



**IICA-CIDIA**

**INSTITUT INTERAMERICAIN DE COOPERATION POUR L'AGRICULTURE**

**IICA**

**BUREAU EN HAITI**

Centro Interamericano de  
 Documentación e  
 Información Agrícola

1 2 ENE 1987

**IICA - CIDIA**

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

☆☆ MARND R ☆☆☆☆  
 ☆☆☆ FAMV ☆☆☆☆  
 ☆☆☆ IICA ☆☆☆☆

USAID  
ACDI

AVANT METRE ET PREPARATION  
DE BUDGET

**PREMIER  
 COURS NATIONAL  
 POST-GRADUE  
 SUR L'IRRIGATION,  
 LE DRAINAGE  
 ET LA GESTION  
 DES RESSOURCES  
 HYDRIQUES**



15 Juillet - 30 Septembre 1955

Port-au-Prince, Haiti

COMPILE PAR :  
FRANTZ METELLUS ING.

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

IICA  
 PM-A2/  
 HT-86-  
 -32

(A2/HT-86-032)

ISSN- 0534 - 5391

REVISION ET EDITION: HUMBERTO PIZARRO  
 Spécialiste en Projets d'Irrigation  
 et Drainage  
 IICA-HAITI

L'Institut est l'organisme spécialisé en agriculture du système interaméricain. Il fut fondé par les gouvernements américains afin de stimuler, de promouvoir et d'appuyer les efforts des Etats Membres pour parvenir au développement agricole et obtenir le bien-être de la population rurale. L'Institut Interaméricain des Sciences Agricoles, établi le 7 octobre 1942, fut réorganisé et devint l'Institut Interaméricain de Coopération pour l'Agriculture par Convention ouverte à la signature des Etats Américains le 6 mars 1979 et qu'ontra en vigueur en décembre 1980.





00008382

~~050-000282~~

11CA  
PM-AZ/HT  
no. 86-032

~~00000894~~

PREMIER COURS NATIONAL POST-GRADUE  
SUR L'IRRIGATION, LE DRAINAGE ET  
LA GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

COORDINATION:

INSTITUT INTERAMERICAIN DE  
COOPERATION POUR L'AGRICULTURE (IICA)  
FACULTE D'AGRONOMIE ET  
DE MEDECINE VETERINAIRE (FAMV)

SOUTIEN FINANCIER:

AGENCE DE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (USAID)  
PROJET DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE INTEGRE 521-0078  
AGENCE CANADIENNE POUR LE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (ACDI)  
INSTITUT INTERAMERICAIN DE COOPERATION POUR L'AGRICULTURE (IICA)  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET  
DU DEVELOPPEMENT RURAL (MARNDR)  
FACULTE D'AGRONOMIE ET DE MEDECINE VETERINAIRE (FAMV)

657

ISSN-0534-5391

TEXTE: AVANT METRE ET PREPARATION DE BUDGET

DACTYLOGRAPHIE: LAURENCE JOACHIM - JULIETTE MOREL

IMPRESSION: JEAN-NICOLAS JOSEPH



## TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
<b>Table des Matières</b> .....	<b>i</b>
<b>Liste des Figures</b> .....	<b>x</b>
<b>Liste des Tableaux</b> .....	<b>xvi</b>

### CHAPITRE I

Introduction

### CHAPITRE II

<b>Importance de la prévision économique des projets</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Les matériaux</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Maçonnerie</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Détermination des quantités</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Le béton</b> .....	<b>9</b>
<b>2.4.1 Les structures exécutées à l'aide du béton armé</b> .....	<b>10</b>
<b>2.5 Les ouvrages en bois</b> .....	<b>13</b>

### CHAPITRE III

<b>Mètre des terrassements</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 Terrassements</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2 Calcul du volume des terrassements</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 Méthodes des profils en travers</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4 Méthode du profil en long</b> .....	<b>18</b>
<b>3.5 Méthodes utilisant les courbes de niveau</b> .....	<b>19</b>
<b>3.6 Méthodes des figures géométriques</b> .....	<b>19</b>
<b>3.7 Marche à suivre.- Projet de terrassement</b> .....	<b>20</b>
<b>3.8 Ordre logique d'exécution.- Facturation des travaux</b> .....	<b>22</b>
<b>3.9 Le coût du terrassement</b> .....	<b>24</b>
<b>3.10 Cubature ou métré des terrassements</b> .....	<b>24</b>
<b>3.11 Exemple de cubature du terrassement</b> .....	<b>26</b>
<b>3.12 Déblais de nature différente</b> .....	<b>31</b>

1  
2  
3  
4

.....

.....

.....

.....

5  
6  
7  
8

.....  
.....  
.....  
.....

9

.....

10

.....

11

.....



3.13	Mouvements des terres.....	31
3.13.1	Méthode de Lalane.....	33
3.13.1.1	Foisonnement.....	33
3.13.1.2	Tassement - Compactage.....	34
3.13.1.3	Principe de la méthode.....	35
3.13.1.4	Tableau et épure du mouvement des terres.....	36
3.13.1.5	Epure.....	36
3.13.1.6	Transport.....	39
3.13.1.7	Choix de la ligne de répartition.....	39
3.13.1.8	Emprunts au dépôts.....	41

#### CHAPITRE IV

Règlements des terrassements.....	49	
4.1	Evaluation des prix des terrassements.....	49
4.1.1	Système de l'avant métré forfaitaire.....	58
4.1.2	Système du mètre après exécution.....	59
4.2	Déblais.....	60
4.2.1	Déblais en tranchée.....	63
4.2.2	Dragages.....	63
4.3	Remblais.....	64
4.4	Transports .....	66
4.4.1	Chargement.....	67
4.4.2	Le déchargement.....	68
4.5	Emprunts.....	69
4.6	Exemple d'avant métré de terrassements.....	70

#### CHAPITRE V

Notions nécessaires à l'établissement d'un avant métré.....	73	
5.1	Mesure des lignes.....	73
	Triangles rectangles.....	73
	Triangles quelconques.....	73
5.2	Polygones réguliers.....	76
	circonférence.....	76

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is essential for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent and reliable data collection processes to support informed decision-making.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in modern data management. It discusses how advanced software solutions can streamline data collection, storage, and analysis, leading to more efficient and effective operations.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data security and privacy. It stresses the importance of implementing robust security measures to protect sensitive information from unauthorized access and breaches.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It reiterates the importance of a data-driven approach and encourages the organization to continue investing in data management capabilities to stay competitive in the market.

6. The sixth part of the document provides a detailed overview of the data collection process. It describes the various sources of data, including internal systems, external databases, and manual data entry, and explains how these sources are integrated into a unified data platform.

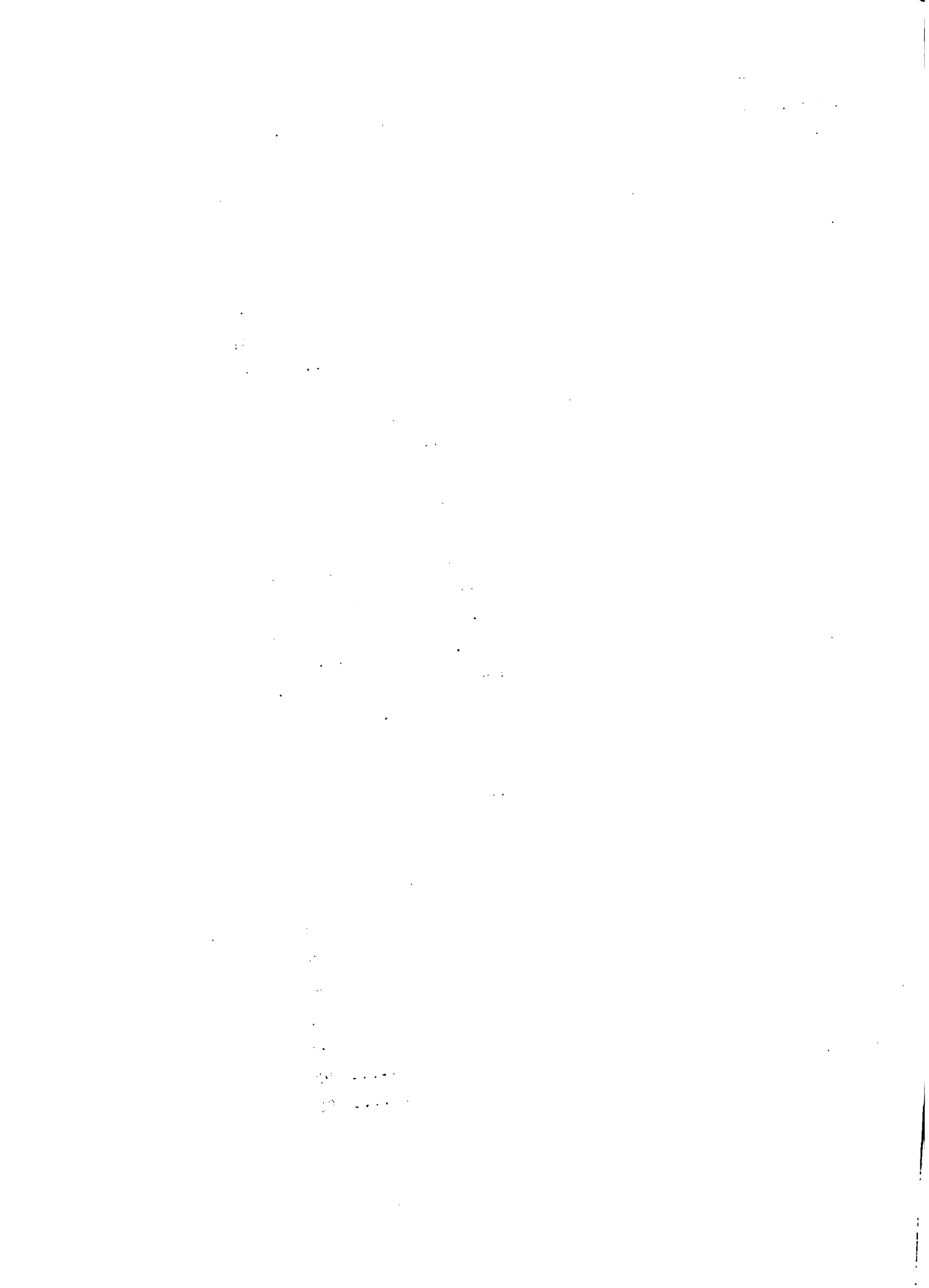
7. The seventh part of the document discusses the importance of data quality and the steps taken to ensure high standards of accuracy and reliability. It outlines the various data cleaning and validation techniques used to identify and correct errors and inconsistencies in the data.

8. The eighth part of the document focuses on the role of data analysis in identifying trends and patterns. It describes the various analytical tools and techniques used to process and interpret the data, providing valuable insights into the organization's performance and market dynamics.

9. The ninth part of the document addresses the challenges of data integration and interoperability. It discusses the various methods used to connect different data sources and ensure that data flows smoothly between systems, enabling a holistic view of the organization's data.

10. The tenth part of the document concludes by summarizing the overall findings and providing a final set of recommendations. It emphasizes the need for a continuous and iterative approach to data management, ensuring that the organization remains up-to-date and responsive to changing market conditions.

Développement d'une partie de la ligne courbe quelconque.....	77	
5.3	Mesure des surfaces.....	77
	Surfaces planes.....	77
	Surface des triangles.....	77
	Surface des quadrilatères.....	78
	Surface des quadrilatères quelconques.....	80
	Polygônes.....	81
	Polygônes réguliers.....	81
	Triangle équilatéral.....	81
	Pentagône.....	82
	Hexagône.....	82
	Octagône.....	82
	Décagône.....	82
	Dodécagône.....	83
	Polygônes irréguliers.....	83
5.4	Surfaces limitées par des courbes quelconques.....	83
	Formule de Simpson.....	84
	Formule de Poncelet.....	84
	Cercle, secteur et segment.....	85
	Surface de la zone circulaire ou couronne.....	86
	Portion de zone.....	87
	Surface elliptiques.....	87
	Surface du segment d'ellipse.....	88
	Surface du segment parabolique.....	88
5.5	Surfaces des polyèdres et des corps ronds.....	89
	Polyèdres.....	89
	Surface du prisme, du prisme oblique et du tronc de prisme	89
	Prisme droit.....	89
	Prisme oblique.....	90
	Tronc de prisme.....	91
	Surface de la pyramide et du tronc de pyramide.....	91
	Corps ronds.....	92
	Surfaces cylindriques.....	92
	Cylindre droit.....	92



	cylindre oblique.....	92
	cylindre tronque et tronc de cylindre.....	93
	Surfaces coniques.....	93
	Surface du tronc de cône.....	94
	Surfaces sphériques.....	95
	Sphère.....	95
	Zone ou calotte sphérique.....	95
	Fuseau ou onglet.....	95
	Lignes brisées irrégulières.....	96
	Lignes brisées régulières.....	96
	Application du théorème de Guldin.....	96
	Surfaces gauches ou surfaces réglées.....	97
5.6	Mesure des volumes.....	98
	Polyèdres et corps ronds.....	98
	Prismes, Parallélépipèdes et cubes.....	98
	Troncs de prismes triangulaires.....	98
	Troncs de prismes quelconques.....	99
	Pyramides et troncs de pyramides.....	101
	Polyèdres tronques à base parallèles.....	103
	Polyèdres quelconques.....	106
	Corps ronds.....	106
	Cylindres et troncs de cylindre.....	106
	Onglet cylindrique.....	107
	Cône droit circulaire.....	108
	Tronc de cône droit circulaire.....	109
	Sphère.....	109
	Secteur sphérique.....	109
	Calotte sphérique ou tranche sphérique à une base.....	110
	Tranche sphérique à 2 bases.....	110
	Onglet sphérique.....	111
5.7	Volumes de révolution.....	112
	Volumes engendrés par une surface polygônale.....	112
	Volumes engendrés par une surface plane quelconque.....	112
	Volumes limités par des surfaces gauches.....	113



5.8	Application des formules de Simpson ou de Poncelet à l'évaluation des volumes.....	115
	Formule de Simpson.....	115
5.9	Centres de gravités.....	116
	Généralités.....	116
	Lignes.....	116
	Lignes droites.....	116
	Deux droites concourrantes.....	117
	Lignes brisées.....	117
	Périmètre ou contour du triangle.....	117
	Périmètre du parallélogramme.....	117
	Périmètre d'un polygone régulier.....	118
	Périmètre d'un polygone irrégulier.....	118
	Arc de cercle.....	118
	Demi circonférence.....	119
	Quart de circonférence.....	119
	Circonférence et contour de l'ellipse.....	120
	Arc de courbe quelconque.....	120
	Surfaces.....	120
	Carrés, rectangles et parallélogrammes.....	121
	Trapèze.....	121
	Quadrilatère quelconque (Première Méthode).....	122
	Quadrilatère quelconque (Deuxième Méthode).....	123
	Polygone quelconque.....	123
	Polygone régulier.....	123
	Cercle.....	123
	Secteur de cercle.....	123
	Demi cercle.....	123
	Secteur de $90^{\circ}$ .....	124
	Secteur de $270^{\circ}$ .....	124
	Secteur de $60^{\circ}$ .....	124
	Segment de cercle.....	124
	Voussoir circulaire.....	124





	Segment parabolique.....	125
	Volume.....	125
	Cylindre.....	125
	Sphère et ellipsoïde.....	125
	Demi sphère.....	126
	Secteur sphérique.....	126
	Segment ou calotte sphérique.....	127
	Pyramide ou cône quelconque.....	127
	Tronc de pyramide ou de cône.....	127
	Tronc de prisme triangulaire.....	128
5.10	Formules trigonométriques.....	129
	Généralités.....	129
	Triangles rectangles.....	129
	Triangles et quadrilatères quelconques.....	133
	Emploi de logarithmes.....	136

#### CHAPITRE VI

	Engins du génie civil.....	138
6.1	Classification des engins du génie civil.....	138
6.2	Compactage.....	141
6.2.1	Compactage statique.....	141
6.2.2	Compactage dynamique.....	141
6.2.3	Rouleau déplaçable autopropulsé.....	142
6.2.4	Charges exercées pendant le processus de compactage.....	143
6.2.5	Puissance de compactage ou rendement au compactage.....	146
6.2.6	Compléments des différents types de rouleaux.....	147
6.3	Dépréciation d'un engin du génie du génie civil.....	148
6.4	Calcul de la force de poussée disponible.....	151
6.5	Perte de Puissance.....	152
6.6	Calcul des coûts des machines en chantier.....	152
6.6.1	Calcul des coûts des machines en chantier.....	154
	Amortisation annuelle.....	154
	Réparation et pièces de rechange.....	154



	Filtre et lubrifiants.....	155
	Pneumatiques.....	155
6.7	Formule de base du transport de matériaux remblai en gé- nie civil.....	160
6.7.1	Volume horaire de travail d'un bulldozer.....	160
6.8	Appareils servant à projeter le béton ou injection de béton.....	165
6.9	Information de chantier - Proportion de coffrage et de ferraillage.....	166
	Coffrage.....	167
	Ferraillage.....	168
	Les malaxeurs.....	168
6.10	Principes de construction des malaxeurs.....	170
6.11	Comment déterminer les coûts de la main d'oeuvre en génie civil.....	171
6.12	Concepts de rendement dans la construction civile.....	172
	Puissance de base théorique d'une machine.....	174
	Formules générales de rendement en construction civile...	174
	Capacité de travail d'une machine en génie civil.....	175
6.13	Bétonnage spécial sous l'eau : Appareils.....	178
6.13.1	Procédés spéciaux de bétonnage sous-marin.....	178
	Béton pressé.....	181
	Drague aspirante.....	181
6.14	Dispositifs de distribution.....	188
	Distributeur gravitaire.....	188
	Distributeur pendulaire.....	188
	Répartiteur à cellules.....	189
	Transporteur à couloir.....	189
	Echelle descente.....	190
	Bande à plateau.....	191
	Tapis roulant portatif et autopropulsé.....	191
	Bande pliée.....	192
	Elévateur à godets.....	192
	Transporteur à vis sans fin.....	193



	Bande à grattoirs.....	195
	Transporteur dynamique.....	195
	Mouvement d'une petite masse.....	196
	Régime permanent.....	197
	Transporteur vibrant convoyeur oscillant.....	198
	Transporteur par courroie avec excenter.....	199
	Système bielle manivelle continue.....	200
	Système à treuil.....	200
	Téléphérique.....	201
	Transporteur hydraulique.....	201
	Pompe à béton ou en tandem.....	202
	Pompe à béton à entraînement hydraulique.....	203
	Transporteur pneumatique.....	204
	Transport horizontal.....	204
6.15	Utilisation d'engins pour la construction de chaussées en Haiti.....	206
	Tracé - Débroussaillage.....	206
	Terrassement.....	206
	Dynamitage.....	207
	Compactage.....	207
	Nivelage.....	208
	Chargement de matériaux.....	208

## CHAPITRE VII

### Les coûts

7.1	Types de coûts.....	209
7.1.1	Coûts de la main d'oeuvre.....	210
7.1.2	Coûts des matériaux.....	211
7.1.3	Coût de la machinerie et des équipements.....	211
7.1.4	Coûts des méthodes de construction.....	212
7.1.5	Coûts des difficultés spéciales d'exécution.....	212
7.1.6	Coût de frais généraux.....	213



## CHAPITRE VIII

## Le planning

8.1	Généralités.....	217
8.2	Méthodes de planning.....	218
8.2.1	Méthodes des Bars Charts ou Diagramme Gantt.....	218
	Limitations de la méthode des Bars Charts.....	222
8.2.2	La méthode CPM.....	222
	Inconvénient de la méthode.....	223
8.3	L'ordonnancement.....	224
8.3.3	Topologique.....	224
8.3.2	Méthode analytique.....	224
8.4	Le programme.....	225
8.5	Exemple de préparation d'un échéancier - Méthode du Chemin Critique.....	225
8.6	Méthode PERT.....	226
8.7	Exemple pratique de l'établissement d'un Chemin Critique.	227





## LISTE DES FIGURES

Figure		Page
II-1	Schémas montrant les longueurs à considérer dans la préparation de l'avant métré.....	11
III-1	Schéma montrant le profil pour le calcul du terrassement..	20
III-2	Schéma montrant le profil fictif pour le calcul du terrassement.....	22
III-3	Schéma d'un profil pour calculer le volume de terrassement pour la moyenne d'aire.....	25
III-4	Schéma d'un profil longitudinal pour le calcul du volume de terrassement.....	27
III-5	Profils en travers pour le calcul du volume de terrassement de l'exemple.....	28
III-6	Schéma de profils en travers pour le calcul du volume de terrassement.....	29
III-7	Schéma montrant l'épure du mouvement des terres.....	38
III-8	Schéma d'un terrassement où le déblais et le remblais se compensent.....	42
III-9	Schéma d'un terrassement montrant un lieu unique de dépôt.	42
III-10	Schéma d'un terrassement montrant un lieu unique de dépôt.	43
III-11	Schéma montrant l'exemple où le lieu unique de dépôt ou d'emprunt est donné en dehors du tracé.....	44
III-12	Schéma montrant l'épure de deux lieux de dépôt ou d'emprunt.....	45
III-13	Schéma montrant deux lieux de dépôt ou d'emprunt.....	47
III-14	Schéma montrant l'épure avec plusieurs lieux de dépôt.....	49
III-15	Schéma montrant l'épure dans laquelle on a baissé la ligne de répartition par rapport à la position montrée dans la figure III-14.....	49
III-16	Schéma montrant l'épure dans laquelle deux ou plusieurs lieux de dépôt ou d'emprunt sont donnés en dehors du tracé	50



III-17	Schéma montrant l'épure correspondant aux lieux de dépôt ou d'emprunt indéterminés.....	53
III-18	Schéma montrant l'épure sous l'hypothèse d'un lieu de dépôt sur la ligne à 100 m avant P1 et un lieu d'emprunt à 200 m après P9.....	54
IV-1	Plan et coupe du terrain pour le calcul du terrassement....	72
V-1	Triangle rectangle.....	73
V-2	Triangle quelconque (aigu).....	73
V-3	Triangle quelconque (obtus).....	73
V-4	Cercle inscrit.....	74
V-5	Rayon du cercle circonscrit.....	75
V-6	Circonférence - Arc de cercle.....	76
V-7	Triangle équilatéral.....	78
V-8	Quadrilatères.....	78
V-9	Trapèze.....	79
V-10	Quadrilatère quelconque.....	80
V-11	Triangle équilatéral inscrit.....	82
V-12	Schéma pour application de la formule de Simpson.....	83
V-13	Schéma pour application de la formule de Poncelet.....	84
V-14	Secteur circulaire.....	85
V-15	Zone circulaire ou couronne.....	86
V-16	Zone circulaire ou couronne.....	86
V-17	Portion de zone.....	87
V-18	Surface elliptique.....	87
V-19	Segment d'ellipse.....	88
V-20	Prisme droit.....	89
V-21	Prisme oblique.....	90



V-22	Tronc de prisme.....	90
V-23	Tronc de pyramide.....	91
V-24	Cylindre droit.....	92
V-25	Cylindre oblique.....	92
V-26	Cylindre tronqué.....	93
V-27	Cylindre tronqué.....	93
V-28	Tronc de cylindre.....	94
V-29	Tronc de cylindre.....	94
V-30	Tronc de cône.....	94
V-30 (bis)	Zone ou calotte sphérique.....	95
V-31	Ligne brisée régulière.....	96
V-32	Ligne courbe.....	96
V-33	Surface gauche.....	97
V-34	Prisme quelconque.....	99
V-35	Prisme quelconque.....	99
V-36	Tronc de prisme.....	99
V-36(bis)	Tronc de prisme.....	101
V-37	Pyramide.....	102
V-38	Tronc de pyramide.....	102
V-39	Polyèdre tronqué à bases parallèles.....	104
V-40	Cylindre.....	107
V-41	Tronc de cylindre.....	107
V-42	Onglet cylindrique.....	107
V-42(bis)	Cône droit circulaire.....	108
V-43	Secteur sphérique.....	110



V-44	Calotte sphérique ou tranche sphérique à une base.....	110
V-45	Tranche sphérique à deux bases.....	111
V-46	Onglet sphérique.....	111
V-47	Surface polygonale irrégulière pour engendré un volume.....	112
V-48	Surface polygonale régulière pour engendré un volume.....	112
V-49	Volume engendré par une surface quelconque.....	113
V-50	Volume compris entre quatre plans verticaux dont les bases sont des surfaces gauches.....	114
V-51	Volume compris entre quatre plans verticaux dont les bases sont parallèles.....	114
V-52	Centre de gravité d'une ligne brisée.....	117
V-52(bis)	Périmètre ou contour du triangle.....	117
V-53	Centre de gravité d'un arc de cercle.....	119
V-54	Centre de gravité d'un demi cercle.....	119
V-55	Centre de gravité d'un quart de cercle.....	119
V-56	Centre de gravité d'un segment parabolique.....	120
V-57	Centre de gravité de la surface d'un triangle.....	120
V-58	Centre de gravité d'un trapèze.....	121
V-59	Centre de gravité d'un quadrilatère quelconque.....	122
V-60	Centre de gravité d'un secteur de $90^{\circ}$ et de $270^{\circ}$ .....	123
V-61	Centre de gravité d'un segment de cercle.....	123
V-62	Centre de gravité d'un voussoir circulaire.....	124
V-63	Centre de gravité d'un segment ou calotte sphérique.....	126
V-64	Centre de gravité d'un secteur sphérique.....	126
V-65	Centre de gravité d'un tronc de prisme droit.....	128
V-66	Relations trigonométriques d'un triangle rectangle.....	130

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is essential for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. This includes both traditional manual methods and modern digital technologies, highlighting the benefits of automation and data integration.

3. The third part focuses on the challenges faced in data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to address these challenges and ensure that the data is reliable and protected.

4. The fourth part discusses the role of data in decision-making and strategic planning. It explains how data-driven insights can help organizations identify trends, opportunities, and risks, leading to more informed and effective decisions.

5. The fifth part covers the importance of data governance and compliance. It outlines the necessary policies and procedures to ensure that data is handled in a responsible and lawful manner, meeting regulatory requirements.

6. The sixth part addresses the future of data management, including emerging trends like artificial intelligence, big data, and cloud computing. It discusses how these technologies will shape the way organizations manage and utilize their data in the coming years.

7. The seventh part provides a summary of the key points discussed throughout the document. It reiterates the importance of a data-driven approach and the need for continuous improvement in data management practices.

8. The final part offers concluding remarks and a call to action, encouraging all stakeholders to embrace a data-centric mindset and work together to drive the organization's success through data.



V-67	Relations trigonométriques d'un triangle quelconque.....	132
V-67(bis)	Relations trigonométriques d'un quadrilatère quelconque...	135
VI-1	Schéma de principe d'un système rouleau vibrant.....	144
VI-2	Principe cinématique d'un système rouleau vibrant.....	145
VI-3	Schéma montrant l'analyse du déplacement d'un bull-dozer pour le transport de terre.....	161
VI-4	Transporteur à vis sans fin.....	163
VI-5	Schéma d'un vis sans fin utilisé pour transporter le béton	164
VI-6	Schéma de procédés spéciaux de mise en oeuvre sous-marin du béton.....	164
VI-7	Schéma du principe du contracteur.....	180
VI-8	Schéma d'un appareil pour l'application du béton-presse...	182
VI-9	Schéma d'un dispositif de transport de matériaux.....	183
VI-10	Schéma des grillages mobiles.....	183
VI-11	Schéma d'un véhicule dynamique système bielle-manivelle...	183
VI-12	Schéma d'un dispositif de transport tapis sans fin.....	184
VI-13	Distributeur gravitaire.....	188
VI-14	Distributeur pendulaire.....	188
VI-15	Répartiteur à cellules.....	189
VI-16	Echelle de descente.....	190
VI-17	Bande à plateau.....	191
VI-18	Tapis roulant portatif et autopulsé.....	191
VI-19	Bande pliée.....	192
VI-20	Elévateur à godets.....	192
VI-21	Transporteur à vis sans fin.....	193
VI-22	Détail d'un vis sans fin.....	194
VI-23	Bande à grattoirs.....	195

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

Additionally, it is noted that regular audits are essential to identify any discrepancies or errors. By conducting these checks frequently, potential issues can be resolved before they become significant problems.

The second section focuses on the role of technology in modern accounting. It highlights how software solutions can streamline processes, reduce manual errors, and provide real-time insights into financial performance.

However, it also cautions against over-reliance on technology. While tools are helpful, they cannot replace the critical thinking and judgment of a skilled professional.

The third part of the document addresses the ethical responsibilities of accountants. It stresses that honesty and integrity are the foundation of the profession. Accountants must always act in the best interests of their clients and the public.

Furthermore, it discusses the importance of confidentiality. Financial information is often sensitive, and accountants must take all necessary steps to protect it from unauthorized access.

The fourth section covers the latest trends in the industry. It mentions the growing influence of artificial intelligence and data analytics, which are transforming the way financial data is analyzed and reported.

There is also a mention of the increasing demand for sustainability reporting, as stakeholders become more concerned with a company's environmental and social impact.

In conclusion, the document reiterates that the accounting profession is dynamic and constantly evolving. Professionals must stay updated with the latest regulations, technologies, and ethical standards to remain effective in their roles.

Finally, it offers some advice for students and newcomers to the field, encouraging them to develop a strong foundation in both technical skills and professional ethics.

VI-24	Schéma du mouvement d'une petite masse.....	196
VI-25	Schéma d'un mouvement de descente.....	197
VI-26	Schéma d'un mouvement de montée.....	197
VI-27	Schéma du principe du transporteur vibrant.....	199
VI-28	Transporteur par courroie avec excenter.....	199
VI-29	Système bielle-manivelle continue.....	200
VI-30	Système à treuil.....	200
VI-31	Schéma d'un téléphérique.....	201
VI-32	Schéma d'une pompe à béton simple.....	202
VI-33	Schéma d'une pompe à béton à entraînement mécanique.....	202
VI-34	Schéma d'une pompe à entraînement hydraulique.....	203
VI-35	Schéma de principe d'un transporteur pneumatique.....	205



LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
VI-1	Valeurs expérimentales de $\eta$ (Degré d'utilisation).....	149
VI-2	Durée d'utilisation en heures pour certains types de machines.....	149
VI-3	Facteur de chargement L. pour les matériaux.....	162
VI-4	Tableau des puissances de compresseur en m <sup>3</sup> /min. pour chantier normal de béton projeté.....	166
VI-5	Valeurs de c pour les largeurs données et pour poids spécifique de 0,8 et 0,6.....	187
VI-6	Dimensions des caissons pour divers diamètres de granulats	189
VI-7	Valeurs de $\eta$ d'après l'angle de la pente.....	194
VI-8	Puissance technique utilisable (m <sup>3</sup> /h) selon le chemin de transport et la quantité de jeu.....	201
VI-9	Relations d'une pompe à béton à entraînement mécanique....	202
VI-10	Rendement volumétrique $\eta$ pour différentes largeurs du transport.....	204
VI-11	Puissance d'un transporteur pneumatique selon la distance.	204



AVANT METRE  
ET  
PREPARATION DE BUDGET

I INTRODUCTION

Dans la pratique tout est quantifiable, tout a un prix. Le salaire payé à un ouvrier effectuant les travaux de terrassement par exemple peut être calculé en fonction de la quantité de matériaux extraits, du site à excaver ou de la durée passée par l'ouvrier au chantier. Le temps dépensé par un ingénieur assurant la supervision d'un chantier de construction ou confectionnant une étude a un prix. Un certain consensus doit être posé au départ pour la détermination de ces coûts. Il en est de même du matériau livré sur un chantier de construction.

L'étude d'un projet comporte l'estimation de la dépense que nécessitera sa réalisation. Cette estimation se fait généralement à partir de deux éléments:

Les quantités des ouvrages élémentaires tels que: terrassement, maçonneries diverses, charpente,

Les prix unitaires de ces ouvrages:  $m^3$  de déblai ou remblai,  $m^3$  de maçonnerie, kilogramme d'acier.

Une fois ces deux éléments connus, la somme des coûts des ouvrages permettra d'avoir la dépense totale prévue pour l'exécution.

La détermination des quantités sera faite soit à partir de la quantité réalisée (Métré), soit à partir des plans ou dessins devant servir à la réalisation (Avant métré). Le métré et/ou l'avant métré est l'ensemble des opérations permettant l'évaluation des quantités d'ouvrages élémentaires que comporte la réalisation des ouvrages.





## CHAPITRE II

### II IMPORTANCE DE LA PREVISION ECONOMIQUE DES PROJETS

Avant toute réalisation d'une construction, qu'il s'agisse de travaux neufs ou de réhabilitation, de travaux permanents ou provisoires, une étude financière préalable est indispensable. Son but est de chiffrer le coût des travaux envisagés. Quelle que soit la nature du travail envisagé, l'estimation de sa valeur de réalisation est indispensable pour le client, et pour l'exécutant.

Le client peut être soit l'Etat, soit une collectivité, soit un particulier (individu). Le client quelqu'il soit n'engagera aucun travail sans connaître au préalable le coût à consentir, l'importance des crédits à demander leur échelonnement dans le temps. Cette estimation va lui permettre aussi de négocier avec une entreprise exécutante qui le plus souvent, aura des prétentions excessives. Ces estimations en pratique servent le plus souvent à la préparation des budgets.

Tout comme le client, l'exécutant à quelques appréhensions au sujet de la construction à ériger, c'est la raison pour laquelle il doit faire sa propre estimation qui va lui permettre de faire des propositions convenables et réaliste qui le placeront en bonne position pour être agréé. L'exécutant n'étant pas le plus souvent un philanthrope inclura dans ses offres, outre la rémunération complète de ses dépenses (fournitures, travaux, frais administratifs, etc.), un certain bénéfice qui, à titre d'exemple, peut aller jusqu'à 15%.

Les quantités de matériaux devant servir au calcul financier du Projet sont tirées des plans, dessins, épures, notes de calcul, etc.

Au moment de l'élaboration du détail estimatif, le client doit être suffisamment renseigné sur le coût de la construction qu'il entreprend pour savoir s'il est en mesure de faire face aux dépenses à consentir ou de quelle manière il le fera.

100  
100  
100

100  
100  
100

100  
100  
100

100  
100  
100

100  
100  
100

100  
100  
100

Les quantités n'ont pas besoin d'être élaborées. Le plus souvent les quantités sont repertoriées suivant des rubriques qu'on peut facilement grouper en fonction de l'utilisation ultérieure des coûts unitaires.

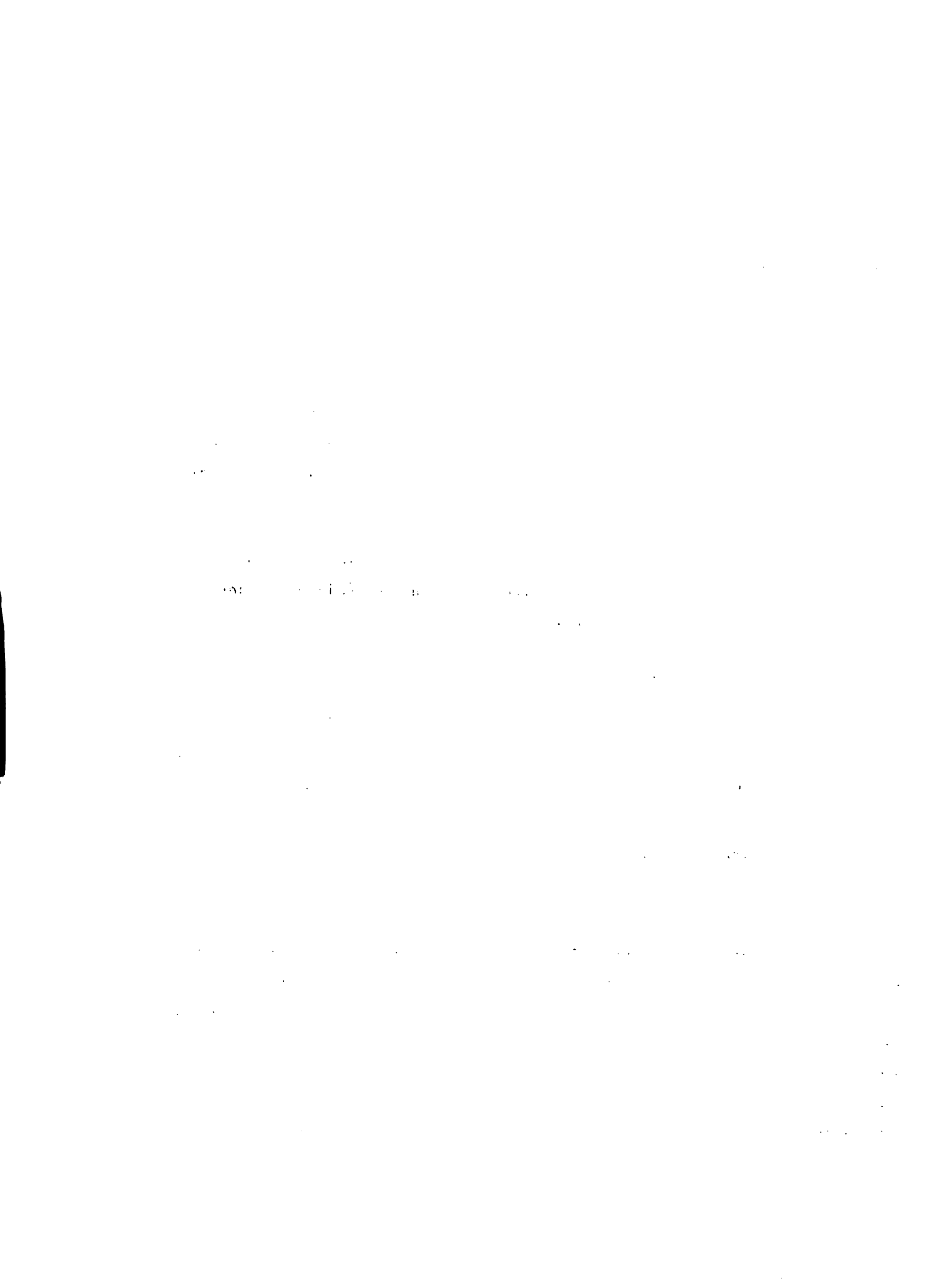
Quant à l'exécutant, dans son offre doit figurer les quantités et le détail ou le sous-détail des coûts, c'est à dire la décomposition des différents coûts des éléments rentrant dans la construction. Si le prix unitaire est faible, l'erreur introduite dans la détermination des coûts est négligeable, tandis que si le coût unitaire est élevé il faudra rechercher plus de précision dans la détermination des quantités.

Il peut être convenu entre le client et l'exécutant sur la base des prix unitaires le mode de traitement pour la réalisation des travaux. Ces traitements sont divers:

- Travail traité à la tâche
- Travail traité sur bordereau de prix unitaires avec rabais
- Travail traité sur bordereau de prix forfaitaires, sous réserve de variations dans les conditions économiques (inflation, hausse de prix)
- Travail traité à forfait.

## 2.1 Les matériaux

Les matériaux à mettre en oeuvre seront fonction de leurs destinations, c'est-à-dire de la réalisation. Dans le cas par exemple d'un projet d'irrigation ou de drainage on peut avoir à mettre en oeuvre que de la maçonnerie ou du béton armé. Alors que dans une construction d'habitat on peut se retrouver avec un ensemble hétéroclite de matériaux. Suivant la nature et l'importance des travaux à entreprendre les matériaux seront de provenance soit locale, soit externe. Dans la mesure du possi-



ble, pour réduire les coûts de réalisation, on cherchera le plus possible les matériaux locaux qui ne nécessitent pas de devises étrangères pour leur acquisition.

## 2.2 Maçonnerie

Les ouvrages une fois étudiées seront décomposés en éléments simples à évaluer par les formules usuelles. Les quantités une fois évaluées, il faudra déterminer la part exacte des différentes composantes des matériaux entrant dans sa conception.

Les maçonneries sont de compositions diverses par la nature des matériaux:

- Elles sont exécutées à l'aide de gros éléments: moellon, briques, parpaings liés par un mortier composé de sable, et de ciment dans des proportions déterminées ou dosage. La mise en oeuvre se fait manuellement, seul le mortier peut être exécuté mécaniquement.
- Les gros éléments peuvent avoir une taille plus réduites (caillou, pierre cassée) mélangés au mortier; ils peuvent être mis en place à l'intérieur des coffrages qui peuvent être enlevés après prise ou après l'obtention de la résistance cherchée pour la pièce.
- Les adobes, une sorte de maçonnerie de terre avec une très faible quantités de liant. Cette maçonnerie est mise en place dans des fouilles exécutées dans le sol ne nécessitant que très peu ou pas de coffrage.
- Maçonnerie en élévation s'exécutait au-dessus du sol servant à créer les cloisonnements.



### 2.2.1 Maçonnerie traditionnelle

La maçonnerie traditionnelle réunit par du mortier de ciment, des blocs, de matériaux naturels ou artificiels tels que:

- Les pierres qui sont dégrossies
- Les pierre taillées et polies sur toutes leurs surfaces
- Les briques et les perpaings préfabriqués

Le mortier est un mélange de sable de ciment et d'eau qui, en quelques heures, passe de l'état pateux à l'état solide et prend ensuite de la RESISTANCE en vieillissant.

Les matériaux sont disposés convenablement les uns par rapport aux autres. Ils constituent un APPAREILLAGE lorsqu'un travail de taille préalable a été effectué. Le mortier apparait seulement aux joints et de façon régulière sur une épaisseur d'autant plus faible que les pierres et moellons ont été bien aplanis. La maçonnerie ordinaire dite de blocage, utilise les blocs non appareillés. Le mortier très apparent se présente de façon irrégulière d'un joint à un autre.

Le béton ordinaire appelé aussi béton de masse est utilisé couramment dans les ouvrages de maçonnerie. Il est constitué par un mélange de gravier, de sable, de ciment et d'eau. Un squelette d'agrégats rend sa résistance finale supérieure à celle du mortier. Il peut être mis en place à l'intérieur de coffrage pouvant être enlevé après prise ou après obtention de la résistance recherchée.

Les travaux de maçonnerie traditionnelle sont généralement exécutés à la main. Les engins interviennent toutefois pour mécaniser la préparation des mortiers et des bétons ainsi que pour

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100



faciliter la manutention des matériaux lourds.

La maçonnerie est mise en oeuvre dans les réalisations suivantes:

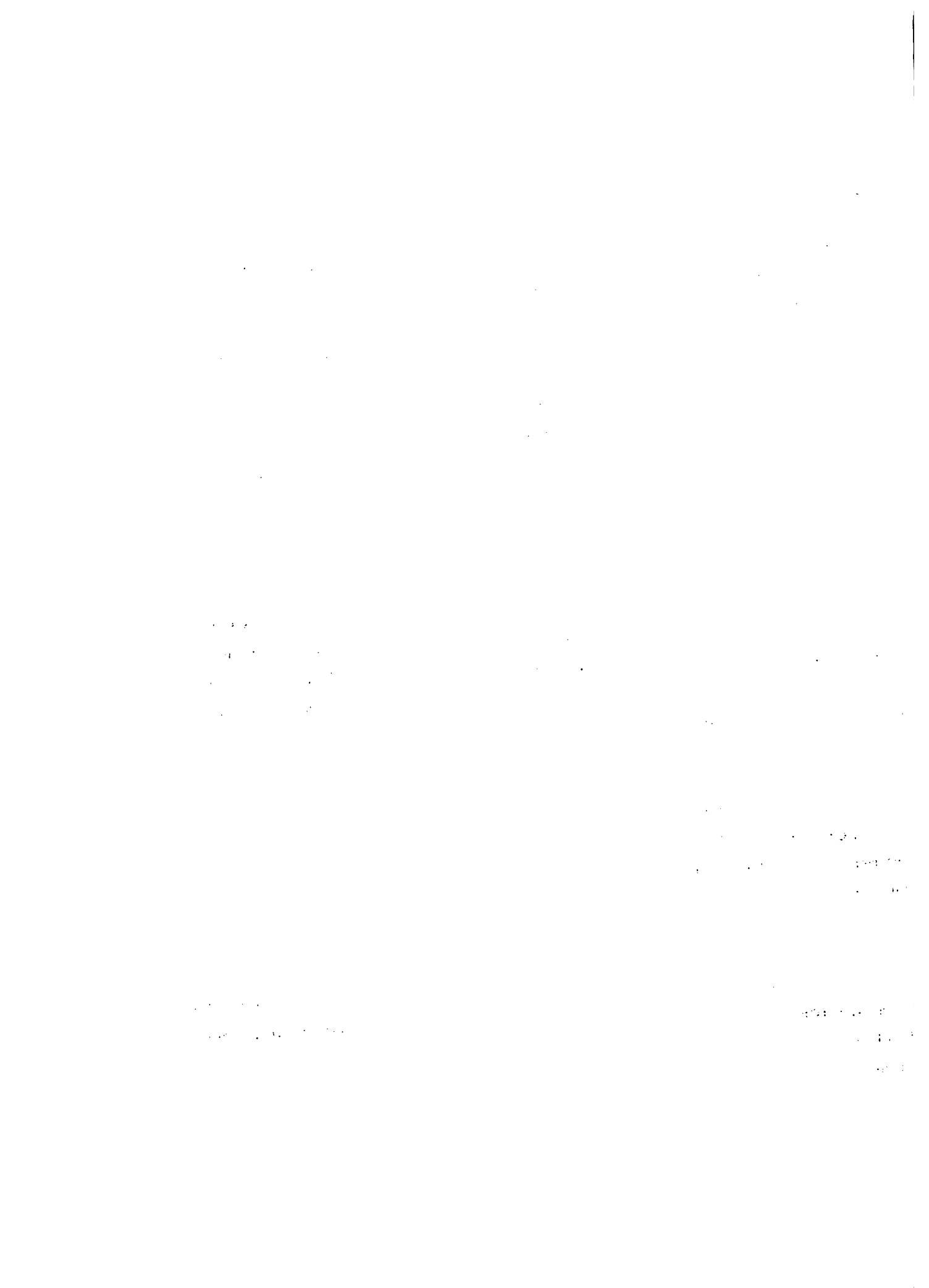
- Petits ouvrages pour l'écoulement des eaux tels que: /les dallots /les buses. Ces dernières sont des canalisations préfabriquées en béton (armé ou non) posées sur un radier de même composition ou sur un lit de sable, / /les ponceaux qui sont des ouvrages de petite ouverture (1,5m à 4,0m) avec une seule voûte. Les ponts peuvent comporter plusieurs voûtes. Chacune d'elles repose sur des appuis (plus intermédiaires, culées d'extrémité, etc) dont les murs verticaux sous la voûte constituent les pieds droits.

#### 2.2.2 Les murs et perrés, traditionnels

Les murs sont des écrans verticaux alors que les perrés sont des plans inclinés utilisés pour le revêtement des talus. Les uns et les autres sont formés par des appareillages de pierres plus ou moins travaillées sur les faces vues. Derrière se trouve la maçonnerie de blocage. Lorsque la hauteur est relativement importante supérieure à 2.50m, l'épaisseur du mur et de la queue diminue souvent du bas vers le haut.

Le couronnement des murs est réalisé avec une plinthe. Généralement les murs sont percés par des ouvertures: les barbacanes disposées régulièrement en lignes horizontales. Ces vides assurent le drainage des eaux pouvant éventuellement pénétrer dans les terres situées derrière la maçonnerie.

La maçonnerie est payée au m<sup>3</sup>. Les prix de la maçonnerie comprennent non seulement le coût de la main d'oeuvre et celui des matériaux: mortier, pierres et matériaux préfabriqués mais encore les transports, les échaffaudages, les déchets, l'arrosage et le lavage des surfaces de reprise,



les frais de réception des travaux et, en général, toutes les fournitures nécessaires à l'exécution;

Les barbacanes ne donnent lieu à aucun supplément de prix, le vide n'étant pas déduit de la maçonnerie. Les tailles de parements sont payées en m<sup>2</sup>. Ces prix ne s'appliquent qu'aux surfaces qui resteront visibles après achèvement de tous les travaux.

Pour tout ouvrage de maçonnerie, les quantités qui seront prises en considération comprennent :

- a) Terrassement, fouilles pour fondations;
- b) Maçonnerie en fondation;
- c) Maçonnerie en élévation;
- d) Maçonnerie d'appareillage;
- e) Maçonnerie ordinaire;
- f) Parements visibles, chapes et enduits.

### 2.3. Détermination des quantités

Pour la maçonnerie de gros éléments (moellons) un coefficient de foisonnement doit être pris en compte pour quantifier les volumes de moellon. Ce foisonnement est pris égal à 20 % du volume déterminé par le calcul et les besoins, et doit être ajouté à ce volume.

A titre d'exemple le volume de sable rentrant dans la composition du mortier peut être pris égal au volume des moellons. Le ciment peut être pris en considération à raison de 3.5 sacs par mètre cube de maçonnerie.

Pour la maçonnerie de parpaings (bloc), les dosages diffèrent en fonction du parpaing. Le tableau suivant nous donne une idée des dosages :

PARPAING	CIMENT (sacs)	SABLE m <sup>3</sup> /u
15 x 20 x 40	1/50	0.004
20 x 20 x 40	1/40	0.005
30 x 30 x 40	1/25	0.006



## 2.4 Le Béton

Le béton est un mélange dans des proportions déterminées du ciment, du sable, du gravier. Le béton peut être armé par l'insertion dans le mélange précédent des fils d'armature en acier laminé.

Le béton peut être classé d'après son dosage, par exemple un béton dosé à 350kg de ciment pour 800 litres de caillou ( $1\text{m}^3$  de béton) et 500 litres de sable ( $0.625\text{m}^3$  de béton).

Le béton peut être classé suivant la nature du liant: ciment Portland Artificiel ordinaire, ciment à prise rapide; chaux hydraulique.

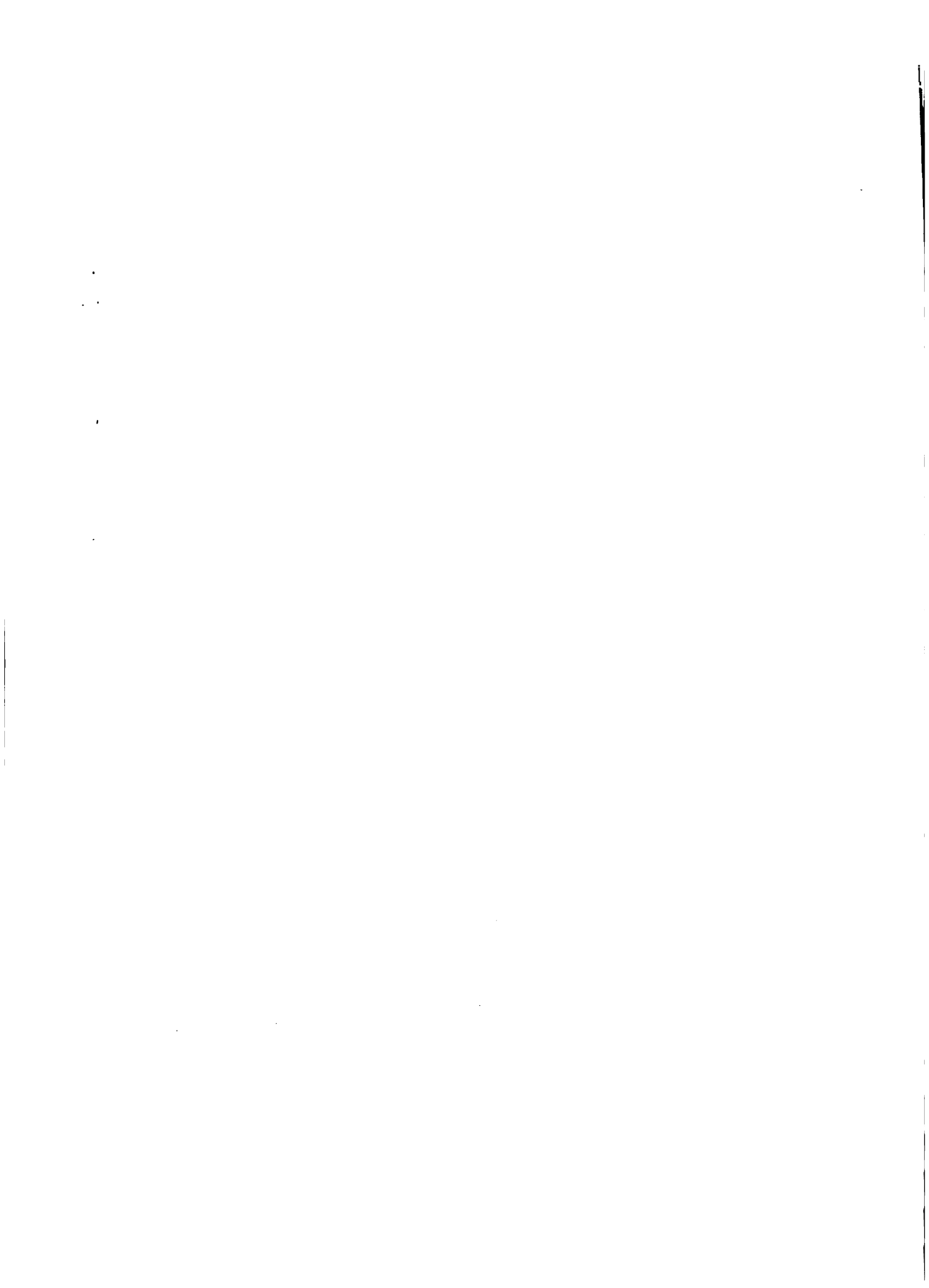
Le béton est généralement constitué par un mélange de gravillon de rivière (diamètre des cailloux compris entre 8 et 20mm), de sable de rivière ou d'ailleurs (calcaire) de diamètre des grains compris entre 1 et 5mm et de liant (ciment ou chaux) de résistance pouvant atteindre  $250$  à  $350\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Généralement on a pour un mètre cube de béton:

$0.800\text{m}^3$  de gravillon ou 800 litres  
 $0.400\text{m}^3$  de sable ou 400 litres  
 250 à 400kg de ciment

En Haiti les sacs de ciment pèsent en général 42.5kg et le poids des matériaux étant quelconque on a l'habitude de préconiser pour un dosage de  $350\text{kg}/\text{cm}^2$  de béton:

$1\text{m}^3$  de gravillon  
 $0.625\text{m}^3$  de sable  
 8 sacs de ciment



#### 2.4.1 Les structures exécutées à l'aide du béton armé sont:

- Les piliers et les pieux qui sont des pièces comprimées où les armatures longitudinales sont plus importantes que celles des transversales. Ces dernières forment des hélices, des cadres ou des épingles.
- Les semelles de fondation coulées à même le sol, les armatures étant constituées d'un quadrillage d'acier.
- Les murs de soutènement constitués d'un écran vertical ou voile qui repose sur une large semelle terminée à l'arrière par une bêche d'arrêt pénétrant dans le sol.
- Les ponts et les dalles qui sont des structures fléchies. Dans le cas d'appuis simples les parties inférieures sont tendues et reçoivent les barres principales. Des barres sont également disposées dans la partie supérieure des poutres de faible hauteur ou encastrées. Les barres supérieures et inférieures sont reliées par des étriers, des épingles qui d'une part facilitent la mise en place du ferailage et d'autre part résistent aux efforts tranchants.

Les armatures sont constituées par des barres d'acier qui peuvent être des ronds lisses ou des ronds crénelés à haute adhérence.

Les prix de ces différentes armatures sont très variables, l'armature se vendant au poids, l'avant métré devra donner le poids des différentes catégories.

Le béton étant obtenu par moulage, il est donc nécessaire de réaliser au préalable cette moule ou coffrage réalisé en bois,







1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions.

2. It then goes on to describe the various methods used to collect and analyze data.

3. The next section details the results of the study, including the identification of key trends and patterns.

4. Finally, the document concludes with a series of recommendations for future research and practice.

5. The authors also provide a list of references and a glossary of terms used throughout the document.

6. The document is intended for a general audience and is available in both print and digital formats.

7. For more information, please contact the author at [email address] or visit the project website at [website URL].

contreplaqué, tôle ou autre. L'écartement minimal toléré est de 2mm et la dénivelée la plus grande admise au plan d'un parement entre deux sciages ou panneaux côte à côte est de 3mm.

En général tous les ouvrages réalisés en maçonnerie peuvent être en béton armé, mais à la différence de la maçonnerie, le béton permet d'obtenir de très grandes portées et des formes diverses.

Il y a lieu de considérer dans l'avant métré du béton trois (3) éléments essentiels: béton ( $m^3$ ), Acier (poids), Coffrage (mètre linéaire ou mètre carré dépendant de l'ouvrage). On peut arriver à produire un coût global du béton ( $m^3$  de béton) armature et coffrage compris. A ce moment il faudra connaître le pourcentage des armatures et coffrage entrant dans la composition du béton mis en place.

Dans une estimation prévisionnelle rapide et approximative, les prix sont calculés en fonction du cubage de béton mis en place en y incluant armatures et coffrages. L'ordre de grandeur du poids de l'acier est de 150 à 200kg par  $m^3$  de béton pour les pièces principales (exemple poutres) et 120 à 180kg par  $m^3$  de béton pour les hourdis et les semelles. L'estimation précise doit retenir les éléments suivants:

Volume du béton mis en place, en  $m^3$

Surface du coffrage en  $m^2$

Quantité d'acier en kg.

En général il est recommandé de vibrer le béton à l'aide d'une aiguille vibrante, ce pour éviter les vides et la ségrégation résultant de la mis en place ou de la hauteur de chute du béton à l'intérieur du coffrage.

1950

... ..

... ..

... ..

... ..

## 2.5 Ouvrages en bois

Ce sont des ouvrages peu utilisés en hydraulique. Parfois on les rencontre en irrigation utilisés comme vanne ou porte, mis en place dans une rainure lui permettant de bouger à volonté, laissant passer un certain débit. Le bois peut être utilisé pour la réalisation d'ouvrages provisoires principalement pour les échafaudages, les aqueducs (courtes distances).

Les ouvrages en bois sont constitués de pièces assemblées. L'assemblage se faisant généralement par boulons, par pointes (clous). Le bois peut être brut (poteaux) ou scié (pour assemblage). Les bois de sciage ont des dimensions normalisées. Dans le commerce on trouve toute une gamme de bois de dimension variées. A titre d'exemple: 2 X 4 X 10, des planches plus larges: 1 X 8 X 10.

En Haïti on continue à utiliser une unité batarde quant à l'achat du bois, c'est le BMF. Le calcul du bois s'effectue de cette manière. On multiplie les dimensions courantes du bois que l'on divise par 12. Il est à remarquer dans les bois donnés en exemple les deux premières dimensions sont exprimés en pouce (po) et le dernier en pied (pi). Pour les petits ouvrages la main-d'oeuvre est forfaitaire.

Pour les échafaudages le plus souvent les bois mis en oeuvre provisoirement sont loués. Il y a lieu de bien déterminer les quantités dans les avants-métrés pour mieux déterminer le coût de location et le coût de mis en oeuvre. Les durées de location doivent être comptés dans l'avant-métré.

Etant donné que l'ingénieur ou l'administrateur aura à exécuter des ouvrages d'assainissement (drainage), il y a lieu de considérer l'avant-métré de ces ouvrages. Ces derniers consistent en des canalisations souterraines, généralement desquelles on devra déterminer un linéaire.

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

Un mètre linéaire d'ouvrage est décomposé comme suit:

- Fourniture d'un mètre de conduite
- Terrassement pour établir la tranchée où doit être posée la conduite et le remblaiement
- La pose de la conduite avec réalisation de joints s'il y a lieu

Les prix de fourniture, de pose avec façonnage de joints sont invariables pour une canalisation de diamètre et de nature déterminés. Par contre le coût des terrassements variera pour une canalisation de section déterminée, avec la profondeur de pose. On établira pour cette profondeur une moyenne ou une moyenne pondérée.

Mais ces conduites comportent le plus souvent des accessoires tels que: regard de visite, avaloirs, gueule de loup, canalisation de branchement (syphon, raccordement).

Ces ouvrages sont traités soit à la pièce, soit au mètre linéaire de hauteur pour les cheminés de regard. Les coûts peuvent être divisés en deux parties.

Les premiers mètres de cheminée comprenant le radier, le raccordement des conduites, la dalle de couverture, le tampon (grille) et d'un mètre de hauteur de cheminée (quantité).

Le prix du mètre suivant de cheminée, où le nombre sera égal à la longueur totale de cheminée moins le premier mètre déjà pris en compte (longueur). Dans ce deuxième mètre on inclura les coûts des terrassements et de la maçonnerie de la cheminée.

400



## CHAPITRE III

### METRE DES TERRASSEMENTS

#### 3.1. Les terrassements

- Les terrassements consistent à déplacer des matériaux naturels, meubles ou compacts qui sont:

- a) extraits formant alors de déblais
- b) transportés et éventuellement stockés
- c) réutilisés pour édifier des remblais

L'importance des terrassements ne dépend pas de la nature des matériaux mais de leurs volumes. Ils sont:

- tantôt faibles tels que ceux des fouilles des ouvrages d'art, des tranchées courtes et peu profondes.
- tantôt élevés pour les tracés de routes, d'autoroutes, de pistes, d'aéroport, des fouilles spéciales pour les constructions très hautes, les tunnels, les dragages fluviaux ou maritimes.

La multitude d'ouvriers qui caractérisait autrefois les terrassements importants a cédé la place aux ateliers d'engins. Cette mécanisation des méthodes d'extraction ou d'excavation est réglée suivant un rythme qui varie en fonction:

- de la consistance des travaux: déblais ou remblai à l'air libre, en tranchée, en souterrain ou sous l'eau
- des possibilités d'accès: présence ou absence de rampe menant au lieu de fouille
- de la nature des sols: terrains meubles pouvant être enlevés directement par les engins de terrassement ou terrains

1000

- rocheux nécessitant des interventions spéciales d'artificiers
- du trajet de transport des matériaux

Lors des terrassements les volumes varient. Le matériaux extrait s'aère et augmente de volume. En fonction de sa nature il foisonne plus ou moins, c'est la quantité foisonnée qui est manipulée par les pelles mécaniques (GOGETS) attaquant le terrain et que transportent les bennes (loaders) des engins.

Lors de sa réutilisation pour constituer un remblai, le matériau est compacté et son volume diminue. Le volume final correspond pratiquement à celui en place avant l'excavation.

Les matériaux naturels retiennent plus ou moins l'eau. Le foisonnement augmente la perméabilité, car l'élément liquide remplit les vides. Il faut donc:

- fermer le plus tôt possible un fond de terrassement par compactage pour empêcher l'eau de pluie de pénétrer dans le sol.
- prévoir toujours une pente même faible sur un fond de terrassement pour que l'écoulement puisse se faire, par gravité, dans des fossés ou vers des points bas.
- protéger les surfaces en forte pente (talus) des ravines provenant du ruissellement rapide en disposant, en crête, des fossés ou des bourrelets de terre et en aménageant des gradins dans les talus de grandes hauteurs.

### 3.2. Calcul du volume des terrassements

La quantité de matériaux transportés étaient dans le passé mesurées en comptant le nombre de brouettes ou de charrettes, devenues des camions ou des bennes. Ce procédé empirique, même corrigé pour prendre en



considération l'effet du foisonnement, ne fournit pas une juste évaluation des volumes de terrassements. La modernisation des moyens s'applique également aux méthodes: le calcul à partir de plans ou de relevés sur le terrain donne des résultats beaucoup plus exacts. Quatre méthodes, plus ou moins précises ou faciles à mettre en oeuvre servent à déterminer les volumes de terrassements en utilisant: les profils en travers, les profils en long, les courbes de niveau et les figures géométriques.

### 3. Méthode des profils en travers

1. Le dessinateur trace à une échelle suffisante des profils figurant d'une part les lignes du Terrain Naturel (T.N.) qui se trouve en place avec le terrassement et d'autre part celles à réaliser ou obtenues après l'exécution soit des déblais soit des remblais. Chaque profil respecte une direction déterminée.

- Pour le profil en long c'est l'axe principal du Projet
- Pour un profil en travers c'est l'orientation perpendiculaire à l'axe.

Les lignes du Projet et du Terrain Naturel permettent de calculer la surface de terrassement au profil en utilisant systématiquement le profil en travers type.

2. Le profil en Travers Type donne:

- La largeur de la plate-forme
- La pente transversale du fond de forme
- Les fossés à réaliser en pied de plate-forme
- La pente de chacun des talus raccordant la plate-forme au terrain naturel, qui dépend de la nature du sol et de la composition du matériau de remblai. Elle est généralement donnée sous la forme  $L_t/h$  avec:



$L_t$  largeur au pied de talus

$h$  la hauteur correspondante

$L_t$  et  $h$  sont des nombres entiers et premiers entre eux

3. Le profil type appliqué à chaque profil en travers permet ainsi de déterminer:
  - Les largeurs concernées par les travaux de terrassement (décapage de la terre végétale, déblais et remblais),
  - Les hauteurs de déblais, ou de remblais, entre les niveaux du terrain naturel et du projet,
  - Les surfaces correspondantes (produits des hauteurs par les largeurs).
4. Les valeurs ci-dessus déterminées sont reportées dans un tableau où figurent également la distance entre les profils en travers consécutifs et celles à appliquer pour le profils adjacents.

Le métreur calculera, pour le profil considéré et sur sa distance d'application la surface de terre végétale, ainsi que les volumes de déblais et de remblais.

L'addition des résultats de chacun des profils en travers donne les quantités totales du projet.

Cette méthode, retenant pour chaque profil une distance moyenne d'application, est assez approximative mais les opérations systématiques qu'elle implique sont facile à comprendre et à vérifier.

#### 3.4. Méthode du Profil en Long

Ce procédé, plus rapide, mais encore moins précis utilisé pour un





profil en travers d'une surface équivalente délimitée par une droite compensatrice tracée à la distance verticale  $h$  de la ligne du projet:  $h$  est lu directement sur le profil en long.

Avec pour le rapport  $L_t/h$  définissant la pente du talus

- La valeur  $q$  dans le cas d'un remblai
- ou la valeur  $q'$  dans le cas d'un déblai
- $L_t$  représentant la petite base du trapèze de déblai ou de remblai.

La surface en remblai est  $S = Lh + qh^2$

La surface en déblai est  $S' = Lh + q'h^2$

### 3.5. Méthode utilisant les courbes de niveau

Pour les terrassements non filiformes: butte, carrière, déblai ou remblai sur une emprise de forme quelconque mais fermée, un procédé intéressant consiste à considérer des surfaces horizontales et équidistantes (courbes de niveau) en vue d'appliquer les formules de SIMPSON ou de PONCELET.

### 3.6. Méthode des figures géométriques

Les terrassements sont délimités par des plans qui déterminent des figures géométriques: prisme, pyramide, tronc de prisme quadrangulaire dont les volumes sont facilement calculables. Cette manière de procéder, qui se révèle parfois la plus difficile, donne les résultats les plus exacts.



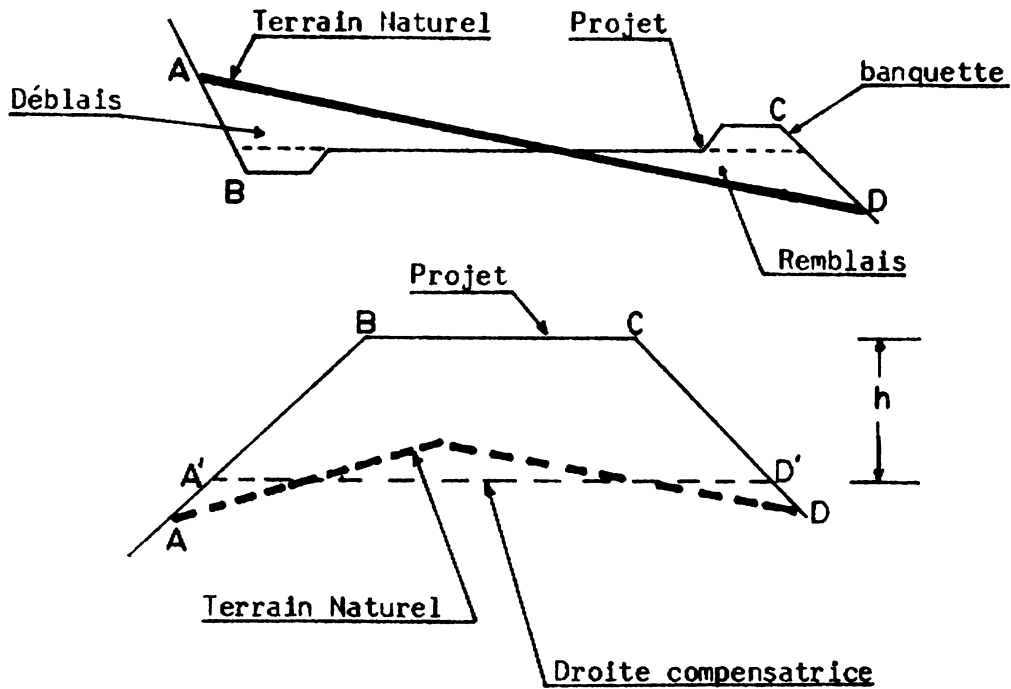


Figure III-1 : Schéma montrant le profil pour le calcul du terrassement.

## 7. Marche à suivre Projet de Terrassement

Dans l'étude des terrassements il faut disposer:

D'un fond de plan établi à partir d'un levé topographique récent à grande échelle, (1/1000, 1/500, 1/200), selon la précision souhaitée. Ce fond topographique servira à tracer les axes des ouvrages, son emprise et celle de la plate-forme. Le dessin fera apparaître les profils du terrain correspondant aux dimensions principales. La plate-forme du terrassement à réaliser est calée sur ces profils, compte tenu des exigences techniques propres au projet.

Dans le cas d'un tracé routier où les contraintes du profil en long sont principalement:



- Les pentes
- Les rayons de raccordement des pentes

Il convient d'équilibrer les quantités de déblais et de remblais en utilisant les premiers (déblais) pour réaliser les seconds (remblais) sans avoir d'excédent ni de manque.

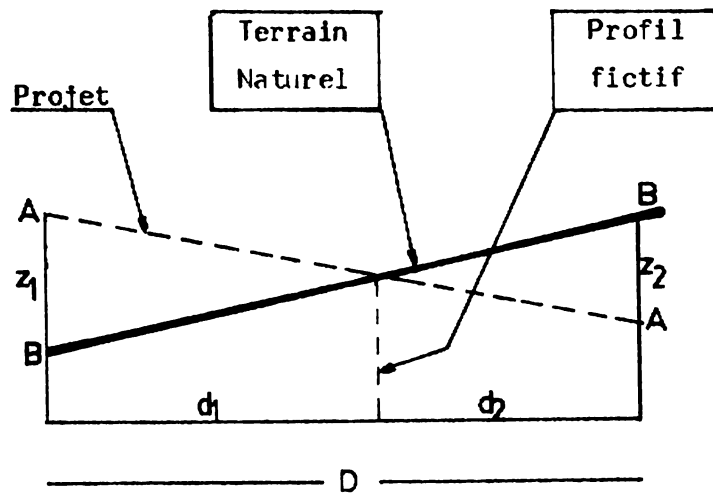
Le transport de terre le plus économique est recherché en tenant compte des conditions particulières d'exécution. A cette fin une épure permet de déterminer graphiquement le mouvement optimal d'un déblai extrait d'un profil à un remblai prévu. Une réutilisation directe du déblai en remblai est évidente dans une même zone.

Le profil fictif qui correspond sur le profil en long au point d'intersection de la ligne du projet avec la ligne du terrain naturel est un cas particulier.

- Si D est la distance de deux profils P1 et P2 en cadrant le profil fictif
- Si  $z_1$  et  $z_2$  sont les différences de niveau respectives sur les profils P1 et P2 entre la ligne du projet et le terrain naturel
- Les distances  $d_1$  et  $d_2$  du profil fictif à P1 et P2 sont respectivement.

$$d_1 = D \frac{z_1}{z_1 + z_2} \quad ; \quad d_2 = D \frac{z_2}{z_1 + z_2}$$





$$\frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

$$d_1 + d_2 = D$$

Figure III-2 : Schéma montrant le profil fictif pour le calcul du terrassement.

### 3.8. Ordre logique d'exécution. Facturation des travaux

L'ordre logique d'exécution des travaux indique du même coup leur ordre de rémunération (paiement des factures). Par exemple, prenons l'ensemble des travaux suivants:

- Nettoyage et préparation du terrain à payer  $z_{H1} \text{ m}^2$ . Ce coût comprendra l'évacuation ou l'incinération des déchets.
- Décapage de la terre végétale au  $\text{m}^2$  y compris la mise en dépôt en un lieu déterminé.
- Les déblais en terrain meuble au  $\text{m}^3$  en place y compris chargement, transport sur une première distance et déchargement.
- Plus value sur le prix précédent pour terrain dur ou rocheux nécessitant une préparation spéciale (scarification ou défonçage)





- Plus value pour sol rocheux nécessitant l'emploi d'explosifs et comprenant les forages, la mise en place des charges et le tir.
- Plus value au premier prix de "déblais - transport et déchargement pour transport au delà de la première distance et par "longueurs kilométriques" ou définir
- Prix au m<sup>3</sup> pour la terre compactée dans son site définitif
- Prix au m<sup>3</sup> pour la reprise de la terre entreposée provisoirement, transportée et de nouveau déchargée.
- Prix au m<sup>2</sup> de surface revêtue avec la terre végétale y compris, reprise sur dépôt et transport.

100  
100

100  
100

100  
100

100  
100

### 3.9. Le coût du terrassement

Pour des travaux nécessitant des terrassements: excavation (déblai) ou apport de matériaux pour atteindre le niveau projeté du sol où l'ouvrage doit être érigé (remblai) il y a lieu de connaître avec une précision suffisante les quantités à mettre en oeuvre.

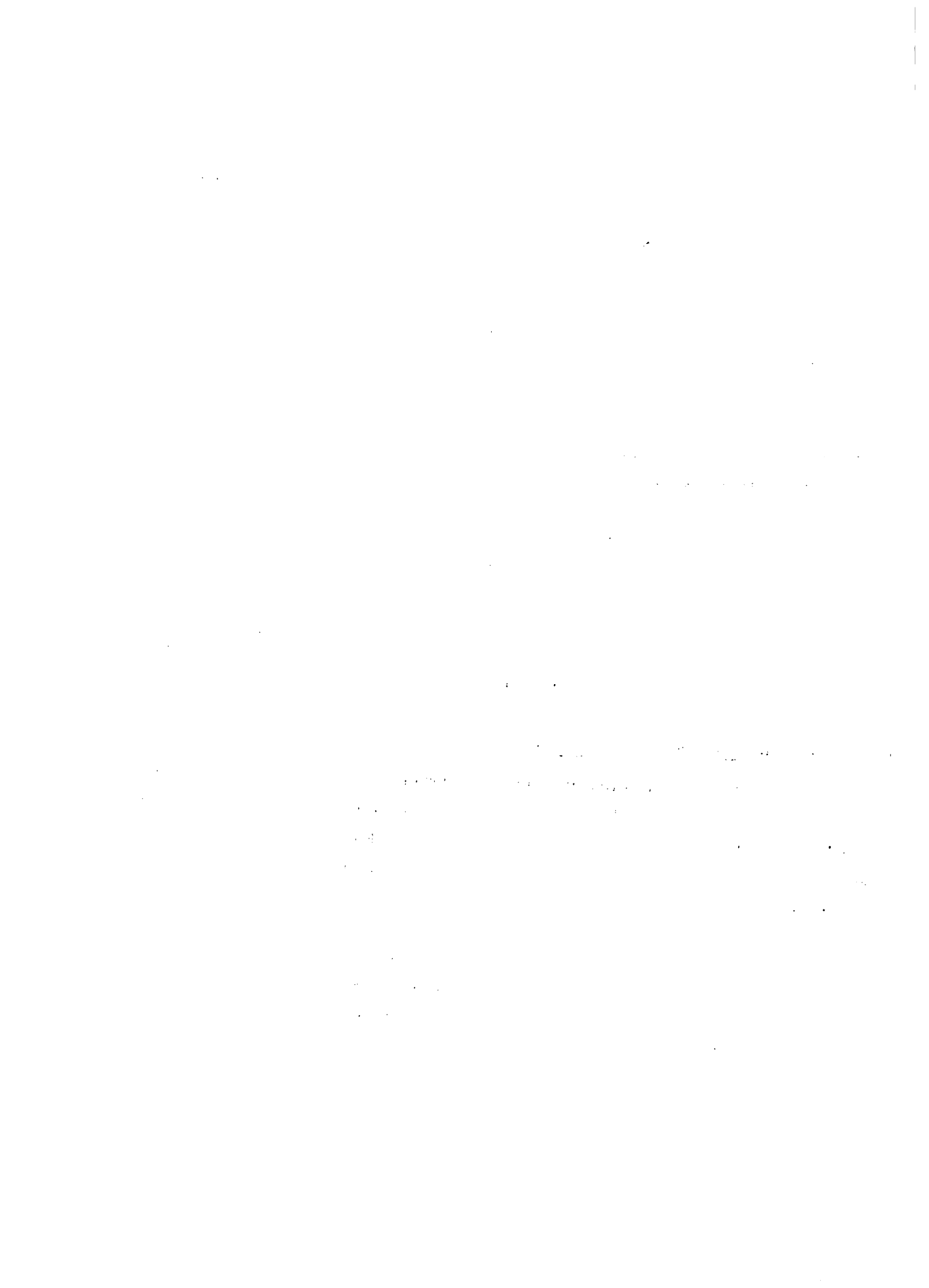
Les terrassements interviennent invariablement dans les travaux de construction de canaux d'irrigation, soit entièrement en excavation (canaux creusés dans le sol), soit en remblai (canaux érigés à flanc de coteau) dans les travaux d'assainissement en général, dans la construction d'immeubles (fondations et sous-sol, etc.) dans les travaux d'érection de réservoir enterré ou semi-enterré, etc.

Ces quantités enlevées ou apportées doivent être évacuées. D'où un coût de transport. Le dépôt ou la zone d'emprunt doit être déterminé avec exactitude et on a intérêt à les prévoir proches du chantier de façon à minimiser le coût. Les pages qui suivent tirées de "Métre de Travaux Publics" vous donneront une idée de la cubature des terrassements et aussi d'une méthode de détermination des distances de transport.

### 3.10. Cubature ou métre des terrassements

C'est l'évaluation des cubes de déblais et de remblais que comporte un projet. Il existe 3 méthodes pour calculer ces volumes: METHODE EXACTE, METHODE DE L'AIRE MOYENNE, METHODE DE LA MOYENNE DES AIRES. La dernière seule est utilisée dans la pratique, c'est la seule dont nous nous occuperons.

Elle consiste dans l'évaluation approximative de cube des terres compris entre deux profils, en faisant le produit de la moyenne des surfaces de chacun d'eux par la longueur de l'entreprofil.



Soit à évaluer le volume  $V$  compris entre le terrain et la ligne du projet (Fig. III-3), du P2 au P4

On aura:

$$V = \frac{S_2 + S_3}{2} l_3 + \frac{S_3 + S_4}{2} l_4 \dots$$

Formule que l'on peut écrire:

$$V = \frac{\dots S_2}{2} l_3 + \frac{S_3}{2} (l_3 + l_4) + \frac{S_4 l_4}{2} \dots$$

C'est sous cette dernière forme qu'elle est employée.

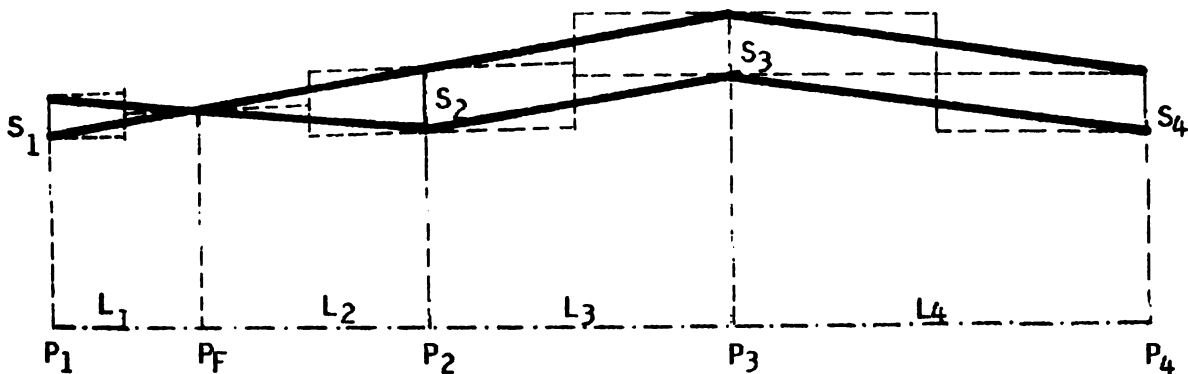


Figure III-3 : Schéma d'un profil pour calculer le volume de terrassement par la moyenne d'aire.



Les profils fictifs sont considérés comme des profils de surface nulle et si on estime le cube des terres entre  $P_1$  et  $P_4$ , on aura:

$$V = \frac{S_1}{2} l_1 + 0\left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right) + S_2\left(\frac{l_2 + l_3}{2}\right) + S_3\left(\frac{l_3 + l_4}{2}\right) + S_4\frac{l_4}{2}$$

### 3. 11 Exemple de cubature du terrassement





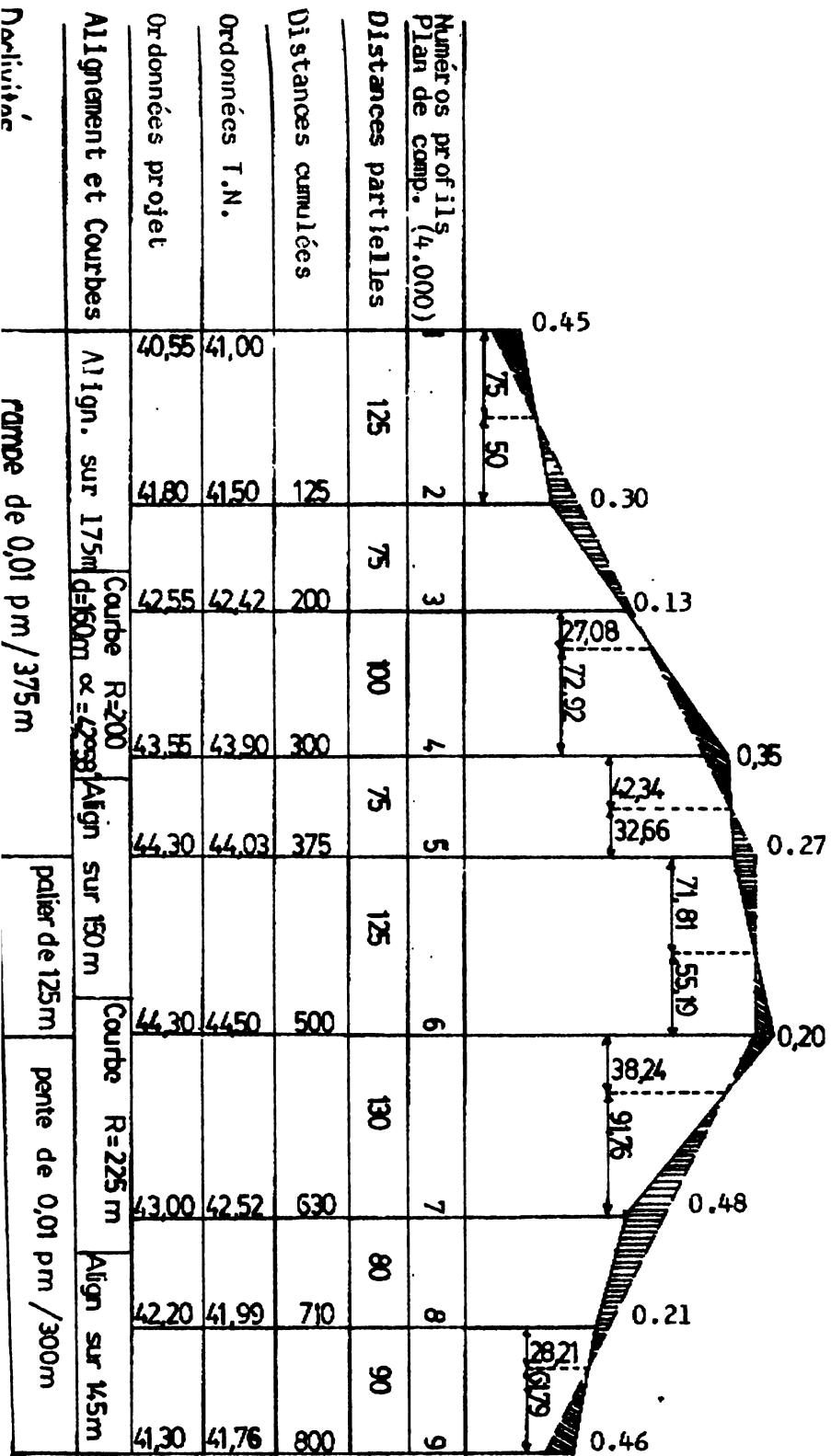
PROFIL EN LONG

Long. : 0,0002/m

Echelle

Haut : 0,01/m

Figure III-4 : Schéma d'un profil pour le calcul du volume de terrassement (Profil longitudinal)



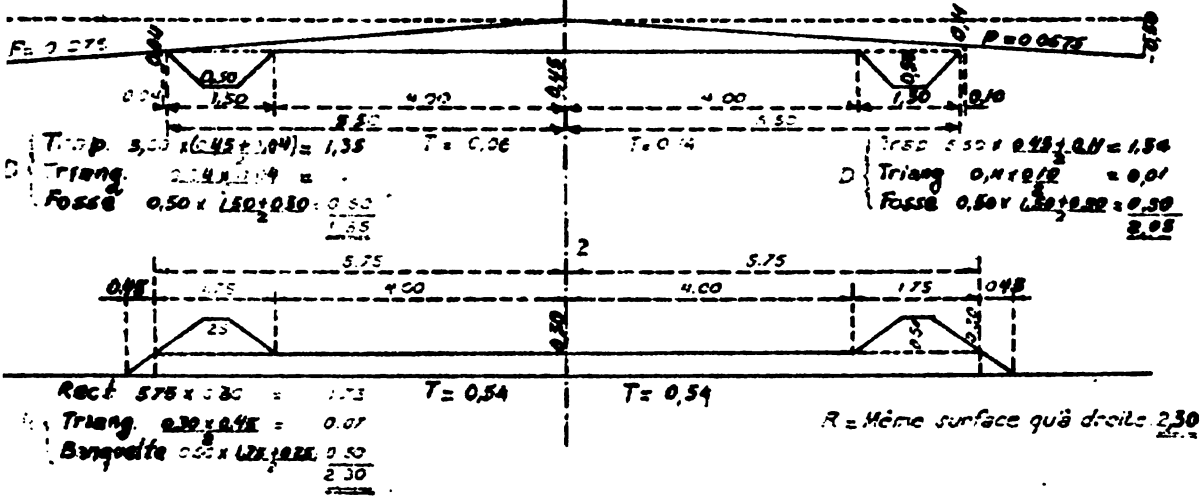


# PROFILS EN TRAVERS

nts : Les cotes du terrain sont données par rapport au niveau du pivot d'axe ; elles sont cotées du signe + au-dessus - selon qu'elles sont au dessus ou au dessous de ce niveau  
 La longueur des foies ne comprend pas celle des talus de fossé

Droite : 2<sup>m</sup>00

Gauche : 8<sup>m</sup>00

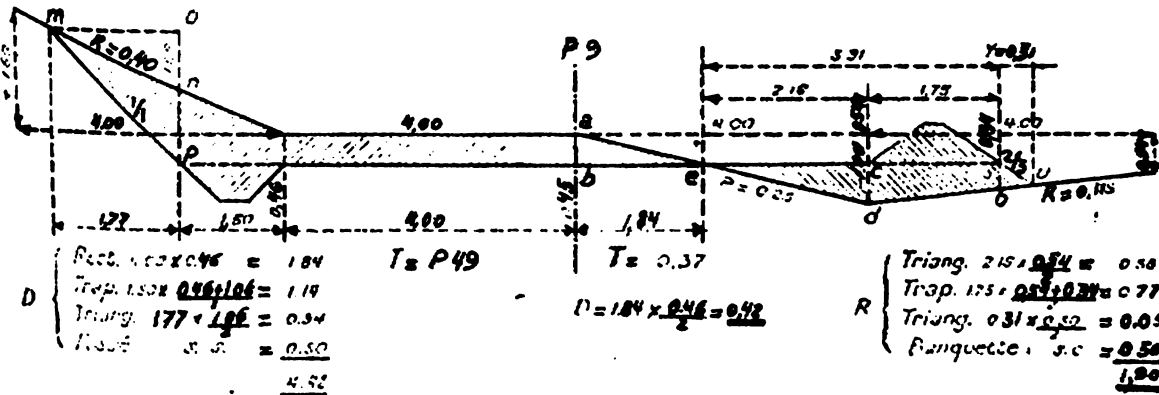
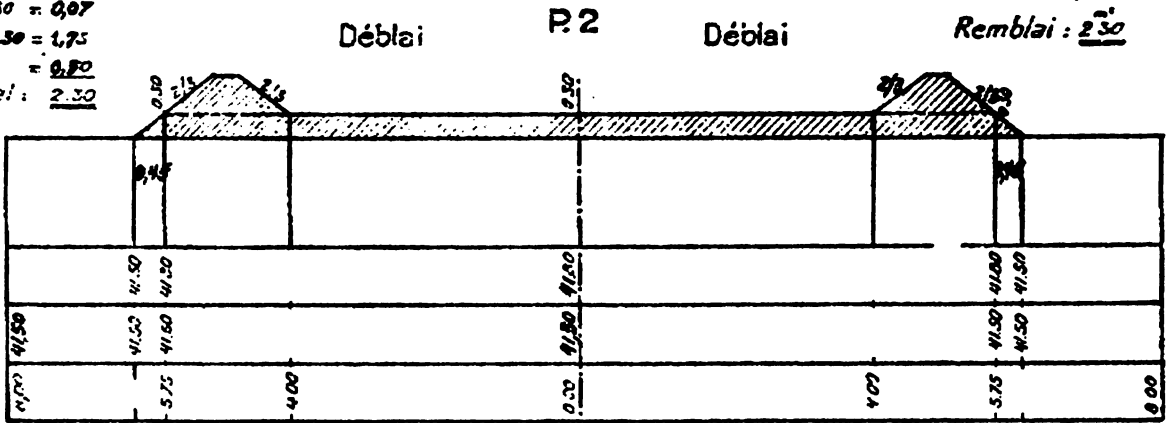


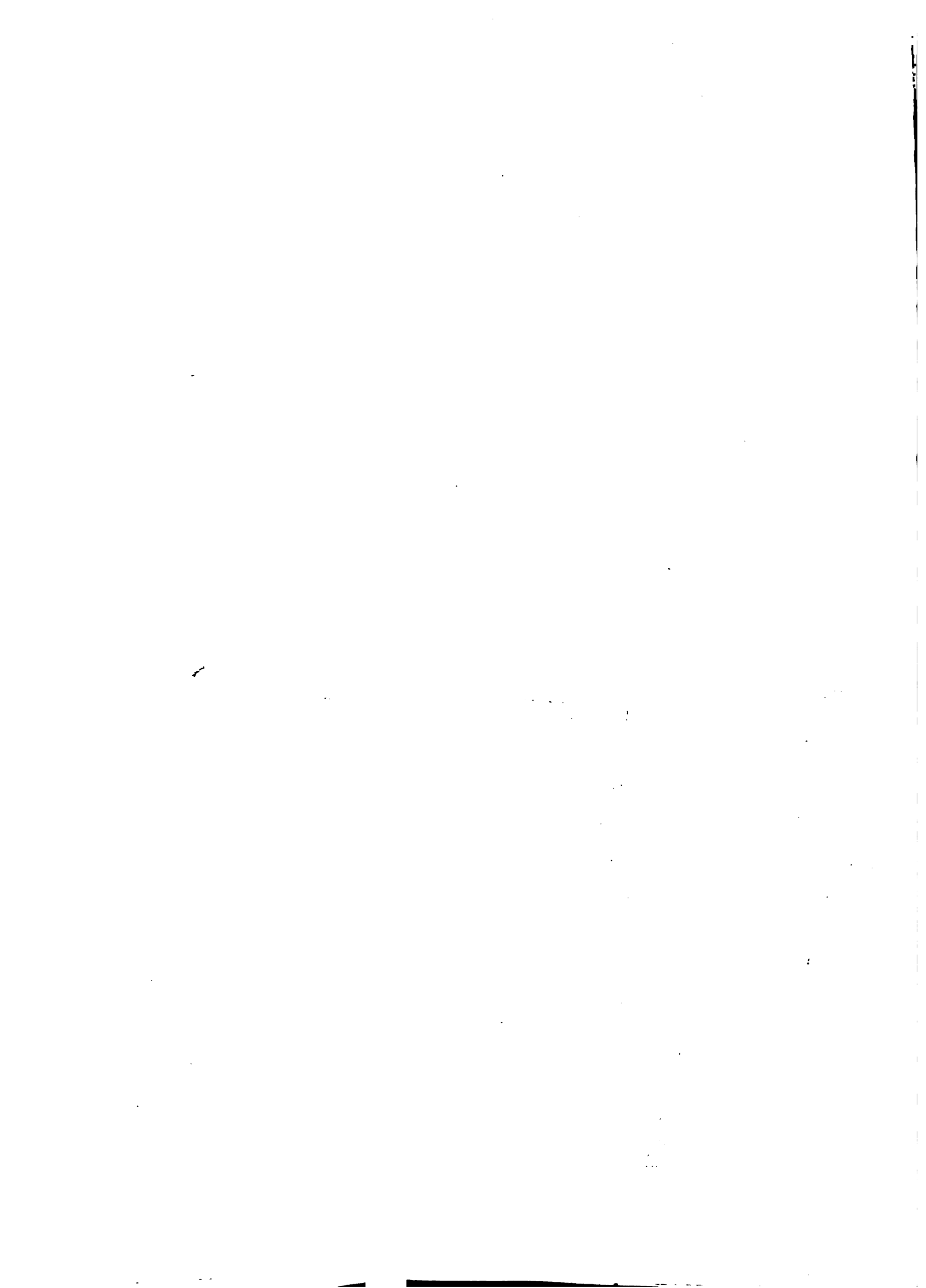
1. Les profils en travers sont supposés rabattus vers l'origine, soit côté droit de la route correspondant au côté gauche de route pour un observateur parcourant la voie à partir de l'origine ; nous avons fait remarquer que l'on tendait à abandonner cette méthode assez illogique.

Fig. III-5 : Profils en travers pour le calcul du volume de terrassement de l'exemple.

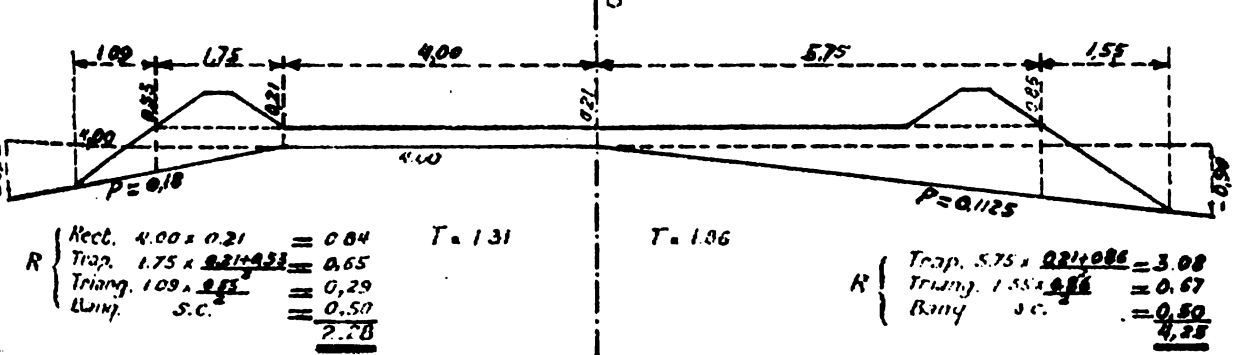
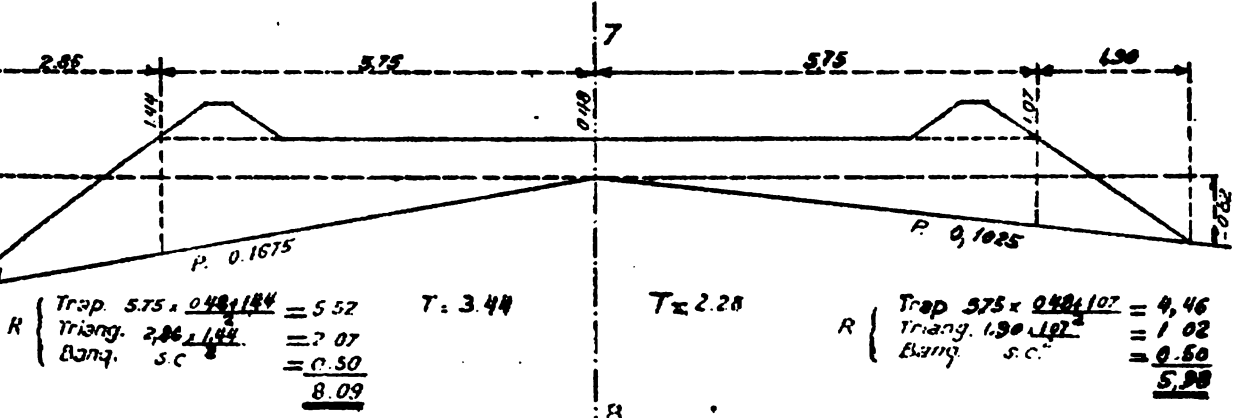
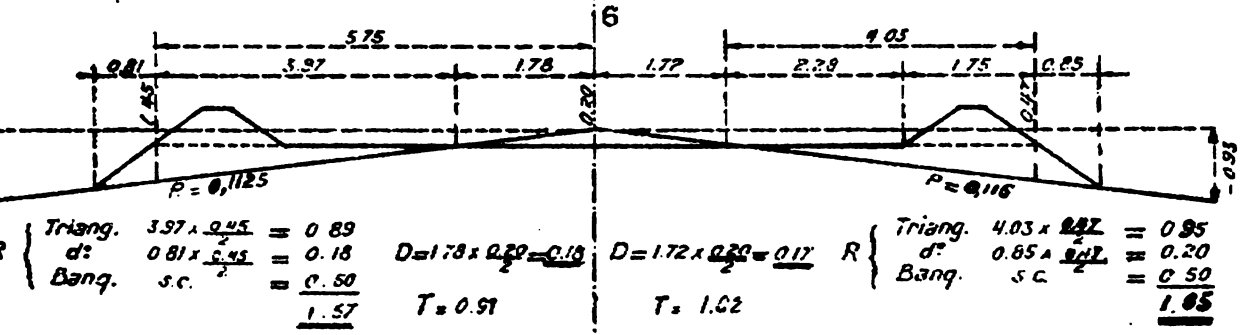
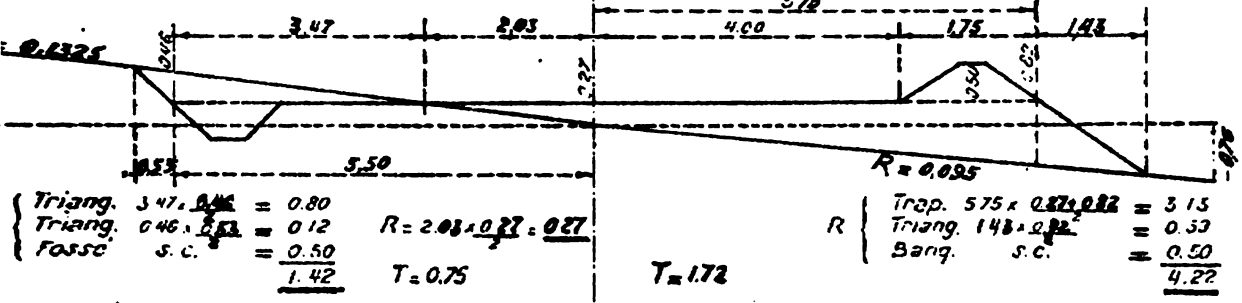
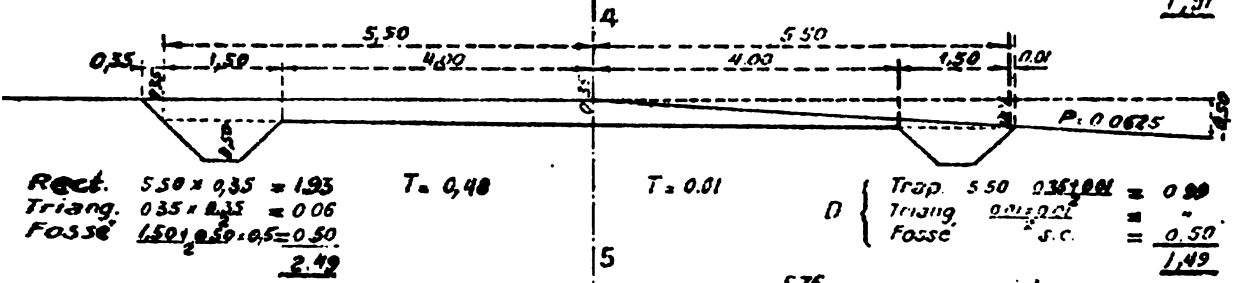
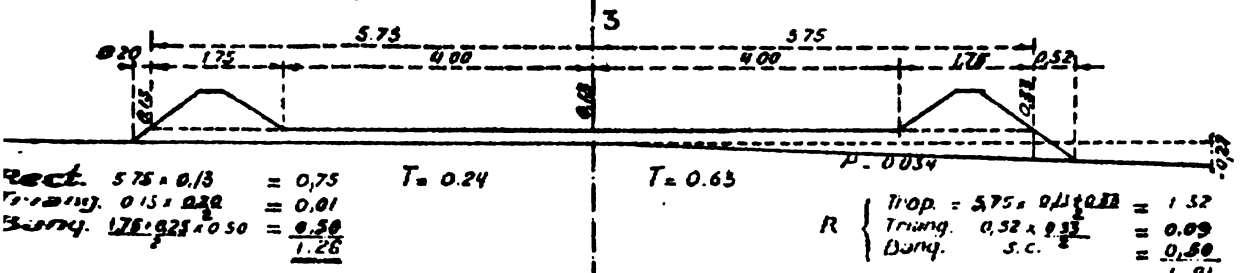
Tri 0.15 x 0.30 = 0.07  
 Rect. 3.75 x 0.30 = 1.75  
 Banquette = 0.60  
 Total: 2.30

le à 40<sup>m</sup>00  
 du projet  
 us du terrain  
 es à l'axe





g. III-6: Schéma de profils en travers pour le calcul du volume de terrassement de l'exemple.



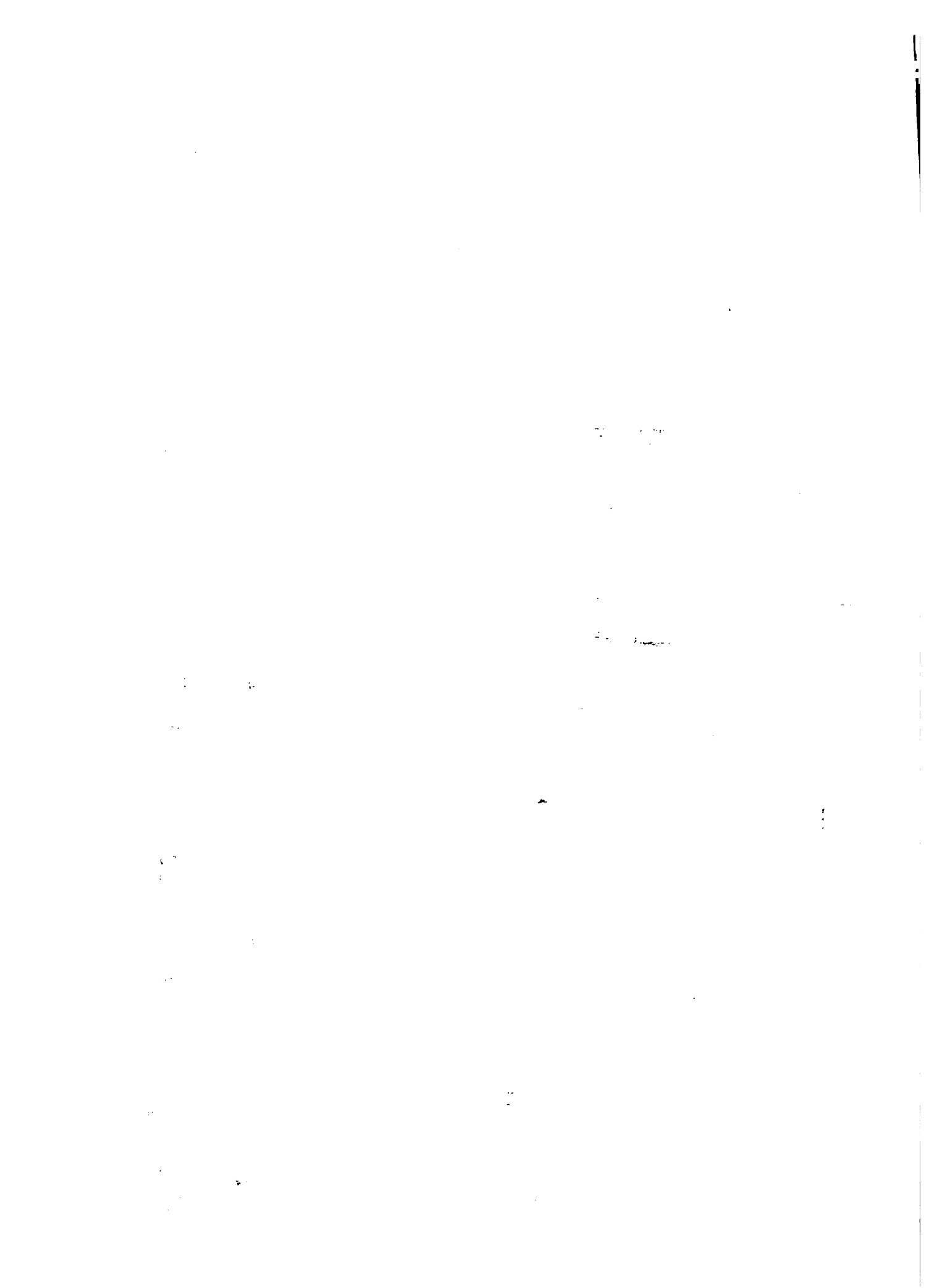


TABLEAU III.1

Les résultats sont portés dans le tableau de même  
 EXCERPT: Le même est comparé avec les chiffres obtenus par le profil en long de la  
 Figure III-4 et sur les profils en travers (Fig. III-5 et III-6)

No des profils	Distance entre profils	Longueurs auxqueltes les profils	Distants				Négligé				Indications sommaires des calculs particuliers à certains profils	
			à droite de l'axe	à gauche de l'axe	totales par profil	Cubes	à droite de l'axe	à gauche de l'axe	totales par profil	cubes		
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	75.00	37.50	1.05	2.05	3.50	106	"	"	"	"	$\frac{75.00}{2}$	37.50
PF	125.00 50.00	62.50	"	"	"	"	"	"	"	"	$\frac{125}{2}$	62.50
2	75.00	62.50	"	"	"	"	2.30	2.30	4.60	298	$\frac{50 + 75}{2}$	62.50
3	27.08 100.00 72.92	51.04 50.00	"	"	"	"	1.26	1.91	3.17	162	$\frac{75.00 + 27.08}{2}$	51.04
PF	42.34 75.00 32.66	37.50	2.49	1.49	3.98	229	"	"	"	"	$\frac{100}{2}$	50.00
4	71.81 125.00 53.19	52.205 62.50	1.42	"	1.42	74	0.27	4.22	4.49	232	$\frac{75}{2}$	37.50
PF	30.24 120.00 91.76	45.715 65.00	0.18	0.17	0.35	46	1.57	1.65	3.22	147	$\frac{30.00 + 71.01}{2}$	52.205
6	85.83	85.83	"	"	"	"	8.07	5.93	14.07	1208	$\frac{125}{2}$	62.50
PF	28.21 50.00 61.79	51.103 45.00	"	"	"	"	2.28	4.25	6.53	353	$\frac{80 + 29.24}{2}$	45.715
8	30.00 61.79	45.00 30.095	4.42	0.42	4.84	150	"	1.90	1.90	59	$\frac{91.76 + 91.00}{2}$	85.83
PF	000.00	800.000				615				2422		000.00





### 3.12 Déblais de nature différente

Il peut arriver que, dans certaines sections, évidemment en déblai, les terres soient de natures différentes: terre végétale, argile, roche...

Certaines de ces terres telle l'argile, ne peuvent être réemployées en remblai. D'autre part, le prix d'extraction varie pour chacune d'elles. Il faut donc évaluer séparément les quantités de chaque nature de déblais. On fait une cubature pour chaque espèce, les profils comportant alors les côtes de séparation des couches différentes.

### 3.13 Mouvements des terres

Le mouvement des terres est l'opération qui consiste à exécuter au moyen de véhicules: pelles, brouettes, camions automobiles, tombereaux à chevaux, wagonnets ou wagons, bulldozers, scrapers, le transport des terres de déblai ou d'emprunt en remblai ou en dépôt.

Deux éléments interviennent: le cube des terres à transporter et la longueur du transport. Si un cube  $V$  est à porter à une distance  $d$ , on appelle MOMENT DE TRANSPORT le produit  $Vd$ .

Si on a plusieurs cubes  $V_1, V_2, V_3 \dots$  à porter à des distances  $d_1, d_2, d_3 \dots$  on appelle DISTANCE MOYENNE  $d$  le rapport:

$$d = \frac{\text{Somme des moments de transport}}{\text{Somme des cubes transportés}} = \frac{V_1 d_1 + V_2 d_2 + V_3 d_3 \dots}{V_1 + V_2 + V_3}$$



Dès lors l'estimation du transport des déblais d'un projet est très simplifiée: au lieu d'étudier séparément le prix du transport de  $V_1 \text{ m}^3$  à  $d_1^m$ ,  $V_2 \text{ m}^3$  à  $d_2^m$ ,  $V_3 \text{ m}^3$  à  $d_3^m$  ... et de faire la somme, on étudie

le prix du transport  $V_m \text{ m}^3 = V_1 + V_2 + V_3 \dots$  à la distance moyenne  $d^m$ ;

les prix sont équivalents. Tout le problème du mouvement revient donc à connaître la distance moyenne de transport des terres d'un projet,

Les prix de transport variant avec les véhicules, il est intéressant de connaître les cubes par nature de véhicule utilisé, aussi déterminera-t-on la distance moyenne des transports au scraper, au camion, au wagonner... On désignera alors par DISTANCE MOYENNE GENERALE, celle qui s'applique à l'ensemble des transports, si on a:

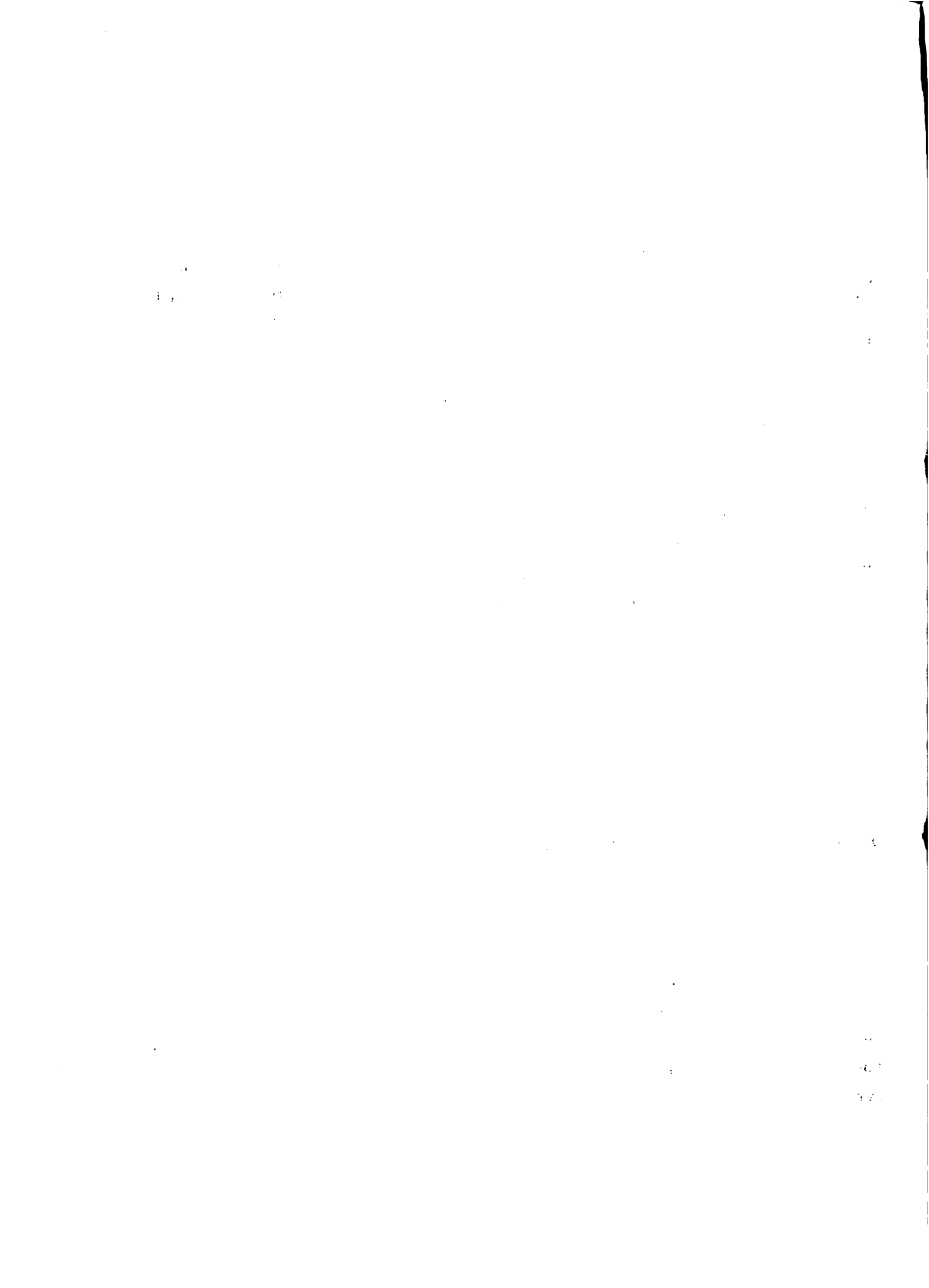
$V_s \text{ m}^3$  portés à une distance moyenne  $d_s$  au scraper

$V_c \text{ m}^3$  portés à une distance moyenne  $d_c$  au camion

On a évidemment pour la distance moyenne générale  $d$ , applicable

$$\text{à } V_m \text{ m}^3 = V_s + V_c ; d = \frac{V_s d_s + V_c d_c}{V_s + V_c} = \frac{V_s d_s + V_c d_c}{V}$$

Dans un projet, les parties en déblai sont enchevêtrées avec les parties en remblai; on a donc le choix de plusieurs lieux de remblai pour transporter un même déblai; suivant qu'on choisira tel ou tel transport, on fera varier la distance moyenne. Le prix de transport étant évidemment fonction de cette distance, on cherchera à organiser les transports pour avoir la distance moyenne la plus réduite; c'est le but de l'étude du mouvement des terres.



Trois méthodes sont généralement utilisées: l'épure des terrassements, la méthode de Lalanne et la méthode de Bruckner. La première, assez longue, ne donne pas forcément la distance moyenne la plus courte, pour déterminer celle-ci, il faut calculer la distance moyenne avec chaque système de transports et comparer les résultats obtenus. Les méthodes Bruckner et Lalanne sont les mêmes, la 2e n'étant qu'une simplification de la première. La méthode Bruckner, compliquée et assez longue est plus exacte que celle de Lalanne, mais il ne paraît pas nécessaire de rechercher une précision extrême dans un problème où les données: cube des terrassements, emplacements des déblais..., etc., ne sont eux-mêmes qu'approchés. Nous traiterons la méthode de Lalanne.

### 3.13.1 Méthode de Lalanne

#### 3.13.1.1 Foisonnement

Un  $m^3$  de déblai, après fouille, donne plus d'un  $m^3$  de terres utilisables en remblai: l'excédent est appelé FOISONNEMENT; il varie avec la nature des terres, c'est à dire avec la cohésion de celle-ci. On admet:

sable: 0

terre végétale: 1/6 à 1/7, généralement 1/7, soit 15%

marne argileuse: 1/4 à 1/3, soit 25 à 33%

Argile, roche: 1/3, soit 33%

Les terres transportées étant des terres provenant de fouilles, c'est-à-dire foisonnées, les cubes à prendre en compte pour les transports seront ceux des déblais mesurés sur les profils en travers, c'est à dire en place, majorés du foisonnement.

Ce foisonnement aboutit à faire adopter comme transporté, un volume supérieur à celui qui a été déblayé et évalué d'après les profils en

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

10  
11  
12

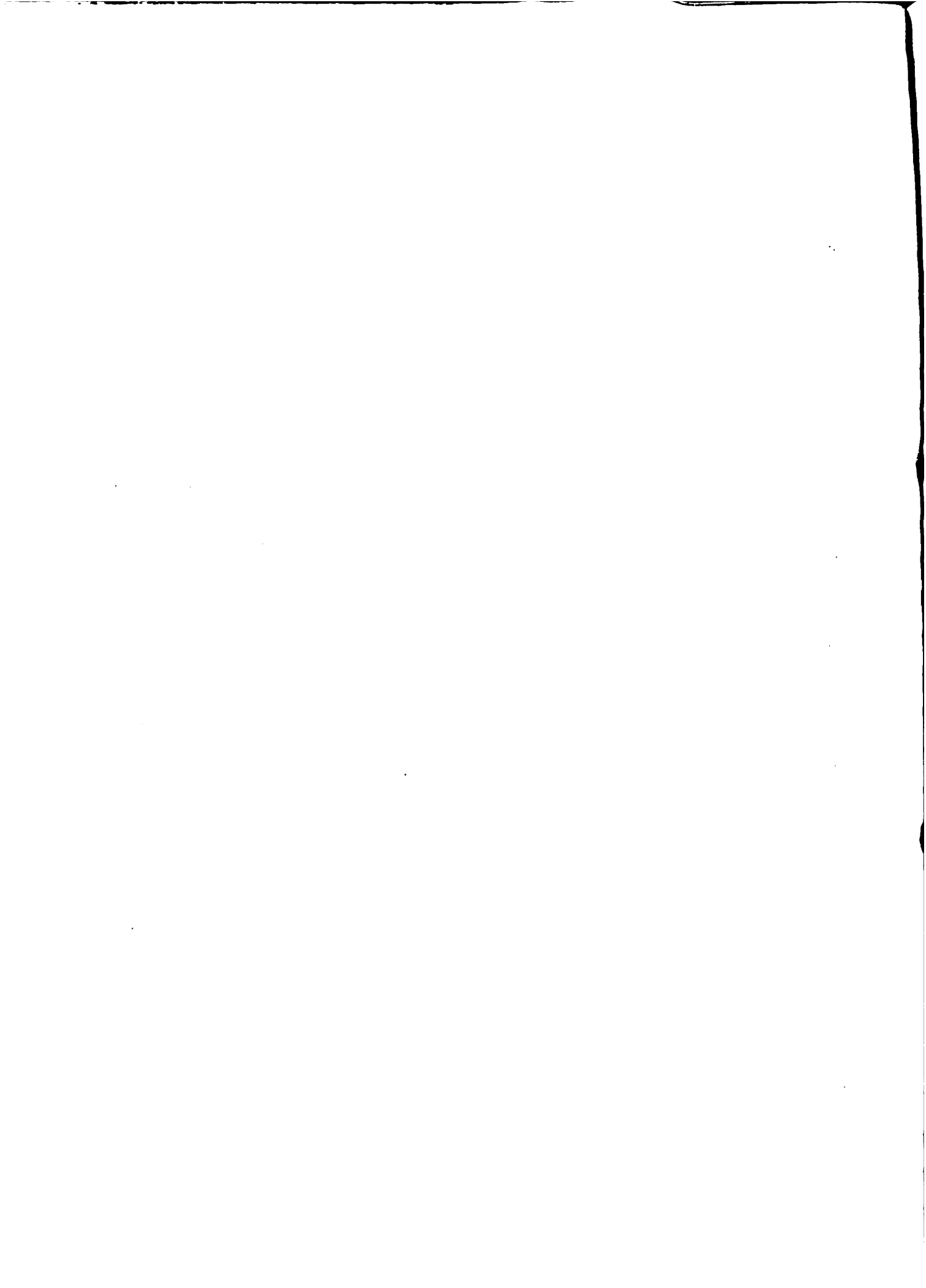
13  
14  
15

travers. Nous avons donc à considérer le volume déblayé et évalué d'après les profils dit: CUBE AU PROFIL  $V_p$  et un volume transporté évaluée d'après la capacité des véhicules dit CUBE AU TRANSPORT  $V_t$ . On a:  $V_t - V_p = f$ ,  $f$  étant le foisonnement.

### 3.13.1.2 Tassement, compactage

Les déblais sont remployés en remblais. Si ceux-ci sont simplement déposés, la compensation d'un  $m^3$  de remblai évalué d'après le calcul des profils sera faite par un  $m^3$  de terre foisonnée c'est à dire transportée. Mais les remblais sont tassés; un cube de terre foisonnée donne donc moins d'un  $m^3$  mis en remblai. Cette diminution est appelée "tassement"; elle est évaluée en pourcentage par un coefficient dit "de tassement".

Si l'opération de tassement est réalisée par des moyens ordinaires, circulation des camions, pilonnage par battes, le coefficient de tassement sera faible, surtout avec des terres grasses, argileuses. Mais les moyens modernes permettent de provoquer un tassement très important dit "compactage" des terres. Cette opération comporte un choix des terres à mettre en remblai, des mélanges granulométriques déterminés par des essais (Essai de Proctor), une humidification de ces terres (modification de la teneur en eau), un malaxage et un cylindrage par rouleaux spéciaux (rouleaux à pneus, rouleaux à pieds de mouton), parfois même une vibration des remblais (damage vibré, cylindrage par rouleaux vibrants). Elle permet d'obtenir des terres en remblai aussi compactes, sinon plus que des terres en place, c'est-à-dire que des terres déblayées. Des déblais mis en remblai et compactés ne donneront, par suite, pas lieu à l'application d'un coefficient de tassement; un  $m^3$  de déblai évalué d'après les profils de déblai donnera un  $m^3$  de remblai évalué d'après les profils de remblai. Mais ce  $m^3$ , transporté, nécessitera l'emploi d'une capacité de transport de  $(1 + f) m^3$ ; le foisonnement interviendra donc toujours pour le transport.





On ne réalise plus guère de remblais sans compactage; on peut donc estimer que le coefficient de tassement est nul. Dès lors, nous aurons dans une cubature, un volume  $V_d$  de déblais évalués au profil, qui, pour les transports, nécessiteront une capacité  $V_d (1 + f) \text{ m}^3$  des véhicules utilisés et qui, réemployés en remblai, donneront  $V_a = V_p \text{ m}^3$ , évalués au profil de remblai.

Le mouvement des terres sera donc étudié en admettant qu'un  $\text{m}^3$  de déblai correspond à un  $\text{m}^3$  de remblai, sans tenir compte du foisonnement. Il y aura lieu, par contre, au point de vue étude du prix de transport de tenir compte de ce qu'un  $\text{m}^3$  de déblai transporté en remblai nécessite une capacité de véhicule de  $(1 + f) \text{ m}^3$ ,  $f$  étant le foisonnement.

Il y aura lieu également de tenir compte dans l'estimation des terrassements donc, dans l'avant métré, des dépenses de compactage, dont nous traiterons plus loin.

### 3.13.1.3 Principe de la méthode

- 1o) On suppose chaque cube de déblai ou de remblai concentré au profil correspondant.
- 2o) On ne tient pas compte des cubes à réemployer dans un même profil; si un profil dit "mixte" comporte à la fois un cube  $D$  de déblais et  $R$  de remblais, on compense  $R$  par  $D$ , et on considère le profil comme étant:
 

en déblai avec un cube	$D - R$ , si $D > R$
en remblai avec un cube	$R - D$ , si $R > D$ .
- 3o) On ne tient pas compte des profils fictifs, où nous avons déjà supposé qu'il n'y'avait ni déblai, ni remblai.

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order, and the addresses are given in full, including the street, city, and state.

#### 3.13.1.4 Tableau et épure du mouvement des terres

La méthode Lalanne est une méthode graphique; la détermination de la distance moyenne se fait au moyen d'une épure. A celle-ci est joint un tableau dit "Du mouvement des terres" dont la 1ère partie (colonnes 1 à 6) donne tous les éléments nécessaires à la construction de l'épure et la 2ème partie (colonnes 7 à 15) tous les résultats donnés par cette épure.

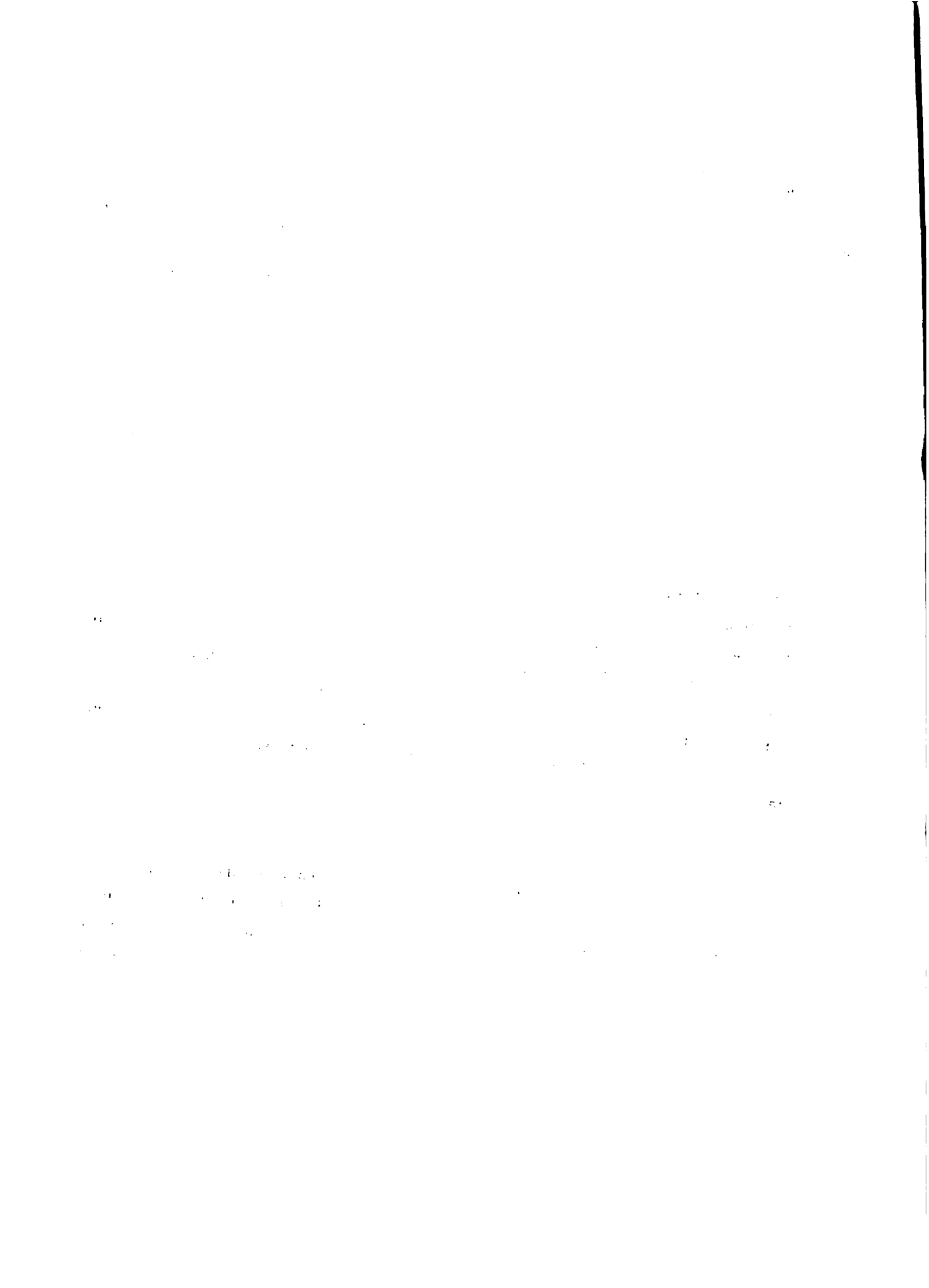
On rédige donc d'abord la 1ère partie du tableau avec les éléments donnés par le tableau de métré.

La colonne 2 reproduit les cubes des déblais tels qu'ils ont été calculés dans le métré.

La colonne 3 reproduit les cubes des remblais du tableau de métré. La colonne 4, en application du 2ème principe ci-dessus, indique les cubes réemployés dans le même profil; c'est évidemment le plus petit des deux cubes: déblais ou remblais portés dans les colonnes 2 et 3. Les colonnes 4 et 5 donnent les cubes à prendre en compte pour les transports c'est à dire les déblais disponibles à un profil ou les remblais à y apporter; le chiffre porté est la différence  $D - R$  ou  $R - D$ , indiquée ci-dessus; elle provient donc de la soustraction de la colonne 4 des colonnes 2 ou 3, suivant que ce sont les déblais ou les remblais qui sont en excès dans le profil considéré.

#### 3.13.1.5 Epure

On porte en abscisses sur une horizontale XY dite "ligne de terre" les distances entre profils comme on le fait pour un profil en long. Les déblais et remblais tels qu'ils viennent d'être calculés dans le tableau seront portés en ordonnées; pour cela, on choisit un sens pour les déblais, le sens contraire pour les remblais. Ce sens est purement conventionnel, mais une fois arrêté, il détermine toute l'étude; il doit être indiqué sur l'épure comme le sont les échelles.



Nous adoptons, une fois pour toutes, pour la suite le sens: déblais vers le haut, remblais vers le bas. On porte sur chaque ordonnée la somme algébrique des déblais et remblais depuis l'origine jusqu'au profil considéré. On peut calculer ces sommes ou les construire directement sur l'épure; c'est ce dernier procédé que l'on utilise habituellement. Pour cela on porte au P1 vers le haut (sens des déblais) en AL, le cube  $146 \text{ m}^3$  indiqué dans la colonne 5 du tableau; au point A obtenu, on mène une horizontale AB jusqu'à la verticale du P2; du point B on porte vers le bas (sens des remblais), en BC, le cube  $288 \text{ m}^3$  de la colonne 6, en C, on trace une horizontale CD jusqu'à la verticale du P3. Du point D on porte vers le bas, en DE le cube  $162 \text{ m}^3$  des remblais du P3 jusqu'à la verticale du P4; du point E, on porte vers le haut, en EF, le cube  $229 \text{ m}^3$  des déblais de ce profil. En F, horizontale FG jusqu'à la verticale du P5; du point G, on porte vers le bas le cube  $161 \text{ m}^3$  des remblais du P5. Et ainsi de suite jusqu'au dernier profil.

L'épure se termine au point O. On remarque : que les déblais sont représentés par des verticales ascendantes, les remblais par des verticales descendantes; que les surfaces des rectangles tels que IAB2, DEFF' sont égales aux produits des cubes par des longueurs et, par suite, représentent les moments de transport.

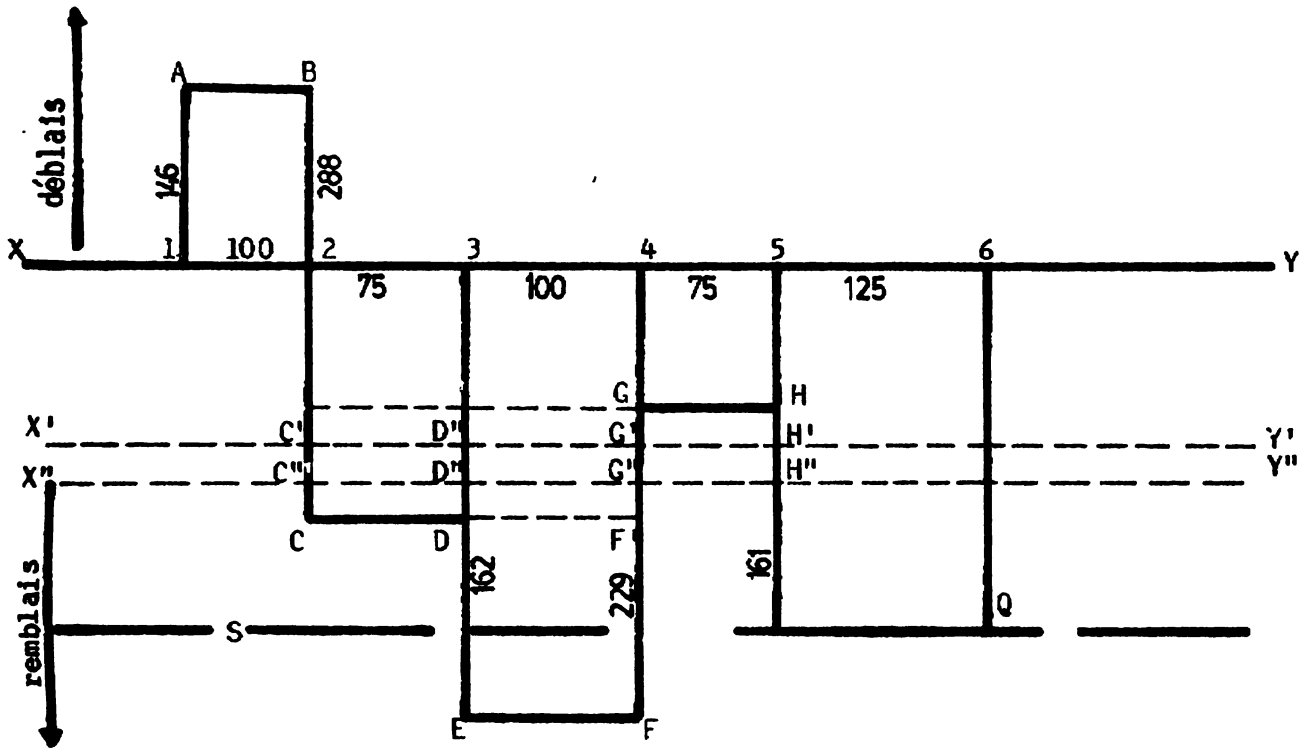
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025

Figure III-7 : Schéma montrant l'épure du mouvement des terre.



On constate en outre que: si le point O est sur la ligne XY, le cube des déblais est égal à celui des remblais; on dit qu'il y a compensation; le projet permet de combler tous les remblais qu'il comporte.

Si le point O est au-dessous de la ligne XY, le cube des remblais dépasse celui des déblais; il faut apporter des terres du dehors; on dit qu'il y a emprunt

Si le point O est au dessus de XY, le cube des déblais dépasse celui des remblais, il faut emporter des terres en trop en dehors du projet, c'est à dire les mettre en dépot.

1941

1942

1943

1944

1945

1946

1947

1948

1949

1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

1962

1963

1964

1965

1966

1967

1968

1969

1970

1971

1972

1973

1974

1975

1976

1977

1978

1979

1980

1981

1982

1983

1984

1985

1986

1987

1988

1989

1990

1991

1992

1993

1994

1995

1996

1997

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

2029

2030

2031

2032

2033

2034

2035

2036

2037

2038

2039

2040

2041

2042

2043

2044

2045

2046

2047

2048

2049

2050

2051

2052

2053

2054

2055

2056

2057

2058

2059

2060

2061

2062

2063

2064

2065

2066

2067

2068

2069

2070

2071

2072

2073

2074

2075

2076

2077

2078

2079

2080

2081

2082

2083

2084

2085

2086

2087

2088

2089

2090

2091

2092

2093

2094

2095

2096

2097

2098

2099

2100



On sait d'avance par le tableau du mouvement des terres s'il y a lieu à emprunt ou à dépôt, on peut donc vérifier immédiatement l'exactitude de l'épure par la position du point 0.

### 3.13.1.6 Transport

Ils se feront évidemment des déblais vers les remblais; sur l'épure, les cubes de déblais représentés par des segments de verticales ascendantes seront transportés aux remblais représentés par les segments égaux de verticales descendantes qui leur font face. Ainsi. 1A viendra combler 2B. FF' viendra combler DE..., etc. Le sens de transport sera toujours déblais vers remblais. Pour la discussion de l'épure. on fait varier une horizontale au travers de l'épure et on voit que les sens sont inverses au-dessus et au dessous; par la construction même de l'épure, avec le sens adopté des déblais et remblais, les transports au-dessus de l'horizontale se feront à droite et au-dessous de droite à gauche.

Le but de l'épure est la recherche de la distance moyenne minimum  $d_m$ . Nous avons vu que:  $d_m = \frac{\sum Vd}{\sum V} = \frac{\text{Somme des moments}}{\text{Somme des cubes}}$ . Le dénominateur représentant le cube total des déblais à transporter est invariable. Le minimum de  $d_m$  correspondra donc au minimum de  $\sum Vd$ , c'est à dire à la somme minimum des moments de transport. Sur l'épure, nous rechercherons donc le minimum de la somme des rectangles tel que 1AB2, MCF'G..., etc.

On voit, sur cette épure, qu'en faisant varier verticalement une horizontale telle que X'Y', on fait varier la somme des surfaces des rectangles; on appelle cette horizontale une "ligne de répartition". Une de ses positions correspond évidemment à un minimum de la somme des rectangles c'est à dire à une distance moyenne minimum.

### 3.13.1.7. Choix de la ligne de répartition

Pour obtenir la ligne correspondant au minimum, il faut essayer

1000

1000

les différentes positions et comparer les deux lignes  $X'Y'$  et  $X''Y''$  (Fig. III-7) Les rectangles au-dessus de  $X'Y'$  ( $IAB2$ ,  $GHG'H'$  ...) ou au-dessous de  $X''Y''$  ( $C''CF'G''$ ,  $DEFF'$  ...) sont communs aux deux sommes. Pour comparer celles-ci, on peut donc les négliger et ne tenir compte que des rectangles variables  $C'C''G''G'$ ;  $G'G''H''H'$ , c'est à dire ceux situés entre les deux lignes.

Ces deux rectangles ont même hauteur: la distance entre les deux lignes, il suffit donc de comparer leurs bases  $C'G'$  et  $G''H''$ .

Comme ici  $G''H''$  est inférieur à  $C'G'$ , la ligne  $X''Y''$  sera préférable puisqu'elle ajoute un segment  $G''H''$  (soit un rectangle  $G''H''H''H'$ ) inférieur au segment  $C''G''$  qu'elle retranche (soit un rectangle  $C'C''G''G'$ ).

La règle pratique est la suivante:

On prend deux lignes voisines; on compare la somme des segments fermant des rectangles supérieurs sur la ligne inférieure, et celle des segments formant des rectangles inférieurs sur la ligne supérieure. La ligne donnant la somme minimum est la meilleure.

On constate:

- 1o) Qu'il suffit de faire varier la ligne  $XY$  entre la ligne de terre passant par le point initial et la ligne finale  $S0$ .
- 2o) Qu'il suffit de comparer les horizontales passant par des segments d'horizontales de l'épure:  $XY$ ,  $GH$ ,  $CD$ ,  $S0$ .
- 3o) Que les comparaisons doivent se faire en allant de la ligne initiale vers la ligne finale.
- 4o) Que les variations de la ligne de terre deviennent inutiles lorsque l'étude faite avec la dernière position donne un résultat moins économique que celui obtenu avec la position précédente.

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

Ces règles s'expliquent d'elles-mêmes; la dernière seule appelle quelques commentaires. Il résulte, en effet, du mode de construction même de l'épure, qu'en prolongeant l'étude, on obtiendrait des sommes de segments de plus en plus fortes, puisque, en cas de variations ascendantes, les sections inférieures vont en s'évasant, tandis que les sections supérieures vont en se rétrécissant, et qu'en cas de variations descendantes les sections inférieures vont au contraire en se rétrécissant, tandis que les sections supérieures vont en s'évasant.

### 3.13.1.8 Emprunts ou dépôts

Nous avons vu qu'on devait avoir recours à un dépôt quand il y a excès de déblais, et à un emprunt quand il y a excès de remblais.

Les dépôts peuvent être faits en des endroits bien déterminés: carrières abandonnées, fouilles à remblayer, etc...; ils sont situés soit sur le tracé, soit en dehors du tracé; en tout cas, on peut les considérer comme des profils en remblai où n'importe quel cube peut être apporté. On introduira donc dans l'épure un profil dit dépôt, à l'emplacement fixé. Si celui-ci est supposé en dehors du tracé, pour faire intervenir la distance du tracé au dépôt, on ajoute cette distance dans l'épure comme nous le verrons plus loin.

Les dépôts peuvent également être faits le long du tracé, au droit des profils où se produisent des excédents de déblais non réutilisables en remblai; on dit que les dépôts sont "indéterminés".

De même, on pourra avoir des emprunts en des lieux déterminés (carrières à ouvrir, fouilles pour ouvrages ou bâtiments, etc...) si l'emplacement est fixé sur la ligne ou en dehors, ou des emprunts indéterminés si les terres dont on a besoin peuvent être prélevées en n'importe quel point le long du tracé, au droit des profils où on en a besoin. Nous allons examiner les différents cas qui peuvent se présenter d'après les

100  
100  
100  
100  
100

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100  
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100

100 100  
100 100

emplacements de dépôts ou d'emprunts:

a. Les déblais et les remblais se compensent - Il n'y a aucune étude à faire, la figure III-8 s'explique d'elle-même.

a.1 Un lieu unique de dépôt ou d'emprunt est donné sur la ligne avant ou après la section considérée.- Il n'y a pas lieu à discussion; la ligne de répartition est obligatoire en cas de dépôt avant le P1 (cas de la Fig. III-9) la ligne finale, en cas de dépôt après le dernier profil: la ligne initiale.

En effet, adopter la ligne LT ou X'Y' dans le 1er cas (fig. III-9) donnerait les terres à porter en dépôt du P5, alors que le dépôt se trouve du côté du P1; on aurait au-dessus de la ligne de répartition des transports de droite à gauche qui, nous l'avons vu, sont irrationnels.

Fig. III-8: Schéma d'un terrassement où le déblais et le remblais se compensent.

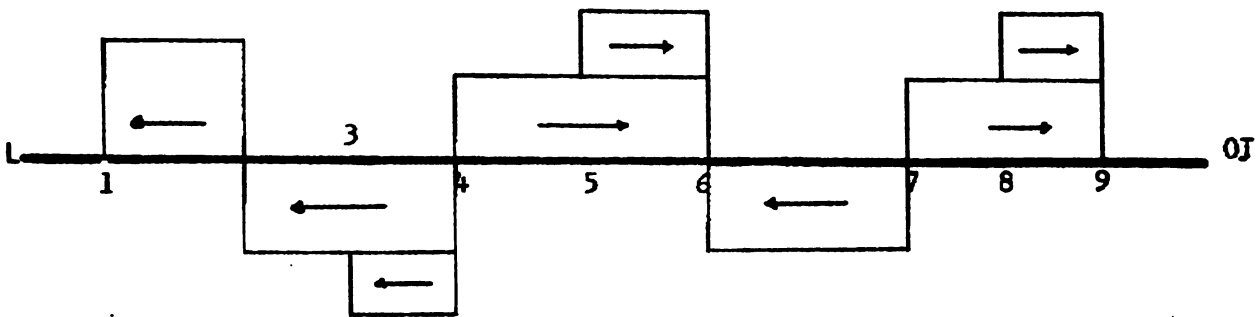
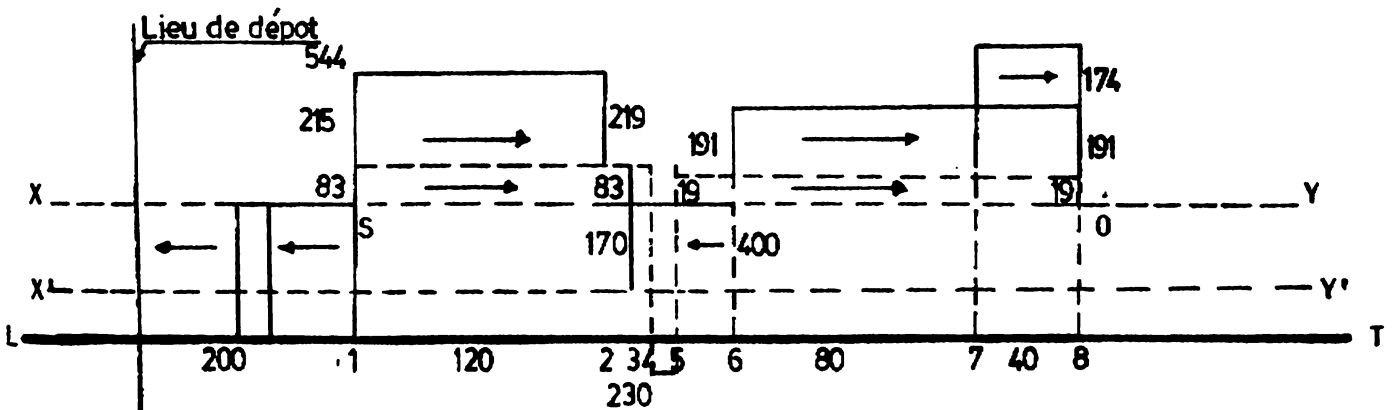


Fig. III-9: Schéma d'un terrassement montrant un lieu unique de dépôt.



[Faint, illegible text covering the majority of the page, possibly bleed-through from the reverse side.]

14  
[Faint text]



Le raisonnement serait le même pour des emprunts, mais avec la position inverse:

Emprunt avec le  $P_1$ , ligne initiale,

Emprunt après le dernier profil, ligne finale.

a.2 Un lieu unique de dépôt est donné sur la ligne à un profil déterminé (fig. III-10). On peut décomposer l'épure en deux:

1ère partie avant le dépôt: c'est le cas précédent; épure avec dépôt après le profil final: la ligne de répartition est la ligne initiale:

2ème partie; épure avec dépôt avant le profil initial: la ligne de répartition est la ligne finale.

En définitive, la ligne de répartition est  $L4AT'$ .

Une seule particularité est à signaler; la 1ère partie indique que les cubes  $BC$ ,  $DE$ ,  $EF$  sont portés au dépôt; mais, en rapprochant les deux parties, on voit qu'ils correspondent à des remblais aux profils 4 et 5, ils iront donc à ces profils et non au dépôt; l'excédent seul, après que les remblais disponibles sont comblés, est porté au dépôt soit ici:  $4A$ . L'épure parle d'elle-même sans autres explications.

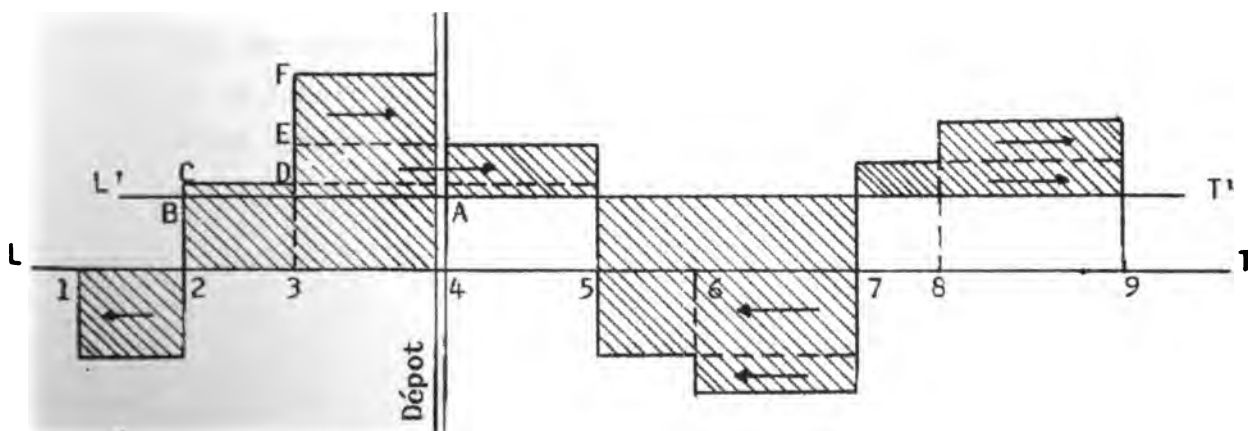


Fig. III-10 : Schéma montrant un lieu unique de dépôt.

12

08

10

11

12

13

14

15

16

- a.3 Le lieu unique de dépôt ou d'emprunt est donné en dehors du tracé (Fig. III-11).

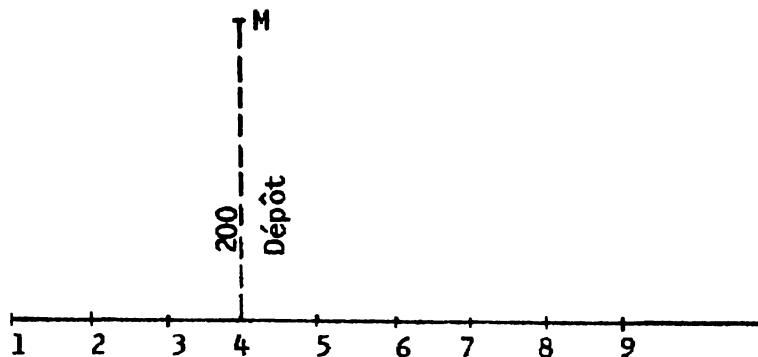


Figure III-11 : Schéma montrant l'exemple où le lieu unique de dépôt ou d'emprunt est donné en dehors du tracé.

On opère comme dans le cas précédent, mais pour le transport des terres au dépôt, on ajoute la distance  $4M$  du tracé à ce dépôt. Dans le cas précédent, par exemple, le cube  $2B$  à porter en dépôt sera transporté à la distance  $(2 - 4) + (4 - M)$ .

- a.4 Deux lieux de dépôt ou d'emprunt sont donnés sur la ligne, l'un avant l'autre après la section considérée (Fig. III-12).

C'est le cas général, celui où l'on applique à la lettre la règle que nous avons indiquée. On fera donc la comparaison des lignes passant par des segments d'horizontale de l'épure entre les lignes initiales  $LT$  et finale  $S_0$ , en commençant par la plus basse puisqu'il s'agit d'une épure avec dépôt.

1870

1871

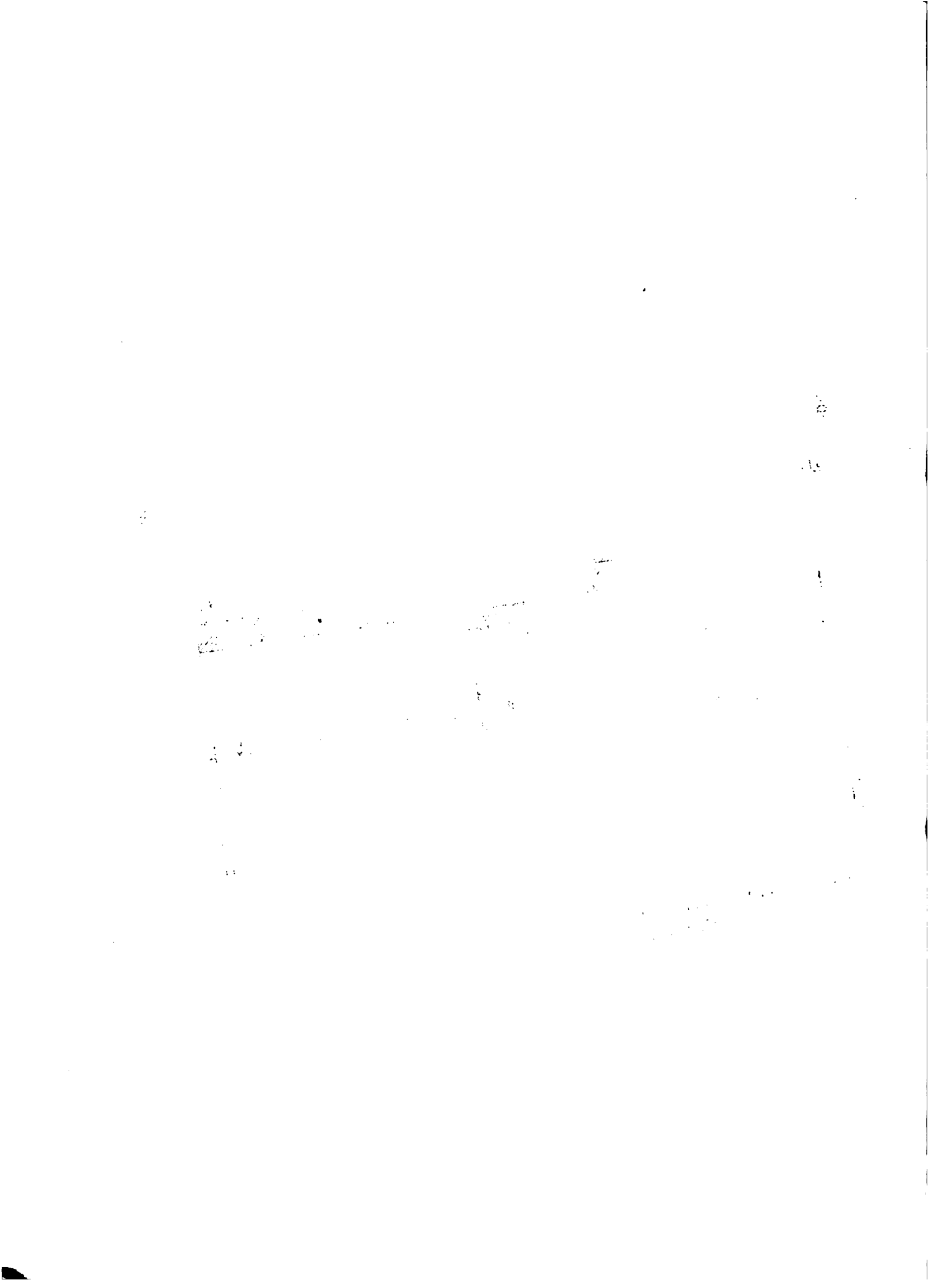
1872

1873

1874

1875





Comparaison de LT et XY:

LT: segments fermant des rectangles supérieurs

$$\left\{ \begin{array}{l} P2 \text{ à } P5, P6 \text{ à } D \text{ II} \\ 155 + 315 = 470 \end{array} \right.$$

XY: segments fermant des rectangles inférieurs

$$\left\{ \begin{array}{l} (DI \text{ à } P2, P5 \text{ à } P6 \\ 130 + 50 = 180 \\ 180 < 470, XY \text{ est préférable.} \end{array} \right.$$

Comparaison de XY et X'Y':

XY: segments fermant des rectangles supérieurs

$$\begin{array}{l} P2 \text{ à } P3, P4 \text{ à } P5, P6 \text{ à } DII \\ 45 + 60 + 315 = 420 \end{array}$$

X'Y': segments fermant des rectangles inférieurs

$$\begin{array}{l} (DI \text{ à } P2, P3 \text{ à } P4, P5 \text{ à } P6 \\ 130 + 50 + 50 = 230 \\ 230 < 420, X'Y' \text{ est préférable.} \end{array}$$

Comparaison de X'Y' et X''Y'':

X'Y': segments de fermant des rectangles supérieurs

$$\begin{array}{l} P2 \text{ à } P3, P4 \text{ à } P5, P7 \text{ à } DII \\ 45 + 60 + 260 = 365 \end{array}$$

X''Y'': Segments de fermant des rectangles inférieurs

$$\begin{array}{l} DI \text{ à } P2, P3 \text{ à } P4, P5 \text{ à } P7 \\ 130 + 50 + 105 = 285 \\ 285 < 365, X''Y'' \text{ est préférable} \end{array}$$

Comparaison de X''Y'' et X'''Y''' :

X''Y'': segments de fermant des rectangles supérieurs

$$\begin{array}{l} P4 \text{ à } P5, P7 \text{ à } DII \\ 60 + 260 = 320 \end{array}$$

X'''Y''' segments de fermant des rectangles inférieurs

$$\begin{array}{l} D I \text{ à } P4, P5 \text{ à } P7I \\ 225 + 105 = 330 \\ 320 < 330, X''Y'' \text{ est préférable.} \end{array}$$

X''Y'' étant préférable aux lignes au-dessous X'Y' et au-dessus X'''Y''', est la ligne de répartition.





(on peut constater qu'en comparant  $X^{III}Y^{III}$  et  $X^{IV}Y^{IV}$ , la différence 330 - 320 augmenterait et deviendrait: 385 - 265).

Cette ligne  $X^{III}Y^{III}$  donne lieu au mouvement indiqué par les hachures.

a.5 Deux ou plusieurs lieux de dépôt ou d'emprunt sont donnés sur la ligne à des profils intermédiaires déterminés (Fig. III-13 )

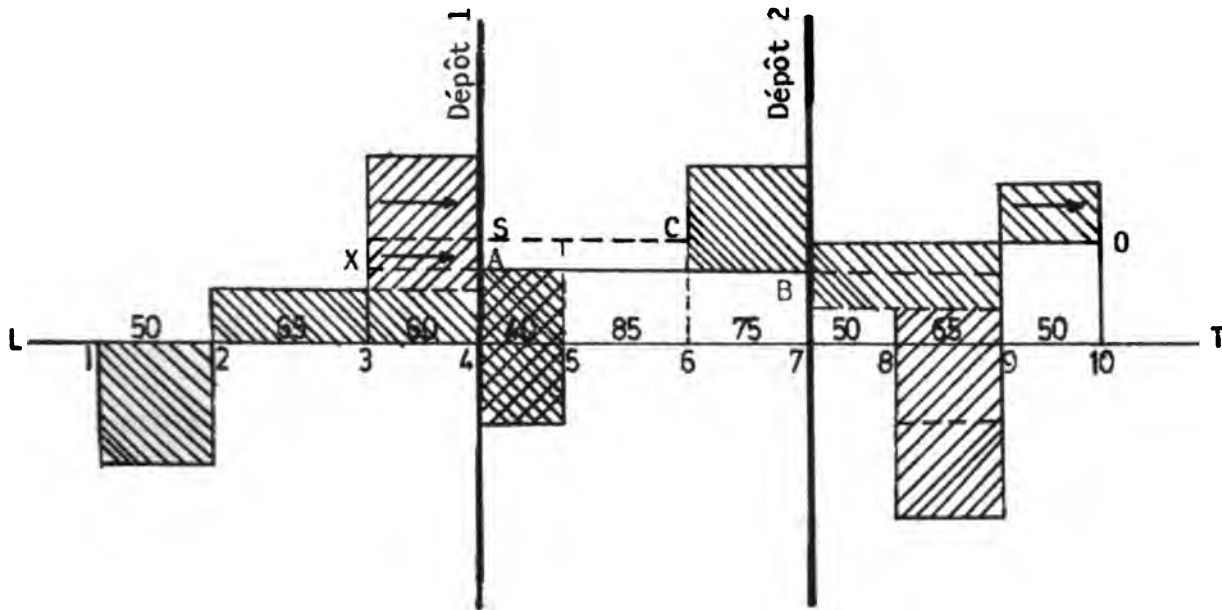


Figure III-13: Schéma montrant deux lieux de dépôts ou d'emprunts.

L'épure se divise en parties distinctes:

avant le 1er dépôt: la ligne de répartition est la ligne initiale (cas No. II).

Dear Sir,

I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 10th inst.

and in reply to inform you that the same has been forwarded to the proper authorities.

I am, Sir, very respectfully,  
Your obedient servant,

J. B. Smith

Secretary

to the Board of Directors

of the Company

Après le dernier dépôt: la ligne de répartition est la ligne finale (cas No. II).

Entre les dépôts: cas général analogue au précédent.

Pour l'épure de la figure III-13, on a:

avant le dépôt I: ligne initiale L4

entre les dépôts I et II;

Comparaison	LT segments fermant des rectangles supérieurs:	160
de LT et XY	XY segments fermant des rectangles supérieurs:	40
	XY est préférable	

Comparaison	XY segments fermant des rectangles supérieurs:	75
de XY et S0	S0 segments fermant des rectangles supérieurs:	125
	XY est encore préférable	

La ligne de répartition est donc XY,  
après le dépôt II: ligne finale S0.

On obtient une ligne de répartition en gradins L4ABCO; ces gradins sont ascendants. On peut constater qu'il ne peut en être autrement même avec une épure à plusieurs dépôts telle que celle de la figure III-14. En effet, si entre DII et DIII on abaissait la ligne sur LT, on créerait au P8 un emprunt correspondant aux terres laissées au DIII; il en sera ainsi dans chaque cas.

Par suite, ayant déterminé la ligne entre les deux premiers dépôts I et II, la ligne la plus basse possible entre les deux dépôts suivant II et III serait forcément la ligne choisie entre I et II. Il faut reprendre alors l'ensemble de l'épure entre I et III et voir si, en tenant compte de la 2ème partie, on ne serait pas amené à abaisser la ligne dans la 1ère. C'est le cas de la figure III-15.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author outlines the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual data entry and the use of specialized software tools. The goal is to ensure that the data is both accurate and easy to interpret.

The third section provides a detailed breakdown of the results. It shows that there is a significant correlation between the variables being studied. This finding is supported by statistical analysis and is consistent with previous research in the field.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future research. It suggests that further studies should be conducted to explore the underlying causes of the observed trends. This will help to develop more effective strategies for addressing the issues at hand.

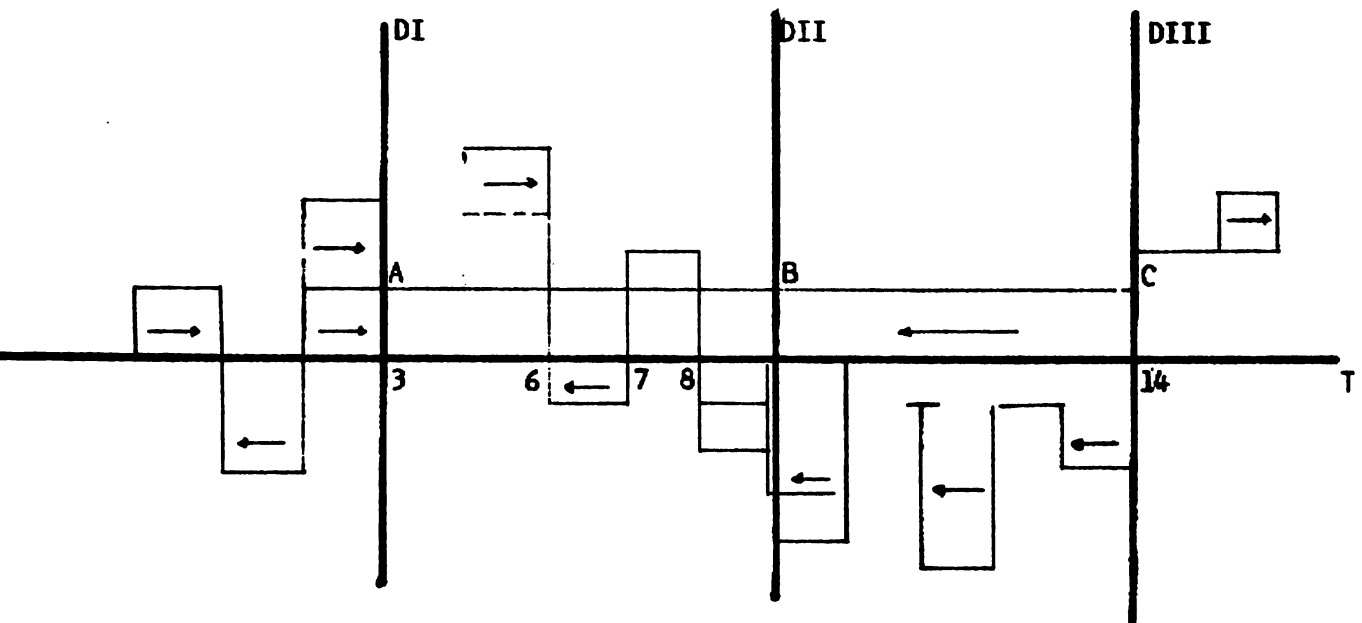


Fig. III-14 : Schéma montrant l'épure avec plusieurs lieux de dépôts.

Reprenant l'épure entre I et III, nous constatons que l'adoption de LT, jusqu'au D III donne des transports entre P3 et P6, P7 et P8, et un dépôt au D III, mais supprime un transport plus long de P14 au P8.

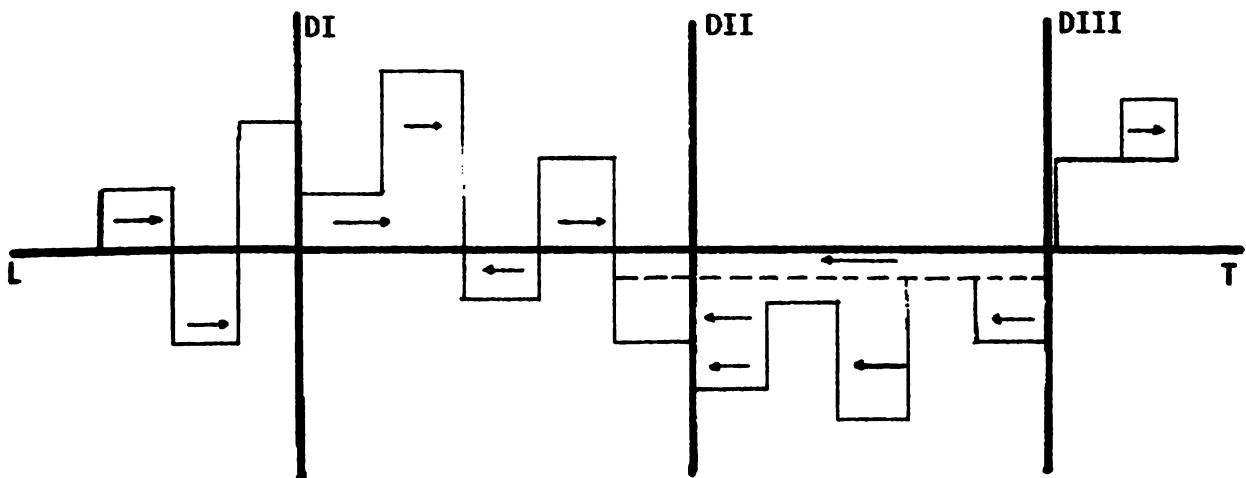


Fig. III-15 : Schéma montrant l'épure dans laquelle on a baissé la ligne de répartition par rapport à la position montré dans la fig. III-14.

177 3/1

180 3/1

185 3/1

190 3/1

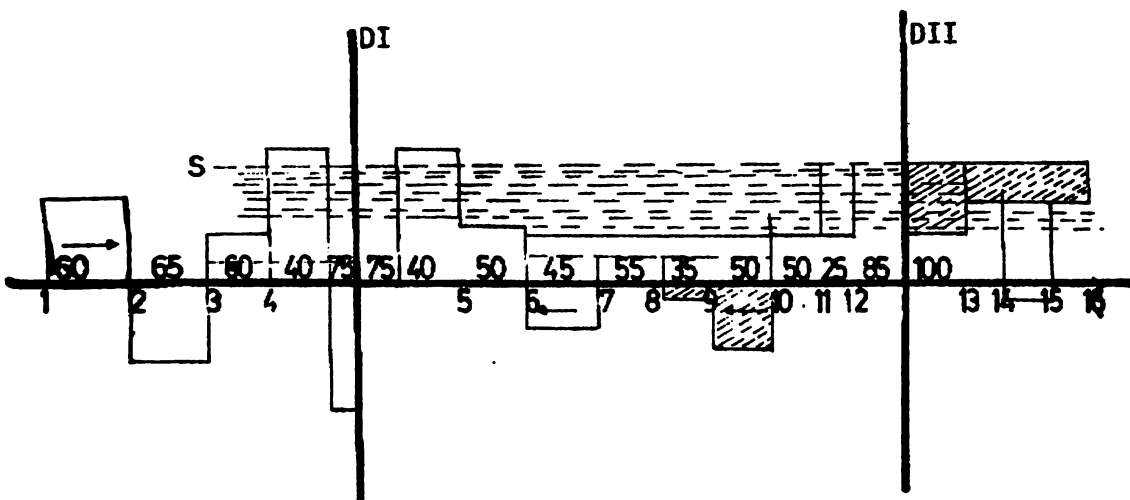
195 3/1

200 3/1

On a donc intérêt à adopter LI du dépôt I au dépôt III comme il est indiqué à la figure III-15

Deux ou plusieurs lieux de dépôt ou d'emprunt sont donnés en dehors du tracé.

Ce cas est absolument analogue au précédent, mais du fait des distances du tracé aux différents dépôts, il peut arriver que les transports au dépôt trouvés dans la lère, ou la dernière partie (avant le 1er dépôt ou après le dernier) viennent modifier les conclusions données par l'épure entre dépôts. Il faudra donc tenir compte des mouvements des lère et dernière partie dans l'étude des parties centrales.



**Figure III-16** : Schéma montrant l'épure dans laquelle deux ou trois lieux de dépôt ou d'emprunt sont donnés en dehors du tracé.





On remarquera d'abord que, dans les parties extrêmes, on peut négliger les parties P1 à P3 jusqu'à LT et P14 à P15, jusqu'à la ligne XY, ces mouvements ainsi supprimés sont invariables avec les changements de lignes; on peut donc définir la règle: pour la partie centrale, on considère pour la discussion depuis le dernier profil en déblai avant le 1er dépôt, jusqu'au 1er profil en déblai après le dernier dépôt. (On parlerait de profils en remblais dans le cas d'emprunts).

On constate en effet qu'avec la ligne LT, les déblais situés entre LT et XY du P3 vont au P6 et que, dès lors, les déblais du P10 vont au DII. Par contre, avec XY, ligne supérieure, les mêmes déblais du P3 iraient au DI, alors que les mêmes déblais du P10 iraient au P8.

Le dispositif est le même pour la comparaison de XY et X'Y'. Mais si on compare X'Y' et X''Y'', avec X'Y', ligne inférieure, les déblais du P3 vont toujours au P6, mais les déblais du P13 vont au DII; avec X''Y'' ligne supérieure, les déblais du P3 vont au DI, et ceux du P13 viennent au P12.

On voit qu'il y a changement du dispositif du fait de l'intervention des 1ère et 3ème parties de l'épure.

#### Discussion

LT	: 60 + 40 + 40 + 50 + 55 + 50 + 20 + 30 + 100	= 445	} XY
XY	: 60 + 40 + 75 + 45 + 35 + 50	= 305	
XY	: 60 + 40 + 40 + 50 + 50 + 20 + 30 + 100	= 390	} X'Y'
X'Y'	: 60 + 40 + 75 + 45 + 55 + 35 + 50	= 360	
X'Y'	: 60 + 40 + 40 + 50 + 50 + 20 + 100 + 30	= 390	} X''Y''
X''Y''	: 60 + 40 + 75 + 45 + 55 + 35 + 50 + 30 + 30	= 420	

X'Y' étant meilleure que XY, ligne au-dessous et que X''Y'', ligne au-dessus, est la ligne de répartition.

2000年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为1,000,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为1,000,000元。

2001年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为1,500,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2002年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为2,000,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2003年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为2,500,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2004年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为3,000,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2005年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为3,500,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2006年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为4,000,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

2007年12月31日，本公司在资产负债表上确认的递延所得税资产为4,500,000元，在利润表中确认的递延所得税费用为500,000元。

On remarquera la disposition adoptée pour tenir compte des distances du tracé aux dépôts I et II et on notera que, au P3, la partie supérieure est transportée au P5, alors que la partie inférieure va au dépôt I.

Lieux de dépôt ou d'emprunts indéterminés (Fig. III-17)

Dans ce cas, les terres sont déposées (ou empruntées, le long du tracé au droit des profils où elles sont en excédent.

La ligne de répartition est une ligne en gradins; la méthode est sensiblement analogue à celle utilisée dans le cas précédent, mais en supposant que chaque profil en déblai est un dépôt possible. La ligne de répartition sera en gradins ascendants, ces gradins étant joints par des verticales ascendantes.

On compare successivement toutes les horizontales entre ligne initiale et finale, en commençant par les plus basses. Si, dans la comparaison de deux lignes, la plus basse est préférable, on en conclut que le segment compris entre les premiers profils en dépôt est sur cette ligne. On continue la comparaison des deux mêmes lignes avec les parties restantes. Si la ligne la plus basse est encore préférable, on maintient sur elle le segment entre les deux profils suivants en déblai, et ainsi de suite. On ne passe à la comparaison de deux autres lignes que lorsque la ligne supérieure devient préférable et ces comparaisons se continuent sans tenir compte des parties déjà acquises aux lignes inférieures déjà utilisées.

$$\begin{array}{l} \text{Comparaison de LT et XY : } \text{LT } 60 + 50 = 110 \\ \text{XY } 65 + 55 = 120 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{LT } 60 + 50 = 110 \\ \text{XY } 65 + 55 = 120 \end{array}} \right\} \text{LT est préférable}$$

100  
100  
100

100  
100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100



11

Comparaison de X'Y' et X''Y'' depuis le P6.

X'Y'	65 + 55 = 120	} X''Y'' est préférable et le déblai BC va au dépôt.
X''Y''	70 = 70	

Comparasion de X''Y'' et X'''Y'''

X''Y''	55	} X''Y'' est préférable
X'''Y'''	70	

La ligne  $X^{IV} Y^{IV}$  ne change rien et le déblai du P9 entre  $X''Y''$  et  $X^{IV} Y^{IV}$  va au dépôt.

Comparaison de  $X^{IV} Y^{IV}$  et  $X^V Y^V$ .

$X^{IV} Y^{IV}$	85	} $X^V Y^V$ est préférable
$X^V Y^V$	75	

La ligne  $X^{VI} Y^{VI}$  ne change rien et la ligne de répartition est EF; le déblai du P9 entre  $X^{IV} Y^{IV}$  et  $X^{VI} Y^{VI}$  va au dépôt.

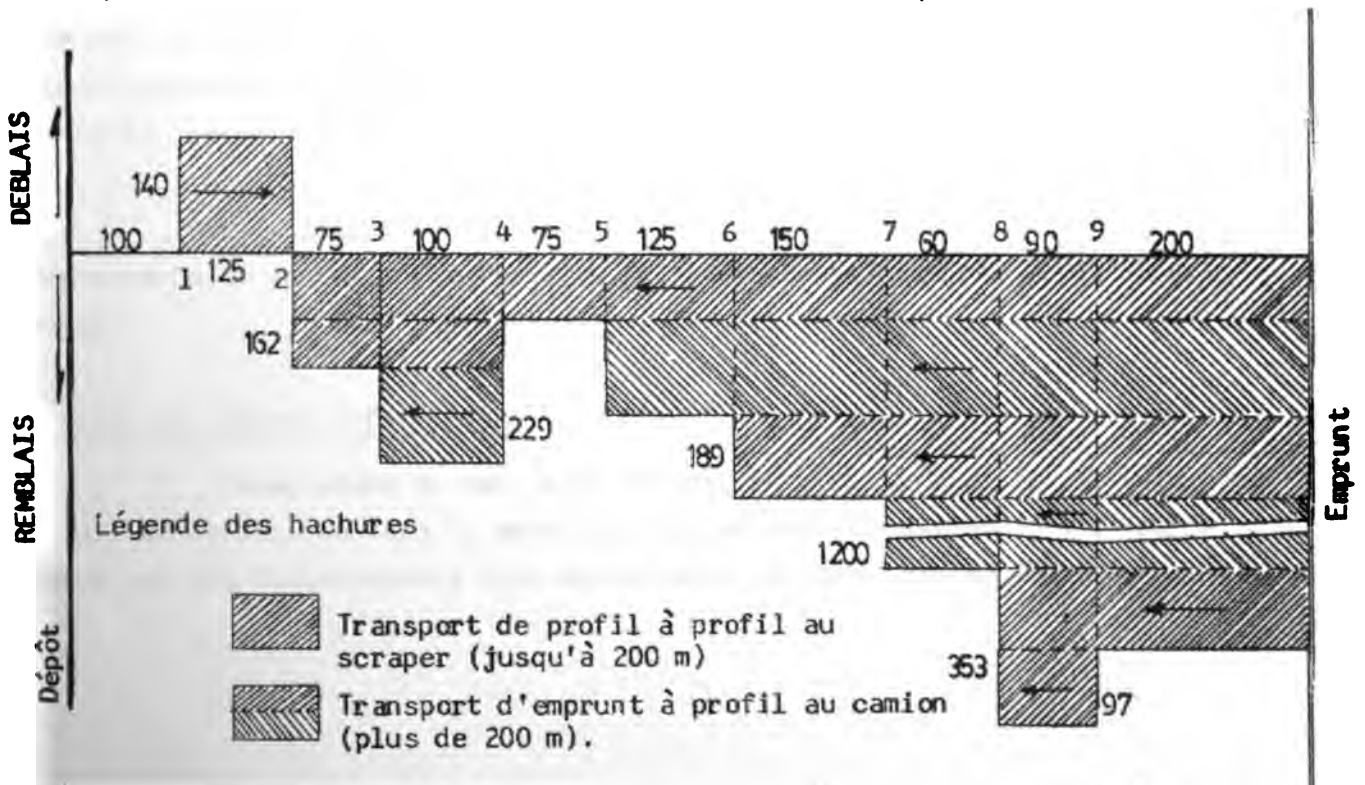
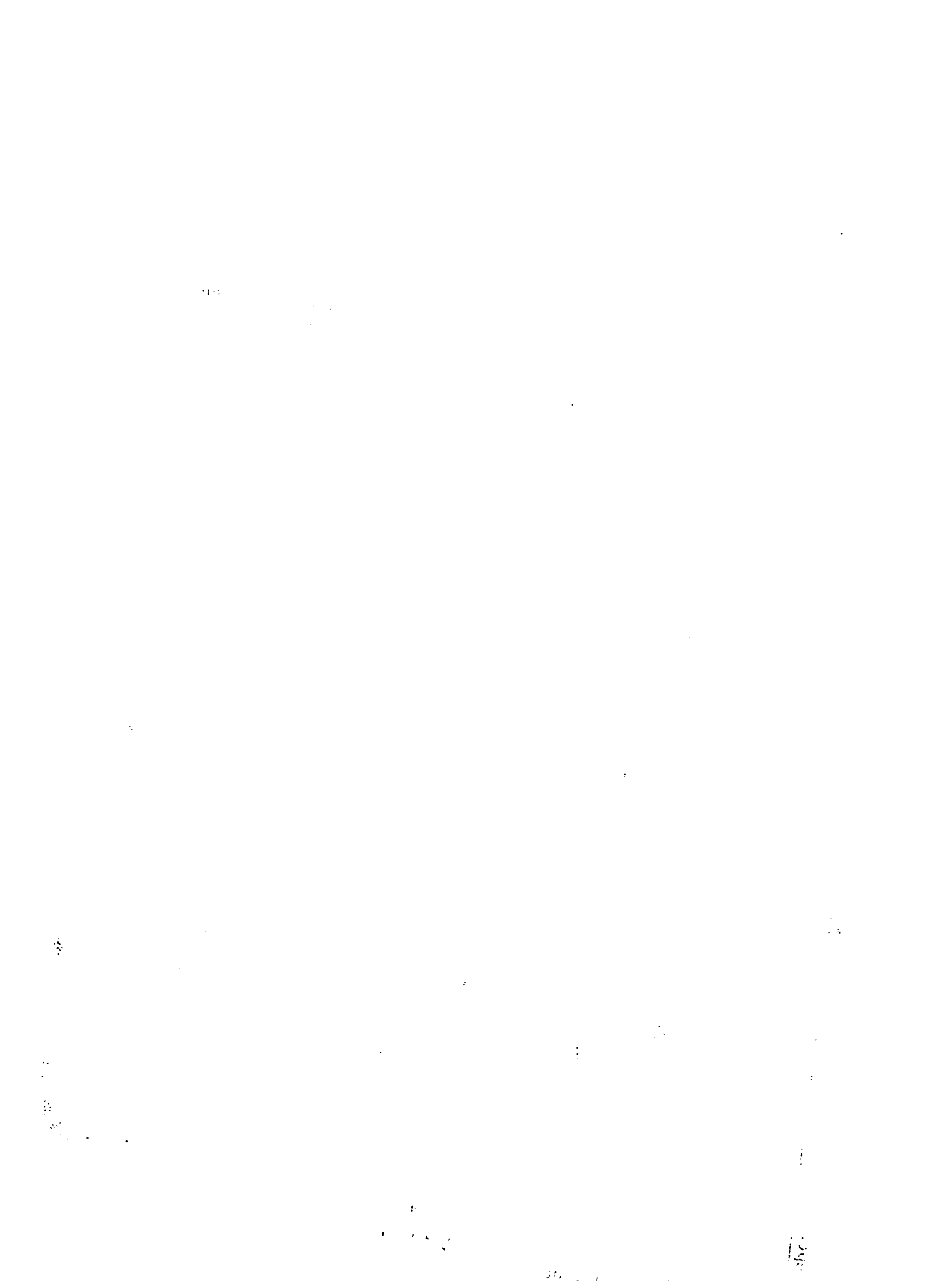


Fig. III-18: Schéma montrant l'épure sous l'hypothèse d'un lieu de dépôt sur la ligne à 100 m avant P1 et un lieu d'emprunt à 200 m après P9.





En définitive, on obtient la ligne en gradins 1 - 5 ABCDEFGO.

On a étudié les différents cas qui peuvent se présenter. Pour bien préciser la manière de présenter l'épure, on a indiqué à la figure III-13 l'épure à laquelle donne lieu la cubature donnée en exemple, en supposant un lieu de dépôt sur la ligne à 100 m avant le P1 et un lieu d'emprunt à 200 m après le P9.

### Calcul de la distance moyenne

L'épure terminée, on reprend le tableau du mouvement des terres et on y reporte les transports indiqués par cette épure: distances, dans la col.11, cubes dans les col.12 ou 14 suivant qu'il s'agit de transports au scraper ou au camion.

On indique dans la col.10, pour chaque profil en déblai, l'emploi des terres et, pour chaque profil en remblai, la provenance. Cette précaution permet de vérifier par comparaison avec les autres cubes des col. 5 et 6 s'il n'y a pas eu d'oubli ou de double emploi.

Dans les col. 13 et 15, on indique les produits des cubes par les distances, c'est-à-dire les moments de transport. La division des totaux des col. 13 et 15 respectivement par ceux des col. 12 et 14 donne les distances moyennes au scraper et au camion; la distance moyenne générale est égale à:  $13/12 + 15/14$ .

Des vérifications indiquées dans la col. 16 permettent de voir si des erreurs de calculs ne se sont pas glissées; elles comprennent d'elles-mêmes.

### Déblais de natures différentes

Nous avons vu que, dans ce cas, on établissait une cubature par nature de terre. On fera la même distinction dans le mouvement des terres parce que les foisonnements sont différents, et parce que la destination des

[Faint, illegible text covering the majority of the page, possibly bleed-through from the reverse side.]

1831

1832

1833

TABLEAU DU MONTANT DES TIERCES

No des profils	Cubes des cubes	Cubes des cubes	Cubes à employer dans le même profil	Excès des cubes des profils sur les profils	Excès des cubes des profils sur les cubes des profils	Cubes à porter en profils	Profils à porter en dépôt	Emprunts pour profils	Indemnité des frais de dépôt des profils ou emprunts	Distance du transport	Transports			Observations	
											au départ	au camion	à l'arrivée		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	146	"	"	146	"	146	"	"	au P. 2 46 du P. 1 75 de 1 <sup>er</sup> emprunt 67 du P. 4	125	146	146250	75	53095	vérifications
2	"	208	"	"	200	"	"	75	ou P. 2 au P. 4	075	"	"	"	53095	col. 1-2- col. 4- 472-670-148 140
3	"	102	"	"	102	67 102	"	"	du P. 4	175	67	11725	"	"	col. 6- col. 7- col. 8- 2030- 2451-145
4	220	"	"	220	"	102	"	"	ou P. 2 au P. 4	100	102	16300	"	"	col. 6- col. 7+ col. 9 - 2300- 472 + 1331
5	76	205	76	"	161	"	"	161	de 1 <sup>er</sup> emprunt	625	"	"	161	106225	col. 12+col. 14 472-1031
6	16	147	16	"	131	"	"	131	de 1 <sup>er</sup> emprunt	600	"	"	131	65500	col. 7 + col. 9 + col. 6-2030
7	"	120	"	"	120	"	"	120	de 1 <sup>er</sup> emprunt	370	"	"	"	208	446000
8	"	313	"	"	313	"	"	266	de 1 <sup>er</sup> emprunt 97 du P. 9	300	"	"	266	74000	
9	165	50	58	97	"	97	"	"	du P. 8	50	97	8700	"	"	

Montants moyennes des profils indiqués

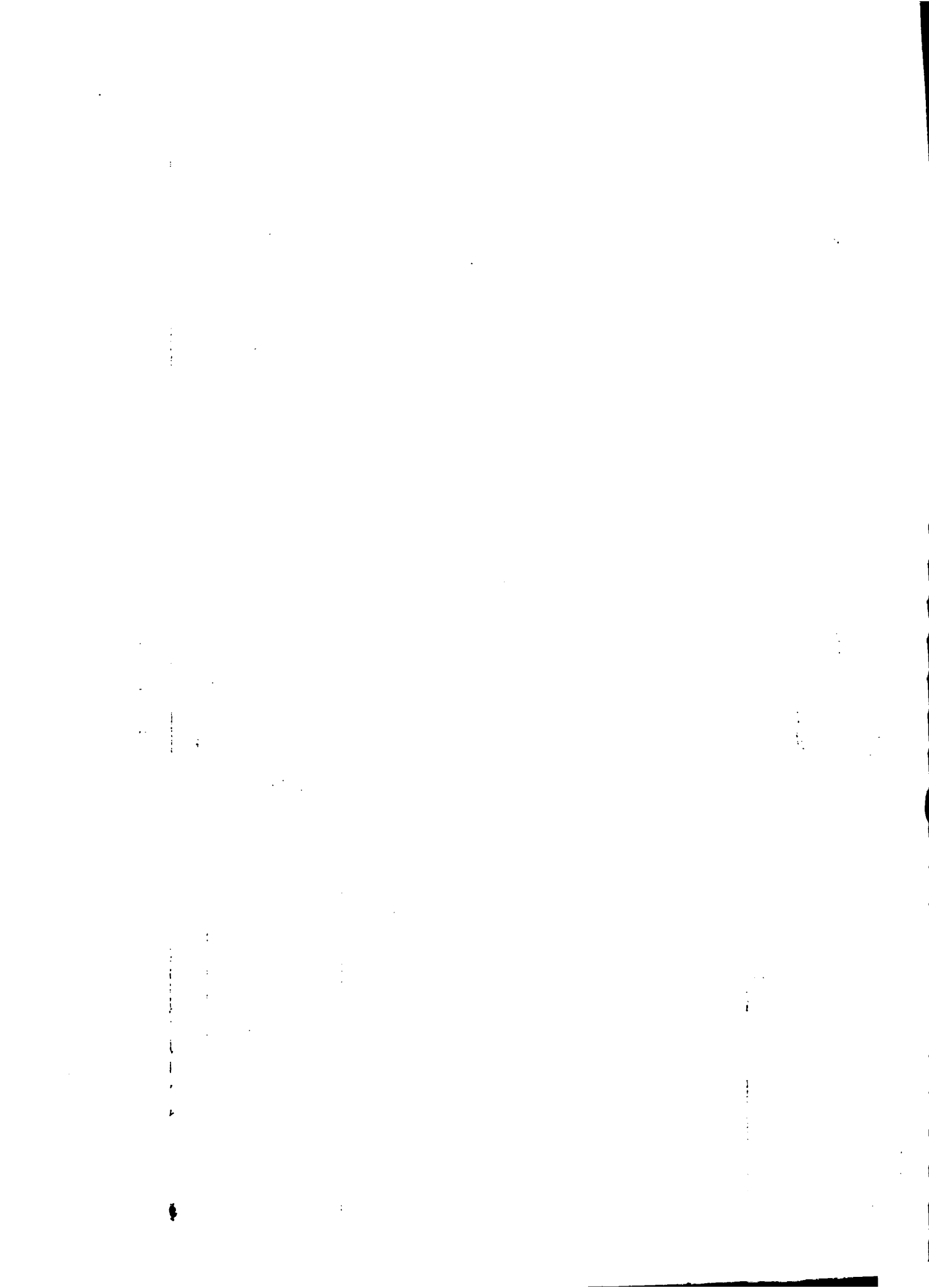
24 505 100, 1 m. v. 118 m

au camion

260 173 411 m. v. 118 m

Montants moyennes des profils

24 505 100, 1 m. v. 118 m  
260 173 411 m. v. 118 m  
272 141 411 m. v. 118 m



déblais varie avec leur nature, l'argile étant inutilisable en remblai, la roche étant mise de côté pour maçonneries ou empierrement ..., etc. On fera des épures différentes, généralement superposées, mais les résultats de ces épures sont portés dans un seul tableau de façon à ne calculer qu'une seule distance moyenne; les transports sont, en effet, payés à la distance, mais il importe peu de connaître la nature des terres transportées.

### Avant Métré des terrassements

Les études de la cubature des terres et du mouvement des terres nous ont fourni les éléments suivants de l'avant métré:

- 1o) Cube des déblais évalués en  $m^3$  au profil des déblais (dans l'exemple traité;  $615 m^3$ ) avec éventuellement distinction d'après leur nature.
- 2o) Cube des remblais à mettre en place évalué en  $m^3$  au profil de remblai (dans l'exemple traité  $2\ 452 m^3$ ).
- 3o) Cube des Déblais:
  - a) à réutiliser dans le même profil (dans l'exemple:  $148 m^3$ )
  - b) à transporter au scraper de profil (dans l'exemple:  $472 m^3$ )
  - c) à transporter par camion de l'emprunt au profil (dans l'exemple:  $1\ 831 m^3$ ).

(Ces cubes sont tous évalués en  $m^3$  au profil).

- Ces éléments vont permettre d'étudier les différents travaux qu'ils comportent, les prix unitaires dont ils nécessitent l'étude et, par suite, les différentes rubriques de l'avant-métré qu'ils entraînent.



## IV. REGLEMENTS DES TERRASSEMENTS

### Règlement des terrassements

Les éléments déterminés ci-dessus vont permettre d'étudier les différents travaux qu'ils comportent, les prix unitaires dont ils nécessitent l'étude et, par suite, les différentes rubriques de l'avant métré qu'ils entraînent.

#### 4.1. Evaluation des prix des terrassements

Deux systèmes peuvent être employés:

le système de l'avant-métré forfaitaire

le système du métré après exécution des travaux.

Quel que soit le système adopté, les prix unitaires sont généralement établis pour un mètre cube mesuré au déblai, soit au vide de la fouille.

##### 4.1.1. Système de l'avant-métré forfaitaire

La difficulté de contrôler les quantités de terrassements exécutés en cours du travail du fait de la rapidité d'exécution, de l'enchevêtrement des différentes opérations: déblai, transport, mise en remblai, de l'importance des quantités maniées, amènent souvent à préférer un règlement forfaitaire basé sur des quantités calculées en avance par avant-métré, d'après les dessins. Ces quantités deviennent forfaitaires et, par suite, restent pratiquement invariables quelles que soient celles qui sont réellement exécutées.

L'avant métré, établi par l'auteur du projet par utilisation des méthodes de cubature et mouvement des terres développées précédemment, est soumis à l'Entrepreneur avant réalisation des travaux. Celui-ci a un certain délai pour vérifier l'avant-métré et faire ses observations tant sur le relevé des plans et profils que sur les calculs de cubatures et de mouvement des terres. Après rectifications, s'il y a lieu, les volumes, surfaces, distances moyennes portées à l'avant

the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol, and the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the endoplasmic reticulum (ER) lumen. The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ER  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase (ERCA) and the sarco(endo)plasmic reticulum  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase (SERCA) [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the plasma membrane  $\text{Ca}^{2+}$ -ATPase (PMCA) and the Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> exchanger (NCX) [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the cytosol is maintained at a low level by the PMCA and the NCX [1].

The  $\text{Ca}^{2+}$  concentration in the ER lumen is maintained at a high level by the ERCA and the SERCA [1].



métré deviennent forfaitaires; elles serviront de base aux règlements définitifs. Elles ne peuvent être changées en cours de travaux, sauf si des modifications sont demandées par le maître d'oeuvre à l'entrepreneur.

Ce système présente l'avantage d'éviter l'établissement de tout métré en cours d'exécution ou en fin de travaux et de simplifier le contrôle de ceux-ci. Par contre, en cas d'erreurs, il risque de provoquer des pertes souvent importantes soit pour le maître d'oeuvre, soit pour l'entrepreneur.

#### 4.1.2. Système du métré après exécution

Avec ce système, des profils sont levés contradictoirement entre le maître d'oeuvre et l'entrepreneur avant et après l'exécution des travaux, tant pour les déblais que pour les remblais. Ces relevés permettront en fin de travaux d'établir la cubature et le mouvement des terres d'après les quantités réellement exécutées. On tient compte des coefficients de foisonnement et de tassement déterminés contradictoirement, soit forfaitairement, d'après des constatations faites au cours des travaux.

Les cubes de déblais et de remblais peuvent d'ailleurs être déterminés par évaluation dite "au transport". Elle consiste à établir les quantités exécutées par comptage des véhicules utilisés, après détermination de la charge utile de chacun de ceux-ci. Cette méthode nécessite évidemment une surveillance constante sur le chantier; elle exige la connaissance exacte de la capacité de chaque véhicule, la vérification du chargement, l'application de coefficients de foisonnement puisque les cubes de terres sont ceux mesurés dans les véhicules, donc foisonnés. Les erreurs peuvent être importantes, soit qu'elles proviennent d'erreurs de comptage du nombre de véhicules, soit surtout qu'elles résultent des différences, souvent sérieuses, dans l'évaluation des quantités chargées sur chacun de ceux-ci. Cette méthode n'est d'ailleurs applicable que dans le cas d'emploi de camions, wagons, bateaux...; elle ne saurait être employée pour des travaux exécutés avec des moyens mécaniques modernes : bull-dozer, drag-line, grues, scrapers.



#### 4.2. Déblais

Quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée, des prix différents sont à prévoir pour chaque nature de déblais. Des distinctions seront faites, comme nous l'avons vu, d'après la nature des terres déblayées:

- Terres ordinaires ou sableuses - argileuses, pierreuses ou caillouteuses, tuf, marne compacte - argile plastique, glaise franche - roche moyennement dure.

Ils pourront également être distingués d'après leur mode d'exécution:

- déblais de terres immergées (au besoin dragages), nécessitant des épuisements, c'est-à-dire l'utilisation de pompes pour évacuer l'eau des fouilles.
- déblais de terres nécessitant des blindages, c'est-à-dire des étaitements pour éviter des affaissements, en particulier, déblais en tranchée,
- déblais de terres exécutés à la main,
- déblais de terre exécutés à la machine (pelles mécaniques, excavateurs, drag-line ...).
- déblais de terres rocheuses nécessitant l'emploi d'explosifs,
- déblais de terres en souterrain.

Le prix de chacun de ces déblais variant parfois considérablement il sera nécessaire de les distinguer dans l'avant-métré; ils donneront lieu à des cubatures particulières. Il y aura lieu d'ailleurs de compter à part certains travaux, ainsi:

Pour les terres immergées, interviendra le prix d'épuisements ou évacuation des eaux inondant les fouilles; ces épuisements comprennent généralement: la location de pompes, fourniture de l'énergie nécessaire: essence, gas-oil, courant électrique, air comprimé, main-d'oeuvre de fonctionnement des pompes: heures d'ouvriers.



Ces sujétions peuvent être réglées forfaitairement par une plus-value applicable par  $m^3$  aux déblais exécutés sous l'eau ou avec gêne causé par arrivée d'eau; cette plus-value n'est généralement applicable que si la hauteur d'eau constatée dans la fouille dépasse un minimum, généralement 0.10 m.

- Pour les déblais nécessitant des blindages, ceux-ci pourront être évalués à part, donnant lieu à une évaluation de location au  $m^3$  ou au  $m^2$  par jour; on préfère généralement établir un prix au  $m^3$ , boisages compris, ce qui ne donne alors qu'une rubrique à l'avant métré.

- Déblais de terres exécutés à la main: l'exécution à la main est beaucoup plus couteuse que l'exécution à la machine; on admet souvent un prix double; mais l'exécution à la main nécessite, en plus, des travaux de jets de pelle d'éloignement soit horizontaux, soit verticaux. On pourra, par suite, avoir à l'avant-métré des rubriques: jets d'éloignement, jet sur berges, jets verticaux sur banquettes, comptés au  $m^3$ . Ces rubriques sont surtout employées dans le métré des travaux de bâtiment. Dans les travaux publics, on préfère généralement établir un prix au  $m^3$ , toutes mains-d'oeuvre comprises, ce qui permet de n'avoir qu'une seule rubrique à l'avant-métré;

- déblais de terres exécutés à la machine; ce sont les plus courants actuellement. Ils ne comportent généralement qu'une seule rubrique; cependant, on peut être amené à distinguer les déblais suivant l'engin utilisé: bull-dozer ou boteur, scraper, pelle mécanique chargeuse...

- Déblais exécutés à l'explosif: ils ne comportent généralement qu'un prix tenant compte de toutes fournitures et travaux nécessaires cependant l'évacuation des déblais pourra donner lieu à un prix d'enlèvement ou de marinage. Il y aurait alors une rubrique pour ce dernier travail; le prix tenant compte du chargement en wagon ou camion, à la main ou mécaniquement, des rubriques seront ouvertes pour:



Enlèvement de déblais par tel engin, avec chargement à la main,  
 Enlèvement de déblais par tel engin, avec chargement à la pelle  
 mécanique..., etc.

Le foisonnement, très important avec des déblais de roche dure  
 interviendra pour le calcul des cubes à manier, les volumes de déblai  
 évalués au profil réalisé devant être majorés, pour tenir compte de ce foi-  
 sonnement (parfois 100%), à moins que les prix à appliquer n'en tiennent  
 déjà compte;

- Déblais en souterrain; ils ne donnent pas lieu à observations  
 particulières en ce qui concerne la détermination des cubes, les aléas  
 qu'ils comportent (utilisation d'explosifs, boisages, épaissements, marina-  
 ge, évacuation des terres à l'air libre...) intervenant dans l'étude du  
 prix. La section d'un souterrain étant souvent constante, on peut, dans  
 ce cas, établir un prix au mètre linéaire de souterrain; l'avant-métré se  
 réduit alors à l'évaluation de la longueur.

Il est évident que chacune des rubriques indiquées ci-dessus  
 pourra se subdiviser en sous-rubrique, suivant la nature des déblais; on  
 pourra ainsi avoir:

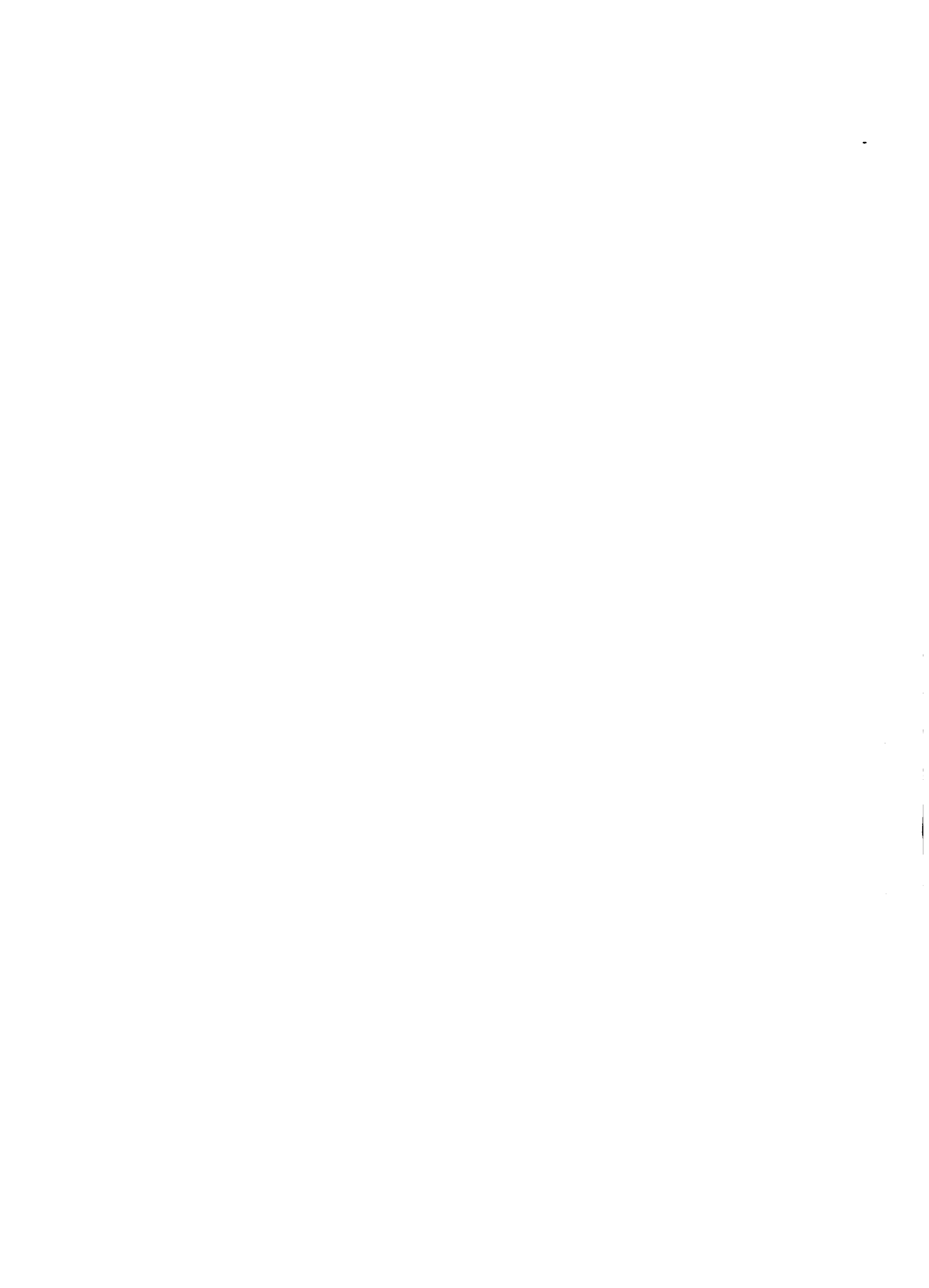
Déblais argileux exécutés à la main,

Déblais rocheux exécutés à la main.

Très souvent, on établira un prix pour un  $m^3$  de déblai d'une na-  
 ture déterminée, et on prévoira des plus ou moins values applicables par  
 $m^3$  pour les déblais d'autres nature.

L'avant-métré comportera alors, par exemple:

déblai en terrain ordinaire exécuté à la machine:  $\chi m^3$ ,  
 plus-value pour déblai en terrain argileux:  $\chi_a m^3$ .





Enfin des rubriques spéciales pourront être ouvertes pour des déblais dont le prix varie d'après les difficultés d'exécution:

4.2.1. Déblais en tranchée à des profondeurs différentes; il y aura lieu alors d'ouvrir des rubriques de montage des terres soit à la main des jets sur banquettes, soit au treuil, soit au tapis. Les prix variant avec les hauteurs de montage, l'avant métré devra établir les cubes montés au différentes hauteurs, soit:

Déblais en tranchés avec montage à 1.80 m

Déblais en tranchée avec montage à 3.60 m..

Déblais en puits dont le prix variant essentiellement avec les hauteurs de montage comportent également des difficultés particulières.

Nous voyons que les variétés de déblais qu'on peut avoir à évaluer sont importantes; la cubature pour chacune d'elles se fera par les méthodes indiquées au début. Pour certaines, la cubature exacte sera employée couramment: déblais en tranchée, en puits... mais le plus souvent, on aura recours à la méthode des profils en travers, toujours applicable.

4.2.2. Dragages ou déroctages- Les cubes peuvent être déterminés par levés de profils au moyen de sondes avant et après l'exécution; il y a lieu avec cette méthode de s'assurer de la stabilité des fonds relevés et de la précision des sondages. Ces cubatures sont assez délicates à établir aussi préfère-t-on souvent avoir recours au métré au transport qui, dans le cas des dragages, est généralement facile à obtenir exactement. Les déblais sont en effet chargés dans des bateaux dont la charge s'obtient par jaugeages. Il existe pour chaque bateau un tableau indiquant le tonnage chargé d'après son enfoncement dans l'eau. Dès lors, par mesure ou simplement relevé sur les échelles portées par le tableau, de l'enfoncement à l'avant, au milieu et à l'arrière, on détermine le poids des terres chargées. Si on veut connaître le cube, on peut:



Soit le déduire du poids d'après connaissance du poids spécifique des terres, compte tenu de l'eau qui les imbibe,

Soit procéder à une évaluation directe par sondages à des points fixés à l'avance donnant la hauteur de terres chargées dans le bateau; les quantités sont alors données par le tableau donnant les capacités de charge correspondant à chaque hauteur.

Enfin, le cube des dragages ou déroctages peut être évalué d'après les profils de remblai, après déversement des terres. Des profils du terrain de dépôt sont relevés avant et après mise en place des terres, compte tenu éventuellement du tassement du sol supportant le remblai.

4.3. Remblais Les remblais ne donnent pas lieu à d'aussi nombreuses distinctions que les déblais. Leur mise en place comportera des travaux de préparation du sol destiné à les supporter, d'épandage des terres avec réglage et pilonnage par couches d'épaisseur réduite, de compactage et, enfin, de dressement des talus avec revêtement ou non.

Les travaux de préparation du sol: enlèvement de la végétation, des arbres avec ou non dessouchage, des racines et débris végétaux, exécution de sillons ou redans d'appui, décapages, dégazonnements, scarifications, compactage du sol de support avec apport ou non de terres de remplacement ou de correction, drainages, corrois d'argile, humidification du sol ou assèchement par hersage ou épandages de chaux... sont généralement payés à part au mètre carré.

L'épandage, réglage et pilonnage des terres constitue la mise en remblai proprement dite; elle est payée au mètre cube et, souvent, le prix tient compte de tous travaux tant de préparation du sol de support que d'aménagement des talus. L'avant métré ne comporte alors qu'une rubrique donnant la quantité à mettre en place; c'est le cas de l'avant métré de l'exemple traité ci-après. Cependant, si le cube des déblais d'un projet est supérieur



à celui des remblais, nous avons vu que l'excès doit être mis en dépôt, celui-ci pouvant être soit une ancienne carrière, un étang ou simplement sur un terrain qui peut être exhausé. Les terres à mettre en dépôt seront simplement déversées; le prix de mise en remblai sera donc différent et il sera nécessaire d'ouvrir des rubriques différentes pour les terres mises en remblai dans le projet (on dit souvent sur la ligne) et celles à mettre en dépôt.

De plus en plus, les travaux de mise en place des remblais comportent un compactage, travail très spécial destiné à donner au remblai une compacité égale à celle des terres en place. L'exécution du compactage nécessite des études et surveillances en cours d'exécution, l'emploi de matériel particulier, l'arrosage ou l'assèchement des terres, l'apport de matériaux spéciaux... Le travail de compactage y compris toutes dépenses d'apport, répandage et mélange de matériaux, d'hersages, d'épandage par couches avec tassement par engins spéciaux... sauf celles de préparation des sols de support indiquées ci-dessus, peut être payé de trois manières:

- Par application d'une plus-value par  $m^3$  de déblai mise en place et compacté.
- Par établissement d'un prix du  $m^3$  compacté, le cube étant évalué par cubature, comme il a été fait pour l'exemple précédent
- Par règlement des dépenses de fourniture et emploi des différents engins utilisés; l'unité employée peut être alors soit la tonne-kilomètre (pour un engin de 20 t. ayant parcouru 10 km on a 200 t/km), soit l'unité de percussion ou de vibration. Ces unités sont d'un emploi difficile aussi bien pour l'évaluation que pour le contrôle; aussi préfère-t-on le plus souvent évaluer en heures d'utilisation d'engin, un prix de location étant établi pour chacun de ceux-ci; c'est le même système que pour l'estimation du cylindrage.

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

Les remblais peuvent être exécutés par voie hydraulique; c'est un procédé facile et efficace surtout quand il s'agit de remblaiement de tranchées (tranchées de réalisation d'égouts, canalisations diverses... puits...); le règlement est fait au  $m^3$  mis en oeuvre, le prix tenant compte de la nature des terres d'apport (terre sableuse, sable, mâchefer...) et, le cas échéant, du matériau ajouté (ciment, chaux, cendres...), de la fourniture de l'eau et de l'arrosage.

Les remblais en élévation doivent avoir une forme régulière; leurs talus devront avoir une surface généralement plane qui ne peut être obtenue que par un travail de dressement ou talutage qui est réglé au  $m^2$ . L'avant-métré devra donc présenter une rubrique de dressement de talus donnant la surface des talus de remblai que l'on établit d'après les profils de la cubature. Il peut d'ailleurs être également prévu un dressement des talus de déblai, quoique, le plus souvent, ce travail soit inclus dans le prix du  $m^3$  de déblai. Ces travaux de dressement peuvent être exécutés à la main ou à la machine (bulldozer, niveleuse), les prix variant évidemment suivant le mode d'exécution.

Les talus peuvent être revêtus en terre végétale pour permettre l'ensemencement des plantes qui maintiendront les terres, ou bien directement gazonnés par mise en place de plaques de gazon; ces travaux sont payés au  $m^2$ , les prix tenant compte de la fourniture de terre végétale à pied d'oeuvre et de sa mise en place, de la fourniture et mise en place de plaques de gazon ou de dalles en béton nervurées ou non, de la fourniture et de l'ensemencement de graines...

**4.4. Transports** Les déblais devront être transportés du lieu de déblai ou d'emprunt au lieu de remblai ou de dépôt. Le mouvement de terres a permis de ramener tous les transports différents à un seul: transport de  $V m^3$  à une distance moyenne de  $d_m$  mètres. Il suffira donc dans l'avant-métré de reprendre cette seule rubrique. Cependant nous avons vu que les déblais et remblais sont généralement évalués en  $m^3$  au profil et que, du fait du foisonnement, le transport de ce cube  $V$  exigeait une capacité de véhicu-

0.000000

0.000000

0.000000

0.000000



ies de  $V (1 + f) m^3$ . A moins que le prix de transport ne tienne déjà compte du foisonnement (ce qui n'est guère possible que si les terres sont toutes de même nature), il sera nécessaire dans l'avant métré de faire apparaître le volume à transporter en cube foisonné, c'est à dire en  $m^3$  évalué au transport. Pour les cubes à porter à l'avant-métré, on comptera alors:

$V_o (1 + fo)$  de terres ordinaires;  $V_a (1 + fa)$  de terres argileuses,

soit un total  $V_o (1 + fo) + V_a (1 + fa) = V m^3$  au transport.

4.4.1. Chargement- Le travail de transport comporte trois opérations: le chargement, le transport proprement dit, le déchargement. Nous avons déjà vu que le prix du transport proprement dit tient compte d'immobilisation des véhicules pendant le chargement et le déchargement. Mais il reste à compter les travaux eux-mêmes de ces opérations.

Dans le cas de déblais chargés à la main, cas qui devient rare sur des chantiers de terrassements, mais qui reste assez courant sur des chantiers où ceux-ci constituent qu'une partie de la réalisation de l'ouvrage: construction d'ouvrages d'art, de bâtiments, de canalisations..., le chargement pourra être intégré dans le prix de transport qui comprendra alors:

Chargement, transport à X mètres et déchargement.

Dans le cas où des prix distincts seraient établis pour chaque opération, l'avant métré comporterait des rubriques: chargement et déchargement.

Ces distinctions ont perdu beaucoup de leur intérêt pour les chantiers de terrassements proprement dits où les déblais sont exécutés avec des engins mécaniques. Ceux-ci, en effet, réalisent le plus souvent dans une même opération déblai et chargement: c'est le cas des engins tels que bulldozers et scrapers, c'est le cas encore des pelles mécaniques qui dé-



versent directement dans les véhicules de transport. Cependant, il y a lieu de noter que les camions ne pouvant pas toujours se mettre à portée de l'engin de déblaiement, il est nécessaire parfois de mettre ces terres en dépôt puis d'effectuer des reprises pour chargement; ces reprises peuvent être faites soit à la main, soit plus souvent par des engins spéciaux de chargement: chargeurs à bras (loaders), sauterelles, tapis... Il y aura lieu alors soit d'intégrer ces travaux dans le prix unitaire de "Chargement et transport", soit d'indiquer à l'avant métré: Reprise pour chargement en camion.

4.4.2. Le déchargement ne donne plus guère lieu à rubrique spéciale, tous les engins de transport utilisés actuellement comportant des dispositifs de vidange automatique tels que les camions à bennes basculantes, les wagons à fond ouvrant, les wagonnets basculants...

Les prix de transport tenant compte du chargement, du déchargement et du temps perdu par les véhicules pendant ces opérations, ces dépenses peuvent être intégrées dans le prix d'un transport minimum (à 100 m ou à 1 Km par exemple). Dans le cas d'un transport à une distance supérieure, on applique un prix supplémentaire par 100 m (ou par Km). On ajoute au prix précédent le produit de la distance au delà de 100 m ou du km par le prix unitaire. On arrondit d'ailleurs généralement les distances aux 100 m ou au km. supérieurs, considérant que toute longueur de 100 m (ou de km) commencée est due en entier.

On a donc deux prix:

P : Transport à 100 m de distance, y compris chargement et déchargement,

$P_t$  : Transport au-delà de 100 m, par longueur supplémentaire de 100 m.

Pour une longueur de 2 800 m par exemple, le prix applicable à l'unité de volume ou de masses transportées sera:  $P + 27 P_t$ . Les prix ainsi établis tiennent compte du retour du véhicule.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

Furthermore, it is noted that the records should be kept in a secure and accessible format. Regular backups are recommended to prevent data loss in the event of a system failure or disaster.

Joseph

10/10/2023

10/10/2023

10/10/2023

10/10/2023

The following table provides a detailed breakdown of the financial data for the period from January to December 2023. Each row represents a month, and the columns show the various components of the total revenue and expenses.

Month	Revenue	Expenses	Net Profit
Jan	1200	800	400
Feb	1100	750	350
Mar	1300	900	400
Apr	1400	1000	400
May	1500	1100	400
Jun	1600	1200	400
Jul	1700	1300	400
Aug	1800	1400	400
Sep	1900	1500	400
Oct	2000	1600	400
Nov	2100	1700	400
Dec	2200	1800	400

The data indicates a steady increase in both revenue and expenses over the course of the year, with a consistent net profit of 400 units per month.

10/10/2023

10/10/2023

10/10/2023

10/10/2023

10/10/2023

Le règlement des transports peut donner lieu à l'application de deux systèmes déjà définis pour le règlement des terrassements:

- Système du forfait: les distances moyennes sont calculées et soumises à l'entrepreneur; après son acceptation, elles deviennent forfaitaires et ne pourront être changées en cours d'exécution des travaux sauf si le maître de l'oeuvre demande des modifications de ceux-ci. Avec ce système, le prix du transport peut être intégré dans le prix du déblai ou du remblai. Ce prix comporte alors: l'exécution du déblai ou du remblai, le chargement des terres, le transport à la distance moyenne fixée forfaitairement, compte tenu du foisonnement, le déchargement.
- Système des prix unitaires: les distances moyennes sont établies en cours ou en fin des travaux; les distances à prendre en compte sont alors comptées de centre de gravité de déblai à centre de gravité de remblai ou de dépôt; elles sont mesurées horizontalement, une majoration égale à 10 fois la différence de niveau entre centres de gravité étant ajouté pour les transports en rampe.

Il peut être admis une évaluation des distances d'après les indications des compteurs des véhicules, la majoration pour différence de niveau étant toujours applicable.

Dans aucun des deux systèmes d'évaluation, ne sont pris en compte les transports de déblais réemployés dans un même profil: ces déblais sont payés à des prix tenant compte de tous transports.

4.5. Emprunts Dans le cas où la cubature indique un excédent de remblais, il sera nécessaire de se procurer des terres et de les transporter aux profils indiqués par l'épure. Les transports sont indiqués par

1. The first part of the document is a list of names and addresses, including:
   
 Mr. J. H. ...
   
 Mr. ...
   
 Mr. ...
   
 Mr. ...

2. The second part of the document contains a list of items, such as:
   
 ...
   
 ...
   
 ...
   
 ...

3. The third part of the document is a list of dates and times, including:
   
 ...
   
 ...
   
 ...

4. The final part of the document is a list of names and addresses, including:
   
 Mr. ...
   
 Mr. ...
   
 Mr. ...
   
 Mr. ...

le mouvement des terres. Mais, il sera nécessaire soit d'ouvrir une rubrique de fourniture avec chargement de terres si celles-ci sont déjà déblayées, soit une rubrique de déblai et chargement dans le cas où c'est l'entreprise exécutante qui doit elle-même déblayer les terres à prendre en emprunt.

#### 4.6. Exemple d'avant-métré de terrassements

Nous reprendrons en exemple l'avant-métré des terrassements ayant fait l'objet de la cubature et du mouvement des terres précédents;

Cet avant-métré comprendra en annexes le tableau du métré des terrassements, l'épure de Lalane et le tableau du mouvement des terres. Nous supposons que :

- les terres sont d'une seule nature;
- les terres à prendre en emprunt sont déblayées et chargées par l'entreprise qui exécute les travaux;
- le déblai des fossés est exécuté à la main;
- les talus (des déblais et des remblais) comportent un travail de dressement;
- les remblais doivent être compactés.

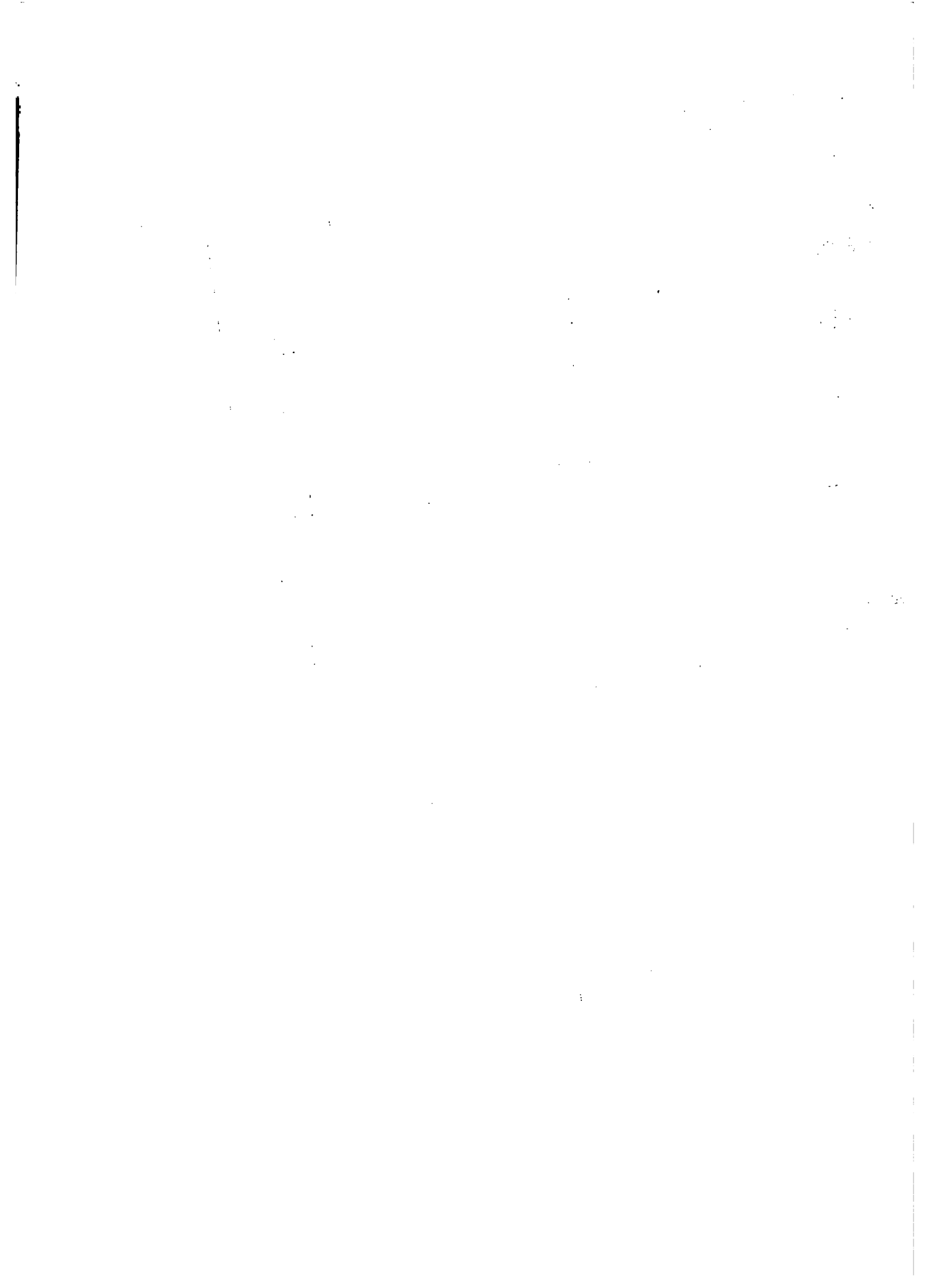
Nota : a) Quoique certains cubes soient déblayés à la main, nous les avons considéré comme exécutés par engins mécaniques : scraper ou pelle mécanique, le cube total indiqué au métré des terrassements, les déblais de fossés exécutés à la main sont en effet rejetés sur la plate-forme où ils sont repris par les engins mécaniques, cette reprise pouvant être assimilée à un déblai ordinaire. Cette méthode s'impose, car souvent les engins mécaniques ne peuvent exécuter des fouilles de fossés tels que ceux qui sont indiqués aux profils. Il peut ne pas en être de même dans un projet de route actuelle où les fossés ont des sections triangulaires étudiées pour qu'elles puissent être réalisées par des engins mécaniques (niveleuse ou motor-grader).

b) La surface des talus ne comprend pas les talus de fossés, le prix des déblais à la main tenant compte de la réalisation exacte des profils de ceux-ci.





DESIGNATION des ouvrages et partie d'ouvrages et indication de leur nature	NIVEAU des cotes ou cotes sables sensibles	Longueur pour chaque ou ensemble	PROFILS RELEVÉS		COTES		COTES officielles	POIDS
			Largeur	Hauteur ou épaisseur	aud- liaires	défini- tives		
<b>Terrassements</b>								
<u>Déblais en terre or- dinaire, effectués au scraper avec trans- port à une distance moyenne de 1/6 m</u>	Cote calculé au tableau du mouvement des terres						472 m <sup>3</sup>	
	Cote de déblai exécuté au scraper et transporté à 1/6m						3	237 m <sup>3</sup>
<u>Déblais en terre or- dinaire, effectués à la pelle mécanique et placés en remblai dans le même profil</u>	Cote calculé au tableau du mouvement des terres						143 m <sup>3</sup>	
	Cote de déblai réemployé dans le même profil						30 m <sup>3</sup>	
<u>Déblais en terre or- dinaire, effectués à la pelle mécanique avec transport en camion en profil ou au lieu d'écoulement</u>	Cote calculé au tableau du mouvement des terres						1331 m <sup>3</sup>	
	Cote de déblai exécuté à la pelle mécanique						9	1340 m <sup>3</sup>
<u>Transport de terres, effectués par camion à une distance moyen- ne de 140 m</u>	Cote calculé au tableau du mouvement des terres						1331 m <sup>3</sup>	
	Cote de déblai transporté en camion, à 140 m						375	1706 m <sup>3</sup>
<u>Mise en remblai avec empilage</u>	Cote calculé au tableau du mouvement des terres						1331 m <sup>3</sup>	
	Cote de terre mise en remblai et empilée						6	1337 m <sup>3</sup>
<u>Déblais effectués à la pelle avec jet sur plateforme pour fossé</u>	Entre P1 et profil fiétri - côté droit	37,50						
	Entre profil fiétri et P2 - droit	72,92						
Entre P4 et P5 droit	72,92							
Entre P4 et profil fiétri - gauche	75,00							
Entre P5 et profil fiétri - droit	42,34							
	71,81							
	372,49	$\frac{1,50 + 0,50}{2}$	0,50			36,248	3,755	123 m <sup>3</sup>
Cote de déblai exécuté à la pelle avec jet sur plateforme								
<u>Dressement de talus en déblai ou en remblai</u>	profil 1	37,50	0,00	7,50				
	profil 2	62,50	0,00	67,50				
profil 3	51,00	0,00	46,40					
profil 4	57,63	0,49	23,04					
profil 5	52,23 <sup>5</sup>	0,47	120,00					
profil 6	47,51 <sup>5</sup>	0,00	54,50					
profil 7	65,00	0,72	68,20					
profil 8	54,40	0,17	71,50					
profil 9	30,00 <sup>5</sup>	0,00	63,00					
			120,00					
			0,72					
Surface de dressement de talus								1,20 m <sup>2</sup>



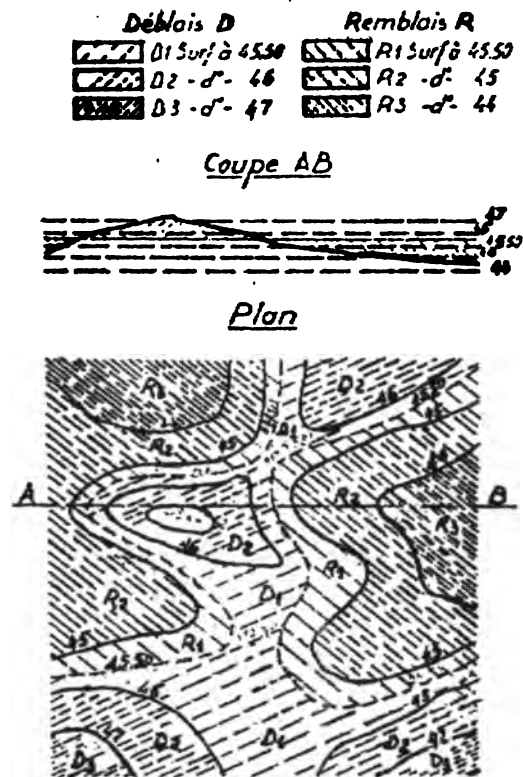


Figure IV-1 : Plan et coupe du terrain pour le calcul du terrassement.



V. NOTIONS NECESSAIRES A L'ETABLISSEMENT D'UN AVANT-METRE

5.1. Mesure des lignes

TRIANGLES

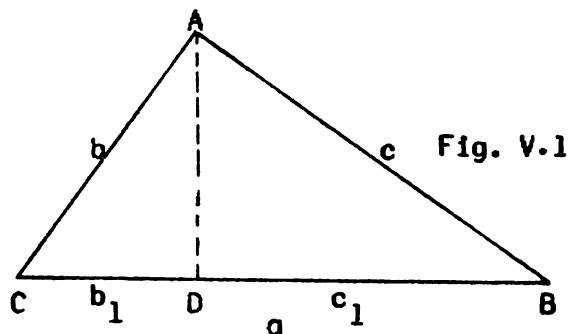
Triangles rectangles

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$b^2 = a \times b_1$$

$$c^2 = a \times c_1$$

$$h^2 = b_1 \times c_1$$



Triangles quelconques

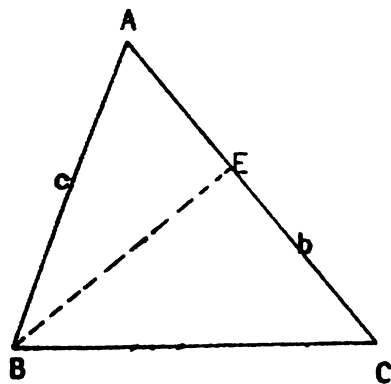


Fig. V. 2

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2b \times AE$$

(l'angle étant aigu)

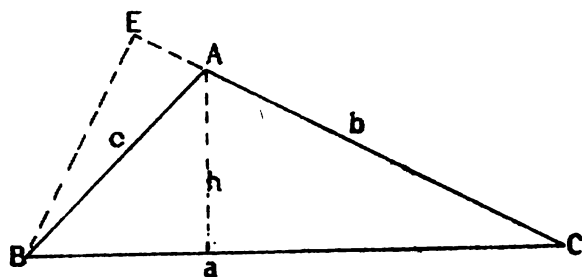


Fig. V. 3

$$a^2 = b^2 + c^2 + 2b \times AE$$

(l'angle étant obtus)

100-1000

100-1000

100-1000

100-1000

100-1000

100-1000

100-1000

Hauteur  $h$  en fonction des cotés:

$$h_a = \frac{2}{a} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

Dans cette formule,  $p$  représente le demi-périmètre, ou:

$$\frac{a+b+c}{2} = p.$$

Rayon du cercle inscrit (voir fig. 4):

$$R_i = \frac{a+b+c}{a \times h_a} = \frac{a \times h_a}{2p} = \frac{bh_b}{2p} = \frac{ch_c}{2p}$$

$$R_i = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)(p-c)p}{p}}$$

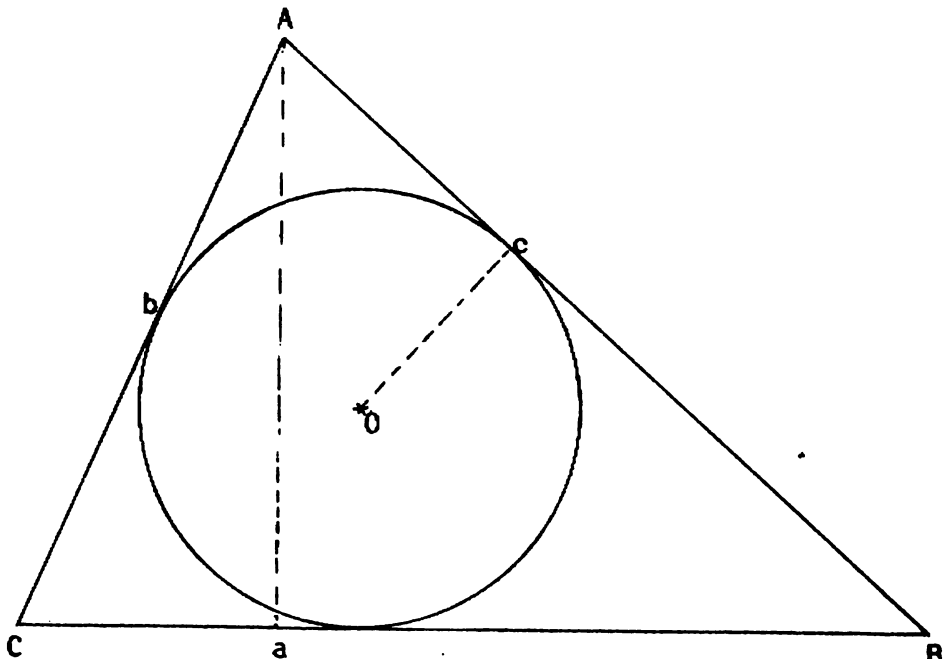


Fig. V. 4

1900

1901

1902

1903

1904

1905

1906

1907



Rayon du cercle circonscrit:

$$R_c = \frac{abc}{4\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}} = \frac{abc}{4S}$$

$S$  = surface

ou encore

$$R = \frac{ac}{2h_b} = \frac{ab}{2h_c} = \frac{bc}{2h_a}$$

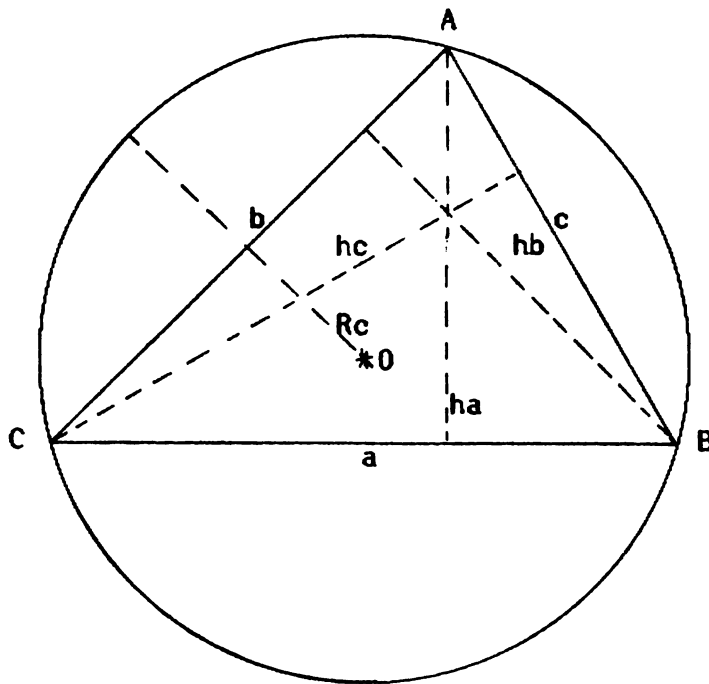


Fig. V. 5



5.2 Polygones réguliers

	Côté.	Apothème
Triangle équilatéral .....	$R \sqrt{3}$	$R/2$
	$R \sqrt{2}$	$\frac{R \sqrt{2}}{2}$
Pentagone convexe .....	$R/2 \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$	$R/4 (\sqrt{5} + 1)$
Hexagone .....	$R$	$\frac{R \sqrt{3}}{2}$
Octogone convexe .....	$R \sqrt{2 - \sqrt{2}}$	$R/2 \sqrt{2 + \sqrt{2}}$
Décagone convexe .....	$R/2 (\sqrt{5} - 1)$	$R/4 \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$
Dodécagone convexe .....	$R/2 (\sqrt{6} - \sqrt{2})$	$R/4 (\sqrt{6} + \sqrt{2})$

$R$  = rayon du cercle circonscrit

Circonférence. Arc de Cercle

$$\text{Circonférence} = 2 \pi R.$$

$$\text{Arc de cercle } AB = \frac{2 \pi R n^\circ}{360^\circ} = R \alpha$$

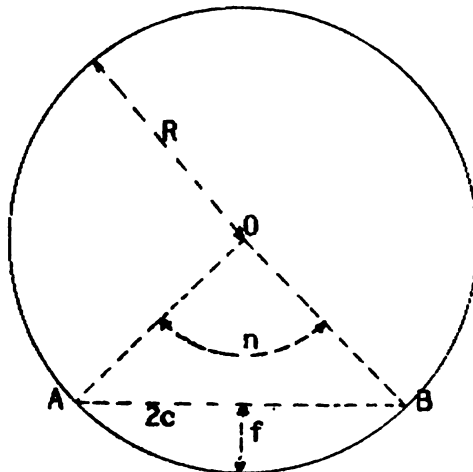
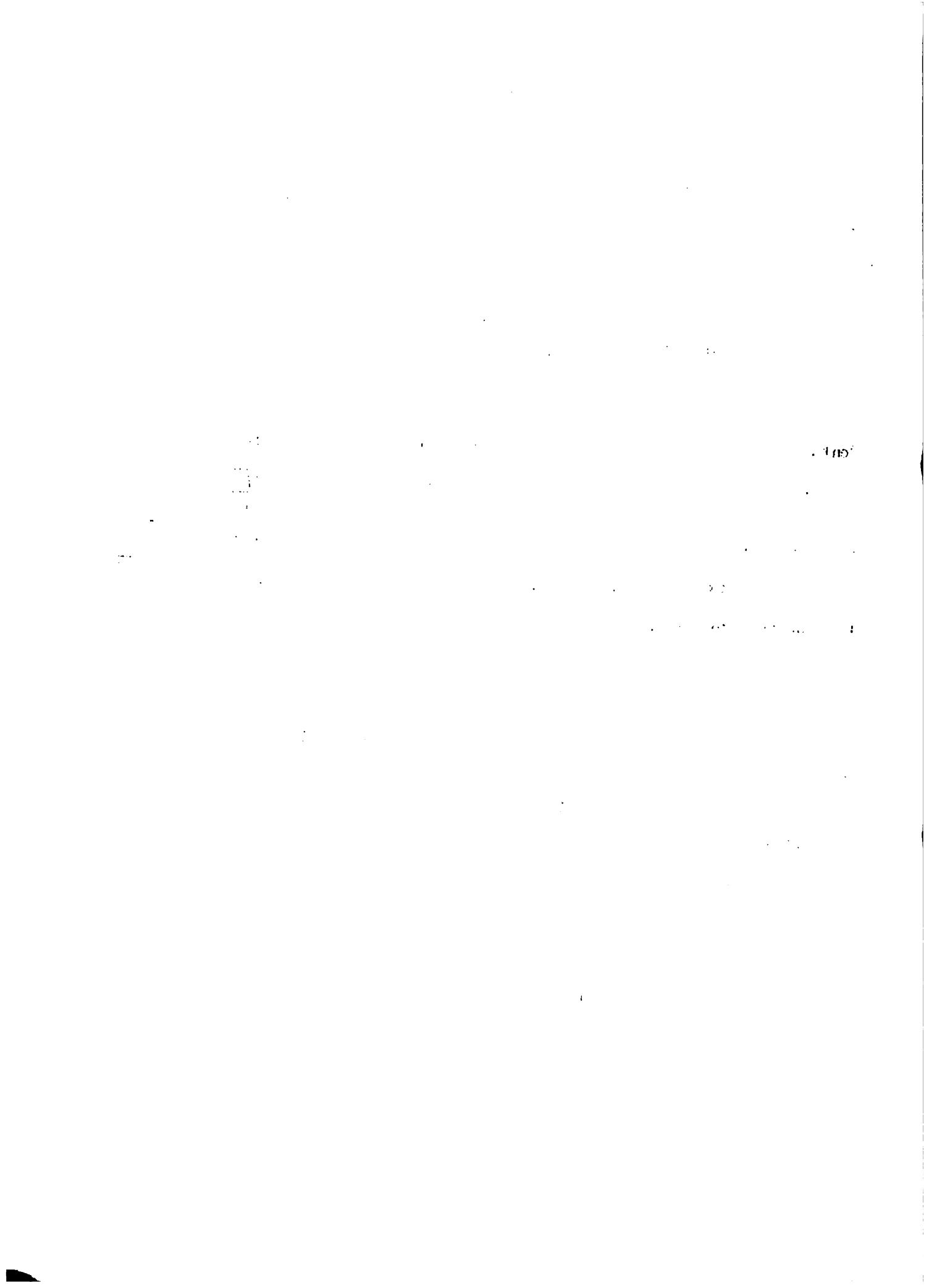


Fig. V. 6



$n$  = L'évaluation de l'angle  $\widehat{AOB}$  en degrés

( $\alpha$  est l'arc AB évalué en mesure naturelle, ou radian.

C'est-à-dire en prenant pour unité d'angle celui qui intercepte un arc égal à 1 sur le cercle de rayon 1).

Rayon en fonction de la corde  $2c = AB$  et de la flèche  $f$ :

$$R = \frac{c^2 + f^2}{2f}$$

Cette formule permet de calculer  $R$ , la corde  $2c$  ou  $f$  en fonction des deux autres. (Ne pas oublier que, dans cette formule  $c$  représente la demi-corde).

### Développement d'une partie de ligne courbe quelconque

Quand on ne dispose pas d'un curvimètre, le mieux est de diviser la courbe en un certain nombre de parties égales ou non, mais assez petites pour qu'elles puissent être considérées comme des droites. Le développement cherché s'obtiendra en totalisant les longueurs de ces droites.

## 5.3 Mesure des surfaces

### Surfaces Planes

#### Surface des Triangles

$$p = \frac{a + b + c}{2}$$

$$S = \frac{a \times h}{2}$$

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

1951

1952

1953  
1954  
1955

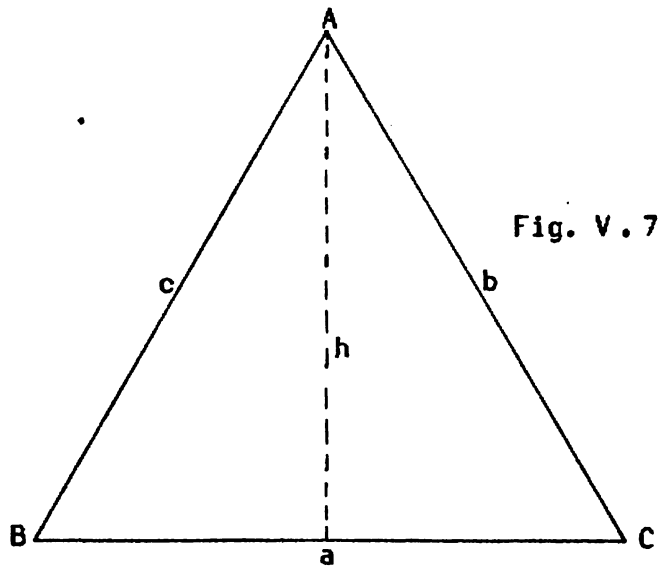


Fig. V.7

Triangle équilatéral

$$S = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4} = 0.433 a^2$$

Surface des quadrilatères

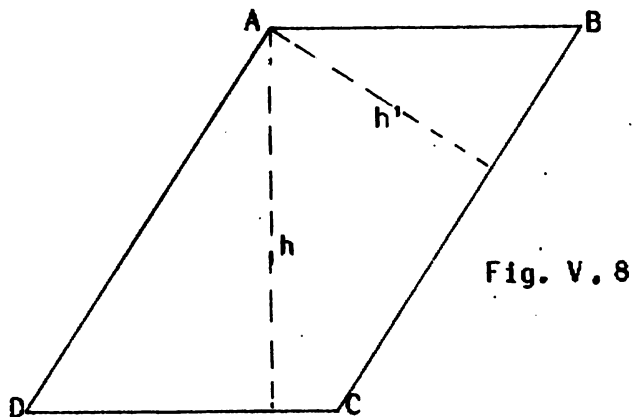


Fig. V.8

Carré

Rectangle

Parallélogramme

Losange

$$S = b \times h$$





Dans un parallélogramme, l'un quelconque des cotés peut être choisi pour base.

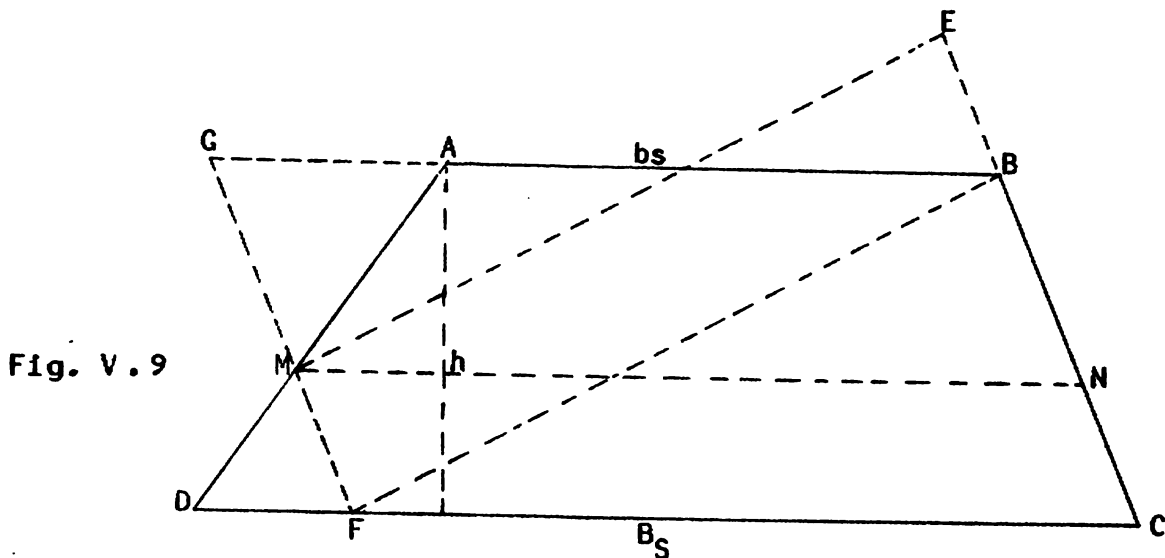
Ainsi on aura:

$$S = AB \times h = AB \times AD \times \sin D \text{ ou}$$

$$S = AD \times h'$$

(h et h' sont les distances qui séparent 2 côtés parallèles).

### Trapèze



$$S = \frac{B + b}{2} \times h$$

ou  $S = MN \times h$

(MN ligne qui joint les milieux des côtés non parallèles)

$$S = BC \times ME \text{ (GF parallèle à BC et ME perpendiculaire à BC)}$$



Quadrilatères quelconques

On obtient la surface des quadrilatères quelconques en les décomposant en deux triangles dont on fait la somme des surfaces.

$$S. ABCD = \text{surf. } ABC + \text{surf. } ACD.$$

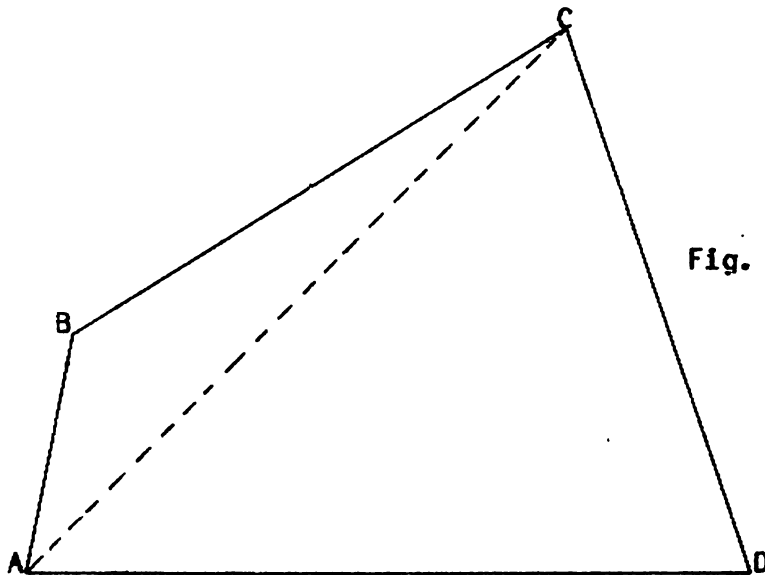


Fig. V. 10

Si le quadrilatère est inscriptible, c'est à dire si les angles opposés sont supplémentaires, on peut employer la formule:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$$

Dans laquelle p représente le demi-périmètre:

$$p = \frac{a + b + c + d}{2}$$



Polygones

Si le quadrilatère est circonscriptible à un cercle de rayon  $r$ ,

on a :

$$S = \frac{a + b + c + d}{2} r = p.r$$

Polygones réguliers

Surface en fonction du rayon  $r$  de cercle inscrit: (fig. 11 )

$$S = \frac{nar}{2}$$

$$S = \frac{nR^2}{2} \sin 2\alpha$$

$a$ : longueur du côté,

$n$ : nombre de côtés.

Surfaces en fonction du rayon du cercle circonscrit:

Triangle équilatéral:

$$n = 3$$

$$\beta = 120^\circ \quad \alpha = 60^\circ; \quad S = \frac{3}{4} R^2 \sqrt{3}$$

Carré

$$n = 4$$

$$\beta = 90^\circ \quad S = 2R^2; \quad \alpha = 90^\circ$$



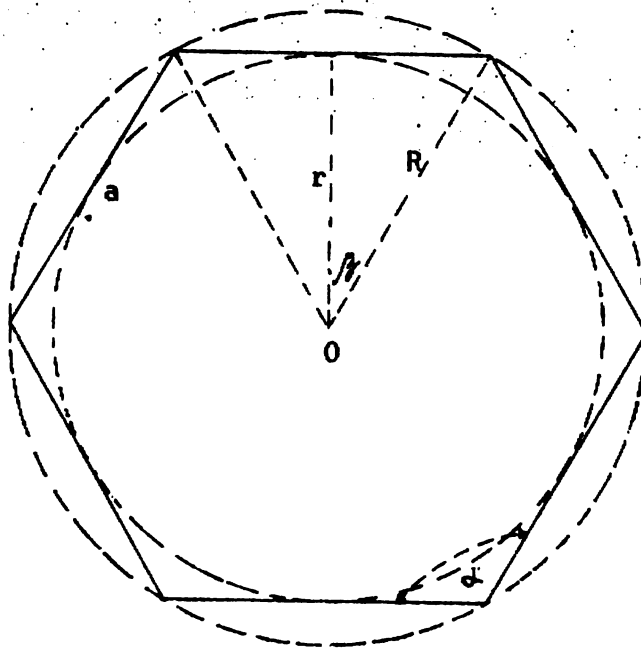


Fig. V. 11

Pentagone convexe:

$$n = 5$$

$$\beta = 72^\circ \quad \alpha = 108 \quad S = \frac{5}{8} R^2 \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$$

Hexagone

$$n = 6$$

$$\beta = 60^\circ \quad \alpha = 120^\circ \quad S = \frac{3}{2} R^2 \sqrt{3}$$

Octogone convexe

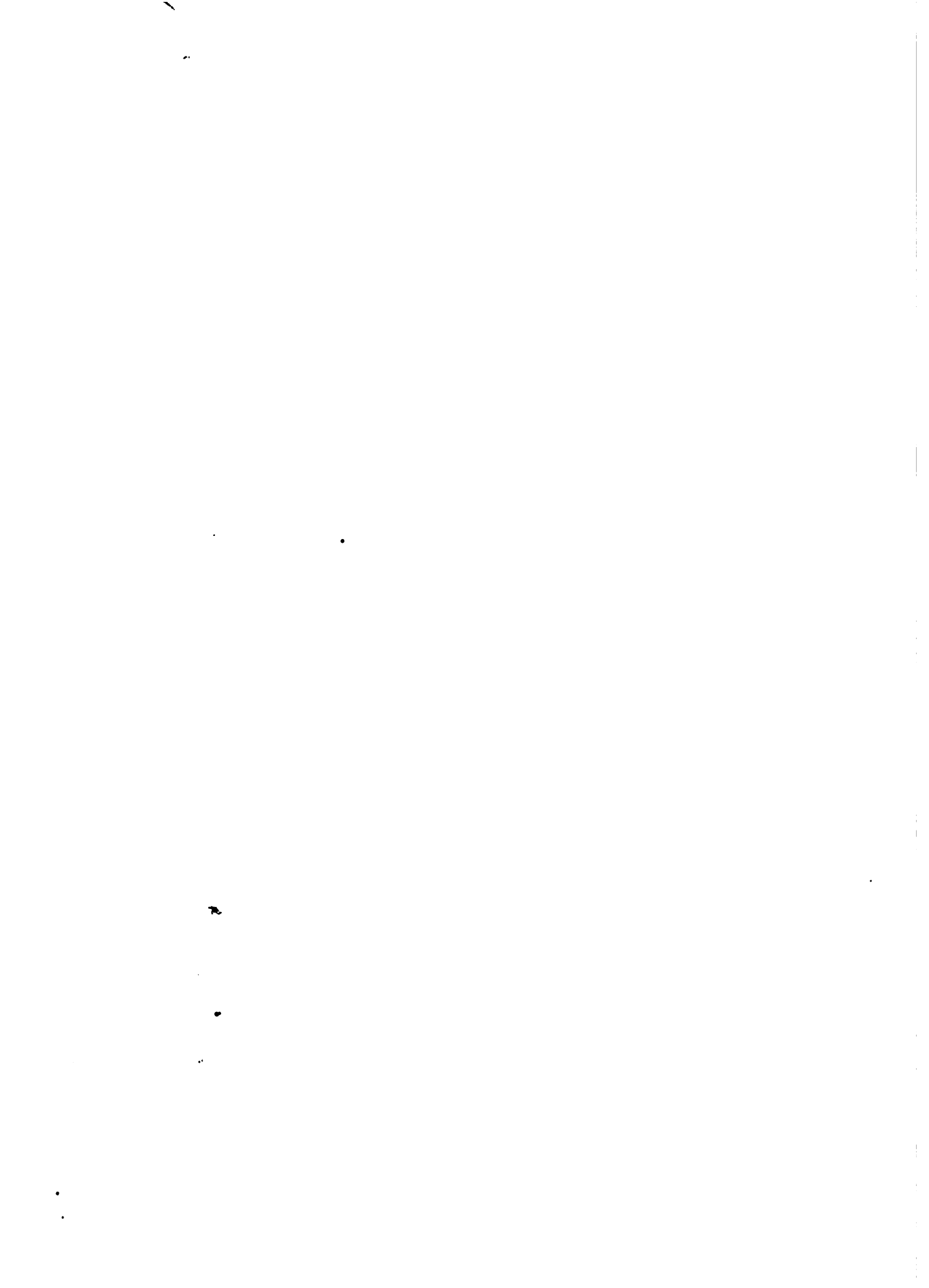
$$n = 8$$

$$\beta = 45^\circ \quad \alpha = 135^\circ \quad S = 2R^2 \sqrt{2}$$

Décagone convexe

$$n = 10$$

$$\beta = 36^\circ \quad \alpha = 144^\circ \quad S = \frac{5R^2}{4} \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$$





Dodécagone convexe

$$n = 12$$

$$\beta = 30^{\circ} \quad \alpha = 150^{\circ} \quad S = 3 R^2$$

Polygones irréguliers

On obtient leur surface en les décomposant en figures géométriques: triangles, rectangles, etc..., et en faisant ensuite la somme des surfaces de ces figures partielles.

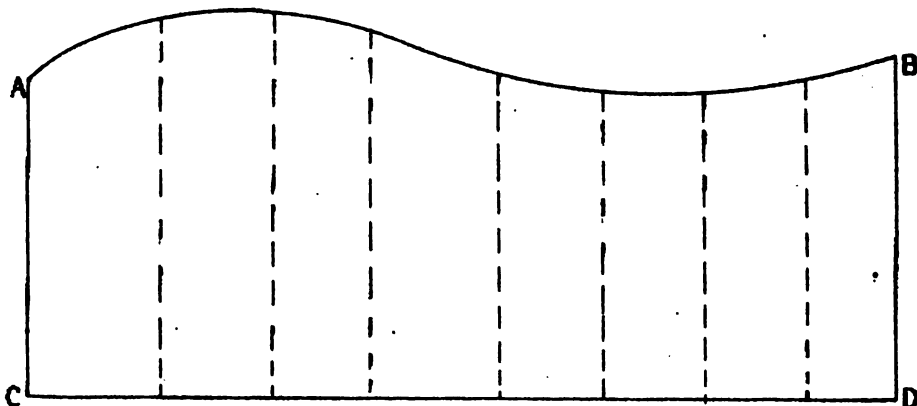
5.4 Surfaces limitées par des courbes quelconques

Lorsque des surfaces sont limitées par des courbes quelconques, on peut les évaluer en les décomposant en trapèze dont le côté curviligne peut être considéré comme rectiligne.

En totalisant les surfaces de ces trapèzes, on obtient la surface cherchée, et l'approximation est d'autant plus grande que le nombre des trapèzes est plus grand. Cette méthode présente un inconvénient: elle est très longue.

Il est plus simple de les évaluer au moyen des formules de Simpson ou de Poncelet ci-après:

Fig. V. 12



1950

1951

1952

1953

1954

1955

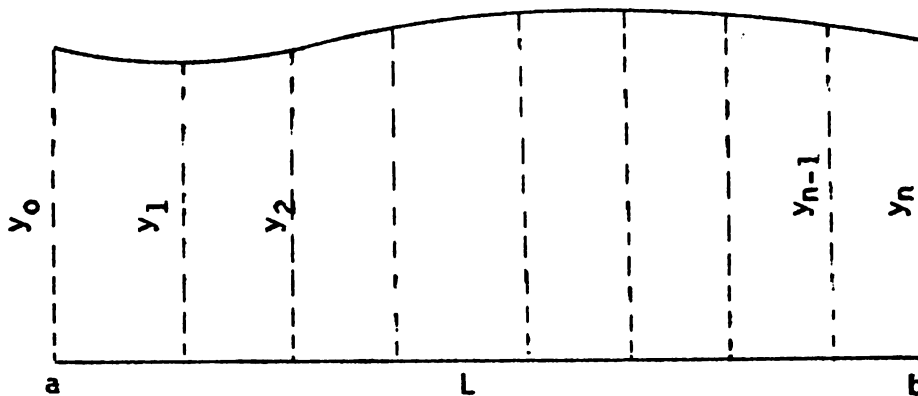
1<sup>o</sup>) Formule de Simpson

Représentons par  $L$  la longueur  $ab$ , divisions cette longueur en un nombre  $n$  pair d'intervalles égaux et, les points de divisions, menons les coordonnées  $y_0, y_1, y_2 \dots y_n$  ; on remarque que le nombre des ordonnées intermédiaires est impair.

$$S = \frac{L}{3n} \left[ y_0 + y_n + 4 (y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 2 (y_2 + y_4 \dots y_{n-2}) \right]$$

Telle est la formule de Simpson .

Fig. V.13

2<sup>o</sup>) Formule de Poncelet:

$$S = L/n (2 (y_1 + y_3 + \dots + y_{n-1}) + 1/4 (y_0 + y_n) - 1/4 (y_1 + y_{n-1}))$$

Dans cette formule, les lettres ont la même signification que dans la formule précédente.

En comparant ces deux formules, on se rend compte qu'elles donnent à peu près les mêmes résultats. La formule de Poncelet donne, dans

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211  
212  
213  
214  
215  
216  
217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240  
241  
242  
243  
244  
245  
246  
247  
248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275  
276  
277  
278  
279  
280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337  
338  
339  
340  
341  
342  
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430  
431  
432  
433  
434  
435  
436  
437  
438  
439  
440  
441  
442  
443  
444  
445  
446  
447  
448  
449  
450  
451  
452  
453  
454  
455  
456  
457  
458  
459  
460  
461  
462  
463  
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470  
471  
472  
473  
474  
475  
476  
477  
478  
479  
480  
481  
482  
483  
484  
485  
486  
487  
488  
489  
490  
491  
492  
493  
494  
495  
496  
497  
498  
499  
500  
501  
502  
503  
504  
505  
506  
507  
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514  
515  
516  
517  
518  
519  
520  
521  
522  
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529  
530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538  
539  
540  
541  
542  
543  
544  
545  
546  
547  
548  
549  
550  
551  
552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591  
592  
593  
594  
595  
596  
597  
598  
599  
600  
601  
602  
603  
604  
605  
606  
607  
608  
609  
610  
611  
612  
613  
614  
615  
616  
617  
618  
619  
620  
621  
622  
623  
624  
625  
626  
627  
628  
629  
630  
631  
632  
633  
634  
635  
636  
637  
638  
639  
640  
641  
642  
643  
644  
645  
646  
647  
648  
649  
650  
651  
652  
653  
654  
655  
656  
657  
658  
659  
660  
661  
662  
663  
664  
665  
666  
667  
668  
669  
670  
671  
672  
673  
674  
675  
676  
677  
678  
679  
680  
681  
682  
683  
684  
685  
686  
687  
688  
689  
690  
691  
692  
693  
694  
695  
696  
697  
698  
699  
700  
701  
702  
703  
704  
705  
706  
707  
708  
709  
710  
711  
712  
713  
714  
715  
716  
717  
718  
719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727  
728  
729  
730  
731  
732  
733  
734  
735  
736  
737  
738  
739  
740  
741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764  
765  
766  
767  
768  
769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791  
792  
793  
794  
795  
796  
797  
798  
799  
800  
801  
802  
803  
804  
805  
806  
807  
808  
809  
810  
811  
812  
813  
814  
815  
816  
817  
818  
819  
820  
821  
822  
823  
824  
825  
826  
827  
828  
829  
830  
831  
832  
833  
834  
835  
836  
837  
838  
839  
840  
841  
842  
843  
844  
845  
846  
847  
848  
849  
850  
851  
852  
853  
854  
855  
856  
857  
858  
859  
860  
861  
862  
863  
864  
865  
866  
867  
868  
869  
870  
871  
872  
873  
874  
875  
876  
877  
878  
879  
880  
881  
882  
883  
884  
885  
886  
887  
888  
889  
890  
891  
892  
893  
894  
895  
896  
897  
898  
899  
900  
901  
902  
903  
904  
905  
906  
907  
908  
909  
910  
911  
912  
913  
914  
915  
916  
917  
918  
919  
920  
921  
922  
923  
924  
925  
926  
927  
928  
929  
930  
931  
932  
933  
934  
935  
936  
937  
938  
939  
940  
941  
942  
943  
944  
945  
946  
947  
948  
949  
950  
951  
952  
953  
954  
955  
956  
957  
958  
959  
960  
961  
962  
963  
964  
965  
966  
967  
968  
969  
970  
971  
972  
973  
974  
975  
976  
977  
978  
979  
980  
981  
982  
983  
984  
985  
986  
987  
988  
989  
990  
991  
992  
993  
994  
995  
996  
997  
998  
999  
1000

certain cas, des résultats plus approchés, indépendamment de l'avantage qu'elle a de supprimer le calcul des ordonnées de rang pair.

Surfaces limitées par une courbe fermée. Il suffit de diviser par une droite cette surface en deux parties dont on évalue séparément les surfaces, que l'on totalise ensuite. Si l'on a soin de faire correspondre les ordonnées, on pourra employer une formule unique.

Cercle, secteur et segment

$$\text{Cercle } S = \pi R^2 \text{ ou } \frac{\pi D^2}{4} \text{ ou } 0,7854 D^2$$

$$\text{Secteur } S = \frac{\pi R^2 \times n^\circ}{360^\circ} = \frac{\alpha R^2}{2}$$

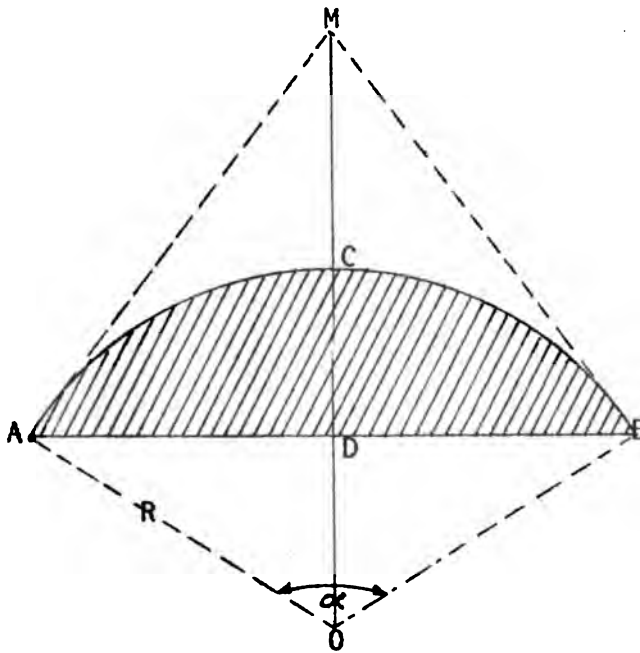


Fig. V. 14

( n représente la valeur de l'angle en degrés.  $\alpha$  est la valeur de l'angle en radian)



### Segment

La surface du segment de cercle ABC est égale à la surface du secteur OACB moins la surface du triangle OAB, ou :

$$S = \text{Surf. OACB} - \text{surf. AOB}$$

$$S = \frac{R^2}{2} \left( \frac{\bar{\mu} \alpha}{180^\circ} - \sin \alpha \right)$$

Lorsque l'arc est très tendu, par exemple quand la flèche est inférieure ou égale à 1/10 de la corde, on peut considérer le segment de cercle comme un segment parabolique et employer la formule :

$$S = \frac{2}{3} c \times f = \frac{2}{3} AB \times CD$$

Ne pas perdre de vue qu'ici  $c$  représente non plus la demi-corde mais la corde totale et que  $f$  est la flèche CD.

### Surface de la zone circulaire ou couronne

Zone circulaire

$$S = \bar{\mu} R^2 - \bar{\mu} r^2$$

soit :

$$S = \bar{\mu} (R^2 - r^2) = \bar{\mu} (R + r) (R - r)$$

Fig. V. 15

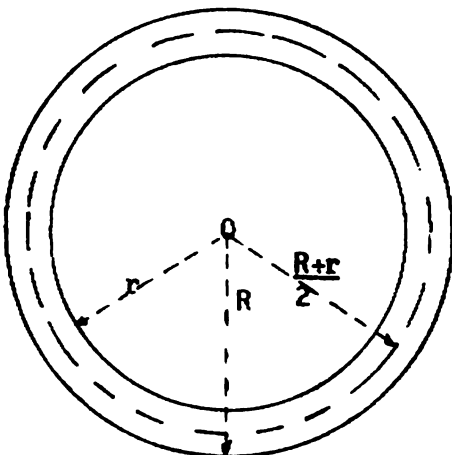
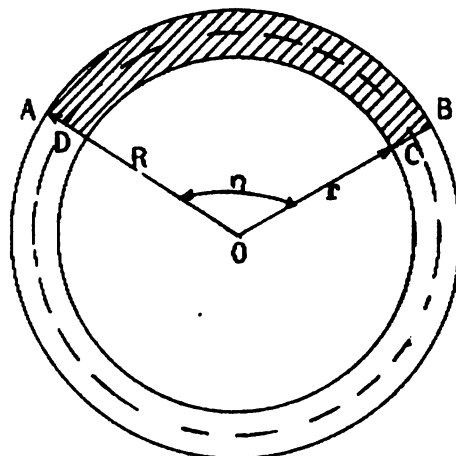


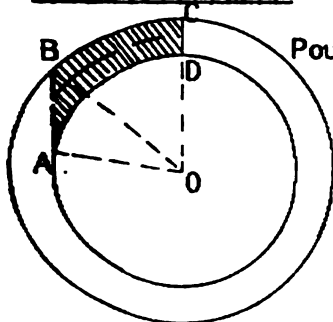
Fig. V. 16







Portion de zone



Pour la portion de zone circulaire ABCD, on aura:

Fig. V. 17

$$S = \frac{\bar{r}(R^2 - r^2) \times n^\circ}{360^\circ} = \frac{(R + r)(R - r) \times n}{360}$$

Surface ABCD

La méthode consistant à faire la moyenne des développements des arcs AD et BC, et à multiplier par R - r est inexacte et doit être écartée. Il faut calculer la surface du secteur OBC, y ajouter celle du triangle OAB et déduire de ce total la surface du secteur OAD, soit:

$$\text{Surface ABCD} = \text{Surface secteur OBC} + \text{surface triangle OAB} - \text{surface secteur OAD.}$$

Surfaces Elliptiques

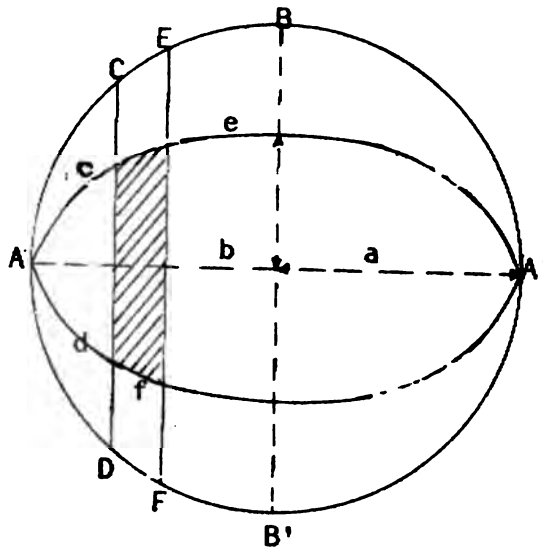


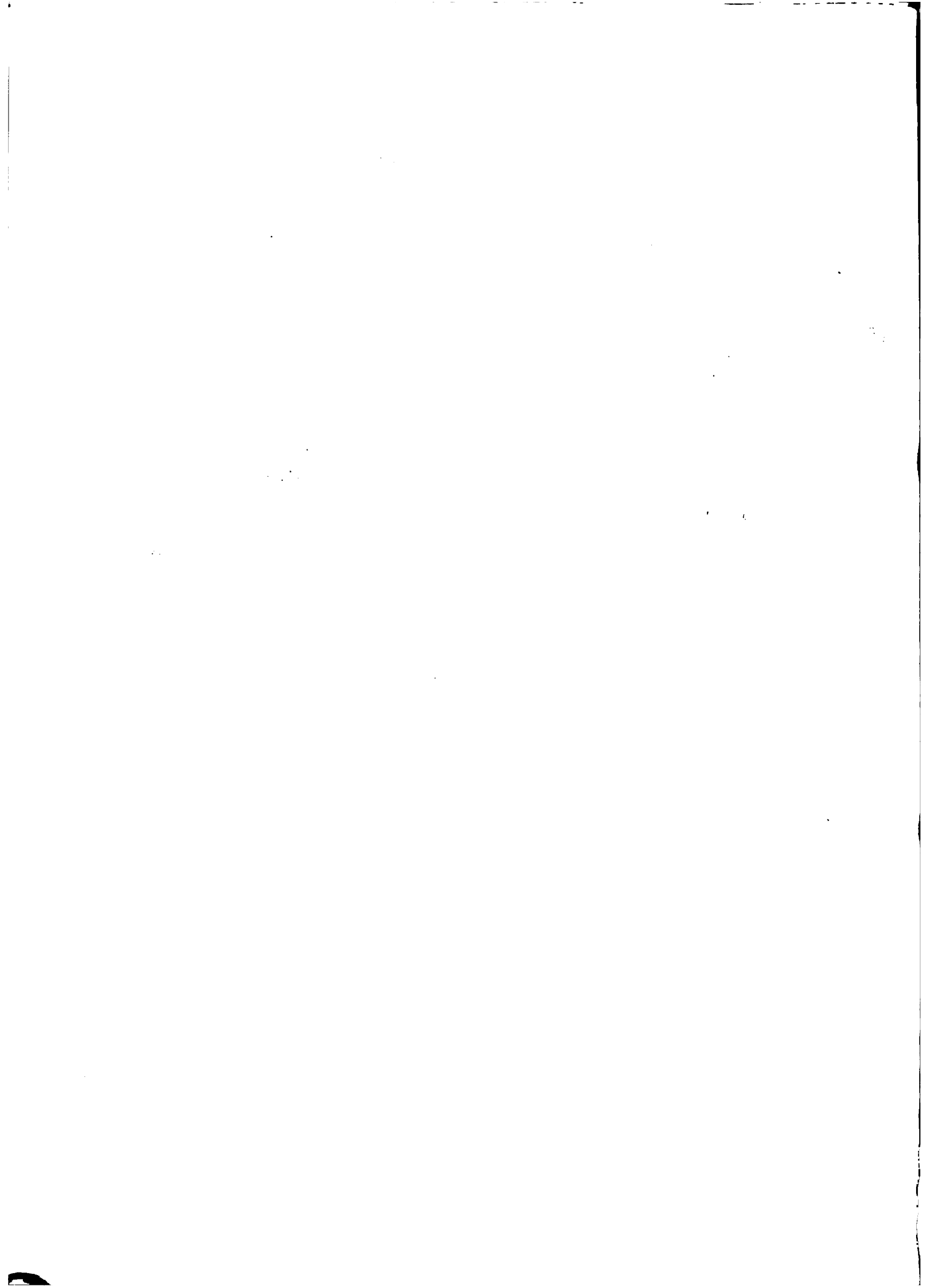
Fig. V. 18

$$S = \bar{h} ab$$

Surface de l'ellipse

a = demi-grand axe

b = demi-petit axe



Surface du segment d'ellipse

1o) Les cordes CD et EF sont parallèles au petit axe.

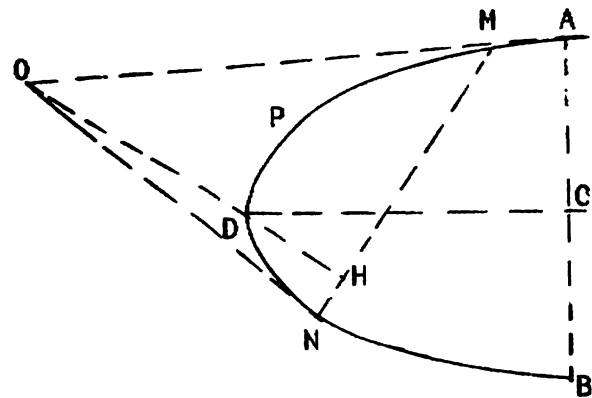


Fig. V.19

Surface segment cdfe :  $S = S' \times \frac{b}{a}$  formule dans laquelle  $S'$

égale la surface du segment circulaire CDFE.

2o) Si les cordes sont parallèles au grand axe, la formule devient:

$$S = S' \times \frac{a}{b}$$

Surface du segment parabolique

**Segment parabolique.** La surface du segment parabolique symétrique par rapport à l'axe de la parabole est égale aux  $\frac{2}{3}$  de l'abscisse multipliés par l'ordonnée, soit:  $\frac{2}{3} AB \times DC$ .



Si le segment est quelconque, MPN, c'est à dire si la corde MN est oblique par rapport à l'axe DC, la surface est égale aux 2/3 de celle du triangle OMN formé par la corde et les deux tangentes à la parabole aux points M et N,

$$S = \frac{2/3 \text{ MN} \times \text{OH}}{2}$$

$$S = \frac{\text{MN} \times \text{OH}}{3}$$

### 5.5 Surfaces des polyèdres et des corps ronds

#### a.- Polyèdres

#### Surface du prisme, du prisme oblique et du tronc de prisme

Prisme droit.- Surface totale: S

$$S = Pa \text{ (surface latérale, plus la surface des deux bases ABC et DEF)}$$

Dans cette formule:

P = Le périmètre de la base;

a = L'arête du prisme.

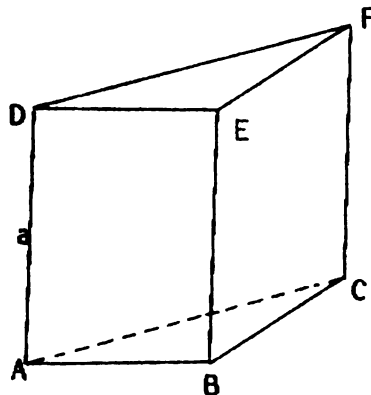


Fig. V. 20

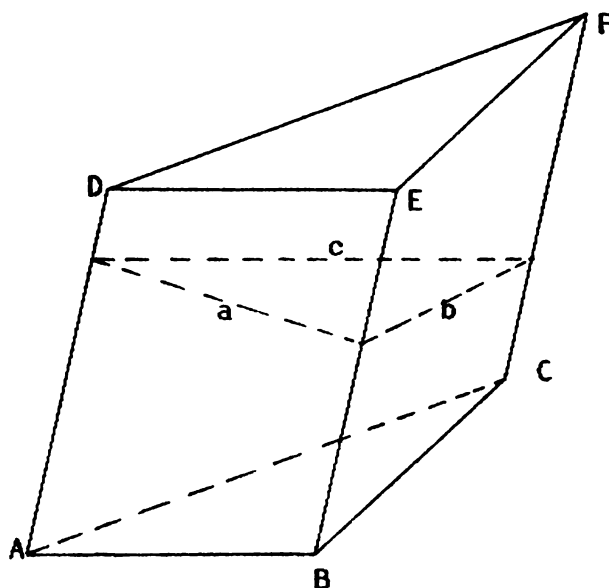


Prisme oblique (fig. V-21)

Dans les prismes obliques, les arêtes ne sont pas perpendiculaires aux bases.

La surface totale est égale à la somme de la surface des faces latérales et de celles des surfaces des bases. La surface latérale est formée de parallélogramme dont la surface totale est égale au périmètre de la section droite  $a b c$  multiplié par la longueur de l'arête  $A. D.$

Fig. V. 21

Tronc de prisme (fig. V-22)

Dans la surface totale du tronc de prisme, il y a lieu d'évaluer séparément les rectangles, parallélogramme ou trapèze qui composent la surface latérale et les bases.

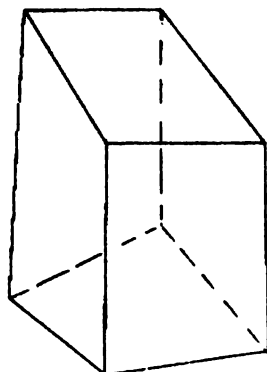


Fig. V. 22





### Surface de la pyramide et du tronc de pyramide

Surface de la pyramide- Pour la pyramide régulière MABCDEF, la surface totale est égale au produit du périmètre de la base par la moitié de l'apothème MH, augmenté de la surface de la base.

Dans le cas d'une pyramide quelconque, il est nécessaire d'évaluer séparément chacune des faces latérales.

### Surface du tronc de pyramide

S'il s'agit d'un tronc de pyramide régulière, la surface totale s'obtient en multipliant la somme des périmètre des deux bases par la moitié de l'apothème; ajouter la surface des deux bases.

Si le tronc de pyramide est quelconque, on procède comme pour la pyramide quelconque.

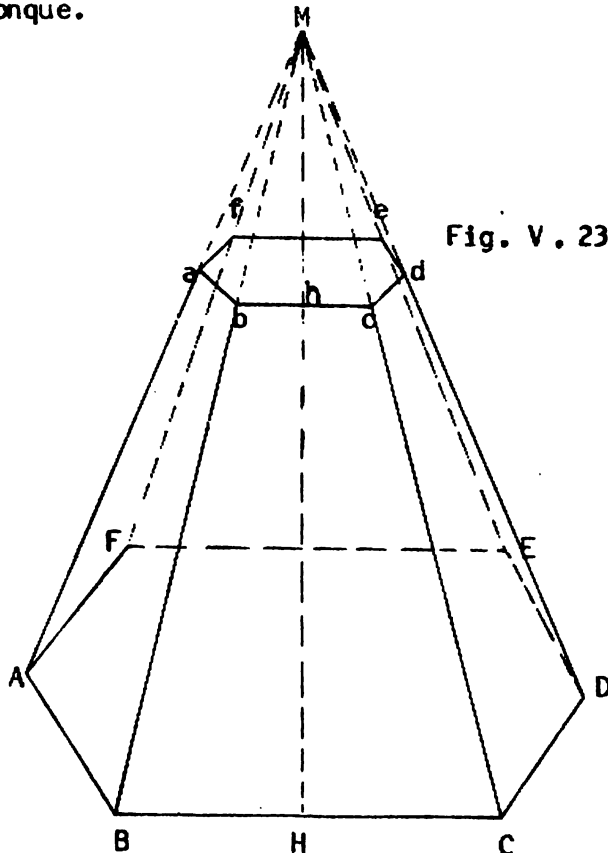


Fig. V. 23



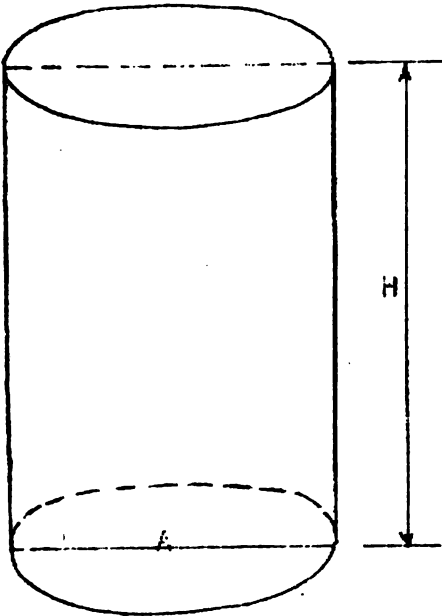
Corps RondsSurfaces Cylindriques

Fig. V. 24

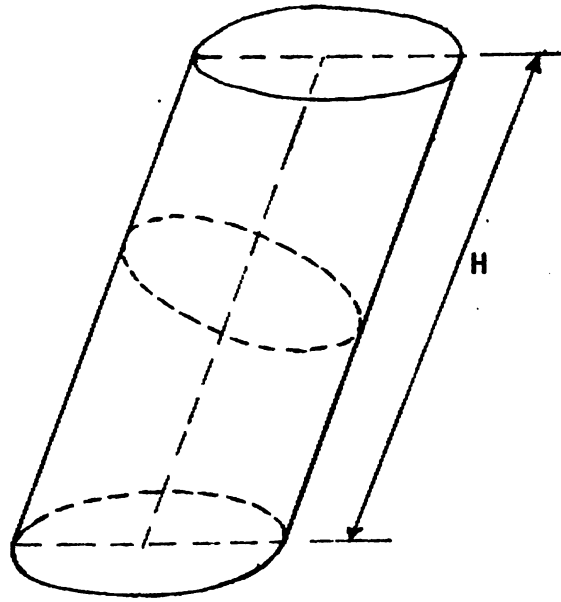


Fig. V. 25

Cylindre droit

$$S = 2 \pi R H + 2 \pi R^2$$

$$S = 2 R \pi (H + R)$$

R = Rayon du cylindre

H = Hauteur du cylindre.

Cylindre oblique

La formule est la même que pour le prisme.

S = Périmètre de la section droite multiplié par la longueur H de la génératrice, plus la surface des deux bases.



### Cylindre tronqué et tronc de cylindre

La surface totale du tronc de cylindre est égale au périmètre de la section droite multiplié par la longueur de la parallèle aux génératrices comprise entre les deux bases et passant par le centre de gravité du périmètre de cette section, plus la surface des bases.

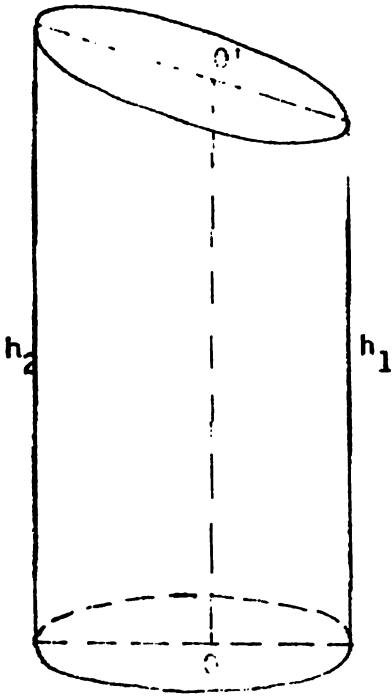


Fig. V. 26

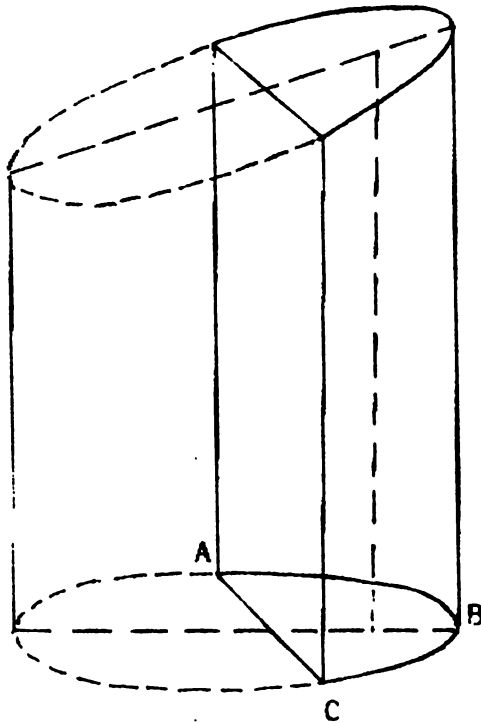
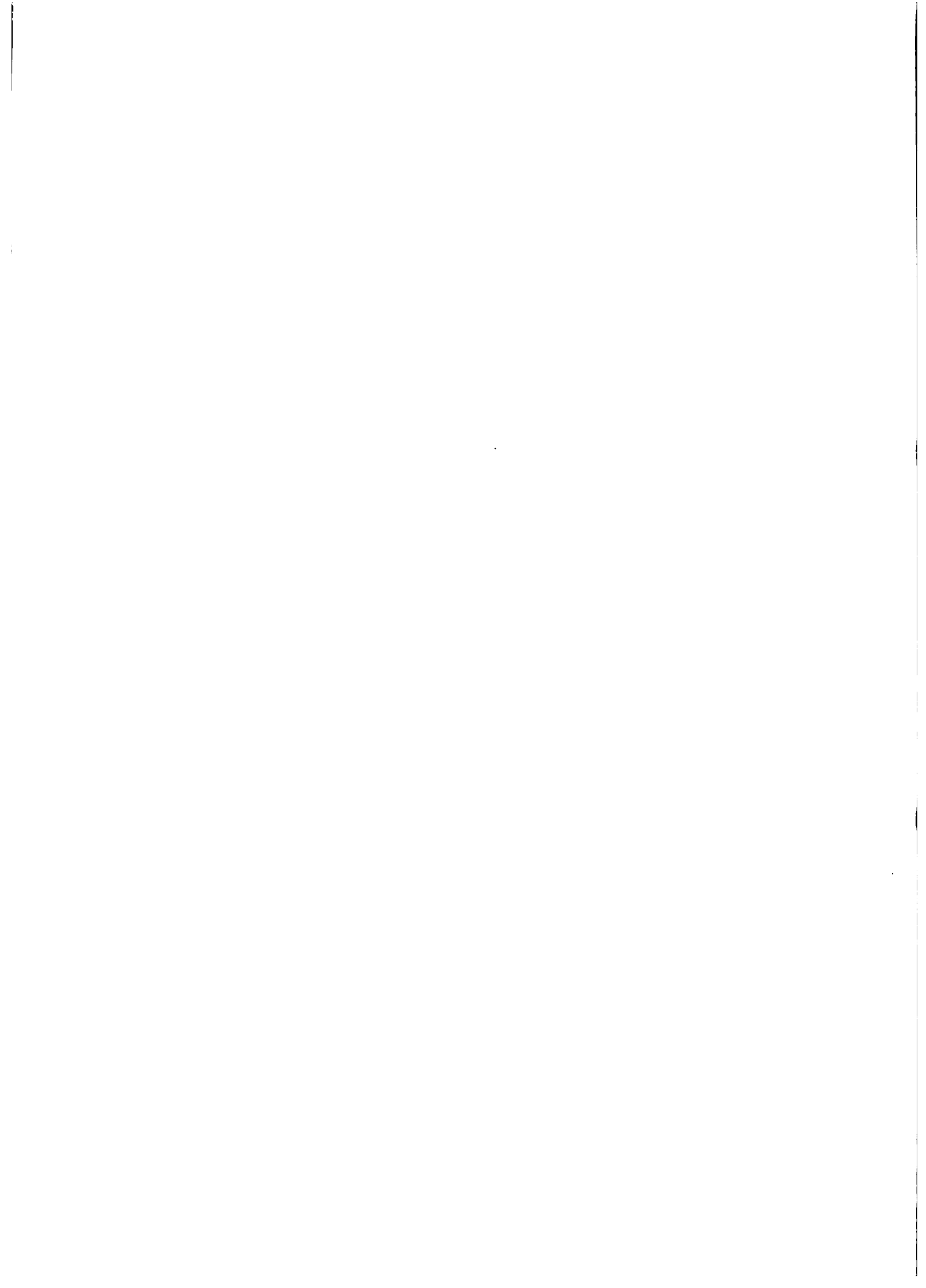


Fig. V. 27

On peut aussi calculer ces surfaces en les développant sur un plan et en leur appliquant ensuite les formules de Simpson ou de Poncelet.

### Surfaces Coniques

La surface totale du cône à base circulaire est égale à la circonférence de sa base multipliée par la moitié de l'apothème, plus la surface de la base.



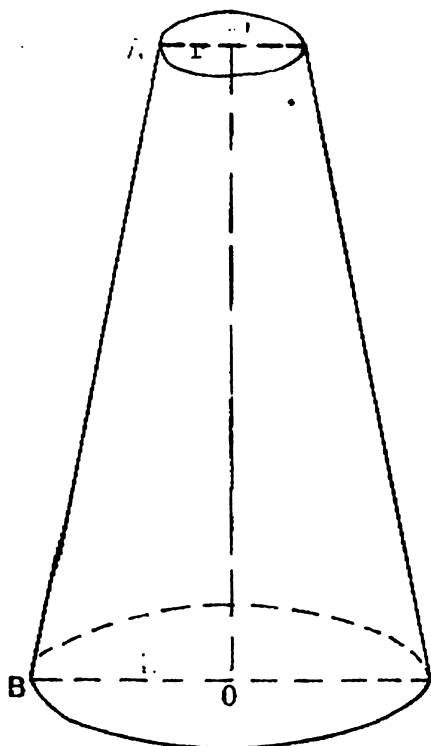


Fig. V. 28

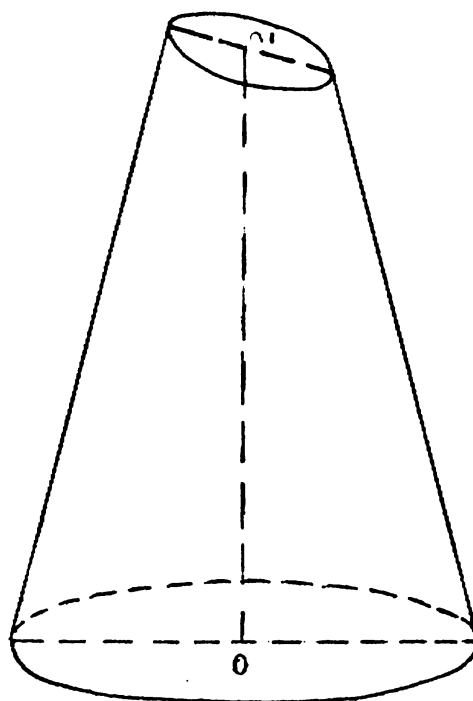


Fig. V. 29

### Surface du tronc de cône

La surface latérale du tronc de cône droit circulaire est égale à la demi-somme des circonférences des bases parallèles multipliée par l'apothème:

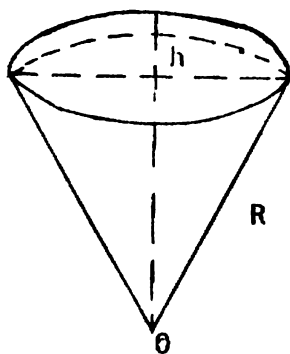


Fig. V. 30

$$S = \frac{2\pi R + 2\pi r}{2} \times AB,$$

ou: 
$$= \pi (R + r) \times AB.$$





Remarque.- La règle ci-dessus n'est pas applicable aux cônes ni aux troncs de cône dont les bases ne sont pas circulaires, lorsque les bases sont elliptiques, par exemple.

Lorsque le cône droit tronqué est déterminé par un plan oblique à la base, on obtiendra la surface de ce tronc de cône en développant cette surface sur un plan; il en est de même des segments de cône, des troncs de cône ou onglets coniques.

### Surfaces Sphériques

Sphère  $S = 4 \pi R^2$

Zone ou calotte sphérique  $S = 2 \pi Rh.$

Dans cette formule, h représente la hauteur de la zone.

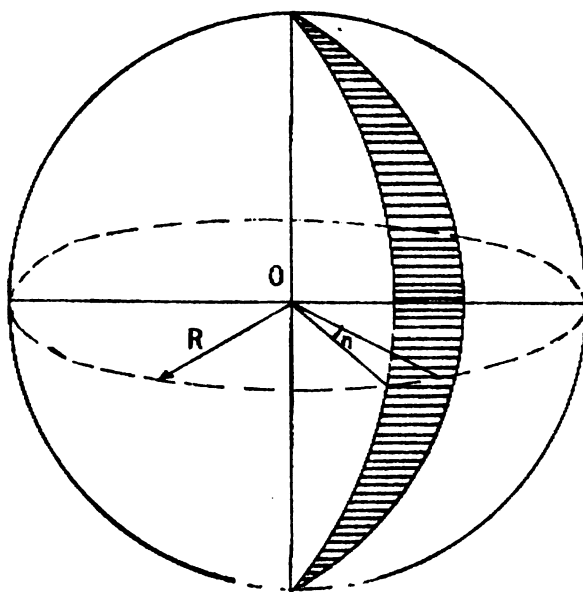


Fig. V. 30 (bis)

### Fuseau ou onglet

$$4 \pi R^2 \times \frac{n^{\circ}}{360^{\circ}}$$

$n^{\circ}$  = angle du fuseau



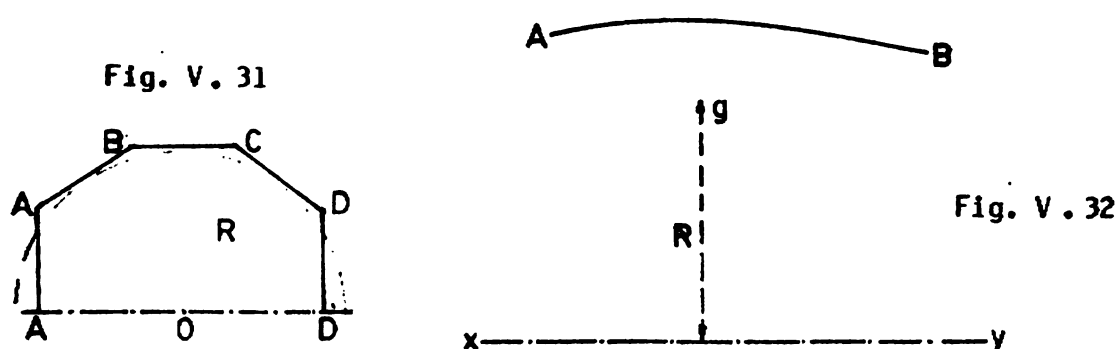
### Lignes brisées irrégulières

La surface engendrée par chaque droite composant la ligne brisée (cônes, troncs de cône, cylindre) est évaluée séparément. Il suffit ensuite de totaliser.

### Lignes brisées régulières

La surface engendrée par une ligne brisée régulière tournant autour d'un diamètre qui ne la coupe pas est égale au produit de la circonférence inscrite dans la ligne brisée par la projection de cette ligne sur ce diamètre, soit :  $S = 2 R \cdot A'D'$ .

On peut aussi appliquer le théorème de Guldin ci-après.



### Application du théorème de Guldin (fig.32)

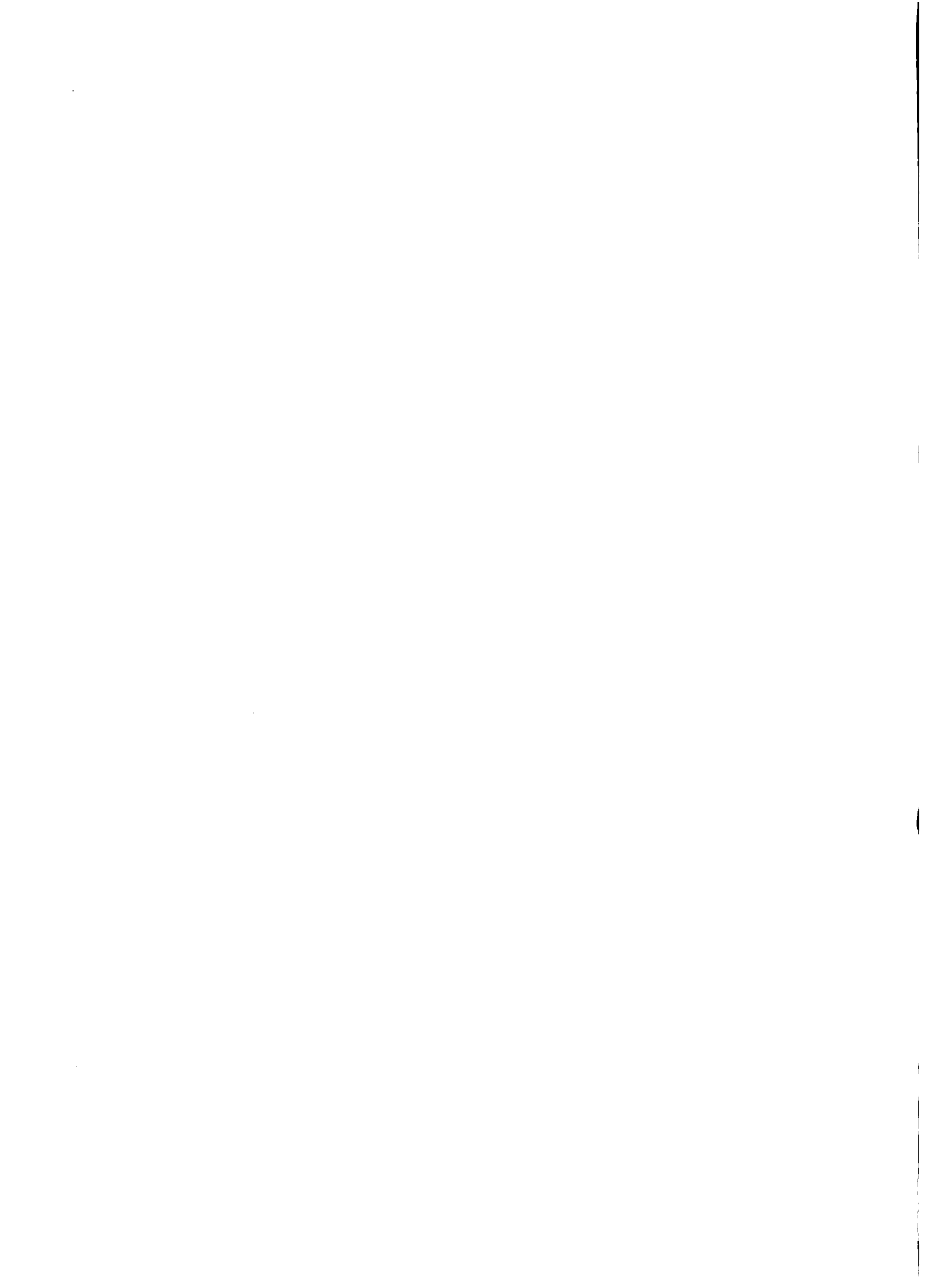
La surface engendrée par une courbe plane tournant autour d'un axe situé dans son plan est égale à la longueur de cette courbe multipliée par la circonférence que décrit son centre de gravité.

Ainsi la surface décrite par AB est :  $S = AB \times 2 R$ .

Si la révolution n'est pas complète, la surface engendrée par la courbe plane est égale à la longueur de cette courbe multipliée par l'arc décrit par son centre de gravité; on a :

$$S = AB \times \frac{2 R n^{\circ}}{360^{\circ}},$$

dans laquelle  $n^{\circ}$  est l'angle.

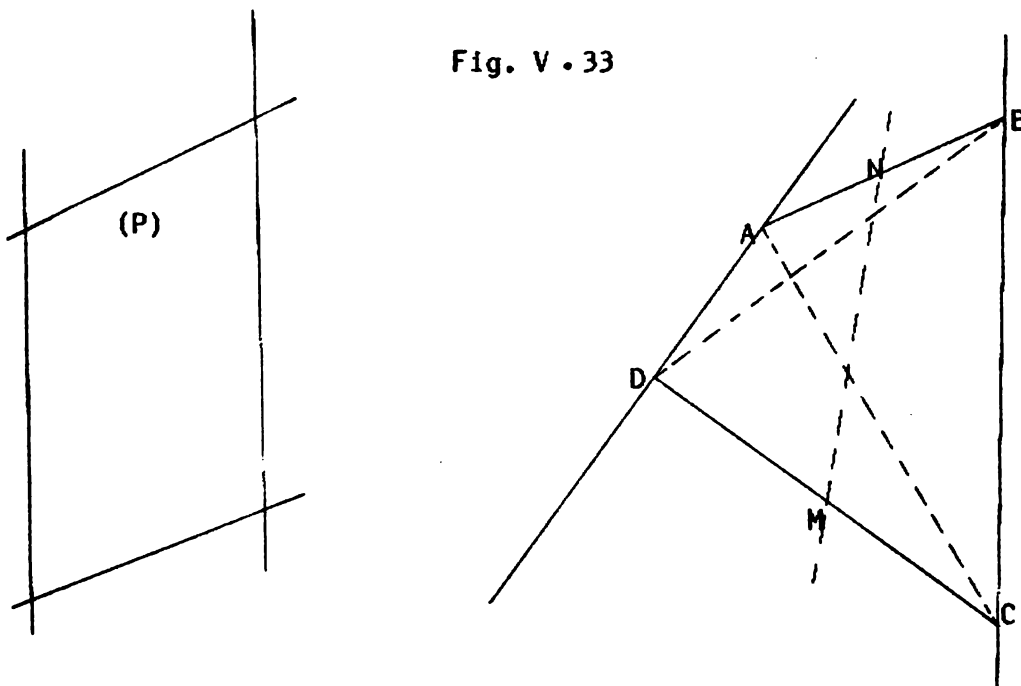


Surfaces gauches ou surfaces réglées

La surface gauche est engendrée par une droite génératrice MN qui se déplace en s'appuyant sur 2 droites directrices AB et BC, de façon que l'on ait constamment:

$$\frac{NA}{NB} = \frac{MD}{MC}$$

Dans le cas particulier où les droites AD et BC sont dans 2 plans parallèles à un plan (P) dit plan directeur, la droite MN se déplace en restant parallèle à ce plan.



Ces surfaces ne peuvent être calculées avec une approximation assez rigoureuse qu'à l'aide du calcul intégral et, le plus souvent, les calculs en sont très longs.



On peut, dans la pratique, obtenir une approximation suffisante en procédant de la manière suivante:

Soit la surface gauche ABCD. Les quatre points A, B, C et D n'étant pas dans le même plan, si nous traçons AC et BD, ces deux droites ne se couperont pas. Mesurons ou calculons les longueurs AC et BD, puis les distances des sommets B et D à la droite AC et de C et A à BD. On évaluera ensuite la surface des 4 triangles ABD, CBD, BAC, et DAC.

La surface gauche totale sera obtenue au moyen de la formule:

$$\text{Surf. ABCD} = \frac{\text{Surf. ABD} + \text{CBD} + \text{BAC} + \text{DAC}}{2}$$

### 5.6 Mesure des volumes

#### Polyèdres et Corps Ronds

##### a. Polyèdres

Prismes, parallélépipèdes et cubes.- Ces volumes sont égaux au produit de la surface de la base par la hauteur.

Troncs de prismes triangulaires.- Le volume est égal à la surface de la base multipliée par la moyenne des 3 arêtes.

$$V = \text{Surf. ABC} \times \frac{AD + BE + CF}{3}$$

Si le tronc de prisme à la forme de la figure 35, le volume est égal à la surface de la section droite par la moyenne des trois arêtes.





$$V = \text{surf. abc.} \times \frac{AD + BE + CF}{3}$$

Surf. abc = section droite

ou  $V = \text{surf. ABC} \times \frac{h + h' + h''}{3} = \text{surf. abc } \alpha$

$\alpha$  = Longueur de GG' centres de gravité des bases. Cette dernière est applicable aux troncs de prismes quelconques.

Fig. V. 34

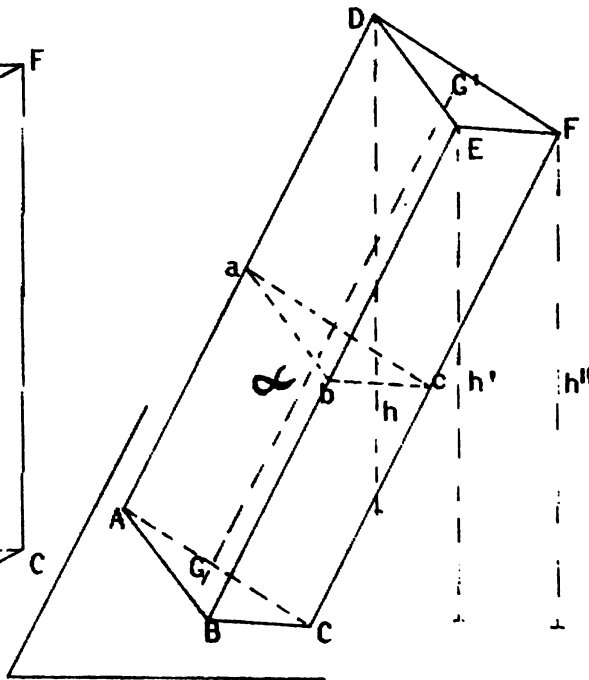
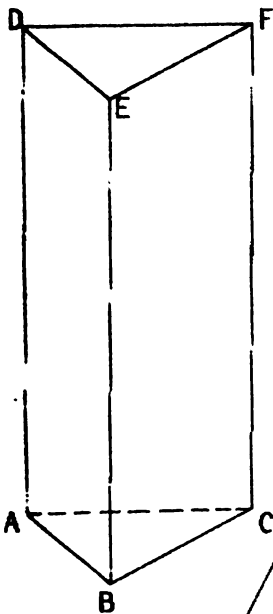


Fig. V. 35

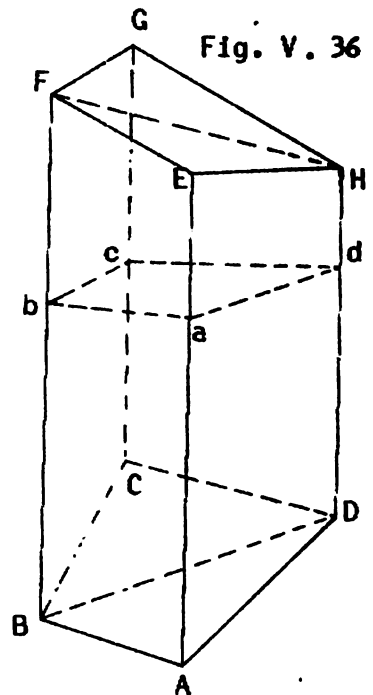


Fig. V. 36

Troncs de prismes quelconques La méthode que nous venons d'indiquer pour les troncs de prismes triangulaires n'est plus applicable aux troncs de prismes quelconques; elle pourrait entraîner, dans certains cas, des erreurs appréciables. Il est préférable de décomposer ce tronc de prisme en tronc



de prismes triangulaires dont on évalue séparément les volumes ou bien d'avoir recours aux centres de gravité; mais cette dernière méthode est généralement plus longue.

V. ABCDHEFG = V. tronc de prisme triangulaire ABDHEF plus tronc de prisme triangulaire BCDHFG.

Il serait inexact d'écrire, abcd étant la section droite :

$$V = \text{surf. } abcd \times \frac{AE + BF + CG + DH}{4}$$

sauf si les faces opposées ADEH et BCFH - ABFE et CDGH sont parallèles, auquel cas le corps est un tronc de parallélépipède et la formule est rigoureusement exacte; la section droite abcd est alors un parallélogramme. Nous retrouverons l'emploi de cette formule dans la cubature des terrasses.

Coin. Plans ABCD et BCEF perpendiculaires :

$$V = \frac{h \times d}{6} (a + b + c)$$

$$= (a + b + c) \frac{d^2 \operatorname{tg} \alpha}{6}$$

12

13

14

15

16

17

18

19

20

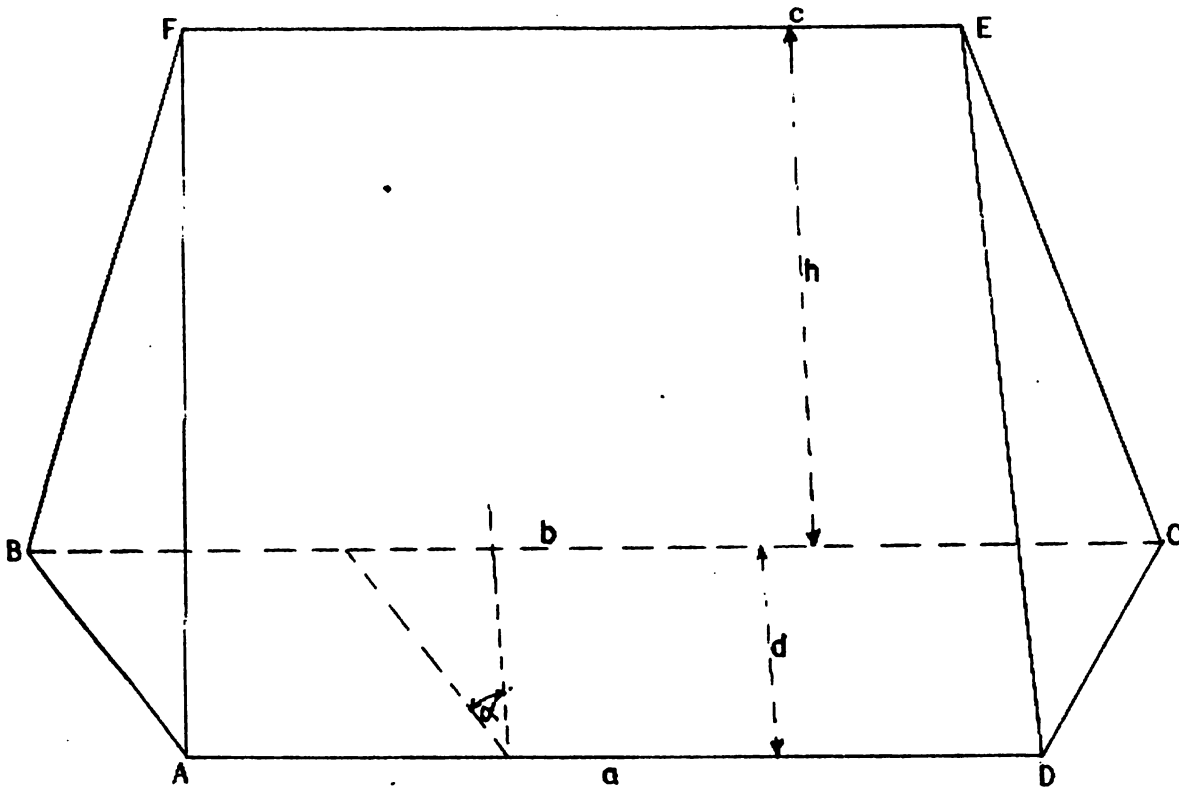


Fig. V . 36 (bis)

### Pyramides et Troncs de Pyramides

$$\text{Pyramide, } V = B \times \frac{h}{3}$$

Troncs de pyramides à bases parallèles

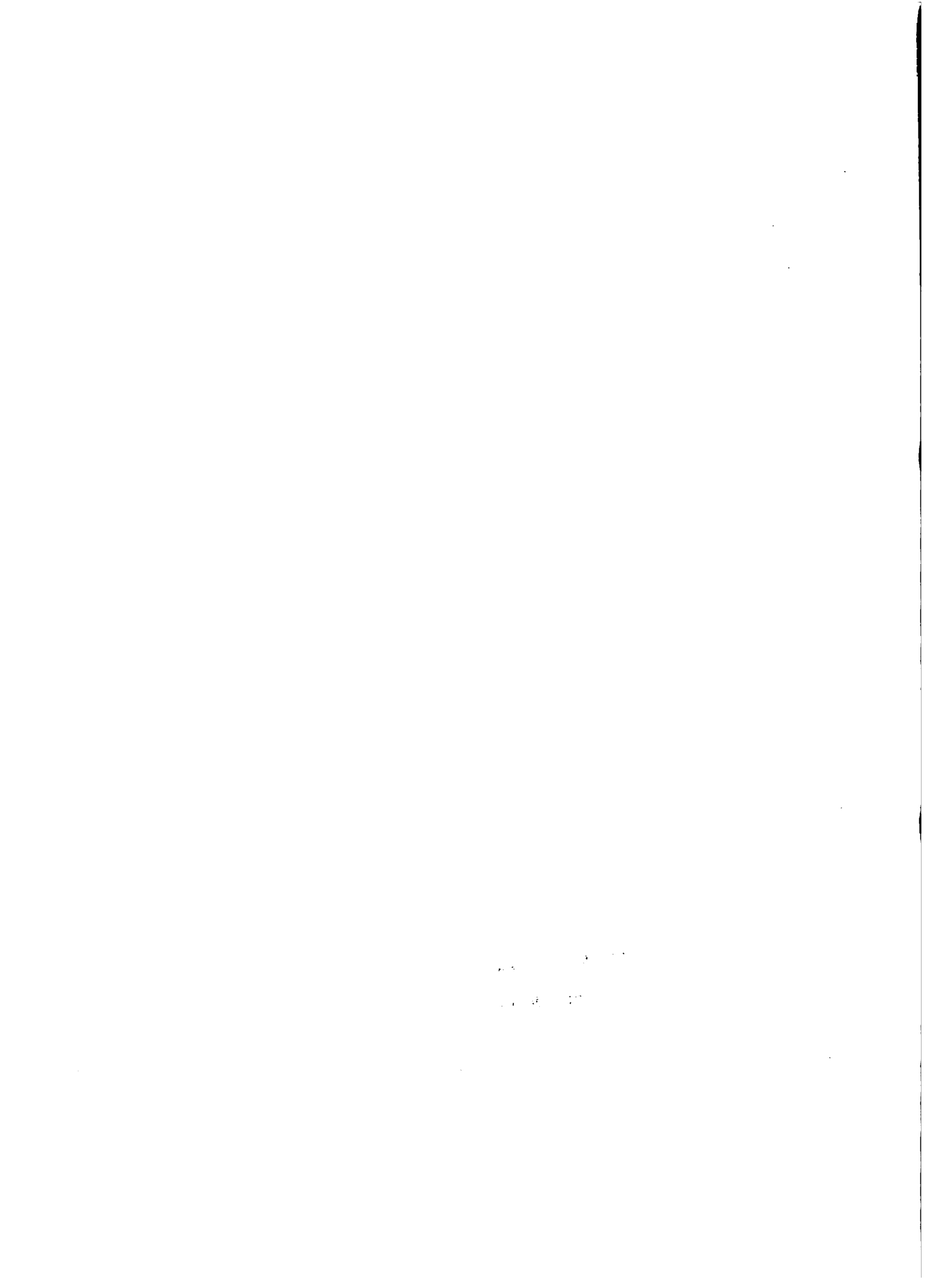
$$V = 1/3 h (B + b + \sqrt{Bd}),$$

où:

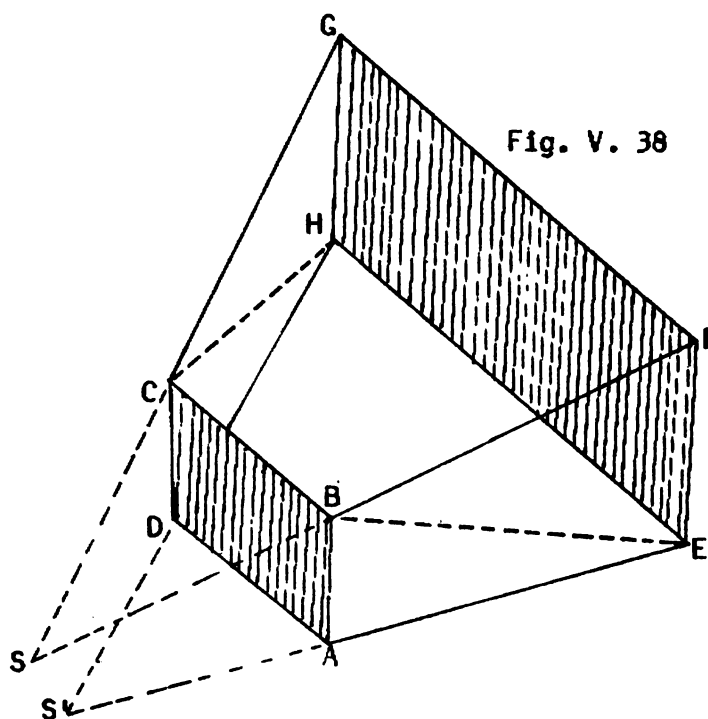
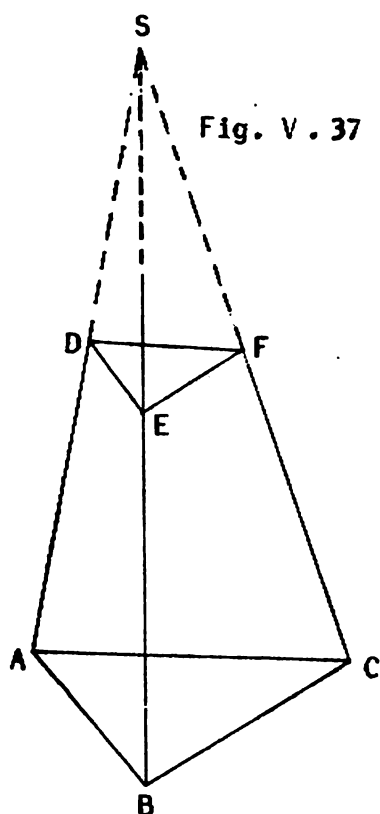
h Représente la longueur de la normale aux deux bases

B et b Les surfaces de ces bases.

Ne jamais perdre de vue que dans le tronc de pyramide, toutes les arêtes convergent et se coupent au même point.



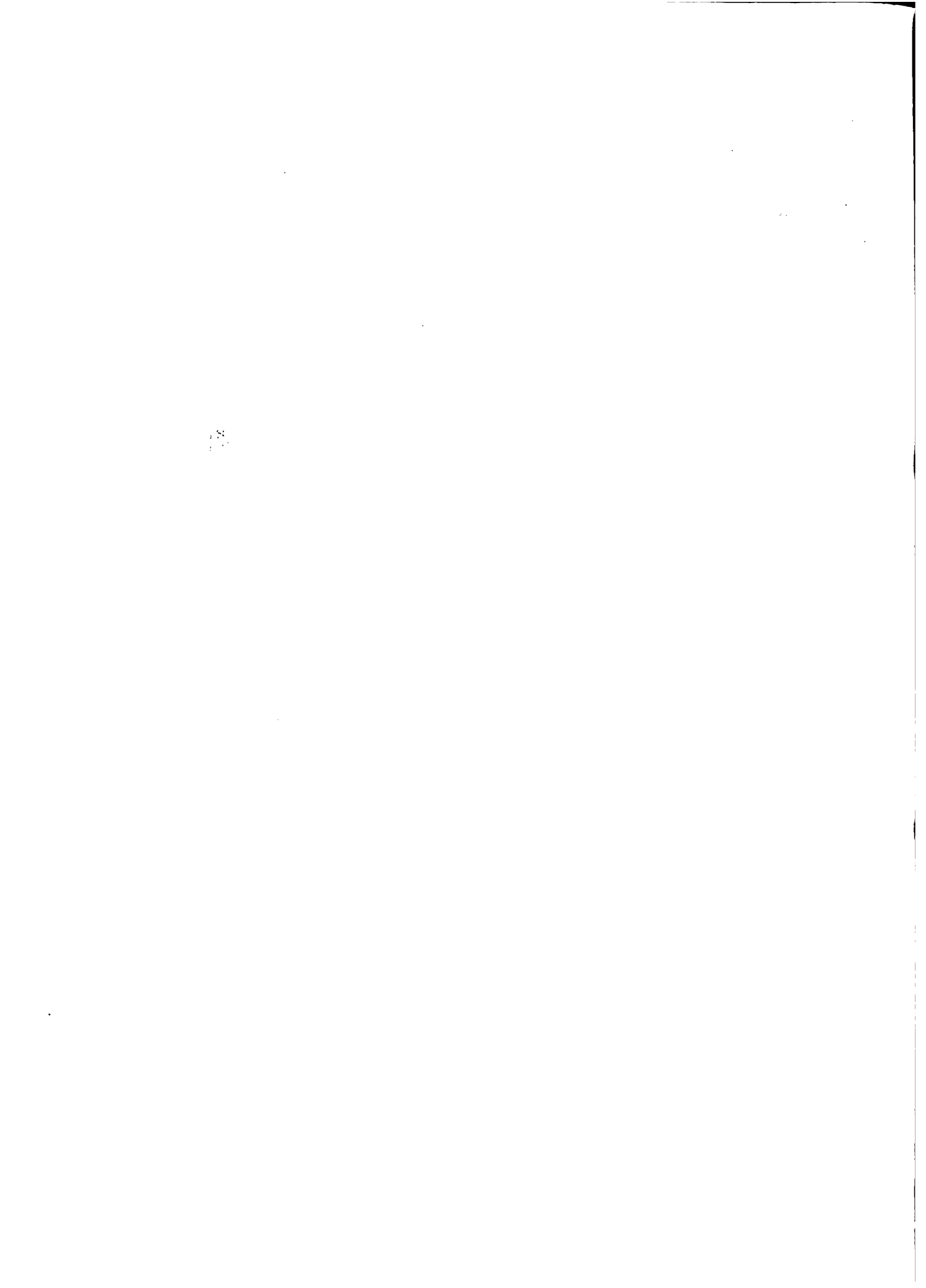
Le solide représenté par la figure 38, qui paraît, à première vue, être un tronc de pyramide, n'en est pas un, car si l'on prolonge, d'une part, les arêtes AE et DH et, d'autre part, BF et CG, on voit que les deux points d'intersection S et S<sub>1</sub> ne concordent pas.



Ce solide est un tronc de prisme quadrangulaire que l'on peut décomposer en deux tronc de prismes triangulaires par un plan mené suivant BC et HE.

La décomposition serait longue si les bases étaient des polygones quelconques.

Il est préférable d'évaluer les solides à bases parallèles qui ne





sont pas des troncs de pyramide, mais dont les formes s'en rapprochent sensiblement, au moyen de la formule:

$$V = \frac{H}{6} (B + b + 4\beta) \text{ (Formule des 3 niveaux)}$$

que nous retrouvons au paragraphe suivant et dans laquelle B et b représentent les bases parallèles et  $\beta$  la section médiane faite à égale distance de ces deux bases. La surface de cette dernière section diffère de celle de la section moyenne (moyenne des sections extrêmes). Nous appelons l'attention sur ce point. Cette formule est applicable à tout polyèdre ayant pour base deux polygones quelconques situés dans des plans parallèles et pour faces des trapèzes ou des triangles.

Polyèdres tronqués à bases parallèles  
Dits également trapézoédres

Volume du tas de cailloux, du tas de sable ou de certains matériaux destinés à la construction ou à l'entretien.- si l'on décompose le solide en deux troncs de prismes triangulaires, par un plan passant par F G et A D, on a:

$$V = \frac{a \times H}{2} \left( \frac{b + b + b'}{3} \right) + \frac{a' \times H}{2} \left( \frac{b' + b + b}{3} \right)$$

où:

$$\frac{H}{6} (b (2a + a') + b' (2a' + a)) \quad (1)$$

Dans ces formules, H = la distance qui sépare les deux bases. On obtient le même résultat avec la formule:  $H/6 (B + b + 4\beta)$ , car, dans la section médiane efgh, on a:



$$eh = \frac{b + b'}{2} ; hg = \frac{a + a'}{2}$$

ce qui donne:

$$V = \frac{H}{6} (ab + a'b' + 4 \left(\frac{b + b'}{2}\right) \left(\frac{a + a'}{2}\right))$$

En développant, on retrouve la formule (1)

La formule suivante:

$$V = \text{Surf. } efgh \times H \quad (2)$$

ne doit pas pas être employée, car elle peut donner des différences sensibles.

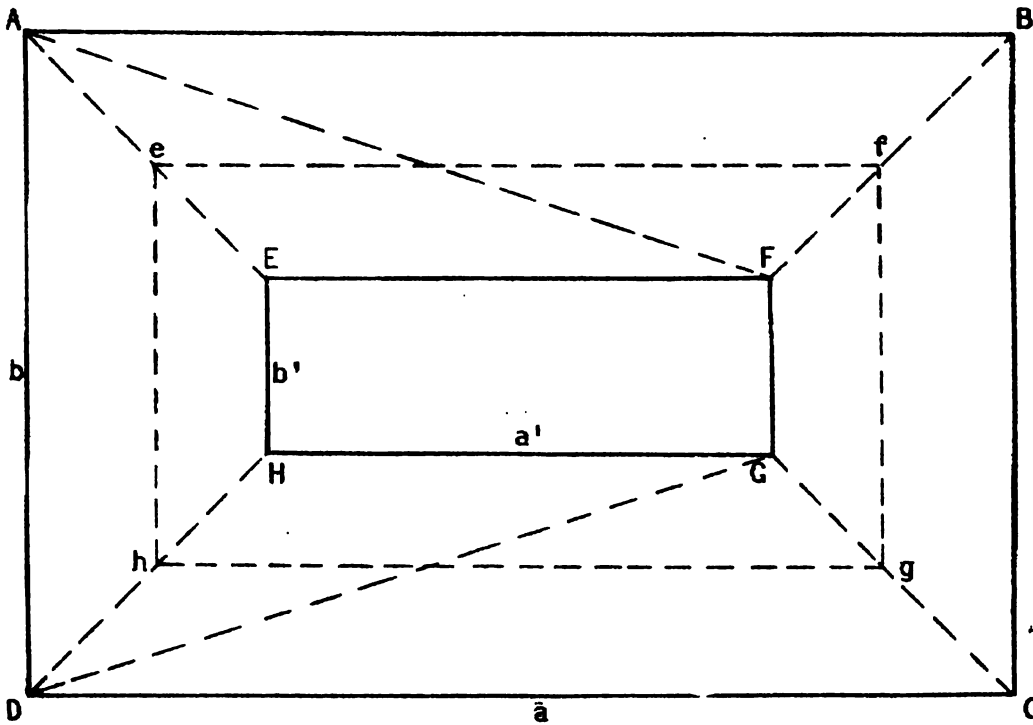


Fig. V. 39



De même, on ne doit pas employer la formule:

$$V = \left( \frac{S + s}{2} \right) H.$$

En appelant  $B = ab$  la surface de la grande base,  $b = a'b'$  celle de la petite base, on a alors:

$$V = \left( \frac{ab + a'b'}{2} \right) H. \quad (3)$$

Il est facile de s'en rendre compte par une application numérique. Donnons, dans la figure 39, aux lignes les valeurs suivantes:

$$H = 2\text{m}, a = 3\text{m}, a' = 2\text{m}, b = 2\text{m}, \text{ et } b' = 1\text{m}$$

$$\text{Formule (1) } V = H/6 (b (2a + a') + b' (2a' + a))$$

$$= \frac{2,00}{6} ( 2,00 (2 \times 3,00 + 2,00) + 1,00 (2 \times 2,00 + 3,00) )$$

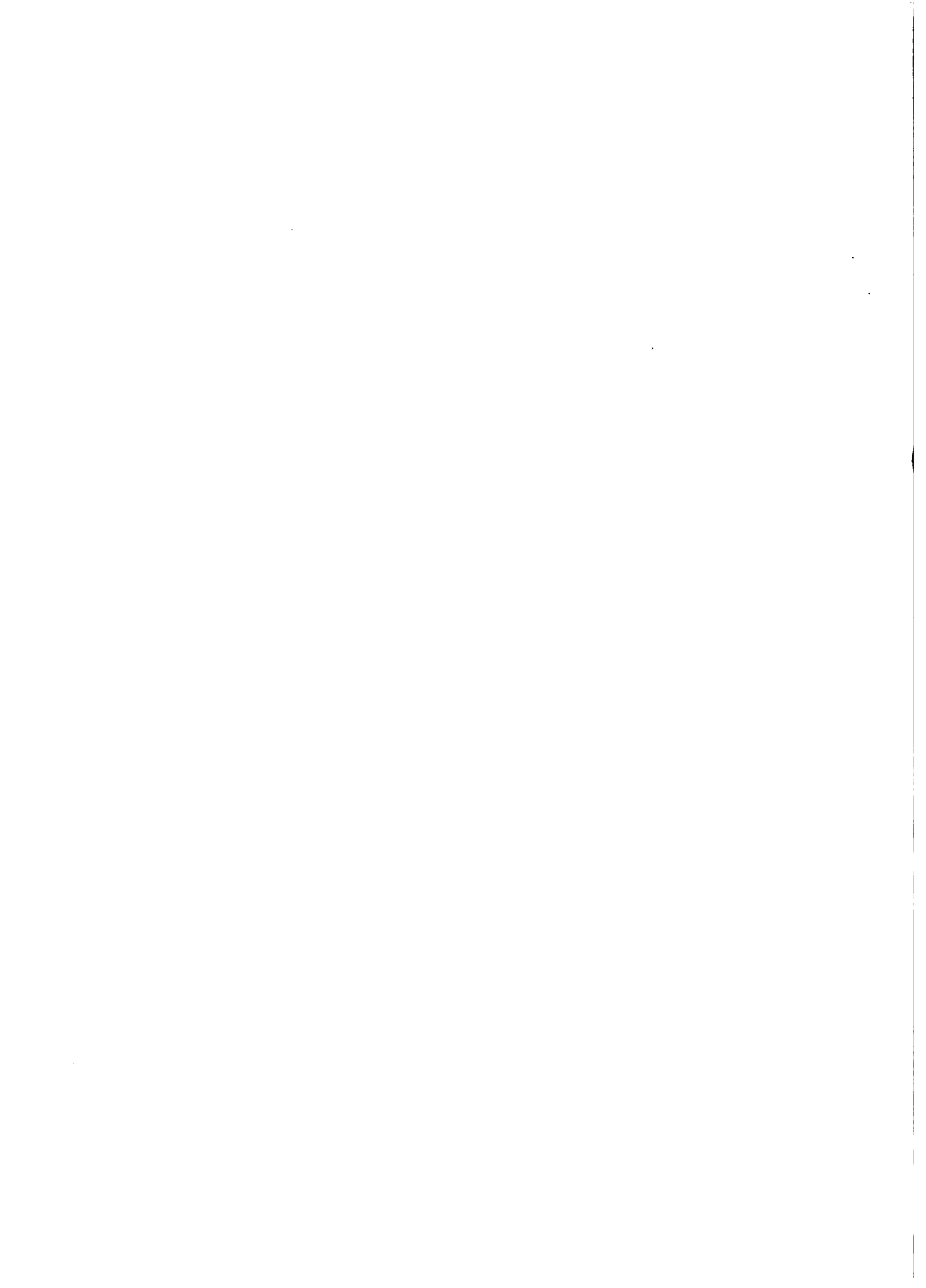
$$= 7,666 \text{ m}^3$$

$$\text{Formule (2) } V = \text{Surf.}, e f g h \times H$$

$$= \frac{3,00 + 2,00}{2} \times \frac{2,00 + 1,00}{2} \times 2,00 = 7,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Formule (3) } V = \left( \frac{S + s}{2} \right) H$$

$$V = \left( \frac{3 \times 2 + 2 \times 1}{2} \right) 2 = 8 \text{ m}^3$$



On remarquera que la formule (2) donne une erreur par défaut alors que la formule (3) donne une erreur par excès, plus importante (le double).

$$8 - 7,666 = 0.334$$

Nous retrouverons l'emploi de ces formules dans l'étude de la cubature des terrasses, où nous indiquerons que la formule (1) est celle de la cubature exacte, la formule (2) celle de la cubature par la méthode de l'aire moyenne, la formule (3) celle de la cubature par la méthode de la moyenne des aires.

### Polyèdres quelconques

Chaque polyèdre quelconque est un cas d'espèce. Pour en obtenir le volume, il suffit de décomposer ce polyèdre en solides géométriques, par des plans menés judicieusement.

### Corps ronds

#### Cylindres et troncs de cylindre

Cylindre     $V = B \times h = \pi R^2 h.$

Tronc de cylindre. Le volume du tronc de cylindre est égal à la surface de la section droite multipliée par la longueur de son axe comprise entre les bases, ou, en généralisant:

Le volume du tronc de cylindre ou du segment de tronc de cylindre (onglets) est égal au produit de sa section droite par la droite menée parallèlement aux génératrices par le centre de gravité de cette section et comprise entre les bases.

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000



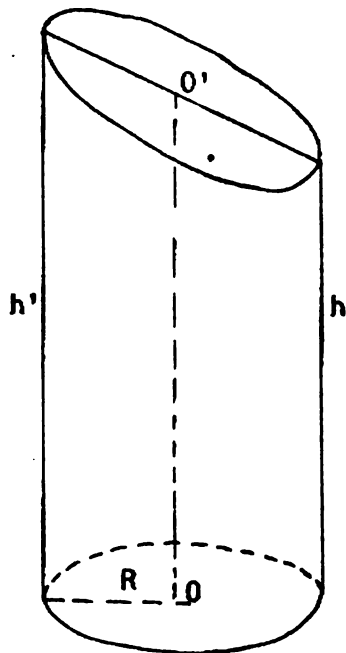


Fig. V.40

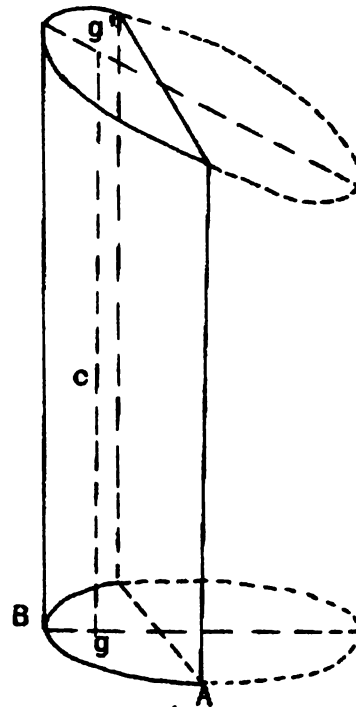


Fig. V.41

$$V = \bar{R} R^2 \times OO' = \frac{\bar{R} R^2 (h + h')}{2}$$

$$V' = \text{Surface segment } A B C \times gg'$$

Onglet cylindrique  $V = \frac{h}{R + d} \left( \frac{c^3}{12} + d \times \text{surf. } ACB \right)$

OD = d est compté négativement si D est entre O et C, positivement si D est entre O et E (cas de la figure) Si d = 0 (AB passant par le centre O), ABC = Surface de: demi-cercle de base, on a

$$V = \frac{2}{3} R^2 h.$$



Fig. V.42

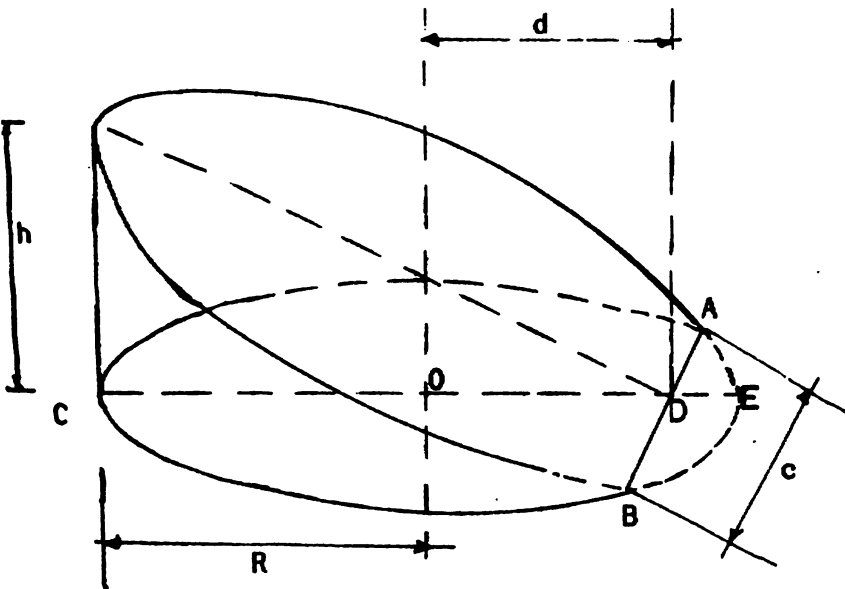
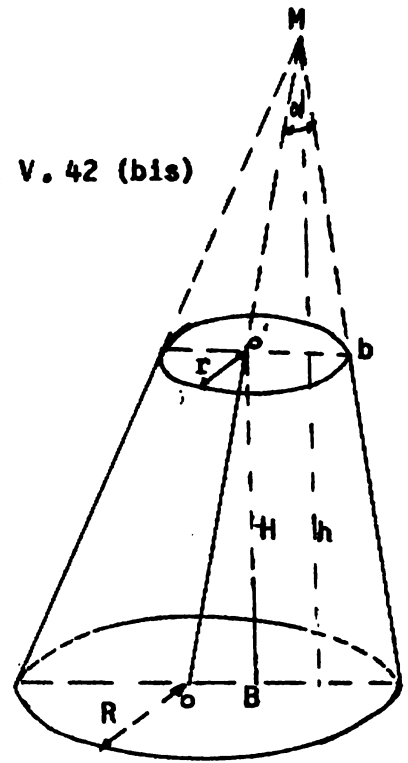


Fig. V.42 (bis)



Si  $d = R$ , (D est en E, ACB = surface du cercle de base) on a:

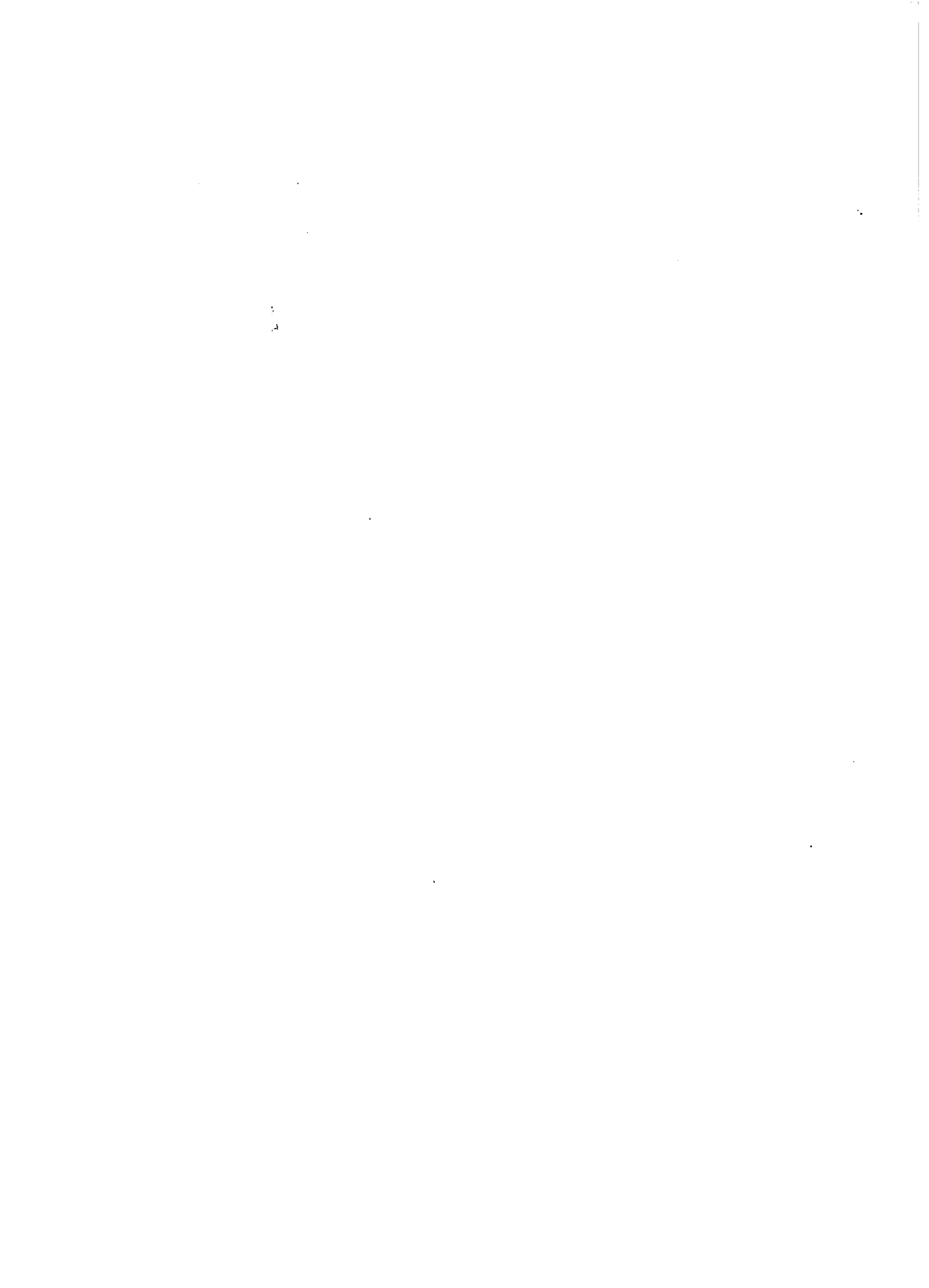
$$V = \frac{\pi R^2 h}{2}$$

Cônes

Cône droit circulaire

$$V = B \times \frac{h}{3} \text{ ou } \frac{\pi R^2 h}{3}$$

$$\text{Oblique} = \frac{B \cos \alpha h}{3} = \frac{\pi R^2 h \cos \alpha}{3}$$



Tronc de cône droit circulaire

$$V = 1/3 \pi H (R^2 + r^2 + R + r)$$

$$\text{Oblique } V = 1/3 \pi H \cos \alpha (R^2 + r^2 + R + r)$$

La formule  $H/6 (B + b + 4\beta)$  est applicable aux troncs de cône qui ne sont que des troncs de pyramides dont le nombre des côtés augmente indéfiniment,

### Sphère

$$\text{Sphère } V = 3/4 \pi R^3, \text{ ou } 1/6 \pi D^3$$

Pour obtenir le volume de la paroi d'une sphère creuse, on emploie la formule:

$$\frac{\pi}{6} (D^3 - d^3)$$

D = Diamètre extérieur et d = diamètre intérieur.

Secteur sphérique  $V = 2/3 \pi R^2 h$ , c'est à dire le produit de la surface de la zone ou calotte qui lui sert de base par le tiers du rayon.



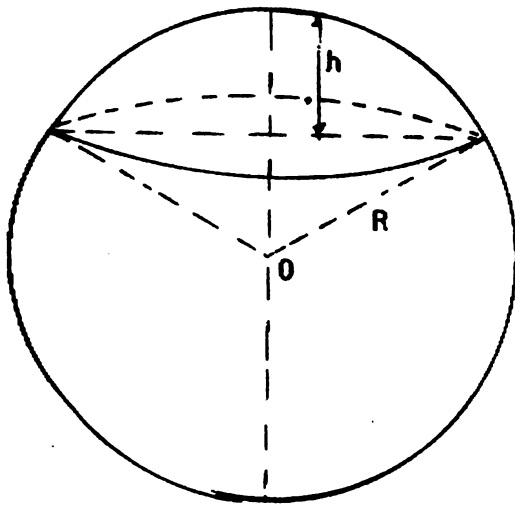


Fig. V. 43

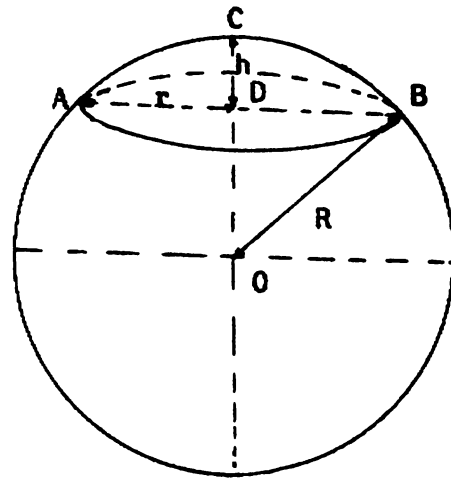


Fig. V. 44

Calotte sphérique ou tranche sphérique à une base

$$V = \frac{\pi}{2} \times r^2 \times h + \frac{1}{6} \pi h^3 \quad \text{où } r = AD, \text{ rayon du cercle de base}$$

où:  $V = \frac{\pi h^2}{3} (3R - h)$  où  $R = \text{rayon de la sphère}$

Tranche sphérique à 2 bases.

$$V = \frac{\pi (r^2 + r'^2)}{2} \times h + \frac{\pi h^3}{6}$$

Il suffit de faire  $R' = 0$  pour retrouver la formule précédente.





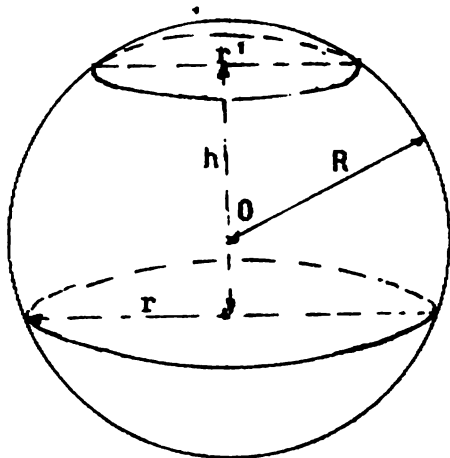
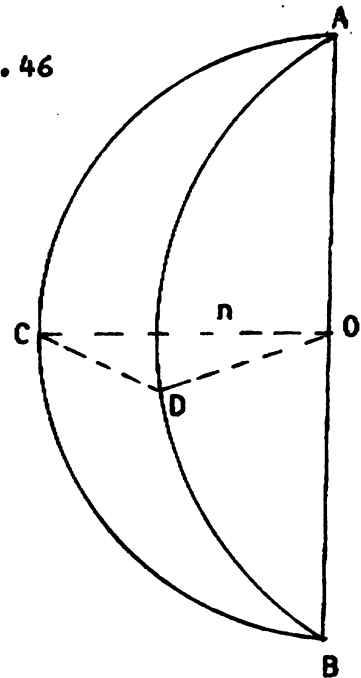


Fig. V. 45

Fig. V. 46



### Onglet sphérique

Le volume d'un onglet sphérique est égal au fuseau qui lui sert de base multiplié par le tiers du rayon,  $OA = R$

$$V = \widehat{CD} \times 2 OA \times \frac{1}{3} OA = \frac{2}{3} \widehat{CD} \times OA^2 = \frac{2}{3} \widehat{CD} \times R^2$$

ou bien :  $\frac{4}{3} \pi R^3 \times \frac{n\theta}{360^\circ}$ ,  $\theta =$  l'angle du fuseau, en degrés.



### 5.7 Volumes de Révolution

#### Volumes engendrés par une surface polygonale

Surface polygonale irrégulière.- On évalue séparément le volume engendré par chacune des droites de la ligne brisée (cône, tronc de cône, cylindres) et on en fait le total.

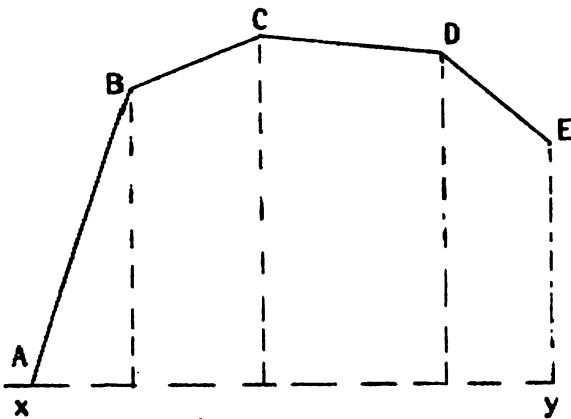


Fig. V. 47

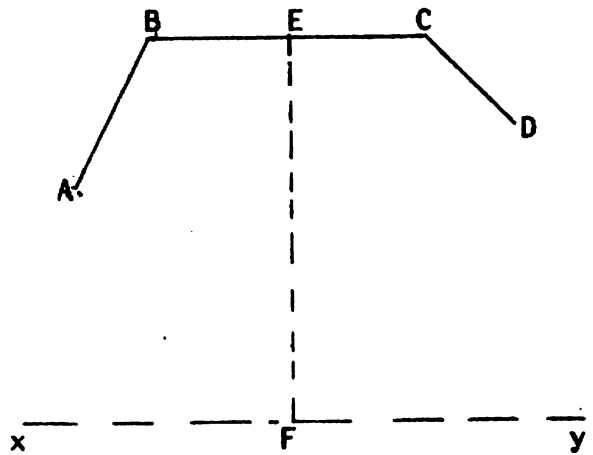


Fig. V. 48

Surface polygonale régulière.- S'il s'agit d'une ligne polygonale régulière tournant autour d'un diamètre qui ne la coupe pas, le volume est égal au produit de la surface que décrit le périmètre par le tiers de l'apothème F E.

#### Volumes engendrés par une surface plane quelconque

Théorème de Guldin.- Le volume engendré par une surface plane S quelconque est égal au produit de cette surface génératrice par la longueur de l'arc parcouru par son centre de gravité  $G_1G_2 = g$ , soit:

$$V = S \times g = S \times \bar{R} \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}$$



Si  $S$  est un cercle de rayon  $r$ , et que le centre de gravité parcourt la circonférence complète (de rayon  $R$ ), le corps est un "tore" dont le volume est:

$$V = 2 \pi^2 r^2 R.$$

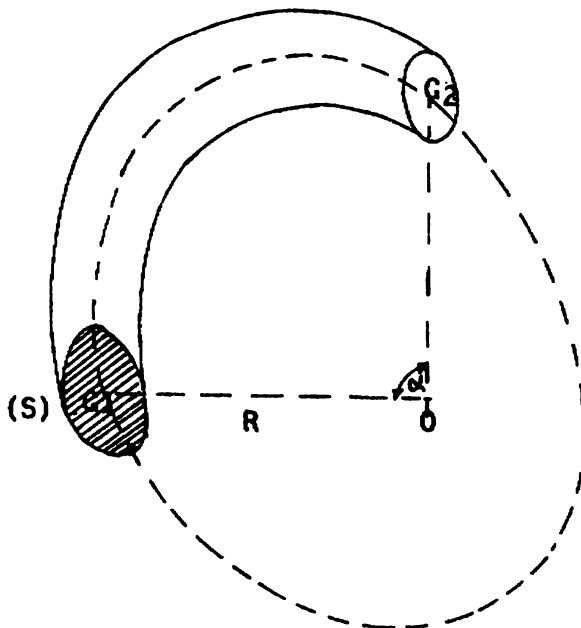


Fig. V. 49

### Volumes Limités par des surfaces gauches

Volumes compris entre quatre plans verticaux et dont les bases inférieure et supérieure sont des surfaces gauches.

Soit le volume  $ABCD, A'B'C'D'$ . Rappelons que la surface  $ABCD$  étant gauche, la surface est décrite par la droite  $MN$  se déplaçant de  $AD$  à  $BC$  en s'appuyant sur  $AB$  et  $DC$  de telle façon que :

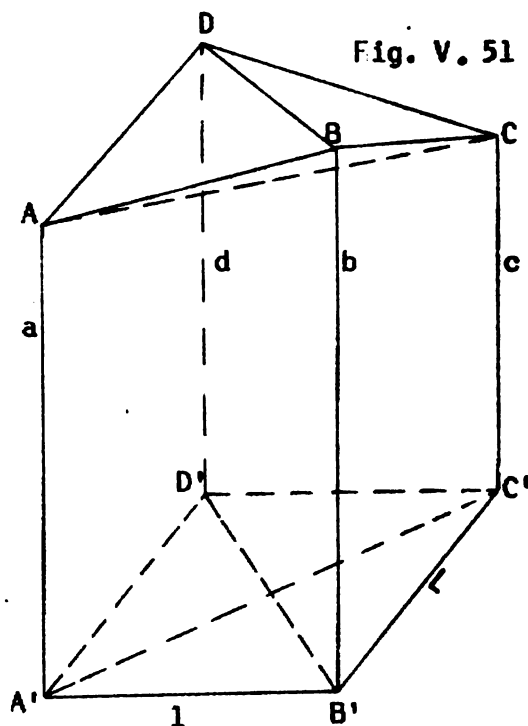
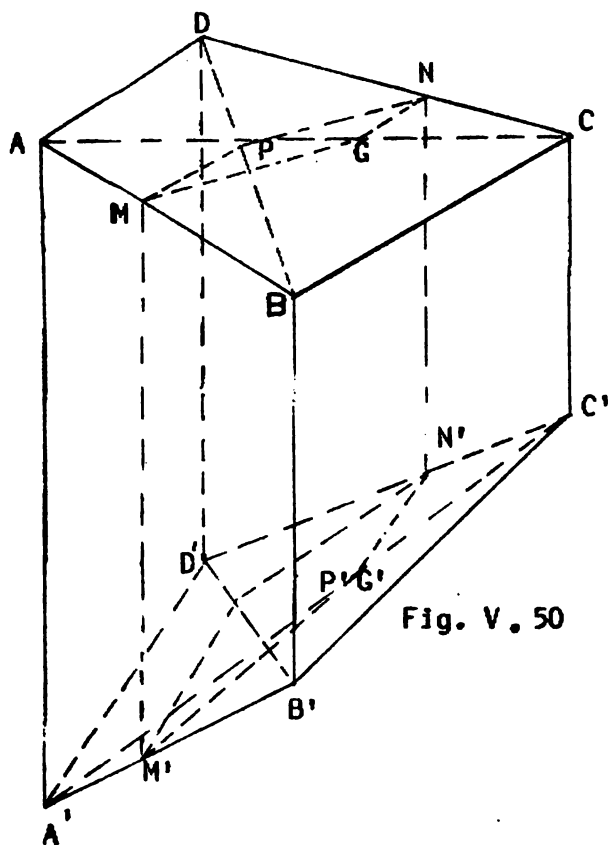
$$\frac{MA}{MB} = \frac{DN}{NC}$$



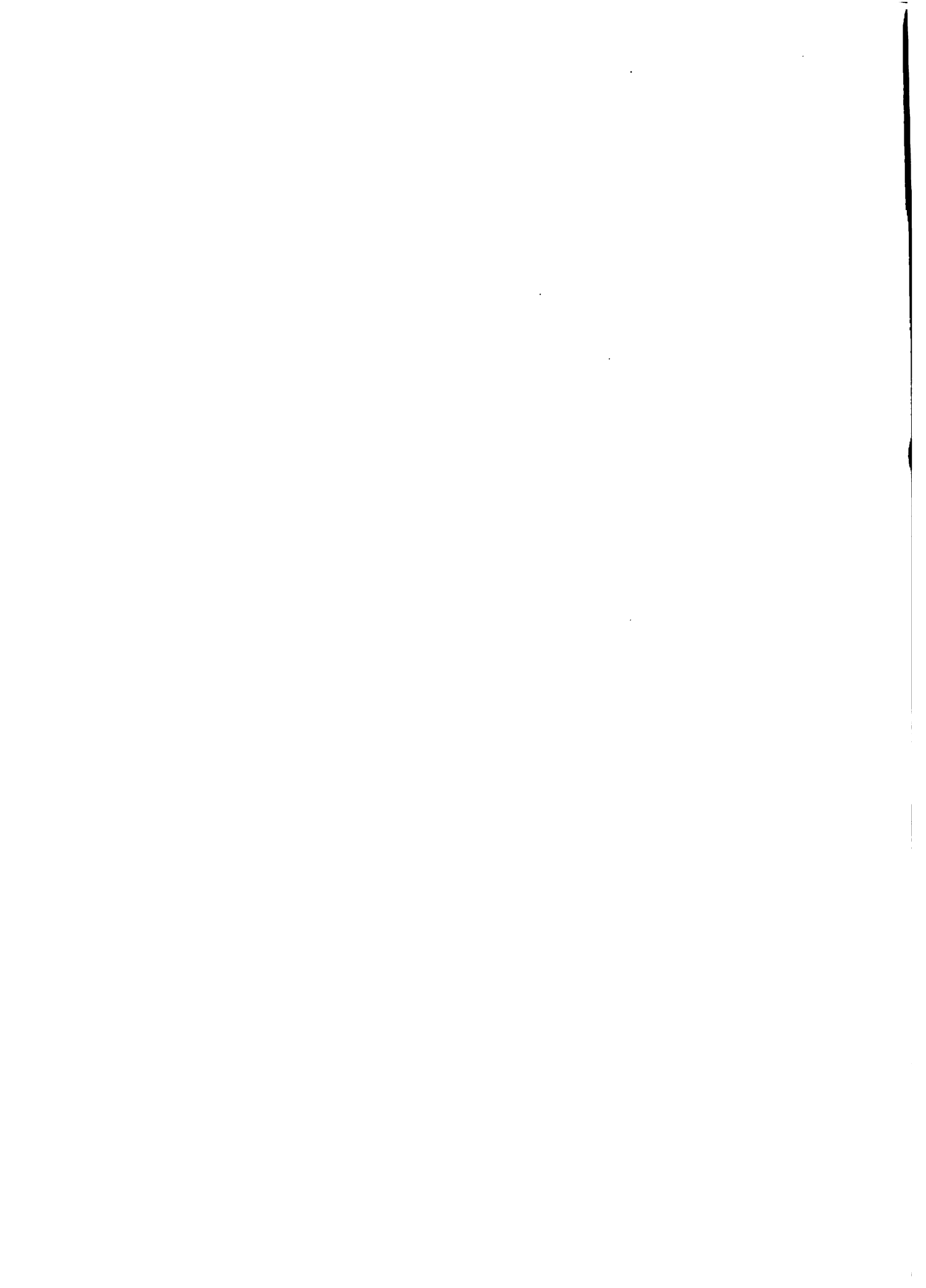
De même dans la surface  $A'B'C'D'$  avec la droite  $M'N'$

Pour calculer ce volume, on le décompose en troncs de prismes triangulaires par les plans verticaux menés suivant  $A'C'$  et  $D'B'$ .

Le volume total est égal à la demi-somme des volumes des prismes triangulaires ayant pour bases  $A'D'C'$ ,  $A'B'C'$ , puis  $A'D'B'$  et  $B'D'C'$ .



Dans le cas particulier où les plans  $ABA'B'$  et  $DCD'C'$ ,  $ADA'D'$  et  $BCB'C'$  sont parallèles entre eux, et où  $A'B'C'D'$  est un plan perpendiculaire aux arêtes, c'est à dire, que  $A'B'C'D'$  est la section droite on a :





$$V = \frac{1}{2} \left[ \begin{array}{c} \text{vol.} \\ (AA'BB'DD') \end{array} + \begin{array}{c} \text{vol.} \\ (BB'CC'DD') \end{array} + \begin{array}{c} \text{vol.} \\ (ADCA'D'C') \end{array} + \begin{array}{c} \text{vol.} \\ (ABCA'B'C') \end{array} \right]$$

$$V = \frac{1}{2} \frac{Ll}{2} \left[ \frac{a+b+d}{3} + \frac{b+c+d}{3} + \frac{a+d+c}{3} + \frac{a+b+c}{3} \right]$$

$$v = Ll \left( \frac{a+b+c+d}{4} \right)$$

soit la section droite multipliée par la moyenne des quatre arêtes.  
Nous retrouverons cette formule dans la cubature exacte des terrassements

### Volumes quelconque limités par des surfaces gauches

On décompose les volumes par des plans de manière à obtenir des solides limités par une seule surface gauche, analogue à celui dont nous venons de parler, et dont nous savons déterminer le cube. On obtient ensuite facilement le cube total.

### 5.8 Application des formules de Simpson ou de Poncelet à l'évaluation des volumes

Ces formules sont les mêmes que celles que nous avons étudiées dans l'évaluation des surfaces limitées par des courbes quelconques, avec cette différence que les ordonnées sont remplacées par des sections.

#### Formule de Simpson:

$$V = \frac{L}{3n} (S_0 + S_n + 4(S_1 + S_3 + S_5 + \dots + S_{n-1}) + 2(S_2 + S_4 + S_6 + \dots + S_{n-2}))$$

$$V = \frac{L}{2} (2(S_1 + S_3 + S_5 + S_7 + \dots + S_{n-1}) + \frac{1}{4}(S_0 + S_n) - \frac{1}{4}(S_2 + S_{n-1}))$$



Dans ces formules  $L$  représente la distance ou la hauteur entre les deux sections extrêmes :

$n$  représente le nombre d'intervalles pairs entre les sections  
 $S$  représente la surface des sections.

Remarque. - Il ne faut jamais perdre de vue, dans l'application de ces formules, que les sections doivent être équidistantes et menées parallèlement aux bases extrêmes et en nombre impair, tandis que le nombre des intervalles ou portions de volume compris entre ces sections est toujours pair.

Lorsque le nombre des sections intermédiaires se réduit à une seule équidistante des bases, les formules se présentent sous la forme plus simple que nous connaissons déjà

$$V = \frac{H}{6} (B + b + 4g) \quad (\text{formule des trois niveaux})$$

## 5.9 Centres de gravité

### Généralités

Nous avons vu, dans les formules précédentes, qu'il était nécessaire de connaître les positions des centres de gravités des surfaces et des volumes; nous ajouterons qu'il est indispensable de savoir rapidement les déterminer. Nous allons, en conséquence, les examiner sommairement en rappelant, tout d'abord, que, lorsqu'une figure a un axe de symétrie, le centre de gravité se trouve toujours sur cet axe de symétrie.

### Lignes

Ligne droite. - Le centre de gravité est situé au milieu de sa longueur.



Deux droites concourantes. Le centre de gravité est situé sur la ligne qui joint les milieux de ces droites. Il partage cette dernière en segments inversement proportionnels aux longueurs des deux droites concourantes.

Lignes brisées. - On détermine d'abord le centre de gravité  $g$  des droites  $A B$  et  $B C$ , puis de  $A B + B C$  et de  $C D$ , et ainsi de suite.

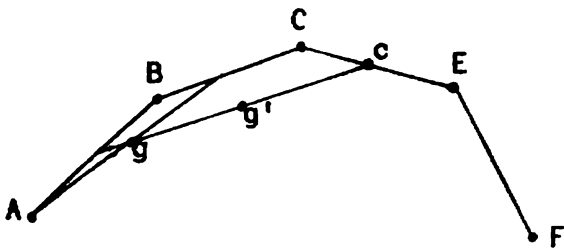


Fig. V. 52

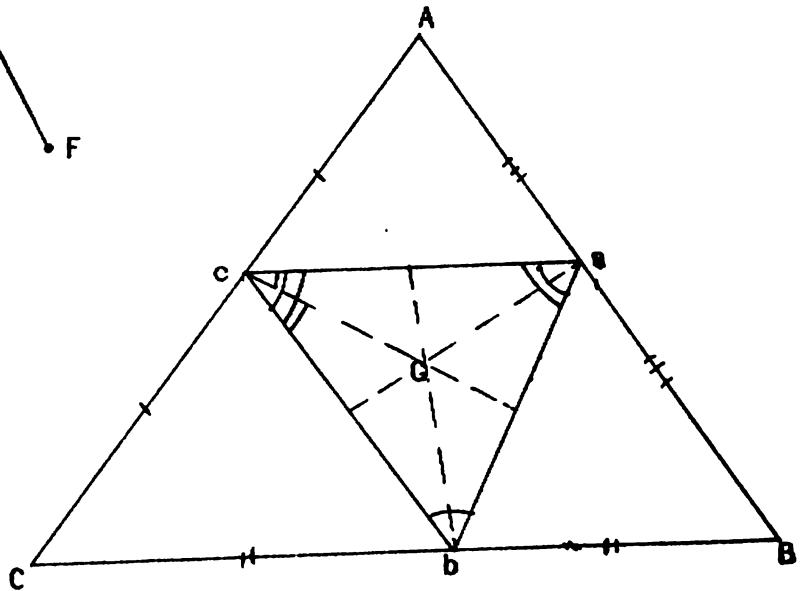


Fig. V. 52 (bis)

Périmètre ou contour du triangle

Le centre de gravité  $G$  se trouve à l'intersection des trois bissectrices du triangle formé en joignant le milieu des côtés  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ .

Périmètre du parallélogramme. - Le centre de gravité se trouve à l'intersection des diagonales ou à la rencontre des droites qui joignent les milieux des côtés.



Périmètre d'un polygone régulier.- Le centre de gravité est à son centre.

Périmètre d'un polygone irrégulier.- La méthode de recherche du centre de gravité est la même que celle employée pour la ligne brisée.

Arc de cercle.- Le centre de gravité est situé sur l'axe de symétrie OC, à une distance du centre O, telle que:

$$OG = \frac{R \times \text{corde AB}}{\text{arc ACB}}$$

OG est une quatrième proportionnelle à l'arc, à la corde AB et à R.

Quand la valeur de l'arc est exprimée en degrés et parties de degrés, si l'on désigne par n cette valeur, on a:

$$\begin{aligned} OG &= \frac{360^{\circ} \times r \sin \frac{n^{\circ}}{2}}{\pi \times n^{\circ}} \\ &= 114,6 \frac{R \sin \frac{n^{\circ}}{2}}{n^{\circ}} \end{aligned}$$

Dans le cas où on ne donne pas l'angle et où la corde et le rayon sont seuls connus, on calcule d'abord le nombre de degrés de l'arc n tel que:

$$\sin \frac{n^{\circ}}{2} = \frac{\text{corde}}{2R}$$

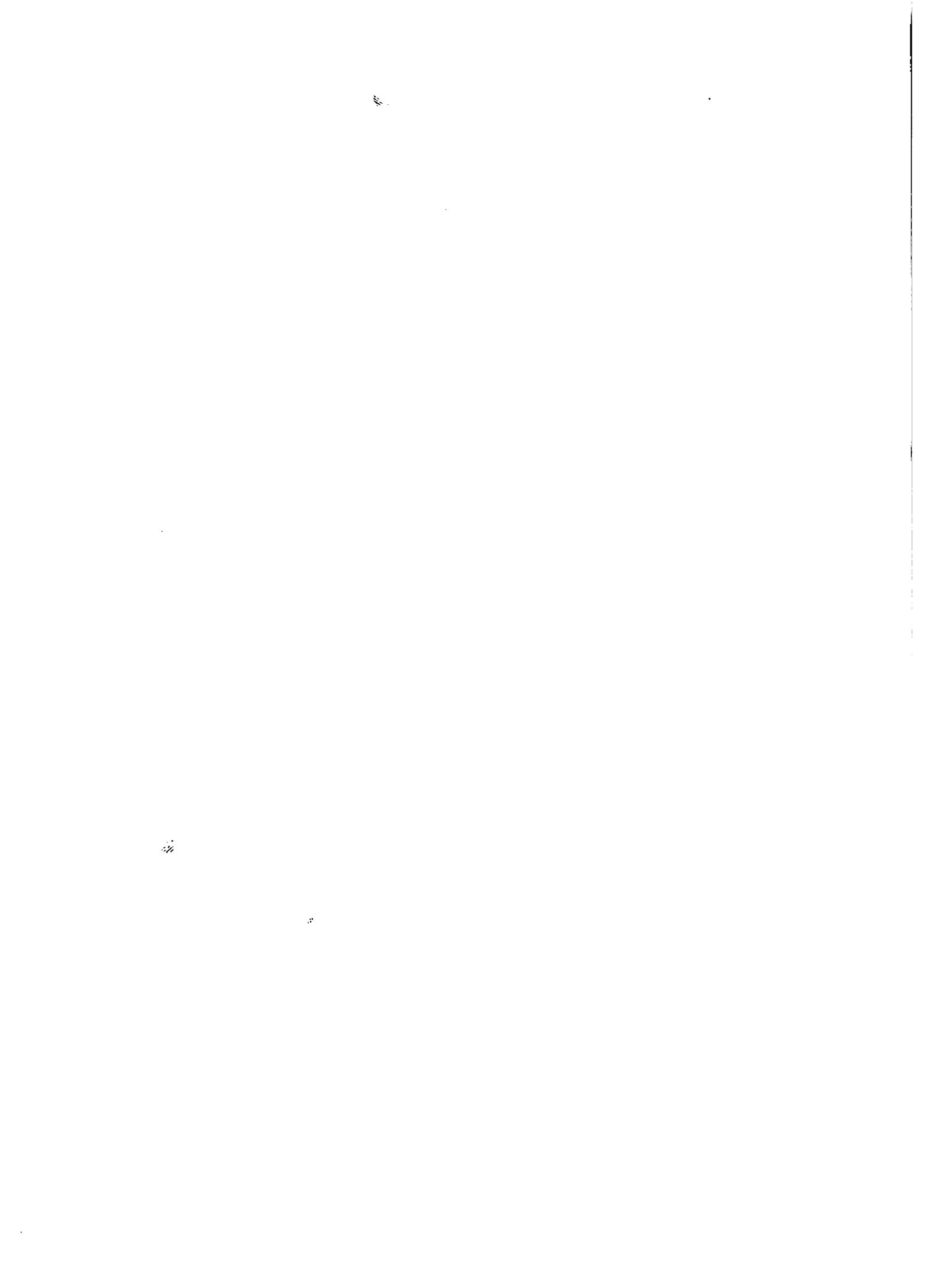




Fig. V. 53

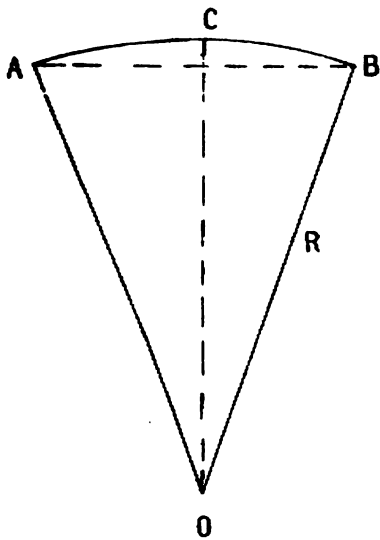


Fig. V. 54

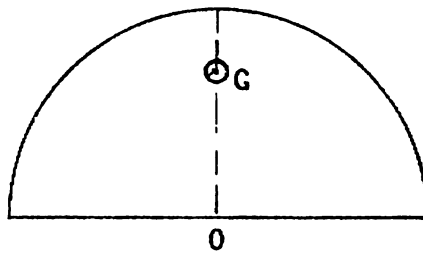
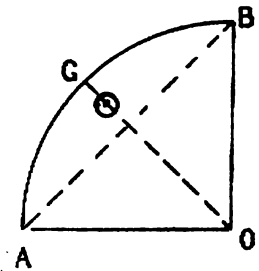


Fig. V. 55



d'où:

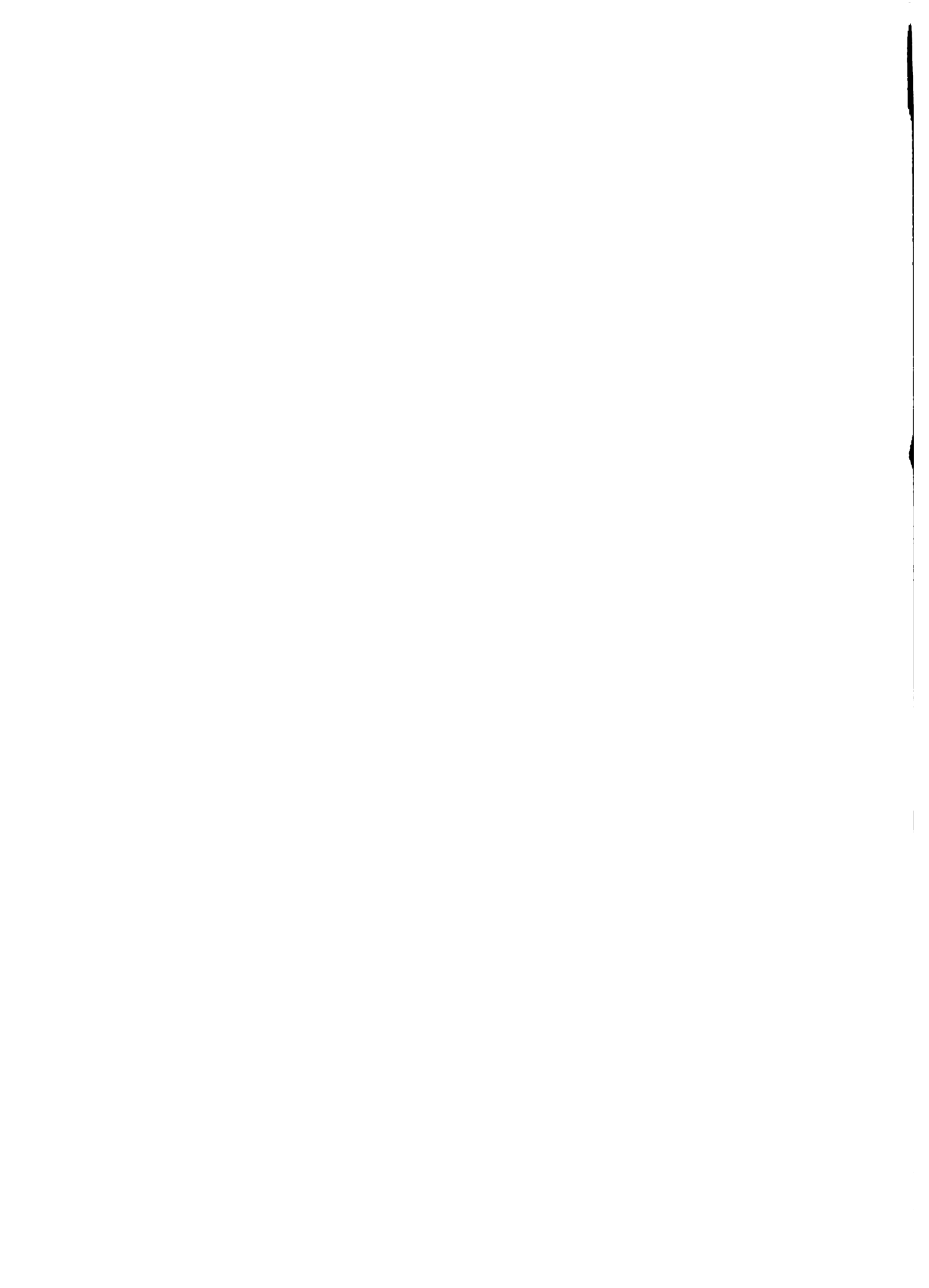
$$OG = \frac{3000^\circ \times \frac{\text{corde}}{2}}{\pi \times n^\circ} = 57,3 \frac{\text{corde}}{n^\circ}$$

Demi-circonférence. -  $OG = \frac{2R}{\pi}$

soit sensiblement  $OG = \frac{7R}{11}$

Quart de circonférence. -  $OG = \frac{7}{11} \text{ corde AB.}$

ou encore:  $OG = \frac{2R\sqrt{2}}{11}$  soit  $\frac{7}{11} R \sqrt{2}.$



Arc de cercle de  $60^\circ$  -  $OG = \frac{3R}{11}$  soit  $\frac{21}{22} R$

Circonférence et contour de l'ellipse.- Le centre de gravité est au centre de la figure.

Développement du segment parabolique.- Le centre de gravité du développement du segment parabolique ACB se trouve sur l'axe CD à une distance du sommet C égale à  $\frac{3}{5} CD$ .

Arc de courbe quelconque.- On divise la courbe en section assez petites, de manière à pouvoir les considérer comme rectilignes. L'arc est, par suite, ramené à une ligne brisée dont on sait déterminer le centre de gravité.

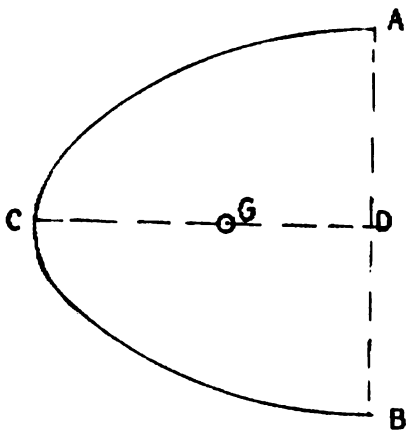


Fig. V. 56

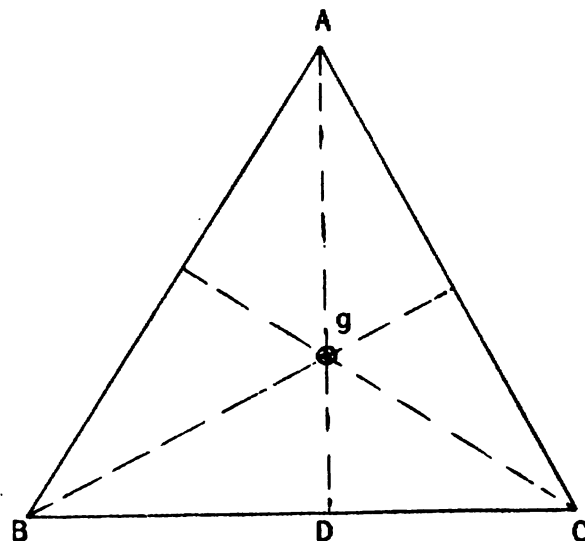


Fig. V. 57

### Surfaces

Triangle.- Le centre de gravité de la surface d'un triangle se trouve



au point d'intersection des médianes. En considérant une médiane quelconque, le centre de gravité est situé sur cette médiane au tiers à partir de la base:

$$Dg = \frac{1}{3} AD.$$

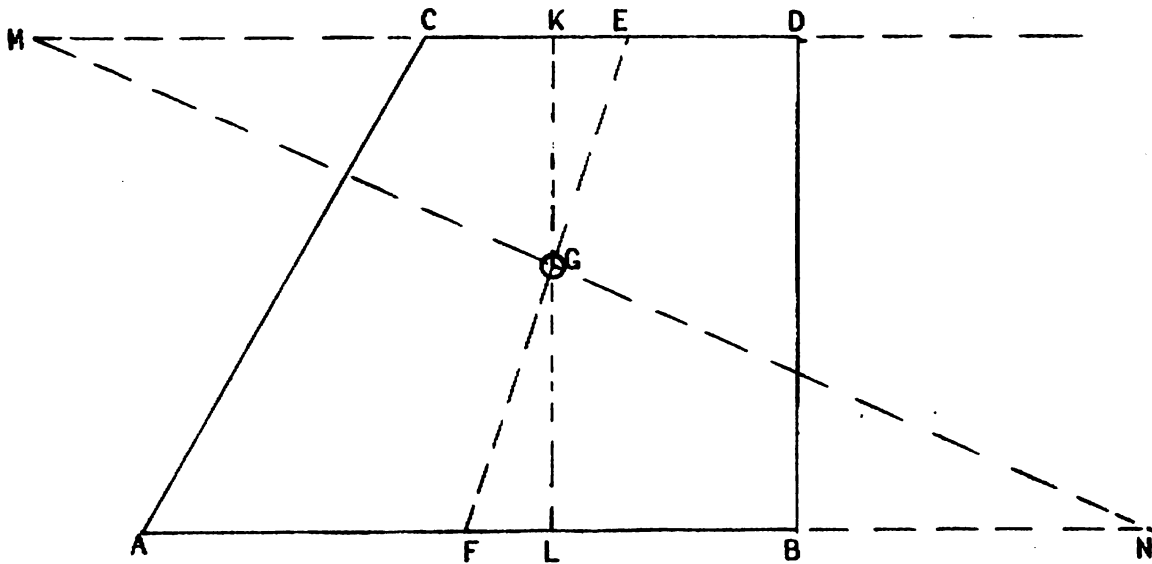


Fig. V. 58

Carré, rectangle, parallélogramme..- Le centre de gravité se trouve à l'intersection des diagonales.

Trapeze..- Méthode graphique.- On joint les milieux de CD et de AB (soit FE). On porte sur CD, au-delà de C, la longueur MC = AB, et sur AB au-delà de B, la longueur BN = CD. On joint MN. Le point de rencontre de MN et de FE est le centre de gravité G.

Par le calcul, on a:

$$\frac{GE}{GF} = \frac{GK}{GL} = \frac{ME}{FN} = \frac{AB + \frac{CD}{2}}{\frac{AB}{2} + CD} = \frac{2AB + CD}{AB + 2CD}$$

4

d'où:

$$GE = \frac{EF}{3} \frac{2AB + CD}{AB + CD}$$

$$GF = \frac{EF}{3} \times \left( \frac{2CD + AB}{AB + CD} \right)$$

Si H représente la hauteur KL du trapèze:

$$GL = \frac{H}{3} \times \left( \frac{2CD + AB}{AB + CD} \right) \text{ et } GK = \frac{H}{3} \times \left( \frac{CD + 2AB}{AB + CD} \right)$$

Le centre de gravité est à la rencontre des droites EF et LK.

Quadrilatère quelconque. - 1ère Méthode. - Mener les deux diagonales qui se coupent au point h et prendre ensuite Dd = Ah; joindre d au milieu a de l'autre diagonale, le centre de gravité g se trouvera au tiers de cette ligne à partir de a.

d'où:

$$ag = \frac{ad}{3}$$

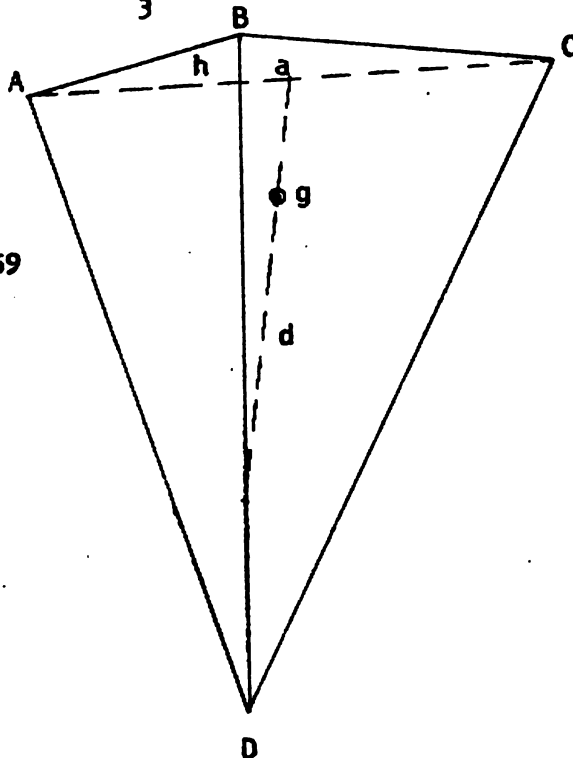


Fig. V. 59

Handwritten text, possibly a list or notes, including the name "Dr. J. H. ...".



2ème Méthode.- On peut diviser la surface du quadrilatère en deux triangles dont on joint les centres de gravité. On divise ensuite la droite qui joint les centres de gravité de chacun des triangles en parties inversement proportionnelles aux surfaces des triangles.

Polygone quelconque.- On divise le polygone en triangle et on détermine le centre de gravité de deux d'entre eux. on cherche ensuite le centre de gravité de la surface des deux triangles et d'un troisième, et ainsi de suite.

Polygone régulier.- Le centre de gravité est au centre du cercle inscrit ou circonscrit à ce polygone.

Cercle.- Le centre de gravité est au centre.

Secteur de cercle.-  $OG = \frac{2}{3} \times \frac{R \times \text{corde}}{\text{arc}}$

$$\frac{4 R \times 180^\circ}{3 \pi n^\circ} \sin \frac{n^\circ}{2} \approx \frac{76,4}{n^\circ} R \sin \frac{n^\circ}{2}$$

Demi-cercle.-  $OG = \frac{2}{3} \times \frac{R \times 2R}{\pi R} = \frac{4}{3} \times \frac{R}{\pi} = R \times 0,4244.$

Fig. V. 60

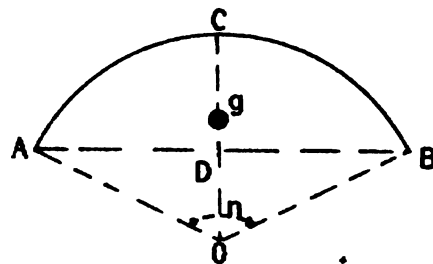
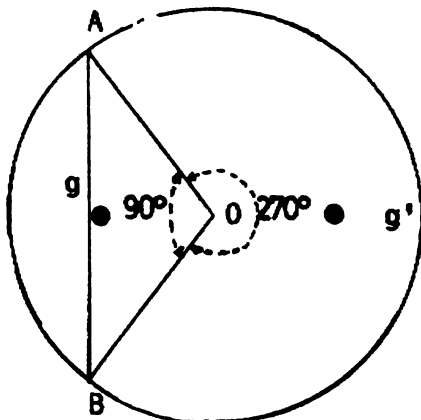


Fig. V. 61



Secteur de 90°.-  $Og = 0.1211 \times \text{corde } AB = \frac{1}{3} \times \frac{R\sqrt{2}}{R}$  soit:  $0,59 R$

Secteur de 270°.-  $Og = \frac{4}{9} \frac{R\sqrt{2}}{R} = 0,2 R.$

Secteur de 60°.-  $Og = \frac{2R}{11} = \frac{7}{11} R$

Segment de cercle.-  $Og = \frac{AB^3}{12 \text{ surf. segment } ACBA'}$

on a aussi:  $Og = \frac{4}{3} \frac{R \sin^3 \frac{n}{2}}{n - \sin n}$

Vousoir circulaire.- Pour obtenir le centre de gravité d'un vousoir circulaire ABCD, on détermine le centre de gravité des secteurs OAB et ODC; on multiplie la surface de ces secteurs par la distance de leur centre de gravité au centre commun O, on soustrait le plus petit produit du plus grand et on divise le reste par la partie de couronne ABCD; le quotient obtenu est la distance du centre de gravité g au centre O, d'où l'expression:

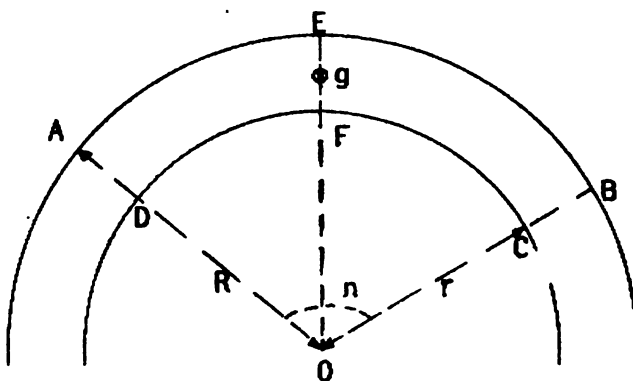


Fig. V. 62

1920

1921

1922

1923

1924

$$Og = \frac{1}{3} \times \frac{AB \times AO^2 - CD \times CO^2}{\text{Surf. ABCD}}$$

$$Og = \frac{1}{3} \frac{AB \times R^2 - CD \times r^2}{\text{Surf. ABCD}}$$

$$Og = \frac{2}{3} \frac{360^\circ (R^3 - r^3)}{\pi n^\circ (R^2 - r^2)} \sin \frac{n^\circ}{2}$$

$$Og = \frac{4}{3} \frac{\sin \frac{\alpha}{2} R^3 - r^3}{\alpha (R^2 - r^2)} = \frac{4}{3} \frac{\sin \frac{\alpha}{2} R^2 + Rr + r^2}{\alpha (R + r)}$$

en exprimant l'angle AOB en radian.

Segment parabolique: comme pour le développement de l'arc du segment

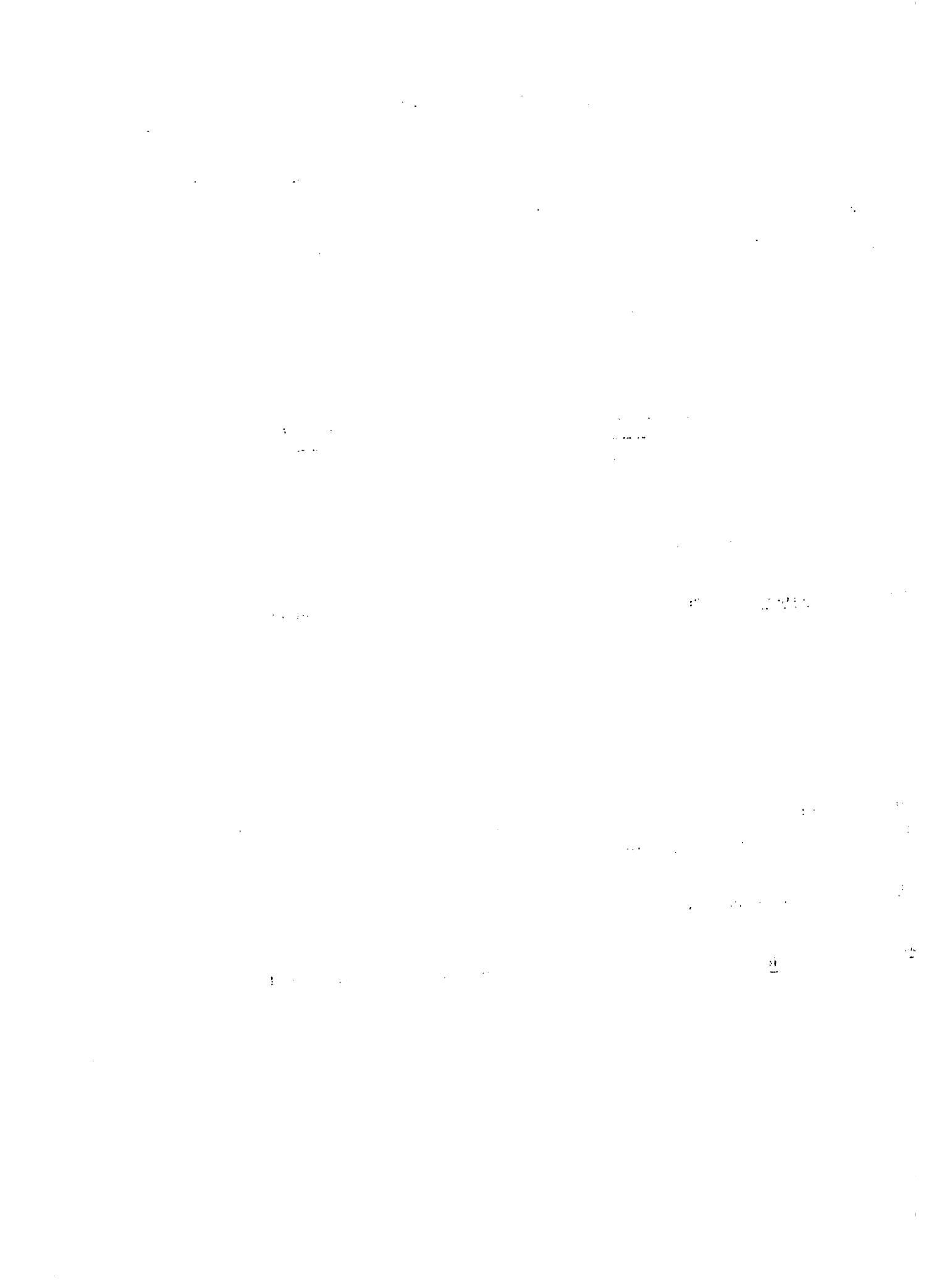
$$GC = \frac{3}{5} CD$$

### Volumes

Prisme, parallélépipède.- Le centre de gravité est au milieu de la droite qui joint le centre de gravité des deux bases.

Cylindre.- Au milieu de son axe.

Sphère et ellipsoïde.- Au centre de ces figures pour la surface et le volume.



Demi-sphère.- Le centre de gravité se trouve sur l'axe, aux  $\frac{3}{8}$  à partir du centre.

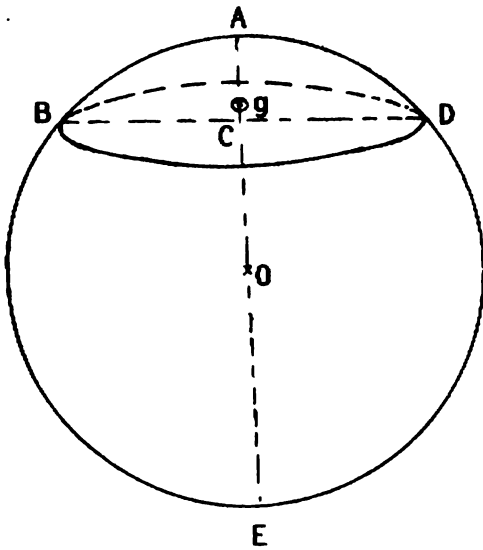


Fig. V. 63

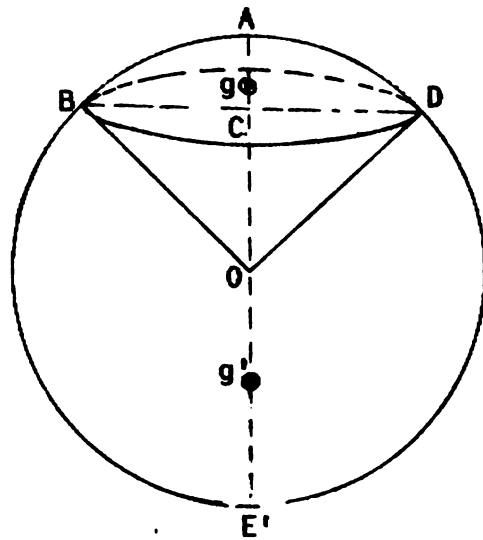


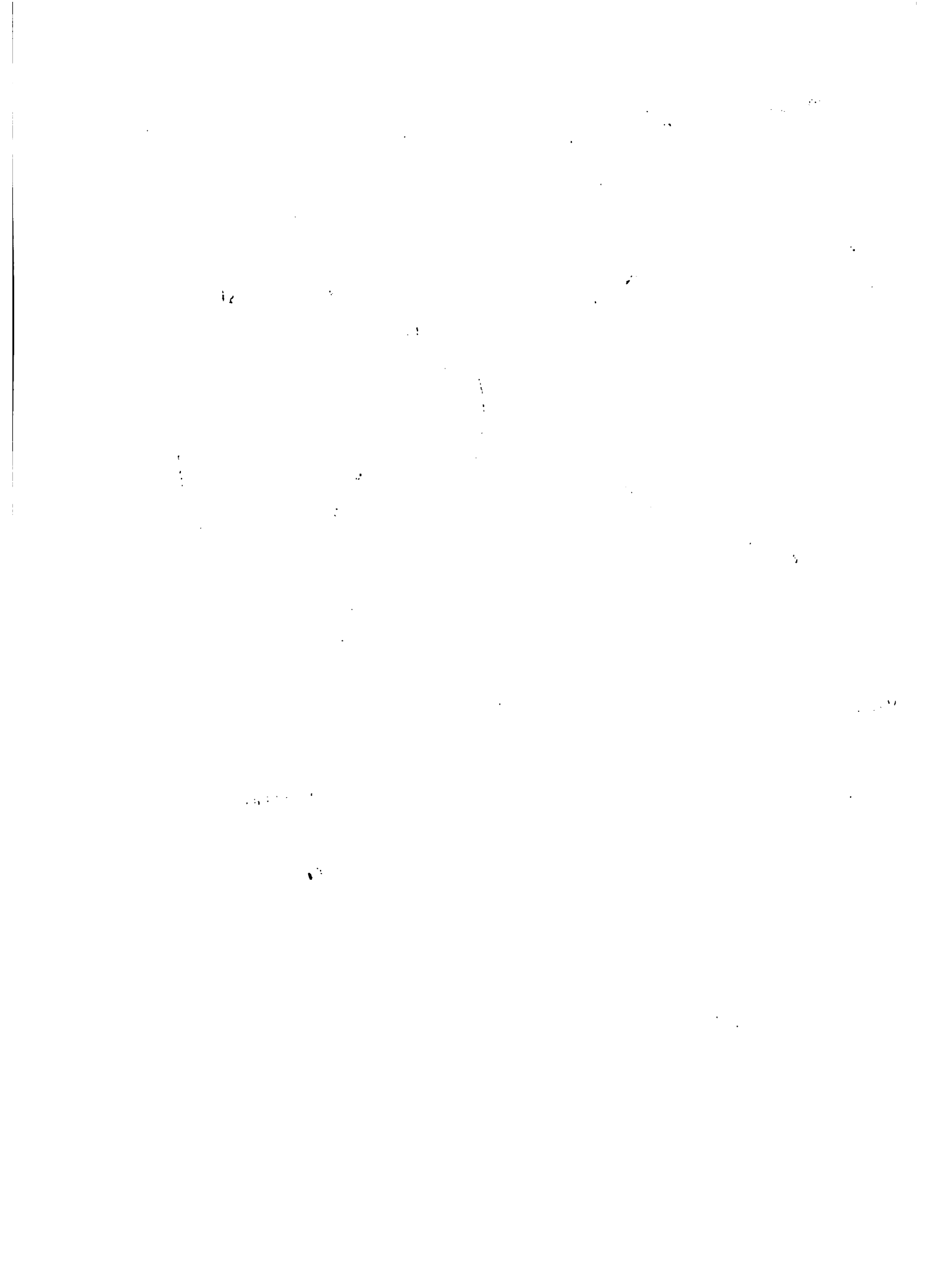
Fig. V. 64

Secteur sphérique.- La distance du centre de gravité du secteur sphérique au centre de la sphère est égale à :

$$Og = x = \frac{3}{4} \left( R - \frac{f}{2} \right) \quad (f = \text{flèche}), \text{ ou } x = \frac{3}{8} (2R - f),$$

$$Ag = \frac{1}{8} (2AO + 3AC)$$

$$= \frac{1}{8} (2R + 3f).$$





Le centre de gravité du secteur supplémentaire BED s'obtiendrait par la formule:

$$Og' = \frac{3}{8} AC = \frac{3}{8} f.$$

Segment ou calotte sphérique

$$Og = \frac{3}{4} \times \frac{(2R - h)^2}{2R - h}$$

$$AO = R$$

$$AC = h$$

Pyramide ou cône quelconque.- Le centre de gravité est situé sur la droite qui joint le centre de gravité de la base et le sommet, aux  $\frac{3}{4}$  de cette ligne à partir du sommet.

Tronc de pyramide ou de cône.- Le centre de gravité se trouve sur la droite qui joint les centres de gravité des deux bases, à des distances x de B et y de b, telles que l'on ait:

$$\frac{x}{y} = \frac{B + 3b + 2\sqrt{Bb}}{b + 3B + 2\sqrt{Bb}}$$

B = Grande base

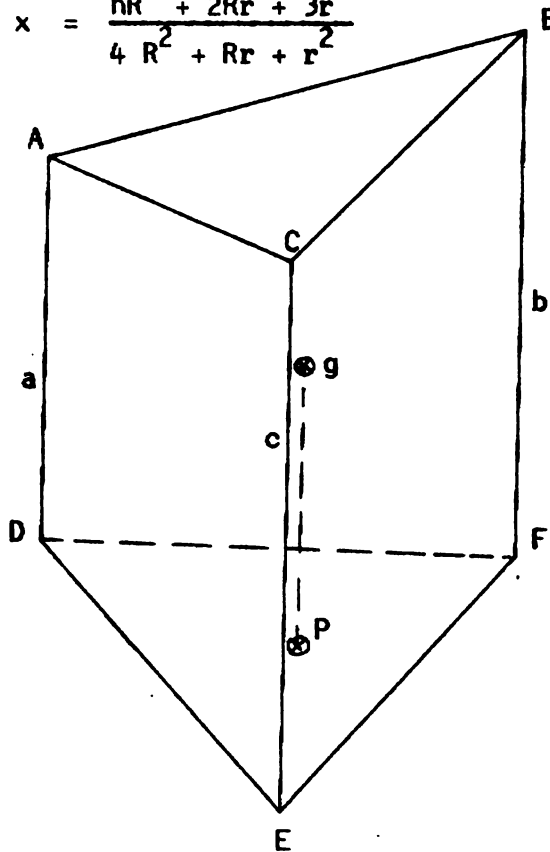
b = Petite base



Pour le tronc de cône à base circulaire. la formule ci-dessus devient:

$$x = \frac{hR^2 + 2Rr + 3r^2}{4R^2 + Rr + r^2}$$

Fig. V. 65

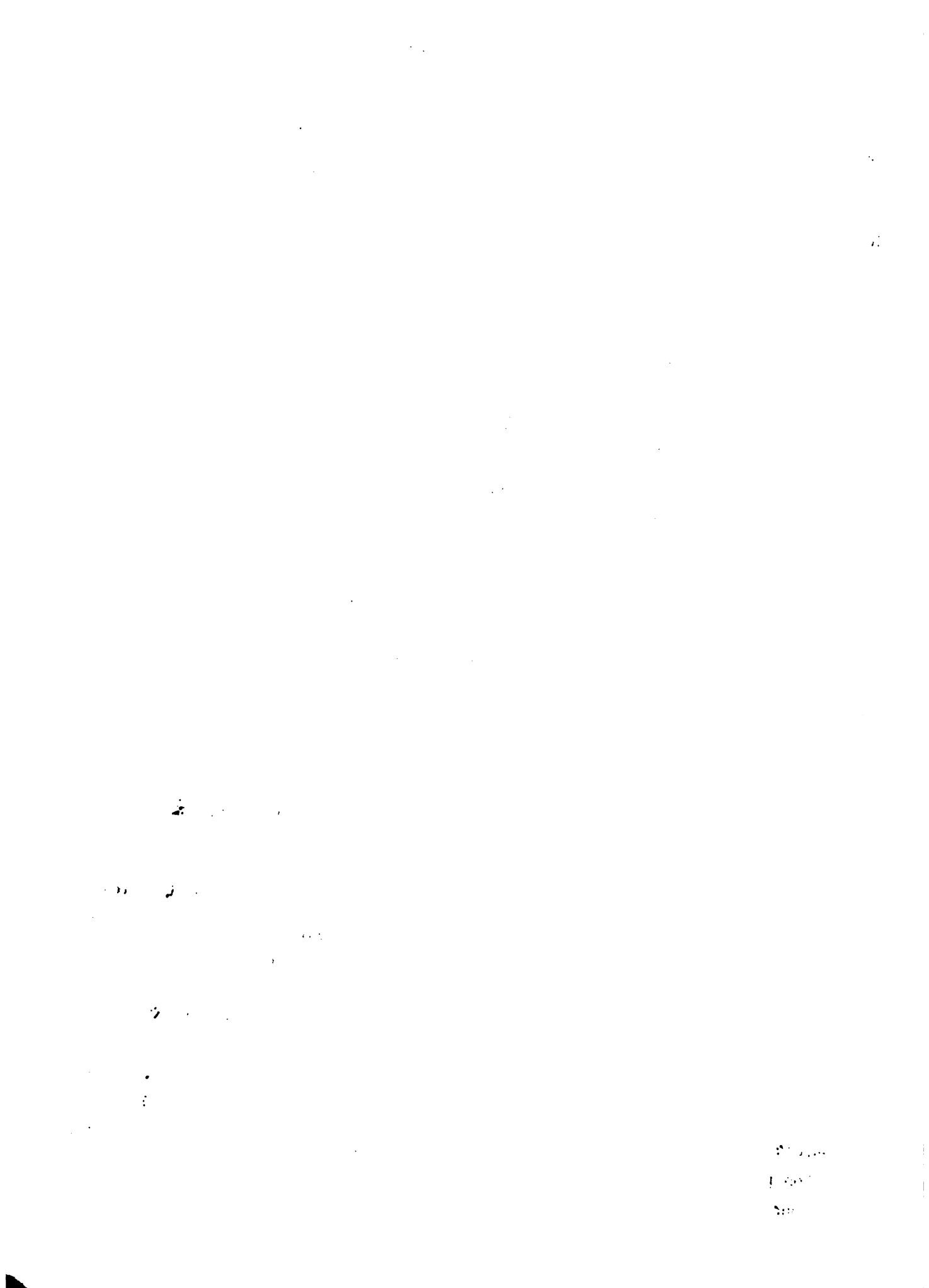


Tronc de prisme triangulaire. -  $P_g = \frac{1}{4} \frac{a^2 + b^2 + c^2 + ab + ac + bc}{a + b + c}$

Dans cette formule a, b, c, désignent les perpendiculaires abaissés des sommets de la base supérieure A B C sur la base inférieure D E F, soit dans le cas du tronc de prisme droit (les trois arêtes AD, BF, CE.)

Solide d'un corps de forme quelconque, mais terminé d'un côté par un plan.

On décompose ce solide en tranches par des sections parallèles entre elles et perpendiculaires au plan. On obtient ainsi des solides que l'on peut assimiler à des solides géométriques: prismes, troncs de prisme, troncs de cône, etc.



On détermine les centres de gravité de chacun des solides obtenus et on prend les moments de ces centres de gravité par rapport à trois plans rectangulaires (y compris le plan donné). Ces moments permettent de calculer les distances du centre de gravité du solide total à chacun des plans rectangulaires et la position du centre de gravité se trouve ainsi déterminée.

## 5.10 Formules trigonométriques

### Généralités

Les côtes qui figurent sur les croquis ne permettent pas toujours de procéder directement à la rédaction du métré; on est fréquemment conduit à calculer les dimensions complémentaires à l'aide desquelles on évalue ensuite facilement les dimensions, surfaces ou volumes.

Ces cotes se déterminent soit par le calcul ordinaire déduit de la géométrie élémentaire, soit par l'emploi des lignes trigonométriques.

Nous rappellerons donc les principales formules trigonométriques en nous bornant à celles qui permettent de calculer tous les éléments des triangles; l'emploi de ces formules est souvent plus simple que celui de la géométrie.

### Triangles Rectangles

Entre les côtés et les angles des triangles rectangles, il existe les relations suivantes:

$$c = a \sin C = a \cos B$$

$$c = b \operatorname{tg} C = b \operatorname{cotg} B.$$

1971

1972

1973

1974

1975

1976

1977

1978

1979

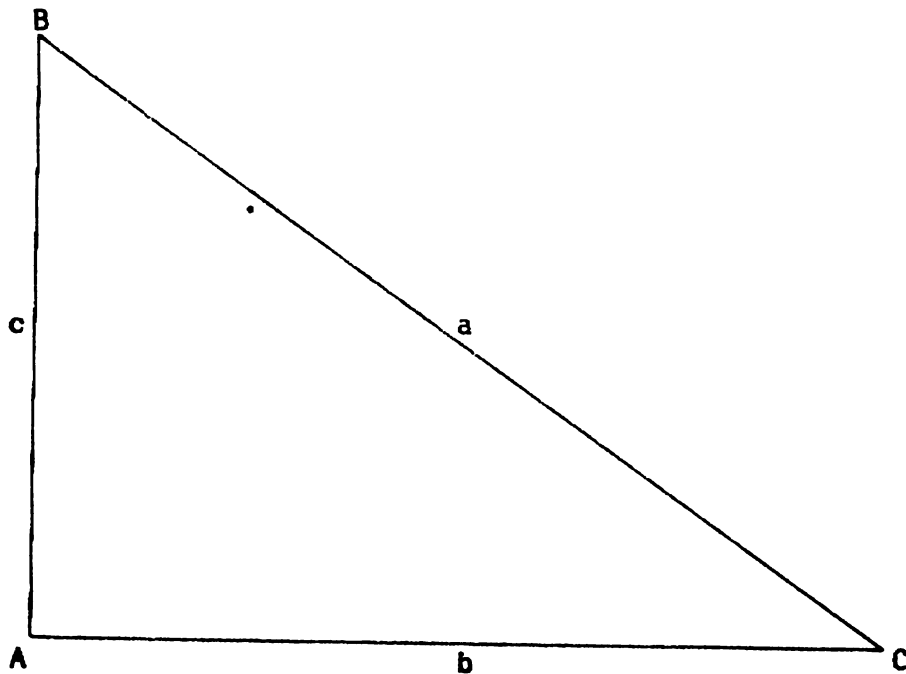


Fig. V. 66

Certains éléments étant connus, dont au moins un côté, il est facile, à l'aide de ces formules, de calculer tous les autres éléments.

Les formules à utiliser dans les principaux cas que l'on rencontre dans la pratique sont les suivantes:

1er cas.- Données :  $a, B$  (hypoténuse et angle aigu).

Formules à employer:

$$C = 90^\circ - B; \quad b = a \sin B;$$

$$c = a \cos B.$$

$$S = \frac{a^2}{4} \sin 2B = \frac{a^2}{2} \sin B \cos B.$$





2e cas.- Données :  $c, B$  (côté et angle aigu adjacent).

Formules à employer:

$$C = 90^{\circ} - B, \quad a = \frac{c}{\cos B}, \quad b = c \operatorname{tg} B.$$

$$S = \frac{c^2}{2} \operatorname{tg} B.$$

3e cas.- Données :  $b, B$  (côté et angle aigu opposé).

Formules à employer:

$$C = 90^{\circ} - B; \quad c = b \operatorname{cotg} B; \quad a = \frac{b}{\sin B}$$

$$S = \frac{b^2}{2} \operatorname{cotg} B.$$

4e cas.- Données :  $a, b$  (hypoténuse et côté).

Formules à employer:

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

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

$$S = \frac{b}{2} \sqrt{(a + b)(a - b)}$$



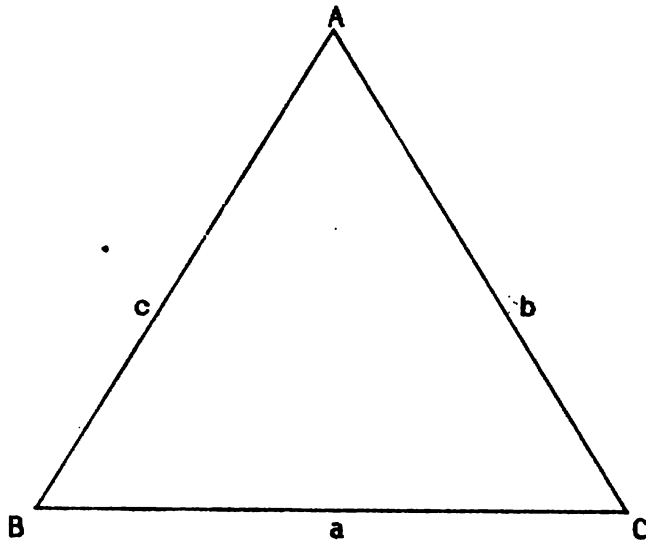


Fig. V, 67

5e cas.- Données :  $b, c$  (côtés de l'angle droit).

Formules à employer :

$$\operatorname{tg} B = \operatorname{cotg} C = \frac{b}{c} ; \quad a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

$$S = \frac{bc}{2}$$



### Triangles et quadrilatères quelconques

La résolution des triangles quelconques présente plus de difficultés. Les relations suivantes qui existent entre les côtés et les angles permettent de déterminer les éléments inconnus dans les différents cas :

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

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A,$$

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}, \text{ avec } p = \frac{a+b+c}{2} \text{ demi-périmètre}$$

$$S = \frac{bc \sin A}{2} = \frac{c^2 \sin A \sin B}{2 \sin C}$$

Les principaux cas de résolution de triangles quelconques que l'on rencontre sont les suivants :

1er cas.- Données : a, B et C.

Formules à employer :

$$A = 180^\circ - (B + C)$$

$$c = a \frac{\sin C}{\sin A}$$

$$b = a \frac{\sin B}{\sin A}$$

$$S = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin A}$$

10/11/11

10/11/11

10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11

10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11

10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11 10/11/11

10/11/11

2e cas.- Données : a, b et A.

Formules à employer:

$$\sin B = \frac{b \sin A}{a}$$

$$c = 180^\circ - (A + B)$$

$$c = \frac{a \sin C}{\sin A}$$

$$S = \frac{1}{2} bc \sin A.$$

3ème cas. Données : b, c et A

Formules à employer:

$$\frac{1}{2} (B + C) = 90^\circ - \frac{A}{2}$$

$$S = \frac{1}{2} bc \sin A;$$

$$\operatorname{tg} \frac{B - C}{2} = \frac{b - c}{b + c} \operatorname{cotg} \frac{A}{2}$$

$$a = \frac{(b - c) \sin A/2}{\cos \frac{B - C}{2}}$$

4e cas.- Données : a, b et c.

Formules à employer:

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{(p - b)(p - c)}{p(p - a)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{C}{2} = \sqrt{\frac{(p - a)(p - b)}{p(p - c)}}$$

$$\operatorname{tg} \frac{B}{2} = \sqrt{\frac{(p - a)(p - c)}{p(p - b)}}$$

$$S = \sqrt{p(p - a)(p - b)(p - c)}$$





Vérification:  $A + B + C = 180^\circ$

5e cas.-, Données : a, b, S.

Formules à employer:

$$\sin C = \frac{2 S}{a \times b} \qquad \operatorname{tg} \frac{A - B}{2} = \frac{(a - b) \operatorname{cotg} \frac{C}{2}}{a + b}$$

$$\frac{A + B}{2} = 90^\circ - \frac{C}{2} \qquad R = \frac{a}{2 \sin A}.$$

6e cas.- Données : B, C et R (rayon du cercle circonscrit).

Formules à employer:

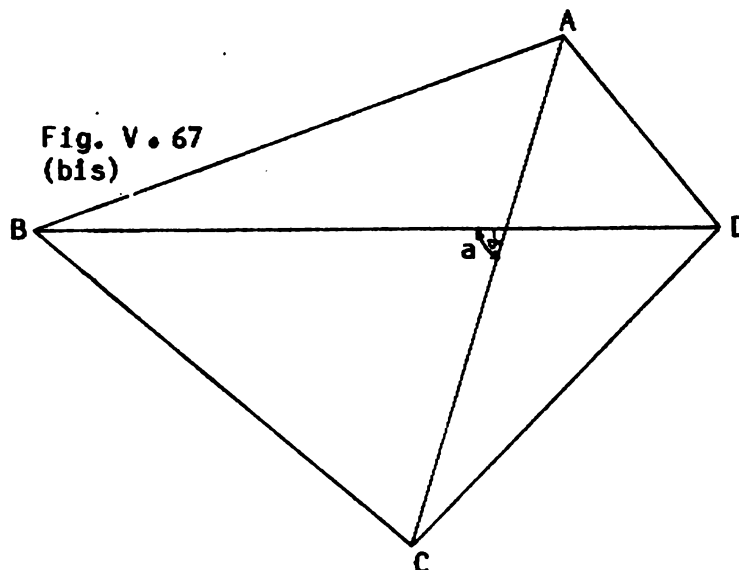
$$A = 180^\circ - (B + C).$$

$$a = 2 R \times \sin A$$

$$b = 2 R \times \sin B$$

$$c = 2 R \times \sin C.$$

$$S = \sqrt{p(p - a)(p - b)(p - c)}$$





Quadrilatère quelconque

$$S = \frac{BD \times AC}{2} \times \sin$$

### Emploi des logarithmes

L'utilisation des formules précédentes, et, en particulier, des formules trigonométriques est très facilitée par l'emploi des logarithmes. Il ne faut pas hésiter à les utiliser régulièrement, ce qui ne présente aucune difficulté avec un peu d'habitude.

Nous rappelons les formules principales, les seules utilisées pratiquement pour le métré:

$$\log ab = \log a + \log b;$$

$$\log abcd\dots = \log a + \log b + \log c + \log d\dots;$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b = \log a + \text{COLOG } B :$$

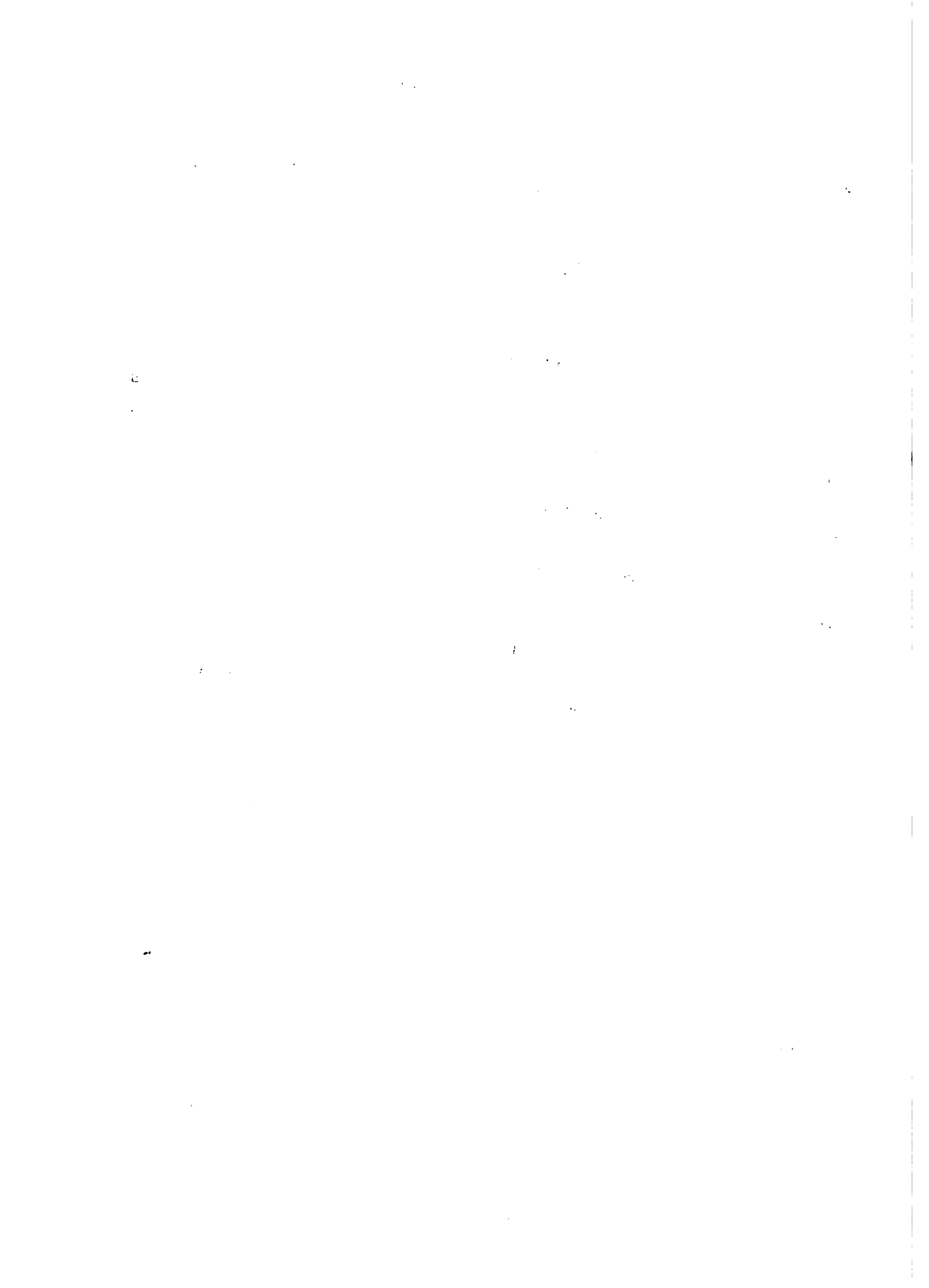
$$\log a^m = m \log a$$

$$\log_a^m = \frac{\log a}{m}$$

Exemples: Calcul de la surface d'un triangle connaissant les cotés a, b, c.

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

$$\log S = \frac{1}{2} \log p + \log (p-a) + \log (p-b) + \log (p-c).$$



2) Calcul de la surface d'un triangle connaissant un côté  $a$  et 2 angles  $C$  et  $B$

$$S = \frac{a^2 \sin B \sin C}{2 \sin (180^\circ - (B + C))}$$

$$\log S = 2 \log a + \log \sin B + \log \sin C - \log 2 - \log \sin (B + C)$$



## CHAPITRE VI

### ENGINS DU GENIE CIVIL

#### 6.1. Classification des engins du génie civil

##### A. Appareils de levage

Ce sont: treuil, monte-charge, moufle, congrue, grue pivotante, grue à cable blondin.

##### B. Appareils de transport

Ce sont les dispositifs de distribution, les grilles mobiles, les répartiteurs à cellules.

###### a) Transporteurs travaillant à base de la pesanteur:

- transporteurs à couloir
- échelle de descente

###### b) Transporteurs mécaniques à système continu de travail:

- bande à plateau
- bande en caoutchouc
- tapis roulant
- bande pliée
- élévateurs à godet
- vis sans fin
- bande à grattoirs

###### c) Transporteurs dynamiques:

- glissière à vibration

###### d) Transporteurs à fréquence

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...



e) Transporteurs mécaniques à système de travail intermittent:

- grattoirs manuels
- téléphériques
- wagons monorails

f) Transporteurs hydrauliques:

- transporteurs de matériaux dans un courant d'eau
- pompes à béton

g) Transporteurs pneumatiques:

- pompes à ciment
- couloir de transport pneumatique
- appareils à injecter le mortier
- transporteur à air comprimé
- caisse à pression

C. Malaxeurs

On distingue:

- les malaxeurs à chute libre
- les malaxeurs à course oblique
- les malaxeurs de transport ou camion-malaxeurs

D. Usines de mélange

On distingue:

- les dispositifs en pente
- les dispositifs à silots et tapis
- les dispositifs à étages en forme de tours
- les dispositifs en étoile.



**E. Dragues - Excavateurs - Bateau-draque**

- à godet
- à élévateurs de résidus
- à aspirations

**F. Compactage (Compacteurs)**

Ce sont:

- les compactages statiques (compacteurs à rouleaux en acier et compacteurs à rouleaux pneumatiques)
- les compactages dynamiques (vibro-compacteurs, secoueurs à plateaux, dammes)

**G. Appareils de forage**

- forage à sec
- forage à eau

**H. Usines d'enrobé ou de béton d'asphaltage**

**I. Machines servant à déplacer et à transporter la terre**

- chargeuses (Loader) payloader - backhoeloder
- niveleuses (Grader)
- bulldozers
- camions à benne basculante

**J. Appareils servant à la préparation du matériau**

Ce sont les concasseurs et les moulins:

- a) les concasseurs
  - concasseurs à système toupie, concasseur conique, concas-

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

teur à système marteau.

- b) les moulins :
- les moulins à système marteau
  - les moulins à système chocs
  - les moulins à système rouleau
  - les moulins à système grillage
  - les moulins à système tuyau.

## 6.2 Compactage

Pour tout compactage artificiel, on se sert en principe des charges à effet cyclique qui créent des situations de tension dans les matériaux à compacter. Selon la fréquence et la vitesse avec lesquelles ces variations de tension sont enregistrées, on parle de compactage statique ou de compactage dynamique.

### 6.2.1 Compactage Statique

Dans ce système, une pression est exercée à l'aide d'un rouleau déplaçable sur le matériau à compacter. Le premier rouleau remonte à la culture maya. Un gros rouleau en pierre permet de conclure qu'à cette époque, on utilisait des rouleaux pour la construction des routes. Plus près de nous, vers 1725, nous retrouvons des rouleaux tirés par des chevaux.

### 6.2.2 Compactage Dynamique

Le matériau à compacter est soumis à des vibrations par l'appareil utilisé. Pour cela, les particules du sol sont accélérées périodiquement de telle sorte qu'elles essayent de se séparer du grain assemblé et essayent de former le plus possible un ensemble unifié. Cette tendance à changer de place se trouve opposée à la cohésion, à la force d'inertie et au frottement intérieur du sol. Pour un sol dont les agrégats sont sans cohésion, le changement de place est plus facile que pour un sol lié. Le compactage avec vibration d'un sol sans cohésion donne par conséquent de meilleurs résultats. Il

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions.

2. It is essential to ensure that all entries are supported by appropriate documentation and receipts.

3. The second part of the document outlines the various methods used to collect and analyze data.

4. These methods include both qualitative and quantitative approaches, each with its own strengths and limitations.

5. The third part of the document provides a detailed overview of the statistical techniques employed.

6. These techniques are used to identify trends, patterns, and correlations within the data set.

7. The fourth part of the document discusses the challenges and limitations of the current research.

8. Finally, the document concludes with a summary of the findings and suggestions for future research.

n'existe à notre connaissance jusqu'à présent aucune représentation mathématique satisfaisante en ce qui concerne les phénomènes du sol, c'est à dire au sol compacte, la manière dont la chose se passe et leurs enchainements, car il est très difficile - en partie impossible - d'appréhender les coefficients propres du sol (leur valeur d'identification).

- profondeur maximale de compaction statique: 15 à 30 cm
- profondeur maximale de compaction dynamique: 15 à 150 cm

#### Références:

- Méthodes de proctor modifié
- Travaux de recherches du Professeur Wescher.
- Courbes de Fuller
- Etudes des matériaux de construction (Wescher)
- Etudes et travaux de recherches du Professeur Garbotz.
- Recherches scientifiques exactes sur les formes et la classification des engins du génie civil utilisés pour le compactage dynamique du sol (Garbotz).

#### 6.2.3 Rouleau déplaçable par ses propres moyens (autopropulsé)

Pour le rouleau tiré, la surface extérieure du cylindre crée dans le sens du déplacement, des forces horizontales dans le sol. Si la force horizontale dépasse la force de cisaillement du sol, il se produit alors en avant du rouleau une protubérance ou renflement qui entraîne le déplacement du sol. Pour le rouleau autopropulsé, les forces horizontales agissent dans le sens opposé au déplacement sur le sol. Ce dernier est par conséquent poussé à l'arrière quand sa résistance au cisaillement est dépassée.

---

**N.B.:** Les forces horizontales sont par conséquent d'une très grande importance pour les rouleaux. Dans les schémas (1) et (2):

100  
100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100  
100

100  
100

100  
100

100  
100



- $Z$  : force de traction  
 $Q$  : poids du rouleau  
 $W_g$  : résistance de goussinet  
 $W_r$  : résistance due au frottement  
 $e$  : bras de levier rouleau  
 $R_x/R_y$  : réactions

#### 6.2.4 Charges exercées pendant le processus de compactage

##### a) Rouleau lisse en acier

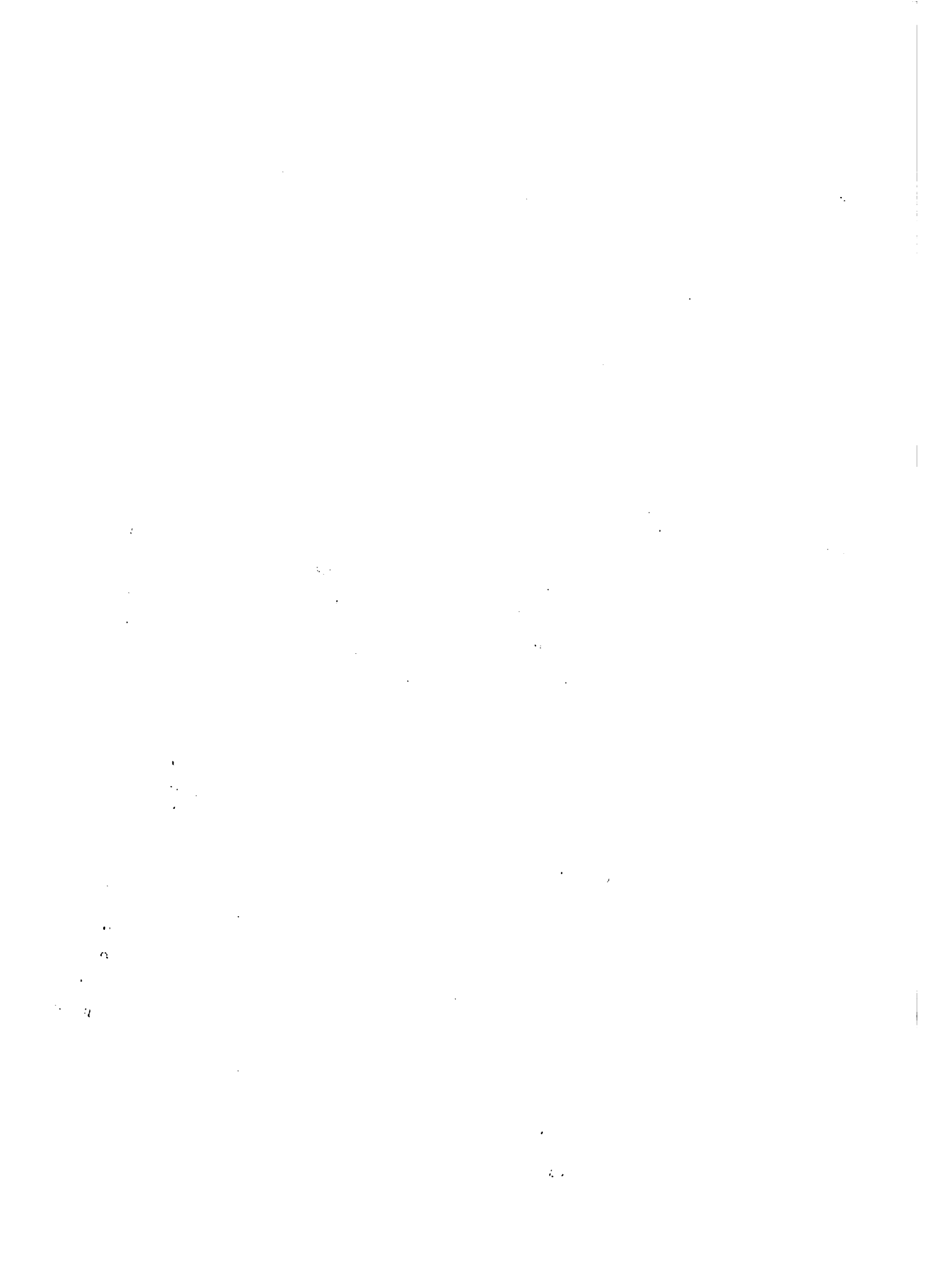
Pour la distribution ou répartition des charges dans le sol., la théorie de la charge d'une demi chambre isotrope est applicable. La pratique démontre que la pression du sol diminue très rapidement avec la profondeur, avec les engins statiques. La possibilité de compactage est alors réduit à une couche de faible épaisseur (15 à 30 cm environ).

##### b) Rouleau lisse en caoutchouc

La répartition des charges a lieu d'après la théorie des oignons compressés. L'épaisseur maximale est 70 cm.

##### c) Rouleau en pieds de biche

Les charges élevées sont dues aux petites surfaces des pieds. (Module de Westergard tient compte du nombre de véhicules à passer sur la chaussée). Ce module de Westergard est une fonction du nombre de répétitions par jour dans une seule direction, du nombre de répétition pour une durée de 30 ans et de l'accumulation des charges précédentes avec la charge considérée.



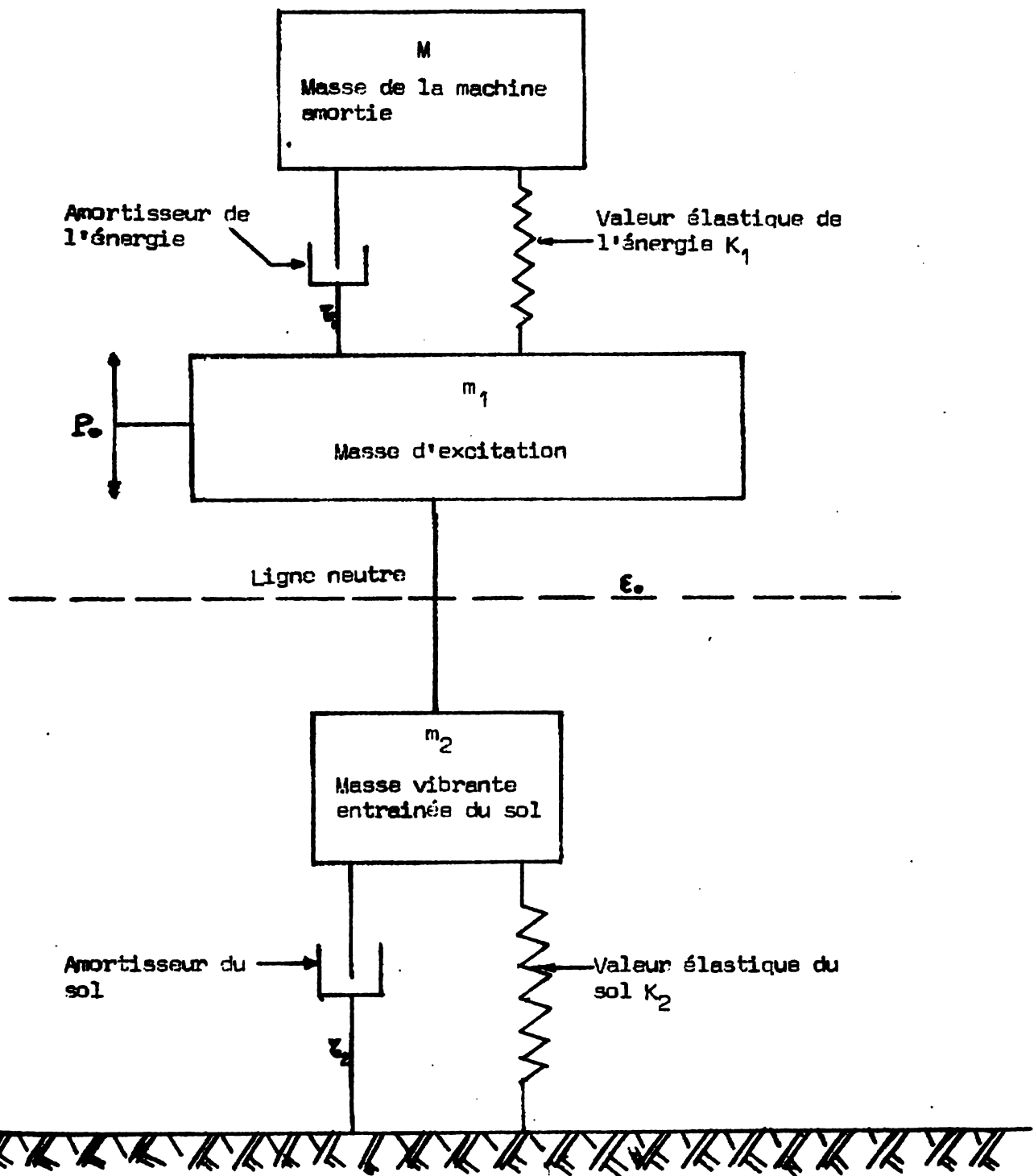
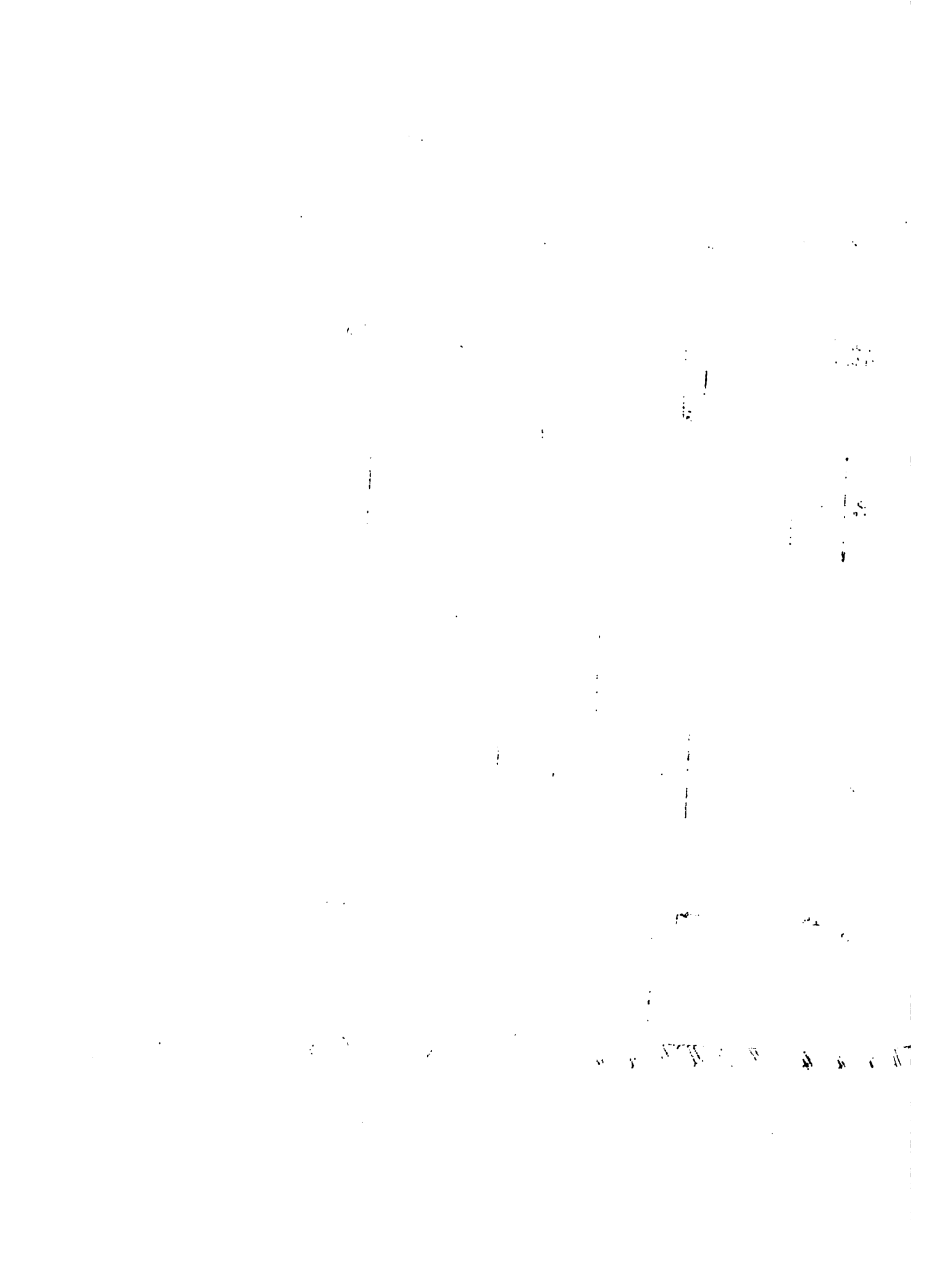


Fig. VI-1: SCHEMA DE PRINCIPE D'UN SYSTEME ROULEAU VIBRANT



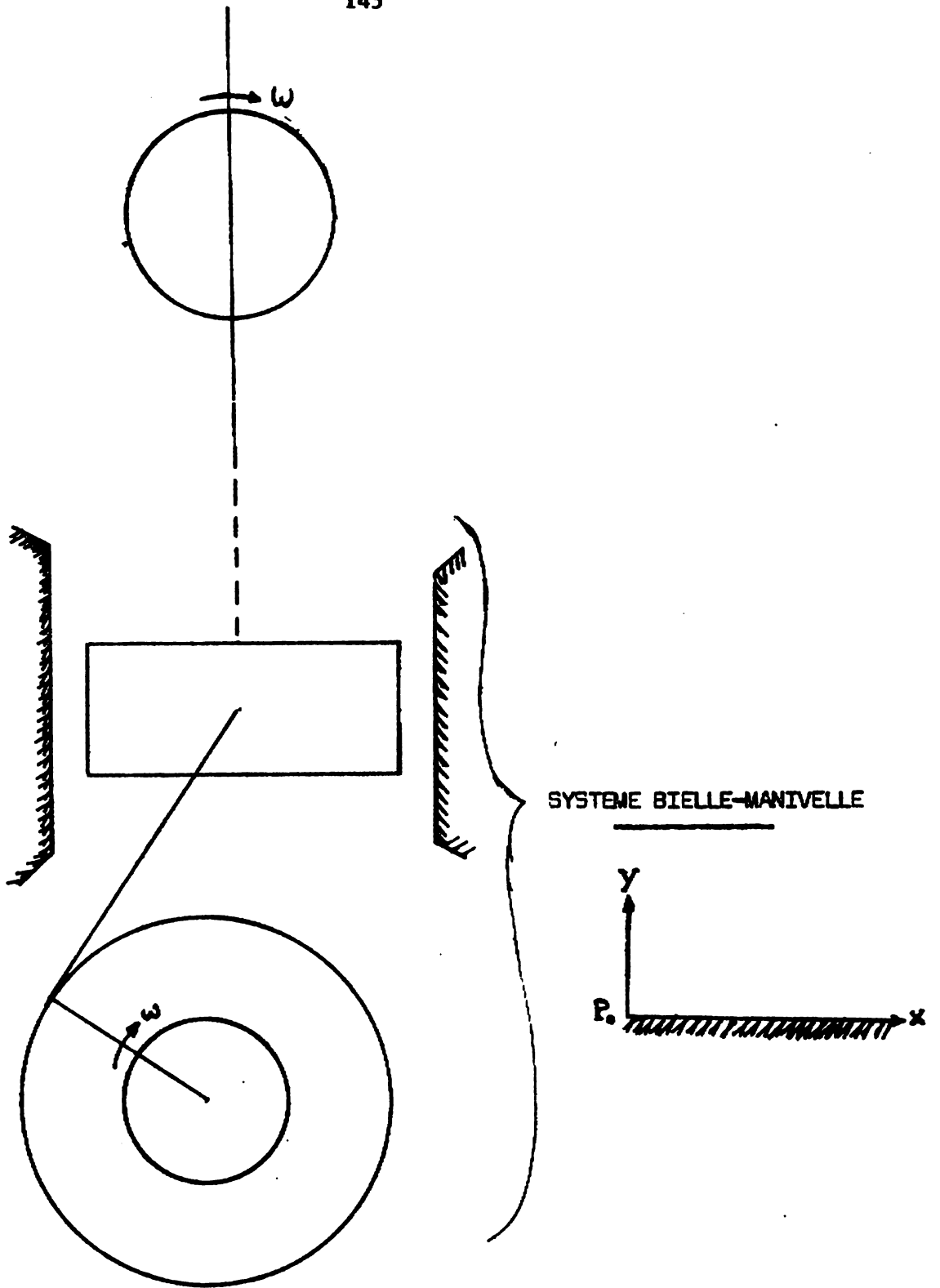


Fig. VI-2: PRINCIPE CINEMATIQUE D'UN SYSTEME ROULEAU VIBRANT :

11/22/2011 10:10:10 AM

### Rouleau Vibrant

Dans ce cas bien précis la vibration est créée par le système d'excitation, c'est-à-dire par l'équilibre de la masse déplacée (force. masse) identique à la force centrifuge.

### Vibration non dirigée

Pour les vibreurs circulaires, la force d'excitation peut être représentée par un vecteur rotatif tournant au régime d'excitation  $w$  de valeur constante, et qui caractérise l'oscillation non dirigée.

### Vibration dirigée avec masse vacillante

Avec un mécanisme bielle-manivelle, une force est ainsi créée dont la grandeur et le signe changent périodiquement. Pour les excenters rotatifs, la force d'excitation est:

$$P = mrw^2$$

$m$  : masse de l'excenter

$r$  : distance centre de gravité à axe de rotation (cm)

$w$  : vitesse angulaire ( $S^{-1}$ )       $w = \pi n/30$

$n$  : régime en tour/min.

Pour une considération momentanée, cette force centrifuge se décompose tout naturellement en une composante verticale et une composante horizontale.

$$P_h = P_o \sin wt$$

$$P_v = P_o \cos wt$$

### 5. Puissance de Compactage ou Rendement au Compactage

La puissance de compactage permet de déterminer le volume compac-





té de matériau uniformément réparti par unité de temps. Si  $V$  est le volume compacté,  $v$  la vitesse de travail de l'engin (m/min),  $b$  la largeur du rouleau ou de plateau (m),  $h$  l'épaisseur de remblai à compacter (m),  $z$  la quantité de passage et  $f$  un facteur de réduction de puissance qui varie entre 0.5 et 0.8 (0.5 pour 10 t.; 0.8 pour 15 t. ou plus, valeurs expérimentales).

$$V = f \cdot \frac{v \cdot b \cdot h \cdot x \cdot 60}{z} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

### Exemple 1 :

Un rouleau tandem de 12 tonnes doit compacter à 2 km/h, 25 cm d'un remblai (tout venant de rivière). La largeur des rouleaux est de 2 m. Après cinq passages, on demande la superficie qui peut être préparée.

#### Solution

$$f = 0,6 \quad \text{pour 12 t.}$$

$$A = 0,6 \times \frac{2 \text{ km}}{h} \times 2 \text{ m} \times \frac{1.000 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{1}{5} = 480 \text{ m}^2/\text{h}$$

### 6.2.6 Compléments des différents types de rouleaux

#### a) Rouleau tandem

Les deux rouleaux ont le même diamètre et sont des rouleaux lisses.

#### b) Rouleau trois roues

Une grosse roue à l'avant et deux roues plus étroites à l'arrière. Leur poids varie entre 6 et 14 tonnes à vide. On peut les charger avec de l'eau et on obtient une variation entre 9 et 17 tonnes. Vitesse entre 1 et 6 km/h, et puissance moyenne entre 30 et 45 chevaux.

#### c) Pieds de biche

D'ordinaire 12 à 18 par m<sup>2</sup>.

De...

1891  
11 53

20000

11

100

11

100

11

100

11

100

11

100

11

100

11

#### d) Rouleau pneumatique

L'observation des traces de pneus des camions (sillons) est à l'origine de ces rouleaux. On distingue:

- les rouleaux légers: 15 t. avec 9 roues
- les rouleaux moyens: 22t. avec 11 roues.
- les rouleaux lourds: 35t. avec 7 roues.

Suspension indépendante pour chaque roue et reliée par un cylindre hydraulique; ce qui permet d'exercer la même pression au sol.

La charge par pneu en Kg varie entre :

- 1000 à 1600 pour les rouleaux légers.
- 2000 à 2800 pour les rouleaux moyens
- 5000 pour les rouleaux lourds.

Comme balastre on utilise l'eau, des cubes de béton, du gravier ou du fer.

#### Damme mécanique

L'énergie cinétique retombant sur le sol est utilisée pour le compactage; en changeant le poids, la hauteur de chute et celle de la surface travaillée, on peut agencer l'action de dammer selon le type du matériau à compacter.

### 6.3. Dépréciation d'un engin du Génie Civil

La dépréciation totale d'un engin est une fonction de son degré d'utilisation  $\eta_B$  en pourcentage, de sa durée d'utilisation  $n$  et de la dépréciation linéaire.

olive

olive

olive

olive

olive

Tableau VI-1 : Valeurs Expérimentales de  $\eta_p$  (Degré d'utilisation)

(Pour certaines machines de génie civil en %)

Bulldozer, Loader, Traxcavateur .....	75 %
Pelle mécanique .....	75 %
Malaxeur .....	68 %
Grue de construction.....	51 %
Pompe à béton .....	55 %
Tapis roulant .....	58 %
Compresseur à air pour marteau piqueur .....	67 %
Camion à benne basculante .....	91 %
Niveleuse ou Grader .....	75 %
Pompe et tuyau .....	37 %
Rail .....	30 %
Tuyau de coffrage .....	67 %
Grue pivotante .....	80 %
Coffrage en acier .....	67 %

En ce qui concerne la durée d'utilisation, elle varie selon le genre de machines.

Tableau VI-2 Durée d'utilisation en heures pour certains types de machines

(Valeurs expérimentales)

Tapis roulant .....	4.500
Bulldozer, loader, scraper, grader, pompe .....	5.760
Compresseur, moteur diesel, moteur stationnaire, grille .....	7.200
Pompe à béton, malaxeur, compresseur, génératrice, bande transporteuse .....	11.200
Concasseuse, poulie, boulet, rouleau .....	14.400
Grue .....	17.280
Drague, ponton, bateau-grue .....	24.000

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions.

2. It is essential to ensure that all entries are supported by appropriate documentation and receipts.

3. Regular audits should be conducted to verify the accuracy of the records and to identify any discrepancies.

4. The second part of the document outlines the procedures for handling disputes and resolving conflicts.

5. It is important to establish clear communication channels and to resolve issues promptly and fairly.

6. The third part of the document provides information on the various services and products offered by the organization.

7. These services are designed to meet the needs of our customers and to provide them with the highest quality of service.

8. We are committed to continuous improvement and to providing our customers with the best possible experience.

9. The fourth part of the document contains information on the contact details of our various departments.

10. We are available to assist you at any time and to provide you with the information you need.

11. We look forward to serving you and to building a long and successful relationship with you.

12. Thank you for your interest in our organization and for your continued support.

13. We are confident that you will find our services and products to be of high quality and value.

14. We are committed to your satisfaction and to providing you with the best possible service.

15. We are grateful for your business and for the opportunity to serve you.

La durée d'utilisation est différente de la durée de vie. Celle-ci est supérieure de 25 à 30 %. Pour arriver à la dépréciation mensuelle et à la dépréciation horaire, il faut tenir compte de la dépréciation linéaire c'est-à-dire une répartition égale de la diminution de la valeur pendant le temps d'utilisation. De même, le degré d'utilisation possible de la machine pendant un an.

$$q = 1 + p \quad p \text{ est le taux d'intérêt en pourcentage.}$$

Le nombre d'années d'utilisation  $n$  sera : 200 h/mois = 2.400 h/an

$$n = \frac{L_h}{2400 \eta_B} \quad L_h \text{ est la durée d'utilisation en heures.}$$

La dépréciation mensuelle sera :

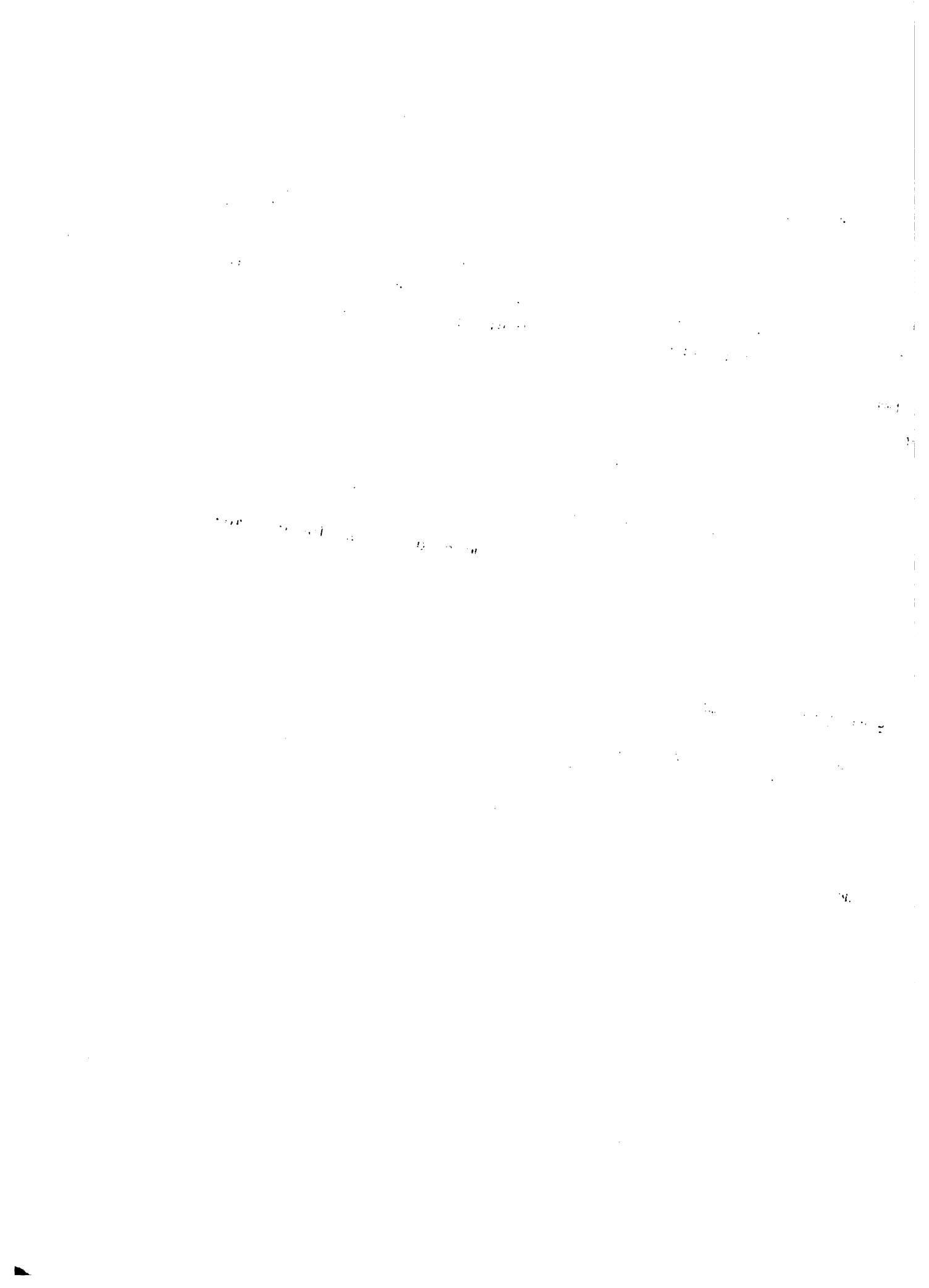
$$K_M = \frac{W \cdot q^n \cdot (q - 1)}{12 \eta_B (q^n - 1)} \quad (\$/\text{mois})$$

La dépréciation horaire sera :

$$K_H = \frac{W \cdot q^n (q - 1)}{2400 \eta_B (q^n - 1)} \quad (\$/\text{heure})$$

$W$  est la nouvelle valeur de l'engin

$$K_H = \frac{W \cdot q^n (q - 1)}{2400 \eta_B (q^n - 1)}$$





**Exemple: 2**

Un compresseur à air fonctionne 200 heures par mois et à coûté \$20.000.00 à l'achat. quelle est sa dépréciation horaire et mensuelle au taux actuel d'intérêt bancaire qui est de 18%?

**Solution:**

Calculons le nombre d'années d'utilisation

$$n = \frac{L_h}{2400 \eta_{18}} = \frac{7200}{2400 \times 0.67} = 4.47$$

Nous prendrons comme valeur  $n = 4.5$  années

**Dépréciation linéaire:**

$$q = 1 + p = 1 + 18 \% = 1.18$$

**Dépréciation mensuelle:**

$$K_M = \frac{Wq^n \cdot (q - 1)}{12 \eta_{18} (q^n - 1)} = \frac{20000 \times (1.18)^{4.5} \times 0.18}{12 \times 0.67 \times (1.18)^{4.5} - 1}$$

$$K_M = 852.60 \text{ \$/mois}$$

$$K_H = 4.2 \text{ \$/heure}$$

**6.4. Calcul de la force de poussée disponible**

(Engins servant à déplacer la terre)

La formule générale tient compte naturellement de la puissance  $N$  de l'engin (en chevaux ) et de sa vitesse de déplacement  $V$  (en Km/h)

$$F = \frac{N \cdot 270}{V} \eta$$



$\eta$  : Rendement de l'engin

N : en cheval vapeur

$\eta$  : 85 % pour les engins servant à déplacer la terre.

N.B: La force de poussée dépend aussi de la nature du sol; d'où un coefficient de frottement  $\mu$

$\mu$  : 0.7 terrain sec

$\mu$  : 0.3 gravier

### 6.5. Perte de puissance

Dans les conditions normales de température et de pression, la puissance de la machine reste inchangée jusqu'à une altitude de 300 m au dessus du niveau de la mer. Pour chaque 100 m. d'altitude supplémentaire, il existe une perte de puissance de 1.2 % vérifiée en Haïti. Ceci vaut pour les moteurs diesel sans turbo chargeur; pour les moteurs avec turbo chargeur, la hauteur admissible est de 1000m et à partir de là, la perte de puissance est de 1% pour chaque 100 m d'altitude supplémentaire.

#### Exemple:

Une niveleuse a coûté \$65000. Le taux d'intérêt bancaire étant de 18%, on demande de calculer sa dépréciation horaire et mensuelle si son rythme de travail est normal.

### 6.6. Calcul des coûts des machines en chantier

A partir du moment où la puissance nominale est connue, on peut calculer sa consommation horaire théorique à cette puissance nominale. Dans le système C.G.S. la quantité  $H_{\mu}$  est la valeur calorifique normale du carburant exprimée en Kcal/Kg,  $\gamma$  poids spécifique du carburant et le rendement moyen variant entre 30 et 40 %. Ces valeurs sont introduites dans l'équation du travail utilisable; chaleur, énergie et travail sont identiques. On a donc:



$$\begin{aligned}
 1 \text{ Cv.h} &= 75 \times 3600 \text{ Kgm} \\
 &= 270000 \text{ Kgm} = \frac{270000 \text{ Kgm}}{427 \text{ Kgm}} \text{ Kcal} \\
 &= 632.6 \text{ Kcal.}
 \end{aligned}$$

L'équation de la consommation en fonction de la valeur calorifique  $H_u$  s'exprime:

$$\begin{aligned}
 b_e \cdot H_u &= \frac{632.6}{\eta} \text{ Kcal.} \quad (b_e : \text{consommation}) \\
 & \qquad \qquad \qquad 30 < \eta < 40 \\
 b_e &= \frac{632.6}{H_u \cdot \eta} = 0.1721 \frac{\text{Kg}}{\text{Cv.h}} \quad \eta = 50 \% \text{ engin} \\
 & \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \text{neuf}
 \end{aligned}$$

Pour le gasoil, la valeur calorifique minimale est:

$$H_u = 10500 \text{ Kcal/Kg}; \text{ le poids spécifique du gasoil est:}$$

$$\gamma = 0.85 \text{ Kg/litre}; \text{ la puissance horaire peut alors}$$

s'exprimer:

$$1 \text{ Cv.h} = \frac{632.6}{H_u \cdot \eta \cdot \gamma}$$

On trouve alors:

$$1 \text{ Cv.h} = \frac{632.6}{10500 \times 0.35 \times 0.85}$$

$$1 \text{ Cv. h} = 0.2025 \text{ l/h}$$

$1 \text{ CV} = 0,14 \text{ l/h} ; \quad \eta = 0,5$
--



### 6.6.1 Calcul des coûts des machines en chantier

Pour ce genre de calculs et pour fixer la durée d'utilisation d'une machine, on se base d'une part sur l'expérience des constructeurs et d'autre part sur le tableau des durées. En moyenne les engins servant à déplacer la terre ont une durée d'utilisation de quatre années ce qui correspond à 200 h/mois ou 8 heures/jours. En Haïti, certains engins ne dépassent pas 100 heures/mois comme moyenne. En ce qui concerne le degré d'utilisation, on ne dépasse pas 60% en moyenne soit environ 8 mois.

#### 1. Amortisation annuelle

Le calcul de l'amortisation annuelle peut se faire en tenant compte du capital investi, du nombre d'années pour payer et du taux d'intérêt annuel. La formule générale bancaire est:

$$J = \frac{K}{n} + \frac{K \cdot P}{200} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

K : Capital investi ou le prix d'achat de la machine

n : Nombre d'années pour payer

P : Taux d'intérêt annuel

J : Amortissement annuel incluant l'intérêt moyen

#### 2 Réparation et pièces de rechange

En général et selon le type de machine les réparations et les pièces de rechange représentent, en pourcentage de la durée d'utilisation, ce qui suit:

Bulldozer .....	66%
Chargeur à chenille (Traxcavateur).....	70%





Niveleuse (Grader) .....	55%
Chargeur pneumatique (Loader) .....	50%
Rouleau .....	30%
Camion à benne basculante .....	38%

Ces pourcentages sont calculés sur le prix neuf des machines.

### 3. Filtre et lubrifiants

Pour les filtres et les lubrifiants on calcule leur coût sur la base de 25% ce qui veut dire 25% du coût du carburant est utilisé comme base.

### 4. Pneumatiques

Pour les chargeurs pneumatiques, les camions à benne basculante et les niveleuses, un calcul extra est nécessaire. Le prix varie selon l'augmentation du prix du carburant dans la pratique.

### Exemple: 3

bulldozer : 340000 Gdes.

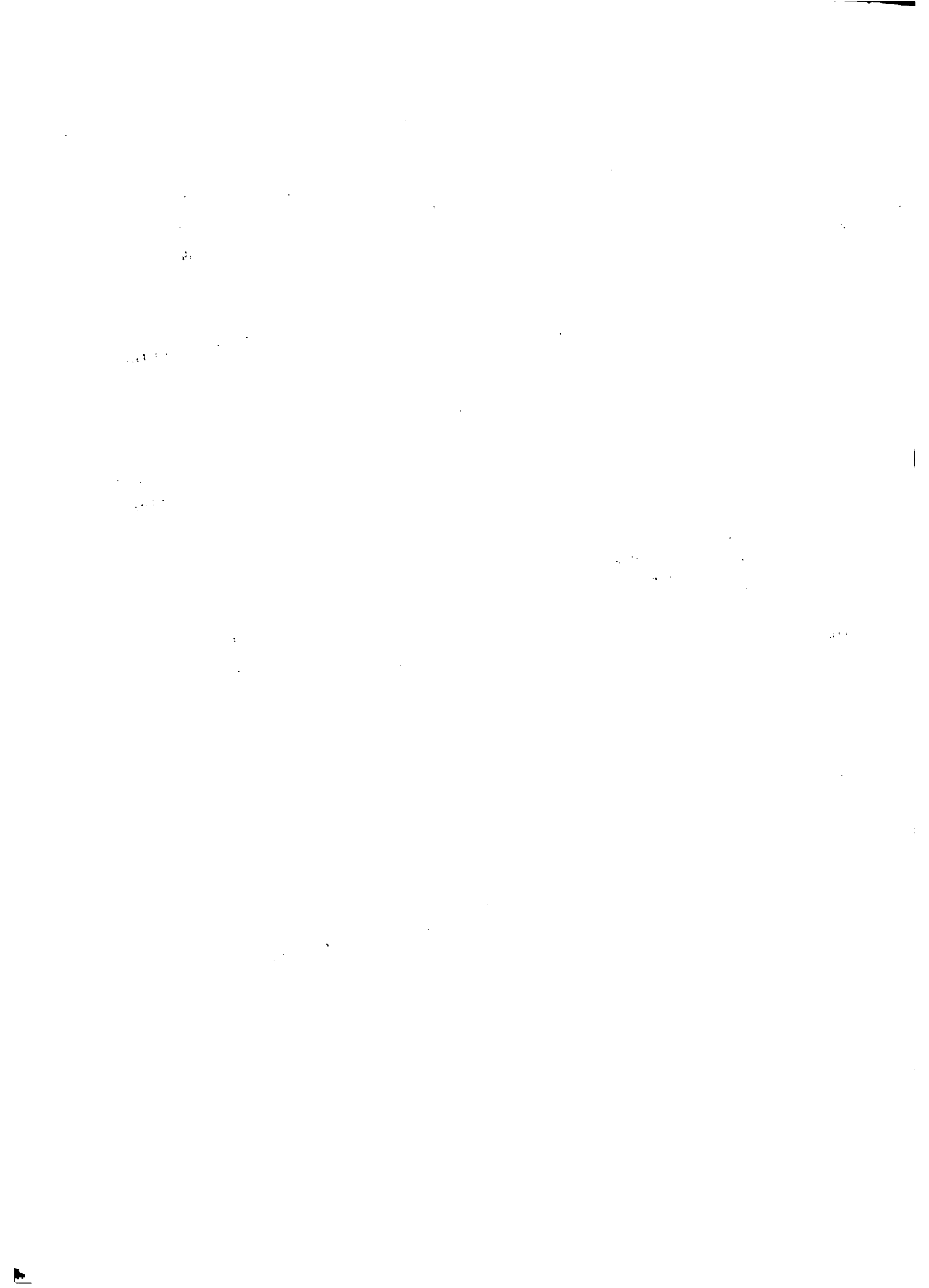
Intérêt annuel : 8%

#### 1. Amortissement

$$J = \frac{340000}{4} + \frac{340000 \times 8}{200} \left(1 + \frac{1}{4}\right) = 102000 \text{ Gdes.}$$

#### 2. Degré d'utilisation

$$102000 : 8 : 200 = 63.75 \text{ Gdes/heure}$$



## 3. Consommation de carburant

$$10 \text{ gallons/heure} = 37.5 \text{ litre /heure}$$

prix gallon gasoil : 7.5 gourdes (75 Gourdes pour 10 gallons).

## 4. Filtres et lubrifiants

$$25\% \times 75 \text{ Gdes} = 18.75 \text{ Gdes/heure}$$

## 5. Réparations et pièces de rechange

$$66\% \times 340000 = 224000 \text{ Gdes/4 ans}$$

$$8 \text{ mois} \times 200 \text{ hres/mois} = 1600 \text{ heures}$$

$$\frac{224000}{4 \times 1600} = 35 \text{ Gdes/heure}$$

## 6. Salaire horaire de l'opérateur

soit 10 Gdes/heure

Coût horaire du bulldozer:

$$(2) + (3) + (4) + (5) + (6)$$

$$63.75 + 75 + 18.75 + 35 + 10 = 202.5 \text{ Gdes}$$

Coût de location de la machine

Ce coût de location par heure est le coût horaire de l'engin additionné à la dépréciation horaire multipliés par un facteur de bénéfice.

$$C_L = (C_h + K_h) \times 1,2$$

Le bénéfice n'est pas supérieur à 20%; d'où = 1.2

$$\text{bulldozer} \quad n = \frac{5760}{2400 \times 0.75} = 3.2$$

$$O_h = K_H$$

11/11/11

11/11/11

11/11/11

11/11/11

Calculons la dépréciation horaire  $K_h$

$$K_h = \frac{W \times q^n \times (q - 1)}{2400 \times \eta \times (q^n - 1)}$$

$$q = 1 + p = 1 + 0.08 = 1.08$$

$$K_h = \frac{340.000 \times 1.08^{3.2} \times (1.08 - 1)}{2400 \times 0.66 \times (1.08^{3.2} - 1)}$$

$$K_h = 78.66 \text{ gourdes/heures.}$$

Le coût de location du bull dozer est :

$$C_L = (C_h + K_h) \times 1.20$$

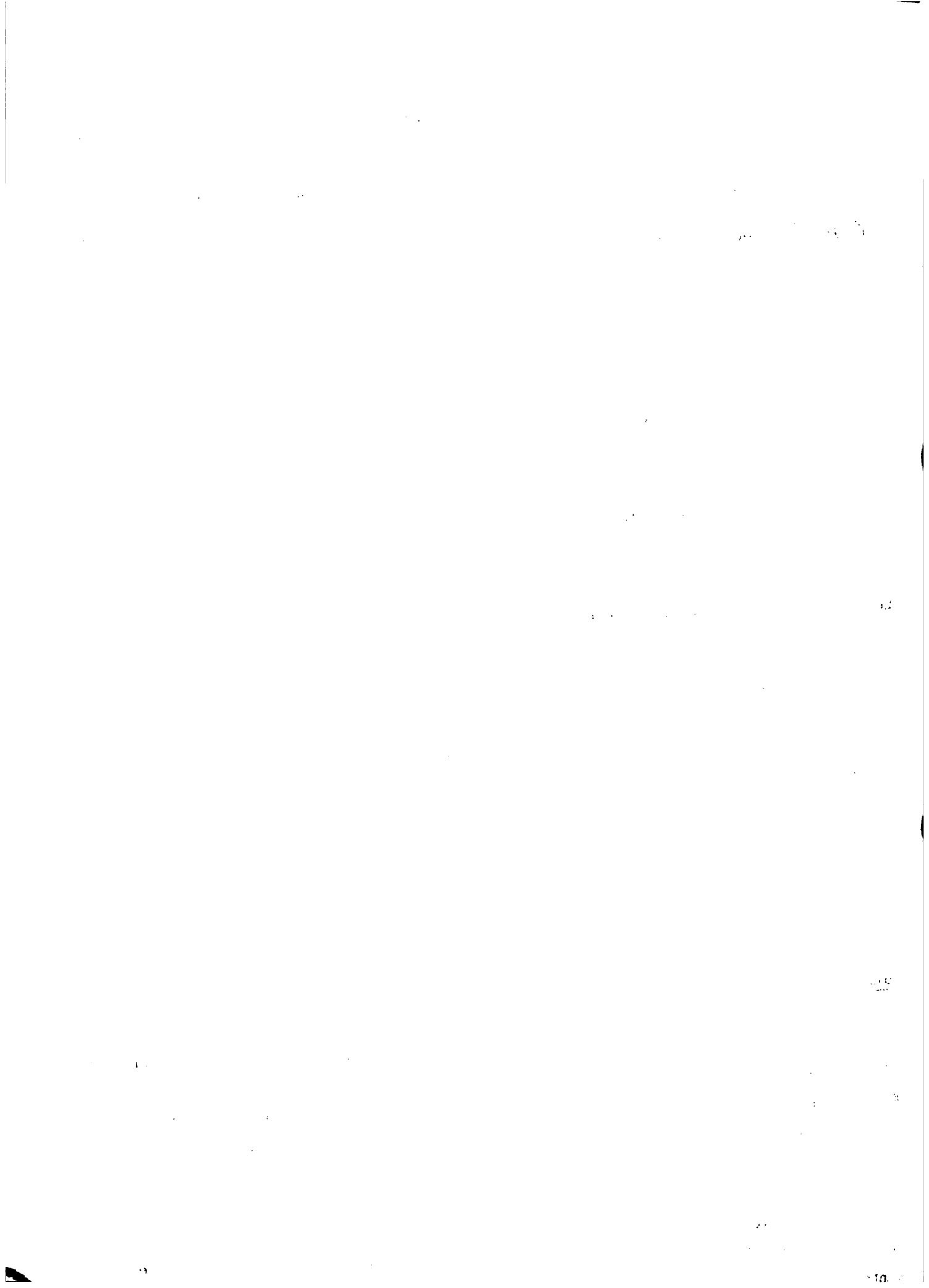
$$C_L = (202.50 + 78.66) \times 1.20$$

$$C_L = 281.16 \times 1.20$$

$$C_L = 337.40 \text{ Gourdes/Heure}$$

Remarque :

Pour établir les coûts de fonctionnement d'un engin de génie civil servant à déplacer la terre et fixer la durée d'utilisation, on se base en général sur quatre ans ou 10.000 heures de fonctionnement. Ceci signifie 200 heures par mois ou 8 heures par jour, puisqu'une machine de ce genre travaille très rarement une année entière, jour après jour; on doit en tenir compte pour le calcul de la période de réparation et du temps d'arrêt. On parle dans ce cas du degré d'utilisation qui, dans une très bonne compagnie, est aux environs de 60 %, ce qui correspond à 8 mois de travail, base qui peut être adoptée.



Exemple 4

On demande de calculer le coût de location horaire d'un bulldozer de 100 c.v. Son prix d'achat est de \$60.000.00. Le taux d'intérêt en cours est de 18%. Le délai accordé pour payer ce bulldozer est de 4 années. Le salaire horaire d'un opérateur est de \$ 2 heure.

Solution

L'amortissement annuel moyen est de:

$$J = \frac{60.000}{4} + \frac{60.000 \times 18}{200} (1 + 1/4) = \$21,750.00$$

L'amortissement horaire est de:

$$j = \frac{J}{n \text{ (heure)}} = \frac{21,750}{1,600} = \$13,59$$

Le coût de la consommation en carburant est de:

$$\frac{0.2025 \text{ (1/h)} \times 100 \text{ (c.v.)}}{3,78} \times 1.5 \text{ (gal)} = \$8.036$$

La dépréciation horaire est de:

$$\frac{W \times q^n (q - 1)}{1600 \times n \times (q^n - 1)} = \frac{60.000 \times 1.18^4 \times 0.18}{1600 \times 0.75 \times (1.18^4 - 1)} = \$18.59$$

Les coûts de réparation et pièces de rechange = \$6.18

Le salaire horaire de l'opérateur = \$2.00





Sous total		= 50.396
Bénéfice	20% x 50.396	= <u>10.079</u>
Le coût de location est:		\$60.475/heure.



### 6.7. Formule de base du transport de matériaux en génie civil

Soit I la contenance de l'engin de génie civil ( en m<sup>3</sup>), H le temps horaire de travail (en secondes), L , le facteur de chargement dépendant du poids spécifique du matériau et c, la durée d'un jeu (en seconde), le volume de matériaux transportés V est donné par la formule:

$$V = \frac{IH}{c} \cdot L \quad (\text{m}^3/\text{heure})$$

#### 6.7.1 Volume horaire de travail d'un bulldozer

Dans la pratique, on nécessite 20 secondes avec un bulldozer pour le rassemblement du matériau, le changement de vitesse, l'accélération, l'arrêt, le changement de direction et la répétition du même cycle de travail. Aussi, on parle dans la pratique de temps fixe; le volume horaire est donc:

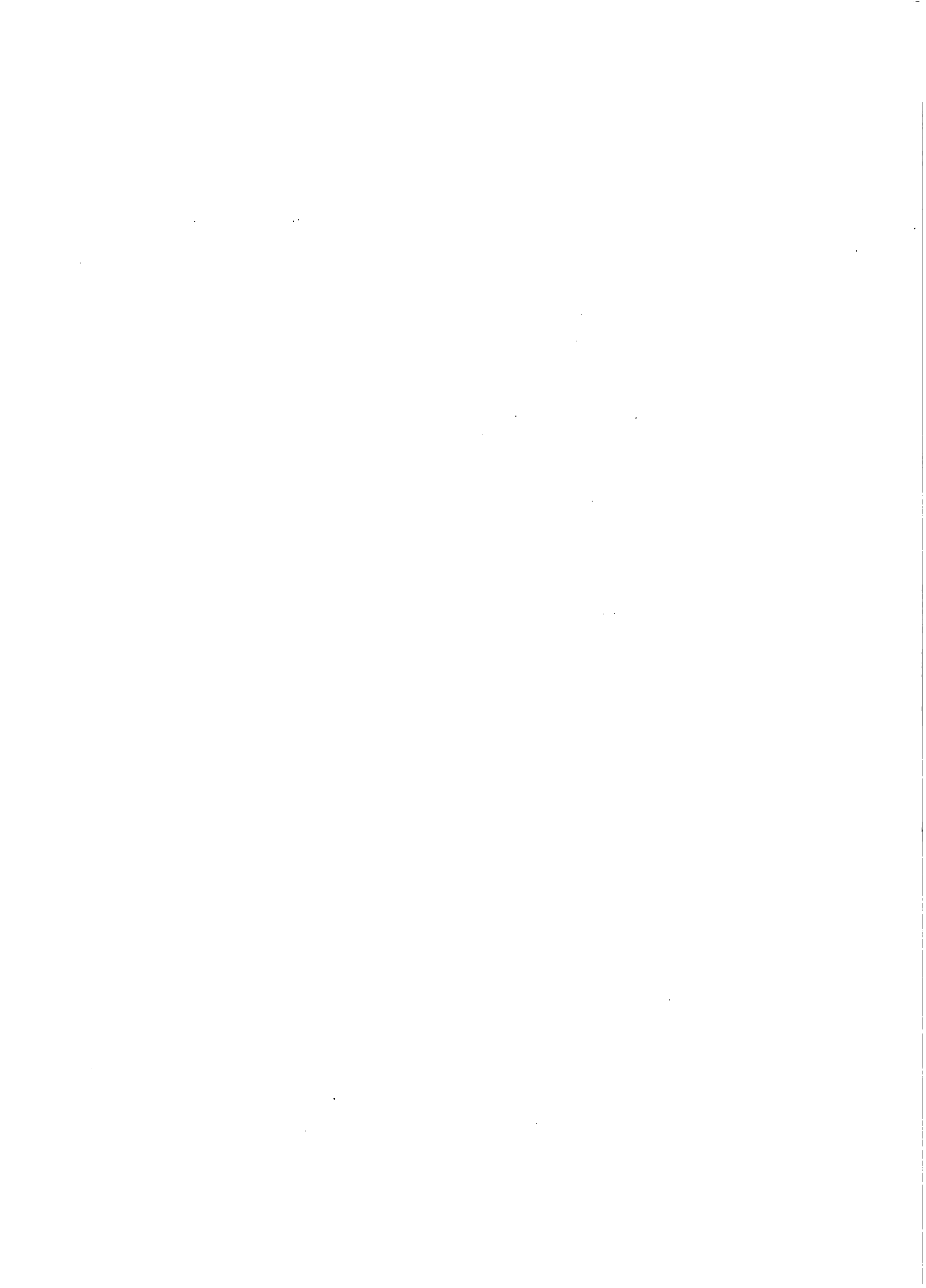
$$V = \frac{I \cdot 3000}{\frac{D-9}{v_1} + \frac{D-9}{v_2} + 20} \quad (\text{m}^3/\text{heure})$$

$$\frac{D-9}{v_1} : \text{ Aller}$$

$$\frac{D-9}{v_2} : \text{ Retour}$$

$$20 : \text{ Temps fixe}$$

Quand il s'agit de matériaux fixes, il faut multiplier par le facteur, de chargement L.I représente dans ce cas la capacité du trou à combler; v<sub>1</sub> représente la vitesse moyenne à l'avant (Km/h); v<sub>2</sub> représente la vitesse moyenne à l'arrière et D est la distance totale.



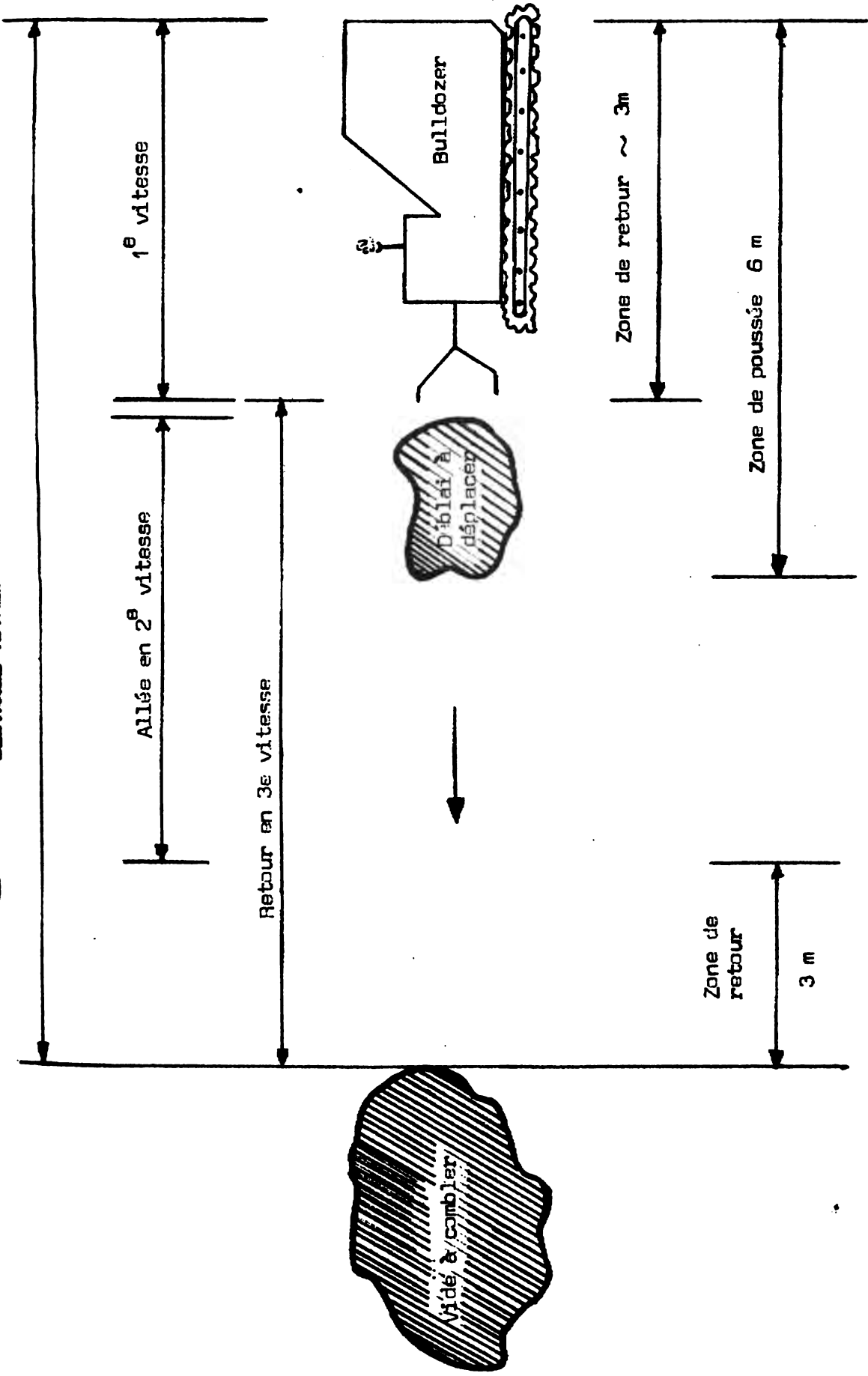


Fig. VI-3 : Schéma montrant l'analyse du déplacement d'un bulldozer pour le transport de terre.

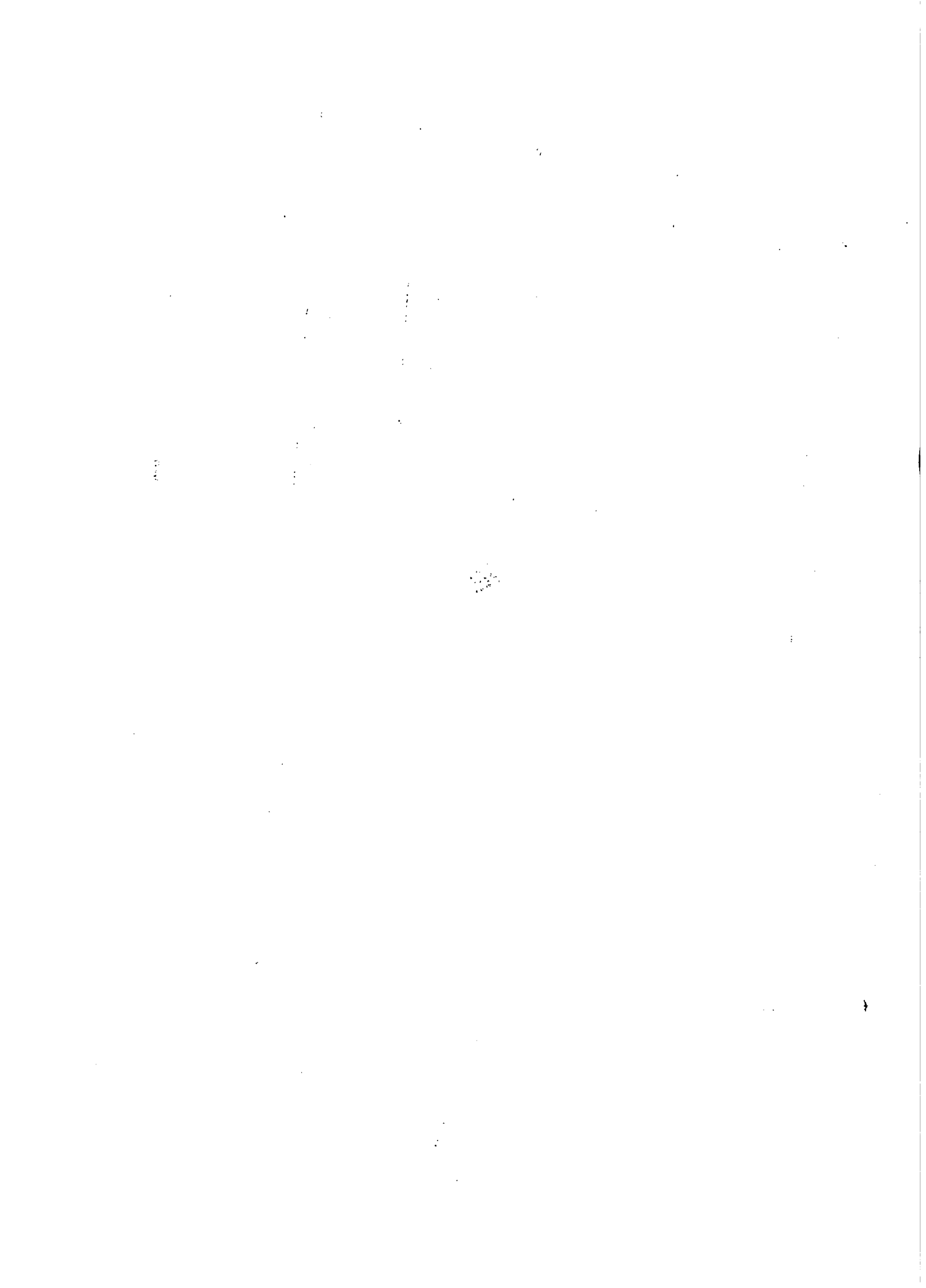


Tableau VI-3: Facteur de chargement L. pour les matériaux.

MATERIAU	POIDS SPECIFIQUES Kg/m <sup>3</sup>	L (Facteur de chargement)
Granit	1800	0.6
Roche dure	1700	0.6
Roche calcaire	1500	0.6
Déblai de chantier	1900	0.74
Minéral de cuivre	1700	0.75
Bauxite	1500	0.75
Terre humide	1700	0.8
Terre sèche	1300	0.8
Sable humide	1800	0.9
Sable sec	1400	0.9
Gravier sec	1300	0.9
Gravier humide	1800	0.9
Gravier mouillé	2000	0.9

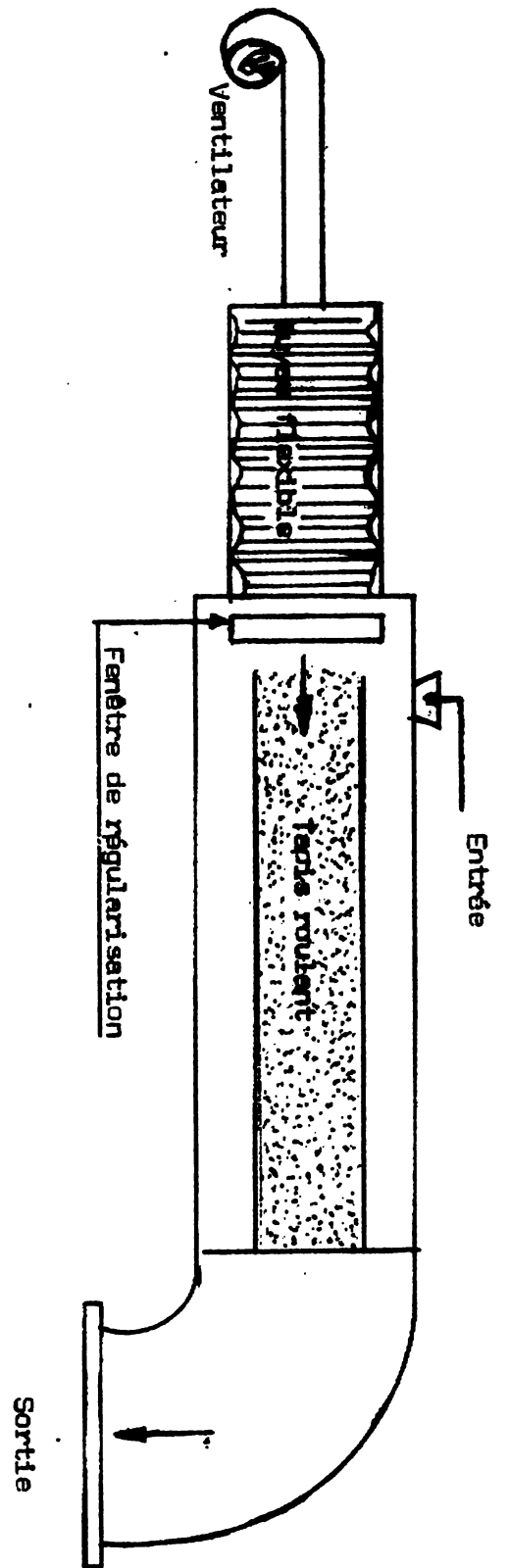
Pour les valeurs exactes de matériaux non identifiables, il est recommandé de faire des expériences pour déterminer les valeurs de repère.

Quand un engin doit être démonté, transporté et remonté d'un lieu à un autre, avant d'être opérationnel, on utilise la méthode suivante pour calculer les coûts de la machine. Ces coûts se subdivisent en:

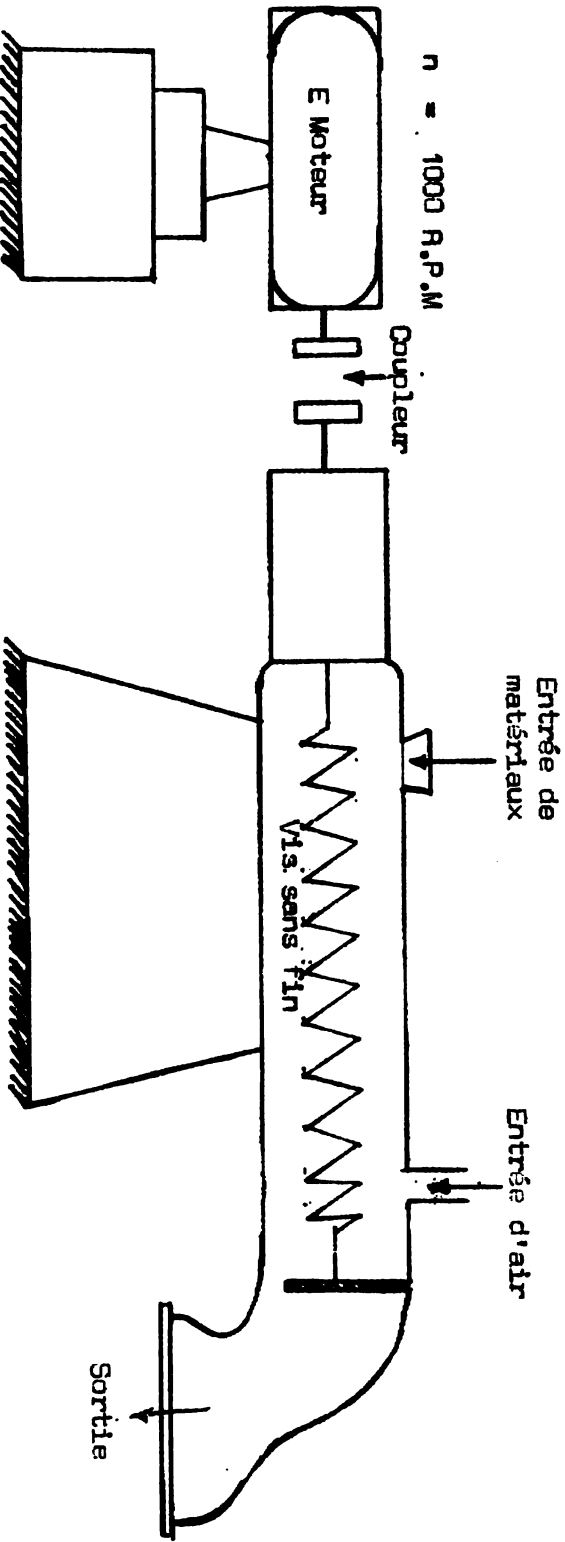
1. Coûts d'utilisation  $K_1$ , (ces coûts englobent l'aller, le retour, le montage et le démontage).
2. Les coûts d'usures (ces coûts englobent les assurances, la réduction de la valeur de la machine, la dépréciation pendant le temps de travail et les intérêts sur la machine).



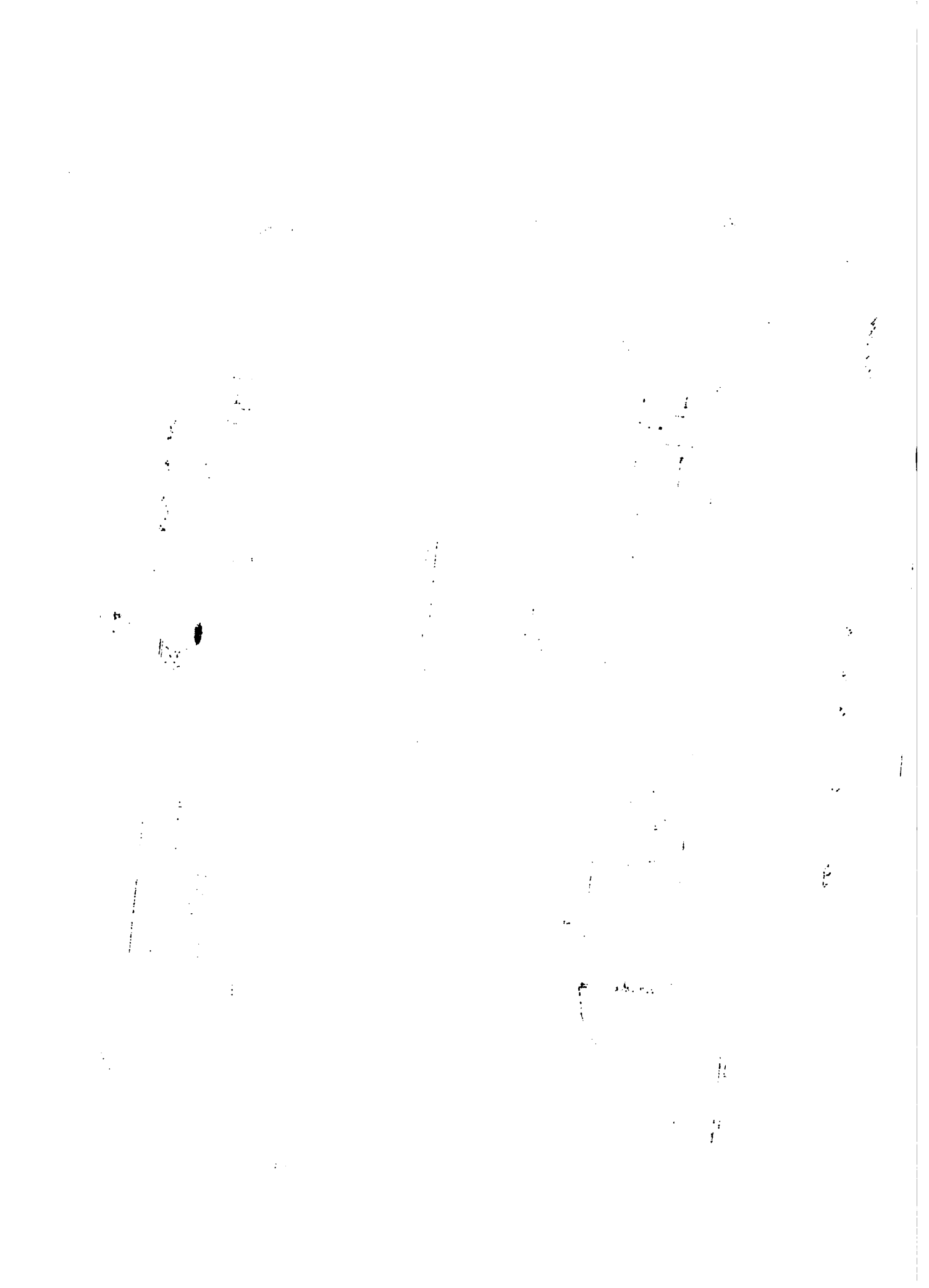




TRANSPORTEUR PNEUMATIQUE



TRANSPORTEUR A VIS SANS FIN



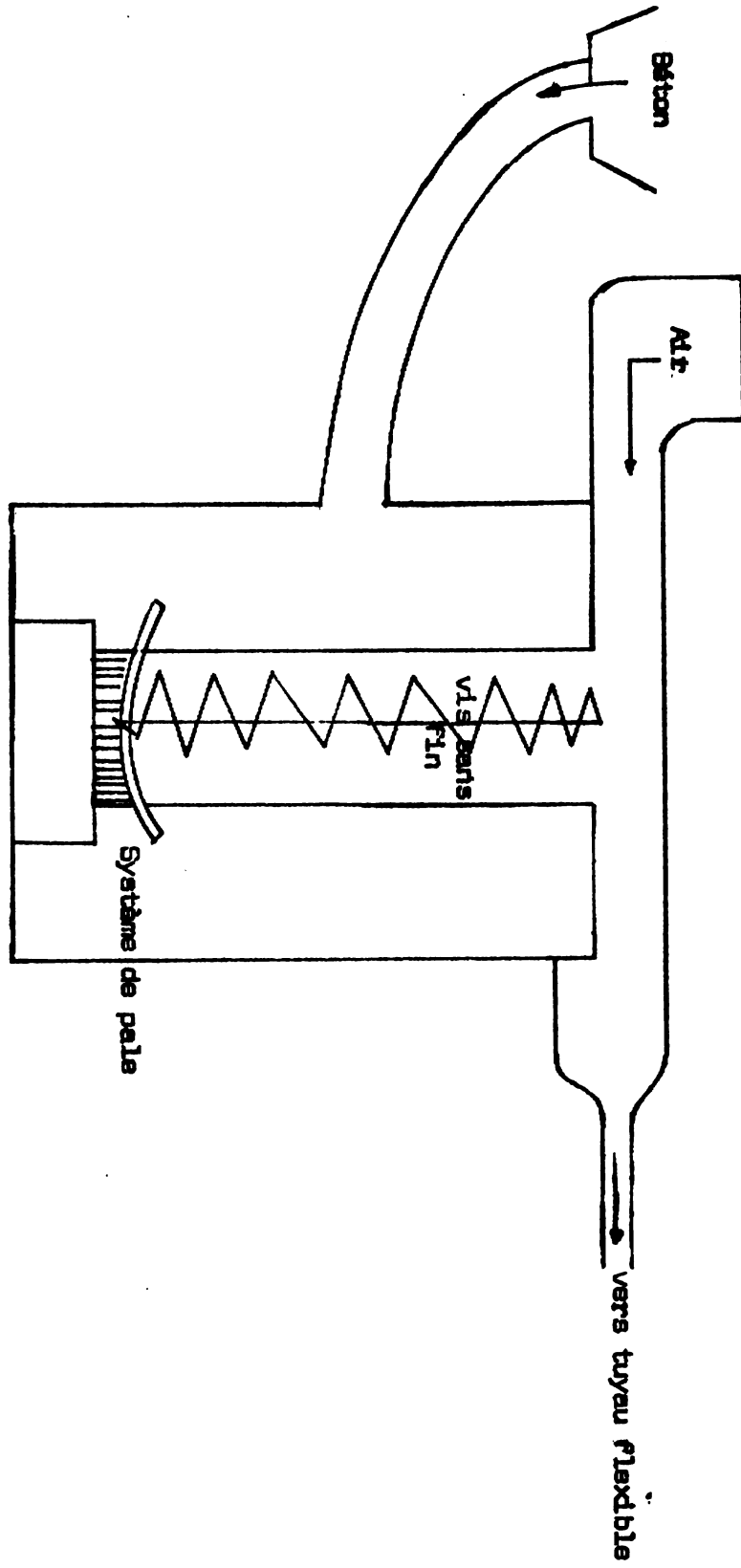
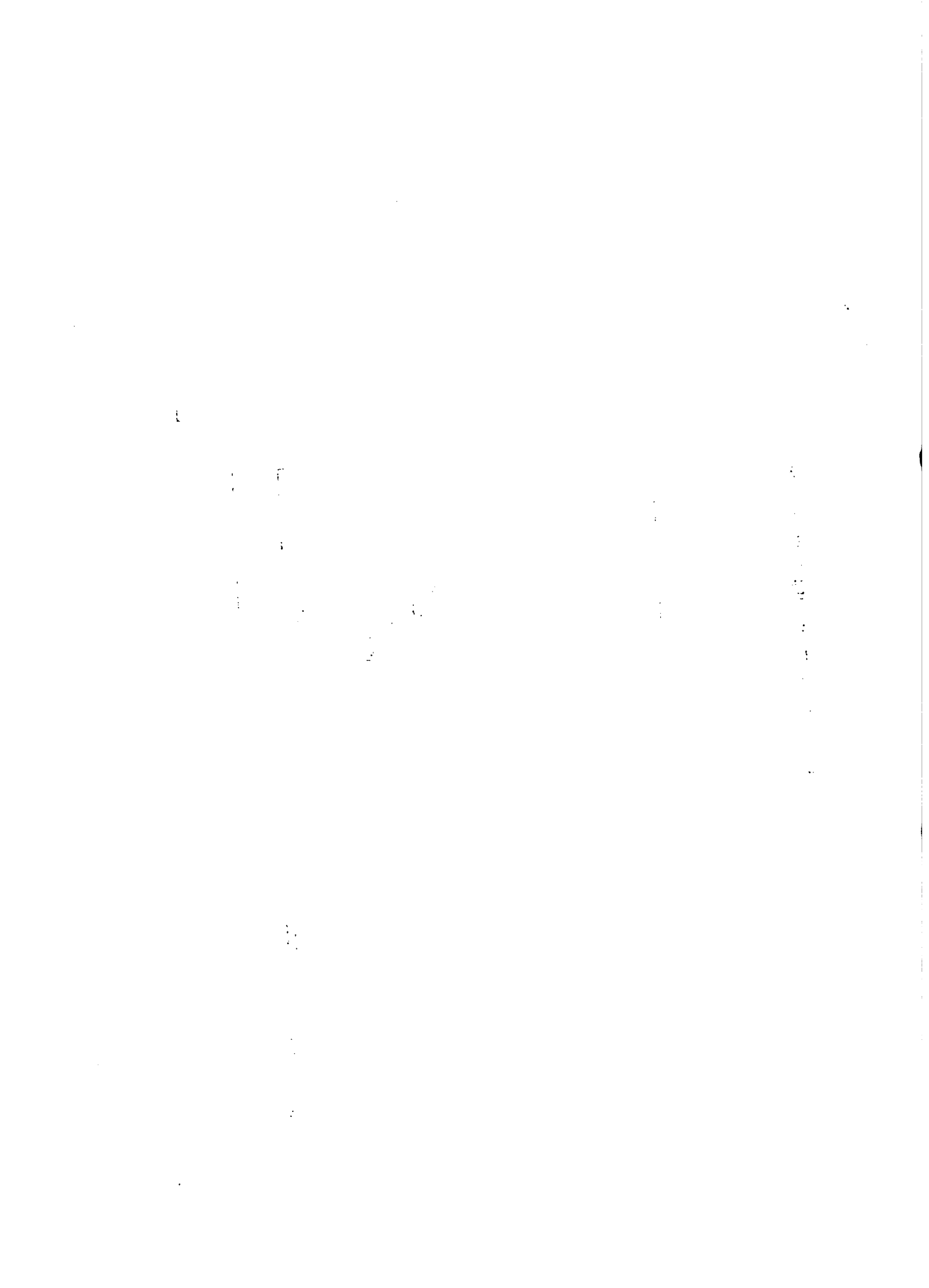


Figure VI.5 : Schéma d'un vis sans fin utilisé pour transporter le béton.



3. Les coûts de l'entretien (ces coûts englobent l'entretien et les réparations de l'engin).
4. Coûts de fonctionnement. (ces coûts englobent le graissage, le carburant et le salaire du personnel).

Ces coûts peuvent tout aussi bien être transformés en valeurs machinelles qui tiennent compte du temps de fonctionnement en chantier. En ce qui concerne les coûts d'usure, ils sont une fonction de la dépréciation linéaire, c'est à dire la répartition égale de la diminution de la valeur de la machine pendant le temps d'utilisation.

#### Caractéristiques techniques:

$n = 1000$  RPM (rotation par minute)

$p = 0.4$  à  $4$  Kg/cm<sup>2</sup>

Largeur de transp. = 1500 m

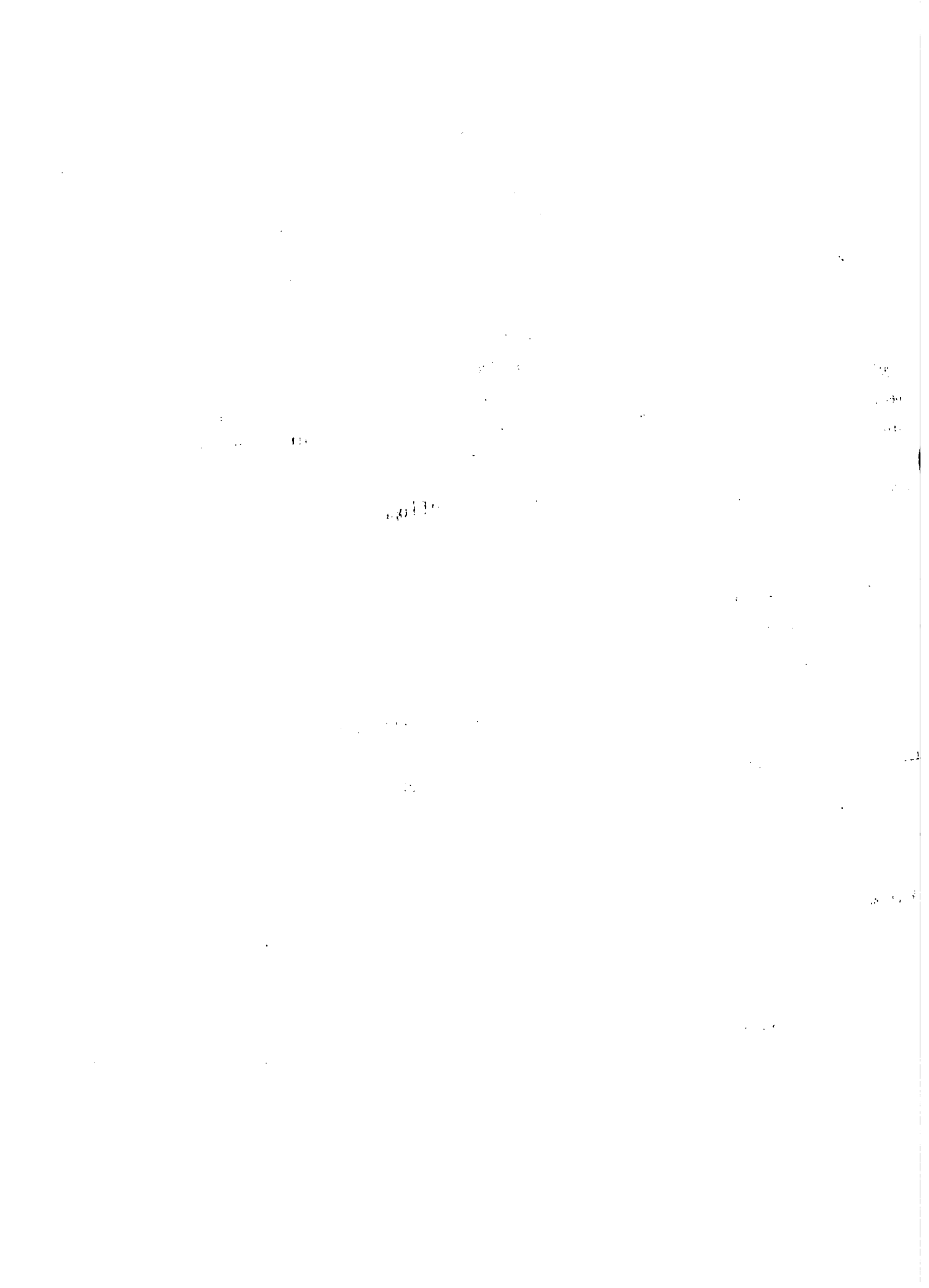
Hauteur de transp. = 30 m

Puissance = 0,5 à 3 Kw par t/h de matériaux transportés.

#### 5.8. Appareils servant à projeter le béton ou injection de béton

Ces appareils sont utilisés pour poser le béton frais sans coffrage et pour boucher les surfaces à bétonner ou comme couche de protection dans le roc fraîchement extrait (comme dans le cas de construction de tunnel et de chambre creuse dans les carrières). Le principe de fonctionnement est le suivant:

Une vis sans fin transporte le mélange dans le compartiment où l'air arrive sous pression et ce mélange est aussi projeté sur la surface à induire.



La puissance de ces appareils varie avec la pression d'air disponible. La largeur de transport maximal est de 50 m et la hauteur maximale de 55 m.

Pour les appareils servant à projeter ou injecter le mortier ou le béton, le compresseur à utiliser doit avoir une puissance 15 fois plus grande que la quantité de béton à projeter (référence : Université de Berlin Institut de Construction Civile).

VI-4: Tableau des puissances de compresseur en m<sup>3</sup>/mn pour chantier normal de béton projeté

Puissance du compresseur m <sup>3</sup> /mn	Diamètre de la conduite en cm	Ouverture de l'injecteur cm	Pression active d'air Kg/cm <sup>2</sup>
7	2.5	1.9	2.8
9	3.2	2.5	3.2
10	3.8	3.2	3.9
14	4.1	3.8	4.6
17	4.4	4.1	5.3
21	5.0	4.4	6.0

6.9 Informations de chantier - Proportion de coffrage et de ferrailage

Selon les conditions, l'expérience transmise à partir des grands travaux exécutés permet d'obtenir une classification en relation avec le volume de béton pour le coffrage et le ferrailage.

2011

2012

2013

2014

2015

2016



- coffrage très réduit : c'est à dire variant entre 0 et  $0.5 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton
- coffrage réduit : variant de  $0.5$  à  $2 \text{ m}^2$
- coffrage moyen : variant de  $2.0$  à  $5 \text{ m}^2$
- grand coffrage : variant de  $5$  à  $10 \text{ m}^2$
- très grand coffrage : variant de  $10$  à  $20 \text{ m}^2$
  
- ferrailage très réduit:  $0$  à  $20 \text{ Kg}$  de fer par  $\text{m}^3$  de béton
- ferrailage réduit : de  $20$  à  $25 \text{ Kg}$  par  $\text{m}^3$  de béton
- ferrailage moyen : de  $50$  à  $80$  " " "
- grand ferrailage : de  $80$  à  $120$  " " "
- très grand ferrailage : de  $120$  à  $150$  " " "

### 6.9.1 Exemples pour différents ouvrages

#### 1. Coffrage

Barrages:  $0.15$  à  $0.26 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Usines hydro-électriques:  $1.5$  à  $2.5 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Constructions

Industrielles et bureaux :  $4$  à  $7 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Gratte ciel ou maisons d'habitation à plusieurs étages:  $6$  à  $10 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Mur en construction civile :  $7$  à  $10 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Dalles de maisons :  $3$  à  $6 \text{ m}^2$  " " "

Construction de tunnel :  $1.5$  à  $2.5 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

Fondations :  $5$  à  $6 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  de béton

101  
B  
C

### 6.9.2. Ferraillage

Barrages:	1.5 à 3 Kg/m <sup>3</sup>	de béton
Usines hydroélectriques:	10 à 30Kg/m <sup>3</sup>	de béton
Constructions industrielles et bureaux:	100 à 150Kg/m <sup>3</sup>	de béton
Gratte ciel, maison d'habitation à plusieurs étages:	40 à 60Kg/m <sup>3</sup>	de béton
Murs en construction civile:	50 à 60 par m <sup>3</sup>	de béton
Dalle de maison:	70 à 100 Kg.	" " "
Construction de tunnel:	10 à 30 Kg.	" " "
Fondation:	30 à 40 Kg.	" " "

### Les malaxeurs

Pour le mélange de différents matériaux, le but poursuivi est d'obtenir un produit totalement uniforme qui se ressemble dans chaque élément du tout. Pour cela, les mélangeurs de béton sont soumis à un examen de qualité.

### Système de travail:

Les malaxeurs peuvent être classés en deux catégories:

1. Malaxeurs à charge
2. Malaxeur continu

### Système de fonctionnement:

On distingue deux types:

1. Les malaxeurs à chute libre
2. Les malaxeurs à course obligée

Pour les malaxeurs à chute libre, le temps d'un jeu varie entre 2.5 et 3 minutes. Le principe de fonctionnement est l'imitation du brassage à la main.

m/p. 1

X01

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

0100

Pour les malaxeurs à course obligée, le principe de mélange consiste à faire tourner les matériaux. Le temps d'un jeu est inférieur à 2 minutes.

#### Avantages du malaxeur à chute libre

- faible puissance nécessaire
- usure réduite de la machine

#### Inconvénients du malaxeur à chute libre

Le temps de mélange et de vidange trop long, réduit le temps de jeu et ne permet pas d'obtenir un mélange uniforme en ce qui concerne la résistance du béton (Résistance prévue).

#### Dimensions des malaxeurs

Les normes allemandes prévoient dans DIN 459 les volumes spécifiques des malaxeurs: 75 litres, 100 litres, 150 litres, 250 litres, 375 litres, 500 litres, 550 litres, 1,000 litres, 1,250 litres, 1,500 litres, 2,000 litres, 2,500 litres.

Pour les normes américaines les contenances sont données en yard cube.

#### Références de Puissance

Pour les malaxeurs à chute libre avec direction manuelle, les puissances varient entre 20 et 23  $w/m^3$ ; avec direction automatique, les puissances varient entre 21 et 27  $w/m^3$ .

Pour les malaxeurs à course obligée, les puissances varient entre 30 et 40  $w/m^3$ .

En ce qui concerne le travail de mélange lui-même, la puissance utilisée est de 3kwh/ $m^3$ .



## 6.10 Principes de construction des malaxeurs

### 1. Malaxeurs à chute libre

Le récipient a la forme d'une poire ou d'un cône coupé. La retransmission de l'énergie se fait ou bien par un système d'engrenages ou bien par un système de roues de frottement. Le remplissage se fait à partir de l'ouverture. A l'intérieur du tonneau se trouve un dispositif de direction de forme spirale. Le temps de vidange varie entre 6 et 50 secondes. Pour vidanger, le tonneau est déplacé de haut en bas.

### 2. Malaxeurs à course obligée

A l'intérieur du tonneau se trouve un dispositif de mélange déplaçable. Le tonneau peut être fixe et il se peut bien qu'il y ait plus qu'un seul dispositif de mélange. Temps de vidange: 15 à 30 secondes, pour vidanger, un dispositif de fermeture est utilisé: le système clapet.

### Camion Malaxeur

Le tonneau mélangeur est monté sur un camion qui peut transporter le béton de l'usine au chantier. Deux systèmes existent:

- a) dispositif à moteur unique: le malaxeur est entraîné à partir du moteur du camion à travers un dispositif hydraulique, qui permet de mettre en marche le malaxeur.
- b) système à deux moteurs: le moteur du malaxeur est indépendant du moteur du camion.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records for all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice to ensure transparency and accountability.

2. In the second section, we explore the various methods used for data collection and analysis. This includes both primary and secondary data sources, as well as the tools and techniques employed to process and interpret the information.

3. The third part of the report focuses on the results of the study. It provides a detailed breakdown of the findings, highlighting key trends and patterns observed in the data. These results are discussed in the context of the research objectives and existing literature.

4. Finally, the conclusion summarizes the main points of the study and offers recommendations for future research. It also discusses the limitations of the current study and suggests ways to address these challenges in subsequent work.



### Temps de mélange

- Pour les malaxeurs à chute libre: 60 secondes
- Pour les malaxeurs à course obligée: 45 secondes

Le temps de mélange est celui qui est nécessaire pour préparer le béton après que toutes les composantes, eau comprise, aient été introduites à l'intérieur du tonneau.

### Puissance utile pour le mélange du béton

Pour les mélangeurs d'une manière générale, on admet une utilisation de 0.5 à 1.0 Kwh/m<sup>3</sup> de béton. Pour le dosage, deux types sont à considérer:

- dosage par volume
- dosage par poids

Le contrôle des matériaux est réglementé par des compteurs et autres appareils permettant un calcul exact jusqu'à 3 % de tolérance.

### 6.11 Comment déterminer les coûts de la main d'oeuvre en génie civil

Comme valeur expérimentale, on choisit le coût horaire des différents travaux. Ce chiffre donne le coût horaire d'une unité de production en mètre linéaire, m<sup>2</sup>, t ou pièces. La dépense horaire est alors égale à l'inverse du rendement horaire d'un travailleur. Si le travail se fait par équipe et si  $n$  est la quantité de personnes dans l'équipe,  $S$  est alors le rendement horaire d'un travailleur; on peut alors écrire  $L = \frac{n}{S}$  exprimé en unité de production par heure.

### Comment réduire la dépense horaire

On peut le faire:

00150

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1900

1. en payant par accord ou selon le rendement
2. en utilisant des outils appropriés
3. en améliorant la place de travail
4. en utilisant des matériaux préfabriqués
5. en utilisant un temps spécial pour la formation et l'entraînement des ouvriers.

Dans la pratique, il existe des coûts fixes pour chaque type de travail en Haïti qui malheureusement ne sont pas suffisamment respectés. Il est possible de calculer le coût de la main d'oeuvre moyenne selon la catégorie ou selon le groupe.

### 6.12 Concepts de rendement dans la construction civile

#### 1. Quantité produite

Elle se désigne par  $P$  identique aux unités de production ( $m^3$ ,  $m^2$ ,  $m$ ,  $t$ , etc...) et de rendement horaire  $L = \frac{P}{h}$ ;

#### 2. Temps et unité de temps.

Les heures, les jours et les minutes sont les unités employées pour caractériser le temps. On distingue:

- Le temps de location  $T_v$
- Le temps d'utilisation  $T_e$
- Le temps de repos  $T_s$
- Le temps perdu  $T_{p_u}$
- Le temps de Production  $T_{p_n}$

$$T_v = T_e + T_s$$

$$T_e = T_{p_n} + T_{p_u}$$

$$T_e = \text{Temps production} + \text{Temps perdu} = T_{p_n} + T_{p_u}$$



Dans le temps perdu interviennent les facteurs d'influence. Le  $T_{p\mu}$  peut s'écrire comme suit:  $T_{p\mu} = (1 - e_1 e_2) T_e$

$e_1$  = facteur d'influence de chantier

$e_2$  = facteur d'influence de l'entreprise

$e_1$  : dépend du mauvais temps, du mauvais rendement des machines et de la qualité des machines.

$e_2$  : dépend du rendement du personnel, de l'entretien, de l'organisation et de la direction du chantier.

Le produit  $e_1 \cdot e_2$  est classé en 3 catégories:

- bon ( $e_1 \cdot e_2 = 1$ )
- moyen ( $\frac{1 + 0.57}{2} = 0.785$ )
- mauvais ( $< 0.57$ )

Le temps de production d'une machine est la quantité qu'elle peut produire en tenant compte des facteurs d'influence. Elle est aussi la somme du rendement temporaire et de la perte temporaire.

Si nous avons appelé  $T_{ph}$  le temps de production,

$$T_{ph} = T_1 + T_v$$

$T_1$  : capacité de la machine sans interruption (capacité fictive continue)

On tient compte pour ce temps de production d'un facteur d'utilisation temporaire  $Z$  qui varie selon les machines et incluant panne de pneus, vidange, remplissage de carburant, pause de cigarette, W.C. etc.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent and reliable data collection processes to support informed decision-making and strategic planning.

3. The third part of the document focuses on the role of technology in enhancing data management and analysis. It discusses how modern software solutions can streamline data collection, storage, and reporting, thereby improving efficiency and accuracy.

4. The fourth part of the document addresses the challenges associated with data management, such as data quality, security, and privacy. It provides strategies to mitigate these risks and ensure that data is used responsibly and in compliance with relevant regulations.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It stresses the importance of ongoing monitoring and evaluation to ensure that data management practices remain effective and aligned with the organization's goals.

6. The sixth part of the document provides a detailed overview of the data collection process, including the identification of data sources, the design of data collection instruments, and the implementation of data collection procedures.

7. The seventh part of the document discusses the various methods used for data analysis, such as descriptive statistics, inferential statistics, and qualitative analysis. It explains how these methods are applied to interpret the collected data and draw meaningful conclusions.

8. The eighth part of the document focuses on the ethical considerations surrounding data management and analysis. It discusses the importance of obtaining informed consent, protecting personal information, and ensuring that data is used for legitimate purposes.

9. The ninth part of the document provides a comprehensive overview of the data management and analysis process, from data collection to data interpretation. It emphasizes the need for a systematic and transparent approach to ensure the reliability and validity of the results.

$Z = 0.95$  construction routes, barrages et plantes électriques

$Z = 0.83$  machines servant à déplacer la terre

$Z = 0.80$  autres engins de génie civil

$$T_{p_n} = ZT_1$$

### 6.12.1 Puissance de base théorique d'une machine

C'est le rapport de la quantité de base théorique d'une machine.

On désigne par  $L_0$  la puissance de base théorique d'une machine:

$$L_0 = \frac{P}{T}$$

### Puissance technique de base

C'est la plus haute puissance à atteindre en tenant compte des conditions idéales de fonctionnement et du genre de travail.

$$L_T = Z \cdot L_0$$

### Puissance technique utilisable

Elle tient compte de la puissance technique de base et des facteurs d'influence.

$$L_N = L_T \cdot e_1 e_2$$

### 6.12.2 Formules générales de rendement en construction civile

$$P = e_1 e_2 (aA + bB)T$$

1000

1000

1000

1000

1000

1000



Dans cette formule:

- a valeur du travail manuel, c'est à dire capacité de travail d'un travailleur en unité de production horaire
- A Quantité de travailleurs
- b Valeur de travail des machines, c'est à dire la capacité de production.
- B Poids des machines en t
- $e_1 e_2$  Facteurs d'influence
- T Temps de production en heures  $T_{P_n}$  (P s'exprime en unité de production)

Quand la machine à elle seule travaille:  $A = 0$

Quand le travail est purement manuel:  $B = 0$

Pour différencier, on peut sélectionner le travail manuel et le travail mécanique (indice m et M)

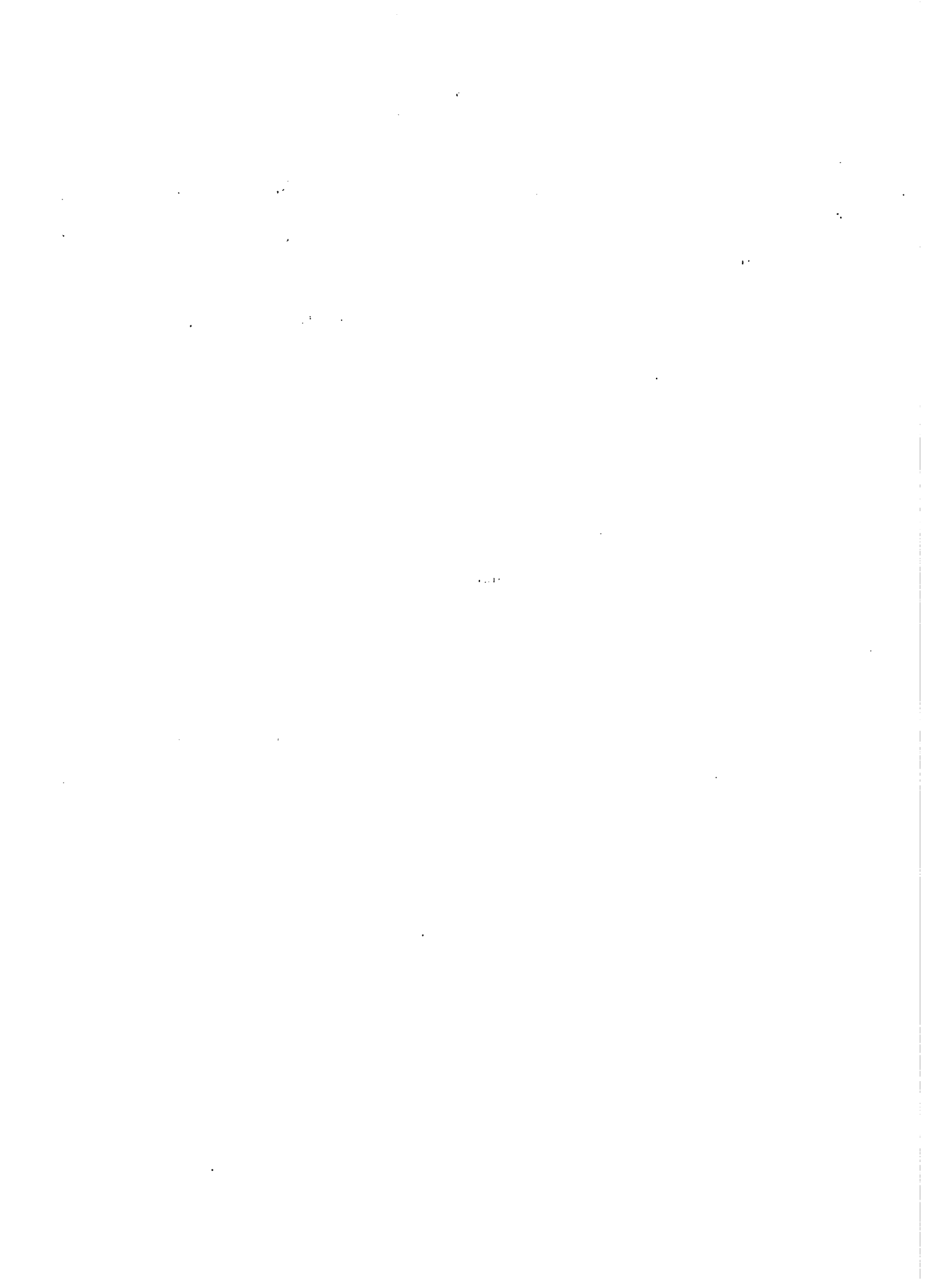
### 6.12.3 Capacité de travail d'une machine en génie Civil

On distingue le travail discontinu et le travail continu. La valeur du travail b quand il est discontinu se calcule comme suit:

$$b = L_N / e_1 e_2 B$$

La valeur du travail b quand il est continu se calcule:

$$b = \frac{ZLO}{B}$$



Problèmes

- (1) Le rendement horaire d'une machine est de  $40\text{m}^3/\text{h}$ . En une semaine de 48 heures, elle fournit  $2000\text{m}^3$ . Quelle est sa puissance technique utilisable? La machine pèse 10t. On demande sa capacité de travail si ce dernier est continu.
- (2) Un traxacavateur doit assurer le curage d'un bassin de décantation dont les dimensions sont les suivantes: 16m, 4.75m, 1,80m. La contenance pelle engin est de  $0.30\text{m}^3$ . Le temps d'un mouvement est de 2 minutes. Le degré d'utilisation 70%. On demande: la puissance de base théorique, la puissance technique, la puissance technique utilisable, la durée de curage, le nombre de camions de  $5\text{m}^3$  à utiliser si le rythme de travail est de 8 heures par jour.

Résolution problème 1.

La puissance de base est:

$$L_0 = \frac{P}{T} = \frac{2000}{48} = 41.67 \text{ m}^3/\text{h}$$

La puissance technique de base est:

$$L_T = Z \cdot L_0$$

On prend pour une machine à déplacer la terre

$$Z = 0.83$$

$$\begin{aligned} L_T &= 0.83 \times 41.67 \\ &= 34.58 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

La puissance technique utilisable est:

$$L_N = e_1 e_2 \cdot L_T$$



Rendement moyen :

$$\begin{aligned} e_1 e_2 &= 0.785 \\ L_N &= 0,785 \times 34.58 \\ &= 27.14 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Si le travail est continu, alors la capacité de la machine est :

$$b = \frac{Z L_0}{B}$$

$$Z = 0.83 \quad L_0 = 41.67 \text{ m}^3/\text{h}. \quad B = 10 \text{ t.}$$

$$b = \frac{0.83 \times 41.67}{10} = 3.46$$

### Solution No. 2

1) Capacité du godet :  $0.30 \text{ m}^3$

temps d'un mouvement : 2 min.

Pour une heure (60 min): 30 mouvements

La puissance théorique de la machine par heure :

$$0.30 \times 30 = 9 \text{ m}^3/\text{heure.}$$

Comme la machine travaille 8 heures par jour, la puissance journalière de cette machine est de :

$$9 \times 8 = 72 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

2) La puissance de base technique est :

$$L_T = Z \times L_0$$

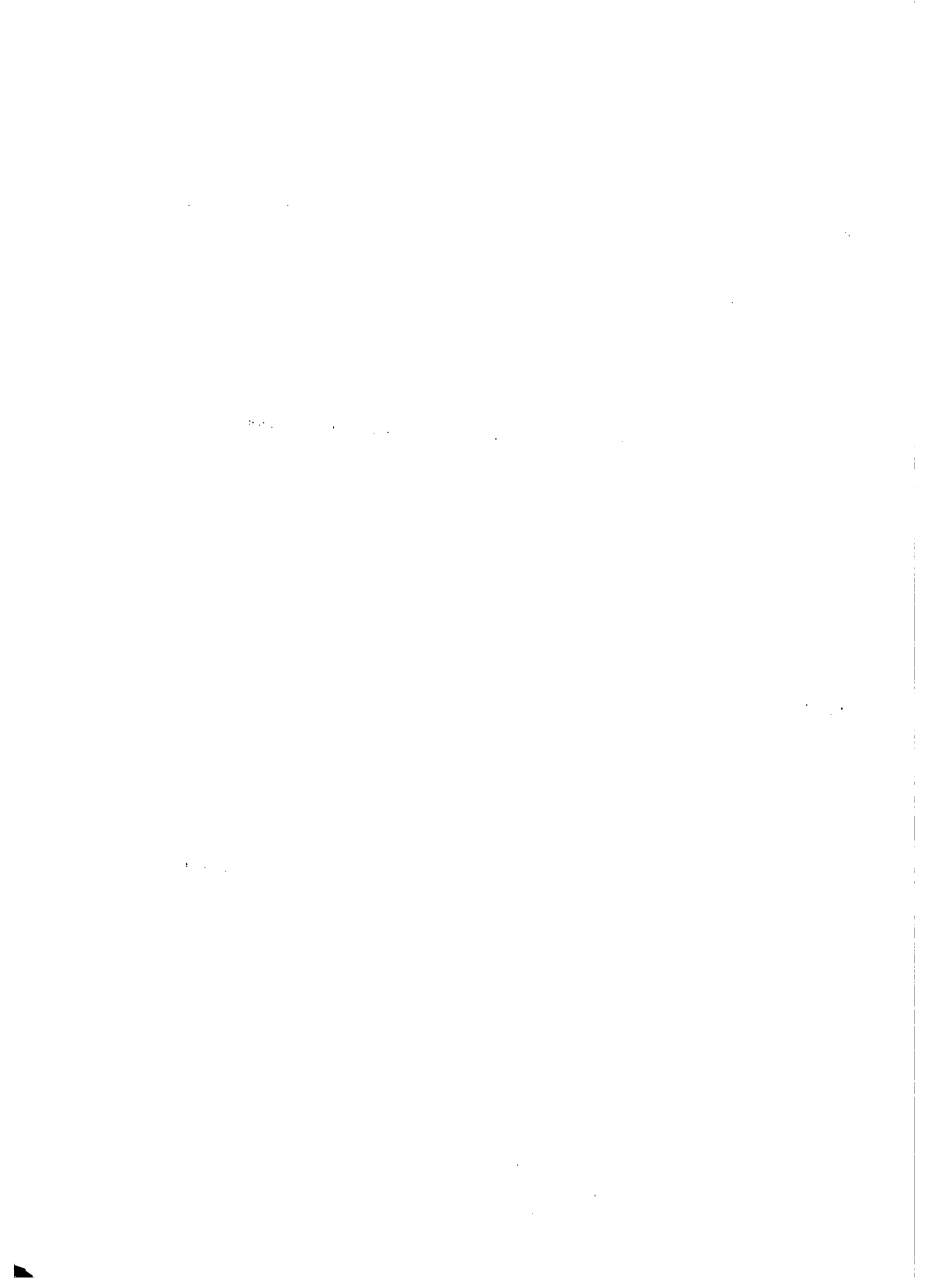
$$L_T = 0.83 \times 9 \text{ m}^3/\text{h} = 7.47 \text{ m}^3/\text{h}$$

3) La puissance technique utilisable devient :

$$L_n = L_T \times e_1 \times e_2 ; e_1 e_2 = 1 \text{ (bon)}$$

$$L_n = 7.47 \times 1$$

$$L_n = 7.47 \text{ m}^3/\text{h}$$



4) La durée du curage est :

$$T = \frac{\text{Volume à excaver}}{\text{Capacité pelle} \times \text{0.7}} = \frac{136.80}{0.30 \times 0.7}$$

0.7 efficacité de la pelle.

$$T = 652 \text{ mouvements}$$

$$T = 652 \times 2 \text{ min.} = 1\,304 \text{ min.}$$

$$T = 21 \text{ h } 44'$$

5) Le nombre de camions sera :

$$n = \frac{\text{Volume à excaver}}{\text{Capacité camion}} = \frac{136.80}{5}$$

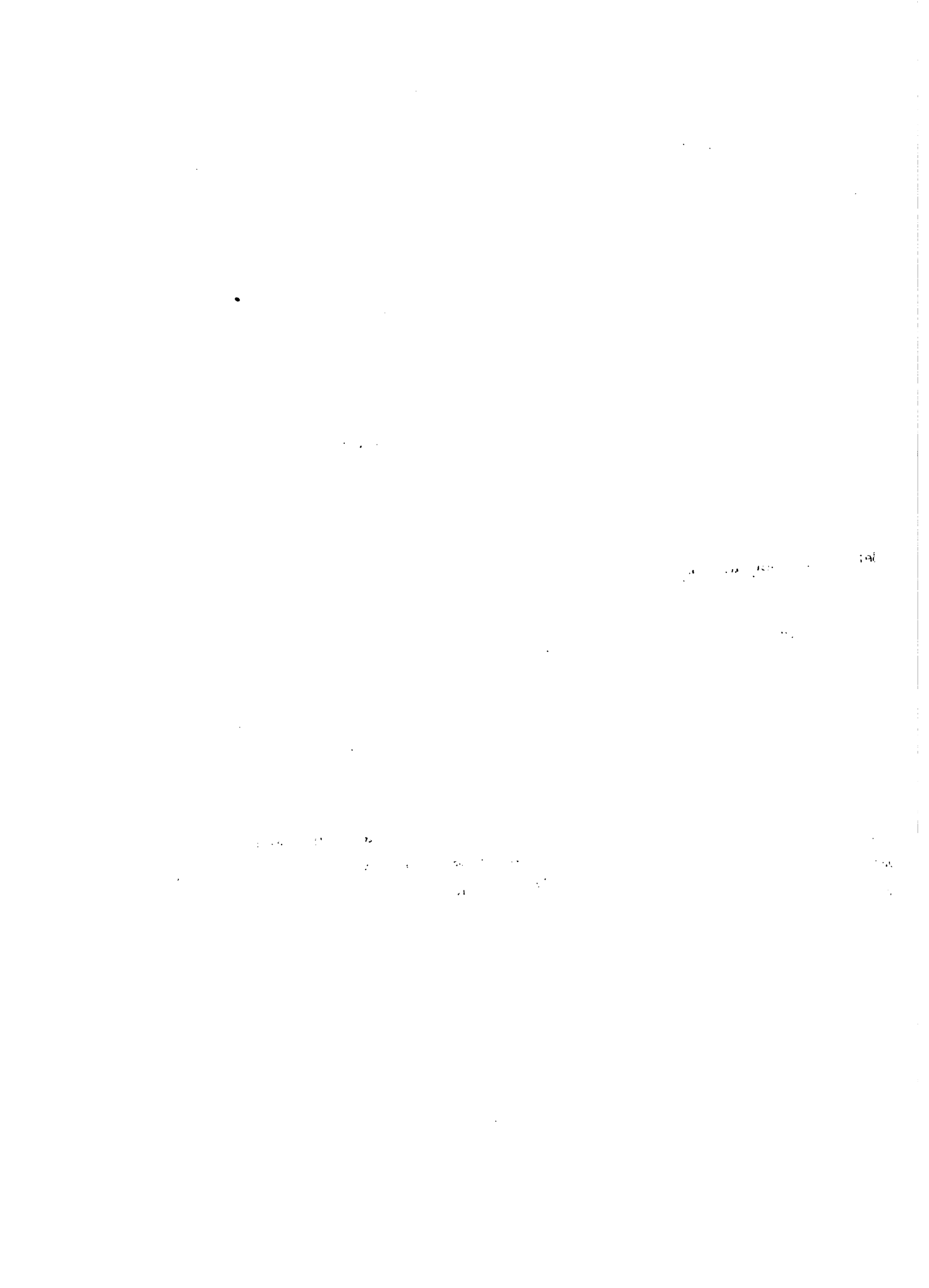
$$n = 28 \text{ camions}$$

### 6.13 Bétonnage spécial sous l'eau : Appareils

#### 6.13.1 Procédés spéciaux de bétonnage sous-marin

Etant donné que la qualité du béton ne peut pas être garantie, on est obligé d'utiliser un appareillage spécial et un coffrage pour un résultat plus ou moins acceptable.

Dans la construction souterraine, on est obligé très souvent de couler du béton sous l'eau sans que l'on puisse auparavant assécher la base et ceci pour des raisons économiques. Une condition importante est que l'eau ne doit pas couler ou que sa vitesse soit très réduite. On utilise :





1. Du béton à demi préparé qui est jeté tout simplement dans l'eau; ce qui donne un produit de mauvaise qualité.
2. Des sacs de jutes (cisal) remplis de béton frais et placés dans l'eau; la qualité de béton est meilleure mais sur le pourtour des sacs on doit s'attendre à des zones de faiblesse.
3. Le béton peut être transporté sous l'eau dans des cuves ou dans des sacs qui sont ouverts dès leur arrivée sous l'eau. La hauteur de chute doit être maintenue plus petite possible. La qualité de ce béton est toujours comprise dans des limites moyennes.

Pour les 3 cas ci-dessus, aucune garantie d'un béton de bonne qualité n'est à espérer, car sur la surface, on doit s'attendre à des lavages qui conduisent à une désagrégation de la section. Le procédé le plus sûr est celui du schéma de la figure VI-6. On peut transporter du béton de bonne qualité par le principe contractor sous l'eau. Le béton est introduit par une conduite dont le bout est situé à 1m environ de la surface à bétonner.

L'épandage du béton a lieu dans un cercle de 3.5 m de diamètre. Quand on a de grandes surfaces à bétonner, les conduites sont placées à des distances de 5 à 6 m et leur remplissage se fait en même temps. Progressivement avec l'épandage du béton, la conduite doit être soulevée, car le béton peut être bloqué. Aussi, le dispositif est relié à une poulie capable de déplacer la conduite. Cette conduite est composée de différentes parties facilement démontables. Ce procédé est utilisé pour tout type de bétonnage sous l'eau tel que les docks, les socles de ponts etc. Dans des tunnels, les murs sont la plupart du temps bétonnés par ce procédé:

Composition du béton:

- ciment 350 kg/m<sup>3</sup>
- fines  $\phi_{\max} = 0.02\text{mm}$  et  $\gamma = 400 \text{ Kg/m}^3$
- granulats max = 5mm à 25,4 mm



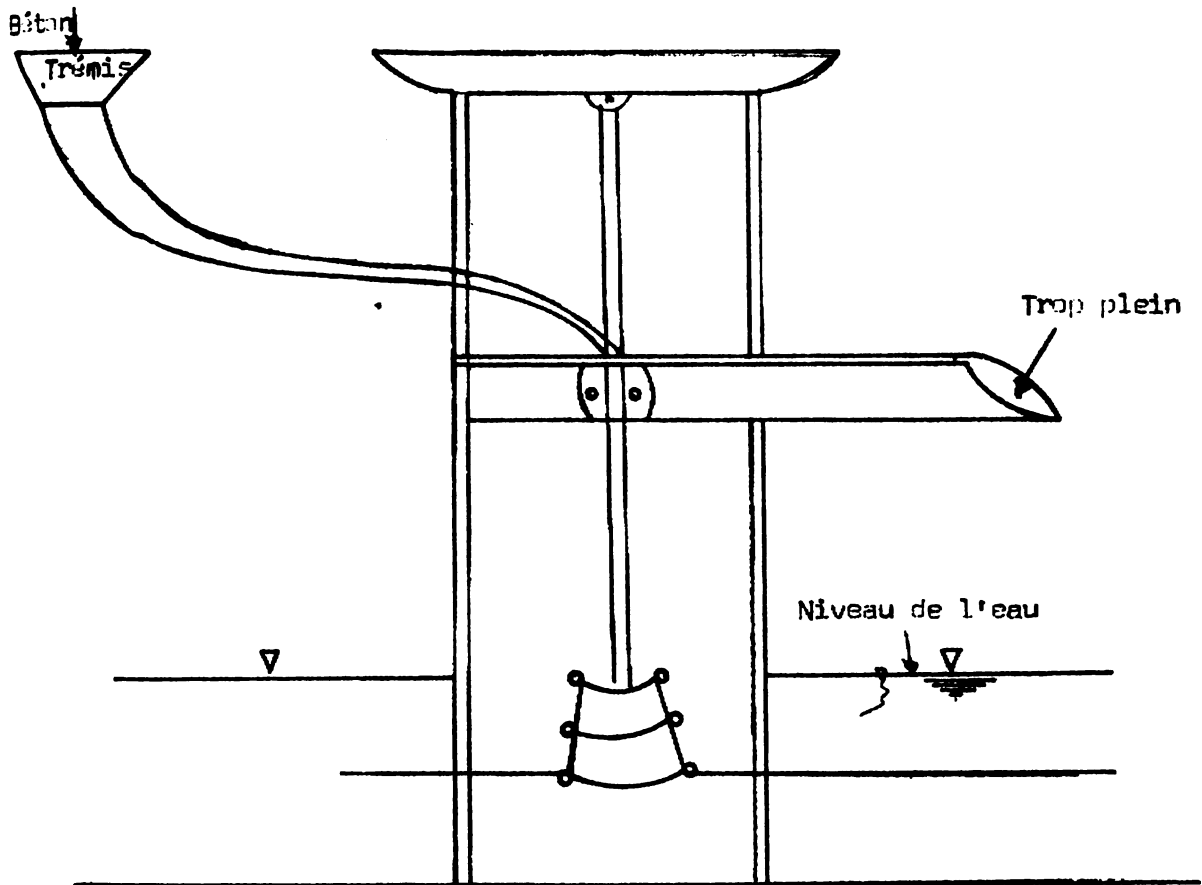


Fig. VI-6: Schéma des procédés spéciaux de mise en oeuvre sous-marine du béton.

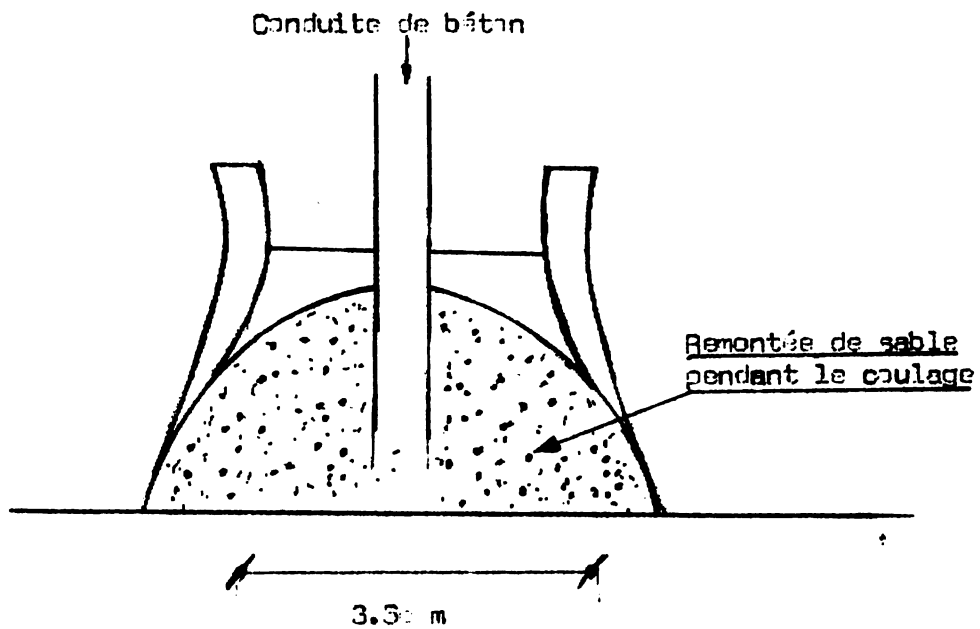
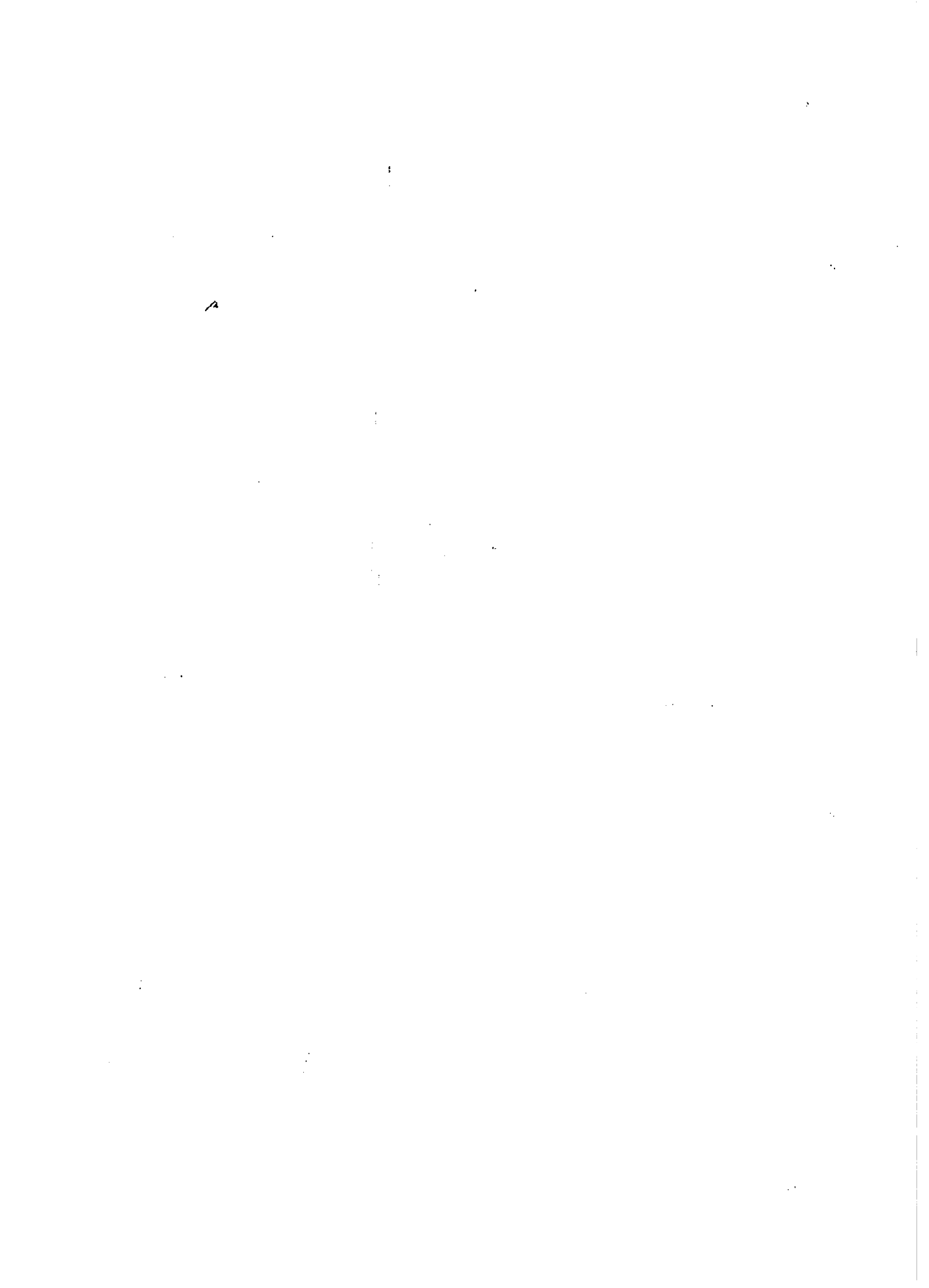


Fig. VI-7: Schéma du principe du contractor.



### 6.13.2 Béton Pressé

Le principe de ce procédé réside dans le fait qu'entre les coffrages un dispositif de pierres est construit, et ce dernier est alimenté de mortier et de ciment pressés. Il existe des méthodes où le remplissage de pierres se fait avec du mortier liquide et on le coulait dessus. Le remplissage des vides n'étant pas garanti, on utilise des conduites d'injection placées un peu partout. Le remplissage se fait de bas en haut. Deux procédés doivent retenir notre attention :

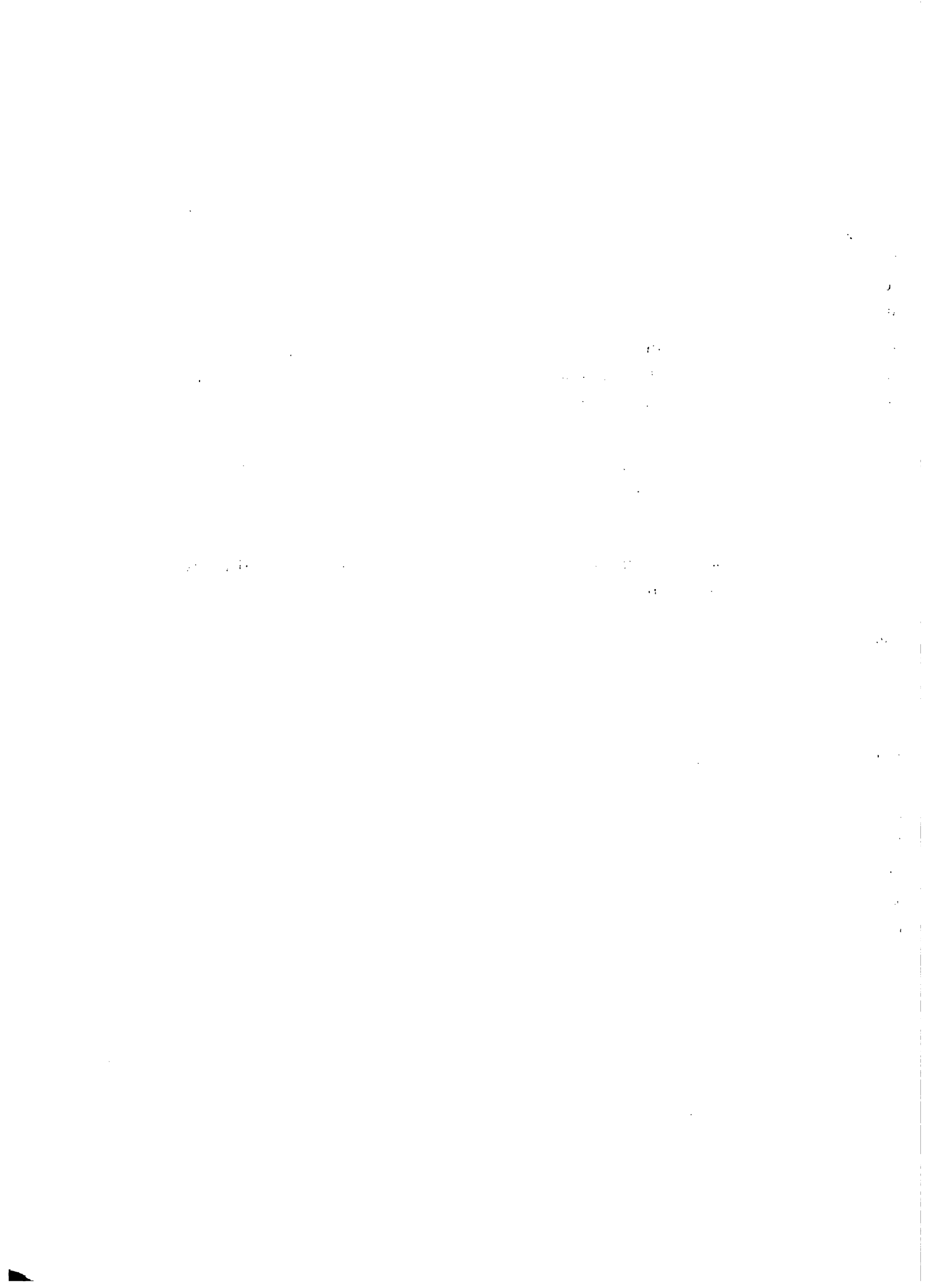
- Le diamètre des pierres utilisées est de 8 mm, au minimum et elles sont placées derrière le coffrage.
- Le diamètre des pierres utilisées est de 20 mm au minimum; ce qui réduit la consommation de mortier. Vibration possible avec appareil à vibrer.

### 6.13.3 Drague aspirante

Avec l'aide d'une conduite à crépine, on arrive à obtenir une grande vitesse avant et dans la conduite. Avec cela, les particules à transporter sont diluées dans le flux de l'eau et ensuite transportées. Pour obtenir ce résultat, on utilise une pompe de grande capacité de transport et de petite hauteur manométrique. Tout ce qui se trouve sous l'eau (sable, gravier, détritius, roche) est transporté proportionnellement au diamètre du petit tuyau d'aspiration dans un rapport 1/6 jusqu'à 1/10 de la quantité d'eau transportée. La condition de base est que l'énergie de nettoyage suffit aussi pour diluer les matériaux de leur dépôt naturel; l'aspiration d'un matériau entraîne nécessairement une dislocation du fond, ce qui est toujours avantageux.

#### Les composantes:

- Les conduites



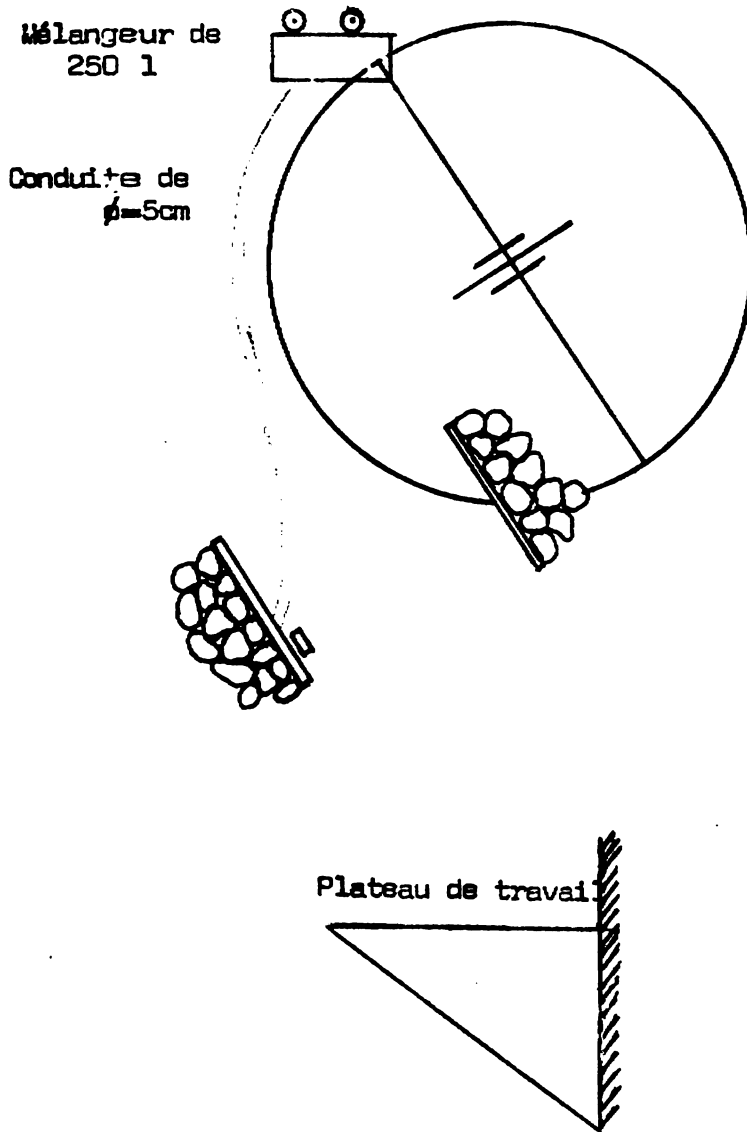


Fig. VI-8: Schéma d'un appareil pour l'application du béton-presse.





Fig. VI-9: Schéma d'un dispositif de transport de matériaux.

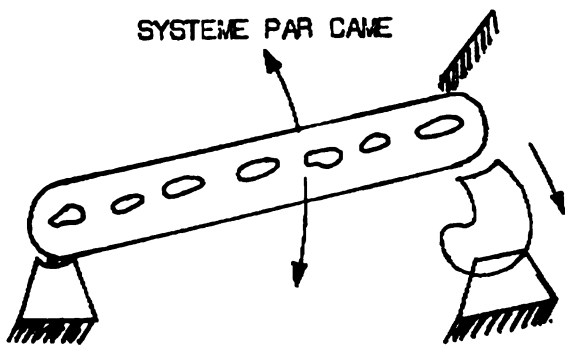
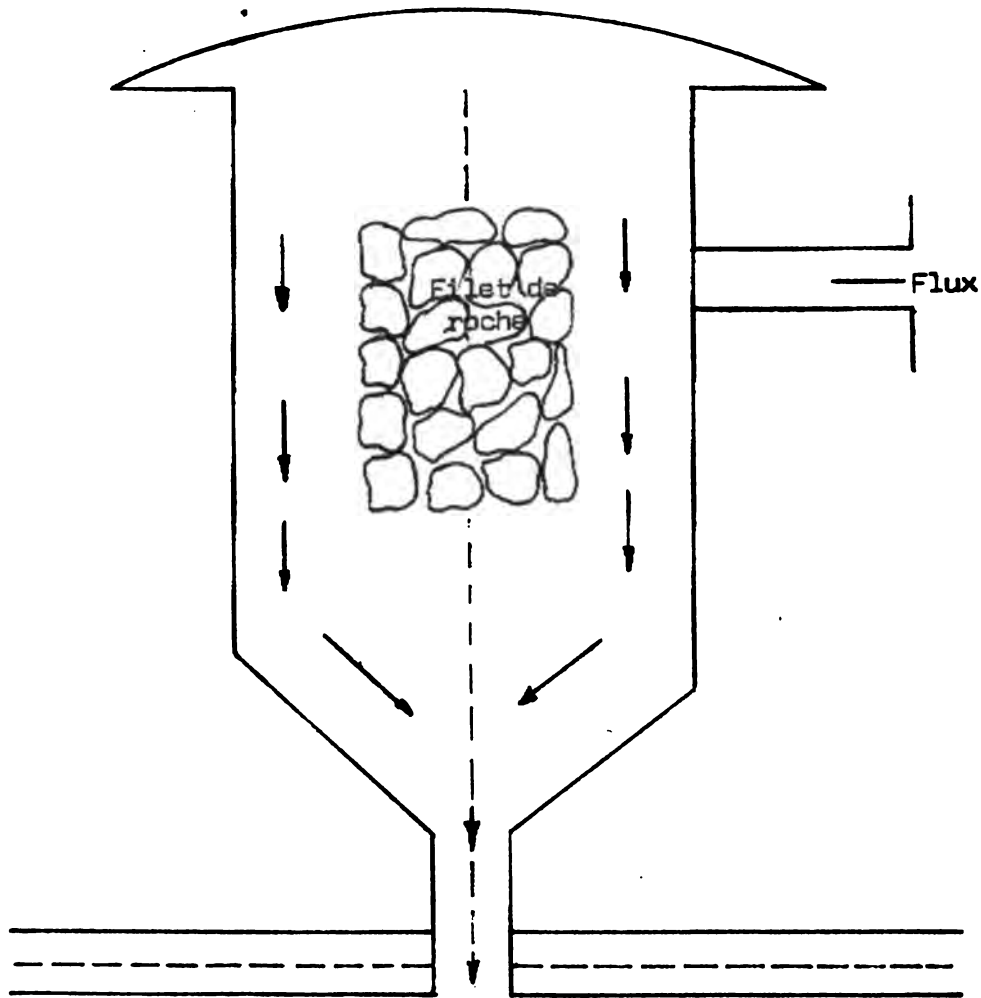


Fig. VI-10: Schéma des grillages mobiles.

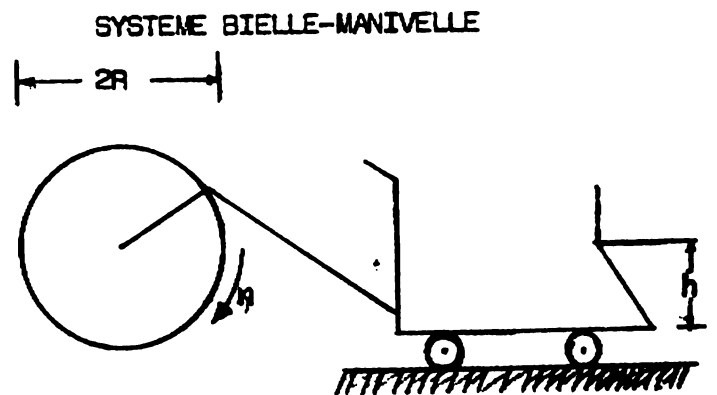
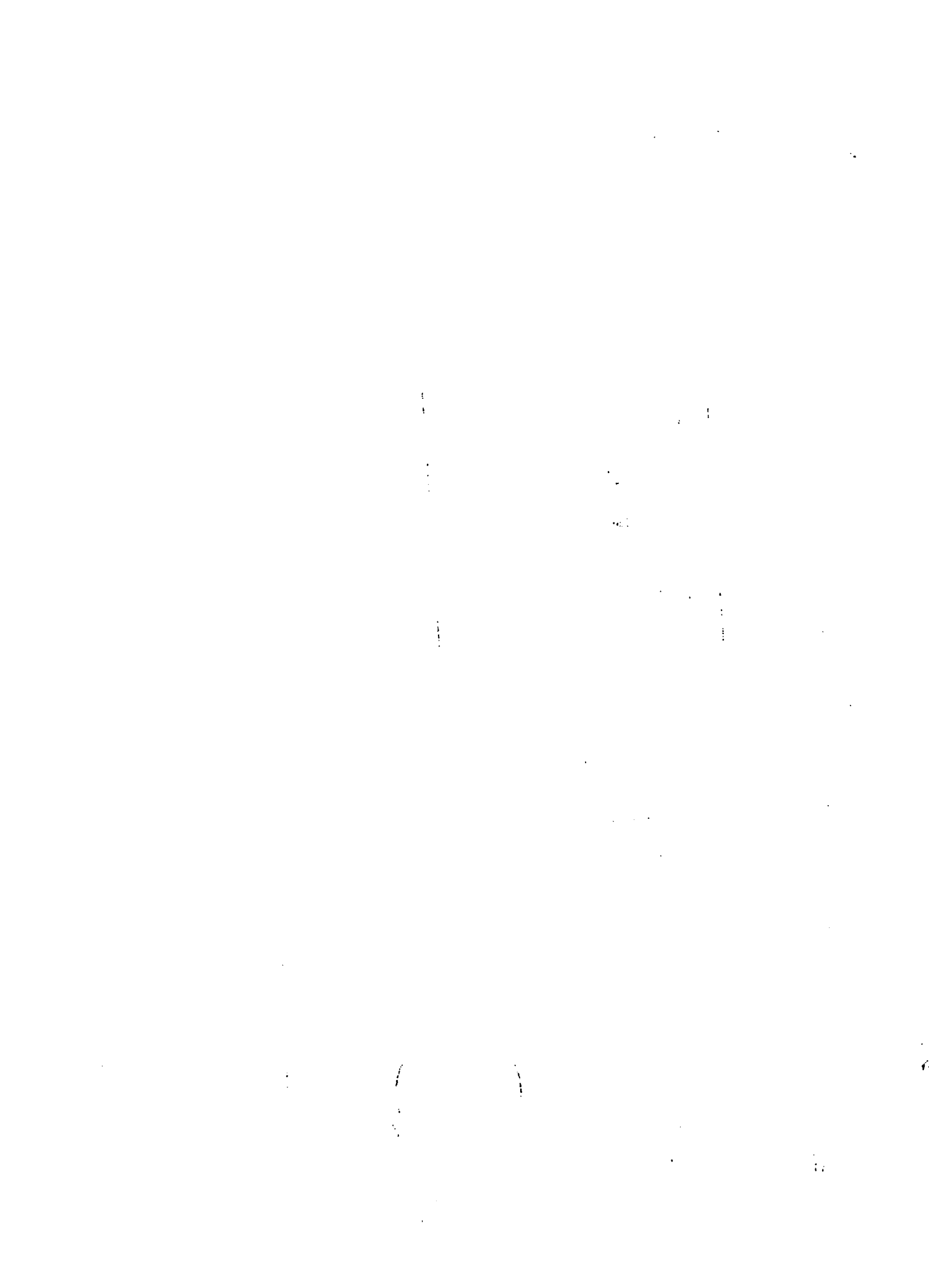


Fig. V-11: Schéma d'un véhicule dynamique Système bielle-manivelle.



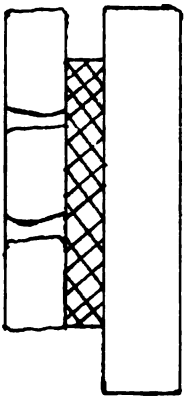
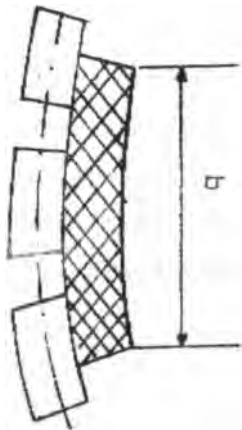
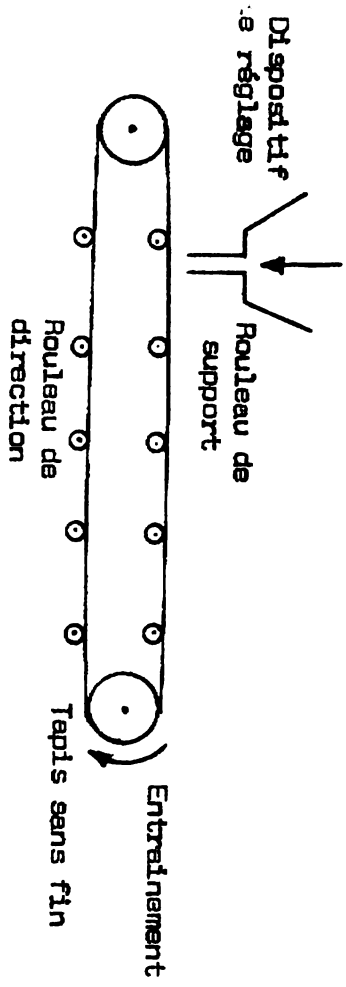


Figure VI-12: Schéma d'un dispositif de transport tapis sans fin.



Elles peuvent être déplacées ou démontées à partir de la plateforme du bateau; des rotules spéciales sont utilisées pour déplacer la pompe qui est toujours reliée à un tuyau flexible.

- Filet de roches

Pour empêcher que des roches de grandes dimensions aspirées par la conduite détériorent la pompe, on place dans la conduite quelques filets de roches. Ces filets doivent être étanches pour éviter toute perte de pression et doivent permettre un démontage rapide.

Pour le transport des matériaux, on utilise les grillages mobiles, Fig. VI-12, dont le mouvement est assuré par disque en forme de came ou en forme elliptique. La pente par rapport à l'horizontale ne doit pas dépasser  $30^{\circ}$ . Ces grilles peuvent être en bois ou en acier. L'accélération terrestre est l'une des composantes du déplacement du matériau.

### 6.13.3 Véhicule dynamique

Pour le contrôle du ciment et des autres composantes à partir des silots, on utilise ces véhicules dynamiques actionnés par un dispositif excentrique entraîné par un dispositif bielle-manivelle. La puissance des véhicules dynamiques est calculable à partir des dimensions géométriques de la machine et du régime du mécanisme. La puissance  $L_0$  en  $m^3/s$  sera:

$$L_0 = \frac{2bhrn}{60}$$

b : largeur

h : hauteur de transport

r : rayon de la manivelle



$n$  : régime du mécanisme bielle-manivelle RPM (tours par minutes)

Le réglage du véhicule dynamique peut se faire:

- a) en faisant varier la hauteur  $h$
- b) en faisant varier le rayon  $r$
- c) en faisant varier le régime  $n$

Ce dispositif est utilisable pour tous les granulats quelque soit leurs dimensions.

### Tapis Roulant

Il se compose d'une bande en caoutchouc vulcanisé montée sur des rouleaux de support et de direction. Les rouleaux de support sont montés d'après un trapèze (Fig.VI-12) tandis que les rouleaux de direction sont montés horizontalement. Aux deux extrémités, on retrouve deux rouleaux, l'un fixé à la source d'énergie pour garantir l'entraînement, l'autre monté sur un dispositif de réglage appelé coulisse pour permettre le montage, démontage, et serrage de la bande. La distance entre les rouleaux varie de 0.90m à 1.50 m (rouleau de support); elle est deux fois plus grande pour les rouleaux de direction. Après le rouleau d'entraînement, on dispose la plupart du temps des grattoirs, des brosses pour le nettoyage.

### Caractéristiques techniques

La largeur du tapis est choisi selon la granulométrie ou bien on choisit deux fois la grosseur maximale du grain à transporter plus 20 cm ( $2G_{\max} + 20$  cm) ou bien quatre fois la grosseur maximale  $G_{\max}$  du grain à transporter plus 15 cm ( $4G_{\max} + 15$ ). La puissance théorique de base  $L_0$  dépend de la vitesse de la bande. On considère dans ce cas  $z = 0.88$  et  $e_1 e_2 = 0.95$ . La pente maximale est de  $20^\circ$  pour les tapis lisses et de

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100

100



40° pour les tapis rugueux. L'entraînement est garanti, la plupart du temps, par moteur électrique avec un système de retransmission par courroi et la mise en marche n'est possible que lorsque la bande est vide. La puissance nécessaire pour un tapis roulant est :

$$N = \frac{3.28 \times L_0}{1000} (cl + h).$$

- $L_0$  : Quantité à transporter en t/h  
 $l$  : Longueur de la bande transporteuse (distance d'axe en axe rouleau de réglage et rouleau d'entraînement)  
 $h$  : Hauteur de transport en mètre  
 $c$  : Coefficient dépendant de la largeur de la bande.

Le tableau qui suit donne les valeurs du coefficient  $c$  pour des largeurs données et pour des poids spécifiques de 0.8 et 1.6

Tableau VI-5: Valeurs de  $c$  pour les largeurs données et pour poids spécifique de 0.8 et 1.6.

Largeur	$\gamma = 0.8$	$\gamma = 1.6$
300mm	$c = 0.177$	$c = 0.127$
600mm	$c = 0.181$	$c = 0.130$
900mm	$c = 0.150$	$c = 0.115$
1000mm	$c = 0.147$	$c = 0.112$
1200mm	$c = 0.138$	$c = 0.105$
1500mm	$c = 0.126$	$c = 0.099$

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

The second part of the document details the various methods used to collect and analyze the data. It includes a list of the different types of surveys and interviews conducted, along with the specific questions asked.

The third part of the document presents the results of the data analysis. It shows the trends and patterns that emerged from the data, along with any significant findings.

The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It explains how the results can be used to inform decision-making and to identify areas for improvement.

The fifth part of the document provides a summary of the key findings and conclusions. It highlights the most important results and offers recommendations for future research.

- Appendix A: List of participants and their contact information.
- 1. Mr. John Doe, 123 Main St, New York, NY 10001
  - 2. Mrs. Jane Smith, 456 Elm St, Los Angeles, CA 90001
  - 3. Mr. Robert Brown, 789 Oak St, Chicago, IL 60601
  - 4. Ms. Emily White, 101 Pine St, San Francisco, CA 94101
  - 5. Mr. David Green, 202 Cedar St, Houston, TX 77001
  - 6. Mrs. Sarah Black, 303 Birch St, Phoenix, AZ 85001
  - 7. Mr. Michael Red, 404 Spruce St, Philadelphia, PA 19101
  - 8. Ms. Lisa Blue, 505 Willow St, San Diego, CA 92101
  - 9. Mr. James Purple, 606 Ash St, Dallas, TX 75201
  - 10. Mrs. Karen Yellow, 707 Hickory St, Austin, TX 78701

6.14 DISPOSITIFS DE DISTRIBUTION

Quand on ne s'intéresse pas à une distribution exacte des matériaux, on utilise des dispositifs pour l'accomplissement de cette tâche.

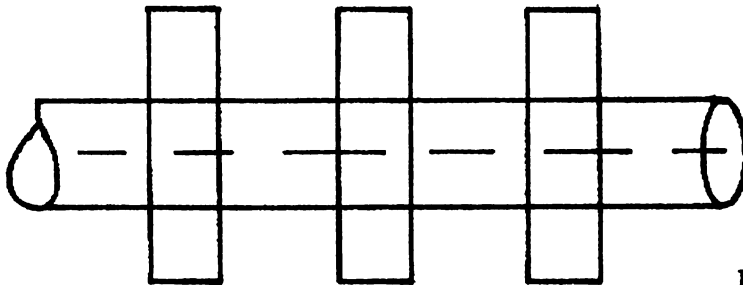
Distribution gravitaire (glissement)

Fig. VI-13

Le poids propre du matériau le permet de glisser. La pente maximale est de  $40^\circ$  à  $50^\circ$ . La puissance de distribution est de  $1.5$  à  $3.0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$  de surface de grillage.

Distribution pendulaire

Ce type de distributeur s'emploie pour toutes les tailles de granulats

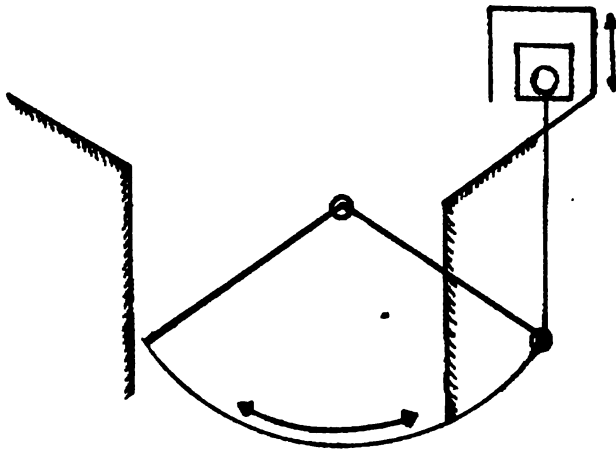


Fig. VI-14

Handwritten text, possibly a signature or initials, located in the upper right quadrant of the page.

Handwritten text, possibly a signature or initials, located in the lower center of the page.

### Répartiteur à cellules

Ce dispositif est utilisable seulement pour des matériaux fins. Il consiste en une roue tournante placée dans un carter.

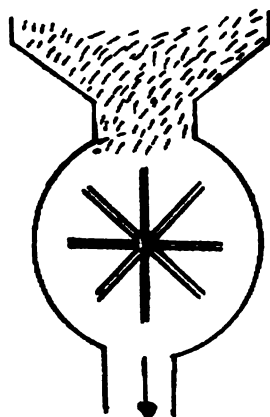


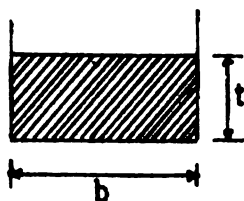
Fig. VI-15

### Transporteur à couloir

Le transport se fait dans des caissons à partir de la pesanteur. La section du caisson  $A = b \times t$ .

TABLEAU VI-6 : Dimensions des caissons pour divers diamètres de granulats.

granulats (mm)	b (cm)	t (cm)	épaisseur en (mm)
25	20	15	3.4
70	40	25	5
100	50	30	6
150	60	35	6





Pour une vitesse de glissement constante, la pente doit être choisie de telle sorte que  $\text{tg } \beta = \mu$  ( $\mu$  coefficient de frottement) qui varie de 0.3 à 0.4 .

Ce calcul tient compte du facteur de remplissage :

$$f = 0.30 \text{ à } 0.55$$

Au démarrage la vitesse du matériau doit être égale à la vitesse du transporteur à couloir, où :

$$v = (2gh)^{0.5}, \text{ en m/s}$$

$h$  : hauteur d'arrivée du matériau (m)

La puissance technique utilisable devient :

$$L_n = 3600 \cdot f \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Où :

$L_n$  = Puissance technique utilisable  $\text{m}^3/\text{h}$

$A$  = La surface  $\text{m}^2$

$f$  = facteur de remplissage

### Echelle de descente

Elle est utilisée pour le transport de gros matériaux capables de se détériorer.

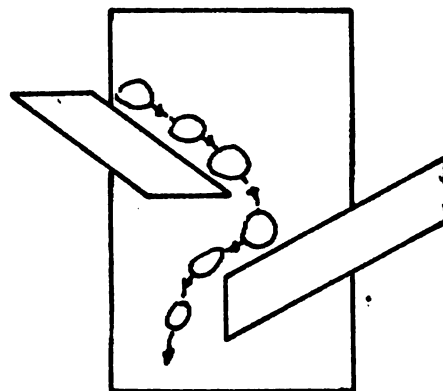
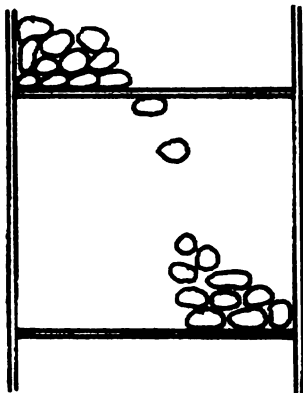
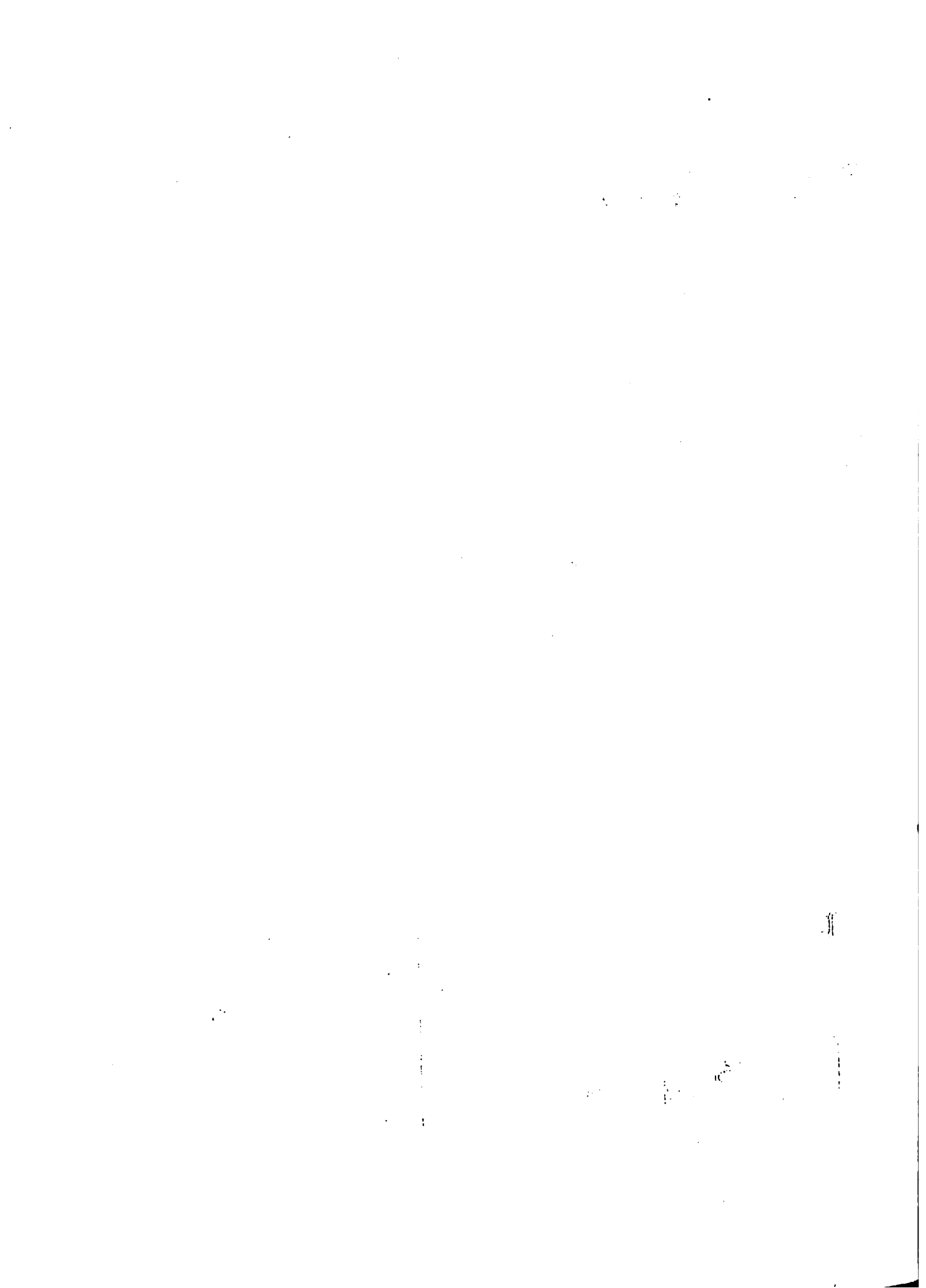


Fig. VI-16





Bande à plateau

Elle est utilisée pour le transport de gros matériaux.

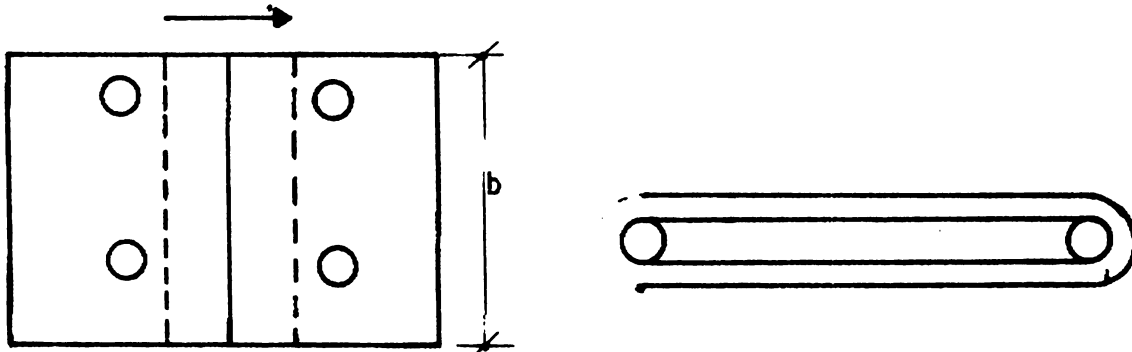


Fig. VI-17

Puissance théorique de base

$$L_0 = 30 b + 55 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

b = largeur du plateau en mètre.

Tapis roulant portatif et autopropulse

Largeur allant = 500 mm

Longueur allant à 10 m

Vitesse = 1.5/s

La hauteur est réglable.

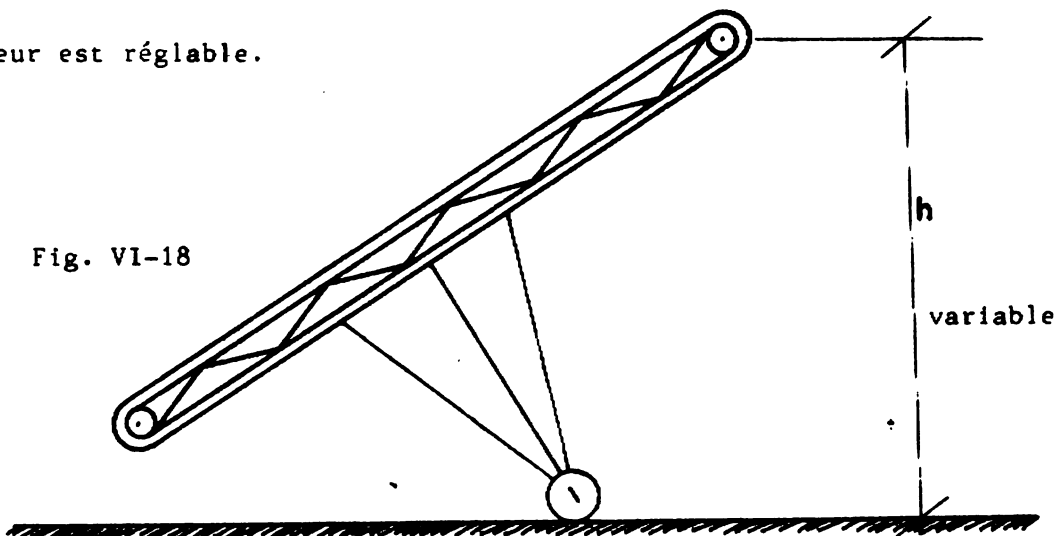
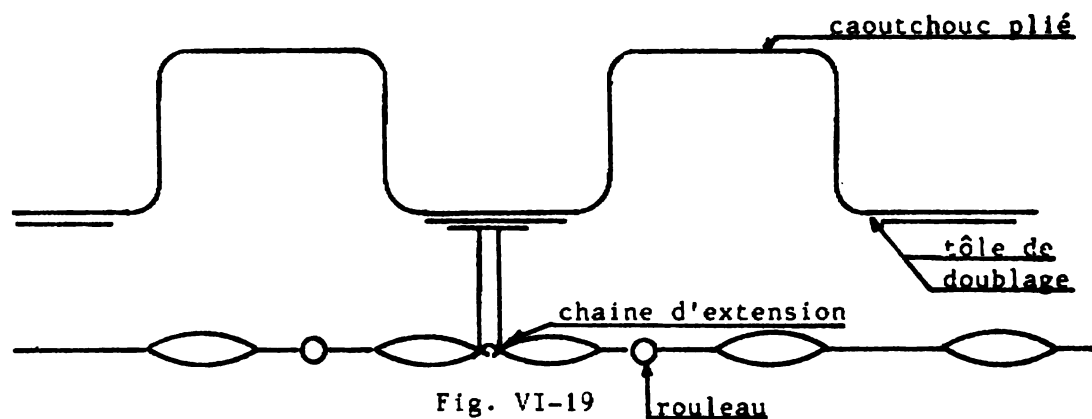


Fig. VI-18



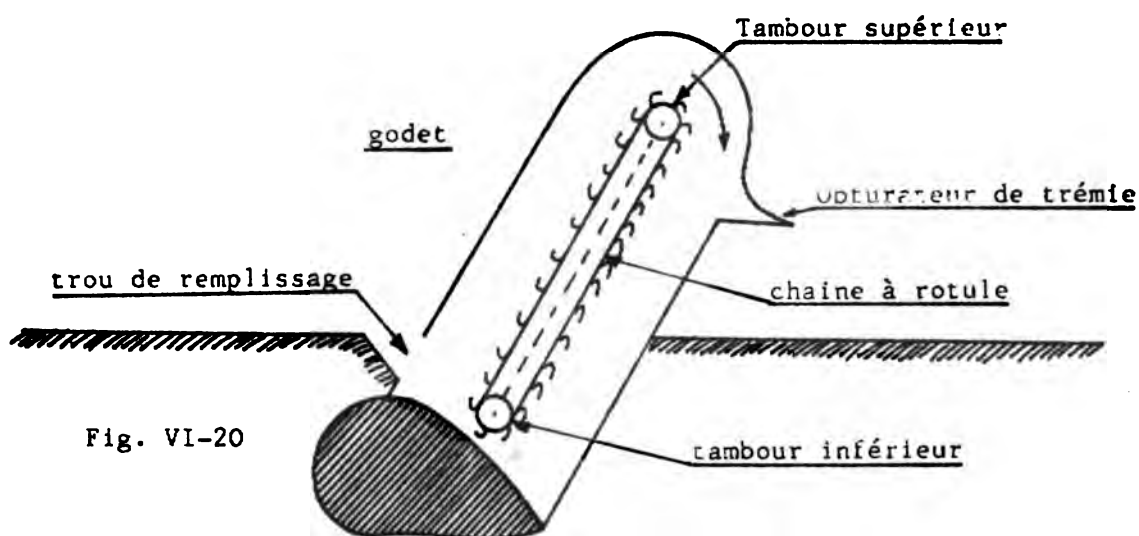
### Bande pliée

Elle est utilisée pour transporter des matériaux sur des pentes raides. Avec ce type de transporteur, le travail peut être effectué dans les deux sens.



### Élévateur à godets

Il sert à transporter aussi bien des éléments fins que les éléments bruts.



Largeurs des seaux standardisés : DIN 15320      0.80 à 1.00 m.

Contenu du seau : 0.1 l à 500 l = I

Distance entre seaux : a



Vitesse de la chaîne :  $v$

Puissance technique utilisée :  $L_n = \frac{z \times e \times f \times I}{a} \times v \text{ (dm}^3/\text{s)}$

Quantité transportée ou Puissance théorique de base:

$$L_0 = \frac{f \times I}{a} \times v \text{ (dm}^3/\text{s)}$$

avec :  $z = 0.95 \times e_1 e_2 = 0.85 \text{ à } 0.95$

Puissance requise avec  $f = 1$  (degré de remplissage)

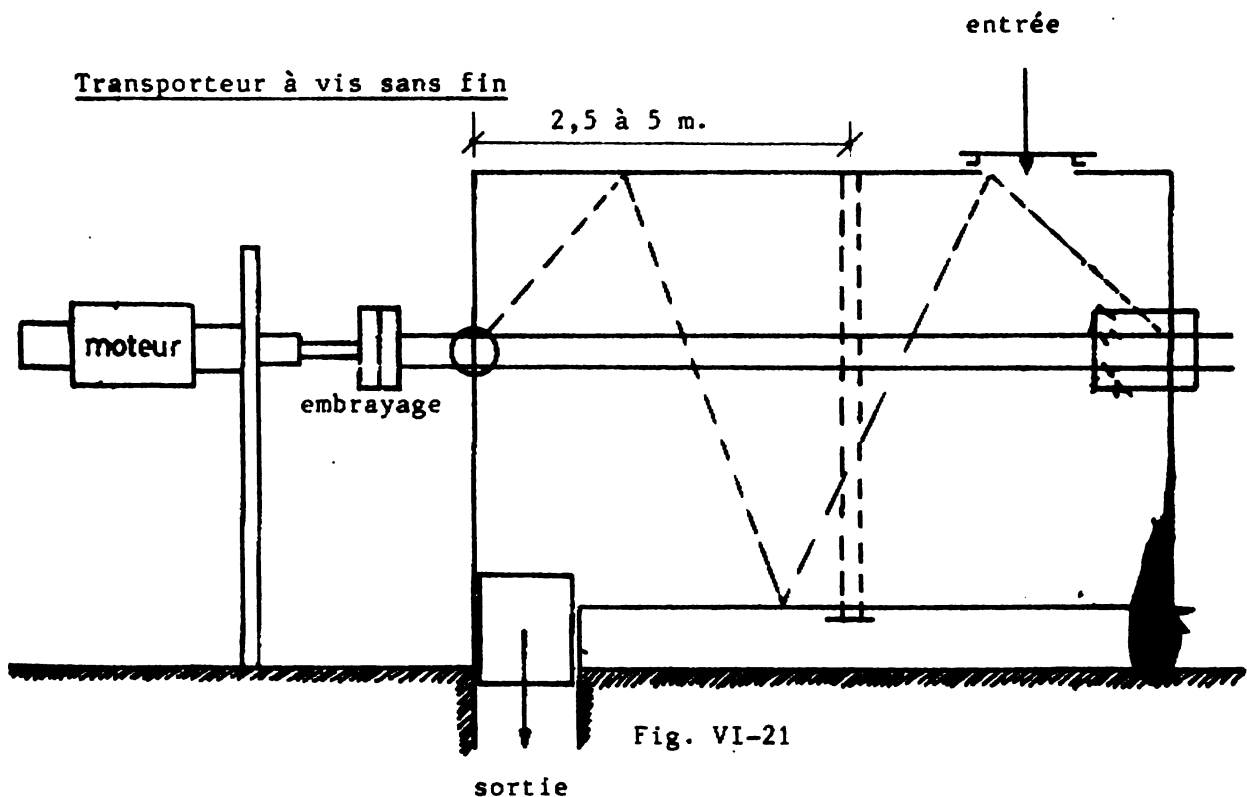
$$\gamma = 1.8 \text{ kg/dm}^3$$

$$N = \gamma \times L_0 \times h \text{ (kgm/s)} = 9.81 \times 10^3 \gamma L_0 h \text{ (KW)} = f \times \frac{I}{a} \times v \cdot h \cdot \gamma \text{ (Kw)}$$

Utilisation spécifique de puissance :

$$\epsilon = \frac{N}{L_n} = \frac{f I v h \gamma \times 9.81 \times 10^3}{z e f I v \times 3600} \frac{a}{a} \frac{\text{(Kwh)}}{\text{m}^3}$$

$$\epsilon = \gamma \times h \text{ (Kwh/m}^3\text{)}$$





La vis sans fin est entraînée par un moteur électrique. Cette vis sert au transport en horizontale ou sur des pentes. Elle peut être utilisée pour le transport du ciment, du sable etc. La distribution à débit constant est assurée. Le matériau reste dans le dispositif et assure une mise en marche en charge. Plusieurs vis peuvent être utilisées en série, les unes après les autres.

La puissance de base théorique :

$$L_0 = \frac{\bar{\mu} d^2}{4} \cdot s \times \frac{n}{60} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

Avec  $d$  : diamètre de la vis (m)

$s$  : pas de la vis ou pente (m)

$n$  : régime du moteur, 60 - 140 RPM

La puissance technique utilisable est :

$$L_n = z.f.\eta \cdot \frac{\bar{\mu} d^2}{240} \times s.n \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$f$  : degré de remplissage varie de 0.15 à 0.45

avec  $f = 0.30$  pour le ciment

$f = 0.15$  pour le sable

$z = 0.90$

$\eta$  = coefficient de pente varie avec l'angle de pente ou de montée.

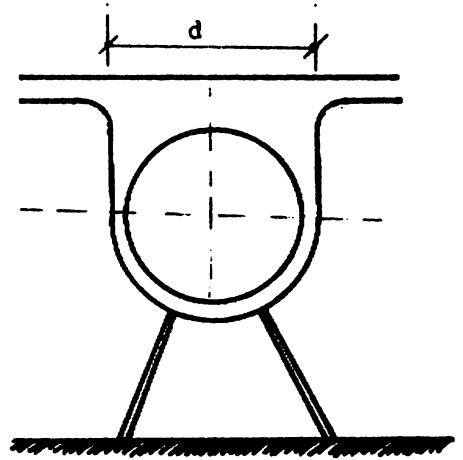


Fig. VI-22

TABLEAU VI-7: Valeurs de  $\eta$  d'après l'angle de la pente.

Angle de la pente	0	5	10	15	20	25
$\eta$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5

Pour chaque  $3^\circ$  de pente, la résistance des matériaux pendant le transport (W) augmente de 15%.

*[Faint handwritten text]*



La puissance d'entraînement du moteur est :

$$N = K.Ln.\gamma.l.W$$

$$N = 0.002725 Ln.\gamma l x W \text{ (Kw)}$$

Avec  $\gamma$  : poids spécifique ( $t/m^3$ )

$l$  : longueur du transport (m)

$W$  : résistance des matériaux pendant le transport

$$W \text{ (sable, gravier)} = 5.0$$

$$W \text{ (ciment)} = 3.0$$

### Bande à grattoirs

Spécialement utilisée pour le transport du sable. On mélange le sable à l'eau. L'eau coule et le sable est transporté.

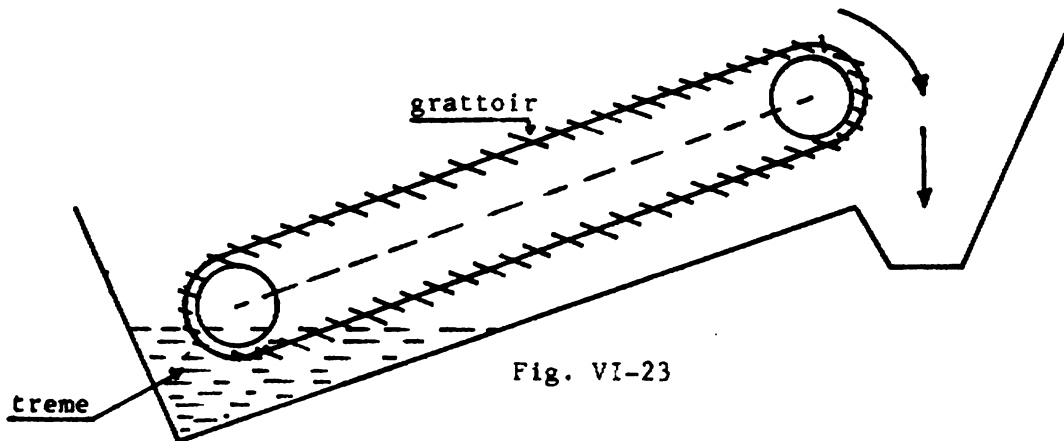


Fig. VI-23

### Transporteur dynamique

Ce système fonctionne par entraînement à excitation magnétique (par force d'excitation) ou par bielle manivelle (par vitesse d'excitation).

En général on établira les coordonnées dans le sens du mouvement :

$$\text{Amplitude : } x = (\dot{x}_0 : w) \text{ Cos } wt$$

$$\text{Vitesse : } \dot{x} = - \dot{x}_0 \text{ Sin } wt = P \text{ Sin } wt / |z|$$

$$\text{Accélération : } \ddot{x} = - \dot{x}_0 w \text{ Cos } wt$$

Angle de pente  $\alpha$  dans le sens du glissement observé.

5



$\alpha$  est limité par le coefficient de frottement  $\mu_g$

$|z|$  : Impédance;

$f$  : Excitation à défaut d'équilibrage.

### Mouvement d'une petite masse

Pour la descente de la gouttière, la plus petite particule est transportée jusqu'à ce que la force de freinage dépasse la force de frottement et la composante du poids.

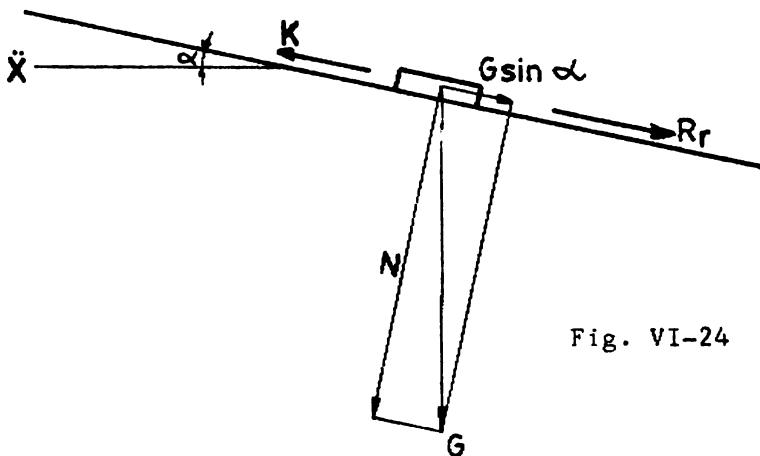


Fig. VI-24

$$K = \frac{G}{g} x \ddot{x} = G \sin \alpha + Rr$$

$$Rr = \mu_r \times N = \mu_r \times G \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha + G \mu_r \cos \alpha = \frac{G}{g} \ddot{x}$$

$$\ddot{x}/g = \sin \alpha + \mu_r \cos \alpha$$

$$\ddot{x} = g(\mu_r \cos \alpha + \sin \alpha)$$

Pour un temps  $t_1$  on a :



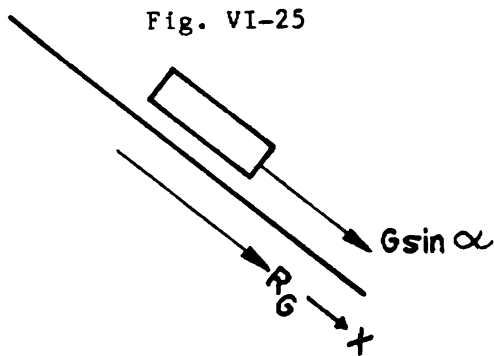
$$-\dot{x}_0 w \cos w t_1 = g (\mu_r \cos \alpha + \sin \alpha)$$

où :

$$t_1 = \frac{1}{w} \arccos -g/\dot{x}_0 w (\mu_r \cos \alpha - \sin \alpha)$$

### Régime permanent

Dans ce cas la plus petite masse de matériau à transporter doit prendre en compte le coefficient de frottement  $\mu_g$  pour le mouvement.

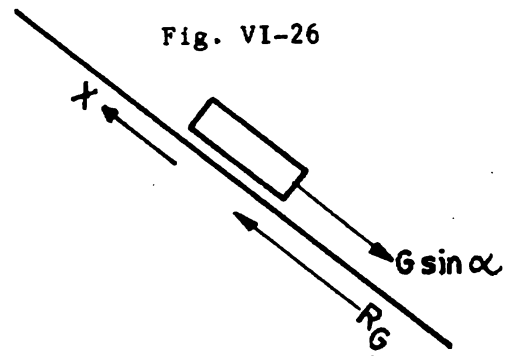


Mouvement de descente relative  
de la gouttière :

$$G \sin \alpha + \mu_g G \cos \alpha$$

Mouvement accéléré avec

$$\ddot{Y} = g(\mu_g \cos \alpha - \sin \alpha)$$



Mouvement de montée relative de la  
de la gouttière :

$$G \sin \alpha - \mu_g G \cos \alpha$$

Mouvement freiné avec

$$\ddot{Y} = -g(\mu_g \cos \alpha + \sin \alpha)$$

La vitesse du mouvement est obtenue par intégration en tenant compte des conditions limites.

$$\dot{Y} = \ddot{Y} (t - t_n) + \dot{y}_{t_n} = g(\mu_g \cos \alpha + \sin \alpha) (t - t_n) - \dot{x}_0 \sin w t_n$$

$$\dot{Y} = \ddot{Y} (t - t_{n+1}) - \dot{y}_{t_{n+1}} = -g(\mu_g \cos \alpha - \sin \alpha) (t - t_{n+1})$$

$$- \dot{x}_0 \sin \alpha t_{n+1}$$



La solution des deux équations transcendantes peut ainsi être trouvée graphiquement puisque à cause de la périodicité on doit avoir

$$t_{n+2} = t_n + 2\pi/w$$

La puissance de base théorique ou quantité transportée  $L_0$  peut être trouvée si la largeur de la gouttière  $B$  (cm) et la profondeur de glissement  $d$  (cm) sont connues.

$$L_0 = B \times d \times \dot{y} \quad (\text{cm}^3/\text{s})$$

Où :  $\dot{y}$  est la vitesse moyenne de transport connue à partir de :

$$\dot{y} = \frac{1}{2} (\dot{Y}_n + \dot{Y}_{n+1})$$

#### Transporteur vibrant - Convoyeur oscillant

Le transporteur des matériaux se fait à partir de la vibration. La fréquence interne du système est calculable à partir de :

$$f_e = (k/m)^{0.5} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

avec :  $w = (k/m)^{0.5}$

$k$  est une constante du ressort

$m$  la masse

Pour un système à 2 masses, si  $k_2$  est négligeable.

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1 (m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}$$

$$f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_r}} \quad \text{avec : } m_r = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$





Le système oscillant doit être agencé de sorte que par variation de la constante du ressort, sa fréquence interne soit supérieure à sa fréquence d'excitation.

Schémas de principes du transporteur vibrant

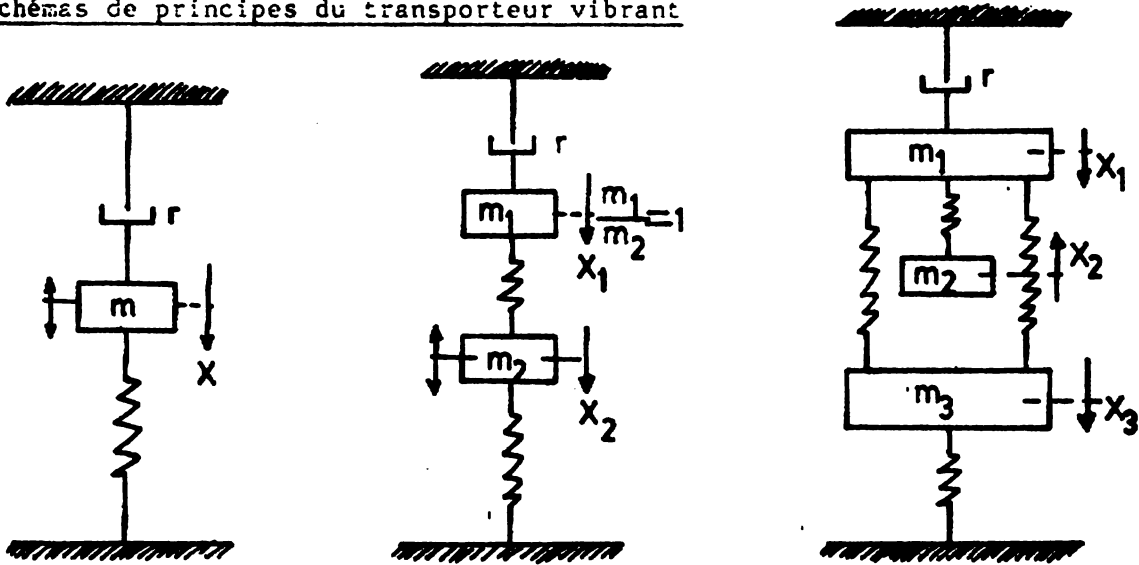


Fig. VI-27

Système à une masse

Système à deux masses

Systèmes à trois masses

Transporteur par courroie avec excenter

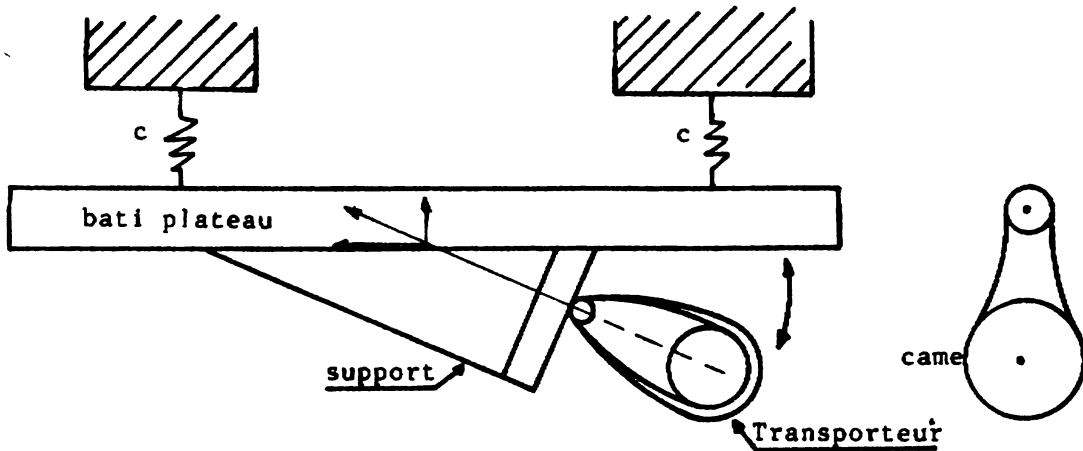


Fig. VI-28



Systèmes Bielle-manivelle continue (Excitation à partir de la vitesse)

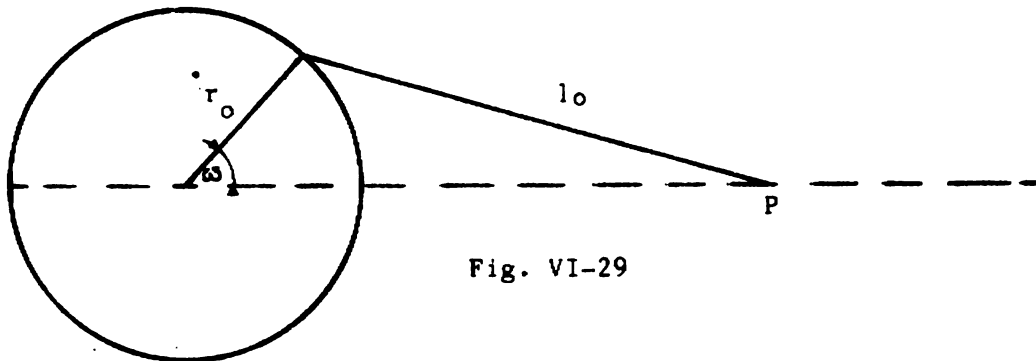


Fig. VI-29

La Courbe de  $p$        $S_p = r_0 \cos \omega t + \sqrt{l_0^2 - r_0^2 \sin^2 \omega t}$

La vitesse est calculable pour différents  $l_0$ .

Système à treuil

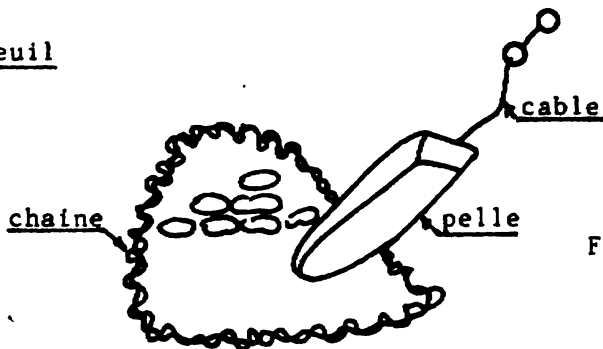


Fig. VI-30

Le treuil déplace la pelle qui est dirigée à la main. Le retour est assuré par le travailleur.

La vitesse varie de 0.5 à 0.8 m/s.

La force de traction 500 à 800 kg.

La puissance utile est de 5 CV.

La puissance technique utilisable  $L_n$  peut être trouvée à l'aide du tableau suivant:



TABLEAU VI-8: Puissance technique utilisable ( $m^3/h$ ) selon le chemin de transport et la quantité de jeu.

Chemin de Transport (m)	3	6	9	12	15
Quantité de jeux	40	36	32	28	24
Puissance technique utilisable $m^3/h$ .	10	9.5	9.0	8.5	8.0

### Téléchérique

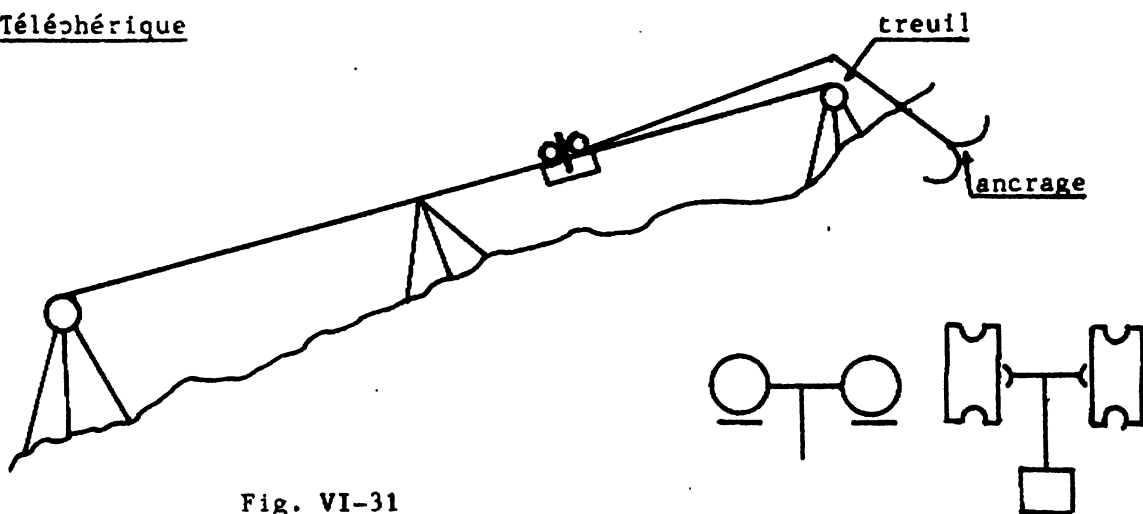


Fig. VI-31

Ce système est très économique pour les travaux en montagne.

### Transporteur hydraulique

Le transport est garanti et la séparation est possible suivant une certaine granulométrie.



Fig.VI-32: Schéma d'une pompe à béton simple ou en tandem (à piston horizontal).

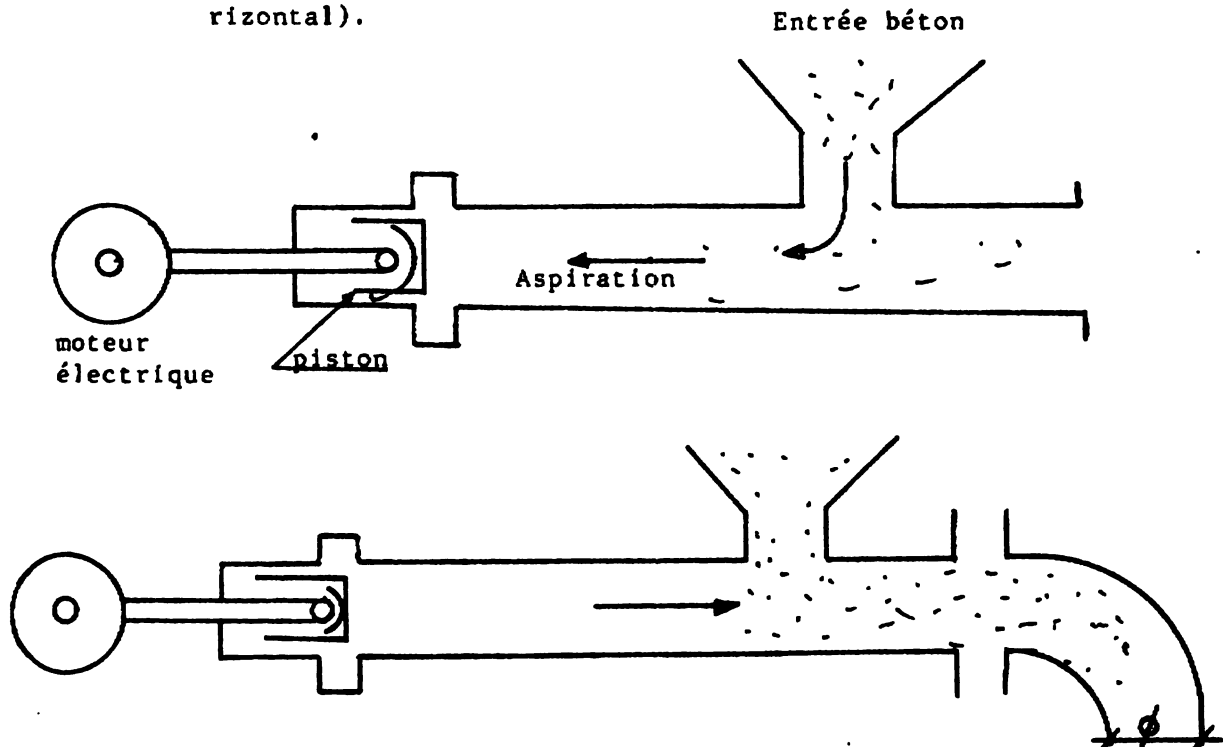


Fig. VI-33: Schéma à béton à entrainement mécanique (Bielle manivelle - Moteur électrique).

TABLEAU VI-9: Relations d'une Pompe à Béton à entrainement mécanique

Quantité théorique Max. transportée	$m^3/h$	14.45	23.5	47
Quantité de cy- lindres	n	1	1	2
Diamètre de la conduite de transport	mm	125-150	150-180	150 à 204
Puissance atteinte	$m^3/h$	12	20	40
Diamètre du cy- lindre	mm	160	195	195
Puissance Mot. électr.	Kw	20	35	45

1



### Pompe à béton à entraînement hydraulique

Cylindre hydraulique ou verin hydraulique, c'est le même principe de fonctionnement que pour les pompes à entraînement mécanique, sauf que dans ce système l'huile sous pression actionne le piston hydraulique. Ce système peut être monté sur dispositif à un essieu ou sur camion spécial.

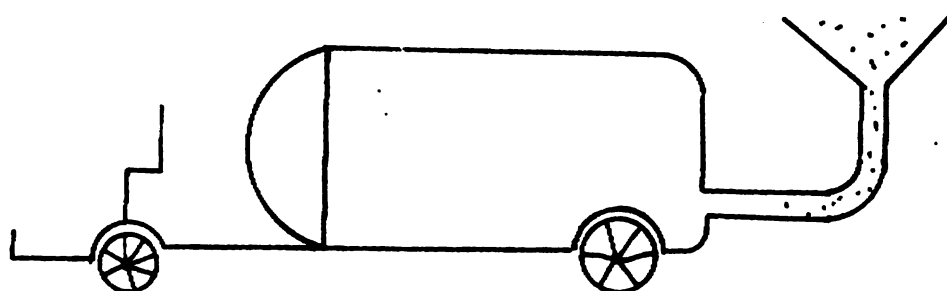


Fig. VI-34

Longueur de transport maximum 300 m.

Hauteur de transport maximum 50 m.

Puissance théorique de base du transport :

$$L_o = 60 \times \eta \times A \times n \times S = 15 \times \eta \times n \times s \times \pi d^2$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \text{ section piston (m}^2\text{)}$$

S = Course du piston (m)

d = Diamètre du piston (m)

n = Jeu du piston par minute

$\eta$  = Rendement volumétrique dépend de la longueur du transport.



TABLEAU VI-10: Rendement volumétrique  $\eta$  pour différentes longueurs du transport

Largeur	m	80	135	190	245	300
$\eta$	%	95	93.5	90	87.5	85

#### Transporteur pneumatique

Ce mode de transport est utilisé, la plupart du temps, pour le ciment. C'est un système simple, utilisant un courant d'air artificiel avec un ventilateur ou un compresseur.

#### Transporteur horizontal

TABLEAU VI-11: Puissance d'un transporteur pneumatique selon la distance.

Largeur gouttière mm	Puissance t/h	Puissance (c.v.) fonction de la distance		
		5 m	10 m	50 m
125	20	0.27	0.45	1.20
200	50	0.38	0.75	2.4
300	60	0.40	0.85	2.9
400	80	0.50	1.00	3.60
500	120	0.55	1.10	4.5



Schéma de principe d'un transporteur pneumatique

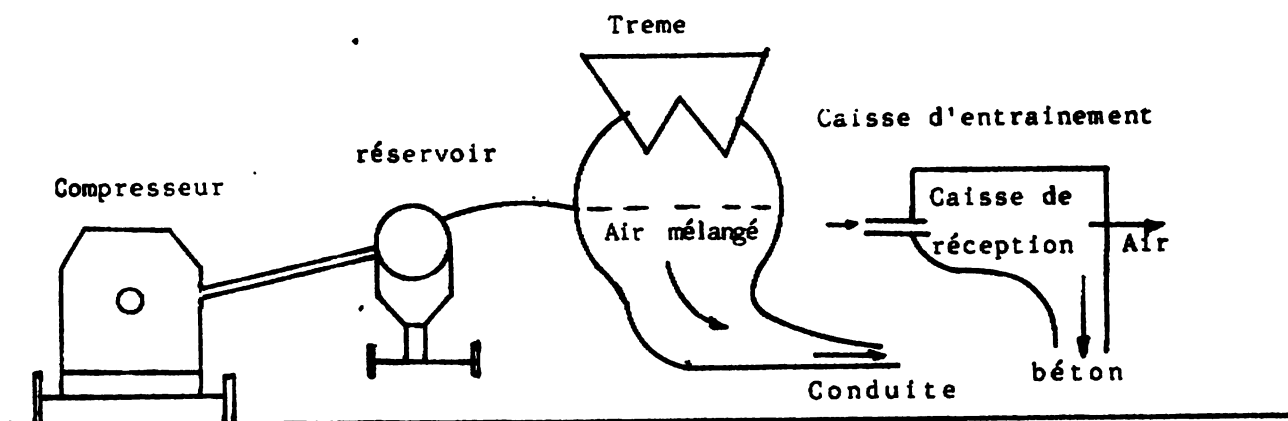
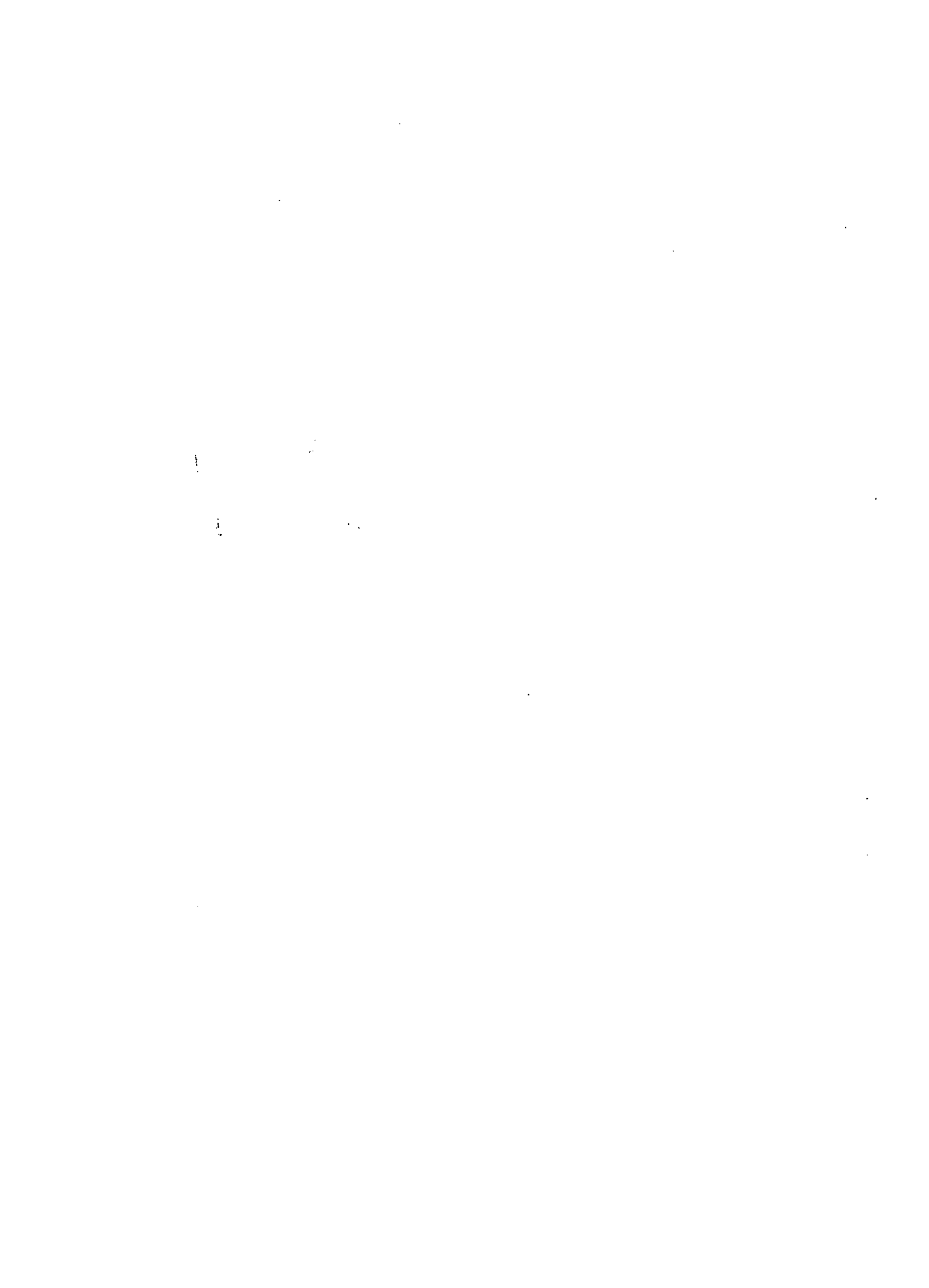


Fig. VI-35

L'air à 2.5 à 3.0 atmosphère entraîne 1 à 5 m<sup>3</sup> de béton. Le réservoir se trouve sous pression et contient 250 à 1 000 litres d'eau. Le béton une fois introduit, l'air comprimé presse le béton vers la caisse de réception.

La conduite de sortie a un diamètre variant de 150 à 180 mm. La longueur de transport maximum est égal à 300m. Le compresseur doit avoir 15 fois la puissance du béton à transporter. L'énergie utilisée varie de 2 à 2.5 kw h/m<sup>3</sup>.



### 6.15 Utilisation d'engins pour la construction de chaussées en Haïti

Après les travaux de topographie, les différents étapes de construction nécessitent l'utilisation d'engins du génie civil. Analysons ces étapes d'une façon systématique :

#### Tracé - débroussaillage

Pour garantir le passage d'engins, il faut se servir du tracé. Le premier déplacement de terrain consiste, alors, à préparer ce tracé. Il se fait ordinairement après un débroussaillage préliminaire qui consiste à déraciner arbres et arbustes qui se trouvent sur la piste. L'engin utilisé pour ce travail est le bulldozer qui est un tracteur à chenille. Leur puissance varie de 60 à 700 CV. Selon la taille des arbres on utilise des bulldozers de 6 tonnes à 86 tonnes.

#### Terrassement

Le déplacement de terrain qui suit la première phase de travail est réalisé avec le même type d'engins soit le bulldozer ou tracteur à chenilles. Cependant, il faut tenir compte des conditions du terrain à déplacer. Par exemple pour le travail sur les dévers il faut tenir compte de la nature du sol, des charges excessives, de la vitesse et d'autres facteurs qui peuvent influencer le travail. On utilise par exemple, un bulldozer de 15 tonnes pour préparer la place de travail d'un bulldozer de 30 tonnes. S'il faut atteindre une certaine productivité on tiendra compte des possibilités du bulldozer et du type de matériau à déplacer.

La plupart des matériaux peuvent être déplacés au moyen du bulldozer. Cependant les caractéristiques suivants doivent être retenues.

l'humidité du sol, la compacité du terrain, la taille et la forme des particules. Au cas où le rendement du bulldozer est négligeable surtout dans les sols rocaillieux on utilisera la dynamite pour l'ouverture préliminaire.





### Dynamitage

Au cas où le terrain ne permet pas son terrassement direct au bulldozer, on utilise la dynamite. Pour cela on s'en sert du compresseur à air comprimé qui fait fonctionner des marteaux et perceuses pour la préparation des ouvertures devant recevoir les batonnets de dynamite. Ces trous sont de profondeur variable et dépend du volume à déplacer (0,60 - 1,20 m). Ce dynamitage est surtout utilisé dans les zones d'Haiti communément appelés "Zones de Roche Ravet" ou "Roches Marbre". En Haiti, il existe une section spécialiste des forces armées qui s'occupe de l'exécution des tirs à la dynamite qui sont très dangereux.

Le nettoyage à la suite des tirs se fait au bulldozer. Là encore le choix de l'engin se fera en fonction de la taille des déchets de tir. Le calcul de la force de poussée du bulldozer permet de choisir le type d'engin.

### Compactage

Dès que le terrassement au bulldozer est terminé, c'est-à-dire la base de la chaussée garantie, la section trapézoïdale garantie, on passe à la phase de compactage préliminaire qui varie selon le type de sol. La profondeur maximale de compactage varie de 15 cm à 150 cm selon le type statique ou dynamique.

L'engin utilisé pour le compactage s'appelle rouleau. Il existe plusieurs types de rouleaux : les rouleaux lisses et les rouleaux pneumatiques ou vibrants. L'apport de remblai se fait par couches d'une épaisseur précise. Le remblai utilisé en Haiti est le tout venant de rivière.

Selon le terrain on utilise par endroit un mélange de sable et de ciment afin d'éviter l'affaissement du terrain. Le déchargement ou transport du remblai ou tous les matériaux provenant de la rivière s'effectue à l'aide des camions à benne basculante de contenance variée. Leur utilisation est calculée en fonction du site d'exploitation de la facilité d'accès au chantier et de la programmation du travail. Le tas est alors placé à interval-



les réguliers et l'élargissement se fera au grader ou à la niveleuse.

### Nivelage

Pour étendre la couche de remblai au même niveau avant le compactage, on se sert d'un grader ou niveleuse. Cet engin est monté sur 6 pneus et possède une lame manoeuvrable à  $90^{\circ}$  dans les deux sens placés sous le bâti. Son poids varie selon le type de 12 à 24 tonnes de 120 à 250 CV de puissance. Cet engin permet d'obtenir les pentes voulues avec beaucoup de précision en utilisant des points de repère. La niveleuse est aussi utilisée pour étendre les gravillons, les graviers, la poudre de roches, le remblai selon les besoins du chantier avec toute la précision voulue. Le compactage suit automatiquement l'étalage de la couche nivelée.

Il existe par conséquent, plusieurs nivelages et compactages au cours de la préparation des couches de base de la chaussée.

### Chargement de matériaux

Pour charger le tout venant de rivière ou remblai on se sert d'un chargeur ou loader qui est un engin avec godet frontal sur chaînes ou sur pneumatiques. Sa puissance varie entre 65 et 690 CV et la contenance du godet varie de  $1 \text{ m}^3$  à  $5 \text{ m}^3$ .

Le godet peut être levé, abaissé et vidé. Pour cet engin, le choix des pneus ou des chenilles dépendra des conditions de chargement, c'est-à-dire du terrain. Les deux efforts à considérer sont l'effet de levage et l'effort d'arrachage pour garder la machine en équilibre. Le choix de la machine dépendra de la production à atteindre, du cycle de travail, du rendement par cycle; ce qui permettra de déterminer aussi la taille adéquate du godet. Pour faciliter le chargement, il faut opérer la mise en tas qui se fait à l'aide du bulldozer quand il s'agit de tout venant de rivière. Le rendement volumétrique sera une fonction du godet en tout premier lieu. Lorsque le terrain terrassé n'offre aucune garantie de compactage, on procède au déblayage et au remplacement par de meilleurs matériaux.



## CHAPITRE VII

### LES COUTS

#### 7.1 Types de coûts

En construction, il existe un grand nombre de coûts qui peuvent être groupés de différentes façons. Nous vous présentons un certain groupement. Toutefois, cette division ne se veut pas standard et encore moins complète, mais elle a le mérite de refléter la réalité et l'usage. C'est tout simplement une façon d'unifier sous des titres généraux les coûts les plus communément employés au sein de l'industrie de la construction. Par conséquent, l'estimateur qui oeuvre dans un autre domaine que celui de la construction devra adapter cette classification à sa spécialité et à ses besoins.

Les coûts de construction, suivant l'envergure du travail à effectuer et suivant la manière que les opérations et/ou activités seront réalisés, comprennent à des degrés divers les éléments suivants:

- le coût de la main d'oeuvre;
- le coût des matériaux;
- le coût de la machinerie et des équipements;
- le coût des méthodes de construction;
- le coût des difficultés spéciales d'exécution et
- le coût des frais généraux.

L'estimateur consultera donc les fabricants, les fournisseurs et les entrepreneurs spécialisés afin d'obtenir d'eux le coût exact des matériaux et des équipements ainsi que celui de leurs installations. Toutefois, il se peut que l'estimateur doive éta-



blir les coûts d'exécution de certaines activités qui seront réalisées à l'aide des employés permanents et occasionnels de sa firme. A ce moment-là, il devra puiser à plein dans son expérience personnelle et, si nécessaire, faire appel à des compagnons de travail pour compléter son expérience.

Etablir des coûts d'après la réalité, c'est donc consulter toutes les personnes susceptibles d'aider l'estimateur dans son travail.

#### 7.1.1 Coût de la main d'oeuvre

Pour établir le coût de la main d'oeuvre, l'estimateur doit déterminer le plus spécifiquement possible la durée de travail requis d'un ouvrier de la construction pour accomplir une opération ou une activité donnée. Cette durée sera donnée en "heures-hommes" puis multipliée par le "taux horaire" du salaire correspondant de l'ouvrier afin de la traduire en coût de main d'oeuvre. Au taux horaire, l'estimateur devra ajouter les charges salariales applicables pour obtenir le coût réel à l'entrepreneur.

Par conséquent, le premier item à déterminer pour établir le coût de la main-d'oeuvre est la durée d'un travail. Seul l'expérience pertinente à un ouvrage donné peut établir, mais non sans erreur, la durée qu'un ouvrier prendra pour accomplir son travail. Certains livres comme ceux de Means et de Frank R. Walter fournissent des données statistiques à ce sujet. Encore ici, l'estimateur doit utiliser ces renseignements précieux avec beaucoup de prudence et de discernement; car, ces données sont excessivement variables selon le pays, la région et la ville où s'accomplit le travail ainsi que la saison pendant laquelle une activité donnée de construction est réalisée.





### 7.1.2 Coût des matériaux

Le coût des matériaux est ordinairement obtenu de deux façons, soit le prix à l'achat, soit le prix rendu au chantier.

Dans le cas du prix à l'achat, il faut entendre le prix fixé par le fournisseur à l'achat. Ce prix doit nécessairement être majoré des taxes applicables, des droits de douanes et/ou d'échange d'argent, s'il y a lieu.

Si le prix reçu est plutôt le prix rendu au chantier, c'est alors le prix obtenu à partir du précédent majoré des frais d'emballage, de chargement, de transport et de manutention et des pertes.

L'estimateur doit analyser ces coûts pour s'assurer s'ils sont globaux ou unitaires avant de les utiliser.

### 7.1.3 Coût de la machinerie et des équipements

Il existe deux sortes de coût de machinerie et/ou équipement, à savoir: coût d'achat et coût de location.

S'il s'agit d'une location, le coût est alors appliqué entièrement à l'opération et/ou activité à laquelle il se rapporte. Il ne faut pas oublier d'ajouter les taxes applicables et de vérifier si le coût de l'opérateur fait partie intégrante ou non du coût obtenu de location et si les autres frais d'opération sont compris ou non.

S'il s'agit plutôt d'un achat, l'estimateur devra opter selon l'importance de la machinerie et/ou équipement s'il doit imputer



le coût global d'achat ou seulement une portion de ce coût à l'opération et/ou activité concernée. Il ne faut pas oublier d'ajouter les frais d'opération de cette machinerie et/ou équipement tels que le coût de la gazoline ou du diésel, le coût de remplacement des pneus ou des chenilles. Il faut aussi s'assurer que le coût de ou des opérateurs a été aussi comptabilisé.

A certains moments, le coût d'achat ou de location de cette machinerie et/ou équipement est tout simplement crédité aux frais généraux de la soumission, surtout s'il s'avère difficile d'appliquer ce coût à une opération et/ou activité particulière.

#### 7.1.4 Coût des méthodes de construction

Le coût spécifique des méthodes de construction, considérées pour le travail concerné, s'obtient en estimant dans ses moindres détails toute la main d'oeuvre, tous les matériaux et tous les équipements requis par chacune des méthodes analysées. Il ne faut surtout pas oublier de tenir compte dans l'établissement des coûts totaux de ces méthodes des frais d'opération et d'entretien inhérents à chaque méthode. Au besoin, dans la préparation de ces coûts, l'estimateur consultera ses compagnons de travail expérimentés dans ce domaine et les spécialistes de chacune des méthodes de construction étudiées.

#### 7.1.5 Coût des difficultés spéciales d'exécution

Aux méthodes de construction, viennent se greffer les difficultés spéciales d'exécution des travaux. A ce propos, l'estimateur doit évaluer ces difficultés en analysant chacune des opérations de construction de l'ouvrage considéré, en visitant les lieux et en visualisant chaque étape de la construction. Ce travail re-



quiert énormément de concentration et d'expérience de la part de l'estimateur pour imaginer en quelques minutes et visualiser dans ses moindres détails toute la construction du projet. Encore ici, il devra au besoin consulter les personnes expertes en ce domaine.

#### 7.1.6 Coût des frais généraux

L'estimateur doit aussi préparer les coûts des frais généraux de l'entrepreneur général dans le cadre du projet soumissionné. Voici- ci-après une liste d'item possibles faisant partie des frais généraux. Il est à remarquer que cette liste ne se veut pas complète et encore moins limitative. L'estimateur devra donc s'assurer par lui-même qu'il a bien inclus tous les frais généraux possibles à être rencontrés durant le cours de la construction de l'ouvrage considéré.

##### A - permis ou autres permissions

- A.1 permis d'opération
- A.2 permis de construction et de démolition
- A.3 raccordement d'égout
- A.4 raccordement d'eau ou d'aqueduc
- A.5 permis pour entrée électrique permanente
- A.6 permis pour entrée de gaz
- A.7 permis pour entrée d'eau pour gicleurs (arrosage)
- A.8 permis pour trottoirs
- A.9 réparation des trottoirs et bordures
- A.10 réparation de la rue et services publics
- A.11 location du domaine public: rues, trottoirs, propriété publique
- A.12 location du ou des terrains adjacents et réparations
- A.13 permis pour alignement et niveaux
- A.14 réparations des propriétés adjacentes



**B - Assurances et cautionnements**

**B.1 cautionnements**

**B.2 assurances tout risque**

**B.3 assurance contre incendie**

**B.4 assurance responsabilités civiles**

**B.5 assurances contre les malfaçons**













## CHAPITRE VIII

### LE PLANNING

#### 8.1. Généralités

Le planning est un instrument permettant au gestionnaire de tirer le meilleur parti des informations qui sont à sa disposition afin de concevoir clairement la coordination des activités et d'établir un plan d'action contrôlable.

Les méthodes traditionnelles de planning représentent de façon sommaire les travaux à exécuter, mais ne représentent pas sur papier tout le processus logique de la réalisation. Ceci est dû au fait que dans les méthodes traditionnelles du planning, le processus de l'ORDONNANCEMENT n'est pas explicite.

A partir de 1957, avec l'avènement de l'ordinateur, des méthodes d'avant garde ont été développées. La plus grande innovation dans les méthodes de planning vient du fait que l'ORDONNANCEMENT et le PROGRAMME sont deux étapes successives et bien distinctes.

Dans les méthodes traditionnelles on mesure les déviations budgétaires en fonction du planning original. Avec les nouvelles méthodes, on mesure les déviations du travail réalisé en rapport avec la valeur prévue au budget pour exécuter ce travail. C'est un processus plus dynamique, car il permet de contrôler la productivité. Au fur et à mesure de l'avancement, la référence de base est strictement fonction de l'échéancier et du budget original. Le succès du projet dépendra aussi, dans la mesure où la méthode du planning pourra permettre d'anticiper, en prévenant les erreurs par l'application des mesures appropriées.



## 8.2 Méthodes de planning

### 3.2.1. Méthodes des "Bar Charts" ou Diagramme de Gantt.

La méthode traditionnelle de planning la plus connue et encore utilisée de nos jours est la méthode des "Bar Charts". La particularité de cette méthode réside dans le fait que l'ordonnancement et le programme sont établis de façon simultanée. Les Bars Charts sont utilisés pour représenter de façon sommaire dans le temps les activités d'un projet. L'une des particularités de cette méthode est la simplicité. Cette méthode est idéale pour représenter la situation du projet à un moment donné.

#### Démarche opérationnelle pour l'établissement d'un Bar Chart

- a) Déterminer de façon graphique sur un plan l'échelle des temps.
- b) L'échelle des temps est habituellement sur la base du calendrier ordinaire sans considération des jours ouvrables.
- c) Le processus de l'établissement du Bar Chart consiste à ordonnancer et programmer de façon simultanée les activités directement sur l'échelle des temps. On considère autant que possible la durée normale des activités.

#### Exemple d'établissement de la méthode des Bar Charts

Soit à construire 10 m de canal trapézoïdal de 6 m de largeur à la base, pente des berges  $Z = 2$ , sur un terrain quasiment plan. La profondeur du canal est de 2.20 m.

#### solution

La section du canal sera de : (3)

$$S = (b + Zh)h$$

$$S = (6 + 2 \times 2.20) 2.20 = 22.88 \text{ m}^2$$





Le volume à excaver sera :

$$V = S \times L$$

$$V = 22.88 \times 10 = \underline{228.80 \text{ m}^3}$$

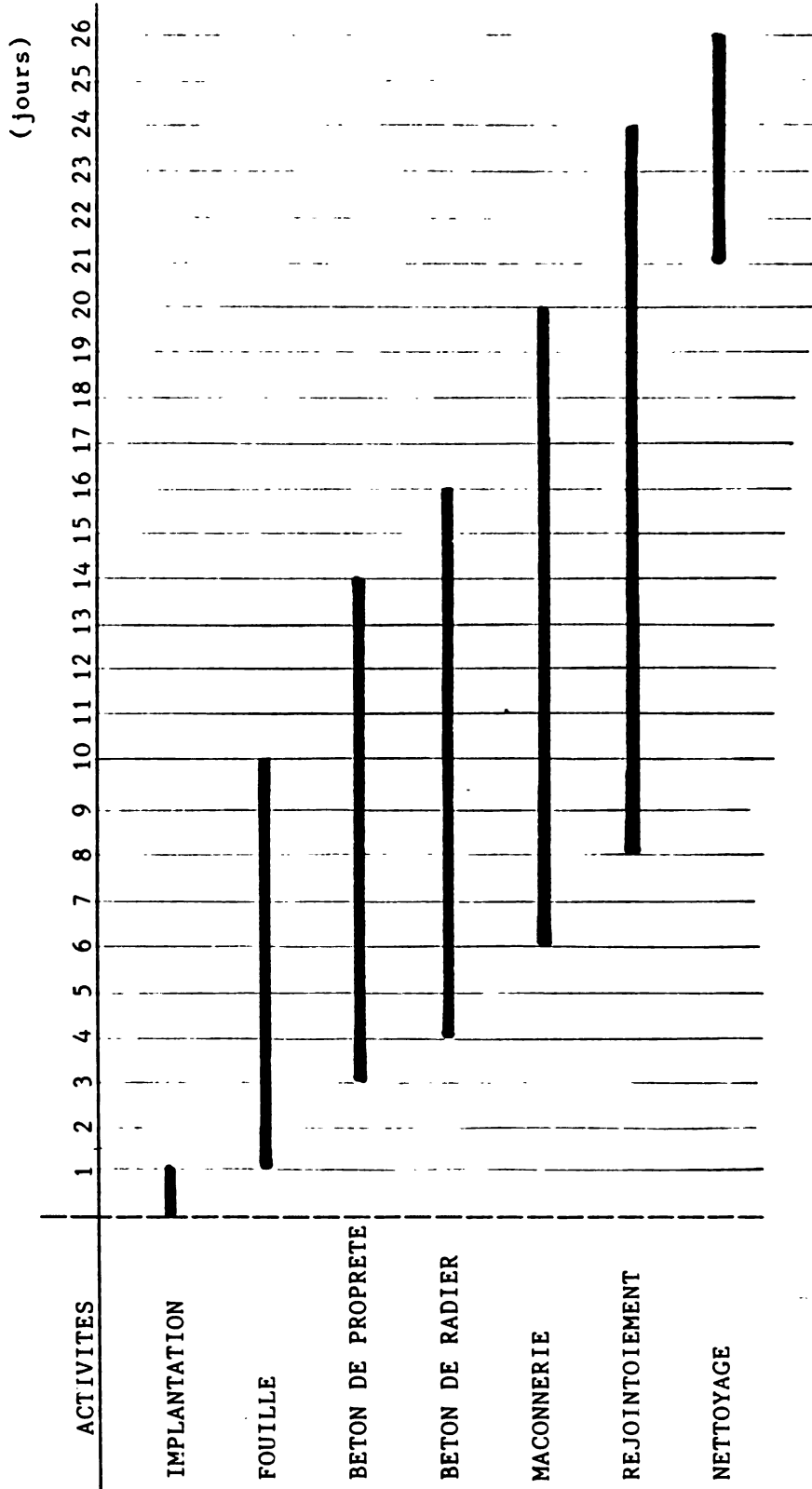
Le volume de maçonnerie à mettre en place est estimé à  $46.50 \text{ m}^3$ .

Le radier sera en béton armé dont le volume est de  $15 \text{ m}^3$ .

Le BAR CHART sera le suivant :

(voir page suivante)









1000

### Limitations de la méthode des "Bar Charts"

- a) Elle n'indique pas les activités critiques;
- b) Elle n'indique pas les marges entre les activités critiques et celles non critiques;
- c) Elle n'est pas efficace pour les échéanciers à cause de sa manque de précision;
- d) Il est pratiquement impossible de reviser l'échéancier du projet avec cette méthode, sans avoir à refaire intégralement tout le travail originel d'ordonnancement. Ce travail étant fait mentalement, la seule personne qui peut reviser l'échéancier est celle qui a réalisé originellement le Bar Chart;
- e) En cas de changement du contenu du projet, elle peut devenir un exercice fastidieux et une perte de temps.

### 8.8.2. La méthode C.P.M. (Critical Path Method ou Méthode du Chemin Critique).

C'est une méthode utilisée en programmation, approvisionnement et construction. Elle sert à établir des échéanciers serrés. La popularité réside dans le fait qu'elle permet théoriquement de calculer les délais les plus courts pendant lesquels on peut mener à terme un projet, quelque soit son degré de complexité.

Le développement de la méthode C.P.M. est intimement lié à la plupart des événements qui ont marqué l'apparition et le perfectionnement de l'ordinateur électronique.

- 1942 : élaboration du concept de la calculatrice électronique et sa réalisation par le Docteur John Manchly de l'Université de Pennsylvanie.
- 1947 : l'emploi d'un programme logique emmagasiné à l'intérieur de la calculatrice électronique suggéré par John Von Newman. Cette suggestion allait permettre à Madame Eckert et au Docteur Manchly de mettre au point l'ordinateur U.N.I.V.A.C. de la compagnie RAND





qui donnera naissance, neuf ans plus tard, chez Dupont de Nemours, au théorème le plus simple et le plus pratique du concept de l'intégration du travail.

- 1956: décision de la compagnie Dupont de Nemours en collaboration avec RAND d'orienter son département de génie industriel vers la recherche et la mise au point d'une méthode simple et systématique capable à la fois de coordonner les différentes activités de l'entreprise et de contrôler efficacement l'exécution des programmes de travail, tout en s'ajustant aisément aux dernières décisions de l'administration.

C'est en 1957 que la C.P.M. apparaît enfin au centre U.N.I.V.A.C sous la direction de Manchly avec un groupe de mathématiciens et d'ingénieurs. Cette méthode peut simultanément représenter les opérations elles-mêmes, leur durée et les relations d'ordre qui les gouvernent.

#### Inconvénient de la méthode

- La prolifération d'une multitude de variantes de la méthode C.P.M. après 1958 provoquant une très grande confusion chez les entrepreneurs en construction au point de les empêcher de développer des outils de planning simples adaptés à leurs besoins.
- L'accès difficile de l'ordinateur pour l'utilisateur de la méthode, parce que les experts en recherche opérationnelle et les informaticiens recherchaient l'optimisation de l'ordinateur.



### 8.3. L'ordonnement

C'est la phase la plus importante. Elle consiste à rechercher la logique, c'est-à-dire la séquence ou l'antériorité des activités et des événements. Elle se distingue par des considérations d'ordre :

1. topologique, c'est-à-dire la syntaxe logique;
2. scientifique, la méthode analytique;

#### 8.3.1 Topologique

La syntaxe logique ou représentation schématique des relations d'ordre et d'antériorité des activités d'un projet est ordonnée par les cinq règles topologiques suivantes :

- a) Chaque activité est représentée par un arc. Chaque arc est précédé et terminé par un événement ou noeud appelé INDICE (i) et (j);
- b) Un événement de début d'une activité ne peut avoir lieu avant que toutes les activités antécédentes à cet événement ne soient terminées. Une activité ne peut débuter avant que le dernier événement précédant cette activité ne soit atteint;
- c) Une activité ne peut faire suite à elle même;
- d) Quand on a deux activités parallèles de même origine et se terminant au même indice, on doit utiliser une flèche postiche pour identifier distinctement les deux activités;
- e) Quand on a plus d'une activité aboutissant à une même origine et plus d'une activité provenant de cette origine, l'on doit utiliser une flèche postiche pour transporter ou isoler la liaison logique.

#### 8.3.2 Méthode analytique

Elle fait suite à l'organigramme technique. Etant donné qu'il existe dans chaque projet des similitudes, il s'agit de déterminer des lots de travail respectifs. Pour chacun des éléments répétitifs on fait un graphe



en conséquence. On multiplie les graphes suivant le nombre de répétitions. On intègre les éléments non répétitifs à l'intérieur des éléments répétitifs.

#### 8.4 Le programme

Le programme est un ensemble d'activités concourant à la réalisation d'un objectif. Le programme est le produit fini et constitue le plan de travail d'un projet.

Une fois l'ordonnancement d'un projet établi et la durée des opérations estimée, un programme est déterminé mathématiquement par un algorithme.

#### 8.5 Exemple de préparation d'un échéancier, méthode du Chemin Critique M.C.C., C.P.M. à l'échelle des temps.

a) Après avoir établi l'ordonnancement du projet sous forme de graphe et calculé les temps de départ le plus tôt et les temps de terminaison le plus tard, on trace l'échelle des temps égale à la durée du projet. Les temps d'exécution sont portés sur les arcs ou entre deux activités;

b) On note les activités critiques par le symbole //;

c) On note  $t_i(0)$  et  $t_j(1)$  respectivement les temps de départ le plus tôt de l'activité 0 - 1 et les temps de terminaison le plus tard de l'activité 0 - 1.



## 8.6 Méthode PERT ("Program Evaluation and Review Technic")

Cette méthode a exactement les mêmes propriétés fondamentales que la méthode du Chemin Critique. Elle s'en distingue par des aspects secondaires. Alors que l'on donne aux durées d'exécution du C.P.M des valeurs fixes basées sur l'expérience, celles du P.E.R.T sont de nature aléatoire et il faut connaître leurs lois de probabilité ou bien les établir à l'aide de trois estimations de temps :

- une durée maximale (pessimiste);
- une durée minimale (optimiste);
- une durée la plus probable.

La méthode P.E.R.T. est aussi une variante de la théorie des graphes tout comme la méthode C.P.M. La méthode P.E.R.T. s'applique au suivi des programmes de Recherche et de Développement.

Si l'on subdivise l'aire de la distribution de Gauss dans une proportion 50 - 50 le temps  $t_e$  auquel on s'attend à la réalisation d'une tâche est :

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

a : durée optimiste

b : durée de temps pessimiste si tout allait au pire

m : durée réaliste et NORMALE.





## 8.7 Exemple pratique de l'établissement d'un Cheminement Critique

(Projet de construction des fondations d'un édifice pour bureaux)

### 1. Description de l'étendue des travaux

- 3 cages d'escalier
- des empattements, des murs de fondation et des colonnes;
- des murs de cisaillement.

### 2. Plan des fondations

- Consultation des plans;
- implantations des ouvrages:

### 3. Etablissement du C.P.M.

- On établit des aires de travail;
- tous les lots sont similaires et de même nature. Ce sont des activités de coffrage, de ferrailage et de mise en oeuvre du béton. On aura recours à la même main-d'oeuvre et aux mêmes équipements. Les équipements seront choisis en fonction des rendements à obtenir. Une étude des circulations horizontales et l'utilisation d'une même équipe permettra de tirer partie du phénomène d'accoutumance;
- identification des lots dans les différentes aires de travail;
- on établit l'organigramme technique qui comprendra cinq niveaux :
  - a) le projet
  - b) un code ou index d'uniformité de la construction
  - c) les aires de travail
  - d) les lots de travail
  - e) les activités C.P.M.
- la codification des lots de fait de haut en bas de telle sorte que tous les éléments de l'arbre de pertinence soient contenus les uns dans les autres. Les différents niveaux servent à établir des rapports sommaires du point de vue temps et coût.



Niveau 1 - On ne l'utilise jamais dans la codification informatique, mais il est intéressant de la noter.

Niveau 2 - C'est le premier niveau qu'on utilise dans la codification informatique. Il regroupera tous les éléments similaires XX avec des chiffres (adresse).

Niveau 3 - On identifie l'aire du travail à ce niveau, un code XX.

Niveau 4 - On identifie le lot de travail. un code XX.

Niveau 5 - On identifie les activités C.P.M. découlant de chacun des lots par la combinaison distincte de deux chiffres. code XX.



EXEMPLE DE GRAPHE P.E.R.T.

