	197,0173	746,2154	5 075,6884
7	1,407 100	172,8200	710,6815	5 786,5697
8	1,477 433	154,7267	676,8594	6 465,2091
9	1,551 528	140,6874	644,6089	7 107,8180
10	1,628 895	129,3087	615,9155	7 721,7515
11	1,710 559	120,5865	584,6795	8 306,4106
12	1,795 856	112,8274	556,8574	8 865,2480
13	1,885 649	106,4591	530,5214	9 595,5394
14	1,979 952	101,0224	505,0680	9 898,6574
15	2,078 928	96,5404	481,0171	10 579,6545
16	2,182 875	92,2712	458,1115	10 857,7660
17	2,292 018	88,6981	436,2967	11 274,0627
18	2,406 619	85,5450	415,5207	11 689,5854
19	2,526 950	82,7466	396,7540	12 085,5174
20	2,655 298	80,2458	376,8895	12 462,2069
21	2,785 965	77,9969	358,9427	12 821,1495
22	2,925 261	75,9750	341,8500	13 162,9995
23	3,071 324	74,1568	325,5715	13 488,5706
24	3,225 100	72,4712	310,0679	13 798,6585
25	3,386 533	70,9519	295,5028	14 095,9415
26	3,555 675	69,5657	281,2407	14 575,1820
27	3,755 456	68,2952	267,8485	14 645,0505

NOMBRE D'ANNÉES <i>t.</i>	VALEURS DIVERSES de 1 franc plus ses intérêts composés au taux de 5 p. 100 $\left(\frac{105}{100}\right)^t$	RENTES ANNUELLES pour l'amortissement d'un capital de 1000 francs à 5 p. 100 dans un nombre donné d'années.	VALEURS ACTUELLES d'un capital de 1000 francs qui n'est réalisable que dans un nombre donné d'années $\left(\frac{1000}{(1,05)^t}\right)$	VALEURS ACTUELLES d'une rente annuelle de 1000 francs payable pendant un certain nombre d'années.
28	5,920 129	67,1259	255,0956	14 898,1259
29	4,116 156	66,0469	242,9465	15 141,0702
30	4,521 942	65,0489	231,5775	15 572,4477
31	4,558 059	64,1510	220,5595	15 592,8072
32	4,764 944	63,2779	209,8662	15 802,6754
35	5,005 189	62,4900	199,8725	16 002,5459
34	5,255 548	61,7557	190,5548	16 192,9007
35	5,516 015	61,0732	181,2905	16 374,1910
36	5,791 816	60,4516	172,6574	16 546,8484
37	6,081 407	59,8410	164,4556	16 711,2840
38	6,385 477	59,2850	156,6054	16 867,8894
39	6,704 751	58,7676	149,1480	17 017,0574
40	7,059 989	58,2771	142,0457	17 159,0851
41	7,591 988	57,8202	135,2816	17 294,5647
42	7,761 888	57,5970	128,8596	17 425,2045
45	8,149 667	56,9909	122,7044	17 545,9087
44	8,537 150	56,6144	116,8615	17 662,7700
45	8,985 008	56,2641	111,2965	17 774,0665
46	9,454 258	55,9265	105,9967	17 880,0652
47	9,905 971	55,6125	100,9492	17 981,0124
48	10,401 270	55,3141	96,1421	18 077,1545
49	10,921 555	55,0455	91,5659	18 168,7184
50	11,467 400	54,7798	87,2057	18 255,9261
51	12,040 770	54,4005	85,0512	18 558,9755
52	12,642 808	54,2735	79,0964	18 418,0697
55	15,274 949	54,0691	75,5299	18 495,5996
54	15,958 696	55,8591	71,7427	18 565,1425
55	14,655 651	55,6687	68,5264	18 655,4687
56	15,567 412	55,5856	65,0728	18 698,5415
57	16,155 785	55,2965	61,9741	18 760,5156
58	16,942 572	55,1520	59,0229	18 819,5585
59	17,789 701	52,9777	56,2125	18 875,7508
60	18,679 186	52,8248	55,5555	18 929,2865

Règle de Société

A, Nombre à partager.

 m, n, p, q , Nombres proportionnels $(m + n + p + q) : A ::$ $x \ x' \ x'' \ x'''$, Différentes parts.

$$\left. \begin{array}{l} m : x \\ n : x' \\ p : x'' \\ q : x''' \end{array} \right\}$$

Carrés usuels

Carré $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$

$(a - b)^2 = a^2 + b^2 - 2ab$

Rectangle. $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$

Carré. $[(a + b) + (a - b)]^2 = 4a^2$

Extraction de la racine carrée par approximation

Pour extraire la racine carrée, à $\frac{1}{n}$ près, d'un nombre entier ou fractionnaire a , on observe que a peut être mis sous la forme $\frac{a \times n^2}{n^2}$. Or, si l'on désigne par r la partie entière de la racine carrée de an^2 , ce nombre an^2 est alors compris entre r^2 et $(r+1)^2$; donc, aussi, $\frac{an^2}{n^2}$ est compris entre $\frac{r^2}{n^2}$ et $\frac{(r+1)^2}{n^2}$, et par conséquent la racine de a est elle-même comprise entre celles de $\frac{r^2}{n^2}$ et $\frac{(r+1)^2}{n^2}$, c'est-à-dire entre $\frac{r}{n}$ et $\frac{r+1}{n}$; donc enfin $\frac{r}{n}$ représente la racine carrée de a à $\frac{1}{n}$ près.

Extraction de la racine cubique par approximation

Pour extraire la $\sqrt[3]{a}$ nombre entier ou fractionnaire à $\frac{1}{n}$ près, on observe comme ci-dessus que a peut être mis sous la forme $\frac{an^3}{n^3}$, et si l'on désigne par r la racine du plus grand cube contenu dans an^3 , c'est-à-dire la $\sqrt[3]{an^3}$ de an^3 à une unité près, le nombre $\frac{an^3}{n^3}$ ou a est alors compris entre $\frac{r^3}{n^3}$ et $\frac{(r+1)^3}{n^3}$, donc aussi $\sqrt[3]{a}$ est comprise entre la $\sqrt[3]{\frac{r^3}{n^3}}$ de ces deux nombres, ou entre $\frac{r}{n}$ et $\frac{r+1}{n}$; donc enfin $\frac{r}{n}$ est la $\sqrt[3]{a}$ demandée à $\frac{1}{n}$ près.

Extraction des racines de degré élevé par approximation

Soit a le nombre dont on veut extraire la racine à un degré n . On cherche le nombre b qui, élevé à la puissance n , approchera le plus de a en plus ou en moins et la $\sqrt[n]{a}$ sera par approximation :

$$\sqrt[n]{a} = \frac{b[(n-1)b^n + (n+1)a]}{(n+1)b^n + (n-1)a}$$

Ainsi, soit demandé $\sqrt[4]{80}$, on aura : $n = 4$; $b = 5$; car $b^4 = 81$. D'où

$$\sqrt[4]{80} = \frac{5[(5 \times 81) + (5 \times 80)]}{(5 \times 81) + (5 \times 80)} = 2,99069$$

Progressions par différence

$\div a . b . c l$ Soit s Somme des termes.
 n Nombre des termes.
 r Raison ou différence.

$$l = a + (n-1)r = \frac{2s}{n} - a = \frac{2s + n(n-1)r}{2n}$$

$$a = l - (n-1)r = \frac{2s}{n} - l = \frac{2s - n(n-1)r}{2n}$$

$$\frac{2s}{n} = \frac{n}{2}(a+l) = \frac{n}{2}[2a + (n-1)r] = \frac{n}{2}[2l - (n-1)r] = \frac{(l+a)(l-a+r)}{2r}$$

$$n = \frac{l-a}{r} + 1 = \frac{2s}{a+l} = \frac{r-2a \pm \sqrt{(r-2a)^2 + 8rs}}{2r} = \frac{r+2l \pm \sqrt{(r+2l)^2 - 8rs}}{2r}$$

$$r = \frac{l-a}{n-1} = \frac{2(s-an)}{n(n-1)} = \frac{2(nl-c)}{n(n-1)} = \frac{l+a}{2s-(l+a)}$$

Progressions par quotient

∴ $a \cdot b : c : \dots : l$ Soit s Somme des termes.
 q Raison.
 n Nombre d termes.

$$a = \frac{l}{q^{n-1}} = \frac{s(q-1)}{q^n-1} = lq - s(q-1) = l \left(\frac{1}{q}\right)^{n-1}$$

$$l = aq^{n-1} = \frac{sq^{n-1}(q-1)}{q^n-1} = \frac{a+s(q-1)}{q}$$

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{l}{a}} = \frac{s-a}{s-l}$$

$$n = 1 + \frac{\log. l - \log. a}{\log. q}$$

$$s = \frac{ql-a}{q-1} = \frac{a(q^{n-1})}{q-1} = \frac{l(q^{n-1})}{q^{n-1}(q-1)} = \frac{n-1\sqrt[n]{l} - n-1\sqrt[n]{a}}{n-1\sqrt[n]{l} - n-1\sqrt[n]{a}}$$

Logarithmes

DÉFINITION : $10^x = x$. D'où : $\log. x = a$

PROPRIÉTÉS :

Multiplications. $\log. (a \times b) = \log. a + \log. b$

Divisions. $\log. \left(\frac{a}{b}\right) = \log. a - \log. b$

Puissances. $\log. a^n = n \times \log. a$

Exposants. Si on avait : $B^n = \frac{A}{D}$, on aurait : $n = \frac{\log. A - \log. D}{\log. B}$

Racines. $\log. \sqrt[n]{a}$ ou $\log. \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \log. a$; $\log. \sqrt[n]{a} = 1 - \frac{1}{n} \log. a$

Fractions. $\log. \frac{1}{a} = -\log. a$; $\log. \left(\frac{a^m}{f^q} \times \frac{b^n}{g^r} \times \frac{c^p}{h^s}\right) = (m \log. a + n \log. b + p \log. c) - (q \log. f + r \log. g + s \log. h)$

Si on avait à chercher le $\log.$ de $\sqrt[n]{\frac{a}{b}}$ lequel est égal à $\frac{1}{n} (\log. a - \log. b)$

Si a est $< b$, on observera avant d'opérer la multiplication par $\frac{1}{n}$ que la caractéristique négative, qui est d'ailleurs variable, doit toujours être augmentée d'une unité si elle est $\bar{1}$, de deux unités si elle est $\bar{2}$, etc., pour une racine d'un degré supérieur à 2. Ainsi, si elle est $\bar{1}$ pour une racine carrée, elle sera $\bar{2}$ pour une racine troisième, $\bar{3}$ pour une racine quatrième, etc.

On peut aussi ramener le calcul de l'extraction de la racine d'une fraction à l'extraction de la racine d'un seul nombre, pour cela on multiplie les deux termes de la fraction proposée par le dénominateur de cette fraction, s'il s'agit d'extraire une racine carrée, par le carré de ce dénominateur s'il s'agit d'extraire une racine cubique, etc.

Ainsi :

$$\sqrt{\frac{5}{4}} = \sqrt{\frac{5 \times 4}{4 \times 4}} = \frac{\sqrt{12}}{\sqrt{16}} = \frac{\sqrt{12}}{4}; \quad \sqrt[3]{\frac{2}{3}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 3^2}{3 \times 3^2}} = \frac{\sqrt[3]{18}}{\sqrt[3]{27}} = \frac{\sqrt[3]{18}}{3}$$

Et en généralisant : $\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a^{bn-1}}}{\sqrt[n]{b^{bn-1}}} = \frac{\sqrt[n]{ab^{n-1}}}{b}$

D'où : $\text{Log.} \frac{\sqrt[n]{ab^{n-1}}}{b} = \frac{1}{n} \log. (ab^{n-1}) - \log. b$

L'expression $\frac{a}{\sqrt[n]{n}} = \frac{a\sqrt[n]{n}}{n} = \frac{a}{n} \sqrt[n]{n}$; $\frac{1}{\sqrt[n]{n}} = \sqrt[n]{\frac{1}{n}}$; $\frac{m}{0} = \infty$

Équations du 2^{me} degré

Après avoir dégagé de tout multiplicateur ou diviseur le terme qui renferme le carré de l'inconnue et rendu ce terme positif, on fait du premier membre un carré parfait en ajoutant à ce premier membre la moitié du coefficient de x que l'on ajoute pareillement au second membre pour conserver l'égalité, puis on prend la racine carrée de chaque membre, en affectant celle du second du double signe \pm .

$$\begin{aligned} x^2 + px &= -q \\ \left(x + \frac{1}{2}p\right)^2 &= \frac{1}{4}p^2 - q \\ x + \frac{1}{2}p &= \pm \sqrt{\frac{1}{4}p^2 - q} \\ x &= -\frac{1}{2}p \pm \sqrt{\frac{1}{4}p^2 - q} \end{aligned}$$

Équations du 2ⁿ^{me} degré

$$\begin{aligned} x^{2n} + px^n &= q \\ x &= \sqrt[n]{-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}} \end{aligned}$$

Équations du 2^{me} degré à deux inconnues

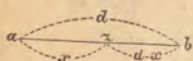
$$\begin{aligned} x \pm y &= s \\ xy &= p \\ x &= \frac{s + \sqrt{s^2 \mp 4p}}{2} = \frac{s}{2} + \sqrt{\frac{s^2}{4} \mp p} \\ y &= \frac{s - \sqrt{s^2 \mp 4p}}{2} = \frac{s}{2} - \sqrt{\frac{s^2}{4} \mp p} \end{aligned}$$

PROBLÈMES USUELS

1^o FONTAINES COULANT SÉPARÈMENT ET ENSEMBLE

a , Temps mis par la première pour un débit donné.
 b , — — — — — la deuxième — — — — —
 t , — — — — — les deux coulant ensemble pour produire le même effet

On a : $\frac{t}{a} + \frac{t}{b} = 1$, d'où $t = \frac{ab}{a+b}$

2^o COURRIERS ALLANT EN SENS CONTRAIRE DE a EN b ET DE b EN a 

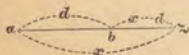
V , Vitesse du courrier partant de a et x espace parcouru.

v , Vitesse du courrier partant de b et $d - x$ espace parcouru.

On a (*Mécanique*, page, 171) : $\frac{E}{V} = t$, donc $\frac{x}{V} = \frac{d-x}{v}$; d'où $x = \frac{dV}{V+v}$

3^o COURRIERS ALLANT DANS LE MÊME SENS

On aura comme dessus :



$$\frac{x}{V} = \frac{x-d}{v} \text{ et } x = \frac{dV}{V-v}$$

4^o CHASSEURS

a , Somme due par chaque coup bon.

b , — — — — — manqué.

n , Nombre de coups tirés.

s , Somme due au chasseur.

Soit x les coups bons, on aura $n - x$ pour les coups manqués.

D'où : $s = ax - b(n - x)$; et $x = \frac{bn + s}{a + b}$

Soit c , somme due par le chasseur, on aura :

$$c = b(n - x) - ax$$
; et $x = \frac{bn - c}{a + b}$

5^o PILES DE BOULETS1^o Pyramide à base quadrangulaire

Soit n nombre de boulets d'un des côtés de la base, et s somme totale des boulets, on aura :

$$s = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

2^o Pyramide à base rectangulaire

Soit n nombre de boulets de la largeur de la base,
 N — — — — — longueur — — — — —

$$s = \frac{n(n+1)(5N - n + 1)}{6}$$

3^o Pyramide à base triangulaire

Soit n nombre de boulets d'un des côtés de la base

$$s = \frac{n(n+1)(n+2)}{6}$$

Combinaisons et permutations

Étant données m lettres, on aura le nombre de combinaisons s dont elles sont susceptibles en les prenant n à n au moyen de la formule :

$$s = \frac{m(m-1)(m-2)\dots(m-n+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n}$$

Si $n = 2$ on aura :

$$s = \frac{m(m-1)}{1 \cdot 2}; \text{ et si } n = 3, s = \frac{m(m-1)(m-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}$$

En général, on obtiendra le nombre de permutations que l'on peut faire avec un nombre quelconque de grandeurs, en construisant la progression arithmétique croissante des nombres naturels, au-dessous de chacun desquels on place le produit de tous les termes qui précèdent. On trouvera de cette manière que 24 est le nombre de permutations que l'on peut faire avec 4 quantités, 120 avec 5, 3628800 avec 10, etc.

÷	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	2	6	24	120	720	5040	40320	362880	3628800

6^e PREMIER JOUR DE CHAQUE ANNÉE. PREMIER JOUR DE MARS. ANNÉES BISSEXTILES

Pour connaître quel jour de la semaine doit commencer une année, ajoutez au nombre exprimé par les deux derniers chiffres du millésime son $\frac{1}{4}$ sans fractions, ôtez 4 pour les années ordinaires et 5 pour les bissextiles, divisez par 7, le reste sera l'un des 7 chiffres suivants et donnera le jour placé au-dessous.

1	2	3	4	5	6	0
Lundi.	Mardi.	Mercredi.	Jeudi.	Vendredi.	Samedi.	Dimanche.

Au nombre exprimé par les deux derniers chiffres du millésime, ajoutez son $\frac{1}{4}$ comme dessus, ôtez 1, puis tous les 7 contenus dans cette somme, les restes seront les mêmes que ci-dessus et donneront le premier jour de mars.

Une année est *bissextile* quand le nombre exprimé par les deux derniers chiffres est divisible par 4.

Facteurs usuels dans les calculs

π = 3,14159 26535 89795 25846 $\text{Log. } \pi$ = 0,49714 98726 94135 85435 2π = 6,28318 53071 79586 47692 3π = 9,42477 79607 69579 71359 4π = 12,56637 06145 59172 95384 $\frac{\pi}{2}$ = 1,57079 63267 94896 61923 $\frac{\pi}{3}$ = 1,04719 75511 96597 74615 $\frac{\pi}{4}$ = 0,78539 81635 97448 30961 $\frac{\pi}{5}$ = 0,62851 85307 17958 64769	$\frac{\pi}{6}$ = 0,52359 87755 98298 87307 $\frac{\pi}{8}$ = 0,39269 90816 98724 15480 $\frac{\pi}{12}$ = 0,26179 95877 99149 43653 $\frac{\pi}{90}$ = 0,03490 65850 59886 59154 (1) $\frac{\pi}{180}$ = 0,01745 32925 19943 29577 (2) $\frac{\pi}{560}$ = 0,00872 66462 59971 64788 (3)
--	--

- (1) Développement de l'arc de 2 degrés pour un mètre de rayon.
 (2) — — — — — 1 degré — — — — —
 (3) — — — — — 50 minutes — — — — —

$\frac{\pi}{10\ 800}$	= 0,00029 08882 08665 72159 (1)	$\sqrt[4]{\frac{10}{3}}$	= 5,16227 76602
$\frac{\pi}{648\ 000}$	= 0,00000 48481 56811 09535 (2)	$\sqrt{\frac{1}{3}}$	= 1,51607 40129
$\frac{1}{\pi}$	= 0,31830 98861 85791	$\sqrt{\frac{1}{5}}$	= 0,75983 56857
$\frac{2}{\pi}$	= 0,65661 97723 67581	$\sqrt{\frac{2}{5}}$	= 1,07436 99518
$\frac{3}{\pi}$	= 0,95492 96585 51575	$\sqrt{\frac{3}{5}}$	= 0,93060 48591
$\frac{4}{\pi}$	= 1,27523 95447 35162	$\sqrt{\frac{2}{3}}$	= 0,65803 70065
$\frac{180}{\pi}$	= 57,29577 95150 82580	$\frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{2}$	= 0,70710 67812
$\frac{1}{2\pi}$	= 0,15915 49450 91895	$\frac{1}{\sqrt{5}} = \sqrt{\frac{1}{5}} = \frac{1}{5} \sqrt{5}$	= 0,57735 02692
$\sqrt{\frac{1}{\pi}}$	= 1,77245 58509	$\frac{1}{\sqrt{5}} = \sqrt{\frac{1}{5}} = \frac{1}{5} \sqrt{5}$	= 0,44721 35949
$\sqrt{2\pi}$	= 2,50662 82746	$\frac{1}{\sqrt{8}} = \sqrt{\frac{1}{8}} = \frac{1}{8} \sqrt{8}$	= 0,35355 35906
$\sqrt{4\pi}$	= 3,54490 77018	$\frac{1}{\sqrt{10}} = \sqrt{\frac{1}{10}} = \frac{1}{10} \sqrt{10}$	= 0,31622 77660
$\frac{1}{\sqrt{\pi}}$ ou $\sqrt{\frac{1}{\pi}}$ ou $\frac{1}{\pi} \sqrt{\pi}$	= 0,56448 95853	$\sqrt[3]{g}$	= 9,80896 (3)
$\sqrt{\frac{1}{2\pi}}$	= 0,59894 22795 44673	g^2	= 96,21256
$\sqrt{\frac{5}{2\pi}}$	= 0,69098 84959 35224	g^3	= 945,72975
$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	= 0,79788 45386 89541	\sqrt{g}	= 3,15190
$\sqrt{\frac{3}{\pi}}$	= 0,97720 50256 84264	$\sqrt[3]{g}$	= 2,14062
$\sqrt{\frac{1}{\pi\sqrt{3}}}$	= 0,42869 43790 45320	$\sqrt{2g}$	= 4,42918
$\sqrt{\frac{\pi}{\sqrt{5}}}$	= 1,54677 56765 83568	$\frac{1}{g}$	= 0,10195
π^2	= 9,86960 44524	$\frac{1}{2g}$	= 0,050975
$\frac{1}{\pi^2}$	= 0,10152 11815	$\frac{1}{g^2}$	= 0,01059
$\frac{1}{\pi^3}$	= 31,00627 67546	$\frac{1}{4g^2}$	= 0,00260
$\frac{1}{\sqrt[3]{\pi}}$	= 1,46439 19235	$\sqrt{\frac{1}{g}}$	= 0,51929
$\sqrt[3]{\frac{1}{\pi}}$	= 0,68278 41545	$\sqrt{\frac{1}{2g}}$	= 0,22378
$\sqrt{2}$	= 1,41421 35625	$\sqrt{\frac{2}{g}}$	= 0,45155
$\sqrt{3}$	= 1,73205 08075	e	= 2,71828 18284 59045 (4)
$\sqrt{5}$	= 2,23606 79774	Log. e	= 0,45429 44849 05252 (5)
$\sqrt{8}$	= 2,82842 71247		

(1) Développement de l'arc de 1 minute pour un mètre de rayon.

(2) — — — — — 1 seconde

(3) Vitesse acquise à Paris après la première seconde de la chute d'un corps dans le vide.

(4) Base des logarithmes hyperboliques népériens ou naturels.

(5) Quantité qui, multipliée par le logarithme hyperbolique, donne le log. vulgaire d'un nombre.

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, de 1 à 1040

NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.	NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.
1	3.14	0.79	1	1	1.000	1.000	56	115.09	1 017.88	1 296	46 636	6.000	5.501
2	6.28	3.14	4	8	1.414	1.259	57	116.25	1 075.21	1 569	50 555	6.082	5.532
3	9.42	4.71	9	27	1.732	1.423	58	119.58	1 151.41	1 841	54 872	6.164	5.561
4	12.57	6.28	16	64	2.000	1.587	59	122.52	1 194.59	1 620	59 519	6.244	5.591
5	15.71	7.85	25	125	2.236	1.719	60	125.62	1 236.64	1 600	64 000	6.324	5.619
6	18.85	9.42	36	216	2.449	1.817	41	128.80	1 320.25	1 681	68 921	6.405	5.648
7	21.99	11.00	49	343	2.638	1.919	42	131.91	1 385.44	1 764	74 088	6.480	5.676
8	25.13	12.57	64	512	2.800	2.000	43	135.08	1 432.90	1 849	79 537	6.557	5.705
9	28.27	14.14	81	729	2.940	2.080	44	138.25	1 520.55	1 936	85 184	6.635	5.730
10	31.41	15.71	100	1 000	3.162	2.154	45	141.51	1 530.45	2 025	91 425	6.708	5.755
11	34.55	17.28	121	1 331	3.316	2.225	46	144.51	1 661.90	2 116	97 356	6.782	5.785
12	37.69	18.85	144	1 728	3.464	2.289	47	147.65	1 751.93	2 209	103 825	6.855	5.808
13	40.84	20.42	169	2 197	3.605	2.351	48	150.79	1 809.56	2 304	110 532	6.928	5.834
14	43.98	22.00	196	2 744	3.741	2.410	49	153.95	1 865.74	2 401	117 643	7.000	5.859
15	47.12	23.57	225	3 375	3.872	2.466	50	157.08	1 965.50	2 500	125 000	7.071	5.884
16	50.26	25.13	256	4 096	4.000	2.519	51	160.22	2 042.82	2 601	132 651	7.141	5.908
17	53.40	26.70	289	4 915	4.125	2.571	52	163.36	2 125.72	2 704	140 618	7.211	5.932
18	56.54	28.27	324	5 852	4.252	2.620	53	166.50	2 206.48	2 809	148 877	7.280	5.956
19	59.69	29.84	361	6 859	4.381	2.668	54	169.64	2 290.22	2 916	157 464	7.348	5.979
20	62.83	31.41	400	8 000	4.472	2.714	55	172.78	2 375.85	3 025	166 575	7.410	5.802
21	65.97	32.98	441	9 261	4.582	2.758	56	175.92	2 465.01	3 136	176 165	7.485	5.828
22	69.11	34.55	484	10 648	4.690	2.802	57	179.07	2 551.76	3 249	185 195	7.559	5.854
23	72.25	36.12	529	12 167	4.795	2.845	58	182.21	2 642.08	3 364	195 419	7.615	5.879
24	75.39	37.69	576	13 824	4.898	2.881	59	185.35	2 735.97	3 481	205 579	7.681	5.893
25	78.53	39.26	625	15 625	5.000	2.924	60	188.49	2 827.45	3 600	216 000	7.745	5.914
26	81.68	40.84	676	17 576	5.099	2.962	61	191.63	2 922.47	3 721	226 981	7.810	5.936
27	84.82	42.41	729	19 683	5.196	3.000	62	194.77	3 019.07	3 844	238 528	7.874	5.957
28	87.96	43.98	784	21 952	5.291	3.056	63	197.92	3 117.25	3 969	250 247	7.937	5.979
29	91.10	45.55	841	24 389	5.385	3.072	64	201.06	3 216.99	4 096	262 144	8.000	6.000
30	94.24	47.12	900	27 000	5.477	3.107	65	204.20	3 318.51	4 225	274 625	8.062	6.020
31	97.38	48.69	961	29 791	5.567	3.141	66	207.34	3 421.19	4 356	287 495	8.124	6.041
32	100.52	50.26	1 024	32 768	5.655	3.174	67	210.48	3 525.65	4 489	300 765	8.185	6.061
33	103.66	51.83	1 089	35 957	5.741	3.207	68	213.62	3 631.68	4 624	314 453	8.246	6.081
34	106.81	53.40	1 156	39 504	5.830	3.239	69	216.77	3 739.29	4 761	328 599	8.306	6.101
35	109.95	54.97	1 225	43 475	5.916	3.271	70	219.91	3 848.45	4 900	343 100	8.366	6.121

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, à 1040

Table with 10 columns: NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES, CIRCONFÉRENCES, SURFACES ou CERCLES, CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES, RACINES CUBIQUES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES, RACINES CUBIQUES.

carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, à 1040

Table with 10 columns: NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES, CIRCONFÉRENCES, SURFACES ou CERCLES, CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES, RACINES CUBIQUES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES CARRÉES, RACINES CUBIQUES.

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, 1 1040

NUMÉRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES OU CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.	RAIENNES CARRÉES.	RAIENNES CUBIQUES.	NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES OU CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.	RAIENNES CARRÉES.	RAIENNES CUBIQUES.
705	1240,95	122 514,74	156 026	61 689 875	19 875	7 537	476	1 405,40	177 052,37	936 576	107 850 176	31 817	7 808				
706	1241,01	122 516,99	156 031	62 099 156	19 895	7 543	477	1 408,54	178 700,58	937 520	108 551 553	31 810	7 815				
707	1241,07	122 519,24	156 036	62 510 437	19 915	7 549	478	1 411,68	179 450,91	938 484	109 215 552	31 803	7 821				
708	1241,13	122 521,49	156 041	62 921 718	19 935	7 555	479	1 414,82	180 200,24	939 448	109 882 570	31 806	7 828				
709	1241,19	122 523,74	156 046	63 333 000	19 955	7 561	480	1 417,96	180 950,57	940 412	110 552 570	31 809	7 835				
710	1241,25	122 526,00	156 051	63 744 281	19 975	7 567	481	1 421,10	181 700,90	941 376	111 224 641	31 812	7 842				
711	1241,31	122 528,25	156 056	64 155 562	20 000	7 573	482	1 424,24	182 450,23	942 340	111 898 811	31 815	7 849				
712	1241,37	122 530,50	156 061	64 566 843	20 020	7 579	483	1 427,38	183 200,56	943 304	112 575 082	31 818	7 856				
713	1241,43	122 532,75	156 066	64 978 124	20 040	7 585	484	1 430,52	183 950,89	944 268	113 253 353	31 821	7 863				
714	1241,49	122 535,00	156 071	65 389 405	20 060	7 591	485	1 433,66	184 700,22	945 232	113 933 624	31 824	7 870				
715	1241,55	122 537,25	156 076	65 800 686	20 080	7 597	486	1 436,80	185 450,55	946 196	114 615 895	31 827	7 877				
716	1241,61	122 539,50	156 081	66 211 967	20 100	7 603	487	1 440,94	186 200,88	947 160	115 299 166	31 830	7 884				
717	1241,67	122 541,75	156 086	66 623 248	20 120	7 609	488	1 444,08	186 950,21	948 124	115 984 437	31 833	7 891				
718	1241,73	122 544,00	156 091	67 034 529	20 140	7 615	489	1 447,22	187 700,54	949 088	116 671 708	31 836	7 898				
719	1241,79	122 546,25	156 096	67 445 810	20 160	7 621	490	1 450,36	188 450,87	950 052	117 360 979	31 839	7 905				
720	1241,85	122 548,50	156 101	67 857 091	20 180	7 627	491	1 453,50	189 200,20	951 016	118 052 250	31 842	7 912				
721	1241,91	122 550,75	156 106	68 268 372	20 200	7 633	492	1 456,64	189 950,53	951 980	118 745 521	31 845	7 919				
722	1241,97	122 553,00	156 111	68 679 653	20 220	7 639	493	1 459,78	190 700,86	952 944	119 440 792	31 848	7 926				
723	1242,03	122 555,25	156 116	69 090 934	20 240	7 645	494	1 462,92	191 450,19	953 908	120 138 063	31 851	7 933				
724	1242,09	122 557,50	156 121	69 502 215	20 260	7 651	495	1 466,06	192 200,52	954 872	120 837 334	31 854	7 940				
725	1242,15	122 559,75	156 126	69 913 496	20 280	7 657	496	1 469,20	192 950,85	955 836	121 538 605	31 857	7 947				
726	1242,21	122 562,00	156 131	70 324 777	20 300	7 663	497	1 472,34	193 700,18	956 800	122 240 876	31 860	7 954				
727	1242,27	122 564,25	156 136	70 736 058	20 320	7 669	498	1 475,48	194 450,51	957 764	122 944 147	31 863	7 961				
728	1242,33	122 566,50	156 141	71 147 339	20 340	7 675	499	1 478,62	195 200,84	958 728	123 649 418	31 866	7 968				
729	1242,39	122 568,75	156 146	71 558 620	20 360	7 681	500	1 481,76	195 950,17	959 692	124 355 689	31 869	7 975				
730	1242,45	122 571,00	156 151	71 969 901	20 380	7 687	501	1 484,90	196 700,50	960 656	125 062 960	31 872	7 982				
731	1242,51	122 573,25	156 156	72 381 182	20 400	7 693	502	1 488,04	197 450,83	961 620	125 771 231	31 875	7 989				
732	1242,57	122 575,50	156 161	72 792 463	20 420	7 699	503	1 491,18	198 200,16	962 584	126 481 502	31 878	7 996				
733	1242,63	122 577,75	156 166	73 203 744	20 440	7 705	504	1 494,32	198 950,49	963 548	127 192 773	31 881	8 003				
734	1242,69	122 580,00	156 171	73 615 025	20 460	7 711	505	1 497,46	199 700,82	964 512	127 904 044	31 884	8 010				
735	1242,75	122 582,25	156 176	74 026 306	20 480	7 717	506	1 500,60	200 450,15	965 476	128 616 315	31 887	8 017				
736	1242,81	122 584,50	156 181	74 437 587	20 500	7 723	507	1 503,74	201 200,48	966 440	129 328 586	31 890	8 024				
737	1242,87	122 586,75	156 186	74 848 868	20 520	7 729	508	1 506,88	201 950,81	967 404	130 040 857	31 893	8 031				
738	1242,93	122 589,00	156 191	75 260 149	20 540	7 735	509	1 510,02	202 700,14	968 368	130 753 128	31 896	8 038				
739	1242,99	122 591,25	156 196	75 671 430	20 560	7 741	510	1 513,16	203 450,47	969 332	131 465 400	31 899	8 045				
740	1243,05	122 593,50	156 201	76 082 711	20 580	7 747	511	1 516,30	204 200,80	970 296	132 177 671	31 902	8 052				
741	1243,11	122 595,75	156 206	76 493 992	20 600	7 753	512	1 519,44	204 950,13	971 260	132 890 942	31 905	8 059				
742	1243,17	122 598,00	156 211	76 905 273	20 620	7 759	513	1 522,58	205 700,46	972 224	133 604 213	31 908	8 066				
743	1243,23	122 600,25	156 216	77 316 554	20 640	7 765	514	1 525,72	206 450,79	973 188	134 318 484	31 911	8 073				
744	1243,29	122 602,50	156 221	77 727 835	20 660	7 771	515	1 528,86	207 200,12	974 152	135 032 755	31 914	8 080				
745	1243,35	122 604,75	156 226	78 139 116	20 680	7 777	516	1 532,00	207 950,45	975 116	135 747 026	31 917	8 087				
746	1243,41	122 607,00	156 231	78 550 397	20 700	7 783	517	1 535,14	208 700,78	976 080	136 461 297	31 920	8 094				
747	1243,47	122 609,25	156 236	78 961 678	20 720	7 789	518	1 538,28	209 450,11	977 044	137 175 568	31 923	8 101				
748	1243,53	122 611,50	156 241	79 372 959	20 740	7 795	519	1 541,42	210 200,44	978 008	137 890 839	31 926	8 108				
749	1243,59	122 613,75	156 246	79 784 240	20 760	7 801	520	1 544,56	210 950,77	978 972	138 605 110	31 929	8 115				
750	1243,65	122 616,00	156 251	80 195 521	20 780	7 807	521	1 547,70	211 700,10	979 936	139 319 381	31 932	8 122				
751	1243,71	122 618,25	156 256	80 606 802	20 800	7 813	522	1 550,84	212 450,43	980 900	140 033 652	31 935	8 129				
752	1243,77	122 620,50	156 261	81 018 083	20 820	7 819	523	1 553,98	213 200,76	981 864	140 747 923	31 938	8 136				
753	1243,83	122 622,75	156 266	81 429 364	20 840	7 825	524	1 557,12	213 950,09	982 828	141 462 194	31 941	8 143				
754	1243,89	122 625,00	156 271	81 840 645	20 860	7 831	525	1 560,26	214 700,42	983 792	142 176 465	31 944	8 150				
755	1243,95	122 627,25	156 276	82 251 926	20 880	7 837	526	1 563,40	215 450,75	984 756	142 890 736	31 947	8 157				
756	1244,01	122 629,50	156 281	82 663 207	20 900	7 843	527	1 566,54	216 200,08	985 720	143 605 007	31 950	8 164				
757	1244,07	122 631,75	156 286	83 074 488	20 920	7 849	528	1 569,68	216 950,41	986 684	144 319 278	31 953	8 171				
758	1244,13	122 634,00	156 291	83 485 769	20 940	7 855	529	1 572,82	217 700,74	987 648	145 033 549	31 956	8 178				
759	1244,19	122 636,25	156 296	83 897 050	20 960	7 861	530	1 575,96	218 450,07	988 612	145 747 820	31 959	8 185				
760	1244,25	122 638,50	156 301	84 308 331	20 980	7 867	531	1 579,10	219 200,40	989 576	146 462 091	31 962	8 192				
761	1244,31	122 640,75	156 306	84 719 612	21 000	7 873	532	1 582,24	219 950,73	990 540	147 176 362	31 965	8 199				
762	1244,37	122 643,00	156 311	85 130 893	21 020	7 879	533	1 585,38	220 700,06	991 504	147 890 633	31 968	8 206				
763	1244,43	122 645,25	156 316	85 542 174	21 040	7 885	534	1 588,52	221 450,39	992 468	148 604 904	31 971	8 213				
764	1244,49	122 647,50	156 321	85 953 455	21 060	7 891	535	1 591,66	222 200,72	993 432	149 319 175	31 974	8 220				
765	1244,55	122 649,75	156 326	86 364 736	21 080	7 897	536	1 594,80	222 950,05	994 396	150 033 446	31 977	8 227				
766	1244,61	122 652,00	156 331	86 776 017	21 100	7 903	537	1 597,94	223 700,38	995 360	150 747 717	31 980	8 234				
767	1244,67	122 654,25	156 336	87 187 298	21 120	7 909	538	1 601,08	224 450,71	996 324	151 461 988	31 983	8 241				
768	1244,73	122 656,50	156 341	87 598 579	21 140	7 915	539	1 604,22	225 200,04	997 288	152 176 259	31 986	8 248				
769	1244,79	122 658,75	156 346	88 009 860	21 160	7 921	540	1 607,36	225 950,37	998 252	152 890 530	31 989	8 255				
770	1244,85	122 661,00	156 351	88 421 141	21 180	7 927	541	1 610,50	226 700,70	999 216	153 604 801	31 992	8 262				
771	1244,91	122 663,25	156 356	88 832 422	21 200	7 933	542	1 613,64	227 450,03	1000 180	154 319 072	31 995	8 269				
772	1244,97	122 665,50	156 361	89 243 703	21 220	7 939	543	1 616,78	228 200,36	1001 144	155 033 343	31 998	8 276				
773	1245,03	122 667,75	156 366	89 654 984	21 240	7 945	544	1 620,92	228 950,69	1002 108	155 747 614	31					

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, à 104

CIRCONFÉRENCES	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.	NOMRES, RACINES ou DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.
568	1 755 10	344 544 70	511 764	173 741 412	25 632	8 257	2 007 48	320 694 80	408 321	269 047 119	25 278	8 618
569	1 755 45	345 544 70	512 764	174 676 879	25 645	8 258	2 010 02	321 699 09	409 600	262 144 000	25 298	8 618
570	1 755 90	346 540 86	515 600	175 676 879	25 664	8 262	2 015 76	322 712 85	410 881	265 574 724	25 318	8 622
571	1 755 247	347 481 90	515 685	176 538 481	25 685	8 267	2 016 90	325 712 85	412 164	265 574 724	25 318	8 622
572	1 755 494	348 422 94	516 820	177 504 938	25 706	8 269	2 016 90	325 712 85	413 447	265 574 724	25 318	8 622
573	1 755 741	349 364 98	517 955	178 471 395	25 728	8 267	2 016 90	325 712 85	414 730	265 574 724	25 318	8 622
574	1 755 988	350 306 86	519 090	179 437 852	25 749	8 267	2 016 90	325 712 85	416 013	265 574 724	25 318	8 622
575	1 756 235	351 248 80	520 225	180 404 309	25 770	8 267	2 016 90	325 712 85	417 296	265 574 724	25 318	8 622
576	1 756 482	352 190 74	521 360	181 370 766	25 791	8 267	2 016 90	325 712 85	418 579	265 574 724	25 318	8 622
577	1 756 729	353 132 68	522 495	182 337 223	25 812	8 267	2 016 90	325 712 85	419 862	265 574 724	25 318	8 622
578	1 756 976	354 074 62	523 630	183 303 680	25 833	8 267	2 016 90	325 712 85	421 145	265 574 724	25 318	8 622
579	1 757 223	355 016 56	524 765	184 270 137	25 854	8 267	2 016 90	325 712 85	422 428	265 574 724	25 318	8 622
580	1 757 470	355 958 50	525 900	185 236 594	25 875	8 269	2 016 90	325 712 85	423 711	265 574 724	25 318	8 622
581	1 757 717	356 900 44	527 035	186 203 051	25 896	8 266	2 016 90	325 712 85	425 000	265 574 724	25 318	8 622
582	1 757 964	357 842 38	528 170	187 169 508	25 917	8 266	2 016 90	325 712 85	426 289	265 574 724	25 318	8 622
583	1 758 211	358 784 32	529 305	188 135 965	25 938	8 266	2 016 90	325 712 85	427 578	265 574 724	25 318	8 622
584	1 758 458	359 726 26	530 440	189 102 422	25 959	8 266	2 016 90	325 712 85	428 867	265 574 724	25 318	8 622
585	1 758 705	360 668 20	531 575	190 068 879	25 980	8 266	2 016 90	325 712 85	430 156	265 574 724	25 318	8 622
586	1 758 952	361 610 14	532 710	191 035 336	26 001	8 266	2 016 90	325 712 85	431 445	265 574 724	25 318	8 622
587	1 759 199	362 552 08	533 845	192 001 793	26 022	8 266	2 016 90	325 712 85	432 734	265 574 724	25 318	8 622
588	1 759 446	363 494 02	534 980	192 968 250	26 043	8 266	2 016 90	325 712 85	434 023	265 574 724	25 318	8 622
589	1 759 693	364 435 96	536 115	193 934 707	26 064	8 266	2 016 90	325 712 85	435 312	265 574 724	25 318	8 622
590	1 759 940	365 377 90	537 250	194 901 164	26 085	8 266	2 016 90	325 712 85	436 601	265 574 724	25 318	8 622
591	1 760 187	366 319 84	538 385	195 867 621	26 106	8 266	2 016 90	325 712 85	437 890	265 574 724	25 318	8 622
592	1 760 434	367 261 78	539 520	196 834 078	26 127	8 266	2 016 90	325 712 85	439 179	265 574 724	25 318	8 622
593	1 760 681	368 203 72	540 655	197 800 535	26 148	8 266	2 016 90	325 712 85	440 468	265 574 724	25 318	8 622
594	1 760 928	369 145 66	541 790	198 766 992	26 169	8 266	2 016 90	325 712 85	441 757	265 574 724	25 318	8 622
595	1 761 175	370 087 60	542 925	199 733 449	26 190	8 266	2 016 90	325 712 85	443 046	265 574 724	25 318	8 622
596	1 761 422	371 029 54	544 060	200 699 906	26 211	8 266	2 016 90	325 712 85	444 335	265 574 724	25 318	8 622
597	1 761 669	371 971 48	545 195	201 666 363	26 232	8 266	2 016 90	325 712 85	445 624	265 574 724	25 318	8 622
598	1 761 916	372 913 42	546 330	202 632 820	26 253	8 266	2 016 90	325 712 85	446 913	265 574 724	25 318	8 622
599	1 762 163	373 855 36	547 465	203 599 277	26 274	8 266	2 016 90	325 712 85	448 202	265 574 724	25 318	8 622
600	1 762 410	374 797 30	548 600	204 565 734	26 295	8 266	2 016 90	325 712 85	449 491	265 574 724	25 318	8 622
601	1 762 657	375 739 24	549 735	205 532 191	26 316	8 266	2 016 90	325 712 85	450 780	265 574 724	25 318	8 622
602	1 762 904	376 681 18	550 870	206 498 648	26 337	8 266	2 016 90	325 712 85	452 069	265 574 724	25 318	8 622
603	1 763 151	377 623 12	552 005	207 465 105	26 358	8 266	2 016 90	325 712 85	453 358	265 574 724	25 318	8 622
604	1 763 398	378 565 06	553 140	208 431 562	26 379	8 266	2 016 90	325 712 85	454 647	265 574 724	25 318	8 622
605	1 763 645	379 507 00	554 275	209 398 019	26 400	8 266	2 016 90	325 712 85	455 936	265 574 724	25 318	8 622
606	1 763 892	380 448 94	555 410	210 364 476	26 421	8 266	2 016 90	325 712 85	457 225	265 574 724	25 318	8 622
607	1 764 139	381 390 88	556 545	211 330 933	26 442	8 266	2 016 90	325 712 85	458 514	265 574 724	25 318	8 622
608	1 764 386	382 332 82	557 680	212 297 390	26 463	8 266	2 016 90	325 712 85	459 803	265 574 724	25 318	8 622
609	1 764 633	383 274 76	558 815	213 263 847	26 484	8 266	2 016 90	325 712 85	461 092	265 574 724	25 318	8 622
610	1 764 880	384 216 70	559 950	214 230 304	26 505	8 266	2 016 90	325 712 85	462 381	265 574 724	25 318	8 622
611	1 765 127	385 158 64	561 085	215 196 761	26 526	8 266	2 016 90	325 712 85	463 670	265 574 724	25 318	8 622
612	1 765 374	386 100 58	562 220	216 163 218	26 547	8 266	2 016 90	325 712 85	464 959	265 574 724	25 318	8 622
613	1 765 621	387 042 52	563 355	217 129 675	26 568	8 266	2 016 90	325 712 85	466 248	265 574 724	25 318	8 622
614	1 765 868	387 984 46	564 490	218 096 132	26 589	8 266	2 016 90	325 712 85	467 537	265 574 724	25 318	8 622
615	1 766 115	388 926 40	565 625	219 062 589	26 610	8 266	2 016 90	325 712 85	468 826	265 574 724	25 318	8 622
616	1 766 362	389 868 34	566 760	220 029 046	26 631	8 266	2 016 90	325 712 85	470 115	265 574 724	25 318	8 622
617	1 766 609	390 810 28	567 895	220 995 503	26 652	8 266	2 016 90	325 712 85	471 404	265 574 724	25 318	8 622
618	1 766 856	391 752 22	569 030	221 961 960	26 673	8 266	2 016 90	325 712 85	472 693	265 574 724	25 318	8 622
619	1 767 103	392 694 16	570 165	222 928 417	26 694	8 266	2 016 90	325 712 85	473 982	265 574 724	25 318	8 622
620	1 767 350	393 636 10	571 300	223 894 874	26 715	8 266	2 016 90	325 712 85	475 271	265 574 724	25 318	8 622
621	1 767 597	394 578 04	572 435	224 861 331	26 736	8 266	2 016 90	325 712 85	476 560	265 574 724	25 318	8 622
622	1 767 844	395 519 98	573 570	225 827 788	26 757	8 266	2 016 90	325 712 85	477 849	265 574 724	25 318	8 622
623	1 768 091	396 461 92	574 705	226 794 245	26 778	8 266	2 016 90	325 712 85	479 138	265 574 724	25 318	8 622
624	1 768 338	397 403 86	575 840	227 760 702	26 799	8 266	2 016 90	325 712 85	480 427	265 574 724	25 318	8 622
625	1 768 585	398 345 80	576 975	228 727 159	26 820	8 266	2 016 90	325 712 85	481 716	265 574 724	25 318	8 622
626	1 768 832	399 287 74	578 110	229 693 616	26 841	8 266	2 016 90	325 712 85	483 005	265 574 724	25 318	8 622
627	1 769 079	400 229 68	579 245	230 660 073	26 862	8 266	2 016 90	325 712 85	484 294	265 574 724	25 318	8 622
628	1 769 326	401 171 62	580 380	231 626 530	26 883	8 266	2 016 90	325 712 85	485 583	265 574 724	25 318	8 622
629	1 769 573	402 113 56	581 515	232 592 987	26 904	8 266	2 016 90	325 712 85	486 872	265 574 724	25 318	8 622
630	1 769 820	403 055 50	582 650	233 559 444	26 925	8 266	2 016 90	325 712 85	488 161	265 574 724	25 318	8 622
631	1 770 067	404 000 00	583 785	234 525 901	26 946	8 266	2 016 90	325 712 85	489 450	265 574 724	25 318	8 622
632	1 770 314	404 945 00	584 920	235 492 358	26 967	8 266	2 016 90	325 712 85	490 739	265 574 724	25 318	8 622
633	1 770 561	405 890 00	586 055	236 458 815	26 988	8 266	2 016 90	325 712 85	492 028	265 574 724	25 318	8 622
634	1 770 808	406 835 00	587 190	237 425 272	27 009	8 266	2 016 90	325 712 85	493 317	265 574 724	25 318	8 622
635	1 771 055	407 780 00	588 325	238 391 729	27 030	8 266	2 016 90	325 712 85	494 606	265 574 724	25 318	8 622
636	1 771 302	408 725 00	589 460	239 358 186	27 051	8 266	2 016 90	325 712 85	495 895	265 574 724	25 318	8 622
637	1 771 549	409 670 00	590 595	240 324 643	27 072	8 266	2 016 90	325 712 85	497 184	265 574 724	25 318	8 622
638	1 771 796	410 615 00	591 730	241 291 100	27 093	8 266	2 016 90	325 712 85	498 473	265 574 724	25 318	8 622
639	1 772 043	411 560 00	592 865	242 257 557	27 114	8 266	2 016 90	325				

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, de 1

NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.	NOMBRES, RACINES OU DIAMÈTRES.	CIRCONFÉRENCES.	SURFACES ou CERCLES.	CARRÉS.	CUBES.	RACINES CARRÉES.	RACINES CUBIQUES.
719	2 298 81	406 020 21	516 961	571 694 020	26 5814	8 9829	800	2 515 28	802 654 82	610 000	512 000 000	28 284	9 285
720	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	801	2 516 42	805 912 24	611 001	515 952 401	28 292	9 297
721	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	802	2 516 56	805 912 24	615 001	515 819 008	28 280	9 285
722	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	803	2 517 10	805 912 24	616 002	515 784 637	28 277	9 285
723	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	804	2 517 24	805 912 24	617 003	515 750 266	28 274	9 284
724	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	805	2 517 38	805 912 24	618 004	515 715 895	28 271	9 283
725	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	806	2 517 52	805 912 24	619 005	515 681 524	28 268	9 282
726	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	807	2 518 06	805 912 24	620 006	515 647 153	28 265	9 281
727	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	808	2 518 20	805 912 24	621 007	515 612 782	28 262	9 280
728	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	809	2 518 34	805 912 24	622 008	515 578 411	28 259	9 279
729	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	810	2 518 48	805 912 24	623 009	515 544 040	28 256	9 278
730	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	811	2 519 02	805 912 24	624 010	515 509 669	28 253	9 277
731	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	812	2 519 16	805 912 24	625 011	515 475 298	28 250	9 276
732	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	813	2 519 30	805 912 24	626 012	515 440 927	28 247	9 275
733	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	814	2 519 44	805 912 24	627 013	515 406 556	28 244	9 274
734	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	815	2 519 58	805 912 24	628 014	515 372 185	28 241	9 273
735	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	816	2 520 12	805 912 24	629 015	515 337 814	28 238	9 272
736	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	817	2 520 26	805 912 24	630 016	515 303 443	28 235	9 271
737	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	818	2 520 40	805 912 24	631 017	515 269 072	28 232	9 270
738	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	819	2 520 54	805 912 24	632 018	515 234 701	28 229	9 269
739	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	820	2 521 08	805 912 24	633 019	515 200 330	28 226	9 268
740	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	821	2 521 22	805 912 24	634 020	515 165 959	28 223	9 267
741	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	822	2 521 36	805 912 24	635 021	515 131 588	28 220	9 266
742	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	823	2 521 50	805 912 24	636 022	515 097 217	28 217	9 265
743	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	824	2 521 64	805 912 24	637 023	515 062 846	28 214	9 264
744	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	825	2 521 78	805 912 24	638 024	515 028 475	28 211	9 263
745	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	826	2 521 92	805 912 24	639 025	514 994 104	28 208	9 262
746	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	827	2 522 06	805 912 24	640 026	514 959 733	28 205	9 261
747	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	828	2 522 20	805 912 24	641 027	514 925 362	28 202	9 260
748	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	829	2 522 34	805 912 24	642 028	514 890 991	28 199	9 259
749	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	830	2 522 48	805 912 24	643 029	514 856 620	28 196	9 258
750	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	831	2 522 62	805 912 24	644 030	514 822 249	28 193	9 257
751	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	832	2 522 76	805 912 24	645 031	514 787 878	28 190	9 256
752	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	833	2 522 90	805 912 24	646 032	514 753 507	28 187	9 255
753	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	834	2 523 04	805 912 24	647 033	514 719 136	28 184	9 254
754	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	835	2 523 18	805 912 24	648 034	514 684 765	28 181	9 253
755	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	836	2 523 32	805 912 24	649 035	514 650 394	28 178	9 252
756	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	837	2 523 46	805 912 24	650 036	514 616 023	28 175	9 251
757	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	838	2 523 60	805 912 24	651 037	514 581 652	28 172	9 250
758	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	839	2 523 74	805 912 24	652 038	514 547 281	28 169	9 249
759	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	840	2 523 88	805 912 24	653 039	514 512 910	28 166	9 248
760	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	841	2 524 02	805 912 24	654 040	514 478 539	28 163	9 247
761	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	842	2 524 16	805 912 24	655 041	514 444 168	28 160	9 246
762	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	843	2 524 30	805 912 24	656 042	514 409 797	28 157	9 245
763	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	844	2 524 44	805 912 24	657 043	514 375 426	28 154	9 244
764	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	845	2 524 58	805 912 24	658 044	514 341 055	28 151	9 243
765	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	846	2 524 72	805 912 24	659 045	514 306 684	28 148	9 242
766	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	847	2 524 86	805 912 24	660 046	514 272 313	28 145	9 241
767	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	848	2 525 00	805 912 24	661 047	514 237 942	28 142	9 240
768	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	849	2 525 14	805 912 24	662 048	514 203 571	28 139	9 239
769	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	850	2 525 28	805 912 24	663 049	514 169 200	28 136	9 238
770	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	851	2 525 42	805 912 24	664 050	514 134 829	28 133	9 237
771	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	852	2 525 56	805 912 24	665 051	514 100 458	28 130	9 236
772	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	853	2 525 70	805 912 24	666 052	514 066 087	28 127	9 235
773	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	854	2 525 84	805 912 24	667 053	514 031 716	28 124	9 234
774	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	855	2 525 98	805 912 24	668 054	513 997 345	28 121	9 233
775	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	856	2 526 12	805 912 24	669 055	513 962 974	28 118	9 232
776	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	857	2 526 26	805 912 24	670 056	513 928 603	28 115	9 231
777	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	858	2 526 40	805 912 24	671 057	513 894 232	28 112	9 230
778	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	859	2 526 54	805 912 24	672 058	513 859 861	28 109	9 229
779	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	860	2 526 68	805 912 24	673 059	513 825 490	28 106	9 228
780	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	861	2 526 82	805 912 24	674 060	513 791 119	28 103	9 227
781	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	862	2 526 96	805 912 24	675 061	513 756 748	28 100	9 226
782	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	863	2 527 10	805 912 24	676 062	513 722 377	28 097	9 225
783	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	864	2 527 24	805 912 24	677 063	513 688 006	28 094	9 224
784	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	865	2 527 38	805 912 24	678 064	513 653 635	28 091	9 223
785	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	866	2 527 52	805 912 24	679 065	513 619 264	28 088	9 222
786	2 965 00	408 282 37	519 844	574 960 561	26 5858	8 9853	867	2 527 66	805 912 24	680 066	513 584		

Nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces,

de 1

Table with 10 columns: NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES. Rows 1-900.

carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, à 1040

Table with 10 columns: NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES, NOMBRES, RACINES, CARRÉS, CUBES, RACINES, CARRÉS, SURFACES ou CERCLES, CIRCONFÉRENCES. Rows 901-1040.

GÉOMÉTRIE

LIGNES ET MESURE DE L'ESPACE

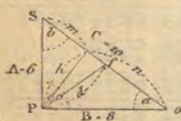
1^o Principes généraux

Angles



Angle au centre a a pour mesure gf
 Angle du segment b a pour mesure demi-arc gf
 Angle inscrit c a pour mesure demi-arc gf
 Angle excentrique e a pour mesure $\frac{gf + hr}{2}$
 Angle circonscrit d a pour mesure $\frac{gf - hn}{2}$

Triangles rectangles



1^o $C^2 : \left\{ \begin{array}{l} A^2 :: C : m \\ B^2 :: C : n \end{array} \right\}; C^2 = A^2 + B^2; C : \left\{ \begin{array}{l} A :: A : m \\ B :: B : n \end{array} \right\}$

d'où l'on tire : $C = \sqrt{A^2 + B^2} = \frac{A^2}{m} = \frac{B^2}{n}$

$$A = \sqrt{C^2 - B^2} = \sqrt{(C+B)(C-B)} = \sqrt{Cm} = \sqrt{\frac{B^2 m}{n}}$$

$$B = \sqrt{C^2 - A^2} = \sqrt{(C+A)(C-A)} = \sqrt{Cn} = \sqrt{\frac{A^2 n}{m}}$$

$$m = \frac{A^2}{C} = \frac{A^2 n}{B^2}; \quad n = \frac{B^2}{C} = \frac{B^2 m}{A^2}$$

Si d est menée de P sur le milieu de C on aura $C = 2d$



2^o $d^2 : b^2 :: m : n; \quad m : h :: h : n; \quad D : \left\{ \begin{array}{l} d :: d : m \\ b :: b : n \\ d :: b : h \end{array} \right\}$

d'où l'on tire :

$$D = \sqrt{b^2 + d^2} = \frac{db}{h} = \frac{d^2}{m} = \frac{b^2}{n}; \quad d = \frac{Dh}{b} = \sqrt{Dm} = \sqrt{\frac{b^2 m}{n}}$$

$$b = \frac{Dh}{d} = \sqrt{Dn} = \frac{\sqrt{d^2 n}}{m}; \quad m = \frac{d^2}{D} = \frac{h^2}{n} = \frac{d^2 n}{b^2}$$

$$n = \frac{b^2}{D} = \frac{h^2}{m} = \frac{b^2 m}{d^2}; \quad h = \frac{db}{D} = \sqrt{mn}$$

On a aussi : cercle $D =$ cercle $d +$ cercle b ; $\frac{1}{2}$ cercle $b =$ secteur c ;
 $\frac{1}{2}$ cercle $d =$ secteur a ; lunule $l =$ triangle t ; lunule $L =$ triangle T .

Triangles quelconques

Si a est aigu : $a + b + c = 180^\circ; \quad A^2 = B^2 + C^2 - 2Bn$

d'où l'on tire :

$$n = \frac{B^2 + C^2 - A^2}{2B}; \quad B = n \pm \sqrt{A^2 - C^2 + n^2}$$

$$m = \sqrt{A^2 - C^2 + n^2}; \quad C = \sqrt{A^2 - B^2 + 2Bn}$$



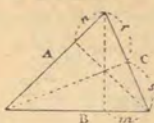
Si d divise la base en deux parties égales, $m = n$, on aura :

Si a est obtus : $a + b + c = 180^\circ$;

$$A^2 + C^2 = 2d^2 + 2m^2$$

$$A^2 = B^2 + C^2 + 2Bn$$

d'où l'on tire : $n = \frac{A^2 - B^2 - C^2}{2B}$; $B = -n \pm \sqrt{A^2 - C^2 + n^2}$



$$m = \sqrt{A^2 - C^2 + n^2} ; C = \sqrt{A^2 - B^2 - 2Bn}$$

On a aussi :

$$Cs = Bm ; An = Cr$$

Les droites intérieures sont perpendiculaires à chacun des côtés.

La droite qui joint les points milieux de deux côtés d'un triangle est parallèle au troisième côté.

La bissectrice de l'angle d'un triangle partage le côté opposé en segments proportionnels aux côtés adjacents et réciproquement.

Les trois médianes se coupent en un même point qui est le centre de gravité du triangle.

Les trois hauteurs se coupent en un même point.

Parallélogrammes

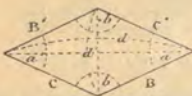
$$a = a' ; b = b' ; B = B' ; C = C'$$

$$2a + 2b = 360^\circ ; 2(B^2 + C^2) = (d^2 + d'^2)$$

d'où l'on tire :

$$B = \sqrt{\frac{d^2 + d'^2}{2} - C^2} ; C = \sqrt{\frac{d^2 + d'^2}{2} - B^2}$$

$$d = \sqrt{2(B^2 + C^2) - d'^2} ; d' = \sqrt{2(B^2 + C^2) - d^2}$$



Trapèzes

La somme des carrés des deux côtés non parallèles est égale à la somme des carrés des diagonales, moins deux fois le produit des deux bases parallèles.

$$A^2 + C^2 = d^2 + d'^2 - 2Bb$$

Et si b' est menée par les milieux de A et de C , on aura

$$b' = \frac{B + b}{2} \text{ et } m = \frac{B - b}{2}$$

m étant la portion de b' interceptée entre les diagonales d et d' .



Normales au diamètre

$$m : h :: h : n$$

d'où :

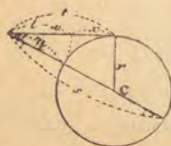
$$h^2 = mn ; h = \sqrt{mn} ; m = \frac{h^2}{n} ; n = \frac{h^2}{m}$$

Tangentes et Sécantes

$$s : t :: t : m$$

d'où :

$$t^2 = sm ; t = \sqrt{sm} ; s = \frac{t^2}{m} ; m = \frac{t^2}{s}$$



Tangente commune à deux cercles



$$R + r : p + q :: \left\{ \begin{array}{l} R : p \\ r : q \end{array} \right\}$$

$$p = \frac{R(p+q)}{R+r} = \frac{Rq}{r};$$

$$q = \frac{r(p+q)}{R+r} = \frac{pr}{R};$$

$$R = \frac{p(R+r)}{p+q} = \frac{pr}{q}; \quad r = \frac{q(R+r)}{p+q} = \frac{Rq}{p};$$

$$(R+r) = \frac{r(p+q)}{q} = \frac{R(p+q)}{p} = \frac{pr}{q} + r = \frac{qR}{p} + R$$

Sécantes



$$s : s' :: n : m$$

d'où :

$$sm = s'n; \quad s = \frac{s'n}{m}; \quad s' = \frac{sm}{n}; \quad m = \frac{s'n}{s}; \quad n = \frac{sm}{s'}$$

Triangles inscrits et circonscrits

1° Si par un point quelconque de la circonférence on élève des perpendiculaires sur chacun des côtés du triangle, les pieds de ces perpendiculaires seront en ligne droite.

2° Les trois perpendiculaires élevées sur les milieux des côtés se coupent en un même point qui est le centre du cercle inscrit.

3° Les trois bissectrices se coupent en un même point qui est le centre du cercle circonscrit.

Quadrilatères inscrits



$$dd' = AC + BD; \quad \frac{d}{d'} = \frac{AD + BC}{AB + CD};$$

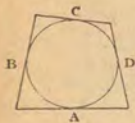
$$d = \frac{AC + BD}{d'}; \quad d' = \frac{AC + BD}{d};$$

$$A = \frac{dd' - BD}{C}; \quad B = \frac{dd' - AC}{D};$$

$$C = \frac{dd' - BD}{A}; \quad D = \frac{dd' - AC}{B}$$

Les angles opposés sont supplémentaires.

Quadrilatères circonscrits



$$A + C = B + D$$

Dans tout polygone circonscrit, d'un nombre pair de côtés, la somme des côtés de rang pair est égale à la somme des côtés de rang impair; il en est de même des angles.

Quadrilatères quelconques



$$A^2 + B^2 + C^2 + D^2 = d^2 + d'^2 + 4f^2$$

f = ligne joignant les milieux de d et d' .

Les milieux des quatre côtés sont les sommets d'un parallélogramme.

Les droites qui joignent les milieux des côtés opposés se coupent mutuellement en deux parties égales.

Les bissectrices des angles intérieurs prolongées forment un nouveau quadrilatère qui est inscriptible.

Partager une ligne en moyenne et extrême raison

On doit avoir :

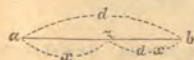
$$d : x :: x : d - x$$

d'où l'on tire :

$$x^2 = d(d - x) = d^2 - dx;$$

et :

$$\begin{aligned} x &= -\frac{d}{2} \pm \sqrt{\frac{5}{4}d^2} = -\frac{d}{2} \pm 1,11804 d \\ &= \frac{d}{2} (\pm \sqrt{5} - 1) = \frac{d}{2} (+ 2,23607 - 1) \end{aligned}$$



Construction graphique. — Soit t cette ligne, j'élève à l'extrémité la perpendiculaire r que je fais $= \frac{1}{2}t$. Du point C , comme centre, je décris la circonférence et mène la sécante s . Je porte m sur t , en $t - x$, et j'ai :

$$t : x :: x : t - x$$

Trouver une moyenne proportionnelle à deux droites données

Soient m et n les deux droites. Je les mets bout à bout, ce qui me donne la ligne D sur laquelle, prise pour diamètre, je décris une circonférence, puis à la jonction des deux lignes j'élève h perpendiculaire sur D et j'ai :



$$m : h :: h : n,$$

d'où :

$$h^2 = mn$$

Trouver une troisième proportionnelle à deux droites données

Faire un angle arbitraire, porter la ligne b sur un des côtés de l'angle, et la ligne a sur les deux côtés, joindre b avec a par la ligne c , mener une parallèle d à c , et l'on aura x pour la troisième proportionnelle, c'est-à-dire :



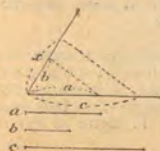
$$a : b :: x : a$$

d'où :

$$x = \frac{a^2}{b}$$

Trouver une quatrième proportionnelle à trois droites données

Faire la construction ci-dessus, porter a , b et c comme l'indique la figure, on a x pour la quatrième proportionnelle; en effet :



$$a : b :: c : x$$

d'où :

$$x = \frac{bc}{a}$$

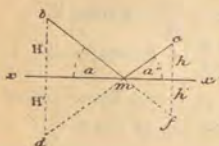


Décrire sur une droite un segment capable d'un angle donné

Soit a angle et b la ligne donnée : je fais en B un angle = a , puis j'éleve au point B une perpendiculaire à Bg et une autre au milieu de b . Le point d'intersection c sera le centre du cercle et on aura :

$d = a$, et, par suite, AMB est le segment demandé.

Deux points étant donnés, mener par chacun d'eux des droites qui fassent avec l'horizon deux angles adjacents égaux



Des points donnés b et c , élever les perpendiculaires Hh à la ligne d'horizon xx' , porter H en H' , h en h' , et mener les droites dc , cf qui forment les angles demandés $a = a'$.

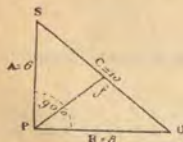
La ligne brisée bmc sera le plus court chemin pour aller de b en c , en touchant xx' .

Partager l'angle de deux droites dont le sommet n'est pas déterminé



Mener arbitrairement la droite mn , puis les bissectrices des angles a , b , c , d . Elles concourent deux à deux au même point de la droite divisant l'angle donné en deux parties égales.

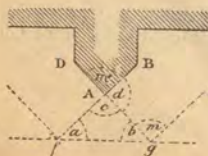
Mener une perpendiculaire à une droite donnée au moyen de la chaîne d'arpenteur



Porter sur la droite donnée suivant B une longueur de 8 mètres de O en P. Du point O comme centre et avec un rayon égal à 10 mètres, longueur de la chaîne, on prend ensuite le milieu f et l'on tend la chaîne suivant P/O, puis ayant marqué le point g on porte le côté Pf de f en S suivant O/S. La droite PS sera la perpendiculaire demandée.

$$C^2 = A^2 + B^2; \text{ ou } 10^2 = 6^2 + 8^2 = 36 + 64 = 100$$

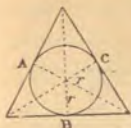
On obtiendrait le même résultat en prenant arbitrairement la distance PO sur les extrémités de laquelle on fixe les deux bouts de la chaîne, on prend ensuite le milieu f et l'on tend la chaîne suivant P/O, puis ayant marqué le point g on porte le côté Pf de f en S suivant O/S. La droite PS sera la perpendiculaire demandée.



Tracer une ligne parallèle à une droite inaccessible

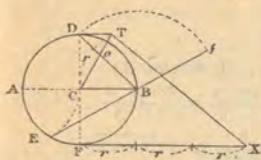
Pour tracer une parallèle à AB , je marque un point f sur le prolongement de AB et un point g sur le prolongement de AD . Je prends la mesure des angles a et b d'où je connais l'angle $d = 180^\circ - c$. Au point g , je fais $m = m' = c$; la ligne gh est la parallèle demandée.

Inscrire un cercle dans un triangle



Mener les bissectrices des angles, elles concourent au même point qui est le centre du cercle. De ce centre abaisser des perpendiculaires sur chacun des côtés, et on aura le rayon du cercle.

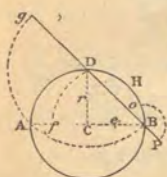
Rapport graphique de la circonférence au diamètre



1^o Menez le rayon DC perpendiculairement sur AB; portez le rayon AC de A en E. Menez la corde EB prolongée. Portez sur ce prolongement de B en f la corde BD, Ef sera la demi-circonférence développée :

$$= r \times 3,44626$$

Ce tracé donne pour le développement de la demi-circonférence une erreur en trop de 0,00467.



2^o Menez le rayon CD perpendiculairement sur AB. Portez DB de D en g. Prenez le milieu o de CB et décrivez Df. Portez BH = fC, et du milieu o de BH et du point B comme centre décrivez oP. La ligne Pg sera la demi-circonférence développée :

$$= r \times 3,441296$$

Ce tracé donne pour le développement de la demi-circonférence une erreur en moins de 0,000296.

3^o A chacune des extrémités D et F du diamètre DF élevez des perpendiculaires indéfinies, menez CB parallèle à ces tangentes. Du point B avec BC pour rayon, recoupez la circonférence en o; menez par C et o la droite Co jusqu'à la rencontre T de la perpendiculaire DT. Portez sur la tangente FX, de F vers X, trois rayons BC. Menez TX; TX est égale à la longueur approchée de la demi-circonférence :

$$= r \times 3,44153$$

Ce tracé, le plus exact des trois proposés, donne pour le développement de la demi-circonférence une erreur en moins de 0,00006.

2^o Évaluation des lignes et angles

Carré (Diagonale d, côté c)

$$d = \sqrt{2} c^2 = c \sqrt{2} = c \times 1,41421\ 36$$

$$\sqrt{2} = 1,41421\ 35625$$

$$c = \sqrt{\frac{d^2}{2}} = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{d}{2} \sqrt{2} = d \times 0,70710\ 68$$

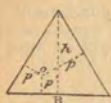


Losange (Diagonales d et d', côté B)

$$d = d' \sqrt{3} = d' \times 1,73205\ 08$$

$$B = d' = \frac{d}{\sqrt{3}} = \frac{d}{3} \sqrt{3} = d \times 0,57735\ 03$$



Triangle équilatéral (Hauteur h , base B)

$$h = \frac{B\sqrt{3}}{2} = B \times 0,86602\ 54$$

$$\sqrt{3} = 1,73205\ 08075$$

$$B = \frac{2h}{\sqrt{3}} = \frac{2}{3} h \sqrt{3} = h \times 1,15470\ 05$$

Si d'un point o , intérieur au triangle, on élève des perpendiculaires sur chacun des côtés, on aura :

$$p + p' + p'' = h$$

Triangles rectangles (Côtés A, B, C , hauteur h)

$$A = C \sin. a = C \cos. b = \frac{B \sin. a}{\sin. b} = \frac{B \cos. b}{\cos. a}$$

$$= B \tan g. a = B \cot. b = \frac{B}{\tan g. b} = \sqrt{C^2 - B^2}$$

$$= \sqrt{(C + B)(C - B)} = \sqrt{Cm} = \sqrt{\frac{B^2 m}{n}}$$

$$B = C \sin. b = C \cos. a = \frac{A \sin. b}{\sin. a} = \frac{A \cos. a}{\cos. b} = A \tan g. b = A \cot. a$$

$$= \frac{A}{\tan g. a} = \sqrt{C^2 - A^2} = \sqrt{(C + A)(C - A)} = \sqrt{Cn} = \sqrt{\frac{A^2 n}{m}}$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} = \frac{A^2}{m} = \frac{B^2}{n} = \frac{A}{\sin. a} = \frac{B}{\sin. b} = A \sec. b = B \sec. a$$

$$h = \frac{AB}{C} = \sqrt{mn} = A \cos. b = B \sin. a = C \sin. a \cos. b = C \sin. b \sin. a$$

$$\cos. a = \sin. b = \frac{B}{C}; \quad \tan g. a = \frac{A}{B};$$

$$\cos. b = \sin. a = \frac{A}{C}; \quad \tan g. b = \frac{B}{A}$$

$$C - B = A \tan g. \frac{1}{2} a; \quad \tan g. \frac{1}{2} a = \frac{C - B}{A}$$

$$C - A = B \tan g. \frac{1}{2} b; \quad \tan g. \frac{1}{2} b = \frac{C - A}{B}$$

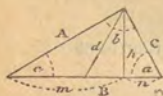
Triangles quelconques

1° *Connaissant les trois côtés :*

$$B : A + C :: A - C : m - n;$$

$$m - n = \frac{(A + C)(A - C)}{B} = \frac{A^2 - C^2}{B}$$

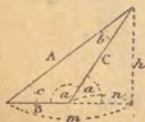
$$h = C \sin. a = A \sin. c = \frac{B}{\cot. a + \cot. c}$$



$$B : A + C :: A - C : m + n;$$

$$m + n = \frac{(A + C)(A - C)}{B} = \frac{A^2 - C^2}{B}$$

$$h = C \sin. a' = C \sin. a = A \sin. c$$



Et pour les deux cas :

$$A^2 = B^2 + C^2 - 2BC \cos. a; \quad B^2 = A^2 + C^2 - 2AC \cos. b, \text{ etc.}$$

$$A = \sqrt{B^2 + C^2 - 2BC \cos. a} = C \cos. b \pm \sqrt{B^2 - C^2 \sin.^2 b} = \frac{B \sin. a}{\sin. b} \\ = \frac{C \sin. a}{\sin. c} = B \cos. c + C \cos. b$$

$$B = \sqrt{A^2 + C^2 - 2AC \cos. b} = C \cos. a \pm \sqrt{A^2 - C^2 \sin.^2 a} = \frac{A \sin. b}{\sin. a} \\ = \frac{C \sin. b}{\sin. c} = A \cos. c + C \cos. a$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos. c} = B \cos. a \pm \sqrt{A^2 - B^2 \sin.^2 a} = \frac{A \sin. c}{\sin. a} \\ = \frac{B \sin. c}{\sin. b} = A \cos. b + B \cos. a$$

$$\cos. a = \frac{B^2 + C^2 - A^2}{2BC} = \frac{n}{C}; \quad \cos. c = \frac{m}{A}$$

Si on fait $A + B + C = 2p$ on aura :

$$\sin. \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{(p-B)(p-C)}{BC}}; \quad \sin. \frac{1}{2} b = \sqrt{\frac{(p-A)(p-C)}{AC}}$$

$$\sin. \frac{1}{2} c = \sqrt{\frac{(p-A)(p-B)}{AB}}$$

$$\cos. \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{p(p-A)}{BC}}; \quad \cos. \frac{1}{2} b = \sqrt{\frac{p(p-B)}{AC}};$$

$$\cos. \frac{1}{2} c = \sqrt{\frac{p(p-C)}{AB}}$$

$$\text{Tang. } \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{(p-B)(p-C)}{p(p-A)}}; \quad \text{Tang. } \frac{1}{2} b = \sqrt{\frac{(p-A)(p-C)}{p(p-B)}}$$

$$\text{Tang. } \frac{1}{2} c = \sqrt{\frac{(p-A)(p-B)}{p(p-C)}}$$

$$\sin. a = 2 \sqrt{\frac{p(p-A)(p-B)(p-C)}{B^2 C^2}}$$

2° *Connaissant deux côtés A et B et l'angle opposé a :*

$$\sin. b : \sin. a :: B : A; \quad \sin. b = \frac{B \sin. a}{A};$$

$$C = \frac{A \sin. c}{\sin. a} = \frac{B \sin. c}{\sin. b} = \sqrt{A^2 + B^2 - (2AB \cos. c)}$$

3° *Connaissant deux côtés A et B et l'angle compris c :*

$$a + b = 180^\circ - c; \quad A + B : A - B :: \begin{cases} \text{tang. } \frac{1}{2} (a + b) : \text{tang. } \frac{1}{2} (a - b) \\ \sin. a + \sin. b : \sin. a - \sin. b \end{cases}$$

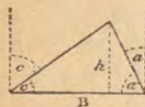
$$\text{Tang. } \frac{1}{2} (a - b) = \frac{A - B}{A + B} \text{ tang. } \frac{1}{2} (a + b);$$

$$\text{Sin. } a - \text{sin. } b = \frac{A - B}{A + B} (\text{sin. } a + \text{sin. } b)$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \cos. c} = \frac{A \sin. c}{\text{sin. } a} = \frac{(A + B) \sin. \frac{1}{2} c}{\cos. \frac{1}{2} (a - b)};$$

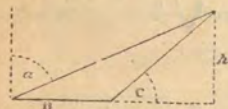
$$\text{sin. } a = \frac{A \sin. c}{C}; \text{ etc.}$$

4° Connaissant la base B et deux angles adjacents a', c' :



$$h = \frac{B}{\text{tang. } c + \text{tang. } a}$$

$$B = h (\text{tang. } c + \text{tang. } a)$$

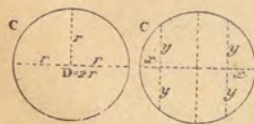


$$h = \frac{B}{\text{tang. } c - \text{tang. } a}$$

$$B = h (\text{tang. } c - \text{tang. } a)$$

Circonférence du cercle

Périmètre C, rayon r, diamètre D, ordonnées y, abscisses x.



$$1 : 2\pi :: r : C$$

$$\pi = 3,14159\ 26535; \text{ et approximativement :}$$

$$\pi = \frac{22}{7} = \frac{355}{113}$$

$$\text{Log. } \pi = 0,49714\ 98727$$

$$C = 2\pi r = r \times 6,28318\ 53 = D \times 3,14159\ 265$$

$$r = \frac{1}{2} D = \frac{C}{2\pi} = C \times 0,15915\ 49$$

$$D = 2r = \frac{C}{\pi} = C \times 0,31830\ 989$$

L'équation du cercle étant : $x^2 + y^2 = r^2$.

Si l'origine des abscisses x est sur la circonférence, on aura :

$$y = \pm \sqrt{2rx - x^2}; \quad x = r \mp \sqrt{r^2 - y^2}$$

Et si l'on prend l'origine des abscisses au centre :

$$y = \pm \sqrt{r^2 - x^2}; \quad x = \pm \sqrt{r^2 - y^2}$$

Secteur de cercle

Périmètre p , rayon r , diamètre d , angle a .

$$p = \frac{\pi r a}{180^\circ} = r a \times 0,01745\ 329 = d a \times 0,00872\ 665$$

$$r = \frac{180^\circ p}{\pi a} = \frac{p}{a} \times 57,29577\ 951$$

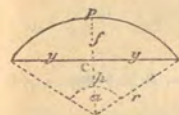
$$d = 2r = \frac{360p}{\pi a} = \frac{p}{a} \times 114,59155\ 903$$

$$a = \frac{180^\circ p}{\pi r} = \frac{p}{r} \times 57,29577\ 951 = \frac{p}{d} \times 114,59155\ 903$$

Segment de cercle

Périmètre p , $1/2$ corde y , corde c , flèche f , rayon r , diam. d , sin. $\frac{1}{2} a$,

$$\cos. \frac{1}{2} a, \text{ tang. } \frac{1}{2} a, \text{ cot. } \frac{1}{2} a, h$$

 s = surface triangle Ch

$$p = \frac{\pi r a}{180^\circ} = r a \times 0,01745\ 329 = d a \times 0,00872\ 665$$

$$y = r \sin. \frac{1}{2} a = \frac{h \sin. \frac{1}{2} a}{\cos. \frac{1}{2} a} = h \text{ tang. } \frac{1}{2} a = \sqrt{2rf - f^2} = \sqrt{af - f^2}$$

$$= \sqrt{r^2 - h^2} = \frac{s}{h}$$

$$C = 2r \sin. \frac{1}{2} a = d \sin. \frac{1}{2} a = 2\sqrt{2rf - f^2} = 2\sqrt{af - f^2} = 2\sqrt{r^2 - h^2} = \frac{2s}{h}$$

$$f = r \left(1 - \cos. \frac{1}{2} a \right) = r \left(2 \sin.^2 \frac{1}{4} a \right) = d \left(\frac{1 - \cos. \frac{1}{2} a}{2} \right)$$

$$= r - \sqrt{r^2 - y^2} = \frac{d}{2} - \frac{\sqrt{d^2 - C^2}}{2} = r - \frac{2s}{C}$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{C}{2 \sin. \frac{1}{2} a} = \frac{f}{1 - \cos. \frac{1}{2} a} = \frac{y}{\sin. \frac{1}{2} a} = \frac{h}{\cos. \frac{1}{2} a} = \frac{s}{y \cos. \frac{1}{2} a}$$

$$= \frac{y^2 + f^2}{2f} = \sqrt{y^2 + h^2}$$

$$d = 2r = \frac{C}{\sin. \frac{1}{2} a} = \frac{2f}{1 - \cos. \frac{1}{2} a} = \frac{2y}{\sin. \frac{1}{2} a} = \frac{2h}{\cos. \frac{1}{2} a} = \frac{2s}{h \sin. \frac{1}{2} a}$$

$$= f + \frac{y^2}{f} = 2\sqrt{y^2 + h^2}$$

$$\text{Sin. } \frac{1}{2} a = \frac{y}{r} = \frac{C}{d} = \frac{2fy}{y^2 + f^2} = \frac{\sqrt{2rf - f^2}}{r} = \frac{2\sqrt{af - f^2}}{d} = \frac{s}{hr}$$

$$\text{Cos. } \frac{1}{2} a = \frac{h}{r} = \frac{2h}{d} = \frac{r-f}{r} = \frac{d-2f}{d} = \frac{s}{yr}$$

$$\text{Tang. } \frac{1}{2} a = \frac{y}{h}; \quad \text{cot. } \frac{1}{2} a = \frac{h}{y}; \quad \text{tang. } \frac{1}{4} a = \frac{f}{y} \quad \text{cot. } \frac{1}{4} a = \frac{y}{f}$$

$$\text{Sin. } \frac{1}{4} a = \sqrt{\frac{f}{d}}; \quad \text{cos. } \frac{1}{4} a = \sqrt{\frac{C}{d}}$$

$$h = r \text{ cos. } \frac{1}{2} a = \frac{y \text{ cos. } \frac{1}{2} a}{\text{sin. } \frac{1}{2} a} = y \text{ cot. } \frac{1}{2} a = \sqrt{(r+y)(r-y)} = \sqrt{r^2 - y^2}$$

$$= \frac{\sqrt{d^2 - C^2}}{2} = \frac{2s}{C}$$



Rayon du cercle inscrit

$$A + B + C = 2p$$

$$r = \sqrt{\frac{(p-A)(p-B)(p-C)}{p}}$$

$$= p(p-A-B-C) + A(B+C-BC) + BC$$

Rayon du cercle circonscrit et côtés du triangle inscrit

$$A + B + C = 2p$$

$$r = \frac{ABC}{4\sqrt{p(p-A)(p-B)(p-C)}}$$

$$B = \frac{C\sqrt{4r^2 - A^2} + A\sqrt{4r^2 - C^2}}{2r}$$

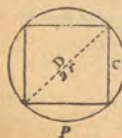
$$A = \frac{C\sqrt{4r^2 - B^2} + B\sqrt{4r^2 - C^2}}{2r}$$

$$C = \frac{B\sqrt{4r^2 - A^2} + A\sqrt{4r^2 - B^2}}{2r}$$



Carré inscrit

Côté C, diagonale D, rayon r, circonférence p



$$C = \frac{2r}{\sqrt{2}} = r\sqrt{2} = r \times 1,41421\ 36 = D \times 0,70710\ 68$$

$$= p \times 0,22507\ 88$$

$$D = 2r = \frac{C}{0,70711} = C \times 1,41421\ 36 = p \times 0,51850\ 989$$

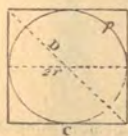
$$r = D \times 0,50 = C \times 0,70710\ 68 = p \times 0,15915\ 49$$

$$p = r \times 6,28318 = D \times 3,14159 = C \times 4,44288\ 29$$

Carré circonscrit

Côté C, diagonale D, rayon r, circonférence p

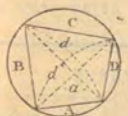
$$C = 2r = D \frac{1}{\sqrt{2}} = D \times 0,70711 = p \times 0,51850 \ 99$$



$$D = r\sqrt{8} = r \times 2,82842 \ 71 = C \times 1,41421 = p \times 0,45015 \ 72$$

$$r = D \frac{1}{\sqrt{8}} = D \times 0,35355 \ 359 = C \times 0,50 = p \times 0,45015 \ 49$$

$$p = D \frac{\pi}{\sqrt{2}} = D \times 2,22144 \ 05 = r \times 6,28318 = C \times 3,44159$$

Quadrilatère inscrit (diagonales)

$$d = \sqrt{\frac{(AC + BD)(AD + BC)}{AB + CD}}$$

$$d' = \sqrt{\frac{(AC + BD)(AB + CD)}{AD + BC}}$$

Triangle équilatéral inscrit et triangle équilatéral circonscrit

Côté B, hauteur h, rayon R du cercle circonscrit, rayon r du cercle inscrit

$$B = R\sqrt{3} = \sqrt{4h(2R - h)} = \frac{h\sqrt{3}}{1,5} = 2r\sqrt{3} = R \times 1,73205 \ 03$$

$$= h \times 1,15470 \ 05 = r \times 3,46410 \ 16$$

$$h = \frac{1,5 B}{\sqrt{3}} = B \times 0,86602 \ 54 = 1,5 R = 3r$$



$$R = \frac{B}{\sqrt{3}} = 2r = B \times 0,57735 \ 027 = \frac{B^2}{8h} + \frac{h}{2} = h \times 0,66666 \ 67$$

$$= \frac{h}{1,5}$$

$$r = \frac{B}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{3} h = h \times 0,33333 \ 33 = \frac{1}{2} R = B \times 0,28867 \ 51$$

Polygones réguliers inscrits et circonscrits

Pour inscrire dans un cercle, dont le rayon est r, un polygone régulier de n côtés, on obtiendra le côté c et l'apothème h, en faisant :

Pour le triangle équilatéral :

$$c = r\sqrt{3} = 2r \sin. 60^\circ; \quad h = \frac{5}{2} r; \quad r = \frac{2}{3} h = c \times 0,37735$$

Dans ces deux dernières formules h = la hauteur du triangle, l'apothème = $\frac{1}{2} r$.

Pour le carré :

$$c = r\sqrt{2} = 2r \sin. 45^\circ; \quad h = \frac{cr}{2}; \quad r = c \times 0,70711$$

Et pour les autres polygones :

$$c = 2r \sin. \left(\frac{180^\circ}{n} \right); h = r \cos. \left(\frac{180^\circ}{n} \right) = \sqrt{\left(r^2 - \frac{1}{4} c^2 \right)}; r = \sqrt{\frac{1}{4} c^2 + h^2}$$

Pour le côté c' du triangle équilatéral circonscrit :

$$c' = 2r\sqrt{3}; \quad h = 3r; \quad r = c' \times 0,28867 \ 513$$

Et pour le côté c' du polygone circonscrit semblable :

$$c' = \frac{cr}{h} = 2r \text{ tang.} \left(\frac{180^\circ}{n} \right)$$

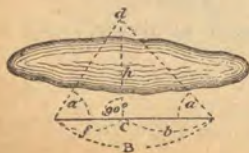
On obtiendrait le côté c'' d'un polygone régulier inscrit d'un nombre double de côtés en faisant :

$$c'' = \sqrt{2r(r-h)}$$

Côtés et rayons droits des polygones réguliers inscrits à un cercle de un mètre de rayon

NOMBRE DE CÔTÉS.	VALEUR DU CÔTÉ C EN FONCTION DE :			APOTHÈME.		
	FORMULES.	RAYON = 1	APOTHÈME = 1	SURFACE = 1	FORMULES.	VALEURS (r = 1)
3	$r\sqrt{3}$	1,732050	0,577350	1,519671	$\frac{1}{2} r$	0,500000
4	$r\sqrt{2}$	1,414214	0,707107	1,000000	$\frac{1}{2} r\sqrt{2}$	0,707107
5	$\frac{1}{2} r \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$	1,175570	0,850651	0,762387	$\frac{1}{4} r (1 + \sqrt{5})$	0,809017
6	r	1,000000	0,866025	0,620405	$\frac{1}{2} r\sqrt{3}$	0,866025
7	$2r \sin. 25^\circ 42' 51''$	0,867767	0,963149	0,524581	$r \cos. 25^\circ 42' 51''$	0,900970
8	$r \sqrt{2 - \sqrt{2}}$	0,765367	0,828427	0,455090	$\frac{1}{2} r \sqrt{2 + \sqrt{2}}$	0,923880
9	$2r \sin. 20^\circ$	0,684040	0,727940	0,402200	$r \cos. 20^\circ$	0,939695
10	$\frac{1}{4} r (\sqrt{5} - 1)$	0,618034	0,649839	0,360511	$\frac{1}{4} r \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$	0,951057
11	$2r \sin. 16^\circ 21' 49''$	0,563463	0,587255	0,326762	$r \cos. 16^\circ 21' 49''$	0,959477
12	$r \sqrt{2 - \sqrt{3}}$	0,517658	0,535898	0,298838	$\frac{1}{2} r \sqrt{2 + \sqrt{3}}$	0,963926
15	$2r \sin. 12^\circ$	0,415825	0,425415	0,258079	$r \cos. 12^\circ$	0,978148
18	$2r \sin. 10^\circ$	0,517293	0,532634	0,197949	$r \cos. 10^\circ$	0,984808
20	$2r \sin. 9^\circ$	0,512869	0,516769	0,177980	$r \cos. 9^\circ$	0,987688

Mesure des distances inaccessibles



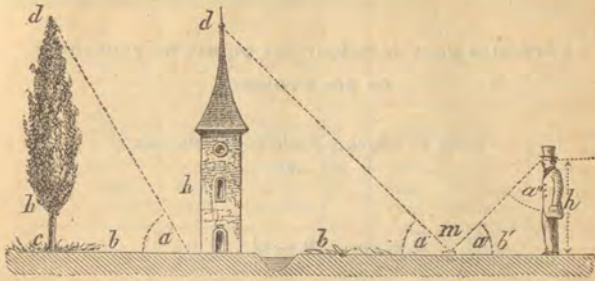
1° Soit à trouver $Cd = h$ inaccessible. Prendre une base b perpendiculaire à h et mesurer a , on aura :

$$h = b \text{ tang. } a$$

Si on fait $a = 45^\circ$, $h = b$; si a et $a' = 60^\circ$.

$$h = \frac{B\sqrt{3}}{2} = B \times 0,86602 \ 54$$

2° La hauteur h d'un arbre sera $h = b \operatorname{tang} a$, b étant horizontal.



3° Si l'opérateur est muni d'un miroir m qu'il dispose horizontalement, à une distance $b' = h'$, de telle sorte qu'il puisse apercevoir le sommet d de l'édifice, on aura :

$$a = a' = a'' \text{ et } h' = b', h = b$$

4° Soit encore b ombre portée sur un plan horizontal par un arbre ou un édifice, b' ombre portée par un objet vertical h' , on aura la proportion :

$$h' : b' :: h : b$$

D'où :

$$h = \frac{h' b}{b'}$$

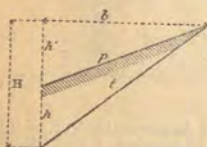
Relations entre les cercles et les carrés

Côté du carré inscrit . . .	$\times 4,44288 \ 29 =$	la circonférence du cercle circon-
_____ id. _____	$\times 1,41421 \ 56 =$	le diamètre du cercle circonscrit.
_____ id. _____	$\times 0,70710 \ 68 =$	le rayon _____ id. _____
Côté du carré circonscrit	$\times 5,14159 \ 26 =$	la circonférence du cercle inscrit.
_____ id. _____	$\times 1$	le diamètre _____ id. _____
_____ id. _____	$\times 0,5$	le rayon _____ id. _____
Circonférence du cercle .	$\times 0,45015 \ 72 =$	la diagonale du carré circonscrit.
_____ id. _____	$\times 0,51850 \ 99 =$	son diamètre ou côté du carré circonscrit.
Circonférence du cercle .	$\times 0,15915 \ 49 =$	son rayon.
_____ id. _____	$\times 0,22507 \ 85 =$	le côté du carré inscrit.
Diamètre du cercle . . .	$\times 0,70710 \ 68 =$	_____ id. _____
_____ id. _____	$\times 0,88622 \ 69 =$	} le côté d'un carré de même sur-
Circonférence du cercle .	$\times 0,28209 \ 48 =$	
Côté d'un carré	$\times 1,12857 \ 92 =$	le diamètre d'un cercle de même
_____ id. _____	$\times 5,54490 \ 77 =$	surface.
		la circonférence d'un cercle de
		même surface.

Surface cercle.	× 0,65661 98 =	la surface du carré inscrit.
— id. —	× 1,27525 95 =	— id. — circonscrit.
Surface carré inscrit . . .	× 1,57079 63 =	la surface du cercle circonscrit.
— id. — circonscrit.	× 0,78539 82 =	— id. — inscrit.

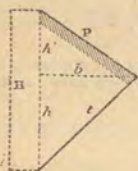
Formules pour le calcul des points de rencontre de deux rampes

t pente du projet, p pente du terrain naturel
par mètre



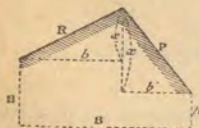
$$h' = bp; \quad H = bt$$

$$h = H - h' = b(t - p); \quad b = \frac{H}{t} = \frac{h}{t - p}$$



$$h = bt; \quad h' = bp$$

$$H = h + h' = b(t + p); \quad b = \frac{H}{t + p}$$



$$x = bR = bP - (H - h) = \left(b - \frac{H + h}{P} \right) \frac{PR}{P + R}$$

$$= \frac{(bP - H + h) R}{P + R}$$

$$b = \frac{x}{R}; \quad b' = \frac{x + H - h}{P} = \frac{x'}{P}$$

$$B = \frac{x}{R} + \frac{x}{P} + \frac{H - h}{P} = \frac{x(P + R)}{PR} + \frac{H - h}{P} = \frac{x}{R} + \frac{x'}{P}$$

$$x' = x + (H - h)$$

Les formules qui précèdent peuvent servir à la construction de tables pour le calcul des bases des triangles en déblai ou en remblai; car l'équation $b = \frac{h}{t - p}$ peut se mettre sous la forme $b = h \times \frac{1}{t - p}$. Si donc on donne à p toutes les valeurs par millimètre depuis 0^m,001 jusqu'à 1^m,000, et si l'on ajoute cette valeur à t ou qu'on l'en retranche, on aura une fraction dont on pourra tirer la valeur, et qui sera le coefficient qui, multiplié par h ou H , donnera la distance au point de passage ou la base des talus. La première colonne indique l'inclinaison du sol en millimètres, et les colonnes suivantes, les coefficients en déblai ou en remblai.

Table des coefficients donnant la base des triangles formés par les talus de déblai ou de remblai avec le sol naturel

PENTE DU TERRAIN par mètre.	DÉBLAI.		REMBLAI.		PENTE DU TERRAIN par mètre.	DÉBLAI.		REMBLAI.	
	TALUS 1 POUR 1.		TALUS 3 POUR 2.			TALUS 1 POUR 1.		TALUS 3 POUR 2.	
	COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le		COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le			COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le		COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le	
	même sens.	sens contraire	même sens.	sens contraire		même sens.	sens contraire	même sens.	sens contraire
mill.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mill.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
002	1,00200	0,99800	1,5044	1,4954	094	1,10375	0,91407	1,7461	1,3146
004	1,00401	0,99601	1,5090	1,4910	096	1,10619	0,91241	1,7525	1,3111
006	1,00605	0,99404	1,5135	1,4865	098	1,10864	0,91074	1,7585	1,3077
008	1,00806	0,99206	1,5181	1,4821	100	1,11111	0,90909	1,7646	1,3043
010	1,01010	0,99010	1,5228	1,4778	110	1,1256	0,90090	1,7964	1,2875
012	1,01215	0,98814	1,5274	1,4734	120	1,1564	0,89286	1,8292	1,2712
014	1,01420	0,98620	1,5321	1,4691	150	1,1494	0,88496	1,8653	1,2552
016	1,01626	0,98425	1,5368	1,4648	140	1,1628	0,87719	1,8987	1,2597
018	1,01835	0,98232	1,5415	1,4605	150	1,1765	0,86957	1,9353	1,2245
020	1,02042	0,98039	1,5464	1,4562	160	1,1905	0,86207	1,9736	1,2096
022	1,02249	0,97847	1,5511	1,4520	170	1,2048	0,85470	2,0154	1,1952
024	1,02459	0,97656	1,5559	1,4478	180	1,2195	0,84746	2,0547	1,1811
026	1,02669	0,97466	1,5608	1,4436	190	1,2345	0,84034	2,0979	1,1673
028	1,02880	0,97276	1,5657	1,4395	200	1,2500	0,83355	2,1428	1,1538
050	1,05092	0,97087	1,5714	1,4355	210	1,2658	0,82644	2,1897	1,1407
052	1,05306	0,96899	1,5765	1,4312	220	1,2821	0,81967	2,2388	1,1278
054	1,05519	0,96712	1,5805	1,4271	250	1,2987	0,81501	2,2900	1,1152
056	1,05734	0,96544	1,5856	1,4231	240	1,3158	0,80645	2,3457	1,1029
058	1,05950	0,96359	1,5906	1,4190	250	1,3353	0,80000	2,4000	1,0909
040	1,04167	0,96155	1,5956	1,4150	260	1,3515	0,79565	2,4590	1,0792
042	1,04384	0,95969	1,6008	1,4110	270	1,3699	0,78740	2,5210	1,0676
044	1,04602	0,95785	1,6059	1,4071	280	1,3889	0,78125	2,5862	1,0565
046	1,04821	0,95602	1,6111	1,4031	290	1,4085	0,77519	2,6548	1,0455
048	1,05042	0,95420	1,6165	1,3992	300	1,4286	0,76925	2,7272	1,0345
030	1,05265	0,95238	1,6215	1,3953	310	1,4493	0,76356	2,8038	1,02389
032	1,05485	0,95057	1,6268	1,3914	320	1,4706	0,75788	2,8846	1,01351
034	1,05708	0,94877	1,6321	1,3875	350	1,4925	0,75188	2,9702	1,00334
036	1,05952	0,94697	1,6375	1,3837	340	1,5151	0,74627	3,0612	0,99357
038	1,06157	0,94518	1,6428	1,3799	350	1,5385	0,74074	3,1578	0,98560
060	1,06385	0,94359	1,6483	1,3761	360	1,5625	0,73529	3,2608	0,97470
062	1,06610	0,94162	1,6537	1,3725	370	1,5875	0,72995	3,3707	0,96463
064	1,06857	0,93985	1,6592	1,3688	380	1,6129	0,72464	3,4885	0,95511
066	1,07066	0,93808	1,6647	1,3654	390	1,6395	0,71945	3,6144	0,94659
068	1,07296	0,93635	1,6705	1,3611	400	1,6667	0,71429	3,7500	0,93780
070	1,07527	0,93458	1,6759	1,3574	410	1,6949	0,70922	3,8961	0,92879
072	1,07759	0,93285	1,6816	1,3537	420	1,7241	0,70422	4,0540	0,92024
074	1,07991	0,93110	1,6872	1,3501	450	1,7544	0,69950	4,2255	0,91187
076	1,08225	0,92958	1,6929	1,3464	440	1,7857	0,69444	4,4117	0,90361
078	1,08460	0,92764	1,6987	1,3428	450	1,8182	0,68966	4,6154	0,89552
080	1,08694	0,92592	1,7044	1,3392	460	1,8518	0,68495	4,8387	0,88757
082	1,08952	0,92421	1,7104	1,3356	470	1,8868	0,68027	5,0847	0,87976
084	1,09170	0,92251	1,7161	1,3321	480	1,9251	0,67568	5,3571	0,87209
086	1,09409	0,92081	1,7221	1,3285	490	1,9607	0,67114	5,6602	0,86455
088	1,09641	0,91912	1,7280	1,3250	500	2,0000	0,66667	6,0000	0,85714
090	1,09890	0,91745	1,7341	1,3215	510	2,0408	0,66225	6,3829	0,84986
092	1,10152	0,91575	1,7400	1,3180	520	2,0835	0,65789	6,8181	0,84269

PENTE DU TERRAIN par mètre.	DÉBLAI.				REMBLAI.				PENTE DU TERRAIN par mètre.	DÉBLAI.				REMBLAI.			
	TALUS 1 POUR 1.				TALUS 3 POUR 2.					TALUS 1 POUR 1.				TALUS 3 POUR 2.			
	COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le				COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le					COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le				COEFFICIENTS, le terrain étant incliné dans le			
	même sens.		sens contraire		même sens.		sens contraire			même sens.		sens contraire		même sens.		sens contraire	
mill.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mill.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		
550	2,4277	0,65559	7,5170	0,85565	770	4,5478	0,56497	»	0,69605								
540	2,1759	0,64955	7,8947	0,82875	780	4,5454	0,56180	»	0,69124								
530	2,2222	0,64516	8,5714	0,82192	790	4,7619	0,55866	»	0,68650								
560	2,2727	0,64405	9,3750	0,81522	800	5,0000	0,55555	»	0,68182								
570	2,5256	0,65694	10,5448	0,80881	810	5,2651	0,55249	»	0,67720								
580	2,5809	0,65291	11,5584	0,80214	820	5,5555	0,54945	»	0,67264								
590	2,4590	0,62895	15,0454	0,79612	830	5,8825	0,54645	»	0,66815								
600	2,5000	0,62500	15,0000	0,78947	840	6,2500	0,54348	»	0,66374								
610	2,5644	0,62112	17,6470	0,78529	850	6,6667	0,54054	»	0,65954								
620	2,6516	0,61728	21,4285	0,77720	860	7,1428	0,53765	»	0,65502								
650	2,7027	0,61550	27,2727	0,77121	870	7,6923	0,53476	»	0,65076								
640	2,7778	0,60976	37,5000	0,76551	880	8,3555	0,53191	»	0,64653								
650	2,8571	0,60606	60,0000	0,75949	890	9,0909	0,52910	»	0,64240								
660	2,9412	0,60241	»	0,75377	900	10,0000	0,52651	»	0,63850								
670	3,0555	0,59880	»	0,74815	910	11,1111	0,52356	»	0,63425								
680	3,1250	0,59524	»	0,74257	920	12,5000	0,52085	»	0,63025								
690	3,2258	0,59172	»	0,73710	950	14,2857	0,51813	»	0,62650								
700	3,5555	0,58824	»	0,75171	940	16,6667	0,51546	»	0,62241								
710	3,4485	0,58480	»	0,72790	950	20,0000	0,51282	»	0,61856								
720	3,5714	0,58140	»	0,72115	960	25,0000	0,51021	»	0,61475								
750	3,7057	0,57805	»	0,71599	970	55,5555	0,50761	»	0,61100								
740	3,8461	0,57471	»	0,71090	980	50,0000	0,50505	»	0,60729								
750	4,0000	0,57145	»	0,70588	990	100,0000	0,50251	»	0,60362								
760	4,1666	0,56818	»	0,70095													

SECTIONS CONIQUES

Ellipse

Principe général : $pmf' = AB$.On doit avoir pour la distance c du centre o aux foyers f et f' :

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

Si on place l'origine des abscisses x au centre de l'ellipse, on aura pour les ordonnées y

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

Et si l'origine est en A et B :

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{2ax - x^2}$$

Or, $\sqrt{2ax - x^2}$ est l'équation de l'ordonnée d'un cercle dont le diamètre = $2a$, donc on obtiendra y en multipliant cette ordonnée par $\frac{b}{a}$ Dans la pratique on fait le plus souvent : $a = \sqrt{2b^2} = b \times 1,41421$

$$b = \frac{a}{\sqrt{2}} = a \times 0,70711$$



On a toujours : $a : r :: r : b$ (r rayon d'un cercle d'égale surface)

d'où : $r = \sqrt{ab}$; et périmètre $p = 2\pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2}e\right)^2 - \frac{1}{3}\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{5}{4}e^2\right)^2 - \frac{1}{5}\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{6}e^3\right)^2 - \dots \right]$; $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \frac{c}{a}$

On fait aussi quelquefois : $p = \pi(a + b) = (a + b) \times 3,14159$

Hyperbole

On doit toujours avoir pour tous les points de l'hyperbole :

$$AB = f'g - fg = f'o - fo$$

On obtient la distance c du centre d aux foyers f et f' en faisant :

$$c^2 = a^2 + b^2; \text{ d'où } c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

On a ensuite :

$$a^2y^2 - b^2x^2 = -a^2b^2$$

D'où l'on tire, en prenant les abscisses à partir de B :

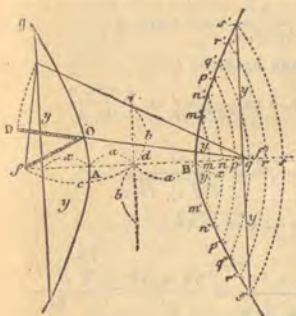
$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{2ax + x^2}$$

Et si on fait $b = a$ on aura une hyperbole équilatère dans laquelle :

$$y = \pm \sqrt{2ax + x^2}$$

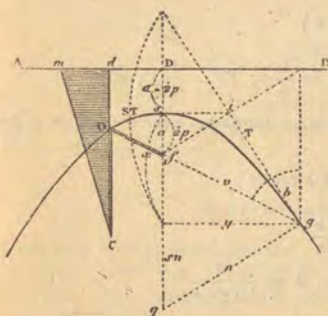
Si on prend l'origine des abscisses en d , on aura :

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{x^2 - a^2}$$



Parabole

Un point quelconque de la parabole doit être également distant du foyer f et de la directrice AB .



f foyer; $sD = sf = a = \frac{1}{2}$ paramètre;

x abscisse.

p paramètre $= 2a$; y ordonnée; v rayon vecteur.

T tangente divisant b en deux parties égales.

ST sous-tangente; n normale perpendiculaire à T .

sn sous-normale; Dq axe des x ; si axe des y .

AB directrice; fi perpendiculaire à T ; R rayon de courbure.

$$v = gB = x + a = x + \frac{1}{2}p.$$

$$y^2 = 4ax = 2px, \text{ donc } 2p : y :: y : x.$$

$$y = \pm \sqrt{2px}; \quad x = \frac{y^2}{2p}; \quad p = \frac{y^2}{2x}; \quad sn = 2a = p.$$

$$n = \sqrt{2px + p^2} = \sqrt{y^2 + p^2}; \quad T = \sqrt{2px + 4x^2} = \sqrt{y^2 + 4x^2}.$$

$$ST = 2x; \quad \widehat{fi} = va = a^2 + ax; \quad R = \frac{n^3}{p^2}.$$

Le rayon de courbure, au sommet, est égal à p .

TRACÉ DES COURBES

1° CERCLES

Méthodes diverses pour le tracé des cercles et des arcs de cercle

1° Par cordes et flèches

Après avoir mesuré l'angles des deux alignements on fera $a = 90^\circ - \frac{1}{2} s = 90^\circ - d$ et si le rayon est donné, on déterminera les points d'intersection A et B en faisant :

$$t = \frac{r}{\text{tang. } d} = r \text{ tang. } a$$

Et si t était donné on ferait :

$$r = t \text{ tang. } d = \frac{t}{\text{tang. } a} = \frac{t \cos. a}{\sin. a}$$



On aura ensuite :

$$\text{Corde } C = 2r \sin. \frac{1}{2} b = 2\sqrt{2rf - f^2} = \frac{rt}{\sqrt{r^2 + t^2}}$$

$$\text{Flèche } f = r \left(1 - \cos. \frac{1}{2} b \right) = r - \sqrt{r^2 - v^2}$$

$$\text{Rayon } r = \frac{C}{2 \sin. \frac{1}{2} b} = \frac{f}{1 - \cos. \frac{1}{2} b} = \frac{v^2 + f^2}{2f} = \frac{C^2 + f^2}{4f}$$

$$C' = 2r \sin. \frac{1}{2} a$$

$$f' = r \left(1 - \cos. \frac{1}{2} a \right)$$

Dans la pratique, on considère f' comme $= \frac{1}{4} f$; $f'' = \frac{1}{4} f'$; etc.

Voir ci-après la table donnant le développement des flèches pour des cordes et des rayons donnés.

2° Par tangentes égales



$$t = \frac{r \sin. a}{\cos. a}$$

$$r = t \text{ tang. } d = \frac{t}{\text{tang. } a}$$

$$x \cdot y :: y : 2r - x; \quad y = \sqrt{x(2r - x)}$$

$$x = r - \sqrt{r^2 - y^2}$$

Donnant à x différentes valeurs, on calculera, à l'aide des formules ci-dessus, les valeurs correspondantes de y et l'on aura ainsi autant de points de la courbe que l'on voudra.

Comme vérification de courbe, on aura :

$$r = \frac{y^2 + x^2}{2x}$$

Et pour le développement p de l'arc c

$$p = \frac{\pi rc}{180} = rc \times 0,01743\ 329 = dc \times 0,00872\ 663$$

Voir ci-après le tableau des ordonnées et des abscisses dans lequel d étant le diamètre, les abscisses ne sont autres que y ou $\sin.$ naturel de l'angle c que l'on considère, et les ordonnées $x = r - \cos.$ nat. de c .



3° Par ordonnées et abscisses à la corde

$$c = 2V = 2r \sin. \frac{1}{2} b = 2 \sqrt{2rf - f^2}$$

$$j = r \left(1 - \cos. \frac{1}{2} b \right) = r - \sqrt{r^2 - f^2}$$

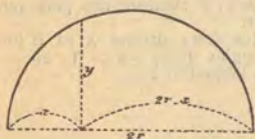
$$\text{ord. 1} = \sqrt{r^2 - a^2} - (r - f) = \sqrt{r^2 - a^2} - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + f^2}}$$

$$\text{ord. 2} = \sqrt{r^2 - b^2} - (r - f) = \sqrt{r^2 - b^2} - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + f^2}}$$

$$\text{ord. 3} = \sqrt{r^2 - c^2} - (r - f) = \sqrt{r^2 - c^2} - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + f^2}}$$

$$\text{ord. 4} = \sqrt{r^2 - d^2} - (r - f) = \sqrt{r^2 - d^2} - \frac{r^2}{\sqrt{r^2 + f^2}}$$

Si les ordonnées étaient prises par rapport au rayon, chaque ordonnée serait moyenne proportionnelle entre l'abscisse correspondante et le diamètre moins l'abscisse, et l'on aurait comme ci-devant en prenant l'origine des x à la circonférence :



$$\text{Abcisse } x = r \mp \sqrt{r^2 - y^2}$$

$$\text{Ordonnée } y = \pm \sqrt{2rx - x^2}$$

Et si l'origine des abscisses était au centre, on aurait :

$$x = \pm \sqrt{r^2 - y^2}$$

$$y = \pm \sqrt{r^2 - x^2}$$

4° Par prolongement de corde

Après avoir fixé le développement à donner à l'arc, on déterminera deux points quelconques de la courbe, puis, prolongeant l'alignement passant par ces deux points d'une longueur égale, $\sinus \frac{5}{2} x - \frac{1}{2} \text{ corde}$, on élèvera à son extrémité une perpendiculaire égale à l'ordonnée de $\frac{5}{2} x - \text{flèche de l'arc}$.

L'extrémité de cette perpendiculaire sera un point de la courbe. On répéterait ainsi l'opération autant de fois que l'on voudrait obtenir de divisions de la courbe.

Ainsi, soit à tracer quatre divisions égales d'une courbe de 100 mètres de rayon de 72° d'amplitude c . Le sinus de $\frac{72^\circ}{4} = 18^\circ$ est de $30^m,902$ et l'ordonnée

correspondante = 4,894. La corde de 18°, qui est = 31,287, sera prolongée

Figure amplifiée



d'une longueur = 29,756 car $\frac{7}{12} \times 18^\circ = 27^\circ = 45,599$, d'où retranchant la demi-corde $\frac{31,287}{2} = 15,643$, on obtient pour le prolongement 29,756. L'ordonnée qui correspond à 27° — la flèche de 18° sera trouvée = $10,899 - 1,231 = 9,668$.

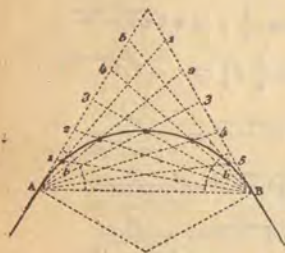
L'hypoténuse de ce triangle rectangle sera la corde 31,287.

On prolongerait ensuite l'alignement du deuxième au troisième point de la courbe d'une longueur égale à 29,756 et on ferait le même triangle que précédemment.

5° Procédé graphique

On divise l'angle b en autant d'angles égaux que l'on veut de points de la courbe. Les intersections 1,1, 2,2, 3,3, etc., sont situées sur la courbe.

On résoudrait de même le problème en faisant au point A un angle du segment et au point B un angle inscrit de même mesure s'appuyant sur la corde. L'intersection de ces deux angles devant avoir lieu sur un point de la circonférence, il sera facile à deux opérateurs placés en A et B et munis chacun d'un graphomètre de déterminer autant de points de la courbe qu'il sera nécessaire.



Courbes d'égal rayon et tangentes entre elles



Soient les trois alignements AB, BC, CD. Mener les bissectrices x et y , faire en $B a' = a$. Mener la ligne V , et du point o abaisser des perpendiculaires sur BC, CD.

Si on prolonge les deux droites A et D jusqu'au sommet s et qu'on fasse $sm = T$, $sn = t$ et $sp = s$, on aura l'équation :

$$2s^2 = T^2 + t^2;$$

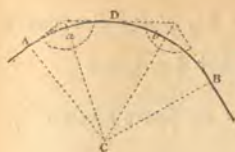
d'où :

$$s = \sqrt{\frac{T^2 + t^2}{2}} = \sqrt{T^2 + t^2} \times 0.70711$$



Tangentes inégales raccordées au moyen de deux courbes

Mener par les points de contact A et B la corde C et les bissectrices des angles a et b qui se coupent en m . Mener par ce point une parallèle et une perpendiculaire à C qui, par ses points d'intersection avec celles élevées sur les tangentes aux points de contact, déterminera les centres de deux arcs de cercle de rayons r et R tangents au point m .

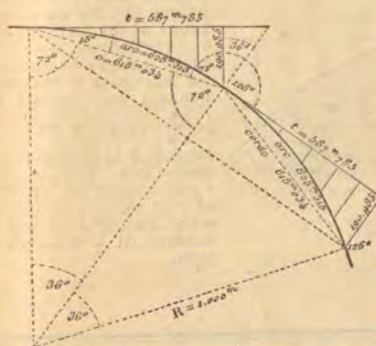


Courbe tangente à trois alignements

Mener les bissectrices des angles a et b , leur point d'intersection C sera le centre de la courbe.

TRACÉ PRATIQUE SUR LE TERRAIN

1^o Cas où l'on ne peut opérer que sur une seule tangente

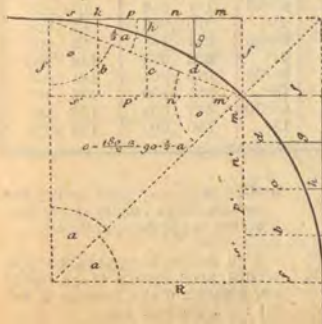


Si la courbe a plus de 60° , on la divisera en deux ou trois secteurs égaux. On calculera ensuite les tangentes et les ordonnées pour un de ces secteurs et pour des parties égales de circonférence. On vérifiera le tracé du premier secteur en s'assurant que l'angle formé par la corde et la tangente égale la moitié de l'angle au centre. La dernière ordonnée devra être égale à la flèche d'un arc double. On construira ensuite une nouvelle tangente, en faisant avec la dernière ordonnée un angle égal ($90^\circ +$ l'angle au centre) et l'on opérera sur le second secteur comme sur le premier.

Exemple. Soit à tracer une courbe de 108° et de 1000 mètres de rayon.

Je divise la courbe en trois secteurs de 36° ; je construis une table des abscisses et des ordonnées pour des arcs égaux de 1000 mètres de rayon, jusqu'à concurrence de 36° . La dernière ordonnée sera égale à la flèche de 72° . On obtiendra ainsi autant de points de la courbe que l'on voudra. Une fois le tracé du premier secteur effectué et vérifié, on se donne une nouvelle tangente en faisant avec la dernière ordonnée un angle égal ($90^\circ + 36^\circ$) = 126° et on opère sur le second secteur et sur le troisième comme sur le premier.

Abscisse	$36^\circ = 587^m,785$;	corde	$36^\circ = 618^m,054$
Ordonnée	$36^\circ = 48,943$;	flèche	$36^\circ = 48,943$
Flèche	$72^\circ = 190^m,983$;	arc	$36^\circ = 628,318$



2^o Cas où l'on peut opérer sur les deux tangentes ou sur parallèles à ces tangentes

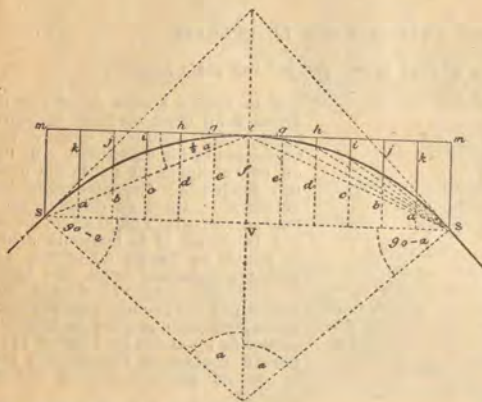
Après avoir divisé l'angle des rayons en deux parties égales a, a , on cherchera les abscisses et les ordonnées correspondantes à des arcs égaux pour un rayon R depuis 0° jusqu'à $\frac{1}{2} a$. Le résultat sera commun aux deux tangentes.

Si au lieu d'opérer sur les tangentes, on voulait opérer sur parallèles à ces tangentes, c'est-à-dire, sur des ordonnées au rayon ou demi-cordes de l'angle au centre, les longueurs d'abscisses sur ces parallèles seraient égales à celles des tangentes et la somme des ordonnées

correspondantes devra être égale à la flèche de $2a$, c'est-à-dire que l'on aura :

$$m = m', n = n', \text{ etc.}, \text{ et } f = d + g = c + h = b + k$$

3^o Cas où l'on peut opérer sur une corde ou sur une tangente unique ou simultanément



Le tracé suivant est plus expéditif et moins sujet aux erreurs que les précédents, il permet d'opérer sur une base unique et offre de nombreux et faciles moyens de vérification. Le tableau ci-dessous donne les abscisses et les ordonnées par rapport à la $\frac{1}{2}$ tangente et par rapport à la demi-corde, pour une courbe de 1 000 mètres de rayon et un développement d'arc de $52^m,3599$ correspondant à trois degrés.

ANGLE au CENTRE,	CORDE CORRESPON- DANTE.	LONGUEUR D'ABSCISSE prise sur tangente de l en m .	ORDONNÉES à LA TANGENTE.	ANGLE des deux CORDES,	LONGUEUR D'ABSCISSE de S à V sur la corde de 60° ou cosin, naturel de l'angle des deux cordes,	ORDONNÉES à la corde de 60° ou sinus naturel de l'angle des deux cordes,
3 ^o	52 ^m 354	52 ^m 356	1 ^m 371	28 ^o 30'	46 ^m 010	24 ^m 982
6 ^o	104 , 672	104 , 528	5 , 478	27 ^o	93 , 265	47 , 520
9 ^o	156 , 918	156 , 434	12 , 312	25 ^o 30'	141 , 632	67 , 535
12 ^o	209 , 057	207 , 912	21 , 852	24 ^o	190 , 985	85 , 032
15 ^o	261 , 052	258 , 819	34 , 074	22 ^o 30'	241 , 181	99 , 901
18 ^o	312 , 869	309 , 017	48 , 945	21 ^o	292 , 089	112 , 425
21 ^o	364 , 471	358 , 368	66 , 420	19 ^o 30'	345 , 566	121 , 663
24 ^o	415 , 823	406 , 737	86 , 453	18 ^o	395 , 472	128 , 497
27 ^o	466 , 891	453 , 991	108 , 995	16 ^o 30'	447 , 664	132 , 604
30 ^o	517 , 638	500 , 000	133 , 975	15 ^o	500 , 000	135 , 975



4^o Cas où l'on ne peut opérer que sur plusieurs cordes ou sur plusieurs tangentes partielles.

L'on divise la courbe en plusieurs arcs égaux et on opère sur chacun d'eux comme il est dit au troisième cas.

5° Tracé en galerie souterraine.



Le tracé en galerie souterraine, par la méthode n° 3, exige que la plus longue ordonnée n'excède pas la demi-largeur de la galerie.

Cette méthode permet d'opérer simultanément tantôt sur la corde, tantôt sur la tangente, suivant la disposition des lieux.

2° COURBES DIVERSES

Cycloïde

Tracé continu



Si on suppose un cercle portant en A un stylet fixe, et roulant sur la droite AB, il décrira dans ce mouvement de rotation la courbe appelée *cycloïde*, dont la base AB est le développement du cercle générateur et l'axe Cm en est le diamètre, de telle sorte qu'on a

$$AB = 2\pi r = \pi d; \quad Cm = 2r = d$$

$$\frac{AB}{Cm} = \frac{\pi d}{d} = \pi = 3,1416 = \frac{22}{7} \text{ environ;}$$

d'où :

$$AB = \frac{22}{7} d, \quad d = \frac{7}{22} AB$$

Tracé par points

On trace la base $AB = 2\pi r$ et le cercle générateur o tangent à AB au point A; puis on divise la base et la circonférence génératrice en un même nombre de parties égales, que l'on numérote comme l'indique la figure. Par les points de division de la circonférence on mène des parallèles à la base et par les points de division de la base menant des parallèles aux droites $A1'$, $A2'$, etc., leur intersection se fera en $1''$, $2''$, $3''$, etc., qui sont autant de points de la cycloïde.

Développement et surface

Le développement $ACB = p$ de la cycloïde est égal à quatre fois son axe ou diamètre du cercle générateur, ainsi, on a :

$$p = 8r = 4d$$

On aura ensuite :

$$\text{surf. rectangle CB} = 2r \times \pi r = 2\pi r^2$$

$$\text{surf. CMB} = \frac{1}{2} \pi r^2$$

$$\text{surf. CmB} = \frac{5}{2} \pi r^2$$

$$\begin{aligned} \text{surf. ACB} = s &= 3\pi r^2 = \frac{3}{4} \pi d^2 = d^2 \times 2,356194\% \\ &= r^2 \times 9,4247780 \end{aligned}$$

Épicycloïde

Tracé continu

Si, au lieu de faire tourner le cercle générateur de la cycloïde sur une droite, on le fait tourner sur la partie concave ou convexe d'un cercle, le stylet A tracera l'épicycloïde d'une manière continue.

De même que dans la cycloïde, on aura :

$$\text{Arc AB} = 2\pi r = \pi d; \quad \text{Cm} = 2r = d$$

Tracé par points

Après avoir, comme dans la cycloïde, divisé la base AB et la circonférence génératrice en un même nombre de parties égales, du centre F on décrit des arcs de cercle concentriques à AB par les points de division de la base comme centres, et avec des rayons respectivement égaux aux distances du point A aux points de division 1', 2', etc., décrivant des arcs de cercle, ils couperont les arcs concentriques en 1'', 2'', 3'', etc. qui sont autant de points de l'épicycloïde.

Développement et surface

Le demi-développement AC = $\frac{1}{2} p$ est une quatrième proportionnelle à R, R + r et 4r, de sorte qu'on a :

$$R : R + r :: 4r : \frac{p}{2} \quad \text{d'où} \quad \frac{p}{2} = \frac{4r(R+r)}{R}$$

Et pour le développement total :

$$p = \frac{8r(R+r)}{R} = \frac{2d(2R+d)}{R}$$

Si l'épicycloïde était interne, on aurait :

$$p = \frac{8r(R-r)}{R} = \frac{2d(2R-d)}{R}$$

La surface de l'épicycloïde est une quatrième proportionnelle à R, 3R + 2r et la surface πr^2 du cercle générateur, de sorte qu'on a :

$$R : 3R + 2r :: \pi r^2 : s;$$

d'où :

$$s = \frac{\pi r^2(3R+2r)}{R} = \frac{\pi d^2(3R+d)}{4R}$$

Si l'épicycloïde était interne, on aurait :

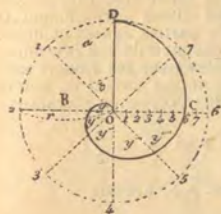
$$s = \frac{\pi r^2(3R-2r)}{R} = \frac{\pi d^2(3R-d)}{4R}$$

Spirale d'Archimède

Cette courbe est engendrée par un rayon y qui croît proportionnellement à l'angle θ d'une quantité constante = $\frac{r}{u}$

Tracé graphique

Sur le pas de la spirale pris comme rayon, on décrit une circonférence que l'on divise en un nombre n de parties égales, de même que le pas donné; on mène ensuite des rayons par tous les points de division, et sur chacun de ces rayons on porte, à partir du pôle O , les longueurs $y, y', y'',$ etc. qui diffèrent toutes d'une quantité $= \frac{r}{n}$; ainsi la première étant $= 0$, la seconde sera $= \frac{r}{n}$, la troisième $= \frac{2r}{n}$, etc. Ce qui revient à porter les distances $O1, O2, O3, O4, \dots$ sur les rayons $1, 2, 3, 4, \dots$ pour obtenir autant de points de la courbe, car on a :



$$y : r :: a : 2\pi r :: b : 360 :: 1 : n$$

$$y' : r :: 2a : 2\pi r :: 2b : 360 :: 2 : n$$

Développement et surface

On obtient le développement de la spirale en faisant la somme du premier et du dernier rayon vecteur que l'on multiplie par π et par le nombre de spires. Ainsi, pour une spire, on a :

$$1 : \pi :: y + r : d; \text{ d'où } d = \pi (y + r)$$

Si le rayon $r = 12$, le nombre n de divisions $= 8$, on aura :

$$y = \frac{12}{8} = 1,5$$

Et par suite : $d = (12 + 1,5) 3,14159 = 42,41$

On a pour la surface du segment de spirale compris entre y et y' .

$$s = \frac{\pi y'^3}{3r} = \frac{y'^3}{r} \times 1,04719\ 76$$

pour la partie comprise entre deux rayons vecteurs y et y' :

$$s = \frac{\pi}{3r} (y'^3 - y^3) = \frac{y'^3 - y^3}{r} \times 1,04719\ 76$$

Et pour la surface totale de la spire OCD.

$$s = \frac{1}{3} \pi r^2 = r^2 \times 1,04719\ 76$$

Si on avait deux spires, la surface serait.

$$s = \frac{8}{3} \pi r^2 = r^2 \times 8,57758$$

Si l'on retranche la surface de la première spire de la surface des deux premières spires, on a pour la surface de la seconde :

$$s = \frac{7}{3} \pi r^2 = 7,53038\ r^2$$

Quadratrice de Dinostrate

Si on divise le $\frac{1}{4}$ de cercle CAB en un certain nombre n de parties égales et qu'on mène des rayons par chacune de ces divisions, si on divise pareillement le rayon r en un même nombre de parties égales et qu'on mène des parallèles à CB par chacune de ces divisions, les intersections de ces parallèles avec les rayons menés de la circonférence détermineront autant de points de la quadratrice, et on aura les propriétés suivantes :

$$\text{arc } x \cdot \text{arc } d :: y : r; \quad d = \frac{1}{2} \pi r, \text{ et } y = \frac{rx}{d} = \frac{r}{n}$$

$$d \cdot r :: r : t; \quad t = \frac{r^2}{d} = \frac{2r}{\pi} = r \times 0,63662$$

On aura ensuite :

$$t' = \frac{y}{\text{tang. } a} = y \cot. a; \quad t'' = \frac{2y}{\text{tang. } 2a} = 2y \cot. 2a;$$

$$t''' = \frac{3y}{\text{tang. } 3a} = 3y \cot. 3a. \text{ etc.}$$

Cissoïde de Dioclès

Si, à l'extrémité B du diamètre AB d'un cercle donné, on élève une perpendiculaire, et que du point A on mène des droites Ad qui coupent cette perpendiculaire; si on fait ensuite $tm = Ad$, les points m , qui seront ainsi déterminés, seront autant de points de la cissoïde.

Equation générale. — En partant de l'origine A :

$$y^2 = \frac{x^3}{a-x}$$

a étant le diamètre AB du cercle générateur

d'où :

$$y = x \sqrt{\frac{x}{a-x}}$$

Tracé continu

Soient xx , yy , deux axes rectangulaires. Si on fait mouvoir l'angle droit OBC dont le côté BC a son extrémité C s'appuyant toujours sur l'axe AC, et le côté OB, qui est indéfini, passant toujours par le point O, le point m , milieu de BC, tracera la courbe d'une manière continue.

Logistique ou logarithmique

Si on prend les abscisses positives en progression arithmétique, et les ordonnées correspondantes en progression géométrique, on aura une logarithmique dans laquelle les abscisses seront les logarithmes des ordonnées, de sorte qu'on aura :

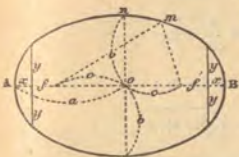
$$y = \log. x.$$

3° TRACÉ PRATIQUE DES SECTIONS CONIQUES

1° Ellipse

Tracé théorique

1° Après avoir déterminé les diamètres de l'ellipse, du point d'intersection et avec un rayon = a on décrira une circonférence sur le rayon de laquelle on tracera autant d'ordonnées au cercle que l'on voudra de points de l'ellipse. Chacune de ces ordonnées multipliée par le rapport constant $\frac{b}{a}$ sera l'ordonnée de l'ellipse, sa longueur portée de chaque côté du diamètre et sur les deux rayons, déterminera 4 points de l'ellipse; en effet on a :



$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{2ax - x^2}$$

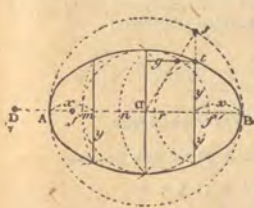
Si on plaçait l'origine des abscisses et des ordonnées au centre, on aurait :

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

Si en faisait $b = a$, on aurait :

$$y = \sqrt{a^2 - x^2} \text{ équation du cercle.}$$

2° Si, par le centre O, on décrit des circonférences sur les axes comme diamètres et qu'on mène un rayon quelconque sO, les parallèles aux axes menées par les points s et g des courbes se rencontreront en un point t appartenant à l'ellipse.



Tracé continu

1° Les lignes fmf' devant toujours être égales à AB, on tracera l'ellipse d'une manière continue en fixant une corde = AB par ses extrémités en f et f' et la tendant au moyen d'un stylet m.

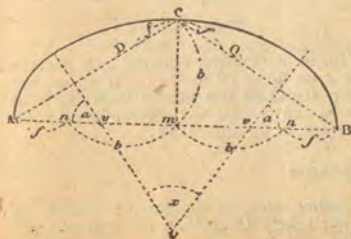
2° Après avoir déterminé les demi-diamètres a et b, on portera a de n en f et f', et on opérera comme ci-dessus.

Tracé graphique

Soit $Df' = AB$; du point f' décrire des arcs arbitraires que l'on coupe du point f avec des distances = Dm, Dn, Dr.

Tracé graphique d'une ovale

Porter le demi petit axe b sur le grand de m en n et la différence f de C en O et D. Elever des perpendiculaires sur les milieux de AD, BO; les points d'intersection vv' sont les centres.



2° Hyperbole

Tracé théorique

Après avoir fixé les diamètres a et b , on déterminera les foyers f et f' en faisant $C = \sqrt{a^2 + b^2}$

On élèvera ensuite autant d'ordonnées y que l'on voudra en prenant arbitrairement les longueurs x d'abscisses à partir de B et on aura :

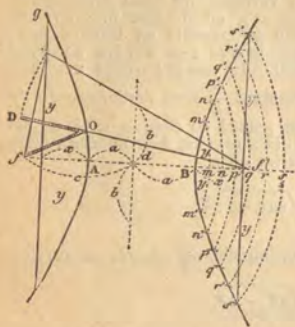
$$y = \frac{b}{a} \sqrt{2ax + x^2}$$

Si on fait $b = a$ on a :

$$y = \sqrt{2ax + x^2}$$

Tracé graphique

De l'un des foyers f comme centre décrire les arcs de cercle $m' m'$, $n' n'$, etc., avec des rayons Am , An , etc., puis du foyer f' tracer avec les rayons Bm , Bn , etc., des arcs de cercle qui coupent chacun des premiers en des points m' , n' qui sont des points de l'hyperbole.



Tracé continu

Attachez le bout d'une règle en f' et à l'autre extrémité D un fil $f'OD$ fixé en f de manière que $f'D - f'OD = AB$. Avec un stylet qui ramènera le fil contre la règle mobile $f'D$, on tracera l'hyperbole d'une manière continue.

3° Parabole

Tracé théorique

De l'équation $y^2 = 2px$ on tire

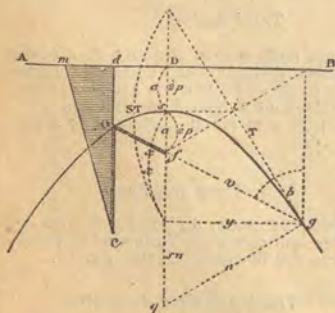
$$2p : y :: y : x$$

On cherchera donc une moyenne proportionnelle entre $2p$ et x et on aura :

$$y = \sqrt{2px}; \quad x = \frac{y^2}{2p}$$

Tracé continu

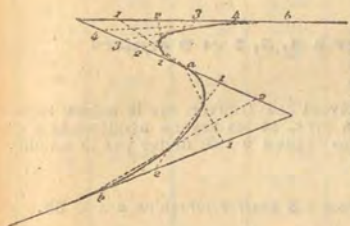
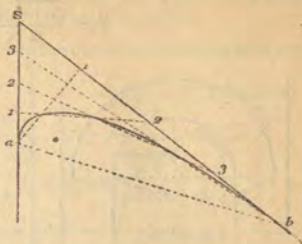
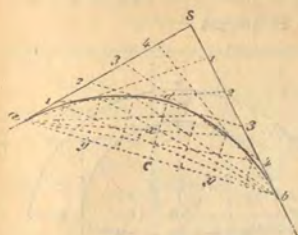
On se sert d'une équerre cdm portant en c un fil $= cd$ fixé en f et au moyen d'un stylet on fait glisser le fil le long de ed tout en faisant glisser le côté dm suivant la directrice AB .



Méthode expéditive

1° Divisez les tangentes as , bs , en un même nombre de parties égales, et menez les droites $a_1, 1.2, 2.3$, etc., qui, par leur intersection, déterminent autant de points de la courbe que l'on voudra.

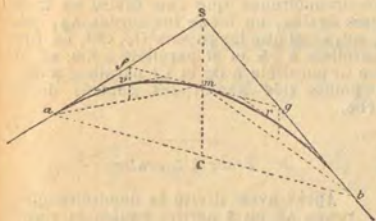
2° Après avoir mené les axes rectangulaires $ab = 2y$, $cd = x$, on partagera



x et y en un même nombre de parties égales, et par chacune des divisions de y on mènera des parallèles à x qui, par leur intersection avec les droites menées des points a et b sur les divisions de x , détermineront autant de points de la parabole.

Raccorder trois alignements au moyen de deux paraboles tangentes l'une à l'autre.

Même procédé que ci-devant.



Tracé par diagonales

Divisez ab en deux parties égales, menez sc ; menez fg sur le milieu de sa , sb . Le point m sera un point de la parabole; en opérant de même sur les triangles afm , mgb , on aura deux autres points v et r , etc.

4° TRACÉ GRAPHIQUE DES VOÛTES

Voûtes en berceau simple plein cintre

Ne connaissant pas R , on aura :

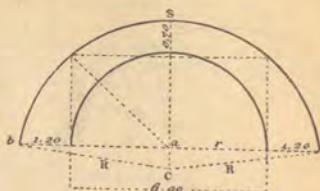
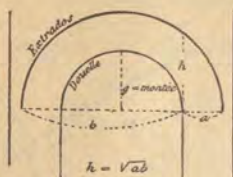
$$as : ab :: ab : 2R - as$$

D'où :

$$R = \frac{as^2 + ab^2}{2as}$$

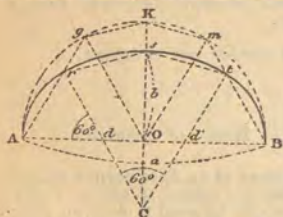
Et comme application :

$$R = \frac{3.70^2 + 4.20^2}{2 \times 3.70} = 4m,25\frac{1}{2}$$



Tracé des anses de panier à 3, 5, 7 et 9 centres

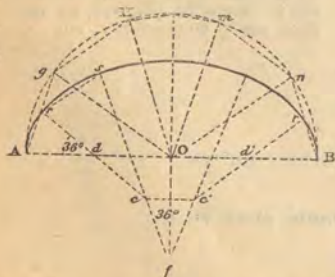
Les centres de deux arcs successifs doivent se trouver sur le même rayon passant par le point de contact de deux arcs, et les rayons aboutissant à ce point de contact doivent faire des angles égaux à 180° divisé par le nombre des arcs qui composent la courbe.



Tracé à 5 centres lorsqu'on a $a < 3b$.

Soit a l'ouverture et b la montée.

Sur a comme diamètre on décrit une demi-circonférence que l'on divise en trois parties égales, on mène les cordes Ag , gk , Km , mB , ainsi que les rayons Og , Om , on tire sr parallèle à gk et st parallèle à Km , et on mène Cr parallèle à Og et Ct parallèle à Om . Les points Cdd' seront les centres de la courbe.



Tracé à 5 centres

Après avoir divisé la demi-circonférence AB en 5 parties égales et mené les rayons et les cordes comme ci-dessus, on fera Ad égal à la valeur portée au tableau ci-dessous, on mènera ensuite cr parallèle à Og , rs parallèle à gk et sf parallèle à Ok ; les points $d d' c c' f$ seront les centres de la courbe.

Tracé à 7 centres

On opère comme dans les deux cas précédents. Après avoir divisé la demi-circonférence en sept parties égales et mené les rayons et les cordes, on fait $Ad =$ la valeur portée au tableau, on mène les parallèles comme ci-dessus, on fait ensuite $cr =$ deuxième rayon de la table et on mène par c une parallèle au deuxième rayon diviseur. Les troisième et quatrième centres se déterminent de la même manière que les deuxième et troisième dans le cas précédent.

Pour des anses à 9, 11 et 13 centres, etc., on opérerait de la même manière.

Tableau donnant les montées et les premiers rayons des anses de panier en faisant l'ouverture $AB = a = 1$, d'après M. Michal.

ANSES A 5 CENTRES.		ANSES A 7 CENTRES.			ANSES A 9 CENTRES.			
MONTÉE	1 ^{er} RAYON.	MONTÉE	1 ^{er} RAYON.	2 ^e RAYON.	MONTÉE	1 ^{er} RAYON.	2 ^e RAYON.	3 ^e RAYON.
0,56	0,278	0,55	0,228	0,515	0,25	0,150	0,171	0,299
0,55	0,265	0,52	0,216	0,502	0,24	0,120	0,159	0,278
0,54	0,252	0,51	0,204	0,289	0,23	0,111	0,148	0,268
0,53	0,239	0,50	0,192	0,276	0,22	0,102	0,138	0,252
0,52	0,225	0,29	0,180	0,265	0,21	0,095	0,126	0,237
0,51	0,212	0,28	0,168	0,249	0,20	0,085	0,114	0,222
0,50	0,198	0,27	0,156	0,256				
		0,26	0,145	0,225				
		0,25	0,135	0,210				

Voûtes surbaissées elliptiques

(Tracé, développement, surface.)



Le carré d'une ordonnée au grand axe est au produit des deux abscisses comme le carré du petit axe est au carré du grand axe :

$$y^2 : (a + x)(a - x) :: b^2 : a^2$$

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

Développement de l'ellipse :

$$2\pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2} e\right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{1 \times 3}{2 \times 4} e^2\right)^2 - \frac{1}{5} \left(\frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6} e^3\right)^2 - \text{etc.} \right]$$

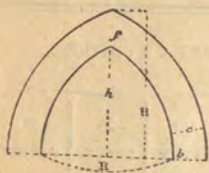
formule dans laquelle on a :

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

surface d'une demi-ellipse

$$\frac{\pi ab}{2} = ab \times 1,57079$$

Voûtes en ogive en tiers points



$$H = \sqrt{(R + e)^2 - \frac{R^2}{4}}$$

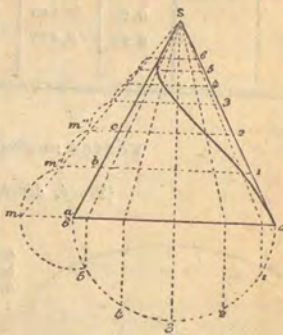
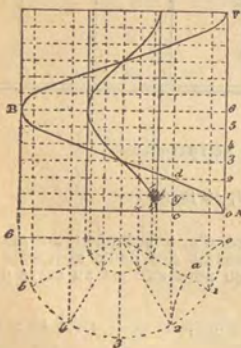
$$h = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{4}} = \frac{R\sqrt{3}}{2} = R \times 0,8660254$$

$$\text{Arc } bf = \frac{2\pi R}{6} = R \times 1,0471975$$

Tracé de l'hélice sur la surface extérieure d'un cylindre et d'un cône droit

1^o Diviser la projection verticale du cylindre en autant de parties égales que la projection horizontale. Les intersections 1.1, 2.2, 3.3, etc., sont autant de points de l'hélice.

L'espace AF s'appelle *pas de l'hélice*, et la courbe ABF, *spire*.



On aura pour le développement Ad d'un arc d'hélice :

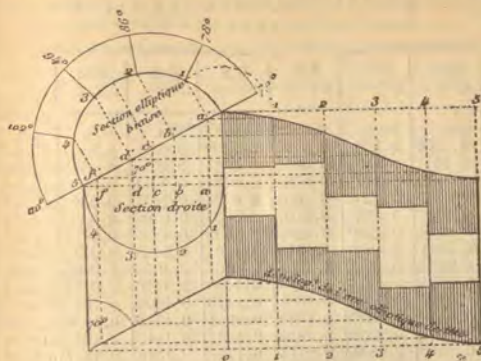
$$Ad = \sqrt{y^2 + a^2}$$

et pour la surface Acd :

$$s = \frac{ya}{2} = ya \times 0,5$$

2^o Prolonger le diamètre de la projection horizontale du cône de la longueur

d'une division, mener mS . Des points a, b, c , etc. comme centres, décrire les arcs am, bm', cm'' , etc., et tirer les parallèles 1, 2, 3, 4, 5, 6, qui, par leur intersection avec les projections de la base menées au sommet, déterminent autant de points de la courbe.



**Appareils
des Ponts biais**

Après avoir obtenu le développement de la douelle, comme on le voit ci-contre, on obtiendra l'angle de chaque assise de voussoirs avec la douelle, en observant que le milieu

de la clef forme toujours angle droit avec la douelle suivant le biais du pont. D'après ce principe, on divisera la différence de l'angle horizontal de la dernière assise du pied-droit avec 90° , par la demi-somme des voussoirs. On obtiendra ainsi la différence en degrés existant entre chaque assise consécutive.

Dans l'exemple ci-contre, elle est de 8° pour 5 voussoirs et un biais de 70° .



Tableau donnant la longueur de flèche pour une corde et un rayon donnés

CORDE,	LONGUEURS CORRESPONDANTES DES FLÈCHES POUR DES RAYONS DE									
	100 mètres.	200 mètres.	300 mètres.	400 mètres.	500 mètres.	600 mètres.	700 mètres.	800 mètres.	900 mètres.	
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,001	0,0006	0,0004	0,0005	0,0005	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	0,005	0,0025	0,0016	0,0015	0,0011	0,0008	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006
3	0,011	0,0056	0,0037	0,0029	0,0023	0,0018	0,0016	0,0015	0,0015	0,0015
4	0,020	0,0101	0,0067	0,0050	0,0041	0,0034	0,0027	0,0024	0,0024	0,0022
5	0,030	0,0156	0,0104	0,0078	0,0062	0,0055	0,0044	0,0039	0,0035	0,0035
6	0,045	0,0226	0,0151	0,0115	0,0091	0,0074	0,0064	0,0058	0,0050	0,0050
7	0,061	0,0307	0,0205	0,0152	0,0125	0,0102	0,0088	0,0076	0,0070	0,0070
8	0,080	0,0405	0,0269	0,0207	0,0157	0,0134	0,0115	0,0099	0,0092	0,0092
9	0,102	0,0511	0,0357	0,0252	0,0205	0,0168	0,0145	0,0124	0,0112	0,0112
10	0,125	0,0626	0,0416	0,0315	0,0259	0,0207	0,0178	0,0144	0,0139	0,0139
11	0,152	0,076	0,0504	0,0378	0,0300	0,0255	0,0216	0,0187	0,0168	0,0168
12	0,181	0,091	0,0587	0,0452	0,0355	0,0300	0,0258	0,0229	0,0200	0,0200
13	0,211	0,106	0,0700	0,0550	0,0428	0,0349	0,0304	0,0266	0,0236	0,0236
14	0,246	0,125	0,0815	0,0612	0,0487	0,0408	0,0361	0,0305	0,0267	0,0267
15	0,282	0,141	0,0959	0,0704	0,0561	0,0469	0,0405	0,0347	0,0310	0,0310
16	0,321	0,160	0,1065	0,0806	0,0640	0,0536	0,0465	0,0404	0,0356	0,0356

CORDE.	LONGUEURS CORRESPONDANTES DES FLÈCHES POUR DES RAYONS DE								
	100 mètres.	200 mètres.	300 mètres.	400 mètres.	500 mètres.	600 mètres.	700 mètres.	800 mètres.	900 mètres.
17	0,562	0,181	0,1200	0,0902	0,0725	0,0598	0,0510	0,0447	0,0405
18	0,406	0,205	0,1517	0,1012	0,0815	0,0674	0,0584	0,0505	0,0450
19	0,452	0,226	0,1498	0,1112	0,0909	0,0753	0,0641	0,0556	0,0499
20	0,501	0,250	0,1669	0,1252	0,1007	0,0851	0,0711	0,0618	0,0552
21	0,555	0,276	0,1842	0,1388	0,1107	0,0955	0,0789	0,0686	0,0609
22	0,607	0,305	0,2016	0,1519	0,1212	0,1009	0,0864	0,0761	0,0671
23	0,664	0,331	0,2211	0,1659	0,1344	0,1101	0,0948	0,0850	0,0755
24	0,725	0,361	0,2382	0,1800	0,1454	0,1207	0,1028	0,0900	0,0805
25	0,785	0,391	0,2604	0,1955	0,1594	0,1298	0,1120	0,0971	0,0860
26	0,849	0,425	0,2817	0,2120	0,1694	0,1410	0,1204	0,1054	0,0955
27	0,915	0,455	0,3048	0,2277	0,1829	0,1524	0,1310	0,1159	0,1041
28	0,985	0,492	0,3264	0,2456	0,1949	0,1652	0,1440	0,1224	0,1084
29	1,057	0,526	0,3510	0,2624	0,2115	0,1752	0,1512	0,1324	0,1152
30	1,131	0,562	0,3755	0,2816	0,2260	0,1869	0,1616	0,1400	0,1245
31	1,209	0,600	0,3999	0,3014	0,2396	0,2009	0,1712	0,1508	0,1356
32	1,289	0,642	0,4278	0,3208	0,2562	0,2157	0,1824	0,1611	0,1448
33	1,370	0,682	0,4542	0,3401	0,2712	0,2278	0,1947	0,1702	0,1516
34	1,455	0,724	0,4824	0,3620	0,2896	0,2426	0,2059	0,1808	0,1599
35	1,544	0,768	0,5105	0,3828	0,3070	0,2554	0,2190	0,1908	0,1700
36	1,635	0,812	0,5415	0,4072	0,3250	0,2696	0,2327	0,2045	0,1809
37	1,726	0,858	0,5705	0,4280	0,3415	0,2852	0,2455	0,2152	0,1912
38	1,822	0,906	0,6025	0,4552	0,3650	0,3001	0,2575	0,2262	0,2002
39	1,920	0,954	0,6342	0,4764	0,3805	0,3179	0,2706	0,2374	0,2092
40	2,020	1,002	0,6675	0,5008	0,4020	0,3342	0,2846	0,2505	0,2229
41	2,125	1,054	0,7014	0,5264	0,4205	0,3517	0,3010	0,2652	0,2352
42	2,231	1,106	0,7550	0,5524	0,4400	0,3684	0,3147	0,2758	0,2435
43	2,358	1,160	0,7710	0,5784	0,4640	0,3852	0,3312	0,2881	0,2514
44	2,451	1,214	0,810	0,6056	0,4825	0,4052	0,3454	0,3058	0,2689
45	2,564	1,270	0,844	0,6520	0,5080	0,4212	0,3659	0,3169	0,2811
46	2,682	1,327	0,882	0,6656	0,5285	0,4416	0,3775	0,3307	0,2945
47	2,801	1,386	0,921	0,6904	0,5550	0,4602	0,3949	0,3455	0,3075
48	2,926	1,445	0,961	0,7240	0,5770	0,4802	0,4106	0,3597	0,3205
49	3,047	1,506	1,005	0,7520	0,6000	0,5010	0,4298	0,3749	0,3346
50	3,176	1,570	1,044	0,7820	0,6255	0,5208	0,448	0,3901	0,3456
55	5,855	1,900	1,265	0,9456	0,7565	0,6556	0,510	0,4716	0,4205
60	4,607	2,262	1,500	1,128	0,9015	0,7482	0,645	0,5616	0,5015
65	5,258	2,778	1,767	1,524	1,037	0,8858	0,755	0,6384	0,5868
70	6,526	3,088	2,049	1,556	1,250	1,024	0,876	0,7640	0,6804
75	7,298	3,550	2,519	1,760	1,408	1,172	1,005	0,8800	0,7812
80	8,549	4,050	2,676	2,004	1,601	1,355	1,145	1,0008	0,8910
85	9,481	4,568	2,976	2,264	1,810	1,506	1,290	1,1560	1,0055
90	10,698	5,128	3,595	2,540	2,050	1,686	1,446	1,2652	1,1241
95	12,002	5,724	3,785	2,852	2,261	1,884	1,611	1,4112	1,2510
100	15,597	6,550	4,196	3,142	2,515	2,088	1,785	1,5640	1,5887

TRACÉ DES COURBES PAR CORDES ET FLÈCHES POUR DES CORDES
ET DES ARCS ÉGAUX

Étant donnée l'abscisse ou demi-corde, on obtient l'ordonnée ou flèche au moyen de la formule :

$$f = r - \sqrt{r^2 - y^2}$$

dans laquelle r est le rayon, et y la demi-corde.

Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, les cordes étant données

DEMI-CORDES OU ABSCISSES.	ORDONNÉES OU FLÈCHES POUR DES RAYONS												
	DE												
	140 mètres.	150 mètres.	160 mètres.	170 mètres.	175 mètres.	180 mètres.	190 mètres.	200 mètres.	225 mètres.	250 mètres.	275 mètres.	300 mètres.	
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
4	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
3	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
6	0,15	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
7	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15	0,12	0,12	0,10	0,09	0,08	0,08
8	0,25	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,12	0,11	0,11
9	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13	0,13
10	0,36	0,35	0,31	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,17
11	0,43	0,40	0,38	0,36	0,35	0,34	0,32	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,20
12	0,52	0,48	0,45	0,42	0,41	0,40	0,38	0,36	0,35	0,29	0,26	0,24	0,24
15	0,61	0,56	0,55	0,50	0,48	0,47	0,45	0,42	0,38	0,34	0,31	0,28	0,28
14	0,70	0,65	0,61	0,58	0,56	0,55	0,52	0,49	0,44	0,39	0,36	0,33	0,33
15	0,81	0,75	0,71	0,66	0,64	0,61	0,59	0,56	0,50	0,45	0,41	0,38	0,38
20	1,44	1,34	1,26	1,18	1,15	1,12	1,06	1,00	0,89	0,80	0,75	0,67	0,67
25	2,25	2,06	1,97	1,85	1,80	1,75	1,65	1,57	1,50	1,25	1,14	1,04	1,04
30	3,25	3,02	2,84	2,67	2,59	2,52	2,38	2,26	2,00	1,81	1,64	1,50	1,50
35	4,45	4,14	3,88	3,65	3,54	3,44	3,29	3,09	2,74	2,46	2,24	2,05	2,05
40	5,84	5,45	5,08	4,77	4,63	4,50	4,26	4,05	3,58	3,22	2,93	2,68	2,68
45	7,45	6,91	6,46	6,05	5,88	5,72	5,41	5,15	4,55	4,08	3,71	3,39	3,39
50	9,25	8,58	8,01	7,52	7,30	7,08	6,70	6,35	5,65	5,05	4,58	4,20	4,20
60	15,51	12,55	11,68	10,93	10,61	10,50	9,72	9,21	8,15	7,51	6,65	6,06	6,06
70	18,76	17,54	16,15	15,09	14,61	14,17	13,57	12,65	11,17	10,00	9,06	8,28	8,28
80	25,11	23,12	21,44	20,00	19,56	18,76	17,66	16,70	14,71	13,15	11,89	10,86	10,86
90	32,77	30,00	27,72	25,78	24,92	24,12	22,67	21,40	18,79	16,76	15,15	13,82	13,82
100	42,02	38,20	35,11	32,55	31,39	30,54	28,45	26,80	23,45	20,87	18,85	17,16	17,16
110	53,40	48,02	45,72	40,39	38,90	37,55	35,09	32,97	28,72	25,51	22,96	20,89	20,89
120	67,89	60,00	54,17	49,39	47,62	45,84	42,70	40,00	34,67	30,68	27,56	25,05	25,05
150	88,01	75,47	66,75	60,46	57,85	55,51	51,44	48,02	41,56	36,46	32,66	29,65	29,65
140	n	96,43	82,54	75,56	70,00	66,87	61,55	57,18	48,86	42,88	38,51	34,67	34,67

Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, les cordes étant données

DEMI-CORDES OU ABSCISSES.	ORDONNÉES OU FLÈCHES POUR DES RAYONS											
	DE											
	300 mètres.	325 mètres.	350 mètres.	375 mètres.	400 mètres.	425 mètres.	450 mètres.	475 mètres.	500 mètres.	525 mètres.	550 mètres.	575 mètres.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
5	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
10	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
15	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
20	0,67	0,61	0,57	0,55	0,50	0,47	0,45	0,45	0,40	0,38	0,36	0,35
25	1,04	0,97	0,90	0,85	0,78	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,57	0,54
30	1,50	1,58	1,29	1,20	1,15	1,07	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,79
35	2,05	1,89	1,77	1,64	1,54	1,44	1,36	1,29	1,25	1,17	1,11	1,07
40	2,68	2,45	2,29	2,14	2,01	1,89	1,78	1,69	1,60	1,55	1,46	1,39
45	3,39	3,15	2,91	2,71	2,54	2,39	2,26	2,14	2,05	1,95	1,84	1,76
50	4,20	3,87	3,59	3,35	3,14	2,96	2,79	2,65	2,51	2,39	2,28	2,18
60	6,06	5,59	5,18	4,85	4,55	4,26	4,02	3,81	3,61	3,44	3,28	3,14
70	8,28	7,65	7,07	6,59	6,17	5,81	5,48	5,19	4,92	4,69	4,47	4,28
80	10,86	10,00	9,27	8,65	8,08	7,60	7,17	6,79	6,44	6,15	5,85	5,60
90	13,82	12,71	11,79	10,96	10,26	9,65	9,09	8,61	8,17	7,78	7,41	7,09
100	17,16	15,77	14,59	13,58	12,70	11,94	11,25	10,65	10,10	9,61	9,17	8,77
110	20,89	19,18	17,75	16,49	15,42	14,49	13,65	12,92	12,25	11,66	11,11	10,62
120	25,06	25,00	21,21	19,72	18,42	17,30	16,50	15,42	14,61	13,90	13,25	12,67
130	29,65	27,05	25,04	23,25	21,71	20,38	19,19	18,14	17,20	16,35	15,59	14,87
140	34,67	31,70	29,22	27,11	25,30	23,75	22,55	21,11	20,00	19,02	18,12	17,51
150	40,19	36,69	33,77	31,55	29,19	27,56	25,74	24,51	23,05	21,89	20,85	19,92
160	46,25	42,11	38,71	35,84	33,59	31,27	29,41	27,77	26,29	25,88	25,79	22,71
170	52,82	48,01	44,06	40,75	37,92	35,45	33,45	31,47	29,79	28,29	26,95	25,71
180	60,00	54,40	49,85	45,02	42,79	40,04	37,57	35,45	33,52	31,85	30,28	28,90
190	67,84	61,52	56,06	51,69	48,01	44,84	42,08	39,65	37,51	35,59	33,86	32,10
200	76,59	68,85	62,78	57,82	55,59	50,01	46,89	44,16	41,74	39,19	37,63	35,91
210	85,76	76,96	70,00	64,52	59,56	55,51	52,01	48,95	46,24	43,85	41,67	39,72
220	96,04	85,75	77,79	71,52	65,95	61,58	57,44	54,05	51,00	48,32	45,92	43,76
250	107,59	95,38	86,19	78,82	72,74	67,62	63,22	59,40	56,04	53,07	50,40	48,11
240	120,00	106,19	95,25	86,86	80,00	74,26	69,54	65,09	61,57	58,07	55,15	52,49
250	154,17	117,54	105,05	95,49	87,75	81,51	75,85	71,12	66,99	63,35	60,10	57,20
260	150,55	150,00	115,69	104,77	96,05	88,82	82,71	77,48	72,92	68,95	65,55	62,15

Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, les cordes étant données

DEMI-CORDES OU ABSCISSES.	ORDONNÉES OU FLÈCHES POUR DES RAYONS											
	DE											
	600 mètres.	650 mètres.	700 mètres.	750 mètres.	800 mètres.	850 mètres.	900 mètres.	950 mètres.	1 000 mètres.	1 050 mètres.	1 100 mètres.	1 150 mètres.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04
20	0,54	0,51	0,29	0,27	0,23	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18
50	0,75	0,69	0,64	0,60	0,56	0,55	0,50	0,47	0,45	0,45	0,41	0,39
40	1,54	1,25	1,14	1,06	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,75	0,70
50	2,09	1,95	1,79	1,67	1,56	1,47	1,39	1,32	1,25	1,19	1,14	1,09
60	3,01	2,78	2,58	2,40	2,25	2,12	2,00	1,90	1,80	1,72	1,64	1,57
70	4,10	3,78	3,51	3,27	3,07	2,89	2,73	2,58	2,45	2,34	2,25	2,14
80	5,56	4,96	4,59	4,29	4,01	3,77	3,56	3,37	3,21	3,05	2,91	2,79
90	6,79	6,26	5,84	5,42	5,08	4,78	4,51	4,27	4,06	3,86	3,69	3,55
100	8,59	7,74	7,18	6,69	6,28	5,90	5,77	5,27	5,01	4,77	4,56	4,36
110	10,17	9,37	8,70	8,11	7,60	7,15	6,75	6,39	6,07	5,78	5,51	5,27
120	12,12	11,17	10,36	9,67	9,05	8,51	8,04	7,61	7,25	6,88	6,57	6,28
150	14,25	13,14	12,18	11,35	10,65	10,00	9,44	8,94	8,49	8,08	7,71	7,37
140	16,56	15,26	14,14	13,25	12,35	11,61	10,96	10,58	9,85	9,39	8,95	8,55
150	19,05	17,57	16,26	15,15	14,19	13,54	12,59	11,92	11,51	10,77	10,28	9,85
160	21,75	20,00	18,55	17,27	16,16	15,20	14,54	13,57	12,88	12,26	11,70	11,18
170	24,59	22,65	20,96	19,52	18,27	17,17	16,20	15,55	14,56	13,85	13,22	12,65
180	27,64	25,42	23,54	21,92	20,51	19,28	18,18	17,21	16,55	15,54	14,85	14,17
190	30,88	28,59	26,28	24,47	22,89	21,51	20,28	19,19	18,22	17,55	16,55	15,80
200	34,52	31,55	29,18	27,16	25,40	23,86	22,50	21,29	20,20	19,22	18,54	17,52
210	37,95	34,86	32,24	30,00	28,05	26,55	24,84	23,50	22,50	21,21	20,24	19,54
220	41,79	38,56	35,47	32,99	30,85	28,96	27,50	25,85	24,50	23,20	22,25	21,24
250	45,85	42,05	38,85	36,14	35,78	31,71	29,89	28,26	26,81	25,50	24,51	23,25
240	50,09	45,95	42,45	39,44	36,85	34,59	32,59	30,81	29,25	27,80	26,50	25,52
250	54,56	50,00	46,17	42,89	40,07	37,59	35,42	33,48	31,75	30,21	28,79	27,50
260	59,26	54,27	50,08	46,51	45,45	40,74	38,57	36,27	34,52	32,70	31,17	29,78
270	64,18	58,75	54,17	50,29	46,94	44,02	41,46	39,18	37,14	35,51	33,65	32,15
280	69,54	63,40	58,44	54,25	50,60	47,44	44,66	42,21	40,00	38,02	36,25	34,61
290	74,74	68,28	62,90	58,54	54,41	51,00	48,00	45,55	42,97	40,80	39,92	37,15
300	80,59	75,57	67,55	62,61	58,58	54,70	51,47	48,61	46,06	43,79	41,70	39,82

Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, les cordes étant données

DEMI-CORDES OU ABSCISSES.	ORDONNÉES OU FLÈCHES POUR DES RAYONS											
	DE											
	1 200 mètres.	1 250 mètres.	1 300 mètres.	1 350 mètres.	1 400 mètres.	1 450 mètres.	1 500 mètres.	1 600 mètres.	1 700 mètres.	1 800 mètres.	1 900 mètres.	2 000 mètres.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
10	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
20	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10
30	0,58	0,56	0,55	0,55	0,52	0,51	0,50	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23
40	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57	0,55	0,55	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40
50	1,04	1,00	0,96	0,95	0,89	0,86	0,85	0,78	0,74	0,69	0,66	0,63
60	1,50	1,44	1,39	1,54	1,29	1,24	1,20	1,15	1,06	1,00	0,95	0,90
70	2,04	1,96	1,89	1,82	1,75	1,69	1,64	1,55	1,44	1,56	1,29	1,25
80	2,67	2,56	2,46	2,57	2,29	2,21	2,14	2,00	1,88	1,78	1,69	1,60
90	3,58	3,25	3,12	3,00	2,89	2,80	2,70	2,55	2,58	2,25	2,15	2,05
100	4,17	4,01	3,85	3,71	3,58	3,45	3,54	3,15	2,94	2,78	2,65	2,50
110	5,05	4,85	4,66	4,49	4,35	4,18	4,04	3,79	3,56	3,56	3,19	3,05
120	6,02	5,77	5,55	5,54	5,15	4,97	4,81	4,51	4,24	4,01	3,79	3,60
150	7,06	6,78	6,52	6,28	6,05	5,84	5,64	5,29	4,98	4,70	4,45	4,25
140	8,20	7,87	7,56	7,28	7,02	6,77	6,55	6,14	5,77	5,45	5,17	4,91
150	9,41	9,05	8,68	8,56	8,06	7,78	7,52	7,05	6,65	6,26	5,95	5,65
160	10,71	10,28	9,88	9,52	9,17	8,86	8,56	8,02	7,55	7,15	6,75	6,41
170	12,10	11,61	11,16	10,95	10,56	10,00	9,67	9,06	8,52	8,05	7,62	7,24
180	15,58	15,05	12,52	12,05	11,62	11,22	10,84	10,16	9,56	9,02	8,55	8,12
190	15,14	14,55	15,95	15,44	12,95	12,50	12,08	11,52	10,65	10,06	9,52	9,05
200	16,78	16,10	15,48	14,90	14,56	15,86	15,59	12,55	11,81	11,15	10,56	10,05
210	18,52	17,77	17,07	16,44	15,84	15,29	14,77	15,84	15,02	12,50	11,64	11,06
220	20,54	19,91	18,75	18,05	17,59	16,79	16,22	15,20	14,50	15,50	12,78	12,14
250	22,25	21,54	20,51	19,77	19,02	18,56	17,74	16,62	15,65	14,76	15,97	15,27
240	24,25	23,26	22,55	21,51	20,75	20,00	19,52	18,10	17,05	16,07	15,22	14,45
250	26,55	25,26	24,26	23,55	22,50	21,71	20,98	19,65	18,48	17,45	16,52	15,69
260	28,50	27,54	26,26	25,27	24,56	25,50	22,71	21,27	20,00	18,88	17,87	16,97
270	50,77	29,51	28,55	27,51	25,29	26,56	24,50	22,95	21,58	20,57	19,28	18,51
280	55,12	51,76	50,51	29,56	28,29	27,64	26,57	24,70	25,22	21,91	20,75	19,70
290	55,57	54,11	52,76	51,52	50,57	29,50	28,50	26,50	24,92	25,55	22,26	21,14
300	58,11	56,55	55,09	55,77	52,52	51,57	50,51	28,58	26,68	25,18	25,85	22,65

Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, les cordes étant données

DEMI-CORDES OU ABSCISSES.	ORDONNÉES OU FLÈCHES POUR DES RAYONS											
	DE											
	2 100 mètres.	2 200 mètres.	2 300 mètres.	2 400 mètres.	2 500 mètres.	3 000 mètres.	3 500 mètres.	4 000 mètres.	4 500 mètres.	5 000 mètres.	5 500 mètres.	6 000 mètres.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
10	0,05	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
20	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
50	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,15	0,15	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
40	0,59	0,57	0,55	0,54	0,52	0,27	0,25	0,20	0,18	0,15	0,15	0,15
50	0,61	0,57	0,54	0,55	0,50	0,42	0,55	0,51	0,28	0,25	0,25	0,21
60	0,86	0,82	0,78	0,76	0,72	0,60	0,52	0,45	0,40	0,56	0,55	0,50
70	1,17	1,12	1,17	1,16	0,98	0,82	0,70	0,61	0,55	0,49	0,45	0,42
80	1,55	1,41	1,40	1,54	1,28	1,07	0,88	0,80	0,71	0,64	0,58	0,54
90	1,95	1,82	1,77	1,71	1,62	1,55	1,15	1,01	0,90	0,81	0,74	0,68
100	2,59	2,28	2,18	2,09	2,00	1,67	1,42	1,25	1,11	1,00	0,91	0,84
110	2,89	2,76	2,64	2,44	2,45	2,02	1,75	1,51	1,35	1,21	1,10	1,01
120	5,44	5,28	5,15	5,00	2,88	2,40	2,05	1,80	1,60	1,44	1,51	1,20
150	4,65	5,99	5,68	5,32	5,58	2,82	2,41	2,11	1,88	1,69	1,54	1,41
140	4,68	4,60	4,27	4,05	5,92	5,27	2,80	2,45	2,18	1,96	1,78	1,64
150	5,57	5,10	4,90	4,61	4,50	5,75	5,52	2,81	2,55	2,24	2,04	1,88
160	6,11	6,06	5,58	5,40	5,15	4,27	5,66	5,20	2,85	2,56	2,55	2,14
170	6,90	6,58	6,52	6,05	5,79	4,82	4,15	5,61	5,21	2,89	2,65	2,41
180	7,74	7,58	7,06	6,80	6,49	5,41	4,65	4,05	5,60	5,24	2,95	2,70
190	8,62	8,25	7,87	7,55	7,25	6,02	5,16	4,52	4,01	5,62	5,28	5,01
200	9,53	9,11	8,72	8,53	8,00	6,67	5,72	5,00	4,45	4,00	5,64	5,54
210	10,55	10,05	9,57	9,21	8,84	7,56	6,51	5,52	4,90	4,41	4,01	5,68
220	11,56	11,05	10,55	10,05	9,70	8,08	6,92	6,06	5,58	4,81	4,40	4,04
250	12,64	12,06	11,55	10,99	10,60	8,85	7,57	6,62	5,87	5,29	4,81	4,41
240	15,76	15,14	12,56	12,04	11,55	9,62	8,25	7,21	6,42	5,76	5,24	4,80
250	14,99	14,27	15,65	15,09	12,55	10,44	8,94	7,82	6,95	6,25	5,69	5,21
260	16,16	15,42	14,75	14,15	15,56	11,29	9,67	8,46	7,52	6,77	6,15	5,64
270	17,45	16,64	15,91	15,24	14,62	12,18	10,45	9,12	8,11	7,28	6,65	6,08
280	18,76	17,95	17,11	16,59	15,75	15,10	11,22	9,81	8,72	7,85	7,15	6,54
290	20,15	19,20	18,56	17,17	16,88	14,05	12,05	10,55	9,56	8,42	7,65	7,01
500	21,14	20,56	19,65	18,85	18,07	15,04	12,88	11,27	10,01	9,01	8,19	7,51

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon pour des arcs et des rayons donnés

ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.
R = 5 mètres			R = 50 mètres			R = 75 mètres (suite)		
1	0,995	0,009	5	4,992	0,250	20	19,764	2,651
2	1,947	0,595	10	9,955	0,997	25	24,540	4,128
3	2,823	0,875	15	14,776	2,255	30	29,206	5,920
4	3,587	1,512	20	19,471	5,947	35	33,745	8,020
5	4,207	2,298	25	25,971	6,121	40	38,150	10,416
6	4,660	3,188	30	28,252	8,755	45	42,598	13,100
R = 10 mètres			35	32,211	11,758	50	46,578	16,058
1	0,998	0,050	40	35,868	15,165	55	50,201	19,279
2	1,987	0,199	45	39,166	18,920	60	53,802	22,747
3	2,955	0,447	50	42,074	22,985	R = 80 mètres		
4	3,894	0,789	55	44,560	27,520	5	4,997	0,156
5	4,794	1,224	60	46,602	31,882	10	9,974	0,624
6	5,646	1,747	R = 60 mètres			15	14,912	1,402
7	6,442	2,352	5	4,994	0,208	20	19,792	2,487
8	7,174	3,055	10	9,934	0,831	25	24,595	3,875
9	7,855	3,784	15	14,844	1,865	30	29,502	5,559
10	8,415	4,597	20	19,652	3,505	35	33,894	7,555
R = 20 mètres			25	24,285	5,155	40	38,554	9,795
5	4,948	0,622	30	28,766	7,545	45	42,654	12,526
10	9,589	2,448	35	33,049	9,922	50	46,808	15,425
15	13,655	5,566	40	37,102	12,847	55	50,769	18,475
20	16,829	9,194	45	40,898	16,099	60	54,551	21,468
25	18,980	13,695	50	44,411	19,685	R = 90 mètres		
30	19,950	18,585	55	47,615	23,492	5	4,997	0,159
R = 30 mètres			60	50,488	27,582	10	9,979	0,355
5	4,977	0,416	R = 70 mètres			15	14,951	1,217
10	9,816	1,651	5	4,996	0,179	20	19,856	2,215
15	14,585	3,675	10	9,966	0,745	25	24,680	3,450
20	18,551	6,425	15	14,885	1,601	30	29,448	4,954
25	22,205	9,828	20	19,729	2,858	35	34,124	6,720
30	25,244	13,791	25	24,472	4,417	40	38,696	8,744
R = 40 mètres			30	29,090	6,351	45	45,148	11,018
5	4,987	0,512	35	33,540	8,569	50	47,467	13,555
10	9,896	1,244	40	37,858	11,121	55	51,640	16,289
15	14,615	2,780	45	41,964	15,975	60	55,655	19,270
20	19,177	4,897	50	45,855	17,111	65	59,498	22,470
25	23,404	7,561	55	49,515	20,518	70	63,155	25,877
30	27,266	10,752	60	52,918	24,178	75	66,616	29,485
35	30,702	14,560	65	56,054	28,072	R = 100 mètres		
40	33,659	18,588	70	58,905	32,179	10	9,988	0,500
45	36,004	22,575	75	61,404	36,591	20	19,867	1,995
R = 50 mètres			R = 75 mètres			30	29,552	4,466
5	4,996	0,167	5	4,996	0,167	40	38,942	7,894
10	9,970	0,666	10	9,970	0,666	50	47,945	12,242
15	14,900	1,495	15	14,900	1,495	60	56,464	17,466

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon pour des arcs et des rayons donnés

ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.
R = 100 mètres (suite)			R = 230 mètres (suite)			R = 330 mètres (suite)		
70	64,422	25,516	100	97,555	49,753	150	145,450	51,634
80	71,756	30,329	110	106,485	25,812	160	154,485	33,959
90	78,555	37,859	120	115,445	28,251	170	165,594	40,480
100	84,147	45,970	130	124,220	35,045	180	172,170	45,274
R = 150 mètres			140	132,796	38,486	190	180,805	50,517
10	9,995	0,555	150	141,160	45,666	200	189,292	55,605
20	19,941	1,551	160	149,299	49,476	R = 400 mètres		
30	29,800	2,990	170	157,498	53,607	10	9,999	0,425
40	39,528	5,302	180	164,846	62,048	20	19,992	0,500
50	49,079	8,256	190	172,250	68,791	30	29,972	1,124
60	58,415	11,844	200	179,559	75,825	40	39,955	1,998
70	67,487	16,059	R = 300 mètres			50	49,870	5,121
80	76,261	20,852	10	9,998	0,167	60	59,775	4,491
90	84,696	26,200	20	19,985	0,666	70	69,645	6,109
100	92,755	32,117	30	29,950	1,499	80	79,468	7,975
110	100,405	38,558	40	39,882	2,665	90	89,242	10,082
120	107,605	45,424	50	49,769	4,157	100	98,961	12,435
R = 200 mètres			60	59,604	5,980	110	108,619	15,050
10	9,996	0,250	70	69,567	8,150	120	118,208	17,865
20	19,967	0,992	80	79,035	10,694	130	127,724	20,940
30	29,888	2,246	90	88,656	15,599	140	137,159	24,251
40	39,754	3,987	100	98,158	16,545	150	146,509	27,797
50	49,484	6,218	110	107,552	19,942	160	155,767	31,576
60	59,104	8,955	120	116,826	25,682	170	164,928	35,584
70	68,580	12,126	130	125,970	27,729	180	175,986	39,821
80	77,884	15,788	140	134,974	32,058	190	182,955	44,285
90	86,995	19,911	150	145,828	36,725	200	191,770	48,967
100	95,885	24,485	160	152,522	41,665	R = 450 mètres		
110	104,557	29,495	170	161,047	46,891	10	9,999	0,444
120	112,928	34,955	180	169,535	52,599	20	19,995	0,444
130	121,057	40,785	190	177,550	58,482	30	29,978	0,999
140	128,844	47,052	200	185,511	64,254	40	39,947	1,776
150	136,328	53,662	R = 350 mètres			50	49,897	2,775
160	145,471	60,639	10	9,999	0,145	60	59,822	5,994
170	150,256	68,005	20	19,989	0,571	70	69,718	5,454
R = 250 mètres			30	29,965	1,285	80	79,579	7,095
10	9,997	0,200	40	39,915	2,285	90	89,401	8,970
20	19,979	0,800	50	49,850	5,565	100	99,179	11,066
30	29,928	1,798	60	59,706	5,175	110	108,938	15,578
40	39,829	3,195	70	69,554	6,978	120	118,585	15,908
50	49,667	4,985	80	79,505	9,105	130	128,199	18,647
60	59,426	7,165	90	89,041	11,508	140	137,755	21,605
70	69,089	9,756	100	98,645	14,189	150	147,258	24,770
80	78,642	12,691	110	108,198	17,144	160	156,650	28,146
90	88,069	16,026	120	117,665	20,571	170	165,985	31,751
			130	127,051	25,867	180	175,238	35,525
			140	136,297	27,629	190	184,404	39,518
						200	193,480	43,718

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon pour des arcs et des rayons donnés

ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.
R = 300 mètres			R = 600 mètres (suite)			R = 700 mètres (suite)		
40	9,999	0,400	60	39,900	2,997	110	109,548	8,625
20	49,995	0,400	70	69,844	4,078	120	119,412	10,500
30	29,982	0,900	80	79,765	5,525	150	129,254	12,057
40	59,937	1,599	90	89,665	6,757	140	139,068	15,956
50	49,917	2,498	100	99,558	8,514	150	148,855	16,010
60	59,856	5,596	110	109,585	10,055	160	158,610	18,206
70	69,772	4,892	120	119,202	11,060	170	168,554	20,542
80	79,659	6,586	150	128,985	14,029	180	178,025	25,016
90	89,515	8,078	140	158,755	16,259	190	187,676	25,628
100	99,555	9,967	150	148,442	18,655	200	197,290	28,578
110	109,115	12,051	160	158,110	21,207	R = 730 mètres		
120	118,851	14,551	170	167,754	25,925	40	9,999	0,067
150	128,540	16,805	180	177,512	26,798	20	19,997	0,267
140	158,178	19,472	190	186,840	29,855	50	29,992	0,600
150	147,760	22,552	200	196,517	55,026	40	39,981	1,067
160	157,285	25,582	R = 650 mètres			50	49,955	1,666
170	166,744	28,625	40	9,999	0,077	60	59,956	2,598
180	176,157	52,052	20	19,997	0,507	70	69,898	5,264
190	185,460	55,668	50	29,987	0,691	80	79,848	4,265
200	194,709	59,470	40	59,965	1,250	90	89,784	5,594
R = 550 mètres			50	49,962	1,925	100	99,704	6,686
40	9,999	0,091	60	59,902	2,768	110	109,606	8,051
20	19,995	0,565	70	69,824	5,761	120	119,488	9,579
30	29,985	0,818	80	79,778	4,914	150	129,549	11,258
40	59,962	1,454	90	89,714	6,221	140	139,187	15,029
50	49,927	2,271	100	99,627	7,680	150	149,002	14,951
60	59,877	5,269	110	109,425	9,277	160	158,789	17,005
70	69,808	4,448	120	119,289	11,040	170	168,518	19,185
80	79,715	5,807	150	129,126	12,955	180	178,276	21,469
90	89,595	7,546	140	158,875	15,008	190	187,974	25,958
100	99,445	9,064	150	148,612	17,217	200	197,658	26,509
110	109,260	10,962	160	158,550	19,585	R = 800 mètres		
120	119,042	15,037	170	168,050	22,099	10	10,000	0,062
150	128,784	15,290	180	177,619	24,759	20	19,998	0,250
140	158,485	17,720	190	187,257	27,532	50	29,995	0,562
150	148,157	20,525	200	196,841	50,512	40	39,985	1,000
160	157,742	25,106	R = 700 mètres			50	49,968	1,562
170	167,294	26,061	40	9,999	0,071	60	59,944	2,248
180	176,791	29,188	20	19,997	0,286	70	69,911	5,061
190	186,251	52,489	50	29,991	0,645	80	79,867	5,997
200	195,608	55,960	40	59,978	1,145	90	89,810	5,057
R = 600 mètres			50	49,958	1,786	100	99,740	6,242
40	9,999	0,085	60	59,927	2,570	110	109,654	7,551
20	19,996	0,555	70	69,885	5,495	120	119,551	8,985
30	29,988	0,750	80	79,826	4,567	150	129,429	10,559
40	59,971	1,555	90	89,752	5,778	140	139,287	12,219
50	49,942	2,082	100	99,660	7,151	150	149,121	14,021

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon pour des arcs et des rayons donnés

ARCS.	ABSCESSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCESSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCESSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.
R = 300 mètres (suite)			R = 950 mètres			R = 1500 mètres (suite)		
160	158,935	15,947	10	10,000	0,052	100	99,926	3,557
170	168,725	17,995	20	19,999	0,219	120	119,872	4,798
180	178,485	20,165	30	29,996	0,475	140	139,796	6,525
190	188,218	22,402	40	39,995	0,842	160	159,699	8,522
200	197,925	24,870	50	49,994	1,317	180	179,570	10,787
R = 350 mètres			60	59,954	1,892	200	199,409	13,514
40	10,000	0,059	70	69,920	2,576	220	219,211	16,104
50	19,999	0,256	80	79,907	3,367	240	238,978	19,158
20	29,996	0,550	90	89,884	4,262	260	258,699	22,477
30	39,986	0,957	100	99,805	5,265	280	278,378	26,058
40	49,968	1,467	110	109,759	6,359	300	298,004	29,904
50	59,959	2,114	120	119,685	7,569	320	317,577	34,004
60	69,894	2,879	130	129,614	8,885	340	337,096	38,569
70	79,869	3,760	140	139,462	10,292	360	356,555	42,995
80	89,817	4,760	150	149,565	11,814	380	375,950	47,877
90	99,784	5,877	160	159,247	13,452	400	395,276	55,018
100	109,678	7,098	170	169,062	15,166	R = 2000 mètres		
110	119,521	8,445	180	178,925	17,006	20	20,000	0,100
120	129,447	9,912	190	188,722	18,954	40	39,999	0,401
130	139,417	11,492	200	198,502	20,976	60	59,991	0,900
140	149,185	13,192	R = 1000 mètres			80	79,979	1,600
150	159,026	15,018	40	10,000	0,050	100	99,956	2,500
160	168,870	16,940	20	19,999	0,200	120	119,928	3,599
170	178,652	18,995	30	29,995	0,450	140	139,886	4,898
180	188,456	21,148	40	39,989	0,800	160	159,828	6,596
190	198,167	23,429	50	49,979	1,249	180	179,758	8,694
R = 900 mètres			60	59,964	1,799	200	199,662	9,991
10	10,000	0,056	70	69,945	2,449	220	219,535	12,088
20	19,998	0,222	80	79,915	3,198	240	239,427	14,585
30	29,994	0,500	90	89,879	4,047	260	259,267	16,876
40	39,986	0,889	100	99,854	4,996	280	279,086	19,568
50	49,974	1,589	110	109,749	6,055	300	298,878	22,458
60	59,956	2,499	120	119,712	7,192	320	318,658	25,545
70	69,929	3,721	130	129,654	8,458	340	338,365	28,851
80	79,895	5,355	140	139,545	9,784	360	358,062	32,514
90	89,851	7,496	150	149,458	11,229	380	377,748	35,992
100	99,794	10,350	160	159,518	12,772	400	397,559	39,867
110	109,726	13,914	170	169,182	14,415	R = 2500 mètres		
120	119,645	18,188	180	179,050	16,156	20	20,000	0,080
130	129,548	23,173	190	188,859	17,996	40	40,000	0,320
140	139,456	28,867	200	198,669	19,954	60	59,997	0,720
150	149,506	35,274	R = 1500 mètres			80	79,987	1,280
160	159,159	42,485	20	20,000	0,155	100	99,967	1,999
170	168,991	50,008	40	39,996	0,555	120	119,935	2,880
180	178,802	57,940	60	59,984	1,200	140	139,929	3,919
190	188,592	67,981	80	79,965	2,152	160	159,891	5,118
200	198,558	79,434						

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon pour des arcs et des rayons donnés

ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.
R = 2500 mètres (suite)			R = 3500 mètres (suite)			R = 5000 mètres (suite)		
180	179,844	6,478	260	259,761	9,635	540	359,712	11,566
200	199,784	7,995	280	279,699	11,195	560	359,665	12,976
220	219,718	9,675	300	299,656	12,850	580	379,605	14,456
240	259,652	11,512	320	319,555	14,620	400	399,574	15,990
260	259,528	15,508	340	359,465	16,502			
280	279,415	18,664	360	359,367	18,498			
300	299,287	17,979	380	379,255	20,608			
320	319,128	20,455	400	399,128	22,948			
340	358,955	25,085						
360	358,756	25,875						
380	378,545	28,825						
400	398,291	31,951						
R = 3000 mètres			R = 4000 mètres			R = 6000 mètres		
20	20,000	0,069	20	20,000	0,051	20	20,000	0,054
40	40,000	0,267	40	40,000	0,200	40	40,000	0,152
60	59,999	0,690	60	60,000	0,450	60	60,000	0,500
80	79,991	1,067	80	79,996	0,800	80	80,000	0,554
100	99,974	1,667	100	99,989	1,250	100	99,996	0,828
120	119,970	2,400	120	119,982	1,800	120	119,992	1,197
140	159,951	3,266	140	139,967	2,450	140	159,986	1,626
160	159,926	4,265	160	159,959	3,200	160	159,975	2,156
180	179,890	5,599	180	179,941	4,050	180	179,968	2,700
200	199,852	6,664	200	199,916	4,999	200	199,960	3,550
220	219,805	8,064	220	219,888	6,049	220	219,936	4,040
240	259,745	9,594	240	259,838	7,198	240	259,925	4,800
260	259,674	11,259	260	259,816	8,447	260	259,920	5,641
280	279,595	15,057	280	279,771	9,796	280	279,910	6,542
300	299,501	14,988	300	299,721	11,245	300	299,880	7,500
320	319,599	17,051	320	319,655	12,792	320	319,860	8,540
340	359,277	19,247	340	359,591	14,442	340	359,840	9,640
360	359,140	21,575	360	359,517	16,188	360	359,760	10,805
380	378,987	24,055	380	379,426	18,056	380	379,740	12,040
400	398,817	26,628	400	399,325	19,982	400	399,710	15,550
R = 3500 mètres			R = 5000 mètres			R = 7000 mètres		
20	20,000	0,057	20	20,000	0,040	20	20,000	0,050
40	40,000	0,229	40	40,000	0,160	40	40,000	0,108
60	60,000	0,515	60	60,000	0,560	60	60,000	0,259
80	79,995	0,944	80	79,996	0,640	80	80,000	0,435
100	99,982	1,428	100	99,995	1,000	100	99,995	0,710
120	119,977	2,057	120	119,980	1,440	120	119,990	1,029
140	159,960	2,799	140	159,972	1,960	140	159,989	1,596
160	159,945	3,657	160	159,960	2,560	160	159,986	1,850
180	179,917	4,627	180	179,945	3,242	180	179,980	2,516
200	199,891	5,714	200	199,947	4,000	200	199,970	2,860
220	219,855	6,912	220	219,912	4,840	220	219,960	3,462
240	259,812	8,225	240	259,890	5,760	240	259,950	4,116
			260	259,862	6,762	260	259,940	4,854
			280	279,855	7,850	280	279,925	5,605
			300	299,820	8,997	300	299,910	6,450
			320	319,760	10,245	320	319,890	7,515
						340	359,870	8,260
						360	359,840	9,261
						380	379,810	10,511
						400	399,780	11,450

Table des demi-cordes et des flèches pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon

ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES.	ARCS.	ABSCISSES ou 1/2 CORDES.	ORDONNÉES ou FLÈCHES
R = 8000 mètres			R = 9000 mètres			R = 10000 mètres		
20	20,000	0,026	20	20,000	0,025	20	20,000	0,022
40	40,000	0,096	40	40,000	0,090	40	40,000	0,082
60	60,000	0,227	60	60,000	0,196	60	60,000	0,180
80	80,000	0,400	80	80,000	0,357	80	80,000	0,320
100	99,997	0,622	100	99,998	0,560	100	99,999	0,500
120	119,992	0,900	120	119,995	0,804	120	119,998	0,716
140	139,989	1,250	140	139,990	1,089	140	139,996	0,980
160	159,987	1,600	160	159,987	1,417	160	159,994	1,280
180	179,982	2,026	180	179,985	1,796	180	179,992	1,620
200	199,976	2,496	200	199,980	2,220	200	199,990	2,000
220	219,964	3,026	220	219,976	2,690	220	219,985	2,419
240	239,956	3,600	240	239,970	3,196	240	239,976	2,880
260	259,945	4,220	260	259,960	3,760	260	259,964	3,580
280	279,925	4,904	280	279,950	4,357	280	279,958	3,920
300	299,920	5,624	300	299,940	5,000	300	299,950	4,500
320	319,910	6,400	320	319,925	5,689	320	319,944	5,120
340	339,885	7,252	340	339,894	6,418	340	339,950	5,790
360	359,860	8,096	360	359,881	7,200	360	359,920	6,480
380	379,850	9,024	380	379,870	8,026	380	379,906	7,210
400	399,850	10,000	400	399,860	8,890	400	399,890	8,000

Table générale des abscisses et ordonnées du cercle

R = 1

1^{re} PARTIE. — Équidistances sur la tangente.2^e PARTIE. — Équidistances sur l'arc.

ÉQUIDISTANCES SUR LA TANGENTE.					ÉQUIDISTANCES SUR L'ARC.				
ABS- CISSES	ORDONNÉES.		ARCS.		ARCS.	ABSCISSES.		ORDONNÉES.	
	mèt.	Diff.	mèt.	diff.		mèt.	diff.	mèt.	diff.
0,01	0,000005	15	0,01000	1000	0,01	0,01000	1000	0,00005	15
0,02	0,00020	25	0,01999	1000	0,02	0,01999	1000	0,00020	25
0,05	0,00045	55	0,05000	1000	0,05	0,02999	999	0,00045	55
0,04	0,00080	45	0,04000	1000	0,04	0,05999	999	0,00080	45
0,05	0,00125	55	0,05002	1002	0,05	0,04998	998	0,00125	55
0,06	0,00180	65	0,06005	1005	0,06	0,05996	998	0,00180	65
0,07	0,00245	75	0,07006	1005	0,07	0,06994	997	0,00245	75
0,08	0,00521	85	0,08009	1004	0,08	0,07991	996	0,00520	85
0,09	0,00406	95	0,09015	1004	0,09	0,08988	995	0,00405	95
0,10	0,00501	106	0,10017	1004	0,10	0,09985	994	0,00499	105
0,11	0,00610	116	0,11025	1006	0,11	0,10978	994	0,00604	115
0,12	0,00725	126	0,12050	1007	0,12	0,11971	992	0,00719	125

ÉQUIDISTANCES SUR LA TANGENTE.					ÉQUIDISTANCES SUR L'ARC.						
ABS- CISSES		ORDONNÉES.		ARCS.		ARCS.		ABSCISSES.		ORDONNÉES.	
mèt.	mèt.	diff.	mèt.	diff.	mèt.	mèt.	diff.	mèt.	diff.	mèt.	diff.
0,15	0,00849	126	0,15058	1008	0,15	0,12965	992	0,00844	125		
0,14	0,00985	146	0,14047	1009	0,14	0,13954	991	0,00978	155		
0,15	0,01151	146	0,15057	1010	0,15	0,14944	990	0,01125	245		
0,16	0,01288	157	0,16070	1012	0,16	0,15952	988	0,01277	154		
0,17	0,01456	167	0,17084	1016	0,17	0,16918	986	0,01442	164		
0,18	0,01655	178	0,18099	1018	0,18	0,17905	985	0,01616	184		
0,19	0,01822	188	0,19117	1020	0,19	0,18886	981	0,01800	194		
0,20	0,02020	209	0,20137	1022	0,20	0,19867	979	0,01995	205		
0,21	0,02250	220	0,21159	1024	0,21	0,20846	977	0,02197	215		
0,22	0,02450	251	0,22183	1026	0,22	0,21825	975	0,02410	225		
0,25	0,02681	242	0,25209	1029	0,25	0,22798	975	0,02655	255		
0,24	0,02925	255	0,24258	1051	0,24	0,23770	970	0,02866	245		
0,25	0,05175	265	0,25269	1055	0,25	0,24740	968	0,05109	252		
0,26	0,05459	275	0,26502	1056	0,26	0,25708	965	0,05561	262		
0,27	0,05714	286	0,27558	1042	0,27	0,26675	965	0,05625	272		
0,28	0,04000	297	0,28580	1044	0,28	0,27656	960	0,05894	281		
0,29	0,04297	509	0,29424	1047	0,29	0,28595	957	0,04176	291		
0,50	0,04606	520	0,50471	1050	0,50	0,29552	954	0,04466	500		
0,51	0,04926	532	0,51520	1054	0,51	0,50506	951	0,04767	510		
0,52	0,05258	544	0,52574	1059	0,52	0,51457	948	0,05077	519		
0,55	0,05602	556	0,55655	1060	0,55	0,52404	944	0,05596	529		
0,54	0,05958	567	0,54695	1066	0,54	0,53549	941	0,05724	558		
0,55	0,06525	580	0,55759	1070	0,55	0,54290	938	0,06065	548		
0,56	0,06707	592	0,56829	1074	0,56	0,55227	934	0,06410	557		
0,57	0,07092	405	0,57901	1077	0,57	0,56161	951	0,06767	557		
0,58	0,07502	417	0,58982	1084	0,58	0,57092	922	0,07155	566		
0,59	0,07918	450	0,40066	1087	0,59	0,58019	925	0,07509	585		
0,40	0,08548	445	0,41155	1090	0,40	0,58942	919	0,97894	594		
0,41	0,08791	456	0,42245	1095	0,41	0,59861	915	0,08288	405		
0,42	0,09248	469	0,45548	1104	0,42	0,40776	911	0,08691	412		
0,45	0,09717	485	0,44452	1110	0,45	0,41687	906	0,09105	421		
0,44	0,10200	497	0,45565	1115	0,44	0,42594	905	0,09525	450		
0,45	0,10692	511	0,46678	1125	0,45	0,45497	898	0,09955	459		
0,46	0,11208	525	0,47805	1151	0,46	0,44595	894	0,10595	448		
0,47	0,11755	540	0,48955	1156	0,47	0,45289	889	0,10845	457		
0,48	0,12275	555	0,50069	1142	0,48	0,46178	885	0,11500	466		
0,49	0,12828	570	0,51211	1148	0,49	0,47065	879	0,11767	475		
0,50	0,15598	585	0,52560	1159	0,50	0,47945	875	0,12242	466		
0,51	0,15985	601	0,55519	1166	0,51	0,48818	870	0,12726	484		
0,52	0,14585	617	0,54686	1178	0,52	0,49688	865	0,15218	492		
0,55	0,15200	655	0,55864	1185	0,55	0,50555	860	0,15719	501		
0,54	0,15854	650	0,57049	1187	0,54	0,51414	855	0,14229	510		
0,55	0,16484	667	0,58256	1206	0,55	0,52269	850	0,14748	518		
0,56	0,17151	685	0,59442	1214	0,56	0,55149	845	0,15274	527		
0,57	0,17855	705	0,60656	1222	0,57	0,55965	859	0,15810	535		
0,58	0,18558	721	0,61879	1251	0,58	0,54802	854	0,16554	544		
0,59	0,19260	740	0,65110	1245	0,59	0,55656	828	0,16906	561		
0,60	0,20000	760	0,64555	1255	0,60	0,56464	822	0,17466	569		
0,61	0,20760	780	0,65610	1264	0,61	0,57287	817	0,18055	577		
0,62	0,21540	801	0,66875	1280	0,62	0,58104	811	0,18612	585		
0,65	0,22540	822	0,68155	1298	0,65	0,58914	805	0,19197	595		
0,64	0,25165	844	0,69455	1510	0,64	0,59720	799	0,19790	601		
0,65	0,24007	867	0,70762	1520	0,65	0,60519	795	0,20592	609		
0,66	0,24875	890	0,72082	1559	0,66	0,61512	787	0,21001	617		
0,67	0,24764	915	0,75421	1559	0,67	0,62099	781	0,21618	625		
0,68	0,26679	940	0,74780	1571	0,68	0,62879	774	0,22245	635		

ÉQUIDISTANCES SUR LA TANGENTE.					ÉQUIDISTANCES SUR L'ARC.				
ABS- CISSES.	ORDONNÉES.		ARCS.		ARCS.	ABSCISSES.		ORDONNÉES.	
	mèt.	diff.	mèt.	diff.		mèt.	diff.	mèt.	diff.
0,69	0,27619	940	0,76151	1571	0,69	0,65654	774	0,22875	655
0,70	0,28586	967	0,77545	1592	0,70	0,64422	768	0,23316	646
0,71	0,29580	984	0,78958	1415	0,71	0,63185	762	0,24164	648
0,72	0,50605	1055	0,80587	1429	0,72	0,61958	755	0,24819	656
0,75	0,51635	1055	0,81850	1445	0,75	0,60687	748	0,25485	665
0,74	0,52759	1084	0,85508	1478	0,74	0,67429	742	0,26155	670
0,75	0,55856	1117	0,84812	1504	0,75	0,68164	735	0,26851	678
0,76	0,55008	1152	0,86555	1520	0,76	0,68892	728	0,27516	685
0,77	0,56196	1188	0,87895	1560	0,77	0,69615	721	0,28209	692
0,78	0,57422	1226	0,89471	1578	0,78	0,70328	714	0,28909	700
0,79	0,58689	1267	0,91091	1620	0,79	0,71055	707	0,29615	708
0,80	0,40000	1511	0,92752	1641	0,80	0,71756	700	0,50529	714
0,81	0,41537	1557	0,94418	1685	0,81	0,72429	695	0,50529	721
0,82	0,42764	1407	0,96155	1755	0,82	0,73115	686	0,51050	750
0,85	0,44224	1460	0,97912	1759	0,85	0,73795	678	0,51780	754
0,84	0,45741	1518	0,99736	1824	0,84	0,74464	671	0,52512	741
0,85	0,47522	1580	1,01605	1866	0,84	0,75128	664	0,55254	748
0,86	0,48971	1649	1,03527	1924	0,85	0,75784	656	0,54002	755
0,87	0,50695	1724	1,05527	2000	0,86	0,76435	649	0,54756	761
0,88	0,52505	1818	1,07594	2066	0,87	0,77074	641	0,55517	768
0,89	0,54404	1901	1,09744	2151	0,88	0,77707	635	0,57059	774
0,90	0,56440	2006	1,11986	2241	0,89	0,78355	628	0,57859	780
0,91	0,58559	2129	1,14340	2555	0,90	0,78950	618	0,58625	786
0,92	0,60808	2269	1,16818	2478	0,91	0,79560	610	0,59418	795
0,95	0,65244	2456	1,19459	2640	0,92	0,79560	602	0,40217	799
0,94	0,65885	2657	1,22281	2822	0,95	0,80162	594	0,41021	805
0,95	0,68775	2892	1,25537	5057	0,94	0,80756	586	0,41852	810
0,96	0,68775	5225	1,28715	5576	0,95	0,81541	578	0,42648	816
0,97	0,72000	5890	1,28715	5814	0,96	0,81919	569	0,45470	828
0,97	0,75689	4411	1,52527	4535	0,97	0,82489	561	0,44298	828
0,98	0,80100	3795	1,57065	5877	0,98	0,83050	555	0,45151	855
0,99	0,85895	14107	1,42940	14140	0,99	0,85604	543	0,45970	859
1,00	1,00000		1,57080		1,00	0,84147			

Tableaux des abscisses et des ordonnées pour le tracé des courbes

Les abscisses ou sinus naturels et les ordonnées ou $1 - \cos$ naturel étant calculées de 5 minutes en 5 minutes, il sera facile de choisir dans la colonne des abscisses correspondantes aux chiffres 1, 2, 3, 4, 5, etc., indiquant le rayon, le nombre qui approchera le plus de la longueur de tangente que l'on aura fixée. Ce nombre une fois trouvé, on se transporte au tableau des ordonnées, et dans la colonne correspondante à celle des abscisses on trouve l'ordonnée cherchée.

Exemple : Soit à déterminer l'ordonnée correspondante à une longueur de 50 mètres de tangente pour une courbe de 500 mètres de rayon.

Je cherche dans le tableau des abscisses, à la colonne verticale marquée 5, le nombre qui, multiplié par 100, approche le plus de 50, et je trouve 29,798 correspondant à $5^{\circ} 25'$; je me reporte à $5^{\circ} 25'$ au tableau des ordonnées et en multipliant par 100 le nombre correspondant dans la colonne 5, j'ai 0,88875 pour l'ordonnée demandée.

D'où l'on voit que les tables étant établies pour des rayons égaux aux neuf premiers nombres, il suffira de multiplier par 10, 100, 1000, etc., le nombre des tables pour des rayons 10, 100, 1000 fois plus grands.

Si, dans le tracé d'une courbe on voulait déterminer des parties égales de circonférence, la longueur d'abscisse à prendre sur la tangente ne serait plus arbitraire, mais devrait être calculée, ainsi que les ordonnées, par rapport à des arcs égaux.

Tableau des abscisses

Table with columns labeled 1 through 9 and rows labeled with degrees from 0° to 55°. The table contains numerical values for each degree and sub-degree.

pour le tracé des courbes

Table with columns labeled 1 through 9 and rows labeled with degrees from 5° to 65°. The table contains numerical values for each degree and sub-degree.

Tableau des abscisses

DEGRES.	ABSCISSES						
	1	2	3	4	5	6	7
7°	0.1218 695	0.2457 586	0.5646 079	0.8874 772	0.6095 463	0.7542 488	0.8650 894
8°	0.1355 418	0.2466 295	0.5659 991	0.8951 584	0.6163 610	0.7542 488	0.8650 894
9°	0.1500 910	0.2477 012	0.5679 713	0.9002 306	0.6277 136	0.7542 488	0.8650 894
10°	0.1653 882	0.2488 729	0.5709 435	0.9053 021	0.6403 260	0.7542 488	0.8650 894
11°	0.1814 500	0.2501 446	0.5749 157	0.9103 736	0.6543 174	0.7542 488	0.8650 894
12°	0.1982 462	0.2515 163	0.5798 879	0.9154 451	0.6692 889	0.7542 488	0.8650 894
13°	0.2157 424	0.2529 880	0.5858 601	0.9205 166	0.6852 404	0.7542 488	0.8650 894
14°	0.2339 386	0.2544 597	0.5928 323	0.9255 881	0.7021 918	0.7542 488	0.8650 894
15°	0.2528 348	0.2560 314	0.6008 045	0.9306 596	0.7193 511	0.7542 488	0.8650 894
16°	0.2723 310	0.2576 031	0.6097 767	0.9357 311	0.7370 864	0.7542 488	0.8650 894
17°	0.2924 272	0.2592 748	0.6197 489	0.9408 026	0.7552 899	0.7542 488	0.8650 894
18°	0.3131 234	0.2609 465	0.6307 211	0.9458 741	0.7740 652	0.7542 488	0.8650 894
19°	0.3344 196	0.2627 182	0.6426 933	0.9509 456	0.7934 065	0.7542 488	0.8650 894
20°	0.3563 158	0.2645 900	0.6556 615	0.9560 171	0.8133 090	0.7542 488	0.8650 894
21°	0.3788 120	0.2664 617	0.6696 297	0.9610 886	0.8337 675	0.7542 488	0.8650 894
22°	0.4019 082	0.2684 334	0.6846 019	0.9661 591	0.8547 770	0.7542 488	0.8650 894
23°	0.4256 044	0.2705 051	0.7005 741	0.9712 296	0.8763 325	0.7542 488	0.8650 894
24°	0.4498 006	0.2726 768	0.7176 481	0.9763 001	0.8984 390	0.7542 488	0.8650 894
25°	0.4745 968	0.2748 485	0.7357 721	0.9813 706	0.9211 015	0.7542 488	0.8650 894
26°	0.5000 930	0.2771 202	0.7549 461	0.9863 421	0.9444 140	0.7542 488	0.8650 894
27°	0.5263 892	0.2794 919	0.7752 201	0.9913 136	0.9682 825	0.7542 488	0.8650 894
28°	0.5534 854	0.2818 636	0.7965 941	0.9962 841	0.9926 270	0.7542 488	0.8650 894
29°	0.5814 816	0.2842 353	0.8190 681	1.0012 546	1.0174 415	0.7542 488	0.8650 894
30°	0.6103 778	0.2866 070	0.8426 421	1.0062 251	1.0426 110	0.7542 488	0.8650 894
31°	0.6402 740	0.2890 787	0.8673 161	1.0111 956	1.0681 205	0.7542 488	0.8650 894
32°	0.6711 702	0.2915 504	0.8930 901	1.0161 661	1.0939 650	0.7542 488	0.8650 894
33°	0.7031 664	0.2940 221	0.9199 641	1.0211 366	1.1201 395	0.7542 488	0.8650 894
34°	0.7362 626	0.2965 938	0.9479 381	1.0261 071	1.1467 290	0.7542 488	0.8650 894
35°	0.7704 588	0.2991 655	0.9769 121	1.0310 776	1.1736 285	0.7542 488	0.8650 894
36°	0.8058 550	0.3017 372	1.0078 861	1.0360 481	1.2008 230	0.7542 488	0.8650 894
37°	0.8424 512	0.3043 089	1.0407 501	1.0410 186	1.2283 125	0.7542 488	0.8650 894
38°	0.8802 474	0.3068 806	1.0756 081	1.0459 891	1.2561 010	0.7542 488	0.8650 894
39°	0.9192 436	0.3094 523	1.1134 601	1.0509 586	1.2841 845	0.7542 488	0.8650 894
40°	0.9594 398	0.3120 240	1.1533 261	1.0559 281	1.3124 580	0.7542 488	0.8650 894
41°	1.0008 360	0.3145 957	1.1952 861	1.0608 976	1.3410 165	0.7542 488	0.8650 894
42°	1.0434 322	0.3171 674	1.2393 401	1.0658 671	1.3700 550	0.7542 488	0.8650 894
43°	1.0872 284	0.3197 391	1.2854 941	1.0708 366	1.4000 685	0.7542 488	0.8650 894
44°	1.1322 246	0.3223 108	1.3337 481	1.0758 061	1.4309 520	0.7542 488	0.8650 894
45°	1.1784 208	0.3248 825	1.3842 021	1.0807 756	1.4627 005	0.7542 488	0.8650 894
46°	1.2258 170	0.3274 542	1.4368 561	1.0857 451	1.4953 090	0.7542 488	0.8650 894
47°	1.2744 132	0.3300 259	1.4917 101	1.0907 146	1.5287 725	0.7542 488	0.8650 894
48°	1.3242 094	0.3325 976	1.5488 641	1.0956 841	1.5630 760	0.7542 488	0.8650 894
49°	1.3752 056	0.3351 693	1.6083 181	1.1006 536	1.5982 145	0.7542 488	0.8650 894
50°	1.4274 018	0.3377 410	1.6700 721	1.1056 231	1.6341 830	0.7542 488	0.8650 894
51°	1.4808 980	0.3403 127	1.7341 261	1.1105 926	1.6708 765	0.7542 488	0.8650 894
52°	1.5356 942	0.3428 844	1.8005 801	1.1155 621	1.7083 000	0.7542 488	0.8650 894
53°	1.5918 904	0.3454 561	1.8694 341	1.1205 316	1.7464 585	0.7542 488	0.8650 894
54°	1.6495 866	0.3480 278	1.9407 881	1.1255 011	1.7853 470	0.7542 488	0.8650 894
55°	1.7088 828	0.3505 995	2.0146 421	1.1304 706	1.8249 605	0.7542 488	0.8650 894
56°	1.7697 790	0.3531 712	2.0910 961	1.1354 401	1.8653 040	0.7542 488	0.8650 894
57°	1.8322 752	0.3557 429	2.1692 501	1.1404 096	1.9063 825	0.7542 488	0.8650 894
58°	1.8964 714	0.3583 146	2.2492 041	1.1453 791	1.9481 910	0.7542 488	0.8650 894
59°	1.9623 676	0.3608 863	2.3319 581	1.1503 486	1.9917 345	0.7542 488	0.8650 894
60°	2.0299 638	0.3634 580	2.4174 121	1.1553 181	2.0370 180	0.7542 488	0.8650 894

pour le tracé des courbes

10°	1.3648 535	1.5886 089	1.6145 714	1.6404 339	1.6663 964	1.6923 589	1.7183 214	1.7442 839	1.7702 464	1.7962 089	1.8221 714	1.8481 339	1.8740 964	1.9000 589	1.9260 214	1.9519 839	1.9779 464	2.0039 089	2.0298 714	2.0558 339	2.0817 964	2.1077 589	2.1337 214	2.1596 839	2.1856 464	2.2116 089	2.2375 714	2.2635 339	2.2894 964	2.3154 589	2.3414 214	2.3673 839	2.3933 464	2.4193 089	2.4452 714	2.4712 339	2.4971 964	2.5231 589	2.5491 214	2.5750 839	2.6010 464	2.6270 089	2.6529 714	2.6789 339	2.7048 964	2.7308 589	2.7568 214	2.7827 839	2.8087 464	2.8347 089	2.8606 714	2.8866 339	2.9125 964	2.9385 589	2.9645 214	2.9904 839	3.0164 464	3.0424 089	3.0683 714	3.0943 339	3.1202 964	3.1462 589	3.1722 214	3.1981 839	3.2241 464	3.2501 089	3.2760 714	3.3020 339	3.3279 964	3.3539 589	3.3799 214	3.4058 839	3.4318 464	3.4578 089	3.4837 714	3.5097 339	3.5356 964	3.5616 589	3.5876 214	3.6135 839	3.6395 464	3.6655 089	3.6914 714	3.7174 339	3.7433 964	3.7693 589	3.7953 214	3.8212 839	3.8472 464	3.8732 089	3.8991 714	3.9251 339	3.9510 964	3.9770 589	4.0030 214	4.0289 839	4.0549 464	4.0809 089	4.1068 714	4.1328 339	4.1587 964	4.1847 589	4.2107 214	4.2366 839	4.2626 464	4.2886 089	4.3145 714	4.3405 339	4.3664 964	4.3924 589	4.4184 214	4.4443 839	4.4703 464	4.4963 089	4.5222 714	4.5482 339	4.5741 964	4.6001 589	4.6261 214	4.6520 839	4.6780 464	4.7039 089	4.7298 714	4.7558 339	4.7817 964	4.8077 589	4.8337 214	4.8596 839	4.8856 464	4.9116 089	4.9375 714	4.9635 339	4.9894 964	5.0154 589	5.0414 214	5.0673 839	5.0933 464	5.1193 089	5.1452 714	5.1712 339	5.1971 964	5.2231 589	5.2491 214	5.2750 839	5.3010 464	5.3270 089	5.3529 714	5.3789 339	5.4048 964	5.4308 589	5.4568 214	5.4827 839	5.5087 464	5.5347 089	5.5606 714	5.5866 339	5.6125 964	5.6385 589	5.6645 214	5.6904 839	5.7164 464	5.7424 089	5.7683 714	5.7943 339	5.8202 964	5.8462 589	5.8722 214	5.8981 839	5.9241 464	5.9501 089	5.9760 714	6.0020 339	6.0279 964	6.0539 589	6.0799 214	6.1058 839	6.1318 464	6.1578 089	6.1837 714	6.2097 339	6.2356 964	6.2616 589	6.2876 214	6.3135 839	6.3395 464	6.3655 089	6.3914 714	6.4174 339	6.4433 964	6.4693 589	6.4953 214	6.5212 839	6.5472 464	6.5732 089	6.5991 714	6.6251 339	6.6510 964	6.6770 589	6.7030 214	6.7289 839	6.7549 464	6.7809 089	6.8068 714	6.8328 339	6.8587 964	6.8847 589	6.9107 214	6.9366 839	6.9626 464	6.9886 089	7.0145 714	7.0405 339	7.0664 964	7.0924 589	7.1184 214	7.1443 839	7.1703 464	7.1963 089	7.2222 714	7.2482 339	7.2741 964	7.3001 589	7.3261 214	7.3520 839	7.3780 464	7.4040 089	7.4299 714	7.4559 339	7.4818 964	7.5078 589	7.5338 214	7.5597 839	7.5857 464	7.6117 089	7.6376 714	7.6636 339	7.6895 964	7.7155 589	7.7415 214	7.7674 839	7.7934 464	7.8194 089	7.8453 714	7.8713 339	7.8972 964	7.9232 589	7.9492 214	7.9751 839	8.0011 464	8.0271 089	8.0530 714	8.0790 339	8.1049 964	8.1309 589	8.1569 214	8.1828 839	8.2088 464	8.2348 089	8.2607 714	8.2867 339	8.3126 964	8.3386 589	8.3646 214	8.3905 839	8.4165 464	8.4425 089	8.4684 714	8.4944 339	8.5203 964	8.5463 589	8.5723 214	8.5982 839	8.6242 464	8.6502 089	8.6761 714	8.7021 339	8.7280 964	8.7540 589	8.7800 214	8.8059 839	8.8319 464	8.8579 089	8.8838 714	8.9098 339	8.9357 964	8.9617 589	8.9877 214	9.0136 839	9.0396 464	9.0656 089	9.0915 714	9.1175 339	9.1434 964	9.1694 589	9.1954 214	9.2213 839	9.2473 464	9.2733 089	9.2992 714	9.3252 339	9.3511 964	9.3771 589	9.4031 214	9.4290 839	9.4550 464	9.4810 089	9.5069 714	9.5329 339	9.5588 964	9.5848 589	9.6108 214	9.6367 839	9.6627 464	9.6887 089	9.7146 714	9.7406 339	9.7665 964	9
-----	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	---

Tableau des abscisses

ABSCISSES

DEGRES.

17°	40'	0.2025	717	0.5847	454	0.8771	451	1.1694	808	1.4648	585	1.7542	592	2.0465	019	2.3383	776	2.6312	485
	50'	0.2079	505	0.5958	606	0.8857	505	1.1806	088	1.4757	610	1.7709	452	2.0650	684	2.3613	476	2.6515	485
	0°	0.2133	293	0.6069	707	0.8956	607	1.1917	212	1.4895	515	1.7875	818	2.0995	131	2.3854	421	2.6718	797
	1°	0.2187	81	0.6180	808	0.9055	709	1.2028	252	1.5055	290	1.8042	548	2.1099	406	2.4066	464	2.7155	592
	2°	0.2241	499	0.6291	909	0.9154	810	1.2139	292	1.5215	460	1.8208	738	2.1245	516	2.4218	516	2.7515	092
	3°	0.2295	170	0.6402	1010	0.9253	911	1.2249	333	1.5381	630	1.8374	932	2.1437	444	2.4409	556	2.7882	428
	4°	0.2349	448	0.6513	1111	0.9352	1011	1.2359	374	1.5549	800	1.8541	1124	2.1651	372	2.4621	596	2.8250	760
	5°	0.2403	817	0.6624	1212	0.9451	1112	1.2469	415	1.5717	970	1.8708	1336	2.1863	300	2.4833	666	2.8618	092
	6°	0.2457	190	0.6735	1313	0.9550	1213	1.2579	456	1.5885	1140	1.8876	1548	2.2075	228	2.5045	736	2.8986	424
	7°	0.2511	559	0.6846	1414	0.9649	1314	1.2689	497	1.6053	1350	1.9044	1760	2.2287	156	2.5257	806	2.9354	756
	8°	0.2565	128	0.6957	1515	0.9748	1415	1.2799	538	1.6221	1560	1.9212	1972	2.2499	84	2.5469	876	2.9722	088
	9°	0.2619	497	0.7068	1616	0.9847	1516	1.2909	579	1.6389	1770	1.9380	2184	2.2711	172	2.5681	946	3.0090	420
	10°	0.2673	866	0.7179	1717	0.9946	1617	1.3019	620	1.6557	1980	1.9548	2396	2.2923	260	2.5893	1016	3.0459	752
	11°	0.2727	235	0.7290	1818	1.0045	1718	1.3129	661	1.6725	2190	1.9716	2608	2.3135	348	2.6105	1126	3.0828	084
	12°	0.2781	604	0.7401	1919	1.0144	1819	1.3239	702	1.6893	2400	1.9884	2820	2.3347	436	2.6317	1236	3.1197	416
	13°	0.2835	133	0.7512	2020	1.0243	1920	1.3349	743	1.7061	2610	2.0052	3032	2.3559	524	2.6529	1346	3.1566	748
	14°	0.2889	502	0.7623	2121	1.0342	2021	1.3459	784	1.7229	2820	2.0220	3244	2.3771	612	2.6741	1456	3.1935	080
	15°	0.2943	871	0.7734	2222	1.0441	2122	1.3569	825	1.7397	3030	2.0388	3456	2.3983	700	2.6953	1566	3.2304	412
	16°	0.2997	240	0.7845	2323	1.0540	2223	1.3679	866	1.7565	3240	2.0556	3668	2.4195	788	2.7165	1676	3.2673	744
	17°	0.3051	609	0.7956	2424	1.0639	2324	1.3789	907	1.7733	3450	2.0724	3880	2.4407	876	2.7377	1786	3.3042	076
	18°	0.3105	978	0.8067	2525	1.0738	2425	1.3899	948	1.7901	3660	2.0892	4092	2.4619	964	2.7589	1896	3.3411	408
	19°	0.3159	347	0.8178	2626	1.0837	2526	1.4009	989	1.8069	3870	2.1060	4304	2.4831	1052	2.7801	2006	3.3780	740
	20°	0.3213	716	0.8289	2727	1.0936	2627	1.4119	1030	1.8237	4080	2.1228	4516	2.5043	1140	2.8013	2116	3.4149	072
	21°	0.3267	145	0.8400	2828	1.1035	2728	1.4229	1071	1.8405	4290	2.1396	4728	2.5255	1228	2.8225	2226	3.4518	404
	22°	0.3321	514	0.8511	2929	1.1134	2829	1.4339	1112	1.8573	4500	2.1564	4940	2.5467	1316	2.8437	2336	3.4887	736
	23°	0.3375	883	0.8622	3030	1.1233	2930	1.4449	1153	1.8741	4710	2.1732	5152	2.5679	1404	2.8649	2446	3.5256	068
	24°	0.3429	252	0.8733	3131	1.1332	3031	1.4559	1194	1.8909	4920	2.1900	5364	2.5891	1492	2.8861	2556	3.5625	400
	25°	0.3483	621	0.8844	3232	1.1431	3132	1.4669	1235	1.9077	5130	2.2068	5576	2.6103	1580	2.9073	2666	3.5994	732
	26°	0.3537	990	0.8955	3333	1.1530	3233	1.4779	1276	1.9245	5340	2.2236	5788	2.6315	1668	2.9285	2776	3.6363	064
	27°	0.3591	359	0.9066	3434	1.1629	3334	1.4889	1317	1.9413	5550	2.2404	6000	2.6527	1756	2.9497	2886	3.6732	396
	28°	0.3645	728	0.9177	3535	1.1728	3435	1.4999	1358	1.9581	5760	2.2572	6212	2.6739	1844	2.9709	2996	3.7101	728
	29°	0.3699	1417	0.9288	3636	1.1827	3536	1.5109	1399	1.9749	5970	2.2740	6424	2.6951	1932	2.9921	3106	3.7470	060
	30°	0.3753	516	0.9399	3737	1.1926	3637	1.5219	1440	1.9917	6180	2.2908	6636	2.7163	2020	3.0133	3216	3.7839	392
	31°	0.3807	885	0.9510	3838	1.2025	3738	1.5329	1481	2.0085	6390	2.3076	6848	2.7375	2108	3.0345	3326	3.8208	724
	32°	0.3861	254	0.9621	3939	1.2124	3839	1.5439	1522	2.0253	6600	2.3244	7060	2.7587	2196	3.0557	3436	3.8577	056
	33°	0.3915	623	0.9732	4040	1.2223	3940	1.5549	1563	2.0421	6810	2.3412	7272	2.7799	2284	3.0769	3546	3.8946	388
	34°	0.3969	992	0.9843	4141	1.2322	4041	1.5659	1604	2.0589	7020	2.3580	7484	2.8011	2372	3.0981	3656	3.9315	720
	35°	0.4023	361	0.9954	4242	1.2421	4142	1.5769	1645	2.0757	7230	2.3748	7696	2.8223	2460	3.1193	3766	3.9684	052
	36°	0.4077	730	1.0065	4343	1.2520	4243	1.5879	1686	2.0925	7440	2.3916	7908	2.8435	2548	3.1405	3876	4.0053	384
	37°	0.4131	1409	1.0176	4444	1.2619	4344	1.5989	1727	2.1093	7650	2.4084	8120	2.8647	2636	3.1617	3986	4.0422	716
	38°	0.4185	518	1.0287	4545	1.2718	4445	1.6099	1768	2.1261	7860	2.4252	8332	2.8859	2724	3.1829	4096	4.0791	048
	39°	0.4239	887	1.0398	4646	1.2817	4546	1.6209	1809	2.1429	8070	2.4420	8544	2.9071	2812	3.2041	4206	4.1160	380
	40°	0.4293	256	1.0509	4747	1.2916	4647	1.6319	1850	2.1597	8280	2.4588	8756	2.9283	2900	3.2253	4316	4.1529	712
	41°	0.4347	625	1.0620	4848	1.3015	4748	1.6429	1891	2.1765	8490	2.4756	8968	2.9495	2988	3.2465	4426	4.1898	044
	42°	0.4401	994	1.0731	4949	1.3114	4849	1.6539	1932	2.1933	8700	2.4924	9180	2.9707	3076	3.2677	4536	4.2267	376
	43°	0.4455	363	1.0842	5050	1.3213	4950	1.6649	1973	2.2101	8910	2.5092	9392	2.9919	3164	3.2889	4646	4.2636	708
	44°	0.4509	732	1.0953	5151	1.3312	5051	1.6759	2014	2.2269	9120	2.5260	9604	3.0131	3252	3.3101	4756	4.3005	040
	45°	0.4563	1401	1.1064	5252	1.3411	5152	1.6869	2055	2.2437	9330	2.5428	9816	3.0343	3340	3.3313	4866	4.3374	372
	46°	0.4617	510	1.1175	5353	1.3510	5253	1.6979	2096	2.2605	9540	2.5596	10028	3.0555	3428	3.3525	4976	4.3743	704
	47°	0.4671	879	1.1286	5454	1.3609	5354	1.7089	2137	2.2773	9750	2.5764	10240	3.0767	3516	3.3737	5086	4.4112	036
	48°	0.4725	248	1.1397	5555	1.3708	5455	1.7199	2178	2.2941	9960	2.5932	10452	3.0979	3604	3.3949	5196	4.4481	368
	49°	0.4779	617	1.1508	5656	1.3807	5556	1.7309	2219	2.3109	10170	2.6100	10664	3.1191	3692	3.4161	5306	4.4850	700
	50°	0.4833	986	1.1619	5757	1.3906	5657	1.7419	2260	2.3277	10380	2.6268	10876	3.1403	3780	3.4373	5416	4.5219	032
	51°	0.4887	355	1.1730	5858	1.4005	5758	1.7529	2301	2.3445	10590	2.6436	11088	3.1615	3868	3.4585	5526	4.5588	364
	52°	0.4941	724	1.1841	5959	1.4104	5859	1.7639	2342	2.3613	10800	2.6604	11300	3.1827	3956	3.4797	5636	4.5957	696
	53°	0.4995	1413	1.1952	6060	1.4203	5960	1.7749	2383	2.3781	11010	2.6772	11512	3.2039	4044	3.5009	5746	4.6326	028
	54°	0.5049	512	1.2063	6161	1.4302	6061	1.7859	2424	2.3949	11220	2.6940	11724	3.2251	4132	3.5221	5856	4.6695	360
	55°	0.5103	881	1.2174	6262	1.4401	6162	1.7969	2465	2.4117	11430	2.7108	11936	3.2463	4220	3.5433	5966	4.7064	692
	56°	0.5157	250	1.2285	6363	1.4500	6263	1.8079	2506	2.4285	11640	2.7276	12148	3.2675	4308	3.5645	6076	4.7433	024
	57°	0.5211	619	1.2396	6464	1.4599	6364	1.8189	2547	2.4453	11850	2.7444	12360	3.2887	4396	3.5857	6186	4.7802	356
	58°	0.5265	988	1.2507	6565	1.4698	6465	1.8299	2588	2.4621	12060	2.7612	12572	3.3099	4484	3.6069	6296	4.8171	688
	59°	0.5319	357	1.2618	6666	1.4797	6566	1.8409	2629	2.4789	12270	2.7780	12784	3.3311	4572	3.6281	6406	4.8540	020
	60°	0.5373	726	1.2729	6767	1.4896	6667	1.8519	2670										

Tableau des abscisses pour le tracé des courbes

DEGRES.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60°	0.8660 254	1.7530 308	2.5980 762	3.4614 016	4.3504 270	5.1910 324	6.0621 778	6.9282 652	7.7942 286
61°	0.8746 197	1.7492 304	2.6258 191	3.4984 788	4.3750 580	5.2477 182	6.1225 579	6.9969 376	7.8715 775
62°	0.8829 476	1.7638 952	2.6488 328	3.5217 904	4.4147 580	5.2976 866	6.1806 552	7.0555 808	7.9405 284
63°	0.8910 065	1.7783 150	2.6750 495	3.5510 260	4.4550 535	5.3470 500	6.2570 465	7.1290 520	8.0190 585
64°	0.8987 943	1.7935 850	2.6965 829	3.5811 769	4.4959 500	5.3972 610	6.2915 580	7.1905 520	8.0891 421
65°	0.9075 078	1.8126 136	2.7189 594	3.6122 512	4.5515 760	5.4578 408	6.3441 546	7.2504 624	8.1597 702
66°	0.9153 454	1.8370 908	2.7406 592	3.6531 816	4.5675 570	5.4812 544	6.3648 178	7.3085 652	8.2219 086
67°	0.9245 049	1.8610 098	2.7613 517	3.7080 586	4.6529 105	5.5650 524	6.4005 822	7.3610 292	8.2845 411
68°	0.9335 894	1.8875 678	2.7807 442	3.7585 246	4.6679 020	5.6014 824	6.4500 628	7.4178 115	8.3425 551
69°	0.9536 926	1.8705 822	2.8190 778	3.7837 704	4.6984 650	5.6581 555	6.5278 843	7.5175 408	8.4573 554
70°	0.9435 185	1.8910 570	2.8565 555	3.7840 740	4.7275 925	5.6751 110	6.6186 295	7.5514 480	8.5096 685
71°	0.9310 565	1.9021 150	2.8951 695	3.8042 260	4.7552 825	5.7005 500	6.6575 935	7.5944 520	8.5395 085
72°	0.9265 048	1.9136 096	2.9369 144	3.8292 192	4.7815 240	5.7278 288	6.6941 555	7.6504 584	8.6007 482
73°	0.9112 617	1.9235 254	2.8857 891	3.8470 468	4.8065 085	5.7675 702	6.7288 519	7.6900 556	8.6515 555
74°	0.9059 258	1.9518 516	2.8977 774	3.8557 052	4.8296 290	5.7935 548	6.7614 806	7.7274 054	8.6975 552
75°	0.9059 258	1.9705 914	2.9108 871	3.8711 828	4.8514 782	5.817 742	6.7940 999	7.7699 608	8.7356 615
76°	0.9702 937	1.9487 402	2.9251 195	3.8744 804	4.8718 505	5.8492 506	6.8205 907	7.7949 608	8.7695 509
77°	0.9681 471	1.9692 952	2.9448 815	3.8945 904	4.8907 580	5.8688 836	6.8470 552	7.8254 808	8.8075 284
78°	0.9814 271	1.9652 512	2.9448 815	3.9205 084	4.9081 588	5.8897 636	6.8715 897	7.8530 168	8.8545 459
79°	0.9848 077	1.9696 151	2.9514 251	3.9592 508	4.9240 585	5.9088 462	6.8976 579	7.8784 616	8.8972 675
80°	0.9876 877	1.9735 766	2.9570 649	3.9807 352	4.9584 445	5.9461 608	6.9078 181	7.9015 014	8.8992 677
81°	0.9902 680	1.9405 560	2.9708 040	3.9610 740	4.9415 440	5.9416 080	6.9518 560	7.9231 440	8.9124 450
82°	0.9935 482	1.9850 924	2.9776 586	3.9704 848	4.9627 510	5.9522 772	6.9478 254	7.9405 696	8.9329 458
83°	0.9945 947	1.9890 456	2.9885 654	3.9780 872	4.9726 090	5.9671 508	6.9616 286	7.9561 744	8.9506 962
84°	0.9961 918	1.9925 894	2.9885 844	3.9847 788	4.9809 200	5.9771 082	6.9755 639	7.9695 576	8.9657 325
85°	0.9975 640	1.9951 290	2.9926 820	3.9902 560	4.9878 280	5.9855 840	6.9820 480	7.9890 520	8.9780 760
86°	0.9986 585	1.9972 290	2.9956 885	3.9945 180	4.9951 475	5.9917 770	6.9904 065	7.9890 560	8.9876 685
87°	0.9995 908	1.9987 816	2.9981 744	3.9975 652	4.9969 510	5.9965 448	6.9957 559	7.9954 264	8.9945 472
88°	0.9998 477	1.9996 954	2.9995 151	3.9995 308	4.9992 284	5.9990 862	6.9989 529	7.9987 816	8.9986 265

Tableau des ordonnées pour le tracé des courbes

DEGRES.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000	0.0000 000
5'	0.0000 011	0.0000 022	0.0000 035	0.0000 044	0.0000 055	0.0000 065	0.0000 077	0.0000 088	0.0000 099
10'	0.0000 042	0.0000 084	0.0000 126	0.0000 168	0.0000 210	0.0000 252	0.0000 294	0.0000 336	0.0000 378
15'	0.0000 095	0.0000 190	0.0000 285	0.0000 380	0.0000 475	0.0000 570	0.0000 665	0.0000 760	0.0000 855
20'	0.0000 170	0.0000 340	0.0000 510	0.0000 680	0.0000 850	0.0001 020	0.0001 190	0.0001 360	0.0001 530
25'	0.0000 281	0.0000 562	0.0000 785	0.0001 069	0.0001 355	0.0001 641	0.0001 927	0.0002 213	0.0002 500
30'	0.0000 418	0.0000 835	0.0001 254	0.0001 672	0.0002 090	0.0002 508	0.0002 926	0.0003 344	0.0003 762
35'	0.0000 578	0.0001 155	0.0001 634	0.0002 112	0.0002 590	0.0003 068	0.0003 546	0.0004 024	0.0004 502
40'	0.0000 764	0.0001 528	0.0002 292	0.0003 056	0.0003 820	0.0004 584	0.0005 348	0.0006 112	0.0006 876
45'	0.0000 980	0.0001 966	0.0002 952	0.0003 938	0.0004 924	0.0005 910	0.0006 896	0.0007 882	0.0008 868
50'	0.0001 220	0.0002 440	0.0003 660	0.0004 880	0.0006 100	0.0007 320	0.0008 540	0.0009 760	0.0011 000
55'	0.0001 525	0.0003 050	0.0004 575	0.0006 100	0.0007 625	0.0009 150	0.0010 675	0.0012 200	0.0013 725
60°	0.0001 788	0.0003 576	0.0005 364	0.0007 152	0.0008 940	0.0010 728	0.0012 516	0.0014 304	0.0016 092
65°	0.0002 075	0.0004 145	0.0006 215	0.0008 285	0.0010 355	0.0012 425	0.0014 495	0.0016 565	0.0018 635
70°	0.0002 580	0.0004 760	0.0007 140	0.0009 520	0.0011 900	0.0014 280	0.0016 660	0.0019 040	0.0021 420
75°	0.0003 298	0.0005 816	0.0008 334	0.0010 852	0.0013 370	0.0015 888	0.0018 406	0.0020 924	0.0023 442
80°	0.0004 057	0.0006 834	0.0009 612	0.0012 390	0.0015 168	0.0017 946	0.0020 724	0.0023 502	0.0026 280
85°	0.0004 876	0.0007 654	0.0011 232	0.0013 970	0.0016 708	0.0019 446	0.0022 184	0.0024 922	0.0027 660
90°	0.0005 251	0.0007 628	0.0011 002	0.0013 926	0.0016 850	0.0019 772	0.0022 694	0.0025 616	0.0028 538
95°	0.0004 661	0.0009 298	0.0013 492	0.0016 656	0.0019 820	0.0022 984	0.0026 148	0.0029 312	0.0032 476
100°	0.0005 149	0.0010 258	0.0015 557	0.0020 476	0.0025 395	0.0030 314	0.0035 233	0.0040 152	0.0045 071
105°	0.0005 594	0.0011 188	0.0016 782	0.0022 576	0.0027 970	0.0033 364	0.0038 758	0.0044 152	0.0049 546
110°	0.0006 092	0.0012 184	0.0018 276	0.0024 368	0.0030 460	0.0035 552	0.0040 644	0.0045 736	0.0050 828
115°	0.0007 149	0.0014 298	0.0021 447	0.0028 596	0.0035 745	0.0042 894	0.0050 043	0.0057 192	0.0064 341
120°	0.0008 291	0.0016 582	0.0024 875	0.0033 840	0.0042 745	0.0051 650	0.0060 555	0.0069 460	0.0078 365
125°	0.0009 578	0.0019 076	0.0028 552	0.0038 076	0.0047 500	0.0056 924	0.0066 348	0.0075 772	0.0085 196
130°	0.0010 105	0.0020 736	0.0031 480	0.0042 224	0.0053 015	0.0063 806	0.0074 597	0.0085 388	0.0096 179
135°	0.0010 829	0.0021 638	0.0032 487	0.0043 316	0.0054 145	0.0065 074	0.0075 903	0.0086 732	0.0097 561
140°	0.0011 516	0.0022 658	0.0033 628	0.0044 664	0.0055 680	0.0066 696	0.0077 712	0.0088 728	0.0099 744
145°	0.0012 225	0.0023 820	0.0034 840	0.0045 900	0.0056 840	0.0067 880	0.0078 920	0.0089 960	0.0100 935
150°	0.0012 955	0.0025 110	0.0035 910	0.0047 020	0.0057 960	0.0068 900	0.0079 840	0.0090 780	0.0101 610

Tableau des ordonnées

DEGRES.	ORDONNÉES.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
4°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
5°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
6°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
7°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
8°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
9°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840

pour le tracé des courbes

3°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
4°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
5°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
6°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
7°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
8°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840
9°	0.0015 705	0.0037 440	0.0041 115	0.0054 820	0.0068 525	0.0082 250	0.0095 955	0.0109 640	0.0125 345	0.0140 840

TRACE DES COURBES

Tableau des ordonnées

DEGRES.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10° 10'	0.0131 925	0.0515 845	0.0185 769	0.0607 693	0.0759 645	0.0914 588	0.1065 461	0.1215 384	0.1367 307
10° 20'	0.0137 045	0.0514 050	0.0171 576	0.0588 693	0.0810 775	0.0942 691	0.1089 405	0.1236 320	0.1385 243
10° 30'	0.0141 581	0.0486 576	0.0161 381	0.0568 768	0.0800 810	0.0917 532	0.1054 247	0.1191 162	0.1330 085
10° 40'	0.0147 451	0.0451 588	0.0151 588	0.0549 804	0.0805 970	0.0894 706	0.1039 528	0.1172 357	0.1307 280
10° 50'	0.0153 219	0.0436 438	0.0143 687	0.0531 876	0.0801 663	0.0891 611	0.1027 553	0.1151 382	0.1276 305
11° 10'	0.0185 730	0.0567 468	0.0251 187	0.0754 916	0.0918 645	0.1102 574	0.1286 405	0.1469 334	0.1652 263
11° 20'	0.0189 530	0.0578 648	0.0257 969	0.0757 969	0.0945 600	0.1155 920	0.1325 240	0.1499 169	0.1678 098
11° 30'	0.0194 995	0.0569 990	0.0264 985	0.0770 980	0.0949 973	0.1169 976	0.1354 985	0.1539 990	0.1724 995
11° 40'	0.0201 755	0.0494 996	0.0269 290	0.0803 012	0.0974 973	0.1204 518	0.1403 571	0.1606 024	0.1809 577
11° 50'	0.0212 517	0.0445 054	0.0267 551	0.0826 576	0.1052 915	0.1274 503	0.1446 138	0.1652 752	0.1859 544
12° 10'	0.0218 324	0.0437 048	0.0263 572	0.0830 068	0.1092 620	0.1273 102	0.1487 619	0.1700 156	0.1912 685
12° 20'	0.0224 014	0.0449 248	0.0274 842	0.0874 096	0.1092 620	0.1273 102	0.1487 619	0.1700 156	0.1912 685
12° 30'	0.0230 785	0.0461 370	0.0282 535	0.0925 436	0.1125 070	0.1314 684	0.1529 298	0.1748 192	0.1966 116
12° 40'	0.0237 040	0.0471 080	0.0291 810	0.0948 160	0.1153 925	0.1354 710	0.1575 305	0.1806 520	0.2037 765
12° 50'	0.0243 577	0.0485 754	0.0297 154	0.0973 208	0.1178 838	0.1403 838	0.1639 798	0.1881 071	0.2118 107
13° 10'	0.0256 909	0.0512 898	0.0307 897	0.1025 496	0.1248 985	0.1498 282	0.1718 579	0.1968 576	0.2218 175
13° 20'	0.0262 881	0.0525 788	0.0316 897	0.1025 496	0.1248 985	0.1498 282	0.1718 579	0.1968 576	0.2218 175
13° 30'	0.0269 852	0.0539 602	0.0326 902	0.1071 536	0.1314 420	0.1577 791	0.1800 888	0.2039 792	0.2270 691
13° 40'	0.0276 501	0.0552 604	0.0338 905	0.1119 308	0.1347 769	0.1617 512	0.1886 864	0.2156 446	0.2425 968
13° 50'	0.0285 155	0.0565 395	0.0351 909	0.1173 581	0.1381 535	0.1657 806	0.1951 107	0.2230 408	0.2518 769
14° 10'	0.0290 046	0.0580 092	0.0367 158	0.1231 181	0.1430 250	0.1698 798	0.1981 071	0.2265 061	0.2558 197
14° 20'	0.0297 045	0.0594 086	0.0381 129	0.1291 172	0.1485 245	0.1782 298	0.2070 704	0.2360 544	0.2656 691
14° 30'	0.0304 124	0.0608 242	0.0393 815	0.1346 184	0.1530 605	0.1821 746	0.2128 847	0.2420 978	0.2718 887
14° 40'	0.0311 282	0.0622 561	0.0405 815	0.1401 138	0.1576 410	0.1867 692	0.2178 974	0.2470 256	0.2768 528
14° 50'	0.0318 848	0.0637 618	0.0419 531	0.1461 138	0.1622 020	0.1911 111	0.2229 608	0.2520 192	0.2818 716
15° 10'	0.0326 848	0.0656 508	0.0433 606	0.1526 010	0.1670 270	0.1959 521	0.2302 778	0.2600 552	0.2902 652
15° 20'	0.0335 254	0.0676 508	0.0449 762	0.1596 010	0.1720 270	0.2009 521	0.2352 778	0.2660 552	0.2969 846

TRACE DES COURBES

pour le tracé des courbes

16° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
16° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
16° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
16° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
16° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
17° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
17° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
17° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
17° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
17° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
18° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
18° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
18° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
18° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
18° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
19° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
19° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
19° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
19° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
19° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
20° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
20° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
20° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
20° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
20° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
21° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
21° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
21° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
21° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
21° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
22° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
22° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
22° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
22° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
22° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
23° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
23° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
23° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
23° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
23° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
24° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
24° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
24° 30'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
24° 40'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
24° 50'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
25° 10'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084 873	0.2378 181	0.2722 996	0.3106 618
25° 20'	0.0548 718	0.0681 484	0.1022 326	0.1562 968	0.1741 540	0.2084			

Tableau des ordonnées

DEGRES.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
28° 30'	0.4170 594	0.2511 048	0.3511 572	0.4682 096	0.5882 620	0.7052 144	0.8105 698	0.9064 192	1.0034 719
29° 00'	0.4211 829	0.2425 638	0.3565 487	0.4817 516	0.6059 145	0.7270 974	0.8382 805	0.9394 632	1.0406 461
29° 30'	0.4255 805	0.2307 608	0.3761 487	0.5015 212	0.6259 045	0.7472 818	0.8576 621	0.9588 424	1.0600 227
30° 00'	0.4300 740	0.2170 592	0.3850 516	0.5187 472	0.6482 215	0.7718 658	0.9015 101	1.0311 544	1.1607 987
30° 30'	0.4347 638	0.2025 584	0.4111 498	0.5523 482	0.6878 200	0.8108 376	0.9378 222	1.0717 968	1.2055 572
31° 00'	0.4396 528	0.1876 584	0.4381 514	0.5875 508	0.7141 455	0.8369 992	0.9698 290	1.1059 610	1.2453 945
31° 30'	0.4447 588	0.1727 636	0.4649 594	0.6249 592	0.7507 490	0.8814 588	1.0151 180	1.1539 610	1.2982 382
32° 00'	0.4500 658	0.1580 658	0.4925 658	0.6528 658	0.7907 595	0.9147 144	1.0266 652	1.1285 182	1.2323 671
33° 00'	0.4565 686	0.1442 686	0.5212 686	0.6925 686	0.8380 686	0.9580 686	1.0600 686	1.1550 686	1.2450 686
34° 00'	0.4632 714	0.1312 714	0.5507 714	0.7325 714	0.8870 714	1.0120 714	1.1150 714	1.2050 714	1.2850 714
35° 00'	0.4700 742	0.1190 742	0.5800 742	0.7720 742	0.9360 742	1.0620 742	1.1650 742	1.2550 742	1.3350 742
36° 00'	0.4770 770	0.1075 770	0.6100 770	0.8120 770	0.9860 770	1.1220 770	1.2250 770	1.3150 770	1.3950 770
37° 00'	0.4840 800	0.0965 800	0.6400 800	0.8520 800	1.0360 800	1.1720 800	1.2750 800	1.3650 800	1.4450 800
38° 00'	0.4910 830	0.0860 830	0.6700 830	0.8920 830	1.0860 830	1.2220 830	1.3250 830	1.4150 830	1.4950 830
39° 00'	0.4980 860	0.0760 860	0.7000 860	0.9320 860	1.1360 860	1.2720 860	1.3750 860	1.4650 860	1.5450 860
40° 00'	0.5050 890	0.0665 890	0.7300 890	0.9720 890	1.1860 890	1.3220 890	1.4250 890	1.5150 890	1.5950 890
41° 00'	0.5120 920	0.0575 920	0.7600 920	1.0140 920	1.2380 920	1.3740 920	1.4770 920	1.5670 920	1.6470 920
42° 00'	0.5190 950	0.0490 950	0.7900 950	1.0560 950	1.2800 950	1.4160 950	1.5190 950	1.6090 950	1.6890 950
43° 00'	0.5260 980	0.0410 980	0.8200 980	1.1000 980	1.3240 980	1.4600 980	1.5630 980	1.6530 980	1.7330 980
44° 00'	0.5330 1010	0.0335 1010	0.8500 1010	1.1460 1010	1.3680 1010	1.5040 1010	1.6070 1010	1.6970 1010	1.7770 1010
45° 00'	0.5400 1040	0.0265 1040	0.8800 1040	1.1940 1040	1.4120 1040	1.5480 1040	1.6510 1040	1.7410 1040	1.8210 1040
46° 00'	0.5470 1070	0.0200 1070	0.9100 1070	1.2440 1070	1.4560 1070	1.5920 1070	1.6950 1070	1.7850 1070	1.8650 1070
47° 00'	0.5540 1100	0.0140 1100	0.9400 1100	1.2960 1100	1.5000 1100	1.6360 1100	1.7390 1100	1.8290 1100	1.9090 1100
48° 00'	0.5610 1130	0.0085 1130	0.9700 1130	1.3500 1130	1.5440 1130	1.6800 1130	1.7830 1130	1.8730 1130	1.9530 1130
49° 00'	0.5680 1160	0.0035 1160	1.0000 1160	1.4060 1160	1.5880 1160	1.7240 1160	1.8270 1160	1.9170 1160	1.9970 1160
50° 00'	0.5750 1190	0.0000 1190	1.0300 1190	1.4640 1190	1.6320 1190	1.7680 1190	1.8710 1190	1.9610 1190	2.0410 1190

pour le tracé des courbes

50° 00'	0.5820 1220	0.0000 1220	1.0600 1220	1.5240 1220	1.6680 1220	1.8040 1220	1.9070 1220	1.9970 1220	2.0770 1220
51° 00'	0.5890 1250	0.0000 1250	1.0900 1250	1.5820 1250	1.7260 1250	1.8620 1250	1.9650 1250	2.0550 1250	2.1350 1250
52° 00'	0.5960 1280	0.0000 1280	1.1200 1280	1.6400 1280	1.7840 1280	1.9200 1280	2.0230 1280	2.1130 1280	2.1930 1280
53° 00'	0.6030 1310	0.0000 1310	1.1500 1310	1.7000 1310	1.8440 1310	1.9800 1310	2.0830 1310	2.1730 1310	2.2530 1310
54° 00'	0.6100 1340	0.0000 1340	1.1800 1340	1.7600 1340	1.9040 1340	2.0400 1340	2.1430 1340	2.2330 1340	2.3130 1340
55° 00'	0.6170 1370	0.0000 1370	1.2100 1370	1.8200 1370	1.9640 1370	2.1000 1370	2.2030 1370	2.2930 1370	2.3730 1370
56° 00'	0.6240 1400	0.0000 1400	1.2400 1400	1.8800 1400	2.0240 1400	2.1600 1400	2.2630 1400	2.3530 1400	2.4330 1400
57° 00'	0.6310 1430	0.0000 1430	1.2700 1430	1.9400 1430	2.0840 1430	2.2200 1430	2.3230 1430	2.4130 1430	2.4930 1430
58° 00'	0.6380 1460	0.0000 1460	1.3000 1460	2.0000 1460	2.1440 1460	2.2800 1460	2.3830 1460	2.4730 1460	2.5530 1460
59° 00'	0.6450 1490	0.0000 1490	1.3300 1490	2.0600 1490	2.2040 1490	2.3400 1490	2.4430 1490	2.5330 1490	2.6130 1490
60° 00'	0.6520 1520	0.0000 1520	1.3600 1520	2.1200 1520	2.2640 1520	2.4000 1520	2.5030 1520	2.5930 1520	2.6730 1520
61° 00'	0.6590 1550	0.0000 1550	1.3900 1550	2.1800 1550	2.3240 1550	2.4600 1550	2.5630 1550	2.6530 1550	2.7330 1550
62° 00'	0.6660 1580	0.0000 1580	1.4200 1580	2.2400 1580	2.3840 1580	2.5200 1580	2.6230 1580	2.7130 1580	2.7930 1580
63° 00'	0.6730 1610	0.0000 1610	1.4500 1610	2.3000 1610	2.4440 1610	2.5800 1610	2.6830 1610	2.7730 1610	2.8530 1610
64° 00'	0.6800 1640	0.0000 1640	1.4800 1640	2.3600 1640	2.5040 1640	2.6400 1640	2.7430 1640	2.8330 1640	2.9130 1640
65° 00'	0.6870 1670	0.0000 1670	1.5100 1670	2.4200 1670	2.5640 1670	2.7000 1670	2.8030 1670	2.8930 1670	2.9730 1670
66° 00'	0.6940 1700	0.0000 1700	1.5400 1700	2.4800 1700	2.6240 1700	2.7600 1700	2.8630 1700	2.9530 1700	3.0330 1700
67° 00'	0.7010 1730	0.0000 1730	1.5700 1730	2.5400 1730	2.6840 1730	2.8200 1730	2.9230 1730	3.0130 1730	3.0930 1730
68° 00'	0.7080 1760	0.0000 1760	1.6000 1760	2.6000 1760	2.7440 1760	2.8800 1760	2.9830 1760	3.0730 1760	3.1530 1760
69° 00'	0.7150 1790	0.0000 1790	1.6300 1790	2.6600 1790	2.8040 1790	2.9400 1790	3.0430 1790	3.1330 1790	3.2130 1790
70° 00'	0.7220 1820	0.0000 1820	1.6600 1820	2.7200 1820	2.8640 1820	3.0000 1820	3.1030 1820	3.1930 1820	3.2730 1820
71° 00'	0.7290 1850	0.0000 1850	1.6900 1850	2.7800 1850	2.9240 1850	3.0600 1850	3.1630 1850	3.2530 1850	3.3330 1850
72° 00'	0.7360 1880	0.0000 1880	1.7200 1880	2.8400 1880	2.9840 1880	3.1200 1880	3.2230 1880	3.3130 1880	3.3930 1880
73° 00'	0.7430 1910	0.0000 1910	1.7500 1910	2.9000 1910	3.0440 1910	3.1800 1910	3.2830 1910	3.3730 1910	3.4530 1910
74° 00'	0.7500 1940	0.0000 1940	1.7800 1940	2.9600 1940	3.1040 1940	3.2400 1940	3.3430 1940	3.4330 1940	3.5130 1940
75° 00'	0.7570 1970	0.0000 1970	1.8100 1970	3.0200 1970	3.1640 1970	3.3000 1970	3.4030 1970	3.4930 1970	3.5730 1970
76° 00'	0.7640 2000	0.0000 2000	1.8400 2000	3.0800 2000	3.2240 2000	3.3600 2000	3.4630 2000	3.5530 2000	3.6330 2000
77° 00'	0.7710 2030	0.0000 2030	1.8700 2030	3.1400 2030	3.2840 2030	3.4200 2030	3.5230 2030	3.6130 2030	3.6930 2030
78° 00'	0.7780 2060	0.0000 2060	1.9000 2060	3.2000 2060	3.3440 2060	3.4800 2060	3.5830 2060	3.6730 2060	3.7530 2060
79° 00'	0.7850 2090	0.0000 2090	1.9300 2090	3.2600 2090	3.4040 2090	3.5400 2090	3.6430 2090	3.7330 2090	3.8130 2090
80° 00'	0.7920 2120	0.0000 2120	1.9600 2120	3.3200 2120	3.4640 2120	3.6000 2120	3.7030 2120	3.7930 2120	3.8730 2120
81° 00'	0.7990 2150	0.0000 2150	1.9900 2150	3.3800 2150	3.5240 2150	3.6600 2150	3.7630 2150	3.8530 2150	3.9330 2150
82° 00'	0.8060 2180	0.0000 2180	2.0200 2180	3.4400 2180	3.5840 2180	3.7200 2180	3.8230 2180	3.9130 2180	3.9930 2180
83° 00'	0.8130 2210	0.0000 2210	2.0500 2210	3.5000 2210	3.6440 2210	3.7800 2210	3.8830 2210	3.9730 2210	4.0530 2210
84° 00'	0.8200 2240	0.0000 2240	2.0800 2240	3.5600 2240	3.7040 2240	3.8400 2240	3.9430 2240	4.0330 2240	4.1130 2240
85° 00'	0.8270 2270	0.0000 2270	2.1100 2270	3.6200 2270	3.7640 2270	3.9000 2270	4.0030 2270	4.0930 2270	4.1730 2270
86° 00'	0.8340 2300	0.0000 2300	2.1400 2300	3.6800 2300	3.8240 2300	3.9600 2300	4.0630 2300	4.1530 2300	4.2330 2300
87° 00'	0.8410 2330	0.0000 2330	2.1700 2330	3.7400 2330	3.8840 2330	4.0200 2330	4.1230 2330	4.2130 2330	4.2930 2330
88° 00'	0.8480 2360	0.0000 2360	2.2000 2360	3.8000 2360	3.9440 2360	4.0800 2360	4.1830 2360	4.2730 2360	4.3530 2360
89° 00'	0.8550 2390	0.0000 2390	2.2300 2390	3.8600 2390	4.0040 2390	4.1400 2390	4.2430 2390	4.3330 2390	4.4130 2390

TRIGONOMÉTRIE

Relations entre les lignes trigonométriques

ARCS.	SINUS.	COSINUS.	TANGENTE.	COTANGENTE.	SÉCANTE.	COSÉCANTE.
0°	= 0	= 1	= 0	= ∞	= 1	= ∞
90°	= 1	= 0	= ∞	= 0	= ∞	= 1
180°	= 0	= -1	= 0	= -∞	= -1	= ∞
270°	= -1	= 0	= -∞	= 0	= ∞	= -1
360°	= 0	= 1	= 0	= ∞	= 1	= ∞

Formules trigonométriques



1° Rayon = 1

$$1 = \overline{\sin.}^2 a + \overline{\cos.}^2 a = \sin. \text{ verse } a + \cos. a = \text{tang. } a \times \cot. a = \cos. 2a + 2\overline{\sin.}^2 a$$

$$= \text{séc.}^2 a - \text{tang.}^2 a = \frac{\text{tang. } a \cos. a}{\sin. a} = \cos. a$$

$$\times \text{séc. } a = \sin. a \times \cot. a \times \text{séc. } a.$$

2° Sinus

Sin. 0° = cos. 90° = 0

Sin. 9° = cos. 81° = $\frac{1}{4} \sqrt{5 + \sqrt{5}} - \frac{1}{4} \sqrt{5 - \sqrt{5}} = 0,15645 45$

Sin. 15° = cos. 75° = $\frac{1}{2} \sqrt{2 - \sqrt{3}} = 0,25881 90$

Sin. 18° = cos. 72° = $\frac{1}{4} (-1 + \sqrt{5}) = 0,30901 70$

Sin. 27° = cos. 63° = $\frac{1}{4} \sqrt{5 + \sqrt{5}} - \frac{1}{4} \sqrt{5 - \sqrt{5}} = 0,45399 05$

Sin. 30° = cos. 60° = $\frac{1}{2} = 0,50000 00$

Sin. 36° = cos. 54° = $\frac{1}{4} \sqrt{10 - 2\sqrt{5}} = 0,58778 53$

Sin. 45° = cos. 45° = $\frac{1}{2} \sqrt{2} = 0,70710 68$

Sin. 54° = cos. 36° = $\frac{1}{4} (1 + \sqrt{5}) = 0,80901 70$

Sin. 60° = cos. 30° = $\frac{1}{2} \sqrt{3} = 0,86602 54$

Sin. 65° = cos. 27° = $\frac{1}{4} \sqrt{5 + \sqrt{5}} + \frac{1}{4} \sqrt{5 - \sqrt{5}} = 0,89100 65$

Sin. 72° = cos. 18° = $\frac{1}{4} \sqrt{10 + 2\sqrt{5}} = 0,95100 57$

Sin. 81° = cos. 9° = $\frac{1}{4} \sqrt{5 + \sqrt{5}} + \frac{1}{4} \sqrt{5 - \sqrt{5}} = 0,98768 85$

Sin. 90° = cos. 0° = 1

Sin. 180° = 0

On a pour formules générales :

$$\begin{aligned} \text{Sin. } a &= \text{sin. } (180 - a) = \sqrt{1 - \cos.^2 a} = \frac{\cos. a}{\cot. a} = \text{tang. } a \cos. a \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \cot.^2 a}} = \frac{\text{tang. } a}{\sqrt{1 + \text{tang}^2 a}} = 2 \text{ sin. } \frac{1}{2} a \cos. \frac{1}{2} a = \frac{1}{\text{coséc. } a} \\ &= \frac{\sqrt{\text{séc.}^2 a - 1}}{\text{séc. } a} \end{aligned}$$

$$\text{Sin. verse } a = 2 \text{ sin.}^2 \frac{1}{2} a$$

$$\text{Sin. } 2a = 2 \text{ sin. } a \cos. a$$

$$\text{Sin. } 3a = 3 \text{ sin. } a - 4 \text{ sin.}^3 a$$

$$\text{Sin. } 5a = 5 \text{ sin. } a - 20 \text{ sin.}^3 a + 16 \text{ sin.}^5 a$$

$$\text{Sin. } \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{1 - \cos. a}{2}} = \sqrt{\frac{1 + \text{sin. } a}{2}} - \sqrt{\frac{1 - \text{sin. } a}{2}}$$

$$\text{Sin. } a + \text{sin. } b = 2 \text{ sin. } \frac{1}{2} (a + b) \cos. \frac{1}{2} (a - b)$$

$$\text{Sin. } a - \text{sin. } b = 2 \cos. \frac{1}{2} (a + b) \text{ sin. } \frac{1}{2} (a - b)$$

$$\frac{\text{Sin. } a + \text{sin. } b}{\text{Sin. } a - \text{sin. } b} = \frac{\text{tang. } \frac{1}{2} (a + b)}{\text{tang. } \frac{1}{2} (a - b)}$$

$$\text{Sin. } (a \pm b) = \text{sin. } a \cos. b \pm \cos. a \text{ sin. } b$$

$$2 \text{ sin. } a \cos. b = \text{sin. } (a + b) + \text{sin. } (a - b)$$

$$2 \cos. a \text{ sin. } b = \text{sin. } (a + b) - \text{sin. } (a - b)$$

$$2 \cos. a \cos. b = \cos. (a - b) + \cos. (a + b)$$

$$2 \text{ sin. } a \text{ sin. } b = \cos. (a - b) - \cos. (a + b)$$

$$d \text{ sin. } x = \cos. x \cdot dx$$

3^o Cosinus

$$\text{Cos. } 0^\circ = 1 = \text{sin. } 90^\circ$$

$$\text{Cos. } 30^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{3} = 0,86602 \ 54040$$

$$\text{Cos. } 45^\circ = \frac{1}{2} \sqrt{2} = 0,70710 \ 67811$$

$$\text{Cos. } 60^\circ = \frac{1}{2} = 0,50$$

$$\text{Cos. } 90^\circ = 0$$

$$\text{Cos. } 180^\circ = -1$$

$$\text{Cos. } a = \cos. (180 - a) = \sqrt{1 - \text{sin.}^2 a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tang.}^2 a}} = \frac{\text{sin. } a}{\text{tang. } a}$$

$$= \frac{\sqrt{\text{coséc.}^2 a - 1}}{\text{coséc. } a} = \frac{\cot. a}{\sqrt{1 + \cot.^2 a}} = \cos.^2 \frac{1}{2} a - \text{sin.}^2 \frac{1}{2} a$$

$$= 1 - 2 \text{ sin.}^2 \frac{1}{2} a = 2 \cos.^2 \frac{1}{2} a - 1 = \frac{1}{\text{séc. } a} = \text{sin. } a \cot. a$$

$$\text{Cos. } 2a = \cos.^2 a - \text{sin.}^2 a = 1 - 2 \text{ sin.}^2 a = 2 \cos.^2 a - 1$$

$$\text{Cos. } 3a = 4 \cos.^3 a - 3 \cos. a$$

$$\text{Cos. } 5a = 5 \cos. a - 20 \cos.^3 a + 16 \cos.^5 a$$

$$\text{Cos. } \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{1 + \cos. a}{2}} = \sqrt{\frac{1 + \text{sin. } a}{2}} + \sqrt{\frac{1 - \text{sin. } a}{2}}$$

$$\text{Cos. } a + \cos. b = 2 \cos. \frac{1}{2} (a + b) \cos. \frac{1}{2} (a - b)$$

$$\text{Cos. } b - \cos. a = 2 \text{ sin. } \frac{1}{2} (a + b) \text{ sin. } \frac{1}{2} (a - b)$$

$$\text{Cos. } (a \pm b) = \cos. a \cos. b \mp \text{sin. } a \text{ sin. } b$$

$$\frac{\sin. a + \sin. b}{\cos. a + \cos. b} = \frac{\sin. \frac{1}{2}(a+b)}{\cos. \frac{1}{2}(a+b)} = \text{tang. } \frac{1}{2}(a+b)$$

$$\frac{\sin. a + \sin. b}{\cos. b - \cos. a} = \frac{\cos. \frac{1}{2}(a-b)}{\sin. \frac{1}{2}(a-b)} = \text{cot. } \frac{1}{2}(a-b)$$

$$\frac{\sin. a - \sin. b}{\cos. a + \cos. b} = \frac{\sin. \frac{1}{2}(a-b)}{\cos. \frac{1}{2}(a-b)} = \text{tang. } \frac{1}{2}(a-b)$$

$$\frac{\sin. a - \sin. b}{\cos. b - \cos. a} = \frac{\cos. \frac{1}{2}(a+b)}{\sin. \frac{1}{2}(a+b)} = \text{cot. } \frac{1}{2}(a+b)$$

$$\frac{\cos. a + \cos. b}{\cos. b - \cos. a} = \frac{\cos. \frac{1}{2}(a+b) \cos. \frac{1}{2}(a-b)}{\sin. \frac{1}{2}(a+b) \sin. \frac{1}{2}(a-b)} = \frac{\text{cot. } \frac{1}{2}(a+b)}{\text{tang. } \frac{1}{2}(a-b)}$$

$$d \cos. x = \sin. x dx$$

4. Tangente

$$\text{Tang. } 0^\circ = 0 = \text{cot. } 90^\circ$$

$$\text{Tang. } 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,57735 \ 02694$$

$$\text{Tang. } 45^\circ = 1$$

$$\text{Tang. } 60^\circ = \sqrt{3} = 1,73205 \ 08081$$

$$\text{Tang. } 90^\circ = \infty = \text{cot. } 0^\circ$$

$$\text{Tang. } 180^\circ = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Tang. } a &= \frac{\sin. a}{\cos. a} = \frac{1}{\cot. a} = \frac{\sin. a}{\sqrt{1 - \sin.^2 a}} = \frac{2 \text{ tang. } \frac{1}{2} a}{1 - \text{tang.}^2 \frac{1}{2} a} = \sqrt{\frac{1 - \cos.^2 a}{\cos. a}} \\ &= \sqrt{\sec.^2 a - 1} = \frac{1}{\sqrt{\cos.^2 a - 1}} = -\text{tang. } (180 - a) \end{aligned}$$

$$\text{Tang. } 2a = \frac{2 \text{ tang. } a}{1 - \text{tang.}^2 a}$$

$$\text{Tang. } 3a = \frac{3 \text{ tang. } a - \text{tang.}^3 a}{1 - 3 \text{ tang.}^2 a}$$

$$\begin{aligned} \text{Tang. } \frac{1}{2} a &= \frac{1 - \cos. a}{\sin. a} = \frac{\sin. a}{1 + \cos. a} = \frac{\sin. \frac{1}{2} a}{\cos. \frac{1}{2} a} = \frac{\sin. \frac{1}{2} a \cos. \frac{1}{2} a}{\cos.^2 \frac{1}{2} a} = \\ &= \frac{\sin.^2 \frac{1}{2} a}{\sin. \frac{1}{2} a \cos. \frac{1}{2} a} = \frac{\sqrt{1 - \cos. a}}{1 + \cos. a} = \frac{1}{\text{tang. } a} (-1 \pm \sqrt{1 + \text{tang.}^2 a}) \end{aligned}$$

$$\text{Tang. } a \pm \text{tang. } b = \frac{\sin. (a \pm b)}{\cos. a \cos. b} = \frac{\sin. a}{\cos. a} \pm \frac{\sin. b}{\cos. b}$$

$$\text{Tang. } (a \pm b) = \frac{\text{tang. } a \pm \text{tang. } b}{1 \mp \text{tang. } a \text{ tang. } b}$$

5° *Sécante*

$$\text{Séc. } 0^\circ = 1 = \text{coséc. } 90^\circ$$

$$\text{Séc. } 30^\circ = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15470 \ 05380$$

$$\text{Séc. } 45^\circ = \sqrt{2} = 1,41421 \ 35623$$

$$\text{Séc. } 60^\circ = 2 = \text{coséc. } 30^\circ$$

$$\text{Séc. } 90^\circ = \infty$$

$$\text{Séc. } 180^\circ = -1$$

$$\begin{aligned} \text{Séc. } a &= -\text{séc. } (180 - a) = \frac{1}{\cos. a} = \sqrt{1 + \text{tang.}^2 a} = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin.^2 a}} \\ &= \frac{\text{coséc. } a}{\sqrt{\text{coséc.}^2 a - 1}} = \frac{\sqrt{1 + \text{cot.}^2 a}}{\text{cot. } a} \end{aligned}$$

$$\text{Séc. } a + \text{séc. } b = \frac{1}{\cos. a} + \frac{1}{\cos. b} = \frac{2 \cos. \frac{1}{2} (a + b) \cos. \frac{1}{2} (a - b)}{\cos. a \cos. b}$$

6° *Cosécante*

$$\text{Coséc. } 0^\circ = \infty = \text{séc. } 90^\circ$$

$$\text{Coséc. } 30^\circ = 2 = \text{séc. } 60^\circ$$

$$\text{Coséc. } 45^\circ = \sqrt{2} = 1,41421 \ 35623$$

$$\text{Coséc. } 60^\circ = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,15470 \ 05380$$

$$\text{Coséc. } 90^\circ = 1; \text{coséc. } 180^\circ = \infty$$

$$\begin{aligned} \text{Joséc. } a &= \text{coséc. } (180 - a) = \frac{1}{\sin. a} = \frac{1}{\sqrt{1 - \cos.^2 a}} = \frac{\sqrt{1 + \text{tang.}^2 a}}{\text{tang. } a} \\ &= \frac{\sqrt{1 + \text{cot.}^2 a}}{\text{séc. } a} = \frac{\text{séc. } a}{\sqrt{\text{séc.}^2 a - 1}} \end{aligned}$$

7° *Cotangente*

$$\text{Cot. } 0^\circ = \infty = \text{tang. } 90^\circ$$

$$\text{Cot. } 30^\circ = \sqrt{3} = 1,73205 \ 08081$$

$$\text{Cot. } 45^\circ = 1$$

$$\text{Cot. } 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0,57735 \ 02694$$

$$\text{Cot. } 90^\circ = 0; \text{cot. } 180^\circ = -\infty$$

$$\begin{aligned} \text{Cot. } a &= -\text{cot. } (180 - a) = \frac{\cos. a}{\sin. a} = \frac{1}{\text{tang. } a} = \frac{\sqrt{1 - \sin.^2 a}}{\sin. a} = \frac{\cos. a}{\sqrt{1 - \cos.^2 a}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\text{séc.}^2 a - 1}} = \sqrt{\text{coséc.}^2 a - 1} \end{aligned}$$

$$\text{Cot. } 2a = \frac{1}{\text{tang.}^2 a} = \frac{1}{2 \text{ tang. } a} - \frac{1}{2} \text{ tang. } a$$

**Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes
et développement des arcs**

De 0° à 1° pour un rayon de un mètre

MINUTES	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPE- MENT DE L'ARC correspondant.
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	
1'	0,0002 909	0,9999 999	0,0002 909	5437,74667	0,00029 089
2'	0,0005 818	0,9999 998	0,0005 818	1718,87519	0,00058 178
3'	0,0008 727	0,9999 996	0,0008 727	1145,91350	0,00087 266
4'	0,0011 636	0,9999 995	0,0011 636	859,45650	0,00116 355
5'	0,0014 544	0,9999 989	0,0014 544	687,54887	0,00145 444
6'	0,0017 453	0,9999 984	0,0017 458	572,95721	0,00174 532
7'	0,0020 362	0,9999 979	0,0020 362	491,10600	0,00205 622
8'	0,0025 271	0,9999 975	0,0025 271	429,71757	0,00252 711
9'	0,0026 180	0,9999 966	0,0026 180	381,97099	0,00261 799
10'	0,0029 089	0,9999 969	0,0029 089	345,77571	0,00290 888
11'	0,0051 998	0,9999 949	0,0051 998	312,52137	0,00519 977
12'	0,0054 906	0,9999 959	0,0054 907	286,47775	0,00549 066
13'	0,0057 815	0,9999 928	0,0057 816	264,44080	0,00578 155
14'	0,0040 724	0,9999 917	0,0040 725	245,55198	0,00407 245
15'	0,0045 635	0,9999 905	0,0045 635	229,18166	0,00456 332
16'	0,0046 542	0,9999 892	0,0046 545	214,85762	0,00465 421
17'	0,0049 451	0,9999 878	0,0049 451	202,21875	0,00494 510
18'	0,0052 360	0,9999 865	0,0052 361	190,98419	0,00525 599
19'	0,0055 268	0,9999 847	0,0055 269	180,95220	0,00552 688
20'	0,0058 177	0,9999 850	0,0058 176	171,88540	0,00581 776
21'	0,0061 086	0,9999 815	0,0061 087	165,70019	0,00610 865
22'	0,0065 995	0,9999 795	0,0065 996	156,25908	0,00659 954
23'	0,0066 904	0,9999 776	0,0066 905	149,46501	0,00669 045
24'	0,0069 815	0,9999 756	0,0069 814	145,25712	0,00698 152
25'	0,0072 721	0,9999 735	0,0072 725	137,50745	0,00727 220
26'	0,0075 650	0,9999 715	0,0075 652	152,21851	0,00756 509
27'	0,0078 559	0,9999 691	0,0078 541	127,52154	0,00785 598
28'	0,0081 448	0,9999 658	0,0081 450	122,77596	0,00814 487
29'	0,0084 357	0,9999 644	0,0084 360	118,54018	0,00845 576
30'	0,0087 265	0,9999 619	0,0087 269	114,58865	0,00872 665
31'	0,0090 174	0,9999 595	0,0090 178	110,89205	0,00901 755
32'	0,0095 085	0,9999 566	0,0095 087	107,42648	0,00950 842
33'	0,0095 992	0,9999 559	0,0095 996	104,17095	0,00959 951
34'	0,0098 900	0,9999 511	0,0098 905	101,10590	0,00989 020
35'	0,0101 809	0,9999 482	0,0101 814	98,217945	0,01018 109
36'	0,0104 718	0,9999 452	0,0104 724	95,489475	0,01047 197
37'	0,0107 627	0,9999 421	0,0107 625	92,908487	0,01076 286
38'	0,0110 535	0,9999 389	0,0110 542	90,465356	0,01105 375
39'	0,0115 444	0,9999 356	0,0115 451	88,145372	0,01154 465
40'	0,0116 355	0,9999 525	0,0116 361	85,959791	0,01165 555
41'	0,0119 261	0,9999 289	0,0119 270	85,845507	0,01192 642
42'	0,0122 170	0,9999 254	0,0122 179	81,847041	0,01221 750
43'	0,0125 079	0,9999 218	0,0125 088	79,945450	0,01250 819
44'	0,0127 987	0,9999 181	0,0127 998	78,126542	0,01279 908
45'	0,0150 896	0,9999 145	0,0150 907	76,590009	0,01508 997
46'	0,0155 805	0,9999 104	0,0155 817	74,729165	0,01559 086
47'	0,0156 715	0,9999 065	0,0156 726	75,158991	0,01567 174
48'	0,0159 622	0,9999 025	0,0159 635	71,615070	0,01596 265
49'	0,0142 550	0,9998 984	0,0142 545	70,155546	0,01425 552

**Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes
et développement des arcs**

De 0° à 1° pour un rayon de un mètre

MINUTES	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT DE L'ARC correspondant.
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	
50'	0,0145 459	0,9998 942	0,0145 454	68,750087	0,01454 441
51'	0,0148 548	0,9998 899	0,0148 564	67,401854	0,01485 550
52'	0,0151 256	0,9998 855	0,0151 275	65,105472	0,01512 619
53'	0,0154 165	0,9998 811	0,0154 185	64,858007	0,01541 707
54'	0,0157 075	0,9998 766	0,0157 095	65,656741	0,01570 796
55'	0,0159 982	0,9998 720	0,0160 002	62,499154	0,01599 885
56'	0,0162 890	0,9998 675	0,0162 912	61,582905	0,01628 974
57'	0,0165 799	0,9998 625	0,0165 821	60,505820	0,01658 065
58'	0,0168 707	0,9998 576	0,0168 751	59,265872	0,01687 152
59'	0,0171 616	0,9998 527	0,0171 641	58,261174	0,01716 240
60'	0,0174 524	0,9998 477	0,0174 551	57,289962	0,01745 329

**Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes
et développement des arcs**

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT DE L'ARC correspondant.
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	
1°	0,0174 524	0,9998 477	0,0174 551	57,289962	0,01745 329
10'	0,0205 608	0,9997 927	0,0205 650	49,105881	0,02056 217
20'	0,0252 690	0,9997 292	0,0252 755	42,964077	0,02527 106
30'	0,0261 769	0,9996 575	0,0261 859	58,188459	0,02617 994
40'	0,0290 847	0,9995 769	0,0290 970	54,567771	0,02908 882
50'	0,0519 922	0,9994 881	0,0520 086	51,241577	0,05199 770
2°	0,0548 995	0,9995 908	0,0549 208	28,656255	0,05490 658
10'	0,0578 065	0,9992 851	0,0578 555	26,451600	0,05781 547
20'	0,0407 151	0,9991 709	0,0407 469	24,541758	0,04072 455
30'	0,0456 194	0,9990 482	0,0456 609	22,905765	0,04565 525
40'	0,0465 255	0,9989 171	0,0465 757	21,470401	0,04654 211
50'	0,0495 508	0,9987 775	0,0494 915	20,205555	0,04945 099
3°	0,0525 560	0,9986 295	0,0524 078	19,081157	0,05255 988
10'	0,0552 406	0,9984 751	0,0555 251	18,074977	0,05226 876
20'	0,0581 448	0,9985 081	0,0582 454	17,169557	0,05817 764
30'	0,0610 485	0,9981 548	0,0611 626	16,549856	0,06108 652
40'	0,0659 517	0,9979 529	0,0640 829	15,604784	0,06599 541
50'	0,0668 544	0,9977 627	0,0670 045	14,924417	0,06690 429
4°	0,0697 565	0,9975 640	0,0699 268	14,500666	0,06981 517
10'	0,0726 580	0,9975 569	0,0728 505	15,726574	0,07272 205
20'	0,0755 589	0,9971 415	0,0757 755	15,196888	0,07565 095
30'	0,0784 591	0,9969 175	0,0787 017	12,70621	0,07855 982
40'	0,0815 587	0,9966 849	0,0816 295	12,23051	0,08144 870
50'	0,0842 576	0,9964 440	0,0845 585	11,82617	0,08455 758

Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	DE L'ARC correspondant.
5°	0,0871 557	0,9961 947	0,0874 887	11,45005	0,08726 646
10'	0,0900 552	0,9959 569	0,0904 206	11,03945	0,09017 554
20'	0,0929 499	0,9956 708	0,0955 540	10,71191	0,09508 425
30'	0,0958 458	0,9955 962	0,0962 890	10,58540	0,09599 511
40'	0,0987 408	0,9954 152	0,0992 257	10,07805	0,09890 499
50'	0,1016 351	0,9948 217	0,1021 641	9,78817	0,10181 087
6°	0,1045 284	0,9945 218	0,1051 042	9,51456	0,10471 976
10'	0,1074 210	0,9942 156	0,1080 462	9,23550	0,10762 864
20'	0,1105 126	0,9958 969	0,1109 899	9,00985	0,11055 752
30'	0,1152 052	0,9955 718	0,1159 556	8,77689	0,11544 640
40'	0,1160 929	0,9952 585	0,1168 851	8,56555	0,11655 528
50'	0,1189 816	0,9928 964	0,1198 528	8,54496	0,11926 417
7°	0,1218 695	0,9925 462	0,1227 846	8,44455	0,12217 505
10'	0,1247 560	0,9921 874	0,1257 584	7,95502	0,12508 195
20'	0,1276 416	0,9918 205	0,1286 945	7,77055	0,12799 081
30'	0,1505 262	0,9914 499	0,1516 525	7,59575	0,15089 969
40'	0,1554 096	0,9910 609	0,1546 129	7,42871	0,15580 858
50'	0,1562 919	0,9906 687	0,1575 757	7,26875	0,15671 746
8°	0,1591 751	0,9902 680	0,1405 408	7,11537	0,15962 654
10'	0,1420 551	0,9898 590	0,1455 084	6,95585	0,14255 522
20'	0,1449 519	0,9894 416	0,1464 784	6,82694	0,14544 410
30'	0,1478 094	0,9890 458	0,1494 510	6,69116	0,14835 299
40'	0,1506 857	0,9885 817	0,1524 261	6,56055	0,15126 187
50'	0,1555 607	0,9881 592	0,1554 040	6,45484	0,15417 075
9°	0,1564 545	0,9876 885	0,1585 845	6,51575	0,15707 965
10'	0,1595 069	0,9872 291	0,1615 677	6,19705	0,15998 851
20'	0,1621 779	0,9867 615	0,1645 557	6,08444	0,16289 740
30'	0,1650 476	0,9862 856	0,1675 426	5,97576	0,16580 628
40'	0,1679 159	0,9858 015	0,1705 544	5,87080	0,16871 516
50'	0,1707 828	0,9853 087	0,1755 292	5,76957	0,17162 404
10°	0,1756 482	0,9848 077	0,1765 270	5,67128	0,17455 295
10'	0,1765 121	0,9842 985	0,1795 278	5,57658	0,17744 181
20'	0,1795 746	0,9857 808	0,1825 518	5,48451	0,18035 069
30'	0,1822 555	0,9852 549	0,1855 590	5,59552	0,18525 957
40'	0,1850 949	0,9827 206	0,1885 495	5,50928	0,18616 845
50'	0,1879 527	0,9821 781	0,1915 652	5,22566	0,18907 754
11°	0,1903 090	0,9816 271	0,1945 805	5,14455	0,19198 622
10'	0,1956 656	0,9810 680	0,1971 008	5,06584	0,19489 510
20'	0,1963 166	0,9805 005	0,2004 248	4,98940	0,19780 398
30'	0,1985 679	0,9799 247	0,2054 525	4,91516	0,20071 286
40'	0,2022 176	0,9792 817	0,2067 867	4,84500	0,20562 175
50'	0,2050 655	0,9787 485	0,2095 181	4,77286	0,20655 065
12°	0,2079 117	0,9781 476	0,2125 565	4,70465	0,20945 951
10'	0,2107 551	0,9775 586	0,2155 988	4,65825	0,21254 859
20'	0,2155 988	0,9769 215	0,2186 448	4,57565	0,21525 727
30'	0,2164 596	0,9762 960	0,2216 947	4,51071	0,21816 616
40'	0,2192 786	0,9756 625	0,2247 485	4,44942	0,22107 504
50'	0,2221 458	0,9750 208	0,2278 065	4,58969	0,22598 392

Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	DE L'ARC correspondant
13°	0,2249 511	0,9745 701	0,2508 682	4,53148	0,22689 280
10'	0,2277 844	0,9737 116	0,2559 542	4,27471	0,22980 168
20'	0,2306 159	0,9750 448	0,2570 044	4,21955	0,25271 057
30'	0,2354 454	0,9725 699	0,2400 787	4,16550	0,25561 945
40'	0,2562 729	0,9716 867	0,2451 575	4,11256	0,25852 855
50'	0,2590 984	0,9709 954	0,2462 405	4,06107	0,24145 721
14°	0,2419 219	0,9702 957	0,2495 280	4,01078	0,24454 609
10'	0,2447 455	0,9695 879	0,2524 200	5,96165	0,24725 498
20'	0,2475 627	0,9688 718	0,2555 165	5,91564	0,25016 586
30'	0,2503 800	0,9681 476	0,2586 176	5,86671	0,25307 274
40'	0,2551 952	0,9674 152	0,2617 254	5,82085	0,25598 162
50'	0,2560 082	0,9666 746	0,2648 559	5,77595	0,25889 051
15°	0,2588 190	0,9659 258	0,2679 492	5,75205	0,26179 959
10'	0,2616 277	0,9651 688	0,2710 695	5,68909	0,26470 827
20'	0,2644 542	0,9644 057	0,2741 944	5,64705	0,26761 715
30'	0,2672 584	0,9656 505	0,2775 245	5,60588	0,27052 605
40'	0,2700 405	0,9628 490	0,2804 597	5,56557	0,27545 492
50'	0,2728 400	0,9620 594	0,2855 999	5,52609	0,27654 580
16°	0,2756 374	0,9612 617	0,2867 455	5,48741	0,27925 268
10'	0,2784 524	0,9604 558	0,2898 961	5,44951	0,28216 156
20'	0,2812 251	0,9596 418	0,2950 521	5,41256	0,28507 044
30'	0,2840 155	0,9588 197	0,2962 155	5,37594	0,28797 955
40'	0,2868 052	0,9579 895	0,2995 805	5,34025	0,29088 821
50'	0,2895 887	0,9571 512	0,3025 527	5,30521	0,29579 709
17°	0,2925 717	0,9565 048	0,3057 506	5,27085	0,29670 597
10'	0,2951 522	0,9554 502	0,3089 145	5,25714	0,29961 485
20'	0,2979 505	0,9548 876	0,3121 056	5,20406	0,30252 374
30'	0,3007 058	0,9557 169	0,3152 988	5,17159	0,30545 262
40'	0,3054 788	0,9528 582	0,3184 998	5,15972	0,30834 150
50'	0,3062 492	0,9519 514	0,3217 067	5,10842	0,31123 058
18°	0,3090 170	0,9510 565	0,3249 196	5,07768	0,31415 926
10'	0,3117 822	0,9501 556	0,3281 587	5,04749	0,31706 815
20'	0,3145 448	0,9492 426	0,3315 659	5,01785	0,31997 705
30'	0,3175 047	0,9485 256	0,3348 955	2,98869	0,32288 593
40'	0,3200 619	0,9475 966	0,3378 550	2,96004	0,32579 479
50'	0,3228 164	0,9464 616	0,3410 771	2,93189	0,32870 568
19°	0,3258 682	0,9455 185	0,3445 277	2,90421	0,33161 256
10'	0,3285 172	0,9445 675	0,3475 846	2,87700	0,33452 144
20'	0,3310 654	0,9435 085	0,3508 485	2,85025	0,33745 052
30'	0,3358 069	0,9425 413	0,3544 186	2,82591	0,34035 920
40'	0,3365 475	0,9416 665	0,3575 956	2,79802	0,34324 809
50'	0,3592 855	0,9406 855	0,3606 795	2,77254	0,34615 697
20°	0,3420 202	0,9396 926	0,3659 705	2,74748	0,34905 585
10'	0,3447 522	0,9386 957	0,3672 680	2,72281	0,35197 475
20'	0,3474 815	0,9376 869	0,3705 728	2,69855	0,35488 561
30'	0,3502 074	0,9366 722	0,3758 847	2,67462	0,35779 250
40'	0,3529 506	0,9356 495	0,3772 058	2,65109	0,36070 158
50'	0,3556 508	0,9346 189	0,3805 505	2,62791	0,36361 026

Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT DE L'ARC correspondant.
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	
21°	0,5385 679	0,9555 804	0,5858 640	2,60509	0,56651 914
10'	0,5610 821	0,9525 540	0,5872 055	2,58261	0,56942 802
20'	0,5657 952	0,9514 797	0,5905 541	2,56046	0,57255 691
30'	0,5665 015	0,9504 175	0,5959 105	2,55865	0,57524 579
40'	0,5692 062	0,9295 475	0,5972 746	2,51715	0,57815 467
50'	0,5719 080	0,9282 696	0,4006 465	2,49597	0,58106 555
22°	0,5746 066	0,9271 859	0,4040 262	2 47509	0,58597 245
10'	0,5775 021	0,9260 905	0,4074 159	2,45451	0,58688 152
20'	0,5799 944	0,9249 888	0,4108 097	2,45422	0,58979 020
30'	0,5826 854	0,9258 795	0,4142 156	2,44422	0,59269 908
40'	0,5855 695	0,9227 624	0,4176 257	2,59449	0,59560 796
50'	0,5880 518	0,9216 575	0,4210 460	2,57504	0,59851 685
23°	0,5907 511	0,9205 049	0,4244 748	2,55585	0,40142 575
10'	0,5954 071	0,9195 644	0,4279 120	2,55695	0,40355 464
20'	0,5960 798	0,9182 161	0,4515 579	2,51826	0,40724 549
30'	0,5987 491	0,9170 601	0,4548 124	2,29084	0,41015 257
40'	0,4015 150	0,9158 965	0,4582 756	2,28167	0,41506 126
50'	0,4040 775	0,9147 247	0,4417 756	2,26574	0,41597 014
24°	0,4067 566	0,9155 454	0,4452 286	2,24604	0,41887 902
10'	0,4095 925	0,9125 584	0,4487 187	2,22857	0,42178 790
20'	0,4120 446	0,9111 657	0,4522 179	2,21152	0,42469 678
30'	0,4146 952	0,9099 615	0,4557 264	2,19450	0,42760 567
40'	0,4175 585	0,9087 511	0,4592 459	2,17749	0,45051 455
50'	0,4199 801	0,9075 555	0,4627 709	2,16090	0,45542 545
25°	0,4226 485	0,9065 078	0,4665 076	2,14451	0,45635 251
10'	0,4252 528	0,9050 746	0,4698 559	2,12852	0,45924 119
20'	0,4278 858	0,9058 558	0,4734 098	2,11255	0,44215 008
30'	0,4505 111	0,9025 855	0,4769 755	2,09654	0,44505 896
40'	0,4531 548	0,9015 291	0,4805 542	2,08094	0,44796 784
50'	0,4557 548	0,9000 654	0,4841 568	2,06555	0,45087 672
26°	0,4585 712	0,8987 940	0,4877 526	2,05050	0,45378 561
10'	0,4409 858	0,8975 151	0,4915 586	2,05526	0,45669 449
20'	0,4455 927	0,8962 285	0,4949 549	2,02059	0,45960 357
30'	0,4461 978	0,8949 545	0,4985 816	2,00569	0,46251 225
40'	0,4487 992	0,8956 527	0,5022 189	1,99116	0,46542 115
50'	0,4515 968	0,8925 255	0,5058 668	1,97680	0,46855 002
27°	0,4559 905	0,8910 065	0,5095 255	1,96261	0,47125 890
10'	0,4565 804	0,8896 821	0,5151 950	1,94858	0,47414 778
20'	0,4591 664	0,8885 502	0,5168 755	1,95470	0,47705 666
30'	0,4647 486	0,8870 108	0,5205 670	1,92098	0,47996 554
40'	0,4645 269	0,8856 659	0,5242 698	1,90741	0,48287 445
50'	0,4669 012	0,8845 095	0,5279 859	1,89400	0,48578 551
28°	0,4694 716	0,8829 476	0,5517 094	1,88075	0,48869 219
10'	0,4720 580	0,8815 782	0,5554 465	1,86760	0,49160 107
20'	0,4746 004	0,8802 014	0,5591 952	1,85462	0,49450 995
30'	0,4771 588	0,8788 171	0,5629 587	1,84177	0,49741 884
40'	0,4797 151	0,8774 254	0,5667 281	1,82906	0,50032 772
50'	0,4822 654	0,8760 262	0,5505 125	1,81649	0,50525 660

Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPEMENT
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	DE L'ARC correspondant.
29°	0,4848 096	0,8746 197	0,5345 091	1,80405	0,50614 548
10'	0,4875 517	0,8752 058	0,5581 179	1,79174	0,50905 456
20'	0,4898 897	0,8717 844	0,5619 591	1,77955	0,51196 525
30'	0,4924 256	0,8705 557	0,5657 728	1,76749	0,51487 215
40'	0,4949 555	0,8689 196	0,5696 491	1,75556	0,51778 101
50'	0,4974 787	0,8674 762	0,5754 785	1,74375	0,52068 989
50°	0,5000 000	0,8660 254	0,5775 505	1,75205	0,52359 877
10'	0,5025 170	0,8645 675	0,5812 355	1,72047	0,52650 766
20'	0,5050 299	0,8651 019	0,5851 555	1,70901	0,52941 654
30'	0,5075 584	0,8616 292	0,5890 450	1,69766	0,53252 542
40'	0,5100 426	0,8601 491	0,5929 699	1,68645	0,53525 450
50'	0,5125 425	0,8586 618	0,5969 084	1,67550	0,53814 519
51°	0,5150 581	0,8571 675	0,6008 606	1,66428	0,54105 207
10'	0,5175 295	0,8556 655	0,6048 296	1,65557	0,54596 095
20'	0,5200 161	0,8541 564	0,6088 067	1,64256	0,54686 985
30'	0,5224 986	0,8525 402	0,6128 008	1,65185	0,54977 871
40'	0,5249 766	0,8511 166	0,6168 092	1,62125	0,55268 760
50'	0,5274 502	0,8495 860	0,6208 520	1,61074	0,55559 648
52°	0,5299 195	0,8480 481	0,6248 695	1,60055	0,55850 556
10'	0,5325 859	0,8465 050	0,6289 215	1,59002	0,56144 424
20'	0,5348 440	0,8449 508	0,6329 885	1,57984	0,56452 512
30'	0,5372 996	0,8455 914	0,6370 705	1,56969	0,56725 201
40'	0,5397 507	0,8418 249	0,6411 675	1,55966	0,57014 089
50'	0,5421 971	0,8402 515	0,6452 797	1,54972	0,57504 977
53°	0,5446 590	0,8586 706	0,6494 081	1,55986	0,57595 865
10'	0,5470 765	0,8570 827	0,6555 511	1,55010	0,57886 754
20'	0,5495 000	0,8554 878	0,6577 105	1,52045	0,58177 642
30'	0,5519 570	0,8558 858	0,6618 856	1,51084	0,58468 550
40'	0,5545 605	0,8522 768	0,6660 769	1,50155	0,58759 418
50'	0,5567 790	0,8506 607	0,6702 845	1,49190	0,59050 506
54°	0,5591 929	0,8290 576	0,6745 085	1,48256	0,59541 195
10'	0,5616 021	0,8274 074	0,6787 492	1,47550	0,59652 085
20'	0,5640 065	0,8257 705	0,6850 066	1,46411	0,59922 971
30'	0,5664 062	0,8241 262	0,6872 810	1,45501	0,60215 859
40'	0,5688 011	0,8224 751	0,6915 724	1,44598	0,60504 747
50'	0,5711 912	0,8208 170	0,6958 815	1,43705	0,60795 656
55°	0,5755 764	0,8191 521	0,7002 076	1,42815	0,61086 524
10'	0,5759 568	0,8174 801	0,7045 515	1,41954	0,61377 412
20'	0,5785 525	0,8158 015	0,7089 155	1,41061	0,61668 500
30'	0,5807 050	0,8141 155	0,7152 951	1,40195	0,61959 188
40'	0,5850 687	0,8124 229	0,7176 911	1,39556	0,62250 077
50'	0,5884 294	0,8107 255	0,7221 075	1,38484	0,62540 965
56°	0,5877 835	0,8090 170	0,7265 425	1,37658	0,62851 855
10'	0,5901 561	0,8075 058	0,7509 965	1,36800	0,65122 741
20'	0,5924 819	0,8055 857	0,7554 691	1,35958	0,65415 629
30'	0,5948 228	0,8058 509	0,7599 611	1,35142	0,65704 518
40'	0,5971 586	0,8021 252	0,7444 724	1,34525	0,65995 406
50'	0,5994 895	0,8005 827	0,7490 055	1,35511	0,64286 294

**Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes
et développement des arcs**

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPE-
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	MENT DE L'ARC correspondant.
37°	0,6018 130	0,7986 535	0,7535 540	1,52704	0,64577 182
10'	0,6041 356	0,7968 815	0,7581 248	1,51904	0,64868 070
20'	0,6064 541	0,7951 208	0,7627 137	1,51110	0,65158 959
30'	0,6087 644	0,7935 535	0,7675 270	1,50325	0,65449 847
40'	0,6110 666	0,7915 792	0,7719 589	1,29541	0,65740 735
50'	0,6135 666	0,7897 985	0,7766 117	1,2764	0,66051 625
38°	0,6156 615	0,7880 107	0,7812 833	1,27994	0,66522 512
10'	0,6179 511	0,7862 165	0,7859 808	1,27250	0,66615 400
20'	0,6202 535	0,7844 157	0,7906 975	1,26471	0,66904 288
30'	0,6225 146	0,7826 082	0,7954 559	1,25717	0,67193 176
40'	0,6247 885	0,7807 940	0,8001 965	1,24969	0,67486 064
50'	0,6270 571	0,7789 735	0,8049 790	1,24227	0,67776 955
39°	0,6295 204	0,7771 460	0,8097 841	1,23490	0,68067 841
10'	0,6315 784	0,7755 121	0,8146 118	1,22758	0,68358 729
20'	0,6338 509	0,7734 716	0,8194 625	1,22051	0,68649 617
30'	0,6360 782	0,7716 246	0,8245 564	1,21340	0,68940 505
40'	0,6385 204	0,7697 710	0,8292 537	1,20635	0,69231 194
50'	0,6405 566	0,7679 110	0,8341 547	1,19982	0,69522 282
40°	0,6427 875	0,7660 444	0,8390 996	1,19175	0,69815 170
10'	0,6450 152	0,7641 714	0,8440 688	1,18474	0,70104 058
20'	0,6472 554	0,7622 919	0,8490 624	1,17777	0,70594 947
30'	0,6494 480	0,7604 060	0,8540 807	1,17085	0,70685 835
40'	0,6516 572	0,7585 156	0,8591 240	1,16598	0,70976 725
50'	0,6538 609	0,7566 147	0,8641 926	1,15715	0,71267 611
41°	0,6560 590	0,7547 096	0,8692 868	1,15037	0,71558 499
10'	0,6582 516	0,7527 980	0,8744 067	1,14565	0,71849 588
20'	0,6604 586	0,7508 800	0,8795 528	1,14094	0,72140 276
30'	0,6626 201	0,7489 557	0,8847 255	1,13629	0,72431 164
40'	0,6647 959	0,7470 251	0,8899 243	1,13269	0,72722 052
50'	0,6669 661	0,7450 884	0,8951 506	1,11715	0,73012 940
42°	0,6691 506	0,7431 448	0,9004 059	1,11061	0,73305 829
10'	0,6712 895	0,7411 955	0,9056 861	1,10414	0,73594 717
20'	0,6734 427	0,7392 594	0,9109 941	1,09770	0,73885 605
30'	0,6755 902	0,7372 775	0,9165 512	1,09151	0,74176 495
40'	0,6777 520	0,7355 090	0,9216 968	1,08496	0,74467 381
50'	0,6798 681	0,7335 545	0,9270 914	1,07864	0,74758 270
43°	0,6819 984	0,7315 557	0,9325 151	1,07257	0,75049 158
10'	0,6841 229	0,7295 667	0,9379 685	1,06615	0,75340 046
20'	0,6862 416	0,7275 756	0,9434 515	1,05994	0,75650 954
30'	0,6885 545	0,7255 744	0,9489 646	1,05378	0,75921 822
40'	0,6904 617	0,7225 690	0,9545 085	1,04766	0,76212 711
50'	0,6925 650	0,7215 754	0,9600 829	1,04158	0,76505 595
44°	0,6946 584	0,7195 598	0,9656 889	1,03535	0,76794 487
10'	0,6967 479	0,7175 161	0,9715 262	1,02952	0,77085 375
20'	0,6988 545	0,7152 865	0,9769 956	1,02355	0,77376 265
30'	0,7009 095	0,7132 505	0,9826 975	1,01761	0,77667 152
40'	0,7029 810	0,7112 086	0,9884 516	1,01170	0,77958 040
50'	0,7050 469	0,7091 607	0,9941 991	1,00585	0,78248 928

Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS NATURELS.	COSINUS NATURELS.	TANGENTES NATURELLES.	COTANGENTES NATURELLES.	DÉVELOPPEMENT DE L'ARC correspondant.
45°	0,7071 068	0,7071 068	1,0000 000	1,00000	0,78539 816
50'	0,7152 505	0,7009 095	1,0176 074	0,98270	0,79412 481
46°	0,7195 598	0,6946 584	1,0555 505	0,96369	0,80283 146
50'	0,7255 744	0,6885 545	1,0557,801	0,94986	0,81157 810
47°	0,7315 557	0,6819 984	1,0725 686	0,93232	0,82050 475
50'	0,7372 775	0,6755 902	1,0915 085	0,91655	0,82905 139
48°	0,7451 448	0,6691 506	1,1106 125	0,90040	0,85775 804
50'	0,7489 557	0,6626 201	1,1502 944	0,88475	0,84648 469
49°	0,7547 096	0,6560 590	1,1505 684	0,86929	0,83521 155
50'	0,7694 060	0,6494 480	1,1708 496	0,85408	0,86595 798
50°	0,7660 444	0,6427 875	1,1917 556	0,83910	0,87266 465
50'	0,7716 246	0,6360 782	1,2150 970	0,82454	0,88139 127
51°	0,7771 460	0,6295 204	1,2548 971	0,80978	0,89011 792
50'	0,7826 082	0,6225 146	1,2571 725	0,79544	0,89884 436
52°	0,7880 107	0,6156 615	1,2799 417	0,78129	0,90757 121
50'	0,7955 585	0,6087 614	1,5052 254	0,76755	0,91629 786
53°	0,7986 555	0,6018 150	1,5270 448	0,75555	0,92502 450
50'	0,8058 569	0,5948 228	1,5514 224	0,73996	0,93575 115
54°	0,8090 170	0,5877 855	1,5765 819	0,72654	0,94247 780
50'	0,8141 155	0,5807 050	1,4019 485	0,71529	0,95120 444
55°	0,8191 521	0,5755 764	1,4281 475	0,70021	0,95995 109
50'	0,8241 262	0,5664 062	1,4550 090	0,68728	0,96865 775
56°	0,8290 576	0,5591 929	1,4825 610	0,67451	0,97758 458
50'	0,8358 858	0,5519 570	1,5108 552	0,66189	0,98611 105
57°	0,8586 706	0,5446 590	1,5598 649	0,64941	0,99485 767
50'	0,8455 914	0,5372 996	1,5696 856	0,65607	1,00556 452
58°	0,8480 481	0,5299 195	1,6005 545	0,62487	1,01229 097
50'	0,8526 402	0,5224 986	1,6518 517	0,61280	1,02101 761
59°	0,8571 675	0,5150 581	1,6642 797	0,60086	1,02974 426
50'	0,8616 292	0,5075 584	1,6976 651	0,58904	1,05847 090
60°	0,8660 254	0,5000 000	1,7520 508	0,57755	1,04719 755
50'	0,8705 557	0,4924 256	1,7674 940	0,56577	1,05592 420
61°	0,8746 197	0,4848 096	1,8040 477	0,55451	1,06465 084
50'	0,8788 171	0,4771 588	1,8417 709	0,54296	1,07557 719
62°	0,8829 476	0,4694 716	1,8807 264	0,55171	1,08210 414
50'	0,8870 108	0,4617 486	1,9209 821	0,52057	1,09085 078
63°	0,8910 065	0,4559 905	1,9626 104	0,50955	1,09955 745
50'	0,8949 545	0,4461 978	2,0056 897	0,49858	1,10828 407
64°	0,8987 940	0,4585 712	2,0505 058	0,48775	1,11701 072
50'	0,9025 855	0,4503 114	2,0965 456	0,47698	1,12575 757
65°	0,9065 078	0,4426 185	2,1445 069	0,46651	1,15446 401
50'	0,9099 615	0,4346 952	2,1942 997	0,45575	1,14519 066
66°	0,9155 454	0,4067 566	2,2460 568	0,44525	1,15191 751
50'	0,9170 601	0,5987 491	2,2998 425	0,45481	1,16064 595
67°	0,9205 049	0,5907 511	2,3558 527	0,42447	1,16957 060
50'	0,9258 795	0,5826 854	2,4142 156	0,41421	1,17809 724
68°	0,9271 859	0,5746 066	2,4750 869	0,40405	1,18582 529
50'	0,9504 175	0,5665 015	2,5586 479	0,59591	1,19555 054

**Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes
et développement des arcs**

De 1° à 90° pour un rayon de un mètre

DEGRÉS.	SINUS	COSINUS	TANGENTES	COTANGENTES	DÉVELOPPE-
	NATURELS.	NATURELS.	NATURELLES.	NATURELLES.	MENT DE L'ARC correspondant.
69°	0,9333 804	0,3583 679	2,6050 892	0,38586	1,20427 718
50'	0,9366 722	0,5502 074	2,6746 215	0,57588	1,21500 585
70°	0,9596 926	0,5420 202	2,7474 732	0,56397	1,22173 048
50'	0,9426 415	0,5558 069	2,8259 129	0,55412	1,25045 712
71°	0,9455 185	0,5235 682	2,9042 106	0,54455	1,25918 377
50'	0,9485 256	0,5175 047	2,9886 850	0,55460	1,24791 042
72°	0,9510 057	0,5090 170	3,0766 837	0,52492	1,25665 706
50'	0,9557 169	0,5007 058	3,1745 948	0,51550	1,26556 371
73°	0,9565 048	0,2925 717	3,2708 526	0,50675	1,27409 055
50'	0,9588 137	0,2840 135	3,3759 454	0,29621	1,28281 700
74°	0,9612 617	0,2756 574	3,4874 145	0,28675	1,29154 565
50'	0,9656 505	0,2672 584	3,6058 855	0,27732	1,50027 029
75°	0,9659 258	0,2588 190	3,7520 509	0,26795	1,50899 694
50'	0,9681 476	0,2505 800	3,8667 151	0,25862	1,51772 559
76°	0,9702 957	0,2419 219	4,0107 798	0,24935	1,52645 025
50'	0,9725 699	0,2354 434	4,1652 998	0,24008	1,53517 688
77°	0,9745 701	0,2249 511	4,3514 732	0,23087	1,54590 552
50'	0,9762 960	0,2164 596	4,5107 085	0,22169	1,55265 017
78°	0,9781 476	0,2079 117	4,7046 504	0,21256	1,56155 682
50'	0,9799 247	0,1995 679	4,9151 570	0,20545	1,57008 546
79°	0,9816 271	0,1908 090	4,1445 535	0,19458	1,57881 011
50'	0,9852 549	0,1822 555	5,3955 172	0,18554	1,58755 676
80°	0,9848 077	0,1756 482	5,6712 805	0,17655	1,59626 540
50'	0,9862 836	0,1650 476	5,9757 644	0,16754	1,40499 005
81°	0,9876 885	0,1564 545	6,5157 522	0,15858	1,41571 669
50'	0,9890 158	0,1478 094	6,6911 562	0,14945	1,42244 554
82°	0,9902 680	0,1591 751	7,1155 705	0,14054	1,45116 999
50'	0,9914 449	0,1505 262	7,5957 541	0,15165	1,45989 665
83°	0,9925 462	0,1218 635	8,1445 444	0,12278	1,44862 528
50'	0,9955 718	0,1152 052	4,7768 874	0,11394	1,45754 995
84°	0,9943 218	0,1043 284	9,5145 652	0,10510	1,46607 657
50'	0,9955 962	0,0958 458	10,5855 970	0,09629	1,47480 522
85°	0,9961 947	0,0871 537	11,4500 326	0,08749	1,48552 986
50'	0,9969 175	0,0784 591	12,7062 040	0,07870	1,49225 651
86°	0,9975 640	0,0697 535	14,5006 677	0,06995	1,50098 516
50'	0,9981 548	0,0610 485	16,5498 550	0,06116	1,50970 980
87°	0,9986 295	0,0525 560	19,0811 559	0,05241	1,51845 645
50'	0,9990 482	0,0456 194	22,9057 650	0,04566	1,52716 510
88°	0,9995 908	0,0348 995	28,6562 500	0,03492	1,55588 974
50'	0,9996 575	0,0261 769	38,1884 590	0,02619	1,54161 659
89°	0,9998 477	0,0174 524	57,2899 605	0,01746	1,55354 505
50'	0,9999 619	0,0087 265	114,5886 500	0,00875	1,56206 968
90°	1,0000 000	0,0000 000	Infinie.	0,00000	1,57079 655

Développement des arcs

pour tous les degrés du cercle et pour un mètre de rayon

DEGRÉS	DÉVELOPPEMENT DES ARCS.	DEGRÉS	DÉVELOPPEMENT DES ARCS.
1	0,01745 52925 19945 29577	56	0,97758 45811 16824 56508
2	0,05490 65850 59886 59154	57	0,99485 76756 56767 85885
3	0,05255 98775 59829 88751	58	1,01229 09661 56711 15462
4	0,06981 51700 79775 18508	59	1,02974 42586 76654 45058
5	0,08726 64625 99716 47885	60	1,04719 75511 96597 74615
6	0,10471 97551 19659 77462	61	1,06465 08457 16541 04192
7	0,12217 50476 59605 07058	62	1,08210 41532 56484 55769
8	0,15962 65401 59546 56615	63	1,09955 74287 56427 65546
9	0,15707 95526 79489 66192	64	1,11701 07212 76570 92925
10	0,17455 29251 99452 95769	65	1,13446 40157 96514 22500
11	0,19198 62177 19576 25546	66	1,15191 75065 16257 52077
12	0,20945 95102 59519 54925	67	1,16937 05988 56200 81654
13	0,22689 28027 59262 84500	68	1,18682 38915 56144 11251
14	0,24434 60952 79206 14077	69	1,20427 71858 76087 40808
15	0,26179 95877 99149 45654	70	1,22175 04765 96050 70585
16	0,27925 26805 19092 75251	71	1,23918 37689 15975 99962
17	0,29670 59728 59056 02808	72	1,25665 70614 55917 29559
18	0,31415 92655 58979 52585	73	1,27409 05559 55860 59115
19	0,33161 25578 78922 61962	74	1,29154 36464 75805 88692
20	0,34906 58505 98865 91558	75	1,30899 69589 95747 18269
21	0,36651 91429 18809 21115	76	1,32645 02515 15690 47846
22	0,38397 24354 58752 50692	77	1,34390 35240 35655 77425
23	0,40142 57279 58695 80269	78	1,36135 68165 55577 07000
24	0,41887 90204 78659 09846	79	1,37881 01090 75520 56577
25	0,43633 23129 98582 59425	80	1,39626 34015 95465 66154
26	0,45378 56055 18525 89000	81	1,41371 66941 15406 95751
27	0,47125 88980 58468 98577	82	1,43116 99866 55350 25308
28	0,48869 21905 58412 28154	83	1,44862 32791 55295 54885
29	0,50614 54850 78355 57751	84	1,46607 65716 75256 84462
30	0,52359 87775 98298 87508	85	1,48352 98641 95180 14059
31	0,54105 20681 18242 16885	86	1,50098 31567 15125 45615
32	0,55850 53606 58185 46462	87	1,51845 64492 55066 75192
33	0,57595 86551 58128 76058	88	1,53588 97417 35010 02769
34	0,59341 19456 78072 05615	89	1,55334 30542 74955 52546
35	0,61086 52581 98015 55192	90	1,57079 65267 94896 61925
36	0,62831 85507 19758 64769	91	1,58824 96195 14859 91500
37	0,64577 18252 37901 94346	92	1,60570 29118 54785 21077
38	0,66322 51157 57845 25925	93	1,62315 62045 54726 50654
39	0,68067 84082 77788 55500	94	1,64060 94968 74669 80251
40	0,69815 17007 97751 85077	95	1,65806 27895 94615 09808
41	0,71558 49955 17675 12654	96	1,67551 60819 14556 39585
42	0,73305 82858 57618 42251	97	1,69296 95744 54499 68962
43	0,75049 15785 57561 71808	98	1,71042 26669 54442 98559
44	0,76794 48708 77505 01585	99	1,72787 59594 74586 28115
45	0,78539 81655 97448 50962	100	1,74532 92519 94529 57692
46	0,80285 14559 17391 60558	120	2,09459 51025 95195 49251
47	0,82050 47484 57554 90115	150	2,61799 58779 91494 56559
48	0,83775 80409 57278 19692	180	5,14159 26555 89795 25846
49	0,85521 13554 77221 49269	210	3,66549 14291 88092 11154
50	0,87266 46259 97164 78846	240	4,18879 02047 86590 98462
51	0,89011 79185 17108 08425	270	4,71258 89805 84689 85679
52	0,90757 12110 57051 58000	300	5,23598 77559 82988 75077
53	0,92502 45055 56994 67577	350	5,75958 65515 81287 60585
54	0,94247 77960 76937 97154	360	6,28518 55071 79586 47695
55	0,95995 10885 96881 26731		

La longueur de l'arc de 1° dans le cercle dont le rayon égale 1 est :

$$\frac{\pi}{180} = 0,01745\ 32925\ 19943\ 29576\ 92369$$

La longueur de l'arc de 1' dans le cercle dont le rayon égale 1 est :

$$\frac{\pi}{10\ 800} = 0,00029\ 08882\ 08665\ 72159\ 61359$$

La longueur de l'arc de 1'' dans le cercle dont le rayon égale 1 est :

$$\frac{\pi}{648\ 000} = 0,00000\ 48481\ 56811\ 09535\ 99359$$

Dans le cercle d'un mètre de rayon un arc quelconque a a pour mesure :

en secondes $a \times 206\ 264,806\ 25$

en minutes $a \times 3\ 437,746\ 77$

en degrés $a \times 57,295\ 78$

Développement des arcs de cercle

dont la flèche et la corde sont connues

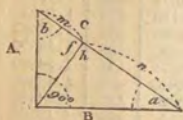
NOTA. — La colonne intitulée hauteur de l'arc est le quotient de la flèche par la corde; il suffit donc, une fois ce quotient déterminé, de multiplier par la corde les chiffres de la colonne correspondante pour avoir le développement absolu de l'arc.

HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.
mill.		mill.		mill.		mill.		mill.	
100	1,02645	126	1,04184	152	1,06051	178	1,08246	204	1,10752
101	1,02698	127	1,04247	155	1,06150	179	1,08557	205	1,10855
102	1,02752	128	1,04315	154	1,06209	180	1,08428	206	1,10958
105	1,02806	129	1,04580	153	1,06288	181	1,08519	207	1,11062
104	1,02860	130	1,04447	156	1,06568	182	1,08611	208	1,11165
105	1,02914	131	1,04515	157	1,06449	185	1,08704	209	1,11269
106	1,02970	132	1,04581	158	1,06350	184	1,08797	210	1,11374
107	1,03026	135	1,04652	159	1,06511	183	1,08890	211	1,11479
108	1,03082	134	1,04722	160	1,06695	186	1,08984	212	1,11584
109	1,03139	138	1,04792	161	1,06775	187	1,09079	215	1,11692
110	1,03196	136	1,04852	162	1,06858	188	1,09174	214	1,11796
111	1,03254	137	1,04952	165	1,06941	189	1,09269	215	1,11904
112	1,03312	138	1,05005	164	1,07025	190	1,09365	216	1,12011
115	1,03371	139	1,05075	165	1,07105	191	1,09461	217	1,12118
114	1,03430	140	1,03147	166	1,07184	192	1,09557	218	1,12223
115	1,03490	141	1,03220	167	1,07279	195	1,09654	219	1,12354
116	1,03551	142	1,03295	168	1,07365	194	1,09752	220	1,12445
117	1,03611	145	1,03567	169	1,07451	195	1,09850	221	1,12536
118	1,03672	144	1,03441	170	1,07557	196	1,09949	222	1,12665
119	1,03754	145	1,03516	171	1,07624	197	1,10048	225	1,12774
120	1,03797	146	1,03591	172	1,07711	198	1,10147	224	1,12885
121	1,03860	147	1,03667	175	1,07799	199	1,10247	225	1,12997
122	1,03925	148	1,03745	174	1,07888	200	1,10348	226	1,13108
125	1,03987	149	1,03819	175	1,07977	201	1,10447	227	1,13219
124	1,04051	150	1,03896	176	1,08066	202	1,10548	228	1,13334
125	1,04116	151	1,03975	177	1,08156	203	1,10650	229	1,13444

HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.	HAU- TEUR de L'ARC $\frac{f}{c}$	DÉVELOP- PEMENT de L'ARC.
mill.		mill.		mill.		mill.		mill.	
250	1,43557	285	1,20449	540	1,28428	595	1,37455	450	1,47577
251	1,43671	286	1,20558	541	1,28585	596	1,37628	451	1,47565
252	1,43786	287	1,20696	542	1,28759	597	1,37801	452	1,47753
253	1,43905	288	1,20828	543	1,28895	598	1,37974	453	1,47942
254	1,44020	289	1,20967	544	1,29032	599	1,38148	454	1,48151
255	1,44136	290	1,21102	545	1,29209	600	1,38322	455	1,48320
256	1,44247	291	1,21259	546	1,29566	601	1,38496	456	1,48509
257	1,44365	292	1,21581	547	1,29525	602	1,38671	457	1,48699
258	1,44480	295	1,21520	548	1,29681	605	1,38846	458	1,48889
259	1,44597	294	1,21658	549	1,29859	604	1,39021	459	1,49079
540	1,44714	295	1,21794	550	1,29997	605	1,39196	460	1,49269
541	1,44831	296	1,21926	551	1,50156	606	1,59572	461	1,49460
242	1,44949	297	1,22061	552	1,50515	607	1,59548	462	1,49651
245	1,45067	298	1,22205	555	1,50474	608	1,59724	465	1,49842
244	1,45186	299	1,22547	554	1,50654	609	1,59900	464	1,50035
243	1,45308	300	1,22495	553	1,50794	610	1,60077	463	1,50224
246	1,45249	501	1,22658	556	1,50984	611	1,60254	466	1,50416
247	1,45349	502	1,22776	557	1,51115	612	1,60452	467	1,50608
248	1,45640	505	1,22918	558	1,51276	615	1,60610	468	1,50800
249	1,45791	504	1,25061	559	1,51457	614	1,60788	469	1,50992
250	1,45912	505	1,25205	560	1,51599	615	1,60966	470	1,51185
251	1,46035	506	1,25549	561	1,51761	616	1,61145	471	1,51378
252	1,46157	507	1,25494	562	1,51925	617	1,61324	472	1,51571
253	1,46279	508	1,25636	565	1,52086	618	1,61505	475	1,51764
254	1,46402	509	1,25780	564	1,52249	619	1,61682	474	1,51958
255	1,46526	510	1,25925	565	1,52413	620	1,61861	473	1,52152
256	1,46649	511	1,24070	566	1,52577	621	1,62041	476	1,52346
257	1,46774	512	1,24216	567	1,52741	622	1,62222	477	1,52541
258	1,46899	515	1,24560	568	1,52905	625	1,62402	478	1,52736
259	1,47024	514	1,24506	569	1,53069	624	1,62585	479	1,52931
260	1,47150	515	1,24654	570	1,53254	625	1,62764	480	1,53126
261	1,47275	516	1,24801	571	1,53399	626	1,62945	481	1,53322
262	1,47401	517	1,24946	572	1,53564	627	1,63127	482	1,53518
263	1,47527	518	1,25095	575	1,53750	628	1,63309	485	1,53714
264	1,47653	519	1,25245	574	1,53896	629	1,63491	484	1,53910
265	1,47778	520	1,25391	575	1,54065	650	1,63675	485	1,54106
266	1,47912	521	1,25539	576	1,54229	651	1,63856	486	1,54302
267	1,48040	522	1,25686	577	1,54396	652	1,64039	487	1,54499
268	1,48162	525	1,25856	578	1,54565	655	1,64222	488	1,54696
269	1,48294	524	1,25987	579	1,54751	654	1,64405	489	1,54895
270	1,48428	525	1,26157	580	1,54899	655	1,64589	490	1,55090
271	1,48557	526	1,26286	581	1,55068	656	1,64775	491	1,55288
272	1,48688	527	1,26457	582	1,55257	657	1,64957	492	1,55486
273	1,48819	528	1,26588	585	1,55406	658	1,65142	495	1,55685
274	1,48969	529	1,26740	584	1,55575	659	1,65327	494	1,55884
275	1,49082	550	1,26892	585	1,55744	660	1,65512	495	1,56085
276	1,49214	551	1,27044	586	1,55914	661	1,65697	496	1,56282
277	1,49345	552	2,27196	587	1,56084	662	1,65889	497	1,56481
278	1,49477	555	1,27549	588	1,56254	665	1,66069	498	1,56680
279	1,49610	554	1,27502	589	1,56425	664	1,66255	499	1,56879
280	1,49745	555	1,27656	590	1,56596	665	1,66441	500	1,57079
281	1,49887	556	1,27810	591	1,56767	666	1,66628		
282	1,20011	557	1,27964	592	1,56959	667	1,66815		
285	1,20146	558	1,28118	595	1,57111	668	1,67002		
284	1,20282	559	1,28275	594	1,57285	669	1,67189		

SURFACES PLANES

Triangles rectangles



S = surface

$$S = \frac{BA}{2} = \frac{BC \sin. a}{2} = \frac{BC \cos. b}{2} = \frac{AC \sin. b}{2}$$

$$= \frac{AC \cos. a}{2} = \frac{C^2 (\sin. a \sin. b)}{2} = \frac{B^2 \tan. a}{2}$$

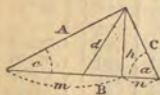
$$= \frac{A^2 \tan. b}{2} = \frac{Ch}{2} = \frac{Am \sin. b}{2} + \frac{Bn \sin. a}{2} \text{ etc.}$$

$$A = \frac{2S}{B} = \sqrt{\frac{2S}{\tan. b}}; \quad B = \frac{2S}{A} = \sqrt{\frac{2S}{\tan. a}}; \quad C = \frac{2S}{A \cos. a} = \sqrt{\frac{2S}{\sin. a \sin. b}}$$

Triangles quelconques



$$S = \frac{Bh}{2}; \quad B = \frac{2S}{h}; \quad h = \frac{2S}{B}$$

1^o Connaissant un côté B et deux angles a et c

$$b = 180^\circ - (a + c); \quad C = \frac{B \sin. c}{\sin. b}; \quad A = \frac{B \sin. a}{\sin. b}$$

$$h = C \sin. a$$

$$S = \frac{Bh}{2} = \frac{BC \sin. a}{2} = \frac{B^2 (\sin. a \sin. c)}{2 \sin. b} = \frac{B^2 (\sin. a \sin. c)}{2 \sin. (a + c)}$$

2^o Connaissant deux côtés A et B et l'angle compris c ou opposé a

$$A + B : A - B :: \left\{ \begin{array}{l} \tan. \frac{1}{2} (a + b) : \tan. \frac{1}{2} (a - b) \\ \sin. a + \sin. b : \sin. a - \sin. b \end{array} \right\}$$

On a d'ailleurs :

$$C = \frac{A + B \left(\sin. \frac{1}{2} c \right)}{\cos. \frac{1}{2} (a - b)}$$

$$S = \frac{BA \sin. c}{2} = \frac{1}{2} B \sin. a \left(B \cos. a \pm \sqrt{A^2 - B^2 \sin.^2 a} \right)$$

3^o Connaissant les trois côtés

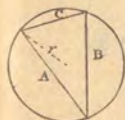
$$A + B + C = 2p;$$

$$\cos. a = \frac{B^2 + C^2 - A^2}{2BC}$$

$$\begin{aligned} \text{Sin. } \frac{1}{2} a &= \sqrt{\frac{(p-B)(p-C)}{BC}}; & \cos. \frac{1}{2} a &= \sqrt{\frac{p(p-A)}{BC}} \\ \text{tang. } \frac{1}{2} a &= \sqrt{\frac{(p-B)(p-C)}{p(p-A)}} \\ \text{Sin. } \frac{1}{2} b &= \sqrt{\frac{(p-A)(p-C)}{AC}}; & \cos. \frac{1}{2} b &= \sqrt{\frac{p(p-B)}{AC}} \\ \text{Sin. } \frac{1}{2} c &= \sqrt{\frac{(p-A)(p-B)}{AB}}; & \cos. \frac{1}{2} c &= \sqrt{\frac{p(p-C)}{AB}} \end{aligned}$$

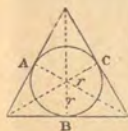
$$S = \frac{AB \sin. c}{2} = \frac{AC \sin. b}{2} = \frac{BC \sin. a}{2} = \sqrt{p(p-A)(p-B)(p-C)}$$

$$= \frac{1}{4} \sqrt{4B^2 C^2 - (B^2 + C^2 - A^2)^2}$$

Triangle inscrit

$$A + B + C = 2p; \quad r = \frac{ABC}{4\sqrt{p(p-A)(p-B)(p-C)}} = \frac{ABC}{4S}$$

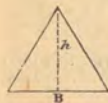
$$S = \frac{ABC}{4r}; \quad A = \frac{4rS}{BC}; \quad B = \frac{4rS}{AC}; \quad C = \frac{4rS}{AB}$$

Triangle circonscrit

$$A + B + C = 2p; \quad r = \sqrt{\frac{(p-A)(p-B)(p-C)}{p}} = \frac{2S}{A+B+C}$$

$$S = \frac{1}{2} r (A + B + C) = pr; \quad A = \frac{2S}{r} - (B + C);$$

$$B = \frac{2S}{r} - (A + C); \quad C = \frac{2S}{r} - (A + B)$$

Triangle équilatéral

$$\sqrt{3} = 1,73205 \ 08; \quad h = \frac{B\sqrt{3}}{2} = B \times 0,86602 \ 54$$

$$B = \frac{2h}{\sqrt{3}} = h \times 1,15470 \ 05$$

$$S = \frac{B^2\sqrt{3}}{4} = \frac{h^2}{\sqrt{3}} = B^2 \times 0,43301 \ 27 = h^2 \times 0,57735 \ 027$$

Triangle équilatéral inscrit et circonscrit

$$S = 0,5 B h = 0,75 B R = 1,5 B r = 0,75 R^2 \sqrt{3} = 3r^2 \sqrt{3}$$

$$= 0,5 R h \sqrt{3} = r h \sqrt{3} = B^2 \times 0,43301 \ 27 = h^2 \times 0,57735 \ 027$$

$$= R^2 \times 1,29903 \ 84 = r^2 \times 5,19615 \ 24.$$

$$\text{surf. cercle circ. : surf. tri. équil.} :: 5,14459 : 1,29903 \ 84$$

$$\text{surf. cercle inscrit : surf. tri. équil.} :: \pi : 3\sqrt{3}$$

$$:: 5,14459 : 5,19615 \ 24.$$



Losange

$$d = d' \sqrt{3} = d' \times 1,73205\ 08; \quad d' = \frac{d}{\sqrt{3}} = d \times 0,57735\ 03$$



$$S = \frac{B^2 \sqrt{3}}{2} = B^2 \times 0,86602\ 54 = \frac{1}{2} dd = d^2 \times 0,28867\ 51$$

$$B = \sqrt{\frac{2S}{\sqrt{3}}} = \sqrt{S \times 1,15470\ 054} = \sqrt{S} \times 1,07456\ 99318$$

Carre

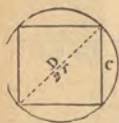
$$c = \frac{d}{\sqrt{2}} = d \times 0,70710\ 678 = \sqrt{S}$$



$$d = c \sqrt{2} = c \times 1,41421\ 356 = \sqrt{2S} = \sqrt{S} \times 1,41421\ 356$$

$$S = c^2 = \left(\frac{d}{\sqrt{2}}\right)^2 = d^2 \times 0,50$$

Carré inscrit



$$S = (r \sqrt{2})^2 = 2r^2 = D^2 \times 0,50$$

$$r = \sqrt{S \times 0,5} = \sqrt{S} \times 0,70710\ 678$$

$$D = \sqrt{2S} = \sqrt{S} \times 1,41421\ 356$$

Carré circonscrit



$$S = 4r^2 = D^2 \times 0,50$$

$$r = \frac{D}{2\sqrt{2}} = \sqrt{S} \times 0,50 = D \times 0,55555\ 556$$

$$D = 2r \sqrt{2} = \sqrt{S} \times 1,41421\ 356 = r \times 2,82842\ 71$$

Quadrilatère inscritible

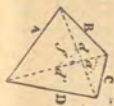
$$A + B + C + D = 2p$$

$$S = \sqrt{(p-A)(p-B)(p-C)(p-D)} = \frac{1}{2} dd' \sin. a = \frac{1}{2} (AC + BD) \sin. a$$



$$A = \frac{2S - (CD \sin. a)}{B \sin. a}; \quad B = \frac{2S - (CD \sin. a)}{A \sin. a};$$

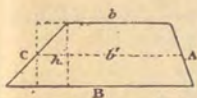
$$C = \frac{2S - (AB \sin. a)}{D \sin. a}; \quad D = \frac{2S - (AB \sin. a)}{C \sin. a}$$

Quadrilatère non inscriptible

$$S = \frac{1}{2} dd' \sin. a$$

$$d = \frac{2S}{d' \sin. a}$$

$$d' = \frac{2S}{d \sin. a}$$

Trapèze

$$g = B - b;$$

$$h = \frac{1}{2g} \sqrt{(A + C + g)(A + g - C)(C + g - A)(A + C - g)}$$

$$= \frac{2S}{B + b}$$

$$S = h \frac{B + b}{2} = b' h$$

$$B = \frac{2S}{h} - b; \quad b = \frac{2S}{h} - B$$

Soit un trapèze circulaire dont A et a sont les arcs, et R et r les rayons on aura

$$S = \frac{1}{2} (A + a) (R - r)$$

Polygones réguliers

p = périmètre; r = rayon du cercle inscrit.

$$S = \frac{pr}{2}$$

Soit n nombre de côtés:

$$S = nC \times \frac{1}{2} \times \frac{C}{2} \cot. \frac{180^\circ}{n} = \frac{1}{4} nC^2 \cot. \left(\frac{180^\circ}{n} \right)$$

On a aussi, en appelant n nombre de côtés, C corde ou côté, r rayon du cercle circonscrit, h apothème ou rayon droit:



$$h = \sqrt{\left(r^2 - \frac{1}{4} C^2 \right)} = r \cos. \frac{1}{2} a = r \cos. \frac{1}{2} \left(\frac{360^\circ}{n} \right)$$

$$= r \cos. \left(\frac{180^\circ}{n} \right);$$

$$C = 2r \sin. \frac{1}{2} a = 2r \sin. \frac{1}{2} \left(\frac{360^\circ}{n} \right) = 2r \sin. \left(\frac{180^\circ}{n} \right);$$

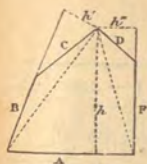
$$S = nr^2 \sin. \frac{1}{2} a \cos. \frac{1}{2} a = \frac{nr^2 \sin. a}{2} = \frac{nr^2 \sin. \left(\frac{360^\circ}{n} \right)}{2} = \frac{nhC}{2}$$

Les périmètres de deux polygones semblables sont entre eux comme deux côtés homologues quelconques et leurs surfaces comme les carrés de ces mêmes côtés.

Surfaces des polygones réguliers dont le côté est pris pour unité.

NOMBRE de côtés	Le côté C étant égal à 1		SURFACES	
	RAYON DU CERCLE CIRCOSCRIT	APOTHEME	en fonction de r	en fonction de C en faisant C=1
3	$\frac{1}{3} C \sqrt{3}$	$\frac{1}{6} C \sqrt{3}$	$\frac{5}{4} r^2 \sqrt{3}$	$\frac{1}{4} C^2 \sqrt{3}$
4	$\frac{1}{2} C \sqrt{2}$	$\frac{1}{2} C$	$2r^2$	C^2
5	$\frac{1}{10} C \sqrt{50+10\sqrt{5}}$	$\frac{1}{10} C \sqrt{25+10\sqrt{5}}$	$\frac{5}{8} r^2 \sqrt{40+2\sqrt{5}}$	$\frac{1}{4} C^2 \sqrt{25+10\sqrt{5}}$
6	C	$\frac{1}{2} C \sqrt{3}$	$\frac{5}{2} r^2 \sqrt{3}$	$\frac{5}{2} C^2 \sqrt{3}$
7	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 23^{\circ} 42' 51''}$	$r \cos. 23^{\circ} 42' 51''$	»	»
8	$\frac{1}{2} C \sqrt{4+2\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2} C (1+\sqrt{2})$	$2 r^2 \sqrt{2}$	$2 C^2 (1+\sqrt{2})$
9	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 20^{\circ}}$	$r \cos. 20^{\circ}$	»	»
10	$\frac{1}{2} C (1+\sqrt{5})$	$\frac{1}{2} C \sqrt{5+2\sqrt{5}}$	$\frac{5}{4} r^2 \sqrt{10-2\sqrt{5}}$	$\frac{5}{2} C^2 \sqrt{5+2\sqrt{5}}$
11	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 16^{\circ} 21' 49''}$	$r \cos. 16^{\circ} 21' 49''$	»	»
12	$C \sqrt{2+\sqrt{3}}$	$\frac{1}{2} C (2+\sqrt{3})$	$3r^2$	$3 C^2 (2+\sqrt{3})$
15	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 12^{\circ}}$	$r \cos. 12^{\circ}$	»	»
18	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 10^{\circ}}$	$r \cos. 10^{\circ}$	»	»
20	$\frac{1}{2} \frac{C}{\sin. 9^{\circ}}$	$r \cos. 9^{\circ}$	»	»

Polygone irrégulier



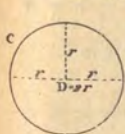
$$S = \frac{Ah + Bh' + Fh''}{2}$$

$$A = \frac{2S - Bh' - Fh''}{h}; \quad B = \frac{2S - Ah - Fh''}{h'}$$

$$F = \frac{2S - Ah - Bh'}{h''}$$

Cercle

$$S = \pi r^2 = D^2 \frac{\pi}{4} = \frac{CD}{4} = \frac{C^2}{4\pi} = r^2 \times 3,14159 = D^2 \times 0,7853982 \\ = C^2 \times 0,0795775$$



$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{S \times 0,31831} = \sqrt{S} \times 0,56418 \ 96$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{S \times 1,27324} = \sqrt{S} \times 1,12857 \ 92$$

$$C = \sqrt{4\pi S} = \sqrt{S \times 12,56637} = \sqrt{S} \times 3,54490 \ 77$$

$$\text{Et approximativement } S = \frac{7}{9} D^2 = D^2 \times 0,77777$$

Secteur de cercle



$$p = \frac{\pi r a}{180^\circ} = r a \times 0,01745 \ 32925 = \frac{2S}{r} = \sqrt{S a} \times 0,18685 \ 30405$$

$$S = \frac{p r^2}{2} = \frac{\pi r^2 a}{360^\circ} = r^2 a \times 0,00872 \ 66465 = d^2 a \times 0,00218 \ 16615 \\ = \frac{p^2}{a} \times 28,64788 \ 97565$$

$$r = \frac{2S}{p} = \sqrt{\frac{S}{a} \times 114,59155 \ 905} = \sqrt{\frac{S}{a}} \times 10,70474 \ 47$$

$$a = \frac{360 S}{\pi r^2} = \frac{S}{r^2} \times 114,59155 \ 905$$

Segment de cercle



$$S' = \text{surface triangle } ch; \quad A = \frac{\pi}{180^\circ} = 0,01745 : 2935$$

$$h = \sqrt{r^2 - y^2} = \frac{\sqrt{d^2 - c^2}}{2} = \sqrt{(r+y)(r-y)}$$

$$= r c \cos. \frac{1}{2} a = \frac{y \cos. \frac{1}{2} a}{\sin. \frac{1}{2} a} = y \cot. \frac{1}{2} a = \frac{2S'}{c}$$

$$= 2y = 2 \sqrt{r^2 - h^2} = 2 \sqrt{df - r^2} = d \sin. \frac{1}{2} a = \frac{2S'}{h}$$

$$i = r - h = r - \sqrt{r^2 - y^2} = r - \sqrt{\frac{4r^2 - c^2}{4}} = d \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{d^2 - c^2}}{2}$$

$$= r \left(1 - \cos. \frac{1}{2} a \right)$$

$$r = \frac{y^2 + i^2}{2f} = \sqrt{y^2 + h^2} = c \frac{1}{2} \sin. \frac{1}{2} a = h \frac{1}{\cos. \frac{1}{2} a} = f \frac{1}{1 - \cos. \frac{1}{2} a}$$

$$S = \frac{1}{2} cf + \frac{1}{2} r (p - c) = \frac{\pi r^2 a}{360^\circ} - S' = \frac{1}{2} r^2 (Aa - \sin. a)$$

$$= \frac{r^2}{2} [(0,01745\ 329 \times a) - \sin. a] = \frac{2pr - (c \sqrt{4r^2 - c^2})}{4} = \frac{pr - (c \sqrt{r^2 - y^2})}{2}$$

Dans la pratique on fait :

$$S = c \times \frac{2}{3} f \text{ ou : } S = f \left(\frac{1}{2} c + \frac{2}{3} f \right) \text{ ou encore : } S = \frac{f^3}{4c} + \frac{4}{3} fc$$

Si $f = \frac{1}{4} c$, on aurait plus exactement : $S = c \times \frac{7}{10} f = cf \times 0,70$

Surfaces des segments d'un mètre de diamètre pour 500 parties de la demi-circonférence

NOTA. — Pour se servir de cette table, on détermine la hauteur du segment en divisant la flèche par le diamètre et s'arrêtant aux millièmes, et, après avoir cherché dans la colonne intitulée *hauteur* $\frac{f}{D}$ le nombre auquel correspond ce quotient, on multiplie le carré du diamètre par le nombre correspondant dans la colonne des *surfaces*, ce qui donnera la surface demandée.

En effet, les surfaces des cercles ou des parties de cercles étant entre elles comme les carrés des diamètres, on a :

$$D^2 : d^2 :: \text{surf. segment} : \text{surf. table}$$

d'où : $\text{surf. segment} = D^2 \times \text{surf. table}$

HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
001	0,000042	015	0,002458	029	0,006527	045	0,011754	057	0,017851
002	0,000119	016	0,002685	030	0,006866	044	0,012142	058	0,018297
005	0,000219	017	0,002940	051	0,007209	045	0,012535	059	0,018766
004	0,000537	018	0,005202	052	0,007559	046	0,012974	060	0,019259
005	0,000471	019	0,005472	053	0,007915	047	0,013595	061	0,019746
006	0,000619	020	0,005749	054	0,008275	048	0,013818	062	0,020197
007	0,000779	021	0,004052	055	0,008658	049	0,014248	065	0,020681
008	0,000952	022	0,004522	056	0,009008	050	0,014681	064	0,021168
009	0,001155	025	0,004619	057	0,009585	051	0,015119	065	0,021660
010	0,001529	024	0,004922	058	0,009765	052	0,015561	066	0,022155
011	0,001555	025	0,005251	059	0,010148	053	0,016008	067	0,022655
012	0,001746	026	0,005546	040	0,010558	054	0,016458	068	0,023155
015	0,001969	027	0,005867	041	0,010952	055	0,016912	069	0,025660
014	0,002199	028	0,006194	042	0,011351	056	0,017569	070	0,024168

SURFACES PLANES

121

HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
071	0,024680	127	0,057991	185	0,098447	239	0,144091	295	0,195597
072	0,025196	128	0,058658	184	0,099281	240	0,144945	296	0,194509
073	0,025714	129	0,059328	185	0,099997	241	0,145800	297	0,195425
074	0,026236	130	0,059999	186	0,100774	242	0,146655	298	0,196557
075	0,026761	131	0,060675	187	0,101555	245	0,147515	299	0,197252
076	0,027290	132	0,061349	188	0,102354	244	0,148371	300	0,198168
077	0,027821	135	0,062027	189	0,103116	245	0,149251	301	0,199085
078	0,028356	134	0,062707	190	0,103900	246	0,150091	302	0,200005
079	0,028894	135	0,063589	191	0,104686	247	0,150955	305	0,200922
080	0,029455	136	0,064074	192	0,105472	248	0,151816	304	0,201841
081	0,029979	137	0,064761	195	0,106261	249	0,152681	305	0,202762
082	0,030526	158	0,065149	194	0,107051	250	0,153546	306	0,203683
085	0,031077	159	0,066140	195	0,107845	251	0,154415	307	0,204605
084	0,031630	140	0,066855	196	0,108656	252	0,155281	308	0,205528
085	0,032186	141	0,067528	197	0,109451	255	0,156149	309	0,206452
086	0,032746	142	0,068225	198	0,110227	254	0,157019	310	0,207376
087	0,033308	145	0,068924	199	0,111025	255	0,157891	311	0,208302
088	0,033873	144	0,069626	200	0,111824	256	0,158765	312	0,209228
089	0,034441	146	0,070529	201	0,112625	257	0,159656	315	0,210155
090	0,035012	145	0,071054	202	0,113427	258	0,160511	314	0,211085
091	0,035586	147	0,071744	205	0,114251	259	0,161586	315	0,212011
092	0,036162	148	0,072450	204	0,115056	260	0,162265	316	0,212941
095	0,036742	149	0,073162	205	0,115842	261	0,165141	317	0,213871
094	0,037324	150	0,073875	206	0,116651	262	0,164020	318	0,214802
095	0,037909	151	0,074590	207	0,117460	265	0,164900	319	0,215754
096	0,038497	152	0,075507	208	0,118271	264	0,165781	320	0,216666
097	0,039087	155	0,076026	209	0,119085	265	0,166663	321	0,217600
098	0,039681	154	0,076747	210	0,119898	266	0,167546	322	0,218554
099	0,040277	155	0,077470	211	0,120715	267	0,168451	325	0,219469
100	0,040875	156	0,078194	212	0,121550	268	0,169316	324	0,220404
101	0,041477	157	0,078921	215	0,122548	269	0,170202	325	0,221541
102	0,042081	158	0,079650	214	0,123167	270	0,171090	326	0,222278
105	0,042687	159	0,080380	215	0,123988	271	0,171978	327	0,223216
104	0,043296	160	0,081112	216	0,124811	272	0,172868	328	0,224154
105	0,043908	161	0,081847	217	0,125654	275	0,173758	329	0,225094
106	0,044525	162	0,082582	218	0,126459	274	0,174650	350	0,226054
107	0,045140	165	0,083520	219	0,127286	275	0,175542	351	0,226974
108	0,045759	164	0,084060	220	0,128114	276	0,176456	352	0,227916
109	0,046381	165	0,084801	221	0,128945	277	0,177350	355	0,228858
110	0,047006	166	0,085345	222	0,129775	278	0,178226	354	0,229801
111	0,047635	167	0,086290	225	0,130605	279	0,179122	355	0,230745
112	0,048262	168	0,087057	224	0,131458	280	0,180020	356	0,231689
115	0,048894	169	0,087785	225	0,132275	281	0,180918	357	0,232654
114	0,049529	170	0,088556	226	0,133109	282	0,181818	358	0,233580
115	0,050165	171	0,089288	227	0,133946	285	0,182718	359	0,234526
116	0,050805	172	0,090042	228	0,134784	284	0,183619	340	0,235475
117	0,051446	175	0,090797	229	0,135624	285	0,184522	341	0,236421
118	0,052090	174	0,091555	250	0,136465	286	0,185425	342	0,237369
119	0,052737	175	0,092514	251	0,137307	287	0,186329	345	0,238319
120	0,053385	176	0,093074	252	0,138151	288	0,187255	344	0,239266
121	0,054037	177	0,093837	255	0,138996	289	0,188141	345	0,240219
122	0,054690	178	0,094601	254	0,139842	290	0,189048	346	0,241170
125	0,055346	179	0,095367	255	0,140689	291	0,189955	347	0,242122
124	0,056004	180	0,096135	256	0,141538	292	0,190865	348	0,243074
125	0,056664	181	0,096904	257	0,142588	295	0,191774	349	0,244027
126	0,057327	182	0,097675	258	0,143539	294	0,192685	350	0,244980

HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{D}$	SURFACES.
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
351	0,248955	581	0,274852	411	0,304471	441	0,335856	471	0,368715
352	0,246890	582	0,275804	412	0,305166	442	0,334829	472	0,364714
353	0,247845	583	0,276776	413	0,306140	443	0,335825	473	0,366712
354	0,248801	584	0,277748	414	0,307125	444	0,336816	474	0,366714
355	0,249758	585	0,278721	415	0,308110	445	0,337810	475	0,367710
356	0,250715	586	0,279695	416	0,309096	446	0,338804	476	0,368708
357	0,251673	587	0,280669	417	0,310082	447	0,339799	477	0,369707
358	0,252632	588	0,281645	418	0,311068	448	0,340795	478	0,370706
359	0,253591	589	0,282618	419	0,312055	449	0,341788	479	0,371705
360	0,254551	590	0,283595	420	0,313042	450	0,342785	480	0,372704
361	0,255511	591	0,284569	421	0,314029	451	0,343778	481	0,373705
362	0,256472	592	0,285545	422	0,315017	452	0,344775	482	0,374705
363	0,257435	593	0,286521	423	0,316005	453	0,345768	483	0,375702
364	0,258398	594	0,287499	424	0,316995	454	0,346764	484	0,376702
365	0,259358	595	0,288476	425	0,317984	455	0,347760	485	0,377701
366	0,260321	596	0,289454	426	0,318970	456	0,348756	486	0,378701
367	0,261285	597	0,290432	427	0,319959	457	0,349752	487	0,379700
368	0,262249	598	0,291411	428	0,320949	458	0,350748	488	0,380700
369	0,263214	599	0,292390	429	0,321938	459	0,351745	489	0,381700
370	0,264179	400	0,293370	450	0,322928	460	0,352742	490	0,382700
371	0,265145	401	0,294350	451	0,323919	461	0,353739	491	0,383700
372	0,266111	402	0,295350	452	0,324909	462	0,354736	492	0,384699
373	0,267078	403	0,296341	453	0,325900	463	0,355735	493	0,385699
374	0,268046	404	0,297292	454	0,326891	464	0,356730	494	0,386699
375	0,269014	405	0,298274	455	0,327885	465	0,357728	495	0,387699
376	0,269982	406	0,299256	456	0,328874	466	0,358725	496	0,388699
377	0,270951	407	0,300258	457	0,329866	467	0,359725	497	0,389699
378	0,271921	408	0,301221	458	0,330858	468	0,360721	498	0,390699
379	0,272891	409	0,302204	459	0,331851	469	0,361719	499	0,391699
380	0,273861	410	0,303187	440	0,332845	470	0,362717	500	0,392699

Surfaces des segments de cercle dont la flèche et la corde sont connues

Cette table est fondée sur les mêmes principes que la précédente. On divisera d'abord la flèche par la corde en s'arrêtant aux millièmes, on cherchera ensuite dans la colonne intitulée hauteur $\frac{f}{c}$ la fraction correspondante à ce quotient, et on multipliera celle en regard dans la colonne intitulée surfaces par le carré de la corde; le résultat sera la surface du segment demandé.

HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
001	0,0007	004	0,0027	007	0,0047	010	0,0067	013	0,0087
002	0,0015	005	0,0035	008	0,0054	011	0,0075	014	0,0095
003	0,0020	006	0,0040	009	0,0060	012	0,0080	015	0,0100

SURFACES PLANES

123

HAU- TEUR	SURFACES.	HAU- TEUR	SURFACES.	HAU- TEUR	SURFACES.	HAU- TEUR	SURFACES.	HAU- TEUR	SURFACES.
$\frac{f}{C}$		$\frac{f}{C}$		$\frac{f}{C}$		$\frac{f}{C}$		$\frac{f}{C}$	
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
016	0,0107	072	0,0482	128	0,0865	184	0,1259	240	0,1671
017	0,0115	075	0,0489	129	0,0872	185	0,1267	241	0,1679
018	0,0120	074	0,0496	130	0,0879	186	0,1274	242	0,1687
019	0,0127	075	0,0502	131	0,0886	187	0,1281	243	0,1694
020	0,0135	076	0,0509	132	0,0892	188	0,1288	244	0,1702
021	0,0140	077	0,0516	133	0,0899	189	0,1295	245	0,1709
022	0,0147	078	0,0525	134	0,0906	190	0,1302	246	0,1717
023	0,0155	079	0,0529	135	0,0915	191	0,1310	247	0,1725
024	0,0160	080	0,0536	136	0,0920	192	0,1317	248	0,1732
025	0,0167	081	0,0545	137	0,0927	195	0,1324	249	0,1740
026	0,0175	082	0,0550	138	0,0934	194	0,1332	250	0,1747
027	0,0180	085	0,0557	139	0,0941	195	0,1339	251	0,1755
028	0,0187	084	0,0565	140	0,0948	196	0,1346	252	0,1763
029	0,0195	085	0,0570	141	0,0955	197	0,1353	253	0,1770
030	0,0200	086	0,0577	142	0,0962	198	0,1361	254	0,1778
031	0,0207	087	0,0584	145	0,0969	199	0,1368	255	0,1786
032	0,0214	088	0,0591	144	0,0976	200	0,1375	256	0,1795
033	0,0220	089	0,0597	145	0,0985	201	0,1382	257	0,1801
034	0,0227	090	0,0604	146	0,0990	202	0,1390	258	0,1809
035	0,0234	091	0,0611	147	0,0997	205	0,1397	259	0,1816
036	0,0240	092	0,0618	148	0,1004	204	0,1404	260	0,1824
037	0,0247	095	0,0625	149	0,1011	205	0,1412	261	0,1832
038	0,0254	094	0,0632	150	0,1018	206	0,1419	262	0,1839
039	0,0260	095	0,0638	151	0,1025	207	0,1426	265	0,1847
040	0,0267	096	0,0645	152	0,1032	208	0,1434	264	0,1855
041	0,0274	097	0,0652	155	0,1059	209	0,1441	265	0,1863
042	0,0280	098	0,0659	154	0,1046	210	0,1448	266	0,1870
043	0,0287	099	0,0666	155	0,1053	211	0,1456	267	0,1878
044	0,0294	100	0,0672	156	0,1060	212	0,1463	268	0,1886
045	0,0301	101	0,0679	157	0,1067	215	0,1470	269	0,1895
046	0,0307	102	0,0686	158	0,1074	214	0,1478	270	0,1901
047	0,0314	105	0,0695	159	0,1081	215	0,1485	271	0,1909
048	0,0321	104	0,0700	160	0,1088	216	0,1492	272	0,1917
049	0,0327	105	0,0707	161	0,1095	217	0,1500	275	0,1925
050	0,0334	106	0,0714	162	0,1102	218	0,1507	274	0,1935
051	0,0341	107	0,0720	165	0,1109	219	0,1515	275	0,1940
052	0,0347	108	0,0727	164	0,1117	220	0,1522	276	0,1948
053	0,0354	109	0,0734	165	0,1124	221	0,1529	277	0,1956
054	0,0361	110	0,0741	166	0,1131	222	0,1537	278	0,1964
055	0,0368	111	0,0748	167	0,1158	225	0,1544	279	0,1972
056	0,0374	112	0,0755	168	0,1145	224	0,1552	280	0,1980
057	0,0381	115	0,0761	169	0,1152	225	0,1559	281	0,1988
058	0,0388	114	0,0768	170	0,1159	226	0,1567	282	0,1996
059	0,0394	115	0,0775	171	0,1166	227	0,1574	285	0,2005
060	0,0401	116	0,0782	172	0,1173	228	0,1582	284	0,2011
061	0,0408	117	0,0789	175	0,1181	229	0,1589	285	0,2019
062	0,0415	118	0,0796	174	0,1188	230	0,1596	286	0,2027
063	0,0421	119	0,0803	175	0,1195	231	0,1604	287	0,2035
064	0,0428	120	0,0810	176	0,1202	232	0,1611	288	0,2043
065	0,0435	121	0,0816	177	0,1209	235	0,1619	289	0,2051
066	0,0442	122	0,0823	178	0,1216	234	0,1626	290	0,2058
067	0,0448	125	0,0830	179	0,1223	233	0,1634	291	0,2066
068	0,0455	124	0,0837	180	0,1231	236	0,1641	292	0,2074
069	0,0462	125	0,0844	181	0,1258	237	0,1649	295	0,2082
070	0,0469	126	0,0851	182	0,1245	238	0,1656	294	0,2090
071	0,0475	127	0,0858	183	0,1252	239	0,1664	293	0,2098

HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.	HAU- TEUR $\frac{f}{C}$	SURFACES.
millim.		millim.		millim.		millim.		millim.	
296	0,2106	357	0,2439	378	0,2788	419	0,3133	460	0,3556
297	0,2115	358	0,2448	379	0,2797	420	0,3162	461	0,3546
298	0,2121	359	0,2456	380	0,2806	421	0,3172	462	0,3555
299	0,2129	340	0,2464	381	0,2814	422	0,3181	463	0,3565
300	0,2137	341	0,2475	382	0,2825	423	0,3190	464	0,3574
301	0,2143	342	0,2481	383	0,2832	424	0,3199	465	0,3584
302	0,2155	343	0,2489	384	0,2841	425	0,3208	466	0,3594
303	0,2161	344	0,2498	385	0,2849	426	0,3218	467	0,3605
304	0,2169	345	0,2506	386	0,2858	427	0,3227	468	0,3615
305	0,2177	346	0,2515	387	0,2867	428	0,3236	469	0,3622
306	0,2185	347	0,2525	388	0,2876	429	0,3245	470	0,3632
307	0,2195	348	0,2531	389	0,2885	430	0,3254	471	0,3642
308	0,2201	349	0,2540	390	0,2895	431	0,3264	472	0,3652
309	0,2210	350	0,2548	391	0,2902	432	0,3275	473	0,3661
310	0,2218	351	0,2557	392	0,2911	433	0,3282	474	0,3671
311	0,2226	352	0,2565	393	0,2920	434	0,3291	475	0,3681
312	0,2234	353	0,2574	394	0,2929	435	0,3301	476	0,3690
313	0,2242	354	0,2582	395	0,2938	436	0,3310	477	0,3700
314	0,2250	355	0,2591	396	0,2947	437	0,3319	478	0,3710
315	0,2258	356	0,2599	397	0,2955	438	0,3329	479	0,3720
316	0,2266	357	0,2607	398	0,2964	439	0,3338	480	0,3729
317	0,2275	358	0,2616	399	0,2975	440	0,3347	481	0,3739
318	0,2283	359	0,2625	400	0,2982	441	0,3357	482	0,3749
319	0,2291	360	0,2635	401	0,2991	442	0,3366	483	0,3759
320	0,2299	361	0,2644	402	0,3000	443	0,3375	484	0,3769
321	0,2307	362	0,2650	403	0,3009	444	0,3385	485	0,3778
322	0,2315	363	0,2659	404	0,3018	445	0,3394	486	0,3788
323	0,2323	364	0,2667	405	0,3027	446	0,3405	487	0,3798
324	0,2332	365	0,2676	406	0,3036	447	0,3413	488	0,3808
325	0,2340	366	0,2684	407	0,3045	448	0,3422	489	0,3818
326	0,2348	367	0,2695	408	0,3054	449	0,3432	490	0,3828
327	0,2356	368	0,2702	409	0,3065	450	0,3441	491	0,3838
328	0,2365	369	0,2710	410	0,3072	451	0,3451	492	0,3847
329	0,2373	370	0,2719	411	0,3081	452	0,3460	493	0,3857
330	0,2381	371	0,2727	412	0,3090	453	0,3470	494	0,3867
331	0,2389	372	0,2736	413	0,3099	454	0,3479	495	0,3877
332	0,2398	373	0,2745	414	0,3108	455	0,3489	496	0,3887
333	0,2406	374	0,2754	415	0,3117	456	0,3498	497	0,3897
334	0,2414	375	0,2762	416	0,3126	457	0,3508	498	0,3907
335	0,2423	376	0,2771	417	0,3135	458	0,3517	499	0,3917
336	0,2431	377	0,2780	418	0,3144	459	0,3527	500	0,3927

Table des longueurs des arcs et des surfaces des segments, la flèche étant prise pour unité.

Pour se servir de cette table, on divise la corde par la flèche, on cherche ensuite dans la colonne *cordes* le nombre qui approche le plus du résultat, et en regard on a le coefficient *arcs* qui, multiplié par la flèche, donne le développement de l'arc, et celui *surfaces segments* qui, multiplié par le carré de la flèche, donne la surface du segment donné.

CORDES. $\frac{C}{r}$	ARCS.	SURFACES SEGMENTS.	CORDES. $\frac{C}{r}$	ARCS.	SURFACES SEGMENTS.	CORDES. $\frac{C}{r}$	ARCS.	SURFACES SEGMENTS.
2.00	3.1416	1.5708	4.80	5.357	3.5083	8.50	8.810	5.7289
2.01	3.146	1.5764	4.90	5.427	3.5750	8.60	8.903	5.7947
2.02	3.152	1.5821	5.00	5.517	3.6577	8.70	9.003	5.8606
2.03	3.158	1.5879	5.10	5.608	3.7504	8.80	9.100	5.9266
2.04	3.164	1.5956	5.20	5.698	3.8672	8.90	9.196	5.9927
2.05	3.170	1.5993	5.30	5.789	3.9320	9.00	9.293	6.0587
2.06	3.176	1.6051	5.40	5.881	3.9969	9.10	9.390	6.1248
2.07	3.182	1.6108	5.50	5.973	4.0618	9.20	9.487	6.1909
2.08	3.187	1.6166	5.60	6.065	4.1269	9.30	9.584	6.2570
2.09	3.193	1.6224	5.70	6.157	4.1919	9.40	9.681	6.3230
2.10	3.199	1.6282	5.80	6.249	4.2571	9.50	9.778	6.3890
2.20	3.261	1.6865	5.90	6.342	4.3222	9.60	9.875	6.4551
2.30	3.324	1.7449	6.00	6.435	4.3874	9.70	9.972	6.5212
2.40	3.390	1.8041	6.10	6.528	4.4527	9.80	10.069	6.5873
2.50	3.458	1.8637	6.20	6.621	4.5182	9.90	10.167	6.6535
2.60	3.527	1.9238	6.30	6.715	4.5835	10.00	10.264	6.7194
2.70	3.599	1.9843	6.40	6.809	4.6489	10.10	10.362	6.7854
2.80	3.672	2.0452	6.50	6.905	4.7142	10.20	10.459	6.8515
2.90	3.746	2.1064	6.60	6.997	4.7797	10.30	10.557	6.9176
3.00	3.822	2.1679	6.70	7.091	4.8452	10.40	10.654	6.9837
3.10	3.899	2.2297	6.80	7.185	4.9107	10.50	10.752	7.0498
3.20	3.977	2.2917	6.90	7.280	4.9765	10.60	10.849	7.1160
3.30	4.056	2.3540	7.00	7.375	5.0424	10.70	10.947	7.1822
3.40	4.137	2.4163	7.10	7.470	5.1087	10.80	11.045	7.2484
3.50	4.218	2.4793	7.20	7.565	5.1752	10.90	11.143	7.3146
3.60	4.300	2.5422	7.30	7.660	5.2419	11.00	11.240	7.3809
3.70	4.383	2.6053	7.40	7.755	5.3087	11.10	11.338	7.4471
3.80	4.467	2.6686	7.50	7.850	5.3758	11.20	11.436	7.5133
3.90	4.551	2.7320	7.60	7.946	5.4430	11.30	11.534	7.5795
4.00	4.636	2.7956	7.70	8.042	5.5104	11.40	11.632	7.6457
4.10	4.722	2.8595	7.80	8.137	5.5779	11.50	11.730	7.7119
4.20	4.808	2.9235	7.90	8.235	5.6456	11.60	11.828	7.7781
4.30	4.895	2.9871	8.00	8.329	5.7134	11.70	11.926	7.8443
4.40	4.985	3.0512	8.10	8.425	5.7813	11.80	12.024	7.9117
4.50	5.071	3.1154	8.20	8.521	5.8494	11.90	12.122	7.9790
4.60	5.159	3.1796	8.30	8.617	5.9174	12.00	12.220	8.0453
4.70	5.248	3.2440	8.40	8.714	5.9856			

Cercle Inscrit

S = surface Carré; S' = surface Cercle



$$S = (2r)^2 = \left(\frac{D}{\sqrt{2}}\right)^2 = C^2 = 4r^2 = \frac{1}{2} D^2$$

$$S' = \pi r^2 = C^2 \frac{\pi}{4} = D^2 \frac{\pi}{8} = r^2 \times 3,14159 = C^2 \times 0,78539816 \\ = D^2 \times 0,39269,908$$

$$\text{Donc } S : S' :: 4 : 3,14159 :: 100 : 78,53982$$

$$C = 2r = D \times 0,70711 = \sqrt{S} = \sqrt{S'} \times 1,4283792$$

$$D = r \times 2,82842 = C \times 1,41421 = \sqrt{2S} = \sqrt{S'} \times 1,5937789$$

$$r = 0,5 \times C = D \times 0,35355354 = \sqrt{S} \times 0,50 = \sqrt{S'} \times 0,5644896$$

Cercle circonscrit

S = surface Carré; S' = surface Cercle



$$S = (r\sqrt{2})^2 = \left(\frac{D}{\sqrt{2}}\right)^2 = C^2 = 2r^2 = D^2 \times 0,50$$

$$S' = \pi r^2 = C^2 \frac{\pi}{2} = D^2 \frac{\pi}{4} = r^2 \times 3,14159 = C^2 \times 1,570796 \\ = D^2 \times 0,785398$$

$$\text{Donc } S : S' :: 2 : 3,14159 :: 100 : 157,07965$$

$$C = r\sqrt{2} = r \times 1,41421 = D \times 0,70711 = \sqrt{S} = \sqrt{S'} \times 0,7978846$$

$$D = 2r = C \times 1,41421 = \sqrt{2S} = \sqrt{S'} \times 1,1283792$$

$$r = C \times 0,70711 = D \times 0,50 = \sqrt{S} \times 0,70711 = \sqrt{S'} \times 0,5641896$$

Cercles concentriques

$$S = \text{surface Couronne} = \pi (R^2 - r^2) = \pi l^2 = \pi (R + r) (R - r) \\ = 0,7854 (D + d) (D - d)$$



$$R = \sqrt{r^2 + \frac{S}{\pi}} = \sqrt{r^2 + (S \times 0,51831)} = \sqrt{l^2 + r^2}$$

$$r = \sqrt{R^2 - \frac{S}{\pi}} = \sqrt{R^2 - (S \times 0,51831)} = \sqrt{R^2 - l^2}$$

$$l = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{S} \times 0,56419 = \sqrt{R^2 - r^2}$$

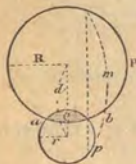
Cercles non concentriques

d = distance des deux centres. 1^o Soit $d < R - r$ on aura :

$$S = \pi (R^2 - r^2) = \pi (R + r) (R - r)$$

2^o Soit $d > R - r$; P développement de l'arc R , p développement de l'arc r

$$C = 2 \sqrt{R^2 - \left(\frac{r^2 - R^2 - d^2}{2d}\right)^2} = \text{corde } ab$$



$$S = \frac{PR + pr}{2} - C \left(\sqrt{\frac{4R^2 - C^2 + \sqrt{4r^2 - C^2}}{4}} \right)$$

Si on mène par les points d'intersection a ou b la ligne m parallèle à d on aura :

$$m = 2d$$

Ellipse

S = la superficie d'un cercle dont le rayon r serait moyen proportionnel entre les deux demi-axes, or $r = \sqrt{ab}$, donc $S = \pi ab$

On a aussi, mais approximativement :

$$10\ 000 ; 7\ 854 :: 4(ab) : S$$

D'où : $S = ab \times 3,1416 = \pi ab$

$$a = \frac{S}{\pi b} = \frac{S}{b} \times 0,31851$$

$$b = \frac{S}{\pi a} = \frac{S}{a} \times 0,31851$$



Segment d'ellipse

On décrit un cercle sur le grand axe $2a$ de l'ellipse; on évalue la surface S du segment de cercle correspondant à celui de l'ellipse et on a :

$$S : S' :: b : a$$

D'où : $S = \frac{S'b}{a}$

Parabole

Pour un segment :

$$S = \frac{2}{3} xy$$

Et pour les deux segments

$$S' = \frac{4}{3} xy$$

$$y = \frac{3S}{2x} = \frac{S}{x} \times 1,5 = \frac{S'}{x} \times 0,75$$

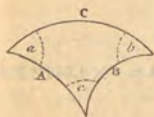
$$x = \frac{3S}{2y} = \frac{S}{y} \times 1,5 = \frac{S'}{y} \times 0,75$$



Triangle sphérique

r = rayon de la sphère

$$S = r(A + B + C - \pi r)$$



Figures irrégulières

$$S = b \left(h + h' + h'' + h''' + h^v + h^v + h^v + h^{v1} \right)$$

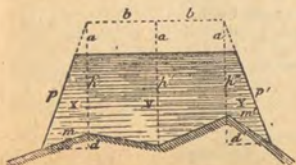
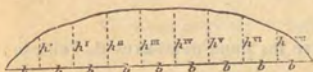
$$\text{Surf. X} = h \frac{ap + [(a + h)p]}{2} + \frac{md}{2}$$

$$= h \frac{(2a + h)p}{2} + \frac{md}{2}$$

$$\text{Surf. V} = b \left(\frac{h}{2} + h' + \frac{h''}{2} \right)$$

$$\text{Surf. Y} = h'' \left[\frac{(2a + h'')p}{2} \right] + \frac{m'd}{2}$$

p et p' pente par mètre



PROBLÈMES DIVERS SUR LES SURFACES

Faire un carré équivalent :

1° A un cercle :

$$C = r\sqrt{\pi} = d\sqrt{\frac{\pi}{4}} = \frac{1}{2} \text{ circ.} \sqrt{\frac{1}{\pi}} = r \times 1,77245 \ 38 = d \times 0,88622 \ 69 = \\ = \text{circ.} \times 0,28209 \ 479$$

2° A un triangle équilatéral :

$$C = B\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{4}} = h\sqrt{\frac{1}{\sqrt{3}}} = B \times 0,638057 \ 01 = h \times 0,75983 \ 57$$

3° A un triangle quelconque :

$$C = \sqrt{\frac{bh}{2}} = \sqrt{bh} \times 0,70710 \ 68$$

Faire un triangle équilatéral B h, équivalent :

1° A un triangle quelconque bh' :

$$B = \sqrt{\frac{2bh'}{\sqrt{3}}} = \sqrt{bh'} \times 1,07456 \ 99$$

$$h = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2} bh'} = \sqrt{bh'} \times 0,93060 \ 49$$

2° A un cercle :

$$B = r\sqrt{\frac{4\pi}{\sqrt{3}}} = d\sqrt{\frac{\pi}{\sqrt{3}}} = \text{circ.} \sqrt{\frac{1}{\pi\sqrt{3}}} = r \times 2,69334 \ 74 = d \times 1,34677 \ 568 \\ = \text{circ.} \times 0,42869 \ 14$$

Faire un cercle équivalent :

1° A une ellipse :

Chercher une moyenne proportionnelle entre les deux demi-axes de l'ellipse a et b, on aura :

$$a : r :: r : b \quad \text{D'où : } r = \sqrt{ab}$$

2° A un carré :

$$r = C\sqrt{\frac{1}{\pi}} = C \times 0,56418 \ 9583$$

$$d = 2C\sqrt{\frac{1}{\pi}} = C \times 1,12837 \ 92$$

$$\text{Circ.} = 2C\sqrt{\pi} = C \times 3,54490 \ 77$$

3° A un triangle quelconque bh :

$$r = \sqrt{\frac{1}{2\pi} bh} = \sqrt{bh} \times 0,39894\ 2279$$

$$d = \sqrt{\frac{2}{\pi} bh} = \sqrt{bh} \times 0,79788\ 456$$

$$\text{Circ.} = \sqrt{2\pi bh} = \sqrt{bh} \times 2,50662\ 205$$

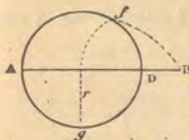
Constructions graphiques



1° Soit AD diamètre donné, mener le rayon OF perpendiculaire sur AD. Du point D décrire l'arc Fm et du point A l'arc mB. La droite BF sera le côté C du carré équivalent à un cercle.



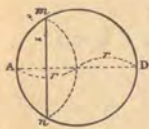
2° Faire sur un cercle de rayon arbitraire, la construction ci-dessus. Porter sur la ligne BF ou son prolongement le côté du carré, et déterminer le centre du cercle équivalent passant en F et g.



3° Mener le diamètre AD et le rayon r perpendiculaires.

Du point D, avec un rayon $= r$, couper la circonférence en f .

Du point g , décrire l'arc fB . La ligne AB sera le côté du triangle équilatéral équivalent au cercle.



4° Mener le diamètre AD du cercle donné. Du point A, avec un rayon $= r$, couper la circonférence en m et n . Mener la corde mn qui sera le petit axe de l'ellipse. On cherchera ensuite une troisième proportionnelle à $2r$ et à mn ; elle est donnée par la proportion :

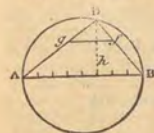
$$4 : 3 :: r : mn$$

Cette troisième proportionnelle sera le grand axe de l'ellipse équivalente au cercle.

On suppose ici que les axes de l'ellipse sont dans le rapport de 4 à 3.

Faire un carré ou un cercle qui soit une fraction d'un autre

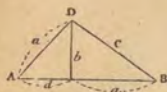
Soit à construire un carré ou un cercle x qui soit les $\frac{3}{5}$ du carré ou du cercle V . Je divise le diamètre AB en huit parties égales, somme du numérateur et du dénominateur. A la cinquième division, j'éleve la perpendiculaire h et mène les cordes DA, DB; je porte le côté du carré ou le diamètre de V de D en A et mène fg parallèle à AB. On aura :



$$Df : Dg :: 5 : 3$$

Donc Df sera le côté du carré ou le diamètre du cercle demandé.

Faire un carré ou un cercle équivalent : 1° à la somme ; 2° à la différence de deux ou de plusieurs autres



1° Soient a et b les côtés des carrés ou les diamètres des cercles que je mets à angle droit. La diagonale C sera le côté du carré ou le diamètre du cercle égal à la somme.

2° Formez de même un angle droit, portez b sur la perpendiculaire et a de D en A . La ligne d sera le côté du carré ou le diamètre du cercle égal à la différence.

Soit à faire un carré ou un cercle égal à la somme de trois carrés a , b , c , et à la différence d'un autre carré g



Je mets a et b à angle droit et j'ai : $d^2 = a^2 + b^2$. A l'extrémité de d j'éleve une perpendiculaire que je fais $= c$, et j'ai : $f^2 = d^2 + c^2 = a^2 + b^2 + c^2$; sur le milieu de f je décris une demi-circonférence et mène à l'extrémité de f une corde $= g$; par la construction on a :

$$h^2 = a^2 + b^2 + c^2 - g^2$$

Ainsi le côté h serait le côté du carré ou le diamètre du cercle demandé.

Partager un triangle en deux ou plusieurs parties équivalentes par des parallèles à l'une des bases

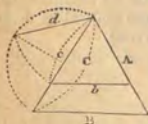
Si, sur le côté C , on décrit une circonférence, la corde d rabattue sur le diamètre C sera le côté c du triangle $= \frac{1}{2} ABC$.

Pour deux parties on aura :

$$2 : 1 :: H^2 : h^2 :: B^2 : b^2, \text{ etc.}$$

D'où :

$$h = H \sqrt{\frac{1}{2}} = H \times 0.7071; \quad b = B \times 0.7071$$



Et pour n parties :

$$n : 1 :: H^2 : h^2 :: B^2 : b^2, \text{ etc.}$$

D'où :

$$h = H \sqrt{\frac{1}{n}}; \quad b = B \sqrt{\frac{1}{n}}$$

Ainsi, soit à partager le triangle ABC dont H est la hauteur en quatre parties égales, ou aura successivement :

$$4 : 1 :: H^2 : h^2 :: B^2 : b^2; \quad h = H \sqrt{\frac{1}{4}} = H \times 0.50$$

$$4 : 2 :: H^2 : h'^2 :: B^2 : b'^2; \quad h' = H \sqrt{\frac{1}{2}} = H \times 0.7071$$

$$4 : 3 :: H^2 : h''^2 :: B^2 : b''^2; \quad h'' = H \sqrt{\frac{1}{3}} = H \times 0.5773$$

On mènerait ensuite des parallèles à B par chacun de ces points pris en partant du sommet.

On trouverait de même que, pour partager un triangle en six parties égales, il faut successivement multiplier H par $\sqrt{\frac{1}{6}}$, $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{2}}$, $\sqrt{\frac{2}{3}}$, $\sqrt{\frac{3}{6}}$, c'est-à-dire par 0,408248, 0,57735, 0,707107, 0,816496, 0,912871.

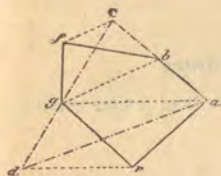
Partager un trapèze en parties équivalentes à des nombres donnés m et n par une parallèle b' aux bases B et b.

- Soit m, surface comprise entre b et b';
 n, surface comprise entre B et b';
 S, surface du trapèze;
 h, hauteur perpendiculaire entre B et b'.

On aura :

$$b' = \sqrt{\frac{B^2m + b^2n}{S}} \quad h = \frac{2n}{B + b'}; \quad h' = \frac{2m}{b + b'}$$

Transformer un polygone en un triangle équivalent



Mener la diagonale *bc* et sa parallèle *fc*, prolonger *ab*, mener la diagonale *gc*. Le triangle *bfg* est équivalent à *bcg*. Mener de même *ag* et sa parallèle *rd*, ainsi que la diagonale *ad*. Le triangle *agr* est équivalent à *agd*, donc *acd* est équivalent à *abfgr*.

Construire un triangle égal à sept fois la surface d'un triangle donné

Je fais $ad = 2ab$; $bf = 2bc$; $cg = 2ca$

On a :

Triangle $bdf = 2$ triangles *abc*, etc.

Donc :

$$gfd = 7abc$$

Construire un rectangle égal à huit fois la surface d'un triangle donné



Faire $B = 2b$, $H = 2h$

On aura :

$$S = BH = 2b \times 2h = 4bh = 8 \text{ triangles } bh$$

Surfaces maxima

De tous les rectangles de même périmètre, le carré est celui dont la surface est maximum.

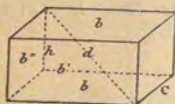
De tous les triangles rectangles dont la somme des deux côtés de l'angle droit est constante, celui qui est isocèle a une surface maximum.

De tous les triangles de même base et de même périmètre, le triangle isocèle est celui dont la surface est maximum.

De tous les triangles de même périmètre, le triangle équilatéral est celui dont la surface est maximum.

SURFACES ET VOLUMES DES SOLIDES

Parallélépipède



b = surface base; h = hauteur; S = surface latérale;
 V = volume

$$S = 2b + 2b' + 2b''$$

$$V = bh; \quad b = \frac{V}{h}; \quad h = \frac{V}{b}$$

Si le parallélépipède est un cube, les trois côtés sont égaux, et l'on a

$$d^2 = 3C^2$$

d'où

$$\frac{d}{C} = \sqrt{3} \quad \text{et} \quad d = C\sqrt{3}$$

Cube double ou triple d'un autre

On obtiendrait le côté B d'un cube double d'un autre dont le côté serait b en faisant :

$$B = b\sqrt[3]{2} = b \times 1,25921$$

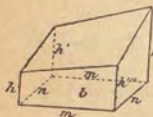
Et pour le côté d'un cube triple :

$$B = b\sqrt[3]{3} = b \times 1,44225$$

Trones de parallélépipèdes

$$S = 2mn + m \left(\frac{h + h'''}{2} \right) + n \left(\frac{h + h'}{2} \right) + m \left(\frac{h' + h''}{2} \right) + n \left(\frac{h'' + h'''}{2} \right)$$

$$V = b \frac{h + h' + h'' + h'''}{4}; \quad b = \frac{4V}{h + h' + h'' + h'''};$$



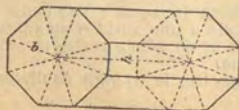
$$h = \frac{4V}{b} - (h' + h'' + h''')$$

Dans tout parallélépipède rectangle, le carré d'une diagonale égale la somme des carrés des trois arêtes qui aboutissent au même sommet.

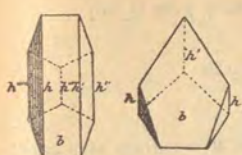
Prismes droits ou obliques

$$S = \text{périmètre base} \times h$$

$$V = bh; \quad b = \frac{V}{h}; \quad h = \frac{V}{b}$$



Trones de prismes à base de polygone impair régulier



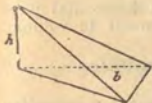
$$V = b \frac{h + h' + h'' + h''' + h^{IV}}{5};$$

$$b = \frac{5V}{h + h' + h'' + h''' + h^{IV}};$$

$$h = \frac{5V}{b} - (h' + h'' + h''' + h^{IV})$$

$$V = b \frac{h + h' + h''}{3}; \quad b = \frac{3V}{h + h' + h''}; \quad h = \frac{3V}{b} - (h' + h'')$$

Trones de prismes triangulaires



$$V = b \frac{h}{3}; \quad b = \frac{3V}{h}; \quad h = \frac{3V}{b}$$

$$V = b \frac{h + h'}{3}; \quad b = \frac{3V}{h + h'};$$

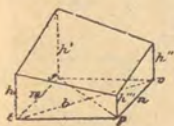
$$h = \frac{3V}{b} - h'; \quad h' = \frac{3V}{b} - h$$



$$V = b \frac{h + h' + h''}{3}; \quad b = \frac{3V}{h + h' + h''}; \quad h = \frac{3V}{b} - (h' + h'')$$

$$h' = \frac{3V}{b} - (h + h''); \quad h'' = \frac{3V}{b} - (h + h')$$

Trones de prismes à base de parallélogramme



$$V = \frac{b}{2} \frac{2h + h' + 2h'' + h'''}{3}; \quad b = \frac{6V}{2h + h' + 2h'' + h'''}$$

$$h = \frac{3V}{b} - \left(\frac{h' + 2h'' + h'''}{2} \right);$$

$$h' = \frac{6V}{b} - (2h + 2h'' + h''')$$

Trones de prismes quelconques

Les réduire en trones de prismes triangulaires et opérer comme ci-dessus.

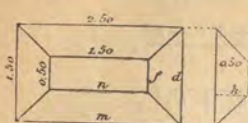
Si on désigne les surfaces des triangles de la base pvt , mp par b , mv par b' , vt par b'' , nt par b''' , on aura :

$$V = \frac{b(h + h' + h'') + b'(h + h' + h''') + b''(h + h' + h'') + b'''(h' + h'' + h''')}{6}$$

Lorsque pvt est un trapèze et que m est parallèle à nt , on a :

$$V = \frac{b(2h + 2h' + h'' + h''') + b'(h + h' + 2h'' + 2h''')}{6}$$

Solide adopté pour l'embranchement des pierres et capacité d'un tombeau



$$V = \frac{1}{6} h [d (2m + n) + l (2n + m)]$$

$$= 1^m 3, 0295$$

Si l était nulle on aurait :

$$V = \frac{1}{6} h d (2m + n)$$

La formule du tron de pyramide donne, en faisant B = surface plus grande base, b = surface plus petite base :

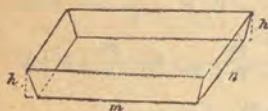
$$V = \frac{h}{3} (B + b + \sqrt{Bb}) = 1^m 3, 0295$$

Comme méthode expéditive, prendre le pourtour moyen au tiers de la hauteur, on obtient comme dessus $1^m 3, 03$,

La moyenne des lignes des bases $\left(\frac{m+n}{2}\right) \left(\frac{l+d}{2}\right)$ donne un résultat trop petit, et la moyenne des surfaces, un résultat trop fort.

Le pourtour à prendre est celui qui correspondrait au plan horizontal passant par le centre de gravité de la figure, il donnerait exactement le volume.

Fouille faite en talus entre quatre côtés parallèles



P = périmètre base supérieure; p périmètre base inférieure.

$$V = (mn + \left[p + \frac{1}{3}(P - p)\right] \frac{5}{2} h$$

Calculer la surface de la plus petite base, prendre le périmètre au tiers de la hauteur en partant du fond, multiplier ce pourtour réduit par la moitié de la saillie et la somme des deux produits par la profondeur de la fouille.

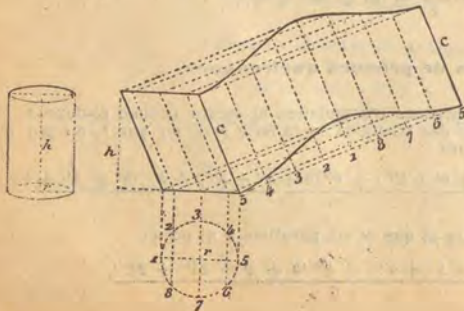
Solide en forme de toiture



$$V = \frac{1}{6} (2m + n) Ch; \quad m = \frac{3V}{Ch} - \frac{n}{2}; \quad n = \frac{6V}{Ch} - 2m$$

$$C = \frac{6V}{h(2m + n)}; \quad h = \frac{6V}{C(2m + n)}$$

Cylindres droits et obliques



$$S = 2\pi r C = r C \times 6, 28318$$

$$r = \frac{S}{C} \times 0, 15915 49;$$

$$C = \frac{S}{r} \times 0, 15915 49;$$

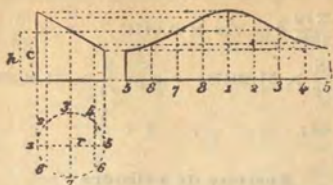
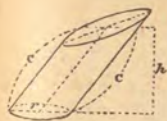
$$V = \pi r^2 h$$

$$= r^2 h \times 5, 14159;$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 0, 56418 96$$

$$h = \frac{V}{r^2} \times 0, 31851$$

Trones de cylindres droits et obliques

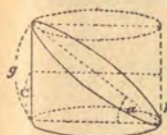


$$1^{\circ} S = 2\pi rC = rC \times 6,28348;$$

$$r = \frac{S}{C} \times 0,1591549;$$

$$C = \frac{S}{r} \times 0,1591549.$$

$$V = \pi r^2 h = r^2 h \times 3,14159;$$



$$r = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 0,5641896; \quad h = \frac{V}{r^2} \times 0,51831$$

$$2^{\circ} g = 2r \operatorname{tang.} a, \quad r = \frac{g}{2 \operatorname{tang.} a}; \quad \operatorname{tang.} a = \frac{g}{2r};$$

$$S = 2\pi r h = 2\pi r^2 \operatorname{tang.} a = \pi r g = r g \times 3,14159;$$

$$r = \frac{S}{h} \times 0,1591549; \quad h = \frac{S}{r} \times 0,1591549;$$

$$V = \pi r^2 h = r^2 h \times 3,14159; \quad r = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 0,5641896; \quad h = \frac{V}{r^2} \times 0,51831$$

Onglet N° 1

(Section passant par le centre O)



$$S = 2rh; \quad r = \frac{S}{2h}; \quad h = \frac{S}{2r};$$

$$V = \frac{2r^2 h}{3}; \quad r = \sqrt{\frac{V}{h} \times 1,5} = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 1,2247;$$

$$h = \frac{V}{r^2} \times 1,5$$

Onglet N° 2

(Section passant entre le centre O et B)



p = périmètre anv ; p' = périmètre ydf ; s' surface s' surface p' .

$$S = 2rh + \left(\frac{p + p'}{2} h' \right)$$

$$V = \frac{2r^2 h}{3} + \left(\frac{s' + s''}{2} h' \right)$$

Complément à l'onglet n° 1

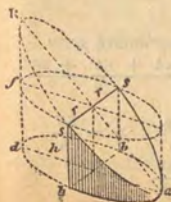
$$S = (\pi - 2) rh = rh \times 1,4159$$

$$V = \frac{5\pi - 4}{6} r^2 h = r^2 h \times 0,90415$$

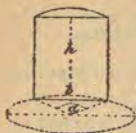
On a aussi :

$$14 : 19 :: \text{vol. onglet n° 1} : \text{vol. complément } abs,$$

$$47 : 19 :: \text{vol. } bdk_s : \text{vol. } abs.$$



Segment de cylindre

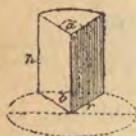


$$S = \frac{\pi ra}{180^\circ} h = rha \times 0,01745; \quad r = \frac{S}{ah} \times 57,29578;$$

$$h = \frac{S}{ra} \times 57,29578; \quad a = \frac{S}{rh} \times 57,29578;$$

$$V = bh; \quad b = \frac{V}{h}; \quad h = \frac{V}{b}$$

Secteur de cylindre

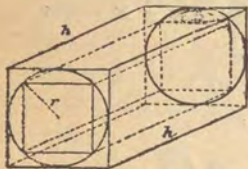


$$S = rha \times 0,01745; \quad r = \frac{S}{ah} \times 57,29578; \quad h = \frac{S}{ra} \times 57,29578;$$

$$a = \frac{S}{rh} \times 57,29578;$$

$$V = bh; \quad b = \frac{V}{h}; \quad h = \frac{V}{b}$$

Parallépipèdes inscrits et parallépipèdes circonscrits au cylindre



$$\begin{aligned} \text{Vol. parall. circ.} &= 4r^2h = 4 &= 2 \\ \text{Vol. cylindre} &= \pi r^2h = 3,14159 = 1,57079 \\ \text{Vol. parall. inscrit} &= 2r^2h = 2 &= 1 \end{aligned}$$

Donc 100 mètres cubes de bois en grume donneront 65^m3,66498 de bois équarri, et 100 mètres cubes de bois équarri seront donnés par 157^m3,07965 de bois en grume et donneront 78^m3,53982 de bois cylindrique.

Mur circulaire en talus

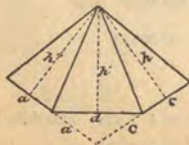


section suivant AB Fig. a. Vol. = $\frac{11 + 15}{2} \times 10 \times 2 = 260$

Fig. b. Vol. = $\frac{15 + 15 + 17}{3} \times 5 \times 4 = 78,53$

$$\text{Vol. total} = \frac{hl(m+n)}{2} + \frac{(L-l)h}{3}(2n+p)$$

Pyramides

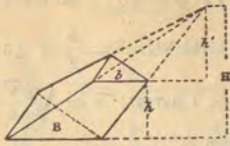
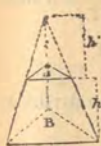


$$S = \text{périmètre base} \times \frac{h}{2} = \frac{ch + dh' + ah''}{2}$$

$$V = \frac{bh}{3}; \quad b = \frac{3V}{h}$$

$$h = \frac{3V}{b}$$

Troncs de pyramide compris entre plans parallèles



$$V = \frac{BH - bh'}{3} = \frac{h}{3} (B + b + \sqrt{Bb});$$

$$h = \frac{3V}{(B + b + \sqrt{Bb})}$$

$$B = \frac{3V + bh'}{H}; \quad H = \frac{3V + bh'}{B}$$

$$b = \frac{BH - 3V}{h'}; \quad h' = \frac{BH - 3V}{b}$$

Pyramide à base de pentagone régulier

Soit $ms = d$, $ma = f$, $sa = h$, $mc = n$, on aura :

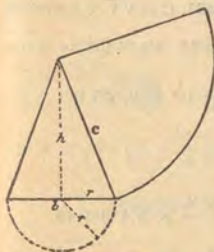
$$d = \sqrt{h^2 + f^2}; \quad n = f \times 1,17557, \quad h = \sqrt{d^2 - f^2};$$

$$f = \sqrt{d^2 - h^2} = n \times 0,830631;$$

$$V = \frac{bh}{3}; \quad b = \frac{3V}{h}; \quad h = \frac{3V}{b}$$



Cône droit



$$C = \sqrt{h^2 + r^2} = \frac{s}{r} \times 0,31851; \quad h = \sqrt{C^2 - r^2}$$

$$S = \pi r C = \pi r \sqrt{h^2 + r^2}, \quad r = \sqrt{C^2 - h^2} = \frac{S}{C} \times 0,31851$$

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} = r^2 h \times 1,047197; \quad r = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 0,97720502$$

$$h = \frac{V}{r^2} \times 0,9549297$$

Troncs de cône droit compris par des plans parallèles



$$C = \sqrt{h^2 + (R - r)^2} = \sqrt{h^2 + R^2 + r^2 - 2Rr}$$

$$S = C \frac{2\pi R + 2\pi r}{2} = C\pi (R + r) = 2\pi r' C$$

$$= \pi (R + r) \sqrt{h^2 + R^2 + r^2 - 2Rr}$$

$$V = \frac{BH - bh'}{3} = \frac{h}{3} (B + b + \sqrt{Bb}) = \frac{\pi r'^2 H - \pi r^2 h}{3}$$

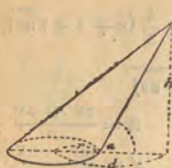
$$= \frac{1}{3} \pi R^2 h + \frac{1}{3} \pi r^2 h + \frac{1}{3} h \sqrt{\pi^2 R^2 r^2} = \frac{\pi h (R^2 + r^2 + Rr)}{3}$$

$$= h (R^2 + r^2 + Rr) \times 1,047197$$

Si on prend le pourtour moyen au tiers de h le volume deviendra :

$$V = b'h = \pi r'^2 h = r'^2 h \times 3,14159$$

Cône oblique



$$g = \text{génératrice} = \sqrt{h^2 + d^2 + r^2 - 2dr \cos. a} = \frac{S}{r} \times 0,51851$$

$$S = \pi r g = r g \times 3,14159, \quad r = \frac{S}{g} \times 0,51851$$

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} = r^2 h \times 1,047197; \quad r = \sqrt{\frac{V}{h}} \times 0,97720502;$$

$$h = \frac{V}{r^2} \times 0,9549296$$

Sphère

C = la circonférence d'un grand cercle;

$$S = 4\pi r^2 = \pi D^2 = \frac{C^2}{\pi} = r^2 \times 12,56637 = D^2 \times 3,14159 = C^2 \times 0,31831$$

$$r = \sqrt{S} \times 0,28209479; \quad D = \sqrt{S} \times 0,56418958; \quad C = \sqrt{S} \times 1,77245585;$$



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi D^3}{6} = \frac{CD^2}{6} = \frac{C^3}{6\pi^2} = r^3 \times 4,188790205$$

$$= D^3 \times 0,523598776 = C^3 \times 0,046886853$$

$$r = \sqrt[3]{V} \times 0,6203776; \quad D = \sqrt[3]{V} \times 1,2407552; \quad C = \sqrt[3]{V} \times 3,8979453.$$

Si on pouvait se contenter d'une approximation exacte au millième près, on ferait:

$$S = D \left(3D + \frac{1}{7} D \right) = 3,14285 D^2; \quad V = \frac{1}{1,91} D^3 = 0,523 D^3$$

Secteur sphérique

$$S = 2\pi r f = r f \times 6,283185; \quad f = \frac{S}{r} \times 0,1591349; \quad r = \frac{S}{f} \times 0,1591349;$$



$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 f = r^2 f \times 2,094395; \quad f = \frac{V}{r^2} \times 0,4774618;$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{f}} \times 0,6909885$$

Segment sphérique

$$S = 2\pi r f = r f \times 6,283185; \quad r = \frac{S}{f} \times 0,1591349; \quad f = \frac{S}{r} \times 0,1591349;$$

$$v = \pi f^2 \left(r - \frac{f}{3} \right) = \text{vol. secteur} - \text{vol. cône} = f^2 (5r - f) 1,047197;$$



$$r = \frac{f}{5} + \left(\frac{v}{f^2} \times 0,51851 \right)$$

Si on appelle r' le rayon de la base du segment, on aura :

$$v = \pi \left(\frac{f}{2} r'^2 + \frac{f^3}{6} \right)$$

Et si le segment avait deux bases de rayon r' r'' et de hauteur h , on aurait :

$$V = \pi \left[\left(\frac{h}{2} (r'^2 + r''^2) \right) + \frac{h^3}{6} \right]$$

Fuseau et onglet sphérique

a = angle des deux plans coupants

$$S = \frac{\pi r^2 a}{90^\circ} = r^2 a \times 0,054906; \quad r = \sqrt{\frac{S}{a}} \times 5,351906$$

$$V = \frac{2}{5} p r^2 = \frac{\pi r^3 a}{270^\circ} = r^3 a \times 0,011635; \quad r = \sqrt[3]{\frac{V}{a}} \times 4,412859$$



Zone sphérique

r = rayon de la sphère; h = épaisseur de la tranche.

$$S = 2\pi r h = r h \times 6,283185; \quad h = \frac{S}{r} \times 0,1591549;$$

$$r = \frac{S}{h} \times 0,1591549$$

$$V = \pi \left[\frac{4}{3} r^3 - f^2 r + \frac{f^3}{3} - F^2 r + \frac{F^3}{3} \right] = \pi r \left(\frac{4}{3} r^2 - f^2 - F^2 \right) + \pi \left(\frac{f^3 + F^3}{3} \right)$$

Tronc de sphère



$$S = 2\pi r h = r h \times 6,283185; \quad h = \frac{S}{r} \times 0,1591549;$$

$$r = \frac{S}{h} \times 0,1591549$$

$$V = \pi \left[F^2 \left(r - \frac{F}{3} \right) - f^2 \left(r - \frac{f}{3} \right) \right] = \text{différence des segments.}$$

Sphère inscrite et sphère circonscrite au cube



$$\text{Volume sphère} = \frac{4}{3} \pi r^3 = 4,18879 = 0,525599$$

$$\text{Volume cube circ.} = 8r^3 = 8 = 1$$

$$\text{Volume cube inscrit} = 2r^3 = 2 = 0,25$$

Ainsi le volume de la sphère égale les 0,525599 du cube circonscrit et 2,094395 du volume du cube inscrit.

Donc un mètre cube de galets ou sable contiendrez 0,476401 de vide.

Cône équilatéral et cylindre circonscrits à la sphère



$$\text{Surface sphère} : \text{surface totale cône} :: 4 : 9$$

$$\text{Surface sphère} : \text{surface totale cylindre} :: 4 : 6$$

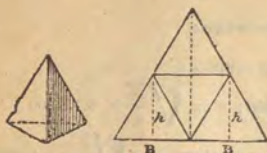
$$\text{D'où} \quad 4 : 6 :: 6 : 9$$

Donc la surface totale du cylindre est moyenne proportionnelle entre celle de la sphère et celle du cône.

On obtient le même résultat pour les volumes.

Les surfaces totales de la sphère, du cylindre et du cône

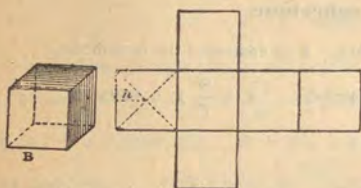
équilatéraux inscrits sont entre elles comme les nombres 16, 12 et 9, et leurs volumes sont entre eux comme les nombres 32, $12\sqrt{2}$, et 9.

Tétraèdre

$$S = 4 \left(\frac{B^2\sqrt{3}}{4} \right) = B^2 \times 1,73205 \ 08 ;$$

$$B = \sqrt{S} \times 0,73983 \ 57$$

$$V = \frac{h}{3} (B^2 \times 1,73205 \ 08)$$

Hexaèdre ou cube

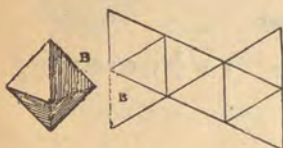
$$S = 6B^2; \quad B = \sqrt{S} \times 0,408247$$

$$V = \frac{h}{3} (6B^2)$$

Or, comme $h = 0,50$, la formule devient :

$$V = B^3; \quad B = \sqrt[3]{V}$$

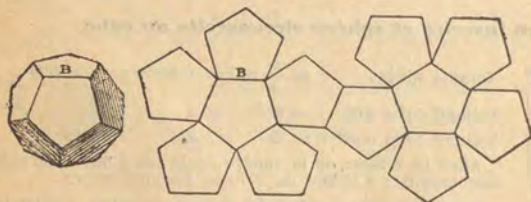
Le rapport de la diagonale au côté du cube est égal à la $\sqrt{3} = 1,73205$

Octaèdre

$$S = 8 \left(\frac{B^2\sqrt{3}}{4} \right) = B^2 \times 3,46410 \ 16 ;$$

$$B = \sqrt{S} \times 0,53728$$

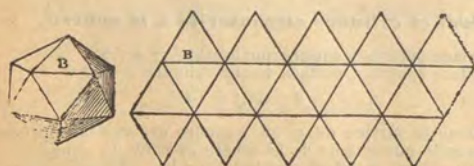
$$V = \frac{h}{3} (B^2 \times 3,46410 \ 16)$$

Dodécaèdre

$$S = B^2 \times 20,64577 \ 88$$

$$B = \sqrt{S} \times 0,22009$$

$$V = \frac{h}{3} \times (B^2 \times 20,64577 \ 88)$$

Icosaèdre

$$S = 20 \left(\frac{B^2\sqrt{3}}{4} \right) = B^2 \times 8,66025 \ 40$$

$$B = \sqrt{S} \times 0,33981$$

$$V = \frac{h}{3} (B^2 \times 8,66025 \ 40)$$

Surfaces et volumes des polyèdres réguliers dont le côté est l'unité

NOMS des POLYÈDRES.	NOMBRE de FACES.	APOTHÈME.	SURFACE d'UNE FACE.	SURFACE TOTALE.	VOLUME.
Tétraèdre..	4 triangles	0,20412 55	0,45301 2702	1,75205 081	0,11785 19
Hexaèdre..	6 carrés	0,50	1	6	1
Octaèdre...	8 triangles	0,40825 1	0,45301 2702	3,62410 162	0,47140 45
Dodécaèdre	12 pentagones	1,11351 64	1,72048 157	20,64577-880	7,66311 89
Icosaèdre..	20 triangles	0,75758 17	0,45301 2702	8,66025 404	2,18169 50

Relations entre les polyèdres réguliers et la sphère qui leur est circonscrite

POLYÈDRES	COTÉ.	SURFACE.	VOLUME.
Tétraèdre...	$\frac{3}{2}r = r \times 1,50$	$\frac{9}{4}r^2\sqrt{3} = r^2 \times 3,89711$	$\frac{3}{8}r^3\sqrt{3} = r^3 \times 0,64952$
Hexaèdre...	$\frac{1}{3}r\sqrt{10} = r \times 1,05409$	$\frac{20}{3}r^2 = r^2 \times 6,66667$	$\frac{40}{27}r^3 = r^3 \times 1,48148$
Octaèdre...	$\frac{1}{4}r\sqrt{21} = r \times 1,14564$	$\frac{21}{8}r^2\sqrt{3} = r^2 \times 4,54665$	$\frac{21}{52}r^3\sqrt{3} = r^3 \times 1,15666$
Dodécaèdre.	$\frac{1}{6}r\sqrt{\frac{11\sqrt{5}}{2}} \times \sqrt{\sqrt{5}-1} = r \times 0,64938$	$\frac{55}{12}r^2\sqrt{\frac{\sqrt{5}}{2}} \times \sqrt{1+\sqrt{5}} = r^2 \times 8,71785$	$\frac{275}{216}r^3\sqrt{\frac{\sqrt{5}}{2}} \times \sqrt{1+\sqrt{5}} = r^3 \times 2,42165$
Icosaèdre...	$\frac{1}{10}r\sqrt{57} = r \times 0,75498$	$\frac{57}{20}r^2\sqrt{3} = r^2 \times 4,93754$	$\frac{171}{200}r^3\sqrt{3} = r^3 \times 1,48090$

Ellipsoïde

La surface de l'ellipsoïde n'étant donnée par aucune expression algébrique, on aura approximativement :

$$S = 4\pi ab = ab \times 12,56637; \quad a = \frac{S}{b} \times 0,07957 75; \quad b = \frac{S}{a} \times 0,07957 75$$

Et très-exactement lorsque l'ellipse de révolution tourne autour du grand axe $2a$:



$$V = \frac{4}{3} \pi b^2 a = b^2 a \times 4,18879 02;$$

$$a = \frac{V}{b^2} \times 0,25875 24; \quad b = \sqrt{\frac{V}{a}} \times 0,48859$$

Et si elle tourne autour du petit axe $2b$:

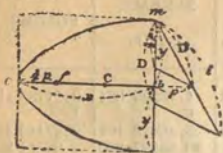
$$V = \frac{4}{3} \pi a^2 b = a^2 b \times 4,18879 02;$$

$$a = \sqrt{\frac{V}{b}} \times 0,48859; \quad b = \frac{V}{a^2} \times 0,25875$$

Son volume est encore égal aux $\frac{2}{3}$ du cylindre circonscrit qui a l'axe de révolution pour base et l'autre pour hauteur.

Paraboloïde.

Solide engendré par la révolution de l'aire *ma*b tournant autour de l'axe *ab* ou *x*.



$$S = \pi \sqrt{y^2 + p^2} \times \frac{2(y^2 + p^2)}{3p} - \frac{2}{3} \pi p^2$$

$$= \pi \sqrt{2px + p^2} \times \frac{4x + 2p}{3} - \frac{2}{3} \pi p^2$$

Et approximativement :

$$S = \frac{435}{100} xy = xy \times 4,35$$

La surface est encore égale à la surface latérale d'un cylindre qui aurait *D* pour diamètre et *l* pour longueur, moins les $\frac{8}{5}$ de la surface d'un cercle qui aurait $\frac{1}{2} p$ pour rayon. On obtient *l* en faisant :

$$\frac{3}{2} p : D :: D : l; \text{ d'où : } D = \sqrt{y^2 + p^2}; \quad l = \frac{2(y^2 + p^2)}{3p} = \frac{2D^2}{3p};$$

On a ensuite :

$$V = \pi p x^2 = \frac{\pi y^4}{4p} = \frac{\pi}{2} y^2 x = y^2 x \times 1,57079 \ 635$$

$$y = \sqrt{\frac{V}{x}} \times 0,79788 \ 46; \quad x = \frac{V}{y^2} \times 0,63661 \ 977$$

Son volume est encore égal à la moitié d'un cylindre de même base et de même hauteur.

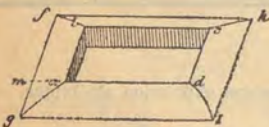
Voussures de 90°.

Développement moyen de la voussure = $abcd + \frac{7}{11}$ de la différence ($fglkf - abcd$) = *p*.

On multiplie ensuite par le développement du $\frac{1}{4}$ du cercle pour avoir la surface circulaire de la voussure, et par la surface du $\frac{1}{4}$ de cercle pour avoir le cube

$$S = \frac{1}{2} p \pi r = pr \times 1,57079 \ 63$$

$$V = \frac{1}{4} p \pi r^2 = pr^2 \times 0,78539 \ 82$$

**Voussures de 60°.**

Ajouter $\frac{157}{240}$ de la différence

$$S = \frac{1}{3} p \pi r = pr \times 1,04719 \ 76$$

$$V = \frac{1}{6} p \pi r^2 = pr^2 \times 0,52359 \ 88$$

Voussures de 45°.

Ajouter $\frac{51}{32}$ de la différence

$$S = \frac{1}{4} p \pi r = pr \times 0,78539 \ 82$$

$$V = \frac{1}{8} p \pi r^2 = pr^2 \times 0,39269 \ 91$$



Voissures de 30°

Ajouter les $\frac{2}{5}$ de la différence

$$S = \frac{1}{6} p\pi r = pr \times 0,52359\ 88$$

$$V = \frac{1}{12} p\pi r^2 = pr^2 \times 0,26179\ 94$$



Volume engendré par le segment AB tournant autour du diamètre DF et par un cercle tournant autour de l'axe PP' à une distance n située dans son plan

$$\text{Pour le segment : } V = \frac{1}{6} \pi m C^2$$

$$\text{Pour le cercle : } V = 2\pi^2 R^2 n$$

Volume engendré par un polygone régulier tournant autour d'un de ses côtés C comme axe

(r = rayon du cercle circonscrit)

Volume en fonction de r

$$\text{Triangle..... } V = \frac{5}{4} \pi r^3 \sqrt{3} = r^3 \times 4,08105$$

$$\text{Carré..... } V = 2\pi r^3 \sqrt{2} = r^3 \times 8,88569$$

$$\text{Pentagone..... } V = \frac{5}{4} \pi r^3 \sqrt{5 + 2\sqrt{5}} = r^3 \times 12,08731$$

$$\text{Hexagone..... } V = \frac{9}{2} \pi r^3 = r^3 \times 14,13717$$

$$\text{Octogone..... } V = 2\pi r^3 \sqrt{4 + 2\sqrt{2}} = r^3 \times 16,41872$$

$$\text{Décagone..... } V = \frac{5}{2} \pi r^3 \sqrt{5} = r^3 \times 17,56205$$

$$\text{Dodécagone..... } V = \frac{5}{2} \pi r^3 (\sqrt{6} + \sqrt{2}) = r^3 \times 18,20400$$

Volume en fonction du côté C

$$\text{Triangle..... } V = \frac{1}{4} \pi C^3 = C^3 \times 0,78540$$

$$\text{Carré..... } V = \pi C^3 = C^3 \times 3,14159$$

$$\text{Pentagone..... } V = \frac{1}{4} \pi C^3 (5 + 2\sqrt{5}) = C^3 \times 7,45940$$

$$\text{Hexagone..... } V = \frac{9}{2} \pi C^3 = C^3 \times 14,13717$$

$$\text{Octogone..... } V = 2\pi C^3 (3 + 2\sqrt{2}) = C^3 \times 36,62119$$

$$\text{Décagone..... } V = \frac{5}{2} \pi C^3 (5 + 2\sqrt{5}) = C^3 \times 74,59400$$

$$\text{Dodécagone..... } V = 5\pi C^3 (7 + 4\sqrt{3}) = C^3 \times 131,27022$$

Solide de révolution engendré par un triangle tournant autour d'un axe passant par le sommet O

b = base du triangle générateur, h sa hauteur, r distance du sommet O au milieu de la base b , p projection horizontale de b



$$S = 2\pi rp$$

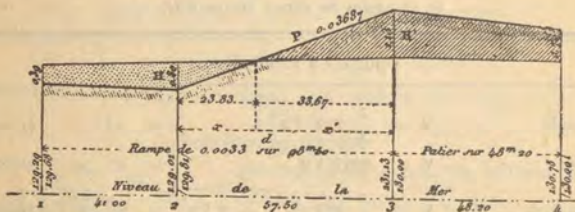
$$V = \frac{2\pi r b h}{3} = r b h \times 2,09459 51;$$

$$b = \frac{V}{hr} \times 0,47746 48; \quad h = \frac{V}{br} \times 0,47746 48$$

$$r = \frac{V}{bh} \times 0,47746 48$$

Formules relatives au calcul des terrassements

1° Points de passage



Le point de passage du déblai au remblai, et réciproquement, se calcule par les formules suivantes :

1° Pour avoir la longueur de x , on a :

$$x = \frac{dH}{H + H'}$$

2° Pour avoir la longueur de x' , on a :

$$x' = \frac{dH'}{H' + H}$$

La figure du terrain indique la signification des lettres.

Hauteur des triangles formés par les talus des déblais et remblais



Il peut arriver deux cas :

1° La hauteur du triangle peut tomber dans l'intérieur du triangle ; 2° elle peut tomber à l'extérieur, sur le prolongement de la base.

Dans le premier cas .

$$x' = \frac{H'}{P' + P}$$

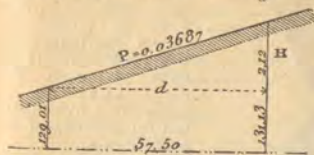
Dans le deuxième cas :

$$x = \frac{H}{P' - P}$$

P est la pente par mètre du terrain, P' celle du projet. La figure indique la signification des autres lettres.

3^e Pentes et rampes

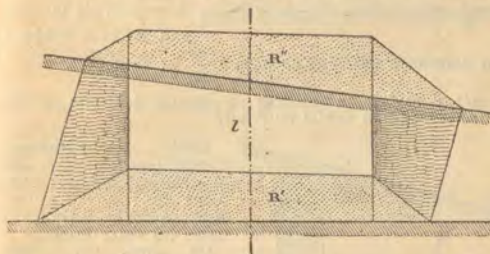
Connaissant la pente totale d'une ligne inclinée, on détermine sa pente par mètre par la formule : $P = \frac{H}{d}$, qui signifie que la pente par mètre d'une droite



est égale à sa pente totale, c'est-à-dire à la différence de hauteur de ses points extrêmes, divisée par la distance horizontale qui les sépare.

On peut déduire facilement de cette formule la pente totale d'une droite, quand on connaît sa projection ou distance horizontale et sa pente par mètre; ainsi on a :

$$H = P \times d$$

4^e Méthode expéditive pour calculer les déblais et les remblais

A moins qu'il ne s'agisse de volumes considérables ou d'un sol difficile à attaquer, on suit généralement, dans les Ponts et Chaussées et les Chemins de fer, la méthode que nous allons exposer, laquelle peut présenter les cinq cas suivant.

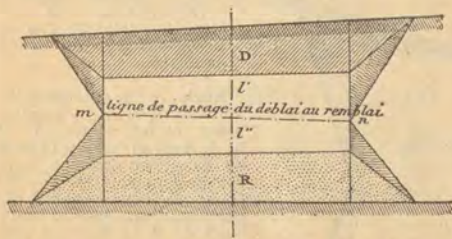
1^{er} CAS. — Les deux profils consécutifs sont tous deux en remblai ou tous deux en déblai

Règle. — On multiplie la demi-somme des surfaces par la distance l qui les sépare.

On a donc, pour deux profils en remblai : $\frac{R + R'}{2} \times l$;

et pour deux profils en déblai : $\frac{D + D'}{2} \times l$.

2^e CAS. — L'un des profils est en déblai et l'autre en remblai

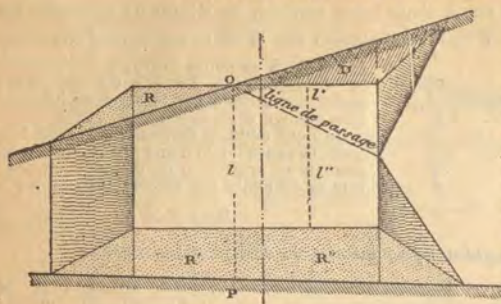


Règle. — On divise la distance l qui les sépare en deux longueurs proportionnelles aux deux surfaces extrêmes, ce qui détermine une ligne de passage mn , ou un profil fictif, dont la surface N est nulle, mais qui sert à moyenner séparément chaque profil, comme dans le premier cas.

Le volume du remblai sera donc : $\frac{R + N}{2} \times l''$ ou $\frac{R}{2} \times l''$

et celui du déblai : $\frac{D + N}{2} \times l'$ ou $\frac{D}{2} \times l'$

3^e CAS. — L'un des profils est à la fois en déblai et en remblai, et l'autre tout en déblai ou tout en remblai

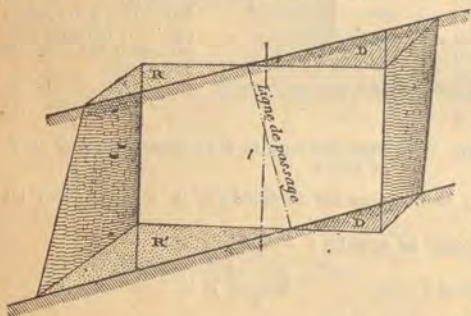


Règle. — On mènera par le point de passage O du profil mixte, une parallèle OP à l'axe du projet, laquelle partagera le deuxième profil en deux parties R' R'', dont chacune se moyennera avec celle qui lui correspond au profil mixte.

Le remblai, calculé comme au premier cas, sera exprimé par $\frac{R + R'}{2} \times l$; le rem-

blai R'' et le déblai D se calculeront comme au deuxième cas, et l'on aura : $\frac{R'}{2} \times l''$ et $\frac{D}{2} \times l'$.

4^e CAS. — Les deux profils, à la fois en déblai et en remblai, le déblai de l'un, correspond au déblai de l'autre



Règle. — On multipliera, comme dans le premier cas, la demi-somme des surfaces qui se correspondent, par la distance l entre les deux profils;

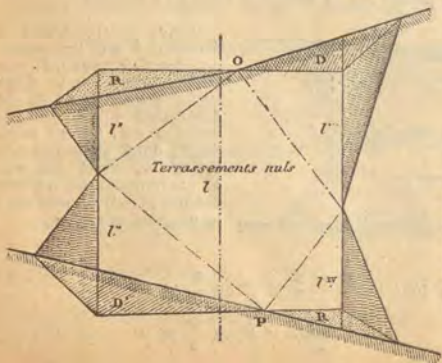
On aura, par conséquent :

$$\frac{R + R'}{2} \times l$$

pour le remblai, et :

$$\frac{D + D'}{2} \times l$$

pour le déblai.



5^e CAS. — Les deux profils, à la fois en déblai et en remblai, le déblai de l'un ne correspond pas au déblai de l'autre

Règle. — On calculera les volumes R et D du premier profil, et les volumes D' et R' du second profil, comme au deuxième cas, en divisant la longueur l de l'entreprofil en deux parties proportionnelles; d'abord aux surfaces R et D', puis aux surfaces D et R'.

Les portions de remblai R et R' seront donc :

$$\frac{R}{2} \times l' \text{ et } \frac{R'}{2} \times l''$$

et pour les déblais D et D', on aura :

$$\frac{D}{2} \times l''' \text{ et } \frac{D'}{2} \times l''.$$

Surfaces des profils en travers servant à évaluer le cube des déblais et des remblais

Profil en travers en déblai d'un chemin de 10 mètres de largeur en couronne avec fossés de 1^m,30 d'ouverture en gueule sur 0^m,50 de profondeur



L'inclinaison absolue du terrain étant déterminée par des distances horizontales de 8 mètres prises de chaque côté de l'axe et par les cotes $-0^m,48$ et $+0^m,72$ qui font à gauche $p = \frac{0^m,48}{8} = 0^m,06$, et à droite $p = \frac{0^m,72}{8} = 0^m,09$.

On déterminera les cotes de hauteur en a et b , points de rencontre de la ligne horizontale ab avec les talus du projet inclinés à 45° . Le déblai sur l'axe étant de $0^m,80$, la cote en a sera $= 0^m,80 - (6^m,50 \times 0^m,06) = 0^m,422$ et la cote en $b = 0^m,80 + (6^m,50 \times 0^m,09) = 1^m,567$. Les formules pages 48 et 144 donnent pour la base du triangle A, $b = \frac{0^m,422}{1 + 0,06} = 0^m,398$ et pour celle du triangle D

$b = \frac{1^m,567}{1 - 0,09} = 1^m,502$. Le tableau de la page 49 donne pareillement pour la base du triangle A, $b = 0^m,94539 \times 0^m,422 = 0^m,398$, et pour celle du triangle D $b = 1^m,0989 \times 1^m,567 = 1^m,502$.

On a ensuite pour la surface du profil :

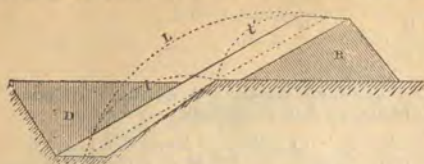
Triangle A	$0^m,398 \times \frac{0^m,422}{2}$	$= 0^m^2,0840$
Trapèze B	$6^m,50 \times \frac{0^m,422 + 0^m,80}{2}$	$= 5^m^2,8495$
Trapèze C	$6^m,50 \times \frac{0^m,80 + 1^m,567}{2}$	$= 6^m^2,8260$
Triangle D	$1^m,502 \times \frac{1^m,567}{2}$	$= 1^m^2,0266$
Fossés 2	$\times \left(\frac{1^m,50 + 0^m,50}{2} \right) \times 0^m,50$	$= 0^m^2,8000$
Surface totale	<u>$12^m^2,8853$</u>

On obtiendrait ensuite le volume des déblais correspondant à ce profil en multipliant cette surface par la demi-distance entre le profil arrière et le profil avant s'ils sont de même nature ou par la demi-distance aux points de passage du déblai au remblai, si le profil est unique. Dans ce dernier cas, le volume obtenu ne serait qu'approximatif; pour l'avoir exactement, il faudrait employer la formule de la page 155, c'est-à-dire multiplier la somme des surfaces B et C par la moitié, et la somme des surfaces A et D par le tiers de la distance aux points de passage.

Simplification des formules du 2^e cas.

Nous avons posé (page 145) volume du remblai $= \frac{R}{2} l'$ et volume du déblai $= \frac{D}{2} l''$

soit D base du déblai, R base du remblai et L distance des profils :



$$\text{Vol. déblai} = \frac{LD^2}{2(D+R)}$$

$$\text{Vol. remblai} = \frac{LR^2}{2(D+R)}$$

En effet, les figures de déblai et de remblai étant supposées semblables, on a :

$$\text{Surf. } D : \text{surf. } R :: l : l' \text{ ou } D + R : D :: L : l \text{ et } l = \frac{DL}{D+R};$$

$$\text{Or, volume déblai} = \frac{Dl}{2}$$

Et en substituant à l sa valeur, on aura :

$$\text{Vol déblai} = \frac{LD^2}{2(D+R)}$$

$$\text{Vol. remblai} = \frac{LR^2}{2(D+R)}$$

Ces nouvelles formules dispensent, on le voit, de calculer les longueurs partielles l et l' . On peut cependant les transformer en d'autres plus simples encore. En effet, $l = L - l'$ et $l' = L - l$, nous avons donc :

$$\text{Vol. } d = \frac{D}{2} l = \frac{D}{2} (L - l') = \frac{DL}{2} - \frac{DLR}{2(D+R)} = \left(D - \frac{RD}{D+R} \right)$$

$$\text{et Vol. } r = \frac{R}{2} l' = \frac{R}{2} (L - l) = \frac{RL}{2} - \frac{DLR}{2(D+R)} = \left(R - \frac{RD}{D+R} \right)$$

Dans ces deux valeurs le terme à soustraire est le même, ce qui abrège beaucoup les calculs.

Mesurage des bois — Usages

On obtient l'équarrissage des bois en grume en prenant la section sur le milieu de la longueur, écorce déduite; soit ensuite d diamètre $= 2r$, h longueur, p périmètre ou contour, c côté et V volume de l'arbre équarri, on aura :

1^o Méthode exacte :



$$2r : c :: \sqrt{2} : 1 \text{ d'où l'on tire : } c^2 = 2r^2$$

$$\text{Et } c = r \times 1,41421 = d \times 0,70711 = p \times 0,22507 \text{ 845}$$

$$\text{d'où } V = 2r^2h = \frac{1}{2} d^2h = d^2h \times 0,50 = p^2h \times 0,03066$$

Et pour le volume en grume :

$$V = \frac{\pi}{4} d^2h = r^2h \times 5,14159 = d^2h \times 0,785398 = p^2h \times 0,0793775$$

D'où il résulte qu'il faut 1^{mc},27524 de bois équarri pour faire 1 mètre cube de bois cylindrique et 1^{mc},5707965 de bois en grume pour faire 1 mètre cube de bois équarri, mais on compte généralement 1^{mc},660 à cause de l'irrégularité des bois.

Pour le chêne il faut environ 1^{mc},500 de bois avec écorce pour faire 1 mètre cube de bois vif, l'épaisseur de l'aubier étant à peu près le cinquième du rayon.

2^o Méthode du commerce. Dans le commerce on fait :

$$c = r \times 1,30898 = d \times 0,65449 = p \times 0,20855$$

$$V = \frac{p^2h}{25} = r^2h \times 1,7154 = d^2h \times 0,42855 = p^2h \times 0,045401$$

SURFACES ET VOLUMES DES SOLIDES

A Paris, les employés de l'octroi font :

$$V = h \left(\frac{\pi d (1 - 0,1)}{4} \right)^2 = r^2 h \times 1,9986 = d^2 h \times 0,49965 = p^2 h \times 0,0500$$

3^o Méthode de l'artillerie. Dans l'artillerie on fait;

$$c = \frac{2\pi r}{5} = r \times 1,2566 = d \times 0,6283 = p \times 0,20$$

$$V = \frac{p^2 h}{25} = r^2 h \times 1,57914 = d^2 h \times 0,39478 = p^2 h \times 0,04$$

L'usage le plus répandu consiste à acheter les bois en grume réduits au $\frac{1}{4}$, au $\frac{1}{5}$ ou au $\frac{1}{6}$. On obtient alors le côté du carré en retranchant le $\frac{1}{4}$, le $\frac{1}{5}$ ou le $\frac{1}{6}$ de la circonférence et le quart du reste qui est le côté du carré.

Les bois équarris sont mesurés avec un *boni* qui varie, suivant la nature des bois et leur provenance, de 0^m3,042 à 0^m3,149 cube par stère, c'est ce qu'on appelle le *mesurage au stère marchand* (Voir *serie de Paris, art. CHARPENTE*).

Tableau établissant la comparaison des différentes méthodes ci-dessus pour la conversion des bois en grume en bois équarris

CIRCONFÉRENCE de l'arbre en grume.	MÉTHODES		
	EXACTE	du COMMERCE Réduction au 1/6	de L'ARTILLERIE Réduction au 1/5
	côté du carré C = 0,2250 78 p	côté du carré C = 0,20833 p	côté du carré C = 0,20 p
m.	m.	m.	m.
0.50	0.41254	0.40417	0.10
0.60	0.15505	0.12500	0.12
0.70	0.15755	0.14585	0.14
0.80	0.18006	0.16666	0.16
0.90	0.20257	0.18750	0.18
1. »	0.22508	0.20855	0.20
1.20	0.27009	0.25000	0.24
1.50	0.55762	0.51250	0.50
1.60	0.56012	0.53555	0.52
1.80	0.40514	0.57500	0.56

Mesurage des tonneaux

On peut considérer le tonneau comme formé de deux troncs de cône à bases parallèles; dans ce cas son volume est égal à :

$$V = 2 \frac{\pi h (R^2 + r^2 + Rr)}{5} = \frac{2}{5} h (E + b + \sqrt{Bb})$$

En Angleterre on fait : $V = \frac{1}{5} \pi l (2R^2 + r^2)$

En France on fait : $V = \pi l \left[R - \frac{5}{8} (R - r) \right]^2$

Et quelquefois : $V = \frac{1}{36} \pi l (d + 2D)^2 = 0,0875 l (d + 2D)^2$



L'octroi de Paris emploie la formule: $V = \frac{1}{4} \pi l [d + (D - d) 0,56]^2$

Dans la pratique on forme l'aire d'un cercle ayant pour diamètre $\frac{1}{3}$ de celui du fond, plus $\frac{2}{3}$ de celui du bouge et l'on multiplie cette aire par la longueur intérieure du tonneau.

Dans le commerce on emploie les formules suivantes :

1^o Si le tonneau a une courbure très-prononcée :

$$V = \frac{\pi}{4} l \left[d + \frac{2}{3} (D - d) \right]^2; \quad \frac{\pi}{4} = 0,785398$$

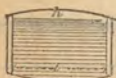
2^o Si le tonneau est moins arqué: $V = 0,785398 l \left[d + \frac{5}{3} (D - d) \right]^2$

3^o Si le tonneau est presque cylindrique: $V = 0,785398 l \left[d + \frac{11}{10} (D - d) \right]^2$

Et pour formule moyenne la formule ci-dessus: $V = 0,0875 l (d + 2D)^2$

4^o Si le tonneau est en vidange :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Vide} < \text{plein: Vide} = \\ \text{Vide} > \text{plein: Plein} = \end{array} \right\} 0,785398 l (1,5 h)^2 = 1,7671435 l h^2$$



Si le liquide approche de l'extrémité des diamètres du fond, on a :

$$\text{Vide} = 0,785398 l \left(\frac{5}{3} h \right)^2 = 2,181661 l h^2$$



Et s'il atteint les extrémités des diamètres du fond :

$$\text{Vide} = 0,785398 l \left(\frac{7}{4} h \right)^2 = 2,405281 l h^2$$

Dimensions des tonneaux les plus communs

CONTENANCE EN			DIAMÈTRE <i>d</i> DU FOND.	DIAMÈTRE <i>D</i> DU BOUGE.	LONGUEUR <i>l</i> .
TONNEAUX.	HECTOLITRES	LITRES.			
»	h.		m.	m.	m.
»	0.50	50	0.50	0.55	0.622
»	1.00	100	0.40	0.44	0.699
0.5	1.10	110	0.40	0.44	0.769
»	2.00	200	0.52	0.62	0.740
1.0	2.20	220	0.52	0.62	0.815
»	3.00	300	0.58	0.68	0.915
1.5	3.50	350	0.59	0.71	0.956
»	4.00	400	0.65	0.77	0.956
2.0	4.40	440	0.68	0.78	1.005
»	5.00	500	0.68	0.80	1.102
2.5	5.50	550	0.69	0.81	1.181
»	10.00	1 000	0.89	1.09	1.217
3.0	11.00	1 100	0.90	1.10	1.512
»	20.00	2 000	1.10	1.50	1.674

LEVÉ DES PLANS

Comme le cadre de notre ouvrage ne nous permet pas des développements très-étendus, nous renvoyons nos lecteurs, pour plus amples détails, aux traités spéciaux sur la matière, tels que les ouvrages suivants, auxquels nous empruntons quelques-unes des descriptions qui suivent : *Science de l'Ingénieur*, par J. Claudel, *Encyclopédie Moderne* (articles de M. Charles Renier), *Manuel Gayffier, Compte-rendu des cours de l'École des Ponts et Chaussées* par le journal *l'Ingénieur* (année 1855).

Pour définir nettement la position respective d'un certain nombre de *points*, il faut déterminer la position relative de ces points en *plan* et en *élévation*. La première de ces deux opérations constitue le *levé des plans*; la seconde, le *nivellement*.

Pour lever une grande surface de terrain, on commence par choisir un certain nombre de *points* assez élevés, pour que l'on puisse, quand on y est placé, découvrir les régions environnantes. Ces points sont les *stations* d'où l'on fait des *observations*. Chacun d'eux doit pouvoir être aperçu des autres stations.

Les lieux de station choisis à des distances convenables, on conçoit chacun d'eux rattaché aux autres par des lignes droites menées dans l'espace. Ces lignes forment dans leur ensemble un réseau de grands triangles, couvrant toute la contrée que l'on veut lever. On calcule les côtés de ces triangles qui sont les bases d'autant de pyramides triangulaires, dont les sommets sont au centre de la terre, et dont les éléments sont parfaitement déterminés. Ces triangles sont sphériques et résultent de l'intersection des angles plans d'une pyramide avec le sphéroïde des mers; leurs sommets ne sont autre chose que la projection plane, sur ce sphéroïde, des centres des stations adoptées.

On mesure une base, puis, par l'observation des angles, on conclut de proche en proche les longueurs de tous les côtés des triangles, et les erreurs d'observation des angles ont d'autant moins d'importance que les triangles sont plus près d'être équilatéraux.

On relève les angles au moyen du *pantomètre*, du *graphomètre* et du *cerce répéteur* ou *théodolite*.

Dans chacun des triangles de ce réseau, on peut effectuer une nouvelle triangulation de deuxième ordre, puis, sur chacun de ces nouveaux triangles, une troisième triangulation, et ainsi de suite.

Quand on opère sur des triangles dont les côtés n'excèdent pas 800 mètres, chacun, la courbure de la terre devient insensible, et on peut en faire abstraction dans les opérations.

Chaîne d'arpenteur

Cet instrument est formé de chaînons ou tiges en gros fil de fer dont chaque bout est recourbé en boucles et qui sont réunies deux à deux par un anneau. Les longueurs des tiges des boucles et des anneaux sont déterminées de manière qu'entre les centres de deux anneaux consécutifs la longueur entière soit de 20 centimètres. La mesure de la chaîne étant ordinairement de 10 ou de 20 mètres, elle se trouve composée de 50 ou 100 chaînons. De mètre en mètre, les anneaux sont en cuivre; l'anneau du milieu, également en cuivre, porte une marque distinctive. Chaque bout de chaîne a une poignée dont la longueur est prise sur les 20 centimètres du dernier chaînon.

La chaîne est accompagnée de 10 fiches ou tiges en fil de fer recourbées en anneau à une de leurs extrémités, et appointées à l'autre pour faciliter leur pénétration dans le sol.

L'effort constamment exercé pour tendre la chaîne finit par allonger les

boucles et les anneaux, il faut donc, dans les opérations qui exigent de l'exactitude, vérifier fréquemment la longueur de la chaîne, soit sur une chaîne-étalon, soit sur une longueur préalablement mesurée avec soin.

On remplace avantageusement la chaîne d'arpenteur par un simple ruban en acier divisé en mètres et fractions de mètre dans sa longueur. Ce ruban n'a pas l'inconvénient de s'allonger sous la traction.

Comme dans le levé des plans ce n'est pas le développement du terrain que l'on veut obtenir, mais sa projection sur un plan horizontal, la chaîne doit être bien tendue et bien horizontale. Néanmoins, s'il s'agit d'une longue pente ou rampe régulièrement inclinée, il vaut mieux mesurer la longueur L suivant la rampe ou pente et corriger ensuite la longueur obtenue en la multipliant par le cosinus de l'angle du terrain avec l'horizontale, c'est-à-dire qu'on a $l = L \cos. a$

Stadia

Cet instrument, plus portatif que la chaîne, consiste en une lunette ordinaire dans laquelle le réticule porte deux fils horizontaux fixes, ou dont l'un est fixe et l'autre mobile. Une mire convenablement graduée est un appendice de cet instrument.

Les mesures que l'on prend avec les *stadia* doivent, comme celles que l'on prend avec la chaîne, être réduites à leur position horizontale, quand la pente du terrain n'est pas jugée négligeable.

Si l'on veut mesurer une distance avec la *stadia à fils fixes*, on s'assurera d'abord de la longueur AB interceptée par les deux fils f et f' , sur l'image formée dans la lunette par la mire placée à une distance connue oD .

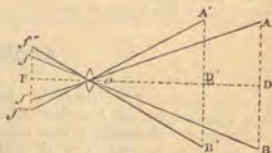
Si l'on transporte ensuite la mire à une autre distance oD' de l'instrument, en admettant que, pour cette variation de distance, la distance focale oF n'ait varié que d'une quantité négligeable, ce qui est vrai quand oD et oD' sont considérables, la longueur $A'B'$, interceptée sur l'image de la mire par les fils f et f' , sera différente de AB , et l'on aura :

$$oD' : A'B' :: oD : AB; \quad \text{d'où: } oD' = A'B' \times \frac{oD}{AB}$$

Les trois nombres du second membre étant connus, on en tire la valeur de oD' .

Si l'on a soin de diviser la hauteur AB en autant de parties égales que oD contient de mètres, le nombre de ces divisions contenues dans $A'B'$ donnera immédiatement la distance oD' en mètres.

Si on fait usage de la *stadia à fils mobiles*, on évalue alors la distance d'après l'écartement qu'il faut donner aux fils pour intercepter la même longueur sur la mire.



Soit $AB = H$ la longueur fixe comprise entre deux divisions de la mire, et $ff' = h$ l'écartement des fils nécessaire pour intercepter cette longueur lorsque la mire est placée à une distance connue $oD = D$. Si d est la distance focale de la lunette correspondant à cette distance, on aura :

$$D : H :: d : h; \quad \text{d'où: } Hd = Dh$$

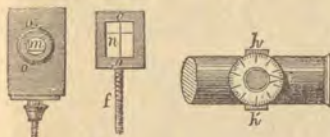
Pour une autre distance $oD' = x$, si l'on admet que la distance focale est égale à d et si l'on appelle h' l'écartement $f'f''$ des fils, on aura :

$$x : H :: d : h' ; \text{ d'où : } x = \frac{Hd}{h} = \frac{Dh}{h'}$$

De telle sorte que si la grandeur de h pour la première opération est connue, la mesure de h' fera connaître la valeur de x , et l'on conçoit que pour une stadia donnée, on puisse construire une table qui contienne les valeurs de x correspondant aux grandeurs de h' .

Pour mesurer l'écartement des fils du réticule, on adopte les dispositions suivantes :

Le réticule se compose de deux cadres renfermés dans une petite boîte rectangulaire ab placés au foyer de la lunette, portant chacun un fil. L'un de ces cadres est fixe et porte le fil m , l'autre est mobile et porte le fil n . Ce dernier est muni d'une vis f qui traverse le fond

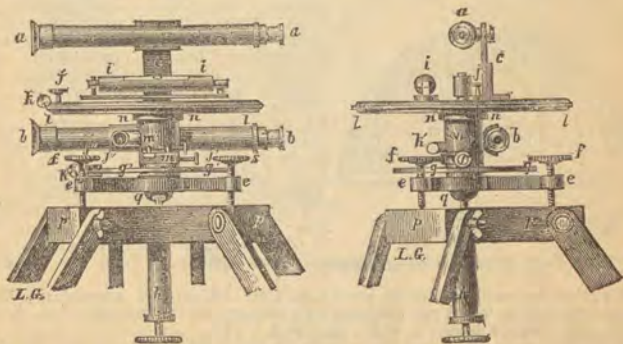


de la boîte et s'engage dans un écrou g auquel est liée une aiguille qui se meut parallèlement à un cadran gradué hh' . Le cadre fixe porte une petite échelle latérale dont chaque division correspond à un pas de la vis f . C'est sur elle que l'on compte, à la vue, le nombre des longueurs égales à ce pas dont les fils sont séparés, et les fractions de pas sont données par la position qu'occupe l'aiguille i sur le cadran hh' sur lequel elle fait un tour entier quand le cadre mobile se relève d'un pas.

Le cadre fixe porte un fil vertical oo qui n'a d'autre but que de fixer dans le sens vertical le plan de visée de la mire.

Théodolite

Cet instrument se compose d'un limbe gradué ll supporté par un pivot métallique reposant sur un trépied soutenu lui-même, par trois vis calantes fff , sur un plateau de bois pp que soutiennent trois pieds à double branche. Une tige h , qui le lie solidement au plateau, traverse un cylindre vertical qui renferme un ressort à boudin lié par un bout au fond du cylindre et par l'autre à une chevillette portée par la tige.



L'instrument est muni de deux lunettes ; l'une supérieure aa est portée par un bâti mobile sur la tête d'un pivot. La lunette aa , dont l'axe correspond à celui du pivot, peut se mouvoir parallèlement à son support ; deux règles, placées en prolongement l'une de l'autre, portent deux verniers ; un niveau à

bulle d'air *i* est réuni à l'une des deux règles ; une troisième règle, perpendiculaire aux deux premières, porte à ses extrémités une pince qui embrasse le bord du limbe et peut y être arrêtée par une vis de pression. Le bâti se meut indépendamment du limbe lorsque cette vis *J* est desserrée.

Une seconde lunette *bb* peut se mouvoir, comme la lunette supérieure, dans un plan vertical au limbe ; elle est liée par une bague à pivot horizontal qui forme une partie de l'enveloppe extérieure de la colonne *mm'* ; cette bague est reliée à une seconde bague *m* par une vis horizontale *k'*, et ces deux bagues peuvent se mouvoir ensemble quand la vis de pression *J'* est desserrée.

Voici quelques mots sur le jeu de cet instrument :

Le mouvement des lunettes étant indépendant, si l'on arrête l'un des verniers de la lunette *aa* sur les zéros de la graduation du limbe et si l'on dirige cette lunette sur un objet éloigné en faisant mouvoir le disque *gg*, on pourra, après avoir serré la vis *J'*, diriger à son tour la lunette *bb* sur le même objet, et si ce point est assez éloigné les axes des lunettes pourront être considérés comme parallèles. Cela fait, si l'on serre les vis *J* et *J'* et qu'on desserre la vis *J*, on pourra diriger la lunette *aa* sur un autre objet ; le nombre de degrés indiqués par le vernier donne l'angle des deux droites menées, dans l'espace, du point d'observation aux deux objets visés.

Après cette première opération, si, les vis *J* et *J'* étant serrées, on desserre la vis *J'* et l'on fait tourner tout le système jusqu'à ce que la lunette *aa* soit ramenée dans la direction du premier objet visé, si l'on serre ensuite la vis *J''* et que, desserrant la vis *J'* on ramène sur ce premier objet la lunette *bb*, et qu'enfin la vis *J* étant serrée et la vis *J* desserrée on amène de nouveau la lunette *aa* dans la direction du deuxième objet, le vernier aura parcouru sur le limbe le double de l'angle à mesurer.

Cette opération peut se faire plusieurs fois ; si l'on tient compte du nombre de fois qu'elle est reproduite et du nombre de fois que le vernier fait le tour du limbe ; en lisant le point où s'arrête le vernier la dernière fois, on aura l'angle total parcouru, lequel divisé par le nombre de répétitions donnera l'amplitude de l'angle à mesurer, avec une approximation d'autant plus grande que le nombre des répétitions aura été plus considérable.

Cette opération s'appelle la répétition des angles.

On assure l'horizontalité de l'instrument au moyen d'un petit niveau à bulle d'air *ii* et du jeu des vis calantes *ff*.

Graphomètre

Cet instrument se compose d'un limbe ou demi-cercle en cuivre divisé, comme le rapporteur, en 180° subdivisés en demi-degrés. Il est muni de deux



alidades ou règles recourbées à angle droit à leurs extrémités et munies de pinnules semblables à celles de l'équerre d'arpenteur. Une de ces alidades *aa* est fixe et son plan de visée correspond à la ligne de foi du demi-cercle de 0° à 180° ; l'autre *mm* est mobile autour du centre du demi-cercle qu'elle peut parcourir de manière que son plan de visée fasse un angle quelconque avec celui de l'alidade fixe. La mesure de cet angle est indiquée sur le cercle par l'alidade mobile.

Pour que l'instrument soit juste, il faut que les lignes de foi des pinnules fixes et des pinnules mobiles passent par le

centre de l'arc gradué et correspondent exactement au plan des fils de ces pinnules.

On vérifie le graphomètre en mesurant tous les angles consécutifs formés autour d'un même point par plusieurs directions, si l'instrument est bon, la somme des valeurs trouvées doit être égale à 360° .

Le limbe est mobile sur la douille de son pied et a la faculté de pivoter dans tous les sens autour d'une petite sphère qui se meut entre deux collets. Cet assemblage porte le nom de *genou à coquille* ; il sert à établir l'horizontalité de l'instrument.

Il y a des graphomètres qui portent deux petits niveaux à bulle d'air, logés

dans le limbe même, perpendiculairement l'un à l'autre. Quelquefois ils portent une boussole B qui sert à orienter les plans, et, jusqu'à un certain point, à s'assurer de l'horizontalité.

On construit aussi des graphomètres dont le limbe est une circonférence entière; d'autres dans lesquels les pinnules fixes et l'alidade mobile sont remplacées par deux lunettes, l'une placée au-dessous du limbe, l'autre au-dessus. C'est l'instrument le plus généralement employé pour la mesure des angles dans le service des Ponts et Chaussées. Cependant l'usage du théodolite serait préférable, surtout lorsqu'il s'agit d'opérations importantes.

L'emploi du graphomètre donne lieu, dans la mesure des angles, à deux méthodes dites l'une de *cheminement* et l'autre d'*intersection*.

La première consiste à mesurer tous les angles en plaçant successivement le centre de l'instrument au sommet de chaque angle; la seconde consiste à mesurer une base et à déterminer les angles que forment les rayons visuels menés de ses extrémités à chaque point qu'on veut observer.

Si l'instrument dont on se sert a des lunettes plongeantes, c'est-à-dire pouvant s'abaisser ou s'élever perpendiculairement à son plan en le mettant dans une position horizontale, il donnera l'*angle réduit à l'horizon*, tel qu'il doit être employé dans la construction du plan; mais, quand les lunettes ne peuvent s'mouvoir que dans le plan de l'instrument, elles ne donnent que des angles dont les côtés sont inclinés à l'horizon, lorsque les points visés diffèrent de niveau, et elles ne font pas connaître l'angle qui serait compris entre les projections horizontales de ces côtés.

Si on avait un plan à lever, on placerait l'instrument en un point tel, qu'il soit facile d'observer tous les angles sans changer de station. Ce point devrait être pris, autant que possible, au centre du plan.

Pantomètre

C'est un graphomètre d'un diamètre réduit. Cet instrument se compose de deux tambours cylindriques dont l'un, inférieur, s'emmanche par une douille *d* sur un pied vertical, et dont l'autre, supérieur, peut tourner autour d'un axe qui lui est commun avec le tambour inférieur. Le tambour inférieur porte la graduation et le tambour supérieur le vernier. Pour déterminer un angle, on se place au sommet, on dirige les pinnules percées aux extrémités du diamètre correspondant au zéro de graduation du tambour inférieur vers le premier objet que l'on veut viser; puis, on fait tourner le tambour supérieur, en maintenant l'autre fixe, jusqu'à ce que les pinnules placées aux extrémités du diamètre correspondant au zéro du vernier se trouvent sur la deuxième direction; l'arc gradué donne l'angle. On peut s'assurer que les tambours sont bien centrés, en mesurant deux fois le même angle.

Cet instrument est d'un emploi facile, mais il ne comporte pas des évaluations très-précises à cause de la faible distance des pinnules et du peu de développement du limbe. D'un autre côté, il est difficile d'obtenir que

les plans de visée soient parfaitement verticaux.

Le pantomètre à lunettes est plus précis, bien que ne détruisant pas les causes d'erreurs que nous avons signalées.

Équerre d'arpenteur

L'équerre d'arpenteur se compose d'un tambour cylindrique ou octogonal portant, suivant deux directions perpendiculaires ou quatre directions mutuellement inclinées de 45°, deux ou quatre systèmes de pinnules. L'instrument n'a pas d'arc gradué.

L'équerre s'adapte sur un bâton qui lui sert de pied, au moyen d'une douille que l'on visse au centre de la base inférieure de l'équerre. Le pied est ferré



en pointe à son extrémité inférieure afin qu'on puisse le planter verticalement dans le sol.



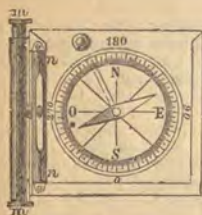
Pour s'en servir, on établit une base et on rapporte à cette base, par des coordonnées rectangulaires, les points qu'on veut déterminer de position. On cherche par le tâtonnement à placer le pied de l'équerre sur cette directrice, de manière que l'on puisse voir à la fois, par un système de pinnules, les extrémités de la ligne, et par les pinnules à angle droit le point qu'on veut fixer; puis, cette jonction trouvée, on mesure d'une part la distance du pied de l'équerre à un point fixe de la directrice, et ensuite la distance de ce pied au point à déterminer.

La figure suivante représente l'ancienne équerre d'arpenteur. Quoique la nouvelle forme soit plus portable, elle est moins exacte que l'ancienne parce que l'intervalle entre les deux fentes ou pinnules est plus court, et ensuite parce que formant devant l'œil une sorte d'écran, elle empêche qu'on ne reconnaisse aisément le point sur lequel on vise puisqu'elle dérobe la vue des objets environnants qui aideraient à la distinguer.



Boussole

La boussole se compose d'une petite boîte carrée en bois ou en cuivre, au fond de laquelle est un évidement cylindrique bordé d'un cercle gradué de 360°; une aiguille aimantée est posée sur un petit pivot d'acier. Sur un des côtés de cette boîte, parallèlement à la ligne de foi de la boussole, est appliquée une alidade à pinnules ou à lunettes *mm*. Quelquefois la boîte porte à sa partie supérieure un petit niveau à bulle d'air *nn*. L'instrument se place ordinairement sur un pied à trois branches au moyen d'une douille surmontée d'un genou à coquille.



L'aiguille aimantée donne, comme on le sait, une direction que l'on peut considérer comme constante dans une même partie de la terre et sous les mêmes influences. On suppose qu'il n'y a pas de variations dans l'étendue et dans la durée des observations.

Quand on a dirigé l'alidade vers un point et que l'aiguille n'oscille plus, on lit sur la circonférence du cercle qui l'entoure le nombre de degrés compris entre l'extrémité de la partie nord de l'aiguille et l'une des extrémités du diamètre parallèle à l'alidade. Pour éviter toute erreur, il faut toujours employer la même. On détermine de quel côté elle se trouve en la marquant par les mots *est* et *ouest*, le premier indiquant la droite et le second la gauche quand on regarde vers le nord.

La boussole donne des indications moins précises que le graphomètre, mais elle est d'un bon usage pour le levé des détails à cause de la rapidité des opérations.

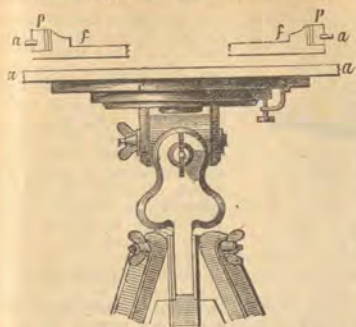
Quand on s'en sert, il faut, pour diminuer les chances d'erreur, 1° avoir dans les visées la lunette toujours du même côté, soit à droite, soit à gauche; 2° compter toujours les angles dans le même sens; 3° ne porter sur soi ni clefs ni outils en fer qui pourraient modifier la position de l'aiguille.

Planchette

Cet instrument n'est autre chose qu'une planche à dessiner munie à son centre d'un genou à coquille qui permet de la fixer, comme le graphomètre, sur un pied à trois branches. Sur la face supérieure de la planchette on colle ou on fixe la feuille de papier destinée à recevoir le dessin du plan.

Une alidade *aa* est l'accessoire obligé de la planchette. C'est une longue

règle mobile, en bois ou en cuivre, portant à ses extrémités deux pinnules *pp* se relevant perpendiculairement au plan de la règle, ou en son milieu en bras articulé, supportant une lunette mobile autour d'un axe parallèle au plan de la



règle; le plan passant par les fils des pinnules, ou le plan décrit par l'axe optique de la lunette, doivent toujours passer exactement par le bord *ff* de la règle servant à tracer les alignements.

placé et orientée, on trace sur le plan le rayon visuel allant du point du sommet où l'on se trouve au troisième angle du triangle. Le troisième point projeté sur la planchette résulte de l'intersection des rayons visuels menés sur ce point des extrémités du même côté. Les deux angles adjacents à ce côté ont été déterminés par la méthode de cheminement, le troisième angle par la méthode des intersections.

Pour lever à la planchette le plan d'un triangle, on établit d'abord l'instrument horizontalement au-dessus d'un sommet; puis, par la projection de ce sommet sur la planchette, on fait passer deux droites dirigées vers les deux autres sommets. On mesure un côté adjacent au sommet sur lequel on se trouve et on reporte, sur la ligne de visée, une longueur représentant à l'échelle du plan le côté mesuré. Cela fait, on transporte l'instrument à l'extrémité du côté de la ligne mesurée. La planchette étant

Si l'on a un contour polygonal comprenant un espace qui puisse être parcouru dans toutes les directions menées d'un point intérieur aux divers points à déterminer, on peut aussi placer la planchette à ce point intérieur, tracer sur le papier les directions diverses, mesurer les longueurs de ces directions jusqu'aux points à déterminer et rapporter les longueurs à l'échelle sur les lignes correspondantes préalablement tracées.

A chaque station on fixe, au point de projection du sommet de la station, une ziguille autour de laquelle on fait pirouetter le bord de l'alidade pour amener le plan vertical passant par les pinnules ou par l'axe de la lunette, dans la direction des points de visée, et quand on s'est assuré de l'exactitude de la visée, on trace l'alignement.

Déclinatoire

Cet instrument, qui est un accessoire utile à la planchette, n'est autre chose qu'une petite boussole *bb* renfermée dans une boîte de forme rectangulaire. Son plus long côté est, parallèle à la ligne de foi du limbe. L'aiguille ne peut parcourir qu'environ 40° . Le déclinatoire sert à orienter la planchette; voici comment on s'y prend: la planchette étant convenablement posée à la première station, on pose le déclinatoire dessus en faisant tourner la boîte jusqu'à ce que l'aiguille se place suivant une ligne parallèle au bord. On trace alors une droite sur le plan, le long du bord de la boîte; puis, quand la planchette a été transportée ailleurs, on pose le bord du déclinatoire le long de cette droite et l'on tourne la planchette jusqu'à ce que l'aiguille aimantée revienne au zéro de son arc gradué, ce qu'on appelle sa *ligne de foi*. La planchette est ainsi parallèle à sa première direction, c'est-à-dire orientée.



Octant et sextant de réflexion

Ces instruments sont formés d'une alidade *MI* portant, en son centre *A*, un miroir *m* perpendiculaire à l'instrument et qui, lorsqu'elle est sur le premier

point h de la division du limbe, devient parallèle à un autre miroir immobile nn' placé sur le côté Ag . Ce dernier miroir a une partie n' non étamée au travers de laquelle on regarde par une pinnule à une lunette l placée en o sur le côté Ah de l'instrument, un point B que l'on



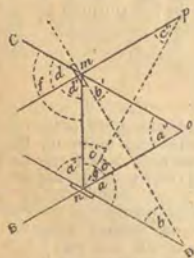
que de l'espace; on fait ensuite tourner l'alidade jusqu'à ce que l'on aperçoive au bord n de la partie étamée du miroir nn' l'image du point C en contact avec le point B , et on lit sur l'arc lh la mesure de l'angle compris entre les objets B et C au point où est l'observateur.

L'alidade porte un vernier dont on se sert quand on veut obtenir une mesure plus précise de l'angle.

A proprement parler, l'arc lh n'est égal qu'à la moitié de celui qui mesure l'angle cherché, mais l'arc total gh qui est de 45° ou 60° est divisé en

90° ou 120° et donne ainsi le double de la mesure de tous les arcs qu'il comprend.

Voici la démonstration de cette propriété: soient B et C les points observés. Si l'œil placé en o aperçoit au point n l'image de l'objet C renvoyée par le grand miroir m , je dis qu'en conséquence de la loi de la réflexion, l'angle a , qui est l'angle de réflexion sur le petit miroir n , est égal à l'angle d'incidence a' et par suite, à cause des parallèles mo , nd , on a : $a = a' = a''$.



Si l'on élève les perpendiculaires np , mp , les angles c et c' , compléments des angles a et a' , seront égaux chacun à chacun. Par la même raison, les angles d et d' formés, le premier par le rayon incident parti du point C et la perpendiculaire pm prolongée, le second par cette perpendiculaire et le rayon réfléchi mn , sont encore des angles égaux; donc angle $f = 2$ angles d , de même que angle $g = 2$ angles c .

Cela posé, angle $d = \frac{1}{2} f$, et comme f est extérieur au triangle omn on a :

$$d = \frac{a'' + (c + c')}{2}$$

Ce même angle d étant extérieur aussi au triangle mnp on a $d = c' + c''$ qui sont les intérieurs opposés et par suite $\frac{a'' + (c + c')}{2} = c' + c''$ d'où l'on tire :

$$a'' = 2(c' + c'') - (c + c') = (2c' + 2c'') - (c + c')$$

et en vertu de l'égalité des angles c , c' , c'' on a : $a'' = 2c$. D'autre part, à cause des triangles équiangles mnp , mnd , on a :

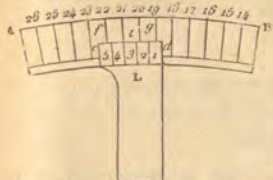
$$c'' = b \text{ et } b = b'$$

Donc en remplaçant c par sa valeur dans l'équation plus haut, il vient :

$$a'' = 2b \text{ et } b = \frac{1}{2} a''$$

Vernier

Lorsque le limbe d'un cercle ou d'un graphomètre n'est divisé qu'en degrés, on ne peut obtenir, par le secours de cette division seule, que le nombre de degrés contenus dans l'angle observé, et n'avoir le plus souvent sa mesure qu'à moins d'un degré près. Si l'on veut obtenir un plus grand degré d'exactitude, on se sert de la méthode inventée par Vernier.



Cette méthode consiste à prendre sur le limbe du cercle un certain nombre des divisions qui y sont inscrites et un arc concentrique *cd* de même grandeur sur l'alidade mobile où l'on a coutume de graver le vernier. On divisera ensuite l'arc de l'alidade en un certain nombre de parties égales plus grand d'une unité que le nombre de divisions tracées sur l'arc égal du limbe de manière que si l'arc *fg* est divisé en quatre parties et son égal *cd* en cinq, chaque division du vernier sera les $\frac{4}{5}$ de celle du limbe.

Il en résulte que si l'on veut évaluer la fraction de division où se trouve le point *d* au-dessus de 18, il faut chercher sur *cd* celui des traits *l* qui se trouve coïncider avec un de ceux du limbe, et nombrer les traits de *l* qui expriment autant de cinquièmes. Ici on lira $18^{\circ} \frac{5}{5}$. On numérote ordinairement les traits afin de lire sur-le-champ le numérateur de la fraction sur le trait de coïncidence.

L'usage est de diviser le vernier en 10 ou 20 parties qui occupent un espace égal à 9 ou 19 divisions du limbe; alors on lit des dixièmes ou des vingtièmes. En général si $n - 1$ divisions du limbe sont coupées en n parties égales, on évalue avec le vernier des fractions dont le dénominateur est n ; le numérateur est celui des nombres 1, 2, 3... qui est inscrit sur le trait de coïncidence.

Dans les cercles divisés en demi-degrés, on coupe sur le vernier 29 divisions en 30 parties égales et on lit des trentièmes de demi-degré, c'est-à-dire des minutes. Si l'arc est coupé en arcs de 5 minutes ou en douzièmes de degré, et que 59 de ces divisions soient partagées sur le vernier en 60 parties égales, on lira des soixantièmes de 5 minutes ou des subdivisions de 5 secondes.

NIVELLEMENT

Deux points sont dits de niveau lorsqu'ils sont situés sur une même ligne horizontale.

Le but du nivellement est donc de faire connaître la hauteur relative de certains points du sol au-dessus d'une base déterminée.

Niveau apparent et Niveau vrai

Le niveau vrai est une courbe parallèle au sphéroïde des mers, et le niveau apparent une tangente à cette courbe.

On rapporte tout le nivellement à la sphère DNA comme surface du niveau vrai.

Ainsi soit $CA = r$ rayon des mers, et 2 points A et B distants d'une quantité d . Le point B est plus haut que le point A de la quantité $BN = h$, c'est-à-dire que le niveau vrai diffère du niveau apparent de la quantité h .

Si nous cherchons à évaluer cette différence, nous aurons (propriété de la sécante et de la tangente) :



$$h : d :: d : ED$$

d'où

$$h = \frac{d^2}{BD} = \frac{d^2}{2r + h}$$

Or, si on veut négliger h dans le dénominateur comme étant extrêmement petit par rapport au diamètre de la terre, on aura :

$$h = \frac{d^2}{2r}$$

Et sachant que le diamètre de la terre égale 12 732 396 mètres, on aura enfin, si on fait $d = 600^m$:

$$h = \frac{600^2}{12\,732\,396} = 0^m,028$$

On verra plus loin que la *réfraction* étant $= 0,16h$, la *rectification* se réduit à $\frac{0,84 d^2}{2r}$

D'où l'on conclut que les hauteurs du niveau apparent au-dessus du niveau vrai sont entre elles comme les carrés des distances respectives au point de départ.

On évite ces opérations en se plaçant à égale distance des points dont on opère le nivellement.

Pour 100 mètres de distance horizontale, on a pour la hauteur du niveau apparent au-dessus du vrai $0^m,0008$; pour 600^m , $0^m,028$; pour 1000^m , $0^m,078$; pour 2000^m , $0^m,514$; pour 5000^m , $1^m,96$; pour 10000^m , $7^m,85$, etc.

INSTRUMENTS EMPLOYÉS AU NIVELLEMENT.



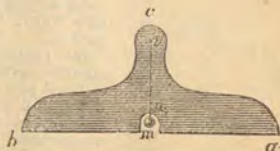
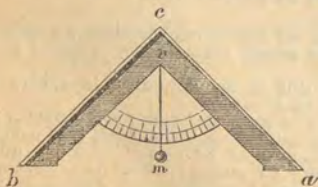
Équerre niveau

Cette équerre porte à l'extrémité d'un de ses côtés un fil à plomb m dirigé suivant une verticale vm . Quand le bord ab est horizontal, le fil à plomb tombe exactement sur le trait vm . Pour y parvenir, on le pose sur une règle bien dressée, et l'on élève ou l'on abaisse le point b jusqu'à ce que le fil à plomb vienne se confondre avec la direction vm .

NIVEAUX

Niveau à perpendiculaire ou de maçon

C'est une planche découpée, comme l'indique la figure, au sommet de laquelle est attaché un fil à plomb qui bute sur un trait gravé perpendiculairement à



l'arête inférieure ab , lorsque celle-ci se trouve dans une position bien horizontale. On a soin de placer l'instrument sur une règle bien droite que l'on place sur une des surfaces horizontales de l'objet à poser. Souvent ce niveau

est formé de trois règles qui composent un triangle isocèle rectangle, afin qu'on puisse aussi s'en servir comme d'une équerre. On substitue quelquefois à la règle qui forme la base du triangle, un arc de cercle gradué qui fait connaître le combien la direction de la règle sur laquelle il est posé varie avec la direction du plan horizontal du lieu.

Les trois instruments qui précèdent se vérifient par le *retournement*, qui consiste à placer l'instrument bout pour bout, de manière à ce que chaque pied prenne exactement la place de l'autre.

Niveau d'eau

Le niveau d'eau consiste en un tuyau cylindrique *ni* de fer blanc ou de cuivre, de 0^m,04 environ de diamètre, de 1^m,50 à 1^m,60 de long, et relevé à angles



droits à ses deux extrémités, de manière à former 2 coudes de 0^m,06 de hauteur dans lesquels sont lutées, au moyen de mastic ou de cire, deux fioles en cristal de 0^m,05 à 0^m,04 de diamètre

et de 0^m,08 à 0^m,12 de longueur visible calibrée.

Une douille *d* garnie d'une genouillère à coquille est fixée sur le milieu du tuyau et sert à le fixer sur un pied à 3 branches à une hauteur de 1^m,50 environ. On verse de l'eau, ou mieux un liquide coloré, dans cette espèce de siphon jusqu'à ce que ce liquide paraisse en même temps dans les deux tubes de verre *ff*; alors, en vertu des lois de l'équilibre des fluides, les surfaces contenues dans chaque tube sont dans le même plan horizontal AB.

Lorsqu'on se sert du niveau d'eau, on doit éviter les pertes d'eau dues au suintement ou à la vaporisation, il faut aussi éviter que l'eau de pluie s'introduise dans les fioles; éviter qu'il reste de l'air dans le tube, car il pourrait se dégager pendant l'opération, et le niveau du liquide baisserait. Deux opérateurs prenant rarement les mêmes points des onglets pour diriger les rayons visuels, il est nécessaire que toutes les visées d'une même station soient faites par la même personne. En hiver, pour éviter la congélation, on emploie de l'alcool au lieu de l'eau.

Le niveau d'eau est sujet à deux causes principales d'erreur, la *capillarité* et la *réfraction*.

Quand on plonge dans l'eau des tubes de verre creux, dont le diamètre intérieur est très-petit, on voit le liquide s'élever dans ces tubes et s'y maintenir au-dessus du niveau naturel du reste de la masse; cet effet est d'autant plus prononcé que le diamètre est plus petit, et dans tous les cas, la surface du liquide dans le tube n'est pas plane mais concave. Elle s'élève plus vers les parois qu'au centre du tube. C'est à ce phénomène qu'on a donné le nom de *capillarité* parce qu'il est d'autant plus prononcé que le tube est plus étroit. Il est rare que les fioles qui terminent le niveau soient d'un diamètre parfaitement égal, d'où il suit que l'ascension de l'eau est plus forte d'un côté que de l'autre.

Si l'intérieur de l'une des fioles était graissé l'eau s'y élèverait à une hauteur sensiblement moindre que dans l'autre.

Les longueurs des colonnes soulevées ou déprimées sont en raison inverse du diamètre des tubes. Ainsi, l'eau s'élève à 0^m,025 1654 dans un tube de 0^m,001 2914; et à 0^m,015 5861 dans un tube de 0^m,001 9038.

Lorsqu'on doute de l'exactitude du niveau d'eau, sous ce rapport, on prend, au moyen du renversement, deux visées sur un point quelconque. Dans le cas où la différence des cotes obtenues serait sensible, on doit rejeter l'instrument ou prendre la moyenne des deux visées qui deviendraient alors obligatoires pour chaque point à niveler.

La *réfraction* consiste en ce que lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu (l'air) dans un autre plus dense (le verre), il se dévie de la ligne droite en se rapprochant de la perpendiculaire à la surface du verre, de telle sorte qu'à une certaine distance, le centre du voyant de la mire paraît plus élevé qu'il ne l'est réellement.

Pour corriger l'erreur de la réfraction, soit fb direction de la visée réfractée et fb' direction vraie. Admettons que l'angle a est égal à 8 centièmes de l'angle au centre de la terre c . Or l'angle m étant la moitié de l'angle c , on aura



$$a = 0,08 \times 2m = 0,16m$$

A cause de la petitesse de l'angle c on peut admettre, sans erreur sensible, que les longueurs h' h sont proportionnelles aux angles a et m , on en déduit :

$$h' = 0,16h$$

On corrige à la fois les erreurs dues à la sphéricité du globe et à la réfraction en diminuant les cotes observées d'une quantité

$$h - 0,16h = \frac{0,84d^2}{2r} = \frac{d^2}{r} \times 0,42$$

Lorsque pour déterminer la hauteur relative de deux points on se place au milieu de l'espace qui les sépare, il n'y a plus lieu de tenir compte de ces causes d'erreur, parce que ces erreurs commises sur l'une et sur l'autre hauteur, en admettant des cotes correspondantes au niveau apparent, se trouvent dans ce cas les mêmes, on n'altère pas le résultat en prenant la différence de ces hauteurs au lieu de la différence des cotes correspondant au niveau vrai.

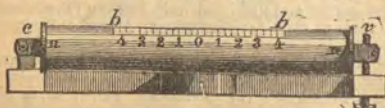
La portée extrême du niveau d'eau ne doit pas excéder 30 mètres.

Rectifications à opérer sur les hauteurs apparentes lues à la mire dans un nivellement.

DISTANCE en mètres.	CORRECTION relative à la sphéricité terrestre.	CORRECTION relative à la réfraction atmosphérique.	QUANTITÉ à retrancher de la hauteur lue à la mire.	DISTANCE en mètres.	CORRECTION relative à la sphéricité terrestre.	CORRECTION relative à la réfraction atmosphérique.	QUANTITÉ à retrancher de la hauteur lue à la mire.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
40	0.0001	0.0000	0.0001	200	0.0051	0.0005	0.0026
60	0.0005	0.0000	0.0002	300	0.0071	0.0011	0.0039
80	0.0008	0.0001	0.0004	400	0.0126	0.0020	0.0106
100	0.0008	0.0001	0.0007	500	0.0196	0.0031	0.0163
120	0.0011	0.0002	0.0009	600	0.0282	0.0043	0.0237
140	0.0015	0.0002	0.0015	700	0.0584	0.0061	0.0523
160	0.0020	0.0005	0.0017	800	0.0502	0.0080	0.0422
180	0.0025	0.0004	0.0021	900	0.0636	0.0101	0.0535

Niveau à bulle d'air

Le niveau à bulle d'air proprement dit se compose d'un tube en verre légèrement infléchi dans son milieu et logé dans une enveloppe en cuivre nn .



Cette enveloppe porte à sa partie supérieure une échancrure bb au moyen de laquelle on se rend compte de la disposition de la bulle. Le tout repose sur un bâti dont la forme varie selon les usages. Le tube en verre contient de l'alcool, de l'éther ou du sulfure de carbone qui paraît être préfé-

rable. La bulle est introduite dans le tube en verre qui est ensuite hermétiquement fermé. Le tube est porté sur son bâti par une charnière *c* d'un côté, et de l'autre, par une vis *v*. Cette vis sert à rétablir l'horizontalité quand l'instrument est dérangé.

Le rayon de courbure du tube est ordinairement de 45 mètres.

La sensibilité du niveau, c'est-à-dire la propriété qu'a la bulle de se déplacer lorsque le tube n'est pas horizontal dépend de ce rayon. Si l'on dépassait beaucoup le chiffre de 45 mètres, il deviendrait très-difficile de centrer la bulle. Une condition essentielle de l'exactitude de l'instrument est une égalité parfaite dans la capacité des deux moitiés du niveau. Plusieurs de ces instruments portent sur la partie apparente du tube de verre un certain nombre de divisions, ainsi que l'indique la figure.

Pour se servir du niveau à bulle d'air, on le place comme le niveau de maçon sur le champ d'une règle parfaitement dressée et suivant deux lignes faisant entre elles un angle assez ouvert.

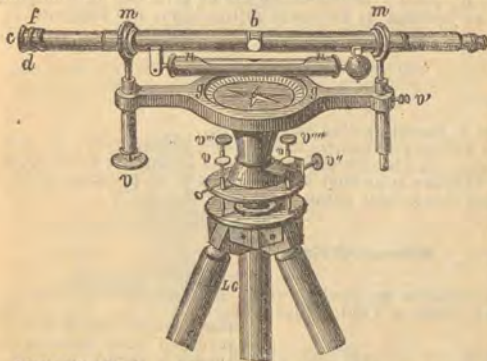
Niveau à bulle d'air à pinnules



Cet instrument se compose d'un niveau à bulle d'air *ab* ajusté sur une règle en cuivre *cc* qui porte à ses extrémités deux pinnules *pp*, toutes deux d'une égale hauteur exactement perpendiculaires au tube du niveau et présentant chacune une ouverture carrée *nn* croisée par deux fils.

Niveau à bulle d'air à lunette

Cet instrument diffère du précédent en ce que les pinnules sont remplacées par une lunette astronomique couchée à côté du niveau. Cette lunette est



formée d'un oculaire et d'un ou deux objectifs ayant à leur foyer commun un réticule formé de deux fils.

Le niveau à bulle d'air à lunette, le plus généralement employé autrefois, est celui représenté ci-contre. Il se compose d'une lunette *abc*, d'un niveau à bulle d'air *mn*, d'une boussole *gg* et de différents systèmes de viroles, de vis, d'écrous, de montures de rappel, etc., qui permettent de ramener toutes les pièces à un niveau ou à un équilibre parfait.

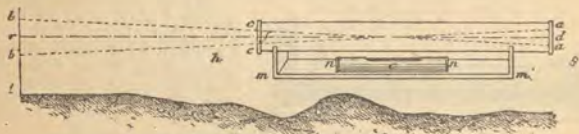
L'exactitude de cet instrument dépend du parallélisme de l'axe optique de la lunette avec celui du niveau.

On entre l'instrument en s'assurant que l'axe optique qui donne la direction du rayon lumineux passe par le croisement des fils. Pour s'assurer que cela a lieu on commence par avancer ou reculer l'objectif *a* qui a un mouvement de va-et-vient, de manière à distinguer nettement les fils du diaphragme et les objets placés au loin.

On vise à un point remarquable que l'on fait coïncider avec celui de croisement des fils, puis on imprime à la lunette un mouvement de rotation dans les colliers *m m*, qui la soutiennent de manière à amener le point *d* en *f*. Si les deux

visées coïncident, la lunette est centrée. Dans le cas contraire, l'axe optique se dirige au-dessus ou au-dessous. On le ramènera à la coïncidence en abaissant ou en élevant le diaphragme à l'aide d'une clef *b*. En faisant parcourir au diaphragme la moitié de la différence des deux coups et à l'instrument entier l'autre moitié, au moyen de la vis *v*, on arrivera à cette condition.

On établit le niveau horizontalement en amenant la bulle d'air *c* à la partie la plus élevée du tube *mn*; soit ensuite *ab* direction de l'axe optique, et *gh* celle du niveau qui est horizontale. Si on enlève la lunette de ses colliers *mm'* et qu'on lui fasse faire une demi-révolution horizontale de manière à amener le point *c* en *a'* et le point *a* en *c'*, on voit qu'en replaçant alors la lunette, l'axe optique prendra la direction *ab'* ayant une inclinaison égale et contraire à celle de *ab*. En divisant la différence *bb'* en deux parties égales et abaissant le support *m* au moyen de la vis *v* jusqu'à ce que la direction *ab* vienne passer par *r* = $\frac{1}{2} bb'$ et élevant pareillement le diaphragme en *a*, d'une hauteur $ad = \frac{1}{2} aa'$ l'axe optique sera *dr* parallèle à celui du niveau *gh* et restera invariable quand on ramènera *a* et *c* dans leur première position.



A la rigueur, on peut se servir d'un niveau qui n'est pas réglé et parvenir à un résultat exact à l'aide de certaines corrections. Ainsi supposons que la lunette soit bien centrée, mais qu'à cause de l'inégale hauteur des colliers, son axe optique ne soit pas parallèle à l'axe du niveau à bulle d'air, on aura encore la hauteur exacte du point *r* au-dessus du sol et telle que la donnerait un niveau bien réglé, en prenant la moyenne arithmétique des hauteurs *tb*, *tb'*, ainsi :

$$\frac{tb + tb'}{2} = tr$$

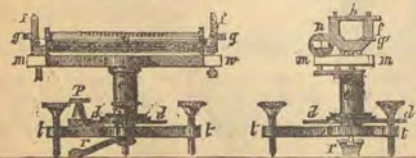
Il en serait de même si la lunette n'était pas centrée.

Si l'instrument avait le défaut d'excentricité et de non-parallélisme, on donnerait deux coups de niveau en transportant au second le point *a* en *a'*, puis, retournant la lunette de manière à amener le point *c* en *a*, on prendrait encore deux visées et la moyenne des quatre serait la hauteur demandée.

Niveau d'Egault

Cet instrument, dû à l'ingénieur en chef de ce nom, se compose de deux tablettes circulaires, l'une inférieure, l'autre supérieure. Un bâti *mm* repose par une colonne creuse sur un pivot en acier attachant au trépied et portant un disque plein *dd*; *p* est une pince qui sert à embrasser le disque; *tt* est un trépied, *n* est la bulle d'air, *ff* sont des fourchettes qui reçoivent la lunette supportée par deux collets.

Les rayons lumineux, pénétrant par l'extrémité de la lunette, traversent un assemblage de verres, appelé *objectif*, se réfractent à l'intérieur et forment une image renversée de la



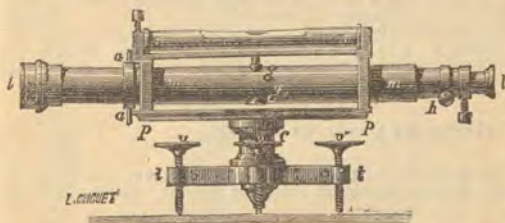
mire et des objets environnants. Cette image, qui est très-petite, se regarde à travers un appareil grossissant appelé *oculaire*.

Afin de conserver à l'image toute sa netteté, on ne la fait pas redresser par l'oculaire, de sorte que les objets sont vus de haut en bas; par suite, les points vus au-dessous du fil horizontal sont au-dessus du plan de visée et inversement.

Entre l'objectif et l'oculaire se trouvent deux fils qui se croisent à angle droit et sont fixés sur un anneau appelé *réticule* que l'on peut manœuvrer à volonté au moyen d'une vis. Le réticule est fixé à un tube qui entre à frottement doux dans le corps de la lunette. L'oculaire est fixé dans un autre tube qui entre à frottement doux dans celui du réticule. Quand on veut viser sur la mire, on fait pénétrer le tube qui contient l'oculaire dans celui qui porte le réticule, jusqu'à ce qu'on distingue bien les fils, puis on fait mouvoir l'ensemble des deux tubes jusqu'à ce que l'image de la mire soit bien nette. Dans cette position, l'image doit se trouver au point de croisement des fils.

Niveau Lenoir

Cet instrument consiste en un simple plateau circulaire *pp* que l'on rend ho-



horizontal au moyen de trois vis calantes *v v' v''*. La lunette *ll* passe dans deux prismes *m m* à base carrée.

Par ces prismes, elle repose sur le plateau, et un tourillon *g* la maintient au centre de ce plateau quand on la fait mouvoir. Un autre

tourillon *g* pénètre dans la règle *ii* du niveau à bulle d'air *nn*, lequel repose sur les prismes. Une crémaillère *h* sert à placer exactement le réticule.

a a sont deux appendices percés d'un trou, dans l'un desquels pénètre une petite chevillette dont est muni le bâti du tube à bulle d'air, de manière que celui-ci porte toujours sur les prismes exactement à la même place.

Le réglage de cet instrument ne comporte que deux opérations au lieu de trois: le réglage de la bulle d'air et le centrage de la lunette.

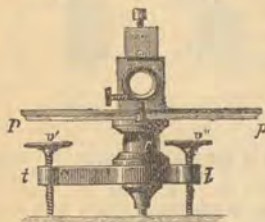
Pour régler la bulle, on place le tube sur le plateau en faisant pénétrer à la fois, dans le trou cylindrique du plateau et dans celui du bâti du tube, un petit goujon préparé à cet effet. On place alors le tube parallèlement à deux des vis calantes, on amène la

bulle au milieu et l'on retourne le tube bout pour bout. Si alors la bulle n'est pas au milieu, on l'y ramène au moyen de la vis de rappel du tube et de l'une des vis calantes, en rachatant à moitié de la différence par chaque vis.

Le centrage de la lunette s'obtient comme il est dit ci-devant, page 165.

Dans toutes ces opérations de demi-révolutions ou de retournement, il faut remarquer que l'erreur se double, en sorte qu'en manœuvrant une vis, il faut ne la faire tourner que de la quantité nécessaire pour corriger la moitié de la différence entre les deux résultats consécutifs.

Avec le niveau à pinnules il est difficile de bien distinguer la ligne de foi à plus de 50 mètres; quant aux niveaux à lunettes, ils peuvent atteindre à 300 et même à 400 mètres, suivant la bonté de leurs lunettes.



Niveau de pente

Le niveau de pente se compose d'un niveau à bulle d'air *ii* placé sur une règle en cuivre portant à ses deux extrémités deux pinnules verticales *c* et *c'*



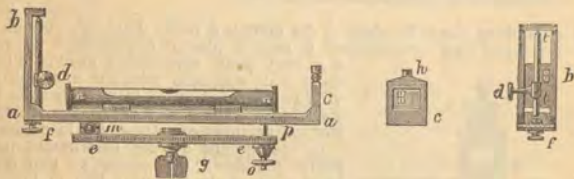
placées à un mètre de distance. La pinnule de visée *c* est formée d'un petit trou ou d'une fenêtre carrée portant deux crins, l'un vertical, l'autre horizontal. La pinnule *c'*, plus élevée que la première, est formée d'une fenêtre rectangulaire, graduée sur ses côtés latéraux et munie d'un crin vertical croisé par deux crins horizontaux *m* et *n*, dont le premier forme avec le croisement *o* de la pinnule *c* la direction horizontale *oa* parallèle à l'axe *ff'* du niveau; le second crin *n* est mobile et sert, d'après sa situation par rapport à la graduation des côtés sur lesquels il s'appuie, à indiquer l'inclinaison par mètre.

Ainsi, soit à déterminer la pente d'un terrain incliné suivant *do*. Après s'être assuré que l'axe de l'instrument *aa* est parallèle à l'axe du niveau *ff'*, ce que l'on obtient en abaissant ou en élevant le crin horizontal *o*, du point *o* on verra en *d* à une hauteur égale à celle de l'instrument au-dessus du sol (soit 1^m,50) en amenant le crin horizontal *n* dans la direction de cette visée. La cote *mn* indiquée sur l'échelle sera l'inclinaison cherchée.

Si on devait donner une pente déterminée à une route, soit 0^m,03 par mètre, on amènerait le fil horizontal *n* à la division 0^m,03 de l'échelle, et tous les points compris dans la direction *od* seraient inclinés de 0^m,03 par mètre, par rapport au point *o*.

Niveau de pente de Chézy

Cet instrument se compose d'une règle en cuivre *aa* supportant un niveau à bulle d'air *nn*; *b* et *c* sont deux pinnules de longueur inégale. La plus longue



des deux pinnules est formée d'une plaque mobile qui se meut entre les montants d'un cadre rectangulaire; *d* est une vis qui sert à manœuvrer deux brides attachées à la plaque et embrassant un tube creux *tt*; *f* est une vis sans fin qui traverse le tube dans toute sa longueur. Sur la plaque, à droite et à gauche du tube, se trouvent une fenêtre rectangulaire traversée par deux fils en croix et un oculaire placé à la même hauteur que le fil horizontal de la fenêtre. Sur l'un des montants du cadre sont une échelle et un vernier gradués qui servent à apprécier la hauteur de la plaque entre les montants. La pinnule *c* est formée d'une plaque semblable à celle dont nous venons de parler, mais sans échelle ni vernier. Les fenêtres et l'oculaire sont disposés de manière que lorsque les deux pinnules sont en place, l'oculaire de l'une correspond à la fenêtre de l'autre et inversement.

Cet instrument peut servir au besoin comme niveau ordinaire; pour cela, il faut, l'instrument étant réglé, que la ligne de foi du vernier de la pinnule *b* corresponde au zéro de l'échelle latérale et que les deux plans de visée déterminés par chacun des oculaires et le fil horizontal de la fenêtre de l'autre pinnule soient parallèles à la règle *aa*; enfin que cette règle soit horizontale

m est une charnière qui relie la règle *aa* à une seconde règle inférieure *ce* qui se relie elle-même par un goujon ou genou à la coquille *g* dont la douille se place sur le pied de l'instrument; *o* est un écrou monté sur une vis *p* et sert à amener la bulle entre ses repères. On vérifie le niveau de pente au moyen d'un simple retournement. S'il y a une correction à faire, elle s'obtient en relevant ou en baissant le cadre de la pinnule *c* au moyen de la vis *h*.

MIRES

On se sert, pour fixer nettement les points de mire au moyen des niveaux, d'instruments qui portent le nom de *mires*. On les divise en deux classes : Les *mires à voyant* et les *mires parlantes*.

Mire à voyant

La mire à voyant se compose de

deux règles en bois dur bien sec, de deux mètres de long, l'une dans l'autre; l'une de ces règles est fixe et porte à son pied un talon en fer *t* muni d'une semelle ou patin *S*, l'autre est mobile et porte une embrasse en cuivre vers sa partie inférieure. Une seconde embrasse, qui entoure les deux règles réunies porte une plaque de tôle *V* appelée *voyant* et peut monter, descendre ou rester fixe, suivant que l'on desserre ou que l'on serre une vis de pression *r* qui la traverse. Le *voyant* a sa face de visée partagée en quatre rectangles égaux. Deux des rectangles situés sur une même diagonale sont peints en rouge et les deux autres en blanc afin de rendre plus apparente la ligne de foi *ff*.

Quand la cote est inférieure à deux mètres, il suffit de faire glisser le voyant le long de l'ensemble des règles et de l'arrêter au point indiqué par le niveleur, dans ce cas la cote se lit sur le derrière des règles. Si la cote doit dépasser deux mètres,

on arrête le voyant au sommet de la règle mobile que l'on fait glisser dans la coulisse de manière à obtenir la cote cherchée; on lit alors la cote sur le côté de la règle mobile.

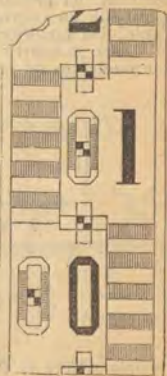
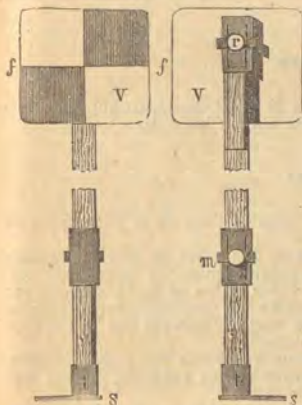
Un petit vernier *m* adapté à l'embrasse sert à donner la cote aussi exactement que possible. Le niveleur doit veiller à ce que la mire ne penche ni à droite ni à gauche, et le porte-mire à ce qu'elle ne penche ni en avant ni en arrière.

Mire parlante

Les *mires parlantes* sont construites de telle sorte que l'opérateur puisse lui-même lire la cote. Ces mires offrent un avantage réel sur les mires à voyant.

La figure ci-contre donne le dessin d'une mire parlante en usage dans les services de Paris. La division est formée par des bandes rouges et blanches de un centimètre de hauteur réunies par groupes de dix centimètres séparés entre eux par un voyant. Ces groupes portent deux numéros, l'un rouge et noir indique des mètres, l'autre noir indique les décimètres.

Au milieu des chiffres marquant les mètres se trouve un petit voyant dont le centre partage les décimètres en deux parties égales, et indique par conséquent



les cinq centimètres. La hauteur de ces chiffres étant aussi de cinq centimètres, le casier dans lequel ils sont inscrits se trouve partagé en quatre parties égales de vingt-cinq millimètres; c'est la division ainsi formée qui sert pour les nivellements à grande distance. Les bandes de couleur composant les chiffres et les voyants sont disposées de telle sorte qu'en les combinant avec les divisions de centimètres on partage ces dernières en tranches de cinq millimètres.

Nivellement simple

Quand on relève d'une même station toutes les cotes des points dont on veut déterminer la hauteur relative, on fait un nivellement simple.

Nivellement composé

Un enchaînement de nivellements simples rattachés les uns aux autres par des cotes d'un même point et obtenues de deux ou de plusieurs stations consécutives constitue un nivellement composé.

Coups arrière

Le coup arrière est celui que l'on donne sur le point de départ qui, en quelque sorte, doit servir de terme de comparaison à tous les autres.

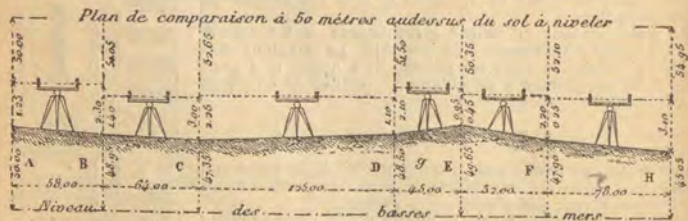
Coups avant

Les coups avant sont ceux que l'on donne dans le sens de la ligne que l'on veut niveler.

Il faut rapporter dans un nivellement composé, les cotes de tous les points à un même plan de niveau passant à une hauteur donnée au-dessus ou au-dessous du point de départ; la différence des cotes prises de deux stations sur un même point, donnant la différence de niveau de ces stations, devra s'ajouter ou se retrancher à l'ordonnée de la première station suivant que la seconde s'éloigne ou se rapproche du plan de comparaison.

Autrefois on prenait le plan de comparaison au-dessus des points nivelés. Aujourd'hui, au contraire, on le prend au-dessous et l'on rattache, autant que possible, les nivellements au niveau moyen de la mer.

La figure ci-contre montre suffisamment qu'en prenant le plan de comparaison au-dessus du terrain, les cotes de nivellement, c'est-à-dire la différence



des coups arrière et des coups avant, s'ajoutent à l'ordonnée fixe, lorsque le terrain est en pente, et se retranchent lorsque le terrain est en rampe. Le contraire a lieu lorsque le plan de comparaison est le niveau des basses mers.

Dans les nivellements composés, on procède de la manière suivante :

Ainsi, soit que l'on ait à faire le nivellement général de Paris, par exemple,

on prendra pour point de départ un repère invariable tel que A, situé à 50 mètres au-dessus du niveau des basses mers. Nous supposons qu'on opère avec un niveau à bulle d'air.

On viendra se mettre en station entre le point A et le point B. On prendra une cote arrière sur le point A, soit $1^m,25$, puis une cote avant sur le point B, soit $2^m,50$; la différence $1^m,05$, retranchée, de l'ordonnée fixe 50 mètres, donne $48^m,95$ pour la cote au point B. On procéderait de même pour le point C et le point D et ainsi de suite. Néanmoins, on éviterait ces opérations multiples s'il était possible de trouver entre A et H un point tel qu'on pût apercevoir plusieurs stations. Ainsi, en plaçant le niveau au point *g* on découvre tous les points compris entre A et H, on prendra successivement les cotes arrière sur A, sur B, sur C et sur D, et les cotes avant sur E, sur F et sur H. La différence de la cote au point A avec chacune des cotes obtenues devra s'ajouter ou se retrancher de l'ordonnée fixe suivant que le terrain est en rampe ou en pente.

Après avoir décrit, en allant de station en station, un circuit plus ou moins étendu, on reviendra en définitive prendre une cote sur le repère A pour vérifier toutes les opérations faites sur l'exactitude desquelles on ne pourra compter qu'autant qu'on trouvera au retour l'ordonnée de 50 mètres qu'on lui avait donnée au départ.

On aura soin de prendre exactement la distance entre les points nivelés, à moins que ces points ne soient suffisamment indiqués sur le plan, tels que des angles de rues, d'édifices, etc.

On appelle généralement un circuit un *polygone*, et on dit qu'on a fermé le *polygone* quand la vérification n'a fait découvrir que des erreurs négligeables. On entreprendra ensuite un autre *polygone* dans une autre direction, puis un troisième et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on ait couvert l'espace à niveler d'un réseau d'opérations se vérifiant l'une par l'autre.

On suit ordinairement en nivelant les rues, les routes, les chemins, les cours d'eau et généralement toutes les lignes qui figurent sur le plan où on doit rapporter le nivellement parce que cette manière d'opérer rend ce dernier travail extrêmement facile. Cependant comme ce qui importe le plus est d'obtenir la représentation la plus exacte du terrain avec le moins possible d'opérations, on ne doit niveler que les points où la pente du terrain change parce qu'avec la hauteur de ces points et à l'aide du calcul on peut toujours trouver approximativement les hauteurs de tous les autres.

Il est avantageux d'employer le niveau d'eau concurremment avec le niveau à bulle d'air, mais seulement pour les détails, les remplissages entre deux repères déterminés par le niveau à bulle d'air et surtout dans les endroits où la pente du terrain est très-forte; dans ces endroits le niveau d'eau est plus avantageux parce qu'il se place en position beaucoup plus vite que le niveau à bulle d'air.

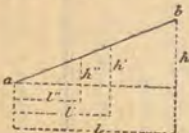
Les opérations de nivellement sont d'autant plus exactes que toutes les cotes ont été prises à des distances d'autant plus courtes de l'instrument

Cotes intercalaires entre deux cotes connues

l Distance horizontale entre les deux points *a* et *b*.

h différence de niveau.

p pente par mètre.



On aura :

$$1 : p :: l : h \quad \text{d'où } h = pl$$

Par la même raison :

$$h' = pl' \quad h'' = pl''$$

Tableau et Carnet de nivellement

On se sert pour établir clairement les résultats d'un nivellement *composé* dans une direction déterminée, de carnets ou de tableaux disposés *ad hoc*.

Le tableau suivant, qui est le plus usité, reproduit le nivellement représenté page 168.

NUMÉROS des STATIONS	DISTANCE entre les points nivelés,	NUMÉROS de ces POINTS.	COTES ARRIÈRE directe- ment observées	MOYENNE.	COTES AVANT directe- ment observées	MOYENNE.	DIFFÉRENCES en + en -	COTES FINALES.	NOTES et OBSERVATIONS.	FIGURE DU TERRAIN.
	m.		m.	m.						
1	58	A	1.25 1.24	1.25			...	50.00		
2	64	B	1.41 1.39	1.40	2.51 2.29	2.50	1.05 ...	48.95		
3	125	C	2.26 2.24	2.25	5.02 2.98	5.00	1.60 ...	47.55		
4	45	D	2.11 2.09	2.10	1.11 1.09	1.10	1.15 ...	48.50		
5	52	E	0.46 0.44	0.45	0.935 0.915	0.95	...	49.65		
6	78	F	0.255 0.245	0.25	2.21 2.19	2.20	1.75 ...	47.90		
		H			5.12 5.08	5.10	2.85 ...	45.05		
		TOTAUX.		7.70		12.65	2.50	4.95		
		DIFFÉRENCES						4.95		

D'où l'on voit que la différence de la somme des coups arrière avec la somme des coups avant doit être exactement la même que celle des cotes de départ et d'arrivée, et que par conséquent, s'il ne s'agissait que de déterminer les cotes de deux points extrêmes tels que A et H, il serait inutile de calculer les cotes finales des points intermédiaires.

MÉCANIQUE

Mouvement uniforme — Vitesse

V , Espace parcouru dans une seconde.

t , Temps.

e , Espace parcouru pendant le temps t .

$$\text{On a : } V = \frac{e}{t} ; \quad e = Vt ; \quad t = \frac{e}{V} .$$

Si on considère une force f agissant sur une masse m et lui imprimant une vitesse v , on aura :

$$f = mv ; \quad m = \frac{f}{v} ; \quad v = \frac{f}{m} .$$

Si on applique la force ci-dessus à une autre masse M , cette dernière prendra une vitesse V :

$$V = \frac{mv}{M} .$$

Si on applique une force f pour élever un poids P à une hauteur h , pendant un temps t , on a

$$f = \frac{Ph}{t} \text{ car } f = mv, \quad v = \frac{e}{t} \quad \text{donc : } f = \frac{mc}{t} = \frac{Ph}{t}$$

Mouvement accéléré. — Lois de la chute des corps.

l , Espace parcouru pendant une seconde $= \frac{1}{2} g = 4,90448$

g , Vitesse acquise après la première seconde $= 9,80896$

V , Vitesse à la fin d'un temps quelconque t .

t , Temps.

h , Hauteur totale de la chute.

$$l = \frac{g}{2} = \frac{h}{t^2} = 4,90448$$

$$g = 2l = 9,80896$$

$$V = gt = \frac{2h}{t} = \sqrt{2gh} = \sqrt{h} \times 4,4292$$

$$t = \frac{V}{g} = V \times 0,10195 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{h} \times 0,43155 = \frac{2h}{V}$$

$$h = \frac{gt^2}{2} = \frac{lV^2}{g^2} = \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{19,6176} = V^2 \times 0,050975 = \frac{Vt}{2}$$

D'où l'on voit que les vitesses des corps tombant dans le vide sont proportionnelles au temps, et les hauteurs au carré du temps mis à les parcourir.

VALEURS DE $V = gt$ ET DE $h = \frac{gt^2}{2}$ CORRESPONDANT A DIFFÉRENTES VALEURS
DU TEMPS t .

VALEURS DE			VALEURS DE		
t	V	h	t	V	h
	m.	m.		m.	m.
0 ^{''} ,1	0,980896	0,049044	2 ^{''} ,6	25,505296	55,455744
0,2	1,961792	0,196176	2,7	26,484192	58,785076
0,5	2,942688	0,441596	2,8	27,463088	58,450496
0,4	3,923584	0,784704	2,9	28,441984	41,246004
0,5	4,904480	1,226100	3,0	29,420880	44,459690
0,6	5,885376	1,765584	3,1	30,400776	47,451284
0,7	6,866272	2,405156	3,2	31,388672	50,221056
0,8	7,847168	3,158816	3,3	32,369568	55,408916
0,9	8,828064	3,927564	3,4	33,350464	56,694864
1,0	9,808960	4,904400	3,5	34,331360	60,078900
1,1	10,789856	5,954324	3,6	35,312256	65,561024
1,2	11,770752	7,062556	3,7	36,293152	67,141256
1,5	12,751648	8,288456	3,8	37,274048	70,819556
1,4	15,752544	9,612624	3,9	38,254944	74,595924
1,5	14,715440	11,054900	4,0	39,235840	78,470400
1,6	15,694336	12,555264	4,1	40,216736	82,442964
1,7	16,673232	14,173716	4,2	41,197632	86,515616
1,8	17,652128	15,890256	4,3	42,178528	90,682556
1,9	18,631024	17,704884	4,4	43,159424	94,949184
2,0	19,611920	19,617600	4,5	44,140320	99,314400
2,1	20,598816	21,628404	4,6	45,121216	103,777104
2,2	21,579712	25,757296	4,7	46,102112	108,358196
2,5	22,560608	28,944276	4,8	47,083008	112,997576
2,4	23,541504	28,249544	4,9	48,063904	117,754644
2,5	24,522400	30,652500	5,0	49,044800	122,610000

VALEURS DE QUELQUES MULTIPLES DE g .

	g	g^2	g^3	$\frac{1}{g}$	$\frac{1}{2g}$	$\frac{1}{g^2}$
1	9,80896	96,21256	945,72975	0,40195	0,05097	0,01059
2	19,61792	192,42511	1887,45947	0,20598	0,40195	0,02078
3	29,42688	288,63767	2851,18920	0,50583	0,45292	0,05117
4	39,23584	584,85025	5774,91895	0,40780	0,20590	0,04156
5	49,04480	481,06279	4718,64867	0,50975	0,25487	0,05195

	\sqrt{g}	$\sqrt{2g}$	$\sqrt{\frac{1}{g}}$	$\sqrt{\frac{1}{2g}}$	$\sqrt[3]{g}$	$\sqrt[3]{\frac{1}{g}}$
1	3,15190	4,42918	0,51929	0,22578	2,14062	0,46716
2	6,26580	8,85836	0,65859	0,45156	4,28125	0,95451
3	9,59570	15,28754	0,95788	0,67754	6,42185	1,40147
4	12,82760	17,71672	1,27718	0,90512	8,56246	1,86862
5	15,65950	22,14590	1,59647	1,12890	10,70508	2,35578

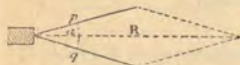
Force centrifuge

La force centrifuge f d'un corps est égale au produit de la masse m par le carré de sa vitesse V , divisé par la distance d au centre de circulation.

$$f = \frac{mV^2}{d}$$

Résultante des forces. — Couples et moments

Soient deux forces p et q , R résultante, a angle formé par la direction des deux composantes p et q ; on aura :



$$R = \sqrt{p^2 + q^2 + 2pq \cos. a}$$

Si $a = 90^\circ$ on a : $\cos. a = 0$ et $R = \sqrt{p^2 + q^2}$

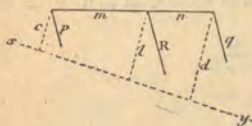
Si $a = 0^\circ$ ou 180° et que p et q aient même direction, on aura :

$$\cos. a = 1; \quad R = p + q$$

La résultante de deux forces parallèles p et q étant R , on a :

$$R = p + q \quad \text{ou} \quad R = p - q$$

suivant que les forces agissent dans le même sens ou en sens contraire.



Le point d'application de R devra être tel que l'on ait :

$$pm = qn$$

Soit xy l'axe des moments, on a :

$$Rl = pc + qd$$

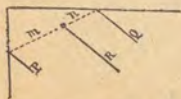
Et si l'axe coupe la ligne d'application des forces :

$$Rl = (qd - pc)$$

Si on prend un point sur le plan des deux forces pour centre des moments, on aura, en appelant p, q, r , les distances des forces au centre des moments :

$$r = \frac{Pp + Qq}{R}$$

Centre de gravité des lignes, surfaces et volumes



Deux droites quelconques faisant angle.

Le centre de gravité est situé sur la ligne qui joint leurs milieux et la partage en raison inverse des deux lignes :

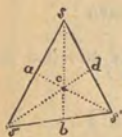
En effet on aura comme dessus :

$$R = P + Q \quad \text{et} \quad Pm = Qn.$$

*Lignes brisées*

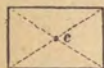
On a :

$$\begin{aligned} oc' & : c'd & :: d & : a + b \\ c'c'' & : c''f & :: f & : a + b + d \\ c''c''' & : c'''g & :: g & : a + b + d + f \end{aligned}$$

Triangles quelconques.

Le centre de gravité est placé au point d'intersection des droites allant du sommet d'un des angles sur le milieu du côté opposé, de telle sorte qu'on a toujours :

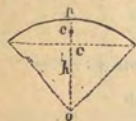
$$\begin{aligned} bc & = 1/3 bs, \\ ac & = 1/3 as, \\ dc & = 1/3 ds. \end{aligned}$$

*Parallélogrammes,*

Intersection des diagonales.

Arcs de cercle quelconques.

Oc est quatrième proportionnelle à l'arc, à la corde $ab = C$ et à $R \cdot P =$ développement de l'arc.



$$Oc = \frac{RC}{p}$$

Si l'arc est de 180° on aura :

$$Oc = \frac{7}{11} R$$

*Quart de circonférence.*

$$Oc = \frac{R \sqrt{2}}{\frac{1}{2} \pi} = \frac{7}{11} R \sqrt{2}$$

*Arc de 60°*

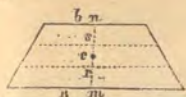
$$oc = \frac{21}{22} R$$

*Parabole.*

$$ac = \frac{5}{5} ab = \frac{5}{5} x$$

Trapèze

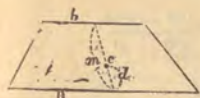
Menez mn par le milieu des deux bases B, b , et partagez mn en trois parties égales.



1° $cr : cs :: b : B$ et $cr + cs : cr :: B + b : b$

D'où :

$$cr = \frac{1}{3} \frac{mn \times b}{B + b}$$



2° On aurait pour la valeur de d :

$$d = \frac{\frac{m}{3} (2b + B)}{B + b} = \frac{1}{3} m + \frac{1}{3} \frac{mb}{B + b}$$

3° Portez B en prolongement de b , et, en sens contraire, b sur le prolongement de B , joignez les extrémités par une droite qui coupera mn au point c .

4° Si on menait une parallèle à B et b par le milieu de m , on aurait pour la distance d' du centre de gravité à cette ligne :

$$d' = \frac{1}{6} m - \frac{1}{3} \frac{mb}{B + b}$$

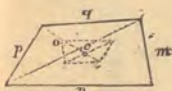
Quadrilatère



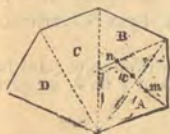
1° Partager en deux triangles dont on cherche les centres de gravité, que l'on joint par une droite. On partage ensuite cette droite en parties inversement proportionnelles aux surfaces des deux triangles.

2° Partagez en deux triangles, cherchez le centre o de l'un, menez deux droites parallèles aux deux côtés

$mn = \frac{1}{3} m, \frac{1}{3} n$; menez deux autres parallèles à p et q ; l'intersection des diagonales sera le centre de gravité du quadrilatère.



Polygones quelconques



On divise en triangles dont on cherche les centres de gravité deux à deux :

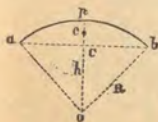
$cn : cm :: A : B$.

Secteur de cercle



$$oc = \frac{2}{3} \frac{\text{corde} \times r}{\text{arc } p}$$

Segment de cercle



$$oc = \frac{2 \left(\frac{1}{2} C \right)^3}{3 \text{ surf. segment}} = \frac{C^3}{12 \text{ surf. segment}} = \frac{2C (r^2 - h^2)}{3 (pr - hc)} = \frac{C^3}{6 (pr - hc)}$$

Demi-segment.

$$cc' = \frac{f^2 (h + r)}{6 \text{ surf. } \frac{1}{2} \text{ segment}}$$



Voussoir

$$cc' = \frac{2}{3} \frac{CR^2 - C'r^2}{PR - pr}$$

Centre de gravité des solides

Le centre de gravité d'un prisme est au milieu de la droite qui joint les centres de gravité des deux bases.

Celui d'un cylindre, sur le milieu de son axe.

Celui d'une sphère, d'un ellipsoïde, au centre de ces figures.

Celui d'une demi-sphère, sur son axe, aux $\frac{3}{8}$ à partir du centre.

Celui d'un secteur sphérique. On a pour sa distance x au centre de la sphère:

$$x = \frac{4}{5} \left(r - \frac{f}{2} \right)$$

Celui d'un segment sphérique dont V est le volume :

$$x = \frac{\pi f^2 \left(r - \frac{f}{2} \right)^2}{V}$$

Celui d'un cône ou d'une pyramide quelconque, sur la droite qui joint le sommet au centre de gravité de la base et aux $\frac{3}{4}$ de cette ligne à partir du sommet.

Celui d'un tronc de pyramide ou de cône se trouve sur la droite qui joint les centres de gravité des deux bases, à une distance x de B et y de b, de sorte qu'on ait

$$\frac{x}{y} = \frac{B + 3b + 2\sqrt{Bb}}{b + 3B + 2\sqrt{Bb}}$$

Pour le tronc de cône on aura :

$$x = \frac{h(R+r)^2 + 2r^2}{4(R+r)^2 - Rr}$$

Celui d'un parabolôïde aux $\frac{2}{5}$ de x à partir du sommet a .

Leviers

Dans les conditions d'équilibre on aura toujours :

$$Pm = Rn ; P = \frac{Rn}{m} ; R = \frac{Pm}{n}$$

Pour le levier coudé, on aura :

$$Pm' \sin. b = Rn' \sin. a, \text{ ou } Pm_b = Rn ;$$

$$Pm' \cos. b = Rn' \cos. a ;$$

$$P = \frac{Rn' \sin. a}{m' \sin. b} ; R = \frac{Pm' \sin. b}{n' \sin. a}$$

Pour le levier composé, si P fait équilibre à R, la puissance sera à la résistance en raison composée des puissances qui équilibrent la résistance dans chaque levier pris séparément. Ainsi, si on a, dans le levier A, P : R :: 1 : 5, dans le levier B, P : R :: 1 : 6, dans le levier C, P : R :: 1 : 4, on aura pour les trois leviers réunis :

$$P : R :: 1 : 5 \times 6 \times 4 : 120$$

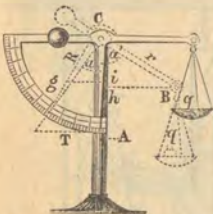
Peson

Les conditions d'équilibre sont les mêmes que dans le levier, c'est-à-dire que l'on doit avoir (P représentant le poids de l'aiguille CA) :

$$P : q :: Bh : gi, \text{ d'où } P \times gi = q \times Bh$$

Appelons R distance *cg* du centre de gravité de l'aiguille à l'appui, *r* longueur du bras CB où le corps est suspendu. on aura :

$$gi = R \sin. a ; Bh = r \sin. a' = r \cos. a$$



L'équation de l'équilibre devient donc, en substituant :

$$P \times R \sin. a = q \times r \cos. a$$

D'où :

$$\text{Tang. } a = q \frac{r}{R \times P}$$

Et enfin :

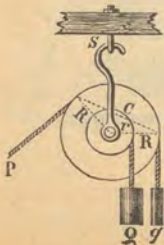
$$P : q :: r : \text{tang. } a \times R$$

Poulics

1° *Poulie fixe*. Les conditions d'équilibre donnent :

$$P = q$$

Et si la poulie avait une gorge concentrique dont le rayon $r = \frac{R}{2}$ la résistance Q serait = 2q.



Si la direction des forces forme un angle quelconque. la charge S au point d'appui sera à l'une des deux forces

comme la sous-tendante de l'arc embrassé par la corde est au rayon de la poulie. Ainsi on aura :

$$S : P : q :: C : R ; S = \frac{PC}{R} = \frac{qC}{R}$$

Et si les cordons sont parallèles :

$$S = 2P = 2q$$

2° *Poulie mobile*. On doit avoir :

$$P : q :: r : c ;$$

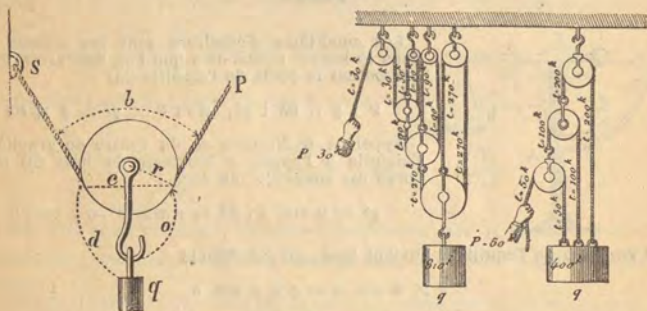
où :

$$Pc = qr ; P = \frac{qr}{c} ; q = \frac{Pc}{r} , \text{ etc.}$$

On aura pour la charge au point d'appui S et sur la chape q.

$$S : P : q :: \sin. o : \sin. d : \sin. b .$$

$$S = \frac{P \sin. o}{\sin. d} = \frac{q \sin. o}{\sin. b} = \frac{(P + q) \sin. o}{\sin. d + \sin. b} ; q = \frac{(P + S) \sin. b}{\sin. o + \sin. d}$$



3° Si on a plusieurs poulies mobiles disposées comme l'indique la figure ci-dessus, soit n nombre de poulies mobiles à deux brins :

$$P : q :: 1 : 2^n , \text{ et } P = \frac{q}{2^n} ; q = P 2^n$$

$$n = \frac{\log. q - \log. P}{\log. 2}$$

soit n nombre de poulies mobiles à trois cordons, comme ci-contre :

$$P : q :: 1 : 3^n ; P = \frac{q}{3^n} ; q = P 3^n$$

$$n = \frac{\log. q - \log. P}{\log. 3}$$

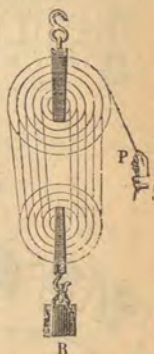
Mouffes

Soit n nombre de cordons qui soutiennent les poulies mobiles, on aura dans les conditions d'équilibre :

$$P : R :: 1 : n ; P = \frac{R}{n} ; n = \frac{R}{P}$$

L'obliquité des cordes dans un assemblage de plusieurs poulies étant une cause de frottement, on remédie à cet inconvénient au moyen de l'appareil ci-contre, dans lequel la corde passe successivement sur les grandes poulies et sur les petites, dans l'ordre indiqué par les numéros.

La figure suivante atteint également le même but, elle est formée de deux poulies coniques, composées chacune d'un certain nombre de gorges taillées dans la même masse et variant de diamètre en proportion arithmétique.



Treuil et Cabestans

Dans les conditions d'équilibre on aura, en faisant r = le rayon du cylindre et R = le rayon de la roue ou manivelle :

$$P : q :: r : R$$

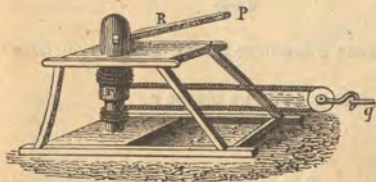
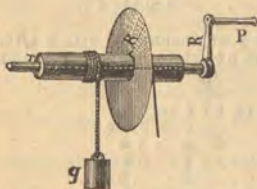
D'où :

$$P = \frac{qr}{R} ;$$

$$r = \frac{PR}{q} ;$$

$$R = \frac{qr}{P} ;$$

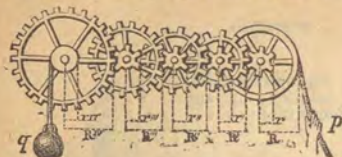
$$q = \frac{PR}{r} ;$$



Roues dentées

Dans un système quelconque de roues dentées il y aura équilibre si le pro-

duit de la puissance par les rayons des roues est égal au produit de la résistance par les rayons des pignons; on aura donc, abstraction faite du frottement :

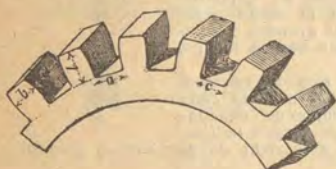


$$pRR'R''R'''R'''' = qrr'r''r'''r''''$$

et si l'on désigne par V la vitesse de la puissance p et par v la vitesse de la résistance q , on aura :

$$V \cdot v :: q : p ; V = \frac{vq}{p} ; v = \frac{Vp}{q}$$

Dimensions des dents d'engrenage



Soit a épaisseur suivant l'axe, b épaisseur sur la circonférence, l saillie :

$$a = 5 b ; l = 1,5 b$$

Si P est l'effort que doit supporter la dent, on obtient l'épaisseur b sur la circonférence primitive, en faisant :

Pour la fonte $b = 0,105 \sqrt{P}$.

Pour le bronze et le cuivre $b = 0,151 \sqrt{P}$.

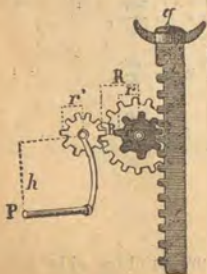
Pour le bois $b = 0,145 \sqrt{P}$.

Le creux C doit être égal à l'épaisseur b augmentée de $1/15$ à $1/10$.

La valeur de a est comprise entre $3b$ et $6b$, suivant que P est plus ou moins grand, ainsi pour :

$P = 100$ à 250 k.	on a :	$a = 3 b$
250 à 500	_____	$a = 3,5 b$
500 à 800	_____	$a = 4 b$
800 à 1200	_____	$a = 5 b$
1200 à 2000	_____	$a = 5,5 b$
2000 à 3000	_____	$a = 6 b$

Cric



Les conditions d'équilibre seront, abstraction faite du frottement :

Cas où la roue R porte un pignon r

$$P h R = q r r'$$

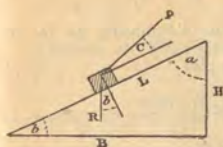
D'où
$$P = \frac{q r r'}{h R} ; q = \frac{P h R}{r r'}$$

Ainsi, si $h = 10c$, $R = 8c$, $r = 4c$, $r' = 2c$, on aura :

$$P = \frac{1}{10} q, \text{ et } q = 10 P.$$

Plan incliné

Soit R le poids du corps, P la force qui le tient en équilibre; on aura, en négligeant le frottement :

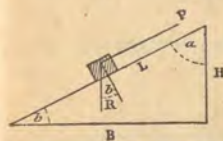


1° (P formant angle avec L) $P \cos. c = R \sin. b$,

$$P = \frac{R \sin. b}{\cos. c}; \quad R = \frac{P \cos. c}{\sin. b}$$

Si P a même direction que R , on aura :

$$P \sin. b = R \sin. b, \text{ d'où } P = R.$$



2° (P parallèle à L) $P : R :: \sin b : 1 :: H : L$

$$P = R \sin. b = \frac{RH}{L}; \quad R = \frac{P}{\sin. b} = \frac{PL}{H}$$

3° (P parallèle à B) $P : R :: \sin. b : \cos. b :: H : B$

$$P = \frac{R \sin. b}{\cos. b} = \frac{RH}{B}; \quad R = \frac{P \cos. b}{\sin. b} = \frac{PB}{H}$$

D'après ce qui précède, un corps quelconque placé sur un plan incliné perd de sa force d'inertie ou de son poids absolu, dans le rapport de la hauteur du plan à sa longueur et se trouve exprimé par le produit de son poids par le sinus de l'angle d'inclinaison.

Ainsi, si un cheval tire facilement un chariot du poids de 1500 kilogrammes sur un plan horizontal, avec un effort égal à 75 kilogrammes, sur un plan incliné de 14 degrés 30 minutes environ qui aura 30 mètres de hauteur sur 120 mètres de longueur, soit une pente de 0^m,26, il éprouvera à la montée six fois plus de résistance, car sa force devra, dans les conditions d'équilibre, être égale à son effort actuel 75 kilog. plus les $\frac{30}{120}$ de 1500 ou $1500 \times \sin. 14^{\circ} 30' = 450$ kilog,

et cela indépendamment des $\frac{30}{120}$ du poids du cheval qui viennent s'ajouter à la charge. A la descente, son effort sera réduit aux $\frac{30}{120}$ de 75 k. = 18 k. 75.

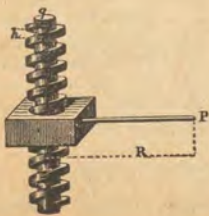
Vis

Les lois de l'équilibre donnent, en négligeant le frottement :

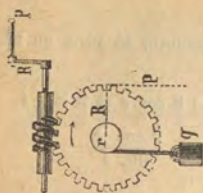
$$P : q :: h : 2 \pi R$$

$$P = \frac{qh}{2\pi R} = \frac{qh}{R} \times 0,15915$$

$$q = \frac{P(2\pi R)}{h} = \frac{PR}{h} \times 6,28318$$



Vis sans fin



Si nous appelons P' l'effort avec lequel la vis presse la dent de la roue, on aura pour l'équilibre du treuil :

$$p'R = qr \quad \text{d'où} \quad p' = \frac{qr}{R}$$

D'un autre côté, on a pour l'équilibre de la vis :

$$p2\pi R' = p'h;$$

Remplaçant p' par sa valeur, il vient:

$$p2\pi R' = \frac{qrh}{R} \quad \text{d'où} \quad 2pR\pi R' = qrh$$

$$\text{et :} \quad p = \frac{qrh}{2\pi RR'}; \quad q = \frac{2\pi p RR'}{rh}$$

Coin



Dans les conditions d'équilibre on aura, en négligeant le frottement :

$$P : R :: \sin. b : \sin. a + \sin. c :: H : L + B$$

$$P = \frac{R \sin. b}{\sin. a + \sin. c} = \frac{RH}{L + B}$$

$$R = \frac{P (\sin. a + \sin. c)}{\sin. b} = \frac{P (L + B)}{H}$$

Dans ces formules, R désigne la résistance totale, c'est-à-dire, ici, la somme des deux réactions N et N' normales aux surfaces de contact B et L .

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

I. — MÉTAUX.

Efforts de traction longitudinale (*Aide-mémoire de M. MORIN.*)

MÉTAUX ET CORPS DIVERS.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POIDS dont on peut charger avec sécurité chaque centimètre carré de section transversale.	POIDS qui détermine la rupture par centimètre carré de section transversale.
	kil.	kil.
Fer fondu	225 à 247	1 350 à 1 250
— forgé mauvais	416	2 500
— — de petit échantillon, fil de 1 ^{re} qual.	1 000	6 000 (1)
— — de dimension ordinaire	666	4 000
— — de 0 ^m 06 de côté et au-dessus.	416	2 500
Acier le meilleur	1 676	10 000
— le plus mauvais	600	5 600
Tôle dans le sens du laminage	700	4 100
Chaîne ordinaire en fer	400	2 400
— étauçonnée	535	5 200
Fonte grise exposée à des chocs	350	1 400
Métal des canons	585	2 500
Cuivre battu	417	2 500
— rouge forgé	435	2 600
— jaune fin	210	1 260
Étain fondu	50	500
Plomb fondu	21,5	128
Corde sèche en chanvre	125	500
— mouillée	82	350
— goudronnée	95	580
Courroie en cuir noir	25	100
Brique très-dure	1,95	19,50
Pierre calcaire		60
Plâtre peu ferme	0,58	5,80
Béton en bon mortier de 48 mois	0,90	9
Mortier ordinaire de 48 mois	0,50	5
Verre en tige ou en tube	25	248

(1) La charge d'un fil de 0^m,002 de diamètre serait donc de 51^k,40

Efforts de compression (Aide-mémoire de M. MORIN).

MÉTAUX ET CORPS DIVERS.

DÉSIGNATION DES CORPS.	POIDS DONT ON PEUT CHARGER AVEC SÉCURITÉ CHAQUE CENTIMÈTRE CARRÉ DE SECTION TRANSVERSALE.					POIDS qui détermine l'écrasement par centimètre carré de section transversale.
	RAPPORT DE LA LONGUEUR À LA PLUS PETITE DIMENSION TRANSVERSALE.					
	Au- dessous de 12	12	24	48	60	
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Fer forgé.	1 000	855	500	467	84	5 000
Fonte.	2 000	1 670	1 000	355	167	10 000
Métal de canon.	5 000	»	»	»	»	25 000
Cuivre rouge coulé.	825	»	»	»	»	8 000
— — forgé.	1 650	»	»	»	»	28 000
— jaune.	560	»	»	»	»	2 800
Etain fondu.	100	»	»	»	»	600
Plomb fondu.	28	»	»	»	»	140
Basalte.	200	»	»	»	»	2 000
Granit dur.	70	»	»	»	»	700
— ordinaire.	40	»	»	»	»	400
Marbres les plus durs.	100	»	»	»	»	1 000
Marbres blancs veinés.	31	»	»	»	»	500
Pierres calcaires très- dures.	50	»	»	»	»	500
Pierres calcaires ordi- naires.	50	»	»	»	»	500
Grès les plus durs.	90	»	»	»	»	900
— tendres.	0,4	»	»	»	»	4
Lambourdes de qualité inférieure.	2,5	»	»	»	»	25
Briques très-dures.	15	»	»	»	»	150
— ordinaires.	4	»	»	»	»	40
Plâtre.	6	»	»	»	»	60
Béton de 18 mois.	4	»	»	»	»	40
Mortier ordinaire de 18 m.	2,5	»	»	»	»	25

Nota. Dans les constructions, même hardies, la charge des divers matériaux ne doit point excéder :

Pour les pierres. 1/10 }
 Pour le bois. 1/5 } de la charge qui détermine l'écrasement.
 Pour le fer fondu ou forgé. 1/4 }

Les supports, soit en bois, soit en pierres, disposés en colonnes, ne doivent pas excéder sept diamètres et demi de hauteur.

On a remarqué que, la résistance d'un cube étant 1, celle du cylindre inscrit est 0,80, s'il repose sur sa base, et 0,32 s'il repose sur une arête. Celle de la sphère inscrite est 0,26.

Si on a deux solides de même hauteur dont l'égal section soit carrée pour l'un et circulaire pour l'autre, les résistances à l'écrasement seront dans le rapport de 8 à 9.

D'après Love, pour des piliers en fer ou fonte, on aura les formules suivantes:

P = charge de rupture.

R = résistance maximum du pilier supposé très-court, c'est $10000 \times$ la section du pilier en centimètres carrés.

l et d = hauteur et diamètre du pilier en centimètres.

Fer, pour des hauteurs l variant de 10 à 180 fois le diamètre d :

$$P = \frac{R}{1,55 + 0,0005 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

Fonte, pour des hauteurs l variant de 4 à 120 fois le diamètre d :

$$P = \frac{R}{1,45 + 0,00537 \left(\frac{l}{d}\right)^2}$$

Fer, pour des hauteurs l variant de 5 à 30 fois le diamètre d :

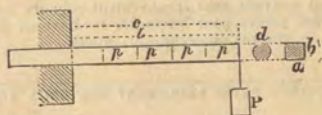
$$P = \frac{R}{0,85 + 0,04 \frac{l}{d}}$$

Fonte, pour des hauteurs l variant de 5 à 30 fois le diamètre d :

$$P = \frac{R}{0,68 + 0,1 \frac{l}{d}}$$

Efforts transversaux (D'après Charles Renier, *Encyclopédie moderne*).

1° SOLIDES ENCASTRÉS PAR L'UNE DE LEURS EXTRÉMITÉS.



1° Cas où l'on tient compte du poids du solide

P , Effort exercé sur le corps perpendiculairement à sa longueur.

c , Longueur de la partie non encastrée jusqu'au point où agit l'effort P .

p , Poids, par mètre courant du solide, en kilogrammes.

a , Largeur du solide perpendiculairement à la direction P .

b , Epaisseur du solide parallèlement à la direction P .

d , Diamètre du solide s'il est cylindrique.

$$\text{Pour la fonte} \quad ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{1\ 250\ 000}$$

[1]

$$\text{Pour le fer} \quad ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{1\ 000\ 000}$$

2° Cas où l'on peut négliger le poids du solide

$$\text{Pour la fonte} \quad ab^2 = \frac{Pr}{1\ 250\ 000}; \quad P = \frac{1\ 250\ 000ab^2}{c}$$

[2]

$$\text{Pour le fer} \quad ab^2 = \frac{Pc}{1\ 000\ 000}; \quad P = \frac{1\ 000\ 000ab^2}{c}$$

3° Cas où la charge est uniformément répartie

Dans ce cas, on ajoute au poids p par mètre du solide, la charge que chaque mètre de longueur doit supporter, la quantité P disparaît de la formule, et on a :

$$[3] \quad \begin{array}{l} \text{Pour la fonte} \\ \text{Pour le fer} \end{array} \quad ab^2 = \frac{pc^2}{2 \ 500 \ 000}; \quad p = \frac{2 \ 500 \ 000 ab^2}{c^2}$$

$$ab^2 = \frac{pc^2}{2 \ 000 \ 000}; \quad p = \frac{2 \ 000 \ 000 ab^2}{c^2}$$

4° Cas où la section transversale est un carré, en négligeant son poids

$$[4] \quad \begin{array}{l} \text{Pour la fonte} \\ \text{Pour le fer} \end{array} \quad b^3 = \frac{Pc}{1 \ 250 \ 000}; \quad P = \frac{1 \ 250 \ 000 b^3}{c}$$

$$b^3 = \frac{Pc}{1 \ 000 \ 000}; \quad P = \frac{1 \ 000 \ 000 b^3}{c}$$

5° Cas où la section est un cercle

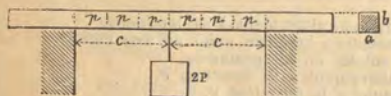
$$[5] \quad \begin{array}{l} \text{Pour la fonte} \\ \text{Pour le fer} \end{array} \quad d^3 = \frac{Pc}{756 \ 312}; \quad P = \frac{756 \ 312 d^3}{c}$$

$$d^3 = \frac{Pc}{589 \ 050}; \quad P = \frac{589 \ 050 d^3}{c}$$

NOTA. Les formules des cinq cas qui précèdent ne conviennent que pour calculer les dimensions des pièces qui peuvent sans inconvénient prendre une certaine flexion, mais lorsqu'il s'agit d'établir des pièces pour lesquelles les flexions même très-faibles seraient nuisibles, on diminue le coefficient numérique de moitié.

2° SOLIDES POSÉS LIBREMENT SUR DEUX APPUIS

(Forme prismatique)



1° Cas où l'on tient compte du poids du solide.

2P Charge perpendiculaire à la longueur de la pièce.
2C Distance entre les appuis.

$$\text{Fonte} \quad ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{1 \ 250 \ 000}; \quad P + \frac{pc}{2} = \frac{1 \ 250 \ 000 ab^2}{c}$$

$$\text{Fer} \quad ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right) c}{1 \ 000 \ 000}; \quad P + \frac{pc}{2} = \frac{1 \ 000 \ 000 ab^2}{c}$$

2° Cas où l'on peut négliger le poids du solide. (Formules [2].)

3° Cas où la charge est uniformément répartie et jointe au poids du solide. Formules [3].)

4° Cas où la section est un carré, la charge agissant au milieu de la longueur. Formules [4].)

5° Cas où la section est un carré, la charge agissant à des distances l et l' des points d'appui.

Fonte $b^3 = \frac{Pl'}{1\ 250\ 000\ c}$; $P = \frac{1\ 250\ 000\ b^3\ c}{l'}$

Fer $b^3 = \frac{Pl'}{1\ 000\ 000\ c}$; $P = \frac{1\ 000\ 000\ b^3\ c}{l'}$

NOTA. Ne pas perdre de vue que P n'est que la 1/2 de la charge totale.

6° Cas où la section est un cercle ou un polygone régulier, la charge agissant au milieu de la longueur. (Formules [5].)

7° Cas où la section est un cercle ou un polygone régulier, la charge agissant à des distances l et l' des points d'appui.

Fonte $d^3 = \frac{Pl'}{756\ 512\ c}$

Fer $d^3 = \frac{Pl'}{589\ 050\ c}$

3° SOLIDES ENCASTRÉS PAR LEURS DEUX EXTRÉMITÉS

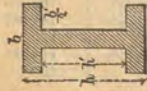
La résistance de ces sortes de solides est deux fois plus grande que lorsqu'ils sont simplement posés sur deux appuis.

Tableau donnant la charge supportée, dans les trois cas qui précèdent, par centimètre carré de section pour une longueur variable; elle est égale au $\frac{1}{6}$ de celle qui détermine la rupture (Aide-mémoire de M. MORIN).

RAPPORT de LA LONGUEUR à L'ÉPAISSEUR.		SOLIDES ENCASTRÉS par l'une DE LEURS EXTRÉMITÉS.		SOLIDES REPOSANT SUR DEUX APPUIS.		SOLIDES ENCASTRÉS par LEURS DEUX EXTRÉMITÉS.	
		CHARGE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ DE SECTION.					
Longueur	Épaisseur.	Fer.	Fonte.	Fer.	Fonte.	Fer.	Fonte.
		kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1	1	100	125	400	500	800	1,000
2	1	50	62,50	200	250	400	500
3	1	33,33	41,66	133,33	166,66	266,66	333,33
4	1	25	31,25	100	125	200	250
5	1	20	25	80	100	160	200
6	1	16,66	20,83	66,66	83,33	133,33	166,66
7	1	14,28	17,85	57,12	71,42	114,28	142,84
8	1	12,50	15,62	50	62,50	100	125
9	1	11,11	13,88	44,44	55,55	88,88	111,11
10	1	10	12,50	40	50	80	100

NOTA. — Il convient d'établir le rapport de 3 à 7 entre la largeur et l'épaisseur.

Fers à double T pour planchers ou pontres



Soit : R, Maximum de résistance qu'on ne doit pas dépasser ou coefficient variant de 6 000 000 à 10 000 000 ;
 I, Moment d'inertie de la section d'encastrement pris par rapport à la ligne des fibres invariables ;
 E, Coefficient d'élasticité = 18 000 000 000 ;
 L, Bras de levier de la force P ;
 P, Poids ou charge ;
 f, Flèche produite par la charge P ;
 z, Distance de la ligne des fibres invariables au point de la section d'encastrement qui en est le plus éloigné.

On aura : $n = \frac{h}{z}$; $I = \frac{bh^3 - b'h'^3}{12}$; $PL = \frac{R (bh^3 - b'h'^3)}{6h}$; $PL^3 = \frac{E (bh^3 - b'h'^3)}{3}$; $f = \frac{4PL^3}{E (bh^3 - b'h'^3)}$

D'où :

$$f = \frac{4PL^3}{E (bh^3 - b'h'^3)}$$

La résistance à la rupture des fers à double T est d'environ 35 kilogrammes par millimètre carré.

Si on fait R = 10 000 000, les barres de fer prennent une flèche de $\frac{1}{500}$ de leur longueur

Pour les poitrails on doit faire R = 6 000 000.

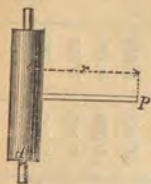
Tableau du poids par mètre courant des fers à double T et des charges qu'ils supportent lorsqu'ils reposent librement sur deux appuis, dans lequel on fait R = 10 000 000

NATURE des FERS.	VALEURS DE				POIDS PAR MÈTRE.	$\frac{1}{n}$	CHARGE POUR UNE DISTANCE ENTRE LES APPUIS DE							
	h	h'	b				kil.	2 mètres.	3 mètres.	4 mètres.	5 mètres.	6 mètres.	7 mètres.	
			m	m										m.
	m.	m	m	m.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
	0,06	0,030	0,052	0,0045	4,5	0,000 009 651	585	508	257	257	257	257	257	257
	0,07	0,060	0,040	0,0050	6	0,000 014 636	586	468	590	590	590	590	590	590

Fers ordinaires	0,08	0,068	0,015	0,005	7	0,000 019 858	790	653	550	505	505	505	505	505	505
à double T	0,10	0,088	0,015	0,005	9	0,000 028 506	1 140	915	760	570	570	570	570	570	570
pour planchers.	0,12	0,108	0,045	0,005	11	0,000 058 014	1 520	1 220	1 015	760	610	610	610	610	610
	0,14	0,126	0,047	0,006	14	0,000 055 776	2 225	1 780	1 480	1 140	890	740	740	740	740
	0,16	0,146	0,048	0,008	16	0,000 075 127	3 000	2 400	2 000	1 500	1 200	1 000	1 000	1 000	1 000
	0,18	0,162	0,055	0,018	20	0,000 111 976	4 480	3 575	2 980	2 210	1 700	1 400	1 400	1 400	1 400
	0,20	0,182	0,062	0,028	25	0,000 142 047	5 680	4 550	3 780	2 840	2 275	1 900	1 900	1 900	1 900
	0,22	0,200	0,064	0,038	26	0,000 176 797	7 060	5 660	4 715	3 550	2 850	2 560	2 560	2 560	2 560
	0,12	0,102	0,065	0,0065	15	0,000 069 776	2 780	2 225	1 860	1 500	1 145	1 145	1 145	1 145	1 145
	0,14	0,120	0,080	0,008	22	0,000 115 219	4 325	3 625	3 025	2 270	1 810	1 510	1 510	1 510	1 510
	0,16	0,140	0,080	0,008	25,5	0,000 155 555	5 400	4 540	3 620	2 715	2 170	1 810	1 810	1 810	1 810
	0,16	0,155	0,120	0,010	35	0,000 225 772	8 900	7 450	5 930	4 475	3 575	2 975	2 975	2 975	2 975
	0,18	0,158	0,080	0,008	25	0,000 169 000	6 810	5 450	4 550	3 400	2 720	2 260	2 260	2 260	2 260
	0,18	0,155	0,100	0,009	32	0,000 226 229	9 050	7 250	6 000	4 500	3 620	3 020	3 020	3 020	3 020
	0,18	0,156	0,120	0,009	37	0,000 262 254	10 500	8 400	7 000	5 200	4 200	3 500	3 500	3 500	3 500
	0,20	0,176	0,090	0,008	50	0,000 327 402	9 098	7 278	6 066	4 540	3 650	3 055	3 055	3 055	3 055
	0,20	0,175	0,110	0,010	57	0,000 286 718	11 468	9 175	7 650	5 725	4 600	3 800	3 800	3 800	3 800
	0,22	0,196	0,090	0,009	54	0,000 285 000	11 400	9 120	7 610	5 710	4 575	3 800	3 800	3 800	3 800
	0,24	0,214	0,105	0,010	40	0,000 351 450	14 458	11 966	9 658	7 229	5 783	4 819	4 819	4 819	4 819
	0,25	0,220	0,110	0,010	45	0,000 452 500	17 500	15 840	11 555	8 650	6 920	5 780	5 780	5 780	5 780
	0,25	0,225	0,120	0,011	45	0,000 445 207	17 808	14 246	11 872	8 904	7 125	5 956	5 956	5 956	5 956
	0,25	0,226	0,100	0,012	50	0,000 475 000	19 000	15 600	12 666	9 500	7 600	6 520	6 520	6 520	6 520
	0,30	0,264	0,120	0,012	65	0,000 696 045	27 810	22 272	18 560	14 400	11 400	9 270	9 270	9 270	9 270

Fers à double T, larges ailes, pour planchers ou pontres.

Efforts de torsion



p Effort appliqué à l'arbre et tendant à le rompre.
r Longueur du bras de levier de l'effort.
b Côté des arbres carrés.
d Diamètre des arbres cylindriques ou polygonaux pleins
d' Diamètre des arbres cylindriques ou polygonaux creux
 Ce diamètre doit être égal aux $\frac{5}{8}$ du diamètre extérieur.

Arbres carrés.	Fer ou fonte	1 ^{er} moteur	$b^3 = \frac{pr}{157\ 500}$	$p = \frac{157\ 500b^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$b^3 = \frac{pr}{515\ 000}$	$p = \frac{515\ 000b^3}{r}$
	Bois	1 ^{er} moteur	$b^3 = \frac{pr}{26\ 212}$	$p = \frac{26\ 212b^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$b^3 = \frac{pr}{52\ 423}$	$p = \frac{52\ 423b^3}{r}$
Arbres cylindriques ou polygonaux pleins.	Fer ou fonte	1 ^{er} moteur	$d^3 = \frac{pr}{151\ 000}$	$p = \frac{151\ 000d^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$d^3 = \frac{pr}{262\ 000}$	$p = \frac{262\ 000d^3}{r}$
	Bois	1 ^{er} moteur	$d^3 = \frac{pr}{21\ 819}$	$p = \frac{21\ 819d^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$d^3 = \frac{pr}{43\ 638}$	$p = \frac{43\ 638d^3}{r}$
Arbres cylindriques ou polygonaux creux <i>d</i> et <i>d'</i> étant quelconques.	Fer ou fonte	Pour arbres allégés	$pr = 262\ 000 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
		Pour arbres forts	$pr = 151\ 000 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
	Bois	Pour arbres allégés	$pr = 43\ 638 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
		Pour arbres forts	$pr = 21\ 819 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
Si $d' = \frac{5}{8} d$.	Fer ou fonte	Pour arbres allégés	$d^3 = \frac{pr}{227\ 900}$	$p = \frac{227\ 900d^3}{r}$
		Pour arbres forts	$d^3 = \frac{pr}{115\ 950}$	$p = \frac{115\ 950d^3}{r}$
	Bois	Pour arbres allégés	$d^3 = \frac{pr}{37\ 972}$	$p = \frac{37\ 972d^3}{r}$
		Pour arbres forts	$d^3 = \frac{pr}{18\ 986}$	$p = \frac{18\ 986d^3}{r}$

Lorsqu'on calcule les dimensions des arbres exposés à plier, on double les coefficients numériques de ces formules. On a soin aussi de calculer leurs dimensions par les formules [1] à [5] et de prendre toujours les plus fortes.

II. — BOIS

Efforts de traction longitudinale

b Côté d'une pièce carrée. *l* sa longueur.
d Diamètre d'une pièce cylindrique ou polygonaux.
P Charge qui détermine la rupture.

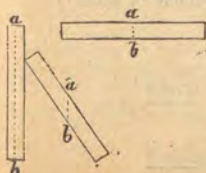
Bois de chêne. — Effort dans le sens des fibres

$$b = \frac{l + \sqrt{P}}{5\ 000}; \quad P = [(3\ 000b) - l]^2$$

$$d = \frac{l + \sqrt{P}}{2\ 700}; \quad P = [(2\ 700d) - l]^2$$

Le tableau suivant donne, d'après M. Poncelet, le maximum d'effort instantané par centimètre carré de section transversale des bois les plus connus.

INDICATION DES ESPÈCES.	CHARGE MAXIMUM par centimètre carré de section transversale dans la pratique.	POIDS qui détermine la rupture par centimètre carré de section transversale.
	kilogr.	kilogr.
Chêne dans le sens des fibres.	60 à 80	600 à 800
Tremble	60 à 70	700
Sapin	80 à 90	900
Acajou	56	560
Poirier	69	690
Hêtre	80	800
Orme	104	1 040
Teack	110	1 100
Frêne	120	1 200
Buis	140	1 400
Sapin latéralement aux fibres.	4,20	42
Tremble	5,70	57
Larix perpendiculairement aux fibres	9,40	94
Peuplier	12,5	125
Chêne	16	160

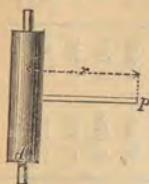


Efforts de compression

Pression exercée dans le sens de la longueur

La force d'une pièce horizontale étant représentée par sa largeur, sa force verticale sera représentée par sa longueur et la force oblique par la verticale *ab*.

Efforts de torsion



- p Effort appliqué à l'arbre et tendant à le rompre.
 r Longueur du bras de levier de l'effort.
 b Côté des arbres carrés.
 d Diamètre des arbres cylindriques ou polygonaux pleins
 d' Diamètre des arbres cylindriques ou polygonaux creux

Ce diamètre doit être égal aux $\frac{5}{8}$ du diamètre extérieur.

Arbres carrés.	Fer ou fonte	1 ^{er} moteur	$b^3 = \frac{pr}{157\ 500}$	$p = \frac{157\ 500b^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$b^3 = \frac{pr}{515\ 000}$	$p = \frac{515\ 000b^3}{r}$
	Bois	1 ^{er} moteur	$b^3 = \frac{pr}{26\ 212}$	$p = \frac{26\ 212b^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$b^3 = \frac{pr}{52\ 423}$	$p = \frac{52\ 423b^3}{r}$
Arbres cylindriques ou polygonaux pleins.	Fer ou fonte	1 ^{er} moteur	$d^3 = \frac{pr}{151\ 000}$	$p = \frac{151\ 000d^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$d^3 = \frac{pr}{262\ 000}$	$p = \frac{262\ 000d^3}{r}$
	Bois	1 ^{er} moteur	$d^3 = \frac{pr}{21\ 819}$	$p = \frac{21\ 819d^3}{r}$
		2 ^{me} moteur	$d^3 = \frac{pr}{43\ 638}$	$p = \frac{43\ 638d^3}{r}$
Arbres cylindriques ou polygonaux creux d et d' étant quelconques.	Fer ou fonte	Pour arbres allégés	$pr = 262\ 000 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
		Pour arbres forts	$pr = 151\ 000 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
	Bois	Pour arbres allégés	$pr = 43\ 638 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
		Pour arbres forts	$pr = 21\ 819 \frac{d^4 - d'^4}{d}$	
Si $d' = \frac{5}{8} d$.	Fer ou fonte	Pour arbres allégés	$d^3 = \frac{pr}{227\ 900}$	$p = \frac{227\ 900d^3}{r}$
		Pour arbres forts	$d^3 = \frac{pr}{115\ 950}$	$p = \frac{115\ 950d^3}{r}$
	Bois	Pour arbres allégés	$d^3 = \frac{pr}{57\ 972}$	$p = \frac{57\ 972d^3}{r}$
		Pour arbres forts	$d^3 = \frac{pr}{18\ 986}$	$p = \frac{18\ 986d^3}{r}$

Lorsqu'on calcule les dimensions des arbres exposés à plier, on double les coefficients numériques de ces formules. On a soin aussi de calculer leurs dimensions par les formules [1] à [5] et de prendre toujours les plus fortes.

II. — BOIS

Efforts de traction longitudinale

- b* Côté d'une pièce carrée. *l* sa longueur.
d Diamètre d'une pièce cylindrique ou polygonale.
P Charge qui détermine la rupture.

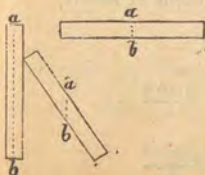
Bois de chêne. — Effort dans le sens des fibres

$$b = \frac{l + \sqrt{P}}{3\,000}; \quad P = [(3\,000b) - l]^2$$

$$d = \frac{l + \sqrt{P}}{2\,700}; \quad P = [(2\,700d) - l]^2$$

Le tableau suivant donne, d'après M. Poncelet, le maximum d'effort instantané par centimètre carré de section transversale des bois les plus connus.

INDICATION DES ESPÈCES.	CHARGE MAXIMUM par centimètre carré de section transversale dans la pratique.	POIDS qui détermine la rupture par centimètre carré de section transversale.
	kilogr.	kilogr.
Chêne dans le sens des fibres.	60 à 80	600 à 800
Tremble	60 à 70	700
Sapin	80 à 90	900
Acajou	56	560
Poirier	69	690
Hêtre	80	800
Orme	104	1 040
Teack	110	1 100
Frêne	120	1 200
Buis	140	1 400
Sapin latéralement aux fibres.	4,20	42
Tremblé	5,70	57
Larix perpendiculairement aux fibres	9,40	94
Peuplier	12,5	125
Chêne	16	160



Efforts de compression

Pression exercée dans le sens de la longueur

La force d'une pièce horizontale étant représentée par sa largeur, sa force verticale sera représentée par sa longueur et la force oblique par la verticale *ab*.

On aura, pour le poids qui détermine l'écrasement d'une pièce de chêne ou de sapin dont la longueur n'excède pas douze fois la largeur ou épaisseur.

$$P = [(2000b) - l]^2; \text{ et pour l'épaisseur de la pièce: } b = \frac{l + \sqrt{P}}{2000}$$

$$P = [(1800d) - l]^2; \text{ et pour le diamètre de la pièce: } d = \frac{l + \sqrt{P}}{1800}$$

DÉSIGNATION DES CORPS.	POIDS QUI DÉTERMINE L'ÉCRASEMENT PAR CENTIMÈTRE CARRÉ DE SECTION.				
	RAPPORT DE LA LONGUEUR À LA PLUS PETITE DIMENSION TRANSVERSALE.				
	Au-dessous de 12	12	24	48	60
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Chêne de France.	585 à 465	521 à 585	192 à 251	64 à 77	52 à 58
— anglais	250 à 271	208 à 226	125 à 155	41 à 45	20 à 22
Sapin français.	462 à 538	585 à 448	251 à 269	77 à 89	58 à 44
— blanc anglais.	150 à 155	108 à 112	65 à 67	21 à 22	10 à 11
Pin d'Amérique.	110 à 118	91 à 98	55 à 59	18 à 19	9 à 9,5
Orme.	90	75	57	12	6
	CHARGE QUE L'ON PEUT ADMETTRE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ DE SECTION TRANSVERSALE POUR DES PILOIS, ÉTAIS, ETC.				
Chêne fort	50 à 40	25	15	8	2,5
— faible	19	8,4	5,6	»	»
Sapin jaune ou rouge	40 à 50	35	20,6	7,5	»
— blanc	9,7	8	5	»	»

Efforts transversaux. — Résistance à la flexion

Cette résistance est proportionnelle à la distance entre les points d'appui, aux simples largeurs et aux carrés des épaisseurs. Il convient d'établir le rapport de 5 à 7 entre la largeur et l'épaisseur.

1° Solides encastres par l'une de leurs extrémités (chêne et sapin)

Dans le cas de la rupture, on doit avoir :



$$b = \frac{\sqrt{P}}{170}; \quad P = \frac{(170b)^2}{l}$$

$$d = \frac{\sqrt{P}}{185}; \quad P = \frac{(185d)^2}{l}$$

Et pour les dimensions transversales dans le cas d'une charge donnée :

Cas où l'on tient compte du poids de la pièce (pièces prismatiques)

$$[1] \quad ab^2 = \frac{\left(P + \frac{pc}{2}\right)c}{100\,000}; \quad P + \frac{pc}{2} = \frac{100\,000ab^2}{c}$$

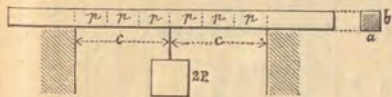
Cas où l'on peut négliger le poids de la pièce :

$$[2] \quad ab^2 = \frac{Pc}{100\,000}; \quad P = \frac{100\,000ab^2}{c}$$

Cas où la charge est uniformément répartie :

$$[3] \quad ab^2 = \frac{pc^2}{200\,000}; \quad p = \frac{200\,000ab^2}{c^2}$$

2° Solides posés librement sur deux appuis (chêne et sapin)



2P Effort exercé sur la pièce.
2c Distance entre les appuis.

Pièces prismatiques. Cas où l'on tient compte de leur poids. Formules [1].

— Cas où l'on peut négliger leur poids. Formules [2].

— Cas où la charge est uniformément répartie. Formules [3].

Pièces dont la section est un carré. — Cas où l'effort agit au milieu de la longueur :

$$b^3 = \frac{Pc}{100\,000}; \quad P = \frac{100\,000b^3}{c}$$

Cas où l'effort agit à des distances l et l' des points d'appui :

$$b^3 = \frac{Pl l'}{100\,000c}; \quad P = \frac{100\,000b^3c}{l l'}$$

Cas où l'effort est réparti sur une longueur $2c'$ dont le milieu est aux distances l et l' des points d'appui :

$$b^3 = \frac{P \left(\frac{l l'}{c} - \frac{c'}{2} \right)}{100\,000}; \quad P = \frac{100\,000b^3}{\frac{l l'}{c} - \frac{c'}{2}}$$

Pièces dont la section est un cercle ou un polygone régulier.

Cas où l'effort agit au milieu de la longueur :

$$d^3 = \frac{Pc}{58\,905}; \quad P = \frac{58\,905d^3}{c}$$

Cas où l'effort agit à des distances l et l' des points d'appui :

$$d^3 = \frac{Pl l'}{58905 c}, \quad P = \frac{58905 d^3 c}{l l'}$$

Cas où l'effort est réparti sur une longueur $2c'$ dont le milieu est aux distances l et l' des points d'appui :

$$d^3 = \frac{P \left(\frac{l l'}{c} - \frac{c'}{2} \right)}{58905}; \quad P = \frac{58905 d^3}{\frac{l l'}{c} - \frac{c'}{2}}$$

Pièces soumises à des chocs et qui ne doivent éprouver que des flexions très-faibles, telles que les arbres des roues hydrauliques.

Pièces à section carrée. — Cas où l'effort agit au milieu de la longueur :

$$b^3 = \frac{Pc}{50000}; \quad P = \frac{50000 b^3}{c}$$

Cas où l'effort agit à des distances l et l' des points d'appui :

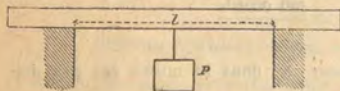
$$b^3 = \frac{Pl l'}{50000 c}; \quad P = \frac{50000 b^3 c}{l l'}$$

Pièces à section circulaire. — Cas où l'effort agit au milieu de la longueur

$$d^3 = \frac{Pc}{29500}; \quad P = \frac{29500 d^3}{c}$$

Cas où l'effort agit à des distances l et l' des points d'appui :

$$d^3 = \frac{Pl l'}{29500 c}; \quad P = \frac{29500 d^3 c}{l l'}$$



Formules qui déterminent la rupture pour les cas précédents :

P Poids en tonnes

$$b = \sqrt{\frac{l P}{680}}; \quad P = \frac{680 b^2}{l}$$

$$d = \sqrt{\frac{l P}{620}}; \quad P = \frac{620 d^2}{l}$$

3° Solides encastrés par leurs deux extrémités

La résistance de ces sortes de solides est deux fois plus grande que lorsqu'ils sont simplement posés sur deux appuis.

TABLEAU DONNANT, D'APRÈS M. MORIN, LA CHARGE SUPPORTÉE DANS LES TROIS CAS QUI PRÉCÈDENT ET CELLE QUI DÉTERMINE L'ÉCRASEMENT

RAPPORT de LA LONGUEUR à L'ÉPAISSEUR.		PIÈCES ENCASTRÉES par UNE DE LEURS EXTRÉMITÉS.		PIÈCES REPOSANT sur DEUX APPUIS.		PIÈCES ENCASTRÉES par LEURS DEUX EXTRÉMITÉS.	
LONGUEUR.	ÉPAISSEUR.	Charge qu'on peut admettre par centimètre carré de section transversale.	Charge qui détermine l'écrasement par centimètre carré de section transversale.	Charge qu'on peut admettre par centimètre carré de section transversale.	Charge qui détermine l'écrasement par centimètre carré de section transversale.	Charge qu'on peut admettre par centimètre carré de section transversale.	Charge qui détermine l'écrasement par centimètre carré de section transversale.
		kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.
1	1	40	37,80	40	251	80	462,40
2	1	5	28,90	20	115,60	40	251,20
3	1	5,55	19,26	15,55	77,07	26,66	154,14
4	1	2,50	14,45	10	57,80	20	115,60
5	1	2	11,56	8	46,24	16	92,48
6	1	1,66	9,65	6,66	58,55	15,55	77,06
7	1	1,42	8,25	5,71	55,02	11,42	66,04
8	1	1,25	7,22	5	28,90	10	57,80
9	1	1,11	6,42	4,44	25,68	8,88	51,56
10	1	1	5,78	4	25,12	8	46,24

Efforts de torsion (Voir page 190)

La résistance maximum à la torsion est par centimètre carré de section transversale :

Pour le chêne de 167 à 465 kilogrammes.
 Pour le sapin de 154 à 510

Résistance des chaînes en fer et câbles de chanvre
 (d'après BRUNTON)

CABLES DE FER. — DIAMÈTRE DES CHAINES.	CABLES DE CHANVRE.		POIDS SUPPORTÉ.
	DIAMÈTRE.	CONTOUR.	
mètres.	mètres.	mètres.	tonnes.
0,02	0,07	0,22	12
0,05	0,095	0,50	50
0,04	0,157	0,45	52
0,05	0,19	0,60	80

Pour calculer la section des chaînes à maillons oblongs on emploie la formule suivante .

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad \text{ou bien : } r = 1,75 \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

r Rayon de la section transversale du maillon en millimètres.

P Charge que supporte chaque côté du maillon, $2P$ charge totale.

p Résistance maximum que l'on veut développer par millimètre carré.

On obtiendra le diamètre d d'une corde devant offrir une résistance P au moyen de la formule suivante, dans laquelle on admet pour la charge permanente la moitié de la charge de rupture.

$$\text{Pour une grande sécurité : } d = 0,00152 \sqrt{P};$$

$$\text{Pour la rupture . } d = 0,00066 \sqrt{P}.$$

La rupture des cordes est précédée d'un allongement de $\frac{1}{6}$ de la longueur. Les cordes mouillées perdent $\frac{2}{5}$ de leur résistance. La résistance d'une corde goudronnée n'est que les $\frac{2}{5}$ ou les $\frac{3}{4}$ de celle d'une corde blanche.

Densités ou poids absolus de diverses substances

(d'après Léon et Charles RENIER, J. CLAUDEL, J. GAUDRY, ROZET, THILLAYE, etc.)

SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.	SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.
	kilogr		kilogr.
Air atmosphérique . . .	0,001295	Asphalte	1,065
Acide chlorhydrique . . .	1,1910	Avoine	0,470
— nitreux	1,5300	Baryte	4,455
— nitrique	1,2715	Basalte d'Auvergne	2,4215
— sulfureux	1,2500	Béton de cailloux	2,485
— sulfurique à 66°. . . .	1,8422	— de meulière con-	
— sulfhydrique	1,1900	cassée	2,700
— stéarique	1,0100	— de recoupes de	
Acier écroui non trempé . .	7,8404	pierres	2,600
— — et trempé	7,8150	Beurre	0,945
— non écroui ni trempé . .	7,8551	Bière	0,990
— trempé non écroui	7,8165	Bismuth	9,822
Albâtre d'Europe	1,8740	Blanc de baleine	0,945
— — oriental	2,7502	— d'œuf	1,041
Alcool absolu	0,7920	Bois. Abricotier	0,712
Alun	1,7550	— Acacia	0,800
Ammoniaque	0,8970	— Aubépine	0,820
Anthracite	1,545 à 1,462	— Anne	0,510 à 0,800
Antimoine fondu	6,7120	— Bouleau	0,688
Ardoise	2,114	— Brésil	1,051
Argent fondu 954/1000 . . .	10,4752	— Buis de France	0,912 à 0,982
— forgé	10,5765	— — de Hollande	1,528
— au titre de la mon-		— Campêche	0,915
naie	10,121	— Cèdre	0,561 à 0,596
— fondu	10,0476	— Cerisier	0,682 à 0,715
— — et monnayé	10,4077	— Charme	0,757
— pur fondu	10,4745	— Châtaignier	0,685
— — forgé	10,5107	— Chêne aubier	0,540
Argile	1,950	— — cœur	1,170
Arsenic	5,670	— — sec	0,645 à 1,015

SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.	SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.
	kilogr.		kilogr.
Bois. Chêne vert	0,950 à 1,220	Bois. Sureau	0,602 à 0,693
— Cognassier	0,705	— Sycamore	0,756
— Cornouiller	0,994	— Tilleul	0,604 à 0,687
— Cypres	0,644	— Tremble	0,558
— Cytise des Alpes	0,754	— Vigne	1,527
— Ébénier d'Amériq.	1,551	Borax	1,720
— — des Indes	1,200	Brome	2,966
— Erable plane	0,618	Bronze	8,626
— — champêtre	0,750	Cadmium écroui	8,690
— — duret	0,755 à 0,775	Camphre	0,996
Fossille	0,209 à 1,580	Caoutchouc	0,955
Frêne	0,725 à 0,845	Charbon de bois fait en tas	0,250
Gaïac	1,555	Charbon de bois fait en vase clos	0,150
Genévrier	0,587	Chaux sulfatée cristal- lisée	2,414
Grenadier	1,354	Chaux vive	0,840
Hêtre	0,779 à 0,852	Chrome fondu	5,900
Houx	0,678	Cire blanche	0,969
If	0,807 à 0,878	— jaune	0,975
Liège	0,240	— lard	0,948
Lilas	1,029	Cobalt	7,812
Marceau	0,592	Coke d'éclairage	0,550
Marronnier d'Inde	0,637	— au four	0,420
Mélèze	0,942	Colza	0,650
Merisier	0,786	Cristal de roche pur	2,655
Mûrier noir	0,599	— de Saint-Gobain	2,488
— blanc	0,626	Cuivre en fil	8,879
— à papier	0,572	— fondu	8,788
Néflier	0,944	— laiton fondu	8,595
Nerprun	0,775	— laiton en fil	8,544
Noisetier	0,701	Diamants les plus légers	5,501
Noyer	0,650 à 0,671	— les plus lourds	5,551
Olivier	0,992	Eau de la mer Morte	1,240
Orme	0,671 à 0,800	— de mer	1,026
Oranger	0,705 à 0,827	— de pluie ou distillée	1,000
Pêcher	0,749	Eau-de-vie à 18°.	0,948
Peuplier noir	0,457	— à 19°.	0,942
— blanc	0,529 à 0,550	— à 22°.	0,924
— d'Italie	0,560	Esprit de vin à 55°.	0,865
— de la Ca- roline	0,492	— à 56°.	0,848
Pin de Genève	0,554	Essence de cannelle	1,044
Platane	0,757	— de girofle	1,056
Poirier	0,661 à 0,759	— de lavande	0,894
Pommier cultivé	0,757 à 0,800	— de menthe	0,851
— de reinette	0,757	— de térébenthine	0,870
— sauvage	0,692	Etain	7,299
Prunellier	0,744	Ether acétique	0,866
Prunier	0,711 à 0,790	— chlorhydrique	0,875
Sapin femelle	0,498	— nitrique	0,909
— mâle	0,465 à 0,550	— sulfurique	0,715
— rouge	0,637	Farine de froment	1,055
Sassafras	0,482	Fer fondu	7,207
Saule	0,592 à 0,585	— forgé	7,788
Sorbier	1,050	Flint glass (verre)	5,529
— des oise- leurs	0,669		

SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.	SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.
	kilogr.		kilogr.
Glacc.	0,950	Or à 833/000 fondu . . .	15,709
Graine de chènevis. . .	1,520	— — forgé	15,775
— de faine	0,500	— a 917/000 fondu . . .	17,486
— de lin	0,680	— — forgé	17,589
Graisse de bœuf	0,925	— au titre de la monnaie	
— de mouton	0,924	fondu.	17,402
— de porc.	0,937	— au titre de la monnaie	
— de veau	0,934	monnayé.	17,647
Granit des Vosges. . . .	2,717	— pur fondu	19,258
— gris	2,728	— — forgé	19,500
— — de Bretagne. . . .	2,729	Orge	0,655
— rouge d'Egypte. . . .	2,654	Os de bœuf.	1,656
Granitelle.	5,065	— concassés	0,500
Grès à bâtir.	1,955	Palladium.	11,500
— à paver.	2,416	Parafine.	0,870
Houille compacte. . . .	1,529	Perles communes. . . .	2,750
— mesurée à l'hec-		— orientales	2,684
tolitre.	0,800	Phosphore	1,770
Huile d'amandes douces.	0,928	Pierre à plâtre.	2,168
— de baleine	0,924	— d'Arcueil.	2,061
— de colza	0,915	— de Saint-Leu.	1,659
— de faïre.	0,920	— de Volvic.	1,928 à 2,642
— de lin.	0,955	— de Chancelade. . . .	2,100 à 2,500
— de naphte.	0,847	— de Gannat	5,045
— de navette	0,916	— météorique.	5,575
— de pieds de bœuf. . .	0,916	— meulière.	2,484
— de noix.	0,925	— ponce	0,915
— de sésame	0,924	Platine écroui.	25,000
— d'olive	0,917	— en fil.	21,042
— de foie de morue. . .	0,926	— forgé.	20,557
— de pavot.	0,929	— laminé.	22,670
— essentielle de téré-		Plâtre broyé	0,960
benthine.	0,870	Plomb	11,552
Iode	4,948	Poix résine.	1,072
Ivoire.	1,917	Pomme de terre.	0,940
Lignite	2,259	Porphyre rouge.	2,765
Lait d'ânesse.	1,056	Potassium.	0,865
— de brebis	1,041	Poudre de guerre. . . .	0,858
— de chèvre	1,054	Quartz jaspé	2,710
— de femme	1,020	Rhodium.	11,000
— de jument.	1,055	Sable.	1,545
— de vache.	1,052	— de rivière.	1,880
Laiton	8,595	Schiste	2,672
Maçonnerie en briques .	1,870	Sélénium.	4,520
— en pierres		Seigle.	0,740
sèches.	4,450	Sodium.	0,975
Marbre de Campan vert.	2,742	Son.	0,200
— de Carrare.	2,717	Soufre natif	2,055
— de Paros	2,858	Sucre.	1,606
Mercure liquide.	15,598	Sulf.	0,942
Miel	1,450	Tan.	0,550
Molybdène	8,611	Tellure fondu.	6,415
Mortier.	4,720	Terre argileuse.	1,240
Naphte (liquide).	0,847	— ordinaire végétale	1,110
Nickel	8,279	— tourbe sèche. . . .	0,444

SUBSTANCES.	POIDS d'un DÉCIMÈTRE cube ou d'un litre.	SUBSTANCES.	POIDS du MÈTRE CUBE.
	kilogr.		kilogr.
Tripoli.	1,856 à 2,200	Bois de sciage, planches.	614
Tungstène	17,600	Brique.	1000 à 1471
Urane.	8,100	Cailloux	1638
Verre à bouteilles.	2,755	Chaux vive.	800 à 857
— à vitres.	2,642	— éteinte.	1528 à 1428
Vinaigre.	1,019	Ciment.	1000 à 1600
Vin de Bordeaux.	0,954	Gravier.	1571 à 1485
— de Bourgogne.	0,922	Houille en fragments :	
— de Champagne.	0,962	du Creuzot.	790 à 800
— de Madère.	1,050	de Mons	800
— de Porto.	0,997	de Decize	850
Zinc fondu	6,861	de Saint-Etienne.	840
— laminé.	7,200	de la Taupe.	850
		de la Combelle.	860
		de Blanzv.	870
MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	POIDS	de la Barthe	880
(d'après GENIEYS).	du	Maçonnerie de pierre de	
	MÈTRE CUBE.	taïlle	2400 à 2700
	kilogr.	Marne.	1570 à 1640
Argile et glaise.	1656 à 1756	Mortier.	1856 à 2142
Bois de chêne le plus		Plâtre tamisé.	1242 à 1237
pesant. Cœur.	1170	— gâché.	1571 à 1600
Bois de chêne le plus		Pouzzolane.	1085 à 1228
léger. Sec.	850	Sable.	1599 à 1900
Bois de sapin.	650 à 720	Terreau.	828 à 857

Dilatations linéaires de différents corps de 0 à 100 degrés centigrades

(d'après LAVOISIER et LAPLACE)

SUBSTANCES.	DILATATION un mètre sur	SUBSTANCES.	DILATATION un mètre sur
	mètres.		mètres.
Acier trempé jaune.	807	Flint-glass anglais.	1248
— non trempé.	927	Or.	682
Argent.	524	Plomb	551
Cuivre jaune ou laiton	535	Platine.	1167
— rouge.	584	Tube de verre sans plomb	1114 à 1142
Etain.	462 à 516	Verre de Saint-Gobain.	1122
Fer doux forgé.	819	Verre ordinaire.	1147
— rond passé à la filière	812	Zinc	322 à 540

Dilatation en volume de quelques liquides de 0 à 100 degrés
(d'après REGNAULT, DELONG et PETIT)

SUBSTANCES.	DILATATION.	SUBSTANCES.	DILATATION.
Eau.	1/22	Alcool.	1/9
— saturée de sel marin.	1/20	Essence de térébenthine.	1/14
Acide azotique (densité 1.40).	1/9	Ether sulfurique.	1/14
Acide sulfurique (densité 1.85).	1/17	Huile d'olive et de lin.	1/12
		Mercure.	1/53 à 1/64
		Le gaz.	1/567 à 1/583

Température d'ébullition de quelques matières sous la pression atmosphérique 0^m,76

SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.	SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.
Eau distillée.	100	Dissolution saturée de chlorure de sodium.	106.9'
Acide sulfureux.	10	de nitre.	115.6'
Ether chlorhydrique.	11	de tartre.	116.7'
— sulfurique.	55.6' à 57.8'	de s.-carb. de potasse.	140
Soufre carburé.	45	Essence de térébenthine.	157
Sulfure de carbone.	47	Phosphore.	290
Esprit de bois.	65.5' à 66	Huile de térébenthine.	295
Acide stéarique.	70	Soufre.	299 à 440
Alcool.	78.4' à 79.7'	Acide sulfurique concentré.	310 à 325
Dissolution saturée de sulfate de soude.	100.7'	Huile de lin.	316
d'acétate de plomb.	102	Mercure.	350 à 360

Température de fusion de quelques corps

SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.	SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.
Glace.	0	Sulf.	55.53'
Acide hypoazotique.	9	Mercure.	59 à 40
Essence de térébenthine.	10	Phosphore.	45 à 44.2'
Chlorure de calcium hydraté.	29	Acide acétique.	45
		Stéarine.	45 à 49

SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.	SUBSTANCES.	DEGRÉS CENTIGRADES.
Spermacéti	49	Verre	400
Acide margarique	55 à 60	Antimoine	450 à 690
Potassium	58	Litharge	954
Cire jaune	60	Argent pur	1000
Cire blanche	65 à 68	Cuivre	1020 à 1200
Acide stéarique	70	Fontes blanches	1050 à 1100
Sodium	90	— manganésées	1250
Plomb 1, étain 1, bis- muth 4	94	— grises	1100 à 1250
Soufre et iode	106 à 109	Or au titre des monnaies	1180
Étain 3, plomb 1	194	— très-pur	1250
Étain	225 à 250	Aciers	1500 à 1500
Bismuth	256 à 270	Scories d'étain	1517
Chlorate de potasse	500	— de cuivre	1545
Plomb	520 à 554	Fer doux français	1500
Bronze	500 à 900	— martelé anglais	1600
Zinc	560 à 500	Platine	2500

Conductibilité électrique des métaux usuels (d'après MATHIESEN)

Argent écroui	100.00	Cobalt	17.22
Cuivre écroui	99.95	Fer écroui	16.81
Or écroui	77.96	Étain	12.36
Zinc	29.02	Plomb	8.52
Cadmium	25.72	Antimoine	4.62

Mélanges frigorifiques (d'après M. DUPONCHEL)

NATURE DES MÉLANGES.	FROID PRODUIT.	NATURE DES MÉLANGES.	FROID PRODUIT.
Neige 2 parties, sel marin 1.	2°78'	Neige 3, acide sulfureux étendu 2	50°
Neige 12, sel marin 5, ni- trate d'ammoniaque 5	5.89	Eau 1, carbonate de soude 1, nitrate d'ammoniaque 1	52
Neige 1, sel marin 5, nitrate de potasse 5	7.22	Phosphate de soude 9, acide nitrique étendu 4	54
Neige 8, acide sulfurique étendu 8	12.78	Sulfate de soude 6, nitrate d'ammoniaque 5, acide ni- trique étendu 4	56
Neige 1, sel marin 1	17.77	Neige 1, hydrochlorate de chaux 3	56.67'
Neige 1, hydrochlorate de chaux 3	18.55	Neige 4, chlorure de calcium 5	40
Eau 16, nitre 5, hydrochlo- rate d'ammoniaque 5	22	Neige 1, acide sulfurique étendu 1	44.54
Eau 1, nitrate d'ammoniaq. 1	26	Neige 5, potasse 4	46
Sulfate de soude 5, acide sul- furique étendu 4	26	Neige 2, chlorure de calcium cristallisé 3	82
Sulfate de soude 5, acide azotique étendu 2	29		

Poids par mètre courant des fers plats et carrés (densité = 7465)

épaisseurs en millimètres.	LARGEURS EN MILLIMÈTRES.																									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
1	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22		
2	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41		
3	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,46	0,49	0,50	0,53	0,55	0,57		
4	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	0,73	0,77		
5	0,08	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,38	0,42	0,47	0,50	0,54	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96		
6	0,0,14	0,18	0,25	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,73	0,78	0,83	0,87	0,92	0,97	1,01	1,05	1,10	1,15	1,20		
7	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,38	0,45	0,48	0,54	0,59	0,64	0,70	0,75	0,80	0,86	0,91	0,96	1,02	1,07	1,13	1,18	1,23	1,29	1,34		
8	0,12	0,18	0,25	0,31	0,37	0,45	0,49	0,55	0,61	0,67	0,75	0,80	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,16	1,22	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53		
9	0,13	0,21	0,28	0,34	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,90	0,96	1,03	1,10	1,17	1,24	1,31	1,38	1,45	1,51	1,58	1,65	1,72		
10	0,15	0,25	0,31	0,38	0,46	0,54	0,61	0,69	0,77	0,84	0,92	0,99	1,07	1,15	1,23	1,30	1,38	1,45	1,53	1,61	1,68	1,76	1,84	1,91		
11	0,17	0,25	0,34	0,42	0,51	0,59	0,67	0,76	0,84	0,93	1,01	1,09	1,18	1,26	1,35	1,43	1,52	1,60	1,68	1,77	1,85	1,94	2,02	2,10		
12	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,73	0,83	0,92	1,01	1,10	1,19	1,29	1,38	1,47	1,56	1,65	1,74	1,83	1,93	2,02	2,10	2,20	2,30		
13	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,19	1,29	1,39	1,50	1,60	1,69	1,79	1,89	1,99	2,09	2,19	2,29	2,39	2,49		
14	0,21	0,32	0,43	0,54	0,64	0,75	0,86	0,96	1,07	1,18	1,29	1,39	1,50	1,61	1,71	1,82	1,93	2,03	2,14	2,24	2,34	2,44	2,54	2,64		
15	0,23	0,34	0,46	0,57	0,69	0,80	0,92	1,03	1,15	1,26	1,38	1,49	1,61	1,72	1,84	1,95	2,07	2,18	2,30	2,41	2,53	2,64	2,75	2,87		
16	0,25	0,37	0,49	0,61	0,75	0,86	0,98	1,10	1,22	1,35	1,47	1,59	1,71	1,84	1,96	2,08	2,20	2,33	2,45	2,57	2,69	2,82	2,94	3,07		
17	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04	1,17	1,30	1,45	1,58	1,70	1,82	1,95	2,08	2,21	2,34	2,47	2,60	2,73	2,86	2,99	3,12	3,25		
18	0,28	0,41	0,55	0,69	0,83	0,96	1,10	1,24	1,38	1,52	1,65	1,79	1,93	2,07	2,20	2,34	2,48	2,62	2,75	2,89	3,03	3,17	3,31	3,44		
19	0,29	0,44	0,58	0,75	0,87	1,02	1,16	1,31	1,45	1,60	1,74	1,89	2,03	2,18	2,32	2,47	2,62	2,76	2,91	3,06	3,21	3,37	3,52	3,67		
20	0,31	0,46	0,61	0,77	0,92	1,07	1,22	1,38	1,53	1,68	1,84	1,99	2,14	2,30	2,45	2,60	2,76	2,91	3,06	3,21	3,37	3,52	3,67	3,83		
21	0,32	0,49	0,64	0,80	0,97	1,15	1,29	1,45	1,61	1,77	1,93	2,09	2,25	2,41	2,57	2,73	2,89	3,05	3,21	3,37	3,53	3,70	3,86	4,02		
22	0,33	0,50	0,67	0,84	1,01	1,18	1,35	1,51	1,68	1,85	2,02	2,19	2,36	2,53	2,70	2,86	3,03	3,20	3,37	3,54	3,71	3,88	4,05	4,22		
23	0,35	0,53	0,70	0,88	1,05	1,25	1,41	1,58	1,76	1,94	2,11	2,29	2,46	2,64	2,82	2,99	3,17	3,34	3,52	3,70	3,87	4,05	4,22	4,40		
24	0,37	0,55	0,74	0,92	1,10	1,29	1,47	1,65	1,84	2,02	2,20	2,39	2,57	2,75	2,94	3,12	3,31	3,49	3,67	3,86	4,04	4,23	4,41	4,59		
25	0,38	0,57	0,77	0,95	1,15	1,34	1,53	1,72	1,91	2,10	2,30	2,49	2,69	2,88	3,07	3,26	3,45	3,65	3,84	4,03	4,22	4,41	4,60	4,77		
26	0,40	0,60	0,80	0,99	1,19	1,39	1,59	1,79	1,99	2,19	2,39	2,59	2,79	2,98	3,18	3,38	3,58	3,78	3,98	4,18	4,38	4,58	4,77	4,97		
27	0,41	0,62	0,83	1,05	1,24	1,43	1,63	1,83	2,02	2,21	2,41	2,60	2,79	2,98	3,18	3,37	3,57	3,76	3,95	4,15	4,34	4,54	4,73	4,93		
28	0,44	0,67	0,89	1,11	1,33	1,55	1,78	2,00	2,22	2,44	2,66	2,88	3,10	3,31	3,53	3,75	3,96	4,17	4,38	4,59	4,80	5,01	5,22	5,43		
29	0,46	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61	1,84	2,07	2,30	2,52	2,75	2,98	3,21	3,44	3,67	3,90	4,13	4,36	4,59	4,82	5,05	5,28	5,51	5,74		

Poids par mètre courant des fers plats et carrés (densité = 7865)

EPAISSEURS en millimètres	LARGEURS EN MILLIMÈTRES.																								
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
1	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
2	0,40	0,41	0,43	0,44	0,46	0,47	0,49	0,50	0,52	0,54	0,55	0,57	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,72	0,73	0,75	0,78
3	0,60	0,62	0,63	0,67	0,69	0,71	0,75	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,99	1,01	1,03	1,06	1,08	1,10	1,13	1,15
4	0,80	0,85	0,86	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01	1,04	1,07	1,10	1,13	1,16	1,20	1,23	1,25	1,29	1,32	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47	1,50	1,54
5	0,99	1,05	1,07	1,11	1,15	1,19	1,22	1,26	1,30	1,34	1,38	1,42	1,46	1,49	1,53	1,57	1,61	1,65	1,68	1,72	1,76	1,80	1,83	1,87	1,90
6	1,19	1,25	1,29	1,33	1,38	1,42	1,47	1,51	1,56	1,61	1,65	1,70	1,74	1,79	1,84	1,88	1,92	1,97	2,02	2,07	2,11	2,16	2,20	2,25	2,28
7	1,59	1,65	1,71	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,37	2,43	2,49	2,55	2,60	2,66	2,71	2,77	2,82	2,87	2,93	2,98
8	1,99	2,06	2,13	2,20	2,27	2,35	2,42	2,49	2,56	2,64	2,71	2,79	2,86	2,93	3,01	3,08	3,15	3,23	3,30	3,37	3,45	3,52	3,60	3,67	3,75
9	2,39	2,48	2,57	2,66	2,75	2,85	2,94	3,03	3,12	3,21	3,30	3,40	3,49	3,58	3,67	3,76	3,85	3,95	4,04	4,13	4,22	4,31	4,41	4,50	4,59
10	2,79	2,89	2,99	3,09	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99	4,09	4,19	4,29	4,39	4,49	4,59	4,69	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19
11	3,19	3,29	3,39	3,49	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99	4,09	4,19	4,29	4,39	4,49	4,59	4,69	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59
12	3,59	3,69	3,79	3,89	3,99	4,09	4,19	4,29	4,39	4,49	4,59	4,69	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99
13	3,99	4,09	4,19	4,29	4,39	4,49	4,59	4,69	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39
14	4,39	4,49	4,59	4,69	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79
15	4,79	4,89	4,99	5,09	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19
16	5,19	5,29	5,39	5,49	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59
17	5,59	5,69	5,79	5,89	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99
18	5,99	6,09	6,19	6,29	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39
19	6,39	6,49	6,59	6,69	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79
20	6,79	6,89	6,99	7,09	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19
21	7,19	7,29	7,39	7,49	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59
22	7,59	7,69	7,79	7,89	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99
23	7,99	8,09	8,19	8,29	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39
24	8,39	8,49	8,59	8,69	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79
25	8,79	8,89	8,99	9,09	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19
26	9,19	9,29	9,39	9,49	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19	11,29	11,39	11,49	11,59
27	9,59	9,69	9,79	9,89	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19	11,29	11,39	11,49	11,59	11,69	11,79	11,89	11,99
28	9,99	10,09	10,19	10,29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19	11,29	11,39	11,49	11,59	11,69	11,79	11,89	11,99	12,09	12,19	12,29	12,39
29	10,39	10,49	10,59	10,69	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19	11,29	11,39	11,49	11,59	11,69	11,79	11,89	11,99	12,09	12,19	12,29	12,39	12,49	12,59	12,69	12,79
30	10,79	10,89	10,99	11,09	11,19	11,29	11,39	11,49	11,59	11,69	11,79	11,89	11,99	12,09	12,19	12,29	12,39	12,49	12,59	12,69	12,79	12,89	12,99	13,09	13,19

Poids des fers ronds et carrés (densité 7,788)

DIAMÈTRE ou côté.	KILOGRAMMES		DIAMÈTRE ou côté.	KILOGRAMMES		DIAMÈTRE ou côté.	KILOGRAMMES	
	CARRÉ	ROND		CARRÉ	ROND		CARRÉ	ROND
	$d=7.788$	$d=7.788$		$d=7.788$	$d=7.788$		$d=7.788$	$d=7.788$
millim.	kil.	kil.	millim.	kil.	kil.	millim.	kil.	kil.
2	0,051	0,024	46	16,479	12,948	90	65,088	49,565
3	0,070	0,033	47	17,204	13,517	91	64,486	50,271
4	0,125	0,098	48	17,944	14,098	92	63,918	51,791
5	0,195	0,138	49	18,699	14,692	95	67,358	52,925
6	0,280	0,220	50	19,470	15,296	94	68,815	54,607
7	0,382	0,300	51	20,257	15,916	95	70,287	55,224
8	0,498	0,392	52	21,059	16,546	96	71,774	56,395
9	0,631	0,496	55	21,876	17,188	97	73,262	57,574
10	0,779	0,612	54	22,710	17,843	98	74,776	58,644
11	0,942	0,740	55	23,559	18,510	99	76,350	59,970
12	1,121	0,881	56	24,425	19,189	100	77,880	61,190
13	1,316	1,034	57	25,305	19,881	102	79,59	62,48
14	1,526	1,199	58	26,199	20,584	104	82,74	64,75
15	1,752	1,377	59	27,110	21,300	106	85,96	67,48
16	1,994	1,566	60	28,056	22,028	108	89,25	69,94
17	2,251	1,768	61	28,979	22,769	110	92,55	72,42
18	2,525	1,985	62	29,937	23,521	115	101,17	79,42
19	2,811	2,209	65	30,911	24,286	120	110,16	86,48
20	3,115	2,448	64	31,900	25,065	125	119,55	95,81
21	3,435	2,698	63	32,884	25,855	150	129,28	101,44
22	3,769	2,962	66	33,925	26,654	155	139,42	109,47
25	4,120	3,237	67	34,900	27,468	140	149,94	117,70
24	4,486	3,525	68	35,912	28,294	145	160,84	126,01
25	4,868	3,824	69	37,079	29,135	150	172,12	135,06
26	5,265	4,136	70	38,161	29,985	160	199,84	155,75
27	5,677	4,461	71	39,259	30,846	170	221,08	175,49
28	6,106	4,797	72	40,375	31,721	180	247,86	194,57
29	6,550	5,143	75	41,502	32,548	190	296,16	216,79
30	7,009	5,507	74	42,647	33,508	200	306,00	240,21
51	7,484	5,880	75	43,806	34,119	210	357,37	264,75
52	7,975	6,266	76	44,985	35,345	220	370,26	290,66
55	8,481	6,664	77	46,176	36,288	250	404,69	317,59
54	9,005	7,074	78	47,382	37,228	240	440,64	346,64
55	9,540	7,496	79	48,605	38,189	250	478,15	374,55
56	10,095	7,950	80	49,845	39,162	260	517,14	405,95
57	10,662	8,377	81	51,097	40,147	270	557,69	437,88
58	11,246	8,836	82	52,367	41,144	280	599,76	470,81
59	11,806	9,307	85	53,652	42,154	290	645,57	504,04
40	12,461	9,790	84	54,952	43,176	500	688,50	540,24
41	15,092	10,286	85	56,208	44,210	550	957,12	756,01
42	15,758	10,794	86	57,600	45,256	400	1224,00	960,84
43	14,400	11,514	87	58,947	46,515	450	1549,12	1216,68
44	15,078	11,846	88	60,510	47,386	500	1912,50	1497,55
45	15,771	12,591	89	61,689	48,469			

HYDRAULIQUE

HYDROSTATIQUE — HYDRODYNAMIQUE

Lois de l'équilibre des fluides

Dans l'état de repos, toutes les molécules des fluides sont soumises dans tous les sens à des pressions égales et contraires, et présentent à leur partie supérieure une surface perpendiculaire à la force qui les sollicite.

Pressions exercées sur les liquides supposés sans pesanteur

Les liquides, et en général tous les fluides, transmettent, dans tous les sens, et également, les pressions qu'on exerce à leur surface.

Cette pression est proportionnelle à l'étendue de la surface que l'on considère, qu'elle soit plane ou courbe.

Pressions exercées par les liquides pesants

La pression des liquides sur leurs enveloppes est en raison de leur hauteur et non de leur quantité.

Ainsi quelques centilitres d'eau, disposés dans une colonne de très-petit diamètre, et agissant sur une très-grande surface, suffiront pour soulever un plateau chargé d'une certaine quantité de poids.

Quelle que soit la forme d'un vase, la pression des liquides qu'il contient sur le fond est égale au poids d'une colonne de liquide qui aurait pour base le fond de ce vase et pour hauteur, celle du liquide au-dessus du centre de pression, c'est-à-dire au-dessus du point d'application de la résultante de toutes les actions de la pesanteur, sur les molécules de la colonne liquide.

Immersion des corps

Principe d'Archimède. Tout corps plongé dans un fluide quelconque éprouve de la part du fluide une résistance égale au poids du fluide qu'il déplace.

Pression atmosphérique

La pression atmosphérique équivaut à celle d'une colonne de mercure de 0^m76 ou d'une colonne d'eau de 10^m395. C'est le maximum d'élévation que puissent atteindre les meilleures pompes aspirantes.

Lois de l'écoulement des fluides

Dans la température moyenne, le mètre cube d'eau pèse 998,4, à 999 k.

Dans la température moyenne, le mètre cube de glace pèse 950 k.

L'eau se comprime de 0^m,000 046 centimètres cubes par 10 mètres cubes 300 décimètres cubes.

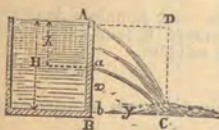
Écoulement de l'eau contenue dans un réservoir

(D'après D'AUBUISSON DE VOISINS, de PRONY, DUBUAT, Charles RENIER, etc.)

Les quantités de liquide écoulées dans le même temps de deux vases entretenus constamment pleins sont entre elles comme les produits des sections des orifices par les racines carrées des distances du centre de gravité de l'orifice au niveau du liquide.

Le volume d'eau sorti par un orifice quelconque d'un vase prismatique qui se vide entièrement n'est que la moitié de celui qu'aurait débité l'orifice si la charge primitive eût été constante.

1^o Orifices en minces parois à air libre.



Soit q Dépense ou quantité d'eau écoulée par seconde.

h Hauteur ou charge d'eau au-dessus de l'orifice.

S Surface de la section de l'orifice = lh .

V Vitesse due à la charge h sur le centre ou le milieu d'un orifice.

x Hauteur de chute.

y Longueur de jet.

$$g = 9,80896; \quad V = \sqrt{2gh} = 4,42918 \times \sqrt{h}$$

$$h = \frac{V^2}{2g} = 0,050975 V^2$$

En théorie $y = x + h$ et dans la pratique, $y = 0,95(x + h)$.
La vitesse en un point quelconque a ou b sera :

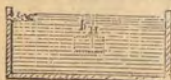
$$\text{En } a : V = \sqrt{2gh} \text{ et en } b : V = \sqrt{2gH}$$

Si on fait $y = H$ et que l'on construise la parabole AC, elle déterminera le maximum de vitesse et de longueur des jets, et la surface ABC = $\frac{2}{3}$ ABCD exprimera la dépense de l'échancrure rectangulaire b dont S est la surface et H la charge d'eau, de sorte qu'on aura :

$$q = \frac{2}{3} \sqrt{2gH} S$$

Mais à cause du frottement sur les parois, cette dépense se réduit à :

$$q = 0,61 S \sqrt{2gH} = 2,7018 S \sqrt{H}$$



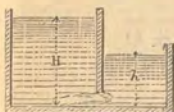
Si le bord supérieur de l'échancrure supporte une charge d'eau h et le bord inférieur une charge H , on aura :

$$q = 0,61 \frac{1}{2} S \sqrt{2g(H+h)} = 1,3509 S \sqrt{H+h}$$

On obtiendrait aussi la hauteur moyenne de la charge d'eau par la formule suivante :

$$h' = \frac{4}{9} \left(\frac{H \sqrt{H} - h \sqrt{h}}{H - h} \right)$$

Et pour la dépense : $q = 0,61 S \sqrt{2gh'} = 2,7018 S \sqrt{h'}$

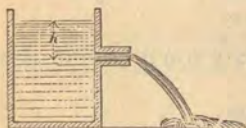


2° Orifices noyés

$$v = \sqrt{2g(H-h)} = 4,42918 \sqrt{H-h}$$

$$q = 0,61 S \sqrt{2g(H-h)} = 2,7018 S \sqrt{H-h}$$

3° Orifices munis d'un ajutage cylindrique d'une longueur égale trois fois au moins au diamètre de l'orifice.



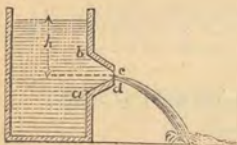
$$q = 0,82 S \sqrt{2gh} = 3,65193 S \sqrt{h}$$

Et si le diamètre de l'orifice est considérable, on aura comme ci-devant :

$$q = 0,82 \frac{1}{2} S \sqrt{2g(H+h')} = 1,8160 S \sqrt{H+h'}$$

H est la charge sur la partie inférieure et h' la charge sur la partie supérieure de l'orifice.

4° Ajutages coniques convergents sous un angle de 10° à 12° (Le diamètre ab doit être égal à 1,20 cd)



$$q = 0,98 S \sqrt{2gh} = 4,3406 S \sqrt{h}$$

Et si l'on doit avoir égard à la moyenne des deux charges :

$$q = 0,98 S \frac{1}{2} \sqrt{2g(H+h')} = 2,1703 S \sqrt{H+h'}$$

5° Ajutages coniques divergents.



Longueur de l'ajutage 0^m,46; angle de divergence 4° 58'.

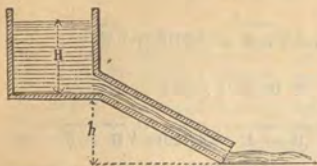
$$q = 1,20 S \sqrt{2gh} = 5,513 S \sqrt{h}$$

Et pour deux charges :

$$q = 1,20 S \frac{1}{2} \sqrt{2g(H+h')} = 2,6373 S \sqrt{H+h'}$$

D'après Venturi, la dépense sera maximum, si la longueur de l'ajutage est 9 fois le diamètre de la plus petite base et l'angle de divergence égal à 5° 6'.

6° Orifices en coursiers.



On aura pour la vitesse au point *b*, extrémité du coursier :

$$V = \sqrt{2g(H+h)} = 4,42918 \sqrt{H+h}$$

Et

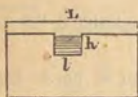
$$q = 0,82 S \sqrt{2g(H+h)} \\ = 5,65193 S \sqrt{H+h}$$

7° Déversoirs.



Dans ce cas la vitesse n'est que les $\frac{4}{9}$ de $\sqrt{2gh}$; on aura donc pour $l < \frac{1}{3} L$ et pour la dépense maximum :

$$q = 2,953 \times 0,60 lh \sqrt{h} = 1,7718 lh \sqrt{h}$$



Et pour un canal ou barrage :

$$q = 2,953 \times 0,663 lh \sqrt{h} = 1,9657 lh \sqrt{h}$$

Mouvement de l'eau dans les rivières et les canaux

p Pente de la surface liquide du canal ;

C Périmètre mouillé de la section ;

S Surface de cette section ;

n Rapport $\frac{S}{C}$ de l'aire au périmètre mouillé ;

V Vitesse moyenne du courant égale les $\frac{8}{10}$ de la vitesse à la surface.

On aura, d'après Eytelwein :

$$q = VS ; \text{ et } np = 0,00036534 (V^2 + 0,0664 V)$$

Et d'après de Prony :

$$np = 0,0000444 V + 0,000309 V^2$$

$$\text{D'où } p = \frac{C}{S} V (0,0000444 + 0,000309 V) ; \text{ et } V = 56,8 \sqrt{np} - 0,072$$

D'après M Darcy, si on représente par :

v Vitesse moyenne de l'eau dans le canal ;

V Vitesse maximum à la surface ;

p Pente par mètre ;

h Profondeur de l'eau ;

l Largeur uniforme de la veine fluide.

On aura :

$$v = 63,25 \sqrt{\frac{lh}{l+2h}} \times p; \quad V = 75,55 \sqrt{\frac{lh}{l+2h}} \times p$$

$$p = \left(\frac{l+2h}{lh}\right) \left(\frac{v}{63,25}\right)^2 = \left(\frac{l+2h}{lh}\right) \left(\frac{V}{75,55}\right)^2$$

Soient encore V vitesse à la surface, l distance parcourue par un flotteur en temps :

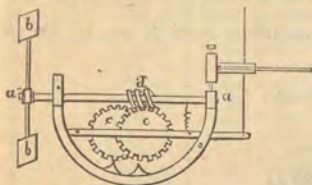
$$V = \frac{l}{t}; \quad v = V \left(\frac{V + 2,57187}{V + 3,1531}\right)$$

La vitesse de la Seine à Paris est de 0^m60 et son débit de 150^m3 par seconde.
 — du Rhin à Strasbourg de 2 00 — 1000 —
 — du Rhône à Lyon de 2 00 — 600 —
 — de la Garonne à Toulouse de 0 80 — 150 —

Moulinet de Woltmann

Pour trouver la vitesse propre d'un point quelconque de la surface d'un cours d'eau, on se sert d'un instrument, appelé *Moulinet de Woltmann*, formé d'un arbre tournant aa portant 4 ailes $b b$ disposées comme celles d'un moulin à vent. Le courant les fait tourner et, du nombre de révolutions faites en un certain temps, on conclut directement la vitesse de l'eau. Le nombre de révolutions est indiqué par un compteur cc , qui communique par une vis sans fin d avec l'arbre tournant.

Soit n nombre de révolutions faites par le moulinet en un temps t , on aura :



$$V = a \frac{n}{t};$$

a est un coefficient de frottement pour un même instrument, et qu'on obtient en faisant parcourir à ce dernier un certain espace dans une eau stagnante et divisant l'espace parcouru par le nombre de tours de l'arbre.

Mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite

(D'APRÈS DE PRONY ET EYTELWEIN)

v Vitesse moyenne de régime;

d Diamètre intérieur de la conduite;

p Pente par mètre, ou différence de niveau aux deux extrémités de la conduite divisée par la longueur de la conduite;

a Coefficient égal à 0,0000175314 ou 0,00002256;

b Coefficient égal à 0,000548259 ou 0,00028032;

S Section.

$$v = \sqrt{0,0062 + 2871,44 \frac{dp}{4}} - 0,025$$

Ou à peu près :

$$v = 53,58 \sqrt{\frac{dp}{4}} - 0,025$$

$$q = Sv = v \frac{\pi d^2}{4}$$

Épaisseur à donner aux tuyaux de conduite

1° TUYAUX EN FONTE

e Épaisseur du tuyau en millimètres ;
 h Charge d'eau exprimée en mètres ;
 d Diamètre du tuyau en mètres ;
 r Résistance du métal à la traction par millimètre carré de section.

$$e = \frac{hd}{2r}$$

La ténacité absolue de la fonte est de 13 à 14 kilogrammes par millimètre carré, et, en la réduisant à 2 kilogrammes pour le cas présent, on aura :

$$e = \frac{hd}{4} = 0,25 \, hd$$

Et en exprimant e en mètres :

$$e = 0,00025 \, hd$$

2° TUYAUX EN PLOMB.

La ténacité du plomb est de 1,550 par millimètre carré de section. On peut faire $r = 0,523$.

$$e = \frac{hd}{2r} = hd \times 1,55846$$

Et en exprimant e en mètres :

$$e = 0,00155846 \, hd$$

Dans les arts, les épaisseurs de tuyaux se calculent à l'aide des formules suivantes dans lesquelles n représente la pression en atmosphères à laquelle on essaye les tuyaux.

Fonte coulée horizontalement . . .	$e = 0^m, 0100 + 0^m, 00200 \, dn$
— — verticalement . . .	$e = 0, 0080 + 0, 00160 \, dn$
Fer	$e = 0, 0050 + 0, 00086 \, dn$
Cuivre laminé	$e = 0, 0040 + 0, 00147 \, dn$
Plomb	$e = 0, 0050 + 0, 00242 \, dn$
Zinc	$e = 0, 0040 + 0, 00620 \, dn$
Bois	$e = 0, 0270 + 0, 05250 \, dn$
Pierres naturelles	$e = 0, 0500 + 0, 00363 \, dn$
Pierres factices	$e = 0, 0400 + 0, 00558 \, dn$

Perte de charge p due aux coudes (D'APRÈS NAVIER)

v Vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau ;
 $\frac{v^2}{2g}$ Hauteur correspondante à la vitesse v ;
 r Rayon de l'arc formé par l'axe du coude ;
 a Développement de l'arc formé par l'axe du coude.

$$p = \frac{v^2}{2g} (0,0059 + 0,0186 \, r) \frac{a}{r^2}$$

Vitesse théorique $V = \sqrt{2gh}$ correspondant à différentes hauteurs de chute.

VITESSE.	HAUTEUR correspondante.	VITESSE.	HAUTEUR correspondante.	VITESSE.	HAUTEUR correspondante.	VITESSE.	HAUTEUR correspondante.
mètres.	mètres.	mètres	mètres.	mètres	mètres.	mètres	mètres.
0,01	0,00000 51	0,54	0,01486 45	1,55	0,09290 19	4,00	0,81559 56
0,02	0,00002 04	0,55	0,01541 99	1,40	0,09991 02	4,05	0,85611 74
0,05	0,00004 59	0,56	0,01598 58	1,45	0,10717 49	4,10	0,89688 97
0,04	0,00008 16	0,57	0,01656 18	1,50	0,11469 28	4,15	0,93791 69
0,05	0,00012 74	0,58	0,01714 80	1,55	0,12210 74	4,20	0,97919 90
0,06	0,00018 35	0,59	0,01774 41	1,60	0,13049 50	4,25	0,92075 59
0,07	0,00024 98	0,60	0,01833 10	1,65	0,13877 94	4,30	0,94232 77
0,08	0,00032 62	0,61	0,01896 78	1,70	0,14751 77	4,35	0,96457 44
0,09	0,00041 29	0,62	0,01959 48	1,75	0,15611 09	4,40	0,98687 60
0,10	0,00050 97	0,65	0,02025 20	1,80	0,16515 90	4,45	1,00945 24
0,11	0,00061 68	0,64	0,02087 94	1,85	0,17446 19	4,50	1,05224 57
0,12	0,00075 40	0,65	0,02153 69	1,90	0,18401 97	4,55	1,05350 99
0,15	0,00086 15	0,66	0,02220 47	1,95	0,19385 24	4,60	1,07805 10
0,14	0,00099 91	0,67	0,02288 27	2,00	0,20589 84	4,65	1,10220 69
0,15	0,00114 69	0,68	0,02357 08	2,05	0,21422 24	4,70	1,12605 77
0,16	0,00130 49	0,69	0,02426 92	2,10	0,22479 80	4,75	1,15012 54
0,17	0,00147 32	0,70	0,02497 78	2,15	0,23565 19	4,80	1,17446 40
0,18	0,00165 16	0,71	0,02569 65	2,20	0,24671 71	4,85	1,19905 94
0,19	0,00184 02	0,72	0,02642 54	2,25	0,25806 09	4,90	1,22590 97
0,20	0,00205 90	0,75	0,02716 46	2,30	0,26968 56	4,95	1,24901 49
0,21	0,00224 80	0,74	0,02791 59	2,35	0,28150 94	5,00	1,27457 50
0,22	0,00246 72	0,75	0,02867 54	2,40	0,29361 57	5,05	1,29998 99
0,25	0,00269 66	0,76	0,02944 52	2,45	0,30597 74	5,10	1,52585 97
0,24	0,00295 61	0,77	0,03022 51	2,50	0,31859 12	5,15	1,55198 44
0,25	0,00318 59	0,78	0,03101 52	2,55	0,33146 49	5,20	1,57856 40
0,26	0,00344 59	0,79	0,03181 55	2,60	0,34458 85	5,25	1,40499 84
0,27	0,00371 61	0,80	0,03262 40	2,65	0,35797 19	5,30	1,45188 77
0,28	0,00399 64	0,81	0,03344 47	2,70	0,37160 77	5,35	1,45905 19
0,29	0,00428 70	0,82	0,03427 56	2,75	0,38549 84	5,40	1,48643 10
0,50	0,00458 77	0,85	0,03511 67	2,80	0,39964 40	5,45	1,51408 49
0,51	0,00489 87	0,84	0,03596 80	2,85	0,41404 44	5,50	1,54199 57
0,52	0,00521 98	0,85	0,03682 94	2,90	0,42869 97	5,55	1,57015 74
0,55	0,00553 12	0,86	0,03770 11	2,95	0,44360 99	5,60	1,59857 60
0,54	0,00589 27	0,87	0,03858 50	3,00	0,45877 14	5,65	1,62721 94
0,55	0,00624 44	0,88	0,03947 50	3,05	0,47419 49	5,70	1,65617 77
0,56	0,00660 64	0,89	0,04037 75	3,10	0,48986 97	5,75	1,68556 90
0,57	0,00697 85	0,90	0,04128 97	3,15	0,50579 94	5,80	1,71479 90
0,58	0,00736 08	0,91	0,04221 24	3,20	0,52198 40	5,85	1,74449 19
0,59	0,00775 35	0,92	0,04314 52	3,25	0,53842 54	5,90	1,77445 97
0,40	0,00815 60	0,95	0,04408 85	3,30	0,55511 77	5,95	1,80464 24
0,41	0,00856 89	0,94	0,04504 15	3,35	0,57206 69	6,00	1,83508 56
0,42	0,00899 20	0,95	0,04600 49	3,40	0,58927 10	6,05	1,86581 24
0,45	0,00942 55	0,96	0,04697 86	3,45	0,60672 99	6,10	1,89677 77
0,44	0,00986 88	0,97	0,04796 24	3,50	0,62444 57	6,15	1,92800 19
0,45	0,01032 24	0,98	0,04895 61	3,55	0,64261 24	6,20	1,95947 90
0,46	0,01078 65	0,99	0,04996 06	3,60	0,66095 60	6,25	1,99121 08
0,47	0,01126 04	1,00	0,05097 46	3,65	0,67911 44	6,30	2,02519 77
0,48	0,01174 46	1,05	0,05619 99	3,70	0,69784 77	6,35	2,05545 94
0,49	0,01225 91	1,10	0,06167 97	3,75	0,71685 59	6,40	2,08795 60
0,50	0,01274 37	1,15	0,06741 44	3,80	0,73607 90	6,45	2,12068 74
0,51	0,01325 86	1,20	0,07340 54	3,85	0,75557 69	6,50	2,15569 57
0,52	0,01378 56	1,25	0,07964 84	3,90	0,77552 97	6,55	2,18695 49
0,55	0,01431 89	1,30	0,08614 71	3,95	0,79553 74	6,60	2,22047 10

VITESSE.	HAUTEUR corres- pondante.	VITESSE.	HAUTEUR corres- pondante.	VITESSE.	HAUTEUR corres- pondante.	VITESSE.	HAUTEUR corres- pondante.
mètres	mètres.	mètres	mètres.	mètres	mètres.	mètres	mètres.
6,65	2,25424 49	7,75	3,06168 59	8,85	3,99248 94	9,95	5,04655 77
6,70	2,28826 77	7,80	3,10151 90	8,90	4,05772 97	10,00	5,09746 00
6,75	2,32254 84	7,85	3,15865 82	8,95	4,08522 49	10,50	5,61999 00
6,80	2,35708 40	7,90	3,18154 97	9,00	4,12897 50	11,00	6,16792 66
6,85	2,39187 44	7,95	3,22174 74	9,05	4,17497 99	11,50	6,74144 00
6,90	2,42691 77	8,00	3,26257 44	9,10	4,22125 97	12,00	7,34054 24
6,95	2,46221 49	8,05	3,30550 74	9,15	4,26775 44	12,50	7,96484 57
7,00	2,49777 50	8,10	3,34446 97	9,20	4,31452 50	15,00	8,61470 74
7,05	2,53338 49	8,15	3,38588 69	9,25	4,36154 84	15,50	9,29019 57
7,10	2,56964 97	8,20	3,42735 90	9,30	4,40882 77	14,00	9,99102 16
7,15	2,60596 94	8,25	3,46948 59	9,35	4,45656 19	14,50	10,71749 57
7,20	2,64254 40	8,30	3,51166 77	9,40	4,50415 40	15,00	11,46928 50
7,25	2,67957 54	8,35	3,55410 44	9,45	4,55219 49	15,50	12,21074 57
7,30	2,71645 77	8,40	3,59679 60	9,50	4,60049 57	16,00	13,04949 76
7,35	2,75379 69	8,45	3,63971 64	9,55	4,64904 74	16,50	13,87794 57
7,40	2,79159 10	8,50	3,68294 57	9,60	4,69785 60	17,00	14,75177 50
7,45	2,82925 99	8,55	3,72659 99	9,65	4,74761 94	17,50	15,61109 57
7,50	2,86734 57	8,60	3,77011 40	9,70	4,79625 77	18,00	16,51590 00
7,55	2,90570 24	8,65	3,81407 69	9,75	4,84581 09	18,50	17,44619 57
7,60	2,94451 60	8,70	3,85829 77	9,80	4,89563 90	19,00	18,40197 50
7,65	2,98318 44	8,75	3,90277 54	9,85	4,94572 49	19,50	19,38524 57
7,70	3,02250 77	8,80	3,94750 40	9,90	4,99905 97	20,00	20,38984 00

Quantité d'eau écoulée par seconde d'un orifice en déversoir à air libre, en faisant
 $q = 1,77 \text{ lh } \sqrt{h}$

HAUTEUR de la lame d'eau.	LARGEURS DE LA LAME D'EAU.									
	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70	0m,80	0m,90	1m,00
mètres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.
0,01	0,18	0,55	0,55	0,71	0,88	1,06	1,24	1,42	1,59	1,77
0,02	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,01
0,03	0,92	1,84	2,76	3,68	4,60	5,52	6,44	7,36	8,28	9,20
0,04	1,42	2,85	4,25	5,66	7,08	8,50	9,91	11,55	12,74	14,16
0,05	1,98	3,96	5,94	7,92	9,89	11,87	13,85	15,85	17,81	19,79
0,06	2,60	5,20	7,80	10,40	13,00	15,60	18,20	20,79	23,40	26,00
0,07	3,28	6,55	9,82	13,11	16,59	19,66	22,94	26,22	29,49	32,77
0,08	4,00	8,01	12,01	16,02	20,02	24,05	28,05	32,04	36,04	40,04
0,09	4,78	9,56	14,34	19,12	23,89	28,67	33,45	38,25	43,01	47,79
0,10	5,60	11,19	16,79	22,39	27,98	33,58	39,18	44,77	50,57	55,97
0,11	6,46	12,91	19,37	25,85	32,28	38,74	45,19	51,65	58,10	64,56
0,12	7,36	14,72	22,07	29,45	36,79	44,15	51,50	58,86	66,22	73,58
0,15	8,29	16,59	24,88	35,18	41,48	49,77	58,07	66,56	74,66	82,95
0,14	9,27	18,54	27,81	37,08	46,55	55,62	64,89	74,16	85,45	92,70
0,15	10,28	20,56	30,84	41,12	51,40	61,68	71,96	82,24	92,52	102,80
0,16	11,35	22,66	35,98	45,51	56,64	67,97	79,50	90,62	101,195	115,28
0,17	12,41	24,81	37,22	49,62	62,05	74,44	86,84	99,25	111,165	124,06

HAUTEUR de la lame d'eau.	LARGEURS DE LA LAME D'EAU.									
	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,6	0m,70	0m,80	0m,90	1m,00
mètres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.	litres.
0,18	15,51	27,05	40,54	54,06	67,57	81,09	94,60	108,42	121,65	135,45
0,19	14,66	29,51	45,97	58,62	75,28	87,95	102,59	117,25	131,90	146,56
0,20	13,85	31,66	47,49	63,52	79,15	94,98	110,82	126,65	142,48	158,31
0,21	17,05	34,06	51,09	68,12	85,16	102,19	119,22	136,25	153,28	170,31
0,22	18,26	36,35	54,79	75,05	91,51	109,58	127,85	146,10	164,37	182,65
0,25	19,52	59,04	58,56	78,08	97,60	117,12	136,64	156,16	175,68	195,20
0,24	20,81	41,61	62,42	85,25	104,05	124,84	145,65	166,45	187,26	208,07
0,25	22,12	44,25	66,57	88,50	110,62	132,75	154,87	177,00	199,12	221,25
0,26	25,47	46,95	70,40	95,86	117,55	140,79	164,26	187,72	211,19	234,66
0,27	24,85	49,66	74,49	99,55	124,16	148,99	173,82	198,65	223,48	248,32
0,28	26,22	52,44	78,67	104,89	131,11	157,35	185,55	209,78	236,00	262,22
0,29	27,64	55,28	82,92	110,56	138,21	165,85	195,49	221,15	248,77	276,41
0,50	29,08	58,17	87,25	116,55	145,41	174,50	205,58	232,66	261,75	290,85
0,51	50,55	61,09	91,64	122,18	152,75	185,28	215,82	244,57	274,92	305,46
0,52	52,04	64,07	96,11	128,14	160,18	192,21	224,25	256,28	288,52	320,56
0,53	53,55	67,10	100,65	134,20	167,75	201,50	234,85	268,41	301,96	335,51
0,54	55,05	70,07	105,10	140,14	175,17	210,21	245,24	280,28	315,51	350,55
0,55	56,65	75,50	109,95	146,59	183,25	219,00	256,65	295,20	329,85	366,50
0,56	58,25	76,46	114,70	152,95	191,16	229,59	267,62	305,86	344,09	382,52
0,57	59,85	79,66	119,49	159,52	199,15	238,99	278,82	318,65	358,48	398,51
0,58	41,46	82,92	124,58	165,84	207,29	248,75	290,21	331,67	375,15	414,59
0,59	45,10	86,20	129,51	172,41	215,51	258,61	301,71	344,82	387,92	431,02
0,40	44,77	89,55	154,55	179,10	225,87	268,64	315,42	358,19	402,96	447,74
0,41	46,47	92,95	159,40	185,87	232,55	278,80	325,27	371,75	418,20	464,67
0,42	48,17	96,54	144,52	192,69	240,86	289,05	337,21	385,58	435,55	481,72
0,45	49,91	99,81	149,72	199,62	249,55	299,45	349,54	399,24	449,15	499,05
0,44	51,66	105,52	154,97	206,65	258,29	309,95	361,60	415,26	464,92	516,58
0,45	55,45	106,86	160,29	215,72	267,15	320,57	374,00	427,45	480,86	534,29
0,46	55,22	110,44	16,566	220,88	276,10	331,51	386,55	441,75	496,97	552,19
0,47	57,05	114,05	171,08	228,11	285,15	342,16	399,19	456,21	515,24	570,27
0,48	58,86	117,72	176,58	235,44	294,50	355,16	412,02	470,88	529,74	588,60
0,49	60,71	121,42	182,15	242,84	305,56	364,27	424,98	485,69	546,40	607,11
0,50	6,258	125,16	187,74	250,51	312,89	375,47	438,05	500,65	565,21	625,78

Force d'un cours d'eau

La force absolue d'un cours d'eau est le produit du poids de l'eau qu'il dépense en une seconde par la hauteur de la chute.

Ainsi on aura, si q est le poids en kilogrammes de la dépense et h la hauteur de la chute :

$$F = qh^{\text{km}}$$

Et si l'on veut l'exprimer en chevaux-vapeur de 75^{km} , on aura le nombre n de chevaux par cette formule :

$$n = \frac{qh^{\text{km}}}{75}$$

Ainsi la force absolue d'un cours d'eau qui fournit 650 litres par seconde, et dont la chute est de 6 mètres, sera :

$$650 \times 6 = 3\,900^{\text{km}} \text{ ou litres}$$

Et son expression en chevaux-vapeur :

$$n = \frac{3900}{75} = 52 \text{ chevaux}$$

Il résulte des lois qui précèdent que l'écoulement de l'eau par un orifice quelconque est toujours en raison de la pression, la vitesse étant proportionnelle au carré de la distance du niveau supérieur à l'ouverture.

Force utilisable d'une chute d'eau

- F Force en chevaux-vapeur = 75^k élevés à 1 mètre en une seconde.
 q Poids en kilogrammes de l'eau dépensée en une seconde.
 h Hauteur de la chute en mètres.
 k Coefficient d'utilisation = de 0,25 à 0,85, et qu'il convient de faire = 0,65.

$$F = \frac{qhk}{75}$$

Roues hydrauliques

ROUES A AUBES

1^o Roues à ailes exposées à l'action d'un courant

- Solent : $g = 9,80896$.
 s surface antérieure du corps choqué.
 V vitesse du fluide en arrivant sur le corps
 v vitesse du corps au centre de percussion.
 E effet utile.
 P poids de l'eau.

En théorie :

$$E = \frac{1000}{g} s (V - v)^2 v;$$

Et dans la pratique :

$$E = 150 s (V - v)^2 v$$

Le rapport le plus avantageux entre v et V est lorsque $v = 0,40$ à $0,43 V$.
 La largeur des aubes est donnée par l'équation suivante, dans laquelle h représente la hauteur de l'aube :

$$L = \frac{E}{150 h (V - v)^2 v}$$

2^o Roues à aubes planes recevant l'eau en dessous



La hauteur h des aubes doit être égale à trois fois l'épaisseur n de la lame d'eau dans le coursier. La vanne doit être de même largeur que le coursier et avoir une inclinaison de 45° vers l'amont.

- v vitesse des palettes.
 V vitesse de l'eau à son arrivée.

On obtiendra le maximum d'effet si $v = 0,50 V$.

$$E = 0,62 \frac{P}{g} (V - v) v$$

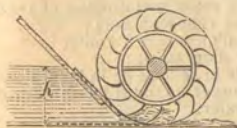
Et en remplaçant le poids P par $(1000 q)$, q exprimant le volume de l'eau qui s'écoule dans une seconde :

$$E = 63,2 q (V - v) v$$

Et pour un volume d'eau nécessaire pour produire un effet donné :

$$q = \frac{E}{63,2 (V - v) v}$$

$$V = 0,95 \sqrt{2gH}$$



ROUES A AUBES COURBES

1^o Pour de grandes ouvertures de vanne et des chutes de 1^m,20 et au-dessous :

$$E = 0,65 Ph; \quad P = \frac{E}{0,65 h}$$

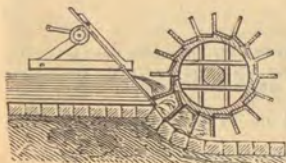
2^o Pour de petites ouvertures ou des chutes supérieures à 1^m,50 :

$$E = 0,55 Ph; \quad P = \frac{E}{0,55 h}$$

P poids de l'eau écoulée dans une seconde, h hauteur ou charge d'eau au-dessus du centre de gravité de l'ouverture.

D'après M. Poncelet, on doit faire : $v = 0,55 V$.

ROUES EMBOÎTÉES DANS UN COURSIER COURBE



La vitesse de la roue qui donne le maximum d'effet est les 0,55 de V . Elle ne doit être ni inférieure à 1 mètre ni supérieure à 2 mètres pour la disposition indiquée figure ci-contre.

L'espacement des aubes peut varier de 0^m,35 à 0^m,40.

$$E = 0,65 Ph; \quad P = \frac{E}{0,65 h}$$

ROUES A AUGETS

La vitesse des roues à augets ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour que leur marche soit régulière; elle peut atteindre 2 mètres pour les petites roues et 2^m,50 pour les grandes.

L'effet utile sera d'autant plus grand que v approchera davantage de V .

$$E = 0,75 Ph$$

Ce coefficient peut être porté à 0,80 pour les roues en dessous.

Si on considère le poids de l'eau exprimé en kilogrammes, et si on emploie le volume de l'eau en mètres cubes,

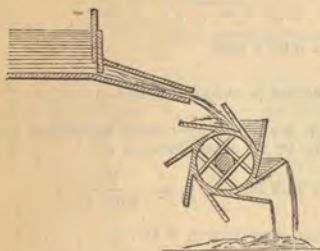
$$E = 750 qh$$

q indiquant en mètres cubes le volume d'eau écoulé par seconde et h la charge d'eau sur le centre de gravité de l'ouverture.

On aura le volume d'eau à amener sur la roue pour produire un effet donné par :

$$P = \frac{E}{0,75h}; \quad q = \frac{E}{750h} = \frac{E}{h} \times 0,0013333.$$

On obtient la longueur des augets au moyen de la formule suivante dans laquelle on fait :



- q Volume d'eau débité par le coursier en une seconde ;
 v Vitesse de la roue à la circonférence dynamique = 1 mètre par seconde pour les roues métalliques et 1^m50 pour les roues en bois ;
 d Distance d'un auget à l'autre ;
 l Longueur d'un auget ;
 s Surface de la section de la lame d'eau dans l'auget quand il passe devant le coursier.

$$l = \frac{qd}{sv}; \quad sl = \frac{qd}{v}$$

ROUES SE MOUVANT DANS UN COURANT A GRANDE SECTION

Roues pendantes

Soit s section de la partie plongée de l'aube placée sur le rayon vertical de la roue, mesurée suivant ce rayon.

V vitesse à la surface du courant :

$$E = 20sV^3$$

La longueur des roues varie de 2^m50 à 5 mètres et leur diamètre peut atteindre 4 ou 5 mètres. La hauteur des aubes doit être de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{4}$ du rayon de la roue et ne pas être inférieure à 0^m,35. L'écartement des aubes est égal à leur hauteur.

Le nombre des aubes qui est ordinairement de 12 peut être porté à 18 et même à 24.

Turbines

$$E = 700qh; \quad q = \frac{E}{650h} = \frac{E}{h} \times 0,0015385$$

On obtiendra le diamètre du réservoir cylindrique en observant que la vitesse de l'eau dans ce réservoir ne doit pas excéder le $\frac{1}{4}$ ou le $\frac{1}{5}$ de la vitesse due à la chute totale. Soit donc v' vitesse dans le réservoir = $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$ de V , on aura le diamètre D :

$$D = \sqrt{\frac{q}{0,785v'}}$$

Et le nombre n de tours que doit faire la roue :

$$n = k \frac{V}{R}$$

Dans laquelle on a k coefficient variant de 5 à 8, V vitesse du fluide due à la hauteur totale, R rayon intérieur de la roue.

Jets d'eau

D'après Mariotte, l'excédant de la hauteur d'eau dans le réservoir sur celle à laquelle le jet peut s'élever, est le carré du dixième de cette hauteur du jet exprimée en mètres.

Ainsi, un jet de 20 mètres de hauteur suppose le réservoir à 24 mètres de hauteur, le dixième de 20 étant 2 et son carré = 4.

(Voir pour plus de développements les articles de M. Charles Renier dans l'*Encyclopédie moderne* et l'*Aide-mémoire* de M. J. Claudel.)

Siphon

Cet appareil, qui consiste en un tube recourbé dont l'une des branches est plus longue que l'autre, s'emploie avantageusement dans les travaux hydrauliques lorsqu'il s'agit de déverser une grande masse d'eau d'un niveau supérieur à un niveau plus bas.

On amorce le siphon sur place en bouchant les deux extrémités *a* et *c*, et en le remplissant de liquide par une ouverture pratiquée en *b* que l'on bouche après pour ouvrir en même temps *a* et *c*. On peut aussi amorcer le siphon en plaçant une petite pompe en *b* et bouchant l'ouverture *c* jusqu'à ce que le siphon soit plein. Pour que l'écoulement se fasse d'une manière continue et que le débit soit constant, on aura soin de noyer l'orifice *c* dans un petit bassin, afin d'empêcher l'introduction de l'air.



Siphon intermittent



Un siphon *abc* est adapté à un vase *P* de manière que sa longue branche *c* descende dans le pied qui est creux et s'ouvre au dehors, tandis que la branche la plus courte *a* s'ouvre au fond. Si on verse de l'eau dans le vase, elle s'élève à la même hauteur dans la branche *ab*, mais dès que l'eau arrive au point de courbure *b*, elle s'écoule par la branche *bc* et le vase se vide entièrement.

Fontaines intermittentes naturelles

Le phénomène des fontaines intermittentes naturelles provient de ce que les canaux souterrains, dans lesquels circule l'eau, ont la forme de siphons.

Soit la colline *ABC* dans laquelle se trouve un réservoir *dgf* communiquant



à l'extérieur par un canal en forme de siphon *fhC*. Dès que ce réservoir, par suite de l'infiltration, se trouve rempli jusqu'à la hauteur *g* de niveau avec la courbure *h* du siphon naturel, l'eau s'écoule extérieurement jusqu'à ce que le niveau soit descendu au point *f*. Alors le débit cesse pour recommencer lorsque le niveau atteint encore la hauteur *g*.

Pompes

Une pompe se compose de trois parties essentielles : le piston, les soupapes et les tuyaux.

Le piston est un corps cylindrique qui remplit exactement le tuyau principal appelé *corps de pompe*, de manière à y jouer librement. L'espace que parcourt le piston est sa *course*. Cette *course* a pour point d'arrêt $10^m,395$. Dans la pratique, on lui donne un maximum de 8 à 9 mètres au-dessus du réservoir.

Le tuyau d'aspiration qui plonge dans le réservoir est terminé par une grille ou *lanterne* percée de petits trous pour laisser entrer l'eau et s'opposer au passage des corps étrangers.

Les diamètres des tuyaux d'aspiration et d'ascension sont ordinairement compris entre la moitié et les $\frac{2}{3}$ de celui du corps de pompe.

Les *soupapes* sont des diaphragmes mobiles, avec charnières ou arrêts, disposés transversalement dans les tuyaux pour intercepter le passage ou le laisser libre suivant que la pression s'exerce dans un sens ou dans l'autre.

La force nécessaire pour faire fonctionner une pompe est, sans compter le frottement, égale au poids d'une colonne d'eau dont la base est la surface du piston ou de l'aile dans la pompe rotative, et la hauteur la différence de niveau entre le bassin et le dégorgeoir.

L'effet théorique devra donc être égal à la surface du piston multipliée par la hauteur de la course et par le nombre de coups pendant un temps *t*; son effet pratique est le volume réel débité pendant le même temps. Ce volume n'est que les 0,93 du volume théorique pour les meilleures pompes, et il descend à 0,40 pour celles mal construites ou en mauvais état.

Pour des pompes bien construites, et en parfait état d'entretien, le volume d'eau élevé est égal à celui engendré par le piston diminué de 0,03 à 0,04; mais pour les pompes ordinaires, ce déchet va à 0,10 et même à 0,20.

Les pompes *Letestu*, *Flaud* et *Perrin* ont donné au Conservatoire des arts et métiers une moyenne de 0,910 à 0,932 pour le rapport du volume engendré par le piston à celui de l'eau élevée, et de 0,500 à 0,700 pour le rendement ou rapport de la dépense à l'effet produit.

Pour les pompes mues à bras d'homme, la course du piston est de $0^m,30$ environ, pour celles mues par locomobiles, $1^m,00$ à $1^m,20$.

La vitesse du piston peut avoir de $0^m,50$ à $0^m,42$ par seconde, mais il convient de la maintenir de $0^m,16$ à $0^m,24$, à cause de l'usure rapide des garnitures du piston.

Frottement des pistons dans les corps de pompe

(d'après d'AURISSON DE VOISINS)

R, résistance en kilogrammes.

d, diamètre du corps de pompe.

h, charge d'eau.

m, coefficient = 7^k pour les corps de pompe en laiton.

— = 15 —

— = 25 —

— = 50 —

en fonte forée.

en bois assez lisse.

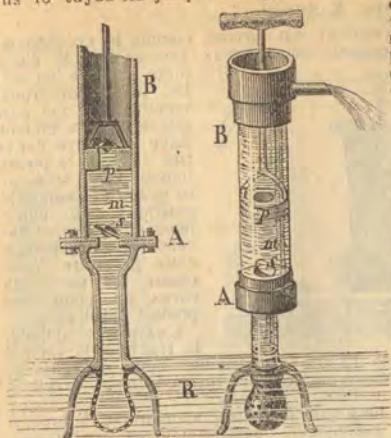
en bois dégradé par l'usage.

$$R = d h m$$

Pompes aspirantes

Quand on élève le piston *p* par sa tige, l'air contenu en *m* se dilate et la soupape dormante *s* s'ouvre pour livrer passage à l'eau qui s'élève du réservoir R

dans le tuyau AB jusqu'à ce que la colonne qu'elle y forme, plus le ressort de l'air extérieur dilaté, atteigne 10^m.395, limite de la pression atmosphérique. Le va-et-vient imprimé au piston détermine l'ascension de l'eau d'une manière continue.

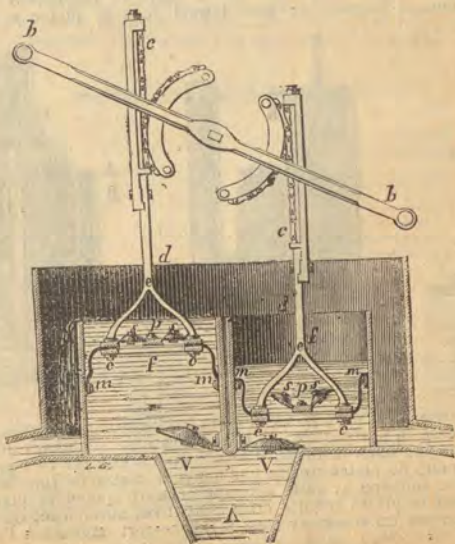


Pompe des prêtres

La pompe ci-dessous se compose d'un balancier *bb* qui oscille sur son axe et porte un tambour formé de deux secteurs auxquels sont fixées les chaînes *cc* qui tirent les tiges *dd* des pistons. Les bascules imprimées au balancier sont communiquées aux pistons *pp*, dont l'un monte quand l'autre descend. Les deux corps de pompe *ff* dans lesquels ce mouvement s'effectue, sont formés de deux cylindres posés l'un sur l'autre et joints hermétiquement. Dans la jointure sont pincés les bords d'un manchon en cuir *mm* parfaitement flexibles; l'autre bout du manchon de cuir est saisi entre deux plaques parallèles qui tiennent à un étrier *ee*

et portent des soupapes *ss*.

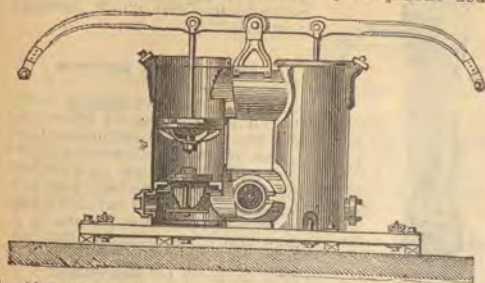
Le tuyau d'aspiration *A* communique en *VV*, avec les corps de pompe. La bascule faisant monter l'un des pistons et descendre l'autre, les manchons de cuir prennent des formes, l'une concave l'autre convexe; le premier a ses soupapes fermées et fait aspiration, le second les a ouvertes et l'eau passe par-dessus. C'est donc une pompe aspirante à double piston sans frottement.



Pompe Letestu

Cette pompe, du nom de son inventeur, est formée, de deux corps de pompe, dans lesquels jouent deux

comme la précédente, pistons formés d'une pièce concave en métal, percée de trous, recouverte d'une garniture flexible en cuir fixée au centre Par la tige. Lorsque le piston baisse, l'eau traverse le piston et soulève la garniture en cuir ; pendant la course ascendante du piston, cette garniture frotte contre les parois du corps de pompe, et produit l'aspiration.



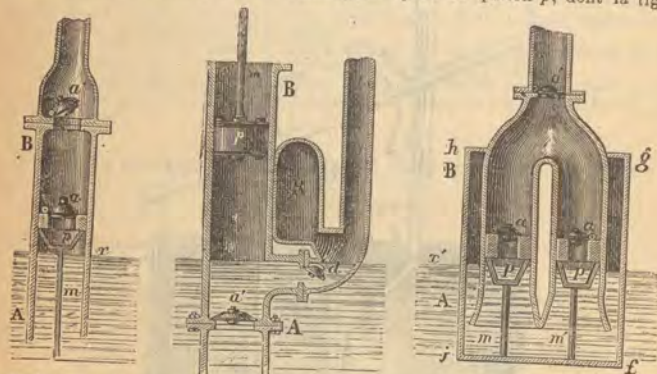
de déplacement de cet appareil, et la faculté d'épuiser des sables et toutes sortes d'éléments étrangers, en font un instrument précieux

L'extrême simplicité, la légèreté, la facilité des eaux chargées de

Une pompe Letestu à 2 corps de 0m,40 de diamètre, manœuvrée à bras, à raison de 3 hommes par mètre de profondeur, donne 800 litres par minute ; mue par une locomobile, cette même pompe donne 2,600 litres par minute. On allume la pompe en versant une certaine quantité d'eau dans les corps de pompe en même temps qu'on imprime une certaine vitesse aux pistons.

Pompes foulantes

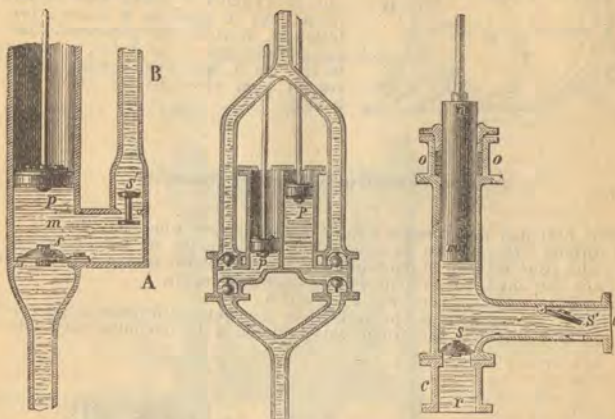
L'effet des pompes foulantes est indépendant de la pression atmosphérique. Ces pompes peuvent être employées dans le vide ou lorsqu'il s'agit de faire monter des liquides à température élevée. Elles se composent d'un corps de pompe AB immergé jusqu'en xx' dans lequel joue le piston p , dont la tige m



est fixée à un étrier fg dont le va-et-vient est transmis au piston, qui, mis en mouvement, presse la surface xx' , et la soupape a se soulevant donne passage à l'eau qui s'échappe dans le tuyau d'ascension où elle est retenue jusqu'à ce qu'un nouveau coup de piston amène une nouvelle masse de liquide. Si le piston est pourvu d'une soupape a , cette soupape s'ouvre quand le piston descend, et se ferme quand le piston refoule l'eau dont il est surchargé. On adapte quelquefois à ces pompes un réservoir d'air R. Le ressort imprimé à l'eau par l'air ainsi comprimé, détermine un mouvement ascensionnel continu.

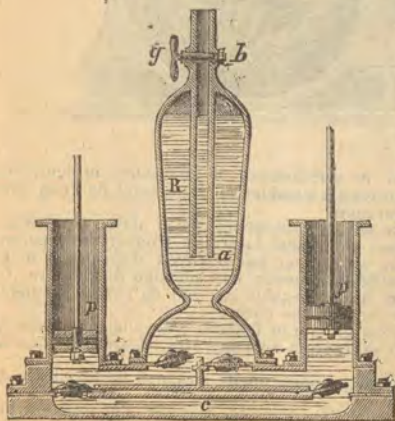
Pompes aspirantes et foulantes

Les deux premières figures ci-dessous représentent une pompe aspirante et foulante simple, et une pompe aspirante et foulante à double effet. La pompe suivante perfectionnée par M. Japy se compose d'un corps de pompe *co*, fermé de toutes parts excepté à son orifice de communication avec le tuyau *rst* qui puise l'eau et l'élève.



Une boîte *oo* garnie d'étoupes entoure hermétiquement le piston *mn*, qui, mis en mouvement, produit le vide au-dessous de lui, fait fermer la soupape *s'* et ouvrir *s*; l'eau se répand dans le compartiment *s* jusqu'à ce que le piston, venant à descendre, la comprime, fait fermer *s* et ouvrir *s'* et la chasse dans le tuyau d'ascension *t*.

Pompe à incendie



Cette pompe aspirante et foulante diffère des précédentes en ce que l'eau du réservoir *c*, comprimée par les pistons *p*, est chassée dans un réservoir à air *R*, traversé dans toute sa longueur par le tuyau de jet *ab* sur lequel s'embranchent la lance. Un robinet est placé en *g*. On l'ouvre, lorsqu'on suppose la compression de l'air assez forte pour déterminer la longueur du jet voulu. Ainsi, si la compression de l'air en *R* est de cinq atmosphères, l'eau sera chassée avec une force de 4 atmosphères, c'est-à-dire à 40 mètres.

Pompe rotative de Dietz

A tuyau d'aspiration, C tuyau d'ascension, BD boîte circulaire en cuivre ou en fonte communiquant avec A et C au moyen de petits trous. Dans l'intérieur

de cette boîte est un noyau ou cylindre en bois F, dont l'axe, parallèle à celui de la boîte, est excentrique, et sa surface



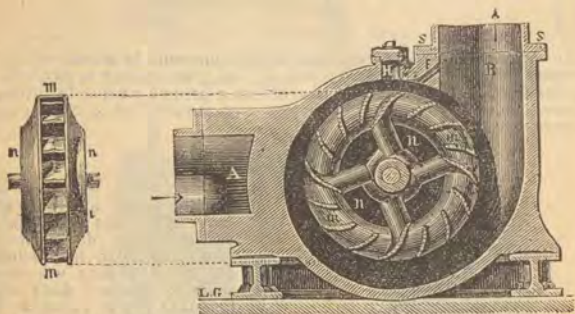
vient frotter contre la paroi en I, point milieu entre A et C. Ce noyau est muni de quatre ailes *m*, en cuir redoublé pouvant s'allonger ou se raccourcir au moyen de ressorts à boudin *r*. On conçoit donc que le cylindre F étant mis en mouvement dans le sens de la flèche, les palettes *m*, frottant successivement les parois intérieures de la boîte, déterminent le vide en A, que l'eau occupe immédiatement pour être chassée ensuite en D, B et C.

Pompe centrifuge Neut et Dumont

L'organe essentiel des pompes à force centrifuge est une sorte de roue à aubes ou turbine fixée sur un axe auquel on communique un mouvement de rotation. Cette roue est placée dans une enveloppe isolante munie de deux ouvertures, l'une servant à l'aspiration, l'autre au refoulement.

Supposons le corps de l'appareil plein d'eau :

Dès que le mouvement donné à la roue a acquis suffisamment de rapidité, l'eau qu'elle contient à l'intérieur est projetée à la circonférence, elle s'en



échappe et s'élève par l'ouverture de refoulement; il se produit au centre un vide que la pression atmosphérique tend à combler en y pressant de l'eau nouvelle amenée par l'ouverture d'aspiration.

Le tuyau d'aspiration A se divise en deux branches; l'eau arrive sur les aubes en pénétrant par les deux joues *nn* ou faces latérales. L'ouverture *f* permet à l'air renfermé dans la boîte de s'échapper par le tuyau d'ascension B. Le tuyau d'aspiration porte au-dessus de la lanterne une soupape de retenue. On allume la pompe en la remplissant d'eau jusqu'en *ss*, soit au moyen du tuyau B, soit au moyen du tuyau H que l'on bouche après.

La pompe centrifuge est à la fois aspirante et foulante; de plus, la nature de son mouvement fait que le courant est continu au lieu d'être intermittent comme celui des pompes à piston.

La hauteur d'élévation de l'eau est proportionnelle au carré de la vitesse du ventilateur.

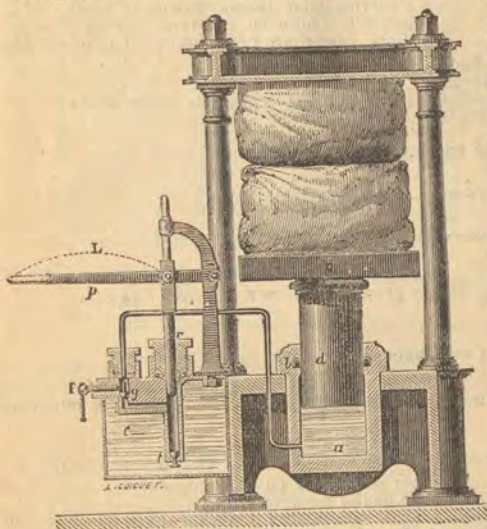
Ces pompes sont généralement employées dans les travaux d'épuisement nécessitant de grands débits à une hauteur moyenne de 10 à 12 mètres.

Pompe Farcot

Cette pompe, employée à la reconstruction du pont Louis-Philippe, à Paris, est à double effet et est composée de deux pistons qui montent et descendent en même temps. Chaque piston a 0^m,45 de diamètre et 0^m,15 de course. Le volume engendré par tour est de 48 litres, soit 5360 litres pour les 70 tours par minute.

Presse hydraulique

Le cylindre *a* est rempli par le piston *d* qui supporte le plateau *v*. La caisse



dans laquelle est établi l'appareil contient en *c* une quantité d'eau suffisante pour l'alimentation de la pompe *rt*. Cette pompe fait monter l'eau du bassin *c* dans le cylindre *a* par le conduit *g*. Une soupape adaptée au fond du cylindre, et maintenue par une vis sans fin permet de diminuer la pression en donnant issue à l'eau qui retombe en *c*.

Si on suppose la main appliquée en *p* imprimant un effort de 5 kilogrammes, et répétant cet effort huit fois, le piston *r* surmonte une résistance de 40 kilogrammes. Or, si l'aire de la section faite sur le piston *d* est égale à 100 fois celle de *r*, *d* sera pressé par une force = 100 × 40 = 4000 kilogrammes.

La pression théorique *q*, que peut transmettre le plateau *v* lorsque la

machine est mise en mouvement, est donnée par la formule :

$$q = \frac{PLD^2}{ld^2}$$

P = force motrice. Un homme agissant sur une manivelle donne moyennement *P* = 25^k et même 50^k.

L = bras de levier de la puissance *P*.

D = diamètre du grand piston.

d = diamètre du petit piston.

l = bras de levier de la résistance qu'oppose le petit piston au mouvement du levier *p*.

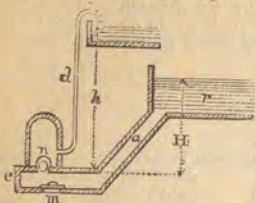
$$\text{On fait cette résistance} = P \frac{L}{l}$$

En faisant *P* = 25^k, *L* = 1,20, *D* = 0,20, *d* = 0,05, *l* = 0,05 on aurait *q* = 4444-

Dans la pratique l'effet utile se réduit à 0,80 × $\frac{PLD^2}{ld^2}$

Bélier hydraulique

Soit a tuyau par lequel l'eau arrive, fermé à son extrémité c ; m soupape maintenue ouverte par un ressort quand elle résiste à la seule pression exercée par la charge d'eau; n soupape s'ouvrant du dedans en dehors et communiquant avec le tuyau vertical d'ascension d . Si on ouvre la vanne du réservoir r , l'eau se précipitera dans le tuyau a et fera fermer la soupape m , le ressort de l'eau agissant alors sur la soupape n la fera ouvrir et l'eau s'élèvera dans le tuyau d . Dès que l'équilibre de l'eau sera rétabli, la soupape m s'ouvrira pour laisser échapper l'eau, et une nouvelle chute du réservoir venant à se produire reproduira périodiquement le même effet.



Soit p , poids de l'eau élevée pendant un temps t .
 h , hauteur de l'élévation.
 P , poids de l'eau débitée par le courant pendant le même temps.
 H , hauteur de la chute.
 q , volume élevé.
 Q , volume dépensé par le courant.

On aura : $Q : q :: P : p :: H : h$.

L'effet utile est à la puissance absolue :: $ph : PH$ et l'on a :

$$E = \frac{qh}{QH} = \frac{ph}{PH} \quad \text{M. MORIN propose de faire } E = 0,238 \sqrt{12,8 - \frac{h}{H}}$$

Les dimensions les plus avantageuses à donner aux béliers sont :

- 1° Une grande longueur du corps du bélier, qui ne doit jamais être inférieure aux $\frac{3}{4}$ de h .
- 2° Le diamètre du corps du bélier sera donné par l'expression $d = 1,7 \sqrt{K}$, K étant le volume d'eau débité par le courant en une seconde.
- 3° Le tuyau d'ascension sera de moitié moindre.
- 4° La capacité du réservoir à air n sera égale à celle du tuyau d'ascension d .
- 5° Les deux soupapes doivent être très-rapprochées l'une de l'autre.
- 6° L'ouverture de la soupape d'arrêt ne doit pas être plus petite que la section du corps du bélier.

Le tableau suivant donne, d'après MM. Charles RENIER et J. CLAUDEL, les résultats obtenus avec un bélier hydraulique ayant les dimensions suivantes :

Longueur du corps	15 ^m , 35
Diamètre du tuyau conducteur	0, 0567
Section	0 ^m q, 002715
Diamètre du tuyau d'ascension	0 ^m , 0268
Section	0 ^m q, 0003641
Capacité du réservoir à air	0 ^m c, 0088
Aire d'ouverture de la soupape d'arrêt	0 ^m q, 0024

RÉSULTATS OBTENUS AVEC UN BÉLIER HYDRAULIQUE PAR EYTELWEIN

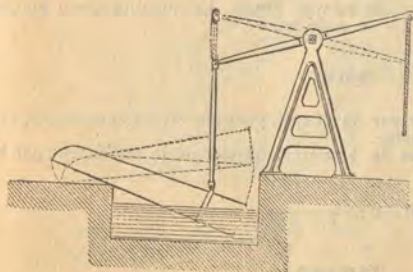
NOMBRE de battements en une minute.	HAUTEUR		EAU EN UNE SECONDE		$E = \frac{qh}{QH}$ d'après	
	de LA CHUTE H.	de L'ÉLÉVATION h.	DÉPENSE Q.	DÉPENSE q.	L'EXPERIENCE.	la FORMULE.
	mètres.	mètres.	mèt. cub.	mèt. cub.		
10	0,601	10,78	0,0446	0,00041	0,181	0,18
14	0,758	10,78	0,0548	0,00100	0,284	0,42
17	0,915	9,81	0,0491	0,00218	0,475	0,51
25	1,255	11,78	0,0505	0,00295	0,548	0,56
26	1,586	9,86	0,0258	0,00225	0,672	0,67
51	1,545	11,76	0,0536	0,00520	0,667	0,65
56	1,845	11,78	0,0404	0,00478	0,754	0,71
42	2,262	11,78	0,0451	0,00682	0,784	0,78
45	0,981	11,78	0,0561	0,00165	0,552	0,45
45	2,661	11,78	0,0498	0,00952	0,815	0,84
50	5,027	11,78	0,0546	0,01192	0,850	0,87
52	2,457	9,86	0,0571	0,00767	0,847	0,85
54	5,099	9,86	0,0655	0,01742	0,875	0,92
66	5,066	8,017	0,0484	0,01540	0,900	0,97

MACHINES EMPLOYÉES AUX ÉPUISEMENTS

Nous empruntons à l'excellent ouvrage de M. J. Claudel (*Aide-mémoire, partie pratique*) quelques-uns des renseignements qui suivent et que les praticiens nous sauront gré de placer sous leurs yeux.

Ecope et Ecope hollandaise

Avec l'écope ordinaire, un homme élève 48 mètres cubes d'eau à 1 mètre pendant 8 heures de travail.



Avec l'écope hollandaise, dont le dessin est ci-joint, un homme, d'après Bélidor, peut élever facilement 120 mètres cubes d'eau à 1 mètre de hauteur pendant une journée de travail de 8 heures. Cette machine ne pouvant élever l'eau qu'à de faibles hauteurs, 1^m,00 à 1^m,50, ne peut être employée, dans les grands travaux.

Seau à bascule

Lorsque la quantité d'eau à élever est très-faible, on emploie avec avantage un seau suspendu par une perche, à l'une des extrémités d'un grand balancier en bois, à l'autre extrémité duquel on place un contrepoids et une corde sur laquelle pèse l'ouvrier. A l'aide de

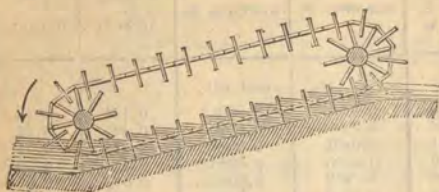
l'une des extrémités d'un grand balancier en bois, à l'autre extrémité duquel on place un contrepoids et une corde sur laquelle pèse l'ouvrier. A l'aide de

cette machine un ouvrier peut élever 10 mètres cubes d'eau à 1 mètre pendant une journée de 10 heures en puisant l'eau à 4 ou 5 mètres de profondeur.

Chapelet incliné

Cette machine se compose d'une série de palettes rectangulaires fixées à une chaîne sans fin et se mouvant de bas en haut dans une auge en bois, inclinée de 30° à 40°. Cette auge plonge dans le puisard et s'élève jusqu'à la hauteur à laquelle on veut monter l'eau. Le jeu laissé entre les bords latéraux des palettes et les parois de l'auge est de 0^m,005 à 0^m,006 environ. L'écartement des palettes varie de une fois à une fois et demie leur hauteur, et leur vitesse de 1^m à 1^m,50 par seconde.

A l'aide de cette machine un ouvrier, exerçant un effort de 8 kilogrammes, sur une manivelle, avec une vitesse de 0^m,75 par seconde, peut produire en 8 heures un effet utile de 80 à 90 mètres cubes d'eau, élevés à 1 mètre de hauteur.

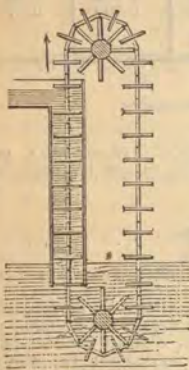


Chapelet vertical

Cette machine ne diffère de la précédente qu'en ce que l'auge inclinée est remplacée par un tuyau vertical appelé *buse*. Les palettes ont la même forme et ont de 0^m,15 à 0^m,16 de côté ou de diamètre. Leur jeu dans la buse est moins grand que pour les chapelets inclinés, et, afin de diminuer les pertes d'eau, on rend ce jeu le plus petit possible au bas de la buse en y plaçant un tuyau métallique bien dressé de la section des palettes et d'une longueur excédant un peu la distance de deux palettes consécutives. Souvent les palettes sont formées d'une rondelle en cuir gras serrée entre deux plaques de tôle. Cette rondelle fait garniture et rend les pertes d'eau aussi petites que possible. La longueur de la buse est comprise entre 4 et 6 mètres.

L'effet utile par homme et pour une journée de 8 heures est de 110 à 120 mètres cubes d'eau élevés à 1 mètre.

Rendement moyen, 0^m,63. La quantité d'eau élevée est les 5/6 de celle puisée.



Noria

D'après Navier, une noria, mue par un cheval, peut élever, en une journée, 115 à 130 mètres cubes d'eau à 1 mètre.

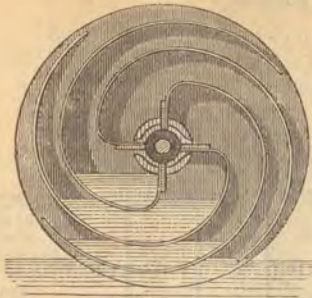
Pour des hauteurs h au-dessus de 4 mètres, on calcule le rendement par la formule suivante :

$$E = 0,80 \frac{h}{h + 0,75}$$

Tympan

Cette machine consiste en un tambour en bois divisé en un certain nombre de compartiments par des cloisons dirigées suivant le rayon. Chaque compartiment

porte sur les contours du tambour une ouverture qui permet à l'eau d'entrer dans le compartiment quand cette ouverture est noyée. Cette ouverture étant placée sur la partie de la paroi convexe du tambour qui sort la première de l'eau, une certaine quantité de liquide se trouve emprisonnée et le mouvement de rotation imprimé au tambour l'élève jusqu'à la hauteur de son axe, d'où elle s'échappe par des canaux dirigés suivant l'axe du tambour.



D'après M. Perronet, à l'aide de cette machine, un ouvrier peut élever à 1 mètre de hauteur, 26^m,66 d'eau par heure de travail, en manœuvrant une roue à chevilles.

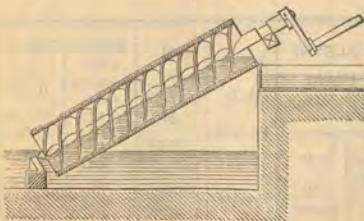
Rendement, 0,85 à 0,85.

Résultats obtenus par M. CAVÉ avec un tympan ayant les dimensions suivantes :

Plus grand rayon	3 ^m ,50
Largeur intérieure	1 ,00
Plus courte distance de l'extrémité de chaque spire à la spire voisine	0 ,75
Diamètre des ouvertures laissant sortir l'eau	1 ,00
Profondeur à laquelle la roue plonge	1 ,00
Nombre de révolutions de chaque spire	2
Mètres cubes d'eau puisés par chaque spire pour un tour	2 ^m 3,00
Nombre de tours par minute	10
Mètres cubes d'eau élevés par heure	2400 ^m 3,00
Hauteur à laquelle l'eau est élevée	2 ^m ,00

Vis d'Archimède

La vis d'Archimède consiste en un cylindre creux dans lequel se trouvent un ou plusieurs conduits hélicoïdaux. Sa partie inférieure repose sur une crapaudine et sa partie supérieure sur un coussinet. Le mouvement est imprimé au moyen d'une manivelle. Dans les vis ordinaires, on place trois hélices sur le même noyau.



Pour les vis en bois, le diamètre du noyau est le tiers de celui du canon.

La longueur de la vis varie entre 12 et 18 fois le diamètre extérieur des hélices.

L'angle que les hélices font avec l'axe du noyau doit être d'environ 50°.

L'inclinaison de la vis par rapport à l'horizon doit être de 30 à 45° suivant que les hélices sont plus ou moins inclinées par rapport au noyau. Son plus grand effet utile s'obtient avec une inclinaison de 30°, et est alors à peu près égal à l'effet théorique.

Avec une vis bien confectionnée, un ouvrier de force moyenne peut élever en 8 heures de travail journalier 90 à 100 mètres cubes d'eau à 1 mètre de hauteur.

Résultats obtenus, d'après J. CLAUDEL, avec une vis d'Archimède ayant les dimensions suivantes:

Longueur de la vis	5 ^m ,85
Diamètre extérieur	0 ,49
Inclinaison de la vis à l'horizon	55°
Nombre de tours de la vis par minute	40
Hauteur d'élévation de l'eau	5 ^m ,50
Quantité d'eau élevée à 5 ^m ,50 par heure	45 ^m 3,

Résultats obtenus avec des machines d'épuisement par MM. Morandière et Compaign

MACHINES à ÉPUISEUR.	DURÉE du TRAVAIL.	EAU ÉLEVÉE. m. c.	HAUTEUR D'ÉLEVATION		TOURS de VOLANT par minute.	COKE BRULÉ. kil.	DÉPENSE TOTALE. fr.	DÉPENSE pour 1 mètre cube d'eau élevée à 1 mètre de hauteur utile. fr.
			RÉELLE. mètres.	UTILE. mètres.				
3 pompes	192	20 000	3,00	2,40	100	1 920	584	0,008
3 pompes	288	27 000	3,00	2,40	109	2 900	500	0,0077
2 vis	600	110 000	2,20	1,80	88	5 800	629	0,005

Les pompes employées étaient à deux corps de 0^m,25 de diamètre. La course du piston était de 0^m,145, correspondant à deux tours de volant de la machine. Les vis avaient 6 mètres de longueur et 0^m,84 de diamètre extérieur.

Tableau comparatif des résultats que l'on peut espérer des divers modes d'épuisement d'après M. Morandière

MODES D'ÉPUISEMENT.	DURÉE du TRAVAIL journalier d'un ouvrier.	EAU ÉLEVÉE à 1 MÈTRE par heure et par		PRIX de la JOURNÉE d'un ouvrier.	PRIX de L'HEURE de travail par vis ou par pompe.	DÉPENSE pour 1 mètre cube d'eau élevée à 1 mètre de hauteur utile. fr.	LIMITE des HAU- TEURS ordi- naires des épuise- ments. mètres.
		OUVRIER	VIS ou POMPE.				
1° VIS D'ARCHIMÈDE	heures.	m. c.	m. c.	fr. c.	fr. c.	fr.	mètres.
Mues à bras	6	12,750	102,000	2,70	3,60	0,035	2 à 4
Mues par des chevaux	»	»	85,500	»	0,75	0,009	id.
Mues par la vapeur	»	»	165,000	»	0,70	0,0043	id.

MODES D'ÉPUISEMENT.	DURÉE du TRAVAIL journalier d'un ouvrier.	EAU ÉLEVÉE A 1 MÈTRE par heure et par		PRIX de la JOURNÉE d'un ouvrier.	PRIX de L'HEURE de travail par vis ou par pompe.	DÉPENSE pour 1 mètre cube d'eau élevée à 1 mètre de hauteur utile.	LIMITE des HAU- TEURS ordi- naires des épui- sements.
		}					
		OUVRIER	VIS OU POMPE.				
2° POMPES	heures.	m. c.	m. c.	fr. c.	fr. c.	fr.	mètres.
Mues à bras	6	9,000	54,000	2,70	2,70	0,050	1 à 8
Mues par des chevaux	»	»	66,000	»	0,75	0,011	id.
Mues par la vapeur .	»	»	79,000	»	0,47	0,006	id.
3° BAQUETAGE							
Ecopes ordinaires . .	8	6,000	»	2 »	0,25	0,042	0 à 1,20
Ecopes hollandaises .	8	15,000	»	2 »	0,25	0,017	id.
Seaux à main	8	4,000	»	2 »	0,25	0,065	0 à 1,80
Seaux avec treuil et manivelle	6	15,000	»	2,70	0,45	0,050	4 à 20

Prix de revient des divers modes d'épuisement

(Prix indépendant de l'achat et de l'installation des appareils.)

(Annales des agents voyers, Paris, Paul DUPONT.)

INDICATION DES APPAREILS.	PROFONDEUR maxima des épuisements.	VOLUME d'eau qu'un homme élève à 1 mètre de hauteur par jour.	PRIX de la journée de l'ouvrier.	PRIX
				d'un mètre cube d'eau élevé à 1 mètre de hauteur.
		mèt. cub.	fr. c.	fr. c.
Baquetage à bras avec seaux.	1 ^m ,00	46	2,70	0,059
Seau à élever avec la poulie..	Quelconque.	78	2,70	0,055
Double seau id.	Id.	116	2,70	0,025
Seaux avec treuil	Id.	171	2,70	0,016
Ecopes ordinaires	1 ^m ,00	48	2,70	0,056
Ecope hollandaise	1 ^m ,00	120	2,70	0,023
Vis d'Archimède	0 ^m ,70	100	2,70	0,027
Pompes Letestu n° 1.	9 ^m ,50	96	2,70	0,028
— n° 2.	9 ^m ,50	72	2,70	0,038
— n° 3.	9 ^m ,50	72	2,70	0,038

Au-dessous d'un batardeau bien établi dans les terres franches on ne dépasse guère 5 mètres, et dans le sable 1,50, après quoi on ne peut épuiser, à moins de moyens énergiques.

Les boulets en caoutchouc formant clapets doivent être retenus par une mullière et s'appliquer sur des rondelles en cuir, en toile goudronnée, ou en caoutchouc.

Battage des pieux

SONNETTE A TIRAUTES

A la construction du pont d'Iéna, à Paris, on a obtenu les résultats suivants :

Durée du travail journalier.	10 heures
Levée du mouton	1 ^m ,45
Nombre de volées de 30 coups par heure	12
Poids du mouton	587 kilogr.
Nombre d'hommes employés.	58
Effet produit par chaque homme avec une vitesse de 0 ^m ,145.	15 k,450

SONNETTE A DÉCLIC

Une équipe de sonnette à dé clic se compose : d'un charpentier arrimeur et de 6 hommes pour manœuvrer le treuil ; elle frappe environ un coup par minute ; l'élevation du mouton varie de 0^m,50 à 4^m,50.

D'après M. J. Claudel, avec des moutons de 500 à 600 kilogrammes, le prix de battage des pieux est proportionnel aux nombres suivants :

Battage avec sonnette à tirautes.	1,00
— — — à dé clic à bras d'hommes	0,75
— — — — mue par locomobile.	0,40

Le nombre de pieux étant de 150 au moins.

PIEUX A VIS

Aux pieux ordinaires battus à la sonnette, on substitue avec avantage, des pieux à vis en fer, ou des sabots à vis s'adaptant sur des pieux en bois. Ces pieux s'enfoncent au moyen de barres fixées à un manchon qui permettent de tourner le pieu à la manière d'une vrille et de l'enfoncer jusqu'au terrain résistant.

DYNAMIQUE.

Mesure du travail dynamique

Cheval, vapeur force capable d'élever 75 kilogrammes à la hauteur de 1 mètre en une seconde.				
Homme, transporte 900 tonnes à un mètre sur un plan horizontal, vitesse 45 mètres par minute, durée du travail 10 heures.				
— Id. — 56 — id. —				sur un plan incliné, escalier, etc., vitesse verticale 2 ^m ,50 par minute, durée du travail 6 heures.
— Id. — 203 — id. —				Travail au cabestan 8 heures par jour.
— Id. — 861 — id. —				Travail à la brouette 8 heures par jour.
— Id. — 1448 — id. —				Travail au camion 8 heures par jour.
— Id. — 44000 — id. —				Travail en bateau 8 heures par jour.
Cheval porte 4800 — id. —				de distance horizontale, soit 150 kilogrammes à 32 kilomètres (6 fois l'effet utile de l'homme).
— Id. — traîne 60000 — id. —				de distance horizontale, 3 fois son poids, soit 1500 à 2000 kilogrammes sur terre, et 50 fois son poids sur voie ferrée, soit 15000 kilogrammes, parcours journalier 40 kilomètres, dont moitié à vide.

Une voiture pour être mise en mouvement exige une force supérieure au $\frac{1}{25}$ de son poids sur routes ordinaires, et au $\frac{1}{250}$ sur voie ferrée.

Le plus grand avantage du cheval, c'est lorsqu'il est employé isolément, et les traits placés au-dessous de la poitrine.

M. Courtois, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dans son *Traité des moteurs*, donne les résultats suivants :

Un homme d'une taille médiocre et d'une force ordinaire pèse 70 kilogrammes y compris ses vêtements.

Le plus grand effort qu'il puisse exercer en tirant ou poussant horizontalement est de 50 à 60 kilogrammes.

L'effort que l'homme peut exercer avec les bras est d'environ 80 kilogrammes. Le plus grand poids qu'il peut porter est ordinairement de 150 kilogrammes et s'élève parfois à 450 kilogrammes ; celui qu'il peut soulever varie de 200 à 500 kilogrammes.

La vitesse du coureur peut être de 15 mètres par seconde pendant quelques instants, la vitesse ordinaire est de 7 mètres, celle de la marche d'environ 2 mètres, et celle du voyageur 1^m,60.

La force moyenne des femmes est égale à celle d'un adulte de 15 à 16 ans et ne surpasse pas les $\frac{2}{3}$ de celle de l'homme.

Un ouvrier exercé, de même force qu'un autre, fait souvent un travail double et même triple sans éprouver plus de fatigue.

Un manoeuvre qui monte un escalier sans charge prend, pendant un travail journalier de 8 heures, une vitesse de 0^m,15.

Le pas horizontal de l'homme est de 0^m.63. La plus grande hauteur verticale que l'homme qui travaille puisse franchir sans gêne est 0^m.25.

Le soldat chargé de 15 à 20 kilogrammes sur un beau chemin en pays de plaine peut parcourir 49 kilomètres en 10 heures de marche.

Un colporteur chargé de 44 kilogrammes parcourt 20 kilomètres par jour.

Les portefaix portent 1 hectolitre de houille de 85 kilogrammes à 56 mètres, et font 290 à 300 voyages par jour.

D'après Coulomb, un homme qui porte des fardeaux et revient à vide peut porter 61^k.25 et parcourir 22 kilomètres dont la moitié à vide.

Sur un sol horizontal, un homme transporte dans sa journée de 10 heures, en 500 brouettes de 60 kilogrammes, 20 mètres cubes de terre à 50 mètres.

Le travail utile maximum d'un homme qui monte en portant une charge de 65 à 70 kilogrammes n'est que le 1/4 du travail qu'il peut produire lorsqu'il monte libre et sans charge.

A Vincennes, où l'homme élevait les matériaux par le poids de son corps, chaque manœuvre élevait dans sa journée 310 fois le poids de son corps à 15 mètres de hauteur.

Le poids des chevaux varie de 500 à 700 kilogrammes.

La plus grande vitesse que puisse prendre un cheval dans une course d'un quart d'heure ne dépasse pas 14 à 15 mètres, sa vitesse au galop est de 10 mètres; au trot de 5^m.30 à 4 mètres; au grand pas de 2 mètres et au petit pas de 1 mètre.

Les chevaux de malles-postes traînent 500 kilogrammes à la vitesse de 4^m.44 et parcourent 20 kilomètres par jour; ceux des diligences 800 kilogrammes à la vitesse de 5^m.33 et parcourent 24 kilomètres.

Sur le dos, la charge du cheval est moyennement de 100 à 175 kilogrammes.

Un cheval portant son cavalier du poids de 80 kilogrammes et marchant pendant 7 heures parcourt 40 kilomètres.

TABEAU DES QUANTITÉS DE TRAVAIL MOYENNES ET JOURNALIÈRES PRODUITES PAR LES MOTEURS ANIMÉS DANS DIVERSES CIRCONSTANCES (*Aide-Mémoire de M. J. CLAUDEL*).

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE ou parcours par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalier.
1 ^o <i>Élévation verticale des poids.</i>					
Un homme montant une rampe douce ou un escalier, sans fardeau, son travail consistant dans l'élévation du poids de son corps	kilogr. 65	mètres. 0.15	k. m. 9.75	heures. 8	kilogrammétr. 280 800
Un manœuvre élevant des poids avec une corde et une poulie, ce qui l'oblige à faire descendre la corde à vide.	48	0.20	3.60	6	77 760
Un manœuvre élevant des poids en les soulevant avec la main.	20	0.17	3.40	6	75 440
Un manœuvre élevant des poids en les portant sur son dos au haut d'une rampe douce ou d'un escalier et revenant à vide.	65	0.04	2.60	6	56 160
Un manœuvre élevant des matériaux avec une brouette sur une rampe de 1/12 et revenant à vide.	60	0.02	1.20	10	43 200
Un manœuvre élevant des terres à la pelle à la hauteur moyenne de 1 ^m .60	2.70	0.40	1.08	10	38 880

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE ou parcours par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalier.
<i>2° Action sur les machines.</i>					
Un manœuvre agissant sur une roue à chevilles ou à tambours au niveau de la roue .	kilogr. 60	mètres, 0.45	k. m. 9	heures, 8	kilogrammétr. 259 200
Un manœuvre agissant sur une roue à chevilles ou à tambours vers le bas de la roue ou à 24°.	12	0.70	8.40	8	241 920
Un manœuvre agissant sur un cabestan marchant et poussant ou tirant horizontalement. . .	12	0.60	7.20	8	207 360
Un manœuvre agissant sur une manivelle	8	0.75	6	8	172 800
Un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical.	6	0.75	4.50	10	162 000
Un cheval attelé à une voiture ordinaire et allant au pas . .	70	0.90	65	10	2 268 000
Un cheval attelé à un manège et allant au pas.	45	0.90	40.50	8	1 166 400
Un cheval attelé à un manège et allant au trot.	50	2.00	60	4.50	972 000
Un cheval attelé à une voiture et allant au trot.	44	2.20	96.80	4.50	1 568 000
Un bœuf attelé à un manège et allant au pas	60	0.60	36	8	1 056 800
Un mulet attelé à un manège et allant au pas.	50	0.90	27	8	777 600
Un âne attelé à un manège et allant au pas	14	0.80	11.20	8	522 560
<i>3° Transport horizontal des poids.</i>					
Un homme marchant sur un chemin horizontal, sans fardeau, son travail consistant dans le transport du poids de son corps	65	1.50	97.50	10	3 510 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une petite charrette ou camion à deux roues et revenant à vide chercher de nouvelles charges	100	0.50	50	10	1 800 000
Un manœuvre transportant des matériaux dans une brouette et revenant à vide chercher de nouvelles charges	60	0.50	50	10	1 080 000
Un homme voyageant et transportant des fardeaux sur son dos	40	0.75	50	7	756 000
Un manœuvre transportant des matériaux sur son dos et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	65	0.50	52.50	6	702 000

NATURE DU TRAVAIL.	POIDS élevé ou effort moyen exercé.	VITESSE ou parcours par seconde.	TRAVAIL par seconde.	DURÉE du travail journalier.	QUANTITÉ de travail journalier.
	kilogr.	mètres.	k. m.	heures.	kilogrammètr.
Un manœuvre transportant des fardeaux sur une civière et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	50	0.55	46.50	40	594 000
Un manœuvre employé à jeter de la terre au moyen de la pelle à 4 mètres de distance horizontale.	2.7	0.68	1.80	40	64 800
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette et marchant au pas continuellement chargé.	700	1.40	770	40	27 720 000
Un cheval attelé à une voiture et marchant au trot continuellement chargé.	550	2.20	770	4.50	12 474 000
Un cheval transportant des fardeaux sur une charrette au pas, et revenant à vide chercher de nouvelles charges.	700	0.60	420	40	15 120 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au pas.	120	1.10	152	40	4 752 000
Un cheval chargé sur le dos et allant au trot.	80	2.20	176	7	4 455 200

Terrassements

Fouille et charge

TABLEAU DES QUANTITÉS MOYENNES DE DÉBLAI QU'UN TERRASSIER DE FORCE ORDINAIRE PEUT PIOCHER ET JETER À 1^m,60 DE HAUTEUR OU CHARGER EN BROUETTE OU EN TOMBREAU PENDANT UNE JOURNÉE DE 10 HEURES.

NATURE DES TERRES.	CUBE FOUILLÉ et jeté à 1 ^m ,60 en 10 heures	RÉPARTITION des heures employées	
		à la fouille.	au jet ou à la charge
	mèt. cub.	heures.	heures.
Terre végétale de diverses espèces (alluvions, sables, etc.).	7,70	6,25	5,75
Terre marneuse et argileuse moyennement compacte	6,00	6,70	5,50
Terre marneuse et argileuse compacte dure.	5,25	7,10	2,90
Terre crayeuse.	4,90	7,00	5,00
Terre fortement imbibée d'eau.	4,25	7,24	2,76
Tuf moyennement dur.	2,85	8,40	1,60
Tuf très-dur.	2,58	8,70	1,50
Roc tendre, gypse enlevé au pic et au coin.	2,00	8,80	1,20

Nota. Les chiffres qui précèdent sont presque doublés dans le cas où l'ouvrier est à la tâche.

Un ouvrier ordinaire peut charger à 1^m,60 de hauteur

Sable	24 ^m 3,000
Terre végétale	18 ,000
Terre caillouteuse	15 ,000

Tableau donnant le foisonnement des déblais de diverses natures.

NATURE DES TERRAINS.	UN MÈTRE CUBE AU DÉBLAI	
	sans compression mesuré cinq jours après la fouille.	comprimé au maximum avec le pilon ou avec l'eau.
	mètres cub.	mètres cub.
Terre végétale (alluvions, sables, etc.)	1,10	1,05
Terre franche très-grasse	1,20	1,07
Terre marneuse et argileuse moyennement com- pacte	1,50	1,50
Terre marneuse et argileuse très-compacte et très- dure	1,70	1,40
Terre crayeuse	1,20	1,10
Tuf dur ou moyennement dur	1,55	1,50
Roc à la mine réduit en moëllons	1,66	1,40

Transport des terres

Un tombereau à 1 cheval transporte 0^m,55 }
à 1 mètre cube } avec une vitesse de 1^m.
Un tombereau à 2 chevaux transporte 0^m,80 } par seconde.
à 2 mètres cubes }

A la brouette volante, 10 hommes transportent 80 mètres cubes }
à 200 mètres } Suez.
A la brouette à la corde, 10 hommes transportent 70 mètres cubes }
à 30 mètres }

Transport moyen

On obtient le transport moyen d'une ou de plusieurs tranchées en multipliant chaque cube partiel par le parcours qui lui est propre. On additionne ensuite toutes ces sommes partielles et l'on divise le résultat par la somme des cubes à transporter.

Un terrassement marche rapidement quand on enlève 500 mètres cubes par jour à chaque extrémité d'une tranchée.

Transport à la brouette sur un plan horizontal

Effet utile de 864 à 1045 tonnes, soit 540 mètres cubes de 1600 kilogrammes,

d , distance parcourue.

p , prix de la journée, achat et entretien du matériel.

k , 540 mètres cubes transportés à 1 mètre de distance horizontale.

x , prix du transport.

$$[1] x = \frac{pd}{540}; \quad \text{On a aussi :} \quad [2] x = \frac{2pd}{1.000}$$

Si le prix de la journée est de 3 francs, la formule n° 1 revient à :

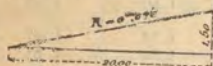
$$x = 0^f,0035 d$$

Et la formule n° 2 :

$$x = 0^f,0060 d$$

On ne tient compte de l'élévation au transport que lorsque la ligne passant par les centres de gravité du déblai et du remblai excède une rampe de 0^m05 par mètre, auquel cas, le relai est de 20 mètres pour 1^m,50 d'élévation verticale, soit une rampe maximum de 0^m,075 en moyenne.

Seul, le prix d'élévation verticale coûte 6 fois $\frac{2}{3}$ plus que le transport horizontal, car on a :



$$1^m,50 : \frac{1}{3} p :: 50 : x = 6 \frac{2}{3} p$$

Le prix combiné d'élévation verticale à 50 mètres, par transport au moyen de relais de 20 mètres sur une rampe excédant 0^m,05, égale vingt fois le prix du transport horizontal, si la route est empierrée, soit 20 relais, vingt-quatre fois, si le sol est ferme mais inégal, et trente fois si le sol est humide avec boue.

Transport à la brouette et en rampe

On obtient le nombre de relais pour un transport en rampe, en divisant la hauteur verticale d'élévation par 1^m,50.

Ce mode de transport n'est avantageux que jusqu'à la distance de 50 mètres.

Transport au camion

Effet utile : 1448 tonnes, soit 905 mètres cubes de 1600 kilogrammes.

Le prix de revient de ce mode de transport sera de :

$$x = \frac{pd}{905}$$

On emploie le camion avec avantage de 50 à 150 mètres.

Transport au tombereau

Un tombereau porte 0^m,40 à 1^m,00 et parcourt de 28 à 36 kilomètres. Le temps perdu à la charge et à la décharge est de 15 minutes

- p , coût journalier de la voiture y compris le conducteur.
 $2D$, distance du transport, aller et retour.
 d , distance ré pondant au temps perdu pour atteler, charger et décharger.
 l , distance parcourue par l'équipage en une journée de 10 heures par une marche continue sur un chemin semblable à celui sur lequel se fait le transport.
 c , cube du chargement.

Effet journalier = lc

Donc

$$x = \frac{p}{lc}$$

Mais, à cause du retour D et du temps perdu d , on aura pour le prix d'un mètre cube de matière quelconque transportée à la distance D , le parcours réel étant $(2D + d)$:

$$x = \frac{p(2D + d)}{lc} = \frac{pD}{lc} + D \frac{2p}{lc} = \frac{2p}{lc} \left(\frac{d}{2} + D \right).$$

On fait généralement : $x = 0^r,30 + 0^r,0012 D$.

On emploie le tombereau de 150 à 250 mètres. Le relai est de 100 mètres.

La résistance au roulement est de $\frac{1}{30}$ du poids sur routes pavées et de $\frac{1}{35}$ à $\frac{1}{40}$ sur routes empierrées.

NOTA. Les roues larges diminuent le tirage dans le rapport de 6 à 5 sur le pavé, de 5 à 4 sur terre dure et de 4 à 3 sur le sable.

Tableau indiquant le résultat des expériences faites sur les transports au tombereau.

NATURE DU TRANSPORT et chemin parcouru.	DURÉE du travail jour- jour- nalier.	PARCOURS		POIDS trans- porté.	EFFORT exercé.	RAPPORT de l'effort de trac- tion au poids trans- porté.	EFFET utile par jour ou poids trans- porté à 1 mètre de distance hori- zontale.
		jour- nalier.	utilisé.				
	heures.	kilom.	kilom.	kilog.	kilog.		tonnes.
Un cheval transportant des fardeaux sur un chemin horizontal au moyen d'un tombereau et revenant à vide prendre de nouvelles charges :							
° Sur une route empierrée en bon état	10	36	16	1500	60	1/25	24 000
2° Sol ferme avec frayés, fond dur et inégal	10	36	16	1100	63	1/16,9	18 000
3° Remblat, sol humide, boue	10	36	16	700	70	1/10	12 000

NATURE DU TRANSPORT et chemin parcouru.	DURÉE du travail jour- nalier.	PARCOURS		POIDS trans- porté.	EFFORT exercé.	RAPPORT de l'effort de trac- tion au poids trans- porté.	EFFET utile par jour ou poids trans- porté à 1 mètre de distance hori- zontale.
		jour- nalier.	utilisé.				
	heures.	kilom.	kilom.	kilog.	kilog.		tonnes.
Un cheval transportant des fardeaux sur un chemin en rampe au moyen d'un tombereau et revenant à vide prendre de nouvelles charges :							
1 ^o Sur une route empierrée entretenue en bon état avec rampes de 1/12, soit 0 ^m ,08 par mètre.	10	30	15	1200	60	1/20	18000
2 ^o Sur un sol ferme avec frayès, fond dur et mégal; rampe de 1/16, soit 0 ^m ,06 par mètre.	10	32	15	900	65	1/15,8	12000
3 ^o Sur un remblai ou sol humide, avec boue et rampe de 1/20, soit 0 ^m ,05 par mètre. . .	10	32	15	600	70	1/8,6	8000

Pour les trois derniers cas, on aura pour l'élévation verticale à 1 mètre :

$$1^{\circ} \text{ Effet utile } \frac{18000}{12} = 1\ 500 \text{ tonnes.}$$

$$2^{\circ} \text{ — } \frac{12000}{16} = 750 \text{ —}$$

$$3^{\circ} \text{ — } \frac{8000}{20} = 400 \text{ —}$$

Transport au tombereau en rampe

On ne tient compte de l'élévation au transport que lorsque les rampes excèdent 0^m,05 par mètre; dans ce cas, on obtient le nombre de relais de 100 mètres, en divisant la hauteur verticale d'élévation par 3^m,75, et suivant les cas par 5^m,00.

Le prix d'élévation verticale à 1 mètre, pour les trois derniers cas du tableau ci-dessus, sera 16 fois, 24 fois et 30 fois plus élevé que le prix du transport horizontal à 1 mètre.

D'après les expériences de l'ingénieur anglais Gordon, un attelage qui traîne facilement 11 000 kilogrammes sur un plan horizontal ne traînera plus que

10 112 ^k	sur une rampe de 0 ^m ,005	
9 358	—	0 ,010
8 145	—	0 ,020
7 207	—	0 ,050
6 467	—	0 ,040
5 859	—	0 ,050

Ces résultats sont d'accord avec l'expérience.

Composition des prix pour les transports au tombereau

(Lignes d'Orléans et du Midi)

1^o JOURNÉES DE 10 HEURES

Voiture à un cheval, conducteur compris	6,50
— à deux chevaux	10 »
— à trois chevaux	15,50
— à deux bœufs	6,50
Conducteur seul	»
Voiture seule	»
Wagon seul	»

MIDI.	ORLÉANS.
fr. c.	fr. c.
6,50	7 »
10 »	11 »
15,50	15 »
6,50	»
»	2,50
»	» 50
»	» 50

2^o TRANSPORT

Les prix de transport au tombereau des diverses espèces de matières seront déterminés par la formule ci-dessus, dans laquelle on a :

$$x = \frac{p(2D + d)}{lc}$$

$l = 56$ kilomètres sur les chemins et routes, et 28 kilomètres sur les terrassements.

Cette formule prendra, suivant les diverses espèces de matières et la force de l'attelage, les expressions indiquées au tableau ci-après, en fonction de la distance D .

Ce tableau fait également connaître les limites entre lesquelles les transports seront considérés comme exécutés au moyen d'une voiture à un cheval, à deux et à trois chevaux.

Nota. — Quand la distance D deviendra assez grande pour que le voyage exige plus d'une journée, on ne se servira plus de la formule et l'on aura égard aux habitudes des voituriers et aux prix courants du pays.

INDICATION DES MATIÈRES à transporter.	CUBE du CHARGEMENT (élément <i>c</i>),			DISTANCE <i>d</i> , répondant au TEMPS DU CHARGEMENT et déchargement.			DU PRIX <i>D</i> à l'es	
	VOITURE			VOITURE				
	à un cheval	à deux chevaux.	à trois chevaux.	à un cheval	à deux chevaux.	à trois chevaux.	à un cheval.	
<i>1° Transport sur les terrassements :</i>	m. cub.	m. cub.	m. cub.	mètres	mètres	mètres	fr.	(1) fr.
Déblais de toute nature.	Midi . . 0,40	0,80	1,20	500	1 000	1 500	0,00108 D	+ 0,25
	Orléans. 0,50	0,90	1,50	400	550	900	0,001 D	+ 0,20
<i>2° Sur les chemins et routes :</i>								
Sable, cailloux, moellons bruts	Midi . . 0,60	1,20	1,80	800	1 400	2 000	0,00072 D	+ 0,29
	Orléans. 0,60	1,00	1,40	800	1 000	1 200	0,00066 D	+ 0,26
Chaux et bois	Midi . . 1,00	2,00	3,00	1 000	2 000	3 000	0,00045 D	+ 0,22
	Orléans. 1,20	2,00	2,80	2 000	2 500	3 000	0,00054 D	+ 0,54
Briques et ciment.	Midi . . 0,75	1,50	2,25	1 500	2 500	3 500	0,00058 D	+ 0,45
	Orléans. 0,60	1,00	1,40	2 000	2 500	3 000	0,00066 D	+ 0,66
Moellons piqués, pavés.	Midi . . 0,40	0,80	1,20	1 500	2 500	3 500	0,00108 D	+ 0,81
	Orléans. 0,50	0,80	1,20	3 000	3 500	4 200	0,0008 D	+ 1,20
Pierres de taille.	Midi . . 0,55	0,67	1,00	2 000	3 200	4 500	0,00151 D	+ 1,51
	Orléans. 0,50	0,80	1,20	3 000	3 500	4 200	0,0008 D	+ 1,20
Fer forgé et fonte.	Midi . . 1 000 ^k	2 000 ^k	3 000 ^k	1 000	2 000	3 000	0,00045 D	+ 0,22
	Orléans. 1 000 ^k	1 700 ^k	2 500 ^k	2 000	3 000	4 000	0,0004 D	+ 0,40

(1) Ces prix ne comprennent pas les faux frais et les bénéfices de l'entrepreneur.

EXPRESSION				LIMITE D'APPLICATION				
$x = \frac{p(2D+d)}{lc}$ TRANSPORT RÉDUITE EN NOMBRE ception de la distance D.				de				
				LA FORMULE $x = \frac{p(2D+d)}{lc}$.				
VOITURE				VOITURE				
à		à		à		à		à
deux chevaux.		trois chevaux.		un cheval.		deux chevaux.		trois chevaux.
fr.	fr.	fr.	fr.	mètres.		mètres.		mètres.
0,00085 D + 0,42		0,00075 D + 0,56		de 80 à 600	de 600 à 1 750	à 1 750 et au delà		
0,0009 D + 0,25		0,0008 D + 0,36		de 100 à 500	de 500 à 1 100	à 1 100 —		
0,00086 D + 0,59		0,00050 D + 0,50		de 80 à 625	de 625 à 1 850	à 1 850 —		
0,0006 D + 0,50		0,0006 D + 0,56		de 100 à 700	de 700 à 4 000	à 4 000 —		
0,00053 D + 0,55		0,00050 D + 0,45		de 80 à 1 100	de 1 100 à 4 000	à 4 000 —		
0,0003 D + 0,58		0,0005 D + 0,45		de 100 à 1 000	de 1 000 à 4 000	à 4 000 —		
0,00044 D + 0,56		0,0004 D + 0,70		de 80 à 950	de 950 à 5 300	à 5 300 —		
0,0006 D + 0,75		0,0006 D + 0,90		de 100 à 1 500	de 1 500 à 4 000	à 4 000 —		
0,00083 D + 1,04		0,00075 D + 1,51		de 80 à 920	de 920 à 5 375	à 5 375 —		
0,00075 D + 1,51		0,0007 D + 1,47		de 100 à 2 200	de 2 200 à 5 200	à 5 200 —		
0,00100 D + 1,60		0,0009 D + 2,05		de 80 à 955	de 955 à 4 500	à 4 500 —		
0,00075 D + 1,51		0,0007 D + 1,47		de 100 à 2 200	de 2 200 à 5 200	à 5 200 —		
0,00053 D + 0,55		0,0005 D + 0,45		de 80 à 1 100	de 1 100 à 4 000	à 4 000 —		
0,00053 D + 0,55		0,00053 D + 0,67		de 100 à 2 600	de 2 600 à 7 000	à 7 000 —		

Transport au wagon**Orléans.** — (M. Duvignaud)

- L. Longueur cumulée des déblais et des remblais en *hectomètres*.
 M. Volume des déblais transportés exprimé en *mètres cubes*.
 D. Distance entre les centres de gravité du déblai et du remblai, exprimée en *kilomètres*.
 I. Déclivité (+ pour les rampes, — pour les pentes).

1^o Si les voies servent pour la première fois :

$$x = \left[\left(\frac{L + 8}{M} 900 \text{ fr.} \right) + 0 \text{ fr. } 25 + 0 \text{ fr. } 045 D \pm 2 DI \right]$$

2^o Si les voies servent pour la seconde fois :

$$x = \left[\left(\frac{L + 8}{M} 250 \text{ fr.} \right) + 0 \text{ fr. } 25 + 0 \text{ fr. } 045 D \pm 2 DI \right]$$

Nord

- D. Distance en *mètres*.
 M. Cube en *mètres*.

$$x = \left[\frac{15 D + 2 000}{M} + 0 \text{ fr. } 00051 D + 0 \text{ fr. } 40 \right]$$

Est. — (MM. Brabant et Perdonnet)

- D. Distance en *hectomètres*.
 M. Mille *mètres cubes*.

$$x = \left[\left(\frac{D + 20}{M} 0 \text{ fr. } 50 \right) + 0 \text{ fr. } 40 + 0 \text{ fr. } 04 D \right]$$

Midi

Le prix des transports au wagon à une distance de plus de 400 mètres, y compris la fourniture, la pose et l'entretien des voies provisoires et wagons, est donné par la formule.

$$x = 0 \text{ fr. } 86 + 0 \text{ fr. } 05 D ; \quad D, \text{ distance en } \textit{hectomètres}.$$

Nota : Les trois premières formules comprennent : main-d'œuvre supplémentaire pour chargement et déchargement, faux frais et bénéfices de l'entrepreneur, fourniture et entretien de matériel, wagons et voies, etc., frais de pose, dépose, repose et entretien, et en général, toutes les dépenses à l'exception de fouille et charge.

Tableau des prix de transport d'un mètre cube de déblai avec wagons ordinaires de terrassement trainés par des chevaux sur des voies provisoires. (Portefeuille de l'ingénieur de chemins de fer par M. PERDONNET.)

DISTANCE du TRANSPORT	INDICATION DES VOLUMES ET DU PRIX DU TRANSPORT.						
	25 000 mètr. cub.	50 000 mètr. cub.	75 000 mètr. cub.	100 000 mètr. cub.	150 000 mètr. cub.	200 000 mètr. cub.	300 000 mètr. cub.
1 ^{re} formule : $x = \left[\left(\frac{L + 8}{M} 900 \text{ fr.} \right) + 0 \text{ fr. } 25 + 0 \text{ fr. } 045 D \pm 2 D \right]$							
mètres.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
500	1.254	0.855	0.727	0.664	0.604	0.570	0.558
1 000	1.656	1.168	1.012	0.954	0.856	0.817	0.778
1 500	1.941	1.485	1.297	1.204	1.111	1.065	1.018
2 000	2.446	1.798	1.582	1.474	1.366	1.312	1.258
2 500	2.851	2.115	1.867	1.744	1.621	1.560	1.498
3 000	3.256	2.428	2.152	2.014	1.876	1.807	1.758
2 ^e formule : $x = \left[\frac{15 D + 2000}{M} + 0 \text{ fr. } 00051 D + 0 \text{ fr. } 40 \right]$							
mètres.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
500	0.955	0.745	0.682	0.650	0.618	0.605	0.587
1 000	1.590	1.050	0.957	0.880	0.825	0.795	0.767
1 500	1.845	1.555	1.392	1.110	1.028	0.988	0.947
2 000	2.500	1.660	1.447	1.540	1.255	1.180	1.127
2 500	2.755	1.965	1.702	1.570	1.458	1.575	1.507
3 000	3.210	2.270	1.957	1.800	1.645	1.565	1.487
3 ^e formule : $x = \left[\left(\frac{D + 20}{M} 0 \text{ fr. } 50 \right) + 0 \text{ fr. } 40 + 0 \text{ fr. } 04 D \right]$							
mètres.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
500	1.100	0.850	0.767	0.725	0.685	0.665	0.642
1 000	1.400	1.100	1.000	0.950	0.900	0.875	0.850
1 500	1.700	1.550	1.255	1.175	1.116	1.088	1.058
2 000	2.000	1.600	1.467	1.400	1.555	1.500	1.267
2 500	2.500	1.850	1.700	1.625	1.850	1.515	1.475
3 000	2.600	2.100	1.955	1.850	1.766	1.725	1.685

Sur le chemin de fer de Saint-Germain, on a obtenu les résultats suivants, d'après J. CLAUDEL :

1^o Avec wagons remorqués par des chevaux.

Transport d'un mètre cube à 1 000 mètres	0 fr. 20 c
Réparation et graissage des wagons	0, 08
Dépréciation	0, 05
TOTAL	0 fr. 51
Déchargement et régalage	0, 15

2^o Avec wagons remorqués par locomotives.

Transport (frais des mécaniciens et combustibles)	0 fr. 10
Réparation des wagons	0, 24
Dépréciation	0, 05
TOTAL	0 fr. 57
Déchargement	0, 26

Pour une activité de 600 mètres cubes par jour il fallait :

1° Avec des chevaux; 150 wagons (80 à la charge et décharge, 40 sur la voie, 10 à la réserve, et 20 en réparation).

2° Avec locomotives: 152 wagons (80 en charge et décharge, 20 sur la voie, 10 en réserve, 20 en réparation, et 2 wagons intermédiaires). Le nombre des locomotives, pour un bon service, doit être double de celui nécessaire.

Les wagons sont supposés porter 2 mètres cubes.

Dépense pour le transport d'un mètre cube de terre pesant 1 600 kilogrammes

ÉTAT COMPARATIF DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT, DANS LEQUEL ON FAIT
D = 100 MÈTRES

(Portefeuille de l'ingénieur de chemins de fer, par M. PERDONNET)

DISTANCE DU TRANSPORT.	MODE DE TRANSPORT.										
	A LA BROUETTE.		SUR UN TERRAIN NATUREL.		SUR VOIES PROVISOIRES.		SUR VOIES DÉFINITIVES.			SUR COURS D'EAU.	
	A DOS DE MULET.		Au camion traité par des hommes.	Au tombereau tiré par des chevaux.	Volume de 100 000 m. avec wagons de terrassement.		Volume de 20 000 m. avec locomotives. Vitesse 25 kilomètres à l'heure.			Grand bateau de 50 mètres cubes à un cheval.	Petit bateau de 2 mètres cubes à un homme.
Formules	0,450 D	0,20 + 0,25 D	0,10 + 0,25 D	0,50 + 0,12 D	0,50 + 0,045 D	0,56 + 0,036 D	0,45 + 0,04 D	0,45 + 0,005 D	0,20 + 0,005 D	0,24 + 0,004 D	0,08 + 0,008 D
mètr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
10	0,045	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
20	0,090	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
50	0,135	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
40	0,180	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
50	0,225	0,525	0,225	»	»	»	»	»	»	»	»
100	0,450	0,450	0,550	0,420	0,545	0,596	0,460	0,455	0,205	0,244	0,088
140	0,650	0,350	0,450	0,468	0,565	0,610	0,464	0,457	0,207	0,246	0,091
160	0,720	0,600	0,500	0,492	0,572	0,618	0,466	0,458	0,208	0,246	0,093
200	0,900	0,700	0,600	0,540	0,590	0,652	0,471	0,460	0,210	0,248	0,096
300	»	0,950	0,850	0,660	0,655	0,668	0,486	0,465	0,215	0,252	0,104
500	»	1,450	1,350	0,900	0,725	0,740	0,500	0,475	0,225	0,260	0,120
800	»	2,200	2,100	1,260	0,860	0,848	0,550	0,490	0,240	0,272	0,144
1 000	»	2,700	2,600	1,800	0,950	0,920	0,550	0,500	0,250	0,280	0,160
1 100	»	»	»	1,620	0,995	0,956	0,560	0,505	0,255	0,284	0,168
1 200	»	»	»	1,740	1,040	0,992	0,570	0,510	0,260	0,288	0,176
1 300	»	»	»	1,860	1,085	1,028	0,580	0,515	0,265	0,292	0,184
1 400	»	»	»	1,980	1,130	1,064	0,590	0,520	0,270	0,296	0,192
1 500	»	»	»	2,100	1,175	1,100	0,600	0,525	0,275	0,300	0,200
1 600	»	»	»	2,220	1,220	1,136	0,610	0,530	0,280	0,304	0,208
1 700	»	»	»	2,340	1,265	1,172	0,620	0,535	0,285	0,308	0,216
1 800	»	»	»	2,460	1,310	1,208	0,630	0,540	0,290	0,312	0,224
1 900	»	»	»	2,580	1,355	1,244	0,640	0,545	0,295	0,316	0,232
2 000	»	»	»	2,700	1,400	1,280	0,650	0,550	0,300	0,320	0,240

D'où l'on voit que le wagon n'offre des avantages sur le tombereau que si le minimum à transporter est de 100 000 mètres cubes à 300 mètres, ou de 25 000 mètres cubes à 500 mètres.

Tableau donnant les rapports du frottement à la pression, ou charge indiquant l'effort maximum à exercer pour mettre le mobile en mouvement

Roues de voitures garnies de bandes en fer, roulant sur une chaussée en sable et cailloutis nouveaux.	0,0654
— — Empierrement à l'état ordinaire.	0,0414
— — — parfait	0,0159
— — Sur une chaussée pavée bien entretenue, au pas	0,0185
— — Sur une chaussée pavée bien entretenue, au trot	0,0528
— — Sur une chaussée en planches de chêne brutes	0,0102
Roues en fonte. Sur rails en bois saillants et rectilignes.	0,0025
— — Sur orniers plates en fer.	0,0053
— — Sur orniers saillants, graissage ordinaire.	0,0012
— — — continu.	0,0010
Rouleau d'orme. Sur pavé uni.	0,0074
— — Sur chêne bien dressé.	0,0016
Rouleau en fonte. Sur granit uni.	0,0010

La résistance sera d'autant moins grande, toutes choses égales d'ailleurs, que le rayon de la roue sera plus grand.

Frottement de glissement. (Expériences de M. MORIN)

RAPPORT A LA PRESSION

Chêne sur chêne, sans enduit.	0,48
— — enduit de savon sec	0,16
Orme sur chêne, sans enduit.	0,45
Frêne, sapin, hêtre, sorbier sur chêne, sans enduit.	0,56 à 0,40
Fer sur chêne, sans enduit.	0,62
— — mouillé d'eau	0,26
Fente sur chêne, sans enduit.	0,49
— — mouillé d'eau	0,22
Cuivre jaune sur chêne, sans enduit.	0,62
Gourroie en cuir noir corroyé sur chêne	0,27
Cuir tanné sur fonte ou sur bronze.	0,50
Cuir de bœuf, pour garniture de piston, sur fonte (mouillé d'eau).	0,15
Fer sur fonte, sans enduit	0,18
Fer sur bronze, —	0,18
Fente sur fonte, —	0,15
Fente sur bronze, —	0,15
Bronze sur bronze, —	0,20
Bronze sur fonte, —	0,22
Bronze sur fer, —	0,16
Fente sur fonte, avec enduit gras.	0,054
Fente sur bronze, —	0,054
Fer sur fonte, —	0,054
Fer sur bronze, —	0,054
Fer sur cuivre, sans enduit.	0,135
— — avec enduit gras	0,120

Puissance adhérente des roues des locomotives

Dans les meilleures conditions d'été $\frac{1}{4}$ }
 Dans les brouillards d'hiver, à peine $\frac{1}{10}$ } du poids qui charge les roues.
 Dans les conditions moyennes. . . . $\frac{1}{6}$ }

Pour la conservation des rails, on ne doit jamais excéder la charge de 12 tonnes pour les machines, et de 7 tonnes pour les wagons.

Résistance des trains à la traction

1° RÉSISTANCE DUE AU FROTTEMENT DES ESSIEUX, LE GRAISSAGE ÉTANT CONTINU

r Résistance en kilogrammes.
 p Pression des fusées sur les boîtes.
 f = 0,03 coefficient du frottement des essieux dans leurs boîtes.
 d Diamètre des fusées.

D Diamètre des roues. On fait le rapport $\frac{d}{D} = \frac{4}{14} = 0,07143$

$$r = f p \frac{d}{D} = f p \times 0,07143$$

2° RÉSISTANCE DUE AU FROTTEMENT EXERCÉ SUR LE POURTOUR DES ROUES

f' = 0,001 coefficient du frottement de roulement pour roues de $0^m,90$ de diamètre.
 $(P + p)$ = Poids total du wagon.
 P = Poids qui repose sur les roues.
 p = Poids des roues et essieux.

$$r = f' (P + p)$$

3° RÉSISTANCE DE L'AIR AU MOUVEMENT DES WAGONS

$m = 0,0625$ Coefficient constant.
 $n = 1,10$ Si la longueur du prisme = 3 fois le côté de la base.
 $= 1,17$ Si le solide est un cube.
 $= 1,43$ Si la longueur est beaucoup plus petite que la base.
 b = Base du prisme en mètres carrés.
 v = Vitesse du prisme en mètres par seconde.

$$r = m n b v^2$$

D'après diverses expériences, on obtient pour la résistance totale :

Sur rails horizontaux en état ordinaire d'entretien, avec des roues d'environ 1 mètre et par vent moyen, cette résistance est par tonne ou 1000 ^k	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour trains de marchandises.} \\ \text{— id — omnibus.} \\ \text{— id — directs.} \\ \text{— id — express.} \end{array} \right.$	4 kil. 000
		7 ,700
		8 ,500
		10 ,000

En Angleterre, la résistance des trains de marchandises est de 3k. 600 gr. par tonne, soit $\frac{1}{277}$ du poids.

En rampe, la résistance augmente ou diminue de 1 kilogramme par tonne remorquée et par millimètre de pente.

Résistance du vent à la marche des trains

(Expériences de MM. LE CHATELIER, POLONCEAU, SAUVAGE, POIRÉE, etc.)

DIRECTION DU VENT.	PENTE de LA VOIE.		VITESSE du TRAIN à l'heure.	RÉSISTANCE	
		mètres.		en FONCTION du poids traîné.	par TONNE.
		kilom.			kilogr.
Calme parfait	1/89	0,01124	56	1/89 P	11,256
Calme parfait	1/250	0,00400	28 à 30	1/250 P	4,000
Vent arrière	1/96	0,01041	54	1/96 P	10,416
— Id. —	1/265	0,00577	30	1/265 P	3,774
Vent debout	1/167	0,00600	54	1/167 P	5,649
— Id. —	1/96	0,01041	45	1/96 P	10,416
Vent de côté	1/177	0,00565	27	1/177 P	5,649

Formule de Harding

- Soit : R Résistance totale du train en *kilogrammes*.
 v Vitesse du train en *kilomètres*, par heure.
 p Poids du train en *tonnes*.
 n Plus grande section du train en mètres carrés, qu'on fait ordinairement = 5 et que d'autres font = 7 pour *express* et 14 pour les *autres trains*.

$$R = 2,72 p + 0,094 v p + 0,00484 n v^2,$$

Et pour la résistance par tonne :

$$R = 2,72 + (0,094 v) + 0,00484 \frac{n v^2}{p}.$$

On voit, d'après ce qui précède, que pour les chemins de fer inclinés, la résistance due à la gravité est proportionnelle à l'angle que forment les rails avec la ligne horizontale. Ainsi, sur un chemin de fer horizontal, la résistance étant égale à $\frac{1}{250} p$, sur une rampe dont l'angle avec l'horizontale sera a , cette

résistance deviendra $\frac{1}{250} p + \sin. a$. Mais à cause de la petitesse des angles d'inclinaison, le sinus de l'arc est sensiblement égal à sa tangente, et l'excès de la résistance due à la rampe peut être regardé comme égal à p multiplié par le taux d'inclinaison par mètre. Ainsi pour une rampe de 4 millimètres, la résistance sera représentée par :

$$\frac{1}{250} p + 0^m,004 p = \frac{8 p}{1\ 000} = \frac{p}{125}.$$

D'où l'on voit que la résistance est doublée pour une rampe de 4 millimètre et qu'elle devient nulle sur une pente de même nature.

D'après cela, on conclut que le prix de revient du transport s'accroît en proportion des rampes à franchir.

Le tableau suivant fait connaître ce prix, pour diverses rampes, en partant de ce principe que le prix du transport d'un mètre cube de terre, ballast, etc., pesant 1 800 kilog., à 100 mètres de distance horizontale, est de :

(0 fr., 45 + 0,000 33 D) = 0 fr., 485, prix appliqué sur le Bourbonnais.

DISTANCE du TRANSPORT.	DÉSIGNATION des RAMPES.	POIDS TRANSPORTÉ	RÉSISTANCE à la TRACTION.	PRIX DE REVIENT du TRANSPORT D'UN MÈTRE CUBE en admettant une constante de 0 ^e , 45 achat, pose, entretien, etc.		
				fr.	fr.	fr.
mètres.	millim.	kilogr.	gr.	fr.	fr.	fr.
100	horizontal.	1 800	7,200	0,45	+ 0,035	= 0,485
—	1	—	9,000		+ 0,044	= 0,494
—	2	—	10,800		+ 0,052	= 0,502
—	3	—	12,600		+ 0,061	= 0,511
—	4	—	14,400		+ 0,070	= 0,520
—	5	—	16,200		+ 0,079	= 0,529
—	6	—	18,000		+ 0,087	= 0,537
—	7	—	19,800		+ 0,096	= 0,546
—	8	—	21,600		+ 0,105	= 0,555
—	9	—	23,400		+ 0,114	= 0,564
—	10	—	25,200		+ 0,123	= 0,573
—	15	—	34,200		+ 0,166	= 0,616
—	20	—	43,200		+ 0,210	= 0,660
—	25	—	52,200		+ 0,254	= 0,704
—	30	—	61,200		+ 0,298	= 0,748
—	40	—	79,200		+ 0,385	= 0,855
—	50	—	97,200		+ 0,475	= 0,925
—	60	—	115,200		+ 0,560	= 1,010
—	70	—	133,200		+ 0,648	= 1,098
—	80	—	151,200		+ 0,735	= 1,185
—	90	—	169,200		+ 0,825	= 1,275
—	100	—	187,200		+ 0,910	= 1,560

D'après M. Brabant, pour la tranchée de Clamart, trois chevaux remorquaient dix wagons sur une pente de 0^m,004, et le prix de revient du mètre cube transporté à 1 000 mètres était de 2 fr. 2511

Et pour le supplément de transport à 1 000 mètres 0, 0402

Sur un chemin horizontal il fallait 5 chevaux, et le prix du mètre cube transporté à 1 000 mètres, s'élevait à 2, 5085

Et pour le supplément de transport à 1 000 mètres 0, 0467

Sur un chemin en rampe de 0^m,004 il fallait 8 chevaux et le prix du mètre cube s'élevait à 2, 4245

Et pour le supplément de transport à 1 000 mètres 0, 0500

Les wagons étant remorqués par une locomotive, on obtenait les résultats suivants :

En pente de 0^m,004. Prix du mètre cube transporté à 1 000 mètres 2 fr. 5005

Sur chemin horizontal. — id. — 2, 5728

En rampe de 0^m,004. — id. — 2, 5157

L'augmentation de dépense pour un excès de 1 000 mètres de distance de transport était de 0 fr. 0344, 0 fr. 0391 et 0 fr. 0466.

Travail produit par la vapeur

Soient : T Résistance totale du convoi en kilogrammes.

D Diamètre des roues motrices en centimètres.

p Pression moyenne utile de la vapeur dans les cylindres par centimètre carré.

d Diamètre des pistons en centimètres;

l Course des pistons en centimètres.

On a
$$T = \frac{p d^2 l}{D}$$

Si on fait : T = 2000^k, D = 250^c, p = 4^k,64, d = 45^c; on aura l = 58^c.

Charge que peut trainer un cheval sur un chemin de fer

D'après les formules qui précèdent, connaissant la résistance totale d'un train à la traction = $\frac{1}{250} p$, on obtiendra la charge x que peut trainer un cheval en faisant cette résistance égale à 70 kilogrammes, traction moyenne d'un cheval, et on aura pour un chemin horizontal :

$$x = 250 \times 70 = 17\ 500^k$$

Alliages de friction et mastics pour joints

Traité des machines à vapeur marines, par ORTOLAN

ALLIAGE DE FRICTION.

DÉSIGNATION des ALLIAGES	COMPOSITION.				
	CUIVRE.	ÉTAIN.	ZINC.	ANTI-MOINE.	PLOMB.
Bronze pour coussinets ordinaires	82	18	1	»	»
— Id. — machines à vapeur	84	16	1	»	»
Id. le plus résistant	82	5	18	»	1.5
Alliage blanc pour coussinets	2	90	»	8	»
— Id. —	6	90	50	»	»
— Id. —	1.8	89.5	»	8.9	»
Laiton ordinaire.	66	»	34	»	»
Id. pour tubes de chaudières.	90	»	10	»	»
Bronze pour canons	91	9	»	»	»
— Id. —	100	11	»	»	»
Métal pour doublage de navires.	53	45	1	»	»
— Id. —	45	55	1	»	»
Alliage gris pour pièces exposées à des chocs.	85	15	1.5	»	1.5
Alliage gris pour sifflet aigu	89	18	»	2	»
— Id. — — Id. — plus grave	84	17	»	2	»
Caractères d'impression très-durs.	2.5	2.5	»	28	67
— Id. — plus tendres.	»	»	»	20	80

MASTICS POUR JOINTS.

Mastic de fonte pour joints secs .	}	Tournure de fonte grise	1,000	gr.	
			Fleur de soufre	160	
			Sel ammoniac	10	
			Eau-de-vie pour former une pâte légèrement épaisse.		
Mastic au minium pour joints de cuivre, portes de regards, etc.	}	Minium en poudre	1	kil.	
		Blanc de céruse en pâte	1		
		En former une pâte qui ne s'attache pas aux doigts.			
Mastic au blanc de zinc remplaçant le mastic au minium . . .	}	Zinc	1 kil.		
		Huile de lin à former une pâte consistante.			
Mastic Serbat remplaçant le mastic au minium (séché moins lentement)	}	Sulfure de plomb calciné	72	parties.	
		Peroxyde de manganèse	54		
		Huile de lin	15		
Mastic à la chaux pour joints grossiers non exposés à la chaleur	}	Blanc d'Espagne ou de chaux broyé avec l'huile de lin et du chanvre haché en menus morceaux.			

Matières lubrifiantes pour wagons et machines*Traité des machines à vapeur, par J. GAUDRY*

- 1° L'huile de pied de bœuf qui est très-rare et fort chère.
- 2° Les huiles végétales non acides, grasses et non siccatives et spécialement l'huile de colza.
- Cette dernière avec addition de caoutchouc dissous est très-recommandée.
- 3° Le suif, préférable pour les gros frottements, surtout s'il est mélangé avec une certaine quantité de plombagine.
- 4° L'eau de savon.

Graisse dure pour les fusées de wagons (*Technologiste de 1849*)

ÉLÉMENTS.	COMPOSITION POUR :		
	L'ÉTÉ.	LES SAISONS MOYENNES.	L'HIVER.
Huile de palme	62.50	75	87.50
Suif	87.50	75	62.50
Carbonate de soude	25	25	25

Faites dissoudre la soude dans 15 litres d'eau; versez la solution dans 120 litres d'eau et agitez, faites fondre le suif, ajoutez-y l'huile, faites-les bouillir un instant ensemble, laissez refroidir jusqu'à ce que vous puissiez y tenir la main; versez alors à travers un fin tamis dans la solution, agitez. Conservez la masse solidifiée et rejetez l'eau dont il reste une assez grande proportion.

Graisse noire

On prend 80 parties de graisse sur 20 de plombagine réduite en poudre très-fine; on met le tout dans un vase sur un feu doux, et, lorsque la graisse est fondue, on remue et l'on mélange bien le tout en attendant que le refroidissement ait lieu.

Cette composition offre 7/8 d'économie sur la graisse pure ou l'huile.

DOCUMENTS DIVERS

Réduction en mètres d'une pente en degrés ou tangentes naturelles

0°15'	m. 0.00456	3°50'	m. 0.06116	7°30'	m. 0.13165	18°	m. 0.32492	34°	m. 0.67451
0°30'	0.00873	4°	0.00995	8°	0.14034	20°	0.36397	36°	0.72654
0°45'	0.01309	4°30'	0.07870	8°30'	0.14945	22°	0.40405	38°	0.78429
1°	0.01744	5°	0.08749	9°	0.15858	24°	0.44525	40°	0.85910
1°30'	0.02618	5°30'	0.09629	10°	0.17653	26°	0.48775	41°	0.86929
2°	0.03492	6°	0.10510	12°	0.21256	28°	0.53171	42°	0.90040
2°30'	0.04366	6°30'	0.11393	14°	0.24955	30°	0.57755	44°	0.96369
3°	0.05241	7°	0.12278	16°	0.28675	32°	0.62487	45°	1.00000

Réduction en degrés d'une inclinaison en mètres

m. 0.005	0°17'10"	m. 0.035	2°05'10"	m. 0.065	3°43'10"	m. 0.095	5°25'50"	m. 0.125	7°07'50"
0.010	0°34'20"	0.040	2°17'50"	0.070	4°00'20"	0.100	5°12'50"	0.150	7°24'20"
0.015	0°51'50"	0.045	2°34'50"	0.075	4°17'20"	0.105	5°39'50"	0.155	7°41'20"
0.020	1°08'50"	0.050	2°51'40"	0.080	4°34'50"	0.110	6°16'50"	0.140	7°58'10"
0.025	1°26'00"	0.055	3°09'00"	0.085	4°51'50"	0.115	6°53'40"	0.145	8°15'05"
0.030	1°43'10"	0.060	3°26'20"	0.090	5°08'50"	0.120	6°50'50"	0.150	8°31'50"

Coefficients servant à déterminer le développement des talus en déblai ou en remblai

TALUS		LA BASE ÉTANT L'UNITÉ,		LA HAUTEUR ÉTANT L'UNITÉ,		
PENTE GÉNÉRALE EXPRIMÉE en		HAUTEUR correspon- dante.	COEFFICIENT ou développe- ment du talus.	BASE correspon- dante.	COEFFICIENT ou développe- ment du talus.	
FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.					
	m.	m.	m.	m.	m.	
20 pour 1	1/20	0.050	0.05	1.0012	20	20.0249
10 p. 1	1/10	0.100	0.10	1.0849	10	10.0498
	5/20	0.150	0.15	1.0111	6.6667	6.7412
5 p. 1	1/5	0.200	0.20	1.0198	5	5.0994
4 p. 1	1/4	0.250	0.25	1.0508	4	4.1251
3 5	p. 1 5/10	0.500	0.50	1.0410	5.3555	5.4769

TALUS.		LA BASE ÉTANT L'UNITÉ,		LA HAUTEUR ÉTANT L'UNITÉ,	
PENTE GÉNÉRALE EXPRIMÉE en		HAUTEUR correspon- dante.	COEFFICIENT ou développe- ment du talus.	BASE correspon- dante.	COEFFICIENT ou développe- ment du talus.
FRACTIONS ordinaires.	FRACTIONS décimales.				
	m.	m.	m.	m.	m.
5 p. 1 1/3	0.333	0.3333	1.0535	3	3.1625
7/20	0.350	0.35	1.0395	2.8571	3.0270
2 1/2 p. 1 2/5	0.400	0.40	1.0770	2.50	2.6926
2 1/4 p. 1 4/9	0.444	0.4444	1.0954	2.25	2.4617
9/20	0.450	0.45	1.0966	2.2222	2.4369
2 p. 1 1/2	0.500	0.50	1.1180	2	2.2561
11/20	0.550	0.55	1.1415	1.8181	2.0749
1 3/4 p. 1 4/7	0.571	0.5714	1.1517	1.75	2.0149
1 2/5 p. 1 3/5	0.600	0.60	1.1661	1.6667	1.9378
15/20	0.650	0.65	1.1927	1.5384	1.8549
1 1/2 p. 1 2/3	0.666	0.6667	1.2018	1.50	1.8028
7/10	0.700	0.70	1.2206	1.4286	1.7458
3/4	0.750	0.75	1.2500	1.3333	1.6667
1 1/4 p. 1 4/5	0.800	0.80	1.2806	1.25	1.6008
1 1/5 p. 1 5/6	0.833	0.8333	1.3015	1.20	1.5620
17/20	0.850	0.85	1.3124	1.1765	1.5441
9/10	0.900	0.90	1.3435	1.1111	1.4948
19/20	0.950	0.95	1.3795	1.0526	1.4519
1 p. 1 1/1	1.000	1.00	1.4142	1	1.4142

Pressions exercées par le vent à différentes vitesses

(D'après l'Encyclopédie Firmin Didot, par Léon RENIER.)

La pression exercée par le vent sur une surface plane normale à sa direction est, pour des vitesses inférieures à 40 mètres par seconde :

$$P = 2dsh$$

P Pression en kilogrammes.

d Poids d'un mètre cube de l'air en mouvement = 1^k,231 si la température est à 12° et la pression barométrique = 0,755 de mercure.

s Surface de la plaque en mètres carrés.

v Vitesse du vent en mètres par seconde.

$$h = \frac{v^2}{2g} = v^2 \times 0,050975$$

En appliquant les données de cette formule, on arrive aux résultats suivants :

DÉSIGNATION DES VENTS.	VITESSE	VITESSE	PRESSIION	
	par HEURE.	par SECONDE.	EXERCÉE sur unmètre carré	
	kilomètres	mètres	kilogrammes	
Vent à peine sensible	5.600	1.00	0.14	
Brise légère	7.200	2.00	0.54	
Vent frais ou brise	14.400	4.00	2.17	
tend bien les voiles	21.600	6.00	4.87	
Vent bon frais {	le plus convenable aux			
	moulins	25.200	7.00	6.64
	forte brise	28.800	8.00	8.67
convenable pour la marche en mer	52.400	9.00	10.97	
— très-forte brise	56.000	10.00	15.54	
— grand frais	45.200	12.00	19.50	
— très-fort	54.000	15.00	50.47	
— impétueux	72.000	20.00	54.16	
Vent tempête	86.400	24.00	78.00	
— violente	108.180	50.05	122.28	
— ouragan	150.140	56.15	176.96	
— grand ouragan	165.080	45.50	277.87	

Dimensions usuelles des murs des bâtiments

(D'après RONDELET.)

DÉSIGNATION DES PARTIES DE MURS.	ÉPAISSEURS DES MURS		HAUTEUR D'ÉTAGE.
	DE FACE.	DE REPEND.	
Aux fondations	de m. m.	de m. m.	
Au niveau du sol {	0.75 à 0.80	0.70 à 0.85	
des caves	0.35 à 0.80	0.50 à 0.65	
du rez-de-chaussée	0.50 à 0.65	0.35 à 0.40	de m. m.
du 1 ^{er} étage	0.45 à 0.55	» »	5.25 à 5.00
du 2 ^e étage	0.40 à 0.50	0.50 à 0.55	5.00 à 4.25
du 3 ^e étage	0.52 à 0.40	0.25 à 0.50	2.80 à 3.50

DÉSIGNATION DES BÂTIMENTS.	ÉPAISSEURS AU REZ-DE-CHAUSSÉE DES MURS		
	DE FACE.	MITOYENS.	DE REPEND.
Bâtimens plus considérables que les maisons d'habitation	de m. m.	de m. m.	de m. m.
Palais ou édifices avec voûtes au rez- de-chaussée	0.65 à 1.00	0.55 à 0.65	0.40 à 0.45
	1.20 à 2.50	1.00 à 1.50	0.70 à 1.20

MANDAR donne pour les maisons d'habitation les hauteurs suivantes :

<i>Caves</i>	<i>Rez-de-chaussée</i>	<i>Entresol</i>
2 ^m . 27 à 2 ^m . 92;	3 ^m . 25 à 4 ^m . 22 et jusqu'à 5 ^m . 20;	2 ^m . 27 à 2 ^m . 60
	<i>1^{er} étage</i>	
	3 ^m . 25 à 5 ^m . 90 et jusqu'à 5 ^m . 88;	
	<i>2^e étage</i>	<i>3^e étage</i>
	2 ^m . 92 à 3 ^m . 90;	2 ^m . 60 à 2 ^m . 92;
		<i>4^e étage</i>
		2 ^m . 27 à 2 ^m . 60.

Les épaisseurs des voûtes de cave doivent être de 0^m. 41 à 0^m. 54 plus 0^m. 11 à 0^m. 16 de charge; on donne 0^m. 41 à 0^m. 49 pour les épaisseurs des planchers, y compris carreau ou parquet et plafond.

La ville de Paris ne tolère plus, dans les constructions nouvelles, moins de 2^m. 60 de hauteur d'étage.

Formules de Rondelet

Soient : *e* Epaisseur du mur en mètres;
H Hauteur totale depuis le sol;
h Hauteur d'étage;
n Nombre d'étages;
l Longueur totale.

$$\begin{aligned} \text{Murs simples.} \quad e &= \frac{l + \frac{H}{2}}{24} \\ \text{— de face doubles.} \quad e &= \frac{l + H}{48} + (0^m,027 \text{ à } 0^m,054) \\ \text{— — simples.} \quad e &= \frac{2l + H}{46} + (0^m,027 \text{ à } 0^m,054) \\ \text{— de refend.} \quad e &= \frac{l + H}{36} + n (0^m,015 \text{ à } 0^m,027) \end{aligned}$$

Murs des bâtiments recouverts d'un simple toit

$$\text{Soit } L \text{ largeur du bâtiment : } e = \frac{H}{12} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + H^2}}$$

Et si les murs qui supportent le toit sont soutenus à une certaine hauteur par d'autres constructions, soit *h'* la hauteur dont ce mur surmonte l'appui extérieur, on aura :

$$e = \frac{H + h'}{24} \times \frac{L}{\sqrt{L^2 + (H + h')^2}}$$

Murs d'encintes non couvertes

$$e = \frac{H}{8} \times \frac{L}{\sqrt{l^2 + H^2}}$$

Murs isolés ou de clôture

Si *l* est très-grand par rapport à *H*, on fera

$$e = \frac{H}{8}$$

Murs circulaires

$$e = \frac{H}{8} \times \frac{\frac{1}{2} r}{\sqrt{\frac{r^2}{4} + H^2}}$$

r rayon

Couverture des bâtiments

(D'après M. ARDANT.)

NATURE DE LA COUVERTURE.	POIDS par mètre carré.	INCLI- NAISON.	NATURE DE LA COUVERTURE.	POIDS par mètre carré.	INCLI- NAISON
	kil.	degrés.		kil.	degrés.
Bardeaux en chêne	44	45	Ardoises de Fumay	28	35 à 45
— en sapin	21	45	Cuivre laminé n° 20	6,11	18 à 25
Tuiles plates, grand moule	82 à 85	27 à 60	— n° 25	7,64	18 à 25
Tuiles plates, petit moule	82 à 85	45 à 60	Zinc n° 14	5,95	18 à 25
Tuiles flamandes	80	21 à 27	— n° 16	7,50	18 à 25
Tuiles creuses à sec	74	21 à 27	Tôle	7 à 8	18 à 21
— maçonnées	156	27 à 51	Tôle galvanisée	5,44	—
Tuiles à dos d'âne	60	21 à 27	— —	5,85	—
Ardoises grandes d'An- gers	28	55 à 45	— —	7,80	—
Ardoises cartelettes d'Angers	24	55 à 45	— cannelée	8,20	—
Ardoises moyennes de Charleville	28	55 à 45	Plomb	40	—
			— —	55	—
			Mastic bitumineux	25	—
			Verre	8	—

Les couvertures métalliques ont de 0^m,001 à 0^m,005 d'épaisseur.

Dimensions à donner aux cheminées d'appartements

(Nouvelles annales de la construction.)

	PIECES		
	PETITES.	MOYENNES.	GRANDES.
	mètres.	mètres.	mètres.
Largeur dans œuvre	0,81 à 0,97	1,14 à 1,50	1,62 à 1,95
Hauteur de la tablette	0,89 à 0,97	0,97 à 1,05	1,14 à 1,50
Largeur de la tablette	0,27 à 0,52	0,55 à 0,58	0,40 à 0,45

La profondeur varie de 0^m,45 à 0^m,80. La largeur des jambages et des manteaux est de 1/10 de celle de la cheminée.

Planchers simples

(D'après TREGOLD.)

Pour les planchers simples formés par un seul rang de solives, soit l porté en mètres, h hauteur, a largeur des solives, on aura la hauteur pour des largeurs qui ne doivent pas être inférieures à 0^m,05.

$$\text{Bois de sapin : } h = 0^{\text{m}},0565 \sqrt[3]{\frac{l^2}{a}}; \quad \text{Bois de chêne : } h = 0^{\text{m}},0376 \sqrt[3]{\frac{l^2}{a}}.$$

D'après Rondelet, on doit donner pour équarrissage aux solives des plancher des maisons d'habitation $\frac{1}{24}$ de leur longueur, et aux poutres $\frac{1}{18}$ de leur portée quand elles sont espacées de 3^m,00 à 3^m,50.

Conservation des bois de charpente

On conservera indéfiniment le bois employé dans la charpente, si, après l'avoir écorcé et scié, on le laisse tremper pendant quelques jours dans du lait de chaux, et si on l'en enduit exactement.

On augmentera d'un sixième la force des bois de charpente, en les écorçant quelques mois avant de les abattre. Cette opération doit se faire au moment où l'arbre est en pleine sève, en mai par exemple, pour couper en automne.

Équarrissage des bois de charpente**1^o PANS DE BOIS ET CLOISONS (d'après M. Emy)**

		mètres.
Pans de bois des façades de 3 ^m ,90 . . .	Épaisseur . . .	0,217 à 0,244
Poteaux corniers et poteaux de fond. . .	Equarrissage . . .	0,244 à 0,271
Poteaux d'étréière . . .	_____	0,217 à 0,244
Sablères hautes et basses. . .	_____	0,217 à 0,244
Poteaux d'huissierie . . .	_____	0,189 à 0,217
Poteaux de remplissage . . .	_____	0,162 à 0,217
Ecartement des poteaux de remplissage . . .	_____	0,271 à 0,225
Gueltes, décharges, croix de St-André. . .	_____	0,162 à 0,217
Tournisses et potelets . . .	_____	0,135 à 0,217
Pans de bois intérieurs ou cloisons de 3 ^m ,90	Épaisseur . . .	0,162
_____ au-dessus de 3 ^m ,90	_____	0,189
Poteaux portant plancher . . .	_____	0,435 à 0,162
_____ ne portant pas plancher . . .	Equarrissage . . .	0,408 à 0,135
Cloisons de refend ou en porte-à-faux. . .	_____	0,081 à 0,135

2^o PLANCHERS (d'après BULLET)

		mètres.
Poutres de 3 ^m ,90 . . .	_____	0,27 sur 0,32
_____ de 4 ^m ,87 . . .	_____	0,30 — 0,36
_____ de 5 ^m ,85 . . .	_____	0,35 — 0,40
_____ de 6 ^m ,82 . . .	_____	0,35 — 0,44
_____ de 7 ^m ,80 . . .	_____	0,57 — 0,48
Solives de sciage de 2 ^m ,92 à 4 ^m ,87 . . .	_____	0,14 — 0,19
_____ — 5 ^m ,85 . . .	_____	0,25 — 0,25
_____ — 7 ^m ,80 à 8 ^m ,12 . . .	_____	0,24 — 0,27
_____ — 8 ^m ,77 . . .	_____	0,27 — 0,30
Solives de brin de 2 ^m ,92 à 4 ^m ,87 . . .	_____	0,14 — 0,19

3° COMBLES (Cours de construction de l'école de Metz).

DÉSIGNATION d's PIÈCES.	FERME SIMPLE.		FERME à ENTRAIT RETROUSSÉ et arbalètes allant du faite au tirant.		FERME à ENTRAIT RETROUSSÉ et jambes de force.		FERME POUR COMBLE à la mensarde.	
	OUVERTURE		OUVERTURE		OUVERTURE		OUVERTURE	
	6m, 00	12m, 00	6m, 00	12m, 00	6m, 0	12m, 00	6m, 00	12m, 00
Tirant ne portant pas de plancher.	27/24	40/56	»	»	»	»	»	»
— portant plancher.	52/27	47/37	43/20	65/45	42/50	65/45	42/50	65/45
Entrait retroussé.	»	»	21/19	55/50	21/19	55/50	22/20	56/55
Jambes de force.	»	»	»	»	24/19	55/50	22/20	54/55
Arbalétriers.	22/19	52/50	22/19	52/50	18/15	27/22	20/18	50/28
Poinçon.	19/19	50/50	19/19	50/50	18/15	22/22	18/18	28/28
Contre-fiches et jambettes.	16/16	21/21	15/15	22/22	14/14	18/18	14/14	18/18
Aisseliers.	»	»	19/15	50/22	19/15	50/22	20/15	55/22
Faîte.	19/19	22/19	19/16	22/19	19/16	22/19	19/16	22/19
Liens de faite.	18/15	17/17	15/15	17/17	15/15	17/17	15/15	17/17
Pannes, tasseaux et chantignolles.	19/19	22/22	19/19	22/22	19/19	22/22	19/19	22/22
Liernes.	»	»	»	»	19/19	22/22	20/20	25/25
Sablères.	12/25	16/28	12/25	16/28	12/25	16/28	12/25	16/28
Blochets.	»	»	»	»	18/14	22/16	18/14	22/16
Chevron.	9/9	11/11	9/9	11/11	9/9	11/11	9/9	11/11
Coyaux.	8/7	10/9	8/7	10/9	8/7	10/9	8/7	10/9
Chanlates.	16/5	20/5	16/5	20/5	16/5	20/5	16/5	20/5

Ordres d'architecture

La mesure employée pour établir les proportions d'un ordre est le module ou demi-diamètre inférieur de la colonne; on le subdivise en vingt-quatre parties pour les ordres toscans et doriques, et en trente-six pour les autres ordres. La hauteur de la colonne toscane est de sept fois son diamètre, celle de la dorique huit fois, celle de l'ionique neuf fois, et celle de la corinthienne et de la composite dix fois.

Tableau comparatif des proportions des parties principales des ordres d'architecture.

DÉSIGNATION DES PARTIES.		DORIQUE GREC.	TOSCAN.	DORIQUE ROMAIN.	IONIQUE.	CORINTHIEN.	COMPOSITE.
ENTABLE- MENT.	Corniche } hauteur	mod. part.	mod. part.	mod. part.	mod. part.	mod. part.	mod. part.
	} saillie	1 2	1 8	1 12	1 27	2	2
	Frise . . . } hauteur	1 4,6	1 12	2	1 26	2 4	2
COLONNE	Architrave } hauteur	1 15	1 4	1 12	1 18	1 18	1 18
	} saillie	1 15	1	1	1 9	1 18	1 16
	Chapiteau } hauteur	1,95	4	4	10	10	14
	} saillie	18,85	1	1	24	2 12	2 12
	Fut. . . . } hauteur	9,1	10	10	10	15 ⁴	12 ⁵
PIÉDESTAL.	} diamètre en haut ¹	10 5,45	12	14	16 9	16 24	16 24
	} Nombre de cannelures	1 12,4	1 14	1 16	1 24	1 24	1 24
	Base . . . } hauteur	20 ²	0	20 ²	24 ³	24 ³	24 ³
PIÉDESTAL.	} saillie	8	1	1	1 5	1	1
	Corniche } hauteur	3 7,5	9	10	14	14	14
	} saillie	10,4	12	12	20	28	28
	Dé } hauteur	6,06	8	12	20	16	16
	Base . . . } hauteur	2 9,9	3 16	4	4 52	3 8	3 8
HAUTEUR totale	} saillie sur le fut.	3,75	9	10	14	14	14
	} hauteur	11,7	12	20	20	24	24
	} saillie	4,55	8	10	16	16	16
de l'entablement		4 8	3 12	4	4 18	3	3
de la colonne		11 8	14	16	18	20	20
du piédestal		3 8	4	16 3 8	6	6 24	6 24
de l'ordre		19	22	4 25 8	28 18	31 24	31 24
Entre-colonnement mesuré d'axe en axe des colonnes		»	6 16	7 12	6 18	6 24	6 24
Distance d'axe en axe des colonnes		»	9 12	10	11 18	12	12
Ouverture de l'arcade entre les piédroits		»	6 12	7	8 18	9	9
Distance verticale de la clef de l'arcade au-dessous de l'architrave		»	1	2	1	2	2
Distance d'axe en axe des colonnes		»	12 18	15	15	16	16
Ouverture de l'arcade entre les piédroits		»	8 18	10	11	12	12
Distance verticale de la clef au-dessous de l'architrave		»	1 4	1 8	2	1 24	1 24

¹ Le diamètre ne commence à décroître qu'à partir du tiers de la hauteur du fut; dans le dorique grec il décroît depuis le bas.
² Cannelures creusées en arc de cercle et seulement séparées entre elles par une arête vive légèrement arrondie. La largeur des cannelures est égale à leur rayon.
³ Cannelures creusées en demi-cercle et séparées par un listel du tiers de leur longueur.
⁴ Cette saillie est celle de la lèvre du vase; cette lèvre est circulaire.
⁵ Cette saillie est celle du quart de rond.

Épaisseur à donner aux murs de soutènement

Soient E Épaisseur à donner au mur à sa partie supérieure.

b Angle sous lequel les terres à soutenir se maintiendraient seules.

c Complément de l'angle b .

h Hauteur du mur.

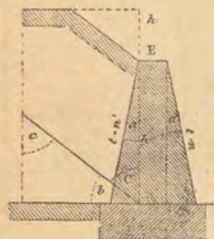
h' Surcharge des terres à soutenir.

K Poids d'un mètre cube de maçonnerie.

K' — — — de terre.

L'angle b prend différentes valeurs suivant la nature des terres à soutenir; il est de :

55°	pour les terres fortes et denses,
46° 30'	pour les terres sèches et pulvérisées,
54°	pour les terres humectées,
60°	pour le sable fin très-sec.



1° POUR MURS DITS DE REVÊTEMENT,
C'EST-A-DIRE DE FORTIFICATIONS AVEC SURCHARGE;
ON AURA, D'APRES M. PONCELET :

$$E = 0,845 (h + h') \operatorname{tang} \frac{1}{2} c \sqrt{\frac{K'}{K}}$$

2° POUR MURS DE SOUTÈNEMENT PROPREMENT DITS :

Si on représente par n le fruit par mètre du parement extérieur du mur, et par n' le fruit par mètre du parement intérieur, on aura :

$$E = h \left[- \left(n + \frac{n'}{2} \right) \pm \sqrt{\frac{K'}{5K} \operatorname{tang}^2 \frac{1}{2} c + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}} \right]$$

Et si les parements du mur sont verticaux :

$$E = h \operatorname{tang} \frac{1}{2} c \sqrt{\frac{K'}{5K}}$$



Lorsque le mur résiste à un fluide, on a :

$$E = h \sqrt{\frac{K'}{5K}}$$

Pour murs de soutènement en pierres sèches, on prend pour la valeur de E $\frac{1}{4}$ en plus.

Épaisseur à donner aux batardeaux et aux barrages en maçonnerie

Pour un batardeau, on a, en faisant K' poids d'un mètre cube d'eau = 1 000^k

$$E = 0,845 (h - h') \sqrt{\frac{1000}{K}}$$

et pour un barrage ou digue :

$$E = 0,39h \sqrt{\frac{1000}{K}}; \text{ ou comme ci-dessus : } E = h \sqrt{\frac{1000}{5K}}.$$

Dans les cas les plus défavorables, on a :

$$E = 0,41h.$$

Ces deux formules supposent une épaisseur régulière sur toute la hauteur.

Épaisseur à donner aux voûtes des ponts

Soit e Epaisseur de la voûte à la clef.
 d Distance des piédroits.

On a, d'après M. Perronet :

$$e = 0,0347d + 0^m,325,$$

Et d'après M. Léveillé :

$$e = \frac{1 + 0,4d}{5}.$$

Épaisseur à donner aux culées des ponts

D'après M. Léveillé, on a :

Pour un arc de cercle :

$$E = (0,35 + 0,212d) \sqrt{\frac{h}{H} \times \frac{d}{f + e}}$$

Pour un plein cintre :

$$E = (0,60 + 0,162d) \sqrt{\frac{h + 0,25d}{H} \times \frac{0,865d}{0,25d + e}}$$

Pour une anse de panier :

$$E = (0,45 + 0,154d) \sqrt{\frac{h + 0,54b}{H} \times \frac{0,84d}{0,465b + e}}$$

h Hauteur des culées.

H Distance verticale entre les fondations et la chaussée.

f Flèche.

d Distance entre les culées.

e Epaisseur de la voûte à la clef.

b Pour voûte elliptique, on fait $d = 2a$, $b = f$.

Les formules qui précèdent appliquées par M. Léveillé ont donné aux ponts qu'il a fait construire une très-grande stabilité.

**Dimensions données aux voûtes et culées de divers ponts par
M. Leveillé**

OUVERTURE.	FLÈCHES.	$\frac{l}{d}$	ÉPAISSEUR à LA CLEF.		HAUTEUR des CULÉES.	ÉPAISSEUR des CULÉES.	
			Réelle.	Calculée.		Réelle.	Calculée.
1° PONTS EN ARCS DE CERCLE.							
mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
4,00	0,70	0,175	0,55	0,47	4,00	1,80	1,81
5,00	0,80	0,160	0,52	0,50	2,00	1,70	1,95
7,65	0,90	0,118	0,63	0,59	4,51	5,56	5,61
11,40	1,50	0,152	0,60	0,71	5,35	5,20	4,68
15,00	1,86	0,145	0,90	0,77	2,00	5,20	4,25
14,00	1,90	0,156	1,10	0,80	6,21	5,80	6,06
16,05	1,55	0,097	0,90	0,87	5,95	10,00	7,24
16,50	5,12	0,192	0,84	0,88	6,52	4,88	5,15
22,40	1,95	0,085	1,45	1,11	8,45	11,80	12,17
25,10	5,57	0,141	1,40	1,17	4,45	9,60	9,52
26,57	4,11	0,156	1,07	1,21	5,05	9,76	9,00
2° PONTS EN PLEIN CINTRE.							
0,60	»	»	0,55	0,55	0,90	0,50	0,50
2,00	»	»	0,55	0,40	2,40	1,20	1,05
2,00	»	»	0,50	0,40	1,95	1,00	1,01
5,00	»	»	0,40	0,45	5,60	1,40	1,51
4,00	»	»	0,50	0,47	4,00	1,50	1,61
5,00	»	»	0,55	0,50	5,00	1,80	1,78
7,40	»	»	0,60	0,58	2,00	2,10	2,18
8,20	»	»	0,75	0,61	5,00	5,20	2,91
11,00	»	»	1,20	0,70	6,50	5,00	5,25
15,00	»	»	1,20	0,85	2,00	5,80	5,88
20,00	»	»	1,20	1,00	1,00	4,50	4,49
3° PONTS EN ANSE DE PANIER.							
6,00	2,50	0,585	0,60	0,54	0,40	1,60	1,60
12,00	4,50	0,575	0,90	0,75	5,10	5,75	5,40
15,59	5,20	0,554	1,14	0,85	3,11	4,35	4,22
15,92	5,51	0,555	1,14	0,86	0,41	5,60	5,90
21,54	5,55	0,250	0,61	1,04	5,66	5,05	6,47
24,20	7,97	0,528	1,20	1,14	0,87	5,62	5,55
24,50	8,44	0,544	1,56	1,15	1,95	5,85	6,21
35,10	10,49	0,513	1,95	1,50	0,98	8,77	8,65
38,98	9,74	0,250	1,62	1,62	2,50	10,80	10,80

Pentes ou vitesses maximum à donner aux radiers des canaux et aqueducs. (Aide-mémoire de M. MORIN)

NATURE DU FOND.	VITESSE MAXIMUM.	VALEUR CORRESPONDANTE de Rp.
	mèt.	mèt.
Terres détrempées brunes.	0,076	0,000 005
Argiles tendres	0,132	0,000 014
Sables	0,305	0,000 041
Graviers.	0,609	0,000 142
Cailloux.	0,614	0,000 145
Pierres cassées, silex.	1,220	0,000 515
Cailloux agglomérés, schistes tendres.	1,520	0,000 782
Roches en couches	1,850	0,001 417
Roches dures	3,050	0,005 012

- Soient: q Volume d'eau à débiter par seconde.
 s Surface de la section de l'aqueduc ou canal.
 v Vitesse inférieure et correspondante à celle du tableau ci-dessus.
 p Pente de la surface liquide, par mètre courant, pour débiter le volume q .
 P Périmètre mouillé.
 R Quotient de $\frac{s}{P}$.

D'après de Prony :

$$Rp = 0,0000444 v + 0,000309 v^2;$$

$$p = \frac{P}{s} v (0,0000444 + 0,000309 v);$$

$$v = 56,86 \sqrt{Rp} - 0,072 = \frac{q}{s}.$$

Epaisseur pratique à donner aux chaudières à vapeur en tôle et en cuivre

- e Epaisseur de la chaudière en millimètres.
 d Diamètre de la chaudière en mètres.
 n Pression absolue de la vapeur en atmosphères.

$$e = 1,8 d (n - 1) + 5; \quad \text{d'où } n = 1 + \frac{e - 5}{1,8 d}$$

Diamètre des soupapes de sûreté

- d Diamètre de la soupape en centimètres.
 s Surface de chauffe de la chaudière en mètres carrés.
 n Pression absolue de la vapeur en atmosphères.

$$d = 2,6 \sqrt{\frac{s}{n - 0,412}}$$

Dépenses des locomotives en eau et combustible

NATURE DES MACHINES.	CONSOMMATION PAR KILOMÈTRE.		EAU DÉPENSÉE par kilogramme de coke.	
	COKE.	EAC.		
Machines à voyageurs . . .	Nord . . .	7 ^k ,08	55 ^k ,34	7 ^k ,86
	Orléans . . .	5 ,02	46 ,10	9 ,17
Machines à marchandises. . .	Nord . . .	8 ,27	70 ,68	8 ,54
	Orléans . . .	6 ,96	71 ,17	10 ,05

Les machines employées aux terrassements, dépensent, suivant leur force, de 4^k,200 à 7^k,650 de charbon par heure de chauffe et par force de cheval.

Pour les compagnies de chemins de fer, la moyenne des frais de traction s'élève de 0 fr. 80 à 1 fr. 05, comme suit :

Personnel et frais de régie	0 fr 18 à 0 fr. 22
Combustible	0, 32 à 0, 42
Huile, graisse, suif, chiffons, eau, éclairage	0, 05 à 0, 07
Entretien des machines et tenders	0, 25 à 0, 34
	0 fr. 80 à 1 fr. 05

D'après des expériences récentes, une locomobile *Calla* ou *Farcot* dépense :

Houille anglaise de roche brûlée, par force de cheval et par heure . . .	1 ^k 520
Eau totale dépensée par kilogramme de houille	7, 425
— Id. — cheval et par heure de chauffe	9, 805

Le coke employé au chauffage des machines, pour être de bonne qualité, ne doit pas laisser plus de 6 pour cent de résidus; il est de médiocre qualité, s'il laisse 8, et de mauvaise, s'il laisse 10.

Prix des locomotives et des locomobiles

Le coût des locomotives varie de 1 fr. 55 à 2 fr. le kilogramme, compris le tender.

Le coût des locomobiles varie, avec leur forme, de 1 fr. à 1 fr. 20 le kilog.; les prix suivants sont ceux de MM. Hermann-Lachapelle et Glover, constructeurs à Paris, pour locomobiles verticales :

FORCE en CHEVAUX-VAPEUR	PRIX.		PISTON.		VOLANT.		POIDS SANS ROUES.	CONSOMMATION moyenne PAR HEURE et par CHEVAL-VAPEUR.		
	Sans roues.	Avec roues et chariot.	Diamètre.	Course.	Nombre de tours par minute.	Rayon.		kilogr.	Char- bon.	Eau.
Avec régu- lateur . . . 1	1 800	2 150	0,095	0,180	125	0,45	775	de	de	
Id. 2	2 400	2 850	0,115	0,200	145	0,50	1 050	3 à 4	25 à 50	

FORCE en CHEVAUX-VAPEUR	PRIX.		PISTON.		VOLANT.		POIDS SANS ROUES kilogr.	CONSUMMATION MOYENNE PAR HEURE et par CHEVAL-VAPEUR.	
	Sans roues,	Avec roues et chariot.	Diamètre.	Course.	Nombre de tours par minute.	Rayon.		Char- bon.	Eau.
Avec régulateur et détente variable.	3	2 950	3 500	0,150	0,240	105	0,60	1 600	de } 5 à 4 } 25 à 30
	4	3 500	4 150	0,150	0,260	95	0,65	1 960	
	6	4 600	»	0,170	0,300	85	0,80	3 480	
	8	5 800	»	0,190	0,350	75	0,85	4 500	
	10	6 900	»	0,210	0,400	75	0,90	6 000	
	12	8 000	»	0,270	0,400	75	0,85	7 500	
15	9 500	»	0,320	0,450	75	0,90	8 800		

Dépense journalière d'un cheval employé à un manège ou aux terrassements

La consommation d'un cheval employé à un manège est, par vingt-quatre heures, de :

10 kilogrammes foin ;

4 à 5 — id. — son ;

ou : 5 kil. foin, 5 kil. paille et 8 litres d'avoine.

Les chevaux de terrassements dépensent : 3 kil. foin, 1 demi-kil. son, et 20 litres d'avoine.

L'avoine doit peser au moins 42 kil. l'hectolitre.

L'eau doit être donnée aux chevaux à la température de l'atmosphère.

Prix de revient comparatifs pour l'établissement d'un kilomètre de simple voie en rails à double champignon et en rails Vignolles, pesant 37 kilog. le mètre courant

MATÉRIEL.	QUANTITÉS par KILOMÈTRE.		POIDS.		PRIX de L'UNITÉ.		DÉPENSE par KILOMÈTRE.	
	Cham- pignon.	Vi- gnolles	Cham- pignon	Vi- gnolles	Cham- pignon	Vi- gnolles	Cham- pignon.	Vignolles.
Rails	2 000	2 000	74	74	259 »	259 »	17 686 »	17 686 »
Traverses	1 166	1 166	»	»	6,20	6,20	7 229,20	7 229,20
Coussinets	2 532	»	20,522	»	215 »	»	4 412,25	»
Coins	2 532	»	»	»	0,10	»	255,20	»
Chevillettes	4 664	»	1,652	»	411,50	»	671,87	»
Crampons	»	5 353	»	1,600	»	390 »	»	624 »
Eclisses	664	664	3,054	3,091	250,50	250,50	765,05	774,50
Boulons	1 528	1 528	0,568	0,568	440 »	440 »	249,92	249,92
Transport, sabotage et pose, à 5 francs le mètre							3 000 »	3 000 »
Prix de revient par kilomètre.							54 247,15	29 865,42

On aura : 1° Pour voies de 1^m,00 :

$$h = \frac{v^2}{gr} \times 1,51 = \frac{1}{r} \times 29,6921.$$

2° Pour voies de 1 mètre 50 centimètres :

$$h = \frac{1}{r} \times 44,5382.$$

La formule ci-dessus donne pour rayons de	200 ^m dévers	0 ^m ,225
—	300	0,148
—	400	0,111
—	500	0,089
—	600	0,074
—	700	0,065
—	800	0,056
—	1000	0,045
—	1500	0,030

Prix de revient des chaussées de Paris

	LE MÈTRE CARRÉ.	
Chaussées en asphalte	1 ^{er} établissement . . .	15 fr. 00
	Entretien annuel . . .	1,25
Chaussées en pavés de porphyre.	1 ^{er} établissement . . .	18,00 à 22 fr. 00
	Entretien annuel . . .	0,50 à 1,50
Chaussées en macadam	1 ^{er} établissement . . .	7,00
	Entretien annuel . . .	2,50 à 5,00

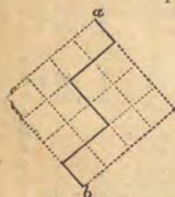
Développement à donner à un tracé de route entre deux points obligés, pour obtenir une pente déterminée

Soit : p pente naturelle du terrain par mètre.
 p' pente du projet.
 d distance entre les deux points.
 x développement à donner à la route.

On aura :
$$x = d \frac{p}{p'}$$

Ainsi soit : $d = 10$ kilomètres, distance entre les deux points a et b
 $p = 0^m,20$.
 $p' = 0^m,05$.

On aura :
$$x = 10 \frac{20}{5} = 40 \text{ kilomètres.}$$



Et si l'on construit un parallélogramme dont a et b occuperont deux sommets et qu'on divise chacun des côtés que l'on a fait = 20 kilomètres en parties égales à la plus petite longueur d'alignement droit que l'on peut se donner, on aura un damier dont les sinuosités prises à volonté suivant les accidents du terrain, détermineront le développement à donner à la route pour une pente de 0^m,05.

Prix d'établissement et dépense d'entretien des routes

(Statistique de 1869)

	Mètre courant,
Le prix d'établissement des routes nationales est de : route pavée . . .	44 fr. 00
— — — — — empierrée . . .	19 00
— — — — — des chemins vicinaux — — — — —	6 86
L'entretien des routes nationales coûte : route pavée	0 50
— — — — — empierrée	0 82
— — — — — des chemins vicinaux — — — — —	0 38

Dimensions principales des routes

INDICATION des ROUTES.	CLASSE.	FOSSÉS.	ACCOTEMENTS.	CHAUSSÉES.	LARGEUR TOTALE non compris les fossés.
		mètres	mètres.	mètres.	mètres.
Routes nationales	1	2,00	6,66	7,66	20,00
— Id. —	2	2,00	5,00	6,00	12,00
— Id. —	3	1,50	2,50	5,00	10,00
Routes départementales	4	1,50	2,00 à 2,50	4,00 à 5,00	8,00 à 10,00
Chemins vicinaux	5	1,00	1,50 à 2,00	5,00 à 5,00	6,00 à 8,00

La profondeur des fossés est ordinairement de 0^m,50.

Bois entrant par mètre courant de cintres et ponts de service provisoires.

CINTRES.		CINTRES.		CINTRES.	
OUVER- TURE.	CUBE par mètre courant de douelle.	OUVER- TURE.	CUBE par mètre courant de douelle.	OUVER- TURE.	CUBE par mètre courant de douelle.
mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
0,60	0,088	7,00	1,050 à 1,600	16,00	4,800 à 6,800
0,80	0,116	8,00	1,152 à 1,800	17,00	5,500 à 7,000
1,00	0,150 à 0,156	9,00	1,250 à 3,000	18,00	6,500 à 8,000
1,50	0,216	10,00	2,120 à 4,000	19,00	7,750 à 10,500
2,00	0,516	11,00	2,600 à 4,500	20,00	9,000 à 13,500
3,00	0,490 à 0,710	12,00	3,200 à 5,000	22,00	10,500 à 14,500
4,00	0,660 à 0,952	15,00	3,550 à 5,500	24,00	12,000 à 14,500
5,00	0,800 à 1,176	14,00	3,900 à 5,500	26,00	14,000 à 16,000
6,00	0,866 à 1,550	15,00	4,200 à 6,000	30,00	20 à 25

Pont provisoire pour passage de locomotives et wagons :

Avec palées de 4 à 7 ^m d'ouverture et 5 ^m de hauteur	{ bois par mètre courant tout compris }	0 ^m 3,570
— 8 à 12 ^m — 6 ^m —	{ bois par mètre courant tout compris }	0,470

Le prix d'une boîte à décintrement en tôle est de 12 francs ; 4 francs pour la tôle, 4 francs pour le piston, 3 fr. 25 c. pour les 2 plates-formes en chêne, et 0 fr. 75 c. pour le sable.

Extraction des roches calcaires au moyen des mines acidées

(Procédé COURBEBASSE)

Ce procédé consiste à creuser dans les roches calcaires à une profondeur déterminée, au moyen de l'acide hydrochlorique, une poche qui doit contenir la poudre destinée à faire sauter les roches ; la capacité de la poche est réglée d'après la masse à extraire.

Ce mode d'extraction, dont l'emploi n'exige qu'un appareil très-simple et peu coûteux, a été appliqué avec le plus grand succès au déroctement des blocs naturels qui ont servi à la construction des ports de la Joliette à Marseille, de la Ciotat et d'Alger.

Avec un trou de mine de 2^m,70 et une charge de 1^m,50, le volume de roche détachée a été de 23 à 30 mètres cubes.

Ce procédé offre une économie d'environ $\frac{1}{4}$ sur la dépense et de $\frac{1}{2}$ sur le temps.

Éléments de la dépense pour extraction de rochers en tunnels

(Annales des Mines)

La dépense se répartit ainsi pour 1000 parties	}	Poudre	127
		Papier.	6
		Huile.	47
		Main-d'œuvre.	761
		Outils.	59

D'après J. Claudel, si on représente par 1,000 la dépense totale de forage d'un souterrain, on aura :

1^o Pour des souterrains encavés dans des terrains pour lesquels le blindage et les revêtements sont nécessaires (*souterrain de Saint-Cloud*) :

Terrassement proprement dit.	0,213
Charpente, blindage et cintres.	0,523
Maçonnerie.	0,360
Épuisement et travaux pour l'écoulement des eaux	0,056
Frais généraux.	0,064
	<u>1,000</u>

2^o Pour des souterrains encavés dans le rocher n'exigeant ni blindages ni revêtements accidentels (*souterrain de Revin*) :

Main-d'œuvre d'excavation.	0,666
Fourniture de poudre.	0,093
Acquisition et réparation d'outils.	0,153
Matériel de roulage (planches, brouettes, etc.)	0,031
Charpente pour blindage et étayement, rigoles, dépenses diverses.	0,033
	<u>1,000</u>

Composition des poudres

MATIÈRES.	CHASSE.	GUERRE.	MINE.	TRAITE.	COTON-POUDRE.						
Salpêtre	} sur 1000 parties	} 780	} 750	} 650	} 620	parties.					
Charbon							120	125	150	180	Acide sulfurique. 2
Soufre							100	125	200	200	Azotate de soude. 1

DYNAMITE. — Mélange mécanique de nitro-glycérine avec de la silice poreuse. Le mélange le plus riche contient en poids 75 $\frac{0}{10}$ de nitro-glycérine et 25 $\frac{0}{10}$ de silice.

Foisonnement et retrait des chaux et ciments

En général 100 kilogrammes de chaux, très-pure et très-vive, donnent 0^m,24 de pâte au maximum, et si la chaux n'est pas très-pure ou trop vieille, ce chiffre descend à 0^m,18 au maximum.

Les chaux grasses communes, éteintes en bouillie épaisse, donnent un volume depuis 1,20 jusqu'à 2 et quelquefois plus pour 1.

Les chaux hydrauliques donnent un foisonnement qui varie de 24 à 90 pour 100.

La chaux éteinte en poudre opère un retrait qui peut varier de 0,62 à 0,80 de pâte pour un mètre cube de poudre.

Un mètre cube de ciment en poudre, à la densité de 0,96, converti en mortier sans mélange de sable, perd 17 pour 100 de son volume et donne seulement 0,83 de mortier.

Tableau donnant le foisonnement de quelques chaux hydrauliques

(D'après J. CLAUDEL)

DÉSIGNATION DE LA CHAUX.	MODE D'EXTINC-TION d'un mètre cube.	VOLUME après LA FUSION.
Chaux hydraulique de Bourgogne	fusion.	1 ^m ,35 de pâte.
— Id. — — id. —	immersion.	1 ^m ,85 de poudre.
Chaux naturelle des buttes Chaumont.	fusion.	1 ^m ,50 de pâte.
— Id. — — id. —	immersion.	1 ^m ,78 de poudre.
Chaux artificielle — id. —	fusion.	1 ^m ,59 de pâte.
— Id. — — id. —	immersion.	1 ^m ,75 de poudre.
Chaux hydraulique d'Issy	fusion.	1 ^m ,62 de pâte.
Id. naturelle des Moulineaux.	id.	1 ^m ,47 de pâte.
Id. moyennement hydraulique de la Hève	id.	1 ^m ,75 de pâte.
Id. — id. — — id. —	immersion.	2 ^m ,00 de poudre.
Id. hydraulique du Theil (Ardèche).	id.	1 ^m ,24 de poudre.

Fabrication du mortier

La résistance des mortiers de chaux grasse exposés à l'air libre va en croissant, quand la proportion de sable augmente de 24 à 50 parties pour 100 de chaux éteinte.

La résistance des mortiers de chaux hydraulique, dans les mêmes circonstances, va en croissant, quand la proportion de sable passe de 0 à 180 parties pour 100 de chaux éteinte.

Les mortiers hydrauliques, c'est-à-dire ceux qui doivent être employés sous l'eau, doivent être composés :

- 1^o De 3 à 5 parties sable pour 2 à 3 parties chaux éminemment hydraulique.
 2^o De 5 parties pouzzolane pour 2 à 3 de chaux moyennement hydraulique.
 3^o — — — — — pour 1,5 à 2 de chaux grasse.

Le mortier foisonne d'environ 6 pour cent.
 Pour éteindre 1000 kilogrammes de chaux blutée, il faut environ 500 litres d'eau.

Sous-détail de la fabrication d'un mètre cube de mortier

9 heures d'ouvrier à 0 fr. 35.	3 fr. 15
0 ^b 25 de chef à 0 fr. 70.	0 ,18
Frais d'outils.	0 ,15
	<hr/>
Prix du mètre cube.	5 fr. 46
	<hr/>

Fabrication avec manège

2 chevaux à 6 francs	12 fr. 00
1 conducteur à 4 francs.	4 ,00
6 manœuvres à 3 fr. 50.	21 ,00
1 heure de chef d'atelier à 0 fr. 70.	0 ,70
Entretien du manège.	1 ,20
	<hr/>
Total.	58 fr. 90

Et pour une fabrication de 24^m,60 par jour, on aura pour le prix de revient d'un mètre cube: $\frac{58.90}{24.60} =$ 1 fr. 60

Si le manège est mu par la vapeur, ce prix baissera d'environ 25 pour cent.

Fabrication avec un tonneau Roger

(D'après J. CLAUDEL)

Prix du mètre cube fabriqué par des hommes	1 fr. 54
— — — — — avec un cheval.	1 ,18
— — — — — deux tonneaux manœuvres par une locomobile	0 ,86

Le coût d'un tonneau est de 500 francs. Le service est fait par 8 hommes qui fabriquent 25 mètres cubes de mortier en 10 heures de travail.

Sous-détail par mètre cube de mortier

1 Avec des hommes : 5 ^b 2 d'ouvrier à 0 fr. 35.	1 fr. 12
0,2 de chef à 0 ,70.	0 ,14
Frais d'outils.	0 ,08
	<hr/>
Prix de revient du mètre cube.	1 fr. 34
	<hr/>

2 ^o Avec un cheval : 1 ^b 40 de cheval et de conducteur à 1 fr.	0 fr. 40
1,60 de manœuvre à 0 fr. 35.	0 ,56
0,20 de chef d'atelier à 0 fr. 70.	0 ,14
Frais d'outils.	0 ,08
	<hr/>
Prix de revient du mètre cube.	1 fr. 18
	<hr/>

Avec locomobile manœuvrant deux tonneaux (M. Gariel, entrepreneur) :

Etablissement :	{	Locomobile de la force de 4 chevaux.	4800 fr
		Transmission complète et montage.	1000
		Charpente et ferrement.	150
		Les deux tonneaux	1000
Total.			<u>6950 fr.</u>

Dépense journalière :	{	100 kilogrammes de houille.	4 fr. 50
		Chauffeur	4 ,00
		Huiles, étoupes, chiffons, etc.	1 ,50
		Intérêt, entretien et amortissement.	10 ,00
		2 hommes pour mesurer et approcher le sable ; 2 hommes pour sortir la chaux des bassins et l'approcher ; 2 hommes pour mélanger les matières et charger les broyeurs. En tout 6 hommes à 5 fr. 50 par jour.	21 ,00
		Outils et faux frais.	2 ,00
Dépense.			<u>45 fr. 00</u>

Prix de revient de la fabrication du mètre cube de mortier en supposant que l'on ne fabrique que 50 mètres cubes dans 10 heures de

travail : $\frac{45}{50} = \dots\dots\dots$ 0 fr. 86

4° Avec l'appareil de M. Greyveldinger (vitesse 160 tours par minute) :

Un chauffeur pour 10 heures de travail.	4 fr. 00	}	8 fr. 75
Graisse et chiffons.	0 ,75		
Charbon 80 kilogrammes, allumage compris, à raison de 3 fr. les 100 kil.	4 ,00	}	42 ,25
4 ouvriers pour mesurage et approche, à 5 ^{fr} 50	14 ,00		
4 — le mélange, à 3 ^{fr} 50	14 ,00	}	2 ,40
2 chargeurs dans l'entonnoir, à 3 ^{fr} 50	7 ,00		
1 porteur d'eau, à 5 ^{fr} 25.	5 ,25	}	2 ,40
1 conducteur réglant la manipulation	4 ,00		
Pour amortissement et entretien			
Total.			<u>55 fr. 40</u>

La fabrication journalière étant de 42 mètres cubes, desquels il faut déduire $\frac{1}{10}$ pour arrêts imprévus, le prix de revient du mètre

cube sera de : $\frac{55,40}{37,80} = \dots\dots\dots$ 1 fr. 41

Les résultats suivants ont été obtenus à Paris avec un tonneau du prix de 500 francs :

6 manœuvres, à 4 fr. 00	24 fr. 00	
1 cheval, à 8 fr. 00.	8 ,00	
Frais divers et entretien	2 ,00	
Dépense.		<u>34 fr. 00</u>

L'activité étant de 27 mètres cubes, le prix de revient du mètre

cube sera : $\frac{34}{27} = \dots\dots\dots$ 1 fr. 25

**Tableau de la composition d'un mètre cube de quelques mortiers
ayant donné de bons résultats**

(D'après J. CLAUDEL)

CHAUX.	VOLUME				OBSERVATIONS.
	de CHAUX.	de SABLE.	DE CIMENT de tuileaux.	de POZZOLANE.	
	Éteinte par fusion.	De riviers.			
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	
Grasse (non hydraulique)	0,570	0,950	»	»	Murs de clôture, fondations de bâtiments.
—Id.— (un peu hydraul.)	0,540	»	0,820	»	
—Id.— — id. —	0,250	0,940	»	0,200	Pavage des cours.
Hydraulique (très-éner- gique)	0,560	1,000	»	0,040	Réservoirs, etc.
Hydraulique (énergie ordi- naire).	0,555	1,020	»	»	Travaux dans l'eau.
Hydraulique (très-éner- gique)	0,400	1,000	»	»	
Hydraulique (énergie ordi- naire).	0,570	0,950	»	»	Eaux et égouts de la ville de Paris.
—Id.— — id. —	0,380	1,020	»	»	
	De plaine				Service de la navigation et ponts de Paris.
	Par im- mersion.				
Hydraul. (énergie ord.)	0,440	1,000	»	»	Maçonneries du fort de Cha- renton.
—Id.— (très-maigre)	0,100	1,000	»	»	
	Par fusion.			De Besson	Enduit, id. Réservoirs.
Peu hydraulique (mortier énergique)	0,450	0,450	»	0,450	
	Par im- mersion				Maçonnerie du pont-canal de l'Orb.
Peu hydraulique (mortier très-énergique).	0,480	1,000	»	»	
	En pâte.				(Chaux du Theil). Travaux maritimes des ports de Marseille, La Ciotat, Toulon, Cette, Alger, etc.
Mortier de chaux hy- draulique énergique	0,550	1,000	»	»	
Chaux hydraulique (mor- tier très-énergique).	0,650	1,000	»	»	Proportion indiquée par M. Vicat pour les bons mortiers hydrauliques pour maçonneries hors de l'eau.
					Idem destinés à être im- mergés sous une eau profonde.

Fabrication des bétons (d'après J. CLAUDEL)*Sous-détail du prix de fabrication d'un mètre cube de béton.*

1 ^o Avec griffes	{	7 h. 50 d'ouvrier à 0 fr. 35	2 fr. 55
		0 h. 25 de chef, à 0 fr. 70	0 ,48
		Frais d'outils	0 ,43
Prix de revient du mètre cube. . .			<u>2 fr. 86</u>

2 ^o Avec une bétonnière en bois (activité: 50 mè- tres par jour)	{	4 h. 06 d'ouvrier, à 0 fr. 35	1 fr. 42
		0 h. 17 de chef, à 0 fr. 70	0 ,42
		Frais d'outils	0 ,05
Prix de revient du mètre cube. . .			<u>1 fr. 57</u>

Prix de revient comparatifs de la fabrication d'un mètre cube de béton.

Avec griffes à dents	2 fr. 86
Avec machine à coffres	2 ,65
Avec bétonnière en bois	1 ,57
Avec couloir cylindrique en tôle	1 ,40

Tableau des proportions de mortier et de cailloux mêlés, de diverses grosseurs inférieures à 0^m,05 par mètre cube, de quelques bétons

DÉSIGNATION.	MORTIER.		OBSERVATIONS.
	MORTIER.	CAILLOUX.	
	m. c.	m. c.	
Béton gras	0,55	0,77	} Pour radiers, réservoirs, etc., soumis à une pression d'eau considérable.
— ordinaire	0,52	0,78	
— ordinaire	0,48	0,84	} Maçonnerie des eaux et égouts de Paris
— un peu maigre	0,45	0,90	
— maigre	0,58	1,00	} Travaux de navigation dans Paris, fondations de ponts, murs de quais, etc.
— très-maigre	0,20	1,00	
— ordinaire	0,50	1,00	} Pour fondations d'édifices sur terrains humides et mouvants.
— moyennem ^t gras	0,56	0,90	
— très-gras	0,57	0,85	} Massifs, fondations, etc., sur terrains secs et mouvants.
			Idem.
			} Pour blocs artificiels faits avec mortier de chaux du Theil. Ports de Marseille, La Ciotat, Toulon, Cette, Alger, etc.
			} Jeté dans des enceintes asséchées. Immergé frais à la mer.

Composition du béton pour les travaux à la mer

Les proportions observées pour la fabrication du béton dans les travaux à la mer sont :

Mortier 5/5 à 5/8 sable pour 2/5 à 5/8 chaux hydraulique ;
Béton 5 à 9 parties galets pour 5 parties mortier.

Le béton foisonne d'environ 5 1/2 pour cent.

Les expériences faites à Marseille par M. COGNARD, Conducteur des Ponts et Chaussées, sous les ordres de M. l'Ingénieur en Chef PASCAL, ont donné les résultats suivants pour les chaux et ciments dont les mortiers ont été immergés à la mer :

DÉSIGNATION des CHAUX ET CIMENTS.	COMPOSITION DES MORTIERS.		POIDS SUPPORTÉ par centimètre carré au bout de	AGE de l'expérience ou la décomposition.	AGE de l'expérience en 1869.	RÉSULTAT de L'EXPÉRIENCE.
	Chaux ou ciment.	Sable, Pouzzolane.				
Chaux du Theil blutée (Lafarge). . . (1)	Gâchée pure	»	14 kil.	4 ans.	»	Décomposition complète. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id. Id.
Id.	Id.	»	42,380	Id.	»	
Id.	530 kil.	1 mc. 00 »	8,501	Id.	»	
Id.	350	1 » 00 »	11,536	Id.	»	
Id.	0m. 40	0 » 65 »	5,843	5 mois.	16 ans.	
Id.	0 » 40	0 » 65 »	5,942	6 mois.	»	
Id.	0 » 40	0 » 65 »	6,198	2 ans.	»	
Id.	0 » 40	0 » 65 »	4,558	3 mois.	17 ans.	
Id.	0 » 40	0 » 65 »	9,823	6 mois.	»	
Id.	0 » 40	0 » 65 »	8,358	2 ans.	»	
Id.	3	3	8,660	22 mois.	16 ans.	
Id.	3	3	11,525	6 mois.	15 ans.	
Id.	3	3	4,154	3 mois.	6 ans.	
Id.	3	3	5,144	6 mois.	2 ans.	
Id.	3	3	7,621	2 ans.	6 ans.	
Id.	3	3	6,503	22 mois.	6 ans.	
Béton avec chaux du Theil, sept ans de fabrication.	»	»	»	3 ans.	»	Bons résultats.
Chaux du Theil (Couturier). . . (1)	Gâchée pure	»	4,835	3 ans.	»	Id.
Id.	Id.	»	8,544	Id.	Id.	Id.
Id.	3	3	5,632	Id.	Id.	Id.
Id.	5	5	10,444	Id.	Id.	Id.
Id.	5	5	8,440	Id.	Id.	Id.
Id.	280 kil.	1 m. 00 »	10,060	Id.	Id.	Id.
Id.	280	1 » 00 »	»	»	»	»

Chaux de Roquefort.	5	»	6,080	20 mois.	2 ans.	6 ans.	Décomposition avancée.
Id. de la Valentine.	0,65	»	5,110	6 mois.	1 an.	4 ans.	Id.
Grasse. (2)	»	»	»	»	6 mois.	1 an.	Id.
Ciment de Vassy. (5)	1	2	7,790	5 mois.	5 à 7 ans	»	Id.
Id.	1	»	8,515	6 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	9,470	5 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	10,376	6 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	9,514	5 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	8,918	6 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	6,686	5 mois.	Id.	»	»
Id.	1	»	6,840	5 mois.	Id.	»	»
Ciment de Sorres-Bourges.	Pur.	»	5,910	3 mois.	»	17 ans.	Bons résultats.
Id.	Pur.	»	5,160	6 mois.	»	Id.	Id.
Id.	1	»	7,654	5 mois.	»	Id.	Id.
Id.	1	»	7,552	6 mois.	»	Id.	Id.
Id.	1	»	4,000	5 mois.	»	Id.	Id.
Id.	1	»	5,425	5 mois.	»	Id.	Id.
Ciment de la Porte-de-France. . . (5)	Pur.	»	4,025	5 mois.	5 à 7 ans	»	Décomposition de 5 à 7 ans.
Id.	Pur.	»	15,759	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	15,028	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	19,201	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	11,189	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	17,250	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	9,448	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	15,327	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	9,702	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,845	5 mois.	Id.	»	Id.
Ciment de Ponilly. (5)	Pur.	»	5,888	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	4,404	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	0,790	5 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	0,620	5 mois.	Id.	»	Id.

(1) La chaux du Theil (ours Lafarge et Couturier) a toujours donné de bons résultats employée à la mer même avec du sable de médiocre qualité, tandis que, lorsqu'elle est mélangée avec de la pouzzolane, elle entre en décomposition au bout de 2 à 5 ans.

(2) La pouzzolane et la chaux grasse immergées à la mer ont toujours donné de très-mauvais résultats; à l'eau douce les mêmes opérations sont généralement bonnes.

(5) Les ciments de Vassy, Porte-de-France et Ponilly ont toujours donné des traces de décomposition au bout de 5 à 7 ans d'immersion, et ceux de la Valentine, Médine et Vicat au bout de 6 à 8 ans; à l'eau douce, le résultat a toujours été bon.

DÉSIGNATION des CHAUX ET CEMENTS.	COMPOSITION DES MORTIERS		POIDS SUPPORTÉ par centimètre carré au bout de	AGE de l'expérience où commence la décomposition	AGE de l'expérience en 1869.	RÉSULTAT de l'EXPÉRIENCE.
	Chaux ou ciment.	Sable, Pouzzo lme.				
Ciment de la Valentine.	Pur.	»	5 mois.	6 à 9 ans.	»	Décomposition au bout de 6 à 9 ans.
Id.	Pur.	»	6 mois.	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,265	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,022	Id.	»	Id.
Id.	1	»	9,814	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,288	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,701	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,438	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,669	Id.	»	Id.
Ciment de Portland	Pur.	»	5,975	3 ans.	»	Décomposition au bout de 3 à 6 ans.
Id.	1	»	9,985	Id.	»	Id.
Id.	1	»	6,776	Id.	»	Id.
Ciment de la Méditerranée.	470 kil	1m, 0'	1,076	3 jours.	»	Décomposition au bout de 5 jours.
Id.	470 kil.	1m, 00	0,965	Id.	»	Id.
Ciment de Roquefort.	Pur.	»	12,722	2 ans.	»	Décomposition au bout de 2 ans.
Id.	1	»	20,510	Id.	»	Id.
Ciment de Médina	Pur.	1	6,328	6 à 8 ans	»	Décomposition de 6 à 8 ans.
Id.	3	»	8,738	Id.	»	Id.
Ciment Vicat.	Pur.	2	5,910	20 mois.	»	Id.
Id.	3	»	8,700	Id.	»	Id.
Morceau de ciment de Vassy, 3 ans de fabrication	1	1	résultat de 10 expé- riences différentes. 1 à 2 ans		»	Décomposition de 1 à 2 ans.

A l'eau douce, le résultat a toujours été bon.

(1) Les ciments Médina et Vicat ont toujours donné des traces de décomposition au bout de 6 à 8 ans.

Prix de revient des bétons, dragages et pavages exécutés dans le port Napoléon, à Marseille

Nous empruntons à M. Sébillotte, Conducteur des Ponts et Chaussées à Marseille, le travail suivant sur les prix de revient des travaux exécutés dans le port Napoléon :

COMPOSITION DU CHANTIER ET PRIX DE REVIENT DE LA FABRICATION, DU SOULÈVEMENT ET DE L'IMMERSION DES BLOCS ARTIFICIELS

	QUANTITÉS	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
1^o FABRICATION.			
<i>Service des galets.</i>			
Manceuvres au déchargement des chalands.	12	fr. c.	fr. c.
Nota. Ces 12 hommes sont employés à prix fait et reçoivent 0 fr. 40 c. par mètre cube; ils débarquent 150 mètres cubes par jour, c'est donc une dépense de 150 × 0 fr. 40 c. = 4			
Manceuvres conduisant les wagons du lieu de déchargement au lieu d'emploi.	12	»	60 »
<i>Service du sable.</i>			
Manceuvres chargeant et conduisant les wagons au lieu d'emploi.	8	5,25	26 »
Nota. La distance des transports du sable et des galets est de 60 mètres.			
<i>Service de la chaux.</i>			
Transport de la gare du chemin de fer au magasin du chantier à 1 fr. 75 c. la tonne. La consommation journalière étant de 50 600 kilogrammes, donne une dépense de 50.6 × 1.75 =	»	»	33,55
Manceuvres chargeant et conduisant les wagons du magasin à l'emploi.	3	5,25	9,75
<i>Service des trois manèges.</i>			
Manceuvres aux manèges.	7	3,50	24,50
Manceuvres pour le service des wagons sur le plancher des manèges	7	3,50	24,50
Manceuvres à la montée des wagons pleins sur le plancher et à la descente des wagons vides sur le sol.	5	3,25	16,25
<i>Service des cylindres à béton.</i>			
Manceuvres pour le service des cylindres sur le plancher	2	3,50	7 »
Manceuvres conduisant les cylindres du plancher aux caisses moules (3 cylindres en course sur une distance moyenne de 50 ^m ,00)	9	3,75	33,75
Dameurs dans les caisses-moules (3 blocs en chantier).	9	3,75	33,75
Manceuvres employés au montage et au démontage des caisses moules.	8	3,50	28 »
A reporter.			356,05

DÉSIGNATION des CHAUX ET CIMENTS.	COMPOSITION DES MORTIERS		POIDS SUPPORTÉ par centimètre carré au bout de	AGE de l'expérience ou commence la décomposition	AGE de l'expérience en 1869.	RÉSULTAT de l'EXPÉRIENCE.
	Chaux ou ciment.	Sable. Pouzzo l'm.				
Ciment de la Valentine.	Pur.	»	6,683	6 à 9 ans	»	Décomposition au bout de 6 à 9 ans.
Id.	Pur.	»	8,245	Id.	»	Id.
Id.	4	»	8,022	Id.	»	Id.
Id.	1	»	9,814	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,288	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,701	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,438	Id.	»	Id.
Id.	1	»	8,689	Id.	»	Id.
Ciment de Portland	Pur.	»	5,975	17 mois.	»	Décomposition au bout de 5 à 6 ans.
Id.	1	»	9,985	Id.	»	Id.
Id.	1	»	6,776	Id.	»	Id.
Ciment de la Méditerranée.	470 kil	1 ^m , 02	1,076	3 jours.	»	Décomposition au bout de 5 jours.
Id.	470 kil.	1 ^m , 00	0,995	Id.	»	Id.
Ciment de Roquefort.	Pur.	»	12,722	20 mois.	»	Décomposition au bout de 2 ans.
Id.	1	»	20,510	Id.	»	Id.
Ciment de Médina (1)	Pur.	»	6,528	18 mois.	»	Décomposition de 6 à 8 ans.
Id.	5	»	8,758	8 mois.	»	Id.
Ciment Vicat. (1)	Pur.	»	5,910	30 mois.	»	Id.
Id.	5	»	8,700	Id.	»	Id.
Morceau de ciment de Vassy, 5 ans de fabrication	1	1	résultat de 10 expé- riences différentes.		»	Décomposition de 1 à 2 ans.

(1) Les ciments Médina et Vicat ont toujours donné des traces de décomposition au bout de 6 à 8 ans. A l'eau douce, le résultat a toujours été bon.

**Prix de revient des bétons, dragages et pavages exécutés
dans le port Napoléon, à Marseille**

Nous empruntons à M. Sébillotte, Conducteur des Ponts et Chaussées à Marseille, le travail suivant sur les prix de revient des travaux exécutés dans le port Napoléon :

COMPOSITION DU CHANTIER ET PRIX DE REVIENT DE LA FABRICATION, DU
SOULÈVEMENT ET DE L'IMMERSION DES BLOCS ARTIFICIELS

	QUANTITÉS	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
1° FABRICATION.			
<i>Service des galets.</i>			
		fr. c.	fr. c.
Manœuvres au déchargement des chalands.	12	»	»
<i>Nota.</i> Ces 12 hommes sont employés à prix fait et reçoivent 0 fr. 40 c. par mètre cube ; ils débarquent 150 mètres cubes par jour, c'est donc une			
	»	»	60 »
Manœuvres conduisant les wagons du lieu de déchargement au lieu d'emploi	12	5,25	59 »
<i>Service du sable.</i>			
Manœuvres chargeant et conduisant les wagons au lieu d'emploi.	8	5,25	26 »
<i>Nota.</i> La distance des transports du sable et des galets est de 60 mètres.			
<i>Service de la chaux.</i>			
Transport de la gare du chemin de fer au magasin du chantier à 1 fr. 75 c. la tonne. La consommation journalière étant de 30 600 kilogrammes, donne une			
dépense de $30.6 \times 1.75 =$	»	»	53,55
Manœuvres chargeant et conduisant les wagons du magasin à l'emploi	5	3,25	9,75
<i>Service des trois manèges.</i>			
Manœuvres aux manèges.	7	3,50	24,50
Manœuvres pour le service des wagons sur le plancher des manèges	7	3,50	24,50
Manœuvres à la montée des wagons pleins sur le plancher et à la descente des wagons vides sur le sol.	5	3,25	16,25
<i>Service des cylindres à béton.</i>			
Manœuvres pour le service des cylindres sur le plancher	2	3,50	7 »
Manœuvres conduisant les cylindres du plancher aux caisses moules (3 cylindres en course sur une distance moyenne de 30 ^m ,00)	9	3,75	33,75
Dameurs dans les caisses-moules (3 blocs en chantier).	9	3,75	33,75
Manœuvres employés au montage et au démontage des caisses moules.	8	5,50	28 »
<i>A reporter.</i>			556,05

	QUANTITÉS	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
		fr. c.	fr. c.
<i>Report.</i>			556,05
<i>Service des Machines.</i>			
<i>1^o Machine des manèges (16 chevaux) :</i>			
1 chauffeur	1	4 »	4, »
1 mécanicien au cylindre élévateur	1	4 »	4, »
1000 kilogr. de charbon par jour, à 28 fr. la tonne	1	28 »	28, »
<i>2^o Machine à décharger les galets (6 chevaux) :</i>			
2 mécaniciens	2	4 »	8 »
550 kilogr. de charbon, à 28 fr. la tonne	0.55	28 »	15,40
			415,45
<i>2^o SOULÈVEMENT DES BLOCS ET POSE SUR LES CHALANDS DE TRANSPORT.</i>			
Manœuvres à la pose des chemins de fer mobiles	6	3 50	21 »
Manœuvres à passer les chaînes sous les blocs et à embraguer	5	3 50	10,50
Service du chemin de fer inférieur	5	3 50	10,50
<i>Machine pour le soulèvement des blocs et leur traction sur le chemin de fer inférieur (6 chevaux).</i>			
Mécaniciens	2.	4 »	8 »
500 kilogr. de charbon, à 28 francs la tonne	0.5	28 »	14 »
<i>Machine servant à la traction des blocs sur le chemin de fer inférieur et à la manœuvre du treuil destiné à les placer sur le chaland de transport (6 chevaux).</i>			
Mécaniciens	2.	4 50	8,60
550 kilogr. de charbon, à 28 francs la tonne	0.55	28 »	15,40
			88 »
<i>3^o TRANSPORT DU CHANTIER DE FABRICATION A LA GRANDE JETÉE ET IMMERSION.</i>			
Un remorqueur dépensant moyennement par jour	»	»	200 »
Manœuvres et marins à bord du chaland de transport	4	4 »	16 »
<i>Grue à vapeur pour l'immersion des blocs formant la partie supérieure des jetées (6 chevaux).</i>			
Manœuvres	4	4 »	16 »
Mécanicien	1	4 »	4 »
550 kilogr. de charbon à 28 francs la tonne	0.55	28 »	15,40
			251,40

	QUANTITÉS	PRIX de l'unité.	DÉPENSES.
		fr. c.	fr. c.
4° ENTRETIEN DU MATÉRIEL.			
Forgerons	2	4 »	8 »
Ajusteurs	4	3,50	14 »
Charpentiers	3	4 »	12 »
5° FRAIS GÉNÉRAUX.			
1 contre-maître dirigeant tout le chantier	1	10 »	10 »
3 commis et surveillants	3	4 »	12 »
1 gardien de nuit et 1 concierge	2	2,75	5,50
Huile, graisse et chiffons pour 5 machines	»	»	30 »
Charbon de forge, fers et aciers	»	»	10 »
			121,50
RÉCAPITULATION DES DÉPENSES.			
			fr. c.
1° Fabrication	415,43		} 876,53
2° Soulèvement	88 »		
3° Transport et immersion	251,40		
4° et 5° Entretien du matériel et Frais généraux	121,50		
L'activité correspond à une fabrication journalière de 150 mètres cubes et à une immersion journalière de 190 mètres cubes.			
Prix de revient	{	de la fabrication $\frac{415,43}{150} =$	2,76
		du soulèvement $\frac{88}{190} =$	0,46
		du transport et de l'immersion $\frac{251,40}{190} =$	1,32
Prix de revient moyen en prenant le chiffre de la fabrication pour base $\frac{876,53}{150} =$ 5,84			
L'installation du chantier a occasionné une dépense de 250.000 fr. En ne faisant entrer dans le prix de revient que les intérêts de ce capital, et en supposant 280 jours de travail par an à 150 mètres cubes par jour, on trouve une augmentation de $\frac{12500}{280 \times 150} =$			
			0,50
Ce qui porte le prix de revient définitif à $5,84 + 0,50 =$ 6,14			

Il est alloué à l'entrepreneur :		fr. c.
Pour la fabrication.		3 »
Pour le levage et l'immersion		3 »
		6 »
Frais généraux, 1/20		0,50
		6,50
1/10 de bénéfice		0,65
		6,95
A déduire le rabais de 2 p. 100.		0,14
		6,79
En déduisant le prix de revient trouvé ci-dessus.		6,14
		0,65
DRAGAGES DANS LES PORTS AVEC PONTON ET REMORQUEUR A VAPEUR .		
<i>Prix de revient du mètre cube.</i>		
Extraction		0,50
Service des barques et entretien.		0,15
Remorquage et entretien du matériel.		0,17
Renouvellement et réparations importantes du matériel.		0,15
		0,75
Faux frais et bénéfices de l'entrepreneur, 20 p. 100.		0,15
		0,90
		Prix du mètre cube

Composition d'un atelier de six paveurs employant des pavés de 0^m,19 d'équarrissage et travaillant 10 heures par jour

Les expériences suivantes ont été faites au pavage du quai Napoléon, à Marseille.

Les paveurs y sont employés en même temps à la journée et à leurs pièces. La journée leur est comptée pour 14 mètres carrés, et ils sont payés 5 fr. 75 c. à 4 fr. 80. Le pavage qu'ils font en sus leur est payé 0 fr. 55 c. par mètre carré. Le chiffre de 19 mètres carrés a été atteint, mais il ne convient pas de le prendre pour règle, car on n'arrive à ce résultat qu'en employant des ouvriers de choix et en travaillant par de beaux temps.

Le service des paveurs exige un homme par paveur pour l'approche des pavés; trois hommes pour six paveurs pour le régalinge de la forme et l'approche du sable. Un dameur suffit pour un atelier de six paveurs.

Les manœuvres sont payés de 2 fr. 45 c. à 2 fr. 75 c. par jour, soit 2 fr. 60 c. Les outils des paveurs sont fournis et entretenus par l'entrepreneur.

Les smilleurs font en moyenne soixante pavés par jour, les joints étant descendus à 0^m,10 environ. Ces ouvriers, travaillant exclusivement à leurs pièces, fournissent leurs outils.

La façon du smillage a été payée 8 francs le 100 au commencement de l'en-

treprise; plus tard les ouvriers l'ont fait élever à 8 fr. 50 c., en raison des exigences de l'administration.

Il entre trente pavés par mètre carré. Un paveur en emploi, travaillant à la journée, $50 \times 14 = 420$, et travaillant à ses pièces, $50 \times 18 = 540$.

D'où un atelier de six paveurs emploie par jour, soit 2 640, soit 5 240 pavés. Il faut donc, dans le premier cas, quarante-quatre smilleurs, dans le deuxième, cinquante-quatre smilleurs, pour le service d'un atelier de six paveurs.

Prix de revient d'un mètre carré de pavage, compris régélagé de la forme, préparation, approche et emploi des matériaux, damage, faux frais et bénéfices

1 ^o DANS LE CAS OU LES OUVRIERS TRAVAILLENT A LA JOURNÉE.		fr. c.
Pour 14 mètres carrés de pavage effectué, une journée de paveur		4,27
Une journée de manœuvre pour l'approche des pavés.		2,60
0,50 journée de manœuvre pour régélagé de la forme et emploi du sable.		1,50
0,166 journée de manœuvre pour le damage, à 2 fr. 60 c.		0,45
Smillage de 420 pavés à 8 fr. 50 c. le 100		55,70
Total pour une surface de 14 mètres		44 fr. 50
Soit pour 1 mètre $\frac{44,50}{14} =$ (main-d'œuvre seulement).		3,16
Faux frais, 1/20.		0,16
Total.		3,32
Bénéfice, 1/10.		0,55
Prix de revient du mètre carré pour façon		5 fr. 65
2 ^o DANS LE CAS OU LES OUVRIERS TRAVAILLENT A LEURS PIÈCES.		
Pour 18 mètres carrés de pavage effectué, une journée de paveur		4,27
Augmentation de dépense correspondant à l'augmentation de travail, $4 \times 0,35 =$		1,40
Service de l'atelier comme dessus		4,55
Smillage de 540 pavés à 8 fr. 50 c. le 100		45,90
Total pour une surface de 18 mètres		55 fr. 90
Soit pour 1 mètre $\frac{55,90}{18} =$		3,10
Faux frais, 1/20.		0,16
Bénéfice, 1/10.		0,52
Prix de revient du mètre carré pour façon		3 fr. 88

Nota. — Dans les analyses ci-dessus, on n'a pas fait entrer la dépense des outils des paveurs, car ces outils, qui consistent dans l'usage exclusif d'un marteau à paver, sont d'une valeur d'achat insignifiante comparativement à leur durée, et d'un entretien nul.

Résultats obtenus par M. Laroque dans le dragage des sables et graviers destinés au ballastage de la ligne du Midi

	mèt. c.
Cube dragué en dix heures de travail par la drague mue par un manège à deux chevaux, la profondeur d'eau étant de 3 à 4 mètres	80
DÉPENSE BRUTE.	
	fr. c.
1 patron-chef	5 »
1 aide	3 »
5 manœuvres à 2 fr. 50 c.	7,50
1 forgeron	4,25
5 chevaux	15 »
1 conducteur	2,25
Temps du patron et de son aide pendant les journées de travail	6,40
Intérêt du prix d'acquisition de la drague estimée 12 000 francs et travaillant moyennement 200 jours par an	5 »
Entretien, valeur des fers, bois, etc.	5,50
Total pour 80 mètres cubes	51 fr. 90
Prix de revient du mètre cube $\frac{51,90}{80} =$	0,65

Composition et analyse des prix pour divers travaux

(Lignes d'ORLÉANS et du MIDI)

JOURNÉE DE 10 HEURES.	MIDI.	ORLÉANS.
	fr. c.	fr. c.
Petit manœuvre ou femme	1,50	1,25
Manœuvre	2,50	2 »
Terrassier d'élite, piocheur, chargeur, dragueur	5,50	2,25
Terrassier ordinaire	5 »	2 »
Carrier ou mineur	4 »	3 »
Compagnon carrier	2,50	2,50
Appareilleur	6,50	5 »
Poseur	5 »	3 »
Maçon	4 »	2,50
Tailleur de pierres	4,50	3 »
Maître charpentier ou menuisier muni de ses outils	5 »	4 »
Charpentier ou menuisier ordinaire	4 »	3 »
Maître paveur	4 »	3 »
Paveur ordinaire	5,50	5 »
Maître serrurier	5 »	4 »

NOTA. — Il y a lieu d'ajouter aux éléments ci-dessous 15 0/0 pour les faux frais et bénéfices de l'entrepreneur.

		fr. c.
Chaux hydraulique blutée.	La tonne éteinte blutée en gare	»
	Déchargement, rechargement, emmagasinage au lieu d'emploi	1,20
	Transport à une distance de	»
Chaux hydraulique en pâte provenant de chaux en poudre.	Le retrait de la chaux en poudre étant de 25 pour 100, il faut 1 ^m ,25 de chaux en poudre pour 1 mètre cube de chaux en pâte.	»
	1 ^m ,25 de chaux en poudre à	2,50
Chaux éteinte en pâte provenant de chaux en pierres	Extinction et main-d'œuvre	»
	Le foisonnement de la chaux étant de 20 à 60 pour 100, on emploiera 0 ^m ,625 à 0 ^m ,833 de chaux vive pour obtenir 1 mètre cube de chaux éteinte.	»
	Extinction et main-d'œuvre pour 1 mètre cube	2,50
Ciment.	La tonne rendue en gare à	»
	Chargement et déchargement	0,50
	Transport à	»
	Frais de magasinage	0,15
	Bardage, dosage, mélange de 1 mètre cube.	0,85
Mortier fin avec chaux vive en pâte	0 ^m ,55 à 0 ^m ,50 chaux en pâte à	»
	0,85 à 1,00 sable à	2 »
	Tamissage du sable et façon de 1 mètre cube	à 2,50
Mortier ordinaire avec chaux en pâte	0 ^m ,40 à 0 ^m ,45 chaux en pâte à	»
	0,85 à 1,00 sable à	»
	Main-d'œuvre pour 1 mètre cube	2 »
Mortier avec chaux en poudre	300 à 400 kilogrammes chaux en poudre à	»
	0 ^m ,95 à 1 ^m ,00 sable à	»
	Façon de 1 mètre cube	2 »
Mortier avec ciment et chaux	0 ^m ,45 chaux en pâte à	»
	0,90 sable à	»
	60 kilogrammes ciment à	»
	Façon de 1 mètre cube par petites parties.	5,20
Mortier de ciment	550 à 850 kilogrammes ciment à	»
	0 ^m ,70 à 1 ^m ,00 sable à	»
	Façon de 1 mètre cube	3,50
Béton posé à sec.	0 ^m ,25 chaux } 0 ^m ,50 mortier ordinaire à	»
	0 ^m ,50 sable }	»
	0,75 à 0,90 cailloux à	2,45
	Fabrication et emploi de 1 mètre cube	à 3,50
Béton coulé sous l'eau	0 ^m ,27 chaux à	»
	0,34 sable ou 0,55 pouzzolane (688 kil.) à	»
	0,81 à 0,90 cailloux à	»
	Fabrication et coulage de 1 mètre cube	4,70

		fr. c.
Béton avec ciment . . .	0 ^m ,27 chaux à	»
	0,30 sable à	»
	50 kilogrammes ciment à	»
	0,75 cailloux à	»
	Façon et emploi de 1 mètre cube.	4,00
Béton maigre posé à sec.	0 ^m ,20 mortier à	»
	1,00 cailloux à	2 »
	Façon et emploi de 1 mètre cube.	2,45
Béton de sable posé à sec	0 ^m ,20 chaux en pâte à	»
	1,00 sable à	»
	Façon et emploi de 1 mètre cube.	2,20
Maçonnerie de galets. . .	1 ^m ,00 galets à	»
	0,40 à 0,42 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	3 »
Maçonnerie de moellons bruts.	1 ^m ,10 moellons à	»
	0 ^m ,50 à 0 ^m ,40 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	2,25 à 5 »
Maçonnerie de meulière.	1 ^m ,10 meulière à	»
	0,55 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	2,55 à 5 »
Maçonnerie de moellons méplats	1 ^m ,10 moellons à	»
	0,52 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	5,50
Maçonnerie de libages .	1 ^m ,00 libages à	»
	0 ^m ,15 à 0 ^m ,25 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	4 » à 6 »
Maçonnerie de moellons équarris ou tétués . .	1 ^m ,00 à 1 ^m ,10 moellons à	»
	0,20 à 0,40 mortier ordinaire à	»
	Façon de 1 mètre cube.	5 » à 4 »
Maçonnerie de moellons d'appareil piqués, ci- selés ou smillés . . .	1 ^m ,00 à 1 ^m ,10 moellons à	»
	0,10 à 0,16 mortier fin à	»
	Façon de 1 mètre cube.	6 »
Maçonnerie de pierre de taille.	1 ^m ,10 à 1 ^m ,15 pierre de taille à	»
	0,07 à 0,10 mortier fin à	»
	Façon de 1 mètre cube.	8,50 à 9,25

		fr. c.	
Maçonnerie de briques	500 à 650 briques à	»	
	0,22 à 0,30 mortier fin à	»	
	Façon de 1 mètre cube	4 » 6 »	
Maçonnerie de dalles	1 mètre carré de dalles à	»	
	0,06 à 0,10 mortier fin à	»	
	Bardage, pose et fichage	5 » 7 »	
Perrés en galets ou moelons bruts	0,15 à 0,25 galets	»	
	Façon de 1 mètre carré	0,40 à 0,80	
Pavage maçonné en galets	0 ^m 15 à 0 ^m 18 galets à	»	
	0,10 à 0,11 mortier ordinaire à	»	
	0,15 sable à	»	
	Façon de 1 mètre carré	0,80 à 1,20	
Pavage en pavés cubiques	Façon et règlement de la forme de 1 mètre carré	0,10	
	Dernier épincage et pose	0,50	
	Battage et règlement	0,10	
Chapes en bitume	20 kilogrammes asphalte à	»	
	1 kilogramme bitume libre à	»	
	0,005 gros sable à	»	
	Chauffage et emploi de 1 mètre carré	0,38	
Cintres pour voûtes	Jusqu'à 3 mètres d'ouverture, le mètre carré de douelle	2 » à 4 »	
	De 3 à 6 mètres	4,60 à 6 »	
	De 6 à 9 mètres	8 » à 10 »	
	De 9 à 12 mètres	12 » à 16 »	
	De 12 à 18 mètres	20 » à 25 »	
	De 18 à 24 mètres	27 » à 55 »	
	Chaussées empierrées	Forme et règlement, le mètre carré	0,18
		0,10 à 0,20 gravier à	»
		0,05 à 0,05 sable à	»
		Emploi et régalaage	0,10 à 0,18

Souterrains (Midi)		fr. c.
1 mètre courant de galerie d'attaque (surface, 12 ^m ,50)	Bois en grume 1 ^m ,50 } deux emplois . . .	»
	— équarri . 0 ^m ,70 } Extraction de 12,50 à 10 francs l'un . .	125 »
1 mètre courant d'abatages prêts à recevoir les cintres (surface, 20 mètres)	Bois en grume 1 ^m ,50 } deux emplois et	»
	— équarri . 0 ^m ,70 } demi	140 »
1 mètre courant de strauss (surf., 36 ^m ,50)	Bois en grume 0 ^m ,44 } quatre emplois . .	»
	— équarri . 0 ^m ,36 } Extraction de 36,50 à 5 francs l'un . . .	182,50
1 mètre courant de cintres (87 fr. 90 c. le bois à 65 francs)	3 ^m ,50 bois pour fermes et couchis	»
	Façon d'une ferme, 2 mètres à 20 francs (6 emplois)	»
	Fer, 100 kilogrammes	»
	Bardage et pose d'une ferme, 1 ^m ,80 à 16 francs	28,80
Déblai dans le roc dur (Orléans)	1 journée 75 de mineur à 2 fr. 50 c. . . .	4,57
	0,40 de manœuvre à 2 francs	0,80
	Poudre et mèches par mètre cube	1,12
Sable provenant d'emprunts	Indemnité de terrains et de passage . . .	0,50
	Fouille, charge et triage	1 »
	Transport à	»
Cailloux ramassés dans les champs	Indemnité de terrains et de passage	0,18
	Ramassage	0,90
	Cassage	1,20
	Chargement	0,15
	Transport à	»

Échelles adoptées dans le service des Ponts et Chaussées

Plans $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2500}$, $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{10000}$;

Profil en long : longueurs, celle du plan; hauteurs, échelle décuple de celle des longueurs.

Profil en travers $\frac{1}{200}$;

Ouvrages d'art $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{200}$;

Détails $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{20}$.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

ARITHMÉTIQUE ET ALGÈBRE

Pages.

Système métrique des poids et mesures.	6-7
Valeur, poids et diamètre des monnaies françaises.	8
Conversion des mesures étrangères en mesures françaises	8-10
Racines de quelques fractions.	11
Fractions périodiques.	11
Equidifférences.	11
Proportions.	12
Formules des intérêts.	12
Formules des escomptes en dedans.	12
Annuités.	12
Intérêts composés.	13
Tables d'intérêt et d'escompte.	13-14
Règle de société.	14
Carrés usuels.	14
Extraction de la racine carrée par approximation.	15
Extraction de la racine cubique par approximation.	15
Extraction des racines de degré élevé par approximation.	15
Progressions par différence.	15
Progressions par quotient.	16
Logarithmes.	16
Equations du 2 ^e degré.	17
Equations du 2 ⁿ e degré.	17
Equations du 2 ^e degré à deux inconnues.	17
PROBLÈMES USUELS. Fontaines coulant séparément et ensemble.	18
— Courriers allant en sens contraire.	18
— Courriers allant dans le même sens.	18
— Chasseurs.	18
— Piles de boulets.	18
— Combinaisons et permutations.	19
— Premier jour de chaque année.	19
— Premier jour de mars.	19
— Années bissextiles.	19
Facteurs usuels dans les calculs.	19-20
Table des nombres, racines ou diamètres, circonférences, surfaces, carrés, cubes, racines carrées racines cubiques de 1 à 1040.	21-33

GÉOMÉTRIE

Lignes et mesure de l'espace

Angles.	34
Triangles rectangles.	34
Triangles quelconques.	34
Parallélogrammes.	35
Trapèzes.	35
Normales au diamètre.	35
Tangentes et sécantes.	35
Tangente commune à deux cercles.	36
Sécantes.	36
Triangles inscrits et circonscrits.	36
Quadrilatères inscrits.	36
Quadrilatères circonscrits.	36
Quadrilatères quelconques.	36
Partager une ligne en moyenne et extrême raison.	37
Trouver une moyenne proportionnelle à deux droites données.	37
Trouver une troisième proportionnelle à deux droites données.	37
Trouver une quatrième proportionnelle à deux droites données.	37
Décrire sur une droite un segment capable d'un angle donné.	38

	Pages.
Deux points étant donnés, tirer par chacun d'eux deux droites qui fassent, avec l'horizon, deux angles adjacents égaux	58
Partager l'angle de deux droites dont le sommet n'est pas déterminé	58
Mener une perpendiculaire à une droite donnée au moyen de la chaîne d'arpenteur	58
Tracer une ligne parallèle à une autre inaccessible	58
Inscrire un cercle dans un triangle.	59
Rapport graphique du diamètre à la circonférence.	59
Carré, diagonale, $\sqrt{2}$, côté.	59
Losange. Diagonales, côté.	59
Triangle équilatéral. Hauteur $\sqrt{3}$, base.	40
Triangles rectangles. Côtés, h, angles, cosinus, sinus, tangentes.	40
Triangles quelconques : 1 ^o connaissant les trois côtés.	40
— 2 ^o connaissant deux côtés A et B et l'angle opposé a.	41
— 3 ^o connaissant deux côtés A et B et l'angle compris c.	41
— 4 ^o connaissant la base B et deux angles adjacents a' c'.	42
Circonférence du cercle, π , log. π , périmètre, rayon, diamètre, ordonnées, abscisses	42
Secteur de cercle. Périmètre, rayon, diamètre, angle	45
Segment de cercle. Périmètre, demi-corde, corde, flèche, rayon, $\cos \frac{1}{2} a$, $\sin \frac{1}{2} a$, h.	45
Rayon du cercle inscrit.	44
Rayon du cercle circonscrit et côtés du triangle inscrit	44
Carré inscrit. Côté, diagonale, rayon, circonférence	44
Carré circonscrit. Côté, diagonale, rayon, circonférence	45
Quadrilatère inscrit. Diagonales.	45
Triangle équilatéral inscrit et circonscrit. Côté, hauteur, rayon R du cercle circonscrit, rayon r du cercle inscrit	45
Polygones réguliers inscrits et circonscrits	45
Table donnant les côtés et rayons droits des polygones réguliers inscrits à un cercle d'un mètre de rayon	46
Mesure des distances inaccessibles.	46
Relations entre les cercles et les carrés.	47-48
Formules pour le calcul des points de rencontre de deux rampes.	48
Table des coefficients donnant la base des triangles formés par les talus de déblai ou de remblai avec le sol naturel	49-50

Sections coniques — Lignes

ELLIPSE. Axes, ordonnées, abscisses.	50
HYPERBOLE. Ordonnées, abscisses.	51
PARABOLE. Paramètre, ordonnées, abscisses, normale, tangente, etc.	51

TRACÉ DES COURBES SUR LE TERRAIN

1^o Méthodes diverses pour le tracé des cercles et des arcs de cercle

1 ^o Par cordes et flèches.	52
2 ^o Par tangentes égales.	52
3 ^o Par ordonnées et abscisses à la corde	55
4 ^o Par prolongement de corde.	55
5 ^o Procédé graphique.	54
Courbes d'égal rayon et tangentes entre elles	54
Tangentes inégales raccordées au moyen de deux courbes.	54
Courbe tangente à trois alignements.	55

Tracé pratique

1 ^o Cas où l'on ne peut opérer que sur une seule tangente	55
2 ^o Cas où l'on peut opérer sur les deux tangentes ou sur des parallèles à ces tangentes.	55
3 ^o Cas où l'on peut opérer sur une corde, ou sur une tangente unique, ou simultanément	56

	Pages.
4 ^o Cas où l'on ne peut opérer que sur plusieurs cordes ou sur plusieurs tangentes partielles	75
6 ^o Tracé en galerie souterraine	56
2^o Courbes diverses	
CYCLOIDE. Tracé continu	57
— Tracé par points	57
— Développement et surface	57
EPICYCLOIDE. Tracé continu	58
— Tracé par points	58
— Développement et surface	58
Spirale d'Archimède. Tracé graphique, développement et surface	58-59
Quadratrice de Dinostrate	60
Cissoïde de Dioclès. Tracé continu	60
Logarithmique	60
3^o Tracé pratique des sections coniques	
ELLIPSE. Tracé théorique par ordonnées et abscisses	61
— Tracé continu	61
— Tracé graphique	61
— Tracé graphique d'un ovale	61
HYPERBOLE. Tracé théorique par ordonnées et abscisses	62
— Tracé graphique	62
— Tracé continu	62
PARABOLE. Tracé théorique par ordonnées et abscisses	62
— Tracé continu	62
— Méthode expéditive	62
— Raccorder trois alignements au moyen de deux paraboles tangentes l'une à l'autre	65
— Tracé par diagonales	65
4^o Tracé graphique des voûtes	
Voûtes en berceau simple, plein cintre	65
Tracé des anses de panier à 3, 5, 7 et 9 centres	64
Tableau donnant les montées et les premiers rayons des anses de panier en faisant l'ouverture $AB = 1$	65
Voûtes surbaissées elliptiques. Tracé, développement, surface	65
Voûtes en ogive en tiers point	66
Tracé de l'hélice sur la surface extérieure d'un cylindre et d'un cône droit	66
Appareils des ponts biais	67
Table donnant la longueur de flèche pour des cordes et des rayons donnés	67
Table des abscisses ou demi-cordes et des ordonnées ou flèches pour le tracé des courbes de 1 à 6000 mètres de rayon, et pour des tangentes égales	69-75
Table des abscisses et des ordonnées pour le tracé des courbes de 1 à 10000 mètres de rayon et pour des arcs égaux	76-81
Table générale des abscisses et ordonnées du cercle	81-85
Table des abscisses et des ordonnées de 5 en 5 minutes de 0° à 90° pour le tracé pratique des courbes par arcs égaux	84-97
TRIGONOMÉTRIE	
Relations entre les lignes trigonométriques	98
Formules du rayon, des sinus, cosinus, tangentes, sécantes, cotangentes et cosécantes	98-101
Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs de minute en minute de 0' à 4° pour un rayon de un mètre	102-105
Table des sinus naturels, cosinus, tangentes, cotangentes et développement des arcs de 10 en 10 minutes de 0° à 90° pour un mètre de rayon	105-110
Table donnant le développement des arcs pour tous les degrés du cercle et pour un mètre de rayon, avec 20 décimales	111
Table donnant le développement des arcs dont la flèche et la corde sont connues	112-115
SURFACES PLANES	
Triangles rectangles	114
Triangles quelconques. 1 ^o Connaissant un côté et deux angles	114
— 2 ^o Connaissant deux côtés et l'angle compris	114
— 3 ^o Connaissant les trois côtés	114

	Pages.
Triangle inscrit	115
Triangle circonscrit	115
Triangle équilatéral	115
Triangle équilatéral inscrit et triangle équilatéral circonscrit	115
Losange	116
Carré	116
Carré inscrit	116
Carré circonscrit	116
Quadrilatère inscriptible	116
Quadrilatère non inscriptible	117
Trapèze	117
Polygones réguliers	117
Tableau donnant les surfaces des polygones réguliers dont le côté est pris pour unité	118
Polygone irrégulier	119
Cercle	119
Secteur de cercle	119
Segment de cercle	119
Surface des segments de 1 mètre de diamètre pour 500 parties de la demi-circoufrence, la flèche et le diamètre étant connus	120-122
Surface des segments de cercle dont la flèche et la corde sont connues	122-124
Table donnant la longueur des arcs et les surfaces des segments, la flèche étant prise pour unité	124-125
Cercle inscrit	125
Cercle circonscrit	126
Cercles concentriques	126
Cercles non concentriques	126
Ellipse	126
Segment d'ellipse	127
Parabole	127
Triangle sphérique	127
Figures irrégulières	127

Problèmes divers sur les surfaces

Faire un carré équivalent : 1 ^o à un cercle	128
— 2 ^o à un triangle équilatéral	128
— 3 ^o à un triangle quelconque	128
Faire un triangle équilatéral équivalent : 1 ^o à un triangle quelconque	128
— 2 ^o à un cercle	125
Faire un cercle équivalent : 1 ^o à une ellipse	128
— 2 ^o à un carré	128
— 3 ^o à un triangle quelconque	129
Constructions graphiques	129
Faire un carré ou un cercle qui soit une fraction d'un autre	129
Faire un carré ou un cercle équivalent : 1 ^o à la somme; 2 ^o à la différence de deux ou de plusieurs autres	150
Partager un triangle en deux ou plusieurs parties équivalentes par des parallèles à l'une des bases	150
Partager un trapèze en parties équivalentes à des nombres donnés par une parallèle aux bases	151
Transformer un polygone en un triangle équivalent	151
Construire un triangle égal à sept fois la surface d'un triangle donné	151
Construire un rectangle égal à huit fois la surface d'un triangle donné	151
Surfaces maxima	151

SURFACES ET VOLUMES DES SOLIDES

Parallépipèdes	152
Cube double ou triple d'un autre	152
Troncs de parallépipèdes	152
Prismes droits ou obliques	152
Troncs de prismes à base de polygone impair régulier	153
Troncs de prismes triangulaires	155
Troncs de prismes à base de parallélogramme	153

Troncs de prismes quelconques	135
Solide adopté pour l'emmétrage des pierres et capacité d'un tombereau	154
Fouille faite en talus entre quatre côtés parallèles	154
Solide en forme de toiture	154
Cylindres droits et obliques	154
Troncs de cylindres droits et obliques	155
Onglet n° 1	155
Onglet n° 2	155
Complément à l'onglet n° 1	156
Segment de cylindre	156
Secteur de cylindre	156
Parallépipèdes inscrits et parallépipèdes circonscrits au cylindre	156
Mur circulaire en talus	156
Pyramides	156
Troncs de pyramides compris par des plans parallèles	157
Pyramide à base de pentagone régulier	157
Cône droit	157
Troncs de cône droit compris par des plans parallèles	157
Cône oblique	158
Sphère	158
Secteur sphérique	158
Segment sphérique	158
Fuseau et onglet sphérique	159
Zone sphérique	159
Tronc de sphère	159
Sphère inscrite et sphère circonscrite au cube	159
Cône équilatéral et cylindre circonscrit à la sphère	159
Tétraèdre	140
Hexaèdre ou cube	140
Octaèdre	140
Dodécaèdre	140
Icosaèdre	140
Surfaces et volumes des polyèdres réguliers dont le côté est l'unité	141
Relations entre les polyèdres réguliers et la sphère qui leur est circonscrite	141
Ellipsoïde	141
Paraboloïde	142
Voussures de 90°	142
— 60°	142
— 45°	142
— 30°	142
Volume engendré par un segment AB tournant autour d'un diamètre DF et par un cercle tournant autour d'une droite située dans son plan	143
Volume engendré par les polygones réguliers tournant autour d'un de leurs côtés comme axe	143
Solide de révolution engendré par un triangle tournant autour d'un axe passant par son sommet	144
Formules relatives au calcul des terrassements	144
— 1° Points de passage	144
— 2° Hauteur des triangles formés par les talus des déblais et remblais	144
— 3° Pentes et rampes	145
— 4° Méthode expéditive pour calculer les déblais et remblais	145
— 1 ^{er} cas. Les deux profils consécutifs sont tous deux en remblai ou tous deux en déblai	145
— 2 ^e cas. L'un des profils est en déblai et l'autre en remblai	145
— 3 ^e cas. L'un des profils est à la fois en déblai et en remblai et l'autre tout en déblai ou tout en remblai	146
— 4 ^e cas. Les deux profils à la fois en déblai et en remblai, le déblai de l'un correspond au déblai de l'autre	146
— 5 ^e cas. Les deux profils à la fois en déblai et en remblai, le déblai de l'un ne correspond pas au déblai de l'autre	146
Surfaces des profils en travers servant à évaluer le cube des déblais et des remblais	147

	Pages.
Simplification des formules du 2 ^e cas	147
Mesurage des bois. Usages	148
— Méthode exacte	148
— — du commerce	148
— — de l'artillerie	149
— Réduction au 1/4, au 1/5 ou au 1/6	149
Tableau établissant la comparaison des différentes méthodes ci-dessus	149
Mesurage des tonneaux	149
Dimensions des tonneaux les plus communs.	150

LEVÉ DES PLANS

Moyens d'obtenir avec exactitude la configuration graphique d'un terrain	151
Chaîne d'arpenteur	151
Stadia	152
Théodolite ou cercle répétiteur	153
Graphomètre	154
Pantomètre	152
Equerre d'arpenteur.	155
Boussole	156
Planchette	156
Déclinatoire	157
Octant et sextant de réflexion	157-158
Vernier	159

Nivellement

Niveau apparent et niveau vrai	159
Équerre-niveau	160
Niveau à perpendiculaire ou de maçon	160
Niveau d'eau	161
Capillarité et réfraction	161
Tableau donnant les différences des niveaux apparents aux niveaux vrais ou rectification à opérer sur les hauteurs apparentes lues à la mire	162
Niveau à bulle d'air	162
Niveau à bulle d'air à pinnules	163
Niveau à bulle d'air à lunettes	163
Niveau d'Egault	164
Niveau de Lenoir	163
Niveau de pente	166
Niveau de pente de Chézy	166
Mires	167
Mires à voyant	167
Mires parlantes	167
Nivellement simple	168
Nivellement composé	168
Coups arrière	168
Coups avant	168
Cotes intercalaires entre deux cotes connues	169
Tableau et carnet de nivellement	169-170

MÉCANIQUE

Mouvement uniforme. Vitesse	171
Mouvement accéléré. Lois de la chute des corps	171
Valeurs de $v = gt$ et de $h = \frac{gt^2}{2}$ correspondant à différentes valeurs du temps t	172
Valeurs de quelques multiples de g	172
Force centrifuge	173
Résultante des forces. Couples et moments	173
Centres de gravité des lignes, surfaces et volumes. — Deux droites quel- conques faisant angle	173

	Pages.
— Lignes brisées	174
— Triangles quelconques	174
— Parallélogrammes	174
— Arcs de cercle quelconques	174
— Quart de circonférence	174
— Arcs de 60°.	174
— Parabole	174
— Trapèze	175
— Quadrilatère	175
— Polygones quelconques	175
— Secteur de cercle	175
— Segment de cercle	175
— Demi-segment	176
— Voussoir	176
Ceinture de gravité des solides	176
Leviers. Lois de l'équilibre	177
Peson	177
Poulies	177
Moufles	176-179
Treuil et cabestans. Lois de l'équilibre	179
Roues dentées	179
Dimensions des dents d'engrenage	180
Cric. Lois de l'équilibre	180
Plan incliné	181
Vis	181
Vis sans fin	182
Coin	182

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

Métaux

Efforts de traction longitudinale	185
Efforts de compression	184
Efforts transversaux. Solides encastés par l'une de leurs extrémités	185
— Solides posés librement sur deux appuis	186
— Solides encastés par leurs deux extrémités	187
Tableau donnant la charge supportée dans les trois cas qui précèdent par centimètre carré de section transversale	187
Fers à double T pour planchers ou poutres	188
Tableau du poids par mètre carré des fers à double T et des charges qu'ils supportent lorsqu'ils reposent librement sur deux appuis	188-189
Efforts de torsion	190

Bois

Efforts de traction longitudinale	191
Tableau donnant le maximum d'effort instantané par centimètre carré de section transversale des bois les plus connus	191
Efforts de compression	191
Tableau faisant connaître le poids qui détermine l'écrasement par centimètre carré de section transversale	192
Efforts transversaux. Résistance à la flexion	192
— Solides encastés par l'une de leurs extrémités	192
— Solides posés librement sur deux appuis	195
— Pièces soumises à des chocs	194
Formules qui déterminent la rupture pour les cas précédents	194
— Solides encastés par leurs deux extrémités	194
Tableau donnant la charge supportée, dans les trois cas qui précèdent, par centimètre carré de section transversale	195
Efforts de torsion	195
Résistance des chaînes en fer et câbles de chanvre	195
Table de densité ou poids absolu de diverses substances	196-199
Dilatations linéaires de différents corps de 0° à 100° centigrades	198
Dilatation en volume de quelques liquides de 0 à 100 degrés	200
Température d'ébullition de quelques matières sous la pression atmosphérique 0 ^m , 76	200

	Pages.
Température de fusion de quelques corps	200
Conductibilité électrique des métaux usuels à 0°	201
Froids artificiels ou mélanges frigorifiques	201
Poids par mètre courant des fers plats et carrés.	202-203
Poids des fers ronds et carrés.	204

HYDRAULIQUE — HYDROSTATIQUE — HYDRODYNAMIQUE

Lois de l'équilibre des fluides.	205
Pressions exercées sur les liquides supposés sans pesanteur	205
Pressions exercées par les liquides pesants.	205
Immersion des corps.	205
Pression atmosphérique.	205
Lois de l'écoulement des fluides.	205
— Orifices en minces parois à air libre.	206
— Orifices noyés.	207
— Orifices munis d'un ajutage cylindrique.	207
— Ajutages coniques convergents.	207
— Ajutages coniques divergents.	207
— Orifices en coursiers.	208
— Déversoirs.	208
Mouvement de l'eau dans les rivières et les canaux.	208
Moulinet de Woltmann.	209
Mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.	209
Épaisseur à donner aux tuyaux de conduite.	210
Perte de charge due aux coudes des tuyaux de conduite.	210
Tableau donnant les hauteurs ou charges d'eau correspondant à des vitesses déterminées	210-211
Tableau donnant la quantité d'eau écoulée par seconde d'un orifice en déversoir à air libre.	211-212
Force d'un cours d'eau.	215
Force utilisable d'une chute d'eau.	214
Roues hydrauliques. Roues à ailes exposées à l'action d'un courant.	214
— Roues à aubes planes, recevant l'eau en dessous.	214
— Roues à aubes courbes.	215
— Roues emboîtées dans un coursier courbe.	215
— Roues à augets.	215
Roues se mouvant dans un courant à grande section.	216
Turbines.	216
Jets d'eau.	217
Syphon.	217
Syphon intermittent.	217
Fontaines intermittentes naturelles	217
Pompes. Conditions diverses pour obtenir une dépense maximum.	218
Frottement du piston dans les corps de pompe.	218
Pompes aspirantes.	218
Pompe des prêtres.	219
Pompe Letestu.	219
Pompes foulantes.	220
Pompes aspirantes et foulantes.	221
Pompe à incendie.	221
Pompe rotative de Dietz.	221
Pompe centrifuge Neut et Dumont.	222
Pompe Fareot.	223
Presse hydraulique.	223
Bélier hydraulique.	224
Résultats obtenus avec un bélier hydraulique.	225
Machine employées aux épuisements. Ecope et écope hollandaise.	225
— Seau à bascule.	225
— Chapelet incliné.	226
— Chapelet vertical.	226
— Noria.	226
— Tympan.	226
Résultats obtenus avec un tympan par M. Cavé.	227
— Vis d'Archimède.	227
Résultats obtenus avec une vis d'Archimède.	228

Résultats obtenus avec des machines d'épuisement par MM. Morandière et Compaign.	228
Tableau comparatif des résultats que l'on peut espérer des divers modes d'épuisement d'après M. Morandière.	228
Prix de revient des épuisements avec pompes mues par locomobiles.	229
Prix de revient des divers modes d'épuisement.	230
Battage des pieux. Sonnette à tiraudes et à déclie.	230
Pieux à vis.	230

DYNAMIQUE

Mesure du travail dynamique.	234
Tableau des quantités de travail moyennes et journalières produites par les moteurs animés dans diverses circonstances.	232-234
Terrassements. — Fouille et charge.	234
Tableau des quantités moyennes de déblai qu'un terrassier de force ordinaire peut piocher et jeter à 1 ^m 60 de hauteur, ou charger en brouette ou en tombereau, pendant une journée de dix heures.	234
Cube chargé journellement par un ouvrier de force moyenne.	235
Tableau donnant le foisonnement des déblais de diverses natures.	235
Transport des terres.	235
Transport moyen.	235
Transport à la brouette sur un plan horizontal.	236
Transport à la brouette en rampe.	236
Transport au camion.	236
Transport au tombereau.	236
Tableau indiquant le résultat des expériences faites sur les transports au tombereau.	237
Transport au tombereau en rampe.	238
Composition des prix pour les transports au tombereau.	239
Tableau comparatif des prix et du cube transporté pour les lignes d'Orléans et du Midi.	240-241
Transport au wagon. Orléans, Nord, Est, Midi.	242
Tableau des prix de revient des transports au wagon, d'après les formules ci-dessus.	243
Résultats obtenus sur la ligne de Saint-Germain pour les transports au wagon.	245
Dépense pour le transport d'un mètre cube de terre et état comparatif des différents modes de transport.	244
Tableau donnant les rapports du frottement à la pression ou effort maximum à exercer pour mettre le mobile en mouvement.	245
Frottement de glissement.	245
Puissance adhérente des roues des locomotives.	246
Résistance des trains à la traction.	246
Résistance due au frottement des essieux.	246
Résistance due au frottement exercé sur le pourtour des roues.	246
Résistance de l'air au mouvement des wagons.	246
Résistance du vent à la marche des trains.	247
Formule de Harding.	247
Tableau du prix de revient des transports au wagon en rampe.	248
Travail produit par la vapeur.	249
Charge que peut traîner un cheval sur un chemin de fer.	249
Alliage de friction et mastics pour joints.	249
Matières lubrifiantes pour wagons et machines.	250
Graisse dure pour les fusées de wagons.	250
Graisse noire.	250

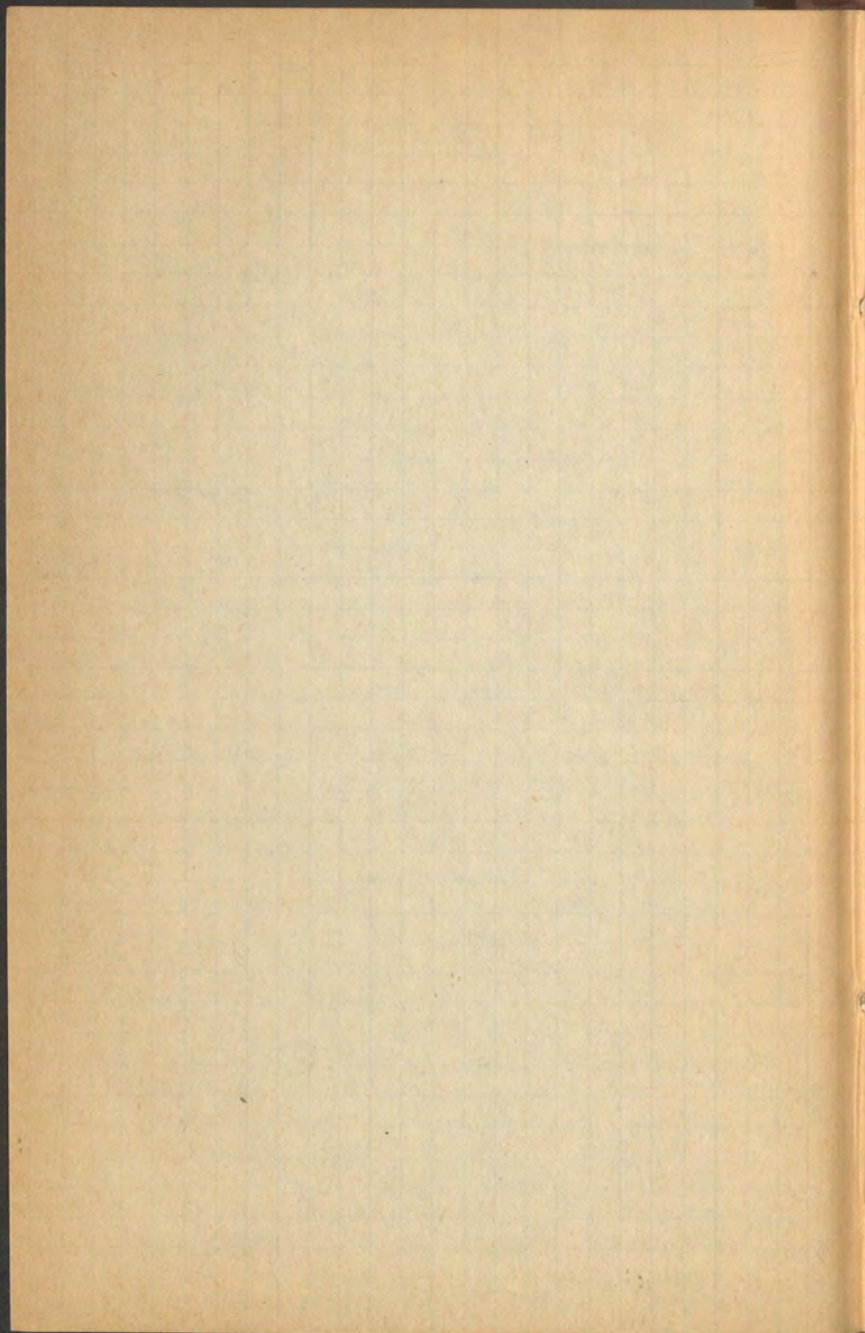
DOCUMENTS DIVERS

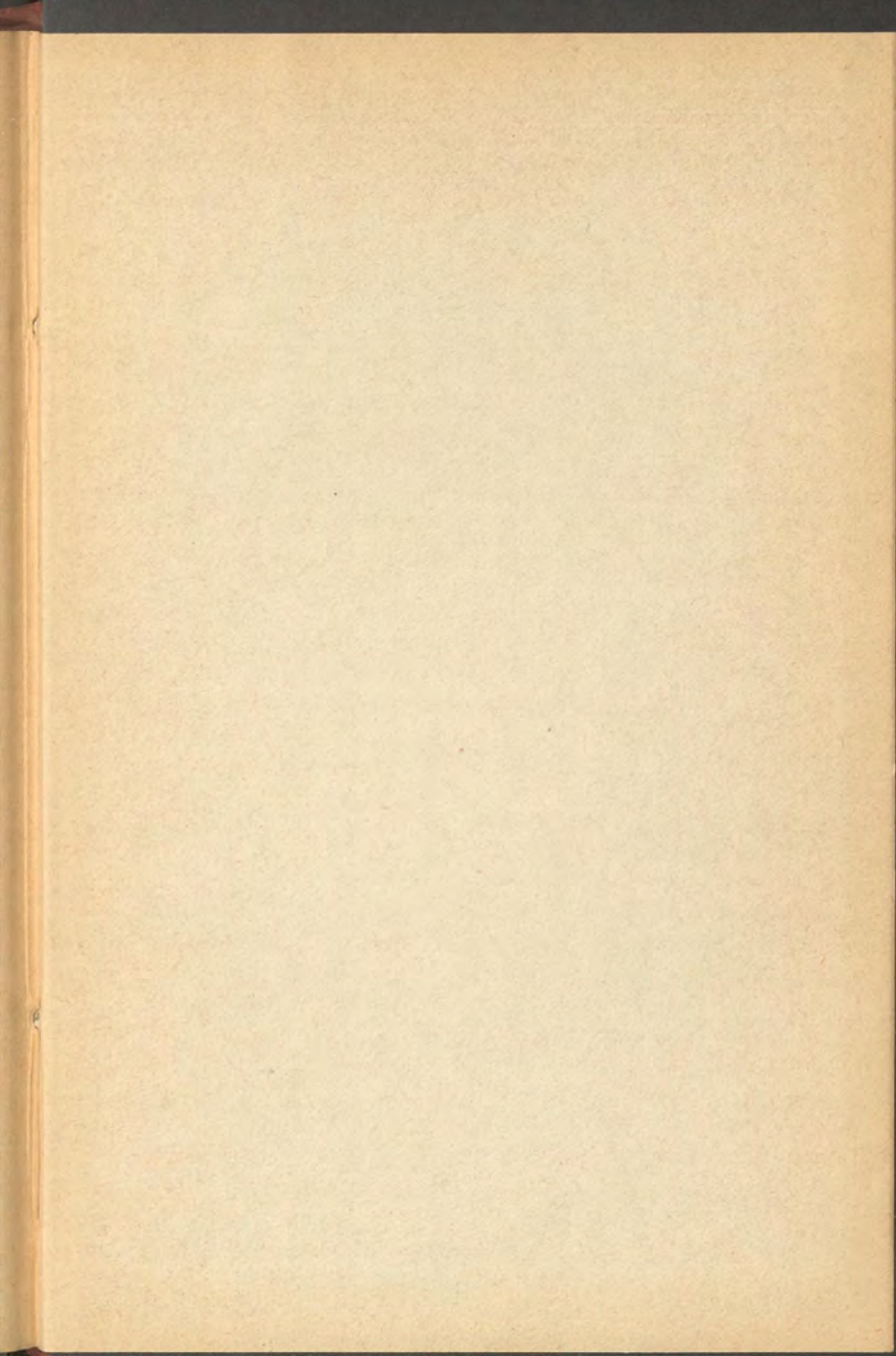
Réduction en mètres d'une pente en degrés ou tangentes naturelles.	251
Réduction en degrés d'une inclinaison en mètres.	251
Coefficients servant à déterminer le développement des talus en déblai ou en remblai.	251
Pressions exercées par le vent à différentes vitesses.	252
Dimensions usuelles des murs de bâtiments et des murs isolés.	255
Formules de Rondelet.	254
Murs des bâtiments recouverts d'un simple toit.	254

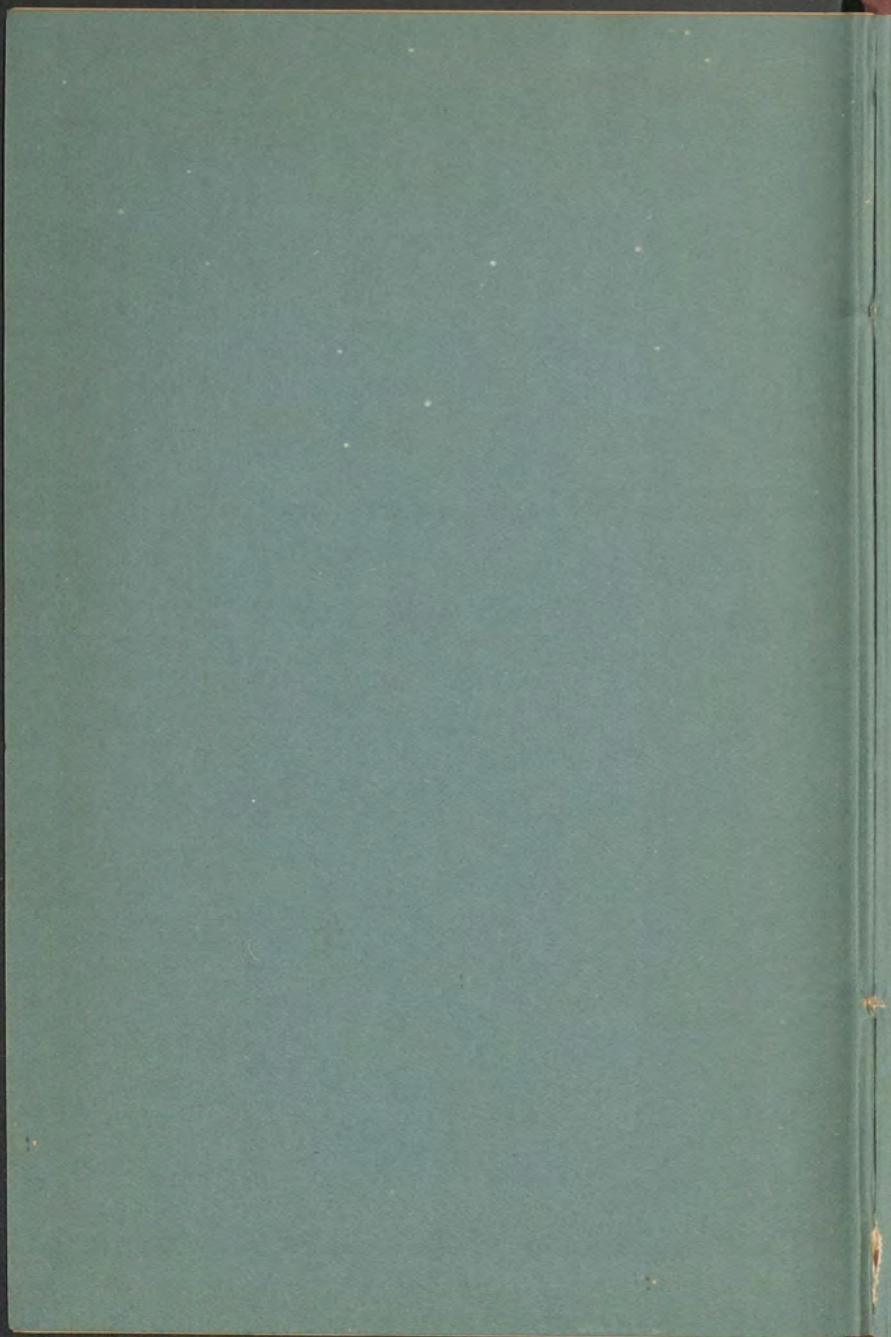
	Pages.
Murs d'enceintes non couvertes.	254
Murs isolés ou de clôture	254
Murs circulaires.	255
Couverture des bâtiments	255
Dimensions à donner aux cheminées d'appartement.	255
Planchers simples.	256
Conservation des bois de charpente.	256
Equarrissage des bois de charpente. — 1 ^o Pans de bois et cloisons	256
— 2 ^o Planchers	256
— 3 ^o Combles.	257
Ordres d'architecture	258
Tableau comparatif des proportions des parties principales des ordres d'architecture.	258
Épaisseurs à donner aux murs de soutènement	259
— aux batardeaux et barrages en maçonnerie.	259
— aux voûtes de ponts	260
— aux culées de ponts	260
Tableau des dimensions données aux voûtes et aux culées de divers ponts.	261
Pentes ou vitesses maximum à donner aux radiers des canaux et aqueducs.	262
Épaisseur pratique à donner aux chaudières à vapeur en tôle et en cuivre.	262
Diamètre des soupapes de sûreté.	262
Dépense des locomotives en eau et en combustible	263
Prix des locomotives et locomobiles.	263
Dépense journalière d'un cheval employé à un manège ou aux terrassements.	264
Prix d'établissement des voies ferrées.	264
Prix de revient des mains-d'œuvre de voie pour terrassements	265
Dimensions des voies ferrées en France.	265
Dévers à donner aux voies ferrées en courbe.	265
Prix de revient des chaussées de Paris	266
Développement à donner à un tracé de route entre deux points obligés pour obtenir une pente déterminée	266
Prix d'établissement et dépense d'entretien des routes.	266
Dimensions principales des routes.	267
Bois entrant par mètre courant de cintres et ponts de service provisoires	267
Extraction des roches calcaires au moyen des mines acidées.	268
Éléments de la dépense pour extraction de rochers en tunnels	268
Composition des poudres.	268
Foisonnement et retrait des chaux et ciments.	269
Tableau donnant le foisonnement de quelques chaux hydrauliques.	269
Fabrication du mortier.	269
Sous-détail de la fabrication d'un mètre cube de mortier	270
— 1 ^o avec rabots	270
— 2 ^o avec manège.	270
— 3 ^o avec tonneau Roger à bras.	270
— — avec un cheval	270
— — avec locomobile.	271
— avec l'appareil de M. Michel Greyveldinger.	271
Tableau de la composition d'un mètre cube de quelques mortiers ayant donné de bons résultats.	272
Fabrication des bétons : 1 ^o avec griffes.	273
— 2 ^o avec machine à coffres.	273
— 3 ^o avec bétonnière en bois	273
— 4 ^o avec couloir cylindrique en tôle	273
Tableau des proportions de mortier et de cailloux mêlés par mètre cube de quelques bétons	273
Composition des bétons pour les travaux à la mer	273
Résistance des chaux et des ciments à la mer.	274-276
Prix de revient des bétons, dragages et pavages exécutés dans les ports de Marseille.	277-281
Résultats obtenus par M. Laroque dans le dragage des sables et graviers destinés au ballastage de la ligne du Midi.	282
Composition et analyse des prix pour divers travaux	282-286
Echelles adoptées dans le service des Ponts et Chaussées	286



BIBLIOTECA







8

BIBLIOTECA COAM



00046116

