

OUVRAGES SOUTERRAINS

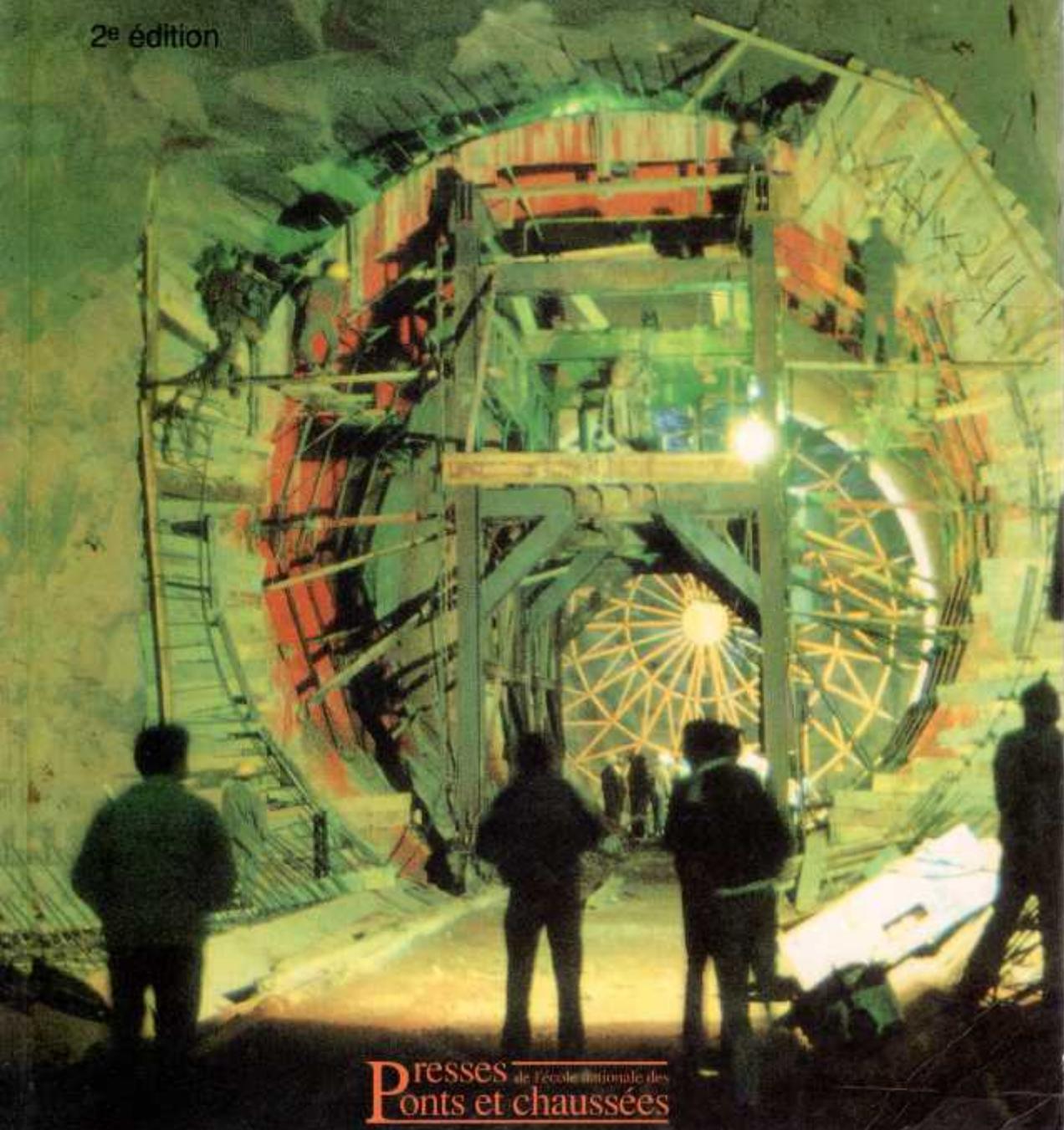
CONCEPTION . REALISATION . ENTRETIEN

A. BOUVARD - LECOANET

G. COLOMBET

F. ESTEUILLE

2^e édition



Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

Cet ouvrage a été réalisé avec l'appui de la société Coyne et Bellier

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque produit que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteur.

© 1992

Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

ISBN 2-85978-108-0

(1^{re} édition)

ISBN 2-85978-191-9

(2^e édition revue et corrigée)

28, rue des Saint-Pères

75007 PARIS

Département Édition de l'Association Amicale des Ingénieurs Anciens Elèves de l'École Nationale des Ponts et Chaussées

Sommaire

Pages

Préface 3

Chapitre 1 - Introduction 11

Chapitre 2 - Reconnaissances

- 2.1. Introduction 18
- 2.2. Articulation des reconnaissances avec les études et les travaux 18
- 2.3. Influence des conditions naturelles sur les principaux paramètres de définition de l'ouvrage 20
 - 2.3.1. Facteurs de choix du tracé et du profil en long 20
 - 2.3.2. Facteurs de choix du profil en travers 20
 - 2.3.3. Influence de l'eau 23
- 2.4. Reconnaissances géologiques 23
 - 2.4.1. Objectifs 23
 - 2.4.2. Moyens de reconnaissances géologiques 28
- 2.5. Reconnaissances hydrogéologiques 33
 - 2.5.1. Objectifs 33
 - 2.5.2. Moyens de reconnaissances hydrogéologiques 34
- 2.6. Reconnaissances géotechniques 37
 - 2.6.1. Objectifs 37
 - 2.6.2. Moyens de reconnaissances géotechniques 38
- 2.7. Galerie de reconnaissance 42
 - 2.7.1. Objet d'une galerie de reconnaissance 42
 - 2.7.2. Essais et mesures in situ 43
 - 2.7.3. Section d'essai élargie 46
- 2.8. Reconnaissances spécifiques à la mécanisation de l'excavation 48
 - 2.8.1. Objectifs 48
 - 2.8.2. Moyens 48
- 2.9. Reconnaissances pendant l'exécution des travaux 51
- 2.10. Conclusions 52

Chapitre 3 — Classification des massifs rocheux et prédimensionnement des ouvrages souterrains

- 3.1. Introduction 53
- 3.2. Historique des méthodes empiriques de dimensionnement 53
 - 3.2.1. Méthode empirique de K. TERZAGHI 54
 - 3.2.2. Méthode de M. PROTODIAKONOV 56
 - 3.2.3. Méthode de H. LAUFFER et développements actuels 57
- 3.3. Rock Quality Designation (R.Q.D.) 59
- 3.4. Recommandations de l'AFTES 60
- 3.5. Méthode de Z. BIENIAWSKI 61

3.5.1. Détermination du « Rock Mass Ratio » et de la classe du rocher	61
3.5.2. Critère de rupture de HOEK et BROWN	65
3.6. Méthode de N. BARTON	69
3.6.1. Origine et principe de la méthode	69
3.6.2. Calcul de l'indice de qualité Q du rocher et autres paramètres	69
3.6.3. Prédimensionnement du soutènement à partir de la classification de N. BARTON	75
3.7. Classification des roches relative au mode d'excavation d'après C. LOUIS	86
3.8. Commentaires sur les classifications et leur utilisation au prédimensionnement des ouvrages souterrains	88

Chapitre 4 - Calcul des ouvrages souterrains

4.1. Introduction	89
4.2. Solutions analytiques des galeries	90
4.2.1. Galerie circulaire non revêtue milieu homogène isotrope	90
4.2.2. Remarques générales	95
4.2.3. Galerie circulaire revêtue. Formules du tube	96
4.3. Galerie circulaire revêtue : méthode convergence - confinement	96
4.3.1. Introduction	96
4.3.2. Principes généraux de la méthode	97
4.3.3. Définitions préliminaires	99
4.3.4. Tracé de la courbe caractéristique du terrain	99
4.3.5. Tracé de la courbe caractéristique du revêtement ou du soutènement	108
4.3.6. Equilibre terrain - soutènement	114
4.3.7. Récapitulation des étapes de calcul d'un problème type	115
4.3.8. Conclusions adaption au site	117
4.4. La méthode des réactions hyperstatiques	118
4.4.1. Introduction	118
4.4.2. Principe de la méthode	118
4.4.3. Détermination des charges actives	119
4.4.4. Calcul des réactions hyperstatiques	123
4.4.5. Méthode usuelle	126
4.5. La méthode des éléments finis	127
4.5.1. Principes généraux de la méthode	127
4.5.2. Application au calcul des ouvrages souterrains	128
4.5.3. Résolution d'un problème type par la méthode des éléments finis	129
4.6. Cas des terrains aquifères	133
4.7. Cas des tunnels en roche gonflante	135
4.8. Appendice : contraintes géostatiques dans les massifs	135
4.8.1. Généralités	135
4.8.2. Contraintes sous versant	136

Chapitre 5 - Puits et galeries en charge

5.1. Dispositions générales	139
5.2. Règles de conception des revêtements des galeries et puits en charge	142

5.2.1. Principes généraux	142
5.2.2. Règles de couverture	144
5.2.3. Conditions usuelles de non-revêtement	147
5.3. Les différents types de revêtements et leurs spécifications	148
5.3.1. Introduction	148
5.3.2. Le blindage et autres revêtements imperméables	148
5.3.3. Le béton armé ou revêtements légèrement perméables	150
5.3.4. Le béton projeté et le béton coffré non armé ou les revêtements semi-perméables	151
5.4. Les injections	153
5.5. Calculs des revêtements cylindriques	155
5.5.1. Formules générales du tube (rappels)	155
5.5.2. Calcul d'un revêtement étanche en tenant compte de la réaction du rocher	158
5.5.3. Résistance des blindages à la pression extérieure	165
5.5.4. Revêtements perméables : fuites et pertes de charge à travers le revêtement - Rôle des injections	167
Chapitre 6 - Creusement	
6.1. Creusement à l'explosif	175
6.1.1. Principes généraux	175
6.1.2. Découpage soigné à l'explosif	178
6.1.3. Contrôle des ébranlements	179
6.2. Creusement mécanique des tunnels au rocher	183
6.2.1. Généralités	183
6.2.2. Types de machines à forer	183
6.2.3. Les différents types d'outils	189
6.2.4. Avantages et inconvénients des machines à attaque globale au rocher	190
6.3. Terrassement mécanisé des tunnels dans les terrains meubles	192
6.3.1. Différents types de boucliers	192
6.3.2. Domaine d'utilisation	194
Chapitre 7 - Soutènements	
7.1. Introduction	199
7.2. Mode d'action des soutènements	199
7.2.1. Classification	199
7.2.2. Construction des tunnels avec soutènement immédiat	200
7.3. Types de soutènement	203
7.3.1. Soutènement par boulons	205
7.3.2. Béton projeté	212
7.3.3. Soutènement par anneaux intérieurs	216
Chapitre 8 - Construction	
8.1. Introduction	221
8.2. Différents modes de construction	222
8.2.1. Creusement en pleine section	222
8.2.2. Creusement par demi-section supérieure	222
8.2.3. Creusement en sections divisées	223
8.3. Traitements spéciaux	227
8.3.1. Généralités	227

8.3.2. Injections	227
8.3.3. Congélation	231

Chapitre 9 - Auscultation

9.1. Rôle de l'auscultation dans la conception, l'exécution et la maintenance des ouvrages souterrains	233
9.2. Types de mesures	234
9.2.1. Mesures de convergence	234
9.2.2. Mesures de déplacements absolus	235
9.2.3. Mesures de pression sur le revêtement	237
9.2.4. Mesures de contrainte dans le revêtement	237
9.2.5. Autres mesures	238
9.2.6. Mesures effectuées dans les ouvrages en service	238
9.3. Définition d'un programme d'auscultation	240
9.4. Saisie automatique des mesures	242
9.5. Interprétation des mesures	243
9.5.1. Pendant les travaux	243
9.5.2. Pendant l'exploitation	246

Chapitre 10 - Estimation des coûts

10.1. Introduction	249
10.2. Répartition des coûts dans la construction des tunnels	249
10.2.1. Travaux de génie civil	250
10.2.2. Par des équipements	252
10.3. Méthodes d'estimation des coûts du génie civil	252
10.3.1. La méthode des prix d'ordre	252
10.3.2. La méthode des séries de prix	253
10.3.3. La méthode des sous-détails	253
10.4. Quelques exemples de coûts	253

Chapitre 11 - Entretien et réparation des tunnels

11.1. Introduction	257
11.2. Evolution des tunnels	258
11.2.1. Evolution du terrain encaissant	258
11.2.2. Evolution du revêtement	259
11.3. Méthodes d'établissement d'un diagnostic	259
11.3.1. Examen de tous les documents existants concernant le tunnel et son environnement	259
11.3.2. Visites sur les sites	260
11.3.3. Synthèse des données recueillies précédemment	260
11.3.4. Investigations	260
11.3.5. Diagnostic	260
11.4. Travaux d'entretien et réparation	261
11.5. Conclusion	261

Bibliographie